

Wissenschaftliche Mitteilungen

aus dem
Institut für Meteorologie der Universität Leipzig



ISBN 3-9807315-7-X

Tethered-Balloon Borne Turbulence Measurements in the Cloudy Boundary Layer

Holger Siebert

Leipzig 2002

Band 28

Zusammenfassung

Turbulente Austauschprozesse an Wolkenoberkanten spielen eine bedeutende Rolle für die Entwicklung der wolkenmikrophysikalischen Parameter wie Tröpfchengrößenverteilung und Flüssigwassergehalt. Besonders die Tröpfchengrößenverteilungen in den obersten Wolken-schichten sind für den Energiehaushalt der Erde von großer Bedeutung, da dort z.T. die einfallende kurzwellige Sonnenstrahlung reflektiert wird. Die Strahlungseigenschaften der Wolke können durch Einmischung von trockener Luft von Bereichen oberhalb der Wolke signifikant modifiziert werden.

Diese Mischungsprozesse haben verschieden Ursachen wie z.B. Windscherung, aber auch lokale Abkühlung an der Wolkenoberkante durch Verdunstungseffekte und dadurch resul-tierendes Absinken von einzelnen Luftpaketen. Das Einmischen geschieht oft sporadisch und auf räumlichen Skalen von einigen Dekametern bis hinab in den mm-Bereich.

Bisher gibt es nur wenige – zumeist flugzeuggestützte – Messungen von Wolkenparametern mit einer räumlichen Auflösung im cm-Bereich; die meisten Messungen in Wolken sind auf eine Auflösung von wenigen Metern limitiert und können somit die oben genannten Prozesse nicht auflösen. Um die räumliche Auflösung zu erhöhen, bieten sich bei gleicher Abtastrate der Sensoren langsam fliegende Plattformen als Systemträger an. In dieser Arbeit wird eine neuentwickelte Plattform für Turbulenzmessungen in Wolken vorgestellt, welche für den Einsatz unter Fesselballonen konzipiert ist.

In einer Reihe von Labor- und Feldexperimenten wurde die Wolkentauglichkeit und generelle Leistungsfähigkeit von geeigneten Sensoren untersucht. Es wurde eine minimale Abtastfrequenz von 100 Hz für Messungen des dreidimensionalen Windvektors, der Tem-peratur, Luftfeuchte und des Flüssigwassergehalts in Wolken angestrebt. Dies ermöglicht bei typischen Windgeschwindigkeiten von 10 m s^{-1} eine theoretische räumliche Auflösung von 10 cm. Zum Teil werden identische Meßgrößen von verschiedenen Sensoren mit un-terschiedlichen Zeitkonstanten abgetastet, sodaß sowohl ein genauer, aber langsamer, Ref-erenzwert als auch eine schnelle Messung zur Verfügung stehen. Während der Windvektor mit einem kommerziell erhältlichen Ultraschallanemometer gemessen wird, wurden für die Temperatur- und Feuchtemessungen speziell für den Wolkeneinsatz angepaßte Sensoren en-twickelt.

In ersten Feldexperimenten an der Nordseeküste wurde die generelle Tauglichkeit des Systems nachgewiesen. So konnten z.B. in einer abgehobenen Nebelschicht Feinstrukturen in Temperatur und Flüssigwassergehalt auf Skalen von z.T. deutlich unter einem Meter gemessen werden. Einzelne Nebelereignisse oberhalb der kompakten Nebelschicht korre-lierten mit lokalen Temperaturerhöhungen von nur etwa 50 mK.

Contents

1	Introduction	1
1.1	The Cloud-Topped Boundary Layer	1
1.2	Field Experiments	3
1.3	Tethered-Balloon-Borne Systems for Fine-Scale Measurements	4
1.4	Intention and Structure of this Work	6
2	Theory	7
2.1	Basic Concepts	7
2.1.1	Fourier Transformation and Spectral Analysis	7
2.1.2	Structure Functions	9
2.1.3	The Atmospheric Energy Spectrum and the Inertial Subrange	9
2.2	Time Series Analysis	10
2.2.1	Discrete Sampling and the Nyquist Frequency	10
2.2.2	Data Conditioning: Aliasing, Red Noise, and Windowing	10
3	Experimental Setup	14
3.1	Sensor Overview and Platform Design	14
3.1.1	Sensors	14
3.1.2	Platform Design	15
3.2	Wind and Temperature Measurements with Ultrasonic	16
3.2.1	Design of the Solent HS Sonic	17
3.2.2	Laboratory and Field Experiments with the Solent HS Sonic	19
3.2.3	Sonic Measurements Under Cloudy Conditions	31
3.2.4	Summary of the Sonic Performance	36
3.3	Fast Temperature Measurements in Clouds with Fine-Wire Sensors	37
3.3.1	Adiabatic Heating and Sensor Wetting	38
3.3.2	Design of the New Ultra Fast Thermometer (UFT-B)	39
3.3.3	Wind Tunnel Tests with the UFT-B	46
3.4	Humidity Measurements	63
3.4.1	Lyman- α Hygrometer	63
3.4.2	Capacitive Hygrometer	65
3.4.3	Calibration and First Tests of the Lyman- α Hygrometer	65
3.5	Microphysical Measurements	68
3.5.1	Aerosol Particle Measurements	68
3.5.2	Liquid Water Content Measurements	71
3.6	Attitude and Position Measurements	72
3.6.1	Coordinate Systems and Transformations	73
3.6.2	Inertial Navigation System (INS)	75
3.6.3	Global Positioning System (GPS)	75
3.6.4	Barometric Height	77
3.7	The Tethered-Balloon System 'MAPS-Y'	78

4 Experiences and Results from First Test Flights	80
4.1 Case Study of a Lifted Fog Layer	81
4.2 Dynamic Behaviour of the Platform	82
4.3 Measurements of Turbulence and Microphysical Parameters	87
4.3.1 UFT-B Calibration	87
4.3.2 Fine-Scale Structures of T , u_p , N_p , and LWC - A Case Study	88
5 Summary and Outlook	96
5.1 Summary	96
5.2 Outlook	98
A Appendices	100
A.1 Transformation of Sonic-Axes Velocities	100
A.2 "Tuning-Fork" Effect	101
A.3 Coordinates Transformation	103
List of Figures and Tables	104
Symbols, Constants, and Acronyms	110
References	113
Danksagung–Acknowledgements	123