

UNTERKÜHLTES FLÜSSIGWASSER – LANGZEITLICHE MESSUNGEN AN DER UFS LIEFERN DIE BASIS FÜR VERBESSERTE GLOBALE MESSMETHODEN

STEFAN KNEIFEL¹, ULRICH LÖHNERT¹, BERNHARD POSPICHAL¹, SUSANNE CREWELL¹

¹INSTITUT FÜR GEOPHYSIK UND METEOROLOGIE, UNIVERSITÄT ZU KÖLN, POHLIGSTRASSE 3, 50969 KÖLN

E-MAIL: SKNEIFEL@METEO.UNI-KOELN.DE

Zusammenfassung: Die langjährigen Messungen von Mikrowellenradiometern, Lidar-Ceilometer und Wolkenradar an der UFS lieferten die Basis für die Entwicklung eines neuen Modells für die Absorptionseigenschaften von unterkühltem Flüssigwasser (UFW). Solche Modelle sind essentiell um globale Abschätzungen des UFW zu erstellen und waren in der Vergangenheit mit großen Unsicherheiten behaftet. Eine Verbesserung in der Ableitung von UFW ist besonders bedeutsam, da UFW enorme Auswirkungen auf die Strahlungseigenschaften von Wolken, aber auch auf die mikrophysikalischen Prozesse in Eis- und Schneewolken und nicht zuletzt auf den Schneefall am Boden hat.

Abstract: The long-term observations at UFS of microwave radiometers, lidar ceilometer, and cloud radar have been used to develop a new absorption model of supercooled liquid water (UFW). These models are essential for global retrievals of UFW and suffered from large uncertainties in the past. More accurate retrievals of UFW are of high importance considering its effects on the radiative properties of clouds, ice and snow cloud microphysics, as well as the characteristics of snowfall on the ground.



Abb.1: Mikrowellenradiometer HATPRO (rechts, 22-60 GHz) und DPR (links, 90+150 GHz) auf der Messterrasse der UFS. Die Kombination beider Geräte liefert seit über einem Jahrzehnt kontinuierliche Messungen des Flüssigwasser- und Wasserdampfgehalts der Atmosphäre über der UFS, sowie Informationen über Temperatur-, Luftfeuchteverteilung und Schneefalleigenschaften (Quicklooks zu allen Daten und Produkten frei zugänglich auf: <http://gop.meteo.uni-koeln.de/~hatpro/dataBrowser>).

Bedeutung von unterkühltem Flüssigwasser
Flüssiges Wasser mit einer Temperatur unterhalb des Gefrierpunktes - sogenanntes unterkühltes Flüssigwasser (UFW) - spielt eine herausragende Rolle für die Prozesse in Wolken und für die Niederschlagsentstehung. Jeder der schon einmal eine Mineralwasserflasche im Gefrierfach vergessen hat weiß, wie instabil Wasser in diesem unterkühlten Zustand ist. Öffnet man die Flasche schnell, oder stellt sie mit einem Ruck auf den Tisch, gefriert das instabile flüssige Wasser innerhalb von Sekunden zu Eis. Umso erstaunlicher ist es, dass man kleine flüssige Wassertröpfchen in Wolken bis zu einer Temperatur von -38°C finden kann. Aus langjährigen Satellitendaten wissen wir, dass 50% der Wolken, welche bis zu -30°C

kalt sind, noch UFW enthalten. Das UFW hat einen enormen Effekt auf die Strahlungseigenschaften der Wolken, also ob Sie netto einen kühlenden oder wärmenden Effekt am Boden haben. Erst vor kurzem, zeigte eine Studie (Bennartz et al., 2013), dass niedrige Wolken mit UFW maßgeblich dafür verantwortlich sind, dass fast der gesamte grönländische Eispanzer für einige Tage im Sommer 2012 anschnolz. Daher verwundert es kaum, dass arktische Wolken und deren Wechselwirkung mit UFW eine besondere Rolle in der Diskussion um die sich rapide erwärmende Arktisregion spielen. Aber auch in den Alpen spielt UFW eine enorme Rolle für die Art und Menge des Schneefalls, welcher am Boden ankommt. Studien aus der Schweiz zeigen, dass die Schneeakkumulation am Boden mit dem Grad der Bereifung – eine direkte Folge des UFW – korreliert (Grazioli et al., 2015).

Messung von unterkühltem Flüssigwasser mit Mikrowellenradiometern

In der Regel wird der Gehalt an Flüssigwasser aus Messungen von Mikrowellenradiometern (MWR) (sowohl global von Satelliten, oder vom Boden wie mit den MWR an der UFS) abgeleitet. Grundlage für die Ableitungsalgorithmen ist ein Modell des Absorptionsverhaltens des UFW im Mikrowellenbereich. Normalerweise basieren diese Modelle auf Labormessungen. Jedoch sind solche Messungen, wie weiter oben bereits erwähnt, äußerst anspruchsvoll, da UFW leider auch im Labor gerade bei sehr tiefen Temperaturen äußerst instabil ist. Die momentan verfügbaren Modelle extrapolieren das Absorptionsverhalten ausgehend von Labormessungen bei wärmeren Temperaturen in den unterkühlten Bereich. Naturgemäß ist dieses Vorgehen mit hohen Unsicherheiten behaftet, welche sich direkt in hohe Unsicherheiten in der Ableitung des Flüssigwassergehalts widerspiegeln (Abb. 2). Das heißt, gerade für die Messkanäle mit hoher Sensitivität gegenüber UFW (hohe

Frequenzen) und für besonders kalte Wolken, wo UFW gerade besonders relevant ist, sind die Absorptionsmodelle am ungenauesten.

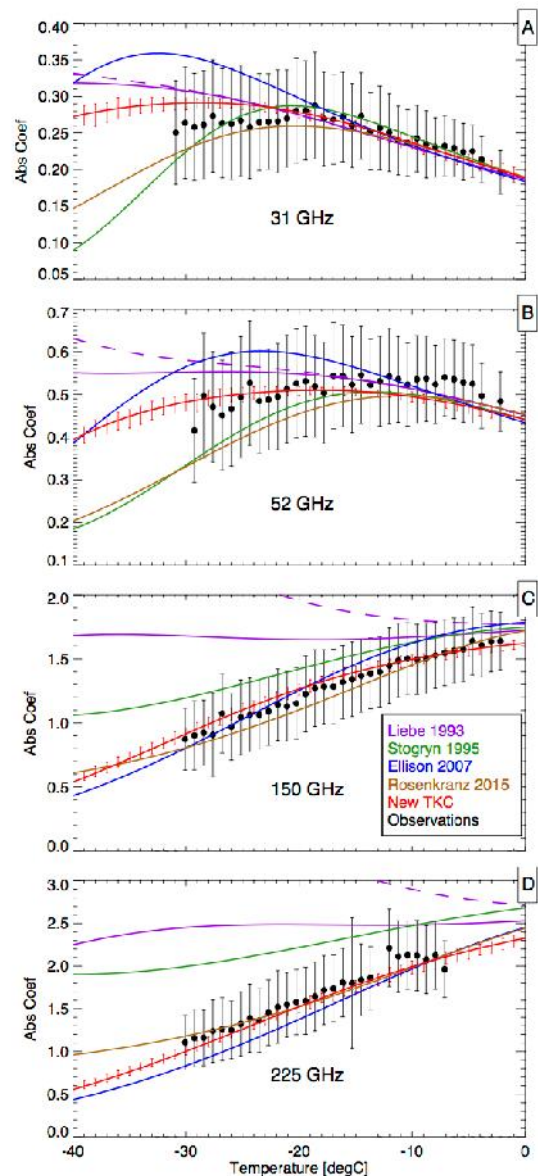


Abb.2: Absorptionskoeffizient von UFW in Abhängigkeit der Temperatur und verschiedenen Frequenzen, welche von MWR am Boden und auf Satelliten genutzt werden. Die verschiedenfarbigen Linien zeigen verschiedene Absorptionsmodelle und deren zunehmende Abweichungen bei höheren Frequenzen und tieferen Temperaturen. Die schwarzen Punkte wurden u.a. mit Hilfe der langjährigen MWR Messungen an der UFS abgeleitet (Kneifel et al., 2014). Damit konnte schließlich ein verbessertes Absorptionsmodell (rot) entwickelt werden (nach Turner et al., 2015).

Die UFS als natürliches Labor für unterkühltes Flüssigwasser

Glücklicherweise gibt es bereits ein natürliches Labor für UFW: die UFS bzw. die Zugspitze. Durch die häufige Hangüberströmung wird die Luft oft rapide abgekühlt und dabei große Mengen an UFW erzeugt, welches mit der Strömung über die Messgeräte an der UFS driftet. An der UFS werden seit über einem Jahrzehnt kontinuierliche Messungen mit zwei MWR (Humidity and Temperature Profiler HATPRO: 22-60 GHz, Dual-Polarization Radiometer DPR: 90+150 GHz, Abb. 1) in Kooperation mit der Universität zu Köln aufbereitet und ausgewertet (z.B. Löhnert et al., 2011). Diese Beobachtungen werden ergänzt durch die ebenfalls über einem Jahrzehnt andauernden Lidar-Ceilometer-Beobachtungen und die mittlerweile 6-jährigen Messungen eines hochempfindlichen Wolkenradars. Dieser langjährige Datensatz von verschiedenen Wolken-Fernerkundungssensoren an einer Bergstation ist weltweit einzigartig. In einer internationalen Kollaboration wurden diese Messdaten von der UFS mit ähnlichen Daten von Summit Station, Grönland kombiniert und nach einem speziellen Verfahren ausgewertet um die bestehenden Absorptionsmodelle zu validieren (Kneifel et al., 2014). Aufbauend auf diesen Ergebnissen konnte in einer Folgestudie (Turner et al., 2015) ein verbessertes Absorptionsmodell für UFW entwickelt werden. In ersten Anwendungstests zeigte sich, dass das neue Turner-Kneifel-Cadeddu Modell (TKC) deutlich geringeren Bias für den Flüssigwassergehalt liefert. Gerade die Reduktion des Bias ist von großer Bedeutung für die globale Assimilation von Mikrowellendaten, wie sie beispielsweise vom Europäischen Zentrum für Mittelfristige Wettervorhersage (ECMW) durchgeführt werden. Auch wenn für spezielle Fragestellungen weitere „echte“ Laborstudien wünschenswert sind, belegen diese Studien eindrucksvoll die große Bedeutung und den großen Nutzen von langen Datenreihen besonders in Hinblick auf die besonderen Bedingungen (z.B. niedriger

Wasserdampfgehalt, häufiges Auftreten von UFW) and der UFS.

Literatur

Bennartz, R., and Coauthors: July 2012 Greenland melt extent enhanced by low-level liquid clouds, *Nature*, 496, 83-86, doi:10.1038/nature12002, 2013

Grazioli, J., and Coauthors: Polarimetric radar and in situ observations of riming and snowfall microphysics during CLACE 2014, *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 13787–13802, doi:10.5194/acp-15-13787-2015, 2015

Kneifel, S, and Coauthors: Absorption Properties of Supercooled Liquid Water between 31 and 225 GHz: Evaluation of Absorption Models Using Ground-based Observations, *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 53, 1028-1045, doi:10.1175/JAMC-D-13-0214.1, 2014

Löhnert, U., S. Kneifel, A. Battaglia, M. Hagen, L. Hirsch, and S. Crewell: A multi-sensor approach towards a better understanding of snowfall microphysics: The TOSCA project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 92, 613–628, doi: 10.1175/2010BAMS2909.1, 2011

Turner, D. D., S. Kneifel, and M. P. Cadeddu: An Improved Liquid Water Absorption Model in the Microwave for Supercooled Liquid Water Clouds, *J. Atmos. Oceanic Tech.*, 33, 33-44, doi: 10.1175/JTECH-D-15-0074.1, 2016

Danksagung

Wir möchten uns an dieser Stelle für die langjährige gute Zusammenarbeit mit der DLR (insb. Dr. Martin Hagen), dem Meteorologischen Institut der LMU München und natürlich dem Team der UFS bedanken, ohne die es unmöglich wäre, eine so lange Datenreihe hochqualitativer Messdaten aufzuzeichnen. Ein ganz besonderer Dank gilt Rainer Haseneder-Lind von der Universität zu Köln und Dr. Till Rehm vom Team der UFS für die technische Betreuung der Fernerkundungsmessgeräte.