

Zusammenfassung Die Anzahl bekannter Planeten, die um fremde Sterne kreisen, wächst rasant an. Viele dieser Planeten besitzen eine Masse von weniger als zehn Erdmassen und könnten unserem Heimatplanet ähnlich sein. Das Charakterisieren von Exoplaneten basiert üblicherweise auf einfachen Modellen, die die Zusammensetzung, thermischen Eigenschaften, und innere Struktur mit Messgrößen wie der Masse oder dem Radius verbinden. Für diese Modelle wird oft angenommen, dass die Planeten differenziert und dass geochemische Einschränkungen weitgehend vernachlässigbar sind. Diese Herangehensweise ist gerechtfertigt solange Messunsicherheiten auf Massen und Radien gross sind. Es wird jedoch erwartet, dass eine neue Generation von Weltraumteleskopen, wie CHEOPS, JWST oder PLATO, eine noch nie dagewesene Messgenauigkeit erreichen wird. Daher muss die Anwendbarkeit von traditionellen Modellen neu eingestuft werden. In dieser Dissertation präsentiere ich ein neues planetares Strukturmodell, das solche Prozesse berücksichtigt. Das Modell wurde auf Exoplaneten und Objekte im Sonnensystem angewandt.

Die Bedeutung von Silikat-Hydratation und Metall-Hydrierung für das Interpretieren von Masse-Radius Daten wurde untersucht. Es wurde festgestellt, dass die äquivalente Masse von Wasser, die im Innern von Planeten gespeichert werden kann, bis zu einigen Prozent der Masse des Planeten ausmacht. Für Planeten unter drei Erdmassen ist der resultierende Effekt auf den Radius kleiner als fünf Prozent. Weitere Untersuchungen sind notwendig für massereichere Planeten.

Die chemische Zusammensetzung der Venus und ihr thermischer Zustand werden seit Jahrzehnten debattiert. Das Innere der Venus wurde mit dem Ziel untersucht, das Interpretieren von den gesammelten Daten künftiger Weltraummissionen zu unterstützen. Dafür wurde angenommen, dass die Verteilung von Elementen zwischen dem Kern und dem Mantel durch einen einzigen Äquilibrierungs-Prozess gesteuert wurde. Eine grosse Redundanz für Strukturmodelle der Venus verbleibt. Eine Kombination aus genauerer Messung des Trägheitsmoments und gesammelten Daten von künftigen Landmodulen könnten ausreichen, um Unterschiede zwischen der Erde und ihrem Schwesterplaneten aufzuklären.

Wasser-Welten sind interessante Ziele für das Aufspüren von ausserirdischem Leben. Es wurden vollständig differenzierte Modelle konstruiert, um die Strukturen der Hydrosphären bekannter Exoplaneten zu untersuchen. Für Oberflächentemperaturen unter dem kritischen Punkt von Wasser ist die Menge von flüssigem Wasser auf zehn Prozent der Gesamtmasse beschränkt. Dies ist unabhängig von der Masse der Hydrosphäre. Total wurden achtzehn Strukturen für die Hydrosphären von Planeten unter zehn Erdmassen identifiziert. Diese beinhalten die Möglichkeit mehrerer superkritischen Schichten, die zwischen Eisschichten oder den Silikaten eingeschlossen sind.

Die grossen Monde von Jupiter und Saturn könnten unser Verständnis der Entstehung von Wasser-reichen Exoplaneten weiterbringen und sind lukrative Kandidaten für das Aufkommen von ausserirdischem Leben im Sonnensystem. Vorläufige Resultate für das Innere der Galileischen Monde und Titan werden präsentiert. Für Monde, für welche differenzierte Strukturen erwartet werden, können publizierte Zusammensetzungen und Strukturen mittels differenzierter Modelle repräsentiert werden (Io, Europa, Ganymede). Erwartungsgemäss ist dies nicht der Fall für Kallisto und Titan, die wahrscheinlich nur unvollständig differenziert sind.

Interne Wasserreservoirs sollten vernachlässigbar sein, solange Messunsicherheiten für Masse und Radius einige Prozent nicht unterschreiten. Weitere Untersuchungen sind notwendig, um eine Aussage für Planeten über zwei bis drei Erdmassen zu machen. Für terrestrische Planeten könnte das Partionieren von chemischen Elementen zwischen Metal- und Silikat-Phasen enorm wichtig für die Charakterisierung des Inneren sein. Miteinbeziehung dieser Prozesse könnte universelle Tendenzen in der Zusammensetzung als Funktion der Masse zum Vorschein bringen. Massive Planeten könnten weniger oxidiert sein als ihre kleineren Gegenstücke. Dies hätte weitreichende Konsequenzen für die atmosphärischen Zusammensetzungen und Habitabilität zur Folge. Mein Modell stellt ein geeignetes Werkzeug zur Verfügung, mit welchem solche Tendenzen untersucht und die inhärente Redundanz beim Interpretieren von Beobachtungsdaten künftig reduziert werden können.

Abstract The number of confirmed planets orbiting other stars is growing by the week. Many of these planets have masses below ten times the mass of Earth and could be similar to our home planet. Characterization of exoplanets is commonly based on simple interior models that link the bulk composition, thermal state, and structure to remotely accessible parameters such as the mass or the radius. These models often assume fully differentiated interiors and neglect a multitude of geochemical constraints. This approach has been justified in the past as measurement uncertainties of the mass and radius are typically high. However, new generation space telescopes, such as CHEOPS, JWST, or PLATO, are expected to achieve an unprecedented precision. Hence, the applicability of traditional interior models needs to be reevaluated. In this thesis I present a new planetary interior model that incorporates such processes. The model was applied to exoplanets and Solar System objects.

The relevance of silicate hydration and metal hydrogenation for the interpretation of mass-radius data was investigated. It was found that the amount of water equivalent, that can be stored in the interiors, can reach up to several percents of a planet's mass. For planets below three Earth masses, the effects on the radius were found to be below five percent. More research is required for more massive planets.

Venus' chemical composition and thermal state has been debated for decades. The interior of Venus was investigated with the aim to guide the interpretation of data acquired from upcoming space missions. For this it was assumed that the element distribution between the core and the mantle was set by a single equilibration event. Large redundancy in interior models for Venus persist. A combination of better constraints on the moment of inertia and data obtained from future lander missions may elucidate observed differences between the Earth and its sister planet.

Water-worlds are interesting targets for the search of extraterrestrial life. Fully differentiated models were constructed to constrain the hydrosphere structures of known exoplanets. For surface temperatures below the critical point of water, the total amount of liquid water is lower than ten percent of a planet's mass. This is irrespective of the mass of the hydrosphere. A total of eighteen unique hydrosphere structures were identified for planets below ten Earth masses. These include the possibility of multiple liquid or supercritical layers that are encapsulated between ice layers or the silicates.

The major moons of Jupiter and Saturn could further our understanding of the formation of water-rich exoplanets and are promising candidates for the emergence of extraterrestrial life in the Solar System. Preliminary results for the interiors of the Galilean satellites and Titan are presented. Differentiated models are capable of reproducing published compositions and structures for objects that are expected to be differentiated (Io, Europa, Ganymede). As expected, for Titan and Callisto, differentiated interiors are inconsistent with the boundary conditions.

Internal water reservoirs are likely negligible unless measurement uncertainties of the mass and radius drop below a few percent simultaneously. More research is required to make robust predictions for planets above two to three Earth masses. For terrestrial planets, metal-silicate partitioning of different chemical elements could be extremely important for the characterization of the interiors. Including these processes may reveal universal composition trends as a function of the total mass. In particular, more massive planets may be less oxidized on average than their smaller counterparts. This would have far-reaching implications for atmospheric compositions and habitability. My model provides a suitable tool for investigating such trends and for reducing the redundancy inherent to the interpretation of observational data in the future.