

Rolf Derenbach

BESTÄNDIG DURCH BEWEGUNG: DIE ERDE



Die Mannigfaltigkeit der Erdoberfläche bildet sich in ihrer Farbigkeit ab. Blau ist das Meer mit mehr als 2/3 der Erdoberfläche, grün die Regionen der Vegetation und damit der von uns bewohnten Gebiete, weiß die Eispanzer und ocker die Sand- und Geröllwüsten. Es ist die Sonne, die für dieses Farbenspiel verantwortlich ist.

Ihre Licht- und Wärmestrahlen heben das Wasser aus dem Blauen als Wolken und diese - durch die Winde auf das Festland getrieben - bewirken das Grün der Pflanzenwelt. Das Wasser fließt zurück ins Blaue; einer der wichtigsten unter den vielen Kreisläufen der Erdoberfläche. Wo es zu kalt ist, herrscht das Weiß und wo die Winde, die den ersehnten Regen bringen, nicht hinkommen, herrscht die Ockerfarbe. Alles was entstanden ist, beruht auf Bewegung und bewegt sich selbst, diese verursacht die Beständigkeit.

Rolf Derenbach

BESTÄNDIG DURCH BEWEGUNG: DIE ERDE

Universitätsbibliothek der Freien Universität Berlin

ISBN 978-3-96110-349-2 online

ISBN 978-3-96110-350-8 print

Dr. Rolf Derenbach

Lahnweg 24

53129 Bonn

rderenbach@gmx.de

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	4
DIE ERDE IM ALL	6
Die Dimensionen des Alls	6
Das Entstehen des Sonnensystems und der Erde.....	11
Der schalenförmige Aufbau des Erdkörpers.....	13
Die äußere Hülle.....	14
Periodische Bewegungen im Sonnensystem	14
Die - geheimnisvolle - kosmologische Kraft der Anziehung	17
DIE STOFFLICHKEIT DES ALLS UND DER ERDE.....	21
Die Stofflichkeit der Sonne	22
Die Stofflichkeit der Lufthülle.....	23
Die Stofflichkeit des Wasserhülle	23
Die Stofflichkeit des festen Gesteins	24
Die Architektur der Stoffbildung am Beispiel des Quarzes	25
Der Stoff-, Bewegungs- und Energiereichtum der Erde.....	28
DIE ERDOBERFLÄCHE IM ÜBERBLICK	30
Die Ortsbestimmung - Geometrie der Erdkugel.....	31
Die vier Hüllen	31
Die Gesteinshülle.....	32
Die Wasserhülle.....	34
Die Lufthülle.....	36
Die Vegetationshülle	36
Die gegenseitige Durchdringung der Hüllen durch Bewegung	36
DIE BEWEGUNGEN IN DER SONNENENERGIEREICHEN	
LUFTHÜLLE	38
Form und Schichtung der Lufthülle.....	38
Die Sonnenenergie.....	40
Der unterschiedliche Eintrag der Sonnenenergie auf der Erdoberfläche	42
Die erdumfassende Temperaturumverteilung.....	44
DIE BEWEGUNGEN IN DER WASSERHÜLLE	51
Stofflichkeit des Wassers.....	51
Die Bewegungen innerhalb der ozeanischen Meereshülle, die	
Meeresströme.....	54
Der Wasserkreislauf zwischen den Feständern und den Ozeanen.....	56
Die räumlichen Unterschiede	58
DIE BEWEGUNGEN IN DER GESTEINSHÜLLE	60

Die Stofflichkeit der Gesteinshülle.....	61
Der Urzustand der Erde	62
Entstehung der Luft- und Wasserhülle	64
Bewegungen in der Gesteinshülle	65
Der Gesteinskreislauf	68
Kreisläufe gegen gerichtete Bewegungen	74
Die Landschaften am Beispiel Europas.....	75
DIE VEGETATIONSHÜLLE.....	81
Pflanzen, Tiere und Pilze.....	82
Die Stofflichkeit der Pflanzenwelt.....	83
Entstehen der Vegetationshülle auf den Festländern	87
Anpassung der Pflanzen an unterschiedliche geographische Milieus	89
Das Pflanzenkleid der Erde in den räumlich-klimatischen Milieus	90
NACHWORT	93
LITERATUR.....	96

VORWORT

Über welchen anderen Gegenstand könnte man dickere Bücher verfassen als über die Erde? Geographische Lehrbücher sind entsprechend schwere Wälzer. Oder sie behandeln Teilgebiete, Astronomie, Geologie, Mineralogie und weitere. Diese Werke füllen umfangreiche naturwissenschaftliche Bibliotheken.

Hier wird der andere Weg gegangen. Weniger als 100 Seiten sollen ausreichen, das Wesentliche herauszufiltern. Dass dies überhaupt möglich war, verdanke ich einem Buch, das der Geograph Alexander Supan verfasst hatte. Ja, der alte Supan! Sagte man früher. In meinem Exemplar, Auflage 1905, sind es immerhin auch fast 1.000 Seiten. Und in der erweiterten Auflage in den 1930er Jahren sind sogar drei umfangreiche Bände daraus geworden.

Ziemlich verblüfft war ich über ein kürzlich erschienenenes Buch. Darin geht es öfters dramatisch zu: Meteoriten können alles vernichten, was auf der Erdoberfläche vorhanden ist, wenn sie auf die Erde aufprallen. Vulkane, Erdbeben erschüttern unser kleine Welt, die Wärmeströme im Meer können abbrechen mit fatalen Folgen, zum Beispiel für unseren Kontinent! Im letzten, dem am meisten gelesenen und kulturgeschichtlich sehr einflussreichen Buch der Bibel, der Apokalypse, wird der Weltuntergang vorhergesagt.

Wenn man sich der Gefährdungen des Erdkörpers, deren Möglichkeiten nicht gelegnet werden können - das Ende der Dinosaurier war auf einen dramatischen Moment der Erdgeschichte zurückzuführen - als Nervenkitzel bedient, dann bitte. Auch in Internetseiten geht es fast immer dramatisch zu. Heranfliegende Meteoriten werden mit Genuss behandelt, das Mittelmeer trocknet aus, weil die Straße von Gibraltar sich schließt und aus diesem schönen Lebensraum wird eine Salzwüste. Man könnte sich am Abgrund sehen, und doch bricht der nächste und übernächste Tag an und wir leben noch.

Unsere Erde ist ein beständiger Raum, kein Gruselkabinett!

Oder: Wenn man heute ein als allgemeinverständlich bezeichnetes Buch über die Erde kaufen will, dann sind es meistens Bildbände, viele Bilder mit wenigen und knapp gehaltenen Bemerkungen dazu. Die antike Fragestellung des Wo?, des Wann? und des Warum? kann man so nicht aufgreifen. Es bleiben Impressionen. Die Erde wird illustriert, es wird nicht berichtet, was sie zusammenhält.

Und es wird auch nicht deutlich, dass alles, was wir sehen und erleben, auf kreislaufförmige Bewegungen zurückzuführen ist. Nichts steht still, alles entstand, besteht im Moment der Gegenwart und wird bestehen, weil es in Bewegung ist. Aber die Bewegungen kehren zum Ausgangspunkt zurück. In der Sprache der Kybernetik ein sich erhaltender Vorgang. Gleichgültig, ob wir dies in unserem Alltag wahrnehmen oder nicht.

Soweit das Programm: das Ergebnis ist auf den folgenden Seiten niedergeschrieben.

Als Bewohner und infolge dessen als Liebhaber der Erde - aber doch als Laie der Erdkunde - habe ich vermutlich manches nicht richtig verstanden. Dementsprechend sind Korrekturen willkommen.

Nehmen Sie gleichwohl freundlich auf, was hier niedergeschrieben ist, und mir schöne, ständig überraschende und oft auch schwierige Nachdenkstunden bereit hat. Das sind ja die besten.

Rolf Derenbach

DIE ERDE IM ALL

Die Erde ist ein Planet, der sich in 24 Stunden einmal um seine Achse und, vom Mond begleitet, in einem Jahr einmal um die Sonne bewegt, von der er Licht und Wärme empfängt, so sagte es herrlich lapidar Alexander Supan. Und er fügte hinzu: jeder Ort auf der Erde ist eine Individualität.

Wie diese Vorgabe auszufüllen ist, das ist die Aufgabe. Zunächst geht der Blick notwendigerweise auf die Verankerung der Erde im All. Sie schwebt darin in beständigen Bahnen und Sie, liebe Leserin, lieber Leser schweben mit ihr. Was ist das für ein Raum? Was geschieht in den so mannigfaltigen Örtlichkeiten und in der Zeit?

Die Dimensionen des Alls

Der größte denkbare Raum ist das All. In ihm ist das Sonnensystem eingebunden als eine kleine Region am Rande der Milchstraße, diese wiederum eine kleine Region unter den Vielen des Alls. Ausgefüllt ist das All durch Materie, die durch für uns erkennbare Gesetzlichkeiten infolge spiralförmiger Bewegungen punktuell verdichtet ist. Es bildeten und bilden sich zunächst Vorformen - verdichteter Nebel aus interstellarer Substanz - und durch weiteres Zusammenziehen der glühende Stern. Dessen Stofflichkeit verändert sich und dabei entweicht ein Teil der Energie. Dieses sind die Strahlen, die in den Weltraum ausströmen und durch zunehmende Entfernung sich abschwächen.

Die Geschwindigkeit der ausgesendeten Strahlen beträgt fast 300.000 Kilometer in der Sekunde! Diese Größe ist die Maßeinheit, mit der die Tiefe des Weltraums vermessen wird. So erreicht ein von der Sonne ausgehender Strahl die Erdoberfläche nach 8 Minuten. Aus der Formel Geschwindigkeit pro Sekunde x Zeit = Entfernung ergibt sich, dass Sonne und Erde 150 Mill. km voneinander entfernt sind. Ein schnell fliegender technischer Gegenstand mit 1.000 km pro Stunde Geschwindigkeit würde die Sonne in 17,2 Jahren erreichen, allerdings dort nicht landen können, da die Sonne ein heißglühender Gasball ist.

Um in die noch viel gewaltigeren Tiefen des Alls einzudringen, wird mit der Einheit "Lichtjahr" gerechnet. Das sind $2,3^{14}$ km / Jahr. Ein uns "nah" gelegener Stern, der Sirius, ist "nur" $8 \frac{1}{2}$ Lichtjahre entfernt. Blickt man in

den Nachthimmel, so erfasst man Strahlen von Sternen, die diese vor Minuten, vor Tagen, vor Jahren und vor Jahrmillionen ausgesandt haben. Ihre räumliche Position ist somit nicht dieselbe, wie wir sie auf dem Himmelsgewölbe im gegenwärtigen Zeitpunkt wahrnehmen. Und im letzteren Fall kann man nicht gewiss sein, ob diese Sterne überhaupt noch bestehen, ob sich ihr Energievorrat verbraucht hat, ob sie schon längst "erloschen", weiße Zwerge geworden sind, ob sie dunkle Löcher oder schwarze Materie bilden, die umgebende Stoffe anziehen und damit den Geburtsort neuer Sterne sind.

Die im gesamten Kosmos herrschende Raum- und Zeitlichkeit wird als Folge einer Urexplosion gesehen. Danach ist das All ein Raum, der vor 13,5 Milliarden Jahren entstanden ist. Also aus einer ehemaligen Masse- wie Energieverdichtung, etwa so groß wie ein Tennisball? Stellt sich gleichwohl die Frage, was vor dieser Explosion aus Materie / Energie vorhanden war? Eine Punktverdichtung, also kein dreidimensionaler Raum und somit auch ohne Zeitlichkeit?

Der in der Folge entstandene, explosiv angetriebene Raum dehnt sich - da es im All keinen Widerstand gibt - kontinuierlich aus, das belegen die Veränderungen des Lichts, welche entfernte Weltkörper aussenden. Alle Sternsysteme treiben auseinander, an den entferntesten 50.000 km in der Sekunde, fast ein Sechstel der Lichtgeschwindigkeit (!). Ob und wie das All begrenzt ist, entzieht sich dem Verständnis ebenso wie auch die Frage, ob neben "unserem" Universum weitere bestehen könnten. (Gleichwohl wird darüber spekuliert).

Ausgefüllt ist dieser Raum durch die Weltkörper, die Sonnen, darunter solche, die um das Tausendfache größer sind als unser Zentralgestirn, die Planeten, kleinere und noch kleinste Körper, die Wolken ausmachen. Hinzu kommt die interstellare Materie, Gase und Staub, und die Strahlung, die die Sonnen aussenden. Lange Zeit hat man gerätselt, wie sich Strahlenwellen in einem fast leeren Raum - also ohne Medium oder wie man früher sagte Äther - fortpflanzen können.

Blaise Pascal (1623 - 1662) hat das unendlich Große und das unendlich Kleine als Welträtsel bezeichnet. Beide Rätsel hat das naturwissenschaftliche Denken und auch Umdenken auch heute nicht gelöst. Der Beginn war gemacht, als Nikolaus Kopernikus (1473 - 1543) die Erde aus der antiken

Vorstellung, dass die Erde das Zentrum sei, herausgelöst hatte. Man kann aber heute hinzufügen, dass das unendlich Einfache und das unendlich Komplexe ebenfalls - wiederum nicht erfasste - Welträtsel sind. Darauf muss immer wieder eingegangen werden.

Unser Blick in das All

Nur durch die Energiestrahlen, die die Sonnen aussenden und die unsere Augen aufnehmen, erhalten wir Kenntnisse über das All. Da die Erde sich um sich selbst dreht und unsere Sonne umläuft, sehen wir ständig von sich verschiebenden Standorten aus in dieses größte aller Welttheater hinein. Die Himmelskunde / Astronomie kann erst die tatsächlichen Verhältnisse enthüllen.

Unser Sehvermögen nimmt mit dem Quadrat der Entfernung ab, daher sehen wir Kleines in der Nähe größer als Großes in der Ferne. So sehen wir die große Sonne, die 150 Millionen km entfernt ist und einen Durchmesser von 1,4 Millionen km hat, und den Mond mit 3.500 km Durchmesser in 400.000 km Entfernung als etwa gleich große Scheiben. Unsere Nachbarplaneten sehen wir - während der Nacht - als kleine Punkte, weil sie als erkaltete Weltkörper das Sonnenlicht zurückwerfen.

Entsprechendes gilt für Bewegungen. Sich bewegende Körper in der Nähe sehen wir schneller unterwegs als weitaus schnellere Bewegungen in der Ferne. Für uns eilen die Sonne wie der Mond im Tages- und Nachtverlauf über das Himmelsgewölbe. Der Mond zum Beispiel rückt innerhalb von zwei Minuten um die Distanz seines Durchmessers vor. So kann man es vor einem Fixpunkt, dem Fensterkreuz zum Beispiel, als Raum- und Zeitercheinung bemerken. Auch für die Helligkeit der von uns gesehenen Gestirne gilt der Zusammenhang zwischen Größe und Entfernung. Am besten zu erkennen ist der Nachbarplanet Venus. Je näher sich Venus und Erde im Verlauf ihrer Umlaufbahnen kommen, umso strahlender steht die Venus als Morgen- und Abendstern am Himmel.

Seit 1609 das Fernrohr erfunden wurde, sieht man viel tiefer in diesen Raum hinein. Erstaunen und schöpferische Unruhe ergriff Galilei Galileo (1564 - 1641), als er mit dem von ihm gebauten Fernrohr die Monde des große Planeten Jupiter zum ersten Mal sah und in dieser Konstellation das Modell des Sonnensystems als Ganzes verstand, als unleugbaren Beweis

des kopernikanischen Weltbildes mit der Sonne als Mittelpunkt. Die heutigen Teleskope bieten ganz andere Möglichkeiten, um die Tiefe des Alls zu erforschen. Andere Techniken der Auswertung des Lichts, das wir einfangen, die Analyse der Radiowellen und die Langzeitphotographie kamen hinzu. Die Durchmusterung des Alls, die Zählung der einzelnen Sterne, die Untersuchung ihrer Besonderheiten, das alles ist sehr weit fortgeschritten. Es ist eine Wissenschaft, die aus dem reinem Herzen des Wissenwollens entsteht, denn eine Verwertung ist ausgeschlossen.

Die Schalen des Weltalls

Die Welt der Planeten, Sterne / Sonnen bildet eine Reihe von Sphären, die wie die Schalen einer Zwiebel die Erde umschließen. So sah es Aristoteles, nur mit dem Irrtum versehen, dass er uns Menschen in den Mittelpunkt stellte. Unsere Sprache geht noch von dem geozentrischen Weltbild vor Nikolaus Kopernikus aus. Wir sagen, die Sonne geht morgens auf, abends unter. Irreführende Sprache! Denn nicht die Sonne läuft über das Firmament, sondern die Erde dreht sich im Tageslauf von West nach Ost und taucht somit in die Sphäre der Sonnenenergie ein und verlässt sie wieder.

Man sollte unbedingt einmal eine Sternwarte aufsuchen, um dies durch die Teleskope einmal sehen zu können. Dann sieht man die kleine Venus und den großen Jupiter als Scheibchen wie auch die Ringe des Saturns. Und ist sehr beeindruckt. Mein herzlicher Dank geht an die ehrenamtlichen Betreiber der Sternwarte auf der Stuttgarter Uhlandshöhe!

Mit unbewaffneten Augen sehen wir unser Sonnensystem, Sonne, Mond und die Planeten, die erste Schale. Sie sind nah, ihre Bewegungen sind erkennbar, die Sonne im Tages-, der Mond im Nachtlumlauf ja am deutlichsten. Schauen wir als irdisch gebundene Wesen auf die Lichtkörper, die so eilig weg- oder uns zustreben. Es sind die Planeten, deren Positionswechsel den Menschen der Antike wie auch uns heute das Bewegende in Allem so vor Augen führt.

Auf der nächsten Schale sehen wir rund 7.000 Sterne, 4.300 von der nördlichen, etwas weniger von der Südhälfte der Erde aus. Es sind diejenigen Sonnen, die groß /nah genug sind, dass ihre Leuchtkraft unseren Sehsinn erreicht. Ein deutlich ins Auge fallendes Exemplar ist der Doppelstern Sirius, der $8 \frac{1}{2}$ Lichtjahre entfernt und daher so auffällig ist, weil er $2 \frac{1}{2}$

mal so groß ist wie unsere Sonne und eine entsprechende Leuchtkraft aufweist. Diese Sterne der zweiten Schale in unserem Wahrnehmungsvermögen bilden den sogenannten Fixsternhimmel, wobei damit ausgedrückt wird, dass sich die Positionen der Sterne untereinander nicht ändern. In diese Schale hat die menschliche Phantasie die Tierkreiszeichen und weitere Konstellationen gelegt, am auffälligsten den Orion. Jedoch diese Schale sehen wir im Jahresablauf als sich verändernd an, sie erscheint jeden Tag um etwa 4 Minuten früher am Nachthimmel, nach einem Jahr wird dieselbe Konstellation eingenommen wie zum Ausgangspunkt. Die ägyptischen Bauern der Antike wussten, dass wenn Sirius am Firmament erscheint, dann folgt die Nilflut, die den Boden fruchtbar macht. Wenn der Orion erscheint, dann wissen wir in unserem nordalpinen Geviert, die Pflanzen gehen schlafen, wie sie im Frühling uns wieder in die Rhythmen der lebenden Natur einhüllen werden. Am Fixsternhimmel wird die Zeit / der Kalender „fixiert“, wie die Seefahrer auf dem offenen Meer ihre Position bestimmten, so vor allem am Polarstern

Was unter günstigen Bedingungen auch zu sehen ist, ist der Nebelstreifen, der sich quer über den Nachthimmel erstreckt. In der Antike sagte man dazu Galaxie, griechisch die Milchstraße. Es ist die nächste Schale am Himmelsgewölbe. Eine spiralförmig, flache Ansammlung von Milliarden von Sonnen im Weltall. Unser Sonnensystem befindet sich am äußeren Rand einer der Spiralarms der Milchstraße. Was seit der Antike als Fixsternhimmel bezeichnet wird, besteht aus den Sternen, die uns in dem Spiralarms am nächsten gelegen sind und eine ausreichende Leuchtkraft aufweisen.

Die äußerste Schicht bilden die Sternhaufen, weitere Galaxien außerhalb unserer Galaxie, deren Anzahl wie Sternenzahl wiederum in die Millionen / Milliarden geht. Nur eine ist dem unbewaffneten Auge erkennbar, die Galaxie im Sternbild Andromeda. Charles Messier (1730 - 1817) begann diese so weit entfernten Regionen des Alls entweder in kugelig oder flach spiralförmiger Gestalt zu katalogisieren. Nach ihm werden sie benannt, Messier 87 oder M 87 zum Beispiel im Sternbild Jungfrau ist eine Galaxie mit höchst merkwürdigen Eigenschaften, sie stößt einen gewaltigen Energiestrom aus. Und zudem ist sie von zahlreichen Galaxien umgeben, ein Galaxienhaufen. Einige Zahlen über die räumliche Struktur des Alls: 10.000 Lichtjahre beträgt der Querschnitt der Milchstraße, 100.000 Licht-

jahre der Längsschnitt, sie ist also flach / spiralförmig. Die bisher fernste beobachtete Galaxie ist 500 Millionen Lichtjahre entfernt!

Doch was geht uns das an? Sicher der gestirnte Himmel als Eindruck der Ordnung im Großen und des Erhabenen, auch der Harmonie. Tatsächlich doch wenig, denn *für uns Menschen sind eigentlich nur zwei Himmelskörper von Bedeutung: die Erde, als der feste Grund, auf dem wir stehen, als materielles Fundament unseres Lebens, und die Sonne, als dessen Erhalterin und unerschöpfliche Energiequelle* (so sagte es Rudolf Kühn).

Ganz ungeprüft kann man diesen Satz aber nicht stehen lassen, denn wenn es um das Innerste der Natur geht - um ihre Einheit in allen ihren Erscheinungen - dann werden kosmische und irdische Sachverhalte nicht zu trennen sein. Gleichwohl: Wissen über das All kann man sich aneignen, und es ist ein schönes Gebiet und die Neugierde, die eine Ursache sehen will, ist immer lebendig: Jedoch das Wissen über diese beiden Kleinen im All - die Sonne und die Erde - das sollte man erwerben. So kehrt man lieber in das ebenso ausgedehnte - aber noch überschaubare - Sonnensystem mit der Sonne als Mittelgestirn zurück.

Das Entstehen des Sonnensystems und der Erde

Die Entstehung des Sonnensystems, Sonne, Erde und der anderen Planeten wird gedeutet:

- entweder als Punktverdichtungen interstellarer Materie zur Sonne und innerhalb ihres Schwerkraftfeldes die der Erde und der weiteren Planeten. So vermutete es einer, von dem man es nicht gerade erwartet hat, nämlich der junge Immanuel Kant 1755,
- oder als Absprengung aus der Sonnenmaterie, wie der Mond auch so aus abgelöster Erdschubstanz entstanden sein könnte,
- oder als Ansammlung kalter Materie aus dem All, die erst durch Verdichtung und somit zunehmendem inneren Druck und der Wirkung radioaktiver Stoffe erst glutflüssig wurde.

Das Alter unseres Sonnensystems wird mit 4,5 Milliarden angenommen, es ist also eine späte Erscheinung, eine wichtige Gegebenheit, wie später begründet wird.

Wie das Sonnensystem im einzelnen entstanden sein dürfte, kann man ganz gut am Beispiel „noch unfertiger“ Verläufe sehen. Den Riesenplaneten Saturn, dessen Kern von einer dichten, aus den Aushauchungen des Kerns entstandenen Gashülle umgeben ist, umkreist in einer Ebene geordnete, zusammen gezogene Materie, die flachen Ringe. Im Fall des noch größeren Jupiters ist der Vorgang des konzentrischen Zusammenziehens von Materie vorangeschritten, ihn umrunden keine Materieringe sondern 16 Monde, darunter Monde, die größer als unsere Erde sind. Der Sonne am nächsten umrunden die viel kleineren, aber dichtesten Planeten Merkur, Venus, Erde und Mars das Zentralgestirn, wie alle anderen in einer Ebene und in gleichen Richtung. Kollisionen sind somit nicht zu befürchten. Der kleinste, Merkur, gibt gleichwohl einige Rätsel auf, und die Venus ist von einer so dichten Gashülle umgeben, so dass man ihre Oberfläche nicht einsehen kann. Auch im Sonnensystem gilt, dass die Natur immer innerhalb des Gemeinsamen *Individualitäten* - so Alexander Supan - ausbildet.

Es gab einen frühen Zeitraum, in dem auch die Erde ein winziger Stern war, Energie abgab und somit wie die Sonne leuchtete. Erst später wurde sie zunächst zum dunkel-grauen Planeten, der - wie die benachbarten, erdähnlichen Planeten - von einer erkalteten, festen Gesteinsschicht abgedeckt ist. Aus der glühenden Vorform der Erdkugel ist im Zeitablauf durch zunehmende Verdichtung der Materie ein zwar kleiner aber schwerer Körper entstanden, während die Sonne ein großer, aber leichter Körper geblieben ist.

"Groß" und "klein" bezieht sich nicht nur auf die Ausdehnung, sondern auch auf die Masse, die in den Körpern des Sonnensystems eingebundene Materie. So enthält die Sonne 99,9 % der Masse an Teilchen des gesamten Sonnensystems, die in den Planeten gebundene sowie die der kleinen Partikel, der Kometen, Meteoriten bis zu den Stäuben den geringen Rest. Die letzt genannten leuchten als Sternschnuppen im Bruchteil einer Sekunde auf, wenn sie in die Nähe der äußersten Erdhülle geraten. Sind diese als Meteoriten größer, erreichen sie die Erdoberfläche und können heftigsten Schaden anrichten, so Anfang des 20. Jahrhunderts als ein Meteorit über Sibirien niederging.

Der schalenförmige Aufbau des Erdkörpers

Das äußere, erkaltete Gesteinsgerüst der Erdoberfläche ist mit durchschnittlich 30 km Tiefe sehr dünn - nur 0,5 % des Erdradius - aber doch beständig und fest genug, dass der Energiebestand der Erde, ihre Eigenwärme, erhalten bleibt.

Geht man in die Tiefe der Erdoberfläche hinein - die tiefste Bohrung mit 12 km befindet sich auf der Halbinsel Kola - gerät man in den Bereich der Erdwärme.

Das Erfahrungsmaß ist, dass mit durchschnittlich 30 m Tiefe die Temperatur um 1° Celsius zunimmt. Je tiefer, umso mehr wird das feste Gestein, wie wir es an der Erdoberfläche erleben, heiß-plastisch. Diese Schale wird der den Erdkern umgebende Mantel genannt, der aufgrund der hohen Eigenwärme strömend-beweglich ist. Die Auswirkungen davon sind, dass die äußere Schale auf dem Mantel schwimmt, mit beweglich ist, wenn Bewegungen im Mantel auftreten. Nur gelegentlich bricht durch Vulkane - ein Spät ereignis der Erkaltung - das heiß glühende Innere, die Magma, griechisch = Brei oder Gemisch, auf. In kurzer Frist erkaltet die aus der Magmaschicht empor geschleuderte Materie, die Lava, zu Gestein, sei es als Felsmassen oder mehr oder weniger locker als Gesteinsbrocken bis hin zu Sand und Staub.

Das spezifische Gewicht der Sonne ist 1,4, der Erde 5,5. Was bedeutet, dass die gasförmige Sonnenkugel 1,4 mal, die Erdkugel 5,5 Mal schwerer ist als eine gleich große Wasserkugel. Unsere festen Nachbarn sind der Merkur mit 5,7, der Mars mit 3,9 und die Venus mit 4,7. Jupiter mit 1,3 und Saturn mit 0,7 sind zwar große aber leichte Planeten.

Die Maßeinheit für das Gewicht eines Körpers ist das Gewicht eines Kubikdezimeter Wassers = 1 kg. Setzt man diese Größe gleich 1,0, dann ist das Gewicht leichterer oder schwererer Körper ein Vielfaches dieser Einheit, das "spezifische" Gewicht.

Das spezifische Gewicht der Gesteine an der Erdoberfläche ist das 2,2 bis 2,7 fache, das des ozeanischen Wassers etwas mehr als 1,0, da in ihm Salze enthalten sind, das der Luftschale nur 0,0013; im Kern des Erdkörpers ein deutlich höherer Wert dagegen, vielleicht 8, und nach anderen Vermutun-

gen über die Zusammensetzung des Kerns der Erde 11. Es wird vermutet, dass der Erdkern aus Nickel und Eisen unter hohem Druck und Temperatur besteht. Man ersieht aus diesen Vergleichswerten, dass das, was wir als "schwer" empfinden, ein Stein zum Beispiel, im Vergleich zum viel schwereren Erdinneren "leicht" ist. Es erklärt sich daraus, dass in der Drehbewegung der Erde um sich selbst die leichtere Materie nach Außen gedrängt wurde, die schwerste im Inneren sich sammelte.

Die äußere Hülle

Was die sonnennahen Nachbarplaneten der Erde eint, dass sie wie die Erde nicht nur einen äußeren festen Gesteinsrand besitzen, sondern zusätzlich eine Lufthülle, die aus Aushauchungen während der Erkalting entstanden ist. Der Mars hat eine sehr dünne Hülle, daher kann man auf seine Oberfläche sehen. Sie zeigt ein zerklüftetes Bild mit tiefen Senken, Rinnen und der höchste Berg ragt mit 35 km viel höher als der Mount Everest hinauf. Die Venus hat eine sehr dichte Lufthülle; wie ihre Oberfläche beschaffen ist, weiß man daher nicht. Sie besteht aus ganz anderen Gasgemischen als die auf der Erde.

Den Begriff Hülle muss man ganz wörtlich nehmen, als Schutz vor der eisigen Kälte, die im Weltall herrscht, und als Schutz vor dem Zuviel an Energie, die die Sonne ins All aussendet. Die Durchschnittstemperatur an der Erdoberfläche beträgt 15° C, im Inneren des Erdkerns dagegen (vermutete) 5.000° C. Unsere Körpertemperatur um 37° C. Soweit ein erster Blick auf das Lebende, dem später nachgegangen wird.

Die Energiequelle nach der Erkalting kommt von der Sonne. Nur 1 % des Wärmeenergiehaushalts der Erdoberfläche aus dem Erdinnern. Zusammen mit den mechanischen Kräften der Erdrotation um sich selbst und um die Sonne bildet die Sonnenenergie den Motor, der alles in Bewegung setzt - die kosmologische Dimension ist in Allem - unsere Existenz eingeschlossen - allgegenwärtig.

Periodische Bewegungen im Sonnensystem

Alles was im All wie im Sonnensystem besteht und beständig ist, ergibt sich aus (fast) kreisförmiger Bewegung, das heißt ein Bewegungsverlauf,

der zum Ausgangspunkt zurückkehrt. Lineare Bewegungen, wie die der Strahlen, verlieren sich dagegen im All.

Zum Einen umläuft die Erde innerhalb eines Jahres das Zentralgestirn der Sonne. Da der Abstand zur Sonne mit 150 Mio. km bekannt ist, und die Umlaufbahn fast kreisförmig ist, ist die Umlaufgeschwindigkeit leicht zu berechnen: 10.700 km in einer Stunde, knapp 30 km in einer Sekunde, 214.000 km in einem Tag. Geschwindigkeiten, die man zunächst unglaublich findet. Nach 365 Tagen hat sie den Ausgangspunkt wieder erreicht.

Zum Andern dreht sich die Erde in 24 Stunden um sich selbst. Diese Erscheinung wird ebenso wie der Umlauf der Erde um die Sonne als andauernde Folge der Entstehung erklärt. Wenn sich verdichtende Materieteilchen treffen, dann kann es sein, dass sie mittig aufeinander stoßen, aber viel wahrscheinlicher ist es, dass sie an den Rändern aufeinander stoßen. Und daraus ergibt sich ein Drehimpuls, wie leicht am Beispiel der starren Kugeln auf dem Billardtisch zu sehen ist, beide Kugeln drehen sich dann um sich selbst. Wenn nun fast alle Materieteilchen diesen Drehimpuls aufweisen, so wird auch ihr Gesamtkörper diese Drehbewegung aufweisen und diese in der Zeit erhalten. Die Erdrotation ist ein "Erbe" aus ihrer Entstehungsgeschichte.

Die Auswirkungen lassen sich rechnerisch erfassen. Da der Erdumfang 40.000 km bekannt ist, bewegt sich ein Punkt auf dem Äquator mit 1.670 km pro Stunde oder 464 m pro Sekunde, an den Polen dagegen 0, der Punkt an diesem Ort dreht sich gewissermaßen um sich selbst. Die Bewegungsgeschwindigkeit eines Ortes zwischen dem Äquator und den Polen liegt dazwischen.

Sie wird mittels der trigonometrischen Formeln errechnet, das heißt der Proportionen zwischen den Seiten und Winkeln des Dreiecks. Liegt der Punkt zum Beispiel am Bodensee, so berechnet sich die Geschwindigkeit, indem man die Geschwindigkeit der Äquatorpunkte (1760 km/ Stunde) mit dem Cosinus des Winkels des Bodenseepunktes am Erdmittelpunkt, den man der Tabelle entnimmt, multipliziert. Es ergibt sich daraus die Geschwindigkeit dieses Punktes auf 312 m pro Sekunde. Befindet man sich aber auf dem Gipfel des benachbarten hohen Säntis - Berges, dann ist der Wert etwas höher, da der Gipfelpunkt einen weiteren Umlaufkreis um den Erdmittelpunkt aufweist

Geht man nun eine Stufe höher in die Geschwindigkeiten des Sonnensystems und der Milchstraße, so sieht man, dass diese Werte regelrecht gemächlich sind. Die Sonne dreht sich innerhalb 25 Tage um sich selbst und ein Punkt auf dem Sonnenäquator mit einer Geschwindigkeit von ungefähr 2 km in der Sekunde. Dabei ist die Sonne im Vergleich zu anderen Sternen deutlich träger unterwegs.

Das Sonnensystem als Ganzes dreht sich mit 220 km pro Sekunde um den Mittelpunkt der Milchstraße, trotz dieser deutlich höheren Bewegung dauert es doch 200 Mio. Jahre bis die Bahn zum Ausgangspunkt zurückgekehrt ist. Raum, Zeit und Bewegung haben ihre sehr unterschiedliche und doch immer ins Ganze eingebundene Proportionalität. Unsere gewohnten Vorstellungen von Raum und Zeit verflüchtigen sich um so mehr, je tiefer wir in die Tiefen des Alls hineinsehen.

Schauen wir aus dem Fenster! Man bemerkt im Moment des Hinausschauens, dass die Wolken ziehen und dass der Wind die Blätter der Bäume bewegt. Und später bemerkt man, dass die Dämmerung und danach die Nacht beginnt. Und dann erlebt man die Bewegungen der Sterne am Himmelszelt. Am Tag sieht man wie in Minutenschnelle der Schattenwurf des Sonnenlichts sich verändert. Das einfache Experiment sollte man einmal ausführen. Man stellt an einem wolkenlosen Tag einen kantigen Gegenstand auf den Tisch und markiert den Schlagschatten auf der Tischfläche. Nach jeweils 10 Minuten markiert man wieder und noch einmal nach 10 Minuten, man hat - so scheinbar in der Ruhe des Zimmers - die kosmischen Bewegungen auf der Fläche des Tisches eingefangen. Setzt man das Experiment fort, so gelangt zum alltägliche Rhythmus, der durch den Tag- und Nachtrhythmus - die Zeit der Sonne und die Zeit der Sterne - unterteilt ist. Für uns der Rhythmus des Wachseins und des Schlafes.

So finden - dies als ein Beispiel unter unzähligen - die kosmologischen Gegebenheiten ihre Entsprechung oder Fernwirkung auch im Menschenleben. Alles bewegt sich *im Sauseschritt, wir sausen mit* (Wilhelm Busch). Und dies durch die Anziehungskraft des Erdkörpers, die alles bindet, was sich auf der Erdoberfläche befindet, wie auch im Verhältnis zwischen dem Erdkörper und der Sonne. Wie ist diese Bindung zu verstehen?

Die - geheimnisvolle - kosmologische Kraft der Anziehung

Geheimnisvoll ist sie, weil zwar ihre Auswirkungen - die Bindung der Körper auf der Erdoberfläche und die gegenseitigen der Körper im All in höchst einfachen Gleichungen fassbar sind - jedoch nicht ihre Ursache, jedenfalls bis heute nicht. Sie hat zwei Namen:

- Als die von Isaac Newton benannte Gravitation (lateinisch = Schwere) im Bereich der Himmelsmechanik, die verursacht, dass die Weltkörper des Alls sich in festen Bindungen und Bewegungsverläufen befinden.
- Als Schwerkraft oder als Haftung der Gegenstände auf der Erdoberfläche an den Erdkörper, wahrgenommen und gemessen als vertikaler, zum Erdmittelpunkt zielender Druck.

Die irdische Schwerkraft oder Anziehungskraft

Auf unserem irdischen Lebensraum können wir das Wirken der Bindungskraft unmittelbar beobachten und messen. So zum Beispiel, wenn wir einen Stein hochheben und loslassen. Er fällt zur Erde, zu einem geringen Anteil deshalb, weil der Druck der Luftsäule ihn niederdrückt, entscheidend ist die Anziehungskraft des Erdkörpers - nur 1 / 300 der Wirkung ergibt sich aus dem Luftdruck. Der Bewegungsstrahl geht vom Stein zum Mittelpunkt der Erde. Der Beleg für die Allgegenwärtigkeit der Anziehung / Bindung und des Richtungsverlaufs ergibt sich daraus, dass auch auf jedem Punkt der Erde - also zum Beispiel in dem uns entgegengesetzten Australien - der Stein zum Mittelpunkt der Erde fällt. Es besteht somit ein gleichwirksames Anziehungsfeld / Schwerefeld um den Erdkörper.

Aus der zunehmenden Fallgeschwindigkeit des Steins, bis zum Aufstoßen, ergibt sich, dass die Wirkung der Anziehung umso größer ist, je kürzer der Abstand zwischen Stein und Erdmittelpunkt ist, die Wirkung schwächt sich im Anziehungsfeld somit mit der Entfernung ab. Um die Wirkung der Anziehung zu isolieren, den Einfluss des Luftwiderstandes auszuschließen, benutzt man ein luftleeres Vakuum - so ging Galilei Galileo vor - und man sieht dann, dass eine Feder und ein Stein gleich schnell zum Boden des Vakuums fallen. Aus diesem Experiment ermittelte er den exakten Verlauf der Bewegung, die der Beschleunigung im Fallen, das heißt, dass in jeder noch so kurzen Zeit die Fallgeschwindigkeit größer wird.

Wird der Stein senkrecht in die Höhe geworfen, dann wirkt die der Anziehung entgegengesetzte Stoßkraft, die bis zu einer gewissen Höhe reicht, danach wirkt die Anziehungskraft in der Umkehrung des Bewegungsverlaufs. Wird der Stein in einem Winkel geworfen, dann ergibt sich ein bogenförmiger Verlauf. Der Luftwiderstand verringert nach und nach die Auswirkungen der Stoßkraft, und umso mehr wirkt sie die Anziehungskraft aus. Macht man dieses Experiment im Vakuum - zum Beispiel in einer schwerelosen Raumkapsel - so verläuft die Bewegung linear in Richtung des Winkels der Stoßkraft. Die Bewohner der Raumkapsel müssen dementsprechend durch Stöße ihre Bewegungen und die der Gegenstände in der Kapsel selbst steuern.

Wie kamen die Bewohner der Raumkapsel überhaupt in ihre Position? Doch offensichtlich durch eine Stoßkraft, die größer ist als die irdische Schwerkraft. Um eine Rakete in eine Umlaufbahn zu befördern, wird eine Stoßkraft von mindestens 40.000 km / Stunde beim Start benötigt.

Die Gravitation der Himmelsmechanik

Geht man von der (sicheren) Annahme der Einheit der Natur aus und richtet den Blick auf die Bewegungen der Planeten im Verhältnis, so fragt sich, ob Anziehung / Bindung - wie sie auf der Erde anschaulich beobachtet werden kann - auch die Bewegung in unserem Sonnensystem bestimmen.

Warum fällt der Winzling Erde nicht - wie der Stein auf der Erde - angetrieben durch die Anziehungskraft der ungleich größeren Sonne in sie hinein, sondern umrundet sie in einer fast kreisförmigen Bahn? Zunächst geht der Blick auf den Nachweis der Anziehungskraft aller Körper untereinander, wenn sie ausreichend benachbart sind.

Da versagt zunächst die Anschauung, die beiden Kugeln auf dem Billardtisch ziehen sich ja nicht an, sie bleiben in ihrer Position. Der Grund dafür ist, dass ihre Masse zu klein ist. Fällt man jedoch das Lot in der Nähe des schottischen Berges Shiehallion - gälisch für Zauberberg - so weicht das Senkblei - so der alte und anschauliche Name - etwas in Richtung des freistehenden Granitberges ab. Der Beleg war somit erbracht, dass eine hinreichend große Masse das Lot anzieht, es von der Richtung zum Erdmittelpunkt seitlich ablenkt. Dieses Experiment, das 1774 stattfand, war eine

Sternstunde der Physik der schweren Massen. Wie auch der Mathematik, denn aus dem Abweichungswinkel des Lots, der spezifischen Dichte des Granits sowie des Erdradius konnte ohne weiteres das Gewicht der Erde errechnet werden.

Das Experiment wurde oft wiederholt, in Deutschland am Beispiel des Harzes. Und indem der Abstand der Lotung von der Bergmasse des Brocken verändert wurde, konnte man auch die Reichweite der Anziehungskraft ermitteln: Auch hier gilt wie beim Sehen, dass die Wirkung im Quadrat der Entfernung abnimmt. Als es jedoch von Alexander von Humboldt am Chimborazo in den Anden wiederholt wurde, trat die Wirkung der Lotabweichung kaum ein. Die Schlussfolgerung besteht darin, dass nicht das Volumen sondern die Schwere des Berges ausschlaggebend ist. Der Chimborazo ragt zwar über 6.000 m hoch, aber als aufgeschütteter Vulkanberg ist er leicht, Shiehallion und Harz, die beide nur um 1.000 m aufragen, sind als alte Granitberge viel schwerer, ihre Anziehungskraft daher viel höher. Die Anziehungskraft ist eine Funktion der Schwere / Dichte weniger des Volumens des Körpers.

Ein notwendiger Blick geht auf die Kugelgestalt der Körper im All. Ihre Anziehungskraft breitet sich somit gleichförmig aus, wenn auch mit geringerer Intensität bei zunehmender Entfernung. Wäre die Form der Sonne und der Planeten nicht kugelförmig, so herrschte Chaos der Bewegungsabläufe, wie es bei der Entstehung des Sonnensystems vermutlich zunächst bestanden hat. Die Natur schafft durch Bewegung die Formen, die die Funktion des Beständigen ermöglichen.

Bleibt gleichwohl die Frage bestehen nach der Gültigkeit der Übertragung dieser Erkenntnisse auf das Sonnensystem.

Einer der Faktoren besteht darin, dass keine Massenverdichtung im All jemals in einem irgendwie gearteten Ruhezustand war. Es ist nicht so, dass die Weltkörper - wie ein Auto, das durch den Motor in Bewegung gesetzt wird - ständig durch eine immer wieder fortdauernde Stoßkraft vorangetrieben werden. Die Weltkörper schweben in geordneten Bahnen, die die Beständigkeit bewirken. Auch dies kann auf Erden im luftleeren, schwerelosen Vakuum nachgewiesen werden. In diesem Raum bewegt sich ein zu Beginn des Experiments angestoßener Körper - da weder die Schwerkraft der Erde noch der Luftwiderstand auf ihn einwirken - linear, in der Winkel-

richtung des Anstoßes vorwärts, ohne dass die Bewegung langsamer wird. In der Physik nennt man diesen Verlauf seltsamerweise "Trägheit", müsste es doch richtiger Andauer / Beständigkeit des Bewegungsverlaufs heißen.

Auch die Erde würde sich gradlinig im Winkel der in ihrer Entstehung gegebenen Stoßkraft fortbewegen, wenn sie nicht der Anziehungskraft der Sonne ausgesetzt wäre. Sie unterliegt jedoch dieser und in der Folge ergibt sich eine Winkelabweichung in Richtung der Sonne. Sie "stürzt" - so formulierte es Isaac Newton (1642 - 1726) - in den schwereren Körper, jedoch nur insoweit als ihre lineare Bewegung ihr in diesem Einstürzen die Gegenkraft ihrer andauernden Eigenbewegung entgegengesetzt. Sie nähert sich somit - in einer Zeiteinheit - nur um eine bestimmte Distanz an. Und indem ja beide kugelförmigen Weltkörper sich drehen, bleibt diese Distanz in der Zeit immer gleich groß. Es entsteht somit die Umlaufbahn der Erde um die Sonne, also weder eine Entfernung nach Außen wie nach Innen - eine in der Bewegung und dem Wechselspiel der kosmischen Kräfte angelegte Beständigkeit. Erkannt wurde dies im 17. Jahrhundert ausgehend vom kopernikanischen Modell des heliozentrischen Weltbilds, den hartnäckigen Nachforschungen über den jeweiligen Stand der Planeten durch Tycho Brahe (1546 - 1601), durch Johannes Kepler (1571 - 1630), der aus der Nutzung der Daten Tycho Brahens nachwies, dass nicht kreisförmige sondern elliptische, wenn auch fast kreisförmige Bewegungen vorliegen - bis zur Vermutung Robert Hookes (1635 - 1702) und schließlich zur in mathematischer Form geronnener Synthese Isaac Newtons der "klassischen" Himmelsmechanik. Sie lautet:

G (Gravitas) = M_1 (Masse der Sonne) * M_2 (Masse der Erde) geteilt durch e (Entfernung im Fall der Erde 150.000 km) im Quadrat (also schnell abnehmend)

Aber diese Formel ist noch kein Ursache- Wirkungs Zusammenhang. Max Planck (1858 - 1947) und Albert Einstein (1879 - 1955) haben zu Beginn des 20. Jahrhunderts neue Tore zum Verständnis der Vorgänge im Großen und Kleinen geöffnet. Sind "Masse", die in einem Körper vorhandenen Teilchen, und "Energie" strikt zu unterscheiden? Ist die Gravitationskraft, die einzige, die alles zusammenhält, oder gibt es weitere? Man findet sie, wenn man vom unendlich Großen in das unendliche Kleine übergeht.

DIE STOFFLICHKEIT DES ALLS UND DER ERDE

Die Begriffe "Materie", "Masse" und "Stoff" gelten ja doch als das Ödste, was man sich so vorstellen kann. Aber welche Wunder tun sich da bei näherer Betrachtung auf! Auch in der Weise, dass man die Einheit der Natur im Großen wie im Kleinen erleben kann, darunter auch die Wechselwirkungen der Naturkräfte. Zur Gravitation kommen noch drei weitere hinzu.

Nimmt man doch einen Granitstein auf und schaut ihn sich an, was sich da zeigt, kleine, aber deutlich unterschiedliche Körnchen machen den Stein aus. Oder man schaut in den Himmel, welche Farben sich da zeigen, oder blickt auf das tiefblaue Meer, so sind das Eigenschaften wie Erlebnisse, die eine materiell-stoffliche und energetische Grundlage haben. Die Wissenschaft, die sich damit beschäftigt, ist die Chemie, oder Scheidekunst, wie man früher einprägsamer sagte. Damit ist die Methodik verdeutlicht, das Scheiden der Stoffe, aus denen ein vorgefundener Gegenstand besteht. Ihr Ziel ist es, aus der Vielzahl der gasförmigen, flüssigen und festen Substanzen die Grundstoffe, die chemischen Elemente, zu ermitteln. Im ersten Schritt wird man durch mechanische Scheidung mit dem Herangehen des Reinigens, Aufspaltens, und Filtrierens die Ausgangsstoffe eines Gesteins feststellen. Im zweiten Schritt greift man mit Lösungsmitteln, Säuren, die Stoffe an und setzt die optischen Geräte, das Elektronenmikroskop, ein. Im Ergebnis erreicht man die Stoffe, die mit mechanischen und chemischen Methoden nicht mehr aufgespaltet werden können. Dies sind die chemischen Elemente. Im Verlauf des 19. Jahrhunderts hatte man 100 chemische Elemente auf diese Weise isoliert, heute sind es 118, manche davon, so vermutet man, müssten bestehen, gefunden hat man sie noch nicht.

Atome unterscheiden sich nach ihrer Masse, die sich aus der Anzahl der Teilchen des Kerns, den Protonen und Neutronen, ergibt. Der Kern wird von einer Anzahl von fast masselosen Elektronen umkreist. In diesem Zustand ist ein Atom im Gleichgewicht. Da die Natur aber immer Varietäten aufweist, so gibt es auch Isotope - Atome mit mehr oder weniger Neutronen als Protonen. Wenn auch die Zahl der Elektronen nicht der Norm entspricht, dann ist das Element ionisiert. Für die Energieflüsse in der Materie ist das wichtig, doch so tief in die Geheimnisse der atomaren Welt muss nicht eingedrungen werden.

So hat der Kern des Wasserstoffs $\boxed{\text{H}}$ nur ein Proton, Helium $\boxed{\text{H}}$ zwei, Lithium $\boxed{\text{Li}}$ 3 und so geht es weiter in der Folge der natürlichen Zahlen aufsteigend weiter. $\boxed{\text{O}}$ Sauerstoff, der große Star unter den irdischen Elementen besitzt 8 Protonen / Elektronen. Ist die erste Schale mit Elektronen gesättigt, so entsteht eine zweite, eine dritte usw. Beim Sauerstoff sind es die beiden inneren mit jeweils 2, die äußere mit 4 Elektronen. Das so begehrte Gold $\boxed{\text{Au}}$ hat 79 Protonen / Elektronen auf 14 Schalen. Und Uran $\boxed{\text{U}}$ sogar 92 auf 18 Schalen, um genauer zu sein, es sind nur 7, da es Doppelschalen gibt. Das Bild der den stabilen Kern umkreisenden Elektronen, das wir aus der Schule kennen, ist nicht falsch, doch die Vermutung, dass Atome festgefügten Bausteine sind, trifft nicht zu, so zeigt es die Kernphysik.

$\boxed{\text{H}}$ Wasserstoff	1	!	Je einfacher die innere Struktur des Atoms ist, und somit leichter, desto häufiger sind sie vertreten, je komplizierter umso geringer sind sie. Wie sich aus der folgenden Tabelle ergibt, sind es nur 12 chemische Elemente, die den Aufbau der Erdoberfläche im Wesentlichen ausmachen, und dies auch nur die leichtesten.	
$\boxed{\text{C}}$ Kohlenstoff	6	!		
$\boxed{\text{N}}$ Stickstoff	7	!		
$\boxed{\text{O}}$ Sauerstoff	8	!		
$\boxed{\text{Na}}$ Natrium	11			
$\boxed{\text{Mg}}$ Magnesium	12			
$\boxed{\text{Al}}$ Aluminium	13			
$\boxed{\text{Si}}$ Silizium	14	!		
$\boxed{\text{Cl}}$ Chlor	17			
$\boxed{\text{K}}$ Kalium	19			
$\boxed{\text{Ca}}$ Kalzium	20			
$\boxed{\text{Fe}}$ Eisen	26			
				Nach zunehmender Protonenzahl geordnet sind sie in der Tabelle ausgewiesen. Die Ausrufezeichen ! bedeutet, dass diesen Elementen besondere Beachtung zukommt.
				$\boxed{\text{H}}$, $\boxed{\text{N}}$, $\boxed{\text{O}}$ für alles, was auf unserer Erd-

oberfläche geschieht, $\boxed{\text{Si}}$ für die Welt der Gesteine, $\boxed{\text{C}}$ für alles was die organische Welt ausmacht. Wie sind diese Stoffe im Sonnenkörper und in den drei Hüllen der Erdoberfläche - der Luft, des Wassers und der Gesteine - vertreten?

Die Stofflichkeit der Sonne

Die Sonne ist ein leichter, gasförmiger Körper, der - wie das All insgesamt - fast ausschließlich aus Wasserstoff $\boxed{\text{H}}$ besteht. Unter den Hitze- und Druckverhältnissen, die auf der Sonne herrschen, ist der Wasserstoff nicht stabil, d.h. er zerfällt zu Helium $\boxed{\text{He}}$, das zweitleichteste Element, wobei

Energie frei wird, die Sonnenenergie, die als Strahlen auf die Erdoberfläche trifft und dort - energetisch gesehen - alles in Gang setzt.

Die Sonne verzehrt sich durch ihre Strahlung gewissermaßen, d.h. ihre Lebensdauer ist begrenzt und damit die des Sonnensystems als Ganzes. Sterne werden geboren, bestehen in einer in Milliarden Jahren gemessenen Dauer und vergehen als Körper, aber nicht als übrigbleibende Materie / Energie.

Die Stofflichkeit der Lufthülle

In der Lufthülle		Stickstoff ist gasförmig, der Stoff, der mit sich selbst eine Verbindung eingeht $\boxed{\text{N}_2}$, aber mit dem allgegenwärtigen Sauerstoff keine. Das bedeutet, dass Luft ein Gemenge der beiden Gase ist, Sauerstoff geht in diesem Fall nur mit sich selbst eine Verbindung ein, ein zweiatomiges Molekül, $\boxed{\text{O}_2}$ und $\boxed{\text{O}_3}$ das dreiatomige Ozon. Wäre es nicht so, es gäbe kein Leben.
Stickstoff $\boxed{\text{N}}$	78,1 %	
Sauerstoff $\boxed{\text{O}}$	21,1 %	
weitere	0,8 %	

In der Luft sind mit geringen Anteilen weitere gasförmige Stoffe enthalten, so das lebensnotwendige $\boxed{\text{CO}_2}$, wie auch Staub und über dem Meer und Land durch Sonneneinstrahlung aufgestiegener Wasserdampf. Die Lufthülle ist - weil ihre Elemente so flexibel sind - die Klammer, die die Ozeane und die Festländer in eine Hülle - den wirkungsmächtigen Wasserkreislauf - einbinden.

Während der Erkaltung der Erdoberfläche stiegen vor allem Methan $\boxed{\text{CH}_4}$ und Ammoniak $\boxed{\text{NH}_3}$, ein lebensfeindliches Gemisch auf. Erst als das Leben aufblühte; stieg der Anteil des freien Sauerstoffs an, so dass die Erde sich mit einem grünen Teppich, der Vegetationshülle, auf den Festländern bedecken konnte.

Die Stofflichkeit des Wasserhülle

Wenn Sauerstoff sich mit Wasserstoff verbindet, entsteht Wasser, $\boxed{\text{H}_2\text{O}}$. In diesem Fall verbinden sich zwei (leichtere) Wasserstoffatome mit einem

Sauerstoffatom. Wasserstoff ist somit gebunden, während er in der Sonnen- substanz frei ist.

In der Wasserhülle

Sauerstoff $\boxed{\text{O}}$	85,9 %
Wasserstoff $\boxed{\text{H}}$	10,8 %
Chlor $\boxed{\text{Ch}}$	1,9 %
Natrium $\boxed{\text{Na}}$	1,1 %
weitere	0,3 %

Der Wasserstoff übt somit zwei Rollen aus: zum einen als solarer Energieproduzent, zum anderen als das erdgebundene Wasser, das für alle Lebensprozesse auf der Erde wichtig ist. Wasser löst andere Stoffe auf, so dass in der Wasserhülle noch weitere Substanzen, Salze, vorhanden sind. Das ozeanische Wasser ist zudem ein Energiespeicher mit ausgleichender

Wirkung, und es treibt - über die Verdunstung und Verlagerung auf das Festland - an, was unter anderem uns ausmacht. Wasserkörper, die wir zu zwei Drittel nun mal sind.

Die Stofflichkeit des festen Gesteins

In der Gesteinshülle

Sauerstoff $\boxed{\text{O}}$	46,6 %
Silizium $\boxed{\text{Si}}$	27,7 %
Aluminium $\boxed{\text{Al}}$	8,1 %
Eisen $\boxed{\text{Fe}}$	5,0 %
Kalzium $\boxed{\text{Ca}}$	3,6 %
Natrium $\boxed{\text{Na}}$	2,8 %
Kalium $\boxed{\text{K}}$	2,6 %
Magnesium $\boxed{\text{Mg}}$	2,1 %

Wie die Tabelle zeigt, sind 8 Stoffe von mengenmäßiger Bedeutung, der Rest macht nur wenige Prozent Gewichtsanteile aus. Man erinnert sich an die Schulweißheit: *Feldspat, Quarz und Glimmer, die vergess' ich nimmer*. In einem Granitstein erkennt man sie als zusammengebackenes Gemenge. Zerteilt man den Stein, so erhält man drei Häufchen Quarz, Glimmer und Feldspat, dies sind die Grundeinheiten, die Minerale, aus denen der Granit gebildet wird.

Nimmt man den Quarz als Beispiel. Dieser ist eine Verbindung des Elements Silizium $\boxed{\text{Si}}$ mit Sauerstoff $\boxed{\text{O}}$. Silizium ist ein Nichtmetall mit 2 Elektronen auf der äußeren Schale und eigentlich sehr reaktionsträge. Kommt jedoch Silizium mit dem Gas Sauerstoff in Kontakt, dann bildet sich das Molekül aus einem Siliziumatom und zwei Sauerstoffatomen, in der Fachsprache Siliziumdioxid, $\boxed{\text{SiO}_2}$, für uns Quarz.

Quarz ist ein neuer Stoff mit ganz anderen Eigenschaften, sehr fest, hell, durchscheinend - so wie man es an einem reinen Bergkristall bewundern kann.

Die Architektur der Stoffbildung am Beispiel des Quarzes

Doch wie entsteht aus einem Atom oder aus Atomverbindungen so etwas, wie ein mächtiger Gebirgsstock aus Quarzit, wie man es zum Beispiel im finnischen Lappland erlebt? Vom Atom, zum Molekül, von den Molekülketten zum Mineral, zum festen Stein als Mineralgemisch, das unter den Bedingungen einer sich erkaltenden Außenhaut der Erde entstanden ist, und schließlich zum aufragenden Gebirge wird. Wie entstehen aus den Atomen Verbände, die ein Mineral bilden? In der anorganischen Welt, die der Mineralogie, unterscheidet man insgesamt rund 6.500 Mineralien, darunter ja auch besonders schön gefärbte Schmucksteine.

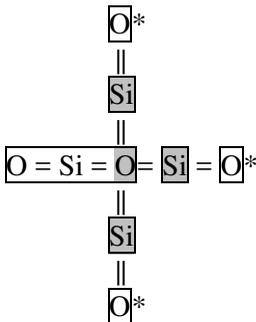
In welcher Kleinheit befindet man sich in der atomaren Welt? Teilt man einen Meter ein milliardstel Mal, dann befindet man sich auf der Ebene des Nanometers. Um nicht diese Einheit mit den vielen Nullen nach dem Komma schreiben zu müssen, ist die Schreibweise angepasst worden, 10^{-9} cm. Aber damit ist man noch nicht in der Tiefe des unendlich Kleinen der Atomwelt angelangt, ein Atomkern misst 10^{-14} m.

Dazu muss man zuerst auf die Struktur der Atome sehen. Die Chemie begnügt sich damit, die Grundstoffe zu erkennen und ihre Eigenschaften und ihre Reaktionen zwischen ihnen zu untersuchen. Die Atomphysik geht einen Schritt weiter und

untersucht das Innere der chemischen Elemente, ihre Struktur. Ein Atom - um es zu wiederholen - besteht aus einem Kern mit einer bestimmten Zahl von Protonen, der von einer gleichen Zahl von Elektronen auf einer oder mehreren Umlaufbahnen / Schalen umkreist wird. Unmittelbar ins Auge springt der Vergleich der atomaren Körper zur Welt der Sonnen und Planeten. Während jedoch im Fall der Sternwelt die Gravitationskraft den Zusammenhalt und die Bewegungen bestimmt, sind es im Bereich der Atome drei weitere grundlegende Naturkräfte. Die stärkste ist die Kraft, die die Bestandteile des Atomkerns, die Protonen, Neutronen und weitere, zusammenhält. Ihre Reichweite beschränkt sich auf den Atomkern. Schwächer aber mit mehr Reichweite ist die Kraft, die die Elektronen in ihrer kreisförmigen Bahn um den Kern halten. Und wiederum schwächer aber räumlich ausgedehnter ist die, die Atome mit sich selbst und mit anderen Elementen zu Gruppen bindet, dies sind die Moleküle.

Der Aufbau von den Elementarteilchen zu einem Quarz - Mineralkörnchen mit etwa 3 mm Durchmesser verläuft über drei chemische Bindungsstufen, wie nun beispielhaft - und auch so vereinfacht, wie es für diese Studie notwendig ist - erläutert wird. Wie gesagt, sind zwei Elementarteilchen beteiligt: Ein $\boxed{\text{Si}}$ - Atom und zwei $\boxed{\text{O}}$ Atome, die sich zu einem Körper höherer Stufe, einem Molekül, in diesem Fall $\boxed{\text{SiO}_2}$, verbinden.

Die Bindung von Atomen zu Molekülen erfolgt durch Verkopplung der Elektronen, die sich auf den Außenschalen der beteiligten Elemente befinden. Nur diese sind von Bedeutung. Beim Sauerstoff befinden sich 4 Elektronen von insgesamt 8 auf der Außenschale, die weiteren 4 zu je zwei auf den beiden Innenschalen. Beim Silizium mit 14 Elektronen befinden sich 12 Elektronen auf drei Innenschalen, dementsprechend nur zwei auf der Außenschale. Treffen im ständig bewegten atomaren Raum ein Sauerstoff- und ein Siliziumatom zusammen, so entsteht - in einem entsprechend hohen Temperaturumfeld - zwischen einem Sauerstoff- und einem Siliziumelektron eine Paarbindung, Elektronen die beiden Atomen gemeinsam sind. Wie andererseits das zweite noch freie Siliziumelektron mit einem weiteren Sauerstoffelektron eine Paarbindung eingeht. Das Ergebnis ist das Siliziumdioxidmolekül $\boxed{\text{SiO}_2}$, im Strukturdiagramm: $\boxed{\text{O} = \text{Si} = \text{O}}$, das Gleichheitszeichen ist als Symbol für Paarbildung zu sehen. So einfach ist dieser grundlegende Naturprozess der chemischen Bindung!



Die nächste Stufe ist die Wachstumsphase vom Molekül zum Mineralkörnchen Quarz, ein kleiner Körper, der aus Milliarden von Siliziumdioxid - Molekülen besteht. Um dieses zu verstehen, muss man noch einmal auf die Elektronenkonstellation der beiden Elemente sehen. Auf der Außenschale des Siliziums befinden sich zwei Elektronen, daher können nur 2 Sauerstoffatome zu Paaren angebunden werden. Auf der Außenschale des Sauerstoffs befinden sich dagegen 4

Elektronen, so dass das Sauerstoffatom noch mit drei weiteren Siliziumatomen eine Paarbindung herstellen kann. Nimmt man das in der Skizze rechts gelegene $\boxed{\text{O}}$ als Beispiel, so sieht man, dass dieses $\boxed{\text{O}}$ eine Brücke bildet zu drei weiteren $\boxed{\text{Si}}$, die nun wiederum mit jeweils einem noch freien jeweils eine zweite Paarbildung mit einem $\boxed{\text{O}}$, so angedeutet durch das

Symbol O^* . Der Vorgang ist nur durch den jeweiligen Bestand an den beiden Atomarten begrenzt sowie durch das hinreichende Temperaturniveau um 1.700°C .

Es kommt noch hinzu, dass die O Atome sich nicht - wie in der Skizze - in der Ebene anbinden, sondern im stumpfen Winkel. Und daraus ergibt sich eine räumlich-kristalline Geometrie. Verläuft das Wachstum ungestört / auch vergleichsweise langsam, dann entstehen Bergkristalle als einer der Höhepunkte einer mineralogischen Sammlung.

In diesem Wachstumsvorgang können - und werden zumeist - weitere Atomarten mit eingebunden - die Brücke schafft jeweils der Sauerstoff - und daraus entstehen die Varietäten, die Silikate. So zum Beispiel der Feldspat - das Mineral, das im Granitstein den größten Anteil an den Mineralien ausmacht. Der Bergkristall ist dagegen ein ausschließlich SiO_2 - "reines" Mineral, daher auch seine besonders schöne Erscheinung.

Dass es noch zwei weitere Arten von Bindung gibt, die zwischen Metallatomen und ionisierenden Atomen) braucht nur erwähnt zu werden. So wichtig wir auch die Welt der metallischen, chemischen Bindungen nehmen und technisch kopieren, für die räumliche Grundlage der Festländer und der Meeresböden ist die Chemie der einfachen Atomarten entscheidend.

Die dritte Stufe besteht schließlich darin, dass sich die Mineralkörnchen durch Adhesion, Schmelzhitze oder chemische Bindungsstoffe zum Gestein auswachsen. Dies geschieht während des Erkaltprozesses - so das Tiefengestein Granit - oder zum Beispiel durch Druck in späteren Phasen der Umwandlung innerhalb der Gesteinskruste, etwa der Sandstein. Dazu später mehr.

Diese Vorgänge erfolgen - dies ein weiterer Blick in die mineralogische Welt - nach Proportionalgesetzen in natürlichen Zahlen, 1, 2, 3, 4 usw. Man muss - um zum Beispiel Bronze, ein neuer Stoff - für den Guss einer Glocke herzustellen - das Mischungsverhältnis 4 Teile Kupfer und ein 1 Teil Zinn vorsehen. Vertut man sich da, so ist der Guss verdorben. Dass die Entdeckung dieser Proportionalverhältnisse Menschheitsgeschichte geschrieben hat, sieht man daran, dass ihre Epochen - so das Bronzezeitalter,

dem das Eisenzeitalter folgte - danach abgegrenzt werden. Und wenn gesagt wird, dass das Zeitalter der Informationstechnologien angebrochen sei, so erscheint wieder das Silizium, da die Datenspeicherchips auf Strukturen des reinen Siliziums der Platine beruhen.

Der Stoff-, Bewegungs- und Energiereichtum der Erde

Da man weiß, dass die Wasserstoff- Heliumkonstellation 99 % der Masse des Alls ausmacht, so fragt man sich, wie die gerade aufgelisteten Atomarten überhaupt entstanden sind? Und wo sie so verdichtet sind, dass chemische Verbindungen überhaupt stattfinden können? Um diese Fragen beantworten zu können, muss man noch einmal in das All, in die Welt der Sterne und Planeten zurückkehren, in ihr Werden und Vergehen.

Im Moment der Urexplosion gab es nur eine Atomform, den Wasserstoff $[H]$. Der instabile Wasserstoff zerfällt unter den extremen Hitze des Inneren einer Sonne zu Helium $[He]$, wobei "überschüssige" Energie abgegeben wird, der Übergang von Materie in Energie, die soweit sie aus dem Inneren in die Außenfläche der Sonnenkörpers übergeht, dort in das All als solare Energie ins All ausströmt. Man muss in die Geschichte des expandierenden Weltalls hineinsehen.

Durch die Gravitationskraft, die die Gase zusammenzieht, wie der zunehmende Druck verdichteter Materie der zunehmende Konzentration entgegensteht, entstand eine erste Sternengeneration. In deren Kernregionen entstanden Temperaturen - in der Sonne vermutete 15 Millionen C - die so hoch waren, dass ständig Kernfusionen stattfinden und sich daraus einerseits die nach Außen dringende Strahlungsenergie ergab, wie auch komplexere Atomstrukturen und Moleküle sich bildeten. Das Innere vergangener Sterne war die Geburtsstätte der Atome wie $[O]$, $[C]$, $[N]$ und auch erster Moleküle $[OH]$ zum Beispiel. Es entstand somit in ihnen Neues, die komplexeren Ausprägungen der Materie auf der Grundlage des so einfachen Wasserstoffs. Man sieht, von der "toten" anorganischen Materie zu sprechen, ist irreführende Sprache.

Nachdem aber - nach Milliarden von Jahren - der Vorrat an Wasserstoff in den Sternen der ersten Generation zu 10 % umgewandelt ist, beginnt der Prozess der Zerstörung des Sterns mit den Etappen des Aufblähens zum

"roten Riesen" und damit eine Ausschleuderung von Energie und Materie in Form von Molekülen, Staub und Materiebrocken, der das Zusammenfallen zum "weißen Zwerg" folgt. Dieser Vorgang ist keine theoretische Vermutung, sondern lässt sich vielfach im All beobachten. So wird vermutet, dass der Stern Beteigeuze im Sternbild Orion in dieser Weise sich derzeit auflöst. Wie überhaupt der Orion mit seinen interstellaren Nebeln als ein Labor neuer Sternbildung gesehen wird.

Ist ein Sterngefüge zerbrochen, so wird - verweht durch den Sternenwind - seine Materie in Form von Gas-, Molekül- und Staub- und Brockenwolken ins All geschleudert. Durch Gravitation entstehen aus dieser Materie Verdichtungen neue Sterne, die folgende Sterneneration. Zum einen die leichte Wasserstoff- Heliumkonstellation im gasförmigen, Energie strahlenden Zentralgestirn. Zum anderen die vorhandenen schweren, neuen Stoffe in einer Scheibe, die diese neue Sonne umkreist. Die Anschauung vermittelt uns der Saturn mit der ihn umkreisenden Scheibe, deren starke Farbigekeit die schweren Stoffe ausweist, wie der Jupiter, in dem die folgende Verdichtung in Form seiner 16 Monde, darunter größere als unsere Erde - bereits vollzogen ist. Wie gesagt, im Teleskop der Sternwarte sieht man sie, und man erkennt, dass unser Sonnensystem kein vollendetes Stadium darstellt, sondern in Bewegung bleibt, ja gefangen ist.

Die fünf sonnennahen Planeten - Merkur, Venus, Mars und Erde - sind entsprechend die stoffreichen Verdichtungen in der Scheibe unseres Sonnensystems, was auch darin zu sehen ist, dass sie die Sonne auf einer Ebene und in einer Richtung umkreisen, als auch in die kleineren Verdichtungen der Planetoiden, Meteoriten und Sternschnuppen - es sind ja keine Sterne, sondern Überbleibsel erloschener Sterne, die im interplanetaren Raum vorhanden sind und durch Reibungsenergie in der irdischen Lufthülle verglühen. Die Planeten sind somit die schweren Weltkörper, Stoffreich und dicht - etwa fünfmal so dicht wie die Sonnenmaterie - und entsprechend dadurch zur chemischen Aktivität befähigt.

Man sagt ja oft der Erdkörper sei winzig und meint einen Mangel festgestellt zu haben. Ihre Kleinheit und ihre Dichte und Stoffvielfalt ist vielmehr ihr Vorteil. Wir leben in dieser Mesowelt zwischen 10^{-9} und 10^9 m, gewiss eine Besonderheit zwischen dem unendlich Großen und dem unendlich Kleinen, aber doch in einem überaus produktiven Milieu, das ständig Neues hervorbringt.

DIE ERDOBERFLÄCHE IM ÜBERBLICK

Die Erde ist eine der kleinsten Kugeln im All, und, was in ihrem Inneren so passiert, wissen wir nicht letztendlich. Es geht uns auch wirklich nichts an, denn wir sind Raum- und Zeitgenossen nur auf ihrer Oberfläche. Wir verlassen uns darauf, dass sich diese Kugel so verlässlich verhält wie zum Beispiel eine Uhr.

Die Erdoberfläche ist - als das Äußere einer Kugel - im Volumen endlich, jedoch in dem Sinn unendlich, weil keine Ränder bestehen, wie man noch in der Antike annahm.

Ihre Mannigfaltigkeit bildet sich in ihrer Farbigkeit ab. Blau ist das Meer mit mehr als $\frac{2}{3}$ der Erdoberfläche, grün die Regionen der Vegetation und damit der von uns bewohnten Gebiete, weiß die Eispanzer und ocker die Sand- und Geröllwüsten. Es ist die Sonne, die für dieses Farbenspiel verantwortlich ist. Ihre Licht- und Wärmestrahlen heben das Wasser aus dem Blauen als Wolken und diese - durch die Winde auf das Festland getrieben - bewirken das Grün der Pflanzenwelt. Das Wasser fließt zurück ins Blaue, der wichtigste unter den vielen Kreisläufen der Erdoberfläche. Wo es zu kalt ist, herrscht das Weiß und wo die Winde, die den ersehnten Regen bringen, nicht hinkommen, die Ockerfarbe.

Es gibt Übergänge in der Farbigkeit. Vom Ocker der Wüstengebiete zum satt dunklen Grün der Regenwälder in der Mitte des Erdkörpers, den Tropen, zieht sich der gelbliche Streifen der Savannen, wo mannshohe Gräser und vereinzelt Bäume die Natur bestimmen. Das dunkle Grün, das sich im Norden der Erdoberfläche auf die gesamte Länge hinzieht, ist der boreale Nadelwald. Boreal ist griechischen Ursprungs und bedeutet Nordwind, also der "Einbruch" des Kalten. Dort, wo in der sehr kurzen Vegetationszeit - nur wenige Monate - die niedrigen Sträucher, Moose und Flechten - die lebende Natur bilden, mischen sich an den Rändern zum Weiß der Polarzonen die Brauntöne ein. Gleiches gilt für die Hochgebirge und Hochplateaus unterhalb der Schneegipfel.

Die Welt der Pflanzen kann ganz gut mit Kälte umgehen, weniger gut mit Trockenheit. Vom nördlichen Afrikas, über die arabische Halbinsel bis zum mittleren asiatischen Massiv besteht das ausgedehnteste Gebiet der Trockenheit. Wie ist der Kontrast zwischen dem Tiefgrün des südostasiati-

schen Archipels und der so nahe gelegenen Ockerfarbe der großen australischen Wüste zu erklären? Es sind die Windströmungen, die das über der weiten Meeresfläche aufsteigende Wasser auf die Festländer übertragen oder an ihnen vorbeiziehen.

Die Ortsbestimmung - Geometrie der Erdkugel

Aus der Seemannssprache zur Ortsbestimmung auf unserer Kugeloberfläche entstammen die beiden Hauptbegriffe Breite und Länge. "Breite" ist die nord- bzw. südliche Entfernung eines Ortes vom Äquator, dieser ist die Breite in der Mitte oder der "Gleichteiler" als Schnittstelle zwischen der nördlichen und südlichen Erdhalbkugel. "Länge" (Meridian) ist der west- oder östliche Abstand zur Verbindungslinie zwischen den Polen, die - als Nullmeridian über Greenwich / London - verläuft. Frankfurt zum Beispiel liegt 50° 6' nördliche Breite und 8° 40' östliche Länge. Den Abstand zwischen zwei Orten zu messen, ist nicht so einfach wie auf einer Ebene (sphärische Kugelgeometrie wird benötigt). Dagegen standen frühere Raumvorstellungen aus religiösen Wurzeln, so besagt das Verb "sich orientieren" sich am "Orient ausrichten", konkret an Jerusalem. Die Erbstorfer Weltkarte aus dem 13. Jahrhundert ist so angelegt, und in der rechten oberen Ecke befindet sich sogar ein allerdings unausgefüllter Bereich, das verlorene Paradies. Noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts waren weite Teile der Erdoberfläche noch nicht erforscht.

Die vier Hüllen

Der Blick geht auf die Erdoberfläche mit ihrem Aufbau aus vier Hüllen: die Gesteinsschicht als Festland und als Meeresboden, die Wasserhülle bestehend aus den großen Ozeanbecken und dem Wasser des Festlands als Oberflächen- und Grundwasser im Boden, als Wasser der Seen und Flüsse und als Eis der Polzonen und der Gletscher in den Hochgebirgen. Darüber die gasförmige Lufthülle mit den bodennahen Lagen, in denen sich das Wettergeschehen abspielt, und somit Wasserdampf aus den Ozeanen auf das Festland verlagert wird, und die dünneren Luftschichten darüber bis zum äußersten Rand zum Weltraum. Hinzu kommt die dünne Schicht der Vegetation, der Bereich des Lebendigen, gewissermaßen die Eigenschöpfung aus der Stofflichkeit und Bewegungskraft der Erde.

Dass diese Hüllen - durch immer stattfindende Bewegung - geworden sind, wird in den folgenden Abschnitten behandelt. Über den Zeitraum, in dem durch langsames Erkalten ein festes Steingerüst entstand, kann man nur Vermutungen anstellen. Sicher bestand vor 650 Millionen Jahren das geschlossene Steingerüst, die Wasserhülle und die Atmosphäre, wenn auch in ganz anderer Gestalt als heute. So weit zurück reicht, was als Erdgeschichte erkennbar ist, d.h. ein Sechstel des mit 4.500 Millionen Jahren vermuteten Alters des Sonnensystems und der Erde.

Die Gesteinhülle



Die feste Gesteinhülle ist im Durchschnitt 30 km tief, mit Unterschieden zwischen 7 km (die Meeresböden) und 60 km im Bereich der Hochgebirge. Wie dünn sie tatsächlich ist, sieht man daran, dass sie nur 0,5 % des Erdradius ausmacht. Sie sitzt der Schmelzschicht auf, sie schwimmt regelrecht auf ihr, woraus sich Mitbewegungen der

Gesteinhülle ergeben, wie zu zeigen sein wird.

Die Gesteinhülle über dem Meeresniveau, die Festländer, ist - wie die gesamte Erdkruste - aus heftigen Bewegungen in den Hunderte von Millionen andauernden Epochen der (feststellbaren) Erdgeschichte geformt worden. Es entstanden zwei Zonen unterschiedlicher Massenverdichtung. Die schweren Schollen, die sogenannten Kratone (kraton griechisch Kraft) einerseits, flache, hügelige oder mittelgebirgige Topographien. Andererseits die Hochgebirgszonen, sowohl die am Westrand der beiden Amerikas als auch die sich parallel zum Äquator hinziehenden vom Südwest- Nordoststrand Gebirgsketten Eurasiens. Darin ist das über 5.000 Meter hohe innerasiatische das "Dach der Welt" eingelagert. Sie sind Aufpressungen, die durch die Verschiebungen der Kratone entstanden sind.

Die Gesteinhülle ist zu 70 % durch das Weltmeer überdeckt und ist somit Meeresboden. Zu 30 % bildet die Gesteinhülle den Festlandsboden mit den Erdteilen nach der Größe zu geordnet:

- Eurasien, 37 %. Wie man auf dem Atlas sieht, gibt es aus geografischer Sicht kein Argument, Europa anders denn als Westküste des größten Erdteils zu sehen,
- Afrika - durch das Mittelmeer von Eurasien getrennt und mit der Landbrücke der arabischen Halbinsel verbunden, umfasst 30%.
- Nordamerika einschließlich der mittelamerikanischen Landbrücke kommt auf 16 % und Südamerika auf 12 %.
- Die kleinsten Festländer sind die Antarktis mit 10 % und Australien mit 6%.

Auffällig ist, dass die Festländer zweigeteilt sind, der eurasisch-afrikanische Block mit einer westöstlichen und parallelen Ausrichtung zum Äquator einerseits und der nord-südlichen Ausrichtung der beiden Amerika andererseits. Das Nordmeer um den Pol wird durch schmale Meerengen erreicht, Nordsibirien - Alaska und Nordamerika / Grönland - Europa. Afrika und Südamerika laufen dagegen in Spitzen aus.

Besonders schön sind die Inseln und vor allem die beiden großen Archipel. Im Südosten das asiatische Archipel, zu dem auch Australien und die beiden Neuseelands, gehören, und im Nordwesten Grönland und die nord-amerikanische Inselwelt. Die Inseln "stehen" auf dem flachen Schelfmeer, das heißt, sie sind die über den Meeresspiegel aufragenden Höhenzüge der kontinentalen Tafeln. Das aufregendste Erlebnis für diese im Meer versunkenen Festlandsränder findet man in Europa in der Schärenküste im Süden Finnlands und in Schweden. Oder die pazifischen Insel mit ihren Korallenriffen auf den Gipfeln maritimer Vulkane.

Die Höhenunterschiede innerhalb der Gesteinshülle, bezogen auf den Meeresspiegel, reichen bis knapp +9.000 Meter (Mount Everest) und bis unter - 11.000 Meter (der Mariannengraben am Ostrand des großen Ozeans). Die Anteile der topographischen Zonen an der Gesteinshülle sind:

- | | |
|--|------|
| - Hochgebirgszone 1.000 Meter und höher | 8 % |
| - Kontinenttafel und Schelfmeer -200 bis 1.000 Meter | 27 % |
| - Kontinentalabhang -200 bis -2.400 Meter | 11 % |

- Tiefeseeregion -2.400 bis -5.000 Meter	53 %
- Tiefseegräben - 5.000 Meter und tiefer	1 %

Die Durchschnittserhebung auf den Festländern beträgt + 875 Meter, darin eingeschlossen Tiefländer, Mittelgebirgsregionen und die hohen und höchsten Gebirgsländer und Hochebenen. Wie aus den Atlanten zu sehen ist, ist die Erdoberfläche ein Mosaik unterschiedlicher Landschaftsformationen - zum einen sehr ausgedehnt, zum anderen kleinteilig.

Besonders auffällig sind das nordsüdlich verlaufende Hochgebirge am westlichen Rand der beiden Amerikas einerseits und das westöstlich verlaufende eurasische Gebirge vom westlichen Rand Europas bis zur Westküste des Pazifiks mit den Inselgütern andererseits. Beide Hochgebirgsstreifen sind junge tektonische Gebirgsbildungen, die Tafelländer - so vor allem in Afrika - sind alte, "gereifte" Landstriche. Tief- und Flachland meint nicht - wie manchmal gedacht wird - etwas gleiches. So muss man zum Beispiel zwischen dem großen westsibirischen, außerordentlich weiten Tiefland einerseits und dem ebenso weiten Hochplateau des tibetanischen "Dachs der Welt" in über 5.000 m Höhe und dem Becken um das abflusslose Kaspische Meer, das unter dem Meeresspiegel liegt, unterscheiden. Die binnenländisch tiefste Absenkung ist mit fast - 400 m der Jordangraben.

Wie die Massierung der Festländer in der Nordhälfte der Erdkugel entstanden ist, war lange ungeklärt, heute wird sie durch die Kontinentalverschiebung verstanden. Die Lage und Anteile der Ozean- zu den Festlandsböden sind nicht nur durch Klimaschwankungen - d.h. der Masse des als Eis gebundenen Wassers -, sondern auch durch die Eigenbewegungen der Festländer und erdweite Lageverschiebungen bedingt. Was wir als das Feste und Beständige ansehen, ist ebenso aus ständiger Bewegung entstanden. Das gilt es, Schritt für Schritt zu erklären.

Die Wasserhülle

Die Mächtigkeit des Wasservolumens wird deutlich, wenn man sich das Bodenrelief eingeebnet denkt. In diesem Fall wäre die Erdoberfläche mit einem Weltmeer von 2.700 Meter Tiefe vollständig überdeckt. Die Festländer sind gewissermaßen eher als Inseln zu sehen, denn als Gegenstück zum Volumen der Weltmeere. In dem die leichten Wassermoleküle beweglicher sind als die gesteinsbildenden Substanzen, füllt das Wasservolumen die

tiefere Lagen der Gesteinshülle bis zu dem oberen Niveau ihres Volumens, dem glatten Meeresspiegel, aus. Würde das erstarrte Wasser, das Eis der Polkappen und der Gletscher auf dem Festland, durch ansteigende Temperatur vollständig schmelzen, so würde sich der Meeresspiegel entsprechend heben, der Anteil des Festlands sich dadurch verringern.

Aufgrund der dargestellten Räumlichkeit der Kontinentalblöcke und der Antarktis ist das Weltmeer in Meeresregionen unterteilt: Der Pazifik oder Stille Ozean erreicht mit 50 % die größte Wasserfläche. Betrachtet man die Erdoberfläche südöstlich von Australien, so sieht man den gesamten Erdkreis im Blau der Wasserhülle mit einigen Inseln und Inselarchipelen, die "Wasserhalbkugel". Der Indische Ozean - der Anteil ist 22 % - ist eine Bucht mit den Begrenzungen des östlichen Afrikas und der Küstenlinien des südlichen Asiens. Der Atlantik - 28 % - erstreckt sich dagegen wie der pazifische Ozean vom Nord- bis zum Südpol. Wegen seiner Größe wird das Südmeer als vierter und das Nordmeer wegen seiner durch Meerengen abgetrennten Lage als fünfter Ozean gesehen.

Neben den großen Ozeanflächen greifen die Nebenmeere in die Festländern ein, so das südeuropäische Mittelmeer und die nordeuropäische Nord- und Ostsee, die Karibik und die Meeresflächen zwischen den Inseln der Archipele. Die Küstenlinien sind sehr unterschiedlich, von den graden oder eingebuchteten Flachküsten, den Stränden, den Schärenküsten mit vorgelagerten Inseln, den Schelfmeeren reichen die Varietäten bis hin zu den Steilküsten. In den Schelfmeeren - als überspültes Festland der Kontinentalblöcke - macht sich der Einfluss der Mond- ja auch der Sonnenanziehung auf die Erdoberfläche bemerkbar, an manchen Küsten beträgt der Tidenhub 20 Meter!

Auffällig ist, wie nah Hochgebirge und Tiefseerinnen räumlich benachbart sein können. So erreicht der japanische Vulkanberg Fujiyama (fuji = reich, yama = Berg, der reiche oder große Berg also) 3.800 m, und nur 300 km davon ist die mehr als 8.000 m Tiefseerinne vor der japanischen Küste entfernt.

Auch die Meeresoberfläche ist keine eintönige Weite zwischen den Küsten und der Himmelslocke darüber. Warme und kalte Meeresströme durchziehen sie, der unterschiedliche Salzgehalt und die Erwärmung verändern die Schwere des Wassers. Die Wasserhülle nimmt die eingetragene Sonnen-

energie auf, die Einstrahlung reicht bis zu 200 Meter in die Tiefe. Sie ist der bedeutendste Wärmespeicher zugunsten der nördlichen wie südlichen Zonen der beiden Erdhälften.

Die Lufthülle

Die leichten Elemente, Stickstoff und Sauerstoff, bilden die Lufthülle, die die Erdoberfläche bis zur Höhe von maximal 500 km umgibt. Die Lufthülle ist geschichtet, von der Erdoberfläche aus gesehen die dichteste Schale der Troposphäre, in der sich das Wettergeschehen abspielt. Darüber wird die Dichte und der Anteil des Sauerstoffs immer geringer, über 6.000 m Höhe kann die Hülle des Lebendigen nicht aufsteigen. Die Lufthülle nimmt die Sonnenenergie auf und absorbiert sie. Von einem Sonnenstrahl erreichen im Durchschnitt nur 60 % die Erdoberfläche. Sie schützt die Erdoberfläche und temperiert und erleuchtet sie auf den Durchschnittswert von 15° C.

Die Vegetationshülle

Im geographischen Schrifttum beschränken die Geologen das Hüllenmodell auf die drei genannten. Aber auch der Raum des Lebendigen bildet auch eine flächendeckende Hülle, die sich im Meer in die oberste sauerstofffreie Schicht erstreckt und auf den Festländern über 5000 m erreicht. Im Meer erstreckt sie sich bis in die Tiefe von 200 m, auf dem Festland über 5.000 m Höhe. Die Regionen des ewigen Eises und der höchsten Gebirge ausgenommen ist sie somit fast erdumfassend. Auch die extremen Trockengebiete, die Sahara und die arabische Halbinsel sind nicht völlig ohne Vegetation, was sich zeigt, wenn nach Jahren ohne jeden Regen die eingewehten Samen sich regen. Dies als Beispiel für die Anpassungsfähigkeit des Lebendigen an die Umgebungsverhältnisse. Das Grün der Farbenwelt des Organischen, auch wir sind darin eingebettet.

Die gegenseitige Durchdringung der Hüllen durch Bewegung

In ihrer räumlichen Anordnung überlappen sich Luft-, Wasser- und Gesteinshülle im Wechselspiel gegenseitiger Durchdringung. So durchdringt die Sonnenenergie in der Luft die oberen Schichten der Wasserhülle und des Festlandsbodens. Die Lufthülle nimmt das durch die Sonnenenergie erwärmte und dadurch aufsteigende Wasser und der Gesteine als Dampf

auf, der durch die Bewegungen in der Lufthülle großräumig räumlich auf das Festland verteilt wird.

Noch stärker durchdringen sich Wasser- und Gesteinshülle. Das Wasser sammelt sich nicht nur in den Ozeanen, sondern auch in den Seen, Bächen und Flüssen, im durchfeuchteten Boden und als Grundwasser des Festlands, wie auch im festen Gestein Wasser gebunden ist. Die Vegetationshülle greift auf die Stoffe aus allen anderen Hüllen zurück: auf die Sonnenenergie und ihren Ausgangsstoff aus der Luft. Aus der Wasser- und Gesteinshülle bezieht sie weitere, auch lebensnotwendige Voraussetzungen: Wasser und Nährstoffe. Wir verbinden Beständigkeit mit Ruhe / Stillstand, Abwesenheit von Bewegung. Was würde geschehen, wenn die Erde sich nicht dauernd um sich selbst drehen würde? Die eine, der Sonne zugewandte Seite würde sich extrem erhitzen, so dass die Lufthülle sich aufblähen und schließlich entweichen würde, die andere Seite wäre extrem kalt. Oder was würde geschehen, wenn die chemischen Elementen "ruhig / unbewegt" wären, sie würden keine Verbindungen eingehen, die Erde wäre eine bloße Wolke aus diesen Teilchen ohne jede Entwicklung.

Ruhe / Stillstand ist eine Sonderform von Bewegung, die es aber nirgendwo gibt. Auch unser Eindruck, dass die Kugeln auf einem Billardtisch am Anfang des Spiels unbeweglich sind, ist nur scheinbar, weil der Raum, in dem sie sich und wir uns als Spieler befinden, durch Rotation der Erde um sich selbst und um die Sonne mit erstaunlichen Geschwindigkeiten sich bewegt hat. "Alles fließt" - ein Bonmot der Antike und alles ist "relativ" - beweglich/ bezüglich im Wechselspiel des Weltkörpers im Großen wie im Kleinen - und doch besteht Beständigkeit. Wie unruhig die Erdoberfläche ist, zeigte sich drastisch, als festgestellt wurde, dass der Gipfel des Mount Everest sich durch ein kürzlich stattgefundenes Erdbeben um 4 cm verschoben hatte. Wenn die festgestellten Erdbewegungen nicht durch gegenläufige Bewegungen gestört werden, befindet sich die skandinavische Halbinsel in 50 Mio. Jahren dort, wo heute Nordostsibirien sich erstreckt. Das ist eine gerichtete Bewegung, wie sie auch auf der Erde vorkamen und vorkommen werden. Daraus ergeben sich nicht umkehrbare Veränderungen. Die weitaus häufigeren sind jedoch die Bewegungen, die kreisförmig verlaufen, in deren Ablauf Veränderungen zwar auftreten, das Ganze aber an den Ausgangspunkt zurückkehrt und somit Beständigkeit besteht. Um diese geht es in den folgenden Erläuterungen über die Hüllen.

DIE BEWEGUNGEN IN DER SONNENENERGIEREICHEN LUFTHÜLLE

Welche der Hüllen sollte zuerst behandelt werden? Gute Gründe sprechen dafür, mit der Lufthülle zu beginnen, weil dort die Sonnenenergie "hereinkommt". Diese ist neben den planetarischen Eigenbewegungen der mächtigste Motor der Bewegungen auf der Erdoberfläche. Was sich "da oben" abspielt, ist auch für das tägliche Erleben das Wichtigste wie Beweglichste, Wärme und Beleuchtung, Windbewegungen und das Wetter mit seinen - in unseren Breiten zumal - ständigen Unterschieden zwischen feucht und trocken, wärmer und kälter. Schließlich die Urquelle des Entstehens und der Bewegungen der Lebewesen.

Form und Schichtung der Lufthülle

Luft ist ein Gasgemisch, das zu 78 % aus dem bindungsinaktiven Stickstoff, 21 % aus Sauerstoff und kleinsten Mengen Argon, Kohlenstoff, Wasserstoff usw. zusammengesetzt ist. Sie ist unter der Einwirkung der solaren Energie beweglicher als die flüssigen und festen Substanzen.

Die Lufthülle - Atmosphäre - ist durch die ozeanische und festländische Erdoberfläche einerseits und durch die Übergangszone zum fast materiellen interstellaren Raum andererseits begrenzt. Wie alle Substanzen bindet die Anziehungskraft sie an den Erdkörper. Wäre die Masse / Dichte der Lufthülle zu gering, würde die Anziehungskraft der Erde nicht ausreichen, die aus dem Erdinneren während der Erkaltung ausgehauchten Gase fest zu halten. Sie entweichen wie beim Mond ins All.

Die sauerstoff- und wasserdampfreiche, erdnahe Schicht - die Troposphäre, in der das Wettergeschehen sich abspielt - reicht über den Polen 7 km, am Äquator aufgrund der stärksten Erwärmung 17 km in die Höhe. In den darüber liegenden Schichten spielen sich die elektromagnetischen Erscheinungen ab - erlebbar als die Farbenspiele des Polarlichts - und dort leuchten im Bruchteil einer Sekunde die Sternschnuppen auf, wenn ein Gesteins- oder Metallbrocken aus dem All in die Lufthülle eintritt und verglüht.

Wenn die äußersten Schichten bis um 500 km einbezogen werden, beträgt die Höhe der Luftschicht 8 % des Erdradius. Und wenn man nur die Schicht der Wettererscheinungen nimmt, dann sind es lediglich 0,2 %. So

gesehen lässt sich die Form der unteren Luftschicht mit einem Luftballon - einer Hohlkugel, die mit einer dünnen Membran begrenzt ist - vergleichen. Die Ballonfahrer des 19. Jahrhunderts sind bis zu 10 km in die Lufthülle aufgestiegen und haben durch Messungen die Schichtenfolge - auch den Anteil des Sauerstoffs - ermittelt. Sie mussten sich dazu dick einpacken, denn dort oben ist es empfindlich kalt. Die Schichtung richtet sich somit nicht nur nach der Substanzhaltigkeit sondern auch nach der Temperatur, sowie nach den Druckverhältnissen. Steigt man auf den 300 m hohen Eifelturm, so ist es schon dort deutlich kühler und windiger als an seinem Fuß.

Wie jede Substanz übt die Luft Druck auf darunter liegende Schichten aus, und dieser ist naturgemäß am höchsten auf der Erdoberfläche. Auf jedem cm^2 unseres Körpers lastet ein Gewicht von mehr als einem Kilogramm. Schon auf den Berggipfeln ist die Luft "dünner" und wenn manche Verrückte meinen, sie müssten die Natur herausfordern und den Mount Everest besteigen, so ist das nur möglich, wenn sie Sauerstoffflaschen mit sich schleppen. Die zahlreichen Leichen, die sich da oben befinden, sind ein "schönes" Beispiel für irregeleiteten Wagemut.

Im Durchschnitt aller Messungen auf der Erdoberfläche wirkt sich der Luftdruck im Messgerät des Barometers so aus, dass eine Quecksilbersäule von einem Meter auf 760 mm herabgedrückt wird. Die Messungen an den unterschiedlichsten Orten, die jeweiligen Lokalverhältnisse, weichen von diesem Wert ab, woraus zu schließen ist, dass das Luftmeer wie eine Landschaft wellig gestaltet ist, und somit Gebiete hohen und niedrigen Luftdrucks vorliegen. Der Thermometer wird benutzt, um die Wärme zu messen. In diesem Fall hebt sich die Quecksilbersäule, da sich alle Stoffe unter dem Wärmeeinfluss ausdehnen, auf durchschnittlich 15°C . Unsere Körperwärme beträgt um 37°C . Davon ausgehend ergibt sich, was wir als warm / kalt empfinden. Für andere Lebewesen ist es anders - so sind die finnischen Rentiere zum Beispiel "kälteliebend", selbst die strengsten Winter mit -20°C und darunter machen ihnen nichts aus, mit ihren breiten Hufen scharren sie den Schnee auf und finden dort die nordischen Kräuter und Beeren - sehr wohlschmeckend übrigens, da sie nur langsam wachsen und reifen.

Der Blick auf die Oberfläche des Mars mit einer sehr dünnen Lufthülle zeigt die Farbigkeit seiner eisenhaltigen Gesteinshülle, daher der rote Mars.

Die Temperaturverhältnisse auf der Marsoberfläche variieren zwischen 20°C am Äquator während des hellen Tags und -85°C während der Nacht. Unser Mond ohne jede Lufthülle erhitzt sich in seiner Gesteinshülle auf 130°C am Tag und kühlt auf -160°C während der Nacht ab.

Die Erdtemperatur zeigt keine derartigen Extreme, sondern ist im Gesamtdurchschnitt 15°C - geschützt durch die Lufthülle - moderat. Lokale Extreme bestehen zwar, so -70°C im nordostsibirischen Winter und $+57^{\circ}\text{C}$ im kalifornischen Death Valley. Aber das sind Besonderheiten. Gleichwohl geben sie einen ersten Eindruck davon, dass in der Lufthülle und im Licht- und Wärmehaushalt der Erde erhebliche Unterschiede bestehen. Zunächst ist das Wesen der Sonnenstrahlen - der solare Energieeintrag - zu betrachten.

Die Sonnenenergie

Sonnenenergie besteht nicht - wie Isaac Newton noch annahm - von aus der Sonne ausgeschleuderten Materieteilchen, sondern aus einem Bündel elektromagnetischer Wellen. (Wellen setzen ja voraus, dass ein Medium vorhanden ist, dass einen ihre Bewegung verursachenden Eintrag aufnimmt und räumlich fortsetzt. Doch wo ist dieses Medium - der Äther, wie man früher sagte - in einem fast materielosen, interstellaren Raum zu finden? Wie die Gravitationswellen ist die Natur der Lichtwellen noch nicht völlig durchschaut).

Die Sonnenstrahlen verursachen auf der Erdoberfläche die Erwärmung aller Stoffe (anorganische und organische) dadurch, dass deren Moleküle in noch erhöhte Bewegung / Unruhe versetzt werden, wie umgekehrt während der Nacht diese sich wieder "beruhigen". Durch Erwärmung entsteht Volumenvergrößerung, leicht zum Beispiel zu erkennen, wenn im Sommer "die Tür klemmt". Unter Erwärmung / Erkalting können Stoffe ihren Aggregatzustand zwischen gasförmig, flüssig und fest wechseln. Das Wasser ist das naheliegendste Beispiel. Es ist im Übrigen der einzige Stoff, der unter der irdischen Normaltemperatur bei an- bzw. absteigender Temperatur jeden der drei Aggregatzustände annimmt - im Naturgeschehen einer der folgenreichsten Erscheinungen.

In der Regel nehmen gehen nur die leichten Elemente unter den Luftdruck- und Temperaturbedingungen der Erdoberfläche chemischen Verbindungen

ein. Eine Ausnahmen bildet zum Beispiel das Eisen, an dessen Oberfläche unter erwärmter und feuchter Luft Rost entsteht - FeO_2 ein neuer Stoff. Die Gesteinsminerale sind dagegen im Verlauf der Erkaltung der Erdoberfläche unter extremen Hitzebedingungen entstanden. Für die Herstellung künstlicher Stoffe werden in der Regel sehr viel höhere Temperaturniveaus benötigt.

Das Licht und die Farben

Die solaren Wellenbewegungen sind nicht einheitlich. Hält man ein Prisma - ein Prisma ist ein Dreieck, der die einströmende Sonnenenergie zweimal bricht - gegen das Sonnenlicht oder schaut man sich einen Regenbogen an, dann zeigen sich die mittleren Wellen in unserem Sehsinn als Spektrum der Farben von rot bis violett. Die ultraroten, uns nicht sichtbaren Wellen verursachen 90 % der Erwärmung, die kürzeren ultravioletten "kalten" wirken zum Beispiel bei der Belichtung einer Fotoplatte chemisch.

Ultra-rot Rot Orange Gelb Grün Blau Indigo violett ultra-violett

Die Wellen, die unser Auge als Licht und Farbe aufnimmt.
Andere Lebewesen - wie zum Beispiel einige Ameisenarten - benutzen andere Techniken, sich sicher im Raum zu bewegen.

Über unsere Fähigkeit der beglückenden Farbempfindung ist seit der Antike gerätselt worden. (Das zu verfolgen wäre allerdings ein ganz neues Thema).

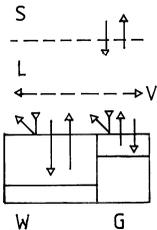
Die Speicherung der Sonnenenergie auf der Erdoberfläche

Die Aufnahme- und Speicherfähigkeit der Stoffe ist naturgemäß unterschiedlich. Die festen Stoffe der Erdoberfläche - die Gesteine, Boden, Sand auch die Pflanzen - verwandeln in ihrem molekularen Gefüge kurzweilige "kalte" in langwellige "warme" Strahlen. Die Energie dringt aber nur oberflächlich ein. Das ist leicht zu erkennen, wenn man am Sandstrand von der erhitzten, ausgetrockneten oberen Schicht in tiefere, kältere Schichten hinunter buddelt. Feste Stoffe geben - wenn die kühle Nacht anbricht - die tagsüber absorbierte Energie wieder ab. Der erhitzte Eisenstab eines Geländers ist am folgenden Morgen oft kälter als die umgebende Luft. So sind die festen Stoffe das mittlere Speichermedium solarer Energie.

Wasser nimmt solare Energie im Vergleich zu den festeren Substanzen langsamer auf, gibt sie aber langsamer ab. Die Ozeane, die 70 % der Erdoberfläche ausmachen und in die die Strahlen mit bis zu 300 Meter viel tiefer eindringen als in die festen Stoffe, bilden den wichtigsten Speicher solarer Energie. Bei höherem Anteil der Festländer beständen deutlich höhere Temperaturunterschiede in den Gebieten der Erdoberfläche.

Die Luft als leichteste Substanz ist der "schlechteste" Wärmespeicher. Das erkennt man leicht, wenn man die Temperatur im prallen Sonnenlicht und danach im Schatten misst. "Schlecht" ist aber wiederum nur bezüglich zu sehen, denn die Lufthülle ist die Substanz, in die die rückstrahlende Wärme einfließt und - da erwärmte Luft in die Höhe steigt - das Zuviel an täglicher Sonneneinstrahlung - weggeführt wird, die Hitze des Tages durch die erfrischende Kühle des Abends und der Nacht ersetzt wird. "Alles fließt" so das Heraklit zugeschriebene Bonmot, es trifft immer zu, aber je leichter die Substanzen um so mehr.

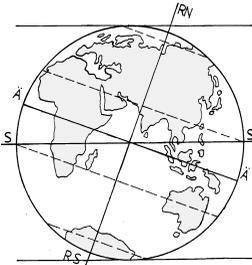
Der unterschiedliche Eintrag der Sonnenenergie auf der Erdoberfläche



Die Sonnenenergie stößt auf der obersten Schicht der Lufthülle auf die Materieteilchen der Lufthülle. Zum einen wird sie dadurch ins All zurückgeworfen, zum anderen wird sie von Materieteilchen aufgenommen oder sie wird durch Brechung diffus innerhalb der Lufthülle gestreut. Daraus entsteht der Helligkeit und die Bläue des Himmelgewölbes, wobei auch die Stäube, die in der Lufthülle schweben, beteiligt sind. Auf einem lufthüllelosen Planeten blickt man in die Schwärze des Weltalls.

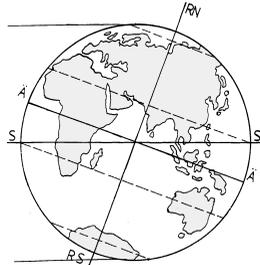
Durchschnittlich 60 % der Sonnenenergie erreichen schließlich die erdnahe Luftschicht, wo die Sonnenenergie das Wettergeschehen antreibt. Noch weiter vermindert ist die Strahlung auf die Erdoberfläche, zu 2/3 die ozeanischen Wasser- und zu 1/3 die Festländer. Über dem Festland vor allem - um es zu wiederholen, weil es so wichtig für die Einheit des Naturgeschehens ist - wird ein Teil der Sonnenenergie wiederum direkt und im Tag- / Nachtrhythmus zurückgeworfen. Diese vertikalen Bewegungen sind das Eine, die horizontalen das Andere. Beide zusammengenommen machen das Wechselspiel in der Lufthülle aus.

Wie viel Sonnenenergie ein bestimmter Ort der Erdoberfläche erhält, ergibt sich aus dessen Breite, d.h. der Entfernung von der Mitte, dem Äquator mit dem höchsten Energieeintrag, da die Strahlen senkrecht einfallen. Je nördlicher bzw. südlicher ein Ort vom Äquator entfernt ist, umso mehr weicht der Einfallswinkel von der Senkrechten ab und umso geringer wird der Energieeintrag pro Flächeneinheit. Es kommt noch hinzu, dass der Weg der Strahlen durch die Lufthülle bei spitzer werdendem Einfallswinkel länger wird und daher mehr Energie absorbiert wird bevor sie den Erdboden erreicht. Die Rotfärbung beim Sonnenuntergang ist auf den längeren Weg durch die Lufthülle / Absorbierung der kürzeren, helleren Wellen zurückzuführen. An den Polen treffen die Strahlenbündel tangential ein, entsprechend gering ist der Energieeintrag.



Position der Erde am 21. Juni - die Nordhälfte ist der Sonne zugeneigt.

S



Position der Erde am 21. Dezember - die Südhalfte ist der Sonne zugeneigt.

Die Rotationsachse der Erde weicht um $23\frac{1}{2}$ Winkelgrad von der Senkrechten auf der Umlaufebene ab, diese Abweichung ist ein Erbe der Entstehung unseres Sonnensystems. Sie trifft auch für die anderen Planeten zu. Und dieser Abweichungswinkel verändert sich im Verlauf

des Sonnenumschlufs nicht. Die Erde neigt sich auf ihrem Lauf um die Sonne nicht wie ein Radfahrer "in die Kurve"! Daraus ergibt sich, dass im Verlauf des Umlaufs im halb-jährigen Rhythmus die nördliche, danach die südliche Erdhälfte näher zur Sonne steht. Dementsprechend variieren die Einstrahlungswinkel und der Energieeintrag.

Für die Mitte der Erdkugel, die Äquatorregion, sind die Auswirkungen relativ gering, Die tägliche Sonnenscheindauer und damit die Intensität der Einstrahlung variiert zwar auch dort, aber weitaus geringer als in den nördlicheren und südlicheren Breiten. Wir Bewohner auf den Breiten um $50'$ erleben diese Gegebenheit als saisonalen Wechsel der Temperaturen zwischen Sommer und Winter. Meine finnischen Freunde - $60'$ Breite und höher - noch viel deutlicher. Kosmische Dimensionen, die das irdische

Leben ganz entscheidend prägen. Während die Bewohner um den Äquator diese saisonalen Wechsel nicht kennen. Dort in der Mitte des Erdkörpers herrscht gewissermaßen ständiger Sommer, so zeigt es die Tabelle.

Sonnenscheindauer / Energieeintrag im Jahresablauf jeweils am 21. Juni und 21. Dezember gemessen

Breite*	Tropen		mittlere gemäßigte Zone			Polar 66 ^{1/2}
	0°	23°12'	40°	50°	60°	
Unterschied im Jahreslauf	0 ^h	2 ^h 26	5 ^h 42	8 ^h 18	13 ^h 00	24 ^h 00
	Die Mitte der Erdkugel des gleichmäßigen solaren Energieeintrags		Die Region des erheblichen Wechsels der Sonnenscheindauer im Jahresablauf			

* jeweils nördliche und südliche Breite, bezogen auf die Wendepunkte 21. Juni und 21. Dezember

Aus der Solarkonstante, der Sonnenscheindauer und aus dem Einfallswinkel lässt sich - bei wolkenlosem Himmel - für jeden Ort und jeden Tag bestimmen, wie viel solare Energie am Boden einstrahlt. Es ist dies ein Grundwert, und die Bilanz aus Einstrahlung und Rückstrahlung (heller Tag / dunkle Nacht) lässt sich - wenn auch schon weniger genau - abschätzen, denn es macht einen Unterschied, ob die Strahlen auf eine Wasserfläche, einen Wald-, Wiesen- Sand- oder Gesteinsboden einstrahlen.

Diese Neigung ist ein Erbe aus der Entstehungszeit des Sonnensystems, sie trifft auch für die anderen Planeten zu - mit Ausnahme des Merkurs, der als sonnennächster wie kleinster Planet manche Besonderheiten aufweist. Die Neigung bewirkt, dass Nord- und Südhälfte im Wechsel der Jahreszeiten sonnenenergetisch erwärmt / verkühlt werden. Dies erweist sich als ein mächtiger Motor der erdumfassenden Temperaturzirkulation.

Die erdumfassende Temperaturumverteilung

Nimmt man einmal die bodennahe Lufthülle - die dünne Membran der Troposphäre - als räumlich unbeweglich an, so wäre das durchschnittliche Temperaturniveau am Äquator höchst ungemütliche +39° C und am Nordpol ebenso ungemütliche -44° C jeweils im Jahresdurchschnitt. Die tatsächlichen Werte betragen dagegen +26° C Äquatorzone und -22° C Polarzone. Durch die erdumfassende Zirkulation innerhalb der Troposphäre wird somit

Wärme von der äquatorialen Mitte über Abstufungen in Richtung der beiden Polarkappen verlagert, am Äquator das Temperaturniveau verringert, in den höheren Breitengraden erhöht. Ohne diesen erdumfassenden Temperatúrausgleich wäre Leben nicht möglich.

Einige Begriffsklärungen sind zunächst nötig. Luftdruck ist das Gewicht der Luftsäule am Erdboden. Der Durchschnittswert ist 760 mm, so weit drückt die darüber liegende Luftsäule im Messgerät mit 1.000 mm die Quecksilbersäule nieder. Auf den ersten Blick scheinen die Werte für hohen (bis 770 mm) und niedrigen (745 mm) Luftdruck doch sehr gering zu sein. Doch Luft ist flüchtig und reagiert auch auf derartig geringe Unterschiede sogleich durch Luftdruckausgleich mit der Folge, dass die Luftteilchen von dem Gebiet mit hohem zum niedrigen Luftdruck übergehen und dies solange, bis ein Gleichstand erreicht ist. Der jedoch nie erreicht wird, weil im Vorgang des Ausgleichs die inneren Zustände der Molekülwolken wie durch äußere Einflüsse - hier der beständig einwirkende solare Energiestrom, die Erdrotation und weitere - ständig wechseln.

Windströmungen können über lange Distanzen (mehrere Tausend Kilometer) reichen, es ist aber derart, dass nahe gelegene Umgebungsdifferenzen die Bewegung in Gang setzen, eine weit reichende Strömung ist wie eine Kette immer neu entstehender Luftdruckunterschiede im Luftmeer zu sehen.

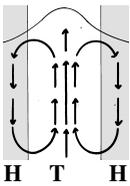
Luftdruckunterschiede verursachen die Windströmungen mit - je nach dem Gefälle zwischen benachbarten Luftkörpern - Windstärken zwischen windstill und stürmisch. Was wir mit Wind bezeichnen, bezieht sich auf die bodennahen

Strömungen, in den höheren Luftschichten verlaufen die Höhenwinde, zumeist in entgegengesetzter Richtung und mit weitaus höheren Windstärken. Hinzu kommen aufsteigende Strömungen, durch sie entsteht am Boden ein geringerer Luftdruck - ein meteorologisches Tief - und absteigende Strömungen und dementsprechend ein Gebiet höheren Luftdruck, ein Hoch.

Geht man zunächst von einer nicht durch solare Energie erwärmten Luft-hülle aus. In diesem Modell wirkt allein die (mechanische) Kraft der Erdanziehung mit zunehmendem Luftdruck von oben zum Boden. Träfe sie allein zu, die Erde wäre von einer kalten und somit schweren Luftschicht umgeben. Zu einem gewissen Grad trifft diese modellhafte Vorstellung für die Polarkappen mit ihren "Kälteseen" aus kalter und somit schwerer Luft

zu, sie sind dementsprechend die räumlich festen wie ausgedehnten Kältehochs auf der Erdoberfläche, in denen Wasser zu Eis gefriert, kalte Luft gleichwohl in wärmere Umgebung abfließt, weil dort die Luft aufsteigt, somit ein Umgebungstief besteht.

In allen anderen Erdgebieten bewirkt der solare Energiezufluss, dass die Moleküle auseinanderstreben und damit geht eine Volumenvergrößerung einher. So hebt sich die Troposphäre am Äquator bis zu 17 km in die Höhe, an den Polen sind es nur 7 km. Nimmt man als Modellvorstellung zunächst einen begrenzten Luftpörper an, in dessen Mitte die höchste solare Einstrahlung erfolgt.



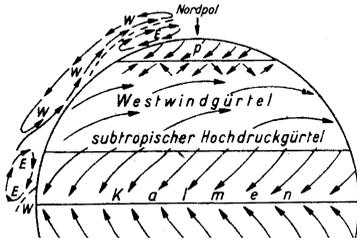
Da die Volumenvergrößerung der Luft in der Mitte unter solarer Einstrahlung am höchsten ist, entsteht dort eine Aufwölbung. In Bodennähe dementsprechend ein Volumendefizit, in das kältere Luft einfließt. Das ist an einem Lagerfeuer zum Beispiel leicht zu beobachten. Erreicht die aufgestiegenen Luft die weniger dichte und kältere obere Luftschicht, so biegt sie von der vertikalen in die horizontale Richtung um. Es entsteht eine räumliche Umverteilung mit der Folge, dass die Ränder der Wölbung massereicher werden und somit durch die Auswirkung der Erdanziehung die Moleküle wieder absteigen, dort somit ein Luftdruckhoch entsteht. Das ist die eine Seite des Luftkreislaufs.

Da in der Mitte des gedachten Luftpunktes durch die aufgestiegene Luft bodennah ein Massedefizit, ein Luftdrucktief, und an den Rändern ein Masseüberschuss entstanden sind, erfolgt ein bodennaher Gegenstrom zur Mitte hin. Der Kreislauf ist somit geschlossen, er beginnt jedoch von Neuem durch den aufsteigenden Sog in der Mitte, als sich ein selbst tragender, rotierender, vertikal wie horizontal wirkender Vorgang.

Auf der Erdkugel bestehen keine horizontalen Begrenzungen, die vertikalen Begrenzungen sind der Boden und der obere Rand der Toposphäre, eine sehr dünne Membran, die im Verlauf der Erdumdrehung um die Sonne zwischen Winter- und Sommerperiode ständig nach Breiten und Jahreszeiten unterschiedlich erwärmt / verköhlt wird.

Es entstehen somit immer neu sich bildende Luftdruckunterschiede und dadurch Ausgleichsströmungen zwischen täglicher Aufheizung, nächst-

licher Abkühlung, zwischen den Monaten mit zu- und abnehmendem Energieeintrag und oberhalb / unterhalb des 23. Breitengrades dem Wechsel der Jahreszeiten. Weiteres kommt hinzu: die unterschiedliche Entfernung der Erde von der Sonne aufgrund der nichtkreisförmigen, sondern elliptischen Umlaufbahn, des wechselnden Energieausstoßes der Sonne in einem etwa elfjährigen Rhythmus und auch der Winkel der Rotationsachse zur Umlaufbahn der Erde um die Sonne unterliegt Veränderung.



Die Verhältnisse auf der südlichen Hälfte sind spiegelbildlich zu sehen, entnommen aus Neef (2)

Die Abbildung zeigt in starker Vereinfachung, dass eine Dreigliederung der Windsysteme besteht. Das tropisch / subtropische Windgürtelsystem reicht von 30° südliche Breite bis zum 30° nördliche Breite, es ist somit das ausge dehnteste, sowie auf grund der höchsten solaren Einstrahlung das wärmereichste. Um den Äquator besteht ein südlich / nördlich davon gelegener vertikaler

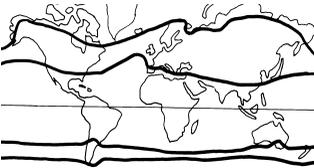
Kreislauf, am Äquator eine schmale Tiefdruckrinne in Folge der dort am stärksten erhitzten / aufsteigenden Luftmassen. Es ist dies die Zone der äquatorialen Kalmen (windstille Gebiete). Der äquatoriale Kreislauf wird an seinen Rändern - bedingt durch absinkenden Luftmassen - die subpola-ren Kalmen oder Rossbreiten abgeschlossen. Dort blieben die Segelschiffe oft wochenlang unbeweglich liegen und somit reichte das mitgeführte Wasser nicht zur Tränkung der mitgeführten Rosse aus. Die Armen wurden geschlachtet, damit die Mannschaft überleben konnte. So lautet die (vermutete) Erklärung für diesen ungewöhnlichen Namen der Rossbreiten. Das für unser Sommerwetter günstige Azorenhoch im Atlantik gehört in diese schmale Zone der Rossbreiten.

Zwischen diesen Furchen ziehen zum Äquator - bodennah - die Passatwinde, die - aufgrund der Einwirkung der Erdrotation bogenförmig zur mittleren Rinne verlaufen. Nach ihrer Richtung, ihrer Windstärke und zeitlichen Dauer sind sie beständig. Das wussten die Seefahrer zu schätzen, der Begriff Passat stammt aus der Seemannsprache, *passare* = antreiben, vorwärtsbringen - günstig für die Segelschiffe. So konnten die europäischen Sklavenhändler an der afrikanischen Westküste sich südlich treiben lassen, ihre Menschenopfer als Arbeitstiere einfangen, sie mit den Passatwinden nach

Amerika verfrachten und mit dem erzieltem Gewinn über die Westwinde nach Hause segeln.

Oberhalb des Äquators sind es die NO- unterhalb SO-Luftströmungen. (Die Windrichtung wird nach der Quelle benannt, ein NO - Wind weht somit von Nordost nach Südwest). Die äquatoriale Zone bildet die Zone des ewigen Sommers, die Nacht - so wurde es gesagt - ist der Winter der Tropen. Dass sie dennoch für die Menschen nicht das Paradies auf Erden ist, ist jedoch leider auch wahr.

Wie das Grundschemata zeigt, baut sich über der gemäßigten Zone ein weiterer vertikaler Kreislauf auf, wenn auch im Vergleich zum dem der Tropenzone insgesamt weniger gewölbt, in der polzugewandten Ausdehnung breiter. An den Rändern zur subpolaren Hochdruckzone ist bei höherem solaren Energieeintrag die Aufwölbung naturgemäß höher, sie flacht sich auf den höheren Breiten zunehmend ab, schiebt sich an den Polen auf die dortigen Hochdruckzonen, den polaren Kälteseen. Diese Konstellation verursacht, dass die wärmeren Luftschichten aus der subtropischen Zone im Übergang zum warmgemäßigten Rand weit nordwärts / südlich transportiert werden, und somit die immer geringer werdende Erwärmung der höheren, kaltgemäßigten Breiten gemildert wird.



Die Sommer- / Winterisothermen, von nach unten: -10°C im Winter, $+10^{\circ}\text{C}$ im Sommer der Nordhälfte, $+10^{\circ}\text{C}$ im Sommer, -10°C im Winter der Südhälfte.

bewirkt die Eigenschaft des Wassers, Wärme zeitlich länger als die Landflächen zu binden, ausgleichend zwischen den Temperaturen der Sommer- und der Winterzeit.

Der Wärmetransport gilt für die gemäßigte Zone auf der nördlichen wie auf der südlichen Erdhälfte. Aber wie die Karte an Hand der winterlichen / sommerlichen $10^{\circ}\text{C} / -10^{\circ}\text{C}$ Isotherme zeigt in sehr unterschiedlichem Ausmaß. Die Ursache dafür sind die deutlichen Unterschiede der Land- und Meeresanteile. Auf der südlichen Halbkugel ragen in die gemäßigte Zone nur die Landspitzen Südamerikas und Afrikas und der kleine australische Kontinent hinein, die nur unter 10 % der Fläche der Zone ausmachen. Somit

Auf der Nordhälfte massieren sich dagegen die breitgelagerten, nordamerikanischen und eurasischen Landflächen, der Anteil der Meeresflächen des Nordatlantiks und des Nordpazifiks beträgt etwa 50 %. Hinzu kommen die topographischen Verhältnisse. Im Westen Nordamerikas riegeln die Hochgebirgstreifen der Kordilleren die ausgleichenden Wirkungen des Nordpazifiks einerseits ab, während im Süden zum Golf von Mexiko, im Osten zum Atlantik und zum Norden keine Windbarrieren bestehen.

Nordamerika ist in dieser nördlich / südlichen Ausrichtung und des westlichen Hochgebirgsriegels ein Gebiet großer Temperaturgegensätze im Jahresablauf. Im Winter schieben die Blizzards die Massen kalter polarer Luft tief in den Kontinent hinein, die bei vorherrschenden Westwinde - also auf den Atlantik verwehend - auch die Ostküste erreichen. In New York zum Beispiel - auf dem Breitengrad von Süditalien kann das Thermometer im Winter unter -20°C fallen, in extremen Sommerzeiten auf 40°C ansteigen.

Auf dem breit gelagerten Flachland der großen Ebene ohne west-östliche Gebirgswälle vollzieht sich der Austausch polarer und tropischer Luftmassen ungehindert und oft mit großer Heftigkeit. Zudem erhitzt sich das Land im Sommer und kühlt im Winter stark aus. Unter diesen Bedingungen entsteht ein enges und ständig wechselndes Nebeneinander von kalten Hoch- und warmen Tiefdruckgebieten. Die Ausgleichsströmungen fließen - bedingt durch die Rotation der Erde zirkulär von den Hochs in die Tiefs hinein, und daraus ergeben sich Drehbewegungen innerhalb des Luftmeeres, einerseits verhältnismäßig stationäre Hochs und Tiefs, andererseits die "wandernden" Zyklone, in ihrer turbulentesten Ausprägung die Hurrikans. An den Fronten dieser ständigen Verwirbelung der Luftmassen öffnen sich die Wege für kalte / warme Windströmungen, die innerhalb kürzester Zeit die Temperaturen um 20°C "umkippen" lassen.

Die Topographie Eurasiens verläuft dagegen west-östlich, der zum Äquator parallel verlaufende Gebirgswall, der sich in Zentralasien zum Hochplateau zwischen Himalaja und den Altai- Ketten ausdehnt. Nordeuropa und Sibirien sind zum Atlantik offen wie zum arktischen Meer, im Osten abgeschlossen gegenüber dem Nordpazifik, die Hauptwindrichtung wird durch die Westwindströmung bestimmt, die sich im Innern durch die Reibung am Erdboden abschwächt.

In dieser räumlichen Gegebenheit entsteht im Sommer solare Aufheizung und somit Tiefdruck, im Winter ein ausgedehntes Hochdruckgebiet aus kalter / schwerer Luft. Im Winter des nordöstlichen Sibiriens werden dann bis zu -70°C gemessen. Das nordalpine Europa liegt dagegen im Bereich der Westwinde, die die im Atlantik gespeicherte Sommerwärme mit sich führen. Die Temperaturen fallen dagegen nicht deutlich unter 0°C , allenfalls dann, wenn sich das sibirische Kältehoch nach Westen ausdehnt. Das sind dann die schönen "strengen Winter" mit trockener Luft und viel Sonnenschein. Üblicher sind dagegen die "wandernden" Zyklone, die vom stationären Islandtief ausgehen und je nach Verlauf eher südlich oder nördlich auf das westliche Europa einschwenken. Das südalpine Europa rund um die beiden Nebenmeere des Mittelmeers und des Schwarzen Meers, zum Atlantik abgetrennt, zur subtropischen Zone offen, ist durch seine kleingliedrige Topographie eine Insel besonderer Prägung.

Süd- und Südostasien, der Südrand des zentralasiatischen Hochplateaus ist offen zu den großen Meeresflächen des Indischen Ozeans und des Pazifiks und somit findet ein Ausgleich zwischen äquatorialer und gemäßigter Zone statt. Es ist der Bereich der Monsunwinde und Taifune mit regelmäßiger Umkehrung der Windrichtung und mit Moderierung der Unterschiede zwischen Sommer und Winter.

Das wie ein Dreieck geformte Südamerika liegt im Norden in der äquatorialen Zone, im Süden spitzt der Kontinent zu, sodass dort die temperaturausgleichende Wirkung des Pazifischen Ozeans und des Atlantik zur Geltung kommt. Dies gilt entsprechend auch für den afrikanischen Kontinent.

Schaut man in unserer Breite in den Himmel, so zieht man fast immer die Wolken ziehen, schaut man am Äquator morgens in den Himmel, so sieht man schönes Blau, aber am späten Nachmittag gehen starke Gewitter nieder, in den Trockengebieten bleibt der ersehnte Regen fast immer aus.

Das Gesamtbild unserer Lebensbedingungen muss weiter ergänzt werden um das Wechselspiel zwischen Lufthülle und Wasser- Festlandshülle, um die Bewegungen innerhalb der ozeanischen Wasserbestände und um den Wasserhaushalt auf den Festländern.

DIE BEWEGUNGEN IN DER WASSERHÜLLE

Nach den Bewegungen in der Lufthülle, die täglich ja stündlich ablaufen, geht nun der Blick auf den Wasserkörper, dessen Bewegungen langsamer ablaufen. Durch die Meeresströmungen wird zusätzlich zur Luftzirkulation solare Energie / Wärme von der Mitte des Erdkörpers zu den Polen hin verlagert. So bewirkt der Golfstrom, dass an der südwestenglischen Küste Palmen wachsen können und die norwegischen Hafenstädte während der kalten Jahreszeit nicht zufrieren. Der über den Ozeanen aufsteigende Wasserdampf wird durch die Luftzirkulation auf die Festländer verweht und somit diese eine Vegetationshülle tragen können.

"Alles Gute kommt von oben" so sagt man. Im konkreten Fall Licht, Wärme und - wenn auch nicht immer erfreut aufgenommen - die Niederschläge als Regen, diffuse Feuchtigkeit (Nebel) oder als Schnee. Das Wasser auf den Festländern macht nur wenige Prozent der gesamten Wassermasse der Erdoberfläche aus, aber dessen Wirkungen sind von größter Wichtigkeit für alles, was auf dem Festland geschieht. Gäbe es keine Hebung des Wassers in die Lufthülle, dann wäre zwar in den Ozeanen Leben möglich, jedoch nicht auf dem Festland, sie wären Gesteinswüsten. Wasserreichtum ist für ein Gebiet ein großer Vorteil, besonders für die Vegetation, Wasserarmut größter Nachteil, auch wenn die Natur sich selbst dort anpassungsfähig zeigt.

Stofflichkeit des Wassers

Die Elementarteilchen des Wassers sind weniger beweglich als die der Luft und weniger fest als die der Gesteine der Erdkruste. Bedenkt man jedoch, dass das spezifische Gewicht der Luft mit 0,009 sehr gering ist, gehört das Wasser mit 1,0 spezifischem Gewicht - das des festen Gesteins beträgt 2,5 bis 3,2 - zu den festen Substanzen der Erdoberfläche.

Daraus und aus dem großen Wasservolumen ergibt sich, dass die Schwerkraft auf das Wasservolumen in der Weise einwirkt, dass es sich in den ozeanischen Tiefseebecken bis zur Ebene des Wasserspiegels sammelt. Indem das Wasser aus den Festländern in die ozeanischen Becken zurückfließt, leistet es Arbeit, das heißt, dass andere Stoffe bewegt werden, wie leicht an den Flüssen zu sehen ist, die große Mengen gelockerten Gesteinsmaterials in die Ozeanbecken verlagern. Oder man sieht es am Strand,

wenn Gesteine oder Muschelschalen unter dem Druck der anbrandenden Wellen verkleinert und gerundet werden. Oder an einer Felsenküste mit ihren Hohlkehlen, dort wo die Brandung angreift, wie im Binnenland, wo die Täler eingekerbt werden, und dies besonders dann, wenn die Distanz zwischen Quelle und Mündung bedeutend ist und somit Eigendruck des Wassers und Strömungsdruck einher gehen. (Dass durch Erhitzung des Wassers technisch Arbeit erzeugt werden kann, hat - als James Watt diese Möglichkeit gesehen hat und in Form der Lokomotive umgesetzt hat - eine epochale Wende der Menschengeschichte verursacht).

Zu den vielen Eigenschaften des Wassers gehört, dass Wasser unter den Bedingungen der Temperaturverhältnisse der Erde jeden der drei Aggregatzustände annimmt, neben flüssig gasförmig als Wasserdampf, Dunst und Nebel und fest als trockenes Eis. Je nach den wechselnden Temperaturverhältnissen veränderte sich in den erdgeschichtlichen Epochen der Anteil zwischen flüssigem und trockenem Wasser - während der Kreidezeit (vor 145 - 66 Millionen Jahren) lag das Temperaturniveau um $8,5^{\circ}\text{C}$ über den gegenwärtigen Niveau von 15°C . Weite Teile des westlichen Europas wurden damals durch Flachmeere überschwemmt. 11°C betrug das Niveau während der Eiszeitperiode, die vor 12.000 Jahren endete.

Wasser ist geschmeidig, da es in jede Größe teilbar ist. So ist Dunst (1^{-3}cm) und Nebel (1^{-2}cm) eine kleinstförmige, "kollide" Form der Aufteilung des Wasservolumens, mit dem bloßen Auge sind die mikroskopisch kleinen Tröpfchen nicht zu erkennen. Aufgrund dieser Gegebenheit ist Wasser das Lösungsmittel, in dem chemische Prozesse erst möglich werden. Reines Wasser kommt in der Natur nicht vor, es sind - selbst im Regenwasser - immer Schwebestoffe enthalten, im sauren Meereswasser zu 3,5 % vor allem Kochsalz.

Die Geschmeidigkeit des Wassers - das chemisch so schlichte Gebilde aus zwei Wasserstoffatomen die an ein Sauerstoffatome gebunden sind - ist Voraussetzung für die Fülle der physikalischen und chemischen Vorgänge des Naturgeschehens auf den Festländern. Wenn in manchen Schriften darüber spekuliert wird, dass etwa auf dem Mars eine bewohnbare Kolonie geschaffen werden könnte, so kann man sich über diese publikumswirksamen Phantasien nur erheitern.

Die Wasserhülle reicht über die gesamte Erdoberfläche. Es befindet sich in den großen ozeanischen Becken zu 97 %, der geringe Restanteil verteilt sich auf die Lufthülle einerseits und auf das Wasservolumen auf den Festländern andererseits.

Einen besseren Überblick über Größenverhältnisse erhält man, wenn nur die Oberfläche der Ozeane berücksichtigt wird. Dies kann durch die Eindringtiefe der solaren Energie bestimmt werden, das sind im Durchschnitt 200 m. Dort finden die Diffusionsvorgänge zwischen Luft- und Meereshülle statt, die für den Naturzusammenhang der Erdoberfläche entscheidend sind. Zum einen sind es der aufsteigende Wasserdampf, zum anderen die Einspülung des Sauer- und Stickstoffs der Luft, die Grundvoraussetzung der ozeanischen Pflanzen- und Tierwelt.

Das Wasservolumen, das an den Bewegungen teilnimmt, berechnet sich danach zu den folgenden Anteilen: 74,4 % davon ist Meerwasser, 20 % davon entfällt auf das Eis der Pole und der Gletscher, 0,009 % auf den Wasserdampf in der Luft und 5,6 % auf das Süßwasser - im Gegensatz zum salzhaltigen Meereswasser- der Festländer in den Gewässern, in der Bodenschicht und als Grundwasser in der Gesteinshülle. Der sehr geringe Anteil des Wasserdampfs überrascht zunächst. Tatsächlich ist das verlagerte Wasservolumen über die Lufthülle sehr viel größer, weil es im Lauf eines Jahres bis zu 45 mal umgewälzt wird. Grob geschätzt liegt ein Verhältnis 3 : 1 zwischen ozeanischem und kontinentalem Wasserbestand vor.

In der Konstellation Sonnenenergie und dieser Membran, die übersichtlich genug atomar aus den leichten chemischen Elementen N , O und das im Wasser gebundene H besteht und in die planetarischen Eigenbewegungen eingebunden ist, ergibt sich die Schwungkraft, die das so mannigfache produktive Milieu der Erdoberfläche bewirkt. Dies vorausgeschickt, muss man den Ablauf der Bewegungen des Wasserkreislaufes beschreiben, zunächst

- die ozeanischen, oberflächlichen Wassermassen, deren Beweglichkeit - die Meeresströmungen - wie die Luft als erdumfassender Wärmeausgleich wirkt, und
- danach der vom Meer in die Lufthülle aufsteigende Wasserdampf - als Folge der Auswirkungen der Sonnenenergie sowie dessen Verwehung

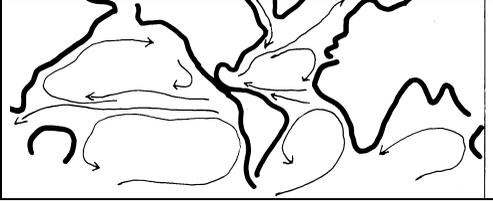
auf die Festländer, sowie der Rückfluss des Wassers vom Festland in die Ozeane.

Die Bewegungen innerhalb der ozeanischen Meereshülle, die Meeresströme

Schon ein leichter Stoß gegen einen Behälter, der Wasser enthält, löst Bewegung aus. Wellen an der Oberfläche und ein Drehen des gesamten Wasserkörpers, der an den Rändern zurückgestoßen wird. So geht es auch im großen, zusammenhängenden Wasserbecken der Ozeane zu. Die Ursachen gehen auf Ausgleichsvorgänge in den ozeanischen Wassermassen zurück.

- So in erster Linie der Auftrieb, der durch die Sonnenenergie am stärksten erwärmten äquatorialen Mitte - dort herrscht eine angenehme Wassertemperatur um 27°C - einerseits, das Einfließen kälterer Wassermassen aus höheren Breiten, um 6 - 8°C in den Polarzonen als Ausgleichsvorgang andererseits. Entsprechendes geschieht, wenn durch höheren Salzgehalt - etwa 3 - 5 g pro Liter - Wasser schwerer ist und niedersinkt, leichteres in das dadurch entstandene Vakuum einströmt.
- Würde nur allein diese Ursache einwirken, so müssten die Meeresströmungen von der äquatorialen Mitte zu den Polen verlaufen. Die Ursache dafür, dass dies jedoch nicht so ist, ergibt sich aus den Windströmungen, die über die weiten ozeanischen Flächen streichen. Man fragt sich jedoch zunächst, wie die leichten Luftmassen diese Umlenkungen der Richtungen überhaupt bewirken können, da sie - selbst bei heftigen Stürmen - nur oberflächliche Wellen aufwerfen können. Erst der Druck stetiger und in gleicher Richtung wehender Winde verursacht, dass durch Reibung der Moleküle oberer auf unterer Wasserschichten die Meeresströmung ein Wasserkörper in Breite, Tiefe (maximal bis 200 M) und Richtung ist.
- Diese Winde sind die Passatwinde, die - wie im vorangegangenen Abschnitt dargestellt - diese Eigenschaft der Beständigkeit aufweisen.
- Als dritte - unter weiteren - Ursachen kommt die Umlenkung der Meeresströmungen durch die Festlandsränder hinzu. Das südliche Polarmeer bildet ein um die Antarktis umlaufendes Band, über ihm

dehnen sich deutlich unterschiedlich geformte Ozeane: der annähernd runde Große Ozean, das deutlich kleinere, bis zur südasiatischen Küste reichende Indische Meer und der engere bis zur südasiatischen reichende atlantische Ozean. Je nach Größe / randlicher Begrenzung .. Becken.



Was sich im Wechselspiel daraus ergibt, ist stark vereinfacht in der Karte zu sehen. In der Äquatorialzone und der sie umgebenden tropischen bis subtropischen Zone werden die

Wassermaßen solar aufgewärmt und durch die dortigen beständigen Passatwinde in den engeren Äquatorbereich verlagert und dort aufgestaucht. Im Ergebnis sammeln sich die beiden nach Westen gerichtete parallelen Äquatorialströme, die - auf die östlichen Landmassen treffend - bodenförmig umgelenkt werden.

Der Golfstrom zeigt am besten - und für uns Europäer am nachdrücklichsten - die Verlagerung von Wärme und damit Klimabeeinflussung. Im gesamten Verlauf beginnt er als kalte (antarktische) Strömung, die - an der südwestafrikanischen Küste entlang streichend - und unter starker äquatorialer Erwärmung den Atlantik überquert. Als karibische Strömung tritt sie in die innere Karibik / Golf von Mexiko ein - und nach weiterer Aufwärmung in diesem geschlossenen Nebenmeer, strömt sie durch die enge Floridastraße, der Meerresenge zwischen Kuba und der Halbinsel Florida, die wie eine Düse die Strömung verdichtet und ihre Geschwindigkeit erhöht, in den nördlichen Atlantik. Zunächst streicht sie entlang der nordamerikanischen Ostküste, um dann den Atlantik auf der 40° Breite ostwärts zu überqueren. Der Wärmegewinn der europäischen Ostküste von der iberischen Halbinsel, der Biskayabucht, der irischen und britischen Insel bis zum norwegischen Küstengebirge und selbst der europäischen Nordmeerküste ist beträchtlich. So belegen es die milderen Wintertemperaturen im Vergleich zu den inner-europäischen Gebieten im Osten. Wie im Gegenstrom, dem kalten Labradorstrom, die kalten Winter des amerikanischen Nordosten. Könnte der Golfstrom "abbrechen"? Als Hypothese wird dies diskutiert, jedenfalls wären die Folgen - träten sie ein - für die Bewohner des nordalpinen Europas dramatisch.

Eine weitere, wenn auch geringere Ursache für Meeresströmungen sind die Gezeiten. Gleichwohl verdient dieses Phänomen und Beispiel für die planetarische Verwobenheit immer große Aufmerksamkeit. Streicht der Mond seine Bahn über die Erde, so hebt seine Anziehungskraft das ozeanische Wasser an, es entsteht ein dem Mond nacheilender Wasserhügel, der - wenn dieser die Küste erreicht - als Anstieg des Wassers bemerkbar wird wie als nachfolgende Senkung. Eine entsprechende Wirkung geht auch vom Gravitationsfeld der Sonne aus, jedoch schwächer. Überlappen sich beide Wirkungen ist der Ausschlag zwischen Hebung und Senkung am höchsten, die sogenannte Springtide. Im Trichter des Ärmelkanals, der spitz zu laufenden Meerenge zwischen Frankreich und England, wird der einlaufende Wasserhügel zusammengepresst, so dass die Tide - der Abstand zwischen dem höchsten und niedrigsten Wasserstand an der normannischen Küste - bei der Inselburg St. Malo - beachtliche 14 m erreicht.

Der Wasserkreislauf zwischen den Feständern und den Ozeanen

Nach den horizontalen Bewegungen in den ozeanischen Wasserkörpern geht jetzt der Blick auf das Wechselspiel zwischen der Wasser- und der Lufthülle. Dieses geht in beide Richtungen. So nimmt die Wasserhülle den Sauerstoff der Luft auf, ohne diese Diffusion wäre maritimes Leben nicht in dem Umfang möglich. Auch dabei spielt der bodennahe Wind eine wichtige Rolle, weil er Wellen aufwirft und dadurch Stickstoff - und Sauerstoff in die Wasserhülle eingespült werden.

Bevor Details erörtert werden, sollte bedacht werden, dass das Verhältnis 70 % Wasseroberfläche zu 30 % Festlandsfläche nicht nur eine planetarische Zufälligkeit ist, sondern unabdingbare Voraussetzung dafür ist, dass auch die Festländer in dem gegebenen Umfang eine dichte Vegetationshülle tragen. Wäre das Verhältnis zum Beispiel 50 : 50 %, wären die Festländer weitaus trockener und damit lebensfeindlicher.

Oberflächenwasser in Berührung zur Luft verdunstet, das heißt die Wassermoleküle der Oberfläche der weiten Ozeanoberfläche werden - als Aggregatwechsel - gasförmig und steigen als solche in die Lufthülle auf. Ein Kubikmeter Luft kann bei 20°C bis zu 17 Gramm Wasserdampf aufnehmen. Und dies um so mehr, je mehr solare Energie die Wassermoleküle auseinander treibt. Da dieser Sättigungsgrad in der Lufthülle nie gegeben ist, verdunstet ständig Wasser auf den ausgedehnten ozeanischen Wasser-

flächen, aber auch auf den Festländern. Da Wasser durch die Gravitationskraft sich in den großen Becken sammelt, entsteht der Wasserkreislauf, der die folgenden Stationen aufweist:

- Die Verdunstung über der Oberfläche der Ozeane ist die wichtigste Ursache des Wasserdampfes in der Atmosphäre. (Wäre der Anteil der Festlandsflächen wesentlich größer, dann wäre das Wasserdampfvolumen geringer, die Festländer in viel größerem Umfang Stein- und Sandwüsten).
- Der größte Anteil des ozeanischen Wasserdampfes - rund 90 % - geht als Regen und Schnee wieder über den Meeren nieder, oft sofort, wie die nachmittäglichen Gewitter in den Tropen belegen.
- 10 % des ozeanischen Wasserdampfs wird somit auf die Festländer verweht und vermehrt das festländische Wasservolumen, es sind im Durchschnitt 750 mm Regenvolumen - Niederschlag - pro Jahr.
- Festländisches Oberflächenwasser einschließlich der Vegetationshülle verdunstet ebenfalls und daraus bilden sich - wie auf dem Meer - örtliche Kreisläufe zwischen auf- und niederfallendem Wasserdampf, wie auch ein geringer Anteil auf das Meer wieder verweht wird.
- Festländisches Wasser verbleibt für unterschiedlich lange Zeiträume als Oberflächenwasser, als in der Vegetation gespeichertes Wasser, als Bodenwasser und als Grundwasser.
- Die Gesteinshülle wie der vegetative Kreislauf sind - je nach ihrer Beschaffenheit - unterschiedlich aufnahmefähig, und entsprechend diesen sehr unterschiedlichen Gegebenheiten sammelt sich das aufgenommene Wasser an den Quellen und wird durch die Abflussrinnen als Folge der Schwerkraft und der Eigenschaft als flüssiges Element in das Meer zurückgeführt.
- Der Kreislauf ist somit geschlossen, kein Tropfen Wasser ist zwischen der befeuchteten Bodenhülle, der weiten Membran der Verdunstungsflächen und der unteren Lufthülle mit ihren Windverwehungen verloren gegangen.

Wasserreichtum und -armut

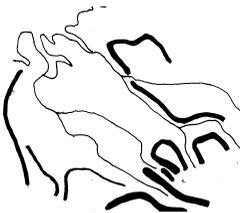
Wie gesagt: 750 mm jährlicher Niederschlag ergibt sich im Durchschnitt aller Festländer. Doch wie groß sind die tatsächlichen räumlichen Unterschiede! Die Verwehungen des Wasserdampfs folgen den Windströmen als Ausgleich zwischen niedrigem und hohem Luftdruck. Hinzu kommen für den auf das Festland verlagerten ozeanischen Wasserdampf die Barrieren der über die Wolken hinausragenden Hochgebirge. Der Wasserdampf verdichtet sich im Stau und regnet ab, oder wird umgelenkt und verlagert sich in andere Gebiete. In das Flachland an den Küsten fließt es dagegen in das Innere der Kontinente ungehindert hinein. Entsprechendes gilt für die innerkontinentalen Bewegungen, je nach dem Relief erfolgt dort eine noch deutlichere "Kammerung" der Luftzirkulation und entsprechend der wasserreichen und -armen Landschaften.

Die zahlreichen Wetterstationen vermitteln ein Bild der Unterschiedlichkeit. Die Werte reichen von 0 mm (seit 90 Jahren fiel in einer Senke in den südlichen Anden kein Tropfen Wasser) über die Werte der wasserarmen Gebiete (der Wüstenregionen, der Gebieten im Windschatten hoher Gebirgszüge und Hochplateaus) über die mittlere Niederschlagsdichte in der gemäßigten Zone und den Wasserdichten in der Tropenzone im Mittel zwischen 2.000 bis 4.000 mm bis zu Extremwerten mit bis zu 12.000 mm im südostasiatischen Archipel. Ganz anders dagegen die glaziale Welt an den Polen und in den Hochgebirgsregionen. Die Niederschläge fallen als trockener Schnee, so dass sich Schicht auf Schicht aufhäuft und somit hohe Eispanzer entstehen, die nur insoweit sich verändern als an ihren Rändern Schollen abbrechen. Im Ergebnis aller großen und kleinen Kreisläufe in der Luft- und Wasserhülle, der Breitenlage und der Topographie ist die Festlands Oberfläche ein Mosaik aus wasserreichen und -armen Gebieten.

Dort, wo in der subtropischen Passatzzone die trockenen Antipassatwinde niedergehen ist die Erdoberfläche aride, wasserarm - so die Sahara und die arabische Halbinsel. Wie dort wo, das Geländenniveau sehr hoch - über dem Wolkenhöheniveau - ist und zugleich hohe Gebirgsketten die in die Kontinente einströmende ozeanischen wasserreichen Luftströmungen ablenken (persische, afghanische und tibetanische Region mit der Wüste Gobi als Beispiel). Oder dort, wo im Südosten des europäischen Russlands die vom Westen kommenden Wolken größtenteils abgeregnet sind, und sommerliche Temperatur mehr Verdunstung bewirkt als in der kalten Jahreszeit an

Wasser - auch der in der warmen Jahreszeit als Schneedecke festgehaltenen Wasser - eingeflossen ist. Das Kaspische Meer bietet das Anschauungsmaterial. In dieses topographische Becken mündet die Wolga als Wassersammler der nördlich davon gelegenen Gebiete. Hätten diese Wassermassen des großen Flusses die niedrige Landschwelle zum Schwarzen Meer durchbrochen, so wäre eine ganz andere Situation - Bewegungsverläufe - im Mittelmeer zwischen der sehr engen Pforten zum Atlantischen Ozean - der Straße bei Gibraltar - und der ebenso engen Pforte zwischen dem Schwarzen Meer und dem Mittelmeer entstanden. (Nur nebenbei: Topographische Besonderheiten schrieben Menschheitsgeschichte, denn es waren diese leicht passierbaren Meerengen, die die Nachfahren von Lucie, unsere in der auf der Wärme und Feuchte der afrikanischen Urheimat entstandene Eva, veranlassten auf der Suche nach Nahrung überzutreten).

Humide, wasserreiche Gebiete sind in den Küstenregionen zu finden und jeweils verringert im Binnenland oder dort, wo Ströme aus den Regen auffangenden Hochgebirgen in aride Gebiete fließen - Euphrat und Tigris, Nil, der in dem abessinischen Hochgebirge als blauer und weißer Nil entspringt und in einer schmalen Rinne die aride Zone durchfurcht. Dort wo Wasser reichlich vorhanden ist, das heißt wo mehr Wasser niedergeht im Jahresablauf als durch Verlust durch Verdunstung verloren geht, entstehen die von Flüssen geprägten Landschaften. So die tropischen großen Wasserbecken des Amazonas und des Kongo.



Topographie und Wasserrückfluss am Beispiel der westsibirischen Tiefebene zwischen dem Altai - Hochgebirge und dem Polarmeer.

Oder das westsibirische Tiefland mit den beiden gewaltigen Flüssen Ob und Jenissei, die in der Altairegion entspringen. Wenn dort die Schneemassen schmelzen, am Rande des Polarmeeres das erst im Mai / Juni auftauende Eis eine Abflussbarriere bildet, dann staut sich das Wasser dieser Flüsse und das Tiefland - fast so ausgedehnt wie Europa - verwandelt sich in die Sumpftaiga.

Sich ein Bild der Unterschiedlichkeit den Bächen und Flüssen von der Quelle bis zur Mündung zu machen, ist mit das Schönste was geographische Studien und die unmittelbare

Anschauung bieten. Soweit die Überleitung zu der Gesteinshülle.

DIE BEWEGUNGEN IN DER GESTEINSHÜLLE

Nach dem planetarischen Kreislauf der Erde um die Energie liefernde Sonne und um sich selbst und nach der Lufthüllen- und Wasserzirkulation, die die Temperaturunterschiede ausgleicht, werden die Bewegungen innerhalb des Gesteinsgerüsts behandelt. Eine weitere Form, die innerhalb des organischen Lebens, wird folgen.

Langsamer im Verlauf, aber vielschichtiger sind diese in den Formen und den Ergebnissen der Bewegung. Gemessen wird nun in Hunderttausenden ja Millionen Jahren. Eine Landschaft erscheint uns als das Beständige, doch gleichwohl ist sie geworden und wird sich ändern. Nur als Beispiel, unsere Alpen - so erhaben sie aufragen - werden in 50 Millionen Jahren eingeebnet, und der so anmutige Bodensee viel früher durch das Gesteinsmaterial, das der Rhein mit sich führt und in den See einschwemmt, versandet sein.

Auch im Alltag kann man die Bewegungen bemerken, wenn zum Beispiel nach einem heftigen Gewitter der eben noch glatte Sandweg nun durch Rinnen des abfließenden Wassers durchfurcht ist, in denen das lockere Material aus Sand und kleinen Steinen in tiefere Lagen weggeschwemmt wurde. In einem nahegelegenen Wasserlauf wird es aufgenommen und weiter weggeführt.

Dass das Gesteinsgerüst sich mit bedeutenden Veränderungen der Landschaften bewegt, ist messbar. So hat sich - nachdem vor 10.000 Jahren der Eispanzer der Kaltzeit abgeschmolzen war - die Ostseeregion um rund 300 m gehoben, das flach-ebene Finnland stieg erst dadurch über den Meeresspiegel als Festland auf. Da alte Hafenstädte sich zunehmend von den Küsten entfernten, hat man das schon in historischer Zeit bemerkt. Im selben Zeitraum senkte sich das nordwestliche Europa, wodurch der Atlantik einbrach, die britischen Inseln abgetrennt wurden, und das Flachmeer der Nordsee entstand. Auf ihrem Untergrund findet man ausgedehnte Torfböden wie die Stümpfe von Bäumen, die Reste einer Vegetation auf ehemaligem Festland.

Mit den heutigen raffinierten Methoden der Erdvermessung können selbst geringe, jährliche horizontale Verschiebungen festgestellt werden, die im Lauf der Zeit sich addieren. So driftet die skandinavische Region in nord-

östliche Richtung, soweit keine Gegenbewegungen eintreten, wäre das Gebiet weit dorthin verschoben, wo heute Ostsibirien gelegen ist. Aus Messungen ergab sich, dass die Entfernung zwischen München und dem Alpenrand geringer wird.

Zu diesen langsam verlaufenden Bewegungen, kommen die abrupten mit oft katastrophalen Auswirkungen für die Bewohner der betroffenen Gebiete hinzu. So lösen sich ständig Spannungen im Felsgerüst als Erdbeben und als vulkanische Eruptionen, die nicht nur örtlich auftreten, sondern - wie im Fall des San Andreasgrabens in Kalifornien - sich Landflächen über Hunderte Kilometer gegenseitig verschoben haben. Durch das Erdbeben 2018 hat sich die Lage des Mount Everest-Gipfels um 4 cm verlagert.

Ursache sind zum Einen die Bewegungskräfte aus dem heiß-plastischen Erdinneren, die sich auf die dünne Gesteinshülle auswirken. Zum anderen aus den chemisch-physikalischen Einwirkungen der Luft- und Wasserhülle auf die Festländer, so die Verwitterung der Oberflächenschichten der Gesteine und der räumlichen Verlagerung des gelösten Materials durch Wasser- und Windkräfte.

Die Stofflichkeit der Gesteinshülle

Wie die Gesteine entstanden sind und auch in der Gegenwart entstehen, lässt sich bei einem Vulkanausbruch im örtlich Kleinen erkennen. Die aufgedrungene und ausgeschleuderte, mehr als 1.500°C heiße Magma (griechisch = Brei) des Erdinneren kühlt sich im Kontakt zur äußeren Erdwärme mit durchschnittlich 15°C augenblicklich ab. Und dieser Vorgang führt dazu, dass die chemischen Elemente - so vor allem Silizium, Aluminium, Magnesium, Eisen und weitere - sich im Vorgang der Erkal tung mit dem aktiven Sauerstoff verbinden. Es entstehen zunächst die Mineralien, die Körnchen, die man bei näherer Betrachtung eines Steins erkennt, und - wenn diese sich unter Druck und Hitze und Bindemitteln verbacken - die festgefügt Gesteine.

Dieses Verbinden im Glutfluss freier Atome unter der Herrschaft des verbindungsaktiven Sauerstoffs geschieht in einer jeweils besonderen Umgebung, so dass nur ausnahmsweise reine Ausprägungen entstehen, wie zum Beispiel der reine Quarz (Bergkristall) oder der Diamant (ausschließlich Kohlenstoff). Im Allgemeinen bilden sich Mischungen, so zum Bei-

spiel vorrangig nicht reine Siliziumdioxide sondern die umfangreiche Gruppe der Silikate, der Kern ist Silizium und Sauerstoff, zu dem noch weitere Elemente hinzukommen. Daraus entsteht die Welt der gefärbten Steine bis zu denen der Schmucksteine, etwa der Achat in einem Kollier.

In der Tiefe des Vulkanschlots verläuft die Erhaltung naturgemäß langsamer und daher ordnen sich die chemischen Elemente gemäß dem kristallinen Aufbau ihrer Molekülbindung. Es entstehen einerseits geometrische Formen, wie man sie an den hexagonalen Basaltsäulen bewundern kann. Dort wo oberhalb die Erhaltung schneller abläuft und die Gravitation den Glutfluss in die umgebenden Senken verschiebt, entstehen die amorphen Wülste. Der freigelegte Aufschluss der Insel Staffa im Irischen Meer liefert das eindrucksvollste Beispiel für dieses Nebeneinander von langsamer und schneller Erhaltungsbewegung. Aus dem Anteil der Magma, der hoch in die Lufthülle geschleudert wurde, entstehen die porösen, kleinteiligen Gesteine, Gerölle, Sande und Tuff. Aus Lavafetzen, die sich auf dem Weg durch die Luft drehen und dabei Kugelgestalt annehmen, bilden sich die "Bomben". Wie auch Stäube, Gase aus dem Innern des Schlots und Bodenwasser als Wasserdampf austreten und hoch hinaus in die Atmosphäre geschleudert werden. Schließlich durch die Windströmungen in andere, oft weit entfernte Gegenden verweht werden. Der aktive Vulkan Ätna liefert alles an Anschauung, was man über das Bewegende in diesen Vorgängen wissen muss.

Was im Vulkanausbruch örtlich geschieht, geschah in der Erhaltungperiode der Erde erdumfassend. Die im Inneren wie in der Tiefe verbliebene, erkaltete Magma bildete das Felsgerüst oder - wie die Geologen sagen - das Grundgebirge. Dieses umfasst zwei Schichten, die obere besteht hauptsächlich aus den Silizium-Aluminium Verbindungen, die untere, schwerere Schicht setzt sich aus den Verbindungen des Siliziums mit Magnesium zusammen. Die über das Meeresniveau ragenden Festländer sind $\boxed{\text{SiAl}}$ Schichten und somit leichter als die ozeanischen $\boxed{\text{SiMa}}$ - Grundgebirge. Warum diese Unterscheidung für das Verständnis der Bewegung der Erdkruste wichtig ist, wird noch behandelt.

Der Urzustand der Erde

Während der ersten Epoche des noch heiß glühenden Planeten, sein Sternzeitalter, wirkten die proportionalen Kräfte der Anziehungs- und Fliehkraft

auf den rotierenden, glutflüssigen Erdkörper in seinem Sonnenlauf einerseits und die innere, abstrahlende Wärmeenergie, die aus dem Zerfall von Wasserstoff entsteht, andererseits. In dieser frühen Epoche nahm die Erde ihre Gestalt als Fastkugel an, in der Fachsprache ein Rotationsellipsoid mit einer Ausbuchtung in der Mitte und einer Einbuchtung an den Polen. Im Fall der Gasriesen Jupiter und Saturn ist diese Erscheinung als Folge der Driftkräfte eines rotierenden Körpers viel stärker ausgeprägt.

Auch die Erde war somit - als der Erdkörper gefestigt war - in ihrer 4,5 Milliarden andauernden Existenz ein kleiner, seine Energie verzehrender Stern. Da 3,2 Milliarden alte feste Gesteine, so in Grönland, vorgefunden wurden, kann man folgern, dass eine feste Krustenbildung schon früh entstand, entsprechend die Zeit als Stern vergleichsweise kurzfristig war.

Zunächst bildeten sich treibende, erkaltete Schollen, die sich mehr und mehr verschweißten. Wann dieser Zustand einer äußeren Verpanzerung schließlich gegeben war, das lässt sich nicht datieren. Er ist ja auch nicht abgeschlossen, wie die vulkanischen Ausbrüche belegen. Was die Geologie, die Wissenschaft von der Erdgeschichte, herausfinden konnte, reicht daher nicht in diese archaische Zeit zurück, erst was in den vergangenen 650 Mio. Jahren sich auf der Erdoberfläche ereignete, hat auswertbare Spuren hinterlassen.

Von einem Urzustand der festen Erdoberfläche zu sprechen, macht naturgemäß nur dann Sinn, nachdem der Vorgang der Erkaltung im Großen und Ganzen abgeschlossen war, der glutflüssige Stern zu einem Planeten mit fast fester Außenhülle geworden war. Nur etwa ein Prozent der Energiebilanz auf der Oberfläche stammt seither aus dem Erdinneren. Energetisch übernahm die Sonnenenergie die letztendliche Ursache aller weiteren Bewegungsvorgänge an der Erdoberfläche. Wie muss man sich den Urzustand der erkalteten Erdoberfläche - noch vor dem Entstehen der Luft und Wasserhülle - als Ganzes vorstellen?

Das Anschauungsmaterial liefert uns der Mond und der Mars, da beide keine Wasser- und Lufthülle aufweisen, kann man ihre Oberfläche besichtigen. Diese ist archaisch durch heftige Bewegungen und entsprechend größere Terrainunterschiede entstanden. Es wölbten sich an der einen Stelle Massen auf, und an anderer Stelle taten sich weite und tiefe Becken auf. Gemessen an ihrer Größe ist das Relief weitaus ausgeprägter als auf der

Erde, Steilabfälle und über lange Entfernungen reichende Risse durchziehen ihre Oberfläche. Die höchste Erhebung auf dem kleineren Mars erreicht 35 km über der Grundlinie, der höchste Gipfel der Erde liegt unter der 10 km - Marke. Der Mond ist übersät von Kratern, die einerseits Explosions-trichter von Gasausbrüchen sind, andererseits Einschlagstellen von planetarischen Körpern. Der so oft besungene Mond ist grau und leblos, für uns silbern, weil er das Sonnenlicht zurückwirft. Der Mars erscheint rot gefärbt, weil seine Oberfläche stark eisenhaltig ist. So „wüst und leer“ - wie es treffend in der Genesis heißt - sah auch die Erdoberfläche im erkalteten Urzustand aus. Und es gilt nun die Ursachen zu behandeln, weshalb sich die Erde vom grau-kalten zum blauen, organisches Leben ermöglichenden Planeten entwickelte.

Entstehung der Luft- und Wasserhülle

Was die Erde von Mars und Mond unterscheidet, ist, dass zwischen der Eiseskälte des Universums und der erkalteten Oberfläche sich die Hülle aus ausgehauchten Gasen, so vor allem Methan und Ammoniak, bildete. Es wird vermutet, dass diese erste rein gasförmige Hülle zu leicht war, um durch die Schwerkraft festgehalten zu werden. Möglicherweise wiederholte sich das mehrmals, bis zu dem Zeitpunkt als eine beständig angebundene, notwendigerweise dichtere Lufthülle vorhanden war. Dass auch diese nicht der heutigen mit ihrem Anteil an 20 % freiem Sauerstoff - wie gesagt dem Alleskönner der irdischen Oberfläche - entsprach, wird später behandelt.

Die erste, nicht in das Weltall entwichene Lufthülle bestand aus einem Gemisch aus Stickstoff und Kohlenstoffdioxid. Unter diesen Bedingungen verbanden sich die ebenfalls aus dem Erdinneren ausgehauchten Gase Wasserstoff und Sauerstoff in einem über lange andauernden Zeitraum zu Wasser, das bei zunehmender Sättigung aus der Lufthülle in Gewitterstürmen niederfiel und sich als Wasserhülle in den Senken sammelte. Der Sauerstoff, der nicht auf diese Weise gebunden wurde, verblieb als zweiatomiger Sauerstoff O_2 - der größere Anteil - und als dreiatomiger Sauerstoff O_3 , das Ozon, in der Lufthülle und bildete - in Zeiträumen, die wiederum in Jahrmillionen zu messen sind - das Gasgemisch mit dem ausgehauchten verbindungsträgen und somit nicht oxidierenden Gas Stickstoff einerseits und freiem Sauerstoff. Aber auch dann noch nicht in der heutigen Proportion 80 % zu 20 %, wie im nächsten Abschnitt über die Vegetationshülle nachzulesen sein wird. Unsere Nachbarplaneten zeugen noch von

diesem früheren Zustand im Verlauf der Erhaltung. Der zu kleine Merkur hat - wie der Mond - keine Lufthülle festhalten können, die Venus ist von einem dichten Methan- Ammoniakgemisch umgeben, der Mars hat eine nur geringe Lufthülle mit Eiskappen an seinen Polen. Wenn also tatsächlich - wie es in reißerischen Katastrophenszenarien dargestellt wird - ein Ausweichplanet zu finden wäre, dann käme nur der Mars in Frage.

Auch wenn die ursprüngliche Atmosphäre noch nicht dem heutigen erdoberflächennahe Luftgemisch entsprach, so waren doch die Voraussetzungen für das Wechselspiel zwischen Luft-, Wasser- und Gesteinshülle und damit die Entwicklung zum blauen Planeten gelegt. Die aus erratischen Klüften und Wüstenbecken bestehende Gesteinshülle wurde durch die Kräfte, die das Verwitterungs- und Erosionsgeschehen in Gang setzten, umgewandelt. Verwitterung bedeutet, dass die Mineralien aus den Gesteinen herausgelöst werden, die Erdoberfläche wird dadurch feinkörniger und somit folgenden chemischen Prozessen "zugänglicher" bis hin zum fruchtbaren Boden. Erosion bedeutet, dass die gelockerten Gesteinsmaterialien räumlich verlagert werden.

Bewegungen in der Gesteinshülle

Verwitterung

Alles Gestein - so fest es uns auch erscheint - ist bis auf eine unterschiedliche Tiefe im Kontakt zur Luft- und Wasserhülle der Verwitterung ausgesetzt. Die mechanische Verwitterung beruht hauptsächlich auf einer ansonsten nicht vorgefundenen Eigenschaft des Wassers, nämlich der, dass es sich bei niedriger Temperatur - die bereits behandelte Anomalie des Wassers - ausdehnt. Eine gefüllte Wasserflasche, die man unvorsichtiger Weise der Winterkälte ausgesetzt hat, wird am nächsten Morgen zersprengt vorgefunden. Entsprechend lockert das Wasser, das in Ritzen der Felsgesteine eingedrungen ist, den Verbund der Mineralkörnchen und kann auch größere Bestandteile absprengen; mit der Folge, dass die gelockerte Gesteinsmaterie durch Schwerkraft weggerissen und durch fließendes Wasser weggeschwemmt wird. Auf diese Weise wird Schicht für Schicht abgetragen und dies umso mehr, wenn in den Steillagen das anstehende Gestein ständig - Schicht um Schicht - den Verwitterungskräften ausgesetzt ist. Das anschaulichste Beispiel dafür sieht man in den Gesteinsschutthalden in den Hochgebirgen.

Hand in Hand geht damit die chemische Verwitterung. Am wichtigsten ist der bindungsaktive Sauerstoff O_2 , so am Beispiel des Eisensrost zu sehen, FeO_2 . Unsere Erdoberfläche ist oxidisch, das zeigt sich in Allem, was anorganisch und organisch auf der Erdoberfläche vorhanden ist. Hinzu kommt die chemische Lösung durch die im Wasser - es ist nie rein - enthaltenen Säuren und Salze im Kontakt zum anstehenden Gestein. Beide Ursachen - mechanische und chemische Verwitterung - wirken auf die Gesamtheit der durchfeuchteten, klimatisch wechselhaften Räume, also flächenhaft.

- In den trockenen und warmen Gebieten ist dagegen die Windkraft die wichtigste mechanische Verwitterungsursache. Wird gelockertes Material verweht, so wird es weiter durch Reibung zerkleinert, die hohen Sanddünen der Sahara sind so entstanden. Wie in diesen Gebieten die sehr starken Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht zersprengende Spannungen auslösen. So können selbst haushohe Felsen - oft mit einem lauten Knall verbunden - zerlegt werden.
- Und schließlich - was später zu behandeln ist - kommt die biomechanische und -chemische Lockerung in den Gebieten hinzu, die durch ein Pflanzenkleid bedeckt sind.

Erosion

Erosion bedeutet die räumliche Verlagerung des gelockerten Gesteinsmaterials durch Wasser- und Windkraft vom Ort der Verwitterung in nahe oder weiter entfernte Lagen.

Das Wasser - den Gesetzen der Schwerkraft unterworfen - fließt zur Basis, dem Meer. Wasser ist keine leichte Substanz, wie sich - um es zu wiederholen - an dem Vergleich zwischen dem spezifischen Gewicht Wasser zu Gestein wie 1 : 2,5 deutlich wird, und es potenziert seine Druck- und Bewegungswirkung durch Beschleunigung, wenn das Gefälle zwischen Quelle und Mündung erheblich ist - wie im Gebirge - oder durch Hebung des Geländes zunimmt oder die Schüttung durch ein niedergehendes Gewitter zunimmt, und es über die Ufer tritt.

Wasserrinnen machen auch "keine Umstände" auf dem Weg zur Mündungsbasis. Dieser strebt bei allen Widerständen durch härtere oder weichere Gesteinsschichten doch gradlinig der Mündung entgegen. Es potenziert seine Kraft durch Verwirbeln an den Prallhängen, die auf Dauer nicht widerstehen können. Das kann man leicht an den Mäandern der Bäche und Flüsse sehen, so zum Beispiel der letztendlich gradlinigen Strecke der Mosel zwischen Trier und Koblenz trotz aller Kehren und Umläufe im Detail. Je größer die Distanz zwischen Quelle und Mündung ist, umso mehr ist der Wasserdruck potenziert, das sieht man an den Gebirgsbächen, die selbst große Gesteinsblöcke verlagern. Umso mehr wenn heftige Gewitter niedergehen und in Zeiten der Schneeschmelze.

Zwischen Ober- Mittel- und Unterlauf eines Flusses wird das mitgeführte Gestein weiter zerkleinert, durch Reibung gerundet und nach Größe sortiert. Größeres Material wird an den Oberläufen abgelegt, wodurch eine Auffüllung der Täler erfolgt, ursprüngliche V-förmige Abflussrinnen formen sich U-förmig um. Im Mittellauf die kleineren Kiesel, im Unterlauf das feinkörnige Material. Je wasserreicher ein Gebiet ist, desto mehr flächenhafte Wirkung geht vom Adernetz der Bäche, kleinen Flüssen und schließlich der großen Ströme aus. Wie groß die Gesteinsverlagerung von den Höhen zu den Küsten ist, sieht man besonders eindrucksvoll am weit ins Meer vorgerückten Delta eines großen Stroms.

Deckhülle

Im Ergebnis des Verwitterungs- und Erosionsgeschehens entsteht eine immer mächtigere Schicht lockeren Materials, die das ursprüngliche Gesteinsgerüst aus der Erkaltungsperiode überdeckt. Die vielen Bohrungen in die Erdoberfläche stoßen erst auf Hunderten und sogar Tausenden von Metern auf dieses Grundgerüst. Die Schächte der Kohlenbergwerke gehen bis zu Tausend Meter in die Tiefe, bleiben gleichwohl im Deckgebirge der Sedimente - so der Fachbegriff.

Im Verlauf dieser Umschichtungen entsteht neues festes Gestein. Wenn auf früher entstandene Ablagerungsschichten die Last der darüber liegenden drückt, dann wird darin enthaltenes Wasser ausgedrückt, es trocknet, und durch Bindematerial werden die Mineralien neu verschweißt, es entsteht wieder festes Gestein innerhalb der Deckschichten über dem archaischen

Felsgerüst, so zum Beispiel der Sandstein, der sein Entstehen im Namen abbildet.

Indem das fließende Wasser lockeres Gesteinsmaterial zunächst sammelt und dann in den Flüssen und Strömen wegführt, entstehen in der Deckschicht "Durchfurchungen", die Täler und die mehr oder weniger steilen Talhänge und damit vertikale Bewegungen bis hin zu Rutschungen und ganze Bergstürze, gelockertes Material, das weggeführt wird. Die Täler werden dadurch geweitet. Dort, wo am Ober- und Mittellauf der Wasserdruck auf das Gestein durch das Gefälle noch gesteigert wird, entstehen die Mäander, d.h. der Flusslauf windet sich und an den Stellen, wo der Wasserdruck - am Prallhang - am wirksamsten ist, wird Gestein gelockert, entweder vom Fluss mitgeführt oder am Gleithang abgelegt. Auch damit ist eine Weitung des Tales die Folge. Noch heftiger werden Gesteinsschichten ausgeräumt, wenn Gletschermassen sich vorschieben. Aus V-förmigen Einschnitten entstehen die U-förmigen Trogtäler.

Der Gesteinskreislauf

Einebnung

Im Ergebnis werden alle hoch aufragenden Gesteinsschichten - soweit sie der Verwitterung ausgesetzt sind - eingeebnet und alle umgebenden tiefen Lagen, Täler und Senken, aufgefüllt, letztlich auch die Ozeanbecken. Auf die Festländer legt sich eine Schicht der Verwitterungsperiode auf die nächste, die immer mächtiger werdende Deckschicht.

Denkt man diese Vorgänge fort, so werden ständig Höhen abgetragen und Senken aufgefüllt. Im Ergebnis entsteht auf den Festländern eine wellige Fastebene, wie auch die großen Senken der Ozeanbecken mehr und mehr durch das eingeschwemmte Material aufgefüllt werden. Und denkt man noch weiter, dann wären erdweit keine erheblichen Terrainunterschiede mehr vorhanden, die Wasserhülle würde entsprechend gehoben und überdeckte die gegebenen Festländer.

Nimmt man die gegebenen Wassermassen und unterstellt eine völlige Einebnung aller Terrainunterschiede, so lässt sich der Effekt berechnen, die Erdoberfläche wäre durch eine 2.000 m hohe Wasserhülle vollständig überdeckt. Dass dieses gedachte Endstadium der Einebnung nicht entstan-

den ist, zeigt uns ja der Atlas. Es muss somit eine Gegenbewegung gegeben haben, eine der Einebnung entgegenstehende Hebung oder erneute Gebirgsbildung innerhalb der Erdkruste.

Gebirgsbildung

Eine dünne Schale wie die der harten Gesteinsschicht, die dem heiß plastischen Untergrund aufliegt, kann nicht vollständig starr sein. Sie macht die Bewegungen der Magma passiv mit, woraus sich Hebungen und Senkungen im Verlauf von Ausgleichsbewegungen entstehen, auf denen sich die Ausgleichsprozesse des Verwitterungs- und Erosionsgeschehens abspielen. Aber diese erdinneren wie -äußeren Vorgänge reichen nicht aus, um die schmalen Hochgebirgskämme und -plateaus aufzutürmen werden könnten, um umgekehrt die Tiefseebecken einzusenken.

Über die Ursachen erneuter Gebirgsbildungen - hervorgerufen durch seitlichen Druck - haben die Erdkundler lange gerätselt. Bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts ging man davon aus, dass der Erdball im Verlauf der Erkal tung sich verkleinert, und - wie bei einem Apfel - aus einer ehemals wellig-glatten Oberfläche eine geriffelte wird. Es fand nach dieser Auffassung eine erdumfassende Einsenkung statt und dadurch verringerte sich der Erdum-fang, woraus sich der seitlich wirkende Druck ergibt, woraus Gesteinsmas-sen zu Hochgebirgen aufgepresst wurden, wie die Verwerfungen und Spalten in der Gesteinshülle daraus entstanden. Auch die Gegenthese - dass sich der Erdkörper vergrößert - ist verfolgt worden.

Beide Thesen, die davon ausgehen, dass Gebirgsbildung und deren an-schließende Einebnungen im wesentlichen ortsfest sind, ein Stein, der an einem Ort vorgefunden wird, auch dort entstanden ist, sind heute verworfen zugunsten der Kontinentalverschiebungshypothese, die von Alfred Wege-ner in den 1920er Jahren vorgeschlagen wurde.

Sie besagt, dass die Gesteinshülle durch die Rotation des Erdkörpers driftet - also großräumig sich verschiebt. Zudem dass ein Urkontinent bestand, der durch diese waagrecht wirkenden Bewegungen zerriss und sich zwischen ihnen die großen Becken der heutigen Ozeane öffnete. Alfred Wegener verwies auf die Ähnlichkeit der passende Form der westafrikanischen und ostsüdamerikanischen Küsten sowie auf die Tatsache, dass die Gesteins-formation der beiden Kontinente gleichartig ist, der Atlantik ist danach

entstanden als eine sich immer vergrößernde Rinne zwischen einer ehemals zusammenhängenden Landmasse.

Eine Revolution im geologischen Denken war dadurch ausgelöst. Nach anfänglichem Widerstand sind die Belege durch verfeinerte Erdvermessung gesammelt worden, die für deren Gültigkeit sprechen. Auch Annahmen über die künftige Verteilung der Festlandmassen sind dadurch möglich. Unser Vorstellungsvermögen ist schon sehr herausgefordert, wenn man aus dem Atlas für Finnland erfährt, dass die Gesteine des Bodens dieses Landes sich früher unterhalb des Äquators befanden und im Zeitraum von Millionen von Jahren an ihre jetzige Lage verschoben wurden.



Linke Abbildung, die Festländer vor 220, rechte vor 65 Millionen Jahren. Die Pfeile zeigen die Bewegungsrichtungen an, T steht für Thetissee, dessen Reste als Mittelmeer noch bestehen.

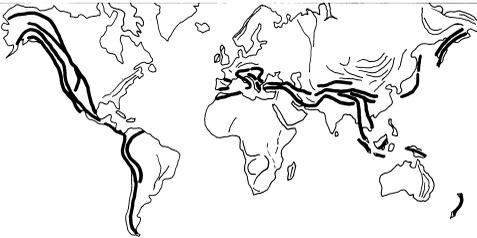
Die Ablösung der beiden Americas, auch wenn Nordamerika wie Grönland noch mit dem eurasischen Block verschweißt ist, öffnete das Atlantikbecken. Die heutige indische Halbinsel, eine Abspaltung des östlichen Afrikas, driftete an den Süden des eurasischen Blocks heran, wie das künftige Australien sich von der Antarktis löste. Erstaunlich wie diese Verschiebungen in der vom Alter der Erde her gesehen doch kurzen Epoche die Erdoberfläche sich umgestaltet hatten!

Vor 220 Mio. Jahren bildeten die Festländer noch einen geschlossenen Festlandsblock. Vor 65 Mio. Jahren ist dieser Zusammenhang zerbrochen. Die ursprüngliche Zweiteilung der Erdoberfläche in einen geschlossenen Festblock einerseits und des ungeteilten ozeanischen Beckens andererseits hatte sich in eine Vielteiligkeit umgewandelt. Der vergleichsweise ortsfest gebliebene Rest des Urkontinents ist heute Afrika. Die Ablösung der bei-

Die Erklärung dafür beruht einerseits auf der Zweischichtigkeit des Gesteinsgerüsts in die schwerere SiMa - Unterschicht und der leichteren SiMa - Oberschicht, die unter den Kräften aus der Magma - Schicht einerseits und der der Massenverlagerung auf der Oberfläche durch Verwitterung und Erosion andererseits sowohl drifftet als auch entstehende Massenungleichgewichte ausgleicht - sich also bewegt, auf der schwereren Unterschicht gleitet. Andererseits dadurch, dass im Verlauf dieser Bewegungen und

wiederholter Gebirgsbildungen innerhalb der Kontinentalschollen Massenverdichtungen und -entdichtungen entstehen, und sich relativ starre wie relativ labile Zonen an deren Randzonen herausbilden.

In der Fachsprache wird für die schweren Anteile innerhalb der Erstarungsrinde der Begriff Kratone (von griechisch kraton = Kraft) benutzt und zusätzlich wird zwischen Tief- und Hochkratonen unterschieden. Tiefkratone sind die Meeresböden, die unterste, schwere Schicht des Gesteinsgerüsts. Die Schwere der Hochkratone innerhalb der Festländer ergab sich aus den Sockeln früherer, wiederum eingeebnetter archaischer Gebirgsbildungen. Ihre tektonische Bedeutung ergibt sich daraus, dass sie als verfestigte Gebiete relativ starr sind, d.h. dass angreifende seitliche wie vertikale Druckkräfte nicht mehr ausreichen, sie deutlich zu heben oder ihre Massen horizontal zu stauchen. Spannungen, die gleichwohl in ihnen bestehen, werden durch Zerbrecen in Schollen aufgehoben, wodurch in den entstehenden Verwerfungen Magma eindringen kann, und sie dadurch zusätzlich verdichtet werden. In ihrer geologischen Formation sind sie Tafelländer, die Verwitterungsmassen werden daher nicht weggeführt, was wiederum ihre Schwere erhöht.



Die dunklen Linien sind die jungen, "alpidischen" Faltengebirge, die dünneren Linien sind Gebirgsbildung aus erdmittelalterlichen Epochen.

Das gesamte Afrika ist der weitgehend ortsfest gebliebene Kraton des Urkontinents. Der südostamerikanische Kraton ist die westlich gedriftete Ablösung des Urkontinents an dessen Westflanke, wie die indische Halbinsel die Ablösung an der Ostflanke. In dem großen Grabenbruch, der sich von der arabischen Halbinsel entlang des abessinischen Hochlandes,

eine vulkanische Gebirgsbildung, bis tief nach Südafrika hinzieht, sieht man den Beginn einer weiteren, derartigen Ablösung. Australien ist eine nordöstlich gedriftete Ablösung des antarktischen Teil des Urkontinents.

Auf der nördlichen Halbkugel bestehen drei Kratone, das nordöstliche Gebiet einschließlich der Insel Grönland des nordamerikanischen Kontinents, der osteuropäische Kraton - dazu gleich mehr - und Nordostsibirien.

Wie man auf der obigen Karte erkennt, war der nordamerikanische Kraton zu Beginn der geologischen Neuzeit vor 65 Mio. Jahren noch mit dem nördlichen Teil des Urkontinents verbunden.

Auf der Karte sieht man die heutigen Umriss der Kontinente und die Gebirgsbildung in diesem Zeitraum der zurückliegenden erdgeschichtlichen Epoche. Unmittelbar ins Auge springt, dass die Hochgebirge einerseits schmale, andererseits langgestreckte Streifen bilden, sowohl das nordsüdliche gerichtete Gebirge an der Westflanke der beiden Amerikas wie die Gebirgskette mit eingelagerten Hochplateaus vom westlichen Rand Europas bis in das südöstliche Hinterindien.

Der Hochgebirgszug entlang der Westküste der beiden Amerikas ergab sich als Aufschubung der westwärts driftenden Kontinentalmasse auf den Tiefkraton des Pazifikbeckens. So etwa wie die Bugwelle eines fahrenden Schiffes zu verstehen. Die Schubkräfte gingen von den beiden Kratonen auf der Leeseite der Auffaltung aus. Erkennbar an den Steilabfällen zum Pazifik und den Abdachungen der Geländeformen ins Innere dieser Festländer. Auch im Fall Australiens entstand auf diese Weise ein Randgebirge, hier jedoch am östlichen Rand.

Nicht so unmittelbar ist die Orogenese (das Fachwort für Gebirgsbildung) im Fall Eurasiens / Nordafrikas zu verstehen. An den Rändern und somit zwischen den Kratonen liegen die leichteren, labilen Zonen. Aufgrund ihrer Nachgiebigkeit reagieren sie auf die erdinneren Bewegungen der Magma, soweit sie einsinken, bilden sie die Becken, in die vermittels der Erosion die lockeren Gesteine der Verwitterung eingeschwemmt werden, und wie im Fall einer Überflutung (Transgression der Meere) die anorganische Materie und organische - die Schalen der Meerestiere - niedersinkt. Dort sammeln sich die gelockerten und somit leichteren Sedimentgesteinsmassen, das Ausgangsmaterial der Aufpressung durch späteren horizontale Druckwirkung. Hinzu kommt, dass der Druck eines driftenden Kratonen auf das Widerlager entgegenstehender Kratonen stößt, daraus ergeben sich seitliche Abweichungen der bewegten Gesteinsmassen.

Die nordwärts driftenden Kratonen sind im westlichen Teil der afrikanische Kraton einschließlich der arabischen Halbinsel, östlich davon die afrikanische Abspaltung der indischen Halbinsel. In beiden Fällen werden die leichten Zwischenzonen gehoben und - da die kratonischen Widerlager

einen Gegendruck ausüben - gestaucht, räumlich zusammengedrückt. Je nach Stärke in die Höhen, wie man sie heute vorfindet, in Europa bis unter 5.000 m, Montblanc, im mittleren Abschnitt darüber (Elbrus und Ararat 5.600 m, im Himalaja fast 9.000 m. Zur Erklärung wie zur Form dieser Gebirgsbildung als Ketten in der Längsrichtung und als parallel verlaufende Falten wird in der geologischen Literatur auf die Simulation an Hand eines Tischtuchs verwiesen, das entweder von einer Hand oder zwei (in entgegengesetzter Richtung als Widerlager) zusammengeschoben wird.

Ist dieses Verständnis des Entstehens der Höhendimensionen der Erdoberfläche spekulativ? Ein psychologisches Problem des Herangehens an die Erdoberfläche als Ganzes besteht ganz sicher, weil unser inneres Bild von Landschaften von unserem Körpermaßstab bestimmt ist. Alpengipfel des Erhabenen, Sichtkreis in einer ebenen Landschaft usw. Doch schon wenn man auf einem Gipfel steht, erhöht sich der Sehkreis und man nimmt die Ausgedehtheit wahr und sieht, dass man die Reihe der Gipfel als Ebene, die Kammlinie, mit eingesenkten Tälern begreifen kann. Noch mehr im Flugzeug. Da drängt sich der kühne - gleichwohl richtige - Gedanke auf, dass zwischen den Wellenbergen des Meeres und den parallel verlaufenden der Bergwelt zwar kein stofflicher aber ein grundsätzlicher Bewegungszusammenhang besteht.

In der Wahrnehmung muss man von gewohnten Maßstäben Abstand nehmen. So ist ein hochaufragendes Gebirge, das die Wolkenschicht übersteigt, Inbegriff des Erhabenen. Reduziert man aber die Erde auf eine Kugel mit zwei Meter Durchmesser, so ragen die höchsten Gipfel nur 2 mm über dem mittleren Niveau der Krustenoberfläche (2.430 m unter NN des Meeresspiegels) wie die tiefsten Rinnen darunter. Es erleichtert das Verständnis der Bewegungen auf der Erdoberfläche sehr, wenn man diese Perspektive eines Astronauten einnimmt.

Gleiches gilt für die Zeitdimension. 12.000 Jahre sind durch Zeugen belegte Menschengeschichte überschaubar. Die Zeitachse, auf die man sich einlassen muss, ist anders. Das Alter des Sonnensystems ist 4,5 Mill. Jahre, und davon sind nur 650 Mio. Jahre - somit nur % - durch geologisches Forschen als Folge von ruhigen und unruhigen Phasen dem archaischen Dunkel entrissen.

Mit den heutigen Methoden der Geologie ist es möglich geworden, die Belege zu ermitteln. So die Schweremessung der Gesteinsoberschicht, die absolute Altersbestimmung der Gesteine und Gesteinsschichten und die Bewegungen der Kontinente und der Teilgebiete, sowie vertikal und horizontal. Darauf können auch Prognosen erstellt werden. so wird Finnland bei gleichbleibender Bewegung sich dort befinden, wo heute Nordostsibirien sich befindet. Der Beleg für die Labilität der Faltungszonen ist die Häufigkeit der Erdbeben und der vulkanischen Ausbrüche.

Kreisläufe gegen gerichtete Bewegungen

Die Bewegungen in der Gesteinshülle sind offenbar anderer Natur als die bisher behandelten. Bisher verliefen die Bewegungen in Form von Kreisläufen, d.h. im Ergebnis kehren die Bewegungen in der Zeit jeweils zu ihrem Ausgangspunkt zurück, so die planetarischen Umläufe im Verlauf eines Jahres und die Bewegungen in der Luft- und Wasserhülle. Diese Kreisläufe gewährleisten Beständigkeit.

Dagegen ist die Kontinentalverschiebung gerichtet, irreversibel. Gefährdet sie die Existenz der Erdoberfläche, wie sie heute ist? Davon muss man ausgehen. Unsere Gegenwart ist eine Etappe zwischen der Existenz als Stern, der anschließenden Erkalzung an der Erdoberfläche und schließlich einer zukünftigen vollständigen Kratonisierung, die das Wechselspiel des Gesteinskreislaufes zwischen Einebnung und erneuter Gebirgsbildung beendet. Bei völliger oder teilweiser Einebnung würde die Erdoberfläche durch eine erdweite wenn auch unterschiedlich tiefe Wasserhülle überdeckt werden. Auch ein planetarisches Erlöschen ist wahrscheinlich, nämlich dann, wenn die Sonne ihren Energiebestand verbraucht hat. Soweit etwas Futter für die Leserinnen und Leser, die sich an Katastrophenszenarien erfreuen. Man muss die Überlegung umdrehen. Ist die Erde unruhig, genauer die Erdoberfläche? Es trifft zu, sowohl was die Kontinentalverschiebung - heute sagt man eher die Plattentektonik - und umso mehr wenn man an die Hochgebirgsstreifen denkt. Aber diese partielle Unruhe im umfassenden Rahmen der Kreisläufe, die die Beständigkeit ausmacht, ist - bei näherem Nachdenken - notwendig, da erst sie das produktive Milieu schafft, das unseren Planeten auszeichnet. Wenden wir uns lieber dem Landschaftsverstehen und -erleben zu - dies am Beispiel unseres Europas.

Die Landschaften am Beispiel Europas

Eine Landschaft ist ein Teil der festländischen Erdoberfläche, sie ist eine Individualität. Diese Landschaften sind in die erdumfassenden Bewegungen eingebunden, doch in ihrer jeweiligen Ausprägung.

Der westliche Rand des eurasischen Kontinents eignet sich vorzüglich für die erdgeschichtliche Betrachtung, nicht nur, weil er am gründlichsten untersucht wurde - wobei die vielen Bohrungen und Steinbrüche auf der Suche nach Erzen des Industriezeitalters mittelbar die Fakten lieferten - sondern, weil dort auf kleinem Raum zwischen den westlichen Küstengebieten und dem osteuropäischen Flachland, zwischen dem Nordmeer und dem Mittelmeer, so alle Varietäten der Erdoberfläche vorgefunden werden.

Das weitausgedehnte flache Osteuropa - mit mehr als 50 % der gesamten Fläche Europas - ist ein Schild, ein Kraton, eine verfestigte Masse, die schon vor dem Zeitraum, den man geologisch überblicken kann, gefestigt war. Dieses "alte Europa" lässt sich abgrenzen, wenn man von der Südspitze der norwegischen Gebirge eine Linie bis zum Schwarzen Meer zieht. Das Nordmeer und das Uralgebirge begrenzen es nach Norden und Osten. Im Nordwesten, in Finnland, ist das felsige Grundgebirge nur im Durchschnitt mit 8 Meter Deckgebirge verhüllt, das machte diese Region zum begehrten Anschauungsbeispiel für die geologische Wissenschaft (dazu meine Studie über Finnland).

Südöstlich davon ist die Deckschicht im Durchschnitt über 400 Meter mächtig. Entwässert wird das Gebiet neben weiteren großen Flüssen durch die Wolga, die in das Kaspische Meer mündet, die mit Abstand größte Wasserfläche ohne Verbindung zum Weltmeer. Diese weiträumige Senke ist ein Beispiel der Abhängigkeit einer Landschaft von ausreichender Wasserzufuhr über die auf die Festländer verwehten Regenwolken. So wird durch den großen Wolgastrom zwar viel Wasser zugeführt, doch bei hoher sommerlicher Temperatur ist die Verdunstung so hoch, dass mehr Wasser in die Lufthülle zurückgeführt als über den Fluss zugeführt wird. Eine prekäre Landschaft somit, was sich darin zeigt, dass weite Teile der Niederung zwischen Ural und dem kaukasischen Hochgebirge zu trocken sind, um eine flächendeckende Vegetation zu tragen.

Aus ganz anderen Ursachen ist der Randstreifen Osteuropas hin zum Nordmeer vegetationsarm, nur mit niedrig wachsenden Sträuchern, Gräsern, Flechten und Moosen bedeckt. Der Grund dafür ist, dass in dieser kalten Zone die schneefreie Vegetationszeit zwischen Blüte und Frucht nur wenige Monate andauert. In den Breitengraden südlich davon erstreckt sich der boreale Wald, je südlicher umso dichter. Wie gesagt, die Pflanzenwelt ist nicht durch Kälte sondern durch Trockenheit gefährdet. Die Anpassung daran sind die schmalgliedrigen Blätter der Nadelwälder, die die Diffusion des Wassers im Pflanzenkörper in die trocken-kalte winterliche Zeit verringern. Sie nutzen die wenigen Monate der warmen Saison, um die Triebe und Samen auszubilden - dies in der Zeit der langen Sonnenscheindauer der nordischen Breiten. Wiederum südlich davon erstrecken sich die vom Menschen zur Ernährung genutzten Bewirtschaftungsflächen der Felder und Wiesen, zum südwestlichen Bereich hin mit sehr ergiebigen weil feinkörnigen Lössböden, die während der Eiszeitperiode verweht wurden. Das Klima ist kontinental.

Als Kraton ist Osteuropa eine ruhige, flache, weiträumige Ebene. Das westlich davon gelegene "neue Europa" zwischen den Atlantik- und Mittelmeerküsten ist der tektonisch gesehen unruhige Teil unseres Kontinents. Unruhig und landschaftlich immer wechselnd aufgrund seiner tektonischen Bewegungen zwischen dem osteuropäischen Kraton und dem west- und südeuropäischen Steilabfällen des atlantischen Beckens und des Mittelmeers. Es ergibt sich somit viel Stoff, um die Mannigfaltigkeit dieses Raumes zu erzählen.

Das Neoeuropa hat in drei Gebirgsbildungen seine heutige Form gefunden. Die am weitesten zurückliegende ist die kaledonische Auffaltung, die in einer weltweit unruhigen Epoche vor 440 – 400 Millionen Jahre stattfand. Ihre Spuren findet man heute in den Gesteinsstöcken, die sich über Nordirland, Schottland und vor allem in dem westskandinavischen Randgebirge Norwegens hinziehen. Mit dem langen norwegischen Gebirgszug erfolgte eine erste "Anschweißung" Neoeuropas an den osteuropäischen Kraton.

Millionen Jahre später in einer ebenfalls weltweit unruhigen Phase erfolgte die zweite Gebirgsaufpressung während der Karbonepoche vor 360 bis 300 Millionen Jahren. Die Spuren sind zum Beispiel an der bretonischen Küste zu erleben. Es wirkt mächtig auf das Gemüt, wenn der schmale, gewundene Pfad an der Küste sich entlang windet, die Brandung diese archaischen

Felsen angreift, bis in das Inland einer Bachmündung vorstößt, und dort im verschattenden Dunkel der Rinne eine überwältigende Pflanzenwelt entstanden ist, und nur wenig weiter sich die im Ausgleich der Bewegungen die beruhigte Zone eines Sandstrandes erstreckt, an dem, da nun die Windkräfte angreifen können, wiederum Verwehungen auftreten. Man sollte sich Erlebnisse dieser Art - fern von urbanen Aufgeregtheiten - gönnen.

Diese Gebirge verfielen der Einebnung, und was heute als Mittelgebirge vorhanden ist, sind deren Gebirgsstöcke oder -wurzeln. Tektonisch sind sie landschaftsgestaltend, weil sie als schwere Massen in die Erdkruste einsinken und das Meer danach hier eindringt. Der Wechsel zwischen wasserbedeckt und trocken fand sehr häufig statt, die Zeugen sind die Schichten ehemaliger Meeresböden, die man leicht von den trockenen unterscheiden kann, da sie die harten Schalen ihrer damaligen Bewohner zum Beispiel unammoniten enthalten.

Es sind dies die Leitfossilien, soweit sie in Meeren, die wärmer oder kälter waren, unterschiedliche Existenzformen / Gestalt aufwiesen. Muschelschalen, Ammoniten und weitere, darunter die nur unter dem Mikroskop zu entdeckenden Radiolarien kann man überall finden und sammeln, vor allem dort, wo Flüsse mit großem Gefälle sich tief in den Untergrund eingruben, die wilde Gutach zum Beispiel. Oder am Rande von ehemaligen Warmwasserküsten, wo die Korallen ihre widerständigen Riffe aufwarfen. Die Ehrfurcht über Zeit und Raum wird dort gewissermaßen handgreiflich.

Es sind dies die Becken, in die der Verwitterungsschutt der umgebenden höheren Lagen eingeschwemmt wurde, und die Überreste der Flora und Fauna auf ihre Böden niedersanken. Es bilden sich zunächst Schlämme aus feinsandigem Material, die sich später in trockenen Perioden und unter dem Druck der darüber liegenden Wassermassen zu Gesteinsschichten verdichteten. Je nachdem wie lange diese Meere bestanden und wie tief sie waren, sind die Bodenschichten unterschiedlich mächtig und in ihrer Zusammensetzung variantenreich. So zwischen dem festgefügt Tonschiefer als ältere Formation oder dem Muschelkalk, in dem man mit der Hand die Muschelschalen "herauspulen" kann.

Eine Schichtenfolge wie sie häufig im Neoeuropa vorgefunden wird, könnte so entstanden sein:

- In einer erdgeschichtlich ruhigen Zeit lagern sich Verwitterungsschichten ab - darunter auch solche, die entstanden sind als das Meer das Festland überdeckte.
- In einer erdgeschichtlich unruhigen Zeit bewirken seitlicher oder wölbender Druck, dass die Schichten gehoben werden und "Falten werfen". Es entsteht eine vertikale Reliefunruhe an den obersten Schichten.
- Diese obersten Schichten unterliegen der Verwitterung. In einer wieder ruhigeren Zeit entsteht erneut eine flach geschichtete, den vorher gefalteten Schichten aufliegende Sedimentdecke.
- Der immer unruhige heiß-plastische Untergrund der Erdhaut zerbricht die darauf liegende Schicht in Schollen, in Verwerfungen sinken diese nieder oder bleiben "stehen".
- Verwitterung, Gravitation, die Kraft des wegtragenden Wassers bewirken eine Abrundung der so entstandenen steilen Kanten. Eine wellige - gealterte - Landschaft ist entstanden.
- In diesem mehr oder weniger welligen Relief räumt das fließende Wasser die Talebenen aus, und es mag sein, dass eine vulkanische Eruption hinzukommt, die weite Gebiete mit einer Basaltschicht zudeckt.

Die letzte Gebirgsbildung begann vor 65 Millionen Jahren, Ursache war der Druck, den der afrikanische Kraton auf Europa ausübte. In dieser Epoche, die nicht beendet ist, entstanden die markanten Gebirgsstreifen, Die Alpen liefern die schönsten Einblicke in eine heftig bewegte Gesteinswelt. So vor allem die Entstehung als Faltung, wie es die parallel verlaufenden Gebirgskämme und die sie begleitenden Längstäler belegen. Und in näheren Details der Gesteinszusammensetzung deren Verlauf. So sind die Nordalpen entstanden aus ehemaligen Meeresböden, die Kalkalpen, während die inneren Hochgebirgskämme aus ehemals tiefer gelegenen Gesteinsschichten gehoben wurden.

Für den Geologen ein Leckerbissen geologischer Spurensuche, für das Auge eine überwältigende Vielfalt der Hochgebirgslandschaft von den

Massiven des Montblanc, über die steil aufragenden Spitzen der Hörner und Piks bis zu dem wild zerrissenen, aus dem leicht löslichen Kalk bestehenden Kaisergebirge als Rand eines eingelagerten Trogs. Dazu gehört die Überlagerung junger durch alte Formationen, die Schichtenumkehr, wie sie zum Beispiel an Hand des Glarner Fensters zu sehen ist.

Es liegt auf der Hand, dass die Alpenhebung weitreichendere Erschütterungen und Hebungen verursachte, die als Brüche und Verwerfungen Klüfte in den Gesteinsschichten aufrissen, in die Magma einfluss. Die Vulkane des französischen Zentralmassivs, des Rheingrabens, des Vogelsbergs und der Rhön sind damals entstanden und selbst in jüngster geologischer Zeit fand die vulkanische Tätigkeit in der Eifel statt.

Der Druck dehnte sich weiter nordalpin aus, und darauf ist zurückzuführen, dass die alten Gebirgsstöcke hoch gepresst wurden. Die schönsten Beispiele für diese nachgelagerten Bewegungen liefern die Gebirge des Jura und der Eifel, beide ehemalige Meeresböden, an denen noch die Riffe eingelagert sind, die in einem warmen Meer die Korallen schufen, so zum Beispiel in der Gerolsteiner Senke in der Eifel.

Der Einbruch des Rheingrabens, begleitet von vulkanischen Eruptionen, der Kaiserstuhl, und das panatonische Flachland als Senkung eingelagert zwischen dem Ostrand der Alpen und den besonders schön gebogenen Karpaten.

Die Eiszeit und die Gegenwart

Eine andere landschaftsgestaltende Kraft ging von den Klimaveränderungen aus, die in der geologisch gesehen jüngsten Zeit besonders häufig waren, die auch in kurzem Abstand zwischen Kalt- und Warmperioden aufeinander folgten. In vermutet dreimaliger Periode legten sich schwere, bis über 3.000 m hohe Eispanzer über Nordeuropa (auch Nordamerika, dort noch südlicher ausgedehnt als in Europa) und über die Mittel- und Hochgebirge.

Die dadurch bedingte Absenkung des Meeresspiegels betrug bis zu 100 Meter. Das trockene Wasser, das Eis, bleibt ortsfest, je höher und räumlich umfangreicher es wurde, umso mehr drückten es das darunter liegende

Gestein ein. Entsprechend hob sich dieses wieder, als durch die Erwärmung der Eispanzer abschmolz - in der nördlichen Ostseeregion bis zu 300 m.

Die durch ihren inneren Druck sich räumlich ausbreitenden, bewegten Eismassen sprengten festes Oberflächengestein ab. Führten das gelockertete Material mit sich, in Feinsand zerkleinerten und großräumig verlagerten. Darauf beruht die Auffüllung des nordeuropäischen ebenen Tieflands, des süddeutschen Alpenvorlandes wie die u-förmigen Trogtäler innerhalb der Alpen.

Europa wurde erst vor 10.000 Jahren, als eine Wärmeperiode einsetzte, deren Ursache auf die unterschiedlichen Eruptionen der Sonne zurückzuführen ist, für Vegetation (und schließlich den Menschen) bewohnbar. Auf die kalte Klimaperiode folgte eine deutlich wärmere als heute. Daher zogen sich die Eispanzer erstaunlich schnell zurück, man vermutet 3 bis 400 m pro Jahr.

Das abfließende Wasser schuf die Urstromtäler, die Ablagerung des Gesteinsschutts, die Hügelketten der Endmoränen. In dem in dieser Zeit die Abflussrinne im Westen, der Ärmelkanal, entstand, wurden die britischen Inseln abgetrennt, zugleich konnte die abspülende Wirkung der Gezeiten zerstörerisch tiefer eindringen konnte, daraus entstand die heutige Nordsee mit ihren der Küste vorgelagerten Inseln entstand. Helgoland ist der Rest eines Festlandes, das sich viel weiter nördlich erstreckte.

Nach dem Rückzug der Eisgletscher war Europa zunächst "öd und leer".

Doch bald kamen die ersten Pionierpflanzen, die Flechten, Moose, die Gräser und niedrig wachsende Büsche d.h. die Vegetationshülle, die lebende Substanz. Wie die Pollen, die in den Mooren erhalten geblieben sind, belegen, wechselten Zeiten, in denen die Haselnusssträucher vorherrschten, dann folgten lichte Eichenwälder, danach bei niedrigeren Temperaturen die widerstandsfähigeren Koniferen, Föhren, Kiefern und Birken.

Man sieht, die Bewegungen in der Vegetation sind ebenso vorhanden, wie in allem, was auf der Erdoberfläche geschah und geschieht. Um diese geht es im folgenden, die Studie abschließenden Abschnitt.

DIE VEGETATIONSHÜLLE

Die erste Bemerkung ist von Alexander Supan: *Glücklicherweise ist der Teil des Festlandes, wo der Boden unverhüllt zutage tritt oder eine Eiskecke trägt, klein im Vergleich zu dem, der mit einem Pflanzenkleid geschmückt ist. Hier bedingen nicht bloß Geländeverhältnisse und Gewässer die Physiognomie der Landschaft, sondern auch die Vegetation, die schon aus diesem Gesichtspunkt das geographische Interesse in Anspruch nimmt, in noch höherem Grad aber deshalb, weil nicht nur die Existenz der Tiere, sondern auch die unsere darauf gegründet ist.* Und wie man hinzufügen kann: die Schönheit des Erdkreises wie das Erstaunen über die unvergleichlichen Werke der Natur, denen keine menschlichen auch nur annähernd gleichkommen.

Die Hülle des Lebendigen auf den Festländern ist einerseits dünn, andererseits ist sie erdweit ausgedehnt. Das Bild des Teppichs, der die Zimmer wohnlich macht, ist schon ganz angemessen. Sie erreicht selbst Geländehöhen von 5.000 Metern so zum Beispiel im tibetanischen Hochland. Bäume können sich dort wie am Rand zum Nordmeer jedoch nicht mehr halten. Die trockenen Steppen- und Wüstengebiete können regelrecht erblühen, wenn es nach Jahren regnet oder - wie in den Oasen - Grundwasser vorhanden ist. Letztlich ausgenommen sind nur die Eispanzer auf den Polgebieten- und Hochgebirgsgletschern ohne Pflanzenbewuchs.

In den Ozeanen reicht die mikroskopisch kleine Pflanzenwelt, das Plankton, soweit die Sonnenstrahlen eindringen, im allgemeinen bis zu 200 m Tiefe, in den kälteren Meeren ist die organische Dichte besonders hoch, man sieht es an der grünlichen Farbe, in den tropischen Gewässern ist sie geringer, und daher sehen wir dort die Eigenfarbe des Wassers, das schöne Blau.

Die Bäume sind die Könige der Pflanzenwelt, in Gemeinschaft mit den niedrig wachsenden Pflanzen prägen sie das Pflanzenkleid bis in die äußersten Randzonen. Sie können ein biblisches Alter erreichen. So hat man an den Wachstumsrillen von Bäumen messen können, dass sie 1.000 und selbst 2.000 Jahre alt geworden waren. Da staunt der menschliche Raum- und Zeitgenosse, der hofft, dass ihm ein hohes Alter beschieden sei.

Der abnehmenden Größe nach folgen die niedrigeren Bäume, die Sträucher und Gräser, Pilze, Flechten, und Moose. Ohne die Mikroorganismen - die Bakterien zum Beispiel - gäbe es keine höheren Formen des Lebenden, weil sie in dem Kreislauf der Natur einen ganz entscheidenden Part spielen.

Die Natur bildet die wunderbarsten Schauspiele. So zum Beispiel Blüten von Mikrogröße einerseits und bis hin zu einem Meter großen Durchmesser (so auf der Insel Sumatra entdeckt) andererseits. Artenvielfalt und Vegetationsdichte sind in den Regenwäldern überwältigend, aber ebenso eindrucksvoll ist es, wenn in den polarnahen Tundren oder an den schroffen Abhängen des Hochgebirges das Lebendige sich zu behaupten sucht.

Größe wie Kleinheit verbinden sich zur Einheit der lebenden Natur. Die Mikroorganismen, die Bakterien, sind 0,0004 cm groß, 10^{-4} cm. Sie befinden sich außerhalb unseres Sehvermögens. Dunst- Nebel- und Regentropfen sind zwischen 10^{-3} bis 10^{-2} cm "groß", den Regentropfen sehen wir schon. Ebenso die feinkörnig zerriebenen, "kolliden" anorganischen Sandkörnchen. Die räumliche Reichweite der Vegetation ist die gesamte Erdoberfläche, 10^9 unsere Mesowelt. Es ist dies der Raum der unendlich großen Varietäten, wie sie nur in der lebenden Natur vorhanden sind. Das zeigt sich an der Unterschiedlichkeit der anorganischen und organischen Molekulargewichte am augenscheinlichsten. Ein $\boxed{\text{H}_2\text{O}}$ - Molekül wiegt 18 Einheiten, ein Biomolekül wie das Hämoglobin dagegen 64.445 und die der Nucleinsäuren mehr als eine Milliarde Einheiten.

Was alles Lebende eint ist, dass es sich ernährt, notwendige Stoffe aufnimmt und auch wieder abgibt. Lebende Natur ist somit bedürftig, und somit aktiv in verschiedener Form, während das anorganische passiv ist, nur auf physikalisch-chemische Vorgänge reagiert.

Pflanzen, Tiere und Pilze

Eine Zweiteiligkeit geht durch die lebende Natur. Nur Pflanzen - die kleinsten wie die größten - sind befähigt, anorganische Elemente aufzunehmen und in organische Biomoleküle umzuwandeln, sie sind autotroph (von auto = selbst und troph = ernährend). Tiere und Pilze ernähren sich dagegen heterotroph, d.h. primär durch Pflanzen, sekundär durch tierische Substanzen. Die Tiere sind aber nicht nur parasitische Kostgänger, sondern ebenso in der Natur notwendig. Pflanzen und Tiere sind wechselseitig "symbio-

tisch" voneinander abhängig. Ein schönes Beispiel ist das Wechselspiel zwischen Blüte (Pflanze) und Biene (Tier).

Die Stofflichkeit der Pflanzenwelt

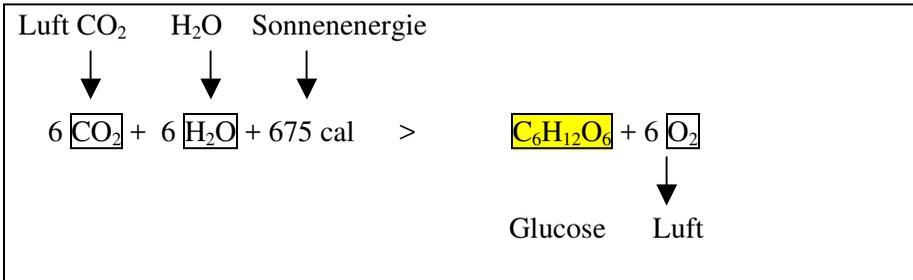
Früher nahm man an, dass Pflanzen und Tiere aus einer besonderen Stofflichkeit bestehen. Das ist jedoch nicht der Fall, $\boxed{\text{H}}$, $\boxed{\text{O}}$, $\boxed{\text{C}}$, $\boxed{\text{N}}$ und weitere Elemente sind die Substanzen, die den Pflanzenkörper ausmachen. Pflanzen leisten Arbeit, sie holen sich, was sie zu ihrem Gedeihen brauchen, zum einen aus der Lufthülle (Stoffe und solare Energie, die sie in Pflanzenenergie umwandeln), zum anderen aus dem Boden. Das Ergebnis wie der Ort der Arbeitsleistung sind die Zellen, die kleinen gallertartigen "Eiweißklümpchen", die zumeist nur unter dem Mikroskop zu sehen sind. Sie sind die Grundbausteine aller belebten Natur, so wie das Mineral der Grundbaustein der Gesteinswelt ist. Die Ernährung der Pflanzen besorgen die Blätter in der Lufthülle und die Wurzeln in der Gesteinshülle. In beiden Fällen sind es feingliedrigste Strukturen, die weitverzweigten Äste und dünnen Blätter, die das größtmögliche Eintauchen der Pflanze in die Lufthülle bewirken, wie die ebenso verzweigten Wurzeln, die in den aufnahmefähigen Wurzelfäden enden.

Die atmosphärische Ernährung, der Kohlenstoff

Kohlenstoff $\boxed{\text{C}}$ - 7 Protonen / Elektronen auf zwei Schalen - ist das Schlüsselementarteilchen des Lebendigen. Er ist unter den Normalbedingungen der Erdoberfläche ein Gas, eine der Aushauchungen aus dem Erdinneren während der Erkalting. Das Gas verbindet sich in der Lufthülle mit dem bindungsfreudigen Sauerstoff zu Kohlendioxid $\boxed{\text{CO}_2}$. Mineralischen, reinen Kohlenstoff gibt es nur in der Gesteinswelt als Diamant zum Beispiel. Die für alles Lebende entscheidende, (fast) einmalige Eigenschaft des Kohlenstoffs besteht darin, dass seine Atome mit sich selbst längste Moleküle in Form von Ketten und selbst Spiralen bilden. In diese umfangreichen Ketten lagern sich Wasser-, Sauerstoff und Stickstoffatome und weitere Elemente wie Schwefel, Phosphor, Kalium, Magnesium, Kalzium und Eisen an.

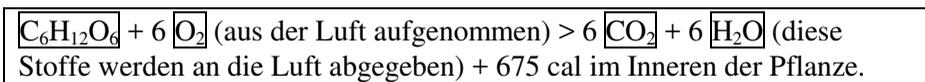
Die Pflanzen holen sich den Kohlenstoff aus der Lufthülle, der Anteil des Kohlenstoffs, der mit $\boxed{\text{O}}$ sich zum Kohlenstoffdioxid $\boxed{\text{CO}_2}$ verbindet, beträgt 0,03 %. Der Ort und das Organ, an und in dem dieses geschieht, ist das

Blatt und das in ihm eingelagerte Blattgrün, das sind die Chlorophyllkörnchen (griechisch. = grünlich) ein durch Magnesium angereichertes Pigment - selbst eine hochkomplexe Kohlenstoffarchitektur. Die Chlorophyllkörnchen assimilieren unter dem Energiezufluss der Sonnenstrahlen und dem Vorhandensein des Wassers das CO_2 der Luft und wandeln es in den organischen Grundstoff Glucose / Traubenzucker um. In chemischer Schreibweise verläuft diese Aufnahme - die Photosynthese - wie folgt:



Die 6O_2 - Moleküle, die an die Luft abgegeben werden, reichern den freien Sauerstoff in der Luft an, und somit den Bestand, den Tiere und Menschen einatmen, wie diese Kohlendioxid ausatmen, einer der Kreisläufe innerhalb der lebenden Natur.

Die Glucose mit einem Atomgewicht von etwas mehr als 180 ist das erste grundlegende Biomolekül. Parallel zur Assimilation verläuft die Pflanzenatmung oder Dissimilation, um die in der Glucose aufgenommene Sonnenenergie nun innerhalb der Pflanze verfügbar zu machen. Dies ist die Umkehrung der Photosynthese, somit:



Etwa 1/5 eines Glucosemoleküls wird mit Hilfe von eingeatmeten 6O_2 - Molekülen zu Energie / Wärme nun innerhalb der Pflanze genutzt, wie gleich zu behandeln ist. Pflanzenatmung, der Rückfluss des CO_2 in die Luft, ist ganz wichtig für die lebende Natur, denn mit nur 0,003 % Luftanteil ist der biochemisch wirksame Kohlenstoff in der Luft nicht unerschöpflich. Man hat ausgerechnet, dass bei andauernder Bindung des Kohlenstoffs in die Landpflanzen - mittelbar in die Tier- und Menschenwelt - der Vorrat

an CO_2 in der Luft nach wenigen Jahrzehnten verbraucht wäre, im Fall der Meerespflanzen nach 2.400 Jahren (zitiert nach Strugger). Die Mikroorganismen im Boden, die abgestorbene Pflanzen vergären, sorgen des weiteren dafür, dass der Kohlenstoffkreislauf geschlossen ist, der CO_2 Anteil der Luft konstant bleibt. Ohne die Mikroorganismen, die Bakterien, wäre Leben nicht möglich. Die stoffliche Mangelgegebenheit wird somit durch Ineinandergreifen der Glieder der lebenden Natur überwunden.

Die in den Zellen verbliebenen 4/5 des aufgenommenen Kohlenstoffs und die in sie aufgenommene solare Energie nutzt die Pflanze zum Aufbau der mannigfaltigen Körperstoffe. Es entsteht zum einen Stärke, das ist wasserunlösliche Glucose als Speicherorgan, stofflich wie energetisch Vorräte in den Stärkekörnchen der Zelle. Des weiteren wird die Zellulose, $\text{C}_{12}\text{H}_{20}\text{O}_{10}$, gebildet, die die Pflanze als feste, in Wasser nicht lösliche, gleichwohl poröse Umhüllung der Zellen, die Zellwände, nutzt. Diese - immer noch vergleichsweise einfachen - Biomoleküle bilden - durch Zellwachstum - das Stützgewebe des Pflanzenleibs, das in mannigfacher Form auftritt als Blatt, das die Chlorophyllkörnchen festigt, als Stengel, der das Blatt an den Ast bindet, der wiederum am Stamm austreibt, als Wurzel, der die Pflanze im Boden verankert und als Wurzelfaden, der im Boden die Nährstoffe aus den Gesteinen aufnimmt und diese über die Kapillaren in alle Pflanzenorgane und letztlich in die Zellen zu ihrer Bildung und Ernährung transportiert.

Wenn man somit die Bildung dieser ersten "Produkte" als Wunder ansieht, so gehen die folgenden Umwandlungen innerhalb der Zelle aber noch weit darüber hinaus. Das wird am grandiosesten, wenn die gallertartige Zellsubstanz, das Zellinnere oder Protoplasma, betrachtet wird, die Eiweißverbindungen, Proteine, in denen der Lebensprozess seinen Ursprung wie seine Beständigkeit hat. Zu ihrer Bildung - der komplexesten Biomoleküle, deren Verankerung im Pflanzenleib, Zusammenwirkung und Arbeitsteilung - benötigt die Pflanze jedoch weitere aus dem Erdreich aufgenommene chemische Elemente.

Die erd- oder bodengebundene Ernährung

Bisher sind ja nur H , O und C und Sonnenenergie beteiligt gewesen. Durch die Ernährung aus dem Boden kommen die primären Stoffe Stickstoff N ,

Phosphat P und Schwefel S und in Spuren weitere Elemente hinzu. Diese werden in die immer umfangreicher werdenden, verzweigten Kohlenstoffstrukturen der hoch- und höchstwertigen Biomoleküle eingebunden.

Nimmt man beispielhaft die Stickstoffversorgung. Man fragt sich zunächst, warum die Pflanzen den Stickstoff nicht aus der Lufthülle - dort ist der Stickstoff ja mit 80 % Anteil reichlich vorhanden - entnehmen. Stickstoff ist bindungsträge, d.h. nur durch hohen, in den Pflanzen nicht verfügbaren Energieeintrag erschließbar. Es entstünde zudem - wenn er durch Assimilation verfügbar wäre - NO_2 ein Gas, das lebensfeindlich - toxisch ist.

Und insofern verläuft die Versorgung - wieder unter Hilfe der Mikroorganismen / Gärung der pflanzlichen Rest - über den fruchtbaren Boden und die Wurzelfäden. Dort werden sie - und dies in einer wiederum unglaublich schnellen Bewegungsintensität - in die Kohlenstoffmoleküle eingefügt.

Man sieht daraus, was fruchtbarer, schützenswerter Boden wert ist. Dort geschieht die Rückwandlung organischer Stoffe vergangener Pflanzen in anorganische, und somit für die Ernährung der nächsten Generation.

Was alles kann eine Pflanze? Ihre Lebensfunktionen, somit Erhaltung der Existenz, Beweglichkeit, Wachstum der jungen in die erwachsene Pflanze, Reizbarkeit auf die Umgebung der Pflanzen, Erneuerung in der Generationenfolge - so zum Beispiel, wenn die Sekrete der Pflanzenblüte die Bienen anlocken - Mutation, Aufspaltung eines Pflanzenstammes in Zweifamilien, also pflanzengeschichtlich gesehen die Entwicklung der Dichte der Vegetationshülle und der Flora / Artenvielfalt.

Die Zelle wird - indem sie sich aus den umgebenden Hüllen, der Luft, des Wassers und der Gesteine ernährt - dadurch zur mikroskopisch kleinen, hyperaktiven "Fabrik" mit erstaunlichen Fähigkeiten. Unsere Fabriken sind dagegen recht grob gestrickte Produktionseinrichtungen. Allerdings lassen sie sich in kurzer Zeit errichten, während die Vegetation vermutete zwei Milliarden Jahre dazu benötigte, unsere heutige Pflanzen- und Tierwelt ist ein junges Ergebnis der Erdgeschichte. Und erst später erkletterte das Vegetative aus seinem Mutterschoss der flüssigen Hülle der Ozeane das feste Land.

Entstehen der Vegetationshülle auf den Festländern

Wie eine Vegetationshülle entsteht, die sich auf der Gesteinshülle ausbreitet und beständig erhält, kann man während eines Urlaubs am Meer am Sandstrand erleben. Das Gestein ist durch Zerkleinerung und Abrundung von den anrollenden Wellen feinkörnig, wie auch durch Verwehung der Stäube - somit eine erste Voraussetzung der Bodenbildung. Doch für die Vegetation ein unergiebiges Milieu, da zwar die Lufthülle CO_2 ergiebig ist, aber die weiteren Stoffe fehlen, N vor allem. Während der Saum zwischen Wasser und Land wie auch der weitere Strandbereich rein mineralisch bleibt, ihn die Gezeitenbewegungen überschwemmen und lebensfeindlich versalzen - Salz trocknet die Pflanzen aus - und auch der Wind zu heftig weht, findet man erst weiter oben - in windgeschützten Kuhlen und an den Dünen - die ersten Vorreiterpflanzen.

An unseren Küsten ist es der Strandhafer, der sich durch Triebe im Boden ausbreitet. Nach dieser ersten Ausbreitung kommen bald weitere Pflanzen hinzu, so die Stranddisteln und schon kleine Blütenpflanzen. Im Windstau der Dünen finden sich - da die Bodendecke dichter / nährstoffreicher ist - schon Sträucher, Büsche und selbst Bäume.

Eine weitere Form einer beginnenden Bodenbildung sind die Algentepiche in Lagunen, dort wo der Wechsel zwischen Hoch- und Niedrigwasser schon beruhigter ist. Und ein weiteres Beispiel: Meerwasser ist für Landpflanzen im Allgemeinen unverträglich, weil das über die Wurzeln aufgenommene Salz sie austrocknet. Doch auch in diesem Fall hat die Natur zum Beispiel mit dem Queller Abhilfe geschaffen, - einer Pflanze, die aus lauter Lufttaschen besteht, in denen das Salz ausgelagert wird. Auf Dauer kann der Queller mit dieser gefährlichen Last jedoch nicht leben, aber bevor er vergeht, verstreut er seine Pollen in größter Zahl und sichert so das Überleben der Gattung.

Was man in der Gegenwart am Strand oder am Wegesrand beispielhaft erleben kann, hat sich im erdweiten Maßstab über Hunderte von Millionen Jahren auf immer wieder neue Weise abgespielt. Vor 500 Millionen Jahren - so weit lassen sich aus Spuren Erdvorgängen erahnen - waren die Festländer ohne Vegetationshülle, rein mineralisch aber schon durch mechanische Verwitterung feinkörnig. Wenn die Geologen Verwitterung als Zerstörung massiver Urgesteinsbildung bezeichnen, so ist das aus der Sicht

der Entstehung der Vegetationshülle direkt falsche Begrifflichkeit, denn die lebende Natur kann nur im kolliden Milieu entstehen.

Im Zeitraum zwischen 360 und 300 Millionen Jahren kam es zur ersten und zugleich gewaltigsten Entfaltung der Landpflanzenwelt - die Wälder der Karbonepoche. 40 m hohe Farne, Schuppen- und Siegelbäume breiteten sich in sumpfigen Niederungen aus. Indem sie durch Gesteinsschichten überdeckt wurden, entstanden daraus die Steinkohlenflöze. Wenig andere Epochen der Erdgeschichte erwiesen sich als so in die Menschheitsgeschichte auswirkend wie diese erste Entfaltung der Pflanzenwelt.

Alle organischen Kohlenstoffverbindungen sind oxidierbar - brennbar - und geben dadurch die vor Millionen Jahren in die Pflanzenkörper aufgenommene solare Energie als Wärmestrahlung wieder frei. Wärmestrahlung kann in Arbeit / Bewegung technischer Apparaturen umgewandelt werden. Insofern war 1789 nicht nur eine politische Wendemarke (Erstürmung der Bastille) sondern eine noch folgenreichere technisch / energetische Umwälzung. Damals wurde in Wales die Gleise neben den Wegen verlegt und die Dampfmaschine / Lokomotive auf sie gestellt wurde, um die Kohle aus den Revieren in die Häfen zu transportieren und von dort in die Fabrikstädte. Damit brach das Industriezeitalter an. Dazu später noch einmal mehr.

Über die Umwälzungen der Kontinente, über die Wärme- und Kälteperioden und die damit verbundene Hebung / Senkung des Meeresspiegels, über das Auftürmen hoher Gebirgsketten geben die geologischen Bücher Auskunft (Kurd von Bülow). Die Durchschnittstemperatur, der Anteil des atmosphärischen CO_2 und des atmosphärischen O_2 Sauerstoffs wechselten in den erdgeschichtlichen Epochen ständig und damit die Ausbreitung und Dichte der lebenden Natur.

Die Vegetation unserer Erdgegenwart entstand nach den Eiszeiten, die vor 3 Millionen Jahren einsetzten und mit bisher nicht vorgekommenen Schwankungen zwischen kalten und warmen Perioden geprägt ist. Die Erneuerung der Vegetation auf vorher unfruchtbar gewordenem Untergrund dem aufliegenden bis zu 3.000 Meter hohen Eispanzer setzte vor 12.000 Jahren ein. Unsere Gegenwart ist - zeitlich gesehen - nur ein Moment im erdgeschichtlichen Verlaufsgeschehen.

Anpassung der Pflanzen an unterschiedliche geographische Milieus

Die äußeren Umgebungen der Vegetation sind nach saisonaler Temperatur, Befeuchtung, topographischer Höhenlage, Nähe / Ferne zu den Meeren und weiterem mehr sehr unterschiedlich. Wie stellen sich die Pflanzen darauf ein? Drei große Formen der Anpassung sind zu sehen:

- Pflanzen, die im trockenen und warmen Klima beheimatet sind, müssen sich gegen Austrocknung schützen. Die Eiche - der so markante Baum in unseren Breiten - bildet unter dem trockenen Milieu im Mittelmeerraum am Stamm und den Ästen eine dickere Rinde aus, den Kork. Die Blätter werden "fleischiger" und zudem durch Sekrete überzogen. Eine besondere Varietät sind die Kakteen, sie bilden in ihrer durch Sonnenenergie durchglühten Heimat mit nur gelegentlichen, oft jahrelang ausbleibenden Niederschlägen einen geschlossenen Körper als Wasserspeicher aus. Heftige und ständige Winde trocknen Bäume aus, die Atlaszeder zum Beispiel schützt sich gegen diese Gefahr, indem sie auf hohem Stamm eine kleine Krone ausbildet. Diese Pflanzen gehören zur xerophilen Gruppe, von xeros = trocken und phil = freundlich.
- Ihnen am weitesten entgegengesetzt sind die "hydrophilen" (hydros = Wasser). Sie bilden große und dünne Blätter mit einem nur geringen Wurzelwerk aus. Und die Stämme - oft fehlen diese ganz - erstrecken sich horizontal und in weiter Ausdehnung. Ein besonders schöner Vertreter ist die Seerose.
- Die Tropophyten oder Wechsellpflanzen sind diejenigen, die beide Anpassungen vereinen. So ist die Rinde des Stamms und der Äste xerophil, die Blätter dagegen sind dünn und somit hydrophil. Die Bäume unserer und klimatisch verwandter Breiten gehören in diese Gruppe. Aber wie immer in der Pflanzenwelt bestehen abgestimmte Varietäten innerhalb einer Art. Die Laubbäume im südlichen Rand unserer Breiten sind immergrün, während sie in der Mitte in der Winterhälfte die Blätter abwerfen, um sich gegen Austrocknung - wenn die Niederschläge als Schnee niedergehen - zu schützen. Die Nadelbäume sind immergrün, weil ihre schmalen und festeren Blätter, die Nadeln, widerständig gegenüber zu viel Sonnenenergie wie auch der winterlichen Austrocknungsgefahr sind. Daher können sie sich auch

in den nördlichen, schneereichen Rändern ausbreiten. Zwiebel- und Knollengewächse sind hierher zu rechnen, In der Trocken- / Kälteperiode werden ihre oberirdischen Triebe abgeworfen, während die unterirdischen Teile, Knollen und verdickte Wurzeln als Nahrungs- und Wasserspeicher für die nächste Vegetationsperiode dienen.

Das Pflanzenkleid der Erde in den räumlich-klimatischen Milieus

Das Pflanzenkleid ist ein aus vielen Mosaikteilchen zusammengesetzter Teppich, je nach der Höhenlage und der Geländeform, nach der Temperatur und deren Wechsel im Jahresablauf, nach der Regenhäufigkeit, der Nähe zur Wasserhülle und nach der Bodentiefe, Fruchtbarkeit und Durchfeuchtung.

Die jährliche Durchschnittstemperatur in den Tropen liegt zwischen 20° und 28° C mit geringen Temperaturschwankungen im Jahreslauf. Und daher bestehen dort keine saisonalen Unterschiede wie in unseren Breiten, es besteht ein "immer währender Frühling und Sommer". Die Regendichte der feucht-warmen Lufthülle ist hoch, weil die Verdunstungsdämpfe auf dem Festland als heftige Gewitter niederfallen. In den großräumigen Becken des Amazonas und des Kongo, auf den Inseln des südostasiatischen Archipels und auf der mittelamerikanischen Landbrücke besteht größte Vegetationsdichte, umfangreichster Formenreichtum und üppigstes Wachstum. Die Bäume bilden die umfangreichsten Kronen. Gleichwohl ist unter ihnen noch genügend Lebensraum für ein dichtes Geflecht aus Sträuchern und Schlingpflanzen vorhanden.

Am Kongobecken in östlicher und südlicher und am Amazonasbecken in westlicher Richtung schließen sich Gebirgslandschaften an, und damit schließen sich schmale Überganglandschaften an. Zunächst der Gebirgsregenwald, bei zunehmender Höhe lichtere Trockenwälder, Busch- und Graslandschaften und schließlich die Hochgebirgsregion mit Halbwüsten und Felsregionen. Auf der windabgeneigten, regenarmen Seite wird das Pflanzenkleid dünner, auch weniger artenreich.

Blickt man von der tropischen Mitte nach Norden und nach Süden, so folgen breitere Überganglandschaften. Es sind dies die tropischen Savannen - Graslandschaften (oft mehrere Meter hoch) mit freistehenden Bäumen und im weiteren Verlauf die baumlosen Busch- und Grassteppen, schließ-

lich die subtropischen Wüstensteppen. Aber auch diese Gegenden sind nicht völlig ohne Vegetation. Wenn nach Jahren Regen fällt, dann erwachen die eingewehten Samen und Pollen in erstaunlicher Schnelle zur kurzfristigen Blüte. Die Oasen sind Senken, in denen das Grundwasser ansteht oder erbohrt wird. Dort stehen die Palmen - eine der charakteristischen Bäume des gesamten Tropenraums.

Die gemäßigten Breiten erstrecken sich auf der Nordhalbkugel über das europäische, asiatische und nordamerikanische Festland – der umfangreichste Teil des gesamten Festlands - auf der Südhalbkugel auf die dreieckförmigen Spitzen der Kontinente Afrika und Südamerika.

Sie sind klimatisch sehr unterschiedlich, da sie von der Wüstenzone bis zur Polargrenze reichen. Während in der Tropenzone andauernder Frühling besteht, verändert sich die Sonnenscheindauer zu- und abnehmend und daraus ergeben sich die jährlichen Vegetationsperioden der Pflanzen: Erwachen im Frühling, Reife und Frucht im Sommer. So am deutlichsten zu sehen am Laubabfall der sommergrünen Bäume und Blütenpflanzen, deren Lebenskraft sich in die Knollen des Bodens zurückzieht, oder wie bei den einjährigen Blütenpflanzen deren ausgestreute Pollen das Weiterbestehen gewährleisten.

Der westliche Teil der eurasischen Landmasse, Europa, ist ozeanisch-regenreich und durch die breitenparallelen Gebirgsketten der Pyrenäen, Alpen und Karpaten zweigeteilt. Im Süden sind die Sommer trocken, Regen fällt im Winterhalbjahr. Daher sind charakteristische Bäume, die Korkeichen, Olivenbäume, Pinien und Zedern xerophil, und um so mehr die undurchdringlichen Buschgebiete (Macchia). Die Laubbäume sind unter diesen Bedingungen immergrün.

Nordalpidisch sind die Laubbäume - bei abnehmender Temperatur - sommergrün. Und je nördlicher der Blick geht, umso mehr nehmen die Nadelbäume zu. In Skandinavien und Nordrussland erstrecken sich die borealen Nadelwälder. Die natürliche Vegetation ist der Wald, aber dieser ist durch die fast vollständige Kultivierung des Bodens durch den Menschen weitgehend zurückgedrängt. An seiner Stelle erstrecken sich die Weiden, Wiesen und Ackerfluren.

Der asiatische Landblock ist dreigeteilt. In der nördlichen Tiefebene (Osteuropa und Sibirien) erstrecken sich bis zur Polargrenze die borealen Wälder - das größte zusammenhängende Waldgebiet der Erde. In der Mitte Asiens erhebt sich das höchste und breiteste Gebirgsland der Erde mit hohen Kettengebirgen am nördlichen (Altai-Gebirge) und noch ausgeprägter der Himalaja. Dort und am polaren Rand finden sich die Flora der Moose, Flechten und Sträucher.

Der von Nord nach Süd langgestreckte amerikanische Doppelkontinent, der von der durchgehenden Hochgebirgskette der Kordilleren und Anden zum Pazifik begrenzt ist, weist alle Pflanzenreiche auf: Tundra, borealer Wald und sub- / tropische Vegetationsdichte.

Pflanzen - zum Abschluss dieser Studie - machen größtenteils das aus, was die Schönheit unserer Erde darstellt. Schaut man nur auf den Mond, eine graue, Staub bedeckte Oberfläche - wüst und leer - die uns nur deshalb "silbern und manchmal golden" erscheint, weil sie das Sonnenlicht zurück wirft.

In vegetationslosen Gegenden ist die Oberfläche durch die Wirkung der Schwerkraft scharfkantig. Ein Grauen erfasst unser Gemüt in diesen Steinwüsten und steilen Abhängen, an deren Fuß das gelockerte Gestein Schutthalden zurücklässt. Erst durch die Bodenbildung werden die Grate gemildert, und die Bäume, die Büsche und die Wiesenmatten lassen die Empfindung des Ausgeglichenen, des anmutig Gefälligen und des Naturschönen entstehen.

Ich habe das - ein Moment, der mir in der Erinnerung geblieben ist - einmal erlebt, als ein japanischer Gast - als wir eine Höhengrenze in der Eifel überquerten und der weite Blick über die weit offen liegende gewellte Landschaft möglich war und ich nur auf den nächsten Termin sah - sagte: *Halten Sie bitte doch einmal kurz an, es ist so schön!* Wenn man nun abschließend auf die Vielfalt und die Farbigekeit der anorganischen Welt des Wassers der Meere, auf das Farbenspiel im Himmel, auf die Vegetationshülle schaut, auf den nächtlichen Himmel blickt, zurückkommt auf das Wirken im unendlichen Großen wie im unendlich Kleinen, verblüfft darüber ist, wie so einfach die Grundlagen sind und wie gleichwohl die größte Mannigfaltigkeit daraus entstand - man wird es wiederholen: *es ist so schön!*

NACHWORT

Ein kurzgefasstes Nachwort soll nicht fehlen.

Landschaftserleben

Johann Wolfgang von Goethe sah die Welt in einem warmem Licht ("Wilhelm Meisters Lehrjahre"). *Nachdem sie nicht ganz ohne Beschwerlichkeit die Höhe erstiegen, erkannten sie sogleich den angezeigten Platz an den schönen Buchen, die ihn umgaben und bedeckten. Eine große, sanft abhängige Waldwiese lud zum Bleiben ein; eine eingefasste Quelle bot die lieblichste Erquickung dar, und es zeigte sich an der andern Seite durch Schluchten und Waldrücken eine ferne, schöne und hoffnungsvolle Aussicht. Da lagen Dörfer und Mühlen in den Gründen, Städtchen in der Ebene, und neue, in der Ferne eintretende Berge machten die Aussicht noch hoffnungsvoller, indem sie nur wie eine sanfte Beschränkung hereintraten.* Eine Welt, die wir verloren haben?

Laut Genesis - dem ersten Kapitel der Bibel - sind wir aus dem Paradies vertrieben worden. Eines der Schreckensbilder, die sich in der Bibel häufen. Gleichwohl gehört das Landschaftserleben zu den schönen, doch ja schönsten Seiten des Lebensgenusses: die freie, schöne Natur, jede der Hüllen bietet es in Fülle - das Sonnenlicht und das Blau mit den dahinziehenden Wolken in der Lufthülle, die Meere, Seen und Bäche und Flüsse der Wasserhülle, die steilen und flachen Formen innerhalb der Gesteinshülle und - dies alles eingehüllt in das Naturschöne der Welt der Pflanzen.

Dass dieses Gut immer mehr durch das Erleben virtueller, gemachter Welten ersetzt wird, ist schlimm. In der Jugendzeit meiner Generation war "draußen sein" eine Selbstverständlichkeit. Ist es nicht eine arge Verkenning der Wirklichkeit, wenn - nach Leonardo da Vinci - gesagt wird: *Die bildende Kunst ist von solcher Vortrefflichkeit, dass sie sich nicht nur den Erscheinungen der Natur zuwendet, sondern unendlich viel mehr Erscheinungen als die Natur hervorbringt.* Was hat er denn so vortreffliches gefunden? Etwas, das fliegen kann, zum Beispiel? Aber sein Flieger konnte nicht fliegen, wie Nachbauten bewiesen. Aber eine Libelle, die kann es seit Millionen von Jahren, ohne abzustürzen. Und eine lebendige Mona Lisa dürfte attraktiver gewesen sein, als eine gemalte. Das kann man nur sagen,

wenn man die Natur nicht kennt. Oder aus den Mauern der urbanen Welt nicht mehr herauskommt.

Prinzip Verantwortung (Hans Jonas)

Seid fruchtbar, mehret euch, füllt die Erde und macht sie euch untertan. So steht es in der Genesis. Joachim Wehler ("Grundriss eines rationalen Weltbildes") verweist darauf, dass in der Originalsprache das Wort *untertan machen* viel deutlicher ist, *unter die Füße treten, seiner Herrschaft unterwerfen, unterjochen*. Die deutsche Übersetzung ist dagegen milder, ja schönfärberisch.

Setzt man dahinter ein Ausrufezeichen, so soll es sein? Oder ein Fragezeichen, so darf es nicht (mehr) sein?

Jedenfalls ist es vernünftig, den Garten der Natur nicht zu erschöpfen, sondern ihn zu pflegen. Er ist kein Warenlager, auf das man nach Belieben und in immer größeren Ausmaß zurückgreifen kann. Dass Menschen - wie alle Lebewesen - bedürftig sind, trifft ja zu. Dass aber aus Bedürftigkeit ein grenzenloses Begehren wird, ist sowohl unvernünftig wie gefährlich.

Dass Überlasten der Natur begleitet die Menschheitsgeschichte schon seit Jahrtausenden. In der Antike begann die Entwaldung des Mittelmeerraums so zum Beispiel für den Schiffbau. Noch heute sieht man die Folgen des imperialen Athens und Roms in dem von höheren Pflanzen und dichter Vegetationshülle entblößten Inneren dieser Länder, man muss ja nur einmal die kahlen Rücken des Apennins überqueren. Die Kornkammer Roms, Nordafrika, ist heute Sandwüste.

Im nordalpinen Europa geschah nacheiszeitlich das gleiche, Umwandlung der natürlichen Vegetation aus Bäumen in eine anthropogen gestaltete Form für Ernährung, Heizung und gewerbliche Stoffnutzung. Zu Zeiten Karls des Großen bestand ein lichter Wald mit einigen Siedlungsinseln. Mit dem Eisenzeitalter begann der Bedarf nach hoher Schmelzhitze. So war zum Beispiel die Eifel im 19. Jahrhundert völlig entwaldet wegen der dortigen Eisenindustrie, die Bäume wanderten in die Kohlenmeiler. Der Regierungsbeauftragte von Schwertz klagte nach seiner Eifelbereisung 1816 - 1820: *Man sollte sehen und weinen, da die Berge von allen Seiten ihre nackten Schädel, welche kein Gesträuch bedeckt, erheben.* Die Eifel ist

aber ein Beispiel dafür, dass durch Aufforstung gegen das die Erde untertan machen gearbeitet werden kann. Warum die Modellrechnung der ETH Zürich, wonach durch Aufforstung ein naturgemäßer Weg möglich ist, nur für einige Tage den Blätterwald bewegt hat, ist mir ein Rätsel.

Die "Vernunft" innerhalb der Unvernunft beruht darin, dass der bedürftige Mensch sich als Verbraucher umdefinieren lässt. *Konsum um des Konsums willen, damit die Wirtschaft floriert*, der Widersinn in Worte gefasst. Dies umso mehr, wenn auf die Zahl der Bedürftigen gesehen wird. 1,3 Milliarden - so mein Großer Seydlitz Ausgabe 1910 - zu 7,3 Milliarden Bedürftigen gegenwärtig. Der Garten der Stoffe und Energien ist durch *Konsum um des Konsums willen* und durch dieses sprunghafte Wachsen der Zahl der Bedürftigen so hoch belastet wie noch nie in der Geschichte. Dass die Kreisläufe der Natur diese Beanspruchung nicht mehr "puffern" können, zeigt sich am Beispiel des Klimawandels durch hohen Energieverbrauch am deutlichsten, aber nicht nur in diesem Bereich.

Nicht, dass gewarnt worden wäre! Der schwedische Naturforscher Sveante Arrhenius hatte schon im späten 19. Jahrhundert darauf hingewiesen, dass das Verbrennen - alle Kohlenstoffsubstanzen sind durch Entzünden oxidierbar - der vor Jahrmillionen entstandenen Reste der Karbonwälder zur Energiegewinnung ein schwerwiegender Eingriff in das Wechselspiel zwischen Ein- und Ausstrahlung solarer Energie ist.

Und R. Revelle und H. E. Suess schrieben dazu 1957: *So ist die Menschheit dabei, ein geophysikalisches Experiment größten Stiles anzustellen, ein Experiment, das in der vergangenen Zeit nicht hätte vor sich gehen können und das auch künftig nicht reproduzierbar ist. Im Laufe von wenigen Jahrhunderten führen wir der Atmosphäre und den Ozeanen den durch Millionen von Jahren in den Sedimenten konzentrierten Kohlenstoff zurück.*

Jetzt fragt man sich als Laie, warum die Warnung nicht entschiedener vorgetragen wurde und somit folgenlos geblieben ist? Warum im Streit der Fakultäten das Wachstumspostulat als Allheilmittel sich durchgesetzt hat, und von uns gerne gehört wird?

LITERATUR

Die Leserin, der Leser mögen etwas erstaunt sein, dass fast nur Studien aus der Vergangenheit herangezogen wurden. Der Grund dafür ist, dass in ihnen die Erdoberfläche nicht in Schnipsel zerlegt dargestellt wird, sondern einheitlich. Außerdem sagte Arthur Schopenhauer, dass man sich nicht täuschen sollte, dass "alte Bücher" überholt sind gegenüber gerade neu Erschienenen. Primäre Literatur, von denen die geforscht haben, gegenüber der sekundären Verwertungen. Manche Bücher - hier nicht aufgeführt - enttäuschen, so zum Beispiel, wenn in einem als Lehrbuch der organischen Chemie nur am Rande auf das Lebendige statt dessen fast ausschließlich auf die Produktwelt eingegangen wird.

Aster, Ernst von: Geschichte der Philosophie (die Kapitel Naturphilosophie der älteren Zeit, Kant). Stuttgart 1951.

Born, Max: Die Relativitätstheorie Albert Einsteins. Berlin / Heidelberg 1969.

Bülow, Kurd von: Geologie für Jedermann. Stuttgart 1961.

Derenbach, Rolf: Meine Einübungen in geographisch-geologisches Denken in der Anschauung von erwanderten Landschaften, Studien zum Verständnis des naturräumlich Gegebenen der Landschaften in den Gebieten Dornach / Arlesheim (Schweiz), der Vulkaneifel am Mittellauf der Flüsse Lieser, Salm und Kleine Kyll und der ostfriesischen Insel Spiekeroog. Ich sende sie Ihnen auf Wunsch zu (rderenbach@gmx.de)

Derenbach, Rolf: Finnlands Landesnatur und Geschichte. Berlin 2015 (in refubium.fu-berlin.de "online" nachzulesen).

Jonas, Hans: Das Prinzip Verantwortung. Das große Werk, das uns wegführt von der egozentrischen, technisch - verwertungsbezogenen Sicht hin auf die Natur zum verantwortlichen Handeln ihr - und somit uns - gegenüber.

Kühn, Rudolf: Astronomie populär. München 1964.

Neef, Ernst et al.: Das Gesicht der Erde. Band 1 (Geographie und Geologie der Kontinente und ihrer Landschaften) und Band 2 (ABC -Teil), Leipzig 1970.

Nussbaumer, Harry: Das Weltbild der Astronomie. Zürich 2007.

Pauling, Linus: Chemie - Eine Einführung. Weinheim / Bergstr. 1962.

Supan, Alexander: Grundlagen der physischen Erdkunde. Fünfte Auflage. Leipzig 1911.

Strugger, Siegfried: Biologie 1 - Botanik. Fischer Lexikon. Frankfurt am Main 1962.

Wagner, Gerhard: Energieversorgung und Klimaschutz in Deutschland. Braunschweig 2018.

Weizsäcker, Carl Friedrich von: Die Geschichte der Natur. Zürich 1948.

Wehler, Joachim: Grundzüge eines rationalen Weltbildes. Stuttgart 1990.