

# 3 DAS UNIVERSUM

Nach diesem Abschnitt kannst du

- die Entwicklung des Weltbildes dokumentieren
- die Grenzen menschlicher Erkenntnis bei der Untersuchung des Makro- und Mikrokosmos reflektieren
- die Bedeutung der Kepler'schen Gesetze für die Beschreibung des Universums abschätzen
- den Aufbau des Universums beschreiben

Dieses Weltbild ist für uns eigentlich selbstverständlich: Die Erde ist einer von acht Planeten in einem Sonnensystem am Rande der Galaxie, die wir „Milchstraße“ nennen.



Abb. 1: Die Milchstraße

Die ältesten Forschungen über die Sterne lassen sich bis ins 4. Jahrtausend v. Chr. zurückverfolgen. Zuerst dienten die Sterne den Menschen zur Orientierung, aber schon bald gewann man durch Beobachtung der Sterne und anderer Himmelskörper viele Informationen: Es war beispielsweise möglich,

- die Jahreszeiten zu bestimmen,
- den richtigen Zeitpunkt für die Aussaat von Getreide festzulegen,
- sich in der Nacht zu orientieren und auf dem Meer zu navigieren,
- mithilfe der Mondphasen Ebbe und Flut vorherzusagen,
- Grundstücke zu vermessen und
- einen Kalender zu erstellen und die Länge eines Jahres festzulegen.

## Weltbilder im Wandel

Die Frage nach dem Platz der Erde und mit ihr dem Platz der Menschheit im Universum beschäftigte die Menschen seit Langem. In Europa wurden in der Antike verschiedene Erklärungsmodelle vorgeschlagen: Griechische Astronomen wie Aristarchos von Samos (3. Jhdt. v. Chr.) und Seleukos von Seleukia (2. Jhdt. v. Chr.) sollen von einem heliozentrischen Weltbild ausgegangen sein: Sie platzierten die Sonne als Mittelpunkt eines Systems, um das sich die Planeten drehen.

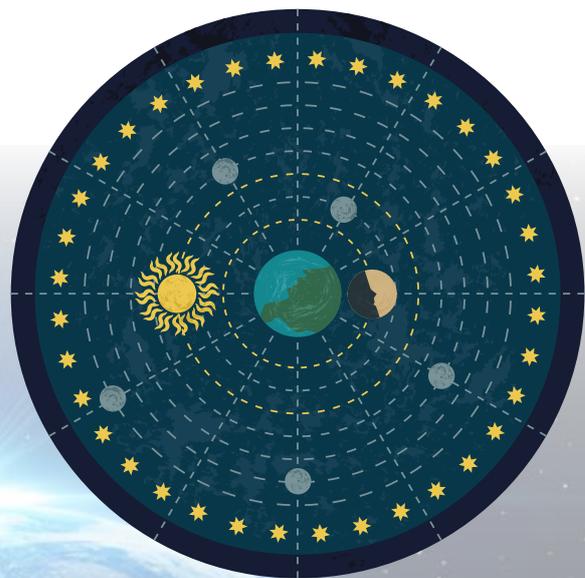


Abb. 2: Das geozentrische Weltbild

Im Gegensatz dazu steht die Idee eines geozentrischen Weltbildes, bei dem alle Himmelskörper um die Erde im Mittelpunkt positioniert sind (Abb. 2).

Im 2. Jahrhundert nach Chr. entwickelte der griechische Astronom Ptolemäus diese **geozentrische Vorstellung** von der Anordnung der Himmelskörper: Die Erde stehe still in der Mitte des Weltalls. Diese Meinung teilten im europäischen, aber auch im islamischen Mittelalter, viele Gelehrte: Sonne, Mond und Sterne seien leuchtende Punkte an durchsichtigen Kugelschalen, die sich um die Erde drehen. Der Geozentrismus war auch innerhalb der katholischen Kirche Teil des Weltbilds.

### Die kopernikanische Wende

Im 16. Jahrhundert veröffentlichte **Nikolaus Kopernikus** seine Thesen: Die **Sonne** sei der **Mittelpunkt** und alle Planeten – auch die Erde – bewegen sich in kreisförmigen Bahnen um sie (Abb. 3).

Kopernikus blieb den mathematischen Beweis seiner Theorie schuldig. Trotzdem sprechen Historikerinnen und Historiker heute von der „Kopernikanischen Wende“, da seine Thesen ein wichtiger Denkanstoß für nachfolgende Forscherinnen und Forscher waren und zum Wandel wissenschaftlicher Vorstellungen vom Universum beitrugen.

**Johannes Kepler** entdeckte schließlich die Gesetzmäßigkeiten der **Planetenbewegungen um die Sonne**, indem er die Bahn des Planeten Mars neu berechnete. In der Folge war Kepler imstande, die Stellung der Planeten sehr genau zu berechnen und Kopernikus' These zu bestätigen: Die Planeten kreisen auf elliptischen Bahnen um die Sonne.

Damit widerlegte er in einem entscheidenden Punkt die Auffassung von Ptolemäus und untermauerte mathematisch das **heliocentrische Weltbild** (Abb. 3). Die Gesetzmäßigkeiten der Planetenbahnen kennen wir heute als die **3 Kepler'schen Gesetze**. Eine physikalische Grundlage für diese Gesetze formulierte Isaac Newton durch das **Gravitationsgesetz** (S. 19).

### Die Quantenphysik

Im 20. Jahrhundert änderte sich die wissenschaftliche Betrachtungsweise schlagartig, denn Wissenschaften und Technologien entwickelten sich rasant weiter. Verbesserungen der Teleskope und Mikroskope brachten neue Erkenntnisse über den Makro- und Mikrokosmos: Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gingen dazu über, nicht nur die Welt des großen Universums, sondern auch die Welt des unendlich Kleinen, die Welt der Atome, zu erforschen. Spricht man über **Quantenphysik**, stehen ihre Phänomene im Vordergrund, die ein radikal neues, modernes Weltbild der Physik fordern.

Die Physik beschäftigt sich nun auch mit Fragen der Relativität, der Atom- und Quantenphysik, der Kernphysik und der Elementarteilchen, Astrophysik und Kosmologie, der Statistischen Physik und der Nichtlinearen Physik. Der bedeutende österreichische Quantenphysiker und Nobelpreisträger Anton Zeilinger ist dieser Meinung: „Das Weltbild (der Physik) steht überhaupt nicht fest. Wir haben gerade erst begonnen, darüber nachzudenken.“

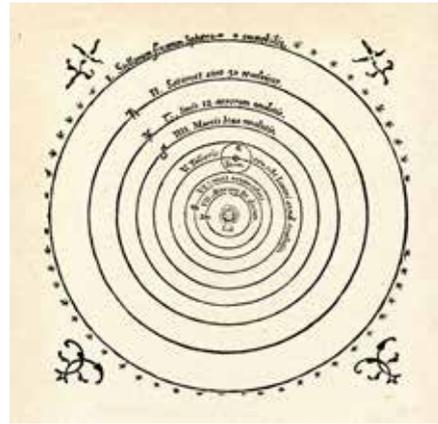


Abb. 3: Das heliozentrische Weltbild



Abb. 4: Statue von Nikolaus Kopernikus in Warschau

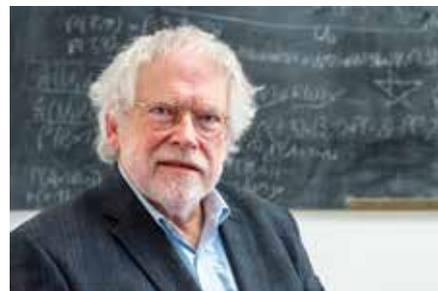


Abb. 5: Anton Zeilinger

## 3.1 Die Kepler'schen Gesetze

Johannes Kepler (1571 – 1630) war Theologe, Mathematiker und Astronom. Viele Jahre seines Lebens beschäftigte er sich mit den physikalischen Gesetzen, die die Bewegungen der Planeten um die Sonne beschreiben. Eine wichtige Grundlage seiner Arbeit waren die Beobachtungen der Bewegungen des Mars durch den dänischen Astronomen Tycho Brahe (1546 – 1601), bei dem er als Assistent gearbeitet hatte.



Abb. 6: Johannes Kepler

### 1. Kepler'sches Gesetz

Das 1. Kepler'sche Gesetz besagt, dass sich die **Planeten** auf **elliptischen Bahnen** bewegen. In einem der beiden **Brennpunkte** ( $F_1$ ,  $F_2$ ) **der Bahnellipsen aller Planeten** steht die **Sonne** ( $F_1$ ).

Unser Sonnensystem besteht aus acht Planeten. Der Sonne am nächsten steht der Merkur, dann folgen Venus, die Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus und der Neptun.

Pluto zählte jahrelang zu den Planeten, gilt nun aber als Zwergplanet. 2006 veröffentlichte die **Internationale Astronomische Union** eine Definition für Planeten, die nicht mehr auf Pluto zutraf. Er wurde stattdessen in die neue Klasse der Zwergplaneten eingeordnet, die auf Objekte jenseits des Neptuns angewendet wird.

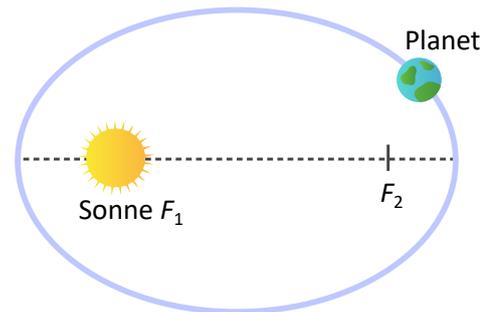


Abb. 7: Planet, der sich auf einer elliptischen Bahn um die Sonne bewegt

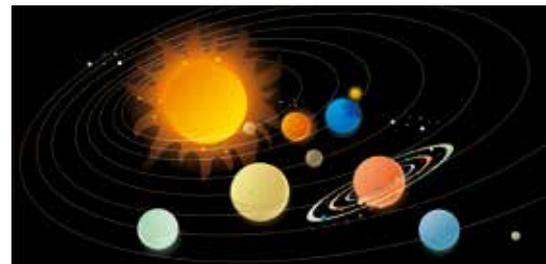


Abb. 8: Die Planeten und Zwergplanet Pluto bewegen sich auf einer elliptischen Bahn um die Sonne.

### 2. Kepler'sches Gesetz

Das 2. Kepler'sche Gesetz beschreibt, **wie schnell sich ein Planet auf seiner Umlaufbahn bewegt**. Die Verbindungslinie zur Sonne überstreicht dabei im gleichen Zeitraum gleiche Flächen ( $A_1$ ,  $A_2$ ).

Wenn der Planet der Sonne näher ist, bewegt er sich schneller und die Fläche ( $A_1$ ) ist breiter. Ist der Planet weiter entfernt, bewegt er sich langsamer: Die Fläche ( $A_2$ ) wird im gleichen Zeitraum schmaler. Laut Keplers Gesetz ist das überstrichene Segment – man kann es sich wie ein Kuchenstück vorstellen – flächenmäßig jedoch immer gleich groß.

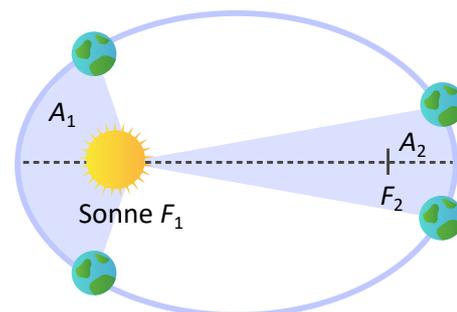


Abb. 9: Die grafische Darstellung des 2. Kepler'schen Gesetzes: Die zwei blauen Segmente haben die gleiche Fläche.

### 3. Kepler'sches Gesetz

Das 3. Kepler'sche Gesetz vergleicht die **Umlaufzeiten verschiedener Planeten** um die Sonne. Planeten mit größerer Sonnenentfernung brauchen wesentlich länger für einen Umlauf als nahe Planeten. So benötigt etwa der sonnennächste Planet Merkur nur 88 Tage für einen Umlauf. Der sonnenferne Neptun umläuft die Sonne einmal in 165 Jahren.

Die Umlaufbahn eines Planeten wird unter anderem durch zwei Kennzahlen charakterisiert:

- die Abmessung der großen Bahnhalbachse ( $a_1, a_2$ )
- die Dauer für einen Umlauf ( $T_1, T_2$ )

Die Quadrate der Umlaufzeiten ( $T_1, T_2$ ) zweier Planeten verhalten sich zueinander wie die dritte Potenz der dazugehörigen großen Bahnhalbachsen ( $a_1, a_2$ ) der beiden Planeten.

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3$$

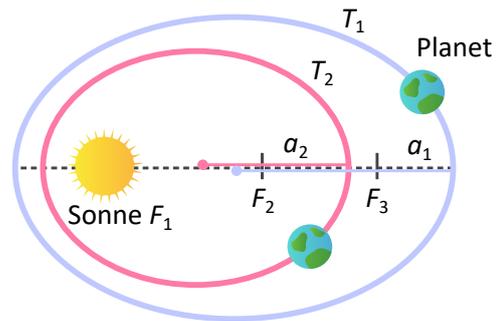


Abb. 10: Die grafische Darstellung des 3. Kepler'schen Gesetzes

Diese Gesetze wurden für die Planeten, die Kepler bekannt waren, formuliert. Sie gelten genauso für Monde, sogar überall im Universum. Außerdem bilden sie die Basis für die Raumfahrt und die Bahnen der Satelliten.

## NAWI AKTIV MINI



Recherchiere im Internet oder aus Fachliteratur Informationen zu folgenden Begriffen. Gib die Definitionen und den Bezug zu Himmelskörpern an.



- Gezeiten
- Springflut und Nippflut
- Sonnenfinsternis
- Mondfinsternis

## 3.2 Die Entwicklung des Universums

Vor 13,7 Milliarden Jahren entstanden Raum und Zeit. Der **Urknall gilt als der Beginn des Universums** – so eine Theorie der Physik. Was genau aber beim Urknall passierte und warum das Universum überhaupt entstanden ist, wissen wir bis heute nicht genau. Alles, was es heute im Universum gibt, war einmal in einem **winzigen Punkt zusammengepresst**. Wir stellen uns den Urknall als große, helle Explosion am Anfang von Raum und Zeit vor.

### Der „Big Bang“ und die Ausdehnung des Universums

Der Belgier Georges Lemaître beschäftigte sich in den 20er-Jahren des 20. Jahrhunderts mit der zeitlichen Entwicklung des Universums. Er war der Erste, der die Expansion des Universums entdeckte und die Vorstellung vom Urknall formulierte. Seine Veröffentlichungen wurden aber kaum zur Kenntnis genommen.

Der amerikanische Astronom Edwin Hubble lieferte 1929 passende Daten zu Lemaîtres Theorie. Diese zeigten eine **Regelmäßigkeit** in der **Bewegung der Galaxien**: Galaxien entfernen sich umso schneller von uns, je weiter die Galaxien von uns weg sind.



Abb. 11: Das Hubble-Teleskop ist ein Weltraumteleskop (NASA und ESA). Es wurde nach dem Astronomen Edwin Hubble benannt.

Für den Physiker Stephen Hawking (1942 – 2018) gab es hingegen keinen genauen Punkt, an dem das Universum und die Zeit begannen. Er stellte eine erstaunliche Theorie darüber auf, was vor dem Urknall war. Seiner Ansicht nach gab es **vor dem Urknall** so etwas wie **Zeit gar nicht**: „Vor dem großen Urknall existierte nichts.“ In seiner letzten Arbeit, an der er bis kurz vor seinem Tod arbeitete, zog er eine erstaunliche Schlussfolgerung: Das Universum sei womöglich gar nicht unendlich, es könnte viel einfacher sein, „als viele Urknalltheorien es aussagen“.

### Reste des Urknalls – die Kosmische Hintergrundstrahlung

Die Physiker Arno Penzias und Robert Wilson untersuchten Anfang der 1960er-Jahre den Himmel im **Mikrowellenbereich**. Dabei stießen sie auf ein störendes Hintergrundrauschen. Diese unerklärte, schwache Strahlung kam aus allen Himmelsrichtungen und hatte eine Strahlungstemperatur von rund 3 °K, was  $-270\text{ °C}$  entspricht. Sie hatten das heruntergekühlte Strahlungsfeld, das rund 300 000 Jahre nach dem Urknall entstanden war, entdeckt.

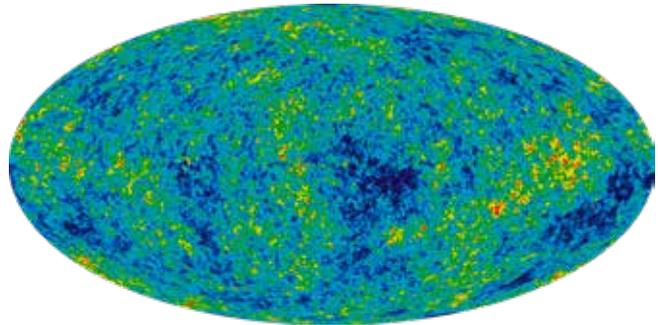


Abb. 12: Kosmische Hintergrundstrahlung (Aufnahme des Planck-Weltraumteleskops)

Aus Messungen der Hintergrundstrahlung werden Strahlungskarten des jungen Universums errechnet. Die verschiedenen Farben (Abb. 12) stehen für Temperaturunterschiede.

### Eine kleine Geschichte des Universums

Die Zeiträume, die beim Urknall eine Rolle spielen, unterscheiden sich stark. Einige Prozesse zogen sich über Milliarden von Jahren hin, andere passierten in den Bruchteilen einer Sekunde. Gemessen vom Zeitpunkt des Urknalls hat sich das Universum wie in Abb. 13 und Abb. 14 dargestellt entwickelt.

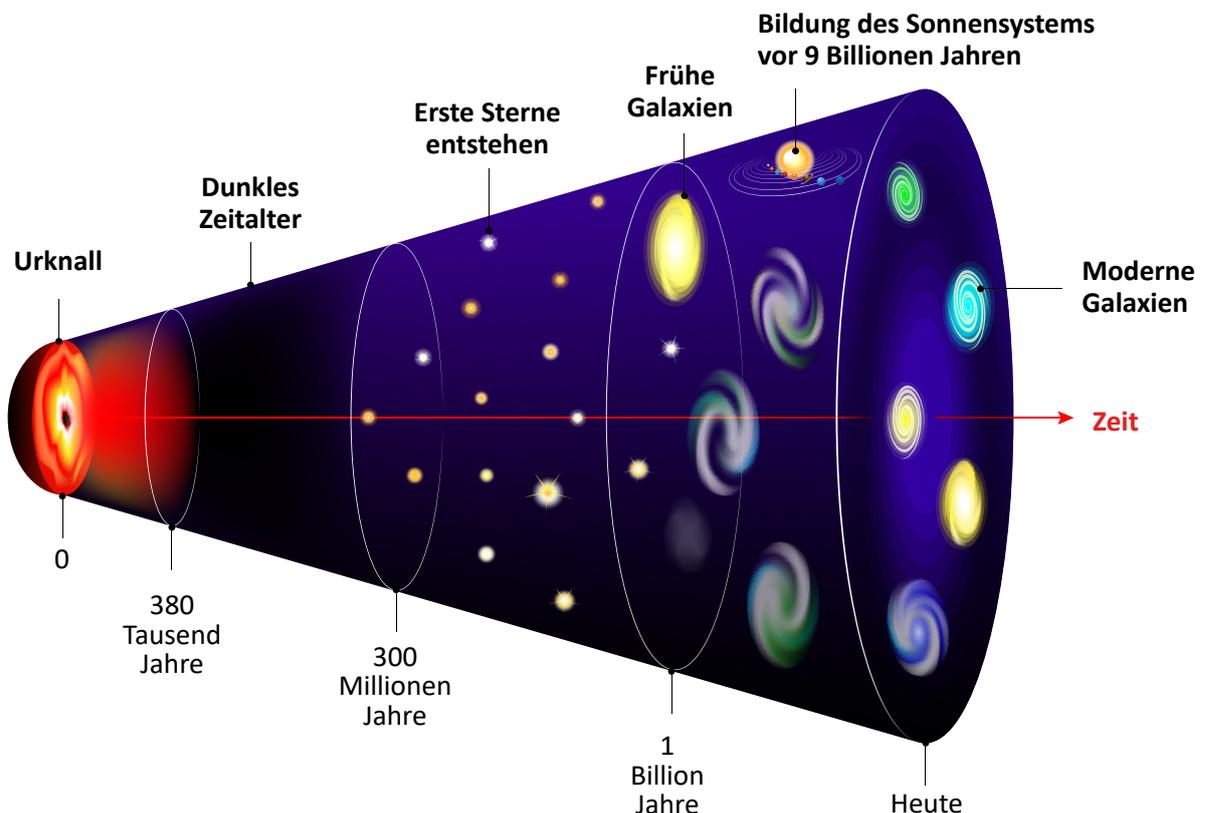


Abb. 13: Ausschnitt der Entstehung des Universums

$10^{-43}$ s	Der <b>Urknall</b> entzieht sich in Wirklichkeit unserer Vorstellungskraft. Er war mit $10^{-43}$ Sekunden unbeschreiblich kurz. Es gab weder Licht noch Materie.
$10^{-36}$ bis $10^{-32}$ s	Kurzfristig kommt es zu einer sehr stark beschleunigten Ausdehnung, die Phase der <b>Inflation</b> . Das Universum dehnt sich in einem winzigen Augenblick um mehr als das $10^{26}$ -fache aus.
$10^{-5}$ s	Das Universum kühlt so weit ab, dass sich elementare <b>Quarks-Teilchen</b> zu größeren Teilchen zusammensetzen. Die stabilsten und bekanntesten dieser Teilchen sind das <b>Proton</b> und das <b>Neutron</b> . Beide bestehen aus jeweils drei Quarks. Zusätzlich bilden sich weitere Elementarteilchen und die Elektronen.
1 s	Die Temperatur ist mit rund einer Milliarde Grad Celsius inzwischen „niedrig“ genug, dass sich Protonen und Neutronen zu <b>leichten Atomkernen</b> zusammenschließen können.
400 000 Jahre	Das Universum kühlt auf rund 3 000 °C ab. Atomkerne verbinden sich mit Elektronen zu neutralen Atomen. Energie in Form von Licht wird bei diesen ersten Kernprozessen freigesetzt. Dadurch wurde das <b>Universum durchsichtig</b> und die Hintergrundstrahlung entstand.
100 Millionen Jahre	Wasserstoff-Gaswolken werden an manchen Stellen sehr dicht, sodass die Gasteilchen einander aufgrund ihrer Masse stark anziehen und alle zu einem riesigen Gasball zusammenstürzen. Die ersten Sterne beginnen zu leuchten.
500 Millionen Jahre	Immer mehr Sterne entstehen und schließen sich aufgrund ihrer Anziehungskraft zu <b>Galaxien</b> zusammen.
9,5 Milliarden Jahre	Vor rund 4,5 Milliarden Jahren leuchtet unsere Sonne auf. Kurz darauf entstehen die <b>Erde</b> und die <b>anderen Planeten</b> des Sonnensystems. Zufällig liegt die Erde in einem Abstand zur Sonne, der es ermöglicht, dass sich Wasser bildet.

Abb. 14: Die Entwicklung des Universums

Nach fast 14 Milliarden Jahren entwickelte sich aus dem Universum, das kleiner als eine Erbse begonnen hatte, ein riesiges Sternenmeer. Es dehnt sich weiter aus, wenn auch viel langsamer als am Anfang. Neue Sterne beginnen zu leuchten und alte Sterne finden ihr Ende. Was mit ihnen passiert, hängt von ihrer Masse ab: Sie kollabieren und werden zu **Weißen Zwergen** oder **Roten Riesen**, zu einem **planetarischen Nebel** oder nach einer **Supernova** zu einem **Neutronenstern**.

**Supernova:** schnell eintretendes, helles Aufleuchten eines massereichen Sterns am Ende seiner Entwicklung durch eine Explosion; dabei wird ein großer Teil des Sterns vernichtet bzw. komplett in Energie umgesetzt

**Weißer Zwerg:** vergleichsweise kleiner Stern, der die letzte Station in der Entwicklung massearmer Sterne (weniger als 1,44 Sonnenmassen) repräsentiert

**Rote Riesen:** „alternde“ Sterne mit ca. Sonnenmasse, in deren Kern das „Wasserstoffbrennen“ erloschen ist; sie dehnen sich auf das Hundertfache aus und enden nach Jahrtausenden als Weißer Zwerg oder Neutronenstern

**Planetarischer Nebel:** interstellare Wolken aus Staub und Gas, die durch einen heißen Stern zum Leuchten angeregt werden

**Neutronenstern:** Endstadium eines massereichen Sterns (1,2 – 2,35 Sonnenmassen), Hauptbestandteil eines Neutronensterns sind Neutronen

### 3.3 Der Aufbau des Universums

Während der Weltraum nur den Raum außerhalb der Erdatmosphäre meint, schließt der Begriff Universum alle Himmelskörper ein. Doch was genau sind eigentlich Sterne, Planeten, Nebel und Asteroiden?



Abb. 15: Spiralgalaxie, eine scheibenförmige Galaxie mit Spiralmuster

Galaxien sind die Bausteine des Universums und bestehen aus Milliarden von Sternen, Planeten, interstellarer Materie und **Dunkler Materie**.

**Dunkle Materie:** Materie, die zur Masse von Galaxien oder Galaxienhaufen beiträgt, aber nicht in Form leuchtender Sterne oder leuchtenden Gases vorliegt

Zu einer Galaxie gehören zwischen einer Milliarde bis einer Billion Sterne. Die Erde ist Teil einer Galaxie, die wir **Milchstraße** nennen. Sie ist eine **Spiralgalaxie**, in der die Materie **scheibenartig angeordnet** ist. Deswegen ist auch der Begriff Scheibengalaxie gebräuchlich. Von der Seite betrachtet erkennt man flache Scheiben mit einer deutlichen Ausbuchtung im Zentrum nach oben und unten. Dort kreisen die Sterne mit bis zu 300 km/s auf regelmäßigen Bahnen um das Zentrum der Galaxie.

Unser nächster Nachbar ist die **Andromeda-Galaxie**. Die Entfernung zwischen diesen Galaxien beträgt 2,4 bis 2,7 Millionen **Lichtjahre**.

**Lichtjahr (Lj):** astronomische Längeneinheit für die Entfernung, die das Licht im Vakuum mit einer Geschwindigkeit von rund 300 000 km/s in einem Jahr zurücklegt;  
 $1 \text{ Lj} = 9,461 \cdot 10^{15} \text{ m}$

## Sterne und Planeten

**Sterne** sind gewaltige Himmelskörper, die größtenteils aus Wasserstoff und Helium bestehen. In ihrem Inneren ist es mit vielen Millionen Grad Celsius unvorstellbar heiß. Wegen der starken Hitze **glüht das Gas und leuchtet**. Das Licht der Sterne können wir von der Erde aus sehen, obwohl die Sterne viele Billionen Kilometer entfernt sind. Dass wir Sterne mit den Augen nur als winzige Lichtpunkte wahrnehmen, liegt allein an der großen Entfernung. In Wirklichkeit sind Sterne riesig: Die kleinsten haben etwa den 10-fachen Durchmesser der Erde, Riesensterne können sogar hunderttausendmal so groß sein.



Abb. 16: Die Venus, die wir als hellen Punkt am Morgen- und Abendhimmel beobachten können, wird auch Morgen- oder Abendstern genannt. Sehr zum Ärger der Astronomie: Sie ist ja ein Planet!

Sterne leuchten von selbst, Planeten nicht: Sehen wir Planeten am Nachthimmel, dann nur, weil ein Stern sie anleuchtet.

Der mittlere Abstand der Erde zur Sonne beträgt 149 597 870 700 m. Dieser Abstand wurde als eigenständige Einheit festgelegt, die vor allem dazu dient, Entfernungen innerhalb des Sonnensystems anzugeben: die **Astronomische Einheit AE**.

**AE:** Astronomische Einheit; international: AU für *Astronomical Unit*

## Planetensysteme, Planeten und Trabanten

Ein Planetensystem ist die Gesamtheit der größeren, nicht selbstleuchtenden Himmelskörper, die sich durch die Gravitationskraft um einen gemeinsamen **zentralen Stern** bewegen. In unserem Sonnensystem beschreiben **acht Planeten** elliptische Bahnen um die Sonne. Planeten sind groß genug, um durch ihre eigene Schwerkraft eine runde Form anzunehmen und die Umgebung ihrer Umlaufbahn von anderen Objekten zu säubern. Um die Planeten unseres Sonnensystems kreisen wiederum **Trabanten**. Die Erde hat mit dem Mond nur einen natürlichen Trabanten, der Jupiter hingegen sogar 79.

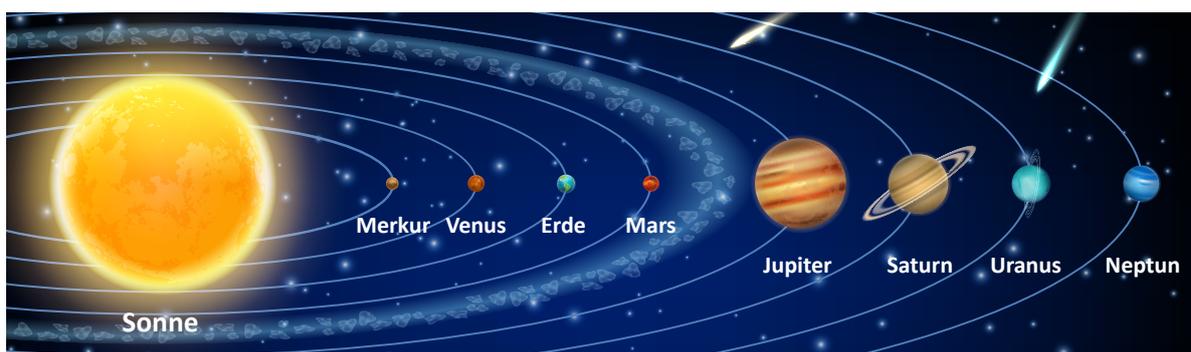


Abb. 25: Unser Sonnensystem

## SPECIALS



## Jahreszeiten

Die Erdachse verläuft durch Nord- und Südpol. Sie steht nicht senkrecht auf die Erdumlaufbahn, sondern weicht um 23,4 Grad vom rechten Winkel ab. Deswegen kippt im Laufe eines Jahres entweder die Nordhalbkugel oder die Südhalbkugel in Richtung Sonne. Diese Neigung der Erdachse ist für die Jahreszeiten auf der Erde verantwortlich. Frühling, Sommer, Herbst und Winter entstehen durch die unterschiedlichen Einfallswinkel des Sonnenlichts im Jahresverlauf.

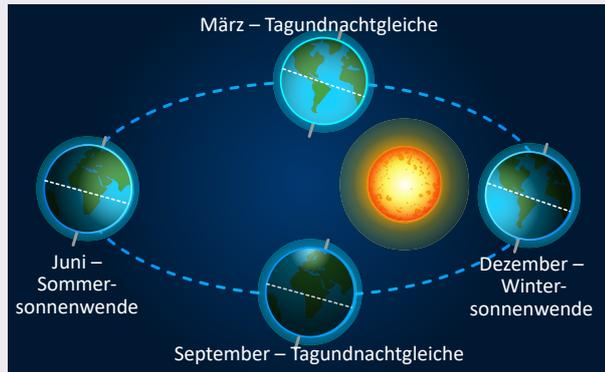


Abb. 17: Die Umlaufbahn der Erde um die Sonne im Laufe eines Jahres

Der Glaube, dass die Jahreszeiten etwas mit der Entfernung der Erde zur Sonne zu tun haben, ist weit verbreitet, aber eine Fehlannahme: Den sonnenfernsten Punkt erreicht die Erde etwa zwei Wochen nach der Sonnenwende im Juni, also mitten im Sommer der Nordhalbkugel. Am kleinsten ist die Entfernung zur Sonne ca. zwei Wochen nach der Sonnenwende im Dezember.

## Asteroiden, Kometen und Meteoriten

Der Unterschied zwischen **Asteroid** und **Komet** ist nicht klar abgegrenzt. Sie haben aber meist ein **unterschiedliches Erscheinungsbild**: Während Asteroiden als kleine, schwache Lichtpunkte zu sehen sind, treten Kometen in Sonnennähe meist mit einem langen Schweif in Erscheinung.

- Als **Asteroid** bezeichnet man Himmelskörper, die sich in einer **ähnlichen Umlaufbahn wie die Erde** gebildet haben. Man spricht von ihnen häufig auch als Kleinplaneten oder Planetoiden. Ein Asteroid besteht aus festen Stoffen (Gestein und Metall). Die meisten Asteroiden befinden sich im Asteroidengürtel zwischen Mars und Jupiter.
- Ein **Komet** hat eine andere chemische Zusammensetzung. Der Anteil **flüchtiger Substanzen wie Wasser, Kohlenstoffmonoxid** oder **Methan** ist deutlich größer als bei Asteroiden. Lange bezeichnete man Kometen vereinfacht als „schmutzige Eisbälle“. Mittlerweile weiß man, dass sie eher „eisige Schmutzbälle“ sind, da Staub und Gesteinsbrocken im Vergleich zu den flüchtigen, gefrorenen Substanzen doch überwiegen.
- Solange ein Gesteinsbrocken im Weltall umherschwirrt, nennt man ihn **Meteoroid**. Meteoriden sind kleine Himmelskörper aus Gestein auf einer Umlaufbahn um die Sonne. Treten sie in die Erdatmosphäre ein, verglühen sie. Es zeichnet sich ein helles Leuchten am Himmel ab, der **Meteor**. Wir kennen das Phänomen auch unter dem Namen **Sternschnuppe**. Als **Meteorit** bezeichnen wir die Bruchstücke eines massereichen Meteoroids, die tatsächlich auf dem Erdboden aufschlagen.



Abb. 18: Asteroid (Darstellung)



Abb. 19: Der Komet Hale-Bopp: Kometen sind Überbleibsel aus der Entstehung des Sonnensystems.



Abb. 20: Sternschnuppen am Nachthimmel: Die Perseiden können wir im August beobachten.

## SPECIALS



- Der Komet Tschurjumow-Gerassimenko, Spitzname „Tschuri“, wird seit Jahren von einer Raumsonde namens Rosetta begleitet. 2014 landete die Sonde „Philae“ auf ihm. Die Erforschung dieses Kometen wird von der Europäischen Weltraumorganisation, der ESA, betrieben.
- Der Asteroid 2023 BU hat ca. die Größe eines Lkws. Er rauschte im Jänner 2023 so nah wie kaum ein anderer Himmelskörper zuvor an der Erde vorbei. Der Abstand betrug 3 600 km: Der Asteroid kam der Erde also näher als viele Satelliten, die die Erde umkreisen.
- Regelmäßig nehmen gigantische Asteroiden Kurs auf die Erde. Die meisten dieser Begegnungen sind ungefährlich. Ein Team der NASA beobachtet derzeit etwa 2 000 Asteroiden, Kometen und andere Objekte, die der Erde nahekommen könnten.

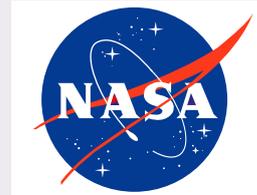


Abb. 21: Die NASA ist die zivile Bundesbehörde für Raumfahrt und Flugwissenschaft der USA.

### 3.4 Gravitation und Raum-Zeit

Ohne die Gravitation, eine Grundkraft der Physik, wäre der Kosmos, wie wir ihn kennen, nicht möglich: Größere Strukturen wie Sterne, Planeten und Galaxien hätten sich nicht bilden können.

Über 200 Jahre waren Isaac Newtons Arbeiten zur Schwerkraft der Standard. Doch 1915 arbeitet in Berlin ein junger Physiker namens Albert Einstein an einer ganz neuen Erklärung.

In seiner **Relativitätstheorie** postuliert Einstein **Raum und Zeit als relativ**. Das bedeutet, dass die Zeit nicht überall gleich schnell vergeht, sondern davon abhängig ist, mit welcher Geschwindigkeit man sich bewegt und wo man sich befindet. Die **Gravitation** ist nach Einstein also die **Krümmung der Raum-Zeit durch Massen**. Die gekrümmte Raum-Zeit sorgt für die Umlaufbahnen der Planeten um die Sonne.

#### Schwarze Löcher

Ist ein massereicher Stern am Ende seines Lebens, explodiert er in einer **Supernova** und stößt seine äußeren Schichten ab. Der Rest des Sterns kollabiert und wird auf winzigstem Raum zusammengepresst. Dort entsteht ein **Schwarzes Loch**, das kein Licht mehr entkommen lässt. Für eine Supernova muss der Stern eine Masse von mindestens acht Sonnen besitzen.

Ein Schwarzes Loch ist eine spezielle Raum-Zeit: Die **Krümmung** nimmt von außen nach innen immer mehr zu und wird im Zentrum des Loches unendlich. Da sich das Licht in einer gekrümmten Raum-Zeit in Richtung der unendlichen Krümmung bewegt, kommt es dort nicht mehr heraus. Aufgrund dieser Tatsache sind Schwarze Löcher vollkommen schwarz.

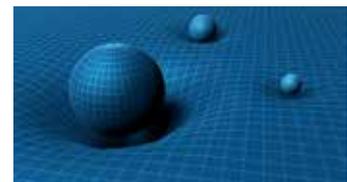


Abb. 22: Krümmung der Raum-Zeit durch Massen



Abb. 23: Illustration eines Schwarzen Lochs

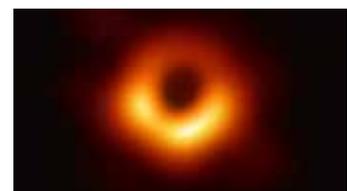


Abb. 24: Aufnahme des Schwarzen Lochs der Galaxie M87: Das Bild wurde aus Messungen des „Event Horizon Telescope“ von einem Team unter der Leitung der US-amerikanischen Informatikerin Katie Bouman errechnet.

## SPECIALS



- Warum Körper überhaupt eine Masse haben, die den Raum krümmt, blieb bis 1964 unbeantwortet. Peter Higgs, ein Physik-Professor am King's College in London, schlug neben den 12 bekannten Elementarteilchen ein letztes 13. Teilchen vor: das Higgs-Teilchen. 2012 wiesen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am CERN, einer Forschungseinrichtung in Genf, dieses neue Teilchen experimentell nach.
- 2020 teilten sich die Astronomin Andrea Ghez (USA), Roger Penrose (Großbritannien) und Reinhard Genzel (Deutschland) den Nobelpreis für Physik für ihre Forschungen zu Schwarzen Löchern. Ghez und Genzel erarbeiteten einen Beweis für die Existenz eines Schwarzen Loches im Zentrum der Milchstraße.
- Schwarze Löcher ziehen alles und jeden wie Spaghetti in die Länge. Es gibt sogar einen wissenschaftlichen Ausdruck dafür: *Spaghettification*. Ein Astronaut, der mit den Füßen voran auf das Loch zutreibt, würde extrem lange Beine bekommen, bevor der Rest seines Körpers folgen würde.

## WISSENSBOX 3

- Nikolaus Kopernikus begründete das \_\_\_\_\_ (1) Weltbild.
- Keplers 1. Gesetz besagt, dass sich die Planeten auf \_\_\_\_\_ (2) Bahnen bewegen. Keplers 2. Gesetz beschreibt, wie \_\_\_\_\_ (3) sich ein Planet auf seiner Umlaufbahn bewegt. Das 3. Kepler'sche Gesetz vergleicht die \_\_\_\_\_ (4) verschiedener Planeten um die Sonne.
- Das Universum entstand vor 13,7 Milliarden Jahren durch den \_\_\_\_\_ (5) oder Big Bang. Die Entdeckung der \_\_\_\_\_ (6) bewies, dass das Universum einen Ursprung hat.
- Am Anfang des Universums gab es weder \_\_\_\_\_ (7) noch Schall. Durch die gewaltige \_\_\_\_\_ (8) des Urknalls breitete sich das Universum durch die kosmische Inflation rasch aus. Als nächstes bildete sich Materie und Quarks formierten sich zu \_\_\_\_\_ (9). Quarks sind Elementarteilchen, aus denen \_\_\_\_\_ (10) und Neutronen aufgebaut werden.
- Erst, als sich Atome bildeten, wurde das Universum sichtbar. Hauptbestandteil war noch immer die \_\_\_\_\_ (11). Sie ist nicht sichtbar, aber mit \_\_\_\_\_ (12) versehen und ermöglicht die Erklärung der Bewegung der sichtbaren Materie.
- Es bildeten sich sehr große Sterne, die in einer \_\_\_\_\_ (13) explodierten. Dabei entstanden unter anderem \_\_\_\_\_ (14) mit hoher Gravitation, die Materie an sich zogen und Galaxien bildeten.
- Unser Sonnensystem befindet sich am Rande der Galaxie \_\_\_\_\_ (15).

## CHECKPOINT 3

- 1 Der Planet Mars benötigt für einen Umlauf um die Sonne 1,88 Jahre. Bestimme ungefähr die maximale und die minimale Entfernung von Erde und Mars mithilfe des 3. Kepler'schen Gesetzes. Das Ergebnis erhältst du in Astronomischen Einheiten AE. \_\_\_ / 4 P

Maximale Entfernung: \_\_\_\_\_ Minimale Entfernung: \_\_\_\_\_

- 2 Wenn sich Erde und Mars sehr nahe kommen, also in Opposition sind, dann kann man den Mars besonders gut beobachten. Begründe, warum dies der Fall ist. \_\_\_ / 2 P

- 3 Die Erde erreicht ihren sonnennächsten Punkt Anfang Januar. Der sonnenfernste Punkt wird Anfang Juli durchlaufen. Erläutere deine Schlussfolgerung über den Zusammenhang zwischen der Entstehung der Jahreszeiten und der Entfernung zwischen Erde und Sonne! \_\_\_ / 2 P

- 4 Manche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vermuten, dass außerhalb der Bahn des Pluto ein weiterer Planet existieren könnte. Dieser soll einen Sonnenabstand von 464 AE (eine AE sind exakt 149 597 870 700 Meter) haben. Berechne: Wie groß wäre die Umlaufzeit dieses Planeten? Die Umlaufzeit der Erde beträgt 365 Tage. \_\_\_ / 4 P

- 5 In diesem Text haben sich einige Fehler eingeschlichen. Unterstreiche die Fehler rot und korrigiere sie. \_\_\_ / 3 P

Jeder Körper wird von einem anderen Planeten angezogen. Diese Anziehungskraft nennt man Trägheitskraft. Sie ist auch dafür verantwortlich, dass die Erde vom Mond angezogen wird. Objekte mit besonders hoher Gravitation können sogar Satelliten anziehen. Man nennt diese Objekte Asteroiden.

- 6 Beurteile, welche Aussagen falsch bzw. richtig sind. Stelle ggfs. die Aussagen richtig. \_\_\_ / 5 P

Aussage	R / F	Korrektur
a) Johannes Kepler erkannte, dass die Planetenbahnen kreisförmig sind.		
b) Die Gravitationskraft wächst mit der Masse der einander anziehenden Körper und nimmt mit dem Quadrat der Entfernung zu.		
c) Die Erdachse steht nicht senkrecht auf der Erdumlaufbahn.		
d) Asteroiden sind Himmelskörper, die sich in einer ähnlichen Umlaufbahn wie die Erde gebildet haben.		
e) Ein Meteoroid explodiert in der Erdatmosphäre.		

#### Checkpoint – Selbsteinschätzung:

0 – 10 Punkte: Das musst du noch üben! Lies die betreffenden Seiten noch einmal und versuch es erneut.

10 – 15 Punkte: Du kennst dich aus, solltest dir wichtige Details aber noch genauer ansehen!

15 – 20 Punkte: Du kennst dich schon sehr gut aus, weiter so!

# 5 ETHOLOGIE – VERHALTENSFORSCHUNG

Nach diesem Abschnitt kannst du

- verschiedene Formen des Verhaltens beschreiben
- Verhaltensmuster analysieren und bewerten
- einen Bezug zwischen Verhalten, Umwelt und Evolution herstellen
- ethologische Erkenntnisse praktisch anwenden

In der Verhaltensbiologie wird **Verhalten** als **Anpassungsleistung** eines Lebewesens an seine Umwelt verstanden. Für die Entwicklung des Verhaltens sind zwei Faktoren verantwortlich: die **Gene** für **angeborenes Verhalten**, z. B. Reflexhandlungen (S. 86), und **Lernprozesse** für **erworbenes Verhalten** wie Sprache (S. 89 f.).

Jedes Verhalten wird von **spezifischen Reizen** ausgelöst, die auf ein Lebewesen einwirken. Umweltreize, die von außen auf ein Tier oder einen Menschen treffen, werden in der Regel über die **Sinnesorgane** wahrgenommen. Für Reize im Inneren des Tieres und des Menschen spielt das **Hormonsystem** eine wesentliche Rolle.

Mit der Frage, welche Faktoren in welcher Weise das Verhalten beeinflussen, beschäftigen sich die **Verhaltensbiologinnen und Verhaltensbiologen** (im Fachjargon: Ethologinnen und Ethologen). Sie erforschen das Verhalten von Tieren und Menschen, indem sie **beobachten, beschreiben, vergleichen** sowie **Ursachen** und **Nutzen** von Verhaltensweisen ergründen.

Die Verhaltensbiologie analysiert dabei u. a. **innere und äußere Faktoren**, die ein Verhalten auslösen und steuern, sowie die **Wechselwirkungen zwischen Verhalten und Umwelt**. In die Erforschung des Verhaltens fließen Ergebnisse aus verschiedenen **Teildisziplinen** ein.



Abb. 1: Jane Goodall ist eine britische Verhaltensbiologin und erforschte jahrzehntelang das Verhalten von Schimpansen. Sie setzt sich außerdem für Natur- und Artenschutz ein.

## Teildisziplinen der Verhaltensbiologie

- Die **Verhaltensphysiologie** erforscht die **neuronalen** und **hormonellen Steuerungsmechanismen** des Verhaltens.
- Die **Verhaltensgenetik** versucht, die Frage nach der **Bedeutung der Gene** für das **Verhalten** zu beantworten.
- Die **Verhaltensökologie** beschäftigt sich mit den **Wechselwirkungen** von **Verhalten** und **Umweltfaktoren**. Es besteht ein enger Zusammenhang mit der **Evolutionsbiologie** (S. 69), die sich mit dem Nutzen des Verhaltens für das Überleben der Art befasst. Verhalten wird als **Anpassungsstrategie an Umweltbedingungen** verstanden. Bessere Anpassung sichert das Überleben.

## Die Bedeutung der Ethologie

Erkenntnisse der Verhaltensforschung liefern wesentliche Erkenntnisse und Informationen zum

- Umgang mit Wildtieren, Haus- und Nutztieren,
- **Tierschutz**,
- dem **Artenschutz** und der **Erhaltung bedrohter Arten**,
- der Bekämpfung von **Schädlingen** und
- einem besseren Verständnis **menschlichen Verhaltens**.

### NAWI AKTIV MINI



Besuche die Webseite des *Jane Goodall Institute Austria* ([www.janegoodall.at](http://www.janegoodall.at)). Recherchiere Informationen zur Grundidee des Instituts („Was wir tun“) sowie drei Projekte, die das *Jane Goodall Institute Austria* durchführt bzw. unterstützt. Notiere deine Rechercheergebnisse.



- Teilt die Klasse in mehrere Gruppen auf. Jede Gruppe wählt eine Ethologin bzw. einen Ethologen: ■ Konrad Lorenz ■ Karl von Frisch ■ Dian Fossey ■ Jane Goodall ■ Burrhus Frederic Skinner ■ Iwan Pawlow ■ Irenäus Eibl-Eibesfeldt ■ Nikolaas Tinbergen ■ Kurt Kotrschal
- Entwerft einen Steckbrief.
- Präsentiert einander eure Steckbriefe.

## 5.1 Die Frage nach Ursache und Funktion

Eine zentrale Rolle in der Verhaltensforschung nimmt die Frage ein, warum und zu welchem Zweck ein Tier ein bestimmtes Verhalten zeigt. Dabei muss zwischen zwei Blickwinkeln unterschieden werden:

- Die **unmittelbare Ursache** eines Verhaltens nennen wir auch die **proximate Ursache**: Warum erfolgt eine Reaktion? Wie wird das Verhalten durch Sinnesorgane, Hormone, genetische Programme gesteuert? Wie hat es sich entwickelt?
- Die **Funktion** eines Verhaltens wird als **ultimate Ursache** bezeichnet: Warum bzw. wozu passiert etwas? Welchen evolutionsbiologischen Zweck erfüllt es?

Betrachten wir als Beispiel die Flucht einer Maus vor einer Katze: Die unmittelbare – also proximate – Ursache für die Fluchtreaktion ist das Erscheinen der Katze. Der biologische Zweck (= die ultimate Ursache) ist ein ererbtes Verhaltensprogramm, das sich entwickelt hat, um die **Fortpflanzungschancen** der Maus zu erhöhen.



Abb. 2: Eine Katze auf der Jagd nach einer Maus

Ein anderes Beispiel ist der Zug der Weißstörche nach Afrika, der jeden Herbst stattfindet. Die proximate Ursache ist die Verkürzung der Tageslänge in Europa. Die ultimate Ursache ist ein ererbtes Verhaltensprogramm, das sich entwickelt hat, um die **Überlebenschancen** während des Winters zu erhöhen.



Abb. 3: Weißstorch

Ein drittes Beispiel: Das neue Alphamännchen eines Löwenrudels bringt oft alle Jungtiere um. Die Frage nach dem Warum beantworten wir wie folgt: Proximate Ursachen sind hormonelle, physiologische und neurologische Vorgänge sowie eventuell äußere Anlässe. Die ultimate Ursache ist, dass der neue Alphas so rascher eigenen Nachwuchs zeugen kann.



Abb. 4: Löwen

### NAWI AKTIV MINI



Ordne folgendem Verhalten proximate und ultimate Ursachen zu: Warum lächeln wir, wenn wir gute Bekannte treffen?



Überlegt euch weitere Verhaltensweisen. Formuliert eine Fragestellung und sucht nach den proximativen und ultimativen Ursachen.

## 5.2 Methoden der Verhaltensforschung

### Beobachtung von Tieren

Die **Beobachtung** ist die älteste Methode der Verhaltensforschung. Forscherinnen und Forscher wählen konkrete Verhaltenselemente aus (z. B. Schwanzwedeln, Haare aufstellen, Laute von sich geben), die dann beobachtet, benannt und protokolliert werden. Die Auflistungen von möglichst vielen beobachteten Elementen werden zu einem **Verhaltenskatalog**, dem **Ethogramm**, zusammengefasst.

**Ethogramm:** Verzeichnis aller beobachtbaren Verhaltensweisen einer Tierart oder des Menschen

Das **Ethogramm** ist ein wichtiges Instrument für die Klärung verhaltensbiologischer Fragen. Die beobachteten Verhaltensweisen dürfen keinesfalls voreilig interpretiert werden!

**NAWI online:** W-Fragen zum Verhalten

### SPECIALS



- **Jane Goodall** beobachtete 30 Jahre lang wild lebende Schimpansen im *Gombe Stream-Nationalpark* in Tansania (Ostafrika). Ihre Arbeiten lieferten wertvolle Erkenntnisse über das soziale Leben, die Kommunikation und die Sprache dieser Primaten.
- Goodall bemerkte, wie wild lebende **Schimpansen** dünne Zweige verwenden, um Termiten zu angeln (S. 95) – sie verwenden also Werkzeuge.
- **Dian Fossey** erforschte das Verhalten der Berggorillas im Grenzgebiet von Zaire, Uganda und Ruanda (Zentralafrika).

## Gezielte Experimente an Versuchstieren

Versuche können sowohl im Freiland – so genannte **Feldversuche** – als auch im Labor (**Laborexperimente**) durchgeführt werden. Durch gezielte Einflussnahme kann der direkte Zusammenhang zwischen einer Versuchsbedingung und einer Reaktion untersucht werden.

**Laborversuche** dienen meist dem Erforschen physiologischer und nervöser Grundlagen des Verhaltens (z. B.: Wie wirkt sich ein bestimmter Reiz auf das Verhalten des Versuchstieres aus?).

- Versuchsbedingungen sollen kontrollierbar und möglichst naturnah sein.
- Störende Reize werden weitgehend ausgeschaltet. Nur der Reiz, der untersucht werden soll, wird verändert. So kann z. B. untersucht werden, auf welche Lichtstärke eine Honigbiene reagiert, welche Farben sie unterscheidet oder ob sie den Duft der Blüten wahrnimmt.
- **Attrappenversuche** dienen vor allem zur Aufklärung von **Instinkthandlungen** (S. 87). Dabei werden die Merkmale einer **Attrappe** immer wieder verändert und vereinfacht, um zu erforschen, welcher konkrete Reiz – der **Schlüsselreiz** – eine bestimmte Reaktion auslöst.
- **Freilandexperimente** sind schwieriger zu planen, da selten alle Faktoren kontrolliert bzw. wiederholt werden können.

**Instinkthandlung:** Handlungen, die zum Teil vollständig ererbt, zum Teil aber auch veränderbar sind

**Attrappe:** Nachbildung eines Gegenstandes; wird auf bestimmte Merkmale reduziert



Abb. 5: Bei Jungvögeln lösen bereits drei Kreise in annähernd richtigen Proportionen als Attrappe das Aufsperrn der Schnäbel aus.

## Forschungsbeispiele aus Österreich

Der renommierte österreichische Verhaltensforscher Kurt Kotrschal ist Leiter der **Konrad Lorenz Forschungsstelle** in Grünau im Almtal und Mitbegründer des **Wolfsforschungszentrums** in Ernstbrunn. Dort beforcht er u. a. die Beziehung zwischen Wolf, Hund und Mensch. Er analysierte auch den Einsatz von Hunden in der Schule.

Der **Affenberg** in Landskron, Kärnten, beherbergt eine große Gruppe an Japanmakaken. Es werden Forschungsprojekte rund um den Tierschutz und ein besseres Verständnis des Verhaltens von Primaten gefördert.



Abb. 6: Wolfsrudel

**NAWI online:** Tierversuche

## Moderne Technologien verbessern die Forschungsmethoden

Die Weiterentwicklung in der Technik ermöglicht auch in der Biologie neue Wege und Methoden der Forschung. So können etwa mit **Spezialkameras** Tiere im Dunkeln, unter Wasser oder in sehr kleinen Höhlen und Gängen fotografiert und gefilmt werden.

Die **Telemetrie** erlaubt uns Verhaltensforschung über große Entfernungen hinweg. Die Tiere müssen zunächst gefangen, betäubt und mit einem Sender versehen werden. Mithilfe mobiler Peilanlagen oder über Satelliten können dann Aufenthaltsort, Wanderungen oder Aktivitäten erfasst werden.

**Telemetrie:** Fernmessung, Erfassung von Messdaten aus der Ferne

**GPS**-Sender zeichnen Bewegungsdaten über längere Zeiträume auf. Das ermöglicht z. B. die Bestimmung der **Habitate** wandernder Vogelarten oder die Identifikation komplizierter Aktivitätsverläufe einer Tierart. Sensoren liefern Zusatzinformationen über Puls, Herzfrequenz oder Körpertemperatur.

- Spezial-**Detektoren** wandeln u. a. die hochfrequenten Ortungslaute von Fledermäusen in für uns wahrnehmbare Töne um.
- **DNA-Analysen** (S. 48) ermöglichen es, Verwandtschaftsbeziehungen zwischen Mitgliedern einer Gruppe festzustellen.

**GPS:** *Global positioning system*; Globales Positionsbestimmungssystem über Satelliten

**Habitat:** Lebensraum bzw. Gebiet, in dem sich eine Tierart regelmäßig aufhält oder eine Pflanzenart regelmäßig vorkommt

**Detektor:** Gerät zum Messen von Signalen

## 5.3 Gene und Umwelt als Einflussfaktoren für Verhalten

Die Frage, wie weit bestimmte Verhaltensmuster von den **Erbanlagen** oder von **Umwelteinflüssen** bestimmt werden, ist in vielen Bereichen nicht eindeutig geklärt. Berühmte Verhaltensforscher wie **Konrad Lorenz** (1903 – 1989) und **Nikolaas Tinbergen** (1907 – 1988) vertraten die Ansicht, dass alle Verhaltensmuster weitgehend **genetisch** bestimmt seien. Sie untersuchten in Feldstudien das Verhalten möglichst vieler Tierarten in ungestörter, natürlicher Umgebung.



Abb. 7: Nikolaas Tinbergen (li.) und Konrad Lorenz (re.)

Die Meinung der Ethologie stand im Gegensatz zur Lehre des **Behaviorismus**: **Lernvorgänge** bestimmen das Verhalten. Den Erbanlagen sollte eine untergeordnete Rolle zukommen. Forschende des Behaviorismus arbeiteten bevorzugt mit **Laborstudien** an ausgesuchten Tierarten (z. B. Ratten) unter festgelegten Bedingungen und leiteten aus den Ergebnissen allgemein gültige Theorien ab.

**Behaviorismus:** psychologische Forschungsrichtung; vertritt das Konzept, dass jedes Verhalten erlernt ist und auf dem Prinzip Reiz-Reaktion beruht; 1913 in Amerika begründet, engl. *behavior* = Verhalten

Inzwischen zeigten zahlreiche Forschungsergebnisse, dass Verhalten stets sowohl von **Erbanlagen** als auch von **Umwelteinflüssen** bestimmt ist. Das Ausmaß der Anteile ist bei **unterschiedlichen Verhaltensweisen** und je nach **Tierart** jedoch verschieden.

Als Beweis für die angeborenen Grundlagen menschlichen Handelns gelten u. a. die Beobachtungen von **Irenäus Eibl-Eibesfeldt** (1928 – 2018). Er filmte heimlich Menschen verschiedenster Kulturen: Jäger und Sammler in Australien, Hirten in Afrika, Pflanzer in Neuguinea. Beim Vergleich der Filme entdeckte er erstaunliche Gemeinsamkeiten. Ein Beispiel ist der **Augengruß** – ein schnelles Anheben der Augenbrauen, untermalt mit einem Lächeln, signalisiert positive Stimmung und wirkt aggressionshemmend (S. 106). Länger andauerndes Anheben der Brauen wird als Frage oder Ablehnung verstanden.



Abb. 8: Augengruß mit Hochziehen der Braue

Dem US-amerikanischen Psychologen **Paul Ekman** zufolge können Menschen sieben Basisemotionen (Abb. 9) weltweit instinktiv erkennen und meistens richtig zuordnen – unabhängig von Herkunft und kulturellem Hintergrund. Mit diesen angeborenen Signalen können sich also Menschen verschiedenster Volksgruppen verständigen, obwohl deren Sprache aus unterschiedlichen Begriffen besteht.



Abb. 9: Die Basisemotionen nach Paul Ekman – Überraschung, Ekel, Freude, Ärger, Trauer, Angst, Verachtung

### 5.3.1 Unbedingte Reflexe

Die Vererbung spielt im Verhalten neben der Umwelt also eine wesentliche Rolle. Bestimmte Verhaltensmuster sind in unseren Genen angelegt.

Angeborene Verhaltensmuster	
bestimmte Reize als Auslöser	ab Geburt oder Reifung unter normalen Entwicklungsbedingungen bei Tier und Mensch
nicht erlernbar	lebenslang vorhanden

Tabelle 1: Verhaltensmuster, die von Genen bestimmt werden

Unbedingte Reflexe sind **einfache, angeborene Reaktionen** auf **bestimmte Reize**. Die Erregung wird über sensorische Nervenbahnen zum Rückenmark geleitet und gelangt von dort direkt über motorische Bahnen zum Erfolgsorgan (Reflexbogen, Abb. 10). Reflexe laufen ohne steuernde Mitwirkung des Bewusstseins ab.

#### Beispiele für Reflexe

- **Kniesehnen-Reflex** (Abb. 11): Dieser Reflex dient dazu, den Körper vor Verletzungen zu schützen. Durch einen leichten Schlag auf die Sehne unter der Kniescheibe werden Sinneszellen in den Muskeln gereizt. Die Erregung zieht den Unterschenkelstrecker zusammen – das Bein streckt sich.
- **Pupillenreflex**: Verengung oder Erweiterung der Pupille bei Wechsel der Helligkeit
- **Saugreflex**: Ein hungriger Säugling wendet den Kopf suchend hin und her, bis er die Brustwarze der Mutter mit dem Mund erfassen kann, und beginnt zu saugen.
- **Greifreflex**: Wenn ein Säugling an den Handflächen berührt wird, umklammert er den berührenden Gegenstand.
- **Speichelfluss**: Beim Betrachten, Riechen oder Kauen einer schmackhaften Speise wird reflexartig mehr Speichel gebildet.

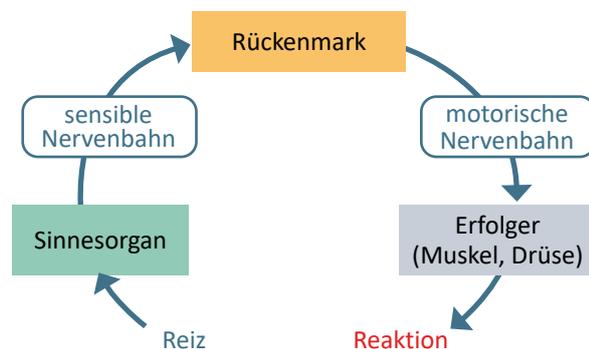


Abb. 10: Schema eines Reflexbogens

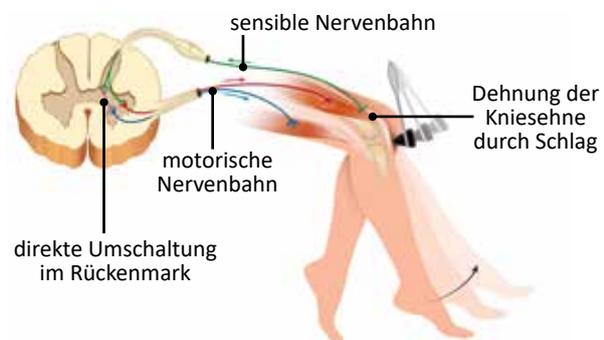


Abb. 11: Der Kniesehnen-Reflex dient der diagnostischen Untersuchung zur Beurteilung der Nervenfunktion von Patientinnen und Patienten.

NAWI AKTIV MINI



Finger oder Stock? Wir finden es meist herzerwärmend, wenn ein Baby einen Finger umklammert. Würde das Baby aber auch einen kalten Stock umklammern? Warum? Formuliere eine Erklärung.



- Führt die Übung zur Vorstellungskraft und körperlichen Reaktionen durch. Lest einander laut die Anweisung vor.
- Beschreibt anschließend die Reaktionen in eurem Mundraum und weitere Wahrnehmungen, z. B. im Augenbereich.

Anweisung: Atme tief ein und aus. Stell dir die Farbe Gelb vor. Schließ dazu deine Augen. Nun stell dir vor, wie du in eine Zitrone beißt.

### 5.3.2 Instinktverhalten

Unter Instinktverhalten versteht man eine angeborene artspezifische Verhaltensweise, die aus typischen **abgrenzbaren Instinktbewegungen** aufgebaut ist. Die Handlung wird von einem **Schlüsselreiz** ausgelöst und zeigt ein **typisches Verhaltensmuster**.

**Instinktbewegung:** Erbkoordination, angeborenes Verhaltenselement einer Instinkthandlung

**Erbkoordination:** ausschließlich erblich festgelegte Verhaltensweise

**Appetenzverhalten:** Such- und Orientierungsverhalten, das eine entsprechende Reizsituation voraussetzt

**Schlüsselreiz:** bestimmter Reiz, der eine angeborene Reaktion oder ein Instinktverhalten auslöst

1	<b>innerer Antrieb</b>	aktivierte Handlungsbereitschaft
2	<b>ungerichtetes Appetenzverhalten</b>	Suche nach bestimmten <b>Schlüsselreizen</b>
3	<b>gerichtetes Appetenzverhalten</b>	Ausrichtung auf das Objekt, Orientierungsbewegung
4	<b>Endhandlung</b>	Handlung, die durch weitere Schlüsselreize und Reizkombinationen ausgelöst wird

Tabelle 2: Zusammensetzung eines typischen Verhaltensmusters

#### Beispiel für eine Instinktbewegung: Die Eirollbewegung

Diese Bewegung wurde erstmals von Konrad Lorenz bei Graugänsen beobachtet und beschrieben.

- 1 Innerer Antrieb:** Die Graugans bemerkt nach der Eiablage ein Ei außerhalb des Nestes. Ihre Handlungsbereitschaft wird aktiviert.
- 2 Ungerichtete Appetenzverhalten:** Das Ei außerhalb des Nestes fungiert als Schlüsselreiz.
- 3 Gerichtetes Appetenzverhalten:** Die Gans streckt den Hals in Richtung Ei vor.
- 4 Endhandlung:** Sie rollt das Ei mit dem Schnabel so lange zu sich hin, bis es wieder im Nest ist.

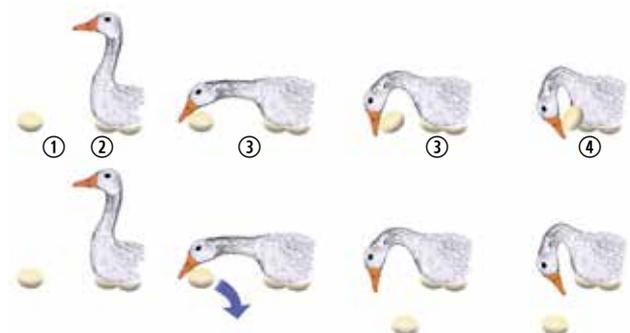


Abb. 12: Die Eirollbewegung der Graugans ist ein Instinktverhalten. Rollt das Ei weg oder wird es weggenommen, führt die Gans die Rollbewegung auch ohne Ei fertig aus.

### 5.3.3 Welche Reize fungieren als Schlüsselreize?

Um das herauszufinden, bedient man sich u. a. der **Attrappenversuche** (S. 84). Alle Reize, die von den Sinnesorganen eines Tieres aufgenommen werden, können als Schlüsselreiz wirken. Ganz spezifische Reize oder Reizkombinationen veranlassen eine entsprechende Handlung.

#### Beispiel: Das Kindchenschema

Bei Menschen und vielen höheren Tierarten wirken kindliche Proportionen als Schlüsselreiz, um eine **Eltern-Kind-Bindung aufzubauen** und **Fürsorgeverhalten** auszulösen. Man spricht in diesem Zusammenhang vom **Kindchenschema**. Das Kindchenschema ist eine Sammlung von Merkmalen bei Säuglingen und Kleinkindern, auf die Erwachsene mit Schutz und Fürsorge reagieren. Die wesentlichen Merkmale befinden sich im Kopfbereich (Abb. 13).



Abb. 13: Merkmale des Kindchenschemas: großer Kopf im Verhältnis zum Körper, große Augen, runde Gesichtsform, hohe Stirn, runde „Pausbacken“, kleine Nase und Mund sowie ein weicher Körperbau.

Die positive Gefühlsreaktion lässt sich auf andere Bereiche umlegen, etwa im Marketing: Spielzeug und andere Produkte nutzen das Kindchenschema als **übernormalen Auslöser**, indem Backen und Augen z. B. bei Puppen stark übertrieben werden. Dem Kindchenschema ähnliche Merkmale sind auch der Grund für den großen Erfolg bestimmter Tiervideos im Internet.

#### Beispiel: Das Beutefangverhalten des Frosches

Für einen hungrigen Frosch stellt die **Kombination** aus **Bewegung** und **geringer Größe des Objekts** den Schlüsselreiz dar, um das **Beutefangverhalten** auszulösen. Daher funktionieren auch kleine, an einem Faden bewegte Papierschnitzel als Auslöser.



Abb. 14: Beutefangverhalten eines Frosches

#### NAWI AKTIV MINI



Ein hungriger Frosch sucht nach einem Objekt, das sich bewegt. Beim Anblick eines Insekts richtet er die Schnauze aus. Die Zunge schnellert hervor und fängt das Insekt. Beschreibe die Instinkthandlung des Frosches in vier Sätzen. Ordne der Instinkthandlung des Frosches die entsprechenden Phasen zu (vgl. Eirollbewegung auf S. 87).



- Wählt ein Instinktverhalten einer beliebigen Tierart aus.
- Beschreibt es und ordnet die vier Phasen zu.
- Stellt euer Beispiel der Klasse vor.