

Planetenapp (3D)

Projektarbeit im **Projektkurs Astronomie**

vorgelegt von

Dominik Fuchs & Louis Wüsten

vom

Carl-Duisberg-Gymnasium Wuppertal

am

Schülerlabor Astronomie am Carl-Fuhlrott-Gymnasium

im Schuljahr

2022/23

Betreuender Fachlehrer:

Herr Koch

Termin der Abgabe:

08.05.2023

Unterschrift der Schüler

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
Hintergrund und Motivation.....	1
Hauptteil	2
Grundlagen zur App	2
Funktionsweise	3
Vue.js.....	3
Konzept	5
Benutzung	10
Installationsanleitung.....	14
Hinweise zu selbstsignierten Zertifikaten	16
Besonderheiten von Planeten und deren bekanntesten Monden	17
Merkur	17
Venus	18
Erde	19
Mond.....	20
Mars	22
Ceres	23
Jupiter	24
Io	25
Europa	26
Ganymed.....	27
Kallisto.....	28
Saturn.....	29
Uranus.....	31
Neptun	32
Pluto.....	33
Anhang	34
Glossar	34
Danksagung.....	35
Abbildungsverzeichnis	35
Abbildungsquellen	36
Quellen.....	37
Anlage „Erklärung“:.....	38

Einleitung

Schonmal vorab: Der eigentliche Hauptteil dieser Projektarbeit besteht nicht aus dieser Abgabe, sondern aus der entwickelten App, deswegen wird der schriftliche Teil eventuell etwas kürzer ausfallen als in manch anderen Arbeiten. Außerdem wird der Server momentan auf einem selbst gemieteten V-Server¹ gehostet, jedoch werde ich (Dominik) diesen nicht ewig lang bezahlen, wodurch die App irgendwann nicht mehr erreichbar sein wird. Deswegen wird das Projekt zusätzlich (ab dem 08.05.2023) auf einem Astronomie Laptop vom CFG gehostet, damit ein reibungsloser Übergang möglich ist. Diese App wird für den weiteren Astronomie Unterricht von Nutzen sein.

(momentaner) App Link: <https://cloudster.online>

Empfehlung: Es ist sinnvoll, die App, über den obenstehenden Link, während des Lesens zu besuchen, um erwähnte Funktionen besser zu verstehen.

Zusätzlich kann man sich den gesamten Quellcode auf GitHub ansehen, da wir den Code Open-Source gestellt haben. Das geht über folgenden Link: <https://github.com/domx4q/astroProject>

Hintergrund und Motivation

Mittlerweile gibt es für nahezu für alles eine App. Demnach dachten wir uns, dass es hilfreich wäre, wenn man eine einfach zu verwendende App zur Verfügung stehen hat, womit man sich die verschiedenen Himmelskörper (Planeten, Zwergplaneten und Monde) unseres Sonnensystems angucken könnte.

Deswegen haben wir uns dazu entschlossen eine App zu entwickeln, welche genau das ermöglicht. Die Aufgabenverteilung lief wie folgt:

Dominik Fuchs: Entwicklung der App (erreichbar unter ev3dom@gmx.de)

Louis Wüsten: Erstellung des Datensatzes (erreichbar unter louiswuesten@web.de)

¹ Ein V-Server ist ein virtueller Server, welcher von einem Anbieter (in unserem Fall „Strato“) extern gehostet wird. Dieser hat eine sehr viel schnellere Internetanbindung als ein selbst aufgesetzter Server zuhause. Diese Anbieter verwenden die Virtualisierung, um mehrere Server auf einem realen (physischen) Server anzubieten.

Hauptteil

Grundlagen zur App

In diesem Abschnitt werden die verwendeten Technologien und Ressourcen, so wie Bibliotheken² grundlegend erläutert.

Die App läuft über **Vue.js**. Vue.js ist ein Webframework³ basierend auf **JavaScript**⁴, welches das Entwickeln von Apps deutlich erleichtert. So kann man entweder manuell hunderte Zeilen Code reines JavaScript schreiben, doch das ist sehr aufwendig und fehleranfällig, außerdem ist es hinterher sehr schwer weitere Funktionen hinzuzufügen oder zu ändern, da es sehr umfangreich ist und man schnell etwas übersieht. Andernfalls kann man ein Framework wie Vue.js verwenden, um die Effizienz zu steigern. Weitere Informationen dazu gibt es im Abschnitt *Vue.js*. Außerdem ermöglicht **Node.js**⁵ die einfache Verwendung von Bibliotheken. Wir verwenden aktuell (es können im Laufe der Entwicklung noch welche dazu kommen) 17 Bibliotheken, diese werden wir hier nicht alle auflisten, sondern nur die Essentiellen nennen. Der Hauptteil der App läuft über **Model-Viewer** von Google, diese Bibliothek ermöglicht das Darstellen von 3D-Modellen im Browser. Ohne diese, wäre das gesamte Projekt nicht möglich. Dann nutzen wir noch **Formkit**, welches weitere Eingabemöglichkeiten bereitstellt und für ein modernes Aussehen der Inputs sorgt. Die letzte wichtige Bibliothek ist "**register-service-worker**". Dadurch können wir eine halbwegs persistente App bereitstellen. Die Funktion klappt zwar nur im Chrome Browser, jedoch ermöglicht sie das ‚Installieren‘ der App, so dass der Grundlegende Code auf das Gerät gespielt wird (nur ein paar KB⁶), die Planetenkarten/Texturen und das anfängliche 3D-Modell, benötigen jedoch trotzdem eine aktive Internetanbindung zum Herunterladen. Das waren nun alles **Frontend**⁷ Eigenschaften, jedoch gibt es zu jedem Frontend auch ein **Backend**⁸. Wie schon zuvor erwähnt, verwenden wir Node.js und wie in den Fußnoten vorzufinden, ist Node.js eine serverseitige Anwendung. Das heißt wir lassen im/als Backend Node laufen. Es gab immer wieder Probleme, so dass Node neu installiert werden musste. Da diese Probleme zufällig auftraten, kam es schonmal dazu, dass die App einen ganzen Tag lang offline war. Das ist natürlich nicht Produktionsfertig, weswegen wir uns dazu entschieden haben, noch **Docker** mit ins Backend zu holen. Docker ist eine Open-Source⁹-Container-Plattform, welche

² Eine (meist öffentliche) Ansammlung von Code, welche Funktionen zum erleichterten Implementieren enthält, so dass man nicht jedes Mal alles neu programmieren muss.

³ Ein Webframework vereinfacht sich wiederholende Aufgaben, es kompiliert den Code in optimiertes und minimalistisches JavaScript, jedoch ist dieses im Nachhinein kaum noch zu lesen, doch der Browser versteht es.

⁴ JavaScript (im Folgenden auch als „JS“ bezeichnet) ermöglicht es Websites Logik auszuführen. Eine Website besteht aus HTML, CSS und JavaScript, HTML erstellt die Grundlegende Struktur, CSS sorgt für den Style, also dass die Website gut aussieht, und dann gibt es noch JavaScript. Es ist die einzige Möglichkeit, um Interaktive Websites zu gestalten.

⁵ Alle modernen JavaScript Frameworks basieren auf Node.js. Es wird serverseitig ausgeführt und ermöglicht die schnelle Ausführung von JavaScript Anwendungen, außerdem wird der Paketmanager „npm“ mitgeliefert. Dieser ermöglicht die einfache, schnelle und stabile Verwaltung von Bibliotheken. (Npm wurde bereits 230 Millionen Mal gedownloadet.)

⁶ Kilobyte (1024 Byte); Aufzählung der Größen: [Byte → Kilobyte → Megabyte → Gigabyte → Terrabyte → Petabyte, etc.] jede höhere Stufe besteht aus 1024 der vorherigen, das liegt an den 2er Potenzen.

⁷ Das Frontend ist alles das, worauf der Verbraucher frei zugreifen kann, also die Website und Interne Logik.

⁸ Das Backend ist der Teil des Codes, welcher auf dem Server läuft, der Verbraucher kann auf diesen nicht zugreifen, dieser Teil ist nur für die Entwickler zugänglich.

⁹ Wenn ein Programm Open-Source ist, dann steht der Quellcode öffentlich im Internet zur Verfügung. Diese Programme können meist gar nicht oder nur eingeschränkt kommerziell verwendet werden, geben aber die Sicherheit, dass die Nutzerdaten nicht zweckentfremdet werden. Die Entwicklung von Open-Source Programmen geht meist schneller voran, da nicht nur das eigentliche Entwicklerteam an der Entwicklung beteiligt ist, sondern jeder sich beteiligen kann.

es ermöglicht verschiedene **Container** auf einem **Host**¹⁰-System laufen zu lassen. Dies ermöglicht eine einfache Integration einer Anwendung auf verschiedene Betriebssysteme, da der Container sein eigenes Betriebssystem mitbringt. Außerdem kann man den Container bei Problemen einfach neu aufsetzen, ohne das Host-System zu beeinträchtigen. Zusätzlich nutzen wir noch einen reverse-proxy Dienst namens Nginx, welcher dafür sorgt, dass die App unter <https://cloudster.online> zu erreichen ist.

Das war nun erstmal eine Übersicht, welche Software wir für die App verwenden, im Verlauf, wird auf alles oben Genannte noch detaillierter in den Unterpunkten von *Funktionsweise* eingegangen.

Funktionsweise

Vue.js

Vorteile

Ein großer Vorteil von Vue.js besteht darin, dass man verschiedene „Components“ verwenden kann. Diese ermöglichen es, den Code zu gliedern und zu strukturieren, außerdem kann so sichergestellt werden, dass Snippets¹¹ nicht mehrfach implementiert werden. Ein Component kann statisch sein, oder dynamisch. Man kann zum Beispiel einen statischen Component erstellen, um einen speziellen Button¹² nicht immer wieder neu zu implementieren (um beispielsweise das Aussehen gleich zu halten). Wir haben hier einen kleinen Vergleich erstellt zwischen einem statischen und einem dynamischen Button. Außerdem ist in folgender Abbildung die Vue.js Component Struktur visualisiert:

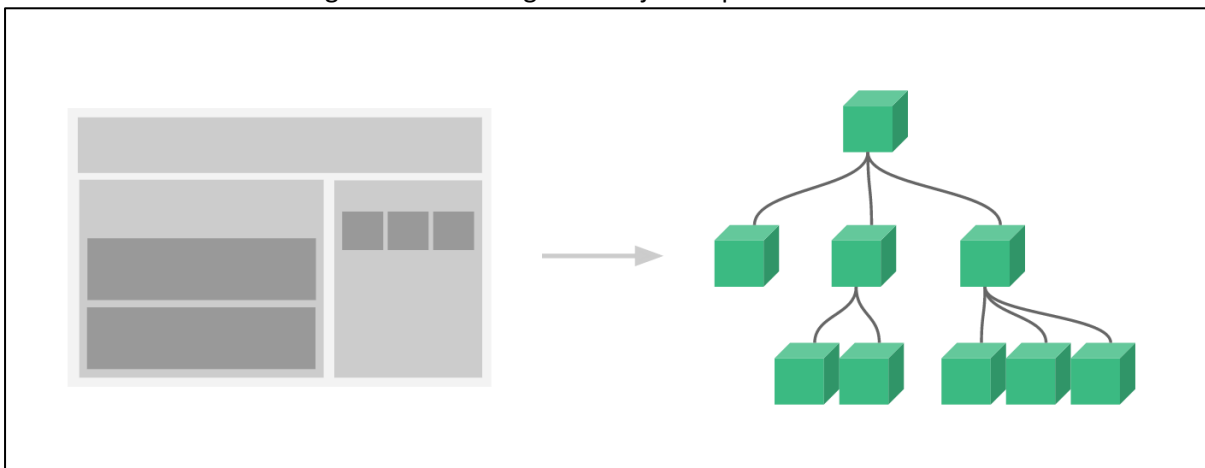


Abbildung 1 - Vue Component Modell

¹⁰ Der Host, ist der Hauptcomputer. Im Kontext Docker, bedeutet das, dass mehrere Virtuelle Computer auf diesem ausgeführt werden.

¹¹ Ein Code Snippet ist ein Ausschnitt aus dem Quellcode. Diese sind häufig Funktionen, welche allgemeine Aufgaben erledigen, oder an mehreren Stellen verwendet werden.

¹² Englisch für Knopf, da es ein Begriff in der Webentwicklung ist, behalten wir den englischen Begriff bei.

Abbildung 2 - Vergleich zwischen Statischen und Dynamischen Component

Components können natürlich viel mehr als nur Knöpfe vordefinieren, oder das Aussehen gleich zu halten. Allerdings sind weitere oder andere Beispiele zu komplex, um sie in dieser Projektarbeit zu behandeln. Hier noch ein schönes einfaches Beispiel für verwendete Components. Es handelt sich um den Dropdown Component der App, doch dieser ist zu umfangreich, um diesen hier zu erläutern. (<https://github.com/domx4q/astroProject/blob/master/src/components/dropdown.vue>)

Unserer Meinung nach ist der größte Vorteil von Vue.js, das reaktive Rendern von HTML-Template Code. Es ermöglicht das einfache Erstellen von HTML-Code mit Variablen¹³, welche sich, ohne es manuell zu implementieren bei Wert-Änderung aktualisieren, dadurch kann man sich auf die eigentliche App beim Programmieren konzentrieren, und nicht darauf, wie man die Werte darstellt. Das Ganze ist nur durch die Reaktivität von Vue möglich, das heißt, wenn wir eine Variable an einer Stelle verwenden, und diese verändern, wird diese auch automatisch an jeder anderen Stelle verändert. Das kann jedoch auch unpraktisch sein, da man so nur sehr schwer eine abgetrennte Kopie einer Variable erstellen kann. Nun folgt ein Beispiel zu HTML-Templates.

¹³ Variablen sind die einzige Möglichkeit im Code Werte zu speichern. Da JavaScript dynamisch typisiert ist, muss (und kann) man nicht, den Variablen Typ festlegen, demnach gibt es nur folgende Typen: Zahlen, Texte, Wahrheitswerte und Objekte. Ein Objekt kann verschachtelt sein, und alle dieser Typen beinhalten.

```

<template>
  <div id="content">
    <p>
      Die Nachricht lautet: <b>{{ message }}</b>
    </p>
    <DynamicButton color="orange" text="Text ändern" @clicked="changeText()" />
    <hr>
    <p>Ein Element kann auch durch html Templates wiederholt werden.</p>
    <span v-for="n in 5" :key="n">Wiederholung: {{ n }}<br></span>
    <hr>
    <p>Nun noch ein kleines Beispiel mit "v-model" und if statements<br>
    Durch diese kann man nicht nur den Text ersetzen, wonach es hier eventuell
    aussieht, sondern ganze bereiche ersetzen.</p>
    <input type="checkbox" v-model="ifTest" name="IF"/>
    <label for="IF">Zum ändern der zu überprüfenden Variable</label><br>
    <p style="color: #008200" v-if="ifTest">Dieser Text wird angezeigt, wenn die
    Checkbox <b><u>an</u></b> ist.</p>
    <p style="color: #ff0000" v-else>Dieser Text wird angezeigt, wenn die
    Checkbox <b><u>aus</u></b> ist.</p>
  </div>
</template>

```

Abbildung 3 - Codeausschnitt: Beispiel: Template Rendering in Vue.js

Daraus entsteht dann diese Website: (Der gesamte Code kann unter https://github.com/domx4q/astroProject/blob/master/src/components/examples/HTML_Template.vue gefunden werden.)

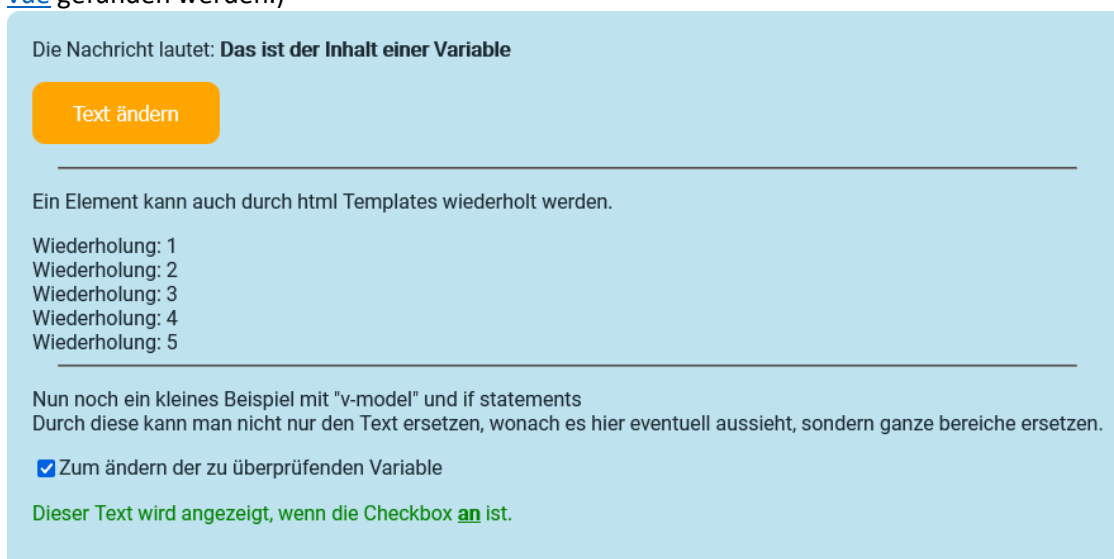


Abbildung 4 - Ausgabe Website vom Beispiel Code zum Template Rendering

Allgemein kann man also sagen, dass Vue.js die Webentwicklung stark erleichtert.

Konzept

Das Prinzip oder auch die Funktionsweise der App ist recht einfach. Zu Beginn war klar, dass wir irgendeine Art **3D-Engine** brauchen. Eine 3D-Engine ist eine Software, welche es ermöglicht, durch wenig Code, Grundformen wie Würfel oder Kugeln darzustellen. Das musste sein, denn ohne, hätten

wir es wahrscheinlich nicht in der Zeit geschafft, eine eigene 3D-Engine zu entwickeln, und auch wenn doch, dann wäre diese bei weitem nicht so gut und vor allem schnell, wie eine seit Jahren existierende von tausenden Entwicklern optimierte 3D-Engine.

Deswegen haben wir uns mal umgesehen, was für unser Projekt funktionieren würde, daraus folgte die Nutzung von Model Viewer. Das ist nicht nur eine simple 3D-Engine, sondern diese ermöglicht das Darstellen von 3D-Modellen im Browser und hat sogar noch eine AR¹⁴ (Augmented Reality) Implementation für Mobilgeräte. Das hat zum einen den Vorteil, dass man auch komplexere Planeten, wie Saturn (inklusive Ringe) darstellen kann, als auch die Möglichkeit das **UV-Mapping** mithilfe von **Blender** zu vollziehen.

Blender ist ein kostenloser Open-Source 3D Allrounder. Mit Blender kann man 3D modellieren, animieren, rendern, Videos bearbeiten und vieles mehr. Blender ist zu Beginn, vor allem für Anfänger sehr unübersichtlich (aufgrund der vielen Funktionen), doch die in diesem Projekt angewandten Schritte, sind auch für Anfänger, nach einer kurzen Einführung nachvollziehbar.

UV-Mapping ist sozusagen das ‚ausrollen‘ eines 3 Dimensionalen Körpers. Die meisten werden noch aus dem Mathematik Unterricht die Netze kennen, das ist grundlegend das gleiche, wie UV-Mapping, bloß das es umgekehrt abläuft. Da man aus einem 2-dimensionalen Element, einen 3-dimensionalen Körper kreiert.

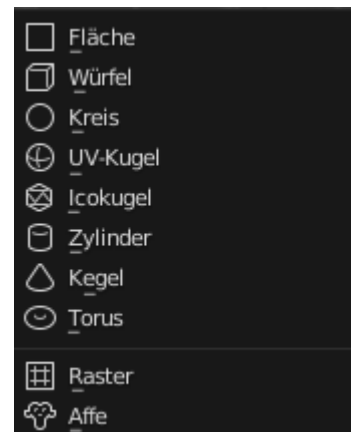


Abbildung 6 - Blender: create --> mesh

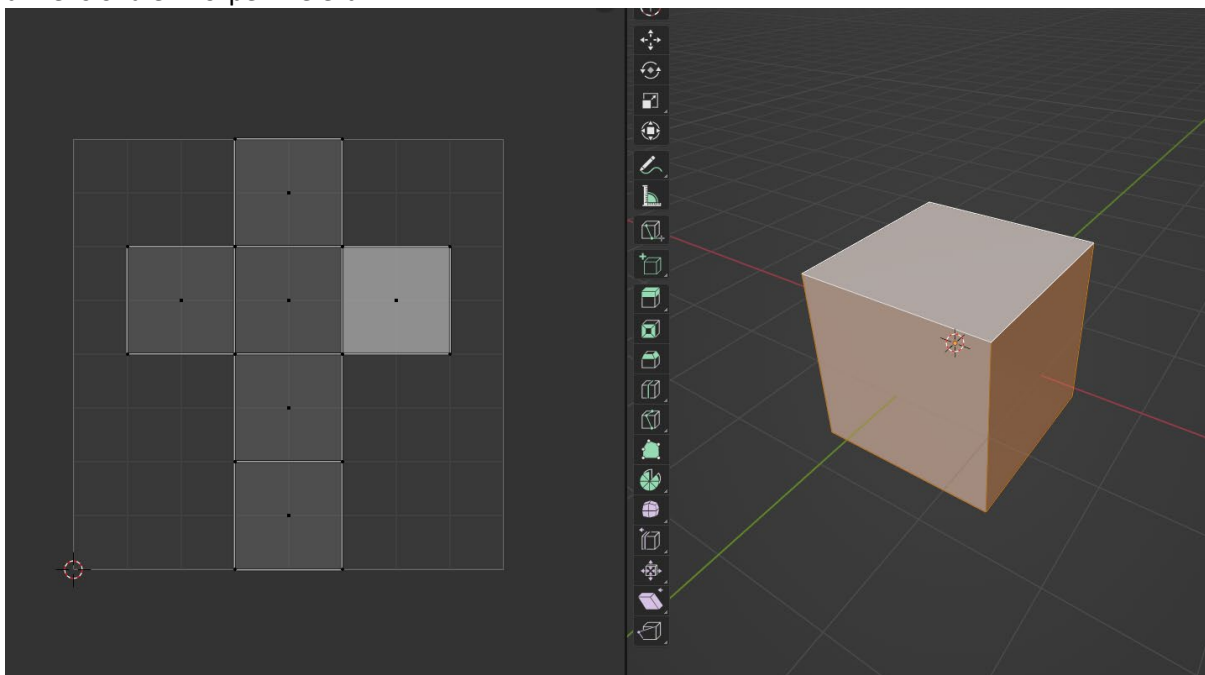


Abbildung 5 - Blender: Beispiel Würfel UV-Mapping

Das war nun das wohl simpelste 3D Modell, jedoch wird dadurch die Beziehung zu den Netzen und das grundlegende Prinzip des UV-Mappings klar. Es funktioniert mit jedem **Mesh**¹⁵, wenn man Mesh-Primitives nutzt, ist es sogar schon für die meisten Zwecke optimal vorgegeben (Beispiel: Würfel

¹⁴ Augmented Reality, ist eine Technologie, welche durch die Kamera von Geräten ermöglicht wird. Ein Algorithmus bestimmt mithilfe der Kamera und den Beschleunigungs- und Orientierungssensoren des Geräts die Lage im Raum, wodurch virtuelle Elemente statisch ins Kamerabild eingefügt werden können.

¹⁵ Das Mesh bezieht sich auf das Grundelement eines 3D-Modells, das aus einer Sammlung von Punkten, Kanten und Flächen besteht. Es ist sozusagen die Topologie, oder Geometrie des 3D-Modells.

(siehe *Abbildung 5 - Blender: Beispiel Würfel UV-Mapping*). Zu den Mesh-Primitives gehören: eine Fläche, ein Würfel, eine Kugel, ein Zylinder, ein Kegel und ein Torus. (siehe *Abbildung 6 - Blender: create --> mesh*) In Blender gibt es noch zusätzlich einen Kreis, ein Iksaeder, ein Raster und einen Affen(-kopf). Alle anderen 3D-Objekte und Strukturen, muss man aus diesen Mesh-Primitives kreieren. Zur Bearbeitung kann man auch einzelne Punkte oder Flächen verschieben. Durch die erstellte UV-Map kann man anschließend eine Textur auf das Modell anwenden (in unserem Fall auch Planetenkarten genannt). Die Textur wird auf das Koordinatennetz unter die Felder auf der linken Seite des Programmes gelegt. Die Felder sind, mit denen auf der rechten Seite verknüpft und übertragen die Informationen. Das sähe dann so aus:

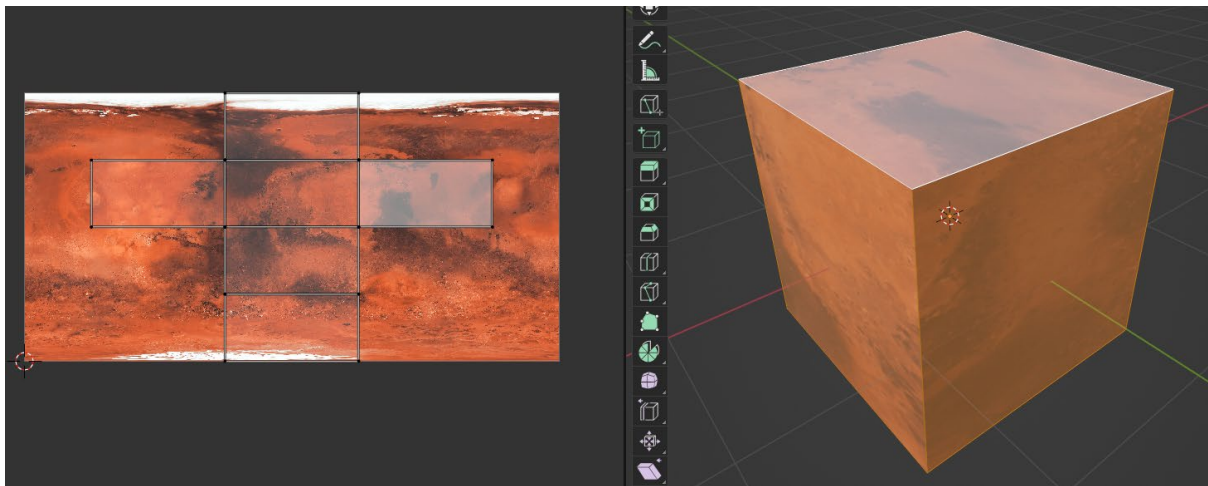


Abbildung 7 - Blender: Würfel mit Mars Textur

Das ist nun noch keine korrekte Projektion, da die Mars-Textur nicht für einen Würfel, sondern für eine Kugel ausgelegt ist. Der Würfel diente nur zur Veranschaulichung des Prinzips. Hier noch ein Bildschirmfoto von einer Kugel mit der Mars-Textur. (Wurde zur Erläuterung extra vermieden, da es ziemlich unübersichtlich ist.)

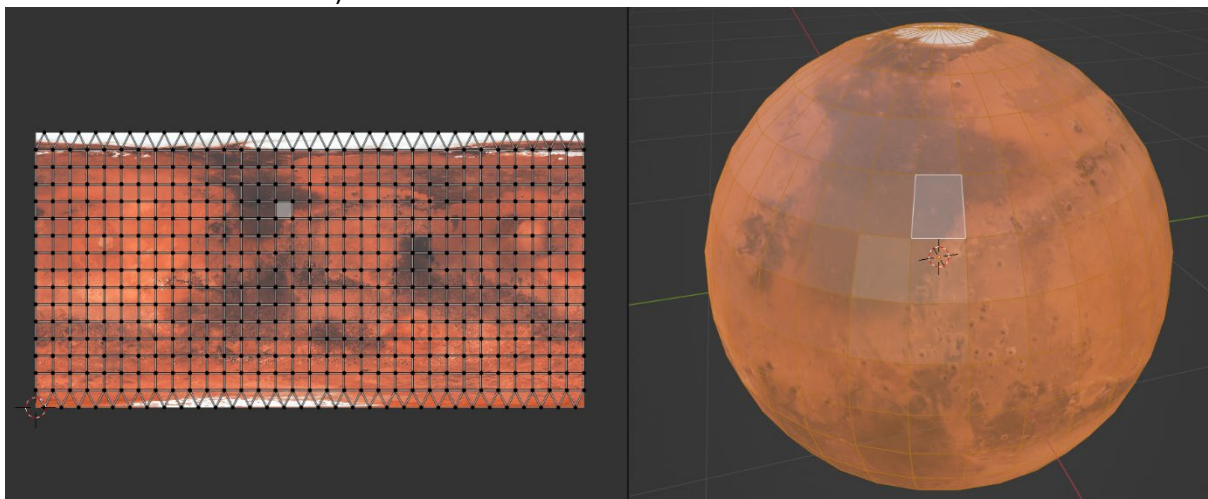


Abbildung 8 - Blender: Mars

Da nun das Konzept des UV-Mappings nachvollziehbar sein sollte, kommen wir zum weiteren Aufbau der App. Wie zu Beginn dieses Abschnitts angesprochen, nutzen wir nun die 3D-Engine namens Model Viewer, welche uns das Visualisieren von 3D-Modellen im Browser erlaubt. Das ist schonmal der Grundstein für die App.

Der Ablauf innerhalb der App, sieht (stark vereinfacht) so aus: Zuerst, wird die App initialisiert, dabei werden verwendete Bibliotheken geladen und die App baut sich selbst auf (das dauert bis zu

430ms). Sobald das erledigt ist, werden die entsprechenden Ressourcen vom Server geladen. Der eigentliche Code, kann zwar per Service-Worker auf dem Client gespeichert werden und muss demnach nicht jedes Mal neu geladen werden, doch die 3D-Modelle und die hochauflösenden Planetentexturen sind zu groß dafür. Deswegen kann die App auch nur Semi-offline funktionieren. Also wird zunächst das 3D-Modell einer perfekten Kugel geladen, und anschließend die erste Planetentextur (bei uns immer der Jupiter, da das unser eigentliches Ziel der App war (den Jupiter zu visualisieren)) geladen. Das kann je nach Internetverbindung von einer Sekunde, zu einer Minute lang dauern. Wenn die Schritte erledigt sind, dann kann der Nutzer schon mit der Erkundung des Planeten beginnen. (Wir sprechen meist von Planeten, auch wenn Monde beobachtet werden können, jedoch haben die Planeten einen höheren Stellenwert.) Wenn der Nutzer nun einen anderen Planeten auf der linken Seite auswählt, wird wenn es kein spezieller Planet, wie der Saturn ist (welcher ein anderes 3D-Modell, aufgrund seiner Ringe nutzt), die entsprechende Textur geladen. Diese wird anschließend mittels JavaScript auf das aktuelle 3D-Modell projiziert. Da wir nur einheitliche Texturen verwenden, reicht es, dass wir nur die Textur und nicht auch die UV-Map oder das 3D-Modell auswechseln.

Das macht in etwa die Hälfte der App aus, da so schon die Möglichkeit zur Ansicht verschiedener Planeten besteht. Die großen beiden anderen Bereiche der App, sind zum einen die Hotspots (Markierung auf dem 3D-Modell) und die Planeten Informationen (siehe *Abbildung 9 - App: Planeten Informationen (Jupiter)*).

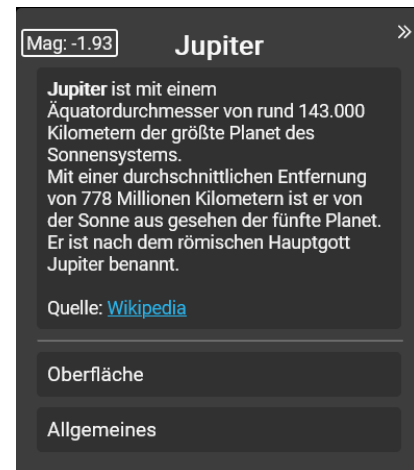


Abbildung 9 - App: Planeten Informationen (Jupiter)

Die Planeten Infos bestehen aus 2 Teilen und sind recht einfach zu implementieren gewesen. Der erste Teil, ist der obere /auf dem Screenshot geöffnete Abschnitt. Dieser zeigt allgemeine Informationen von Wikipedia an. Zuerst war die Idee, in diesem Abschnitt „Beschreibung“ kurz in ein paar Sätzen allgemeine Informationen bereitzustellen, doch wir dachten uns, dass es doch praktischer sei, wenn diese Informationen automatisch abgerufen werden, da diese so auch aktuell bleiben. Deswegen haben wir uns dazu entschieden, die gleiche API¹⁶, die auch Google verwendet, zu nutzen. So nutzen wir also die Wikipedia API, welche uns den ersten Abschnitt des verlinkten Wikipedia Artikel zurückliefert. Dadurch sind die Informationen immer auf dem neusten Stand (falls es eine Neuerkenntnis zu besagtem Objekt gibt). Hier nochmal der Vergleich zum Google Embed:

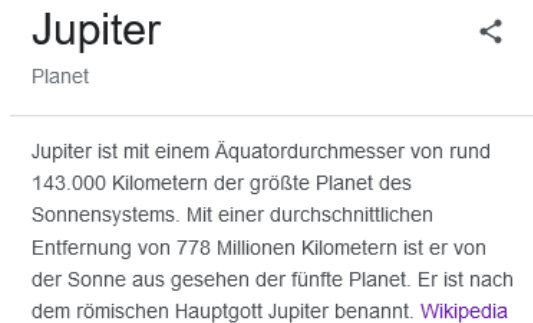


Abbildung 10 - Google Embed zum Jupiter

Demnach müssen wir in unserer Konfiguration nur noch den Link zum entsprechenden Himmelskörper angeben, und der Rest geschieht automatisch. Auf diesen verweisen wir auch direkt, damit man bei Bedarf schnell an weitere Informationen kommen kann.

¹⁶ Eine API engl. (Application Programming Interface) oder zu Deutsch Programmierschnittstelle, ermöglicht einen einfachen Datenaustausch zwischen verschiedenen Diensten.

Der zweite Teil der Planeten Informationen besteht aus den manuell konfigurierten Dropdowns. Diese wurden von Louis mittels Wikipedia und anderen Internetquellen mit Daten gefüllt. Die Dropdowns sind so konfiguriert, dass immer nur eins geöffnet sein kann. Also sobald ein neues geöffnet wird, wird das aktuelle automatisch geschlossen, dadurch kommt es nicht zu Überlappungen und die App bleibt aufgeräumt, da der Planet in der Mitte im Mittelpunkt stehen soll. Die Organisation von Informationen haben wir zu Beginn über eine JSON-Datei geregelt, da jedoch sobald eine weitere Information zu einem Planeten hinzugefügt wurde, jeder Planet diese Eigenschaft ebenfalls enthalten musste, haben wir uns im späteren Verlauf dazu entschieden, das Ganze in einer JavaScript-Datei innerhalb eines Objektes zu speichern. Dadurch können Standartwerte für nicht definierte Eigenschaften festgelegt werden, wodurch die Skalierung der App deutlich einfacher wurde. Dadurch entstand zwar der Nachteil, dass es so etwas unübersichtlicher ist, und Objekte anstatt Dictionaries¹⁷ erzeugt werden, doch das war es wert. Ein Objekt wird mithilfe einer Klasse konstruiert. Die Klasse ist sozusagen der Bauplan für das Objekt. Somit ist ein Objekt der gleichen Klasse, immer gleich aufgebaut, die einzigen Unterschiede, sind die gespeicherten Daten. Beispiel:

Wir haben eine Klasse Verkehrsmittel, davon erben beide Klassen Auto und Bus, dadurch haben beide den gleichen Grundaufbau, können aber trotzdem noch weiter angepasst werden. Wenn man nun Objekte mit diesen Klassen erstellt, kann man zum Beispiel beim Auto die Farbe, das Kennzeichen und die Marke festlegen, so kann man zum Beispiel 2 rote und ein grünes Auto erstellen. Da die Busse aber standardisiert sind, reicht es da schon, wenn man nur das Kennzeichen anpasst. Eine so aufgebaute Klassenhierarchie, ermöglicht das leichte Skalieren und Erweitern von Funktionen. Jetzt könnte man beispielsweise der Klasse Verkehrsmittel die Methode „fahre“ hinzufügen, da die anderen Klassen von dieser Erben, können nun auch alle instanziierten¹⁸ Objekte fahren. Im folgendem ist das hier erläuterte Beispiel mithilfe eines Klassendiagramms visualisiert:

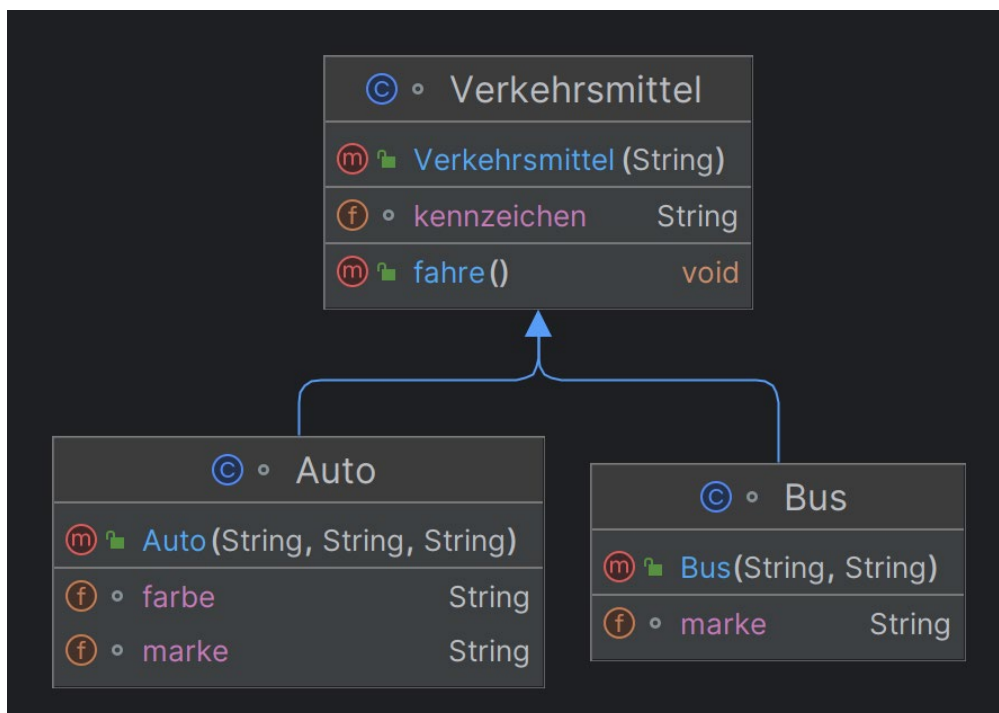


Abbildung 11 - Klassendiagramm Beispiel: Verkehrsmittel

¹⁷ Ein Dictionary in einer Programmiersprache, funktioniert (wie der Name schon sagt), wie ein Wörterbuch. Es gibt zu jedem Wert einen Schlüssel, wodurch eine strukturierte Verwaltung der Daten möglich ist.

¹⁸ Das Erstellen einer Instanz geschieht, bei der Erstellung eines Objektes. Es ist sozusagen das Duplizieren einer Blaupause.

Nun zum letzten großen Bereich der App (die Hotspots). Die 3D-Engine Model Viewer, beinhaltet bereits die Möglichkeit Hotspots hinzuzufügen, dazu muss ein gewisses Code Snippet mit dem Positionsvektor, dem Normalvektor und dem anzuzeigenden Text ausgefüllt werden. Doch das war gar nicht so einfach, da man als Nutzer zwar zwei Werte vorgeben konnte (höhe und breite/tiefe), doch ein Wert musste berechnet werden, da die Markierung exakt auf der Oberfläche liegen sollte, also nicht drunter und auch nicht drüber schweben. Das habe ich (Dominik) 2 Wochen lang versucht, habe Lehrer nach möglichen Gleichungen gefragt, doch es hat einfach nicht funktioniert. Außerdem hätten wir auch, wenn wir dieses Problem gelöst bekommen hätten, immer noch ein Problem. Denn der Normalvektor wird auch noch benötigt. Dieser gibt die Orientierung/Rotation des Punktes an. Bei einer Fläche könnte die 3D-Engine, anhand der gegebenen Punkte, den Normalvektor berechnen, doch wir geben schließlich nur einen Punkt, weswegen die 3D-Engine nicht weiß, wie der Punkt orientiert ist. Das hat zur Folge, dass nicht festgestellt werden kann, ob der Hotspot angezeigt werden soll, oder nicht, da nicht bekannt ist, ob sich der Hotspot hinter dem Objekt befindet, oder im Sichtfeld. Aufgrund all dieser Schwierigkeiten sind wir nochmal alle Methoden der Model Viewer Dokumentation (<https://modelviewer.dev/docs/index.html>) durchgegangen und fanden schließlich die Methode „positionAndNormalFromPoint“. Dieser Methode, müssen x und y Koordinaten relativ zum Model Viewer Bereich übergeben werden. Doch zu unserem Glück, kriegt man diese ohne großen Aufwand, aus einem „click event“ heraus. Somit ist unser Vektorenproblem und damit auch das größte Problem in Hinsicht Hotspots gelöst.

Benutzung

Die Benutzung der App sollte eigentlich selbsterklärend sein. Dennoch ist hier ein kurzer Leitfaden, welcher die Funktionen der App auflistet und die Benutzung erleichtern sollte.

Die App kann verwendet werden, sobald folgende Nachricht erscheint:

Abbildung 12 - App: Status: Modell geladen

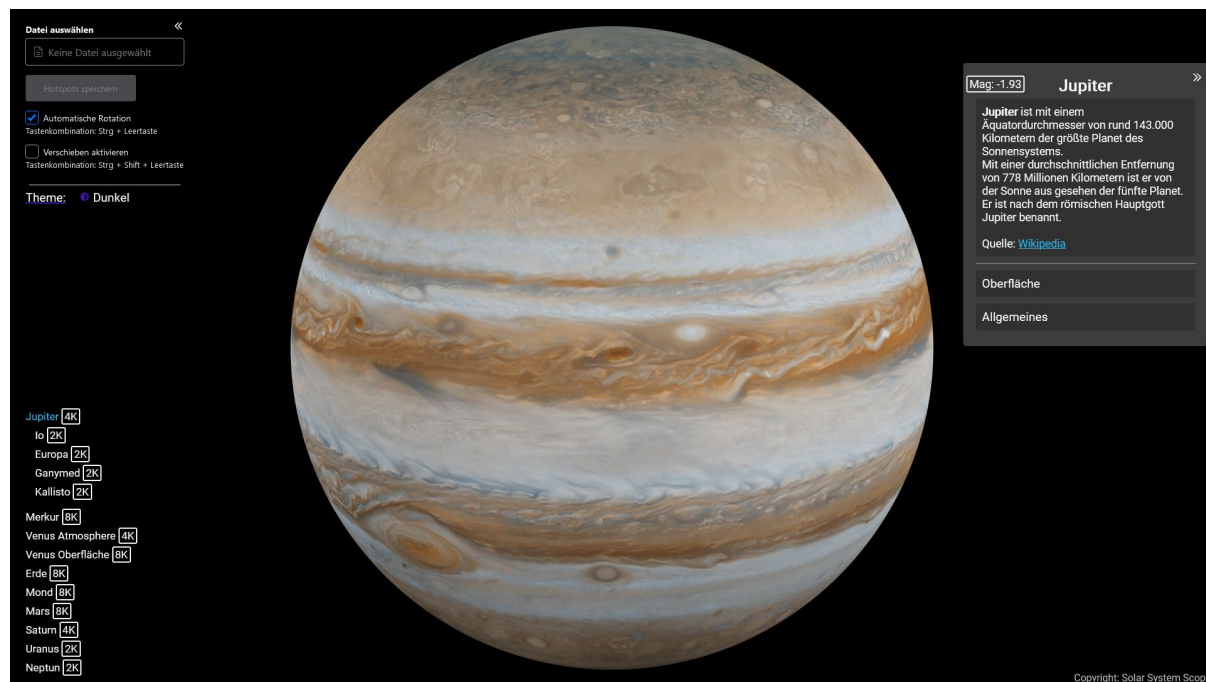


Abbildung 13 - App Screenshot

Wie in *Abbildung 13 - App Screenshot* zu sehen, liegt der Mittelpunkt der App in der Mitte, auf dem präsentierten 3D-Modell. Dort wird der jeweilige Planet oder Mond angezeigt. Um sich das 3D-Modell besser anzugucken, kann man es durch einfaches „greifen“ bewegen. Standardmäßig ist die Automatische Rotation aktiviert, dies kann durch die Checkbox oben links an oder aus gemacht werden. Alternativ funktioniert auch die Tastenkombination: `Strg + Leertaste`. Beim genaueren Beobachten ist es hilfreich, wenn man die automatische Rotation deaktiviert. Zum Erkunden von Details (klappt besonders gut auf dem Mond, da viele Krater und eine hochauflösende Textur vorliegen), kann man die Zoom Funktion verwenden, dazu einfach das Mausrad oder die 2-Finger-Scroll Geste am Laptop nutzen. Dann wird die zweite Option in der oberen linken Ecke hilfreich, die Verschieben Funktion, wenn diese aktiviert ist, kann via Rechtsklick das Modell verschoben werden, außerdem kann auf eine Stelle auf dem Objekt geklickt werden, um diese zu zentrieren. Beim Verschieben wird der Pivot Point verändert, dieser legt den Punkt fest, um den die Kamera sich dreht. Zum Zurücksetzen, kann einfach die Option „Verschieben aktivieren“ ausgeschaltet werden. Zum Aktivieren/Deaktivieren, kann die Tastenkombination: `Strg + Shift + Leertaste` verwendet werden. Die Verschiebung kann ebenfalls durch einen Klick ins nichts, also in den Hintergrund zurückgesetzt werden. Da nun alle 3D-Steuerungen aufgeführt wurden, folgen nun die Steuerelemente, um allgemeine Anpassungen hinzuzufügen.

Unten links kann der Planet ausgewählt werden, dazu genügt ein einfacher Klick auf das jeweilige Objekt. Der aktuelle Planet wird nach oben sortiert und Blau markiert. Rechts neben den Objektnamen, steht die Auflösung der Textur, diese gibt an, wie viele Details zu sehen sind, also desto höher, desto besser. Wir haben zu jedem Objekt, die bestmögliche Textur verwendet. Jedoch sind manche Objekte (meist aufgrund ihrer scheinbaren Größe), wie die Galileischen Monde, nur in recht geringer Auflösung vorhanden, oder mit fehlenden Stellen. Das liegt an fehlenden oder alten Daten. Sobald ein Planet oder Mond ausgewählt und geladen ist, kann dieser beobachtet und erkundet werden. Bei manchen Geräten wird aufgrund der Displaygröße, diese Übersicht ausgeblendet, dann können die Objekte über eine Auswahl im links oben hervorgehobenen Bereich ausgewählt werden. Auf der rechten Seite, werden passend zur Auswahl, Informationen zum Planeten angezeigt. Es wird dick der Name und die Magnitude¹⁹ angegeben, darunter allgemeine Informationen von Wikipedia, mit einem Link zum passenden Artikel. Darauf folgt nach dem ersten Abschnitt eine Liste an Informationsbereichen. Diese fungieren als Dropdowns, welche sich durch Draufdrücken öffnen lassen. So kann man schnell und geordnet Informationen über den Planeten sammeln.

Jetzt noch zum oben links hervorgehobenen Abschnitt (welche schon ein paar Mal erwähnt wurde). Dieser wird von uns auch als Einstellungsabschnitt bezeichnet, da dort alle Einstellungen vorgenommen werden. Ganz oben, kann man eine Datei auswählen, das kann entweder eine Planetentextur, oder eine Hotspot-Datei sein (Informationen zu den Hotspots, folgen anschließend). Dadurch können selbst erstellte oder sogar selbst aufgenommene Planetenkarten angezeigt werden. WinJUPOS ermöglicht zum Beispiel das Erstellen solcher Karten. Am Ende dieses Bereiches, befindet sich ein Schalter, welcher das Seitendesign umschaltet. Für die meisten Beobachtungen ist das dunkle Design besser geeignet, doch manche bevorzugen nun mal auch das Helle. Bei der Beobachtung vom Saturn, empfehlen wir das Helle Thema, da man so die Ringe besser sehen kann.

¹⁹ Scheinbare Helligkeit

Nun zum letzten Benutzungshinweis (den Hotspots):



Abbildung 14 - App Screenshot (Hotspots)

Das oben abgebildete Menü (rechts), kann nur über die Tastenkombination: **Alt + Klick** (aufs Modell) aufgerufen werden. Das ist absichtlich etwas verborgen, damit der normale Nutzer nicht davon verwirrt wird. Somit können Hotspots hinzugefügt werden. Diese bleiben fest an der geklickten Stelle, wodurch Markierungen ermöglicht werden. (Weitere Hotspots, können mit der gleichen Tastenkombination hinzugefügt werden.) Diese können im Unterricht hilfreich sein, wenn Orte oder anderes auf einem Objekt hervorgehoben werden sollen. Alle Informationen müssen direkt nach der Erstellung eingegeben werden, damit diese richtig gespeichert werden können. Nun kommen wir wieder zum oberen linken Abschnitt, wenn das hinzufügen der Hotspots erledigt ist, können diese dort für eine erneute Benutzung gespeichert werden. Beim Klick wird eine Textdatei mit allen erforderlichen Informationen erstellt und dann heruntergeladen. Diese kann nachher über den Dateiuupload Bereich wieder geladen werden.

Das war nun ein Leitfaden zur einfachen (und richtigen) Benutzung der App. Im Folgenden ist noch eine Liste an URLs, welche zusätzlich in der App integriert sind. Diese sind tabellarisch festgehalten, vor den Pfad muss immer noch die Domain (aktuell noch <https://cloudster.online>) ergänzt werden, doch wenn die App selbst gehostet wird, dann anstatt der Domain die entsprechende IP ergänzen. Weitere Informationen dazu sind im Abschnitt *Installationsanleitung* zu finden.

Pfad	Beschreibung
/	Die eigentliche App (der Pfad kann auch weggelassen werden).
/easter	Funktioniert nicht ohne Zusätze, doch Unterpfade sind alles kleine Spielereien.
/easter/clock	Eine einfache Digitaluhr auf schwarzen Hintergrund.
/easter/snake	Das klassische Snake Spiel, einfach mit Vue nachgemacht.
/easter/pacman	Das klassische Pacman Spiel mit Unity nachgemacht.
/easter/reveal	Eine Seite, auf der Antworten erst um eine gewisse Uhrzeit angezeigt werden.
/easter/colors	Eine Spielerei mit dem WebGL-Fluid Skript.
/extra	Funktioniert nicht ohne Zusätze, gruppiert weitere nützliche Seiten.
/extra/stars	Die von Herrn Koch gewünschte Erweiterung, um die Sternenscheibe digital darzustellen.
/extra/example	Die im Abschnitt <i>Vue.js</i> erklärte Beispiel Seite

Alle anderen fehlerhaften Pfade, führen auf eine Fehlerseite, welche den Nutzer nach 10 Sekunden auf dem Start umleitet. Ein ausgefüllter (funktionierender) Link sähe dann zum Beispiel so aus: <https://cloudster.online/easter/pacman>, um die Pacman Seite aufzurufen.

Nun folgen die letzten Hinweise zur Benutzung. In einer weiteren Tabelle sind Limitierungen und Funktionen je nach Endgerät aufgelistet.

	PC/Laptop	Tablet	Handy
Grundlegende Funktionalität	✓	✓	✓
Anzeigen von Planeten Informationen	✓	✗	✗
Hinzufügen von Hotspots	✓	✗	✗
Augmented Reality	✗	✓	✓
Nutzen aller anderen Pfade	✓	✗	✗

Wie schnell zu erkennen ist, ist die App für PCs/Laptops optimiert. Dennoch kann sie auf mobilen Geräten verwendet werden, um zum Beispiel das 3D-Modell in den Raum via AR zu projizieren.

Falls die App selbst gehostet wird, dann sollte, vor der Nutzung der Abschnitt (*Hinweise zu selbstsignierten Zertifikaten*) gelesen werden.

Da bis jetzt immer nur Computer Screenshots der App gezeigt wurden, ist hier noch einer von einem Handy aus aufgenommen (das Überlappende Menü, kann über den doppelten Pfeil eingeklappt werden.):

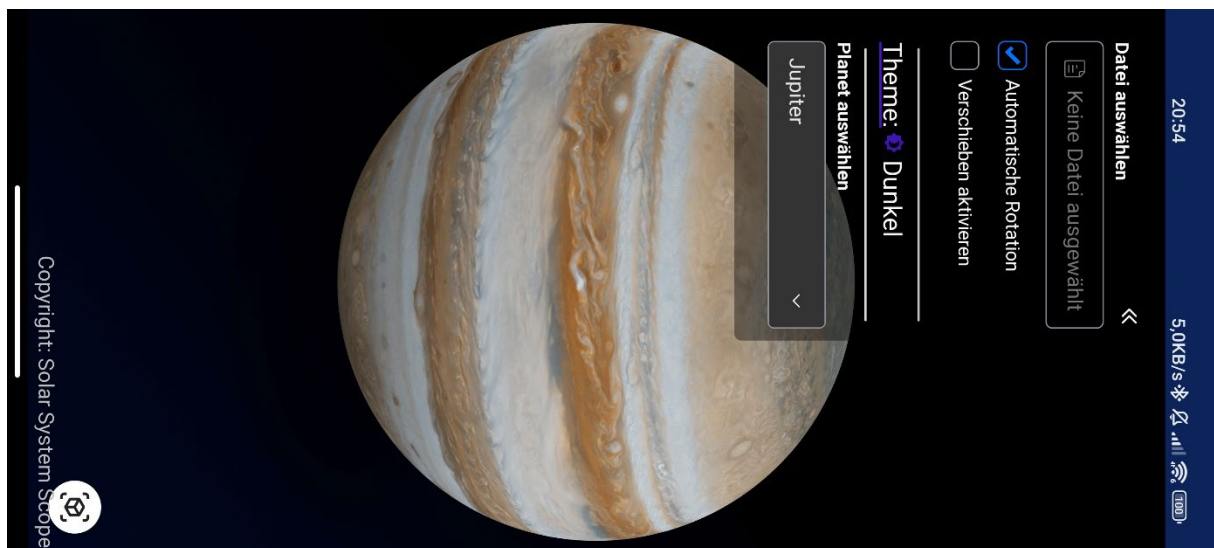


Abbildung 15 - App Screenshot (Handy) (gedreht)

Installationsanleitung

Da für die App viele Programme benötigt werden und das System sehr genau konfiguriert werden muss, damit die App funktionell laufen kann, haben wir ein Docker Image bereitgestellt, mit dem die App unabhängig vom Betriebssystem, installierten Programmen oder getätigten Konfigurationen, betrieben werden kann. Durch diese Gegebenheiten sind die folgenden Schritte sehr kurz und einfach umzusetzen.

1. Docker installieren: Zuerst ist es notwendig, dass Docker installiert wird.
 - a. Herunterladen: Auf die Seite (<https://www.docker.com/>) gehen und den Installer herunterladen.
 - b. Installieren: Nach dem der Download fertig ist, den Installer starten und den Anweisungen folgen.
2. Warten auf Fertigstellung: Nach Fertigstellung der Installation, wird ein Neustart benötigt. Dieser kann direkt mit dem Knopf „Close and restart“ ausgeführt werden. (Die Installation, kann eine Weile dauern)
3. Einrichten von Docker Desktop:
 - a. Bestätigen der Nutzungsbedingungen: Kurz nach dem Neustart, erscheint ein PopUp von Docker, in dem es um das Zustimmung der Nutzungsbedingungen geht, dort auf „Accept“ klicken.
 - b. Überspringen der Personalisierung: Im nächsten Fenster soll festgelegt werden, wofür Docker Desktop verwendet wird, dort unten auf „Skip“ drücken.
 - c. (evtl.) Lösen von WSL-Problemen: Manchmal (unter Windows), kommt es dazu, dass WSL²⁰ nicht richtig konfiguriert ist, in dem Fall, den angegebenen Schritten folgen.
4. Installieren der App: Da nun soweit alles richtig eingerichtet ist, kann nun die App installiert werden, das geht ganz einfach.
 - a. Öffnen eines Terminals: Da Docker ein CLI²¹ ist, muss die meiste Administration per terminal gemacht werden.
 - i. Windows: im Startmenu nach „cmd“ suchen und das Terminal öffnen, oder Win+X und A drücken
 - ii. Linux: Strg+Shift+T drücken
 - iii. MacOS: Launchpad öffnen und nach „Terminal“ suchen.
 - b. Befehl eingeben: Nun muss entschieden werden, ob ein reales Zertifikat verwendet wird, oder nicht. Wenn **kein** kostenpflichtiges extern validiertes Zertifikat vorliegt, kann einfach mit (i.) fortgefahren werden, andernfalls sollte mit (ii.) fortgefahren werden. In den meisten Fällen, wenn die App nur im lokalen Netzwerk laufen soll, genügt es (i.) zu erledigen.
 - i. Folgenden Befehl (exakt) übertragen eingeben:

```
docker run -p 443:3000 -d -it -e SELFSIGNED=true --restart always domx4q/astro:autoGit
```

und mit Enter bestätigen.
(Zeilenumbruch liegt am Dokument, demnach keinen beim Eingeben machen.
Zur Verständlichkeit ist die richtige Formatierung noch als Bild angehängen)

²⁰ WSL (Windows Subsystem for Linux) ermöglicht die virtualisierte Nutzung von Linux innerhalb Windows, trotz der stark variierenden Kernel.

²¹ CLI (Command Line Interface) in Deutsch: Kommandozeile. Ein CLI ist ein Programm, welches über das Terminal anstatt einer GUI (Grafischen Oberfläche) verwaltet wird.

- ii. Folgenden Befehl anpassen und eingeben:

```
docker run -p 443:3000 -d -it -v  
/path/to/certificates/cert.crt:/opt/certs/cert.crt:ro  
-v  
/path/to/certificates/privatekey.key:/opt/certs/cert.k  
ey:ro --restart always domx4q/astro:autoGit
```

(die neuen Zeilen liegen wieder nur am Dokument, deswegen diese nicht übertragen. Zur Verständlichkeit ist die richtige Formatierung noch als Bild angehängen.) Es ist wichtig, dass /path/to/certificates durch den entsprechenden Pfad zum Zertifikat ersetzt wird. Wenn das getan ist, kann der Befehl bestätigt werden.

5. Warten: Die vollständige Installation kann ein paar Minuten dauern.
6. Installation überprüfen: Wenn alle Schritte richtig befolgt wurden, dann kann die App nun (vom gleichen Gerät) unter <https://localhost> erreicht werden. (Es ist auch ein Erfolg, wenn „Warnung: Mögliches Sicherheitsrisiko erkannt“ erscheint, darum geht es im nächsten Abschnitt.)

```
docker run -p 443:3000 -d -it -e SELFSIGNED=true --restart always domx4q/astro:autoGit
```

Abbildung 16 - Installationsbefehl (ohne vorliegende Zertifikate)

```
(base) PS C:\Users\Ev3do> docker run -p 443:3000 -d -it -v /path/to/certificates/cert.cr  
t:/opt/certs/cert.crt:ro -v /path/to/certificates/privatekey.key:/opt/certs/cert.key:ro  
--restart always domx4q/astro:autoGit
```

Abbildung 17 - Installationsbefehl (mit vorliegenden Zertifikaten)

Da die App nun lokal gehostet wird, ist diese **nicht mehr** via <https://cloudster.online> erreichbar. Deswegen muss diese über die Lokale IP Adresse aufgerufen werden. Auf dem Host/Server, also dem Gerät auf dem Docker und die App installiert wurde, kann das einfach über <https://localhost> gemacht werden. „localhost“ steht für die eigene IP, eine alternative wäre <https://127.0.0.1>, doch localhost ist schneller und einfacher zu tippen und zeigt dem Browser, dass es um einen selbst gehosteten Service geht, wodurch dieser der Website mehr Rechte gewährt. Für andere Geräte im gleichen Netzwerk, muss die lokale IP genutzt werden. Jedem Gerät in einem Netzwerk, ist eine IP-Adresse zugewiesen, wodurch die Geräte im gleichen Netzwerk untereinander und mit dem Router kommunizieren können. Ohne IP-Adressen, wüsste der Router gar nicht, an welches Gerät der angeforderte Inhalt (wie eine Website geliefert werden sollte). Die IP, ist also die Gerätekennung. Außerdem ist wichtig, dass jede IP nur einmal vergeben ist, da sonst das gesamte System nicht funktionieren würde. Dann gibt es noch globale/öffentliche IP-Adressen, diese sind von überall über das Internet zu erreichen. Nur der Router ist über die öffentliche IP-Adresse via Internet zu erreichen, andernfalls, gäbe es zu wenig IP-Adressen, wenn jedes Gerät direkten Zugang zum Internet hätte und andererseits wäre es auch eine gewaltige Sicherheitslücke.

Also müssen wir für die anderen Geräte im gleichen Netzwerk, welche auf die App zugreifen wollen, die eigene IP-Adresse (des Servers) rausfinden. Dazu kann folgender Befehl genutzt werden: Zuerst wieder ein Terminal öffnen, dann:

- Windows Befehl: `ipconfig`
- Linux Befehl: `ifconfig`
- MacOS Befehl `ipconfig getifaddr en0`

Aus dem Ergebnis muss nun die IPv4 Adresse ausgelesen werden, das sieht dann wie folgt aus:

```
Drahtlos-LAN-Adapter WLAN:

Verbindungsspezifisches DNS-Suffix: fritz.box
IPv6-Adresse . . . . . : 2003:c5:1709:b400:afdc:39c9:799:c925
Temporäre IPv6-Adresse . . . . . : 2003:c5:1709:b400:c4cd:b016:e73a:865d
Verbindungslokale IPv6-Adresse . . : fe80::350b:3103:762c:cceb%8
IPv4-Adresse . . . . . : 192.168.178.101
Subnetzmaske . . . . . : 255.255.255.0
Standardgateway . . . . . : fe80::1eed:6fff:fe79:f9c8%8
                            192.168.178.1
```

Abbildung 18 - CMD: IPv4-Adresse herausfinden

Wenn man diese herausgefunden hat, kann man von den anderen Geräten die App über (in meinem Fall) <https://192.168.178.101> öffnen. Das Format ist also https://IP_ADRESSE.

Hinweise zu selbstsignierten Zertifikaten

Vorab: Dieser Abschnitt ist nur relevant, wenn kein extern signiertes Zertifikat bei der Installation verwendet wurde, sondern ein selbstsigniertes (Schritt 4b(i.)).

Der Browser wird beim Betreten der App (wie in folgender Abbildung gezeigt), eine Warnung zu einem **möglichen** Sicherheitsrisiko anzeigen.

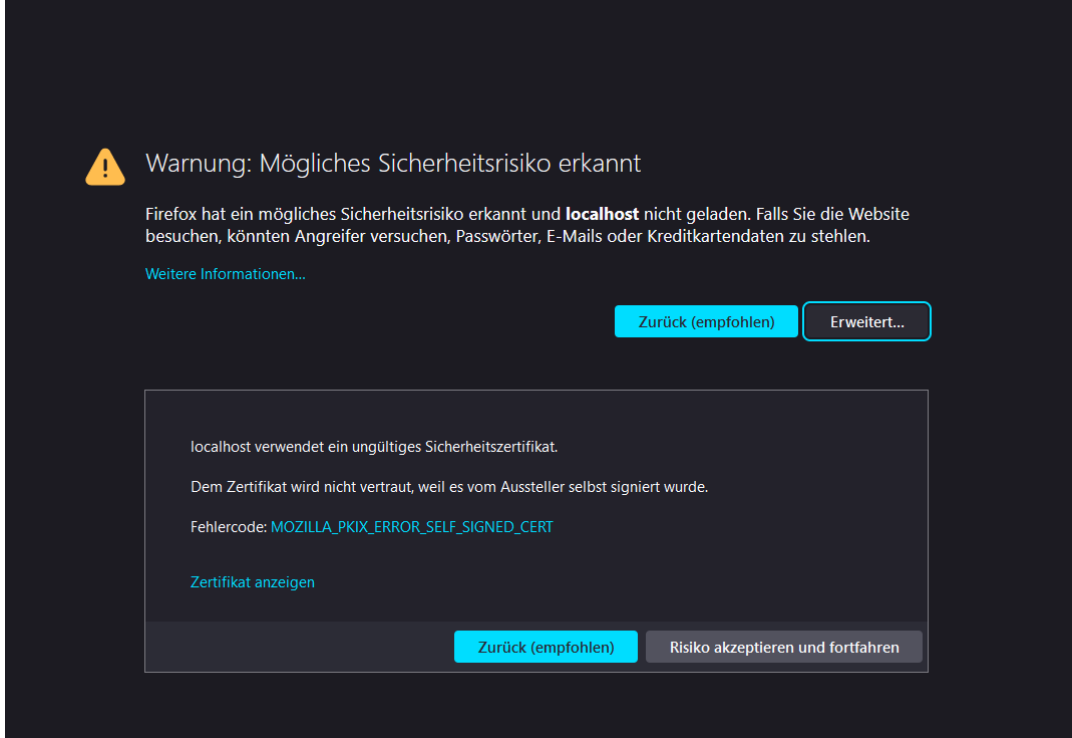


Abbildung 19 - Firefox: Warnung Self-Signed Certificate

Das liegt daran, dass der Code ein selbst signiertes Zertifikat verwendet. Ein SSL-Zertifikat hat zwei Zwecke. Der erste ist die Verbindung abzusichern und zu verschlüsseln. Seiten ohne TLS-SSL-Zertifikat können von Angreifern im gleichen Netzwerk belauscht werden. Dann werden Passwörter, oder andere sensible Informationen im Klartext für jeden einsehbar übers Netzwerk versendet. Wenn man also ein SSL-Zertifikat verwendet, dann ist die Seite und der Nutzer dagegen abgesichert. Der zweite Zweck eines SSL-Zertifikats, ist es zu gewährleisten, dass die Seite die „echte“ ist und keine von Hackern kopierte, welche sich als die richtige ausgibt. Dazu gibt es externe Zertifizierungsstellen, welche (kostenpflichtige) verifizierte Zertifikate ausstellen. Damit kann man

versichern, dass zum Beispiel die Domain <https://www.cloudster.online> Dominik Fuchs gehört. Doch da unsere App nun nicht öffentlich im Internet läuft, sondern nur im lokalen Netzwerk, ist diese Warnung vernachlässigbar. Um die Website trotz Warnung zu betreten, kann wie in *Abbildung 19 - Firefox: Warnung Self-Signed Certificate* markiert, auf den Knopf „Erweitert...“ gedrückt werden und anschließend auf „Risiko akzeptieren und fortfahren“. Wenn das erledigt ist, kann die App ohne Beschwerden ganz normal verwendet werden. (Dieser Schritt muss einmal auf jedem Gerät gemacht werden, welches die App verwenden möchte.)

Besonderheiten von Planeten und deren bekanntesten Monden

Im folgenden Teil werden alle Planeten, Zwergplaneten und Monde, die in der App zu finden sind, beschrieben.

Merkur²²

Der Merkur ist der erste Planet unseres Sonnensystems und somit der mit der schnellsten Umlaufbahn. Die Dauer eines Umlaufes beträgt ca. 88 Tage und ist somit ca. 4,1-mal so schnell wie die Erde. Mit seinem Durchmesser von 4.879 km ist er der kleinste Planet im Sonnensystem und würde 18-mal in die Erde passen. Seine Temperatur schwankt von max. 430°C bis nachts -170°C und hat damit die größten Temperaturschwankungen aller Zeiten. Durch die chemischen Zusammensetzungen von Merkur wird er zu den erdähnlichen Planeten gezählt.

Durch die starke Exzentrizität von 0,2056 hat der Merkur die stärkste elliptische Umlaufbahn als alle anderen Planeten unseres Sonnensystems. Auch die Neigung von Merkur mit 7° ist verglichen mit den anderen Planeten recht groß. Beides ist eher typisch bei den Zwergplaneten wie Pluto und Eris. Aufgrund der Anziehungskräfte von den anderen Planeten ist die Position von Merkur als auch die Bahn leicht anders nach jedem Umlauf, weshalb er eher eine Rosettenbahn als elliptische Bahn verläuft. Um sich nun wieder an der exakt selben Stelle zu befinden, braucht Merkur rund 225.000 Jahre was ebenfalls ungefähr 930.000 Umläufe entspricht. Durch Computersimulationen wurde festgestellt, dass die Bahn von Merkur instabil ist. In einer Milliarden Jahre oder mehr, soll (wenn die Sonne nicht bis dahin zum Roten Riesen geworden ist, was bei 1% liegt) eine der vier Szenarien passieren: Merkur soll erstens in die Sonne stürzen, zweitens er soll in das Universum außerhalb unseres Sonnensystems geschossen werden, Merkur soll mit der Venus oder viertens mit der Erde kollidieren. Durch 1965er Radarbeobachtungen wurde festgestellt, dass Merkur keine wie vorher angenommene gebundene Rotation, sondern eine gerockene gebundene Rotation besitzt und aufgrund dessen ein Tag nicht eine, sondern zwei Umläufe dauert. Neben der Venus ist der Merkur der einzige Planet ohne Mond, jedoch wird durch die Besonderheiten seiner Umlaufbahn und seiner Oberfläche darauf geschlossen, dass Merkur einst

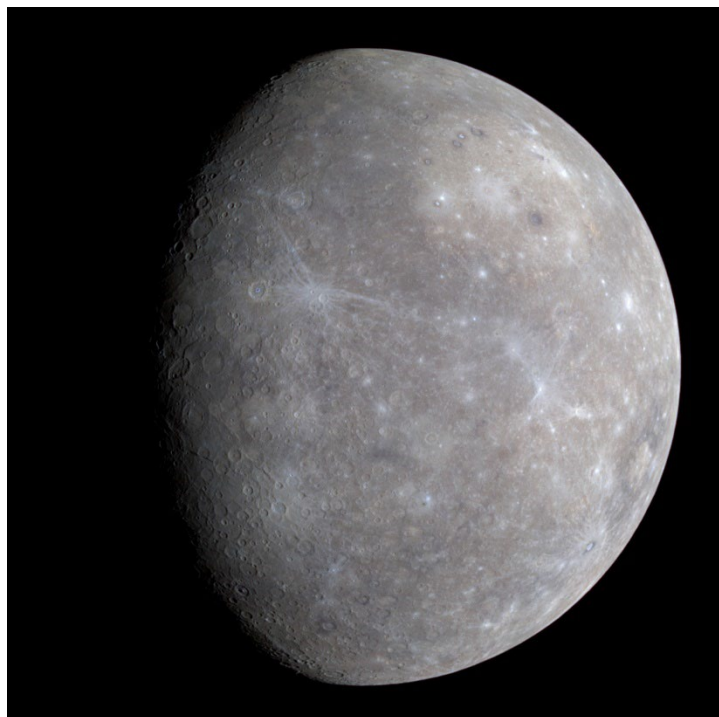


Abbildung 20 - Merkur

²² Für diesen Abschnitt sind die Quellen (21), (22) und (23) benutzt worden.

mal der Mond der Venus war, was begründen würde warum beide Planeten keinen Mond besitzen.

Der oberflächliche Aufbau gleicht dem Erdmond, wobei der innere Aufbau eher dem der Erde entspricht. Merkur besitzt keine Atmosphäre, da sie kleiner als ein im Labor hergestelltes Vakuum ist. Durch die geringen Anziehungskräfte von Merkur kann er die Gasmoleküle für eine Atmosphäre nicht halten. Auf der Oberfläche von Merkur wurde zwar keine Plattentektonik, jedoch Hinweise auf vulkanische Eruptionen gefunden. Durch die übersäte Oberfläche von Kratern konnte festgestellt werden, dass die Oberfläche vor 4,5-4 Millionen Jahren entstand und sich bis dahin kaum verändert haben soll.

Obwohl der Merkur so klein ist, besitzt er eine Dichte von ungefähr $5,43 \text{ g/cm}^3$. Dies macht fast die Dichte der Erde aus, weshalb der Merkur überproportional dicht für seine Größe ist. Der größte Teil von der großen Masse des Merkurs soll von dem Kern kommen, welcher aus 65% Eisen und 35% Nickel bestehen soll. Der Eisengehalt im Kern macht schon 70% der im Merkur befindlichen Masse aus. Der Durchmesser dieses Kernes wird auf etwa 3600 km geschätzt und durch Forschungsergebnisse ist herausgefunden worden, dass der Wert früher mal bei 4.100 km lag. Der Kern würde somit ungefähr 84% des Durchmessers von Merkur ausmachen und größer sein als der Erdmond. Die übrigen 30% der Masse macht der Mantel, welcher aus Silikaten besteht und ca. 600 km breit ist, aus. Der restliche Teil des Planeten, auch die Kruste genannt, besteht aus Mineralien der Pyroxengruppe und Feldspat, dies ist fast gleichzusetzen mit irdischem Basalt. Der Merkur besitzt ein Magnetfeld, welches ca. 1% so stark wie das der Erde ist. Aufgrund einer Asymmetrie des Magnetfeldes ist das Magnetfeld in der Nordhalbkugel stärker und sorgt für einen erhöhten magnetischen Äquator, welcher rund 500 km nördlicher liegt. Weil der Schutz des Magnetfeldes auf der Südhalbkugel schwächer ist, kommt der Sonnenwind einfacher an die Südhalbkugel heran. Aufgrund des Dipolfeldes von Merkur wird vermutet, dass der Kern zumindest teilweise flüssig sein muss und einen Dynamo-Effekt erzeugt. Durch ein spezielles Auswertungsverfahren konnten 2007 Schwankungen von 0,03% festgestellt werden, welche den Beweis für einen teilweise flüssigen Kern bilden.

Venus²³

Die Venus ist der zweite Planet unseres Sonnensystems und besitzt einen Durchmesser von ungefähr 12.100 km. Mit diesem Durchmesser ist sie ungefähr genau so groß wie die Erde. Mit einem minimalen Abstand von 38 Millionen km zu der Erdumlaufbahn ist sie der nächste Planet der Erde. Deswegen ist sie das zweit hellste Gestirn von der Erde aus, wobei nur der Mond heller als die Venus ist.

Die Venus hat einen Abstand von ca. 108 Millionen km und ist dadurch gerade so nicht in der habitablen Zone. Durch die Nähe zur Sonne braucht die Venus nur ungefähr 224,7 Erd-Tage um einmal um die Sonne zu kreisen. Aufgrund dessen, dass die Venus sich nur am Morgenhimmel und Abendhimmel beobachten lässt wird sie auch als Morgenstern und Abendstern bezeichnet. Mit dem Merkur ist sie der einzige Planet in unserem Sonnensystem ohne einen Mond, es wird jedoch seit den 1960er Jahren vermutet, dass einst Merkur der Mond der Venus war, weil dieser sehr erdmondähnlich ist.

Die Atmosphäre der Venus ist so undurchsichtig wie in *Abbildung 21 - Venus (Atmosphäre)* zu

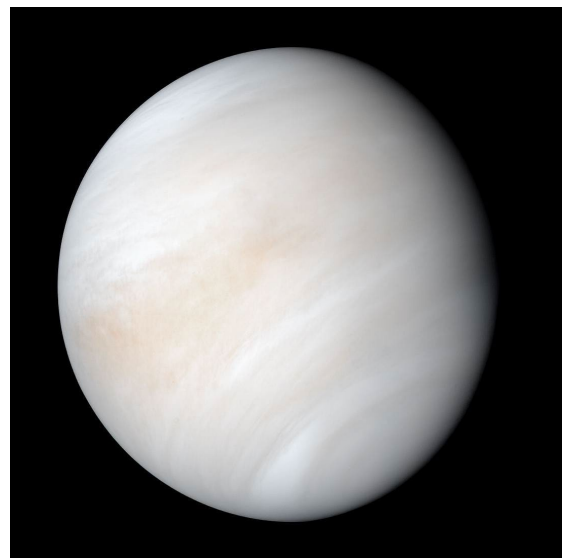


Abbildung 21 - Venus (Atmosphäre)

²³ In dem Abschnitt wurden nur die Quellen (28) und (29) verwendet.

sehen, sodass die Oberfläche nicht sichtbar von der Erde ist. Ihre Zusammensetzung besteht mit einem Großteil von 96,5% aus Kohlendioxid und mit ca. 3.5% aus Stickstoff. Der restliche Teil besteht aus Schwefeldioxid, Argon, Wasserdampf, Kohlenmonoxid, Helium und Neon. Gerundet hat die Venusatmosphäre 90-mal so viel Masse wie die Lufthülle der Erde. Der Druck ist mit 92 bar genau so groß wie der Druck in 910 m Meerestiefe. Die Dichte ist mit ungefähr 65 kg/m^3 50-mal so dicht wie die der Erde. Die vorher angesprochene Atmosphäre ist so undurchsichtig, denn eine Wolkendecke überdeckt die Oberfläche in einer Höhe von 50 km und mit einer Dicke von 20 km. Mit 90% entspricht die Venusoberfläche die Größe der Erdoberfläche. Der Boden der Venus ist ständig grauglühend und durch die hohen Temperaturen sind keine Gewässer auffindbar. Die Venus besitzt 963 entdeckte Einschlagkrater, dies sind mindestens doppelt so viele wie auf der Landfläche der Erde nachgewiesen sind. So wie die Erde lässt sich die Venus in mehrere Schalen einteilen, die Kruste, welche aus Silikat Gesteinen besteht. Einen Mantel, welcher aus Gesteinsmaterial besteht und ein Kern aus Nickel und Eisen. Es wurde ebenfalls festgestellt, dass auf der Venus keine Plattentektonik vorhanden ist und eine Hypothese entwickelt wurde, die besagt, dass die Oberfläche sich durch Vulkanaktivitäten überall auf der Venus erneuert. Ebenfalls besitzt die Venus ein recht schwaches Magnetfeld, was auf das Fehlen eines Mondes, sowie der langsamen Rotation zurückzuführen ist. Die Stärke des Magnetfeldes beträgt nur ein Zehntausendstel von dem der Erde.



Abbildung 22 - Venus (Oberfläche)

Erde²⁴

Die Erde ist der dritte Planet unseres Sonnensystems und befindet sich mit einem Abstand von ungefähr 150 Millionen km zur Sonne in der habitablen Zone. Deswegen ist sie der Ursprungsort und die Heimat aller bekannten Lebewesen. Die Erde umkreist die Sonne in der



Abbildung 23 - Erde

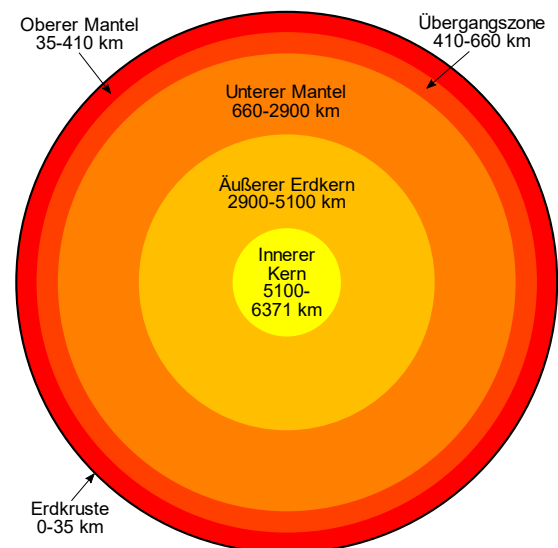


Abbildung 24 - Innerer Aufbau der Erde

Rotationsrichtung der Sonne, dies wird auch prograd genannt. Auch die Erde rotiert sich prograd in Richtung Osten um ihre Achse relativ zu den

²⁴ In diesem Abschnitt wurden die Quellen (5) und (6) herangezogen.

Fixsternen. Durch die Eigenrotation hat ein Punkt am Äquator eine Geschwindigkeit von 1670 km pro Stunde, die dadurch entstehende Zentrifugalkraft verformt den Äquator zu einem Äquatorwulst und die Pole werden abgeplattet. Dadurch ist bei einer Kugel die dasselbe Volumen wie die Erde hat der Äquator 7 km kleiner und an den Polen 14 km größer. Durch die Gravitation von Sonne und Mond werden die Gezeiten Ebbe und Flut verursacht.

Durch den geochemischen Aufbau der Erde wird sie als erdähnlicher Planet definiert und unter den vier erdähnlichen Planeten ist die Erde der größte Planet. Die Zusammensetzung der Erde besteht massenanteilig aus 32,1% Eisen, 30,1% Sauerstoff, 15,1% Silizium, 13,9% Magnesium, 2,9% Schwefel, 1,8% Nickel, 1,5% Calcium, 1,4% Aluminium und 1,2% aus den restlichen Elementen. Die Erde ist seismisch in drei Schalen eingeteilt (wie in *Abbildung 24 - Innerer Aufbau der Erde* gezeigt). Die erste Schale ist der Kern, welcher vom Mittelpunkt 3.471 km herausragt und aus Eisen sowie Nickel besteht. Die zweite Schale ist der Erdmantel, diese ragt 2.865 km vom Kern heraus und besteht aus festem trotzdem jedoch plastisch verformbarem (duktilen) Gestein, magnesium- und eisenreichen Silikatmineralen. Die dritte Schale ist die Erdkruste, welche ungefähr 35 km herausragt und in ozeanische sowie kontinentale Kruste eingeteilt werden kann. Die ozeanische Kruste ist meistens ungefähr 8 km dick, ist aber an manchen Stellen bis zu 20 km dick. Die kontinentale Kruste ist im Durchschnitt etwa 35 km tief, wobei unter großen Gebirgen wie dem Himalaya oder Teile von den Anden die Tiefe bis zu 70 km groß sein kann.

Die Oberfläche der Erde lässt sich in zwei Halbkugeln unterteilen. Einmal die Landhemisphäre, welche mit 47% knapp die Hälfte aus Landfläche und die Wasserhemisphäre, welche nur 11% Landfläche beinhaltet und von den Ozeanen dominiert wird. In der geologischen Epoche bestehen 70,7% der Erdoberfläche aus Wasser und die restlichen 29,3% aus der Landfläche. Die Landfläche lässt sich in sieben Kontinente gliedern. Nach Größe sortiert sind es Asien, Afrika, Nordamerika, Südamerika, Antarktika, Europa und Australien. Der tiefste Punkt im Meer ist das Witjastief 1, welches im Marianengraben ungefähr 11 km unter dem Meeresspiegel liegt und ca. 2,5-mal so tief ist wie die durchschnittliche Tiefe.

Mond²⁵

Es gibt mehrere Modelle/Theorien wie der Mond hätte entstehen können. Eine Theorie die **Abspaltungstheorie**, welche 1878 entstanden ist, begründet die Entstehung des Mondes durch die frühere starke Rotation der Erde, die einen Teil der Oberfläche ablöste und den Mond bildete. Jedoch lässt sich durch diese Theorie nicht sinnvoll erklären wie die Erde eine so hohe Rotationsgeschwindigkeit, welche für den heutigen Gesamtdrehimpuls des Erde-Mond-Systems benötigt wäre, gehabt haben soll. Die **Einfangtheorie**, die 1909 entstand, ist, dass der Mond fern ab der Erde entstand und nach einer sehr nahen Begegnung durch die Anziehungskraft der Erde an sie gebunden wurde. Diese Theorie kann, aber nicht begründen, warum der Mond eine ähnliche Zusammensetzung der Isotope wie die Erde aufweist.

Die „**Geschwistertheorie**“ von 1755 ist eine weitere widerlegte Theorie, die sich darauf bezieht, dass Mond und Erde gleichzeitig entstanden. Dennoch kann mit dieser Theorie nicht erklärt werden, warum sich der Anteil von leichtflüchtigen Elementen sowie von Eisen zwischen Erde und Mond so stark unterscheidet. Eine weitere These ist, dass die Erde **ursprünglich zwei Monde** hatte, wobei der zweite einen Durchmesser von ca. 1200 km gehabt haben soll und in den größeren eingeschlagen ist.



Abbildung 25 - Mond (Erdmond)

²⁵ Quelle (8) wurde für diesen Abschnitt verwendet.

Dies würde jedoch nur erklären, wieso der Mond zwei unterschiedliche Seiten hat. Die **Öpik-Theorie** ist ein Modell, wo sich die Proto-Erde durch permanente Einschläge auf ungefähr 2000°C erhitzte und der Wind der Sonne die leichteren Elemente weggeblasen hat, welche kondensierten und den Proto-Mond bildeten. Dies geschah in einer späteren Phase der Erdentstehung, wo der Eisenkern der Erde schon ausgebildet war und somit nur ein geringer Anteil von Eisen in der oberen Schicht der Erde vorhanden war. Die **Viele-Monde-Theorie** erklärt die Entstehung des Mondes damit, dass die Erde viele kleinere Monde abgefangen haben soll und mit der Zeit die Monde sich zu dem heutigem durch zusammenstoßen kombiniert haben sollen. Dies wurde jedoch durch die Gesteinsproben der Apollo-Missionen widerlegt. Die **Synestia-Hypothese** beschreibt die Entstehung des Mondes durch die energiereiche außermittige Kollision eines Gesteinsplaneten, wobei nach der Kollision sich der innere Teil einheitlich und schnell drehte und das äußere. Durch die äußere Abkühlung entsteht ein radialer Transport, welcher für die Vermischung der Ausgangsmaterialien verantwortlich ist und Moonlets in der Scheibe entstehen lässt. Dies erklärt die Anreicherung der flüchtigen Elemente und sorgt für einen größeren Bereich des Kollisionsparameters für ein plausibleres Ergebnis wie der Bereich für die Theia-Hypothese. Eine weitere Theorie von den 1980er Jahren besagt, dass der Mond geschätzt 4,5 Milliarden Jahre alt ist und durch die Kollision mit der Proto-Erde und dem Körper Theia, welcher eine ähnliche Größe wie der Mars gehabt haben soll, entstand. Durch den Zusammenstoß der beiden Körper, welcher nicht frontal, sondern streifend passiert sein muss, wurde Materie um die Erde geschleudert und nach einiger Zeit wurde der Mond gebildet. Diese Theorie wird auch **Kollisionstheorie** genannt. Dies ist in den folgenden Abbildungen veranschaulicht.

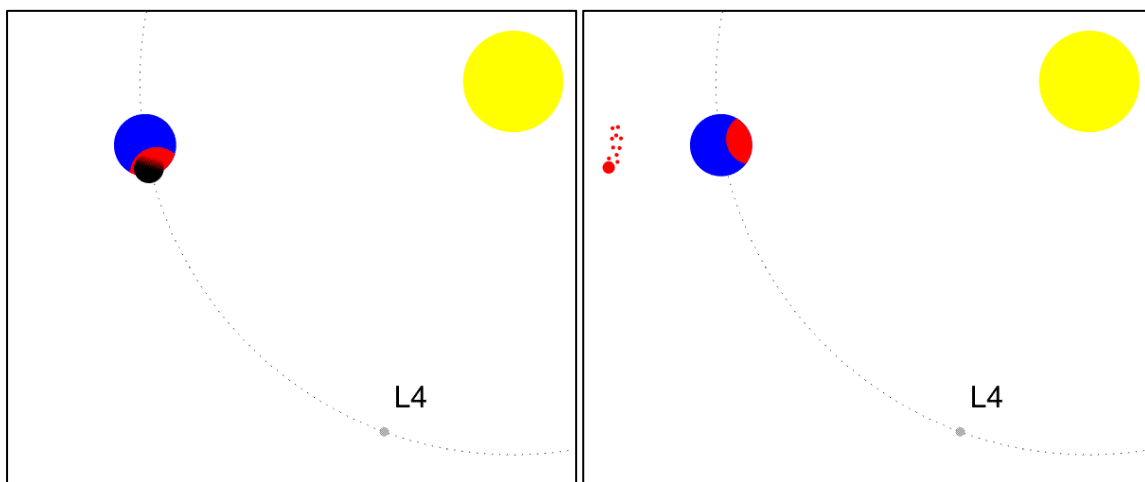


Abbildung 26 - Kollision Proto-Erde und Theia (Frame 62)

Abbildung 27 - Mond bildet sich aus Kollisionsüberresten (Frame 77)

Mars²⁶

Der Mars ist der vierte Planet unseres Sonnensystems und der letzte der vier erdähnlichen Planeten. Mit einem Durchmesser von knapp 6.800 km und einem Umfang von ca. 21.300 km, würde der Mars ca. 7-mal mit seinem Volumen in die Erde passen. Durch seine geringe mittlere Dichte von 3.9 g/cm³ hat der Mars den geringsten Wert verglichen mit den anderen terrestrischen Planeten. Häufig wird der Mars auch der Rote Planet genannt, weil durch den hohen Eisenoxid-Staub (oder auch Rost) Anteil in der Oberfläche die rot-orange Farbe zum Vorschein kommt.

Der Mars befindet sich in einem Abstand von durchschnittlich 228 Millionen km zur Sonne. Durch den erhöhten Abstand zur Sonne braucht der Mars mit 687 Tagen fast doppelt so lange wie die Erde, um die Sonne zu umrunden. Ein Tag auf dem Mars durch seine etwas langsamere Rotation ist ca. 40 Minuten länger als auf der Erde. Dadurch, dass wie bei der Erde die Äquatorebene mit 25,19° auf dem Mars gegen die Bahnebene geneigt ist, gibt es ähnlich wie auf der Erde auch Jahreszeiten. Diese gehen jedoch fast doppelt so lange wie auf der Erde, weil wie vorher angesprochen der Mars fast doppelt so lange für eine Umrundung braucht. Durch den größeren Unterschied der Exzentrizitäten der Umlaufbahnen zwischen Erde und Mars sind die Jahreszeiten nicht wie auf der Erde ähnlich lang, sondern unterschiedlich.

Das Klima auf dem Mars ist für den Menschen durch seine dünne Atmosphäre, weil sie die Temperatur nicht halten kann und durch den geringen Atmosphärendruck sich kein Wasser auf der Oberfläche befinden kann, zum Überleben nicht geeignet. Denn dieser dünne Atmosphärendruck sorgt dafür, dass Wasser nicht in flüssiger Form auf der Oberfläche aufzufinden ist. Auch bringt die dünne Atmosphäre durch ihre schlechte Wärmespeicherfähigkeit mehrere Probleme. Zum einen gibt es durch die schlechte Wärmespeicherkraft große Schwankungen der Wärme von 20°C am Tag bis zu -85°C in der Nacht, wobei die durchschnittliche Temperatur auf dem Mars -63°C beträgt. Die andere Problematik ist, dass in der Atmosphäre wenig Luft enthalten ist und die Menschen erst Zeit brauchen, um den Planeten mit dem Luftgehalt bewohnbar zu machen. Ein weiteres Problem ist der viel zu geringe atmosphärische Druck, welcher zu Kopfschmerzen, Gelenkschmerzen, Schlafstörungen und anderen biochemischen Veränderungen führen kann.²⁷ Denn im Gegensatz zu dem Druck der Erde, welcher bei 1013 hPa liegt, ist der Druck auf dem Mars gerade mal 6,36 hPa was 0,63% des Drucks der Erde oder dem Druck in 35 km Höhe entspricht. Durch die auftretenden Temperaturunterschiede entstehen Morgen- und Abendwinde. Der Mars besitzt eine Oberfläche, die mit 144 Millionen km² ungefähr ein Viertel der Erdoberfläche ausmacht. Die Nordhalbkugel des Mars ist fast kraterlos und beinhaltet die Tiefebene, welche 3-5 km unter dem Nullniveau (auch z.B. Wasserspiegel der Erde) liegen. Die Südhalbkugel hingegen besitzt viele Einschlagskrater, die darauf schließen lassen, dass die Oberfläche fast 4 Milliarden Jahre alt ist, als auch ein riesiges Hochland, welches 2-3 km über dem Nullniveau liegt und viele Schildvulkane beinhaltet. Die Polkappen des Mars bestehen zum Großteil aus gefrorenem Kohlenstoffdioxid als auch zu einem geringen Anteil aus Wassereis. Die nördliche Polarkappe hat während des Marssommers der Nordhalbkugel einen Durchmesser von rund 1.000 km und eine geschätzte Dicke von 5 km. Die südliche Polarkappe hat hingegen nur einen Durchmesser von 350 km und eine Dicke von 1,5 km. Es wird vermutet, dass unter der Kryosphäre des Mars flüssiges Wasser vorhanden ist. Dennoch gibt es Hinweise, dass es Wasser auf der Oberfläche des Mars gibt.

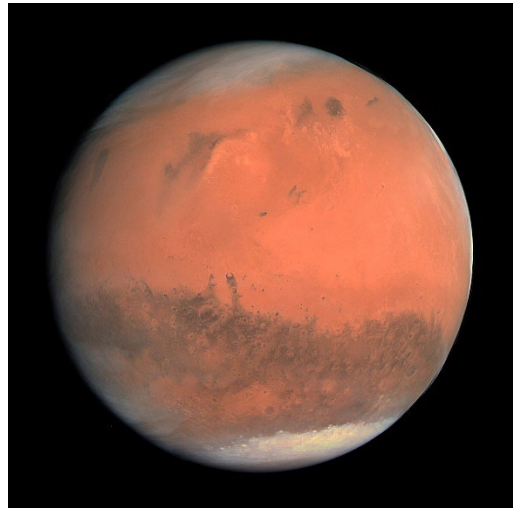


Abbildung 28 - Mars

²⁶ In diesem Abschnitt sind Quellen (9) und (10) benutzt worden.

²⁷ Quelle für den Satz: (11)

Der Mars hat einen ähnlichen Schalenbau wie die Erde. Er hat einen Kern, einen Gesteinsmantel und eine Kruste. Die Dicke der Kruste variiert jedoch zwischen 5-10 km und ungefähr 115 km von welcher Stelle man aus geht. Die feste Lithosphäre hat eine Dicke von 400-600 km. Danach folgt ein langsam umwälzender Mantel und etwas später der flüssige Kern, welcher einen Radius von 1.790-1.870 km aufweist und überwiegend aus Eisen besteht.

Ceres²⁸

Ceres ist mit einem Durchmesser von 964 km das größte Objekt in dem Asteroidengürtel, welcher die vier erdähnlichen Planeten von den zwei Gasriesen und den zwei Eisriesen abtrennt. Jedoch bis jetzt das kleinste gefundene Objekt in der Größenklasse der Zwergplanete. Sie ist 1801 erstmals von Piazzi bei der Überprüfung eines Sternenkataloges entdeckt worden, jedoch verlor er Ceres wieder aus den Augen und Zach Ceres entdeckte sie am 7. Dezember desselben Jahres wieder. Sie wurde bei der Entdeckung als Planet gehandhabt, wobei sich dies durch eine rasch ansteigende Entdeckung von mehreren Himmelskörpern 1850 geändert hat. Bis zum 24. August 2006 wurde sie als Asteroid und später als Zwergplanet eingestuft.



Abbildung 29 - Ceres

Ihren Namen erhielt sie von ihrem erstmaligem Entdecker Piazzi, wobei ihr voller Name Ceres Ferdinandea ist. Es kamen jedoch mehrere Namensvorschläge von verschiedenen Personen, wie Johann Elert Bode der sie Juno nennen wollte und von anderen Personen der Name Hera. Jedoch machte Zach Ceres klar, dass Piazzi seinen Fund wie sein eigenes Kind getauft hat und nunmehr das Recht der Namensverteilung von Ceres hat.

Ceres besitzt eine Masse von $9,39 \cdot 10^{20}$ kg, was $1/6360$ der Erdmasse entspricht und besitzt 25% der gesamten Masse des Asteroidengürtels. Um sich einmal um sich selbst zu drehen, braucht Ceres 9 Stunden 4 Minuten und 27 Sekunden. Durch Langzeitbeobachtungen wurde von italienischen Forschern herausgefunden, dass auf Ceres Jahreszeiten existieren, wodurch die die Eisfläche sich innerhalb eines Jahres im Krater Juling von 3,6 auf 5,5 km² vergrößert. Auch wird vermutet, dass auf Ceres vulkanische Aktivitäten vorhanden sind. Durch Messungen von dem Weltraumteleskop Hubble ist darauf zu schließen, dass Ceres einen Gesteinskern und einen aus Wassereis und Mineralien bestehende Kruste, sowie Mantel besitzt. Das Wasser auf Ceres macht zwischen 17 und 27% des Gewichts aus, wobei die Menge dessen auf das Fünffache von dem Süßwasser der Erde geschätzt wird. Es wird vermutet, dass sich Ceres in keinen großen Planeten entwickeln konnte, weil die Anziehungskraft von Jupiter zu stark war, um genügend Masse anzuziehen.

²⁸ Für diesen Abschnitt ist die Quelle (27) verwendet worden.

Jupiter²⁹

Der Jupiter ist der 5. Planet des Sonnensystems und der Erste äußere Planet. Ebenfalls ist der Jupiter mit einem Durchmesser von 143.000 km der größte Planet unseres Sonnensystems. Unsere Erde würde, um einen Vergleich zu schaffen, ungefähr über 1.300-mal in den Jupiter passen.

Um einmal um die Sonne zu wandern, benötigt der Jupiter 11 Jahre und ungefähr 315 Tage. Durch die große Masse von Jupiter, die 2,47-mal so groß wie die Masse der anderen Planeten ist, hat er die Funktion, dass er den Asteroidengürtel stabilisiert. Ohne Jupiter würden alle 100.000 Jahre statistisch ein Asteroid von dem Asteroidengürtel auf die Erde fliegen. Obwohl er eine so große Masse hat, ist er der Planet, der sich am schnellsten dreht. Für eine Umdrehung braucht der Jupiter nicht mal 10 Stunden und ist somit mehr als doppelt so schnell wie die Erde. Weil Jupiter ein Gasplanet ist und nicht wie ein starrer Körper rotiert, braucht die Äquatorregion mit 9 Stunden 50 Minuten und 30 Sekunden 5 Minuten weniger als die Polregionen, welche 5 Stunden 55 Minuten und 41 Sekunden für eine Rotation benötigen.

Seine große Masse entspricht 318 Erdmassen. Wie Saturn hat der Jupiter mit einer Dichte von $1,326 \text{ g/cm}^3$ eine geringere mittlere Dichte als die vier erdähnlichen Planeten. Die Temperatur, auf der durch den Druck bestimmten Oberfläche beträgt -108°C . Die verschiedenen farbigen Bänder laufen in unterschiedlich in Ost- und West-Richtungen und umgehen den Planeten. Die Wolken von



Abbildung 30 - Jupiter (mit großem rotem Fleck)

Jupiter sind ungefähr 50 km dick und besteht aus mindestens zwei Schichten. Eine dünne, welche oberhalb einer darunterliegenden dichten Schicht liegt. Die äußeren Schichten von Jupiter bestehen zu ca. 89,7% aus Wasserstoff ca. 10,1% Helium und ca. 0,3% aus Methan. Weil die Temperatur von Wasserstoff oberhalb der kritischen Temperatur liegt, verändert sich der Aggregatzustand bei

immer größerem Druck nicht. Dies bewirkt, dass es keine fest definierte Oberfläche auf Jupiter gibt. Die Schicht zwischen den äußeren Schichten und dem Kern von Jupiter besteht zu ca. 87% aus Wasserstoff und Helium, als auch mit 3 bis 13% aus anderen Elementen. Der Kern besteht aus Gestein als auch Eis und ist zwischen 14 und 20 Erdmassen schwer. Jupiter besitzt das stärkste Magnetfeld aller Planeten im Sonnensystem und ist zwischen 10- und 20-mal so stark wie das auf der Erde. Durch den Sonnenwind erstreckt sich das Magnetfeld bei der sonnenzugewandten Seite 5-7 Millionen km und bei der sonnenabgewandten Seite gute 700 Millionen km.

Auf dem Jupiter sind mehrere Stürme zu finden einer dieser Stürme ist der sogenannte "Große rote Fleck" siehe *Abbildung 30 - Jupiter (mit großem rotem Fleck)*. Der Rote Fleck ist 1,5- mal so groß wie der Erddurchmesser und nördlich umgeben von einem westwärts gerichteten Jetstream und südlich von einem ostwärts wehenden Windstrom. In den 1880er Jahren war der Große Rote Fleck 40.000 km lang und 14.000 km breit, wobei er ab 1930 kleiner wurde, und im Mai 2014 eine Länge von 16.500 km aufwies. Wodurch der Fleck so eine rote Farbe hat, ist bis heute noch nicht geklärt.

Jupiter besitzt ebenfalls wie Saturn ein ausgeprägtes Ringsystem, welches 1979 entdeckt wurde.

²⁹ In diesem Abschnitt sind die Quellen (1) (30) hinzugezogen worden.

Die Ringe bestehen aus feinen Staubkörnchen, die eine maximale Größe von Zigarettenrauch Partikel haben. Durch die hinzukommende schlechte Rückstrahlung des Lichtes mit 5% ist es unglaublich schwierig die Ringe von der Erde aus zu sehen und zu beobachten. Der Staub der Ringe stammt wahrscheinlich von kleineren Meteoriten, welche auf die Monde einschlagen und der Staub von Jupiter schließlich eingefangen wird.

Bis heute existieren 92 bekannte Monde, wobei diese in mehrere Gruppen eingeteilt werden können. Es gibt die vier Galileischen Monde (diese können auch in der App beobachtet werden), die vier planetennahen wenig geneigten Monde Metis,Adrastea, Amalthea und Thebe und die übrigen Monde. Die restlichen Monde besitzen Radien zwischen 1 und 85 km und sind vermutlich vom Jupiter eingefangen worden. Die Monde Metis,Adrastea, Amalthea und Thebe besitzen einen Durchmesser von 20 bis 131 km und sind kleiner als die vier Galileischen Monde. Jedoch liegen deren Umlaufbahnen innerhalb von der von Io. Es wird angenommen, dass sie mit den vier Galileischen Monden während der Entstehung von Jupiter entstanden. Die Galileischen Monde besitzen einen Durchmesser zwischen 3122 und 5262 km und wurden 1610 entdeckt. In den folgenden Abschnitten werden die vier Galileischen Monde ins Detail genommen.

Io³⁰

ihrem Durchmesser von 3.643 km die dritt größte. Eine Besonderheit von Io ist der auf ihr vorhandene ausgeprägte Vulkanismus, welcher verschiedene Gase in die Atmosphäre pustet und Schwefeldioxid wieder auf die Oberfläche regnet. Dies macht mit der Lava die schöne Gelbfärbung auf der Io aus.

Neben den anderen drei inneren Monden von Jupiter wurde Io auch von Galileo Galilei entdeckt und erhielt ihren Namen von Simon Marius.

Io umkreist den Jupiter in 1 Tag, 18 Stunden und 27,6 Minuten, weil sie sich in der Zeit auch um ihre eigene Achse dreht, hat sie so wie der Erdmond eine gebundene Rotation. Mit ihrem Durchmesser und ihrer Dichte von 3,56 g/cm³ hat sie einen etwas größeren Durchmesser und eine etwas größere Dichte als unser Mond. Anders als bei den anderen drei Galileischen Monden besitzt Io kein Wasser. Dies könnte Folge davon sein, dass Jupiter früher bei seiner Entstehung höhere Temperaturen aufwies und diese das Wasser, als auch andere flüchtige Stoffe auf Io entweichen ließen. Im Durchschnitt ist trotz des aktiven Vulkanismus die Temperatur nur auf –143°C. Durch die permanenten Veränderungen der Oberfläche ist das Alter auf nur wenige bzw. 10 Millionen Jahre geschätzt. Im Wesentlichen ist die Oberfläche von Io sehr eben und die Struktur wird nur durch Berge unterbrochen, die nicht durch die Vulkane entstanden. Es wird davon ausgegangen, dass tektonische Prozesse in Io ablaufen und diese für die Berge verantwortlich sind. Durch die geschmolzenen Schwefelseen und den verschiedenen Schwefelverbindungen sieht der Mond sehr farbig aus. Der Vulkanismus ist auf Io so stark, dass sie als der vulkanisch aktivste Körper im ganzen Sonnensystem gilt. Neben der Erde ist die Io der erste bekannte Körper im Weltall welche einen aktiven Vulkanismus aufweist, weshalb das erstmalige Entdecken ein großes Aufsehen erregte. Durch die starken Gezeitenkräfte von Jupiter wird die Io regelrecht durchgeknetet, wobei durch die gebundene Rotation nicht die Stärke, sondern die Änderung entscheidend ist. Durch die Resonanzeffekte mit den beiden Monden Europa und Ganymed wird sie auf eine leicht elliptische Bahn gedrängt. Weil die Io auf dieser Bahn ist, sind die Gezeitenkräfte von 6.000-mal so stark, wie zwischen Erde und Mond, auf 1.000-mal gesenkt. Der Vulkanismus entsteht erst durch die leicht

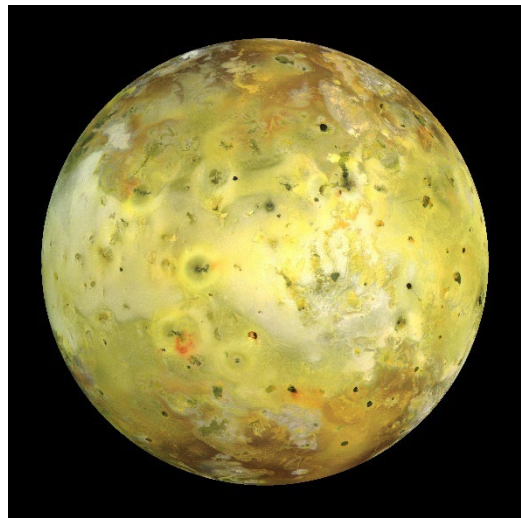


Abbildung 31 - Io (Jupitermond)

³⁰ Für diesen Abschnitt wurden die Quellen (19) und (20) benutzt.

elliptische Bahn. Io ist anders als die drei anderen Galileischen Monde nicht wie ein Eismond, sondern als erdähnlicher Planet aufgebaut. Durch die Daten der Raumsonde Galileo wissen wir heute, dass sie einen Kern aus Eisen mit eventuellen Anteilen von Eisensulfiden und eine 50 km dicke Schicht aus 20% geschmolzenen Magma unter der Oberfläche besitzt.

Es ist eine schwache 120 km hohe Atmosphäre auf Io bekannt vorzufinden, welche aus Schwefeldioxid und eventuell anderen Gasen besteht. Durch das starke Magnetfeld von Jupiter werden Sauerstoff- und Schwefelatome ionisiert und in den Weltraum geschleudert. Aufgrund dessen verliert die Io mehrere Tonnen an Masse pro Sekunde. Um Jupiter ist dadurch ein Torus aus Ionen entstanden, wobei die Ionen durch die Magnetosphäre von Jupiter so stark beschleunigt werden, dass die entstehende Strahlung, die von 2011 strahlungssicherste Elektronik einer Raumsonde lahmlegen würde. Durch die Raumsonde Galileo wurde widerlegt, dass die Io kein eigenes Dipolfeld besitzt.

Europa³¹

Europa ist der zweitinnerste Mond von Jupiter und besitzt einen Durchmesser von ca. 3.121 km, was sie zum kleinsten der vier Jupitermonde und den sechstgrößten im Sonnensystem macht. Durch die Wassereisoberfläche wird sie zu den Eismonden gezählt. Die Temperatur auf der Oberfläche von Europa ist im Durchschnitt ungefähr -171 °C kalt. Trotz dessen wurde mit der Raumsonde Galileo das induzierte Magnetfeld in der Nähe von Europa untersucht und festgestellt, dass sich unter der Wassereiskruste ein Ozean befinden muss. Dieser wird auf eine Tiefe von ca. 100 km geschätzt. Wie die anderen drei Galileischen Monde wurde Europa von Galileo Galilei entdeckt und von Simon Marius benannt.

Sie umkreist den Gasriesen Jupiter in 3 Tagen 13 Stunden und 14 Minuten. Durch die geringe numerische Exzentrizität von 0,009 ist die Bahn von Europa fast kreisförmig. Europa weist eine Bahnresonanz von 2:1 mit Io auf und besitzt mit den anderen inneren Monden eine gebundene Rotation.

Obwohl Europa die kleinste der vier Galileischen Monde ist, besitzt sie eine größere Masse als alle kleineren Monde im Sonnensystem zusammen. Der Kontinent Afrika ist ungefähr flächenmäßig gleich groß wie Europa. Mit einem Rückstrahlvermögen von 0,68 oder 68% besitzt sie eine der hellsten Oberflächen der bekannten Monde im Sonnensystem. Grundsätzlich besteht die Oberfläche von Europa aus Eis, wobei die rot gefärbten Stellen von abgelagerten Mineralien kommen. Die Fläche auf Europa ist besonders eben und weist selten kleinere Krater auf. Durch die geringen Einschlagskrater und deren geringen Dichten wurde das Alter der Europa auf 90 Millionen Jahre datiert, was sie zu einem der soliden Himmelskörper mit der jüngsten Oberfläche macht. Ein auffälliges Merkmal von Europa sind die vielen Lineae. Lineae sind die vielen Gräben und Furchen, welche eine Breite von ca. 20 km haben können. Es wird geschätzt, dass diese durch Kryovulkanismus oder Geysire mit warmem Wasser entstanden. Die Kruste der Europa, welche zwischen 80 und 170 km tief in den Mond hineinragt, besteht außerhalb aus Wassereis und im inneren aus einem Ozean aus Wasser. Die ähnlichen, aber dennoch verschiedenen, Muster auf dem Mond werden damit begründet, dass die Oberfläche von Europa nicht feste an Mantel und Kern gekoppelt ist und sich leicht schneller bewegt. Es wird geschätzt, dass sich die Oberfläche alle 12.000 Jahre um den Mond dreht. Durch die Voyager- und Galileo-Sonde wurde herausgefunden, dass Europa wie die Erde eine Plattentektonik aufweist. Obwohl Europa ein Eismond ist, hat sie viele

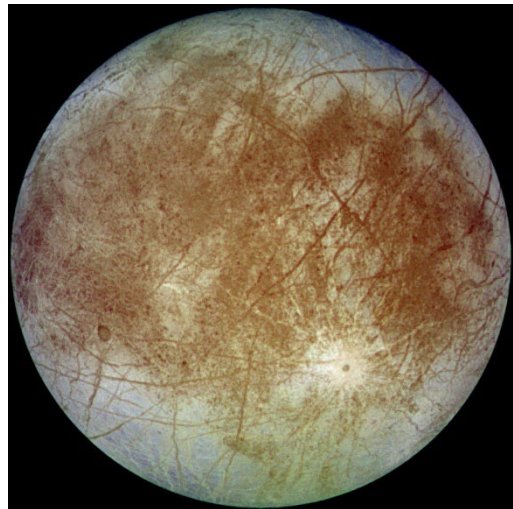


Abbildung 32 - Europa (Jupitermond)

³¹ Der Abschnitt verwendet Quellen (17) und (18).

Gemeinsamkeiten mit den erdähnlichen Planeten. Der Kern ist flüssig und besteht entweder aus Eisen oder aus einem Gemisch von Eisen und Eisensulfid, wobei dieser von Silikat Gesteinen umgeben ist.

Europa weist eine sehr dünne Atmosphäre mit 10^{-11} bar aus Sauerstoff auf, die wahrscheinlich durch die Sonneneinstrahlung auf das Eis entstand. Durch die Raumsonde Galileo wurde ein schwaches Magnetfeld entdeckt, welches auf einen Salzwasser Ozean weist und durch Untersuchungen herausgefunden wurde, dass die roten Linien aus mit Schwefel oder Eisen gefärbten Salzen bestehen.

Ganymed³²

Der Ganymed ist der größte Mond in unserem Sonnensystem mit einem Durchmesser von 5.262 km. Er gehört ebenfalls den Eismonden an, besitzt einen Kern aus Eisen, eine sehr dünne Atmosphäre und ist der einzige Mond mit einem ausgeprägten Magnetfeld im Sonnensystem. Dem Namen Verdankt Ganymed auch dem Astronom Simon Marius wie die anderen Galileischen Monde.

Um einmal den Jupiter zu umrunden, braucht er 7 Tage 3 Stunden und 42,6 Minuten. Damit hat er eine Bahnresonanz von 1:2 zu der Europa. Da Ganymed während seines Umlaufes sich einmal um seine eigene Achse dreht besitzt er eine gebundene Rotation. Weil Ganymed eine Bahnexzentrizität von 0,0015 hat und $0,21^\circ$ gegen die Äquatorebene von Jupiter geneigt ist, besitzt er geringe Librationseffekte von $1/6^\circ$.

Librationseffekte zeigen sowohl optische als auch sehr geringe physische Taumeleffekte. Deshalb sind auch die Gezeiteneffekte viel geringer als bei Io.

Die Oberfläche von Ganymed besteht aus dickem Wassereis, welches mehrere hundert Kilometer tief geht. Dieses kann in zwei verschiedene Gebiete unterteilt werden. Zum einen eine Kraterreiche geologisch sehr alte Region und eine Kraterarme junge Region mit ausgeprägten Gräben. Beide sind auf tektonische Aktivitäten rückverfolgbar. Zwei unabhängig bewegbare kontinentale Platten bilden auf Ganymed seine Oberfläche wie die tektonischen Platten auf der Erde. Durch die vielen Einschlagskrater wird das Alter von Ganymed auf 3 bis 3,5 Milliarden Jahre geschätzt, was vergleichbar mit dem Erdmond ist. Die Temperatur auf Ganymed ist im Durchschnitt ungefähr -160°C kalt. Ganymeds innerer Aufbau lässt sich in mehrere Schalen einteilen. Zum einen besitzt er einen in Relation kleinen Kern aus Eisen/Eisensulfid, zum anderen einen Mantel aus Silikat Gestein, darüber einen Ozean, welcher etwas Salz beinhaltet und eine darüber liegende Kruste aus hartem Wassereis. Der Eisenkern gibt einen Beweis dafür, dass Ganymed früher im inneren, höhere Temperaturen aufwies und dieser ähnlich wie Io mit zusätzlichem Wasser und Eis aufgebaut ist.

So wie Europa weist Ganymed mit 10^{-6} bar eine extrem dünne Atmosphäre aus Sauerstoff auf, die durch die Sonneneinstrahlung auf die Eiskruste und der geringen Gravitation entstand. Durch die beiden Vorbeiflüge der Galileo Raumsonde auf verschiedenen Höhen konnte nachgewiesen werden, dass Galileo der einzige Mond ist, welcher einen eigenen Dipol besitzt. Durch die Stärke des Magnetfeldes von Jupiter gibt es nur einen kleinen Bereich am Äquator, wo die Magnetfeldlinien von Ganymed weg und wieder zum Ganymed hin gehen.



Abbildung 33 - Ganymed (Jupitermond)

³² Für diesen Abschnitt sind Quellen (15) und (16) verwendet worden.

Kallisto³³

Die Kallisto ist die letzte der vier Haupt Jupitermonde und mit einem Durchmesser von ca. 4.820 km der drittgrößte Mond des Sonnensystems und der zweitgrößte Saturnmond. Sie besteht zum Großteil aus Eis und wird deswegen ebenfalls zu den Eismonden gezählt. Durch die vielen Krater auf Kallisto wird sie der kraterreichste Körper in unserem Sonnensystem genannt. Es ist möglich durch die Helligkeit von Kallisto sie mit einem Fernglas zu beobachten.

Ihr Entdecker Galileo Galilei entdeckte sie sowie die drei anderen großen Jupitermonde 1610 mit einem einfachen Fernrohr, weshalb diese die Galileischen Monde bezeichnet werden. Der Name Kallisto kam von dem deutschen Astronom Simon Marius, wurde jedoch erst in der Mitte des 20. Jahrhunderts wieder häufiger benutzt, weil früher die Monde mit einer römischen Zahl beziffert wurden und demnach Kallisto der Jupitermond IV ist.

Durch den mittleren Abstand von 1.882.700 km zu Jupiter braucht die Kallisto nur 16 Tage 16 Stunden und 32 Minuten, um diesen einmal zu umrunden. Kallisto ist mit $0,19^\circ$ sehr leicht gegenüber der Äquatorebene des Jupiters geneigt. Sie ist im Gegensatz zu den anderen Galileischen Monden so weit entfernt, dass sie eine Bahnresonanz von 3:7 mit dem nächstinneren Ganymed besitzt, dies gibt an wie viele Umläufe zwei Planeten bzw. hier Monde brauchen, damit sie wieder an derselben Stelle stehen. Kallisto hat genauso wie die anderen drei Galileischen Monde und dem Mond eine gebundene Rotation.

Mit ihrem Durchmesser ist Kallisto etwas kleiner als der massereichere Planet Merkur. Mit 5,7 mag hat Kallisto die geringste Helligkeit der vier Galileischen Monde, obwohl Europa um 35% kleiner ist. Die Temperatur auf der Oberfläche von Kallisto ist im Schnitt -139°C . Aufgrund dessen, dass Kallisto keine größeren Gebirgszüge besitzt wurde erschlossen, Kallistos Oberfläche besteht kaum aus Gestein, sondern vielmehr aus Wassereis. Außerdem weist Kallisto keine Plattentektonik auf und entstand vor 4 Milliarden Jahren. Die Eisschicht ist geschätzt 200 km dick und bedeckt einen 10 km tiefen Ozean, welcher nach magnetischen Messungen. Daraus wird erschlossen, dass Kallisto aus 60% silikatischem Gestein und 40% Wasser-eis besteht.



Abbildung 34 - Kallisto (Jupitermond)

³³ Die Quellen (12), (13) und (14) sind in diesem Abschnitt verwendet worden.

Saturn³⁴

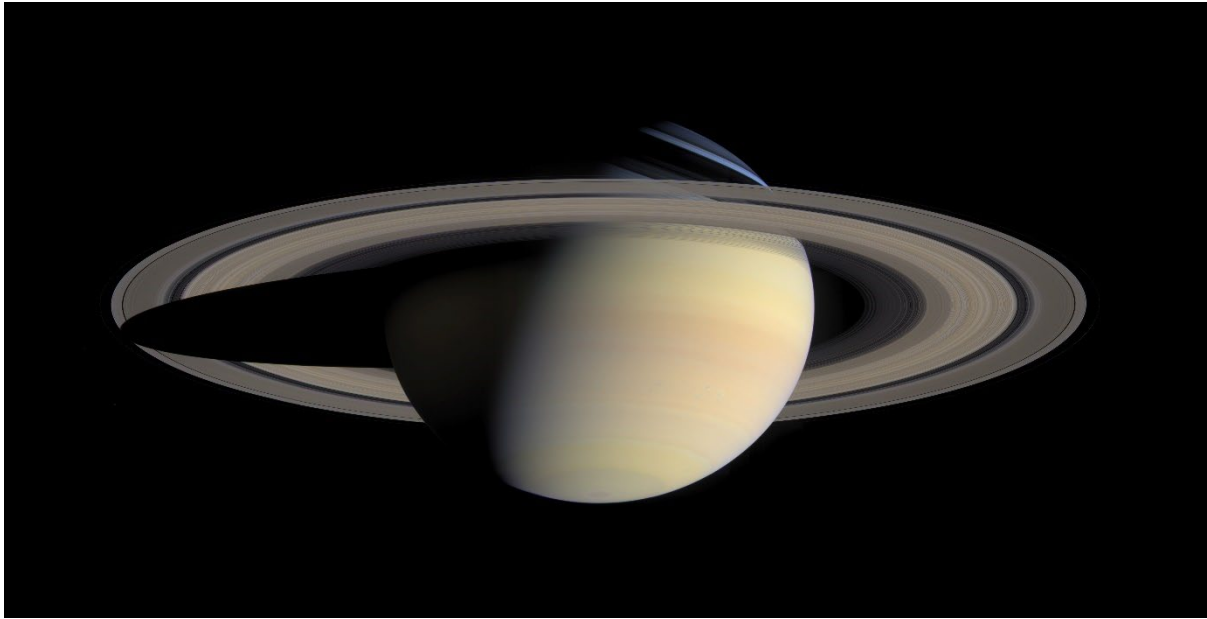


Abbildung 35 - Saturn

Der Saturn ist der sechste Planet unseres Sonnensystems und mit seinem Äquatordurchmesser von 120.500 km, welcher 9,5-mal so groß wie der Erddurchmesser ist, somit der zweitgrößte Planet unseres Sonnensystems. Obwohl der Saturn der zweitgrößte Planet des Sonnensystems ist, besitzt er mit 95 Erdmassen nur 30% der Masse von Jupiter. Obwohl die anderen drei Gasplaneten auch einen Ringsystem besitzen, wird Saturn häufig als der Ringplanet bezeichnet, weil das Ringsystem von ihm mit einem kleinen Fernrohr sichtbar ist. Er ist der äußerste noch mit dem Auge sichtbare Planet, wobei er deshalb vor der Erfindung des Fernrohrs entdeckt wurde. Weil Saturn ein Gasplanet ist, besitzt er keine feste Oberfläche, wobei die oberen Schichten aus ungefähr 96% Wasserstoff von dem Stoffanteil bestehen. Mit seiner mittleren Dichte von $0,69 \text{ g/cm}^3$ weist Saturn somit die geringste Dichte aller Planeten im Sonnensystem auf. Die Ringe von Saturn bestehen zum Großteil aus Wassereis- und Gesteinsbrocken. Bis 2023 wurden 83 Monde entdeckt, die zum Saturn gehören.

Weil der Saturn ungefähr 1,43 Milliarden km von der Sonne entfernt ist, braucht er ungefähr 29 Jahre und 166 Tage, um einmal die Sonne zu umrunden. Saturn rotiert sich nicht wie ein starrer Körper wie die Erde, sondern rotiert die Äquatorregion mit 10 Stunden und knapp 14 Minuten was schneller als die Polregionen, welche mit 10 Stunden 39 Minuten und 22 Sekunden rotieren, ist. Durch Messungen des Magnetfeldes des Saturn wurde berechnet, dass das Innere des Saturns sich mit 10 Stunden und ungefähr 47 Minuten noch langsamer rotiert. Nach einer kombinierten Auswertung der Messdaten von verschiedenen Raumsonden kam raus, dass sich der Kern mit 10 Stunden 32 Minuten und 35 Sekunden schneller dreht als gedacht und der Kern somit kleiner sein muss als vorher vermutet. 2019 wurde nochmals eine verbesserte Messung vorgenommen, wo abgeleitet werden konnte, dass sich Saturn in 10 Stunden 33 Minuten und 38 Sekunden einmal um seine eigene Achse dreht.

Der Saturn gehört durch seine geringe Dichte und seinem Aufbau zu den Gasriesen. Durch den hohen Druck in der Tiefe gibt es keine Grenze zwischen gasförmigen und flüssigen Zustand und somit keine feste Definition der sog. Oberfläche. Jedoch wurde beschlossen, dass die Oberfläche eines Gasplaneten ab 1 bar Atmosphärendruck definiert wird, wodurch Saturn eine Oberflächentemperatur von -139°C aufweist. Wenn man tiefer als die beschlossene Oberfläche und dem allmählichen flüssigen Zustand geht kann man Wasserstoff finden, welches in die metallische

³⁴ In diesem Abschnitt wurden Quellen (25) und (26) verwendet.

Form übergeht. Durch die geringe Masse von Saturn geschieht diese Umwandlung in den metallischen Zustand erst bei 0,47 Saturnradien, bei Jupiter geschieht dies schon bei 0,77 Jupiterradien. Unter der metallischen Wasserstoff-schicht befindet sich ein Kern aus Gestein. Der Kern weist eine Masse von 16 Erdmassen auf und ist somit für 25% der Masse von Saturn verantwortlich. Im Vergleich mit dem Jupiter ist dessen Kern nur für 4% der Masse verantwortlich und hat damit einen großen Unterschied. Durch den heißen Kern von Saturn mit einer Temperatur von 11.726,85 °C strahlt dieser 2,3-mal so viel Energie wie er von der Sonne erhält aus. Es gibt zwei Theorien, wieso der Saturn so viel Energie abstrahlt. Die eine erklärt die hohen Temperaturen durch den Kelvin-Helmholtz-Mechanismus, wobei durch die Gravitation eine langsame Kompression stattfindet und somit die Temperaturen erzeugt wurden. Die andere, welche zusätzlich oder allein für die Temperatur verantwortlich ist, ist ein Mechanismus, wo Heliumtropfen zu dem Inneren des Kerns raus „regnen“. Das Berühren mit Wasserstoff einer geringen Dichte würde dann Wärme durch Reibung freisetzen und die verarmten äußeren Schichten von Helium begründen. Am Nordpol befindet sich Polarwirbel, welcher eine stabile Struktur eines nahezu regelmäßigen Sechsecks aufweist. Sein Durchmesser beträgt ca. 25.000 km und geht mehrere 100 km in die Tiefe. Der Polarwirbel braucht mit 10 Stunden 39 Minuten und 24 Sekunden genauso lange, um sich einmal selbst zu umrunden, wie die Radioemissionen einmal um den Saturn. Der Südpol weist auch einen Sturm auf, welcher ähnlich wie ein Hurrikan aussieht und einen Durchmesser von ungefähr 8.000 km hat. Auf dem Saturn wurde auch ein Magnetfeld festgestellt, welches die Form eines symmetrischen magnetischen Dipols hat.

Die Saturnringe können auf den Saturn werfen und von dem Saturn einen Schatten bekommen, wobei die Neigung bei der Größe des Schattens auf Saturn eine Rolle spielt. Die Anzahl der einzelnen Ringe beläuft sich auf mehr als 100.000, die jeweils unterschiedliche Zusammensetzungen und Farbtöne haben. Die Ringe verlaufen, wie in *Abbildung 36 - Saturnringe* gezeigt zwischen 74.500 km und 140.220 km um den Saturn. Die verschiedenen großen Ringe werden nach ihrer Entdeckung mit der Reihenfolge von innen nach außen D-, C-, B-, A-, F-, G-, und E-Ring bezeichnet. Die Lücken entstehen durch die gravitativen Wechselwirkungen, sowie die Ringe selbst, wobei in diesen Lücken und am Rand der Ringe kleinere Monde sog. Hirten- bzw. Schäfermonde liegen und die Struktur stabilisieren. Titan ist der bekannteste von den zuvor erwähnten 83 bekannten Monden mit einem Durchmesser von 5.150 km.



Abbildung 36 - Saturnringe

Uranus³⁵

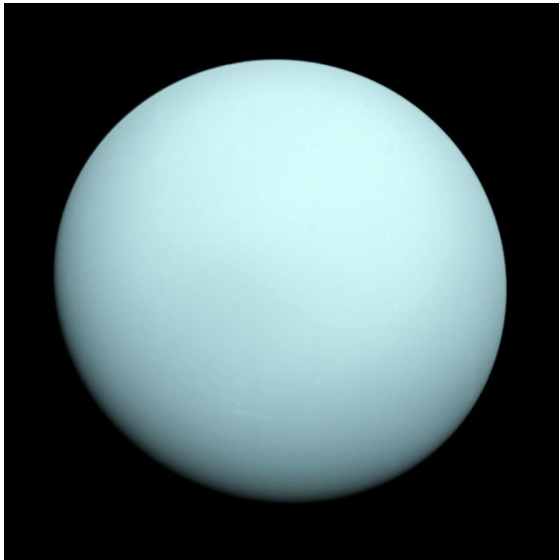


Abbildung 37 - Uranus

Der Uranus ist der siebte Planet in unserem Sonnensystem und einer der beiden Eisriesen. Er besitzt einen Durchmesser von ungefähr 51.000 km und besitzt damit ungefähr einen vierfachen Erddurchmesser. Mit diesem Durchmesser ist er der drittgrößte Planet von unserm Sonnensystem dicht gefolgt von Neptun.

Um einmal die Sonne zu umrunden. Dies liegt an seiner großen fast 3 Milliarden km Entfernung und seiner Bahngeschwindigkeit von 6,81 km/s. Uranus braucht um sich einmal um seine Achse zu drehen 17 Stunden 14 Minuten und 24 Sekunden, wobei die Atmosphäre nur 14 Stunden braucht und damit schneller ist.

Mit seiner Dichte von $1,27 \text{ g/cm}^3$ erfüllt er eine typische Eigenschaft der Riesenplaneten. Aufgrund dessen, dass Uranus keine feste Oberfläche besitzt,

hat er eine Gemeinsamkeit mit den Gasriesen Jupiter und Saturn. Deshalb wird für Planeten ohne eine feste Oberfläche diese ab einem Bar definiert. Die oberen Schichten von der Gashülle bestehen aus $82,5 \text{ Vol.-%} \pm 3,3 \text{ Vol.-%}$ Wasserstoff, $15,2 \text{ Vol.-%} \pm 3,3 \text{ Vol.-%}$ Helium und $2,3 \text{ Vol.-%}$ Methan. Im inneren von Uranus wird ein kleiner unter Umständen flüssiger Gesteinskern aus Silizium und Eisen vermutet, der die Masse der Erde hat. besteht aus Ammoniak, Methan und Wasser und hat die Konsistenz von Eis. Dieser macht den Großteil der Masse von Uranus aus und ist elektrisch sehr leitfähig. Eine Besonderheit ist, dass der Uranus weniger Wärme von sich aus abstrahlt als er von der Sonne erhält. Das Magnetfeld des Uranus ist wie ein Quadrupol aufgebaut und verursacht zwei Nord- bzw. Zwei Südpole. Ein Quadrupol ist so aufgebaut, dass in zwei diagonalen Ecken jeweils ein Nordpol und in den anderen beiden diagonalen Ecken jeweils ein Südpol erkennbar ist. Außerdem ist interessant, dass ein Polpaar mit ihrem Ursprung einen Drittel des Planetendurchmessers nach Süden verschoben ist.

Der Uranus hat genauso wie der Jupiter und der Saturn ein eigenes Ringsystem. Diese Ringe bestehen aus größeren 10 m Durchmesser Brocken bis sehr kleinen Staub. Obwohl die Teilchen in den Ringen größer als die bei Saturn sind, sind die Ringe schlechter zu sehen, weil die Menge der Teilchen hingegen zum Saturn viel geringer ist. Ebenfalls sind die Ringe nicht mittig um den Uranus, sondern schwingen leicht um ihn.

Um den Uranus sind 27 Monde bekannt, wobei der Uranusmond Titania mit 1578 km den größten Durchmesser besitzt. Sie bilden das masseärmste Satellitensystem der vier Riesenplaneten. Eine Besonderheit der Namen der Monde von Uranus ist, dass die meisten nach Personen von den Stücken Shakespeares benannt sind. Es wurde beobachtet, dass die dichten inneren Monde zwischen den Hauptringen und dem Mond Miranda instabile Bahnen haben und somit Energie und Drehimpulse austauschen. Ebenfalls wurde berechnet, dass durch manche kreuzenden Bahnen sich die Monde gegenseitig stören können und in wenigen Millionen Jahren diese sich dadurch auf Kollisionskurs begeben.

³⁵ Quelle (31) ist in diesem Abschnitt verwendet worden.

Neptun³⁶

Der Neptun ist der achte und letzte Planet unseres Sonnensystems und neben Uranus der andere Eisriesen. Er besitzt einen Durchmesser von ungefähr 50.000 km und besitzt somit einen vierfachen Erddurchmesser. Mit diesem riesigen Durchmesser ist er der viert größte Planet in unserem Sonnensystem. Obwohl Neptun einer der größten Planeten im Sonnensystem ist, befindet er sich als einziger zu weit entfernt, um ihn mit bloßem Auge zu erblicken.

Eine Besonderheit der Umlaufbahn von Neptun ist, dass diese mit einer Exzentrizität von 0,00859 eine nahezu kreisförmige Umlaufbahn ist. Neptun beeinflusst durch seine große Masse die Objekte im Kuipergürtel, welche mit Pluto in seiner Bahn die Sonne umkreisen. Durch diese Beeinflussung weist jedes Objekt samt Pluto eine 2:3 Bahnresonanz mit Neptun auf. Außerdem umkreist Neptun sich selbst in 15 Stunden und fast 57 Minuten.

Durch seine große Dichte von $1,64 \text{ g/cm}^3$ ist er der Planet mit der größten Dichte im Sonnensystem von den Riesenplaneten und besitzt eine 17-fache Erdmasse. Neptun lässt sich in drei Schichten einteilen: Die erste Schicht ist die Atmosphäre, welche aus Wasserstoff, Helium und Methan gas besteht. Der Mantel bildet die zweite Schicht und besteht aus Ammoniak, Wasser und Methaneis. Die letzte Schicht ist der Kern, der aus Eis und Gesteinen besteht. Durch das Methan in der Atmosphäre erscheint wie bei dem Uranus der Planet bläulich. Jedoch ist im Gegensatz zu Uranus Neptun nicht blaugrün, was darauf schließen lässt, dass ein weiterer Bestandteil für die Blaufärbung in der Atmosphäre vorhanden sein muss. Wie die anderen Riesenplaneten lässt sich auch bei Neptun keine klare feste Oberfläche feststellen, weshalb wie bei Jupiter, Saturn und Uranus eine Oberfläche bei 1 bar definiert wurde. Dort liegen Temperaturen von -201°C vor. Es wird vermutet, dass der Kern 1-1½-mal so viel Masse wie die Erde beinhaltet. Der Mantel wird als Eis bezeichnet, wobei dieser eine Masse von 10-15 Erdmassen besitzt. Die Schicht über dem Mantel besitzt einen Anteil von ca. zwei Erdmassen. Neben Jupiter und Saturn besitzt der Neptun aufgrund seiner 2,7-fachen Ausstrahlung der absorbierten Sonneneinstrahlung eine innere Wärmequelle. Drei Ursachen für die entstehende Wärme sind zum einen, dass radioaktive Prozesse den Kern aufheizen, zum anderen gibt es die Möglichkeit, dass die von der Entstehung angesammelte Hitze abgestrahlt wird. Die letzte Möglichkeit ist, dass Schwerewellen über der Tropopause aufbrechen und somit die Wärme produzieren. Durch Untersuchungsergebnisse von der NASA und der University of Wisconsin–Madison aus den Jahren 1996, 1998 und 2002 wurde bewiesen, dass durch die unterschiedliche Achsenneigung von Neptun Jahreszeiten verursacht und diese mehr als 40 Jahre andauern. Aufgrund einer dünnen Schicht wie bei Uranus besitzt der Neptun kein Dipol-, sondern ein Quadrupolfeld. Der Mittelpunkt dieses Magnetfeldes ist um ungefähr 13.500 km von der Mitte des Planeten verschoben.

Wie der Jupiter, Saturn und Uranus besitzt der Neptun ein feines Ringsystem, welches mit einem hohen Anteil aus mikroskopischem Staub besteht und außergewöhnlich dunkel ist. Durch Untersuchungsergebnisse von 2005 wurde gezeigt, dass die Ringe deutlich instabiler als vorher angenommen sind. Ein Beispiel ist der sogenannte Liberté-Ringbogen, dieser hatte 2003 eine Helligkeit von 30% als ursprünglich 1989 und wird immer dunkler.

Neben den meisten anderen Planeten besitzt Neptun auch Monde. Von den 14 bekannten Neptun-Monden ist der Triton der größte mit einem Durchmesser von 2.707 km. Als einziger der

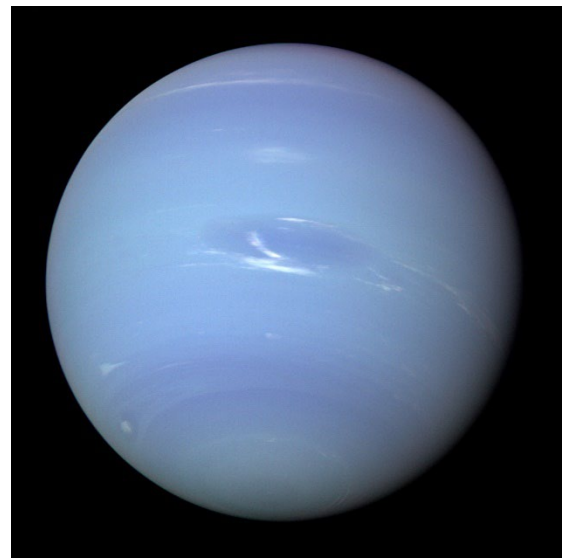


Abbildung 38 - Neptun

³⁶ Dieser Abschnitt verwendet Quelle (32).

großen Monde im Sonnensystem verläuft er retrograd, also gegen die Dreh Richtung, von Neptun und kommt ihm mit einer spiralförmigen Bahn näher. Triton ist außerdem das kälteste gemessene Objekt im Sonnensystem mit einer Temperatur von $-235\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pluto³⁷

Der Pluto ist der größte Zwergplanet unseres Sonnensystems mit einem Durchmesser von 2.374 km. Er ist außerdem das am längsten bekannte Objekt in dem Kuipergürtel und besitzt ein Volumen, was ein Drittel von dem Erdmond ausmacht.

Durch den riesigen Abstand zur Sonne braucht der Pluto ungefähr 248 Jahre, um einmal die Sonne zu umrunden. Durch die Exzentrizität von 0,2488 schwankt der Abstand zur Sonne von der großen Halbachse mit 24,88%. Pluto besitzt eine Bahnresonanz von 2:3 mit Neptun, was heißt, dass Neptun 3-mal die Sonne umrundet bis Pluto diese 2-mal umrundet. Um sich einmal um die eigene Achse zu drehen benötigt Pluto etwas weniger als 6,4 Tage. Weil die Äquatorebene mit ca. $122,5^{\circ}$ gegen die Bahnebene geneigt ist, spricht man davon, dass Pluto rückläufig rotiert. Der Nordpol befindet sich südlich der Ekliptik, weil sich Pluto retrograd rotiert und sich der Nordpol an dem Punkt befindet, von wo aus sich der Zwergplanet gegen den Uhrzeigersinn dreht.



Abbildung 39 - Pluto

Pluto besitzt eine Dichte von $1,86\text{ g/cm}^3$, was darauf schließen lässt, dass er eine Zusammensetzung aus 70% Gestein und 30% Wassereis hat. In dem aktuellen Modell zu Pluto besitzt dieser durch radioaktive Zerfallsprozesse eine Kern-Mantel-Struktur, wobei der Kern aus Gestein besteht und 70% des Durchmessers von Pluto ausmacht. Zwischen dem Gesteinskern und einer Stickstoffeisoberfläche besitzt Pluto einen Wassereismantel, wobei vermutet wird, dass durch innere Schmelzvorgänge zwischen Mantel und Kern sich ein Ozean gebildet hat der extraterrestrisch aufgebaut ist. Die Oberfläche von Pluto ist knapp so groß wie die von Südamerika. Die herzerscheinende Region wird, weil sie keine Einschlagskrater aufweist, von mehreren Forschern auf 100 Millionen Jahre alt geschätzt und liegt auf einer Region, die wahrscheinlich noch aktive geologische Verformungen durchgeht. Andere wiederum gehen davon aus, dass die Fläche sehr alt und geologisch inaktiv ist, wobei nur die Atmosphäre Auswirkungen darauf hat. Auf der Hemisphäre von Pluto wurden 1.070 Einschlagskrater gezählt und bei jenen Gebieten die die mit der höchsten Kraterdichte auf ein Alter von 4 Milliarden Jahren geschätzt. Auch besitzt der Pluto eine dünne Stickstoffatmosphäre, die zum Teil aus Kohlenmonoxid und zu 0,5% aus Methan besteht. Die Atmosphäre wurde im Jahr 2011 auf 3.000 km Höhe gemessen. Der Druck dieser Atmosphäre wurde von der NASA auf 0,3 Pascal und von der Europäischen Südsternwarte (auch ESO genannt) auf 1,5 Pascal errechnet. Jedoch wurde der Atmosphärendruck mit der Raumsonde "New Horizons" auf der Oberfläche von Pluto auf 0,5 Pascal gemessen.

Um den Pluto kreisen fünf bekannte natürliche Satelliten, wobei sie gerundet ein Verhältnis 3:4:5:6. Pluto besitzt mit dem Mond Charon ein Größenverhältnis von weniger als 2:1, was noch geringer als das von dem Erde-Mond-System ist. Aufgrund der Größe von Charon können Pluto und er als Doppelzwergplanet aufgefasst werden und somit würden die beiden Pluto Monde Nix und Hydra als den ersten Nachweis für zirkumbinäre Satelliten mit einigermaßen stabilen Bahnen in

³⁷ Für diesen Abschnitt wurde Quelle (24) verwendet.

einem Doppelsystem gelten.

Pluto wurde am 18. Februar 1930 am Lowell-Observatorium entdeckt und erhielt seinen Namen durch Venetia Burney. Damals wurde er noch als Planet bezeichnet, wobei sich dies 2006 änderte und dieser heutzutage als Zwergplanet bezeichnet wird.

Anhang

Glossar

Begriff	Beschreibung/Erläuterung
V-Server	Ein Virtualisierter Server
Vue.js	Vue.js ist ein Webframework, welches die Webentwicklung stark vereinfacht.
Webframework	Ein Webframework vereinfacht sich wiederholende Aufgaben, es kompiliert den Code in optimiertes und minimalistisches JavaScript, jedoch ist dieses im Nachhinein kaum noch zu lesen, doch der Browser versteht es.
JavaScript	JavaScript ermöglicht es Websites Logik auszuführen. Es ist die einzige Möglichkeit, um Interaktive Websites zu gestalten.
Node.js	Node.js wird serverseitig ausgeführt und ermöglicht das einfache Verwenden von Bibliotheken.
Bibliothek(en)	Beim Programmieren gibt es Bibliotheken, wodurch schon existierender (fremder) Code wiederverwendet werden kann. <i>So muss das Rad nicht immer neu erfunden werden.</i>
Service-Worker	Der Service-Worker ist eine Erfindung von Google, welcher im Chrome Browser, dass ‚installieren‘ von Apps ermöglicht, dadurch kann eine normale Website als App (auch offline) genutzt werden, was die Cross-Plattform App Entwicklung stark erleichtert.
Cross-Plattform	Die Cross-Plattform App Entwicklung beschreibt die Geräteübergreifende Software-Entwicklung. Das heißt, dass die Anwendung nicht für jede Geräteplattform neu entwickelt werden muss (was häufig der Fall ist), sondern, dass die App auf jeder Plattform mit dem gleichen Code läuft.
Frontend	Das Frontend ist alles das, worauf der Verbraucher frei zugreifen kann, also die Website und Interne Logik.
Backend	Das Backend ist der Teil des Codes, welcher auf dem Server läuft, der Verbraucher kann auf diesen nicht zugreifen, dieser Teil ist nur für die Entwickler zugänglich.
Docker	Docker ist eine Open-Source-Container-Plattform, welche es ermöglicht verschiedene Container auf einem Host-System laufen zu lassen. Dies ermöglicht eine einfache Integration einer Anwendung auf verschiedene Betriebssysteme, da der Container sein eigenes Betriebssystem mitbringt.
Open-Source	Öffentlicher einsehbarer Code. Fordert den Fortschritt, da jeder sich beteiligen kann.
Host	Der Host, ist der Hauptcomputer. Im Kontext Docker, bedeutet das, dass mehrere Virtuelle Computer auf diesen ausgeführt werden.
Container (Docker)	Ein Container ist abgetrennt von Host-System. Jeder Container erfüllt nur eine Aufgabe, egal ob es das Hosten einer Datenbank ist, oder das Berechnen von Daten.
3D-Engine	Eine 3D-Engine ist eine Software, welche es ermöglicht, durch wenig Code, Grundformen wie Würfel oder Kugeln darzustellen.
UV-Mapping	Siehe <i>Konzept</i> wird in dem Abschnitt ausführlich erklärt, eigentlich ist der Abschnitt nur dafür da.
Blender	Blender ist ein kostenloser 3D-Allrounder (ebenfalls im Abschnitt <i>Konzept</i> ausführlich erklärt)
Lineae	Lineae sind die vielen Gräben und Furchen auf Europa, welche eine Breite von ca. 20 km haben können.
Quadrupol	Ein Quadrupol ist so aufgebaut, dass in zwei diagonalen Ecken jeweils ein Nordpol und in den anderen beiden diagonalen Ecken jeweils ein Südpol erkennbar ist.
Rosettenbahn	Die Bahn verschiebt sich nach jeder Umrundung etwas, wodurch nach vollem Ablauf sie wie eine Blume aussieht.
prograd	Gibt an, dass ein Planet der Rotationsrichtung der Sonne folgt.
retrograd	Gibt an, dass ein Planet gegen die Rotationsrichtung der Sonne läuft.

Isotope	Ein Stoff kann mehrere Isotope haben. Diese variieren in der Neutronenanzahl.
Schildvulkan	Ein Vulkan, der durch seine aufgewölbte Form wie ein Schild aussieht.
Kryosphäre	Das gesamte Vorkommen von Eis auf einem Himmelskörper.
Dipolfeld	Ein magnetisches Feld, welches von Nordpol nach Südpol verläuft.
Bahnresonanz	Wenn sich zwei Planeten z.B. in einer Bahnresonanz von 2:1 befinden muss der Erste Planet zweimal eine Umrundung absolvieren, damit der zweite eine Umrundung absolviert hat. Sie befinden sich, dann wieder an ihrer Ursprungsposition.

Danksagung

Wir wollen uns bei denen bedanken die uns bei dem Astronomie Kurs geholfen und diesen zur Verfügung gestellt haben. Zuerst wollen wir uns bei dem CFG bedanken, dass wir an diesem Kurs teilnehmen und die Ausstattung benutzen durften. Außerdem wollen wir uns bei Herrn Koch bedanken, der uns bei der Quellensuche geholfen hat und bei weiteren Fragen zur Verfügung stand. Als letztes wollen wir uns noch bei unseren Eltern bedanken, welche uns den Besuch des Astronomie Kurses ermöglicht haben.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Vue Component Modell	3
Abbildung 2 - Vergleich zwischen Statischen und Dynamischen Component.....	4
Abbildung 3 - Codeausschnitt: Beispiel: Template Rendering in Vue.js	5
Abbildung 4 - Ausgabe Website vom Beispiel Code zum Template Rendering.....	5
Abbildung 5 - Blender: Beispiel Würfel UV-Mapping.....	6
Abbildung 6 - Blender: create --> mesh	6
Abbildung 7 - Blender: Würfel mit Mars Textur	7
Abbildung 8 - Blender: Mars	7
Abbildung 9 - App: Planeten Informationen (Jupiter)	8
Abbildung 10 - Google Embed zum Jupiter.....	8
Abbildung 11 - Klassendiagramm Beispiel: Verkehrsmittel.....	9
Abbildung 12 - App: Status: Modell geladen	10
Abbildung 13 - App Screenshot.....	10
Abbildung 14 - App Screenshot (Hotspots).....	12
Abbildung 15 - App Screenshot (Handy) (gedreht).....	13
Abbildung 16 - Installationsbefehl (ohne vorliegende Zertifikate).....	15
Abbildung 17 - Installationsbefehl (mit vorliegenden Zertifikaten).....	15
Abbildung 18 - CMD: IPv4-Adresse herausfinden.....	16
Abbildung 19 - Firefox: Warnung Self-Signed Certificate	16
Abbildung 20 - Merkur.....	17
Abbildung 21 - Venus (Atmosphäre).....	18
Abbildung 22 - Venus (Oberfläche).....	19
Abbildung 23 - Erde.....	19
Abbildung 24 - Innerer Aufbau der Erde.....	19
Abbildung 25 - Mond (Erdmond)	20
Abbildung 26 - Kollision Proto-Erde und Theia (Frame 62)	21
Abbildung 27 - Mond bildet sich aus Kollisionsüberresten (Frame 77).....	21
Abbildung 28 - Mars.....	22
Abbildung 29 - Ceres	23
Abbildung 30 - Jupiter (mit großem rotem Fleck).....	24
Abbildung 31 - Io (Jupitermond).....	25
Abbildung 32 - Europa (Jupitermond).....	26
Abbildung 33 - Ganymed (Jupitermond).....	27
Abbildung 34 - Kallisto (Jupitermond)	28
Abbildung 35 - Saturn	29

Abbildung 36 - Saturnringe	30
Abbildung 37 - Uranus	31
Abbildung 38 - Neptun	32
Abbildung 39 - Pluto	33

Abbildungsquellen

1. <https://012.vuejs.org/guide/>
2. *Selbst erstellt*
3. *Selbst erstellt*
4. *Selbst erstellt*
5. *Selbst erstellt*
6. *Selbst erstellt*
7. *Selbst erstellt*
8. *Selbst erstellt*
9. *Selbst erstellt*
10. *Selbst erstellt*
11. *Selbst erstellt*
12. *Selbst erstellt*
13. *Selbst erstellt*
14. *Selbst erstellt*
15. *Selbst erstellt*
16. *Selbst erstellt*
17. *Selbst erstellt*
18. *Selbst erstellt*
19. *Selbst erstellt*
20. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d9/Mercury_in_color - Prockter07-edit1.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d9/Mercury_in_color_-_Prockter07-edit1.jpg)
21. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c7/PIA23791-Venus-RealAndEnhancedContrastViews-20200608_%28cropped%29.jpg
22. https://photojournal.jpl.nasa.gov/jpegMod/PIA00104_modest.jpg
23. https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/1-blumarble_west.jpg
24. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/46/Aufbau der Erde schematisch.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/46/Aufbau_der_Erde_schematisch.svg)
25. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dd/Full Moon Luc Viatour.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dd/Full_Moon_Luc_Viatour.jpg)
26. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/74/Big Splash Theia.gif](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/74/Big_Splash_Theia.gif) (extrahiert)
27. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/74/Big Splash Theia.gif](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/74/Big_Splash_Theia.gif) (extrahiert)
28. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/02/OSIRIS Mars true color.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/02/OSIRIS_Mars_true_color.jpg)
29. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/76/Ceres - RC3 - Haulani Crater %2822381131691%29_%28cropped%29.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/76/Ceres_-_RC3_-_Haulani_Crater_%2822381131691%29_%28cropped%29.jpg)
30. <https://esahubble.org/images/heic2017a/>; keine Änderungen vorgenommen
31. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7b/Io highest resolution true color.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7b/Io_highest_resolution_true_color.jpg)
32. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/54/Europa-moon.jpg>
33. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/21/Ganymede - Perijove 34 Composite.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/21/Ganymede_-_Perijove_34_Composite.png)
34. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e9/Callisto.jpg>
35. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e3/Saturn from Cassini Orbiter %282004-10-06%29.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e3/Saturn_from_Cassini_Orbiter_%282004-10-06%29.jpg)
36. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f8/Saturn Rings annotated.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f8/Saturn_Rings_annotated.jpg)
37. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3d/Uranus2.jpg>
38. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/63/Neptune - Voyager 2 %2829347980845%29 flatten crop.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/63/Neptune_-_Voyager_2_%2829347980845%29_flatten_crop.jpg)

39. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a7/Pluto-01_Stern_03_Pluto_Color_TXT.jpg

Quellen

1. https://www.esa.int/kids/de/lernen/Unser_Universum/Planeten_und_Monde/Jupiter
2. <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA25011>
3. <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA25011>
4. https://www.esa.int/kids/de/lernen/Unser_Universum/Planeten_und_Monde/Merkur
5. <https://www.eskp.de/grundlagen/naturgefahren/der-aufbau-der-erde-935120/>
6. <https://de.wikipedia.org/wiki/Erde>
7. https://www.dlr.de/next/desktopdefault.aspx/tabid-6573/10789_read-24353/
8. https://de.wikipedia.org/wiki/Entstehung_des_Mondes
9. [https://de.wikipedia.org/wiki/Mars_\(Planet\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Mars_(Planet))
10. <https://studyflix.de/ingenieurwissenschaften/mars-3696>
11. <https://www.ergomax.de/blog/kann-atmosphaerischer-druck-unsere-gesundheit-beeinflussen/>
12. [https://www.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Kallisto_\(Mond\)](https://www.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Kallisto_(Mond))
13. [https://de.wikipedia.org/wiki/Kallisto_\(Mond\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Kallisto_(Mond))
14. <https://astrokramkiste.de/jupitermond-kallisto>
15. [https://de.wikipedia.org/wiki/Ganymed_\(Mond\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Ganymed_(Mond))
16. <https://astrokramkiste.de/jupitermond-ganymed>
17. <https://astrokramkiste.de/jupitermond-europa>
18. [https://de.wikipedia.org/wiki/Europa_\(Mond\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Europa_(Mond))
19. <https://astrokramkiste.de/jupitermond-io>
20. [https://de.wikipedia.org/wiki/lo_\(Mond\)](https://de.wikipedia.org/wiki/lo_(Mond))
21. <https://astrokramkiste.de/merkur>
22. https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/Merkur_Ein_Planet_voller_Raetsel
23. [https://de.wikipedia.org/wiki/Merkur_\(Planet\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Merkur_(Planet))
24. <https://de.wikipedia.org/wiki/Pluto>
25. <https://astrokramkiste.de/saturn>
26. [https://de.wikipedia.org/wiki/Saturn_\(Planet\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Saturn_(Planet))
27. [https://de.wikipedia.org/wiki/\(1\)_Ceres](https://de.wikipedia.org/wiki/(1)_Ceres)
28. [https://de.wikipedia.org/wiki/Venus_\(Planet\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Venus_(Planet))
29. https://www2.klett.de/sixcms/list.php?page=infothek_artikel&extra=TERRA-Online%20/%20Gymnasium&artikel_id=109506&inhalt=klett71prod_1.c.288483.de
30. [https://de.wikipedia.org/wiki/Jupiter_\(Planet\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Jupiter_(Planet))
31. [https://de.wikipedia.org/wiki/Uranus_\(Planet\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Uranus_(Planet))
32. [https://de.wikipedia.org/wiki/Neptun_\(Planet\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Neptun_(Planet))

Anlage „Erklärung“:

Hiermit erklären wir, dass wir die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst haben. Insbesondere versichern wir, dass wir alle wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen aus anderen Werken als solche kenntlich gemacht haben.

Außerdem erklären wir uns einverstanden, dass diese Projektarbeit sowie digital, als auch analog publiziert wird.

Ort, Datum

Unterschrift(en)