

# Kurzzusammenfassung

Eine hervorragende Technik Atmosphären erdähnlicher Planeten zu untersuchen ist erdgebundene Heterodyne Spektroskopie im mittleren Infrarot Bereich. Durch die Beobachtung von CO<sub>2</sub> Emissionslinien im nicht thermischen Gleichgewicht bei einer Wellenlänge von 10  $\mu\text{m}$  lassen sich Rückschlüsse auf die Temperaturen und das dynamische Verhalten der zu untersuchenden Atmosphäre schließen. In dieser Arbeit wurde Temperaturen in der Mesosphäre der Venusatmosphäre untersucht. Die beobachteten CO<sub>2</sub> Emissionslinien entstehen durch Anregung mittels optischen Pumpens verursacht durch die Sonneneinstrahlung bei einem Druck von 1  $\mu\text{bar}$  welcher ungefähr einer Höhe von 110 km entspricht.

Die Datenbasis besteht aus 319 Einzelbeobachtungen, die in 11 Kampagnen zwischen 2007 und 2015 aufgenommen wurden. Diese Datenbasis ermöglicht es zum ersten Mal die globale thermische Struktur der oberen Venus Mesosphäre mit einer hohen räumlichen und zeitlicher Auflösung zu untersuchen. Die mit Infrarot Heterodyn Spektroskopie erhaltenen Temperaturen werden im Bezug auf die globale thermische Struktur der Tagseite, kurz-, mittel- und langfristigen Änderungen der Temperatur sowie der thermischen Struktur der Terminatorregion (der Grenze zwischen Tag- und Nachtseite) diskutiert. Außerdem werden die IR-Heterodyn-Ergebnisse mit anderen Beobachtungsmethoden und vorhandenen Zirkulationsmodellen verglichen. Ein Schwerpunkt liegt auf dem Vergleich mit Instrumenten der Venus Express Mission, da diese zu einem ähnlichen Zeitraum (April 2006 bis Dezember 2015) die Venus Atmosphäre beobachteten.

Die in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen der mesosphärischen Temperaturen zeigen eine gute Übereinstimmung mit etablierten Beobachtungstechniken und Modellen. Die herausgefundene Variation der Temperaturen auf unterschiedlichen Zeitskalen deckt sich mit Beobachtungen der Venus Express Mission. Zusätzlich wurde eine deutliche Abhängigkeit der Temperaturen von ihrer Lokalzeit und ihres Breitengrad beobachtet. Diese beobachtete globale thermische Struktur wurde durch andere Techniken und allgemeine Zirkulationsmodelle bestätigt.



# Abstract

Ground-based heterodyne spectroscopy of CO<sub>2</sub> at mid-infrared wavelengths is a powerful tool to study temperatures and the dynamical behavior of the atmospheres of terrestrial planets. Mesospheric non-local thermodynamic equilibrium (non-LTE) emission of CO<sub>2</sub> near 10 μm is observed in the Venusian atmosphere to determine temperatures at a pressure of 1 μbar ~ 110 km. The kinetic temperature can be calculated from the width of the observed lines and is a good proxy for the physical temperature of the emitting gas as long as stimulated emission is negligible.

The heterodyne receivers THIS and HIPWAC have observed Venus during several campaigns in the past decade resulting in a comprehensive set of wind and temperature data. The data presented in this thesis are temperature measurements derived between 2007 and 2015. A total of 319 individual observations were performed in 11 campaigns with an excellent coverage of the Venusian dayside. For the first time, the global thermal structure of the transition region was probed with a spatial resolution of a few degrees only covering an extended time range. The temperatures obtained with infrared heterodyne spectroscopy are discussed in terms of global day-side thermal structure, short-, mid- and long-term changes in mesospheric temperatures, as well as the thermal structure of the terminator region. Furthermore, the IR-het results are compared to other observing methods and existing general circulation models. A focus was on the comparison to instruments from the Venus Express mission, as the data were obtained during a similar time range, i.e. April 2006 to December 2015.

The observations revealed highly variable mesospheric temperatures with strong changes on different timescales as well as a strong local time and latitudinal dependency of the mesospheric temperatures. It was found that the temperatures retrieved with infrared heterodyne spectroscopy coincide well with the previously well-established observing techniques and models. The observed global thermal structure and variability was confirmed by other techniques and general circulation models.