

A P O L A S



DEKLIM

MORE ACCURATE AREAL PRECIPITATION OVER LAND AND SEA

ABSCHLUSSBERICHT

Ein Projekt im Rahmen des Deutschen Klima Forschungsprogramms

Zuwendungsempfänger: Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. Max-Planck-Institut für Meteorologie Hamburg, Prof. Dr. Hartmut Graßl

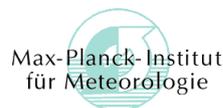
**Laufzeit: 01.01.2002 – 30.06.2005 Förderkennzeichen: 01 LD 0029**

**K. Bumke<sup>1</sup>, M. Clemens<sup>1</sup>, H. Graßl<sup>2</sup> (Koordinator), S. Pang<sup>2</sup>, G. Peters<sup>3</sup>, J.E.E. Seltmann<sup>4</sup>,  
T. Siebenborn<sup>3</sup>, A. Wagner<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Leibniz-Institut für Meereswissenschaften an der Universität Kiel,  
Düsternbrooker Weg 20, 24105 Kiel



<sup>2</sup>Max-Planck-Institut für Meteorologie,  
Bundesstraße 53, 20146 Hamburg



<sup>3</sup>Meteorologisches Institut, Universität Hamburg,  
Bundesstraße 55, 20146 Hamburg



<sup>4</sup>Meteorologisches Observatorium Hohenpeissenberg,  
82383 Hohenpeissenberg



Zusammenfassung.....	3
1. Ziele und Bezug zu DEKLIM und anderen Forschungsprogrammen .....	3
2. Beschreibung der Regen-Sensoren .....	3
2.1. Klassisches Joss-Waldvogel Disdrometer RD-69, (JWD).....	4
2.2. Wetterradar Rostock (WR) .....	5
2.3. Optisches Disdrometer ODM-470 (OD).....	6
2.4. Schiffsregenschwimmer (SRG).....	7
2.5. Mikro-Regen-Radar (MRR) .....	8
2.6. Hochfrequenz-Minisodar zur Bestimmung der Regen-, Graupel- und Schneefallrate sowie der Partikelgrößenverteilungen .....	11
2.6.1. Meßverfahren des Dopplerminisodars.....	13
2.6.1.1. Fenster-Funktion .....	14
2.6.1.2. Einfluss des umgebenden Mediums.....	15
2.6.1.3. Auswertung des Turbulenzspektrums .....	16
2.6.2. Trennung verschiedener Niederschlagstypen .....	16
2.6.2.1. Unterscheidung zwischen Schnee, Graupel und Regen .....	16
2.6.2.2. Ableitung der Niederschlagsparameter für Schnee und Graupel .....	17
3. Die Messorte.....	18
3.1. Westermarkelsdorf.....	18
3.2. Zingst.....	19
3.3. Christiansö .....	19
3.4. Forschungsschiff „ALKOR“.....	19
3.5. DWD Messfeld „Falkenberg“.....	19
4. Sensor Erprobung .....	20
4.1. Tests der neuen Fernmesssysteme .....	20
4.1.1. Mikro-Regen-Radar, Vertikalwindfehler.....	20
4.1.2. Hochfrequenz Minisodar .....	22
4.1.2.1. Stratiformer Regen mit eingelagerten Schauern .....	23
4.1.2.2. Schauer und Gewitter.....	24
4.1.2.3. Schnee, Graupel und Niederschläge mit gemischter Phase.....	25
4.1.3. Schlussbemerkungen .....	25
4.2. Vergleichsmessungen .....	26
4.2.1. Mittlere Spektren .....	26
4.2.2. Analyse von Einzelereignissen .....	30
4.2.3. Vergleiche mit Wetterradar .....	33
5. Mikrophysik von Regen .....	34
5.1. „Stratiforme“ und „Konvektive“ Beziehungen zwischen Radarreflektivität und Niederschlag .....	34
5.2. Unterschiede Land/See .....	35
5.3. Vertikale Gradienten.....	37
6. Radarmessungen von Flächenniederschlag .....	44
6.1. Einführung .....	44
6.2. Erstellung eines CAPPis.....	45
6.3. Entwicklung einer Mustererkennung für Radardaten .....	46
6.4. Korrektur des Vertikalen Reflektivitätsprofils (VRP) .....	50
6.5. Modellvergleiche (BALTIMOS) .....	56
7. Haupt-Ergebnisse .....	57
Literatur .....	58
Anhang: Während APOLAS gewonnene Datensätze .....	60

## **Zusammenfassung**

Durch langfristige Erprobung an windexponierten Standorten wurde die Überlegenheit von vier neuartigen Niederschlagssensoren nachgewiesen. Sowohl zwischen Land und See als auch in Abhängigkeit der Messhöhe (unterhalb der Schmelzschicht) wurden systematische Unterschiede mikrophysikalischer Regenparameter gefunden mit entsprechenden Konsequenzen für die quantitative Radar-Regenmessung. Als weitere Voraussetzung für die künftige Anwendung räumlich und zeitlich differenzierter Z-R-Beziehungen wurde ein robuster Algorithmus zur Erkennung konvektiver und stratiformer Niederschlagsgebiete auf der Basis von Radar-Reflektivitätsfeldern entwickelt.

### **1. Ziele und Bezug zu DEKLIM und anderen Forschungsprogrammen**

Der für große Teile der Erdoberfläche wichtigste Klimaparameter, der Niederschlag, wird in der Routine noch immer mit relativ ungenauen Auffanggeräten gemessen (Sevruk, 1987) und ist zudem über dem Ozean noch weithin unbekannt. Das in BALTIMOS entwickelte integrierte Modellsystem, der Erfolg von BALTEX insgesamt, sowie anderer Modellentwicklungen im Rahmen von GEWEX hängen entscheidend von der Verlässlichkeit flächendeckender Niederschlagsdaten ab. Die Qualität der Daten aus den bestehenden Standard-Messnetzen ist allerdings alles andere als befriedigend. Die Unzulänglichkeiten reichen von den wohlbekanntem Problemen herkömmlicher Niederschlagssensoren bis zur ungenügenden räumlichen Abdeckung der Messnetze angesichts der extremen räumlichen Variabilität von Niederschlag. Der aussichtsreichste Ansatz zur Verbesserung dieser Situation besteht in dem Aufbau von Wetterrada-Netzen, da diese das Potential flächendeckender Niederschlagsmessungen mit einer räumlichen und zeitlichen Auflösung besitzen, die für den Vergleich mit oder die Initialisierung von Modellen auf regionaler Skala erforderlich ist. Allerdings können quantitative Niederschlagsdaten aus Wetterrada-Messungen nur mit Hilfe zusätzlicher lokaler Messungen der Niederschlagsrate oder/und der mikrophysikalischen Struktur des Niederschlags abgeleitet werden. Wie auch immer die Assimilation dieser Hilfsdaten vorgesehen ist – von statischen klimatologischen Feldern bis zu simultanen Messungen für dynamische Echtzeit-Kalibrierungen, es werden dafür Sensoren benötigt, die unter den relevanten Wetterbedingungen verlässliche Niederschlagsdaten liefern.

Ein besonderes Interesse besteht in der Ableitung integraler Niederschlagsparameter und deren physikalischer Beziehungen zueinander, basierend auf gemessenen Tropfenverteilungen. Insbesondere kann ein besseres Verständnis der mikrophysikalischen Struktur von Regen zu einer verbesserten Bestimmung des Flächenniederschlags mittels eines operationell arbeitenden Wetterrada führen.

Verlässliche Messungen von Niederschlag und seiner mikrophysikalischen Parameter unter maritimen Bedingungen wurden bisher vor allem durch den Windfehler herkömmlicher Sensoren verhindert.

Die Ziele von APOLAS waren daher,

1. Neuartige für maritime Umgebung geeignete Niederschlagssensoren zu testen
2. Den Nutzen der hiermit gewinnbaren Daten für verbesserte quantitative Radar-Niederschlagsmessungen zu demonstrieren.
3. Orts- und zeitabhängige Z-R-Beziehungen mit dem Ziele verbesserter flächendeckender Niederschlagsmessungen zu entwickeln.

### **2. Beschreibung der Regen-Sensoren**

Vier neuartige mit dem Ziel eines geringeren Windfehlers konstruierte Regensensoren wurden an windexponierten Orten erprobt und mit dem klassischen Joss-Waldvogel-Disdrometer, mit Wetterrada-Messungen sowie untereinander verglichen. Hierbei handelt es sich um spektral und

integral messende in-situ Sensoren (Optisches Disdrometer, Großklaus *et al.*, (1998), und Schiffsregenmesser, Hasse *et al.*, (1998)) sowie um zwei Fernmesssysteme (Mini-Sodar, Pang und Graßl (2005)) und Mikro-Regen-Radar, Peters *et al.*, (2002)), wobei letztere als senkrecht blickende Profiler betrieben wurden und somit auch nur lokale Informationen über den Messorten lieferten.

### 2.1. Klassisches Joss-Waldvogel Disdrometer RD-69, (JWD)

Das Joss-Waldvogel Disdrometer (Abbildung 2.1) besteht aus einem konischen Sensorkopf sowie einer elektronischen signalverarbeitenden Einheit. Die effektive Querschnittsfläche  $A$  des Sensors beträgt  $50\text{cm}^2$ . Das Messprinzip beruht auf der Impulsübertragung. Dabei wird der Vertikalimpuls eines auf den Sensor auftreffenden Tropfens in ein elektrisches Signal umgewandelt dessen Amplitude eine Funktion des Tropfendurchmessers ist. Der Messbereich des Disdrometers liegt zwischen  $0.3$  und  $5.5\text{mm}$  Tropfendurchmesser und ist in  $20$  Größenklassen unterteilt. Mit Hilfe einer Magnetspule, die den Sensorkopf zurück in seine Ruheposition bringt, ist es möglich die sogenannte Totzeit zwischen zwei möglichen Tropfenmessungen zu reduzieren (Joss und Waldvogel, 1967, Joss und Waldvogel, 1969). Während dieser kurzen Zeit können keine weiteren Tropfen gemessen werden. Anhand einer Korrektur werden daher die spektralen Tropfendichten  $C(D_i)$  mit Hilfe der gemessenen Tropfenzahlen zu höheren Dichten korrigiert (Sheppard und Joe, 1994, Sauvageot und Lacaux, 1995):

$$C(D_i)^* = C(D_i) \cdot \exp \left\{ \frac{0.035}{\Delta T} \sum_{D_j=0.85D_i}^{D_{20}} C(D_j) \cdot \ln \left[ \frac{D_j}{0.85(D_i - 0.25)} \right] \right\}$$

Eine detaillierte Beschreibung des Korrektur-Algorithmus sowie der Einfluss auf die Spektren und deren integrale Größen findet sich in Uijlenhoet *et al.* (2002). Die spektrale Tropfendichte ergibt sich dann aus der korrigierten Tropfenzahl  $C(D_i)^*$ , der Querschnittsfläche  $A$  ( $\text{mm}^2$ ), der Tropfenfallgeschwindigkeit  $V_t$  ( $\text{ms}^{-1}$ ), der Messdauer  $\Delta T$  und der entsprechenden Klassenbreite  $\Delta D_i$ :

$$N(D_i) = \frac{C(D_i)^*}{A \cdot V_t(D_i) \cdot \Delta T \cdot \Delta D_i}$$



Abbildung 2.1: Joss-Waldvogel Disdrometer des Deutschen Wetterdienstes in Westermarkelsdorf. Zur Reduzierung des Messfehlers aufgrund turbulenter Umströmung des Gerätes ist ein Windschutz angebracht.

## 2.2. Werradar Rostock (WR)

Das Rostock-Werradar ist eines der 16 Radargeräte des Deutschen Wetterdienstes, die operational Daten für ganz Deutschland liefern. Es befindet sich direkt an der Küste ( $54^{\circ} 10' 35''$  nördl. Br. und  $12^{\circ} 03' 33''$  östl. L.) und überdeckt sowohl Teile der Ostsee wie auch Küstenregionen von Nordost-Deutschland. Das Radar, ein dopplertes C-Band Radar der Firma Gematronik (METEOR 360 AC), besitzt ein Magnetron als Sendertyp mit einer Spitzenleistung von 250 kW und arbeitet bislang noch mit einem analogem Empfänger. Mit einem Antennendurchmesser von 4,2 m wird eine Strahlbreite von  $1^{\circ}$  erreicht, die Antennenhöhe beträgt dabei 36,2 m ü. NN. Als Messprinzip können prinzipiell zwei Scanarten unterschieden werden. Der "Volumescan" (Datenvolumen) besteht aus 18 Einzelscans mit Strahlneigungen zwischen  $0,5^{\circ}$  und  $37^{\circ}$  und eine jeweilige Geschwindigkeit von ca. 3 rpm; sie werden alle 15 Minuten durchgeführt. Unterbrochen wird diese Scanprozedur alle fünf Minuten vom bodennahen "Niederschlagsscan" ( $0,8^{\circ}$  Strahlneigung), der eine Geschwindigkeit von ca. 2 rpm besitzt und die Grundlage für quantitative Niederschlagsprodukte darstellt. Beide Scanarten haben im Dopplermodus eine Reichweite von 128 km bei einer Range-Auflösung von 1 km. Die Messdauer für jedes der sich ergebenden 46080 ( $360 \times 128$ ) Range-bins (Radarpixel) eines Antennenumlaufs liegt durch die gepulste Messung lediglich bei Bruchteilen einer Sekunde. Die Rohdaten werden weiterverarbeitet, einer Reihe von Korrekturen unterzogen und dann in Form von Radarprodukten veredelt. Für die Auswertungen im Projekt APOLAS wurden jedoch clutter-korrigierte Rohdaten verwendet, da diese die meisten Informationen beinhalten und die beste Auflösung aufweisen.