GRUAN Referenz-Radiosondendaten für die gesamte Troposphäre und die untere Stratosphäre

M. Sommer, R. Dirksen, C. von Rohden
GRUAN Lead Centre, Richard-Aßmann-Observatorium, Deutscher Wetterdienst, Lindenberg

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

Einleitung

Das erste Referenz-Datenprodukt für Radiosonden des GCOS Reference Upper-Air Network (GRUAN) basiert auf Vaisala-RS92-Messungen von Temperatur, Feuchte, Wind und Druck und ist ausführlich dokumentiert (Dirksen et al., 2014, Immler et al., 2010). Als Referenzmessungen beziehen sie sich auf das SI oder einen akzeptierten Standard, enthalten eine Unsicherheitsanalyse, sind in zugänglicher Literatur dokumentiert sowie validiert. Hauptmerkmal des RS92-Datenproduktes ist dessen Gewinnung aus Rohdaten, an welchen dokumentierte offengelegte Algorithmen angewendet werden, um bekannte systematische Fehler (Biase) wie Sensorträgheit (Time-lag) und solare Strahlung zu korrigieren. Darüber hinaus wird eine umfassende Unsicherheitsanalyse, einschließlich einer Bewertung der Unsicherheit der Korrekturen, durchgeführt. Für GRUAN-Sondierungen werden vor dem Start zusätzlich unabhängige Prüfungen der Radiosonden (Ground Checks) durchgeführt, um die bestmögliche Kalibrierung und Charakterisierung der Sensoren zu gewährleisten.

Strahlungsexperimente

Durch die Strahlung der Sonne werden die Sensoren während der Tagmessungen signifikant erwärmt. Dieser systematische Strahlungsfehler wurde in einer Vakuumkammer im Labor mit zwei RS92 Radiosonden gemessen. Eine der Sonden wurde periodisch dem direkten Sonnenlicht ausgesetzt, während die Sensoren der anderen Sonde als Referenzbezug beschattet blieben. Die Messungen wurden bei verschiedenen Drücken, Ventilationsgeschwindigkeiten und Strahlungsintensitäten durchgeführt. Die Temperaturerhöhung durch das solare Aufheizen wurde als Differenz zwischen dem exponierten und dem schattigen Sensor berechnet. Abb. 1 zeigt den Temperatureffekt als eine Funktion der solaren Strahlungsenergie, skaliert mit dem Druck und der Ventilation.

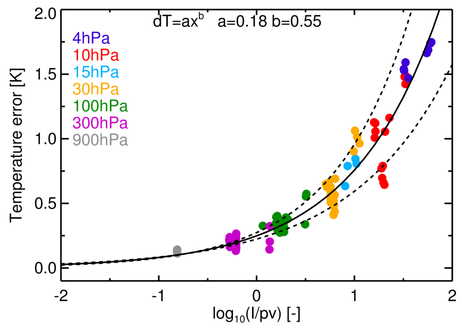

Abb. 1: Temperatureffekt der solaren Strahlung auf den Temperatursensor der RS92 gemessen in der „Strahlungsbox“.

Unabhängige Prüfung

Die standardisierte Feuchtekammer (Abb. 2) enthält feuchtegesättigte Luft als Referenz für Luftfeuchtigkeit. Kontinuierliche Ventilation gewährleistet, dass in der Kammer eine gleichmäßige Feuchte und Temperatur sowie eine Ventilationsgeschwindigkeit vergleichbar zu einer typischen Sondierung vorherrscht. Vor jedem Aufstieg werden die RS92-Sensoren gegen die Sättigung und eine Temperatur-Referenz geprüft. Im Kontrast zum 0%-Feuchtecheck ist die Prüfung bei Sättigung hochsensitiv zu chargen-abhängigen Variationen (Abb. 3).

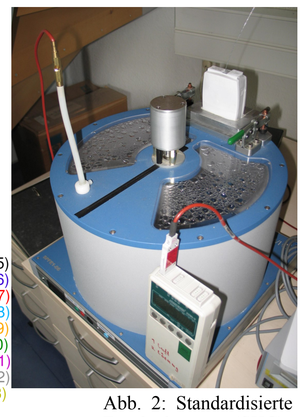

Abb. 2: Standardisierte Feuchtekammer (SHC)

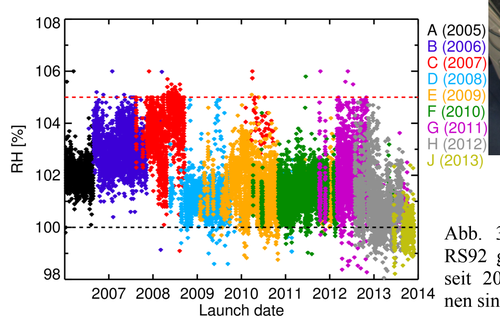

Abb. 3: Relative Feuchte der Vaisala RS92 gemessen im SHC in Lindenberg seit 2006. Chargen-abhängige Variationen sind eindeutig erkennbar.

Temperatur

Die Temperaturmessungen werden bezüglich solarer Erwärmung korrigiert. Es wird ein Korrekturschema verwendet. Dieses basiert auf in Lindenberg durchgeführten Labormessungen (siehe Strahlungsexperimente) und einem Strahlungstransfermodell, welches den aktinischen Fluss abschätzt, der sich auf den Temperatursensor auswirkt.

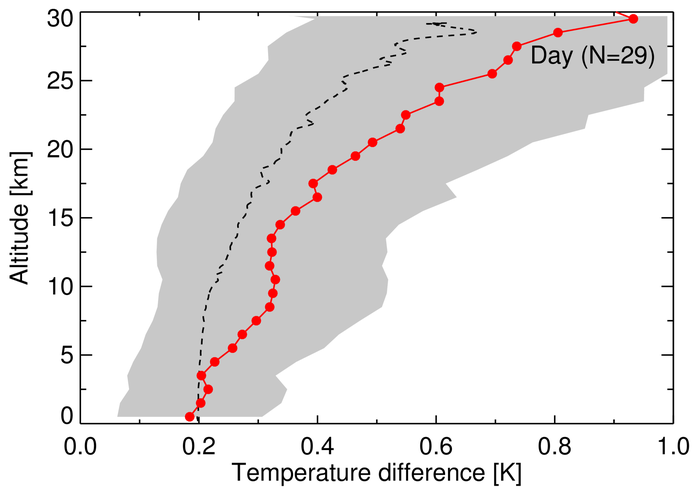

Abb. 4: Reproduzierbarkeit der Temperaturmessungen am Tage, bestimmt durch 29 Doppel-Aufstiege mit RS92-Radiosonden in Lindenberg. Mittlere Differenz (rot), Standardabweichung (grau). Exemplarische Unsicherheitsabschätzung für eine RS92-Temperaturmessung (schwarz).

Die Unsicherheitsanalyse (Abb. 4) berücksichtigt die Reproduzierbarkeit bei der Kalibrierung, die Unsicherheit der Kalibrierung und Rekalibrierung (GC25), sowie die Unsicherheit der Strahlungskorrektur, einschließlich Strahlungsmodell, Lüftung und Ausrichtung des Sensors. Es wird vermutet, dass sich der größte Beitrag zur Unsicherheit aus der Unsicherheit bei der Ausrichtung des zylinderförmigen Sensors relativ zur Einstrahlungsrichtung der Sonne ergibt.

Feuchte

Die Feuchtemessungen (Abb. 5a) werden bezüglich der solaren Erwärmung und der Trägheit des Sensors, welche bei kalten Temperaturen signifikant wird, korrigiert (b). Eine chargen-abhängige Anpassung der Kalibrierung bei kalten Temperaturen wird durchgeführt und erzeugt eine zusätzliche Unsicherheitskomponente der Kalibration. Die Gesamtunsicherheit der Feuchte (c) ist ca. 2,5 %RH in der unteren Troposphäre und erreicht Werte von mehr als 5 %RH in der oberen Troposphäre. Kleinere Messunsicherheiten der Feuchtigkeit in dieser Region sowie in der unteren Stratosphäre können durch Einsatz anderer Technologien, wie z. B. kryogene Frostpunkt Hygrometer (CFH), erreicht werden.

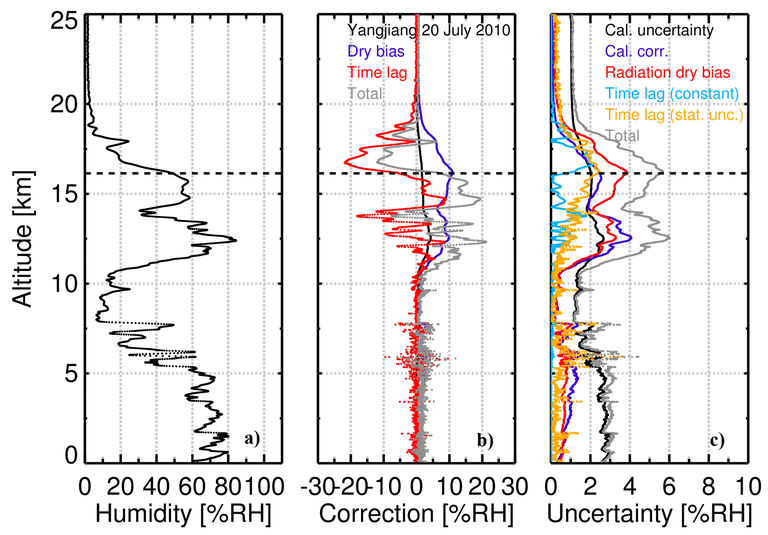

Abb. 5: Beispiel eines RS92-Aufstieges in Yangjiang, China. a: Korrigierte Feuchte. b: Die Korrektur in %RH (grau) mit den Komponenten aus Strahlung (blau) und Trägheit (rot). c: Die Unsicherheit (grau) mit den Komponenten aus Kalibration (schwarz), Korrektur der Kalibration (blau), der Strahlung (rot) und die Trägheit (hellblau und gelb).

Druck und Geopotential

Der Druck wird mittels eines Siliziumsensors gemessen, aber er kann auch aus der GPS-Höhe abgeleitet werden. Die Analyse der Unsicherheit beider Methoden erlaubt eine bessere Bestimmung des Drucks durch die Nutzung der Daten des Drucksensors bei niedriger Höhe und der aus dem GPS abgeleiteten Drücke für große Höhen (Abb. 6).

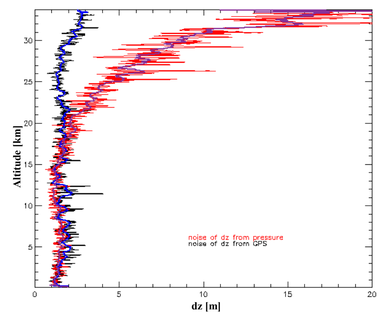

Abb. 6: Rauschen von dz berechnet aus dem Druck (rot) und aus der GPS-Höhe (schwarz). Geglättete Kurven in lila und blau.

Wind

Für die Winddaten, welche aus den GPS-Positionen berechnet werden, wird angenommen, dass sie ohne Bias sind. Die statistische Unsicherheit kann aus dem Rauschen des Signals berechnet werden, welches durch die Pendelbewegung der Radiosonde und dem Rauschen des GPS-Empfängers selbst erzeugt wird (Abb. 7).

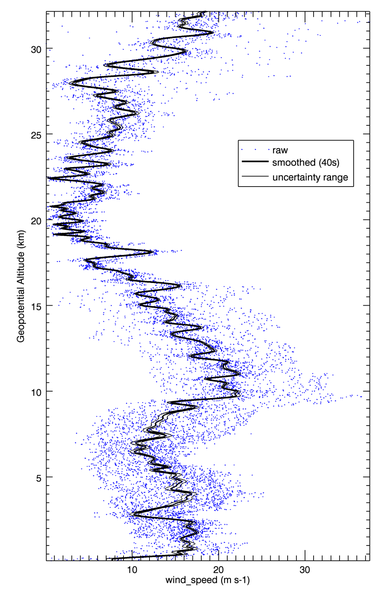

Abb. 7: Rohdaten des Windes vom GPS (blaue Punkte) und geglättete Daten (schwarz) mit den Unsicherheitsbereichen (dünne Linien).

Beispiel: Zeitreihe der Feuchte

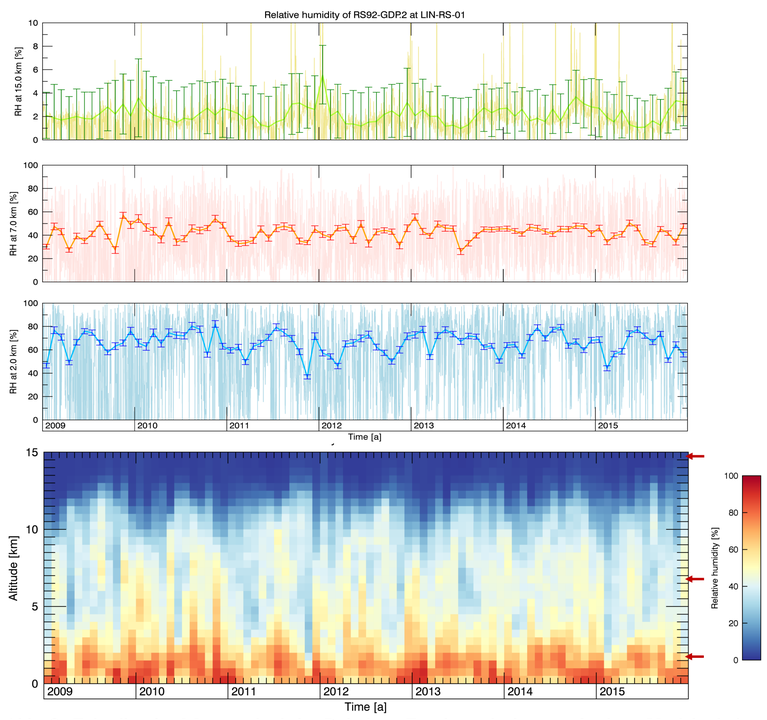

Abb. 8: Zeitreihe der Monatsmittel der Relativen Feuchte mit den zugehörigen Unsicherheiten von der Station Lindenberg (2009 bis 2015). Die Daten wurden auf ein 0,5-km-Raster gemittelt. Oben sind drei Höhenlevel aus dem unteren Plot herausgegriffen: 2 km, 7 km und 15 km.

Verfügbarkeit/Andere Produkte

Zur Zeit werden an 13 von 22 GRUAN-Stationen regelmäßige Radiosondierungen mit der Vaisala RS92 Radiosonde durchgeführt und zentral prozessiert. Daher wurde sie für die Referenzimplementierung eines GRUAN Datenproduktes für Radiosonden ausgewählt.

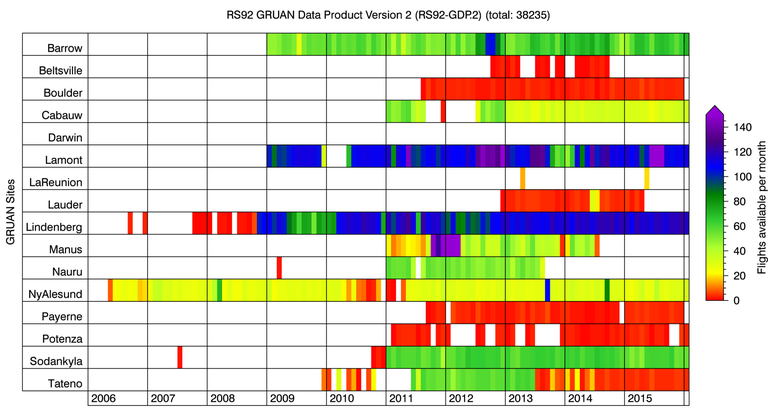

Abb. 9: Verfügbarkeit des RS92 GRUAN Datenproduktes Version 2 (RS92-GDP.2)

In GRUAN werden Sondierungen auch mit vielen anderen Radiosonden durchgeführt, u.a. Vaisala RS41, Meteolabor SRS-C34, Meisei RS-11G, Modem M10 sowie Graw DFM-09. Aktuell werden in GRUAN vergleichbare Produkte für diese Sonden entwickelt und in naher Zukunft bereitgestellt.

Datenweitergabe

Die GRUAN-Daten (Sommer et al., 2012) werden als NetCDF-Dateien zur Verfügung gestellt, welche für jede Variable das Profil der Gesamtunsicherheit, des korrelierten (systematischen) und unkorrelierten (zufälligen) Anteils sowie die effektive zeitliche (räumlich vertikale) Auflösung enthält (Sommer et al., 2016).

Die GRUAN-Datenprodukte sind frei verfügbar. Bitte besuchen sie die GRUAN-Webseite für weitergehende Informationen:

www.gruan.org/data

Referenzen

Dirksen, R. J., Sommer, M., Immler, F. J., Hurst, D. F., Kivi, R., and Vömel, H. (2014): Reference quality upper-air measurements: GRUAN data processing for the Vaisala RS92 radiosonde, Atmos. Meas. Tech., 7, 4463-4490, doi:10.5194/amt-7-4463-2014 .

Immler, F. J.; Dykema, J.; Gardiner, T.; Whiteman, D. N.; Thorne, P. W. and Vömel, H., Reference Quality Upper-Air Measurements: guidance for developing GRUAN data products. Atmospheric Measurement Techniques, 2010, 3, 1217-1231, doi:10.5194/amt-3-1217-2010 .

Sommer, Michael; Dirksen, Ruud; Immler, Franz. (2012): RS92 GRUAN Data Product Version 2 (RS92-GDP.2). GRUAN Lead Centre. doi:10.5676/GRUAN/RS92-GDP.2 .

Sommer, Michael; Dirksen, Ruud; von Rohden, Christoph (2016): Brief Description of the RS92 GRUAN Data Product (RS92-GDP), GRUAN-TD-4, v2.0, 11 February 2016.

GCOS
GLOBAL CLIMATE OBSERVING SYSTEM

GRUAN Lead Centre

Kontakt zu GRUAN
E-Mail: gruan.lc@dwd.de
Internet: www.gruan.org