

**Arbeitsaufträge für die Zeit  
vom Mi., den 18.03.2020 bis zum Fr., den 03.04.2020  
für die Physik A-Kurse des Jg. 10**

Liebe Schülerinnen, liebe Schüler,

zunächst eine kleine "Wiederholungsaufgabe". Denkt bei der Bearbeitung an die korrekte Verwendung der Einheiten, nicht aus Doppelbrüchen kürzen, ...!

**1. Arbeitsauftrag:**

Von der Spitze eines Turms lässt man einen Stein fallen. Nach 4 Sekunden sieht man ihn auf dem Boden aufschlagen.

- a) Wie hoch ist der Turm?
- b) Mit welcher Geschwindigkeit trifft der Stein auf dem Erdboden auf?
- c) Nach welcher Zeit hat der Stein die Hälfte seines Fallweges zurückgelegt?

Lösungen: a)  $h = 78,48 \text{ m}$ ; b)  $v = 141,26 \text{ km/h}$ ; c)  $t = 2,83 \text{ s}$

**2. Arbeitsauftrag:**

Unser neues Thema soll einen Überblick über die Grundideen der Relativitätstheorie geben. Als Hinführung dazu sind auf den folgenden Seiten ein paar Basisdaten unseres Sonnensystems und unserer Heimatgalaxie, der Milchstraße, erläutert. Zu Beginn wird erklärt, warum die dort gezeigten Berechnungen ohne Taschenrechner durchgeführt wurden. Eure Aufgabe ist es, euch mit den durchgeführten Berechnungen zur

- a) Geschwindigkeit  $v$  der Erde um sich selbst (Seite 3)
- b) Geschwindigkeit  $v$  der Erde um die Sonne (Seite 3)
- c) Geschwindigkeit  $v$  unserer Sonne um das Zentrum der Milchstraße (Seite 6)

so zu beschäftigen, dass ihr sie an der Tafel OHNE Taschenrechner vorrechnen könnt. Dazu braucht ihr die Ausgangswerte (Erdradius, Radius der Erdbahn um die Sonne, Radius und Dauer der Sonnenbahn um das Zentrum der Milchstraße) natürlich NICHT auswendig wissen. Wenn euch andere Näherungen als die gezeigten einfallen – wunderbar, aber bitte ohne Taschenrechner!

Zur Erfüllung dieses zweiten Arbeitsauftrages notiert bitte "eure" drei Berechnungen.

Die Infos in den Anhängen A und B werden nicht abgefragt und sind nur für Interessierte ☺.

**Bitte die Berechnung zum 1. Arbeitsauftrag und die drei Berechnungen mit "euren" Näherungen (oder mit den von mir vorgeschlagenen) des 2. Arbeitsauftrages auf eine DIN A4 Seite notieren und mir in der ersten Physikstunde abgeben (das ist aktuell in der Woche ab dem 20.04.2020).**

Falls ihr Rückfragen habt, schreibt mir bitte an [stephan@beck2u.de](mailto:stephan@beck2u.de), ich schaue während der Woche täglich in meine emails und werde möglichst zeitnah antworten.

Ich wünsche Euch viel Erfolg, bleibt gesund und bis bald.

# Kinematik im All

## Inhaltsverzeichnis

### 1. Die Erde

- 1.1. Die Bewegung der Erde um sich selbst
- 1.2. Die Bewegung der Erde um die Sonne

### 2. Unser Sonnensystem

### 3. Die Milchstraße

- 3.1. Der Begriff "Lichtjahr"
- 3.2. Die Bewegung unseres Sonnensystems um das Zentrum der Milchstraße
- 3.3. Die Milchstraße und weitere Galaxien
- 3.4. Gibt es außerirdisches Leben?

**Anhang A:** Größenverhältnisse

**Anhang B:** Bezeichnungen

# Kinematik im All

Da es in der Physik oft notwendig ist, bei zu erwartenden (Mess-)Werten zunächst die Größenordnung abzuschätzen, sollen als Übung dazu alle Berechnungen ohne Taschenrechner durchgeführt werden. Dabei werden die Berechnungen durch sinnvolle Näherungen vereinfacht (die verwendeten Näherungen sind beispielhaft, andere sind natürlich ebenso denkbar). Es zeigt sich, dass man durch geschickte Ersetzungen auch ohne Taschenrechner Ergebnisse erhält, welche die Wirklichkeit sehr gut wiedergeben. Zum Vergleich sind am Ende einer Berechnung Taschenrechner-Werte angegeben.

## 1. Die Erde

### 1.1. Die Bewegung der Erde um sich selbst

Mit welcher Geschwindigkeit  $v_E$  bewegt sich die Erde um sich selbst?

Die Geschwindigkeit wird im Allgemeinen in km/h angegeben, was auch hier angestrebt werden soll. Für die Berechnung der Geschwindigkeit ergibt sich:

$$v = \frac{s}{t}$$

Mit  $v$  = Geschwindigkeit,  $s$  = Strecke und  $t$  = Zeit.

Die zurückgelegte Strecke  $s$  ist hier eine komplette Umdrehung um die Erde, was dem Umfang  $U$  eines Kreises entspricht. Für den Kreisumfang gilt:  $U = 2\pi r$ . Die dafür notwendige Zeit beträgt  $t = 24$  Stunden.



Bild 1; Quelle: Wikimedia Commons

Als Näherungswert für den Erdradius (6.371 km) wird der Wert  $r = 6.400$  km verwendet:

$$v_E = \frac{s}{t} = \frac{2\pi r}{t} = \frac{2\pi \cdot 6.400 \text{ km}}{24 \text{ h}} \approx \frac{6 \cdot 6.400 \text{ km}}{24 \text{ h}} = \frac{6.400 \text{ km}}{4 \text{ h}} = 1.600 \frac{\text{km}}{\text{h}} \quad (\text{genauerer Wert: } 1.668 \text{ km/h})$$

### 1.2. Bewegung der Erde um die Sonne

Die Erde dreht sich aber nicht nur um sich selbst, sondern sie umkreist dabei die Sonne. Vereinfacht kann man auch diese Bewegung als Kreisbewegung ansehen. Dabei ist der Bahnradius  $r = 150$  Mio. km und die Zeit für eine vollständige Umrundung der Sonne beträgt  $t = 1$  Jahr.

Mit diesen Angaben ergibt sich:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{2\pi r}{t} = \frac{2\pi \cdot 150 \cdot 10^6 \text{ km}}{1 \text{ Jahr}} \approx \frac{6 \cdot 150 \cdot 10^6 \text{ km}}{365 \cdot 24 \text{ h}} \approx \frac{6 \cdot 150 \cdot 10^6 \text{ km}}{360 \cdot 25 \text{ h}} = \frac{1 \cdot 6 \cdot 10^6 \text{ km}}{60 \cdot 1 \text{ h}} = \frac{10^6 \text{ km}}{10 \text{ h}} = 1 \cdot 10^5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Mit  $1 \cdot 10^5 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 100.000 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  "fliegen" wir also um unsere Sonne (genauerer Wert: 107.589 km/h)

## 2. Unser Sonnensystem

Unser Sonnensystem besteht - neben der Sonne - aus acht Planeten, den sogenannten inneren und äußeren Planeten (Merkur, Venus, Erde, Mars und Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun; seit 2006 wird Pluto nicht mehr als Planet bezeichnet. (Mein Vater erklärt mir jeden Sonntag unseren Nachthimmel).

Die Planeten und die Sonne unseres Sonnensystems im richtigen Größenverhältnis:

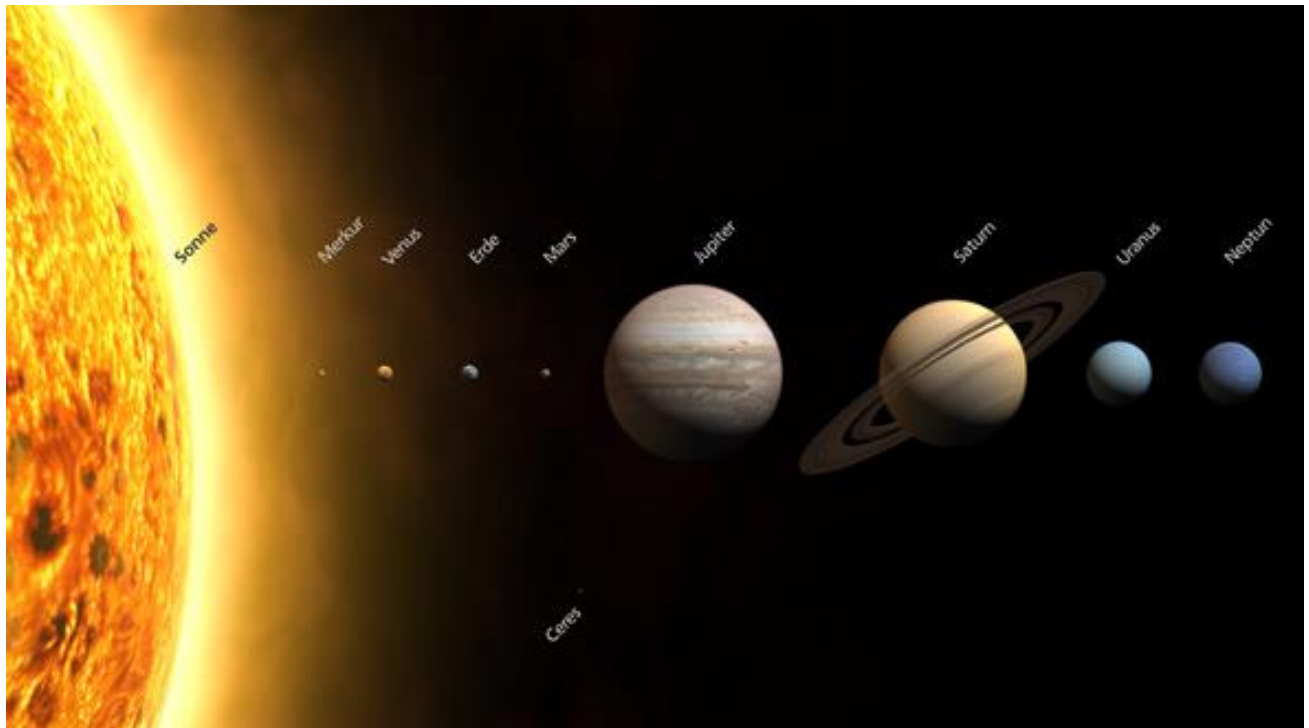
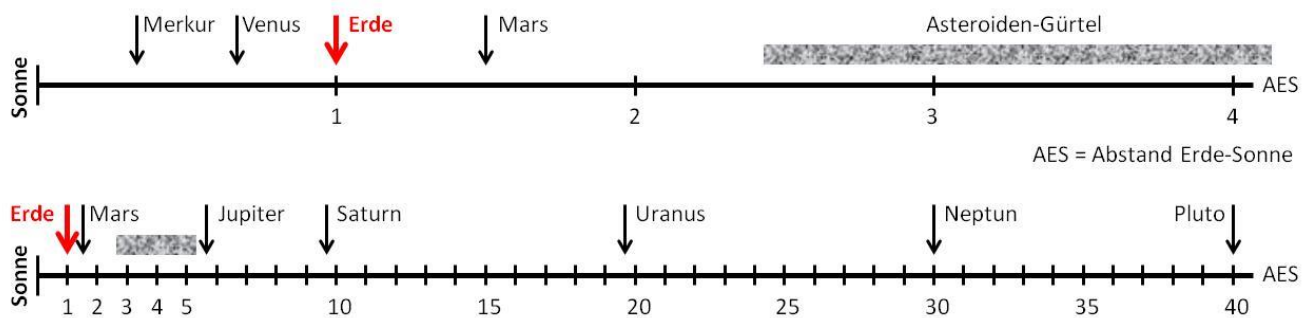


Bild 2; Quelle: DLR

Die Planeten und ihr Abstand zur Sonne (in der Einheit AES = Abstand Erde-Sonne)



### 3. Die Milchstraße

Unser Sonnensystem ist Bestandteil einer Galaxie, der Milchstraße. Unsere Milchstraße enthält etwa 250 bis 300 Milliarden Sonnen, wobei viele dieser Sonnen genauso von Planeten umkreist werden, wie dies in unserem eigenen Sonnensystem der Fall ist.

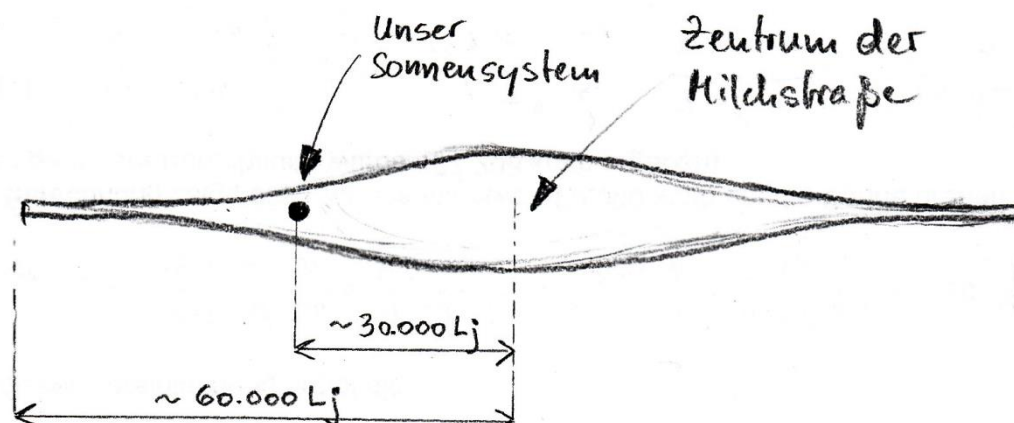
Die Milchstraße zählt zu den sogenannten Spiral-Galaxien, die von der Seite eine Diskus-ähnliche Form aufweisen (Bild 3).



Bild 3; Quelle: Welt der Physik

#### 3.1. Lichtjahr

Das Lichtjahr ist keine Zeitangabe, sondern die **Entfernung**, die das Licht in einem Jahr zurücklegt. Unser Sonnensystem steht nicht still, sondern es rotiert um das Zentrum der Milchstraße. Es ist dabei etwas am Rand gelegen, wie in der unteren Darstellung gezeigt.



### 3.2. Bewegung unseres Sonnensystems um das Zentrum unserer Milchstraße

Um die Umdrehungsgeschwindigkeit bestimmen zu können, benötigen wir zunächst die **Umrechnung von Lichtjahr in km**. Dazu wird der Wert für die Lichtgeschwindigkeit  $v_c = 300.000 \text{ km/s}$  verwendet:

$$\begin{aligned} \text{gegeben: } v_c &= 300.000 \frac{\text{km}}{\text{s}} = 3 \cdot 10^5 \frac{\text{km}}{\text{s}} \\ t &= 1 \text{ Jahr} = 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s} \end{aligned}$$

gesucht:  $s$  (= Lichtjahr)

$$\text{Es gilt: } v_c = \frac{s}{t} \quad \text{Nach } s \text{ aufgelöst ergibt sich: } s = v_c \cdot t$$

$$s = v_c \cdot t = 3 \cdot 10^5 \frac{\text{km}}{\text{s}} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s} \approx 3 \cdot 10^5 \cdot 360 \cdot 25 \cdot 3,6 \cdot 10^3 \text{ km}$$

$$\approx 11 \cdot 360 \cdot \frac{100}{4} \cdot 10^8 \text{ km} = 11 \cdot 9.000 \cdot 10^8 \text{ km} \approx 99.000 \cdot 10^8 \text{ km} \approx 9,9 \cdot 10^{12} \text{ km}$$

Das sind etwa 10 Billionen km (genauerer Wert:  $9,46 \cdot 10^{12} \text{ km}$ )

Betrachtet man die Bewegung unseres Sonnensystems um das Zentrum der Milchstraße als Kreisbahn und nimmt man für den Bahnradius  $r$  und die Umlaufzeit  $t$  die unten aufgeführten Werte an, dann lässt sich die Geschwindigkeit dieser Bewegung wie folgt berechnen:

$$\text{Bahnradius } r = 30.000 \text{ Lj} = 3 \cdot 10^4 \text{ Lj} = 3 \cdot 10^4 \cdot 10 \cdot 10^{12} \text{ km}$$

$$\text{Umlaufzeit } t = 200 \text{ Mio. Jahre} = 200 \cdot 10^6 \text{ Jahre} = 2 \cdot 10^8 \cdot 365 \cdot 24 \text{ h}$$

Damit ergibt sich für die Geschwindigkeit:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{2\pi r}{t} = \frac{2\pi \cdot 3 \cdot 10^4 \cdot 10 \cdot 10^{12} \text{ km}}{200 \cdot 10^6 \cdot 365 \cdot 24 \text{ h}} \approx \frac{18 \cdot 10^{17} \text{ km}}{2 \cdot 10^8 \cdot 360 \cdot \frac{100}{4} \text{ h}} = \frac{18 \cdot 10^{17} \text{ km}}{2 \cdot 10^8 \cdot 9.000 \text{ h}} = \frac{18 \cdot 10^{17} \text{ km}}{18 \cdot 10^{11} \text{ h}} = 1 \cdot 10^6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

**d.h. unser Sonnensystem kreist mit ca. 1 Mio. km/h um das Zentrum der Milchstraße!**

(genauerer Wert: 1.016.714 km/h)

Das ist immer noch wenig im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit  $v_c$ :

$$v_c = 300.000 \frac{\text{km}}{\text{s}} = 3 \cdot 10^5 \frac{\text{km}}{\text{s}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3 \cdot 10^8 \cdot 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 10,8 \cdot 10^8 \frac{\text{km}}{\text{h}} \approx 1 \cdot 10^9 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

(in der Rechnung wurde die aus dem Unterricht bekannte Umrechnung  $\frac{\text{m}}{\text{s}} = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  verwendet)

**Damit beträgt diese Geschwindigkeit nur etwa  $\frac{1 \cdot 10^6}{1 \cdot 10^9} = \frac{1}{1.000} = 1\%$  der Lichtgeschwindigkeit  $v_c$ !**

0,1% der Lichtgeschwindigkeit klingt "noch nicht so schnell", aber die bisher von Menschen erzeugte maximale Geschwindigkeit künstlicher Objekte ist dramatisch geringer:

- Die Apollo Raumkapsel (1969):  $v \approx 40.000 \text{ km/h}$
- Die Voyager 1 Raumsonde (1977):  $v \approx 60.000 \text{ km/h}$  (relativ zur Sonne)

Das sind etwa  $\frac{60 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^9} = 60 \cdot 10^{-6} = 0,06 \cdot 10^{-3} = 0,06 \text{ ‰}$  der Lichtgeschwindigkeit  $v_c$ !

### 3.3. Die Milchstraße und weitere Galaxien

Die Milchstraße ist nur eine von vielen Galaxien, wie das folgende Bild zeigt:



Bild: NASA, ESA and the HST Frontier Fields team (STScI)

Bild 4

#### Einige Werte:

	Schätzungen
Sonnen in der Milchstraße	≈ 250 - 300 Mrd.
Abstand zur nächsten Sonne (Proxima - Centauri)	4,3 Lj = $43 \cdot 10^{12} \text{ km}$ = 43 Billionen km
Abstand zur nächsten Galaxie (Andromeda Nebel)	2,5 Mio. Lj = $25 \cdot 10^{18} \text{ km}$ = 25 Trillionen km
Galaxien im bisher beobachteten Universum	≈ 2 Billionen Galaxien
Durchmesser Universum	≈ 93 Mrd. Lj
Alter Universum	≈ 13,8 Mrd. Jahre

Quelle: Wikipedia

### 3.4. Gibt es außerirdisches Leben?

In Anbetracht der riesigen Anzahl von Galaxien (≈ 2 Billionen) und der noch riesigeren Anzahl von darin enthaltenen Sonnen ist es sehr wahrscheinlich, dass es irgendwo im Universum Leben gibt. Allerdings ist es nicht so wahrscheinlich, dass wir davon erfahren werden:

Annahme:

Ein Außerirdischer mit Namen "Horst" sitzt ganz in unserer Nähe, nämlich in unserer eigenen Galaxie, der Milchstraße, und dort ziemlich nahe am Zentrum. Zum Glück haben wir seine Handy-Nummer und schicken ihm ein Smiley! Nach 30.000 Jahren erhält er unsere Nachricht und schickt sofort ein "Hi, alles cool!" zu uns zurück, was nach insgesamt 60.000 Jahren bei uns wieder eintrifft – eine sehr langweilige Unterhaltung, und dass, obwohl die Handy-Signale mit fast Lichtgeschwindigkeit durch den Raum rasen. Die Entfernungen sind einfach so groß, dass die klassische Vorstellung, wie der Kontakt zu Außerirdischen zustande kommen könnte, höchstwahrscheinlich nicht zutreffend sein wird.

Für alle anderen Variationen (Wurmlöcher im Universum, Reisen durch schwarze Löcher, ...) sind der Phantasie aber auch weiterhin keine Grenzen gesetzt!

## Anhang A: Größenverhältnisse

### Größe (Durchmesser)

Sonne	=	1.392.684 km	≈	$1,4 \cdot 10^6$ km
Erde	=	12.742 km	≈	$12,7 \cdot 10^3$ km
Mond	=	3.474 km	≈	$3,5 \cdot 10^3$ km

### Abstand

Abstand Sonne – Erde	=	149,6 Mio. km	≈	$150 \cdot 10^6$ km
Abstand Erde – Mond	=	370.300 km	≈	$4 \cdot 10^5$ km

### Größenverhältnis (bezogen auf den Durchmesser)

$$\text{Sonne : Erde} = \frac{\text{Sonne}}{\text{Erde}} = \frac{1,4 \cdot 10^6 \text{ km}}{12,7 \cdot 10^3 \text{ km}} \approx \frac{1,4 \cdot 10^6 \text{ km}}{1,4 \cdot 10^4 \text{ km}} = 100$$

$$\text{Erde : Mond} = \frac{\text{Erde}}{\text{Mond}} = \frac{12,7 \cdot 10^3 \text{ km}}{3,5 \cdot 10^3 \text{ km}} \approx \frac{14 \cdot 10^3 \text{ km}}{3,5 \cdot 10^3 \text{ km}} = 4$$

### Modelle (Verkleinerungsfaktor: $10^9$ )

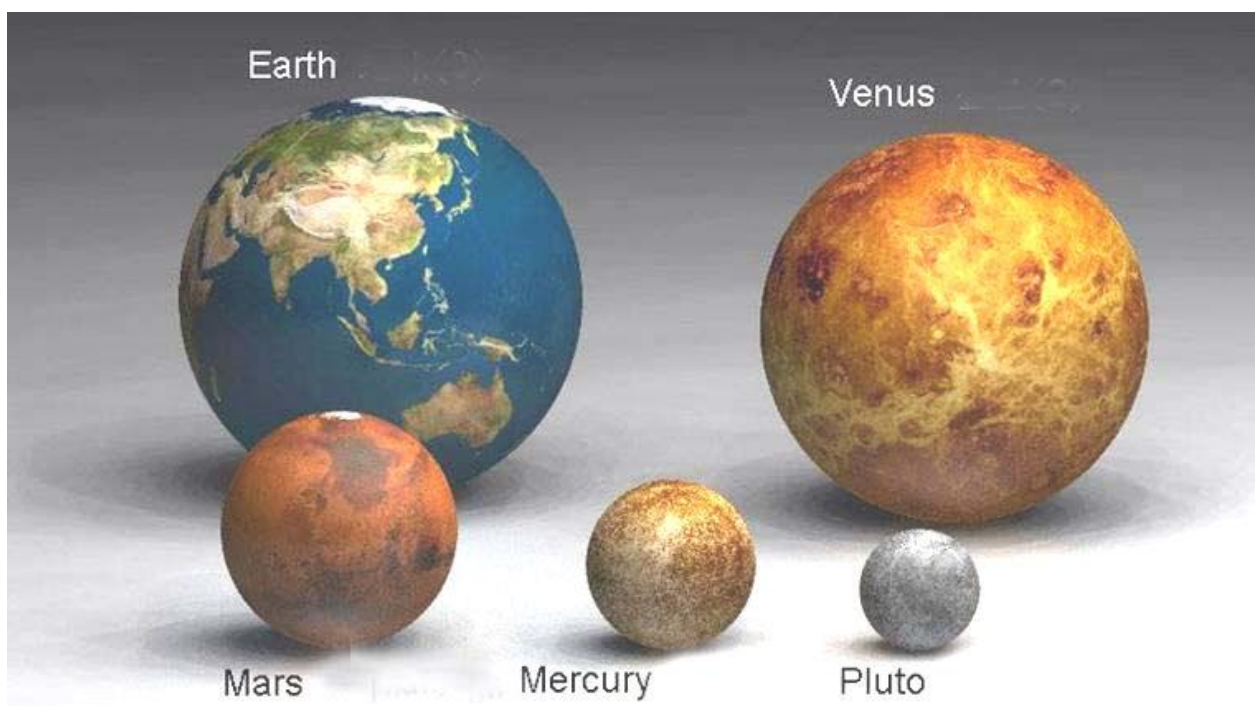
$$\text{Sonne:} \quad \frac{1,4 \cdot 10^6 \text{ km}}{10^9} = \frac{1,4 \cdot 10^9 \text{ m}}{10^9} = 1,4 \text{ m}$$

$$\text{Erde:} \quad \frac{12,7 \cdot 10^3 \text{ km}}{10^9} = \frac{13 \cdot 10^6 \text{ m}}{10^9} = \frac{13 \cdot 10^9 \text{ mm}}{10^9} = 13 \text{ mm} \quad (\approx 1 \text{ Cent Münze})$$

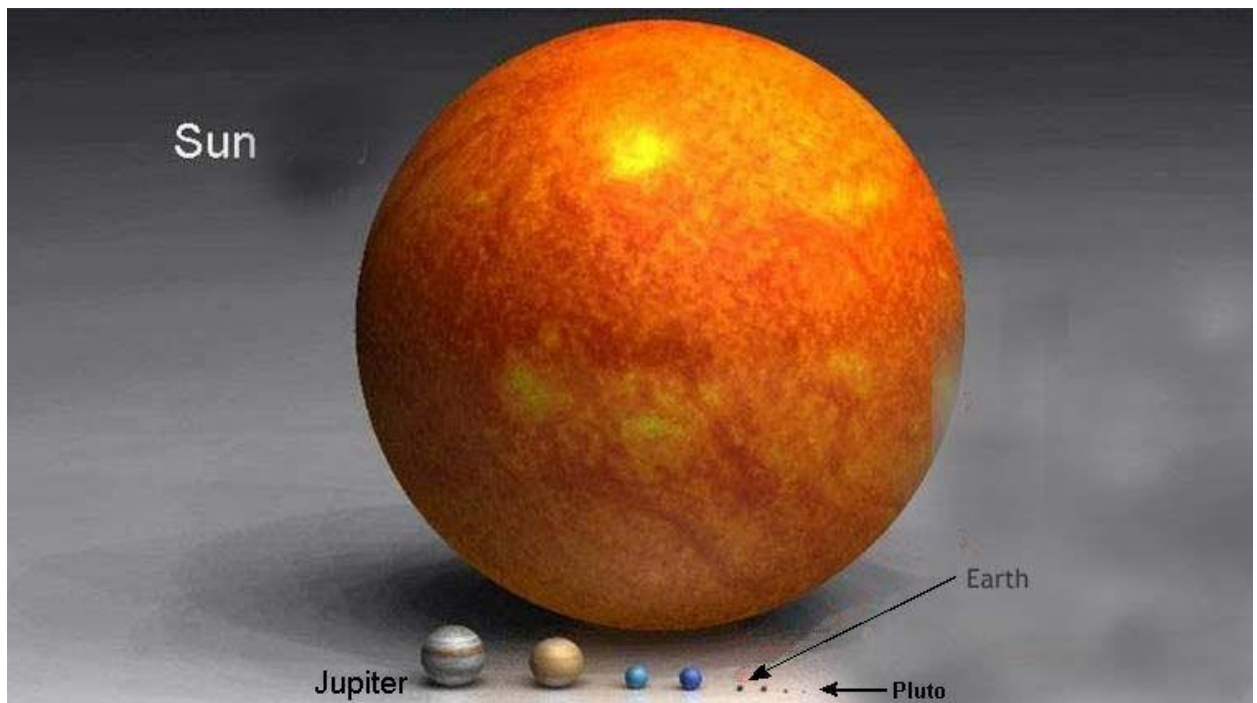
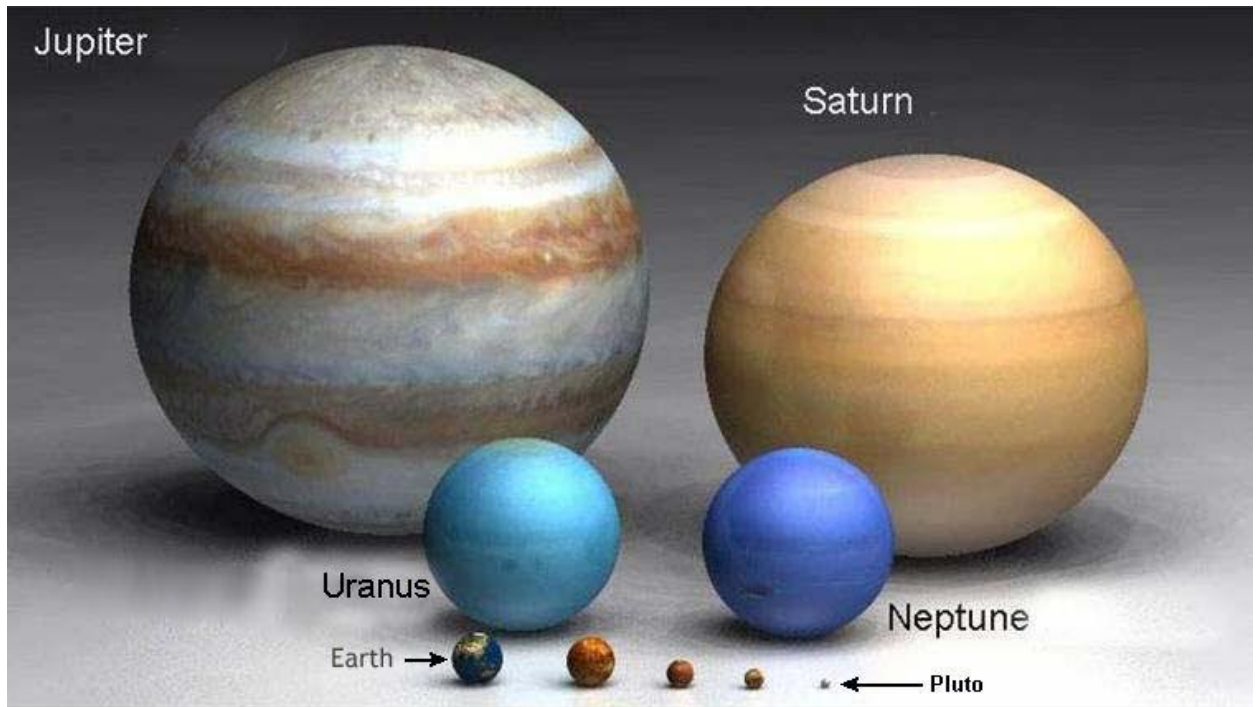
$$\text{Abstand Sonne – Erde} = \frac{150 \cdot 10^6 \text{ km}}{10^9} = \frac{150 \cdot 10^9 \text{ m}}{10^9} = 150 \text{ m}$$

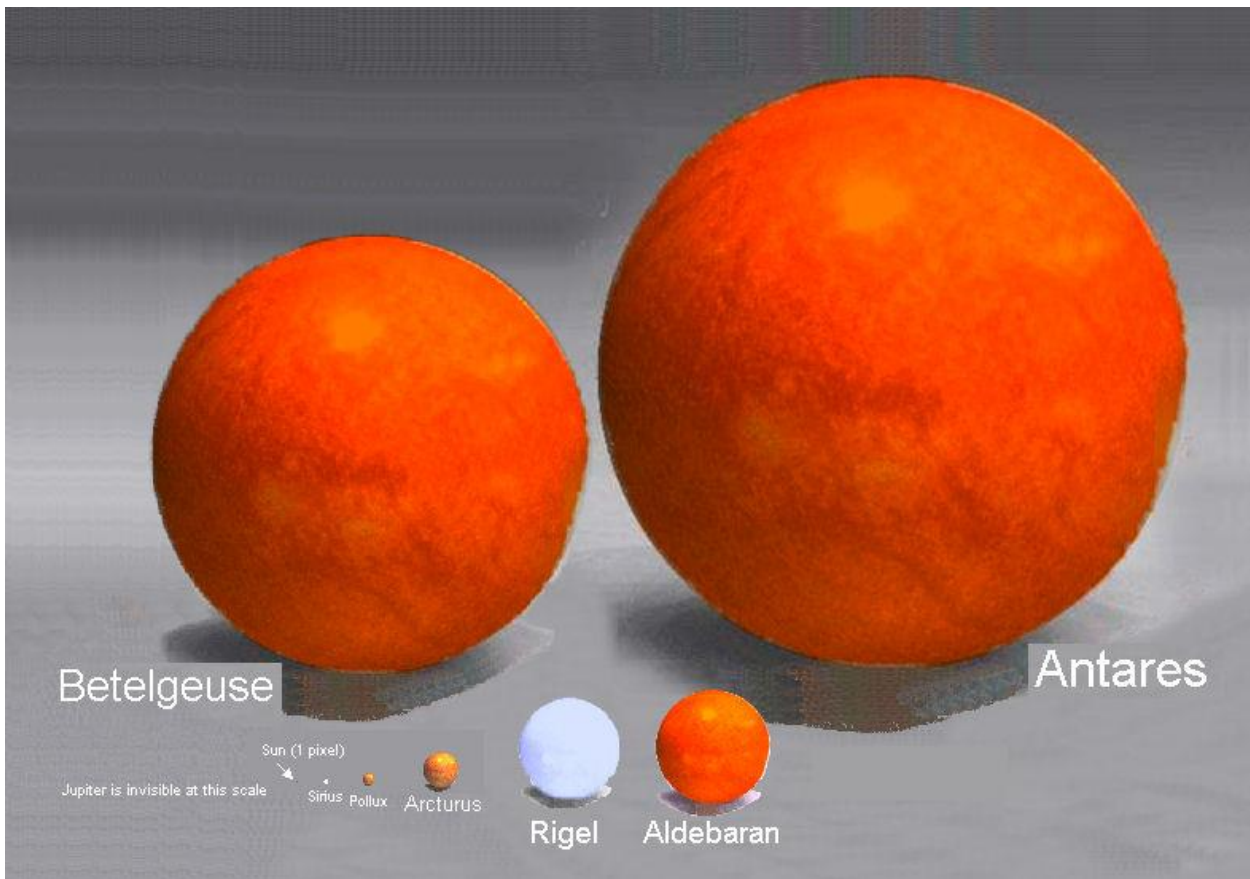
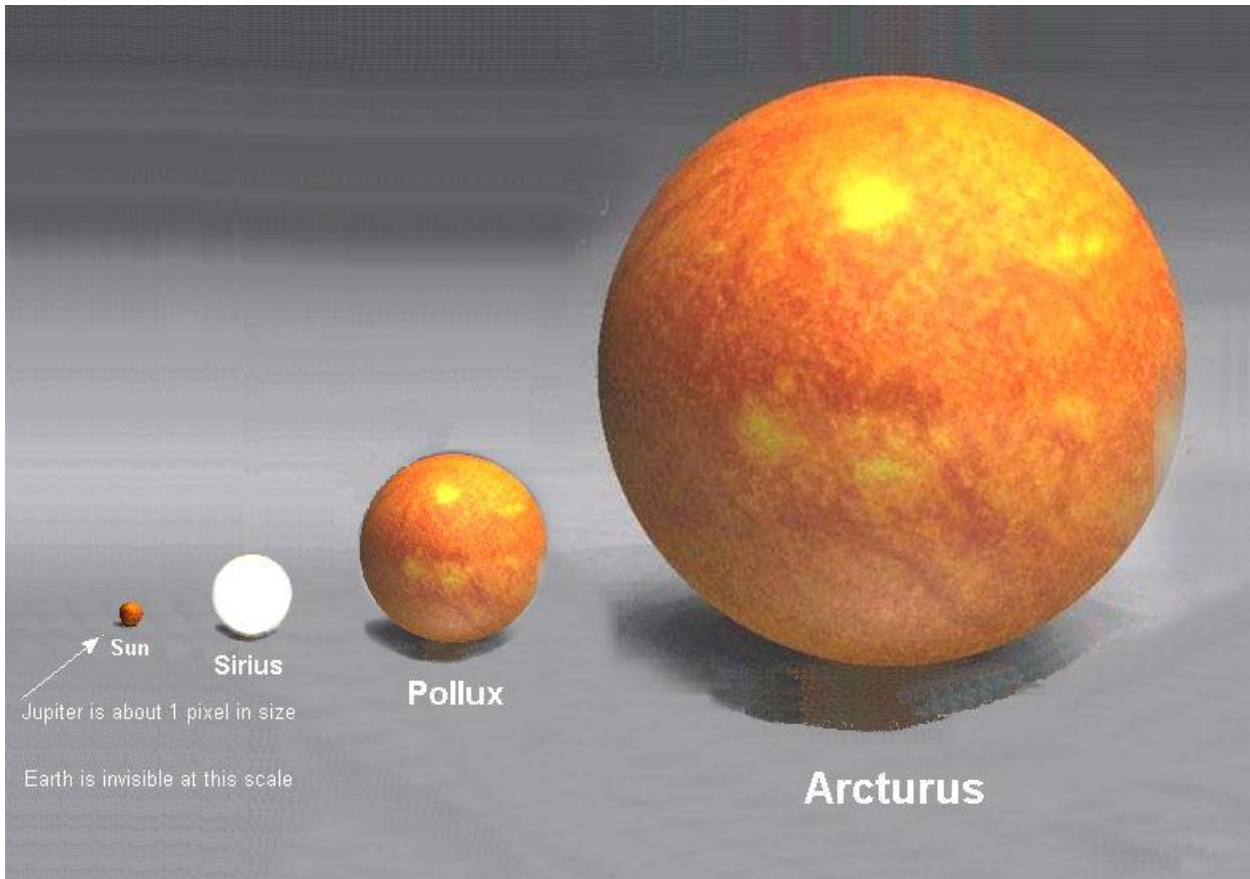
$$\text{Abstand Erde – Mond} = \frac{400 \cdot 10^3 \text{ km}}{10^9} = \frac{0,4 \cdot 10^9 \text{ m}}{10^9} = 40 \text{ cm}$$

Die folgenden Darstellungen zu "Größenverhältnissen" sind aus: <http://mark-ariu.de/extrem/groesen-verhaeltnisse-in-unserem-universum.html>









## Anhang B: Bezeichnungen

Symbol	Name	Wert (Potenz)	Wert (Dezimal)	Ausgeschrieben
--------	------	---------------	----------------	----------------

Y	Yotta	$10^{24}$	1.000.000.000.000.000.000.000.000	Quadrillion
Z	Zetta	$10^{21}$	1.000.000.000.000.000.000.000	Trilliarde
E	Exa	$10^{18}$	1.000.000.000.000.000.000	Trillion
P	Peta	$10^{15}$	1.000.000.000.000.000	Billiarde
T	Tera	$10^{12}$	1.000.000.000.000	Billion
G	Giga	$10^9$	1.000.000.000	Milliarde
M	Mega	$10^6$	1.000.000	Million

k	Kilo	$10^3$	1.000	Tausend
---	------	--------	-------	---------

h	Hekto	$10^2$	100	Hundert
da	Deka	$10^1$	10	Zehn

		$10^0$	1	Eins
d	Dezi	$10^{-1}$	$\frac{1}{10}$	Zehntel
c	Zenti	$10^{-2}$	$\frac{1}{100}$	Hundertstel
m	Milli	$10^{-3}$	$\frac{1}{1.000}$	Tausendstel

$\mu$	Mikro	$10^{-6}$	$\frac{1}{1.000.000}$	Millionstel
n	Nano	$10^{-9}$	$\frac{1}{1.000.000.000}$	Milliardenstel
p	Piko	$10^{-12}$	$\frac{1}{1.000.000.000.000}$	Billionstel
f	Femto	$10^{-15}$	$\frac{1}{1.000.000.000.000.000}$	Billiardenstel
a	Atto	$10^{-18}$	$\frac{1}{1.000.000.000.000.000.000}$	Trillionstel
z	Zepto	$10^{-21}$	$\frac{1}{1.000.000.000.000.000.000.000}$	Trilliardenstel
y	Yokto	$10^{-24}$	$\frac{1}{1.000.000.000.000.000.000.000.000}$	Quadrillionstel

# Zählen – Veranschaulichung von "Großen Zahlen"

Annahme: Beim Hochzählen wird pro Sekunde um eine Zahl erhöht.

Wie lange dauert es bis zur ...

... Eintausend:  $1.000 \cdot 1s = 1.000 \cdot \frac{1}{3.600} h = \frac{1}{3,6} h \approx \frac{3}{10} h = 0,3 h = 0,3 \cdot 60 \text{ min} = 18 \text{ min}$   
 $1.000 = 1 \cdot 10^3$  (genau: 16,67 Minuten)

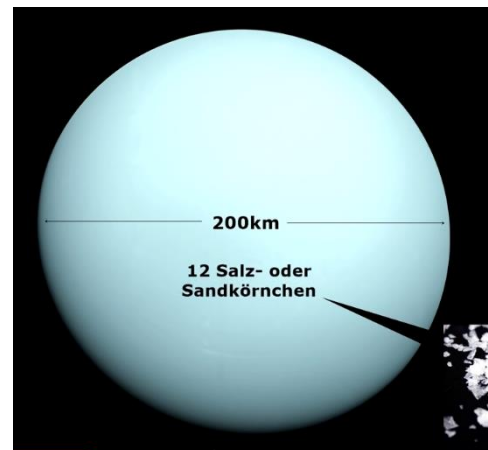
... Million:  $1.000 \cdot 0,3 h = 300 h = 300 \frac{1}{24} d = \frac{50}{4} d = \frac{25}{2} d = 12,5 d$   
 $1.000.000 = 1 \cdot 10^6$  (genau: 11,57 Tage)

... Milliarde:  $1.000 \cdot 12 d = 12.000 d = 12.000 \cdot \frac{1}{365} a \approx 12.000 \cdot \frac{3}{1.000} a = 36 a$   
 $1.000.000.000 = 1 \cdot 10^9$  (genau: 31,72 Jahre)

... Billion:  $1.000 \cdot 36 a = 36.000 a$   
 $1.000.000.000.000 = 1 \cdot 10^{12}$  (genau: 31.716 Jahre)

Nachdem man sich nun den Wert "1 Billion" sehr gut vorstellen kann (☺) soll der Versuch unternommen werden, die riesige "Leere" des Universums zu veranschaulichen. Dies soll in drei Schritten erfolgen:

1. Die Sonne wird verkleinert, und zwar um einen Faktor 1:1.000.000.000.000 (1 Billion), sie hat nun nur noch die Größe eines Salzkörnchens!
2. Dieses Salzkorn wird in die Mitte einer Kugel mit 200 km Durchmesser gelegt (etwa die Entfernung zwischen Kassel und Frankfurt).
3. Verteilt man nun 11 weitere Salzkörner in dieser Kugel, dann entsprechen diese 11 Körner den nächstgelegenen Nachbarsonnen in unserer Milchstraße.



Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=LR7A2OgC1hU>

In diesem Maßstab wäre der Durchmesser unserer Milchstraße etwa 950.000 km. Der Radius würde also grob der Entfernung Erde – Mond entsprechen.