

Kapitel 1

Einführung

Die Bildung sowie räumliche und zeitliche Verteilung von Wolken und Niederschlag wird in entscheidender Weise von der Geländestruktur sowie den Boden- und Vegetationseigenschaften einer Region beeinflusst. Hierzu gehören geländebedingte (orogene) Konvergenzzonen im Windfeld, Kanalisierungseffekte durch Mittelgebirgszüge und Variationen des Feuchteangebots durch die räumliche Verteilung von Gewässern und unterschiedlichen Arten der Landnutzung. Wie die Überschwemmung der Innenstadt Baden-Badens durch das Hochwasser der sonst eher unscheinbaren Oos im Oktober 1998 gezeigt hat, können solche lokalen Einflußfaktoren zu verheerenden Folgen führen, so daß ein verbessertes Verständnis für die meteorologischen Zusammenhänge der Wolken- und Niederschlagsbildung über Regionen mit ausgeprägtem Geländereief nicht nur von wissenschaftlichem Interesse, sondern auch von großer sozio-ökonomischer Bedeutung ist.

Bei der meteorologischen Analyse ist es aber nicht ohne weiteres möglich, aus der großskaligen synoptischen Information eines globalen Klima- oder Wettervorhersagemodells die kleinräumigen Variationen des Wetters und deren Ursachen abzuleiten. Gerade diese jedoch sind es, die letztlich von Interesse sind, wenn für einen speziellen Ort Aussagen z. B. über die mittlere Niederschlagsverteilung oder die Wahrscheinlichkeit schwerer Unwetter getroffen werden sollen.

Um Daten von Klimamodellen zu regionalisieren, also z. B. von der prognostizierten Wetterlage ausgehend lokale Starkniederschläge kurzfristig vorhersagen zu können, bieten sich unterschiedliche Vorgehensweisen an. Zum einen kann durch die Synopse von Beobachtungen der Bewölkung und des Niederschlags an einzelnen Wetterstationen eine regionale Datenbasis erzeugt werden. Hierfür sind aber ein sehr dichtes Meßnetz und ein langjähriger Beobachtungszeitraum von mehreren Dekaden vonnöten. Dennoch wird man mit dieser Methode kaum über die Bestimmung klimatologischer Mittelwerte oder die nachträgliche Analyse einzelner, vom Meßnetz erfaßter Ereignisse hinauskommen.

Als Alternative bieten sich Fernerkundungsmethoden an, mit denen man den Gesichtskreis um den eigentlichen Beobachtungsstandort wesentlich erweitern kann und Zugang zu flächendeckenden oder sogar räumlichen Informationen erhält. Hierzu zählt auch ein Doppler Niederschlagsradar, wie es z. B. am Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK) im Forschungszentrum Karlsruhe betrieben wird. Ein solches Gerät liefert flächendeckend Daten über die Struktur, Menge und Verteilung des Niederschlags mit einer hohen zeitlichen Auflösung von etwa 10 min und mit gewissen Annahmen auch über das Windfeld. Problematisch ist in diesem Fall die Kalibration. Denn diese muß mittels Meßwerten von Bodenstationen vorgenommen werden, was wiederum die mitunter mangelnde Repräsentativität von Punktmessungen mit der Radarinformation verknüpft. Aber auch die Abschwächung des Radars-

gnals weiter entfernter Niederschlagsgebiete durch die Dämpfung der Mikrowellenstrahlung des Radars in Niederschlag im direkten Umfeld des Radarstandorts beeinflussen die Messung. Gerade in Mittelgebirgsregionen macht sich darüberhinaus die vollständige oder teilweise Abschattung des Radarstrahls durch Geländeerhebungen in der Umgebung des Radarstandortes bemerkbar. Diesem gravierenden, allein durch die topographische Struktur bedingten Problem kann mit aufwendigen Korrekturalgorithmen zwar weitgehend abgeholfen werden, es bleibt prinzipiell aber bestehen. Einen ausführlichen Einblick in die Beobachtung von Niederschlagsprozessen mithilfe von Radarmessungen gibt Hannesen (1998). Der große Vorteil von Radarbeobachtungen liegt allerdings in der verlässlichen Kurz- und Kurzzeitprognose einzelner Unwetter wie z. B. Superzallengewitter im Sommerhalbjahr oder Eisregensituationen im Winter. In orographisch gegliedertem Gelände kann das Radar zudem trotz der erwähnten Schwierigkeiten viel zum Verständnis der Bildung und Entwicklung orogener Wolken und Niederschläge beitragen. Dies gilt nicht nur für die Beobachtung besonders prägnanter Einzelphänomene, sondern auch für die langjährige, flächendeckende Statistik, die ein solches Radargerät für die Niederschlagsverteilung auch in Mittelgebirgsregionen erlaubt.

Ein weiterer Weg zur Aufklärung des Einflusses der Topographie auf die Wolken- und Niederschlagsbildung ist die numerische Simulation der atmosphärischen Vorgänge. Mittels dreidimensionaler Modelle kann neben dem Wind- und Temperaturfeld auch die räumliche Verteilung der Luftfeuchte, der Bewölkung und des Niederschlages prognostiziert werden. Durch ein geländefolgendes Koordinatensystem und die Einbindung eines Boden- und Vegetationsmodells ist eine sehr realistische Beschreibung der Topographie möglich. Im Gegensatz zu Radardaten sind die Simulationsgrößen an jedem Ort in derselben Modellgenauigkeit und ohne die dem Radar eigenen Ungenauigkeiten vorhanden. Allerdings stellt bei einem Simulationsmodell die Güte und Vollständigkeit der darin enthaltenen physikalischen Grundgleichungen und ihrer numerischen Umsetzung neben der Belastbarkeit der Eingabedaten den limitierenden Faktor für die Aussagekraft der Ergebnisse dar. Die besonderen Stärken der Modelle liegen aber darin, auch für solche Regionen Informationen zu liefern, in denen ansonsten keine meteorologischen Größen verfügbar sind und in der sehr wertvollen Option, einzelne atmosphärische Prozesse im Modell gezielt aktivieren und somit Sensitivitätsstudien durchführen zu können, also im ursprünglichen Bacon'schen Sinne (Medawar, 1979) physikalische Experimente durchzuführen. Hat das Modell dabei im Rahmen der Evaluierung (Randall und Wielicki, 1997) einmal seine Verlässlichkeit unter Beweis gestellt und erzeugt Daten, die sich gut mit Radarbeobachtungen typischer synoptischer Situationen decken, dann kann es anschließend auch autark für Regionen angewandt werden, in denen Radarmessungen fehlen oder um lokale Sturmphänomene wie mesozyklonale Rotationszonen innerhalb von Gewitterwolken anhand idealisierter Radarbilder auszuwerten, die von tatsächlichen und wissenschaftlich dokumentierten Unwetterereignissen vorliegen (Hannesen et al., 1998).

Verglichen mit Radarbeobachtungen sind die Möglichkeiten einer Kurzzeitprognose von Unwettern mittels mesoskaliger meteorologischer Modelle aber begrenzt, denn weil solche Modelle nur einen sehr kleinen, willkürlich begrenzten Ausschnitt der Atmosphäre beschreiben, erlauben sie allein nicht den Einfluß einer sich ändernden synoptischen Situation mit einzuschließen. Dazu wäre eine Ankopplung an oder Nistung in größerskalige Modelle notwendig. Stattdessen sind hier prinzipielle Fallstudien möglich mit dem Ziel, für einzelne Wetterlagen oder einzelne starke Konvektionszellen deren Wechselwirkung mit der Topographie einer Region zu studieren und ein vertieftes Verständnis über die Niederschlagsverteilung in Mittelgebirgsregionen zu gewinnen.

Die vorliegende Doktorarbeit beschreitet diesen zuletzt dargestellten Weg, indem das am Institut für Meteorologie und Klimaforschung entwickelte mesoskalige Atmosphären-Biosphärenmodell KAMM3D (Dorwarth, 1985; Adrian und Fiedler, 1991; Lenz, 1996) um Prozesse erweitert wurde, mit denen vorwiegend konvektive Wolken- und Niederschlagsprozesse im Gebiet des Oberrheingrabens beschrieben werden. Hierzu wird zunächst das Gleichungssystem in eine neue, allgemeinere Form gebracht, die

die Berechnung hochreichender konvektiver Wolken, wie sie z. B. bei Gewittern auftreten, erst möglich macht. Danach wird das Wolkenmodul vorgestellt, welches in einfacher Form die wesentlichen Effekte der Eisphase in Wolken mit einbezieht. Im weiteren wird das Modell mit Wolkenmodul zunächst exemplarischen Tests unterworfen, deren Charakter zunehmend spezieller auf die Anwendung über Mittelgebirgslandschaften hin zugeschnitten ist. Durch dieses Vorgehen wird schrittweise eine Evaluierung des Wolkenmodells allein, des Gesamtmodells über ebenem Gelände und des Gesamtmodells über idealisierten Geländeerhebungen erreicht. Daran schließt sich die Simulation einer für das Rheintal typischen Wetterlage mit einer Anströmung aus Westsüdwest an, bei der ein Gewitterschauer entlang einer häufig in den Radardaten zu beobachtenden Bahn quer durch den Oberrheingraben zieht. Diese Simulationen zeigen auch wesentliche Prozesse auf, die eine Rolle bei der Bildung schwerer Unwetter und Gewitterhäufungszonen zwischen Vogesen und Schwarzwald spielen und aus experimentellen Daten nicht ohne weiteres zugänglich sind.

Weil nahezu zeitgleich zur vorliegenden Arbeit am selben Institut eine Dissertation zur Radar-Analyse konvektiver Niederschlagssysteme durchgeführt wurde (Hannesen, 1998), besteht die interessante Möglichkeit, einen Vergleich der Modelldaten mit Meßdaten des C-Band Doppler Radars (Gysi, 1995) des Instituts und der Bodenmeßnetze des Regio-Klimaprojekts REKLIP, des Deutschen Wetterdienstes (DWD) oder der Landesanstalten für Umweltschutz (LfU) durchzuführen und die Verlässlichkeit der Modellergebnisse zu überprüfen. Neben der räumlichen Verteilung der Bewölkung können aus den Modelldaten Größen berechnet werden, die in der Radarmeteorologie gebräuchlich sind. So wird z. B. die funktionale Abhängigkeit des Radarreflektivitätsfaktors von der Niederschlagsrate anschließend zu einem quantitativen Vergleich zwischen Modell und Beobachtung verwendet. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse dienen als Hinweise für eine mögliche weitere Optimierung des Gleichungssystems in der Zukunft.

