

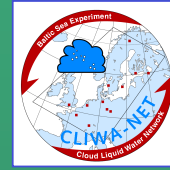
Ein physikalisch-statistisches Verfahren zur Bestimmung von thermodynamischen und mikrophysikalischen Atmosphärenparametern aus einer Vielzahl an Sensoren

Ulrich Löhnert und Susanne Crewell

Meteorologisches Institut, Ludwig-Maximilians-Universität München, Theresienstr. 37, 80333 München
 ulrich.loehnert@meteo.physik.uni-muenchen.de
 crewell@meteo.physik.uni-muenchen.de

Clemens Simmer

Meteorologisches Institut, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Auf dem Hügel 20, 53121 Bonn
 csimmer@uni-bonn.de



Kombination von Sensoren

- Die Entwicklung von **innovativen bodengebundenen Fernerkundungsalgorithmen** zur Bestimmung von thermodynamischen und mikrophysikalischen Atmosphärenparametern ist eine maßgebliche Voraussetzung für eine Vielzahl von Anwendungen, z.B. die Validation und Verbesserung von Wolkenparameterisierungen in numerischen Wettervorhersagemodellen oder Parameterisierungen im drei-dimensionalen Strahlungstransport.
- Innerhalb von CLWA-NET wurde ein Verfahren entwickelt, um die **Kombination von beliebigen Messsensoren** zu ermöglichen, um so die typische Mehrdeutigkeit von einzelnen Fernerkundungsmessungen zu verringern und gleichzeitig das Maximum an Information auszunutzen.
- Kernstück dieser Forschung ist der **Mikrowellenprofiler MICCY**, welcher Information über die Vertikalstruktur der Temperatur (T) und des Wasserdampfes (q) liefern kann.
- Während der BBC (BALTEX BRIDGE main experiment) und BBC2 Messkampagnen wurde MICCY mit Messungen eines Wolkenradars, eines Ceilometers, der nächstgelegenen Radiosonde und vom Boden kombiniert, um so **simultane Profile von T, q und des Wolkenwassergehaltes (LWC)** zu erhalten.

Haupt-Instrumentierung

Wolkenradar (KNMI/GKSS)

Vorteil: Genaue Bestimmung der Wolkenvertikalstruktur

Nachteil: direkte Bestimmung des Wolkenwassers ungenau, da zurückgestreute Reflektivität $Z \sim D^6$



Mikrowellenprofiler MICCY (Bonn)

Vorteil: genaue Bestimmung des integrierten Wolkenwassers (LWP), Temperatur- und Feuchteprofilinformationen bis ca. 5km

Nachteil: keine Höhenauflösung bzgl. des flüssigen Wolkenwassers



Laser ceilometer (CT75K)

Vorteil: genaue Bestimmung der Wolkenbasis ca. 7km

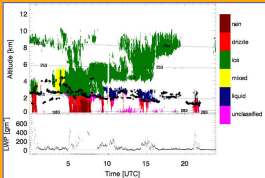
Nachteil: Signal schwächt im untersten Teil der Wolke stark ab, d.h. kaum Information über vertikale Erstreckung

IPT: „Integrated Profiling Technique“

Löhnert, U., S. Crewell, C. Simmer, 2004: An integrated approach towards retrieving physically consistent profiles of temperature, humidity, and cloud liquid water. *J. Appl. Met.*, Vol. 43, No. 9, 1295-1307

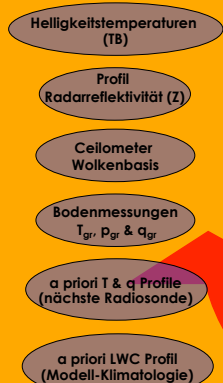
Wolkenklassifikation mittels

Wolkenradar, Mikrowellenradiometer, Lidar, Radiosonde, typischen Literaturwerten bzgl. der Phase von Wolken



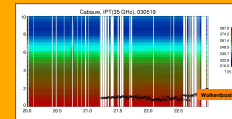
- Diskriminierung zwischen Flüssig-, Eis-, Mischphasenwolken
- Erkennung von Niederschlag

- Identifikation der Bereiche, in denen bestimmte Algorithmen angewendet werden können
- Ausschluss von mehrdeutigen Fällen (z.B. Mischphase über Flüssigphase)



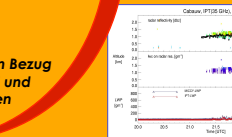
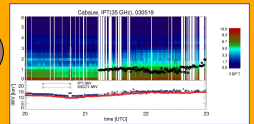
„Optimal Estimation“

Physikalisch konform in Bezug auf Vorwärtsmodell und Fehlerkovarianzen



Beispiel einer IPT-Anwendung vom 19.05.03 (BBC2) in Cabauw, NL

- Mikrowellenradiometer ermöglicht Ableitung von Temperatur- und Feuchteprofil auch während bewölkter Fälle
- Ansieg der Feuchte in der Wolke auf Werte nahe Sättigung (zusätzliche IPT-Bedingung)



- Typische Flüssigwasserwolke mit LWC-Werten bis zu 1.0 gm⁻³
- IPT-LWP/IWV Produkt (rote Dreiecke) ist statistischem Verfahren (blaue Dreiecke) vorzuziehen, da IPT Kenntnisse von T und q benutzt; außerdem keine negativen LWP

Mathematische Formulierung

- „Optimal Estimation“ Gleichungen sind ableitbar aus Bayesischer Wahrscheinlichkeitstheorie
- Bedingung: Parameter sind Gauß-verteilt
- Lösung ist nicht exakt, vielmehr eine Wahrscheinlichkeitsdichte mit Fehlerkovarianz **S**

y : Messvektor (TB, dBZ, T_{gr} , q_{gr})
 x : Zustandsvektor (T, q, LWC)
 Vorwärtsmodell
 $E: \begin{cases} TB = RT_0(T, q, LWC) \\ dBZ = a + b \cdot \log(LWC) \end{cases}$
 K : Jakobi-Matrix (di/dx)
 x_0 : a priori Profil
 S_0 : Fehler-Kovarianzmatrix
 S_1 : a priori Kovarianzmatrix

$$x_{i+1} = x_i + (S_0^{-1} + K^T S_1^{-1} K)^{-1} [K^T S_1^{-1} (y - F(x_i)) - S_0^{-1} (x_i - x_0)]$$

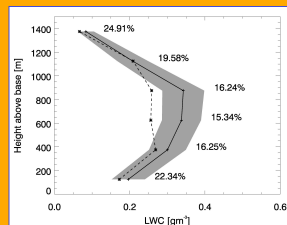
$$S = (K^T S_1^{-1} K + S_0^{-1})^{-1}$$

Iterativer Ansatz garantiert physikalische Konformität

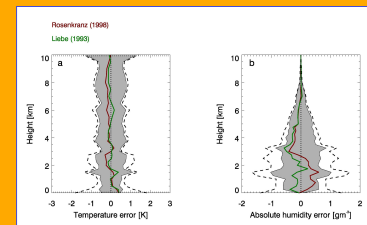
- Fehler-Kovarianzmatrix S_0**
- Kalibrationsfehler Radar
 - Kalibrationsfehler Mikrowellenprofiler
 - Zufällige Ungenauigkeit Mikrowellen-Gasabsorptionsmodell
 - Fehler durch Dämpfungskorrektur (Radar)
 - Ungenauigkeit dBZ-LWC Beziehung

- Kovarianzmatrix S_1**
- Statistische Abweichung des aktuellen Temperatur- und Feuchteprofils bzgl. der räumlich und zeitlich nächst-gelegenen operationellen Radiosonde

IPT-Genauigkeiten



- durchgezogen: mittleres IPT-LWC Profil aller BBC1 Fälle
- gestrichelt: mittleres LWC Profil bei Anwendung eines einfachen Algorithmus, welcher das Z-Profil innerhalb der Wolke mit dem LWP linear skaliert (durch a priori Zusatzinformation wirkt IPT-LWC Profil realistischer)
- schattiert: mittlere, zufällige IPT-LWC Fehler bestimmt aus den **S** Matrizen jeder Lösung



- schattiert: mittlerer, zufälliger T bzw. q Fehler der IPT während BBC1
- gestrichelt: mittlere, zufällige Differenz zwischen dem a priori Profil (operationelle Radiosonde) und dem IPT-Profil
- die Differenzfläche zwischen Fläche durch gestrichelte Linie begrenzt und schattierter Fläche ist der Informationsgewinn der Fernerkundung
- rote/grüne Linien: systematische Differenzen zwischen a priori Profil und IPT-Profil bei Benutzung des Gasabsorptionsmodells nach Rosenkranz bzw. Liebe
- Feuchteprofilierung stark abhängig von Absorptionsmodell, **Evaluation und Weiterentwicklung von Absorptionsmodellen dringend erforderlich!**