

Kleines Wörterbuch des Unendlichen – Buchstabe A

Vorwort

*"Zwei Dinge sind unendlich: Das
Universum und die menschliche
Dummheit. Beim Universum bin ich
mir aber noch nicht sicher."*

(Albert Einstein)

Trotz seines Zweifels hatte Einstein mit der Unendlichkeit des
► **Universums** wahrscheinlich recht. Hinsichtlich der
menschlichen Dummheit aber schien er zu irren: Dummheit gilt
als Fehlen von Klugheit und endet somit bei deren gänzlicher
Abwesenheit. Sie kann also anscheinend nicht unendlich werden.
In diesem Wörterbuch finden Sie dennoch neben vielen anderen
Fakten über sehr große und sehr kleine Dinge auch den
mathematischen Beweis für die Existenz unendlicher

► **Dummheit.**

Was taugt das Unendliche? Sie begegnen ihm weder auf dem
Gang ins Büro noch beim Studieren der Börsenkurse. Nirgends
im alltäglichen Leben werden Sie sich je auch nur mit einem
Splitter Unendlichem herumschlagen müssen. Aber fühlen Sie
sich nicht zu sicher. Das Unendliche ist da - irgendwo da
draußen. Und sobald Sie den Kopf heben, um über den Rand des
Alltags hinaus zu blicken, springt es Ihnen mitten ins Gesicht.

Vielleicht entstand die Idee der Unendlichkeit, als jemand zum
ersten Mal in den Nachthimmel starrte und sich vorzustellen
versuchte, welche Räume dort hinter den Sternen liegen. Beginnt
über dem Himmel wieder ein neuer Himmel? Hat das

► **Universum** irgendwo eine Grenze? Hat die ► **Zeit** einen
Anfang und ein Ende? Diese Fragen standen am Beginn eines
Erkenntnisprozesses, der schließlich unsere technische Kultur mit
ihren Computern, Raumsonden und Atombomben
hervorbrachte.

Auch unsere Gedankenwelt ist mit Unendlichkeiten bevölkert. Und auch diese beginnen mit Fragen. Wohin gehen wir nach dem Tod? Wo waren wir vor der Geburt? Wie kommt es überhaupt, dass etwas ist, und dass nicht vielmehr nichts ist? Fast alle Völker besaßen einen Jenseitsglauben, viele auch eine Vorstellung von einem ewigen, unendlich mächtigen, allwissenden ► **Gott**. Manche Kulturen haben weitere Unendlichkeitsideen entwickelt, bis hin zu unserer Mathematik, die nicht nur unendlich viele ► **Zahlen** kennt, sondern sogar unendlich viele Stufen des Unendlichen. Die Unendlichkeit begegnet uns in der wirklichen und in der Gedankenwelt, im Diesseits und im Jenseits, in Physik, Kosmologie, Technik, Zahlentheorie, Logik, Philosophie, Religion und Kunst.

Dieses Wörterbuch enthält kompakte Essays in alphabetischer Reihenfolge, die direkt oder indirekt mit einem Aspekt des Unendlichen zu tun haben. Mathematische Vorkenntnisse sind nicht nötig, Formeln und Beweise sind in Fußnoten ausgelagert. Am Ende des Buches finden Sie neben Quellenverzeichnis und Index ein Quiz, mit dem Sie Ihr Wissen über das Unendliche testen können. Dieses Wissen lässt sich durchaus praktisch einsetzen – von der Bekämpfung des Alkoholismus (► **Gedanken**) bis zur Erlangung von physischer ► **Unsterblichkeit**. Doch vor allem verleiht die Kenntnis der eigenen Position innerhalb des Großen Ganzen eine gewisse Gelassenheit. Das Unendliche ist also nicht nur eine abstrakte Idee. Es kann Ihr Leben verändern. Nehmen Sie es ernst.

Abzählbarkeit, Eigenschaft einer unendlichen **Menge***, ebenso viele Elemente zu enthalten wie die Menge der **Natürlichen Zahlen**.



Eine unendliche Menge ist abzählbar, wenn sich ihre Elemente zählen lassen - zumindest prinzipiell. Endliche Mengen sind offensichtlich immer zählbar. Die Menge der Sandkörner in der Sahara ist groß, trotzdem kann man sie prinzipiell zählen (es sind etwa 70 Trilliarden Sandkörner). Wie sieht es aber mit Mengen mit unendlich vielen Elementen aus?

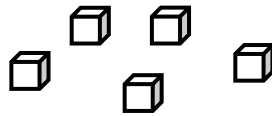
Das einfachste Beispiel ist die Menge der **Natürlichen**

► **Zahlen: 1, 2, 3, 4 ...** Diese Menge ist unendlich, denn es gibt unendlich viele Natürliche Zahlen[†]. Zugleich ist diese Menge abzählbar, da sie ja die Abzählbarkeit selbst definiert, siehe oben. Gibt es noch andere abzählbare Mengen? Ist etwa jede unendliche Menge abzählbar? Der Mathematiker **Georg** ► **Cantor** war der erste, der sich im 19. Jahrhundert mit dieser

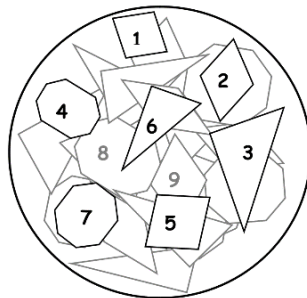
* Eine **Menge** ist eine Zusammenfassung von **Elementen**, etwa Zahlen. Eine unendliche Menge ist eine Zusammenfassung unendlich vieler Elemente. **Natürliche Zahlen** sind positive Zahlen ohne Nachkommastellen.

† Wäre sie endlich, gäbe es in ihr irgendeine größte Zahl **x**. Jedoch ist dann **x+1** ebenfalls eine Natürliche Zahl und größer als **x**. Da dies ein Widerspruch ist, kann die Menge aller Natürlichen Zahlen nicht endlich sein.

Frage befasste und dabei verblüffende und auf den ersten Blick paradoxe Eigenschaften des Unendlichen entdeckte. Er war es auch, der die Abzählbarkeit als eine markante Eigenschaft unendlicher Mengen definierte. Das Zählen von etwas Unendlichem lässt sich freilich nur schwer vorstellen, zumal es eine unendlich lange Zeit dauert. Was bedeutet es überhaupt, Dinge zu zählen?



Woher wissen wir, dass es sich hier um fünf Würfel handelt? Wer beim Zählen nacheinander auf die einzelnen Würfel deutet und dabei „Eins, zwei, drei, vier, fünf“ vor sich hinmurmelt, geht mathematisch korrekt vor. Denn wir versehen beim Zählen die Gegenstände mit fortlaufenden Natürlichen Zahlen. Die Anzahl der Gegenstände entspricht dann der zuletzt vergebenen Zahl, hier also der Fünf. Zählbar ist eine Menge offensichtlich genau dann, wenn sich all ihre Elemente – wie unterschiedlich sie auch sein mögen - mit fortlaufenden Nummern versehen lassen.



Wenn wir derart alle Elemente einer unendlichen Menge durchnummerieren können, ist diese abzählbar. Denn dann kann man auf eindeutige Weise jedem Element eine Natürliche Zahl zuordnen und umgekehrt jeder Natürlichen Zahl ein Element. Folglich hat die Menge genau gleich viele Elemente wie die Menge der Natürlichen Zahlen.

Mit dieser Erkenntnis können wir jetzt weitere Mengen auf ihre Abzählbarkeit hin untersuchen. Ist die Menge aller geraden Zahlen, also **2, 4, 6, 8 ...** abzählbar? Dazu gibt es Kontra- und Pro-Argumente:



Es gibt nur halb so viele gerade Zahlen wie Natürliche Zahlen. Also enthält diese Menge auch nur halb so viele Elemente wie die Menge der Natürlichen Zahlen und ist folglich nicht abzählbar.



Jeder Natürlichen Zahl, egal wie groß sie ist, kann man eine gerade Zahl zuordnen, nämlich ihr Doppeltes. Umgekehrt kann man auch jeder geraden Zahl genau eine Natürliche Zahl zuordnen, nämlich ihre Hälfte. Es gibt also genau gleich viele gerade wie Natürliche Zahlen.

Das Pro-Argument ist korrekt, widerspricht aber der Intuition. Die geraden Zahlen erscheinen 'weniger', weil viele Natürliche Zahlen - sogar unendlich viele - in ihnen nicht vorkommen. Doch die intuitive Auffassung, das Ganze (die Natürlichen Zahlen) sei größer als eines seiner Teile (die geraden Zahlen), stimmt im Bereich der Unendlichkeit nicht mehr. Sogar relativ klein erscheinende Mengen, etwa alle Zahlen, die mit der Ziffer **7** beginnen, alle Quadratzahlen (► **Galileis Paradoxon**) oder alle Schnapszahlen (Zahlen mit gleichen Ziffern) enthalten tatsächlich genauso viele Zahlen wie die Menge der Natürlichen Zahlen.

Das ist eines der Paradoxa des Unendlichen. Generell ist jede beliebige Teilmenge der Natürlichen Zahlen abzählbar, sofern sie

unendlich ist. Das wird in der Mengenlehre sogar zur Definition unendlicher Mengen benutzt: Eine Menge ist genau dann unendlich, wenn sie gleich viele Elemente enthält wie mindestens eine echte Teilmenge ihrer selbst.

Allerdings gibt es auch Mengen, die uns nicht kleiner, sondern viel größer vorkommen als die Menge der Natürlichen Zahlen. Zum Beispiel die Menge aller Brüche. Sind die Brüche abzählbar?



Es scheint nicht so, denn es gibt mehr Brüche als Natürliche Zahlen – viel mehr. Zwischen zwei Natürlichen Zahlen, etwa **1** und **2**, liegen unendlich viele Brüche: **3/2**, **4/3**, **5/4**, **6/5**, **7/6** ... und sogar zwischen zwei beliebigen Brüchen liegen unendlich viele weitere Brüche.

Dies ist kein Beweis, aber ein gutes Argument. Auch der Unendlichkeitpapst Georg Cantor hielt die Brüche anfangs für nicht abzählbar, während er dafür nach einem Beweis suchte. Als er einen fand, erbrachte der zu seiner Verblüffung ein ganz anderes Ergebnis. Zur Untersuchung der Abzählbarkeit ordnete Cantor sämtliche Brüche in einer sich nach rechts und unten unendlich fortsetzenden Tabelle an:

1/1	→	2/1	↗	3/1	↘	4/1	↗	5/1	↘	6/1	↗	7/1	↘	8/1 ...
1/2	↘	2/2	↗	3/2	↘	4/2	↗	5/2	↘	6/2	↗	7/2	↘	8/2 ...
1/3	↗	2/3	↘	3/3	↗	4/3	↘	5/3	↗	6/3	↘	7/3	↗	8/3 ...
1/4	↘	2/4	↗	3/4	↘	4/4	↗	5/4	↘	6/4	↗	7/4	↘	8/4 ...
1/5	↗	2/5	↘	3/5	↗	4/5	↘	5/5	↗	6/5	↘	7/5	↗	8/5 ...
1/6	↘	2/6	↗	3/6	↘	4/6	↗	5/6	↘	6/6	↗	7/6	↘	8/6 ...
1/7	↗	2/7	↘	3/7	↗	4/7	↘	5/7	↗	6/7	↘	7/7	↗	8/7 ...
1/8	↘	2/8	↗	3/8	↘	4/8	↗	5/8	↘	6/8	↗	7/8	↘	8/8 ...
1/9	↗	2/9	↘	3/9	↗	4/9	↘	5/9	↗	6/9	↘	7/9	↗	8/9 ...
...	↘	...	↗	...	↘	...	↗	...	↘	...	↗	...	↘	...

Diese Tabelle, ins Unendliche fortgesetzt, umfasst offensichtlich alle existierenden Brüche, denn Zähler und Nenner können alle

Zahlenwerte annehmen. Nun bildete Cantor eine diagonale Zahlenfolge, wie oben durch die Pfeile angedeutet. Die Zahlenfolge beginnt mit dem Bruch $1/1$ und verläuft entlang der Pfeilrichtung. Kürzbare Brüche werden gekürzt und, falls ihr Wert in der Folge bereits vorkommt, übersprungen. Wir bekommen somit die folgende Zahlenliste:

1, 2, 1/2, 1/3, 3, 4, 3/2, 2/3, 1/4, 1/5, 5, 6, 5/2, ...

Listen sind aber immer abzählbar. Indem man die Listenplätze einfach durchnummeriert, lässt sich jedem Bruch genau eine Natürliche Zahl zuordnen und umgekehrt. Damit ist bewiesen, dass die Brüche abzählbar sind. Obwohl zwischen zwei Natürlichen Zahlen unendlich viele Brüche liegen, gibt es genau gleich viele Brüche wie Natürliche Zahlen - ein weiteres Beispiel dafür, wie das Unendliche unsere Intuition in die Irre führt.

Ist etwa jede unendliche Zahlenmenge abzählbar? Cantor betrachtete als Nächstes eine Menge, die noch größer zu sein scheint als die der Brüche, nämlich die der **Reellen Zahlen**. Das sind Zahlen mit beliebig vielen Nachkommastellen, auch unendlich vielen, wie etwa die Kreiszahl **Pi (3,14159...)**. Brüche dagegen haben immer nur entweder endlich viele Nachkommastellen (z.B. $1/4 = 0,25$) oder eine Folge sich immer wiederholender Nachkommastellen (z.B. $1/3 = 0,333...$ oder $1/7 = 0,142857142857142857...$)*.

Vorsichtig geworden durch die Abzählbarkeit der Brüche, nahm Cantor zuerst an, auch die Reellen Zahlen ließen sich auf

* Beweis. Eine Zahl mit endlich vielen Nachkommastellen (wie **0,123**) ist offensichtlich immer ein Bruch (**123/1000**). Nehmen wir dagegen eine Zahl z mit sich unendlich wiederholenden Nachkommastellen, etwa $z = 0,123123123...$. Dann ist $999 \cdot z = 1000 \cdot z - z = 123,123123123... - 0,123123123... = 123$ und folglich $z = 123/999$. Also ist auch jede Zahl mit sich unendlich wiederholenden Nachkommastellen ein Bruch.

irgendeine noch unbekannte Weise nummerieren. Dann müsste man sie ähnlich wie die Brüche in einer Zahlenliste anordnen können. Ein Beispiel für eine solche Liste sähe so aus (wir betrachten vorerst der Einfachheit halber nur die Zahlen zwischen **0** und **1**):

0, 0 0 0 0 0 ...
0, 1 2 3 4 5 6 ...
0, 7 7 1 9 2 8 ...
0, 4 3 6 7 8 9 ...
0, 9 2 2 3 3 8 ...
0, 0 2 6 7 8 9 ...
0, 5 8 7 0 9 3 ...

usw.

Die Reihenfolge der Zahlen spielt keine Rolle. Wichtig ist nur, dass sämtliche Reellen Zahlen zwischen **0** und **1** in der obigen Liste enthalten sein müssen, um die Abzählbarkeit dieses Zahlenbereichs zu erfüllen. Cantor betrachtete nun eine Zahl, die sich aus der Diagonale der Liste ergibt. Dazu nahm er die erste Stelle der Zahl von der ersten Zahl der Liste, die zweite von der zweiten, die dritte von der dritten und so fort (oben unterstrichen dargestellt). Das ergibt die Zahl:

0, 1 7 6 3 8 3 ...

Nun veränderte er jede einzelne Nachkommastelle dieser Zahl, indem er zu jeder Ziffer den Wert **1** addierte:

0, 2 8 7 4 9 4 ...

Diese Zahl ist zweifellos wieder eine Reelle Zahl zwischen **0** und **1**, ist aber nicht in der Liste enthalten! Denn sie unterscheidet sich von jeder einzelnen Zahl der Liste zumindest im Wert der aus dieser Zahl übernommenen Nachkommastelle, die ja durch Addition von **1** verändert wurde. Dies gilt offensichtlich für sämtliche Listen Reeller Zahlen, egal in welcher Reihenfolge wir diese aufstellen. Also kann keine Zahlenliste, egal wie lang, je alle Reellen Zahlen zwischen **0** und **1** enthalten. Und die Menge sämtlicher Reellen Zahlen lässt sich damit erst recht nicht in einer Liste darstellen.

Die Reellen Zahlen sind nicht nummerierbar und folglich nicht abzählbar. Sie haben eine höhere Unendlichkeit als die Natürlichen Zahlen oder die Brüche. Es gibt also wirklich verschiedene Stufen der Unendlichkeit. Die höheren Unendlichkeiten spielen eine Rolle in den großen Rätseln der Mathematik des 19. Jahrhunderts (► **Kontinuumshypothese**). Und sie kosteten ► **Cantor** die geistige Gesundheit.

Allmacht, unbegrenzte Macht; die Fähigkeit eines Wesens (► **Gott**), jederzeit beliebige Ereignisse (► **Wunder**) auszulösen, auch außerhalb der ► **Naturgesetze**.



Die Götter der Antike waren zwar ziemlich mächtig, doch Allmacht wurde Gott erst von den monotheistischen Weltreligionen **Judentum**, ► **Christentum** und ► **Islam** zugeschrieben. Allmacht stößt jedoch auf logische Widersprüche. Nach Auffassung des Philosophen **Hans Jonas** kann es sie nicht geben, denn Macht offenbare sich nur da, wo sie auf Widerstand treffe. Allmacht stoße jedoch auf keinen Widerstand, somit sei sie keine Macht. Etwas anschaulicher ist die Überlegung, ein noch so allmächtiges Wesen habe nicht die Macht, einen so schweren Fels zu erschaffen, dass es selbst ihn nicht zu heben vermöchte.

In der Regel verstehen Anhänger eines Gottes dessen Allmacht nur als Fähigkeit, menschliche Schicksale beliebig zu beeinflussen. Diese schwächere Allmacht ist zwar nicht widersprüchlich, ruft jedoch sofort ein weiteres Gegenargument hervor, nämlich das der **Theodizee** (v. griech. *theos* "Gott" u. *diké* "Gerechtigkeit"): Wie ist die Allmacht Gottes mit dem Leiden Unschuldiger in der Welt vereinbar? Ein allmächtiger Gott könnte solche Leiden beseitigen oder gar nicht erst entstehen lassen, etwa indem er von vornherein einen besseren menschlichen Körper (ohne Altern und Krankheiten, s. ► **Unsterblichkeit**) und eine bessere Erde (ohne Erdbeben, Stürme und Dürren) erschaffen hätte. Der Kirchenvater **Lactantius** formulierte das Theodizee-Problem folgendermaßen:

*Entweder will Gott die Übel beseitigen und kann es nicht:
dann ist Gott schwach;
oder er kann es und will es nicht:
dann ist Gott missgünstig,
oder er will es nicht und kann es nicht:
dann ist er schwach und missgünstig zugleich,
oder er will es und kann es, was allein für Gott ziemt:
Woher kommen dann die Übel? ¹*

Da der ► **christliche** Gott das Leiden Unschuldiger nicht nur nicht verhindert, sondern zuweilen sogar aktiv förderte - etwa durch die Sintflut oder durch Anstiftungen zum Genozid* im Alten Testament – neigen dessen Gläubige zumeist der Theorie vom missgünstigen Gott zu. Er kann zwar die Übel beseitigen, will es aber nicht. Über seine Gründe herrschen jedoch sogar

* Vor allem im 4. Buch Mose. Gott befiehlt etwa den Überfall auf die Midianiter, zürnt dann jedoch den israelitischen Heerführern, weil diese vorerst nur deren Männer, nicht jedoch auch die Frauen und Kinder abgeschlachtet hatten.

innerhalb der gleichen Religion völlig unterschiedliche Auffassungen. Die wichtigsten:

- **Erbsünde:** Leid ist Gottes Strafe für einen Tabubruch, den zwar nicht der Leidende selbst, aber einer seiner Verwandten oder Vorfahren begangen hat.
- **Parteinahme:** Leid wird zugefügt, da Gott auf Seiten der Feinde des Leidenden oder seines Stammes steht (Altes Testament, Stammeskriege Israels).
- **Experiment:** Leid wird einem Menschen zugefügt, um seine Reaktion darauf zu testen (Altes Testament, Abrahams Sohnesopfer oder Hiobs Leiden).
- **Kompensation:** Irdisches Leid wird stets im Jenseits ausgeglichen und ist somit unwichtig.
- **Privatio boni:** Leid ist nur ein Mangel an Gutem. Gott hat die beste aller möglichen Welten erschaffen und somit alles Gute bereits verteilt (Augustinus, Leibniz).
- **Erfahrung:** Gott lässt den Menschen leiden, da diese Erfahrung für die Menschwerdung und Ausübung des freien Willens wichtig ist (Hans Küng).
- **Mysterium:** Gottes Gründe sind unerforschlich. Das unschuldigen Menschen zugefügte Leid ist zwar für uns unverständlich, nicht jedoch für Gottes überlegenen Geist.

Keiner dieser Lösungsvorschläge ist wirklich überzeugend, weshalb Theologen über die Theodizee stets zerstritten waren. Der Theologe **Karl Barth** empfahl daher, auf eine Lösung des Theodizee-Problems ganz zu verzichten. Das Leiden Unschuldiger in der Welt sei als unmögliche Möglichkeit ein dialektisches Paradoxon.

Allwissenheit, vollständiges Wissen über Vergangenheit und Gegenwart (schwache Allwissenheit) sowie über die Zukunft (starke Allwissenheit). Nicht zu verwechseln mit
► **Unfehlbarkeit**.



Das allsehende Auge ► **Gottes** (freundlicherweise zur Verfügung gestellt von der US-Notenbank) symbolisiert die Fähigkeit, den Zustand der Welt vollständig zu kennen. Wissen über die Zukunft hingegen bedingt eine gänzlich vorherbestimmte Welt, deren Entwicklung von einem allwissenden Wesen (► **Laplace Dämon**) einfach aus der Gegenwart abgeleitet werden kann. Da dies die Wahlfreiheit zwischen Gut und Böse negieren würde, wird Zukunftswissen von manchen Theologen der Allwissenheit Gottes nicht zugerechnet. Somit kann auch ein allwissender Gott von menschlichen Entscheidungen, die er nicht vorhergesehen hat, überrascht werden.

Auch bei Annahme einer deterministischen Welt führt die Kenntnis der Zukunft zu logischen Widersprüchen. Ein Beispiel ist das **Paradoxon des allwissenden Quizmasters**. Sie sind Kandidat in einem TV-Quiz; vor Ihnen stehen zwei verschlossene Boxen. In der einen befinden sich 1000 Euro, in der anderen gar nichts. Sie dürfen eine Box auswählen. Das Problem: Der Quizmaster kennt die Zukunft. Hat er

vorausgesehen, dass Sie die linke Box nehmen werden, hat er den Tausender in die rechte gelegt, und umgekehrt.

Zum Glück aber konnten Sie den Quizmaster beim Hantieren mit den Boxen beobachten. Sie wissen also genau, in welcher das Geld liegt, und nehmen natürlich diese. Damit fällt Ihre Wahl stets anders aus als vorausgesehen – trotz Allwissenheit des Quizmasters. Dass eine Entscheidung in der Gegenwart keine Wirkung auf die Vergangenheit haben kann, führt zu dem Schluss, dass die vollständige Kenntnis der Zukunft unmöglich ist.

Freilich ist die Zukunft nicht das einzige Hindernis für die Allwissenheit. Sogar mit der Gegenwart kann ein allwissendes Wesen ernste Probleme haben, wie **Gödel** 1930 und **Turing** 1936 bewiesen. Auch wenn Gott sich allergrößte Mühe gibt, kann er nicht wissen, ob die ► **Kontinuumshypothese** wahr ist oder falsch. Und wie sorgsam Gott ein hinreichend komplexes Computerprogramm auch studieren mag - er kann dennoch nie sicher sein, dass dieses keinen Bug in Form einer ► **Endlosschleife** enthält.

Andromedanebel, das fernste Objekt, das Menschen ohne technische Hilfsmittel sehen können.



In einer klaren Nacht, weit weg von den Lichtern von Großstädten, können Sie mit etwas Glück und dunkeladaptierten Augen im Sternbild Andromeda einen diffusen Lichtfleck erkennen. Das Sternbild ist mit Sky Map oder einer ähnlichen App leicht zu finden, es besteht aus vier hellen Sternen in einer Linie. Bei dem Fleck handelt es sich um eine Nachbargalaxie* der Milchstraße in 2,7 Millionen Lichtjahren Entfernung. Der eher unspektakuläre Anblick ist die ohne ► **Teleskop**† größtmögliche visuelle Annäherung an die Unendlichkeit. Jedes Lichtteilchen dieser Galaxie hat vor 2,7 Millionen Jahren von einer fernen Sonne aus eine Reise von 25 Trillionen Kilometern angetreten, nur um schließlich in Ihrem rechten oder linken Auge zu landen.

* Eine Galaxie ist eine Ansammlung von bis zu 1000 Milliarden Sternen, die um ein gemeinsames Zentrum rotieren. Die Schwerkraft sorgt im Kosmos für eine Zusammenballung der Sterne in Sternhaufen, Galaxien, Galaxienhaufen und Galaxien-Superhaufen.

† Die Sichtweite optischer Teleskope beträgt bis zu 40 Milliarden Lichtjahre. Wie das sein kann, wenn das Universum doch erst 13,7 Milliarden Jahre alt ist, finden Sie unter ► **Distanz** erläutert.

Der Andromedanebel ist mit einem Durchmesser von 150.000 Lichtjahren die größte Galaxie der Lokalen Gruppe, ein Galaxienhaufen, zu dem auch die Milchstraße gehört. Erstmals beschrieben wurde er im 10. Jahrhundert von dem persischen Astronomen **Al Sufi**, der ihm den Namen "Kleine Wolke" gab. 1917 ließen sich mit dem neuen Teleskop des Mount Wilson Observatoriums erstmals einzelne Sterne in dem Nebel erkennen. Seitdem wissen wir, dass es sich um eine Galaxie handelt.

Der Andromedanebel bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von derzeit etwa 500.000 km/h auf uns zu und wird in 4 Milliarden Jahren mit der Milchstraße kollidieren. Zur Aufregung besteht jedoch kein Anlass. Zu diesem Zeitpunkt ist die Erde von der steigenden Strahlungsleistung der Sonne ohnehin längst durchgeglüht und unbewohnbar (s. ► **Ende**).

Ankh, ägyptische Hieroglyphe für ‚Leben‘, ‚Lebenszeugung‘ und ewiges Weiterleben im Jenseits, bestehend aus einem ‚T‘ mit aufgesetzter Ellipse.



Der Ankh erscheint häufig in altägyptischen Grabmalereien und Wandreliefs. Oft überreicht dabei ein ► **Gott** den Ankh einer sterblichen Person, entweder als Lebenssymbol oder als Darstellung der Befruchtung. Aus der letzteren Bedeutung entwickelte sich eine Variante zunächst als Zeichen der

römischen Göttin Venus, später als Symbol für das weibliche Geschlecht:

Der Ankh wurde in der Frühzeit des ► **Christentums** als Koptisches Kreuz



übernommen. Heutzutage ist der Ankh ein in der Pop-Kultur häufig verwendetes Symbol, anzutreffen in einer Vielzahl von Lebensbereichen vom *Burning Man* Festival über die *South Park* TV-Serie bis hin zu einer Reihe von Computerspielen. In der

- ▶ **Esoterik** steht der Ankh für die
- ▶ **Ewigkeit** und die
- ▶ **Unsterblichkeit**, freilich auch für alles Mögliche andere.

Anthropisches Prinzip, die Erkenntnis, dass die

- ▶ **Naturgesetze** so beschaffen sein müssen, dass sie mit der Existenz von Naturforschern vereinbar sind.



Das klingt zunächst wie eine Binsenweisheit. Das Anthropische Prinzip soll jedoch bestimmte Eigenschaften der Naturgesetze erklären, vor allem die Werte von ▶ **Naturkonstanten**, die Anzahl und Art der **Elementarteilchen** (▶ **Atom**) und die Zahl der ▶ **Dimensionen** des Raums. Diese Werte sind genau auf unsere Existenz maßgeschneidert. Schon bei relativ geringen Abweichungen von den Zahlenwerten dieser Konstanten können keine schweren Elemente und damit kein Leben entstehen.

Das augenblickliche **Standardmodell** der Physik – das System vom Naturgesetzen, die das Verhalten von Materie beschreiben – bietet keine Erklärung für die maßgeschneiderten Werte der Naturkonstanten. Für dieses Problem lieferte der Kosmologe Brandon Carter 1973 mit seinen zwei Anthropischen Prinzipien mögliche Lösungen.

- Das **Schwache Anthropische Prinzip** besagt, dass unser Ort im Zeit-Raum-Kontinuum in dem Sinne privilegiert ist, dass er mit unserer Existenz als Beobachter vereinbar ist. Dies impliziert, dass es andere Orte, andere Zeiten oder andere Universen gibt, die dieses Privileg nicht besitzen. Das Schwache Anthropische Prinzip postuliert also ► **Parallelwelten** oder ► **Multiversen**, in denen sich die Naturkonstanten von unserem ► **Universum** unterscheiden. Die meisten dieser anderen Orte wären wüst und leer. Unsere maßgeschneiderten Naturkonstanten sind demnach kein unwahrscheinlicher Zufall, sondern folgen logisch aus der Vielzahl möglicher Welten. Sie ergeben sich sogar zwingend, falls unendlich viele verschiedene Welten mit unendlich vielen verschiedenen Naturkonstanten existieren.

- Das **Starke Anthropische Prinzip** geht darüber hinaus. Es besagt, dass das Universum notwendig so beschaffen sein muss, dass es die Existenz von Beobachtern erlaubt. Das bedingt entweder eine neue physikalische Theorie, wie etwa eine zukünftige **Stringtheorie**, welche die Konstanten ‚natürlich‘ erklärt (das Starke Anthropische Prinzip steht demnach im Widerspruch zum Standardmodell). Oder ein ► **Gott** oder sonstiges mächtiges Wesen hat die Konstanten gerade richtig eingestellt, um intelligentes Leben zuzulassen. Es wäre etwa denkbar, dass wir in einer **Computersimulation** leben. In diesen Fällen ist die Existenz von Parallelwelten nicht nötig.

Allerdings helfen die Anthropischen Prinzipien bei der Erforschung der Naturgesetze und des Universums nicht wirklich weiter. Denn sie erklären zwar, warum etwa in unserer Welt das Massenverhältnis von **Proton** zu **Elektron** genau **1836** betragen

muss. Aber es fehlt noch eine physikalische Theorie, die diese Zahl aus grundlegenden Gesetzen ableitet. Dafür verleihen die Anthropischen Prinzipien den Forschungen einen metaphysischen oder gar mystischen Touch. Wie zu erwarten, führte ihre Formulierung sofort zu Kontroversen, Vereinnahmungen durch religiöse oder ► **esoterische** Gruppen und zur Publikation wirrer Bücher. Anhänger des ► **Kreationismus** sahen im Starken Anthropischen Prinzip einen Beweis für göttliche Eingriffe in die Natur. Manche Wissenschaftler machten sich einen Spaß daraus, den Streit durch Veröffentlichung weiterer Anthropischer Prinzipien anzuheizen. **John Wheeler** etwa formulierte das **Partizipatorische Anthropische Prinzip**: *Beobachter sind nötig, um das Universum zu erzeugen.*

Apeiron (v. griech. „grenzenlos“, „unbestimmbar“), von dem griechischen Philosophen **Anaximander** um 600 v.Chr. postulierter Urstoff, aus dem die Welt, aber auch Raum und ► **Zeit** hervorgegangen sind.



Das Apeiron selbst ist ► **ewig** und ► **unendlich**, während die Welt vergänglich und endlich ist. Wenn materielle Dinge enden, werden sie wieder zu Apeiron und können aus diesem neu entstehen. Aus dem Apeiron entstehen auch die Gegensätze des Warmen und Kalten, welche die Ursache für alle Veränderungen und Bewegungen im Weltprozess sind.

Das Wort Apeiron entstammt der griechischen Tragödie und bedeutete dort eine unentwirrbare Verstrickung, aus der man sich aus eigener Kraft nicht mehr befreien kann. Der **Gordische Knoten** war *apeiron*. Es ist also keineswegs ein positiver Begriff, vielmehr etwas Wirres und Chaotisches, von dem man sich möglichst fernhalten sollte. Die Griechen mochten das Unendliche nicht.

Astrologie (v. griech. *ástron* „Stern“ u. *logos* „Rede“, „Fabel“), ein Schema, um aus Bahnen von Himmelskörpern Erkenntnisse über irdische Vorgänge oder menschliche Charaktere zu gewinnen.



Diagramme wie das obige **Horoskop*** dienen als Grundlage für Aussagen über Menschen, aber auch über Firmen, Nationen, Börsenkurse oder Buchprojekte. Dazu werden die Positionen von Planeten, Sonne und Erdmond in Relation zur Tageszeit („Häuser“) und zur Jahreszeit („Sternzeichen“) in einem Kreis dargestellt. Nach dem astrologischen Satz „*Wie oben, so unten*“ beeinflussen die Bahnen der Himmelskörper die Ereignisse auf der Erde. Da man die Umlaufbahnen kennt, lässt sich so der Charakter und das weitere Schicksal eines Menschen aus Zeit und Ort seiner Geburt herleiten.

Astrologie teilt ihre Geschichte mit der ► **Astronomie**, hat jedoch mittlerweile keine Gemeinsamkeit mehr mit ihr, dafür umso mehr mit der kommerziellen ► **Esoterik**. Frühe Astrologen hatten noch den Himmel beobachtet. Heutzutage generieren Computerprogramme die Horoskope und gewünschten Prognosen aus Tabellen. Die Merkmale sind dabei oft aus dem Namen des zugeordneten Sternbilds abgeleitet. So ergibt sich bei der Waage Unentschlossenheit, beim Löwen Machtbewusstsein und beim Steinbock ein Drang nach oben.

Leider hat die Astrologie auch mit dieser einfachen Methode ihre Probleme, denn sie basiert auf einer aus dem Altertum stammenden Zuordnung von Jahreszeiten zu Sternbildern. Letztere stehen jedoch wegen der 25780-jährigen **Präzession der Erdachse** inzwischen an anderen Positionen am Firmament. Die Sternzeichen der klassischen Astrologie passen also nicht mehr zu den Geburtsdaten. Wenn Sie beispielsweise zwischen dem 23.11. und dem 21.12. geboren sind, ist Ihr Sternbild nicht Schütze, wie Sie vielleicht bisher immer glaubten, sondern Skorpion.

Auf diesen etwas peinlichen Umstand wurden die Astrologen im 20. Jahrhundert hingewiesen. Die meisten behielten jedoch

* Geburtshoroskop dieses Wörterbuchs. Die für Verlag und Autor erfreulichen astrologischen Aussagen lauten: *Sie sind stets Mittelpunkt spannender und ernsthafter Gespräche. Sie haben eine attraktive Ausstrahlung. Sie sind bei anderen Menschen sehr populär und beliebt.*

ihre Rechenmethode bei. Zur Begründung wurde angeführt, die Astrologie verwende ‚virtuelle Sternbilder‘, die mit den realen Sternbildern nichts zu tun haben. Dennoch gingen manche Astrologen zu einer korrekten Berechnung der Sternzeichen über, wodurch sie natürlich völlig andere Ergebnisse erhielten. Wieder andere verzichteten ganz auf astrologische Aussagen, geben eine rein psychologische Beratung und verwenden das Horoskop nur als Beiwerk.

Zusätzlich zur Verwirrung trägt die Existenz von weiteren astrologischen Systemen bei - dem ägyptischen, indischen, altbabylonischen, chinesischen und dem altgriechischen - die mit anderen Sternbildern und Sternbildnamen arbeiten und zu den gleichen Geburtsdaten somit ganz andere Aussagen liefern. Dabei berücksichtigen einige die Erdpräzession, andere nicht. Welche der vielen Methoden die besten Charakteranalysen und Prognosen liefert oder ob die Methode sowieso egal ist, konnte bisher unter Astrologen nicht geklärt werden.

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden verschiedene Versuche unternommen, die Wirksamkeit der Astrologie mittels statistischer Untersuchungen nachzuweisen. Der französische Psychologe **Michel Gauquelin** veröffentlichte 1955 eine aufsehenerregende Studie, wonach bei 500 untersuchten Sportlern der Mars überdurchschnittlich oft zum Geburtszeitpunkt am Horizont stand - der sogenannte **Mars-Effekt**. Kritiker bemängelten eine offensichtlich selektive Auswahl der untersuchten Sportler. Weitere Überprüfungen des Mars-Effekts durch andere Forscher mit anderen Sportlergruppen ergaben widersprüchliche Resultate - mal wurde ein Effekt gefunden, mal keiner, mal gar ein gegenteiliger Effekt. 1991 führte das französische Komitee für paranormale Phänomene (CFEPP) eine groß angelegte Untersuchung aller bisherigen Studien durch, wobei alle Fehlerquellen weitmöglichst eliminiert wurden. Die Untersuchung ergab keinen Hinweis auf einen positiven oder negativen Mars-Effekt.

Astronomie (v. griech. *ástron* „Stern“ u. *nómos* „Gesetz“) befasst sich wissenschaftlich mit den Himmelskörpern und der großräumigen Struktur des ► **Universums**, hat jedoch ihre Ursprünge in Religion und Mystizismus.



Die Astronomie begann mit der systematischen Beobachtung des Nachthimmels. Frühe Astronomen bemerkten Regelmäßigkeiten im Lauf von Sonne, Mond und Planeten. Sie konnten damit Sonnen- und Mondfinsternisse voraussagen und so Ruhm und Ehre gewinnen. Finsternisse treten freilich nicht häufig genug auf, um Astronomen einen sicheren Lebensunterhalt zu gewährleisten. Daher erfanden sie die ► **Astrologie** und verdienten sich damit bis ins 18. Jahrhundert regelmäßig ein Zubrot.

Die erste Kultur, die sich Berufsastronomen leistete, waren die **Babylonier**. Sie vermaßen die Abstände von Mond, Sonne und Planeten zu bestimmten Fixsternen mit Hilfe ihrer ausgestreckten Finger. Um die Positionen aufzuzeichnen,

benutzten sie ein auf der Zahl 60 basierendes ► **Zahlensystem**. Im babylonischen ► **Weltbild** befand sich die Erde im Mittelpunkt, umgeben von Wasser. Um die Erde herum bewegten sich Mond, Merkur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter und Saturn. Jenseits des Saturns erstreckte sich ein rundes Gewölbe, an das der Schöpfergott **Marduk** die Fixsterne angeheftet hatte. Alles war von Wasser umschlossen.

Die Griechen übernahmen zunächst das Weltbild der Babylonier. **Thales von Milet** beschrieb um 600 v. Chr. die Erde als eine flache, von Wasser umgebene Scheibe. Spätere griechische Denker brachten an diesem Modell erhebliche Modifikationen an.

Anaxagoras (um 450 v. Chr.) hielt die Erde für einen vertikalen Zylinder, auf dessen runder Stirnseite wir leben. Der Mond war eine Spiegelung des Sonnenlichts und Mondfinsternisse ein Resultat des Erdschattens, der das Sonnenlicht abdeckt.

Eudoxus (um 350 v. Chr.) beschrieb die Bewegungen der Planeten um die Erde als kleine Kreise auf großen Kreisbahnen. Die Kombination von zwei Kreisbewegungen war nötig, um die seltsame Bahn der Planeten relativ zur stillstehenden Erde zu erklären. Diese bewegen sich nämlich meistens in die gleiche Richtung, manchmal jedoch rückwärts.

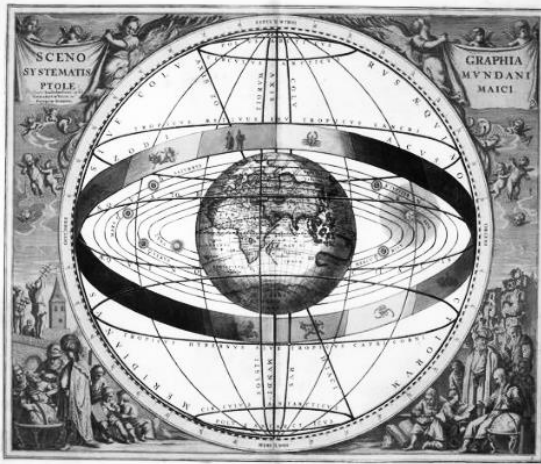
Aristoteles (384 – 322 v. Chr.) überarbeitete das Modell des Eudoxus. Durch Hinzufügen von noch mehr Kreisen gelang es ihm, die Planetenpositionen in einem halbwegs mit den Beobachtungen übereinstimmenden System zu beschreiben.

Aristarchus (um 250 v. Chr.) machte die erste grobe Abschätzung der Entfernungen von Sonne und Mond. Nach seinen Berechnungen war die Sonne zwanzigmal weiter von der Erde entfernt als der Mond. Da sie uns gleichgroß erscheint, musste sie also in Wirklichkeit auch zwanzigmal größer sein. Aristarchus stellte auch die Frage, ob es dann Sinn mache, dass

sich die Sonne um die Erde bewegt. Wenn die Sonne so viel größer ist, sollte es dann nicht umgekehrt sein?

Ptolemäus (um 150 n. Chr.) fasste in seinem Buch **Amalgest** das astronomische Wissen seiner Zeit zusammen. Er beschrieb ein noch komplizierteres Modell von Planeten-Kreisbahnen, deren Mittelpunkte sich wiederum auf größeren Kreisbahnen, den **Deferenten**, bewegten. Er justierte die Kreise so lange, bis sie mit den beobachteten Planetenpositionen übereinstimmten.

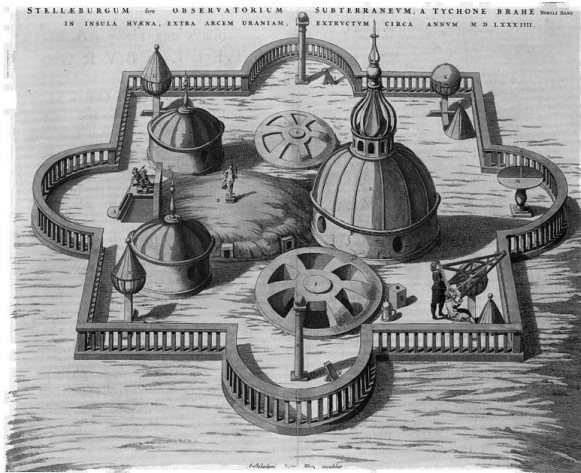
Thomas von Aquin (1225 – 1274) machte die Lehre des Ptolemäus zum christlichen Dogma. Es sollte für die nächsten 700 Jahre von der Kirche vehement verteidigt werden.



2

Ab dem 16. Jahrhundert begann sich die Astronomie vom religiösen Kontext allmählich zu lösen. **Nicolaus Kopernikus** (1473 – 1543) entwarf ein neues Weltbild mit der Sonne im Zentrum, umgeben von Erde und Planeten auf kreisförmigen Bahnen. Dies erklärte die Rückwärtsbewegung der Planeten, die sich immer dann ereignet, wenn die Erde auf ihrer Bahn einen äußeren Planeten überholt. Allerdings stimmte sein Modell nicht

mit den Beobachtungen überein. Deshalb musste auch er auf Eudoxus‘ und Aristoteles‘ komplizierte Kreise auf Kreisen zurückgreifen.



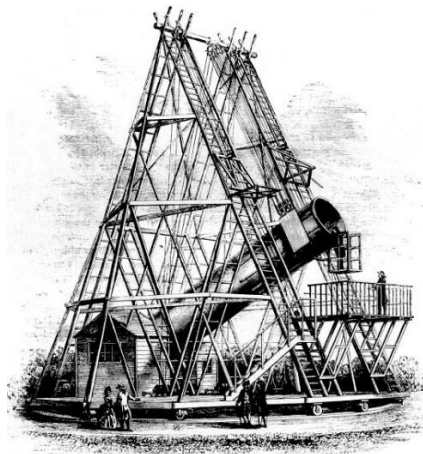
3

Tycho Brahe (1546 – 1601) beobachtete die Planeten mit seinem oben abgebildeten unterirdischen Observatorium Sjerneborg auf der Insel Ven, das vom dänischen Königshaus gesponsort wurde. Er stellte die bis dahin genauesten Tabellen der Planetenbewegungen auf, basierend auf Messungen mit fünf Meter großen Quadranten. Er entwickelte auch ein neues Konzept des Sonnensystems, wonach sich zwar die Planeten um die Sonne bewegen, diese aber wiederum die Erde umkreist.

Johannes Kepler (1571 – 1630) hatte die Idee, dass sich Erde und Planeten nicht auf Kreisbahnen, sondern auf Ellipsen um die Sonne bewegen, und zwar mit einer vom Bahnradius abhängigen Geschwindigkeit. Dies machte Ptolemäus‘ und Kopernikus‘ Kreise überflüssig. Nun gab es ein einfaches Modell des Sonnensystems, das perfekt mit den Beobachtungen übereinstimmte.

Galileo Galilei (1564 – 1642) erforschte als erster den Himmel mit einem Fernrohr. Er entdeckte die Monde des Jupiters und erkannte, dass die Milchstraße aus einer Vielzahl einzelner Sterne besteht. Die Kirche zwang ihn schließlich unter Androhung von Folter und Tod, sich öffentlich wider besseres Wissen zum geozentrischen ► **Weltbild** zu bekennen.

Isaac Newton (1642 – 1727) fand ein Gravitationsgesetz, um die Planetenbewegung zu beschreiben. Durch die Wirkung von Trägheitskraft und Schwerkraft ergeben sich zwangsläufig Keplers Ellipsenbahnen. Damit war das geozentrische Weltbild endgültig obsolet. Es wurde zwar noch bis ins 19. Jahrhundert von der Kirche beibehalten, aber von Astronomen nicht mehr ernst genommen.



4

Danach ging es mit der Astronomie in schnellen Schritten voran. **Wilhelm Herschel** konstruierte Ende des 18. Jahrhunderts zahlreiche leistungsfähige ► **Teleskope**, wie das oben abgebildete 40-Zoll-Spiegelteleskop. Er entdeckte den Planeten Uranus und erstellte, unterstützt von seiner Schwester **Caroline Herschel**, einen Katalog aller sichtbaren Sterne und Galaxien.

Friedrich Bessel gelang 1838 die erste Messung der
► **Distanz** eines Sterns nach der **Parallaxenmethode**. Er ermittelte die Entfernung zum Stern 61 Cygni mit 100 Billionen Kilometern - die weiteste Entfernung, die bis dahin je von Menschen gemessen wurde.

1814 zerlegte **Joseph Fraunhofer** zuerst das Sonnenlicht, später auch das Licht einiger heller Fixsterne mit einem Prisma in Spektrallinien. Ab 1860 konnte man diese Linien chemischen Elementen zuordnen und so die Zusammensetzung ferner Himmelskörper bestimmen. Dies sollte in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts das bis dahin vorherrschende astronomische Weltbild aus den Angeln heben, ähnlich wie es dem ptolemäischen Weltbild 400 Jahre vorher ergangen war.

Astronomen hatten stets angenommen, das Universum sei
► **ewig** und ► **unbegrenzt**, wenn auch nicht notwendigerweise unendlich. Doch 1929 vermaß **Edwin Hubble** 1929 erstmals die Spektrallinien entfernter Galaxien. Er stellte fest, dass diese ins Rote verschoben waren - und zwar umso mehr, je lichtschwächer, d.h. je weiter entfernt die betreffende Galaxie war. Hubble nahm an, dass diese **Rotverschiebung** durch einen **Doppler-Effekt** verursacht wurde. Er schloss, dass sich alle Galaxien voneinander fortbewegen, und zwar umso schneller, je weiter sie voneinander entfernt sind. Demnach muss es einen Zeitpunkt in der Vergangenheit gegeben haben, an dem alle Galaxien und Sterne am gleichen Ort waren. Da Hubble als Ursache für das Auseinanderstreben der Galaxien eine Art primäre Explosion annahm, bürgerte sich für diesen Zeitpunkt die Bezeichnung
► **Urknall** ein.

In den 1950ern wurde die **Wasserstoffbombe** entwickelt. Da ein Stern im Prinzip nichts anderes ist als eine permanente Wasserstoffexplosion unter Gravitationsdruck, begann die Astronomie nun den nuklearen Mechanismus im Inneren von Sternen zu verstehen. Während der Lebenszeit eines Sterns ändert sich auf charakteristische Weise seine Helligkeit und

Temperatur in Abhängigkeit von seiner Masse. Das bot eine einigermaßen zuverlässige Methode, um die ► **Distanz** von Sternen anhand ihrer Temperaturen und Helligkeiten zu bestimmen.

Es stellte sich heraus, dass die fernsten Galaxien, deren Rotverschiebung man kannte, mehrere Milliarden Lichtjahre entfernt waren. Aus ihrer Geschwindigkeit ließ sich nun abschätzen, dass sie vor etwa 10 Milliarden Jahren am gleichen Fleck gewesen sein mussten. Dies war die erste grobe Annäherung an das Alter des ► **Universums**. Präzisere Entfernungsmessungen ergaben später, dass die Rotverschiebung nicht durch ein Auseinanderbewegen der Galaxien verursacht wurde, wie Hubble angenommen hatte, sondern durch eine Ausdehnung des Raums selbst. Daraus ergab sich eine leicht unterschiedliche Formel für die Berechnung der Distanz aus der Rotverschiebung.

Das bessere Verständnis der **Quantenmechanik** erlaubte die Berechnung eines mathematischen Modells des ► **Urknalls**. Nach diesem Modell wurde 380.000 Jahre nach dem Urknall das anfängliche Urplasma durchsichtig und erlaubte das Entkommen von vorher im Plasma gefangener Strahlung. Diese Strahlung, sofern das Modell richtig war, musste heute noch sichtbar sein. In der Tat entdeckten 1964 zwei amerikanische Physiker die kosmische ► **Hintergrundstrahlung**. Das war der endgültige Beweis für den Urknall.

Ende der 1980er Jahre ersetzten **CCD-Sensoren**, wie sie heute in der Kamera jedes Smartphone stecken, die belichteten Fotoplatten für astronomische Aufnahmen. Das erhöhte die Empfindlichkeit enorm und erlaubte im Weltraum stationierte ► **Teleskope**. Kosmische ► **Distanzen** ließen sich nun mit hoher Präzision vermessen, insbesondere durch Analyse der Strahlung von **1a-Supernovae**. Es stellte sich heraus, dass einige Galaxien offenbar älter waren als die 10 Milliarden Jahre, die bis dahin für das Alter des Universums angenommen wurden. Dieses

Rätsel wurde später durch die Entdeckung erklärt, dass sich das Universum beschleunigt ausdehnt; bis dahin nahm man an, dass die Ausdehnung im Gegenteil durch die Gravitation abgebremst werde. Die neuen Daten ergaben ein Alter des Universums von etwa 13,7 Milliarden Jahren.

Wir können nicht unendlich weit ins All schauen.

Astronomische Beobachtungen sind prinzipiell auf das

► **Hubble-Volumen** beschränkt, doch daraus lassen sich begründete Vermutungen über den Zustand des Universums außerhalb unseres Beobachtungsbereichs ableiten.

Astronomische Entfernungen werden normalerweise nicht in Metern angegeben, sondern in **Lichtjahren** oder **Parsec**. Ein Lichtjahr ist die Strecke, die ein Lichtstrahl im Vakuum in 365,25 Tagen zurücklegt (1 Lichtjahr = 9.460.528.000.000 Kilometer).

Ein Parsec ist die Entfernung eines Sterns, der von gegenüberliegenden Positionen der Erdbahn aus genau um eine Bogensekunde, d.h. 1/3600 Winkelgrad gegen den Hintergrund verschoben erscheint (1 Parsec = 3,26 Lichtjahre). Einige astronomische Entfernungen:

9 Lichtminuten	zur Sonne.
6 Lichtstunden	zum Ende des inneren Sonnensystems (Plutobahn).
4,2 Lichtjahre	zum nächsten Fixstern Proxima Centauri .
365 Lichtjahre	zur nächsten ► außerirdischen Zivilisation (ohne Gewähr).
100.000 Lichtjahre	zum Ende der Milchstraße.
2,7 Mio. Lichtjahre	zum ► Andromedanebel .
250 Mio. Lichtjahre	zum ► Großen Attraktor .

46 Mrd. Lichtjahre

zum Ende der beobachtbaren Welt
(► Hubble-Volumen).

Atheismus (v. griech. *átheos* "gottlos"), eine Moralphilosophie, die den Unglauben an einen ► **Gott** impliziert.



Atheismus basiert in der Regel auf einem individuellen Erkenntnisprozess vom **Theismus** (Gottesglauben) über den **Agnostizismus** hin zur atheistischen Philosophie. Der Glaube an einen Gott ist also kein Gegensatz, sondern oft eine Vorstufe des Atheismus. Wem der Begriff ‚Gott‘ gar nichts sagt, ist kein Atheist.

Viele Menschen verspüren den Drang, an Götter zu glauben und diese zu verehren – und dies, obwohl man die meisten

Götter, wenn sie existierten, als eher zweifelhafte und kaum liebenswerte Charaktere ansehen müsste. Gottesverehrung ist nicht jedoch in einer Vollkommenheit des jeweiligen Gottes begründet, sondern instinktiv. Sie entstand in der **Evolution**.

Irgendwann in der Vorzeit wurden die Götter von den Menschen erschaffen. Manche ihrer Erfinder hofften vermutlich nur auf ein wenig göttliche Hilfe bei der Nahrungsbeschaffung oder beim Scharmützel mit dem Nachbarclan. Andere strebten vielleicht nach einem Lebenssinn, nach Ausgleich für Leid und Schmerz, nach Einssein mit einem höheren Wesen oder nach **► Unsterblichkeit**. Der Historiker und Philosoph **Daniel Dennet** beschreibt diesen Beginn der Religion in seinem Buch *Breaking the Spell*.

Die Erfindung Gottes veränderte die frühe Menschheit mehr als die des Feuers. Wer einen Gott auf seiner Seite wusste, besaß plötzlich einen Vorteil gegenüber den Gottlosen. Religiöse Rituale schufen Zusammengehörigkeit und bessere Überlebenschancen in einer feindlichen Umwelt. Der Glaube an Götter etablierte sich so in den menschlichen Genen. Gottesglaube ist demnach ein natürlicher Zustand und findet sich bei praktisch allen Naturvölkern. Doch auch Gott hat nichts zu verschenken. Als Gegenleistung für die Erfüllung menschlicher Bedürfnisse fordert er Unterwerfung unter seine Autorität, Anerkennung von Ersatzautoritäten und Fetischen, tatsächliche oder symbolische Opfer, Einhalten von Tabus und Befolgen von Geboten. Für die Einhaltung dieser Pflichten sorgte ein Priester oder Schamane. Dies war der erste spezialisierte Beruf und damit ein Ursprung der Zivilisation.

Erst die Befreiung vom Zwang, als Gruppe in der Natur zu überleben, erlaubte es Menschen, über ihre Götter nachzudenken. Einigen fiel auf, dass nichts in der Geschichte der Welt oder in den täglichen Ereignissen auf das Wirken irgendeines Gottes hinweist. Gott scheint also stets unsichtbar und untätig zu sein. Wenn es aber keinen erkennbaren

Unterschied zwischen einem solchermaßen entrückten Gott und einem nichtexistierenden Gott gibt, ist der Glaube an ihn freigestellt. Jeder kann sich entscheiden, entweder an Gott zu glauben, oder nicht an ihn zu glauben, oder es bei der Unentscheidbarkeit zu belassen. Letztere bezeichnet man als **Agnostizismus**.

Das bewusste Ablegen des Gottesglaubens führt zum **Atheismus**. Dieser ist also keineswegs der Glaube an die Nichtexistenz Gottes, sondern vielmehr der Nichtglaube an die Existenz Gottes. Da für einen Atheisten der Satz „*Gott existiert*“ keine belegbare Aussage darstellt, ist natürlich auch seine Negation „*Gott existiert nicht*“ gleichermaßen inhaltsleer. Ein Atheist ‚glaubt‘ an keinen der beiden Sätze.

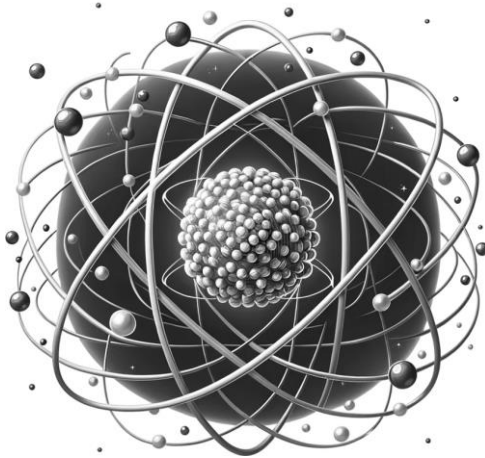
Der Atheismus ist damit eine materialistische Philosophie. Wir kommen durch bloßen Zufall ins Leben. Da wir niemanden für unsere Existenz verantwortlich machen können, tragen wir selbst die Verantwortung dafür. Da keine höhere Instanz unserem Leben einen Sinn gibt, müssen wir ihm selbst einen geben. Da das Leben uns unverdient gegeben wurde, müssen wir es uns nachträglich verdienen. Da uns ohne Gegenleistung bestimmte Fähigkeiten verliehen wurden, müssen wir diese nutzen, um uns ihrer würdig zu erweisen.

Somit werden aus den Pflichten des Theismus die meist diametral entgegengesetzten Pflichten des Atheismus. Aus Unterwerfung wird Selbstverantwortung, aus Glaube Illusionsfreiheit, aus Tabus das Nutzen aller Fähigkeiten, aus Geboten der kategorische Imperativ, aus Opfern das Streben nach Glück. Diese Pflichten werden von manchen als schwieriger empfunden als Unterwerfung und Glaube. Der Atheismus entwendet dem Menschen alle Stützen und nimmt ihm alle Entschuldigungen. Wenn Gott nicht existiert, muss der Mensch sein eigener Gesetzgeber sein. Er ist zur Freiheit verurteilt.

Für die meisten Atheisten sind die moralischen Aspekte für ihre Entscheidung wichtiger als die Unerkennbarkeit Gottes.

Zwar ist jeder Gottesgläubige für seinen Glauben entschuldigt, denn dieser ist dem Menschen angeboren und kann oft erst durch einen bewussten Erkenntnisprozess überwunden werden. Trotzdem rechtfertigt der Glaube weder die Untaten, die in seinen Namen verübt wurden und werden, noch die ihm innewohnenden moralischen Mängel. So hemmt der Gottesglaube nach Ansicht von Atheisten die Eigenverantwortung, indem er den Gläubigen Geboten und Autoritäten unterwirft, ihm Erbsünden auferlegt und Erlösung durch Andere verspricht. Er korrumpiert das Denken, indem er Erkenntnisse ausblendet, die nicht in das Glaubenssystem passen. Er verteidigt Unmoral, da Gott menschliches Leid geschehen lässt oder aktiv zufügt, und er sorgt für neues Leid, da er den Gehorsam über die menschliche Moral stellt. Diese Nebeneffekte des Gottesglaubens sind der Grund für den Willen mancher Atheisten wie **Richard Dawkins**, den Theismus aktiv zu bekämpfen.

Atom (v. griech. *átomo* "unteilbar"), ursprünglich der kleinstmögliche und somit nicht weiter teilbare Bestandteil der Materie. Heute wird diese Eigenschaft den **Elementarteilchen** zugeschrieben.



Der griechische Philosoph **Demokrit** (460 – 371 v.Chr.) lehnte die Meinung ab, Materie sei unendlich fein pulverisierbar, und postulierte Atome als kleinstmögliche Materieteilchen. Seine Atome sind massive Körper in unterschiedlichen Formen: eckig, rund, glatt, rau, regelmäßig oder unregelmäßig. Alle Objekte – Erde, Luft, Wasser, Feuer, Pflanze, Tier oder Mensch – sind aus unterschiedlichen Atomarten zusammengesetzt. *„Nur scheinbar hat ein Ding eine Farbe, nur scheinbar ist es süß oder bitter. In Wirklichkeit gibt es nur Atome und den leeren Raum.“* Auch die ► **Seele** besteht aus Seelenatomen, die sich nach dem Tod verstreuen und sich einer neugeborenen Seele anschließen können.

Demokrits Lehre fand wenig Anhänger und wurde erst im 17. Jahrhundert von **Gottfried Leibniz** in seiner ► **Monadentheorie** wieder aufgenommen. Anfang des 19. Jahrhunderts formulierte **John Dalton** die Atomtheorie als Grundlage der

Chemie. Atome wurden zunächst als massive, unteilbare Kugeln angesehen. 1896 jedoch entdeckte **Henri Becquerel** den Atomzerfall und stellte fest, dass sich Atome ineinander umwandeln können. Man fand, dass Atome positive und negative elektrische Ladungen in sich vereinen. **Ernest Rutherford** entdeckte 1906 durch Streuexperimente, dass Atome nicht massiv sind, sondern aus einem elektrisch positiv geladenen Kern und einer negativen Hülle bestehen.

Die Atomhülle besteht aus negativ geladenen **Elektronen** und hat einen Radius von ungefähr 0,0001 mm. Der Kern ist noch etwa zehntausendmal kleiner, macht aber fast die gesamte Masse des Atoms aus. Hätte ein Atom die Größe eines Fußballstadions, so wäre der Kern so groß wie die Trillerpfeife des Schiedsrichters. Er besteht selbst aus noch kleineren Bestandteilen: **Neutronen** und positiv geladenen **Protonen**. Neutronen und Protonen sind ihrerseits wiederum aus je drei **Quarks** zusammengesetzt. Damit endet die Teilbarkeit der Materie. Bestandteile von Quarks gibt es nach heutigem Wissen nicht. Die elektrische Ladung der Protonen im Kern und der negativen Elektronenhülle gleichen sich aus, so dass das Atom normalerweise nach außen hin elektrisch neutral ist.

Das heutige **Standardmodell** der Physik kennt 48 **Elementarteilchen**, die tatsächlich unteilbare Grundbestandteile der Materie sind. Diese 48 Teilchen sind in drei Familien aufgeteilt. Die Familien unterscheiden sich nur in den Teilchenmassen voneinander. Die Atome und alle bekannte Materie des Universums werden aus der ersten Familie gebildet. Warum es die beiden weiteren Teilchenfamilien gibt, wieso es gerade 48 Teilchen sind und wo ihre Eigenschaften herrühren, ist unbekannt. Das Standardmodell erklärt den Teilchenzoo nicht. Man betrachtet daher notgedrungen die Teilchenzahlen und ihre Eigenschaften vorerst als ► **Naturkonstanten**. Von künftigen physikalischen Theorien, etwa der **Stringtheorie**, erhofft man

sich allerdings eine einfachere Erklärung für diese Aufteilung der Materie.

Elementarteilchen unterscheiden sich unter anderem in ihrer Masse, ihrer elektrischen Ladung, und darin, von welchen Kräften sie angezogen oder abgestoßen werden. Die Physik kennt vier grundlegende Kräfte: Gravitationskraft, elektromagnetische Kraft sowie starke und schwache Kernkraft. Während die Gravitation auf alle Teilchen wirkt, hat die elektromagnetische Kraft nur auf elektrische geladene Teilchen und die starke Kernkraft nur auf Quarks eine Wirkung. Die Eigenschaften der Elementarteilchen sind in der folgenden Tabelle aufgelistet.

Familie	Teilchen		Masse (MeV)	Ladung (e)	Kraft		
					elektr	stark	schwach
1	Elektron	e	0,511	-1	ja	nein	ja
	Neutrino	ν_e	< 0.0008*	0	nein	nein	ja
	Down-Quark	d	5,0..8,5	-1/3	ja	ja	ja
	Up-Quark	u	1,5..4,5	2/3	ja	ja	ja
2	Myon	μ	106	-1	ja	nein	ja
	My-Neutrino	ν_μ	< 0,3	0	nein	nein	ja
	Strange-Quark	s	~100	-1/3	ja	ja	ja
	Charm-Quark	c	~1000	2/3	ja	ja	ja
3	Tauon	τ	1777	-1	ja	nein	ja
	Tau-Neutrino	ν_τ	< 30	0	nein	nein	ja
	Bottom-Quark	b	~4000	-1/3	ja	ja	ja
	Top-Quark	t	~170000	2/3	ja	ja	ja

* Untergrenze noch unbekannt, s. ► Neutrinomasse

Die elektrische Ladung ist hier als Vielfaches der Elektronenladung angegeben, die Masse, wie in der Teilchenphysik üblich, in der Einheit **MeV** (Megaelektronenvolt; $1 \text{ MeV} = 4,655 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$). Von jedem Quark gibt es drei Unterarten, die man als rot, grün, und blau bezeichnet, obwohl sie in Wirklichkeit mit Farben nichts zu tun haben. Sie machen sich nur dadurch bemerkbar, dass sich je ein rotes, grünes und blaues Quark zu einem Proton oder Neutron zusammenschließen, die dann Atomkerne bilden. Zusätzlich gibt es zu jedem Teilchen in der obigen Tabelle noch ein Antiteilchen, das die entgegengesetzte Ladung trägt. Durch diese Kombination kommt man auf insgesamt 48 Elementarteilchen.

Allerdings besteht die Welt nicht nur aus den Elementarteilchen, sondern auch aus den Kraftfeldern der vier Grundkräfte Gravitationskraft, elektromagnetische Kraft sowie Starke und Schwache Kernkraft. Um diese Kräfte zwischen den Materieteilchen zu vermitteln, kennt das Standardmodell acht weitere Teilchenarten, die **Bosonen**. Elektrische oder magnetische Anziehung kommt zum Beispiel durch den Austausch von **Photonen** (Lichtteilchen) zustande. Daher ist der Ausbreitung von Kräften durch die Maximalgeschwindigkeit der Photonen – nämlich der ► **Lichtgeschwindigkeit** – eine Grenze gesetzt. Jede elektromagnetische Welle - dazu zählen Radiowellen und Lichtstrahlen - ist ein Schwarm von Photonen. Zusätzlich gibt es noch das ► **Higgs-Feld**, das keiner Grundkraft entspricht, jedoch allen Materieteilchen ihre Masse verleiht.

Boson	Masse (MeV)	Ladung (e)	Zuständig für
Photon	0	0	Elektr. Kraft
Z ⁰	91000	0	Schwache Kraft
W ⁺	80000	1	
W ⁻	80000	-1	
Gluon	0	0	Starke Kraft
Graviton	0	0	Gravitation
Higgs-Boson	125000	0	Higgs-Feld

Je größer und auch je kleiner die Masse eines Teilchens, desto schwieriger ist sie zu messen. Sehr leichte Teilchen, wie das **Neutrino**, die kaum mit Materie wechselwirken, sind nur mit großem Aufwand überhaupt nachzuweisen. Bei sehr schweren Teilchen hingegen braucht man eine extreme Energie, um diese in einem Teilchenbeschleuniger zu erzeugen. Daher gelang der eindeutige Nachweis des ► **Higgs-Bosons** erst 2011 mit dem Large Hadron Collider am CERN-Institut in Genf.

Außerirdische, Bewohner anderer Planeten. Unter Annahme eines unendlichen ► **Universums** müssen auch unendlich viele außerirdischer Zivilisationen existieren.



Schon antike und mittelalterliche Denker, etwa **Nikolaus von Kues**, hielten die Existenz intelligenter und zivilisierter Rassen außerhalb der Erde für möglich. Der Philosoph **Giordano ► Bruno** vermutete im 16. Jahrhundert, dass das Universum unendlich groß und daher mit unendlich vielen solcher Zivilisationen bevölkert sein könnte. Die mögliche Existenz von Außerirdischen wurde jedoch von der Kirche heftig bestritten, da sie schwierige Fragen aufwirft. Etwa: Am welchem Schöpfungstag hat ► **Gott** andere bewohnte Planeten geschaffen? Ist Jesus auch für Außerirdische am Kreuz gestorben? Oder hat jede Rasse ihren eigenen Sohn Gottes? Hat Gott gar eine unendliche Nachkommenschar? Auch heute noch wird auf vielen religiösen Websites heftig gegen die wissenschaftliche Suche nach außerirdischem Leben gewettert.

Mit dem - vorerst theoretischen - Studium außerirdischen Lebens befasst sich die **Exobiologie**. Die großen ► **Distanzen** im Kosmos beschränken den möglichen Kontakt mit

Außerirdischen auf Zivilisationen, die Radiowellen empfangen und ins All senden können. Die Zahl solcher technischen Zivilisationen in unserer unmittelbaren Nachbarschaft, also in der Milchstraße, lässt sich mit einer Formel des Astronomen **Frank Drake** abschätzen:

$$N = R \cdot f_b \cdot f_p \cdot n_e \cdot n_j \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L \quad (\text{Drake-Formel})$$

Der Wert **N**, den es zu berechnen gilt, steht für die Zahl der unsere Galaxie bewohnenden technischen Zivilisationen. Er ergibt sich aus der Multiplikation folgender Faktoren:

R = Mittlere Sternentstehungsrate in der Galaxie.

f_b = Anteil der Sterne vom Typ gelber Sonnen.

f_p = Anteil der Sterne, die ein Planetensystem besitzen.

n_e = Mittlerer Anteil von etwa erdgroßen Gesteinsplaneten in einem Planetensystem, die in der richtigen Entfernung (**Lebenszone**) um die Sonne kreisen, um biologisches Leben hervorzubringen.

n_j = Mittlerer Anteil von jupitergroßen Planeten auf stabilen äußeren Bahnen eines Planetensystems, die durch ihre Schwerkraft Meteore und Kometen ablenken und damit die inneren Planeten vor katastrophalen Einschlägen abschirmen.

f_l = Anteil erdähnlicher Planeten, die tatsächlich Leben hervorbringen.

f_i = Anteil lebenstragender Planeten, auf denen intelligentes Leben entsteht.

f_c = Anteil intelligenter Rassen, die technische Zivilisationen entwickeln.

L = Mittlere Lebensdauer einer technischen Zivilisation.

Leider kennen wir die meisten Faktoren nicht genau und müssen deren Werte abschätzen. Das begrenzt die Nützlichkeit der Drake-Formel, denn je nach eingesetzten Faktoren ist mal die

Menschheit die einzige Zivilisation weit und breit, mal wimmelt unsere Galaxie nur so von Außerirdischen.

Die ersten drei Faktoren lassen sich noch einigermaßen gut bestimmen. Die mittlere Sternentstehungsrate in der Milchstraße beträgt etwa 30 pro Jahr*. Etwa zehn Prozent aller Sterne sind vom Typ unserer Sonne und besitzen eine Lebenszone, innerhalb derer ein umkreisender Planet die richtige Temperatur zur Entstehung von Leben erreichen kann.

Der Faktor n_j ist in Drakes Originalformel nicht enthalten und wurde erforderlich, seit 1995 die ersten jupitergroßen **Exoplaneten** entdeckt wurden. Diese tendieren nämlich aus bisher noch umstrittenen Gründen dazu, auf ihren Umlaufbahnen allmählich Richtung Sonne zu wandern und dabei innere, erdähnliche Planeten aus der Bahn zu werfen.

Wenn wir für alle übrigen Faktoren einen plausiblen Wert von 10% annehmen, bleibt als einzige offene Variable die Lebensdauer **L** einer technischen Zivilisation. Zivilisationspessimisten werden hier einige hundert Jahre ansetzen (danach zerstört jede technische Zivilisation sich selbst), Optimisten 12 Milliarden Jahre (das Alter der Milchstraße). Wenn wir von einem Kompromisswert von 5 Milliarden Jahren ausgehen (etwa so lange wird die Erde noch existieren), finden wir über 30.000 technische Zivilisationen in unserer Galaxis, die in einer mittleren Entfernung von **365 Lichtjahren**† voneinander leben.

* Anzahl der Sterne (400 Milliarden) geteilt durch Alter der Galaxis (13 Milliarden Jahre). Im Moment ist die Rate geringer – etwa 1 pro Jahr – doch für die Formel gilt die mittlere Rate während der durchschnittlichen Lebenszeit einer Zivilisation.

$$† N = 30 \cdot 10\% \cdot 20\% \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot 10\% \cdot 10\% \cdot 10\% \cdot 5 \cdot 10^9 = 30.000$$

→

Es gibt verschiedene Methoden, die Wahrscheinlichkeit intelligenten Lebens auf Exoplaneten abzuschätzen. Mittlerweile wurden ca. 4000 Planeten fremder Sonnen entdeckt, allerdings sind vor allem Riesenplaneten auf sonnennahen Umlaufbahnen leicht identifizierbar. Mit den jetzigen Methoden ließe sich etwa die Erde aus einigen Dutzend Lichtjahren Entfernung schon nicht mehr erkennen. Die aussichtsreichsten Kandidaten für eine außerirdische Zivilisation sind zurzeit (Stand 2023)⁵:

- **Gliese 667Cc** – ein Gesteinsplanet mit anderthalbfachem Erddurchmesser unter einer roten Sonne in 24 Lichtjahren Entfernung.
- **Kepler 22b** - ein Planet in 600 Lichtjahren Entfernung, der einen sonnenähnlichen Stern in 290 Tagen innerhalb der Lebenszone umkreist.
- **Kepler 69c** - auf einer Venus-ähnlichen Umlaufbahn um eine trübe Sonne in 2700 Lichtjahren Entfernung.
- **Kepler 62f** - ein etwa erdgroßer Planet in 1200 Lichtjahren Entfernung im 267-Tage-Orbit um eine rote Zwergsonne.
- **Kepler 452b** – ein Kandidat etwas über Erdgröße, der in 1400 Lichtjahren Entfernung einen sonnenähnlichen Stern in 380 Tagen umkreist.

Bei 30.000 technischen Zivilisationen und einem Radius r der Milchstraße von 50.000 Lichtjahren beträgt die durchschnittliche Entfernung E zur nächsten Zivilisation

$$E = \sqrt{\frac{\pi}{2} \frac{r^2}{N}} = 365 \text{ Lj}$$

Die obige Abschätzung benutzt das Modell einer gleichmäßigen flachen Scheibe für die Milchstraße. In Wirklichkeit ist die Entfernung zur nächsten Zivilisation in der Umgebung unserer Sonne, am äußeren Rand eines Spiralarms, deutlich höher, im Zentrum der Galaxis hingegen geringer.

Die Bezeichnung **Gliese** bezieht sich auf einen Sternenkatalog, **Kepler** ist ein Weltraumteleskop speziell zur Entdeckung von Exoplaneten. Um Leben darauf festzustellen, wird das Absorptionsspektrum der Atmosphäre gemessen, während der Planet an seiner Sonne vorbeizieht. Das Vorhandensein von Methan und Ozon - beides anhand von charakteristischen Absorptionslinien nachweisbar - wäre ein starker Hinweis auf zumindest bakterielles Leben. Absorptionsspektren können jedoch nur bei relativ nahen Planeten gemessen werden. Bislang wurden keine Hinweise auf Leben gefunden.

Doch selbst wenn: Wird aus Bakterien nach einer gewissen Zeit zwangsläufig intelligentes Leben? Bilden intelligente Lebewesen nach einer gewissen Zeit zwangsläufig technologische Zivilisationen? Falls ja, wie lange dauert dieser Zeitraum? Zivilisationen, die seit Millionen oder gar Milliarden Jahren existieren, müssten über Supertechnik verfügen. Warum haben sie uns dann nicht längst mit Raumschiffen oder Raumsonden besucht? Entweder wir lagen mit unseren Abschätzungen grob daneben. Oder die Konstruktion effektiver Raumschiffe zur Überwindung der interstellaren **► Weiten** ist auch mit Supertechnik zu teuer oder zu schwierig. Oder die Außerirdischen haben uns schlicht noch nicht bemerkt - immerhin senden wir erst seit 100 Jahren Radiowellen ins All. Oder sie sind längst da, ziehen es aber vor, sich zu verstecken. Oder sie werden von der CIA versteckt...

In Ermangelung eines direkten Kontakts bietet sich an, den Radioverkehr einer außerirdischen Zivilisation zu belauschen. Das ist die Aufgabe des **SETI**-Projekts (*Search for **E**xtraterrestrial **I**ntelligence*). 1960 begann Drake mit einem 25-m-Radioteleskop die beiden Sterne Tau Ceti und Epsilon Eridani abzuhorchen. Er fand jedoch in den untersuchten Frequenzbändern keine auffälligen Signale. Auch die Sowjetunion begann 1964 mit einem Suchprogramm, doch wurde nichts über Verbrüderungen mit außerirdischen Kommunistischen Parteien bekannt.

Die Schwierigkeit bei der Suche nach außerirdischen Radiosendungen ist nicht nur, das richtige Sternsystem zu finden, sondern auch den richtigen Wellenlängenbereich. Je mehr Sterne und je mehr Frequenzkanäle man abhört, desto größer ist der Aufwand für die Analyse der empfangenen Daten. Zum lückenlosen Absuchen des Weltalls müsste man eine ungeheure Datenmenge bewältigen und eine langfristige Finanzierung sichern. Daher gab es bislang keine systematische Suche. Stets wurden nur stichprobenartige Untersuchungen vorgenommen, die einen Treffer zu einem Glücksfall machen.

1979 startete die Universität von Kalifornien in Berkeley das SETI-Projekt SERENDIP mit einem 100-Kanal-Frequenzanalysator und einer Kette von Radioteleskopen mit Spiegeldurchmessern von 25 bis 65 Metern. 1982 begann das SENTINEL-Projekt an der Harvard-Universität mit einem 131.000-Kanal-Analysator und einem 25-Meter-Radioteleskop. 1985 folgte das Projekt META, unterstützt vom Regisseur Steven Spielberg, mit 8 Millionen Kanälen.

1986 schickte Berkeley den Nachfolger SERENDIP II mit 65.536 Kanälen und einem 90-m-Radioteleskop in West Virginia auf die Suche. Das nächste Projekt SERENDIP III mit 4 Millionen Kanälen lief auf dem **Arecibo-►Teleskop**, dem damals größten Radioteleskop der Erde. 1992 erhielt die NASA die Finanzierung für eine grobe SETI-Durchmusterung des gesamten Himmels und eine gezielte Suche bei ca. 800 nahe gelegenen Sternen. Das Programm wurde jedoch kurz nach dem Start vom US-Kongress gestrichen und schließlich vom privat finanzierten SETI-Institut in Kalifornien übernommen. Das Institut mietete dazu das 64-m-Parkes-Teleskop in Australien.

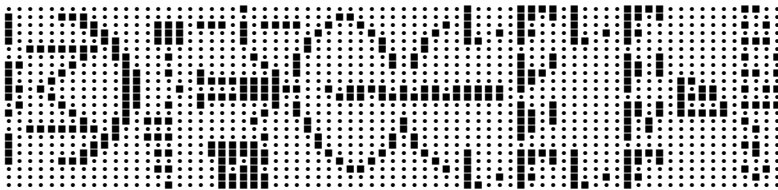
All diese Projekte erbrachten zwar viele Fehlalarme und einige seltsame Signale, die archiviert wurden, aber keinen eindeutigen Hinweis auf außerirdische Radiosendungen. Anfang der 2000er sollte ein neues Projekt sich primär der Suche nach außerirdischer Intelligenz widmen, das **Allan Telescope Array** im Norden

Kaliforniens. Die Anfangsfinanzierung kam von Microsoft-Mitbegründer Paul Allen, dem SETI-Institut und der Universität Berkeley. Dieses Teleskopfeld hätte erstmals eine Chance auf eine systematische Himmelsdurchmusterung geboten. Doch nachdem 42 der geplanten 350 6-m-Radioteleskope fertiggestellt waren, ging dem Projekt das Geld aus. So wurde ET bislang noch nicht aufgespürt.

Vielleicht sollte man Außerirdische erst auf uns aufmerksam machen, um einen Kontakt zu etablieren. Zwar haben wir bereits Raumsonden mit Botschaften ausgesickt (► **Pioneer**), jedoch müssen wir auf eine Antwort wohl noch lange warten.

Aussichtsreicher sind Radiosignale. Hier stellt sich natürlich die Frage, ob es überhaupt weise wäre, unsere Existenz gegenüber eventuell unfreundlich gesinnten Außerirdischen zu verraten*.

Dennoch wurde am 16. November 1974 ein gezielter Versuch unternommen. An diesem Tag strahlte das **Arecibo-Teleskop** eine Radiobotschaft[†] von 1679 Bit Länge in Richtung des Kugelsternhaufens Messier 13, der 23.000 Lichtjahre entfernt ist. Die Zahl 1679 ist das Produkt von zwei ► **Primzahlen**, 23 und 73. Dadurch kann die Nachricht⁶ auf eindeutige Weise als Bild aus 23 x 73 schwarzweißen Bildpunkten interpretiert werden:



* Was dabei alles schiefgehen kann, ist Thema der Romantrilogie *The Three-Body Problem* von Liu Cixin. Spoiler: Die Menschheit verliert.

† Radioteleskope können Botschaften aussenden, indem der Empfänger im Brennpunkt des Antennenspiegels gegen einen Sender ausgetauscht wird.

Das Bild stellt von links nach rechts unter anderem ein Radioteleskop dar, eine menschliche Figur, die DNS, die Elemente Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenstoff und Phosphor, aus denen wir hauptsächlich bestehen, und das binäre ► **Zahlensystem**.

Wir müssen jedoch nicht unbedingt unsere Radioteleskope als Sender missbrauchen. Auch unsere normalen Fernsehsendungen sind für Außerirdische potentiell interessant. TV-Sender bündeln ihre Signale in Richtung Horizont, um möglichst viele Empfangsantennen zu erreichen. Ein guter Teil der Sendeenergie strahlt dadurch in den Weltraum ab und entfernt sich von der Erde mit Lichtgeschwindigkeit auf einer äquatorial ausgerichteten Spiralbahn. Diese TV-Signale lassen sich mit kilometergroßen Radioteleskopen theoretisch auch in Tausenden von Lichtjahren Entfernung empfangen, allerdings dementsprechend auch erst in Tausenden von Jahren. Daher kann bis zum Eintreffen der extraterrestrischen Raumflotte noch eine längere Zeit vergehen. Vielleicht verzichten die Außerirdischen, nachdem sie unsere TV-Nachrichten dekodiert haben, auch ganz auf einem Besuch.

¹ L. Caecilius Firmianus Lactantius, *Institutiones Divinae*, 310

² Andreas Keller, *Harmonia Macrocosmica*, 1708 (Wikipedia)

³ Stjerneborg (Wikipedia)

⁴ Wilhelm Herschel (Wikipedia)

⁵ Margaret Turnbull, Carnegie Institution, Washington DC, 2016. Aktuelle Studie: <https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/ast.2019.2161>

⁶ Die Arecibo-Botschaft ist detailliert erklärt auf www.signale.de