

Skriptum nur für den privaten Gebrauch!

Das Skriptum dient nur für den privaten Gebrauch und darf nicht weitergegeben oder veröffentlicht werden!

Die kursiv geschriebenen Bereiche dienen der zusätzlichen Information und sind kein Prüfungstoff!

## Die Stellung der Erde im Weltall

### Geschichte der Astronomie:

*In der Frühzeit beobachteten die Menschen den Himmel aus religiöser Sicht, in Himmelsobjekten wurden in vielen Kulturen Gottheiten erkannt und verehrt, zu Beispiel Ishtar, die in Mesopotamien als Verkörperung der Venus gesehen wurde (Bild).*

*Eine Trennung zwischen Astronomie, der Sternkunde, und der Astrologie, der Sterndeutung, gab es nicht.*

*Mit Hilfe der Himmelsbeobachtung konnten Kundige Kalender erstellen, mit deren Hilfe zum Beispiel Erntezeiten bestimmt wurden oder Sommer- und Wintersonnenwende exakt festgelegt werden konnten, zum Beispiel waren die Ägypter in der Lage, mit Hilfe des Sterns Sirius (übrigens*

*der hellste Stern des Himmels) die*

*Nilüberschwemmungen anzukündigen.*

*In der europäischen Bronzezeit waren die Aussaat- und Erntetermine lebenswichtig, als Hilfsmittel dazu könnte die etwa 4000 Jahre alte Himmelscheibe von Nebra gedient haben (Bild).*

*Besondere Beziehung zu den Gestirnen hatten seefahrende Völker wie die Polynesier, die in der Lage waren, mit den Gestirnen tausende Kilometer über die Ozeane zurückzulegen.*



### Weltbilder:

Ptolemäus (um 140 n. Chr.) schrieb das damals etablierte Weltbild in seinem Werk Almagest nieder und begründete so die lange Tradition des geozentrischen Weltbildes, in dem die Erde im Mittelpunkt steht und die Gestirne an durchsichtigen Sphären befestigt in komplizierten Kreisbahnen die wesentlich größere Erde umkreisen. Ptolemäus ging von einer flachen Erde

Skriptum nur für den privaten Gebrauch!

aus, wogegen Aristoteles (384-322 v. Chr.) bereits eine Kugelförmige Erde annahm, die er jedoch auch ins Zentrum der Welt stellte.

Das ptolemäische Weltbild beherrschte die Astronomie bis weit ins 17. Jahrhundert hinein, mit den Methoden der damaligen Zeit war es nicht einfach, dieses Weltbild zu widerlegen.



Erst Kopernikus veröffentlichte 1543 ein bahnbrechendes Werk, in dem er die Sonne ins Zentrum der Schöpfung stellte.

Der bekannte Galileo Galilei verwendete erstmals ein einfaches Fernrohr zur Himmelsbeobachtung und fand unter anderem heraus, dass der Jupiter von Monden begleitet wird, dass Saturn eigenartige Anhängsel (die Saturnringe) und der Mond Berge und Krater besitzt.

Der eigentliche Durchbruch kam aber mit dem Dänen Tycho Brahe und seinem Schüler, Johannes Kepler. Brahe war ein ausgezeichnete

Beobachter, verstarb aber früh, seine Messwerte konnte Kepler auswerten und erkannte zum ersten Mal, dass die Himmelskörper auf Ellipsen laufen und nicht auf Kreisen. Mit den drei Keplerschen Gesetzen war die Grundlage für eine moderne Himmelsmechanik gegeben.

### Moderne Entwicklungen:

Für die Entwicklung des gegenwärtig gültigen Weltbildes sind viele Wissenschaftler verantwortlich. Besonders herauszuheben ist sicher Einstein mit seiner Gravitationstheorie, die die von Isaac Newton ergänzte und ablöste sowie der Amerikaner Edwin Hubble, der als erster in der Lage war, unsere Nachbargalaxie, den Andromedanebel (Bild), in Einzelsterne aufzulösen. Damit war die Erde endgültig aus dem Zentrum gerückt.



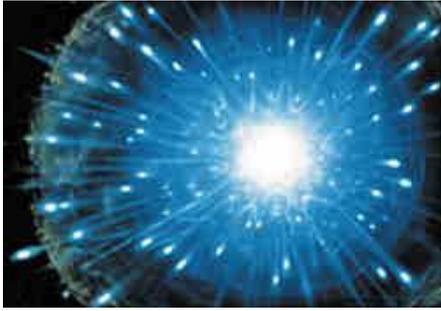
Scheinbar entfernen sich alle Objekte von uns, rechnet man in der Zeit zurück so bedeutet das, dass vor etwa 13,5 Milliarden Jahren das Universum in einem „Urknall“ entstanden sein muss, paradoxer Weise scheint die Erde das Zentrum dieser Explosion gewesen zu sein – das ist aber nur ein Effekt der Beobachtung, die Erde

stand ebenso wenig im Zentrum wie alle anderen Objekte des Universums.

Oft wurde die Rotverschiebung als Doppler-Effekt gedeutet, heute weiß man aber, dass sich der Raum zwischen den Objekten ausdehnt und sich dadurch die Objekte entfernen.

Trotz mancher Fragen gehen die meisten Wissenschaftler heute davon aus, dass das Weltall in einer gigantischen Explosion aus einer unendlich dichten Ansammlung von Energie

Skriptum nur für den privaten Gebrauch!

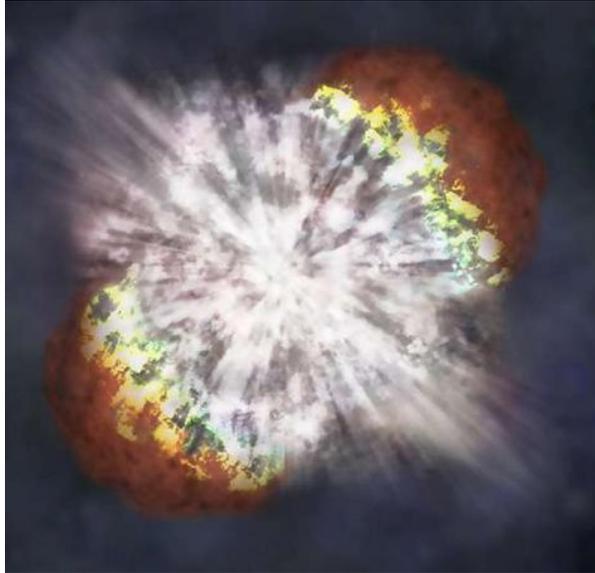


entstanden ist. Da die Raum, die Masse und die Zeit nur gemeinsam existieren können, ist eine Frage nach dem „Vorher“ wissenschaftlich kaum zu beantworten. Durch die Ausdehnung kühlte sich das frühe Universum nach einer stürmischen Expansionsphase langsam ab, nach etwa 300.000 Jahre war es dann so „kühl“, dass aus Strahlungsenergie zum ersten Mal Elementarteilchen entstehen konnten. Als Urbausteine des Universums entstanden Wasserstoff (H) und Helium (He).

Das Echo dieses Urknalls kann man heute noch als kosmische Hintergrundstrahlung mit  $2,7^\circ$  Kelvin vernehmen.

## Nach dem Urknall:

*In den ersten Sekundenbruchteilen begann sich das junge Universum enorm schnell auszudehnen, ein Vorgang, der als Inflation bezeichnet wird. Nach ungefähr 300.000 Jahren hatten die Dichte und damit auch die Energiedichte so stark abgenommen, dass die Temperatur die Entstehung von Elementarteilchen (Protonen, Neutronen, Elektronen und andere) erlaubte. Damit konnten erste Atome und damit Materie gebildet werden.*

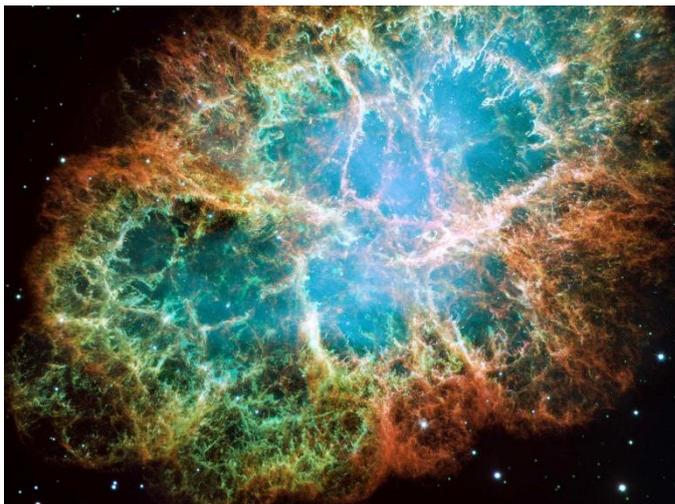


*Zuerst entstanden nur Wasserstoffatome und Heliumatome, die sich entlang ursprünglicher geringer Dichteunterschiede zu riesigen Massenansammlungen ordneten. Erste meist sehr große wasserstoffdominierte Sonnen (Sterne) entstanden, diese frühen Sternriesen explodierten oft nach wenigen Millionen Jahren (Bild) und produzierten zum ersten Mal in riesigen Mengen schwerere Elemente wie Kohlenstoff, Sauerstoff, Silicium und Eisen.*

Vor mehr als 5 Milliarden Jahren entstand nach einer Sternexplosion eine kosmische Materiewolke, (Bild) die zum großen Teil aus

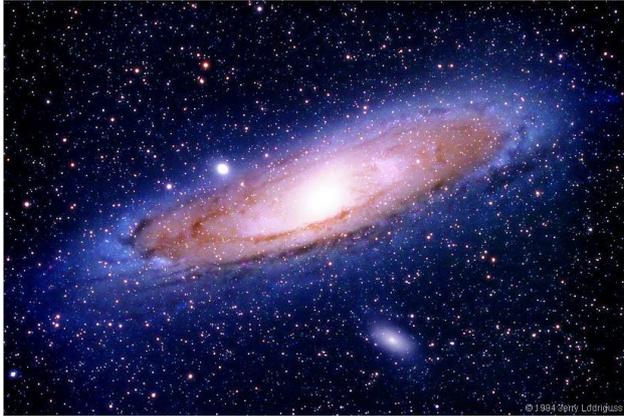
Wasserstoff, aber auch aus diesen schwereren Elementen bestand. Die Gravitation und das Drehmoment der Wolke konzentrierten den Großteil der Masse (etwa 99,9% der Masse des Sonnensystems) im Zentrum, also der jungen Sonne, wo eine Kernfusion zündete und der Strahlungsdruck den inneren Bereich des Systems „leerblies“.

Im Bereich von Dichteschwankungen bildeten sich größere protoplanetare Körper heraus, die durch Gravitation und Kollision die Keime für die (heute) acht Planeten bildeten.



*Die Sterne ordneten sich durch die Gravitation geführt zu riesigen Sternansammlungen, die man als Galaxien bezeichnet. Die ältesten Galaxien, die man mit Teleskopen erkennen kann, befinden sich an der Grenze des beobachtbaren Universums und sind durch die Dehnung des Raums stark rotverschoben, sie erreichen ein Alter von zumindest acht Milliarden Jahren und damit eine Entfernung von 8 Milliarden Lichtjahren. Sie sind ein Fenster in die ferne Vergangenheit unseres Universums.*

*Im Sternbild Andromeda kann man bei dunklem Himmel bereits mit freiem Auge unsere Nachbargalaxie M31 (Andromedanebel - Bild) erkennen. Sie ist etwas größer als unsere Galaxie und etwa 3 Millionen Jahre entfernt. Diese Galaxie befindet sich auf Kollisionskurs mit unserer Heimatgalaxie, dieses Ereignis wird in zwei bis drei Milliarden stattfinden, die*



*beiden werden sich zu einem großen Sternensystem vereinigen, ein Vorgang, der mit intensiver Neubildung von Sternen einhergehen wird.*

*Unsere Eigene Heimatgalaxie, auch als Milchstraße bezeichnet, ist eine Balken-Spiralgalaxie mit einem Durchmesser von ungefähr 100.000 Lichtjahren, die Dicke beträgt 3.000 Lichtjahre, im Zentrum 16.000 Lichtjahre. Im Zentrum der Milchstraße befindet sich (von uns 30.000*

*Lichtjahre entfernt) ein massives, derzeit inaktives schwarzes Loch mit einigen tausend Sonnenmassen, von der Erde aus gesehen im Sternbild des Schützen.*

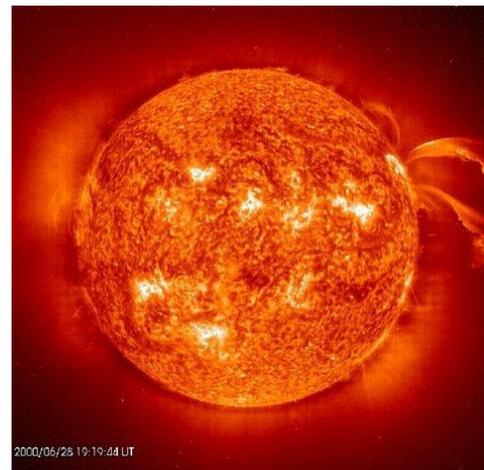
*Unsere Sonne befindet sich im äußeren Drittel eines Balkens an einer recht ruhigen Stelle mit eher geringer Sterndichte. Diese Konstellation ist für uns recht günstig, da sie für eher stabile Verhältnisse und eine geringe kosmische Strahlenbelastung sorgt.*



*Die Milchstraße am Nachthimmel*

### Unser Sonnensystem:

Unsere Sonne (Bild) ist ein durchschnittlicher Stern durchschnittlichen Alters der häufigen Spektralklasse G, der milliardenfach im Universum vorkommt. Der Durchmesser beträgt 1,39 Millionen Kilometer, sie besteht zu knapp 91% aus Wasserstoff, der Rest ist fast ausschließlich Helium, die Oberflächentemperatur beträgt etwa 5.800 ° Kelvin. Sonnenflecken markieren Bereiche lokaler Magnetfeldanomalien mit 2.000 ° kühlerer Oberflächentemperatur.



Skriptum nur für den privaten Gebrauch!

Bestandteile unseres Sonnensystems:

Planet	Monde	Gesteinsplanet	Gasplanet	Sonnenab- stand (AE)	Durchmesser Erdradien	Umlaufzeit Jahre
Merkur	nein	ja	nein	0,38	0,38	0,24
Venus	nein	ja	nein	0,72	0,94	0,61
Erde	ja	ja	nein	1	1	1
Mars	ja	ja	nein	1,52	0,53	1,88
Jupiter	ja	nein	ja	5,2	11,2	11,86
Saturn	ja	nein	ja	9,5	9,4	29,45
Uranus	ja	nein	ja	19,2	4,0	84,0
Neptun	ja	nein	ja	30	3,9	164,8

Asteroidengürtel:



Zwischen der Jupiter- und der Marsbahn befindet sich der Asteroidengürtel, ein Bereich, in dem sich Gesteinsbrocken von wenigen Metern Durchmesser bis zu 1.000 Kilometer Dimension bewegen.

*Kuiper-Gürtel:*

*Außerhalb der Neptunbahn finden sich große, bis zu einigen tausend Kilometer messende Himmelskörper, das bekannteste aber nicht das größte Objekt ist der ehemalige Planet Pluto. Wie viele dieser Objekte existieren, ist unbekannt.*

*Oortsche Wolke:*

*Bis in den fernen Weltraum (ein Lichtjahr) umkreisen gefrorene Gasbrocken („schmutzige Schneebälle“) die Sonne, von dort stammen wahrscheinlich die meisten der immer wieder auftauchenden Kometen.*



## Die Geburt der Erde – die frühe Erde

### Der Ursprung aus einer Gaswolke:

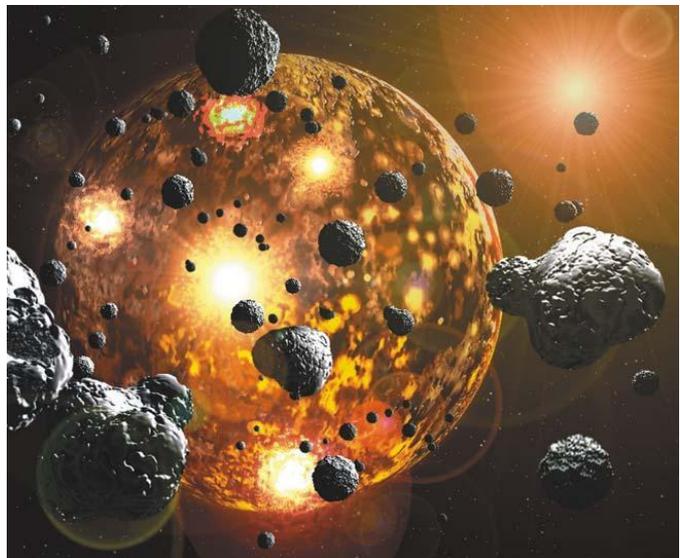
Vor etwa 5 Milliarden Jahren hat sich in den Außenbezirken unserer Milchstraße eine riesige Wolke aus den Überresten einer Sternexplosion formiert. In dieser Sternexplosion entstanden durch den enormen Druck und die hohen Temperaturen schwerere Elemente als die dominierenden Elemente Wasserstoff (H) und Helium (He).

Zum Beispiel Eisen (Fe), Nickel (Ni), Kohlenstoff (C), Silizium (Si), Aluminium (Al) und Sauerstoff (O) stammen aus dieser Sternexplosion. In der Astronomie werden alle diese Elemente als „Metalle“ bezeichnet, auch wenn sie im chemischen Sinn keine Metalle sind.

Diese Wolke begann langsam aufgrund der eigenen Gravitation zu kollabieren, das dabei mitgenommene Drehmoment bestimmt heute noch die Umlaufbahn der Planeten und die Drehung der Sonne. Partikel stürzen nun in großer Menge in Spiralbahnen in das Zentrum des entstehenden Systems. In dieser ersten Phase entstand im Zentrum ein Gasball aus vor allem Wasserstoff und Helium, unsere Sonne. Sie umfasst 99% der Gesamtmasse des Sonnensystems. Dieser Zentralstern begann bei genügend hohem Druck mit der Kernfusion als Energiequelle, dieser Zeitpunkt markiert die eigentliche Geburt der Sonne.

In den Außenbezirken des entstehenden Sonnensystems verklumpten schwerere Elemente zu zunächst kleinen Körnern, später zu immer größeren Körpern (Planetesimale), bis eine Reihe von Protoplaneten entstand, die sich auch in kollisionsgefährdeten Umlaufbahnen bewegten. In dieser Zeit entsteht die Protoerde, die kleiner war als die heutige Erde. Viele Gase, die sich in diesem Stadium der Entstehung des Sonnensystems noch im Bereich der inneren Planeten befanden, wurden durch den hohen Strahlungsdruck der jungen Sonne nach außen geblasen.

*In den äußeren Bereichen des Systems erreichte der junge Jupiter als erster Planet eine ausreichend hohe Masse, um alle Materie in seiner Umgebung aufzunehmen. Dadurch wurde er zum heute größten und schwersten Planeten, er besitzt 2,5-mal so viel Masse wie alle restlichen Planeten. Außerdem war er so massereich, dass er auch Gase in großer Menge an sich binden konnte.*



*Auch verhinderte Jupiter mit seiner großen Masse, dass ein weiterer Planet zwischen ihm und dem Mars entstehen konnte, obwohl genügend Platz vorhanden wäre.*

*Außerhalb der Bahnen der großen, organisierten Planeten bleiben zahlreiche Gesteinsbrocken übrig, diese Brocken bilden heute den Kuppel-Gürtel, dessen prominentester Vertreter der Ex-Planet Pluto ist.*

Skriptum nur für den privaten Gebrauch!

*Noch weiter draußen blieben die Gase in der Kälte des Alls gefroren und bilden die Oort'sche Wolke, aus der immer wieder Kometen das Innere des Sonnensystems ansteuern und einen spektakulären Anblick am Himmel bilden.*

### Die große Kollision:



Vor ungefähr 4,6 Milliarden Jahren war die Erde ein wahrscheinlich nicht geschmolzener Gesteinsklumpen, der seine eigene Umlaufbahn im Wesentlichen von größeren Himmelskörpern frei geräumt hatte. Ständig ist die Protoerde einem Bombardement von bis zu einigen 100 km messenden Brocken ausgesetzt, ihre Masse wächst dadurch ständig. Doch scheint es dann eine gigantische kosmische Katastrophe gegeben zu haben. Ein Planetesimal von etwa Marsgröße geriet auf Kollisionskurs mit der frühen Erde und rammte unseren Heimatplaneten.

Durch diesen Zusammenstoß wurde die Erde komplett aufgeschmolzen und ein Teil der

Materie in den Weltraum geschleudert. Diese Materie formte den heutigen Mond. Das ist auch der Grund, warum die Erde und der Mond sich in ihrer Zusammensetzung so ähnlich sind. Die Verteilung der Elemente in den Gesteinen ist nahezu ident, auch kommen auf der Erde und am Mond ähnliche Gesteine vor.

Der frühe glühende Mond umkreiste die Erde in nur 20.000 km Entfernung, ein sicher beeindruckender Anblick, wenn der riesige Mond die frühe Sonne gänzlich verdunkelte.

Durch die Nähe des Mondes entstanden enorme Gezeitenkräfte, die die Erdkruste um einige 10 Meter hob und senkten. Dadurch wurde die Erde zusätzlich erhitzt.

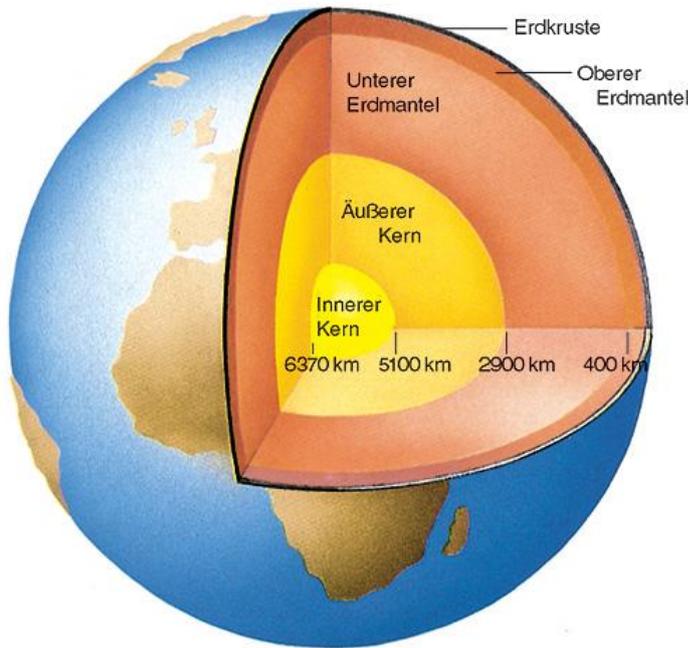
Durch diese Gezeitenkräfte driftete der Mond langsam nach außen bis zu seiner heutigen Position mit im Schnitt 384.400 km Abstand. Dieser Abstand nimmt auch jetzt noch langsam, aber ständig zu.



Die frühe Erde vor 4,5 Milliarden Jahren war jetzt ein äußerst unwirtlicher Ort. Die Oberflächentemperatur betrug weit über 1.000 °C und ständig schlugen Meteoriten und Kometen in die junge Erde.

Besonders wichtig waren vor allem die Meteoriten, da sie Wasser und andere chemische Verbindungen mitbrachten.

Entmischung der Erde:



Diese frühe Phase war nun entscheidend für die weitere geologische Geschichte des Planeten. In der glutflüssigen Erde sanken die schweren Elemente nach innen, vor allem die in großer Menge vorhandenen Metalle Eisen und Nickel bilden heute den Erdkern. Auch seltene Elemente wie Gold oder Iridium befinden sich heute zum Großteil im Erdkern.

Lokale Lagerstätten schwerer Elemente sind möglich, vor allem entstanden durch Vorgänge, bei denen Material aus tieferen Erdschichten zur Oberfläche gelangt

ist.

*Eine Besonderheit ist die iridiumreiche Schichte aus teilweise geschmolzenem Material an der Wende der beiden Erdzeitalter Kreide und Tertiär, also der Wende vom Erdmittelalter (Mesozoikum) zur Erdneuzeit (Känozoikum). Hier vermutet man einen Einschlag eines Meteoriten, das das seltene Iridium aus dem All mitbrachte.*

Mit der Entmischung der Elemente ergab sich eine Schichtung der Erde in:

<b>Teil</b>	<b>Unterteilung</b>	<b>Zustand</b>	<b>Tiefe</b>	<b>Temperatur</b>
Erdkern	Innerer Kern	fest	6230-5110 km	4300°C
	Äußerer Kern	flüssig	5110-2900 km	3200-4000 °C
Mantel	Unterer Mantel	flüssig	2900-400 km	3200-2200 °C
	Oberer Mantel	flüssig	400-10/60 km	2200-1400 °C
Kruste	Ozeanische Kruste	fest	10-0 km	
	Kontinentale Kruste	fest	60-0 km	

Uns ist nur die Kruste direkt zugänglich, hier auch nur die äußersten Bereiche. Durch Vulkanismus oder andere geologischen Vorgänge kann man auf die Verhältnisse im Inneren der Erde schließen. Erdbebenwellen, die Erde durchdringen, liefern weitere Informationen über den Aufbau unseres Planeten

Skriptum nur für den privaten Gebrauch!

### Mantel und Kruste:

Im Erdmantel finden sich hauptsächlich folgende Elemente:

#### Zusammensetzung des Erdmantels

Element	Anteil (Gewichtsprozent)
<b>O</b>	<b>44,8</b>
<b>Si</b>	<b>21,5</b>
<b>Mg</b>	<b>22,8</b>
<i>Fe</i>	<i>5,8</i>
<i>Al</i>	<i>2,2</i>
<i>Ca</i>	<i>2,3</i>
<i>Rest</i>	<i>0,6</i>

In der Erdkruste finden wir vor allem:

#### Zusammensetzung der Erdkruste

Element	Anteil (Gewichtsprozent)
<b>O</b>	<b>46,6 %</b>
<b>Si</b>	<b>27,7 %</b>
<b>Al</b>	<b>8,1 %</b>
<i>Fe</i>	<i>4,7 %</i>
<i>Ca</i>	<i>3,6 %</i>
<i>Na</i>	<i>2,8 %</i>
<i>K</i>	<i>2,6 %</i>
<i>Mg</i>	<i>2,1 %</i>
<i>Rest</i>	<i>1,8 %</i>

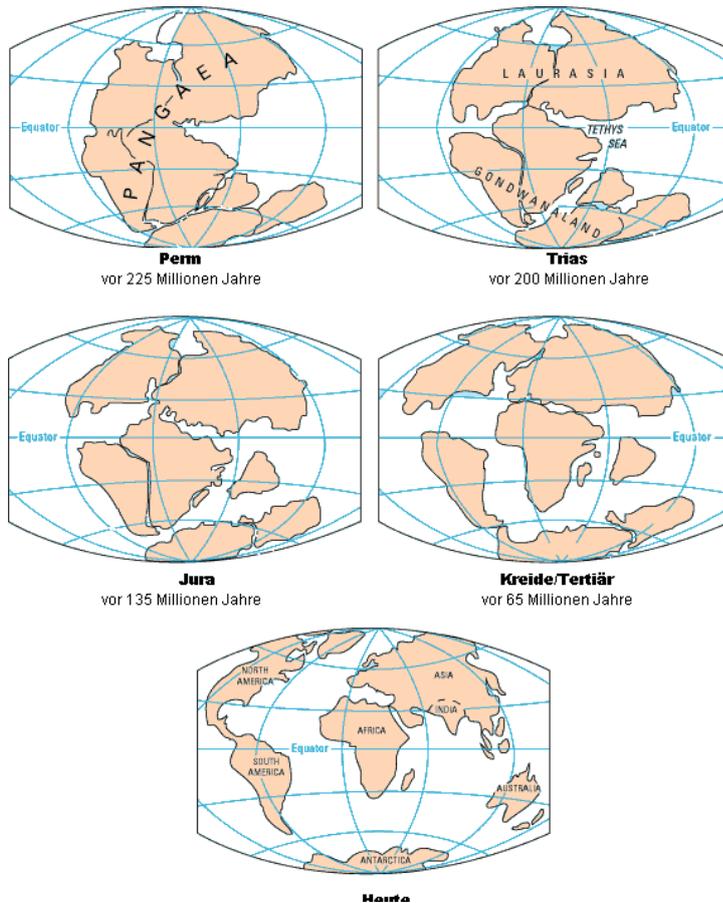
Interessant ist der sehr unterschiedliche Anteil von Magnesium und Aluminium. Diese Verteilung der Elemente ist die Grundlage für die Zusammensetzung der Mineralien der Erdkruste, die die Basis für unsere Gesteine und unsere Böden bildet.

In der Erdkruste ist Sauerstoff das häufigste Element. Es ist in Mineralien wie Kalk oder Quarz vertreten. Bereits an zweiter Stelle steht Silizium, das ebenfalls im Quarz und in vielen anderen Silikatmineralien vorkommt. Das häufigste Metall ist Aluminium, das sich unter anderem in Tonmineralien und tropischen Böden (Bauxit) anreichert.

## Die Geologischen Zeitalter: Überblick

<i>vor mio Jahren</i>	<i>Epoche</i>	<i>Typische Lebewesen</i>	<i>Periode</i>	<i>Zeitalter</i>
<i>heute - 0,01</i>	<i>Holozän</i>	<i>Mensch, Veränderungen durch die Landwirtschaft</i>	<i>Quartär</i>	<i>Känozoikum</i>
<i>0,01 – 1,7</i>	<i>Pleistozän</i>	<i>Vormenschen, Eiszeit-Fauna (Mammut, Wollnashorn...)</i>		
<i>1,7 - 5</i>	<i>Pliozän</i>	<i>Säugetierfauna entwickelt sich immer mehr, zum Beispiel Pferde, Wale, Rüsseltiere, Primaten, Huftiere, Raubsäuger, ...zum Teil Riesenformen</i>	<i>Tertiär</i>	
<i>5 - 24</i>	<i>Miozän</i>			
<i>24 - 36</i>	<i>Oligozän</i>			
<i>36 - 55</i>	<i>Eozän</i>			
<i>55 - 66</i>	<i>Paläozän</i>			
<i>66 - 140</i>		<i>Tyrannosaurus, Triceratops</i>	<i>Kreide</i>	<i>Mesozoikum</i>
<i>140 - 210</i>		<i>Riesige Pflanzenfresse (Brachiosaurus,...) Raubsaurer wie Allosaurus, erste Vögel (Archaeopteryx), erste Bedecktsamer</i>	<i>Jura</i>	
<i>210 - 250</i>		<i>Erste Dinosaurier, erste kleine Säuger</i>	<i>Trias</i>	
<i>250 - 290</i>		<i>Säugetierähnliche Reptilien, Nadelwälder (Nacktsamer)</i>	<i>Perm</i>	<i>Paläozoikum</i>
<i>290 - 360</i>		<i>Knorpel- und Knochenfische, erste Reptilien, tropische Farnwälder</i>	<i>Karbon</i>	
<i>360 - 410</i>		<i>Farnartige Pflanzen, moderne Fische (Quastenflosser) – erste Amphibien</i>	<i>Devon</i>	
<i>410 - 440</i>		<i>Erste echte Fische, erste gesicherte Landpflanzen, Gliedertiere an Land</i>	<i>Silur</i>	
<i>440 - 500</i>		<i>Große Vielfalt mariner Wirbelloser, kieferlose Fische</i>	<i>Ordovizium</i>	
<i>500 - 590</i>		<i>Marine Wirbellose dominieren, später erste Wirbeltiere</i>	<i>Kambrium</i>	
<i>590 – 2.500</i>		<i>Erste Pflanzen, einfache Vielzeller</i>	<i>Proterozoikum</i>	<i>Präkambrium</i>
<i>2.500 – 4.550</i>	<i>Archäozoikum</i>	<i>Prokaryontische Einzeller</i>	<i>Archaikum</i>	
	<i>Abiotikum</i>			

## Die Plattentektonik – Grundlage der modernen Geologie



Die Oberfläche der Erde ist in verschiedene geographische und geologische Großlandschaften gegliedert. Zuerst fällt die Einteilung in etwa 70% wassergefülltes Tiefland (Meeresbecken) und etwa 30% Hochland (Kontinente) auf. Innerhalb dieser Großlandschaften finden sich jeweils wieder ausgedehnte Ebenen, Hochländer, Grabenbrüche, Vulkane und Gebirgslandschaften.

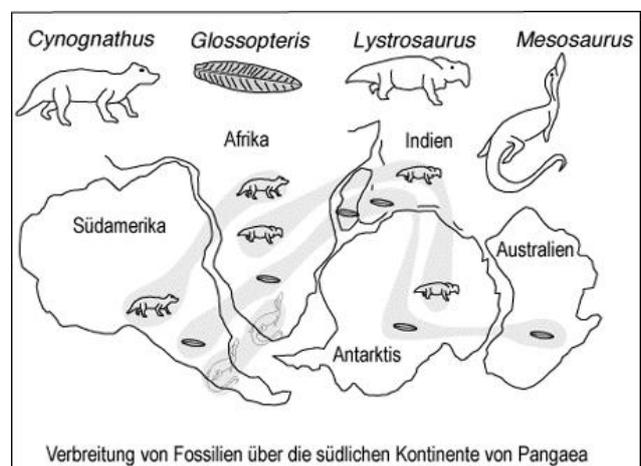
### Historische Erklärungsversuche:

*Die Vielfalt Landschaftsformen zu erklären war den Wissenschaftlern lange Zeit unmöglich, die Erklärungen hielten genauerer Betrachtung nicht stand. So war eine der wichtigsten Theorien zur Gebirgsbildung, dass die Erde langsam abkühlt, dadurch schrumpft und so die Kruste Falten*

*wirft wie bei einem vertrockneten Apfel. Eine andere Theorie (die teilweise heute wieder Gültigkeit hat) beschrieb die Gebirgsbildung als Folge aufsteigender heißer Magmaströme, die die Kruste emporheben und zerbrechen. Wieder andere vermuteten, dass ganze Kontinente wie Schiffe auf dem Ozean in gigantischen Katastrophen in den Erdmantel abtauchen können, so stellte man sich auch das Verschwinden von Atlantis vor.*

### Alfred Wegener und die Plattentektonik:

Eine zentrale Figur in der Entwicklung moderner Konzepte war der Deutsche Alfred Wegener, der auch an der Universität Graz lehrte. Sein Erfolg ist unter anderem Umstand zu verdanken, dass er ganz bewusst die Fächer Geographie, Geologie und Geophysik als Einheit auffasste und fächerübergreifendes Denken als Kontrapunkt zur zunehmenden Spezialisierung in der Wissenschaft sah. Wegener nahm an vier Grönlandexpeditionen teil (auf der vierten kam er 1930 ums Leben) und beobachtete dabei die Drift der Eisschollen im Meer. Dabei konnte er erkennen, wie einzelne Eisschollen zerbrachen, deren Rand aber noch zusammenpasste.

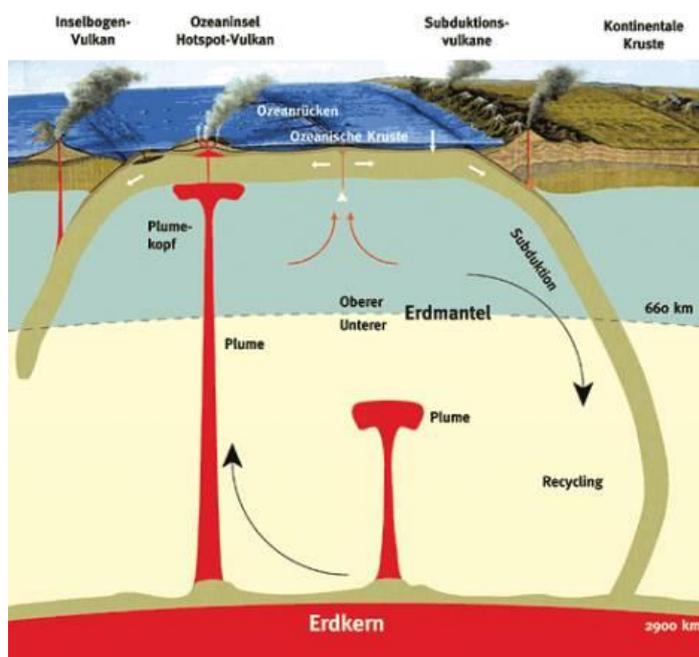


Skriptum nur für den privaten Gebrauch!

Er war aber nicht der Erste, dem auffiel, dass Kontinentalränder teilweise wie ein Puzzle zusammenpassten und zum Beispiel Gebirgszüge in Afrika beginnen und sich in Südamerika fortsetzen oder dass Gesteine in Madagaskar, Indien und der Antarktis große Ähnlichkeiten aufweisen. Auch Fossilienfunde belegen einen Zusammenhang zwischen diesen Weltregionen.

Wegener formuliert also 1922 eine Theorie der Kontinentaldrift, die zu Beginn eine fast durchgehende Ablehnung fand, vor allem, weil man sich die Kräfte nicht vorstellen konnte, die solche riesigen Platten über den Erdmantel driften lassen. Auch war der übliche wissenschaftliche Neid für die Ablehnung verantwortlich. Wirkliche Beweise konnte man erst 40 Jahre später durch den Einsatz moderner Technologie (Sonargeräte in Booten, Tiefseetauchboote, ...) finden.

### Kontinentaldrift durch Konvektionsströmung:



Wegener nimmt hier Bezug auf eine Theorie, die sich immer noch in manchen

populärwissenschaftlichen Werken hält, dass ganze Kontinente im Meer versinken können. Das ist aber physikalisch unmöglich, weil die Kontinente (und auch die festen Ozeanböden) eine geringere Dichte als der Erdmantel haben und daher aufschwimmen (wie ein Kork im Wasser).

Als Ursache für die Kontinentaldrift vermutete Wegener bereits Konvektionsströmungen, also das Aufsteigen von heißem Material und das Absinken von kaltem Material, im Erdinneren, genauer

im Erdmantel. Diese Theorie fand später seine Bestätigung. Durch die Restwärme der Entstehungsphase der Erde und den ständigen Zerfall radioaktiver Elemente im Erdkern und dem Erdmantel wird genügend Energie frei, den Mantel zähflüssig zu halten und Konvektionsströme aufzubauen. Die Geschwindigkeit dieser Strömungen ist sehr gering, es handelt sich um Zentimeterbeträge pro Jahr, dennoch reichen die Kräfte, die von diesen Veränderungen ausgehen, aus, um die Kontinente zu verschieben.

Skriptum nur für den privaten Gebrauch!

### Die Bestätigung der Kontinentaldrift:

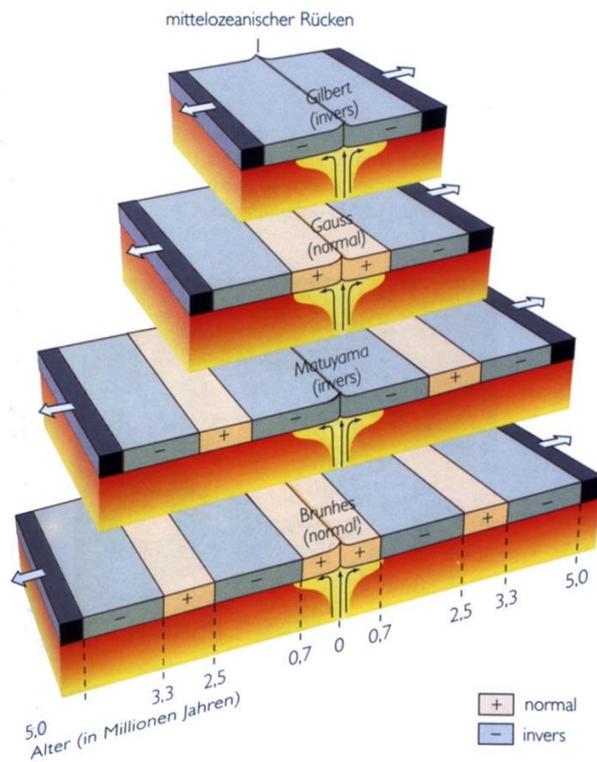
#### Das Magnetfeld:

Um zu verstehen, wie man Beweise für die Kontinentalverschiebung fand, muss man zuerst etwas über das Magnetfeld der Erde wissen. Unsere ist ein riesiger Magnet mit zwei magnetischen Polen und einem enorm starken magnetischen Feld. Dieses Magnetfeld ist für uns überlebenswichtig, da es energiereiche geladene Teilchen aus dem Sonnenwind ablenkt und uns so vor dieser gefährlichen Strahlung schützt. Diese Teilchen werden entlang der Magnetfeldlinien zu den Polen abgelenkt und sorgen dort, wenn sie in die Atmosphäre treffen, für spektakuläre Nord- oder Südlichter.



Gleichzeitig werden eisenhaltige Mineralien magnetisiert, also nach dem Magnetfeld ausgereichtet, so Eisenmineralien im vulkanischen Basaltgestein des Meeresbodens. Die Ausrichtung der natürlichen Magnete zeigt also die Lage der Pole zur Erstarrungszeit des Gesteins an.

#### Magnetische Streifen im Basalt



Untersucht man nun diese Basalte, so fällt auf, dass die Lage von Nord- und Südpol offensichtlich häufig gewechselt haben, die Magnetpolung hat sich im Abstand von einigen 10.000 bis zu einigen Millionen Jahren immer wieder umgekehrt.

An mittelozeanischen Rücken herrscht ein steter aktiver Vulkanismus. Über Jahrmillionen hinweg wird basaltische Lava ausgeworfen und von den Vulkanzonen weg transportiert. Je weiter die erkaltete Lava vom Rücken liegt, desto älter ist sie. Abgesehen davon ändert sich die Orientierung der Magnete im Basalt immer wieder, wenn man sich von Vulkan entfernt – ein Beweis, dass sich die ozeanische Platte langsam (maximal einige cm pro Jahr) aber ständig bewegt. („sea-floor-spreading“)

Derzeit scheint es so zu sein, dass sich unser Erdmagnetfeld in Vorbereitung eines Wechsels befindet. Messungen deuten darauf hin, dass sich das Magnetfeld abschwächt

und die Pole relativ rasch zu wandern beginnen. Ob diese Umpolung in 50 Jahren oder in 5.000 Jahren oder vielleicht gar nicht in nächster Zeit passiert, ist nicht genau zu bestimmen.

Skriptum nur für den privaten Gebrauch!

### Kontinentale und Ozeanische Kruste:

Nach dem die Erdoberfläche fest wurde, differenzierten sich relativ rasch zwei unterschiedliche Plattentypen aus den flüssigen Gesteinen. Zum einen entstanden aus basaltreichen Schmelzen schwere, relativ dünne Platten, die im Mantelgestein weit einsinken und die heutigen Ozeanbecken bilden. Diese Gesteine sind auch einer ständigen Umsetzung unterworfen.

Aus granitreichen Schmelzen entstanden die mächtigen Kontinentalplatten, die sich durch eine etwas geringere Dichte im Vergleich zu den Basalten auszeichnen. Durch diese geringere Dichte schwimmen diese Platten im Mantelgestein etwas mehr auf wie die ozeanischen Platten, sie bilden heute den Sockel der Kontinente.

Vergleich ozeanische Platte – kontinentale Platte		
	Ozeanische Platte	Kontinentale Platte
Hauptgestein	Basalt	Granit
Dichte	Etwa 2,9	Etwa 2,6
Alter	Maximal 200 Millionen Jahre	Bis zu 3,8 Milliarden Jahre
Mächtigkeit	Bis 10 km	Bis 60 km

Die Kruste ist in eine Reihe von Großplatten (Kratone) und viele Kleinplatten unterteilt. Diese Platten bewegen sich relativ zueinander und verursachen unterschiedliche geologische Phänomene wie Vulkanismus, Erdbeben und Gebirgsbildung. Das Bild oben zeigt die relativen Plattenbewegungen zueinander (die Abkürzungen bezeichnen Messstationen).

### Vulkanismus:

Vulkane sind eine häufige Erscheinung auf unserer Erde, derzeit sind etwa 1.900 Vulkan aktiv. Auch in Österreich gibt es Vulkane, diese sind aber erloschen (der letzte Vulkan in Österreich brach vor 2,5 Millionen Jahren im Burgenland und der Steiermark aus), in unseren



Nachbarländern, vor allem in Italien gibt es eine Reihe von sehr aktiven Feuerbergen (Ätna, Vesuv, Stromboli, ...). Auch in Deutschland (Eifel) ist der Vulkanismus nur derzeit ruhend, die letzten Ausbrüche erfolgten vor (geologisch) kurzer Zeit, vor etwa 8.000 Jahren, einiges deutet darauf hin, dass die Eifelvulkane aktiv sind. Die ehemalige Aktivität von Vulkanen in Österreich zeigt sich derzeit nur an Warmwasserquellen (Thermenlinie)

Skriptum nur für den privaten Gebrauch!

sowie an alten Vulkankegeln, die heute oft von Burgen gekrönt sind, zum Beispiel die Burg Güssing im Burgenland (Bild).

Haupttypen von Vulkanen:

1. Vulkane an mittelozeanischen Rücken (meist unter der Meeresoberfläche, aber auch teilweise Island oder die kanarischen Inseln)
2. Vulkane an Kontinentalrändern (Mt. St. Helen, Pinatubu, Ätna, Krakatau, ...)
3. Hot-spot-Vulkane (Hawaii, Island, Eifel, ...)
4. „Supervulkane“ (Yellowstone, Vesuv-Bucht von Neapel, Toba, ...)
5. Flutbasalte (Indien, Sibirien)

Daneben gibt es noch wenig bedeutende Varianten wie Vulkane an Bruchzonen.

**Gesteinsalter in Österreich:**

<b>Zeitalter</b>	<b>Gestein</b>	<b>Vorkommen</b>
<b>Quartär</b>	<i>Molasse (Flussschotter...), Löss (äolisches Sediment)</i>	<i>Große Flusstäler, Beckenlandschaften</i>
<b>Jungtertiär</b>	<i>Riffkalke und Sande  Vulkanite</i>	<i>Leithagebirge, Donautal  Burgendland und Steiermark</i>
<b>Alttertiär</b>	<i>Flysch (Meeressediment, durch Hangrutschung)  Gosauschichten - Kalke</i>	<i>Nordrand der Alpen vom Bregenzerwald bis zum Wienerwald  Jüngste Gesteine der Kalkalpen</i>
<b>Kreide</b>	<i>Älterer Flysch, ältere Gosau  Kalk</i>	<i>Kalkalpen</i>
<b>Jura</b>	<i>Bündner Schiefer  Verschiedene Kalke</i>	<i>Tauern  Nördliche Kalkalpen</i>
<b>Trias</b>	<i>Schiefer und Quarzit  Riffkalke,  Sandsteine - Steinkohle</i>	<i>Tauern  Kalkalpen (Dachstein, Ötscher, Priel...)  Hinterstoder, Lunz am See, Gaming...</i>
<b>Perm</b>	<i>Haselgebirge</i>	<i>Salzvorkommen in OÖ und Salzburg, Basis der Kalkalpen</i>
<b>Paläozoikum</b>	<i>Granite, Gneise, Vulkanite</i>	<i>Basis der Alpen, Zentralalpen und böhmische Masse</i>
<b>Proterozoikum - 1377 Millionen Jahre</b>	<i>Dobra-Gneis, ältestes Gestein Österreichs</i>	<i>Waldviertel</i>

## Vulkantypen und vulkanische Gesteine:

Vulkane können nach ihrer tektonischen Lage eingeteilt werden, man kann sie aber auch nach der Art der Eruption einteilen:

**-effusive Vulkane:** flüssige Lava, nicht explosiv, gasarme, oft basaltische Lava  
Beispiele: Hawaii, teilweise Island

**-explosive Vulkane:** zähflüssige Lava, oft explosiv, gasreiche Lava  
Beispiele: Vesuv, Krakatau, Mt. St. Helen, Fuji, ...

Es gibt auch Zwischenformen dieser beiden Typen.

Nach der Form der entstehenden Krater oder Vulkanberge kann man unterscheiden:

### Schichtvulkane:

Ein Ausbruch dieses im Allgemeinen explosiven Vulkantyps folgt meist einem bestimmten Rhythmus.

Zuerst bricht der Vulkan mit einer großen Explosion aus, Gestein und Asche, die oft sehr wasserreich und silikathaltig ist, wird in die Atmosphäre geschleudert. Große Gesteinsbrocken („Bomben“) sehr rasch wieder auf die Erde zurück, danach folgen immer kleinere Brocken („Lapilli“) und dann Asche.

Dadurch ergibt sich eine charakteristische Abfolge von

größeren und feineren Bestandteilen. Zusätzlich kann dann noch ein Lavafluss aus dem Krater diesen Eruptionszyklus beenden. Die Lava ist zähflüssig und wälzt sich mit meist nur wenigen Metern pro Stunde steile Hänge hinunter.

Diese Vulkane zeigen also eine typische Schichtung, daher Schichtvulkane. Sie stellen für die meisten Menschen die typischen Vulkane dar (Bild: Taranaki in Neuseeland). Die Hänge sind oft recht steil, die Form der typische Vulkankegel. Nicht selten werden diese Vulkankegel durch schwere Explosionen zerstört, so der Mt. St. Helen in den USA.



### Schildvulkan:

Diese Vulkane fördern basaltische, recht heiße und dünnflüssige Lava. Diese Lava fließt in raschen Strömen auch flache Hänge hinunter und verbreitert so die von Lava bedeckte Landschaft. Ascheregen tritt kaum auf, auch kräftige Explosionen sind selten. Damit werden

Skriptum nur für den privaten Gebrauch!



sie nicht durch die eigene vulkanische Tätigkeit zerstört, sondern durch Wind und Wetter langsam erodiert.

Solche Vulkane haben so schwach geneigte Hänge, dass sie in der Landschaft kaum auffallen. So ist der Mauna Kea (Bild) in Hawaii zwar fast 4200 hoch, an

seiner Basis hat er aber einen Durchmesser von 60 km und dementsprechend flache Hänge.

### **Spaltenvulkan:**

Manchmal reißt die Erdkruste entlang von Bruchzonen auf und es bildet sich eine Spaltenregion, aus der Lava fließt. Die bekannteste Spalteneruption ist wahrscheinlich die Laki (Bild) - Eruption im 18. Jahrhundert in Island, der größte schriftlich dokumentierte Vulkanausbruch der Geschichte.

Auch die Vulkane an mittelozeanischen sind häufig Spaltenvulkane.

Die Lava solcher Spaltenvulkane ist meist basaltisch – flüssig.



### **Vulkanische Erscheinungen:**

#### **Caldera:**

Durch den Ausbruch eines Vulkans leert sich die Magmakammer unter der Ausbruchsregion. Stürzt das Dach dieser Kammer ein, so entsteht ein oft riesiger Einsturzkrater, den man als Caldera bezeichnet. Bekannte Calderas sind die Becken des Yellowstone-Nationalparks mit bis zu 100 km Durchmesser, die Bucht von Neapel oder die Askja in Island mit je über 10 km Durchmesser.

Skriptum nur für den privaten Gebrauch!

### Mare:

Bleiben nach einem Vulkanausbruch tiefe Krater zurück und füllen sich diese mit Wasser, so spricht man von Maren. Diese Mare unterscheiden sich von anderen natürlichen Seen der Umgebung durch ihre größere Tiefe, auch sind sie meist kreisrund. Manchmal ist durch vulkanische Gase oder lösliche Gesteine die

Wasserzusammensetzung unterschiedlich zu anderen Seen. Bekannte Beispiele sind die Eifel-Mare in Deutschland (Bild).



### Fumarolen:

Fumarolen sind Dampfquellen, aus denen durch heißes Gestein erhitztes Wasser austritt.

### Solfataren:

Lava enthält häufig viel Schwefel. Durch die Hitze wird der Schwefel gasförmig (über 444 °C) oder schwefelhaltige Gase wie Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) treten aus. An den Austrittsstellen kristallisiert Schwefel manchmal aus und kann abgebaut werden.

### Geysire:



Vulkanische Springquellen benannt nach dem Geysir in Island. Kaltes Grundwasser kommt in Kontakt mit heißen Gesteinen. Dadurch erhitzt sich das Wasser bedingt durch den Druck in Untergrund (auch bewirkt durch da Wasser darüber) immer mehr auf, oft weit über 100 °C. Ab einem bestimmten Zeitpunkt steigen erste Dampfblasen auf, der Druck in der Wasserkammer sinkt und das Wasser verdampft schlagartig ähnlich dem CO<sub>2</sub> in einer Sektflasche. Danach strömt kaltes wieder Wasser ein und der Zyklus beginnt von vorne.

Besonders bekannt sind neben den isländischen Geysiren (Bild) die Geysire im Yellowstone-Nationalpark sowie auf der Nordinsel Neuseelands.

### **Begriffsdefinitionen:**

**Mineral:** Ein Mineral ist ein stofflich einheitlicher Bestandteil von Gesteinen, zum Beispiel Quarz, Calcit, Muskovit (Glimmer)... Es ist ein natürlich vorkommender Feststoff mit bestimmter chemischer Zusammensetzung.

**Gestein:** Ein Gestein ist ein natürlich vorkommendes Gemenge von unterschiedlichen Mineralien.

Skriptum nur für den privaten Gebrauch!

**Mineralogie:** Die Wissenschaft von den Mineralien

**Petrologie:** Die Wissenschaft von den Gesteinen

**Geologie:** Die Geologie ist die Wissenschaft vom Aufbau, von der Zusammensetzung und Struktur der Erde, ihren physikalischen Eigenschaften und ihrer Entwicklungsgeschichte, sowie der Prozesse, die sie formen.

**Tektonik:** Die Tektonik ist die Lehre vom Aufbau der Erdkruste, ihrer Struktur und der großräumigen Bewegung der Krustenteile.

Skriptum nur für den privaten Gebrauch!

## Erstes Leben auf der Erde:

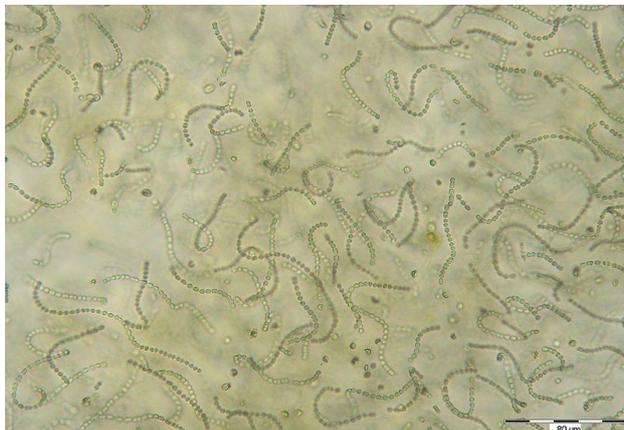
Die ersten Organismen lassen sich nach heutigem Wissen aus der Zeit vor etwa 3,8 Milliarden Jahren nachweisen. Sie finden sich in Gesteinen unter anderem in Australien und Grönland. Diese Organismen gehören alle zur Gruppe der Prokaryonten, verfügen also nicht über einen Zellkern. Diese Organismen sind nicht zu echter Vielzelligkeit fähig, können aber Kolonien bilden.

Man unterscheidet drei Gruppen von Prokaryonten, die Systematik ist aber noch sehr unklar und umstritten:

1. Archaeobakterien: häufig Stoffwechselspezialisten, die ihre Energie aus dem Abbau von verschiedenen Chemikalien gewinnen, eine Stoffwechselstrategie, die man als Chemosynthese bezeichnet. Diese Archaeobakterien leben oft in extremen Lebensräumen, so in heißen vulkanischen Quellen, an vulkanischen Schloten am Meeresgrund oder in stark sauren Gewässern (siehe Bild).



2. Blaualgen (siehe Bild) oder Cyanobakterien: einfache Algen, die bereits die Photosynthese beherrschen und in riesigen Mengen vorkommen können. Vor etwa 3 bis 3,5 Milliarden Jahren entstanden kalkabscheidende Blaualgenkolonien, die man als Stromatolithen bezeichnet. Diese Stromatolithen kommen heute noch an einigen warmen Meeresarmen in den pazifischen Tropen und Subtropen vor.



3. Bakterien: einfache Prokaryonten, aerob oder anaerob, oft Stoffwechselspezialisten, heute auch Parasiten und Krankheitserreger.

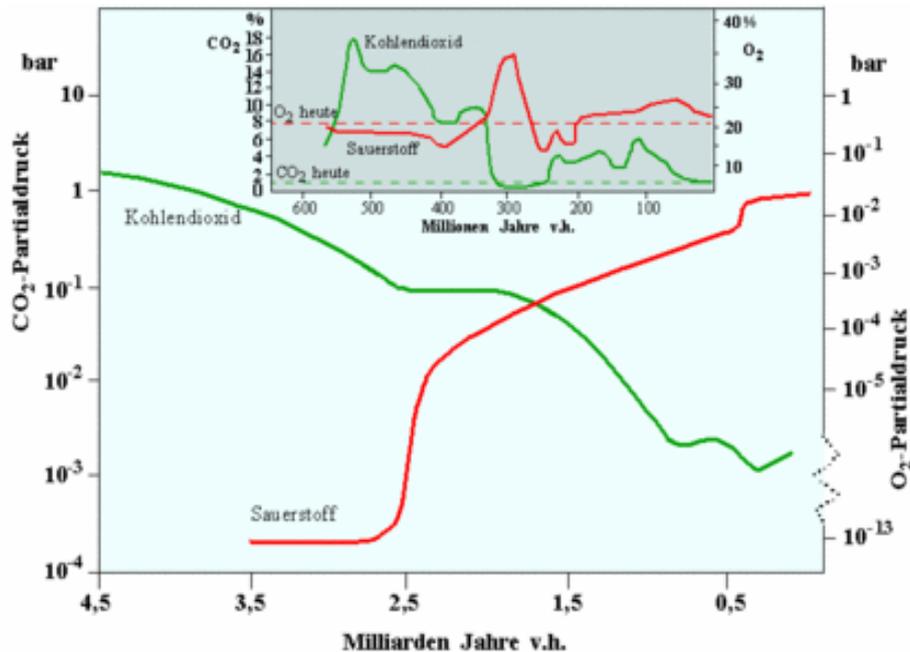
Die frühe Photosynthese:

*Die Photosynthese entsandt wahrscheinlich aus der chemisch verwandten Chemosynthese von Schwefel aus Schwefelwasserstoff. Der Enzymapparat ist*

Skriptum nur für den privaten Gebrauch!

*sehr ähnlich, da Sauerstoff und Schwefel als Elemente der gleichen Hauptgruppe (6. Hauptgruppe) im Periodensystem ähnliche chemische Eigenschaften aufweisen.*

Die Blaualgen begannen Sauerstoff zu produzieren, dieser Sauerstoff, der für viele Archaeobakterien und Bakterien hochgiftig ist, wurde über einige hundert Millionen Jahre vom im Wasser gelösten Eisen gebunden. Erst als die Erde vor etwa 2,5 Milliarden Jahren „verrostet“ war, reicherte sich der Sauerstoff relativ rasch in der Atmosphäre an (siehe Bild).



Mit dem Ansteigen der Sauerstoffkonzentration in der Atmosphäre entstand auch eine Ozonschicht, diese Ozonschicht filterte das schädliche UV-Licht aus der Sonnenstrahlung und ermöglichte zum ersten Mal Leben in seichten Gewässern und an Land. Auch gab es zum ersten Mal die Möglichkeit für komplexeres Leben, also die Entstehung von Eukaryonten.

Vor etwa 2 Milliarden Jahren entstanden die ersten eukaryontischen Lebewesen, Organismen mit einem Zellkern. Die Eukaryonten sind im Gegensatz zu den Prokaryonten zu echter Vielzelligkeit befähigt, sie bilden damit unterschiedliche Gewebetypen aus. Die einzelnen Zellen sind nicht mehr separat überlebensfähig, sondern nur im Gewebeverband. Drei Linien des mehrzelligen Lebens bilden sich heraus, die Systematik ist allerdings nicht nur in Details umstritten:

1. Pflanzen, die mit Chloroplasten Photosynthese betreiben, dabei Sauerstoff freisetzen und Kohlenstoffdioxid verbrauchen. Sie besitzen eine Zellwand, die Zellulose enthält.
2. Tiere, die keine Zellwand besitzen, sondern nur eine Zellmembran, sie verbrauchen Sauerstoff und setzen Kohlenstoffdioxid frei.
3. Pilze, die Chitin als Zellwandstoff besitzen, keine Photosynthese betreiben und organisches Material abbauen, ihre Systematik ist noch sehr unklar.

Im Zusammenwirken dieser drei Gruppen ergaben sich komplexe Ökosysteme, wie sie auch heute noch existieren. Die bereitgestellte Energie stammt zu fast 100% aus der Energie des Sonnenlichtes (Photosynthese).

Skriptum nur für den privaten Gebrauch!

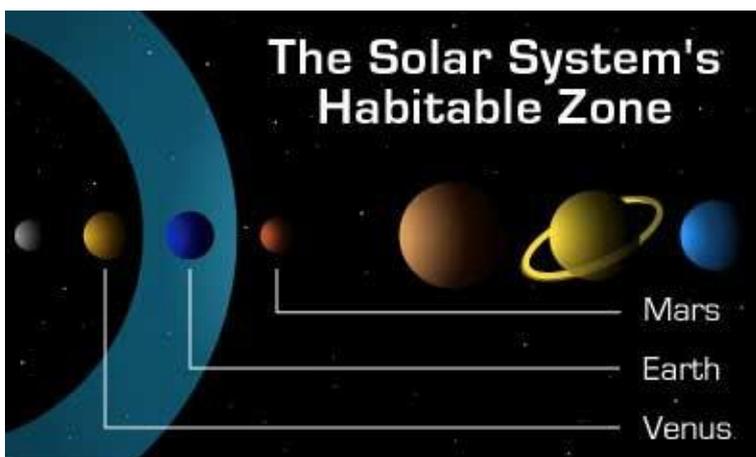
## Die grüne Zone

Unsere Erde ist der einzige Ort im Universum den wir kennen, der Leben beherbergt. Offensichtlich herrschen hier Bedingungen, die für das Leben, wie wir es definieren, günstig sind. Die Erforschung dieser grundlegenden Voraussetzungen ist heute eines der Hauptthemen der astronomischen Forschung. Besonders interessant ist natürlich herauszufinden, ob es diese speziellen Eigenschaften des Platzes der Erde auch woanders im Universum gibt. Dabei gehen wir davon aus, dass Leben ebenso wie hier auf der Erde kohlenstoffbasiert und wasserabhängig ist. Wie vielfältig Lebewesen sind und welche fremdartigen Lebensräume sie besiedeln können sehen wir in vulkanischen Quellen, an Vulkansloten in der Tiefsee, in Seen unter dem Eis der Antarktis, in hohen Atmosphärenschichten oder an tief unter der Oberfläche liegenden Gesteinsschichten, die alle zumindest mikrobielles Leben beheimaten.

Folgende Faktoren scheinen für die Entwicklung von Leben, wie wir es auf der Erde finden, verantwortlich zu sein:

### Nicht zu kalt, nicht zu heiß und geeignete Druckverhältnisse:

Leben, wie wir es kennen, ist als Lösungsmittel und wichtiger Reaktionspartner bei Stoffwechselreaktionen auf flüssiges Wasser angewiesen. Daher müssen in einer lebensfreundlichen Umwelt Temperaturen und Druckverhältnisse herrschen, die Wasser in flüssiger Form ermöglichen. *Auch wenn zum Beispiel am Mars zeitweise Temperaturen zu messen sind, die flüssiges Wasser zulassen, so kann auf längere Zeit wegen des geringen Drucks nur Eis oder Wasserdampf existieren. Sogar das Eis sublimiert über kurz oder lang. Die Temperatur hängt wesentlich vom Abstand zur Sonne ab. Die Venus ist zu nah, der Mars zu weit weg.*



### Sterne zweiter oder höherer Generation für die schweren Elemente

Sterne erster Generation bestehen fast nur aus Wasserstoff und geringen Mengen Helium. Erst beim spektakulären Ende der ersten Sternenerationen entstehen schwere Elemente, in der

Astronomie generell als Metalle bezeichnet, die dann als Bestandteil interstellarer Staubwolken in die Bildung neuer Sternenerationen involviert sind. Die Gesteinsplaneten mit der ganzen Vielfalt an Elementen wie auch Kohlenstoff und Sauerstoff kann nur um solche Sterne entstehen.

Skriptum nur für den privaten Gebrauch!

### Eine Sonne, die nicht zu schnell abbrennt

*Schwere Sterne sind Sonnen, die ihren „Brennstoff“ aufgrund des hohen Innendrucks sehr rasch verbrennen. Sie explodieren oft schon nach wenigen Millionen Jahren, zu wenig Zeit, um Leben auf eventuellen Planeten genügend Zeit zur Entwicklung zu lassen. Unsere Sonne wird etwa 10 bis 12 Milliarden Jahre alt werden, sie hat die Hälfte dieser Zeit bereits hinter sich, eine Zeitspanne, die offensichtlich für die Entwicklung von Leben reicht. Unsere Sonne wird am Ende ihres Lebens stärker strahlen und sich stark ausdehnen. In einigen Milliarden Jahren dominiert eine riesige rote Sonne den Himmel einer dann ausgeglühten leblosen Erde. Noch massenärmere Sterne als unsere Sonne geben weniger Energie ab, haben also eine höhere Brenndauer.*

### Magnetfeld

Unsere Sonne schickt einen stetigen Strom geladener Teilchen in den Weltraum. Diese Teilchen sind lebensbedrohend energiereich, werden aber, da sie geladen sind vom Magnetfeld der Erde zu den Polen abgelenkt. *Dort dringen sie in die oberen Atmosphärenschichten ein und sind für die spektakulären Polarlichter verantwortlich. Ohne Magnetfeld wäre Leben zumindest an der Oberfläche nicht möglich.*

### Mond, der die Erdachse stabilisiert

Mit einer Neigung von etwa 23 Grad sorgt die Erdrotation trotz der daraus resultierenden Jahreszeiten für ein relativ ausgeglichenes stabiles Klima. Die Erdachse wird durch unseren ungewöhnlich großen Mond stabilisiert. *Berechnungen zeigen, dass die Erdachse ohne Mond taumeln würde und ein äußerst instabiles Klima mit heftigen Eiszeiten oder langandauernde Dürren die Folge wären.*

### genügend Anziehungskraft, um die Atmosphäre zu halten

*Gasatome sind relativ rasch unterwegs. Erreichen sie in den oberen Atmosphärenschichten die Fluchtgeschwindigkeit, können sie in den Weltraum entweichen. Je höher die Gravitation eines Himmelskörpers ist, desto besser wird eine Atmosphäre gehalten. Ist die Gravitation zu hoch, entsteht eine sehr dichte Gashülle mit hohem Druck am Boden. Der Mars zum Beispiel ist zu leicht, um eine Sauerstoffreiche Atmosphäre auf Dauer zu halten. Wie sich stärkere Gravitation auswirkt, kann man an den großen Gasplaneten erkennen.*

### Plattentektonik für einen Kohlenstoffkreislauf

*Die kontinentalen Platten existieren teilweise seit der Zeit, als die Erdkruste fest wurde, zeigen also wenig Umsatz an Gesteinen. Die ozeanischen Platten hingegen werden durch Sea-Floor-Spreading und Subduktion an Plattengrenzen in einen stetigen Kreislauf gezwungen. Auch der durch Sedimentation eingelagerte Kohlenstoff wird in den Gesteinskreislauf integriert und an Vulkanen in Form von Kohlendioxid wieder freigesetzt. Gäbe es diesen tektonischen Kreislauf nicht, würde Kohlenstoff stetig aus der Atmosphäre entfernt, in Sedimente eingebaut und damit kohlenstoffbasiertes Leben auf Dauer unmöglich.*

Skriptum nur für den privaten Gebrauch!

### Sauerstoff für die Ozonproduktion

*In den ersten Millionen und Milliarden Jahren der Erde konnte kosmische Strahlung und intensives UV-Licht fast ungehindert auf die Erde treffen. Erst in einiger Wassertiefe war die Strahlungsbelastung so gering, dass DNA stabil existieren konnte. Vor zwei oder mehr Milliarden Jahren begannen erste Blaualgen Sauerstoff zu produzieren, der sich langsam in der Atmosphäre anreicherte. Durch die intensive Strahlung entstand aus dem Sauerstoff eine erste, schützende Ozonschicht, daher ist Sauerstoff eine Bedingung für das Leben in seichten Gewässern und an Land.*

### Schwere äußere Planeten als Schutz gegen Meteoriten und Kometen

*1994 konnte eine spektakuläre Einschlagserie von 21 Kometenbruchstücken (Shoemaker-Levy 9), die bis zu einem Kilometer Durchmesser hatten, in die Jupiteratmosphäre beobachtet werden. Die „Narben“, die diese Einschläge zurückließen, hatten mit bis zu 12.000 Kilometern die Dimension des Erddurchmessers. Spätestens da wurde klar, welche Auswirkung der Einschlag eines solchen Himmelskörpers auf die Erde haben würde. Die schweren äußeren Planeten, vor allem der Jupiter, wirken wie Staubsauger und fangen den Großteil der Kometen und Asteroiden, die ins Innere des Sonnensystems gelangen könnten und die Erde gefährden, ab.*

### stabile Situation in der Nachbarschaft der Sonne

Unser Sonnensystem liegt in einer recht ruhigen kosmischen Nachbarschaft. Die nächsten Sterne sind einige Lichtjahre entfernt und keine alternden Sternriesen drohen in unserer Nachbarschaft zu explodieren. Auch befinden wir uns relativ weit weg vom Zentrum unsere Milchstraße mit der dort herrschenden hohen Sterndichte oder gar dem zentralen schwarzen Loch. Sonst würde unsere Erde durch die enorme Strahlung sterilisiert werden.

Skriptum nur für den privaten Gebrauch!

## Grundlagen der Ökologie:

### Was ist Ökologie?

Während die Biologie den Aufbau, das Verhalten, die Verwandtschaftsbeziehungen oder die physiologischen Leistungen von Organismen untersucht, beschäftigt sich die Ökologie mit der umfassendsten Fragestellung:

Definition Ökologie: Die Ökologie untersucht die Beziehungen der Lebewesen untereinander sowie die Beziehungen dieser Lebewesen zur belebten und unbelebten Umwelt.

Haeckel definiert die Ökologie als Wissenschaft von den Beziehungen der Organismen mit ihrer Umwelt.

Unter Umwelt versteht man in der Wissenschaft alle auf einen Organismus einwirkenden Einflüsse.

### Grundlegende Begriffe der Ökologie:

**Abiotische Faktoren:** z.B. Klima, Untergrund, Wasserhaushalt, Säureeinfluss, Salzgehalt, Schwermetallbelastung usw.

**Biotische Faktoren:** z.B. Mitbewohner, Parasiten, Symbionten, Fraßfeinde und Futterorganismen, Krankheitserreger, Bodenorganismen, usw.

**Biotop:** Ein Biotop ist der Lebensraum einer Lebensgemeinschaft von Tieren und Pflanzen (Biozönose)

**Biozönose:** Eine Biozönose ist die Gemeinschaft von Lebewesen (Pflanzen, Tiere, Pilze) in einem Biotop

**Ökosystem:** Biotop + Biozönose, also Lebensraum + Lebensgemeinschaft.

**Stoff- und Energieerhaltung:** In einem Ökosystem gibt es einen Umsatz von Stoffen und Energie, die Aufnahme und Abgabe von Stoffen und Energie muss eine ausgeglichene Bilanz ergeben. Es können weder Stoffe noch Energie in Summe gewonnen oder verloren werden.

Nach den Organismengruppen und ihrer Energiebereitstellung unterscheidet man folgende ökologische Gruppen:

Produzenten: Organismen, die aus abiotischen Quellen Energie beziehen und damit organische Stoffe aufbauen.

Im Allgemeinen versteht man darunter die grünen Pflanzen die Photosynthese betreiben, im weiteren Sinne zählen auch chemoautotrophe Organismen dazu, die zum Beispiel in vulkanischen Quellen leben und ihren Energiebedarf durch chemische Reaktionen mit diversen anorganischen Verbindungen decken.

Die Photosynthese verbraucht Kohlenstoffdioxid und setzt Sauerstoff frei,

Skriptum nur für den privaten Gebrauch!

Konsumenten: Organismen, die ihren Energiebedarf durch den Abbau anderer Organismen decken, meist sind das tierische Organismen, es können aber auch parasitische Pflanzen oder Mikroorganismen sein. Oft wird zwischen Konsumenten 1. Ordnung (Fleischfresser) und Konsumenten 2. Ordnung (Pflanzenfresser) unterschieden, doch diese Unterscheidung ist unscharf.

Konsumenten verbrauchen Sauerstoff und setzen Kohlenstoffdioxid frei.

Reduzenten oder Destruenten: Organismen, die ihren Energiebedarf durch den Abbau abgestorbener organischer Stoffe decken, das können Mikroorganismen wie Bakterien sein, aber auch makroskopisch sichtbare Organismen wie Pilze. Sie stellen den Ökosystemen unter anderem wieder die mineralischen Nährstoffe zur Verfügung.

Anpassung der Organismen an ihre Umwelt:

**Evolution und Koevolution als Mechanismus der Anpassung:**

*Lebewesen und ihre Organe sind mit ihren Funktionen auf ihre Umwelt angepasst. Die Anpassung der Organismen an ihre Umwelt ist ein evolutionärer Prozess, im Laufe der Stammesentwicklung gab und gibt es gegenseitige Abhängigkeiten, die Anpassungen bewirken.*

*Die Anpassungen passieren durch Veränderung des Erbgutes, also durch **Mutationen**. Mutationen sind primär zufällig und ungerichtet, können aber auch die Eigenschaften und von Organismen verändern. Zufällig vorteilhafte Anpassungen, die zu einer besseren Überlebensrate der Nachkommen führen, können sich durchsetzen und die Population verändern. Es gibt aber nach heutigem Wissen keinen Weg, dass Umweltbedingungen verändernd auf die Erbinformationen zurückwirken können (Lamarckismus!).*

*Aktuell wird die Rolle der **Epigenetik** für die Anpassung diskutiert. In allen Körperzellen ist die gleiche Vielfalt an Erbanlagen vorhanden. Auch besitzen Organismen viele Gene, die nicht aktiv sind. Das Aktivitätsmuster der Gene bestimmt die Aktivität der Zellen und damit die Eigenschaften eines Organismus.*

*Die Epigenetik beschäftigt sich mit diesen Aktivitätsmustern. Neueste Forschungen legen nahe, dass Umwelteinflüsse die Aktivitätsmuster verändern können und diese veränderten Aktivitätsmuster auch weitergegeben werden können. Dabei ändert sich die Erbinformation nicht, auch wenn auf den ersten Blick eine Wirkung der Umwelt auf die Erbinformation gegeben ist.*

## Grundlegendes zu den Pflanzen:

Der Lebensraum der Pflanzen - die Phytosphäre:

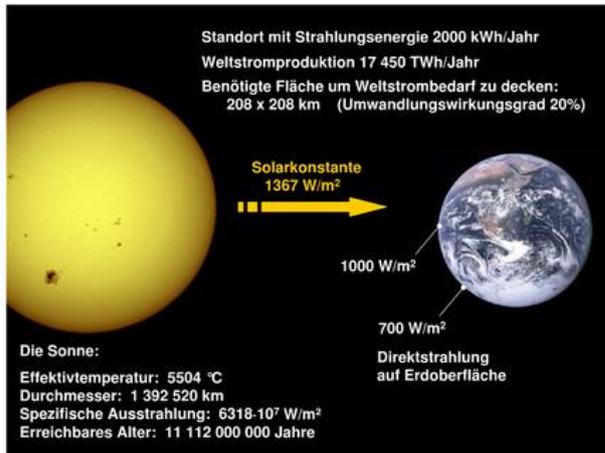
Der bewohnte Lebensraum der Erde wird als Biosphäre bezeichnet. Pflanzen besiedeln alle Lebensräume, die Meere, die Süßwassergewässer, alle Landlebensräumen. Pflanzen machen etwa 99% der Biomasse weltweit aus. Sie binden damit riesige Mengen an Kohlenstoff und sorgen für die den Sauerstoff in unserer Atmosphäre. Ohne die Photosynthese der Pflanzen würde der Sauerstoffgehalt in der Atmosphäre in geologisch gesehen kurzer Zeit auf ein Maß absinken, das tierisches Leben nicht mehr ermöglichen würde.

Diese Pflanzenmasse stabilisiert den Kreislauf der Stoffe und beeinflusst wesentlich Klima und Boden.

Skriptum nur für den privaten Gebrauch!

Der Bereich der Pflanzen wird als Phytosphäre bezeichnet. Sie ist ein Teil der Biosphäre und erstreckt sich in die Atmosphäre, die Pedosphäre (Boden) und teilweise in die Lithosphäre (Gestein). Gemeinsam ergeben diese Faktoren die Ökosphäre

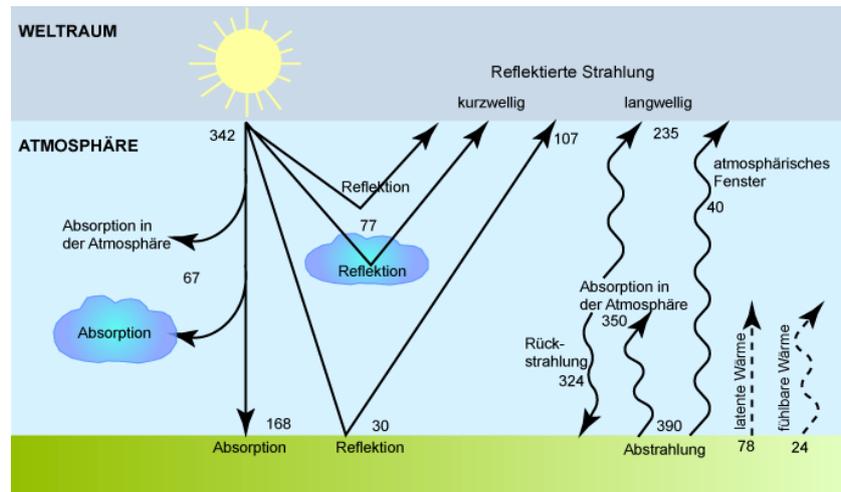
Die Photosynthese als Grundlage des Pflanzenlebens:



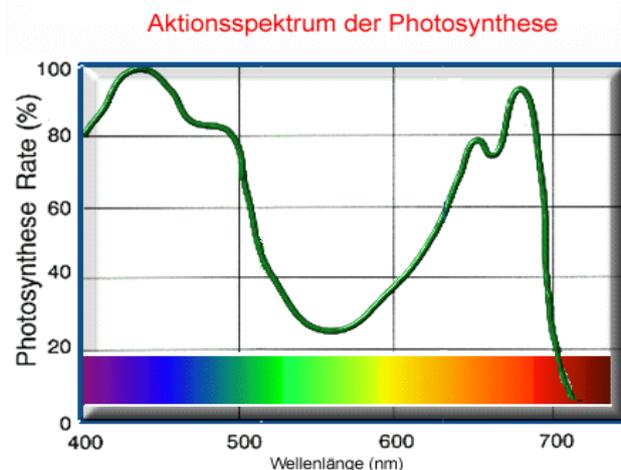
Die Sonne liefert der Erde konstant Strahlungsenergie. Diese Solarkonstante macht 1367 Watt pro Quadratmeter aus. Dieser theoretische Wert wird jedoch nur im Weltall erreicht. Durch die Form der Erde (Kugel) und durch die Abschattung der Sonne (Nachtseite) erreichen wiederum im Durchschnitt nur rund 370 Watt pro Quadratmeter die oberen Luftschichten Erde. Durch die Absorption und Reflexion in der Atmosphäre und die Reflexion an

Wolken und der Erdoberfläche verbleiben durchschnittlich etwa 140 Watt pro Quadratmeter an nutzbarer Energie.

Die Pflanzen nutzen den sichtbaren Teil des elektromagnetischen Spektrums, also Licht zwischen etwa 400 (blau) und 720 (rot) nm Wellenlänge. Nur das Chlorophyll kann die elektromagnetische Strahlung in chemisch gebundenen Energie (ATP, NADPH + H<sup>+</sup>, Glucose) umwandeln. Das



Chlorophyll besitzt ein Absorptionsmaximum im blauen und roten Bereich, hingegen reflektiert es im grünen Bereich des Spektrums (dadurch ergibt sich die grüne Farbe). Um die Energie des Lichts optimal zu nutzen, gibt es auch noch andere Farbstoffe wie Karotine oder Xanthophylle, die auch Licht absorbieren, diese Energie dem Chlorophyll weiter eben können, aber selbst keine chemisch gebundene Energie aufbauen können.



Skriptum nur für den privaten Gebrauch!

Die Photosynthese kann in zwei Abschnitte unterteilt werden.

1. Lichtreaktion (temperaturabhängig) mit:

- Absorption des Lichtes
- Spaltung des Wassers (Photolyse)

Die Lichtreaktion ist an das Chlorophyll gebunden

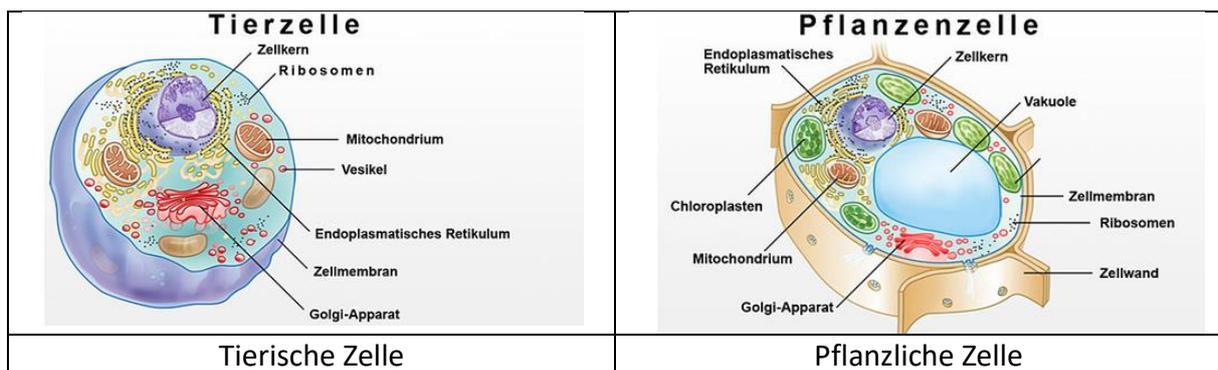
2. Dunkelreaktion (temperaturunabhängig) mit:

- Fixierung des Kohlendioxids
- Calvin-Zyklus

Die Dunkelreaktion ist nicht ans Chlorophyll gebunden.

Der Sauerstoff, den die grünen Pflanzen freisetzen, stammt aus der Spaltung des Wassers und damit aus der Lichtreaktion. Die Aufnahme des Kohlendioxids erfolgt über die Spaltöffnungszellen an der Unterseite eines Blattes, der Kohlenstoff wird in einem Kreislaufprozess (Calvin-Zyklus) zu Zuckerverbindungen aufgebaut, dabei wird die Energie aus der Lichtreaktion verbraucht.

Vergleich tierische Zelle – pflanzliche Zelle (aus [www.planet-wissen.de](http://www.planet-wissen.de))



## Sukzession und Klimaxgesellschaften

In neu geschaffenen Lebensräumen oder in Lebensräumen, die einer dauerhaften Veränderung unterworfen sind, ergibt sich eine charakteristische Abfolge von instabilen Ökosystemen. Diese Abfolge von Lebensgemeinschaften nennt man ökologische Sukzession (lat.: succedere: nachfolgen).

Bleiben die Umweltbedingungen stabil so entwickelt sich eine andauernde Lebensgemeinschaft die man als Klimaxgesellschaft bezeichnet. In Österreich wäre die Klimaxgesellschaft mit wenigen Ausnahmen ein Wald, vor allem ein Buchendominierter Mischwald. Es würde etwa 100 Jahre dauern, bis sich eine stabile Waldgesellschaft entwickelt. Über manchen Rohböden (zum Beispiel Lava) kann es mehrere tausend Jahre dauern, bis sich eine Klimaxgesellschaft entwickelt.



Einige der tropischen Regenwälder scheinen bereits seit einigen Millionen Jahren zu existieren und damit eine Klimaxgesellschaft zu bilden. In Österreich kann das wegen der Veränderungen nach der letzten Eiszeit nicht der Fall sein. Weltweit kommen durch menschlichen Einfluss kaum mehr ursprüngliche

Ökosysteme vor. Die Frage, inwieweit die menschlichen Eingriffe die Selbstregulationsfähigkeit der Ökosysteme beeinflusst haben, ist schwer zu beantworten. Trotzdem ist klar, dass zum Beispiel die Abholzung der tropischen Regenwälder wegen der besonderen Eigenschaften des Bodens zu einer dauerhaften und auf absehbare Zeit nicht umkehrbaren Änderung der Klimaxgesellschaft führt.

Die Böden in unseren geographischen Breiten sind jünger und daher im Allgemeinen nicht so ausgelaugt.

### Grundlegendes zu Böden:

Definition Boden nach der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz:

„Boden ist die äußerste Schicht der Erdkruste, die durch Lebewesen geprägt wird. Im Boden findet ein reger Austausch von Stoffen und Energie zwischen Luft, Wasser und Gestein statt. Als Teil des Ökosystems nimmt der Boden eine Schlüsselstellung in lokalen und globalen Stoffkreisläufen ein.“

[http://www.soil.ch/cms/fileadmin/Medien/Was\\_ist\\_Boden/boden\\_definition98d.pdf](http://www.soil.ch/cms/fileadmin/Medien/Was_ist_Boden/boden_definition98d.pdf)

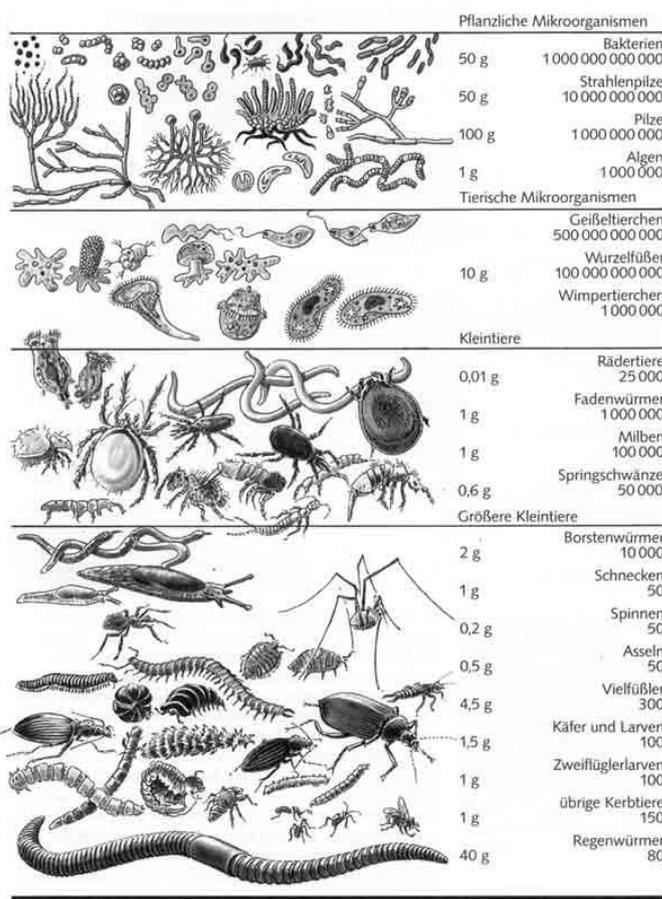
Der Boden ist der oberste, belebte Teil der Lithosphäre, also die Gesteinsschicht, die durch Verwitterungsprozesse und durch Lebewesen eine physikalische und chemische Umgestaltung durchläuft. Durch organisches Material („Humus“) ist der Boden häufig dunkel gefärbt.

Skriptum nur für den privaten Gebrauch!

Der Boden kann aber auch durch Eisen, Aluminium oder Mangan tiefrot sein (vor allem in den Tropen und Subtropen) oder speziell bei Staunässe blaugraue Farben (reduziertes Eisen) aufweisen.

Der Boden kann nur aus wenig organischem Material vermengt mit Schotter bestehen, er kann aber auch einige 10 m in die Tiefe reichen. Böden können nach ungestörter Entwicklung hunderte Jahre alt sein, sie können aber auch auf instabilem Untergrund oder durch häufige Überschwemmung einem ständigen Wandel unterzogen werden.

Die Art des Bodens hängt von verschiedenen Faktoren ab, zum Beispiel:



- Ausgangsgestein
- Nährstoffgehalt
- Korngröße und Korngrößenverteilung
- Alter des Bodens
- Klimatische Verhältnisse wie Niederschlag, Temperatur, Temperaturunterschiede, Verdunstung, Sonneneinstrahlung...
- Geographische Lage
- Höhenlage
- Pflanzliche und tierische Tätigkeit
- Schadstoffeintrag
- Sukzessionsdruck
- Staunässe
- Windverfrachtung
- ...

### Bodenentwicklung (Pedogenese)

Am Anfang der Bodenentwicklung steht die Verwitterung. Chemische Prozesse, Sonne, Eis und Wasser zerlegen die Muttergesteine in ihre kleinsten Bestandteile und wandeln

sie um. Mikroorganismen und Flechten besiedeln mit ihren geringen Ansprüchen als erste die Felsen und beziehen ihre Nährstoffe direkt aus dem Gestein, der Luft und dem Regenwasser. Mit der Zeit sterben diese Erdbewohner ab und auf dem Felsen und in kleinen Ritzen sammelt sich totes organisches Material und feinste Mineralstoffe wie Calcium, Magnesium, Kalium oder Silizium. Pflanzen sind auf die gelösten Nährstoffe und Mineralien des Gesteins angewiesen und beginnen mit ihren Wurzeln die oberste Gesteinsschichten zu durchdringen.

Gleichzeitig beginnt eine Vielzahl unterschiedlicher Tiere den entstehenden Boden zu besiedeln. Manche legen Grabgänge an (Wühlmäuse, Maulwürfe, Dachse, Maulwurfsgrillen...), andere durchwühlen den Boden nach verwertbarem Material (Regenwürmer, Fadenwürmer, Urinsekten...), wieder andere ernähren sich von Pflanzenteilen (Käferlarven, ...). Gemeinsam

Skriptum nur für den privaten Gebrauch!

erhöhen sie den Anteil des organischen Materials und verändern durch ihre Tätigkeit die Struktur des Bodens.

Durch dieses Wechselspiel können die Nährstoffe von den Pflanzen genutzt werden. Das Wenn rund fünf Prozent eines Bodens aus organischem Material bestehen, ist bereits ein fruchtbarer Untergrund entstanden. Je nach Klima, Gesteinsuntergrund, Bewuchs oder Hangneigung entwickelt sich so einer von rund 20 Bodentypen, die in Mitteleuropa unterschieden werden.

Fast alle Böden haben einen ähnlichen Aufbau und gliedern sich in Unter- und Oberboden sowie einen mehr oder weniger verwitterten Untergrund.

Die Unterteilung in Schichten ist nicht einheitlich definiert, trotzdem werden hier die wichtigsten „Horizonte“ genannt, die einzelnen Horizonte können dann noch detailliert weiter unterschieden werden:

A-Horizont: Humoser Oberboden, Anreicherungshorizont mit hohem Humusanteil und gutem Bodenleben

B-Horizont: Verwitterungshorizont mit mäßigem Humusanteil und geringem Bodenleben, mineralischer Verwitterungsbereich

C-Horizont: Muttergestein

Spezielle weitere Bezeichnungen:

S-Horizont: Staunässebeeinflusster Bereich

G-Horizont: Grundwasserbeeinflusster Bereich

H-Horizont: Torfbereich

Wichtige Bodentypen in Österreich:

**Braunerde**

Braunerden haben ein A-B-C-Profil und bilden sich meist bei einem gemäßigt-humiden Laubwald-Klima aus. Unter dem humosen Oberboden entwickelt sich ein ausgeprägter B-Horizont. Er entsteht durch Verbraunung und Tonbildung. Charakteristisch sind unscharfe Übergänge zwischen den Horizonten.

**Schwarzerde**

Die Schwarzerde, auch Tschernosem genannt, ist ein Boden mit einem A-C-Profil, d. h. ein mächtiger humoser Oberboden liegt direkt auf dem Ausgangsgestein. Schwarzerden bilden sich unter kontinentalem Steppenklima, v. a. auf Löss. Sie sind sehr fruchtbar und gut für die Landwirtschaft geeignet

**Bleicherde**

In gemäßigt-humiden Klimaten mit intensiver Durchfeuchtung des Bodens dominiert die Bleicherde oder auch Podsol genannt. Es ist ein Boden mit A-B-C-Profil. Zusätzlich gibt es durch den starken Niederschlag einen E-Horizont (= Auswaschungshorizont). Humusstoffe sowie Eisen und Aluminium werden herausgespült und im darunterliegenden B-Horizont angereichert. Der ablaufende Prozess heißt Podsolierung.

Skriptum nur für den privaten Gebrauch!

Bleicherde entsteht z. B. aus Braunerde. Die bleiche Farbe des ausgewaschenen Oberbodens gibt dem Bodentyp seinen Namen.

Ranker und Rendsina

Der Ranker (österreichische Bezeichnung für Steilhang) ist ebenso wie die Rendsina ein gesteins- und reliefabhängiger Boden. Sie besitzen einen deutlichen A-Horizont, liegen aber im direkt auf einem Ausgangsgestein (Sand, Granit, Gneis bei Ranker, Kalk oder Dolomit bei Rendsina). Ein B-Horizont fehlt, und infolge seiner geringen Profilmächtigkeit ist er für Pflanzen schlecht durchwurzelbar.

Stauwasserböden (Pseudogley)

Stauwasser kann bei ausreichenden Niederschlägen temporär oder periodisch auftreten. Es besitzt keinen Anschluss zum tieferliegenden Grundwasser. Stauwasserböden zeigen ein A-S (Staunässe-Bereich)-C-Profil. Durch den Wechsel von Reduktions- (bei Staunässe) und Oxidationsphasen (bei Trockenheit) entsteht ein fleckiger marmorierter S-Horizont.