

## Erde und Sonne –

### Die Beziehungen zu unserer Lichtspenderin

## Geometrische Grundlagen oder warum 1 + 1 gleich 23 ½ ergibt

Um die astronomische Geometrie zu vereinfachen, einigen wir uns zunächst auf ein Betrachtungsmodell für unseren Planeten und seinen Stern. Wir wollen die Erde als Kugel anschauen, die sich für einen Beobachter an einem beliebigen geographischen Punkt als durch den **Horizont** begrenzte Scheibe darstellt (der Horizont im mathematischen Sinn ist

ein Großkreis, der die Himmelskugel in zwei gleiche Hälften teilt und dessen Pol der Zenit ist. Als Natürlicher- oder Landschaftshorizont wird die Grenzlinie zwischen Himmel und Erde bezeichnet, die von den örtlichen Bedingungen abhängt). Über dieser erhebt sich die **Himmelskugel** oder auch das **Himmelsgewölbe**, welche(s) wir von unserer jeweiligen Erdhälfte aus als Halbkugel auffassen. Sein höchster Punkt ist der 90° vom Horizont entfernte **Zenit**, dem der **Nadir** (Fußpunkt) genau gegenüberliegt.

In diesem einfachen Horizontsystem würden wir von einer weit im Raum entfernten Position zuerst erkennen, daß die Erde die Sonne gegen den Uhrzeigersinn auf einer leicht elliptischen Bahn umläuft und für einen vollständigen Umlauf 365 Tage braucht. Der Einfachheit halber stellen wir uns nun zunächst vor, die Erdachse wäre entgegen der Wirklichkeit nicht geneigt, sondern stünde senkrecht zur Umlaufbahn um die Sonne. Würden wir nun alle zusammen auf dem Äquator dieser fiktiven Erde mit der Sonne direkt über uns stehen und könnten wir zusätzlich zur Sonne auch die Sterne sehen, so stellen wir folgendes fest: Während sich die Erde auf ihrer Umlaufbahn um die Sonne bewegt, würde die Sonne vor dem Hintergrund der Sterne jeden Tag

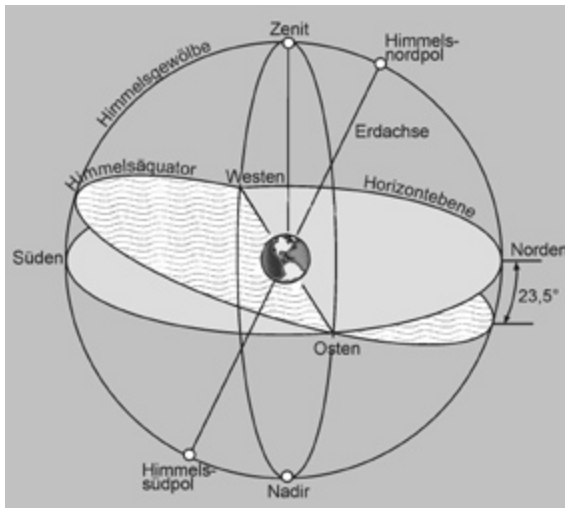


Abb. 9: Die Mechanik des Himmels

scheinbar ein Stückchen weiter nach Osten wandern und hätte nach einem Jahr wieder ihre Anfangsposition erreicht. Diese scheinbare Sonnenbahn wird **Eklptik** genannt und für unsere künstlich gerade gestellte Erde wäre sie ebenfalls gerade und würde mit dem **Himmelsäquator** (dem an die Himmelskugel verlängerten Erdäquator) zusammenfallen.

Die Achse unserer wirklichen Erde ist aber um gut  $23,5^\circ$  geneigt und der Schlüssel zum Verständnis dessen, was passiert, ist, daß die Richtung dieser Neigung immer nahezu gleich bleibt. An einem Punkt auf der Umlaufbahn neigt die Erde der Sonne also mehr die Nordhalbkugel zu und an einem anderen mehr die Südhalbkugel. Gehen wir wieder zurück an unsere gemeinsame Position auf dem Erdäquator und schauen wir, wie sich dies auswirkt.

Während sich die Erde auf ihrer Bahn um die Sonne bewegt, scheint diese wie gehabt vor dem Hintergrund der Sterne jeden Tag etwas nach Osten zu wandern. Da sich durch die Bewegung der Erde um die Sonne nun aber zusätzlich die relative Neigung der Erde zur Sonne ändert, verläuft die scheinbare Sonnenbahn nicht mehr gerade, wie oben beschrieben, sondern wandert bezogen auf den Himmelsäquator im Verlauf eines Jahres von



Abb. 10: Die scheinbare Sonnenbewegung Analemma

Norden nach Süden und zeichnet jene aufsteigende und abfallende Linie, eben die oben genannte Eklptik. Wie weit sie nach Norden und Süden wandert? Ganz einfach. Ihren nördlichsten Bogen beschreibt sie im Nordsummer (am 21. Juni) bei  $23,5^\circ$  nördlich des Äquators (bzw. Himmelsäquators) und ihren südlichsten im Nordwinter (am 21. Dezember) bei  $23,5^\circ$  südlich des Äquators (bzw. Himmelsäquators). Auf halbem Weg zwischen diesen beiden **Wendepunkten** passiert sie den Himmelsäquator jeweils, was wir als **Tagundnachtgleiche** (21. März und 23. September) kennen, weil sich Tag und Nacht dann genauso zueinander verhalten. Die Erscheinung der Eklptik hängt also völlig vom Umlauf der Erde um die Sonne und der Neigung der Erdachse ab.

## Erde und Sonne –

### Die Beziehungen zu unserer Lichtspenderin

Und diese Bewegung können wir sogar photographisch abbilden, indem wir die Sonne in einer Vielfachbelichtung über ein ganzes Jahr in gleichmäßigen Zeitabständen von sieben oder neun Tagen zu jeweils derselben Zeit und vom selben Ort aus aufnehmen. Dieses **Analemma** genannte Phänomen (Abb. 10) präsentiert sich auf dem fertigen Bild dann als eine an das Unendlichkeits-Symbol erinnernde Form, deren horizontale Abmessungen durch die saisonale Nord-/Südbewegung der Sonne bestimmt werden und deren Neigung vom Breitengrad des Standorts abhängt. Am Äquator liegt sie flach und an den Polen steht sie senkrecht.

Damit haben wir in diesem Absatz schon die wesentlichsten Zusammenhänge im Verhältnis zwischen Erde und Sonne erarbeitet. Alles, was folgt, bezieht sich hierauf.

### Die Jahreszeiten

Kernfusion ist ein bei uns kontrovers diskutiertes Thema zur Zukunftssicherung der Energieversorgung. Die technischen Hürden sie zu ermöglichen sind hoch und unsere Möglichkeiten bislang noch beschränkt, aber in der Sonne

findet sie seit mindestens 4,5 Milliarden Jahren statt. Je vier Wasserstoffatome werden dort zu einem Heliumatom verschmolzen. Dabei erreicht uns auf den gesamten Erdquerschnitt gerechnet die gewaltige Energiemenge von 170000 Terawatt, die wir als Licht und Wärme auffassen. Wärme, welche die Sonne uns Europäern im Winter nur zurückhaltend, dafür im Sommer aber überreichlich spendet. Wo liegt der Grund für diesen wechselnden Gehalt, für die Jahreszeiten?

In Bezug auf die mit dem Wechsel der Jahreszeiten einhergehenden unterschiedlichen Temperaturen drängt sich zu allererst der Verdacht auf die Erde käme der Sonne auf ihrer jährlichen Umlaufbahn mal näher und mal weniger nah. Und dies ist grundsätzlich auch gar nicht ganz falsch, denn die Bahn der Erde um die Sonne ist ja leicht elliptisch mit einem sonnennahen Punkt am 3. Januar (Perihelion, 147,1 Millionen Kilometer Abstand) und einem sonnenfernen Punkt am 4. Juli (Aphelion, 152,1 Millionen Kilometer Abstand). Diese Entfernungsdifferenzen verantworten aber nur einen Unterschied von 6 % in der übers Jahr von der Erde aufgefangenen Sonnenstrahlung – zu wenig, um mit den Jahreszeiten in Verbindung gebracht zu werden.

Deren wahrer Grund liegt vielmehr in der um  $23,5^\circ$  geneigten Erdachse, die die Ebene des irdischen Äquators aus der gegenüber der Sonne senkrechten Position bringt, und der damit einhergehenden Veränderung des Einfallswinkels unter dem die Sonnenstrahlen die Erdoberfläche erreichen (siehe Abb. 11). Da die Erde diese Schrägstellung immer beibehält, neigt sie der Sonne während eines vollständigen Umlaufs unterschiedliche Bereiche ihrer Oberfläche zu, beziehungsweise steht mit der geneigten Achse parallel zu ihr (Abb. 12).

So Sie einen Globus besitzen, egal ob beleuchtet oder nicht, ist jetzt der richtige Moment, um ihn aus der Regalecke zu holen. Für die folgenden Betrachtungen wird er ihnen nützliche Dienste leisten.

Wenn wir das System Erde-Sonne über ein ganzes Jahr aus großer Entfernung beobachten, können wir entsprechend der zuvor getroffenen Feststellungen vier markante Konstellationen auf der Umlaufbahn unterscheiden: Nahe des sonnennächsten Punktes neigt die Erde der Sonne die Südhalbkugel zu und die Sonne steht senkrecht über dem  $23,5^\circ$ ten südlichen Breitengrad (Sonnenwende am 21. Dezember). Eine Viertelumdrehung weiter wirkt sich die Schräg-

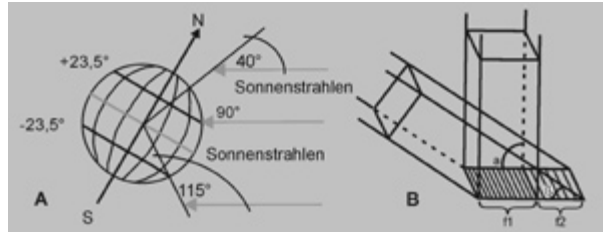


Abb. 11: Der Einstrahlungswinkel der Sonne in den Jahreszeiten

Die Erdstellung in Abb. A entspricht dem Nordsummer am 21. Juni. An diesem Datum steht die Sonne senkrecht über dem nördlichen Wendekreis, im Winkel von  $40^\circ$  über dem Nordpolarkreis und im Winkel von  $115^\circ$  über dem südlichen Wendekreis. Aus dem Vergleich der Flächen  $f_1$  und  $f_2$  und der Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  in Abb. B leitet sich ab, daß die beschienene Fläche umso kleiner und die Strahlungsintensität umso größer ist, je näher der Einstrahlungswinkel an  $90^\circ$  liegt.

stellung nicht mehr aus, die Erdachse steht parallel zur Sonne und diese folgerichtig im  $90^\circ$  Winkel über dem Äquator (Tagundnachtgleiche am 21.

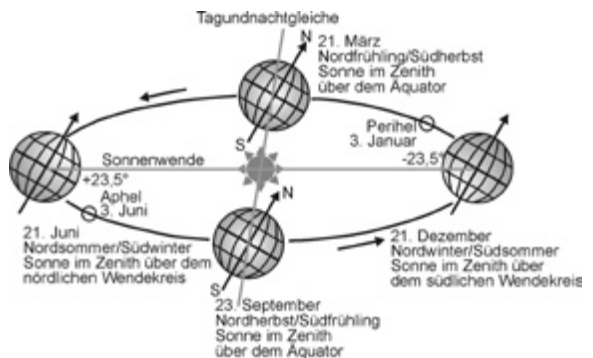


Abb. 12: Die Umlaufbahn der Erde und die Jahreszeiten

## Erde und Sonne –

### Die Beziehungen zu unserer Lichtspenderin

März). Noch eine Viertelumdrehung weiter, im sonnenfernsten Punkt, ist die Nordhalbkugel der Sonne zugewandt und die Sonne steht senkrecht über dem 23,5ten nördlichen Breitengrad (Sonnenwende am 21. Juni). Nach der dritten Viertelumdrehung ist wieder die Mittelstellung erreicht und die Sonne steht im 90° Winkel über dem Äquator (Tagundnachtgleiche am 23. September).

Mit den magischen  $23 \frac{1}{2}$  Grad lassen sich die wichtigsten Zusammenhänge im Verhältnis zwischen Erde und Sonne erklären. Sie sind hier das Maß der vollkommenen Symmetrie.

Im Nordsommer fallen die Strahlen auf der Nordhalbkugel demzufolge viel steiler ein als im Winter und umgekehrt im Südsommer auf der Südhalbkugel. Und da nach dem sogenannten Lambertschen Gesetz gilt „je steiler der Einfallswinkel, um so höher die auf die Erdoberfläche ankommende Strahlungsenergie, weil sie bei steilerem Einfallswinkel eine kleinere Fläche bestreichen“, wird klar, warum es im Sommer so heiß ist.

Bezogen auf die Erde addiert sich noch die bei steilem Einfallswinkel geringere Filterwirkung der

Atmosphäre für das energiereiche kurzwellige (blaue) Spektrum.

Die Sonne wandert aufgrund der schrägstehenden Erdachse also scheinbar über den relativ engen Bereich zwischen 23,5° nördlicher Breite (ihrem nördlichsten Punkt und deswegen nördlichen Wendekreis) und 23,5° südlicher Breite (analog ihrem südlichsten Punkt und folgerichtig südlichen Wendekreis) und jede der erwähnten vier Positionen (die folgenden kalendarischen Daten sind eine willkürlich darübergestülpte Ebene) markiert den Beginn einer Jahreszeit.

Für uns auf der Nordhalbkugel beginnt der **Winter**, wenn die Sonne am 23. Dezember im 90° Winkel über dem südlichen Wendekreis steht und uns den kürzesten Tag und die längste Nacht beschert. Traditionell nennen wir dies Wintersonnenwende. Den **Frühlingsanfang** verbinden wir mit der folgenden senkrechten Stellung der Sonne über dem Äquator am 21. März. Zu diesem Zeitpunkt sind beide Pole gleich weit von der Sonne entfernt und der Tag und die Nacht sind gleich lang. Der heiß ersehnte **Sommer** beginnt am 21. Juni, wenn die Sonne die nördliche Grenze ihrer Reise, den nördlichen Wendekreis, erreicht hat. Den damit verbundenen längsten Tag (beziehungsweise die

kürzeste Nacht) feiern vor allem die Skandinavier als Sommersonnenwende. Bleibt noch der **Herbst** zu nennen und der fängt an, wenn die Sonne auf dem Weg nach Süden am 23. September wieder lotrecht über dem Äquator steht und Tag und Nacht wiederum die gleiche Länge besitzen. Jede der vier **Jahreszeiten** beginnt oder endet also entweder mit einer Tag- und Nachtgleiche oder mit einer Sonnenwende, der Richtungsumkehr der Sonne. Vor diesem Hintergrund erklärt sich auch ganz leicht, warum die **tropischen Breiten** um den Äquator keine unterscheidbaren Jahreszeiten kennen und die Tage und Nächte übers Jahr mit jeweils 12 Stunden immer gleich lang bleiben: Bezogen auf Sie ändert sich im Jahresverlauf einfach nicht genug am Winkelverhältnis zwischen Erde und Sonne, um einen Einfluß auf das Klima zu haben.

Diese Zusammenhänge haben jahrtausendlang über die Termine für Aussaat und Ernte das Leben der Menschen bestimmt und aus diesem Grund haben unsere Urururrahnen sie quasi kalendarisch in diversen Steinkreisen festgehalten.