

Die Sonne

Der Stern von dem wir leben

Volkssternwarte Laupheim e.V.
.... Ihr Weg zu den Sternen



Zu meiner Person

Dipl.-Ing. (FH) Markus Fulde
Finkenweg 3
D-89173 Lonsee

Telefon +49 (7336) 92 1 189
Fax +49 (7336) 92 10 68
Mobil +49 (160) 84 54 314

Markus.Fulde@T-Online.de

<http://www.kleinmaeusiges.de>

- 1970 geboren in Ehingen, unverheiratet mit fester Partnerin
- Eine Tochter Daniela Jasmin

Astronomie in meinem Leben

- Begeisterung für die Sterne seit meiner Grundschulzeit.
- Einstieg in die Astronomie vor ca. 20 Jahren durch selbst angeeignetes Wissen über Bücher und Literatur.
- Seit 15 Jahren aktives Mitglied der Volkssternwarte Laupheim e.V. mit Zeiss Planetarium.

Aufgaben im Verein

- 3 Jahre Vorstand für astronomische Volksbildung.
- 8 Jahre Arbeitsgebietsleiter für digitale Bildverarbeitung und Mitglied des Führungsgremiums.
- Mitarbeit bei der Erstellung von astronomischen Multimedia-Shows im Planetarium.
- Öffentliche Sternwartenführungen im Winterhalbjahr in der Sternwarte.
- Referent bei Vorträgen zu astronomischen Themen.

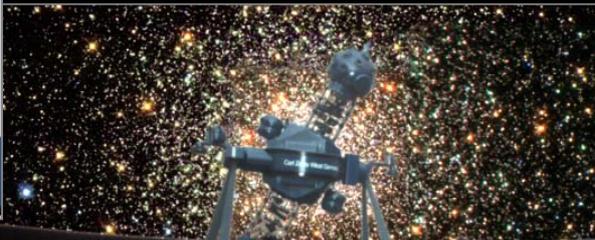


*„Astronomisches Bildungszentrum Laupheim“
Volkssternwarte Laupheim e.V.*

23.12.2009

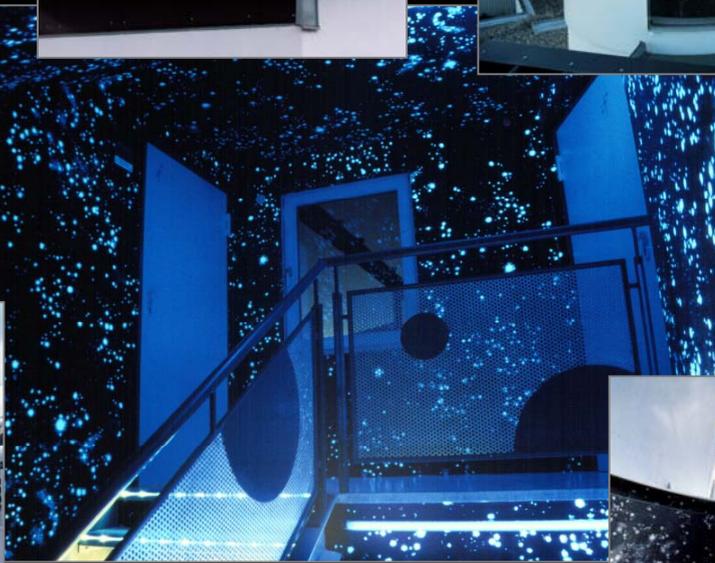
Folie 3

Planetarium mit Zeiss Projektor



23.12.2009

Folie 4



Sternwarten

23.12.2009

Folie 5

Geschichtliches

Schon seit Urzeiten hat der Mensch einen besonderen Bezug zur Sonne!

- Wer einmal eine Sonnenfinsternis erlebt hat, der kann sich der Mystik dieser Erscheinung kaum entziehen. Und er wird zumindest erahnen können, welche panische Angst unsere Vorfahren erfasst haben muss, wenn dieser wärme- und lebenspendende Glutball sich plötzlich verdunkelte.
- Selbst noch im Jahre 1980 hatten sich bei einer Sonnenfinsternis im unerschlossenen Norden Kenias Eingeborene in panischer Angst umgebracht, weil sie das kurze Erlöschen der Sonne als Weltuntergang deuteten.



Homo Neanderthalensis



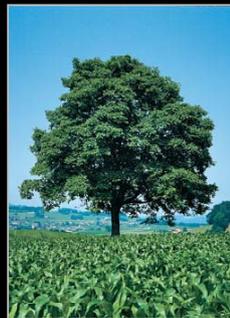
Sonnenfinsternis

23.12.2009

Folie 7



Frühling



Sommer



Herbst



Winter

- Auch wenn sie von den vielfältigen Einwirkungen der Sonne auf die Erde nur wenig wussten, so war doch schon den Steinzeitmenschen klar wie stark die Sonne ihr Leben beeinflusste. Tag und Nacht bestimmten den Wechsel von Arbeit und Ruhe.
- Der **Rhythmus der Jahreszeiten** und der damit verbundene Sonnenstand bestimmten Aussaat und Ernte, Fruchtbarkeit und Erstarrung, Geburt und Tod.
- Dass die Sonne immer beteiligt war, konnte niemand übersehen. Aus diesem Grunde spielte sie in den **Schöpfungsmythen** eine entscheidende Rolle.



23.12.2009

Folie 8

Ägypten

- Von allen Völkern des Altertums brachten die Ägypter der Sonne die höchste Verehrung entgegen. Die Pharaonen der 5. Dynastie erhoben 2 ½- Jahrtausende vor Christus den Glauben an den **Sonnengott Re bzw. Ra** zur Staatsreligion.



Echnaton

- Die Pharaonen galten als direkte Abkömmlinge des Sonnengottes, neben dem jedoch auch noch andere Götter existierten.

- **Echnaton** schließlich erhob die Sonnenscheibe „Aton“ in den Rang des alleinigen Gottes. Ein berühmtes Relief zeigt Echnaton und seine Frau Nofretete mit den gemeinsamen Kindern unter der Sonnenscheibe Aton, deren Strahlen in lebensspendenden Händen münden.



Ra (Re)



Echnaton und Nofretete opfern dem Sonnengott Aton

Griechenland

- Die alten Griechen verehrten den Sonnengott **Helios**, der täglich, von feurigen Rössern gezogen, mit seinem goldenen Streitwagen über des Firmament zog.



Helios

Persien und Babylon

- In Persien entwickelte sich der **Mithras-Kult**. **Mithras** war Sonnen- und Kriegsgott zugleich. Er verschmolz in Babylonien mit dem Sonnengott **Schamasch** und breitete sich schließlich im dritten Jahrhundert nach Christus mit den römischen Legionen über das gesamte römische Reich aus - einschließlich Germanien und Britannien.



Babylon

23.12.2009



Schamasch



Mithras

Folie 11

Azteken

- Die Azteken, die von 1400 an in Mittelamerika ein mächtiges Reich geschaffen hatten, huldigten einem **Sonnenkult** der uns Mitteleuropäern besonders grausam erscheint. Um den Sonnengott **Huitzilopochtli** gnädig zu stimmen mussten ihm Menschen geopfert werden. Aztekische Priester rissen den Opfern, zumeist Kriegsgefangenen, die Herzen bei lebendigem Leibe heraus, um sie dem Sonnengott darzubieten.



Azteken-Tempel



Menschenopfer



Aztekischer Kalender

23.12.2009

Folie 12

Inkas

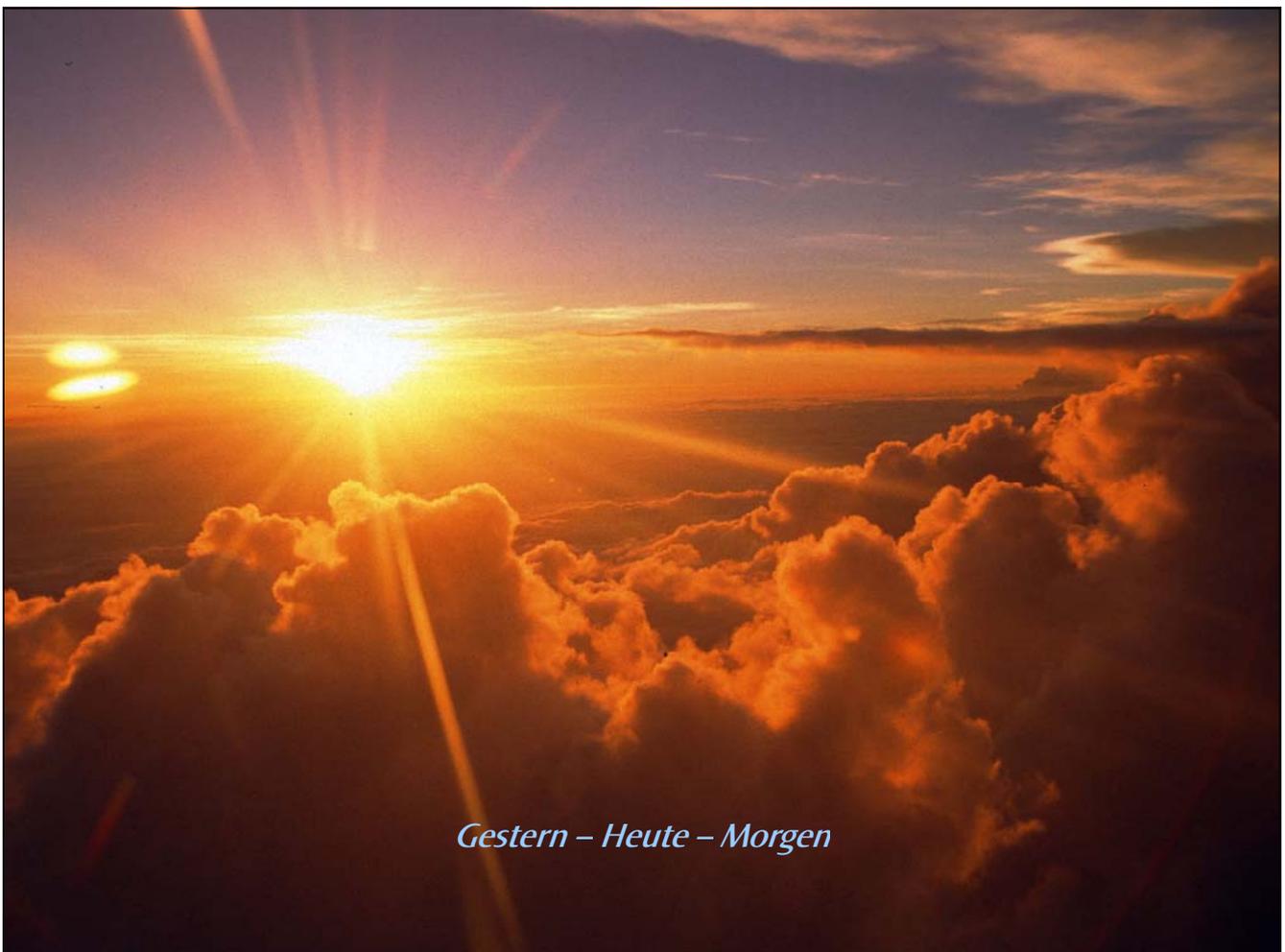
- Besonders ausgeprägt war der Sonnenkult bei den Inkas. Der regierende Inka galt als Sohn des personifizierten Sonnengottes. Deshalb wurden überall im Reich prachtvolle Tempel errichtet, deren Wände teilweise mit purem Gold verkleidet waren, denn Gold bedeutete in der Quechua-Sprache der Inkas „den von der Sonne geweinten Tränen“. Das Zentrum des Sonnenkults der Inkas, war *Machu Pichu*, hoch in den Anden.



Machu Pichu

23.12.2009

Folie 13



Gestern – Heute – Morgen

Europa

- Aber auch in Europa stoßen wir heute noch auf Spuren des Sonnenkultes.
- Berühmtestes Beispiel: *Stonehenge*.
- Ein 33 Meter durchmessender Steinkreis, aus bis zu 50 Tonnen schweren Monolithen aufgerichtet. Ein *steinzeitliches Observatorium*, dessen Verbindungslinien zwischen den Monolithen auf Punkte am Horizont weisen, wo vor 3.500 Jahren Sonne und Mond auf- und untergingen. Die Konstrukteure der Anlage verfügten zweifellos über hervorragende astronomische Kenntnisse.



Stone Henge

Die Sonne, ein Stern wie alle anderen

- Weder die geheimnisvollen Erbauer von Stonehenge, noch Inkas, Mayas und Azteken, weder Babylonier, noch Griechen, Perser oder Ägypter hatten Vorstellungen von der wahren Natur der Sonne.
- Sie hätten es als Gotteslästerung empfunden *die Sonne lediglich als einen Stern unter vielen*, vielen anderen anzusehen.
- Einen Stern, der uns lediglich ein wenig näher steht als all die anderen Lichtpunkte am Himmel einer klaren Sternennacht.



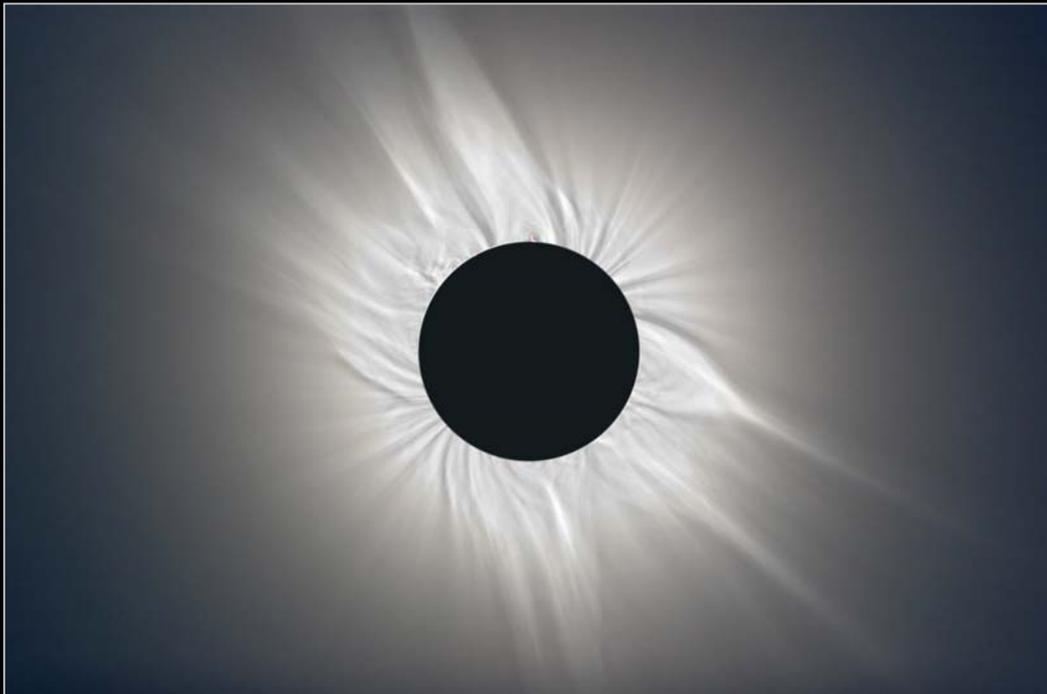
Sonnenaufgang

Ein Ausflug zur Himmelsmechanik



Stonehenge
© Pete Strasser (Tucson, Arizona, USA)

In den späten Morgenstunden des 29. März 2006 schob sich der Neumond als schwarze Scheibe vor die Sonne und bedeckte sie vollständig.

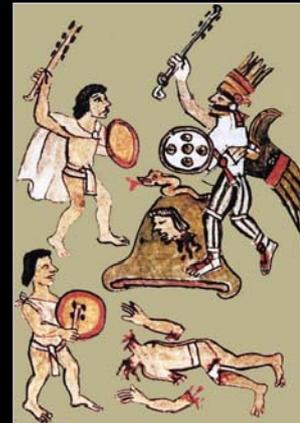


Dort, wo der Kegel des Mondschattens auf die Erdoberfläche trifft, ist das eindrucksvolle Naturschauspiel einer totalen Sonnenfinsternis zu sehen.

- Die Sonne spielte eine große Rolle in der Religion von antiken Hochkulturen. Die Sonne *spendet Licht* und *ermöglicht das Leben*.
- Sonnenfinsternisse wurden immer als plötzliches, unerwartetes Verschwinden der Sonne betrachtet für die die damaligen Menschen einen Grund suchten.
- Bei den Azteken erzürnte der Gott *Huitzilopochtli* Menschenopfer.
- In Indien war es der *Dämon Rahu* welcher die Sonne vertilgt.
- In Babylon glaubte man der *Drache Tiamat* verschlinge die Sonne.



23.12.2009



Folie 19

- Um so wichtiger war es in den alten Kulturen einen Weg zu finden diese *Finsternisse vorherzusagen* um darauf vorbereitet zu sein.
- In China hatten die *Hofastronomen Hi und Ho* die Aufgabe die Finsternisse vorherzusagen damit die Menschen mit lauten Bebrüll den Himmlesdrachen welcher die Sonne verschluckte wieder vertreiben konnten.
- Am 22. Oktober 2137 v.Chr. wurden die Hofastronomen Hi und Ho hingerichtet, weil sie „ihre Tugenden vergaßen ... und sich unordentlich dem Wein hinhaben“ und vergaßen, eine Sonnenfinsternis vorherzusagen.



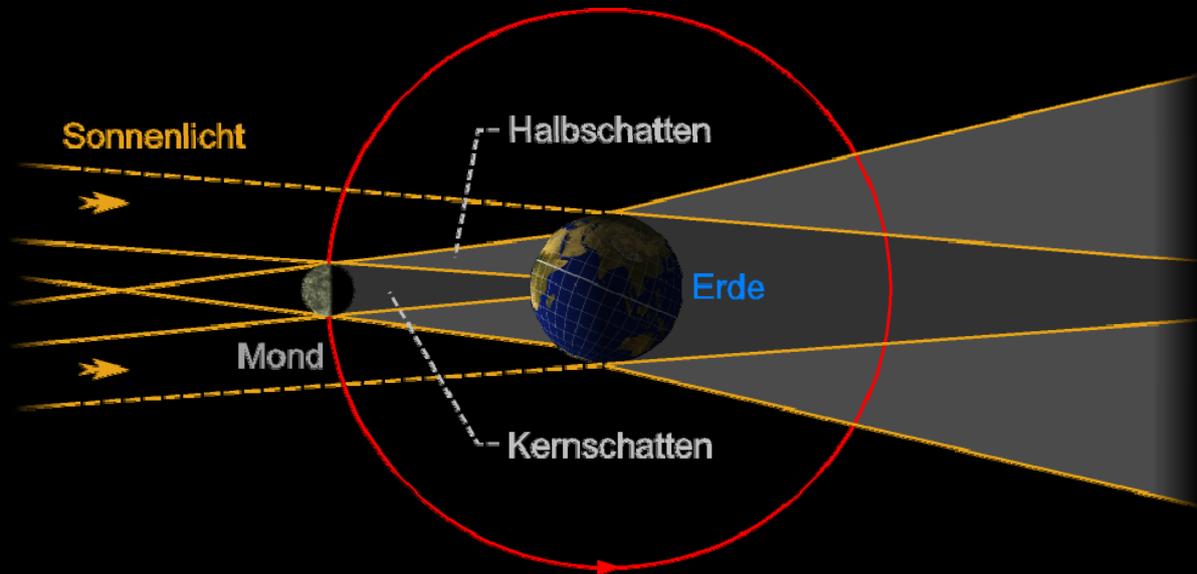
Hi und Ho

23.12.2009

Folie 20

Neumondstellung

- Eine Sonnenfinsternis kann nur bei Neumond entstehen.
- » *Der Mond steht zwischen Sonne und Erde.*
- Nur so ist es möglich das der Schatten des Mondes die Erde trifft.

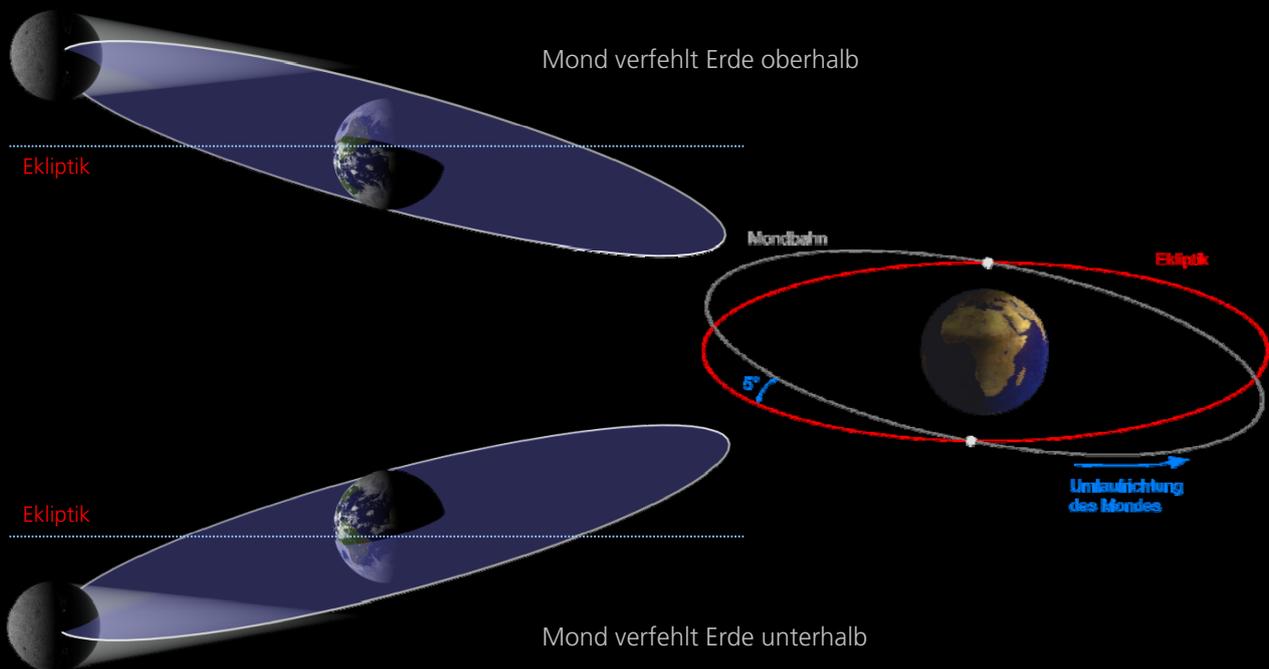


23.12.2009

Folie 21

Warum gibt es nicht jeden Monat eine Sonnenfinsternis?

- Die Mondbahn ist gegenüber der Erdbahn geneigt um $5,145^\circ$ geneigt (*Bahnneigung*)
- Der Schatten des Mondes *verfehlt die Erde oberhalb oder unterhalb*.



23.12.2009

Folie 22

Warum kann der Mond die Sonne genau bedecken?

- 3/5 -

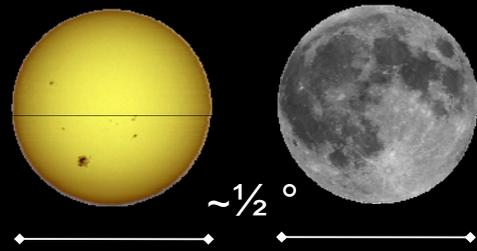
- Der Sonnendurchmesser ist ungefähr **400 mal größer** als der Monddurchmesser.
- Die Sonne ist ungefähr **400 mal weiter entfernt** als der Mond.
- Beider Himmelskörper erscheinen am Himmel gleich groß.
- Die **Entfernungen** von Erde-Sonne und Erde-Mond **schwanken**.
- Eine totale Sonnenfinsternis ist nur möglich wenn der Mond nahe an der Erde steht und deswegen die Mondscheibe scheinbar größer ist als die Sonnenscheibe.
- Es gibt zwei Extremsituationen für die Positionen Erde-Sonne und Erde-Mond:

[1] Erde im Perihel (Sonnennähe = Sonne groß) und Mond im Apogäum (Mondferne = Mond klein)

» **Der kleine Mond kann die große Sonne nicht vollständig bedecken, es gibt eine ringförmige Sonnenfinsternis.**

[2] Erde im Aphel (Sonnenerne = Sonne klein) und Mond im Perigäum (Mondnähe = Mond groß)

» **Der große Mond kann die große Sonne vollständig bedecken, es gibt eine totale Sonnenfinsternis.**

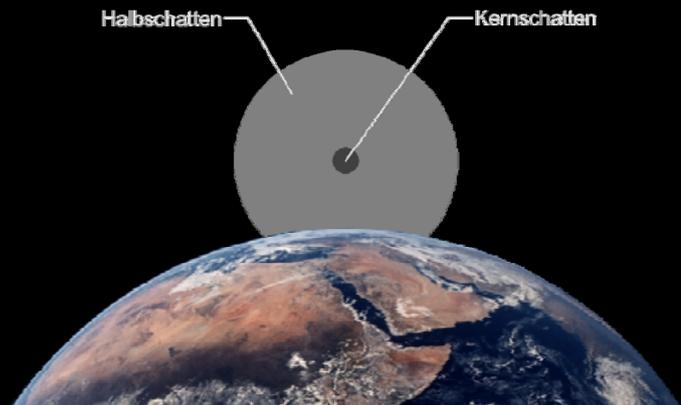


Ringförmige Sonnenfinsternis

Der eigene Standort ist wichtig!

- 4/5 -

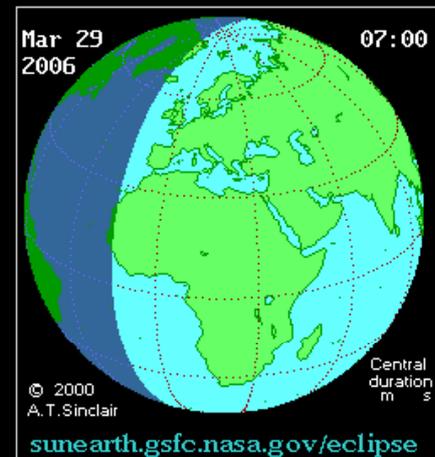
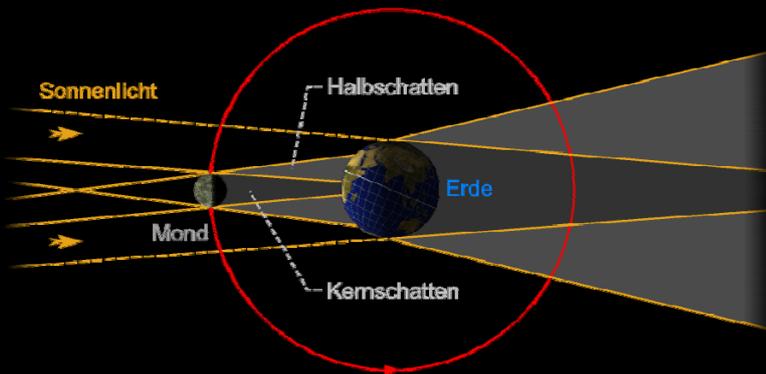
- Da die Sonne keine punktförmige Lichtquelle ist, ist während einer totalen Sonnenfinsternis nur in einem relativ kleinen Gebiet, dem sog. **Kernschatten** eine völlige Abdeckung der Sonne zu beobachten. Dieser hat einen **Durchmesser von maximal 265 Kilometern**, ist in den allermeisten Fällen aber wesentlich schmäler. In Gebieten nördlich und südlich von diesem Kernschattengebiet kann man hingegen nur eine **partielle Sonnenfinsternis** beobachten.
- Die sichtbare Zeit der Totalität hängt für den Beobachter von folgenden Faktoren ab:
- Die **Position in Bezug zur Zentrallinie** - je näher der Beobachter zur Zentrallinie steht, desto länger ist die Sichtbarkeit.
- Die Position im Verlauf des Finsternispfades über die Erde - findet die Beobachtung am Morgen oder am Abend (= Beginn oder Ende des Finsternispfades) statt, ist die Sichtbarkeit ebenfalls deutlich kürzer als am Mittag (= maximale Verfinsternung).
- Das Verhältnis der scheinbaren Größe von Mond- und Sonnenscheibe. Die Mondscheibe muss mindestens 100 % der Größe der Sonnenscheibe haben, um überhaupt eine totale Finsternis zu sehen - maximal möglich sind 108 %. Je höher dieser Wert ist, desto länger ist die Finsternis. **Die längste theoretisch mögliche Finsternis dauert 7 Minuten und 42 Sekunden.**



Warum sieht man nicht jede Sonnenfinsternis total?

- 5/5 -

- Es gibt den *Kernschatten* und den *Halbschatten*.
- *Im Kernschatten sieht man eine totale Finsternis.*
- *Im Halbschatten sieht man eine partielle oder ringförmige Finsternis.*
- Eine *partielle Sonnenfinsternis* ist auch dann zu beobachten, wenn der Mond nicht genau in einem Knotenpunkt zwischen Sonne und Erde steht. Der Kernschatten verfehlt die Erde. Auf der Erde ist nur der Halbschatten zu beobachten.



23.12.2009

Folie 25

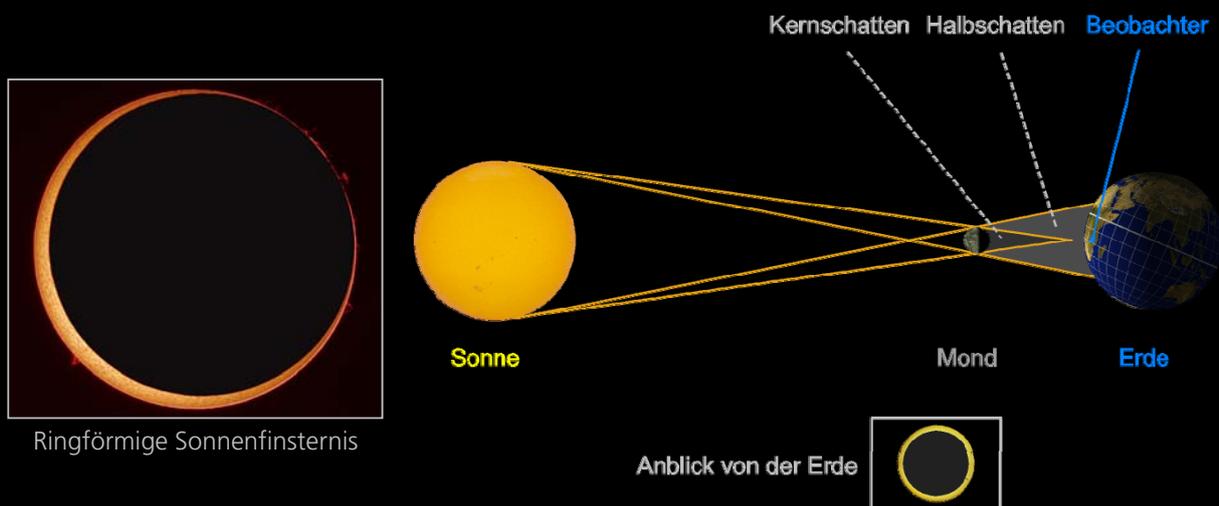
Welche Arten von Finsternissen gibt es?

- 1/6 -

Ringförmige Sonnenfinsternis (Extremfall 1)

- Die *Erde steht am sonnenächsten Punkt* (4. Januar) und der *Mond am erdfernten Punkt*.
- Durchmesser Sonne 33', Durchmesser Mond 29'.
- Es ist *keine volle Bedeckung* der Sonne durch den Mond möglich.
- Zu beobachten ist eine ringförmige Sonnenfinsternis.

Ringförmige Sonnenfinsternis



23.12.2009

Folie 26



Dennis Mammana (Skyscapes)

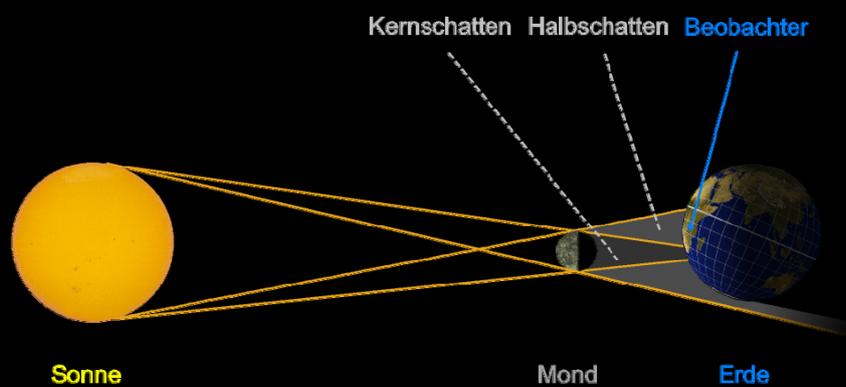
Partielle Sonnenfinsternis

- Der Beobachter befindet sich *nicht in der Totalitätszone* oder der Kernschatten verfehlt die Erde.



Partielle Sonnenfinsternis

Partielle Sonnenfinsternis



Anblick von der Erde





Stefan Seip

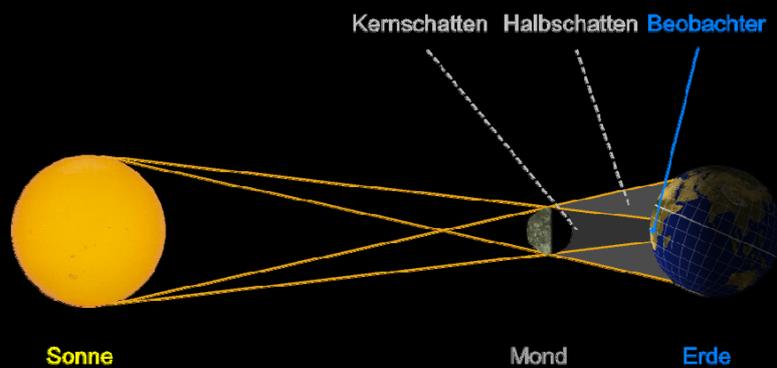
Maximale totale Sonnenfinsternis (Extremfall 2)

- Die *Erde steht am sonnenfernsten Punkt* (4. Juni) und der *Mond am erdnächsten Punkt*.
- Durchmesser Sonne 31,5', Durchmesser Mond 33,5'.
- Der *Mond bedeckt die Sonne* für die maximale Finsterniszeit von 7min 31sec.
- Diese Zeit wurde zuletzt mit >7min 1973 in Kenia erreicht. Das nächste Mal erst im Jahr 2132.

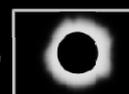
Totale Sonnenfinsternis



Totale Sonnenfinsternis



Anblick von der Erde





Sonnenfinsternis 1999, aufgenommen von der Raumstation MIR.



Sonnenfinsternis über der Türkei

23.12.2009

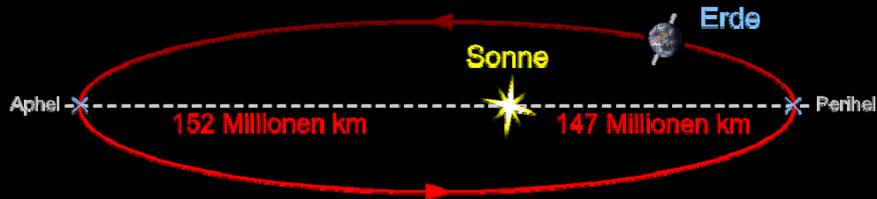
Folie 31

Die Sonne in Zahlen und Fakten



Entfernung Erde - Sonne

- Während das Licht der Sterne Jahre, Jahrzehnte, Jahrhunderte und schließlich gar Jahrzehntausende zu uns unterwegs ist, benötigt es für die rund 150 Millionen km von der Sonne zur Erde nur **8 ½ Minuten**.



- Der Durchmesser der Sonne entspricht dem von **109 Erdkugeln**.

Durchmesser: Sonne = 109 x Erde



Die Größe unserer Sonne

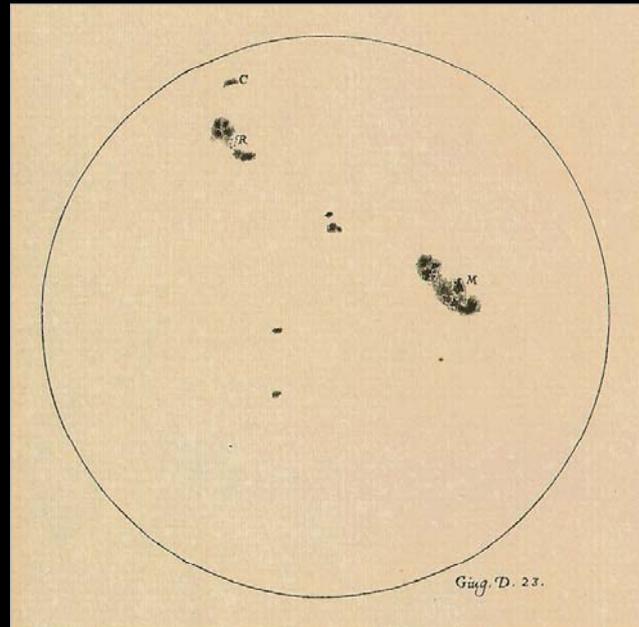
- Es gibt zwar auch Sterne, die noch kleiner sind als unsere Sonne, wie z.B. **Mintaka**, einer der Gürtelsterne im Orion. Aber im Vergleich zu den meisten Sternen jedoch ist die Sonne nur ein Zwerg! Stünde sie nicht so nahe würde sie von anderen Sternen leicht überstrahlt.



Antares ist Hauptstern im Sternbild Skorpion

Arktur ist Hauptstern im Sternbild Bärenhüter

- **Galileo Galilei** richtete im Sommer **1610** sein Teleskop auf das Tagesgestirn.
- Ein Jahr später beobachteten der ostfriesische Pfarrerssohn **Johannes Fabricius** und der Ingolstädter Jesuitenpater **Christoph Scheiner** die Sonne.
- Alle drei entdeckten unabhängig voneinander, dass die Sonnenscheibe **dunkle, veränderliche Flecken** aufweist.
- Eine unerhörte Entdeckung, stand diese doch im Widerspruch zur herrschenden Lehrmeinung des Aristoteles, nachdem die Sonne „makellos“ und der Kosmos vollkommen und unveränderlich sei.



Zeichnung von Sonnenflecken – Galileo 1613

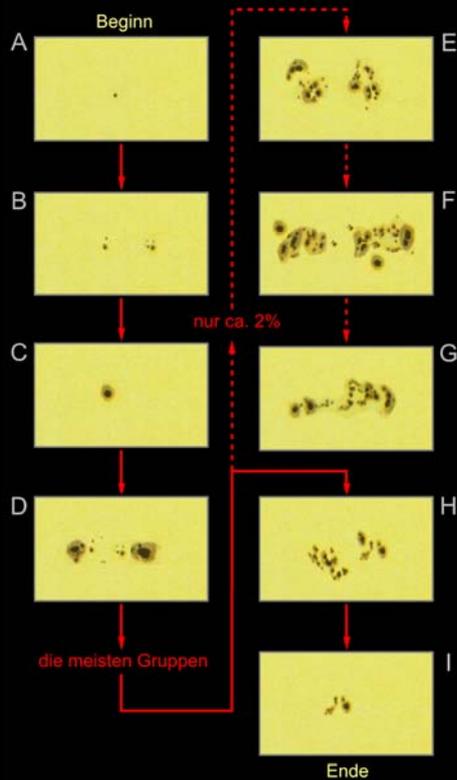
- Wenn die übliche Helligkeit der Sonne stark gedämpft ist, bei Sonnenauf- und Untergängen etwa oder bei Dunst oder Nebel, lassen sich besonders große **Sonnenflecken** bereits mit bloßem Auge erkennen.
- Flecken solchen Ausmaßes sind allerdings selten.
- Einer der größten Flecken die jemals fotografiert wurden, tauchte im April 1947 auf. Die Ausdehnung entsprach mit **300.000 km** oder 25 Erddurchmessern, fast der Entfernung Erde-Mond



Erde und Mond im Größenvergleich

Entwicklung der Sonnenfleckengruppen

- 3/6 -



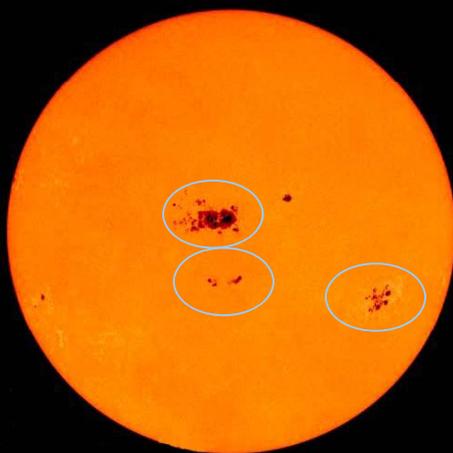
- Schon früh fiel den Astronomen auf, dass die Flecken eine bestimmte Entwicklung durchlaufen.
- Aus kleinen schwarzen Pünktchen, sogenannten *Poren*, wachsen sie heran.
- Nach Tagen, Wochen oder erst nach Monaten verschwinden sie wieder.
- Sie tauchen scheinbar willkürlich an verschiedenen Orten auf, aber *immer nur beiderseits des Sonnenäquators* und nur selten am Äquator selbst.
- Sie reichen bis in mittlere Breiten, aber nie bis zu den Polen.

23.12.2009

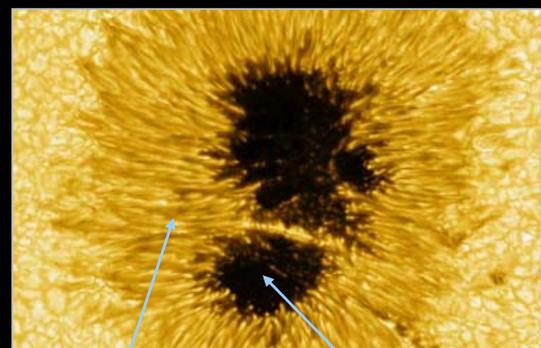
Folie 37

- Manchmal treten riesige *Fleckengruppen* auf.

- Bei größeren Sonnenflecken erkennt man eine dunkle Mitte, die tiefschwarze *Umbra*, umgeben von faserigen, grauen Randzonen, die *Penumbra*, die wie die Arme einer Seeanemone nach außen weisen.



Flecken-Gruppen



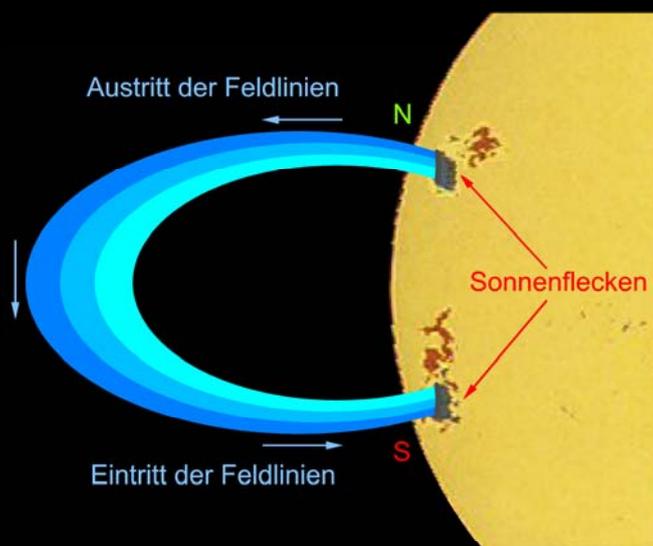
Penumbra

Umbra

- 4/6 -

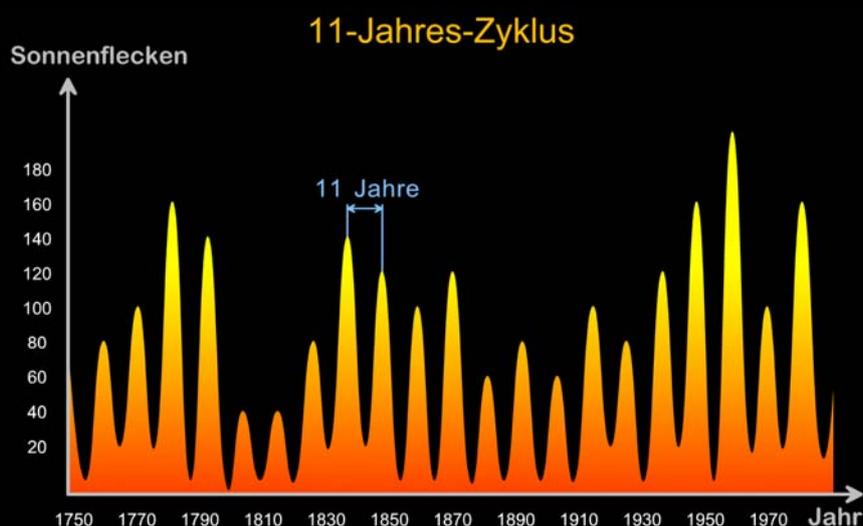
23.12.2009

Folie 38

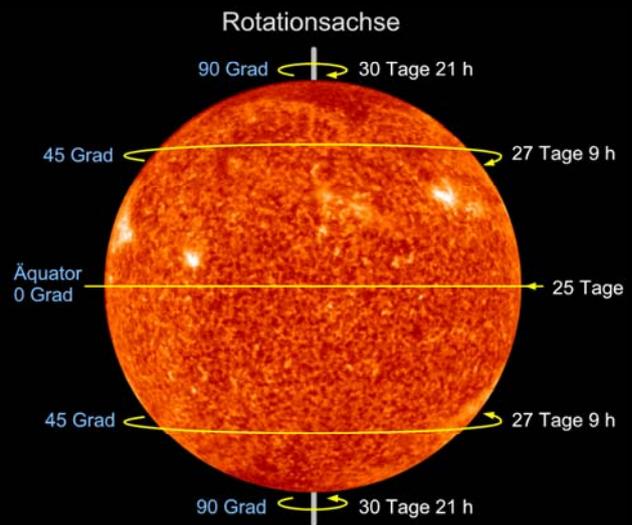


- Sonnenflecken stellen *magnetische Störungen* an der Sonnenoberfläche dar.
- Sie treten dort auf, wo das *Magnetfeld der Sonne nach außen dringt*.
- Starke magnetische Felder *unterbrechen dabei den Wärmenachschub* aus dem Sonneninnern.
- Während die Sonne an der Oberfläche eine Temperatur von *5.800° Celsius* aufweist, kühlt sie sich an den Austrittsstellen der Magnetfelder um etwa *1.400 Grad* ab und erscheint dadurch dort dunkler.

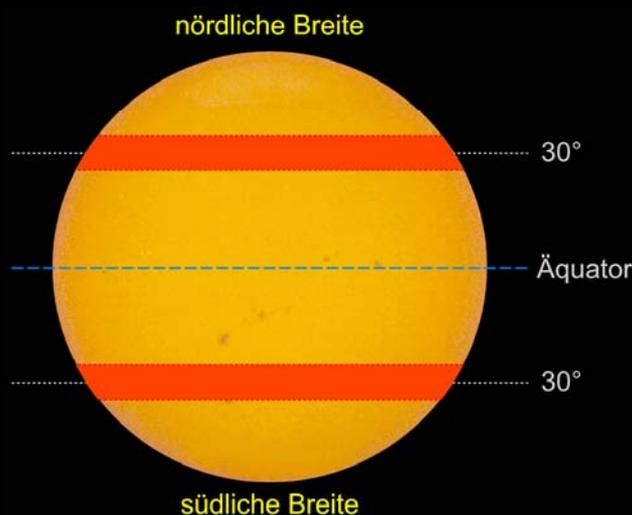
- Die nächste Entdeckung im Zusammenhang mit den Sonnenflecken gelang eher zufällig.
- *Samuel Heinrich Schwabe* aus Dessau machte sich 1829 auf die Suche nach einem weiteren Planeten innerhalb der Bahn des sonnennächsten Planeten Merkur. Wenn dieser hypothetische Planet tatsächlich existierte, dann musste er regelmäßig vor der Sonnenscheibe hinwegziehen. Um ihn bei einem derartigen Durchgang nicht mit einem Sonnenfleck zu verwechseln, musste Schwabe daher jede Fleckenposition möglichst genau vermessen. Dabei stieß er auf ein völlig unerwartetes Ergebnis:
- Nach 17 Jahren intensiver Suche hatte er zwar keine Spur des gesuchten Planeten gefunden, aber bemerkt, daß die Zahl der Sonnenflecken in einem rund *11-jährigen Rhythmus* schwankt.



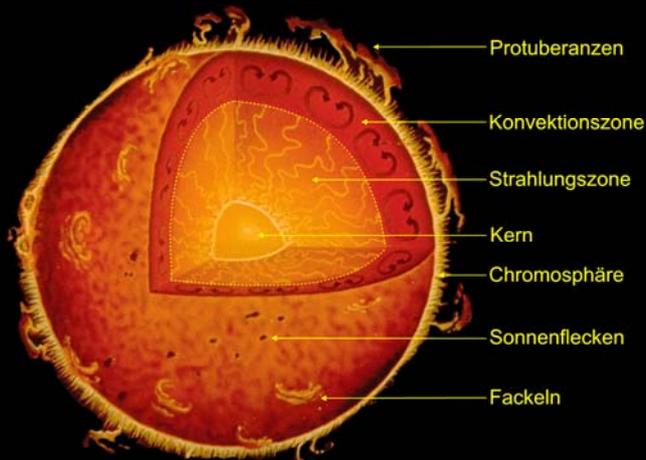
- 1853 begann der englische Amateurastronom Richard Carrington damit, die **exakte Rotationsdauer** der Sonne aus der Bewegung der Sonnenflecken abzuleiten. Schon Scheiner hatte bemerkt, dass die Sonnenflecken im Verlaufe von etwa 2 Wochen vom Ost- zum Westrand der Sonne wanderten.
- Carrington stellte fest, dass die Sonne sich nicht wie ein starrer Körper verhält. Während ein Fleck in **Äquatornähe rund 25 Tage** für eine Umrundung der Sonne benötigte, verlangsamte sich die Sonnenrotation in **höheren Breiten bis auf über 30 Tage**. Dies erlaubte die Schlussfolgerung, dass die Sonne zumindest in den äußeren Bereichen gasförmig ist.



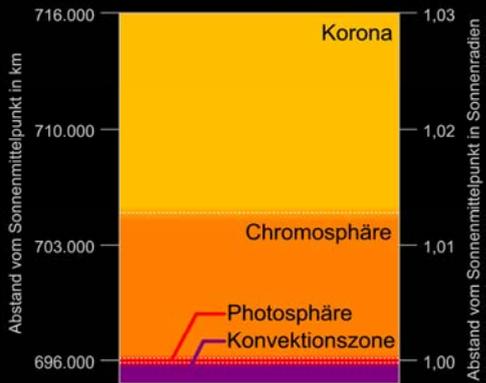
- Doch Carrington entdeckte noch eine weitere Gesetzmäßigkeit:
- Sonnenflecken bilden sich am Beginn des elfjährigen Zyklus zunächst in zwei breiten Bändern in etwa **30° nördlicher und südlicher Breite**. Im weiteren Verlauf eines Zyklus bilden sich die Flecken dann immer näher am Äquator. Wenn dann beim Maximum sehr viele Flecken die Sonnenscheibe bevölkern, konzentrieren sie sich in zwei Zonen beiderseits je **15° vom Sonnenäquator entfernt**. Nach Überschreiten des Maximums schieben sich die Flecken noch dichter an den Äquator heran, werden jedoch immer weniger, bis der erste Fleck in hohen Breiten den Beginn eines neuen Zyklus anzeigt



- Während einer totalen Sonnenfinsternis, kurz bevor der Mond die Sonne völlig bedeckt, leuchtet am Mondrand ein rötlicher Saum auf - die Atmosphäre der Sonne, die **Chromosphäre**. Hier sieht man bei verfinsteter Sonne bereits mit bloßem Auge zungenartige Lichtgebilde und Lichtbögen, die noch weit über die Chromosphäre hinausragen: Gasausbrüche, die **Protuberanzen**.

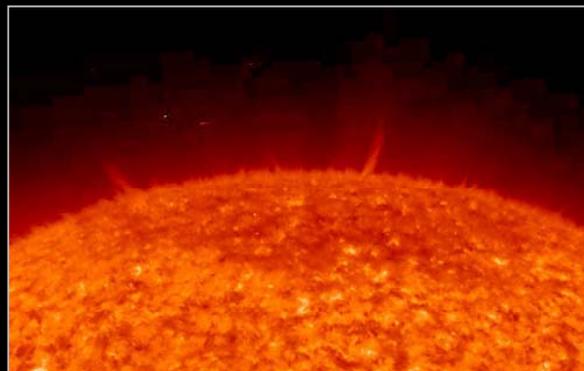
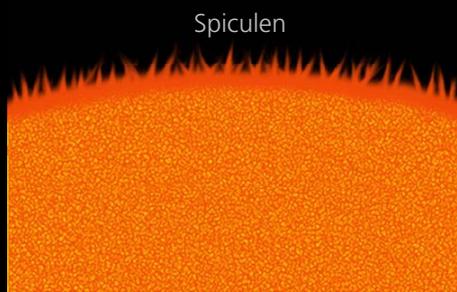


Aufbau der oberen Sonnensphären



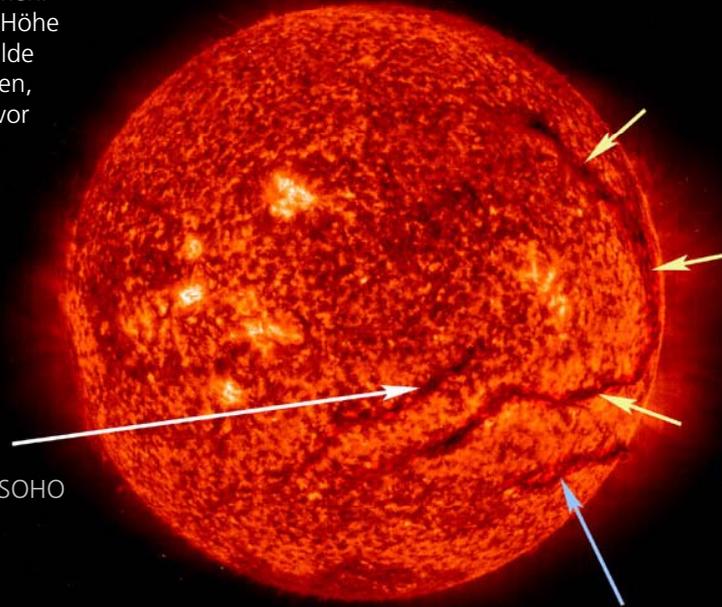
- Die Chromosphäre liegt 5000 km über der Photosphäre. Mit Spezialfiltern sichtbar gemacht, erweckt sie mit ihren vielfältigen Aktivitäten den Eindruck eines tosenden, gischtprühenden Meeres aufgewühlter Gase. Eine Wasserstoffwelt, beherrscht und dominiert vom Magnetismus der Sonne.

- Am Rande der **Chromosphäre** erkennt man Gasspritzer, die mit Überschallgeschwindigkeit in Höhen bis zu 10.000 km aus der Chromosphäre emporschießen, nur wenige Minuten existieren, um wieder neuen Spritzern Platz zu machen. Diese **Spiculen** steigen und fallen wie Wellen in einem stürmischen Meer.



Spiculen, aufgenommen von SOHO

- Lange, dunkle, schlangenförmige **Filamente** kühlerer Gase erstrecken sich über der Chromosphäre. Gewaltige Bögen, die mehr als 600.000 km Länge und 80.000 km Höhe erreichen können. Während diese Gebilde vor der Chromosphäre dunkel erscheinen, heben sie sich als helle Protuberanzen vor dem schwarzen Himmel ab.

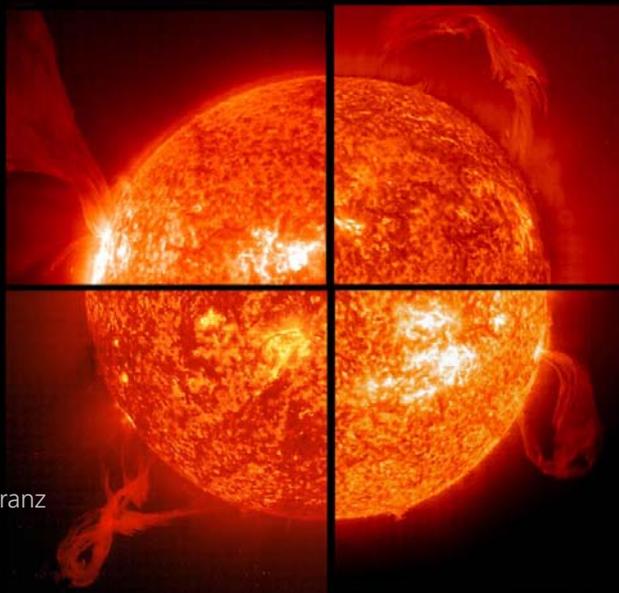


Filamente, aufgenommen von SOHO

2004/02/23 19:19

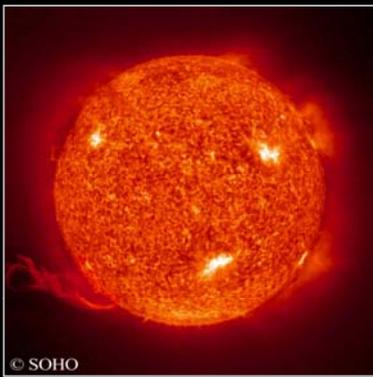
- **Protuberanzen** stehen in enger Verbindung mit Sonnenflecken und unterliegen damit ebenfalls dem elfjährigen Aktivitätszyklus der Sonne. Sie bestehen aus Wasserstoffgas dessen glühende Teilchen an den **Magnetfeldlinien** entlang wandern. Ihre Formenvielfalt reicht von kurzlebigen Schleifen und Bögen über ruhende, heckenförmig angeordneten Gasfackeln, die monatelang existieren können, bis hin zu eruptiven Protuberanzen, die plötzlich explosionsartig in große Höhen schießen. Dabei fällt das Plasma teils zur Sonnenoberfläche zurück, teilweise schießt es hinaus in den Weltraum und wird vom Sonnenwind weggetragen.

Eruptive Protuberanz



Bogenprotuberanz

Schleifenprotuberanz



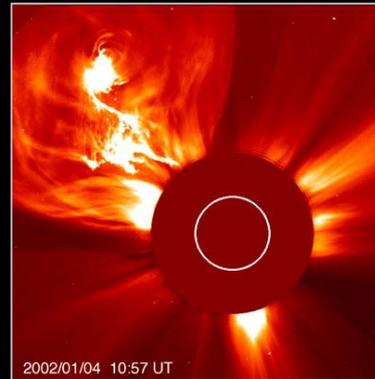
Fackel Protuberanz



Protuberanz-Bögen



Heckenprotuberanz

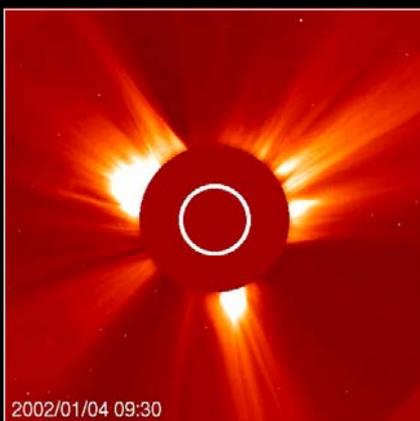
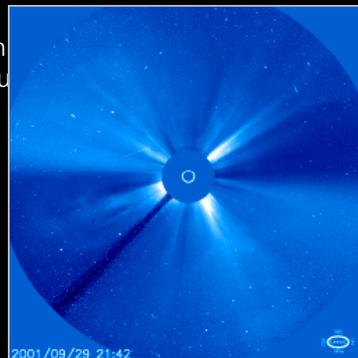


Koronaler Massenauswurf

Koronaler Massenauswurf

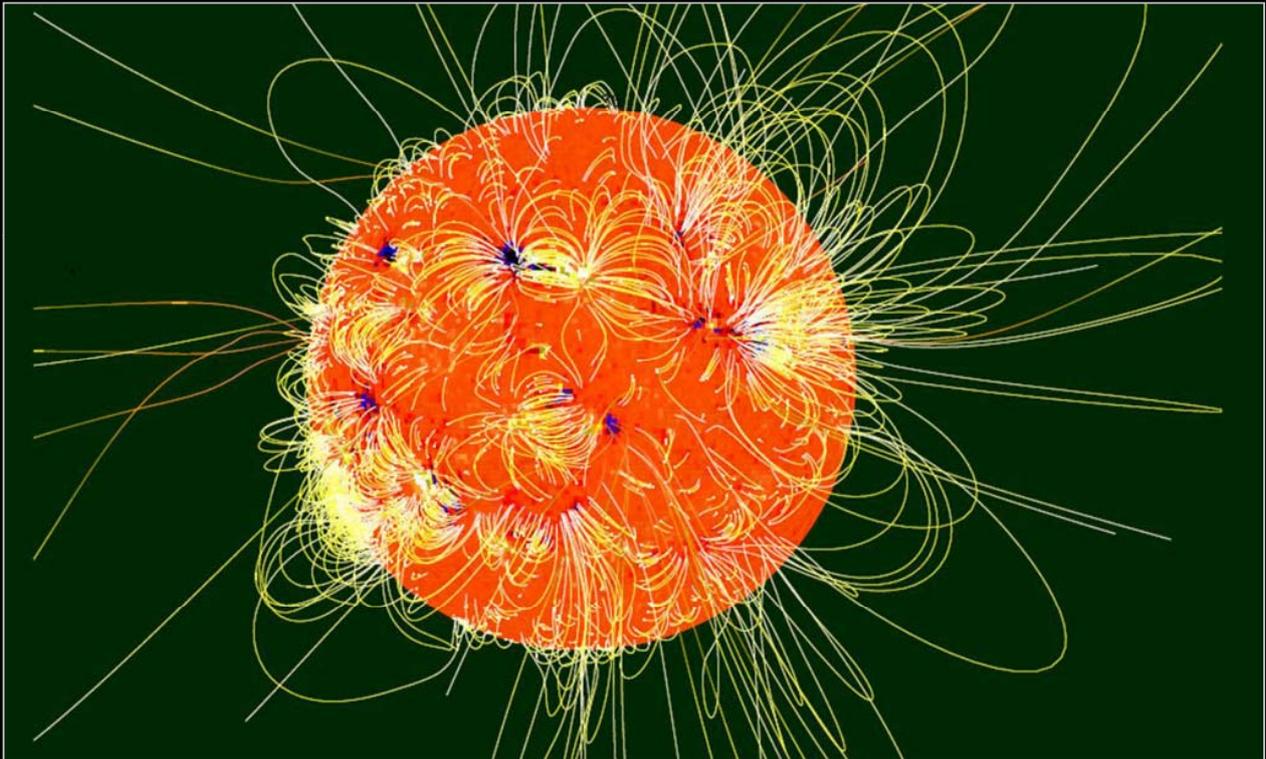
➤ Manchmal kommt es in der Korona zu gigantischen *Materieauswürfen*. Ein *Plasmabogen* bildet sich in der Korona. Er steigt höher und höher und erreichte dabei eine *Geschwindigkeit von 2 1/2 Millionen km pro Stunde (!)*. Wenn er schließlich das Magnetfeld der Sonne durchbricht, entlädt er einen gewaltigen Schauer von rund *10 Milliarden Tonnen Sonnenmaterie* in den Weltraum.

➤ Soho beobachtete am 29. September 2001 einen *koronalen Massenauswurf* in dessen Folge auch Polarlichter in unseren Breiten zu sehen waren.



➤ Soho beobachtete am 04. Januar 2002 einen weiteren *koronalen Massenauswurf* in dessen Folge ebenfalls Polarlichter in unseren Breiten zu sehen waren.

Das Magnetfeld der Sonne



Magnetfeldlinien

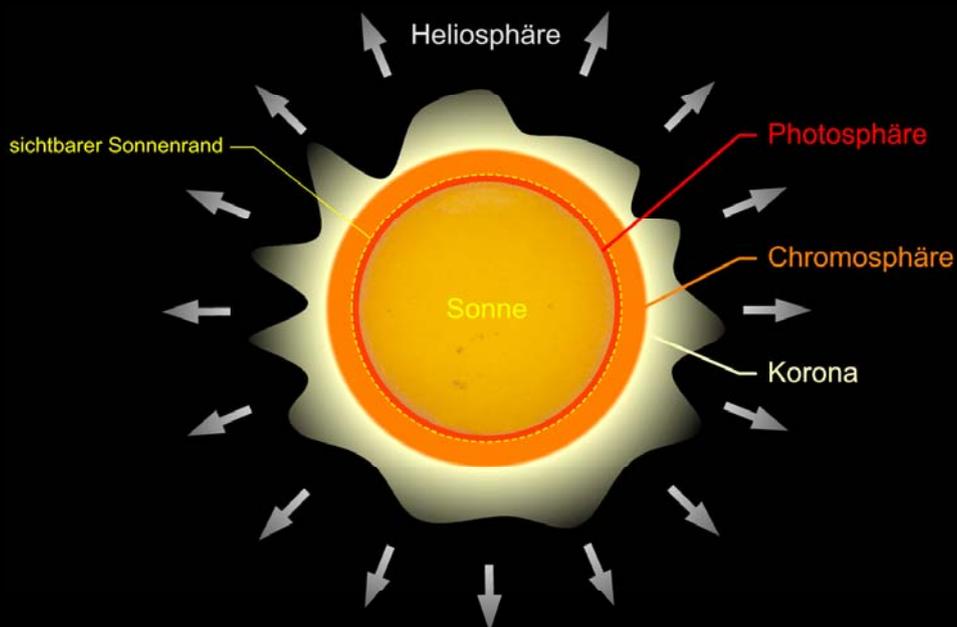
23.12.2009

Folie 49

Die Sonnenkorona

- 1/3 -

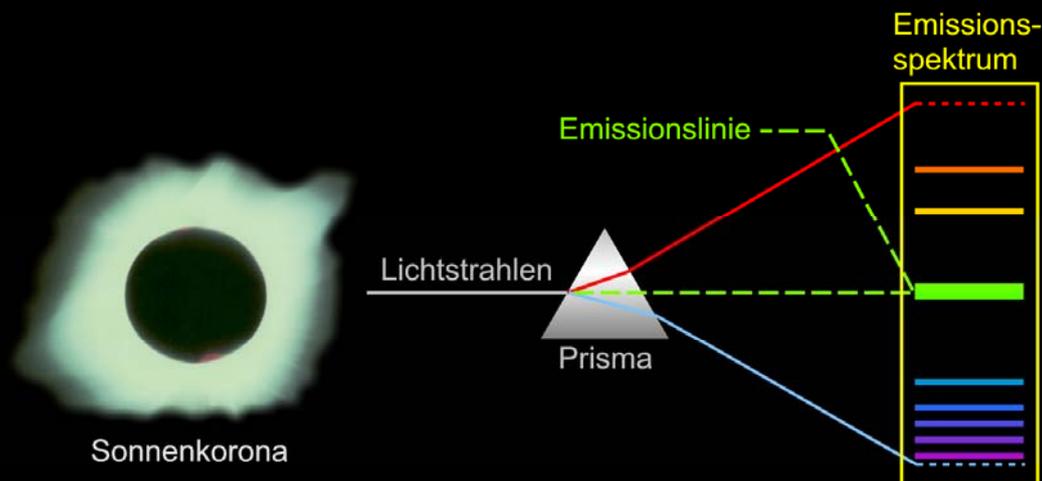
- Der sichtbare Sonnenrand ist eine Illusion. Über der **Chromosphäre** erstreckt sich die **Korona**, was auf deutsch Krone heißt. Sie stellt die Fortsetzung der **Sonnenatmosphäre** in den Weltraum dar. In immer stärkerer Verdünnung breitet sie sich als ständig wehender Wind in den interstellaren Raum aus.



23.12.2009

Folie 50

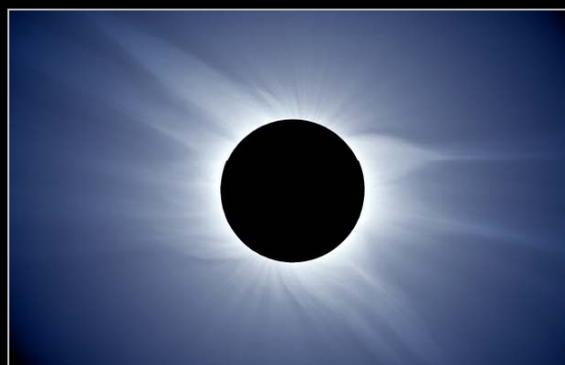
- Im Jahre 1869 fand man im Spektrum der Sonnenkorona eine grüne **Emissionslinie**. Jedes chemische Element erzeugt seine eigenen, charakteristischen Linien im Spektrum. Emissionslinien sind also so etwas wie die „Fingerabdrücke“ der Elemente. Die grüne **Koronalinie** konnte jedoch keinem irdischen Element zugeordnet werden, so dass die Astronomen annahmen, die Korona enthalte ein noch unbekanntes Element, das sie „**Coronium**“ nannten. Siebzig Jahre lang blieb das Rätsel um das Coronium ungelöst, bis man 1941 herausfand, dass diese grüne Linie von gasförmigem, **hochionisiertem Eisen**. So stark ionisiert, dass dessen Atomen ein Großteil der Elektronen fehlt. Dies aber war nur möglich, wenn die Korona extrem heiß war, nämlich 1 bis 2 Millionen Grad!



- Die Form der Korona wird von Magnetkräften bestimmt, die von der Stärke der Sonnenaktivität abhängen. Im Aktivitätsmaximum ist sie nahezu kreissymmetrisch angeordnet. Im Minimum weist die Korona eine starke Abplattung an den Polen und lange, parallel verlaufende Strahlenbündel am Äquator auf.

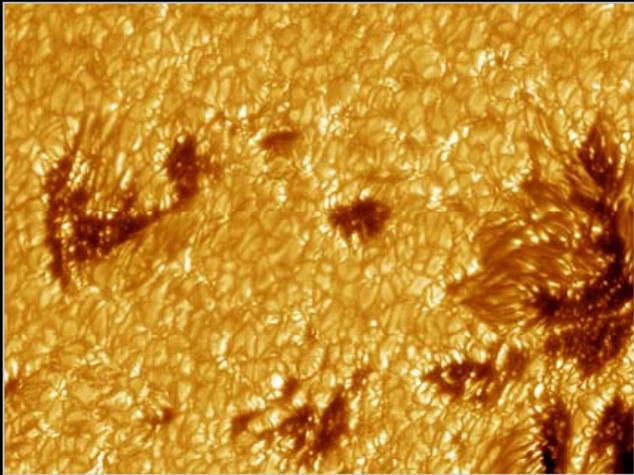


Maximum-Korona



Minimum-Korona

Die Granulation der Sonnenoberfläche



Granulation

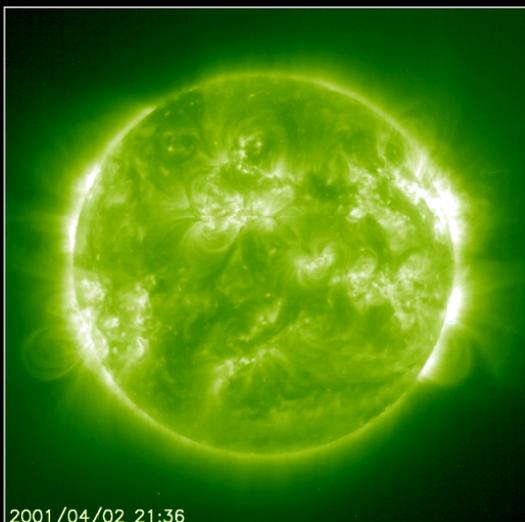
- Auf sehr hoch aufgelösten Aufnahmen der **Sonnenoberfläche** kann man erkennen, dass sie eine feine, körnige Struktur aufweist. Diese wird von **Gasblasen** gebildet, die wie in einem riesigen Kochkessel aufsteigen. Man nennt sie **Granulen**.
- Jede dieser Granulen hat einen Durchmesser von 1.500 km, schießt mit fast zweifacher **Schallgeschwindigkeit** in die Höhe und zerplatzt. Die schon erwähnten **Spiculen** der **Chromosphäre** scheinen die Fortsetzungen der aufgeplatzten Gasblasen zu sein. In dieser Erscheinung glauben die Astronomen eine Erklärung für die Aufheizung der **Korona** gefunden zu haben. Wenn die heißen Gasblasen aus dem Sonneninnern aufsteigen, entladen sie ihre Energie nicht nur in Form von Licht und besonderen magnetischen Wellen, sondern auch in Form von Schallwellen - ähnlich dem Brandungsdonner am Meer. Auf der Sonne herrscht dadurch ein Lärm jenseits jeder menschlichen Vorstellungskraft. Die Schockwellen der aufgeplatzten Granulen führen zu dieser enormen Erhitzung der Korona.

23.12.2009

Folie 53

Sonnenflares

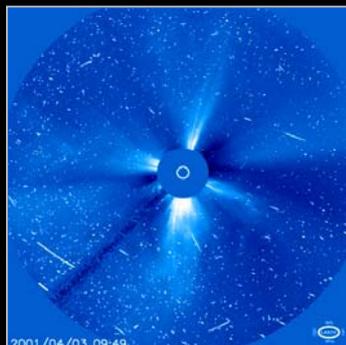
- 1/2 -



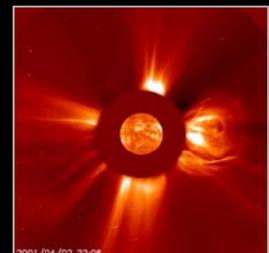
2001/04/02 21:36

Sonnenflares

- Die energiereichsten Ausbrüche der Sonne treten in sogenannten **Flares** auf, eng mit Sonnenflecken verbundenen, lokalen Explosionen. Innerhalb nur einer Sekunde werden Elektronen und Protonen fast auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigt. Ungeheuer energiereiche, katastrophenähnliche Vorgänge erzeugen dabei Blitze, die das Sonnensystem mit starker Strahlung überfluten. Die dabei freigesetzte Energie entspricht der von **100 Milliarden Hiroshima-Atombomben!** Die Flares beziehen ihre ungeheuren Energien aus sich gegenseitig vernichtenden Magnetfeldern.



2001/04/03 09:49



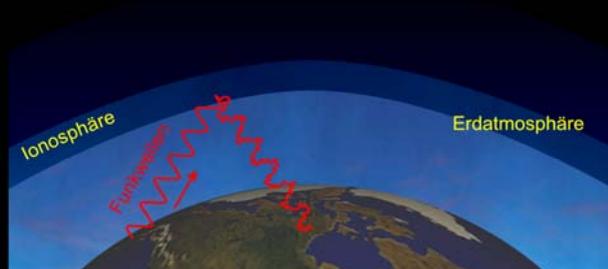
2001/04/02 22:08

23.12.2009

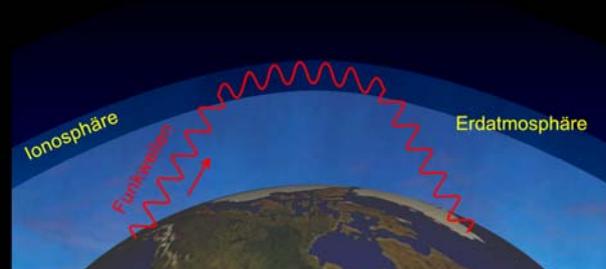
Folie 54

- Starke Strahlung aus mächtigen **Flares** kann die Erde mit Lichtgeschwindigkeit in nur **8 Minuten** erreichen und in der **Erdatmosphäre heftige Störungen** auslösen.
- Die bei einem Flare stark **erhöhte Röntgen- und UV-Strahlung** führt zu einer dramatischen Veränderung der Ionosphäre, wodurch die Ausbreitung der Funkwellen, die an dieser Schicht reflektiert werden, weitgehend gestört wird. Ebenso kann es zum Zusammenbruch ganzer Telefonnetze kommen. Umgekehrt kann es aber auch passieren, dass CB-Funk-Sendungen, die normalerweise nur 20 km weit reichen, plötzlich von der gestörten Ionosphäre tausende von Kilometern weit getragen werden. So war 1979, auf dem Höhepunkt eines Fleckenzyklus, der Funkverkehr von New Yorker Taxis in Deutschland zu hören.

Störung von Funkwellen an der Ionosphäre



Übertragung von Funkwellen durch die Ionosphäre



23.12.2009

Folie 55

Auswirkungen starker Sonnenaktivität

- Bei **starker Sonnenaktivität** heizt sich die Atmosphäre in den oberen Bereichen stark auf und dehnt sich weiter als gewöhnlich in den Weltraum aus.
- Mit der Raumstation **Skylab** untersuchten die Amerikaner insbesondere die Korona der Sonne.
- Während des Fleckenmaximums 1979 hatten ungewöhnliche viele Eruptionen mit Kaskaden energiereicher Strahlung die Atmosphäre der Erde derart aufgebläht, dass die in 440 km Höhe kreisende Raumstation plötzlich auf Luftwiderstand stieß. Dadurch wurde Skylab langsamer, sank tiefer und stürzte schließlich drei Jahre vor dem berechneten Ende über dem Südwesten Australiens ab.
- Ähnlich erging es dem Solar-Maximum-Mission-Satelliten, kurz SMM, der einzig zur Überwachung von Flares gebaut worden war.

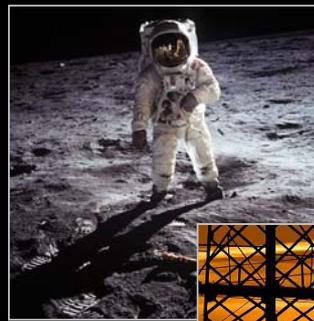


Skylab

23.12.2009

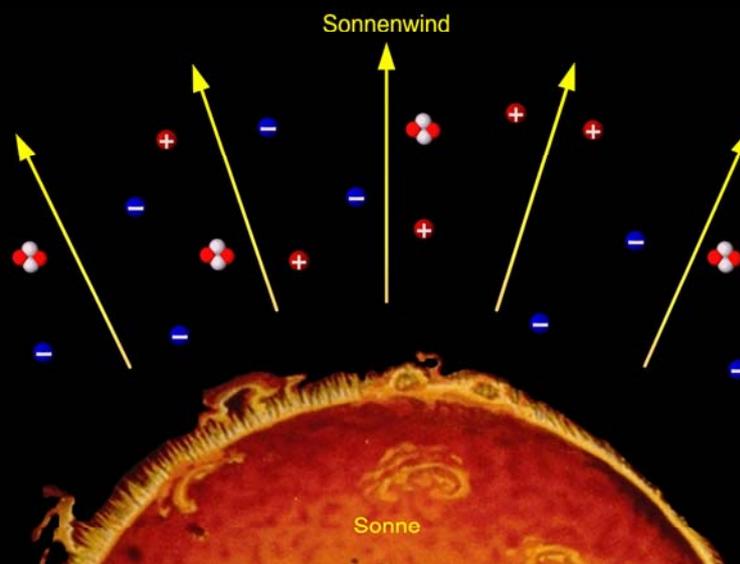
Folie 56

- Sehr gefährliche, *hochenergetische Protonen* erreichen die Erde in weniger als einer Stunde. Sie können ungeschützte Astronauten durch eine tödliche *Strahlungsdosis* umbringen.
- Glücklicherweise ereignete sich ein großer Sonnenflare im August 1972 genau zwischen den bemannten Mondflügen von Apollo 16 und Apollo 17. Er wäre für die Astronauten tödlich gewesen!
- Koronale Massenauswürfe erreichen die Erde ein bis vier Tage nach einem Ausbruch als *dichte Wolke von Magnetfeldern*, die die *Stromversorgung* unterbrechen können. 1989 wurde die kanadische Provinz Quebec innerhalb weniger Sekunden in völlige Dunkelheit getaucht. Sechs Millionen Menschen hatten über 9 Stunden lang keinen Strom!
- Auf dem St. Lorenz-Strom konnten Schiffe nicht mehr sicher navigieren, weil ihre *Kurzwellenfunkgeräte ausgefallen* waren.

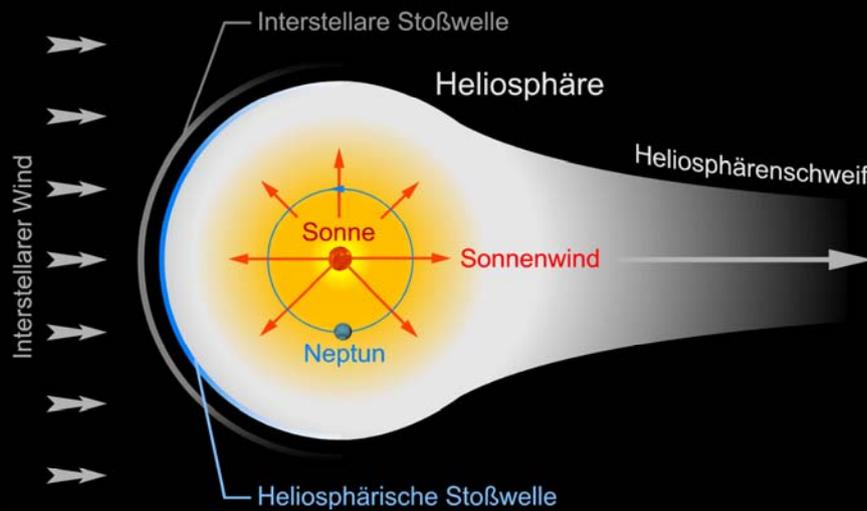


Der Sonnenwind

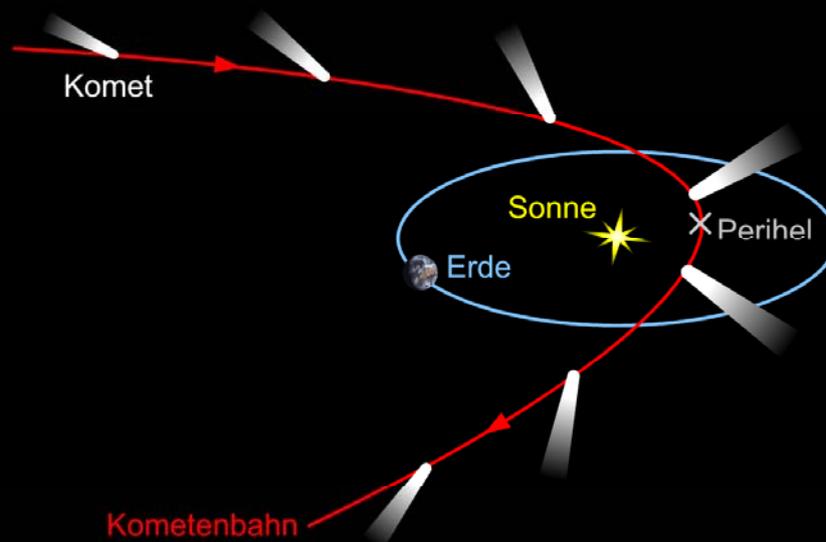
- Doch auch außerhalb solch spektakulärer Flares *verliert die Sonne ständig an Masse*. Die Sonne bläst sich immerzu selbst weg. Sie verkocht buchstäblich die äußere Schicht ihrer Atmosphäre und erfüllt das Sonnensystem mit einem ständigen Fluss elektrisch geladener Materie - dem *Sonnenwind*.
- Weißglühende Wolken heißen Plasmas jagen ständig von der Sonne weg und umgeben Planeten, Monde, Asteroiden und Kometen mit einem glühenden Wind.



- Durch das *ständige Abströmen von Gas* dehnt sich die Sonnenatmosphäre weit in den interstellaren Raum hinaus aus. Dieser äußerste Rand der *Heliosphäre* bildet schließlich die Grenze unseres Sonnensystems.
- Durch diesen ewigen Wind verliert unser Stern in jeder Sekunde **1 Million Tonnen** an Masse. Im Vergleich zur ungeheuren Gesamtmasse der Sonne bedeutet dies, dass der Massenverlust durch den Sonnenwind in **10 Milliarden Jahren etwa 0,01%** der Gesamtmasse ausmacht!

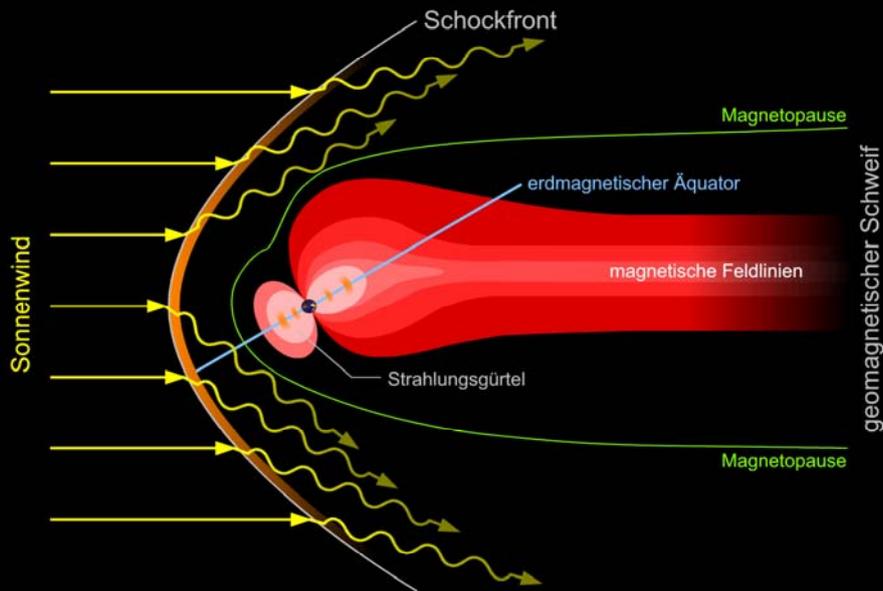


Kometenschweif und Sonnenwind

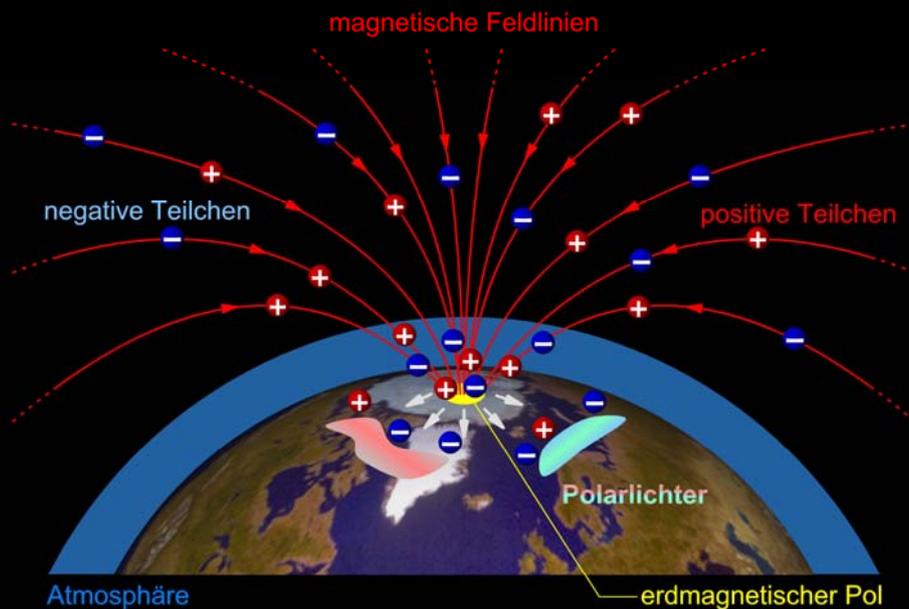


- Schon Anfang der fünfziger Jahre schloss man aus der Bewegung von *Kometenschweif*en auf die Existenz des Sonnenwindes. Kometen können fast überall am Himmel unerwartet auftauchen und rasen aus den unterschiedlichsten Richtungen auf die Sonne zu.
- Ihr Schweif aber ist durch den ständig wehenden Wind der Sonne *immer von ihr weggerichtet*. Die Kometenschweife flattern wie Fahnen im *Sonnenwind*.

- Die Erde wird durch ihr **Magnetfeld** gegen diese energiereiche **Hochgeschwindigkeitsströmung** abgeschirmt. Auf der Sonnenzugewandten Seite der Erde prallt dieser **Partikelstrom** auf die Magnetosphäre. Dieser magnetische **Schutzschild** lässt den Sonnenwind um die Erde herumfließen. Auf der Nachtseite unseres Planeten wird das Magnetfeld zu einem tropfenförmigen Schweif auseinandergezogen, der weit über die Mondbahn hinausreicht.



- Einigen Teilchen jedoch gelingt es diese magnetische Abschirmung zu durchbrechen. Sie rasen an den **Magnetfeldlinien** entlang zu den Polen der Erde. Dort kollidieren sie mit den **Sauerstoff-** und **Stickstoffatomen** der Atmosphäre und regen die Gasteilchen wie ein kosmisches Neonlicht zum leuchten an: **Polarlichter** flammen auf!



Polarlichter:

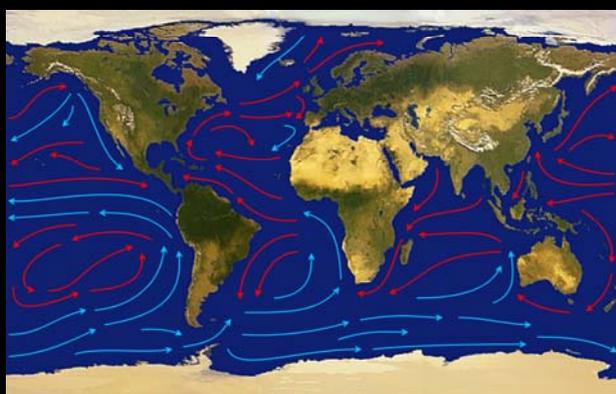


23.12.2009

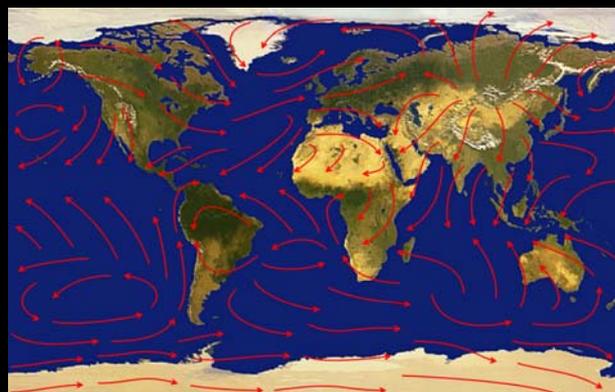
Folie 63

Die Sonne – unsere Wettermaschine

- Unser Klima und unser Wetter werden von der Sonne bestimmt. Sie liefert die Wärme, die das Wasser der Meere verdunsten lässt. Sie erzeugt **Temperaturschwankungen**, die **Winde** in der Luft und **Strömungen** in den Meeren entstehen lässt. Wir beginnen gerade erst den Zusammenhang zwischen der Sonnenaktivität und der Klimaentwicklung zu verstehen.



Meeresströmungen im Januar



Windsystem im Januar

23.12.2009

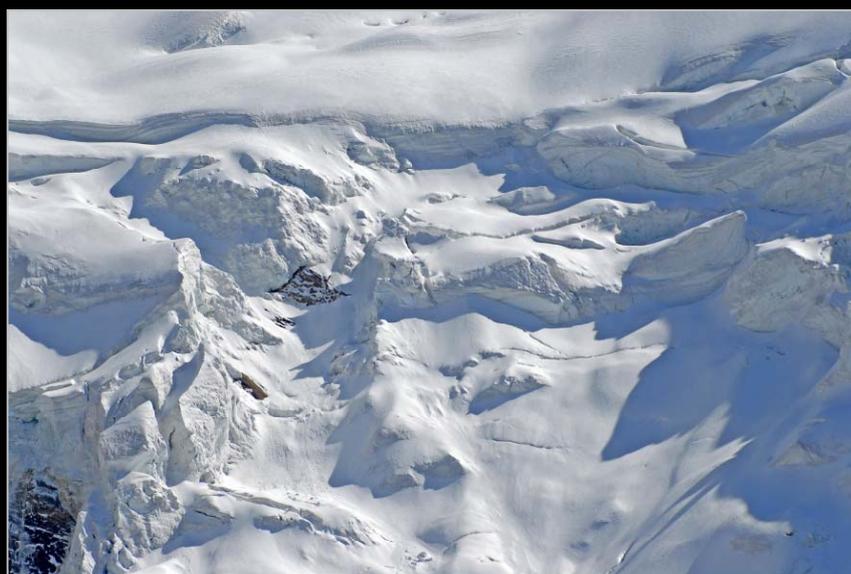
Folie 64

- Als die Dinosaurier die Erde beherrschten war die Welt noch in Ordnung!
- Das Klima war feuchtwarm, weltweit lag die Temperatur etwa 15° höher als heute und es gab natürlich keine polaren Eiskappen. Die meiste Zeit ihrer 4,6 Milliarden Jahre war die Erde sogar völlig eisfrei, auch an den Polen.

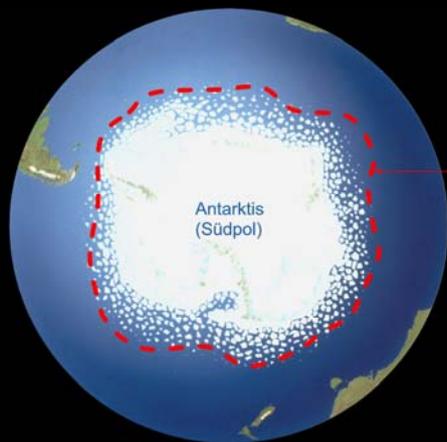


© National Geographic

- In den letzten Millionen Jahren jedoch war das Klima durch wiederkehrende Eiszeiten beherrscht.
- Auf dem Höhepunkt der letzten Eiszeit war soviel Wasser in Eis gebunden, daß der Meeresspiegel 100 m tiefer lag als heute.
- Vor 10.000 Jahren wurde es wärmer und die Gletscher schmolzen, die menschliche Kultur entwickelte sich.
- Da keine Zwischeneiszeit länger als 12.000 Jahre dauerte, stehen wir evtl. bald am Beginn einer neuen Eiszeit.

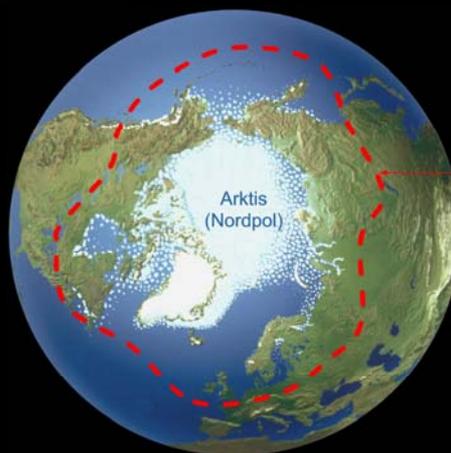


Eiszeit



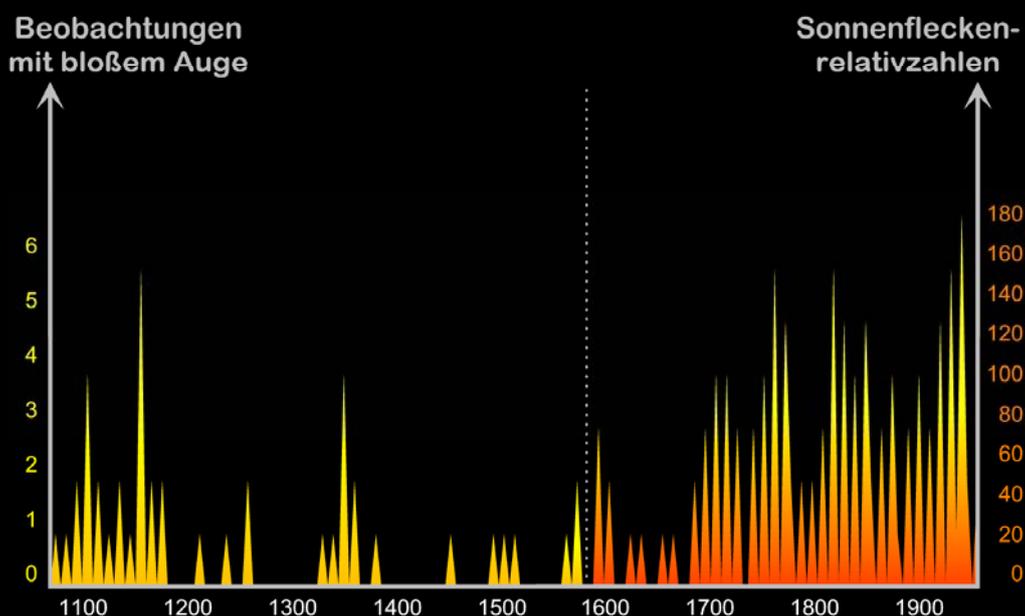
Eisdecke der
Südhemisphäre
während der
letzten Eiszeiten

➤ Das schwerfällige Kommen und Gehen der **Gletscher** ist vor allem auf langperiodische Veränderungen in der globalen Verteilung der Energie zurückzuführen, die die Erde von der Sonne empfängt. Diese haben ihre Ursache zum einen in gewissen **Schwankungen der Erdbahn** und der **Neigung der Erdachse**, zum anderen liegt die Ursache in langfristigen **Änderungen der Sonnenaktivität** selbst.



Eisdecke der
Nordhemisphäre
während der
letzten Eiszeiten

➤ Der deutsche Astronom **Gustav Spörer** untersuchte 1887 die Sonnenfleckenaktivität anhand geschichtlicher Aufzeichnungen und stellte fest, dass **zwischen 1645 und 1715 praktisch keinerlei Flecken** auf der Sonne zu sehen waren



- Weiterhin lässt sich die Aktivität der Sonne auch aus der **Breite der Baumringe** ablesen, denn Bäume spiegeln Veränderungen im Wetter in ihren Wachstumsringen wider. Das Klima bestimmt die Breite des jeweiligen Jahresringes. Durch das Studium der Wachstumsringe der Borstenkiefern, die bis zu 5.000 Jahre alt werden können, stellte man u.a. fest, dass die Sonnenstrahlung in den vergangenen Jahrtausenden über längere Zeiträume **mehrmals erheblich schwankte**.



Baumringe



Borstenkiefer

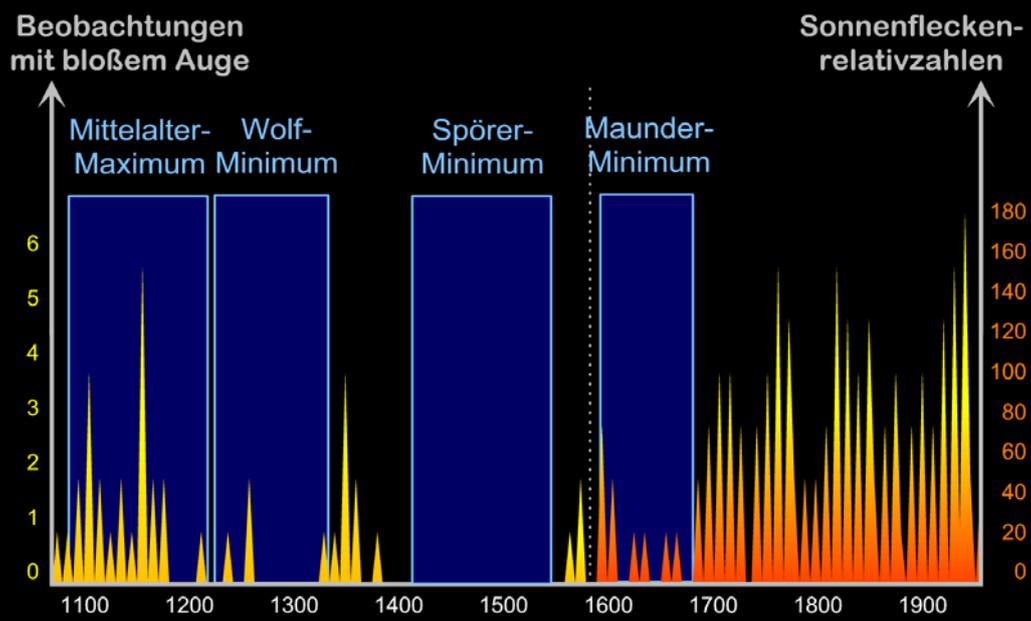
Aus all diesen Beobachtungen, ergänzt durch Wetteraufzeichnungen, Untersuchungen von Sedimentablagerungen im Meeresboden und Eisproben aus historischen Ablagerungen ergibt sich das folgende Bild:

- Zwischen 1100 und 1250 gab es im Nordatlantik eine Phase in der ein sehr mildes Klima, das Mittelaltermaximum herrschte. Es fällt zusammen mit hoher Fleckenaktivität, breiten Baumringen und einer großen Zahl beobachteter Polarlichter. Das milde Klima ermöglichte den Wikingern die Besiedelung Grönlands und Reisen nach Nordamerika. Damals konnten sie im „Grünen Land“, wie Grönland seither heißt, Schafe züchten und sogar Getreide anbauen.
- Im darauf folgenden Wolf-Minimum von 1280 bis 1350 schob sich dann das Packeis immer weiter nach Süden vor.
- Das Spörer-Minimum dauerte von 1450 bis 1550. Viele Künstler jener kalten Zeit stellten auf ihren Bildern die extrem harten Winter ihrer Tage anschaulich dar.
- Die Lücke zwischen 1645 und 1715, das sog. Maunder-Minimum, kennzeichnet eine weitere „*kleine Eiszeit*“. Die Themse froh im Winter 1684 sogar für 2 Monate zu.



Wikingen
in
Grönland

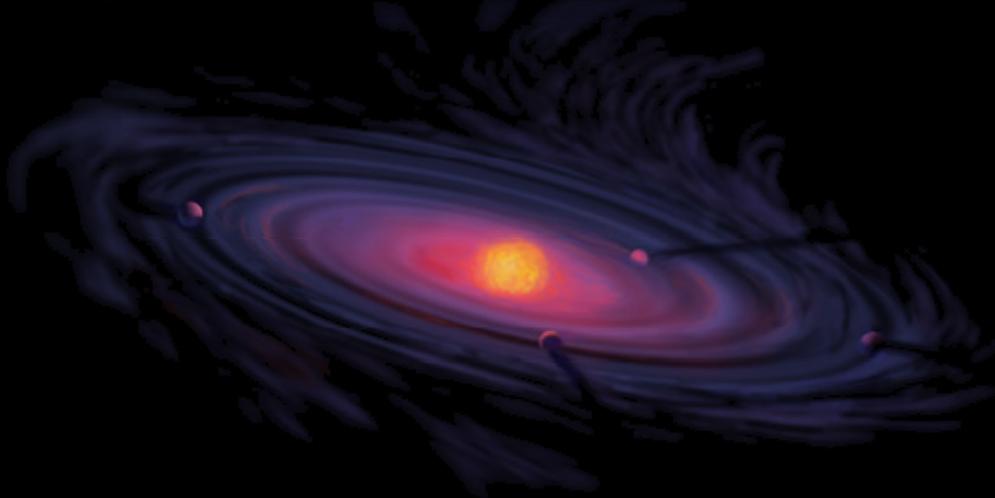




Die Entstehung des Sonnensystems

- 1/2 -

- Das Sonnensystem entstand aus einer rotierenden *Wolke aus Gas und Staub*. Man nennt die rotierende Scheibe *Akkretionsscheibe*.
- Fast die gesamte Masse der Gas- und Staubscheibe stürzt im Mittelpunkt der *Akkretionsscheibe* zusammen und bildet einen *Protostern*, unsere heutige *Sonne*.
- Die Verklumpung von Staubteilchen führte in der restlichen Scheibe zur Bildung von kleinen Planeten (*Planetesimale*) welche irgendwann genug Masse hatten um zu einem *Planet* heranzuwachsen.
- » *Unser Sonnensystem entstand aus Gas und Staub.*



Akkretionsscheibe

23.12.2009

Folie 73

- 2/2 -



Illustration einer Akkretionsscheibe

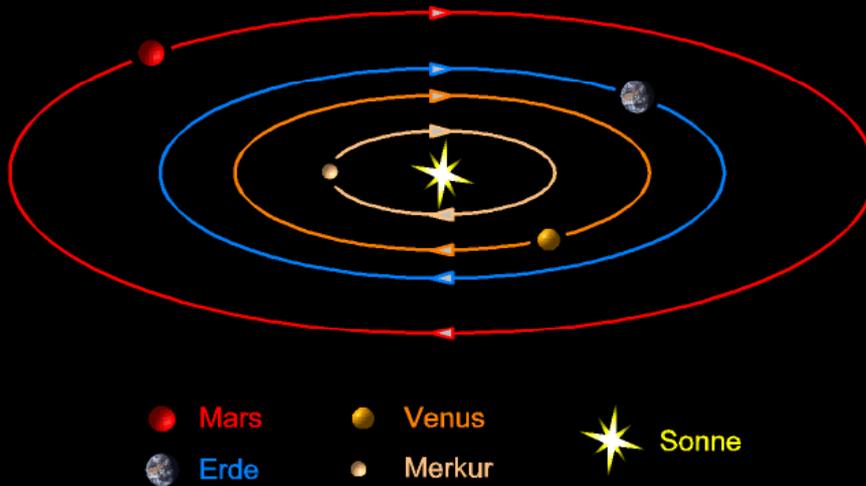
23.12.2009

Folie 74

Planetenbahnen

- Alle Planeten umlaufen die Sonne auf fast *kreisförmigen Bahnen*, die *Planetenbahnen*.
- Die *Planetenbewegungen* sind *geordnet* und verlaufen alle im Uhrzeigersinn in der *gleichen Richtung*.

Inneres Sonnensystem



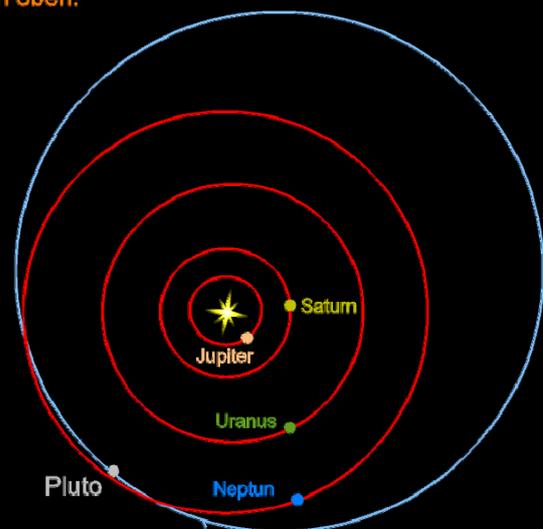
Die Ebene des Sonnensystems

- Alle Planeten mit ihren Planetenbahnen liegen in *einer Ebene*.
- Man nennt dies die *Ebene des Sonnensystems*, auch *Ekliptik* genannt.
- Die einzige Ausnahme in dieser Regel bildet Pluto, der äußerste Planet unseres Sonnensystems.

Unser Sonnensystem



von oben:

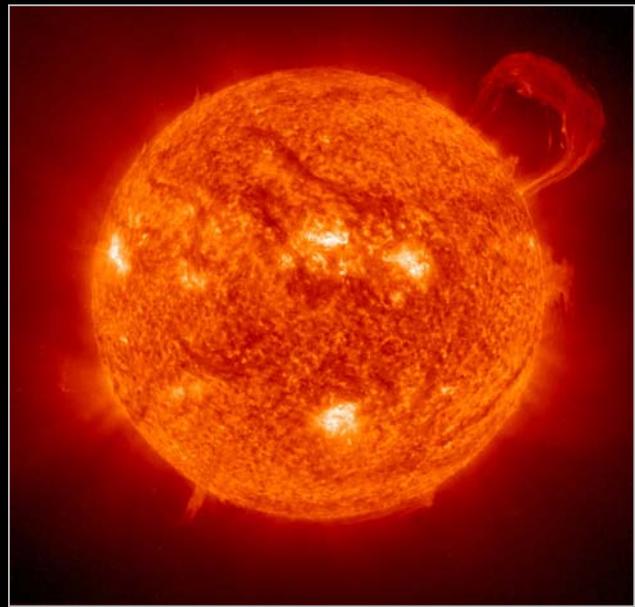


von der Seite:



Steckbrief

- Durchmesser in km
1.390.000
- Achsneigung in Grad
--
- Volumen (Erde = 1)
1.300.000
- Temperatur in °C
ca. 5.700 °C Oberflächentemperatur
- Atmosphäre
--
- Rotationszeit
Äquator 25 Tage, Pole 30 Tage
- Entfernung zur Sonne in Millionen km
--
- Umlaufzeit
--
- Anzahl Monde
--
- Ringe
--



Die Sonne

Fakten

- Die Sonne entstand vor *5 Milliarden* Jahren.
- Die Sonne ist so riesig das man *330.000 Erdkugeln* bräuchte um sie aufzuwiegen.
- Die Sonne besteht aus *73% Wasserstoff*, 25% Helium und 2% schwereren Elementen.
- » *Die Sonne ist ein lebender Stern und es gibt eine Menge zu entdecken.*



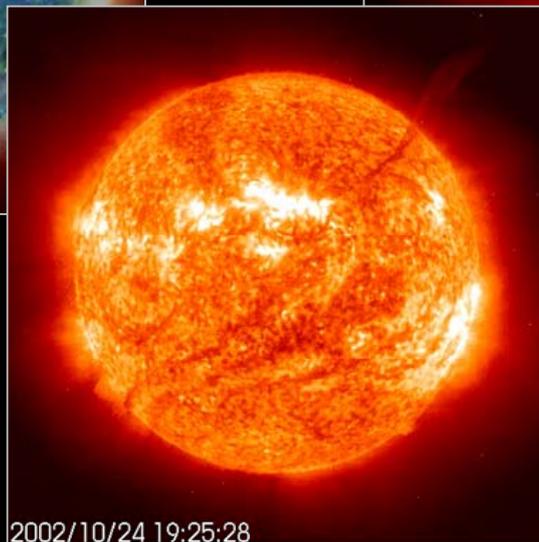
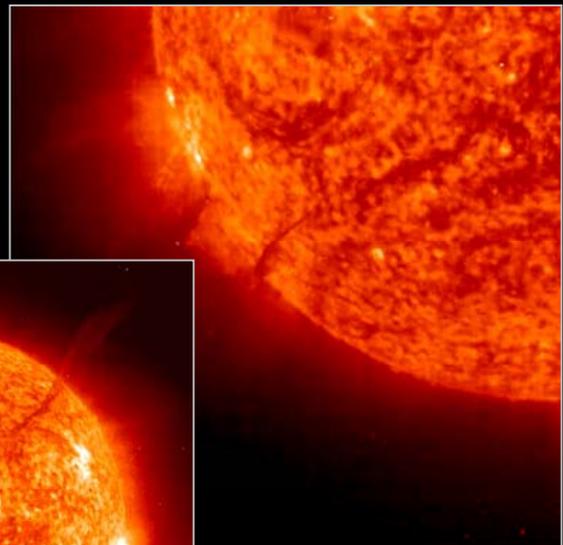
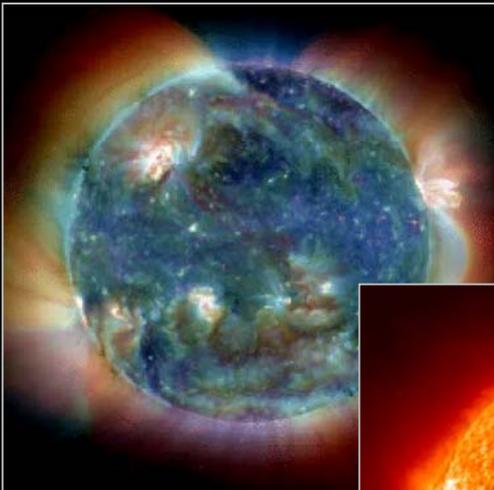


Protuberanzen



23.12.2009

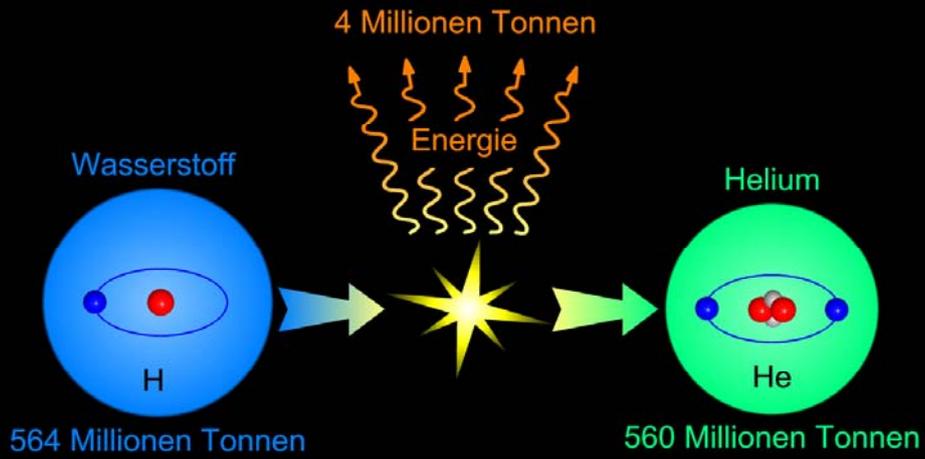
Folie 79



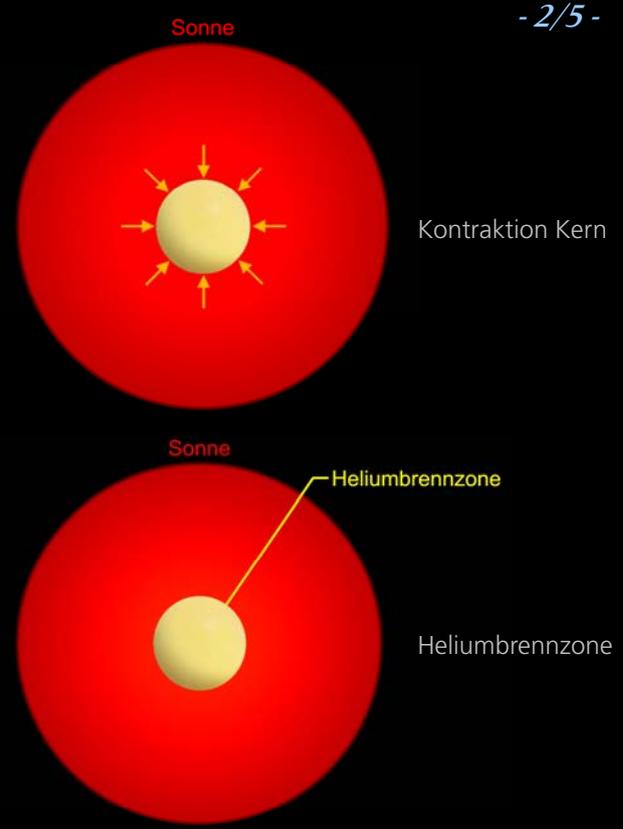
23.12.2009

Folie 80

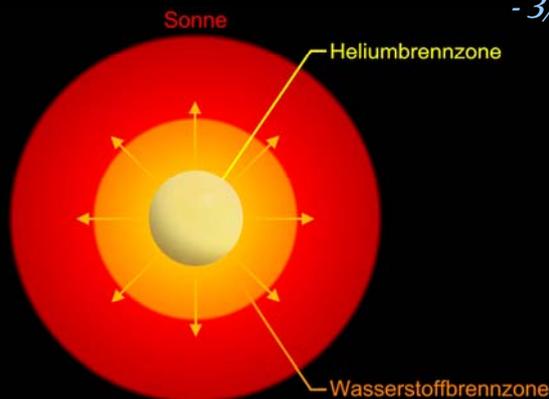
- Mit einem Durchmesser von **1,4 Millionen km** hätten **333.000 Erdkugeln** in ihr Platz. Tief in ihrem Innern, bei Temperaturen von **15 Millionen Grad** und Drücken von **200 Milliarden Atmosphären** wird Wasserstoff durch Kernfusion in Helium umgewandelt.
- In jeder Sekunde wird die unvorstellbare Menge von **564 Millionen Tonnen Wasserstoff zu 560 Millionen Tonnen Helium** verschmolzen. Die Energie wird durch Strahlung und Konvektion an die Sonnenoberfläche transportiert und in den Weltraum abgegeben.
- Die Sonne wandelt **4 Millionen Tonnen Materie in reine Energie um**. 4 Millionen Tonnen in jeder Sekunde und das seit ihrer Geburt vor 5 Milliarden Jahren. Und doch sind nicht einmal ein Prozent der Sonnenmasse „verbrannt“ worden. Der Brennstoff wird noch weitere 5 Milliarden Jahre reichen.
- Doch was geschieht dann?



- Wenn aller **Wasserstoff** im Zentrum der Sonne zu **Helium** verbrannt ist, erlischt die Kernfusion. Der Strahlungsdruck kann der enormen Schwerkraft nichts mehr entgegensetzen, das Zentrum der Sonne bricht zusammen.
- Dabei erhöht sich die Temperatur auf **100 Millionen Grad**. Der Fusionsreaktor zündet dann erneut und verschmilzt jetzt im Zentrum die Kerne der **Heliumatome** zu **Kohlenstoffkernen**.



- In einer Schale um diesen neuen Fusionsreaktor aber herrschen jetzt so hohe Temperaturen, daß auch dort parallel das **Wasserstoffbrennen** zündet. Der Energieausstoß, der sich nach außen durchfressenden Wasserstoffbrennzonen, erhöht sich bis der **Gas- und Strahlungsdruck die Oberhand gewinnt**.

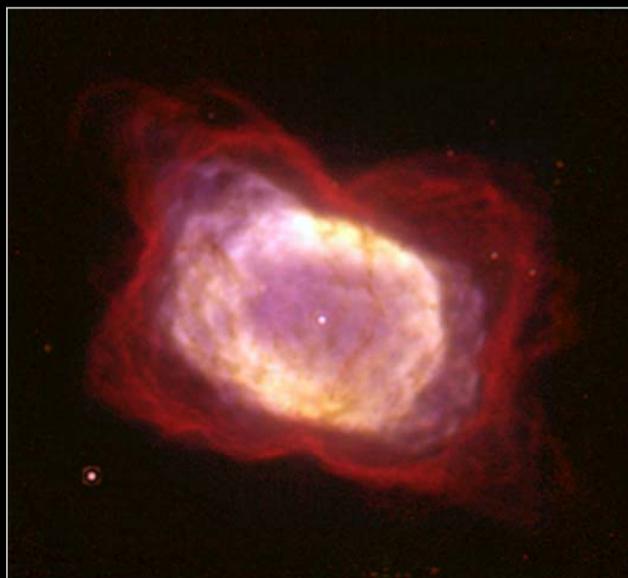


- Die **Sonne bläht sich auf** und frisst ihre Kinder. Erst Merkur, dann die Venus bis die Oberfläche des Roten Riesen bedrohlich nahe an der Erde endlich zum Stillstand kommt. Die Ozeane und die Atmosphäre des blauen Planeten verdampfen. Eine tote, glühende Erde umkreist als innerer Planet einen Roten Riesen.



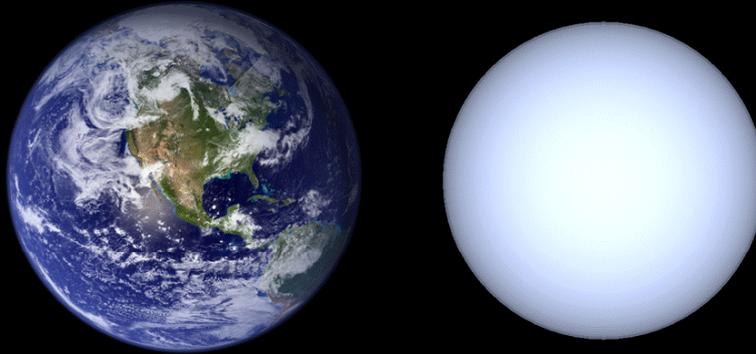
Unsere Sonne im Endstadium

- Nach weiteren vier Milliarden Jahren wird aller Brennstoff des **Roten Riesen** verbraucht sein. Die Schwerkraft wird ihn dann zur **Größe unserer Erde komprimieren**. Wenn der Stern zusammenbricht gibt er seine äußere, dünne Hülle an den Weltraum ab.
- Das Hubble-Space-Teleskop hat den Todeskampf eines Sterns in der Größe unserer Sonne fotografiert - den **Nebel NGC 7027**, 3000 Lichtjahre von uns entfernt, im Sternbild Schwan.
- Die äußeren Hüllen wurden zunächst nur langsam als **Kugelschalen** abgestoßen. Schließlich wurden die Auswürfe immer stärker und gipfelten zuletzt in einem heftigen Energieausbruch, bei dem die übrigen Schichten abgestoßen wurden.
- Der **Weißer Zwerg im Zentrum** regt sie zum Leuchten an. Ein Gasring kündet vom Ende eines Sterns: ein Gasring, wie wir ihn an vielen Stellen am Himmel sehen können.

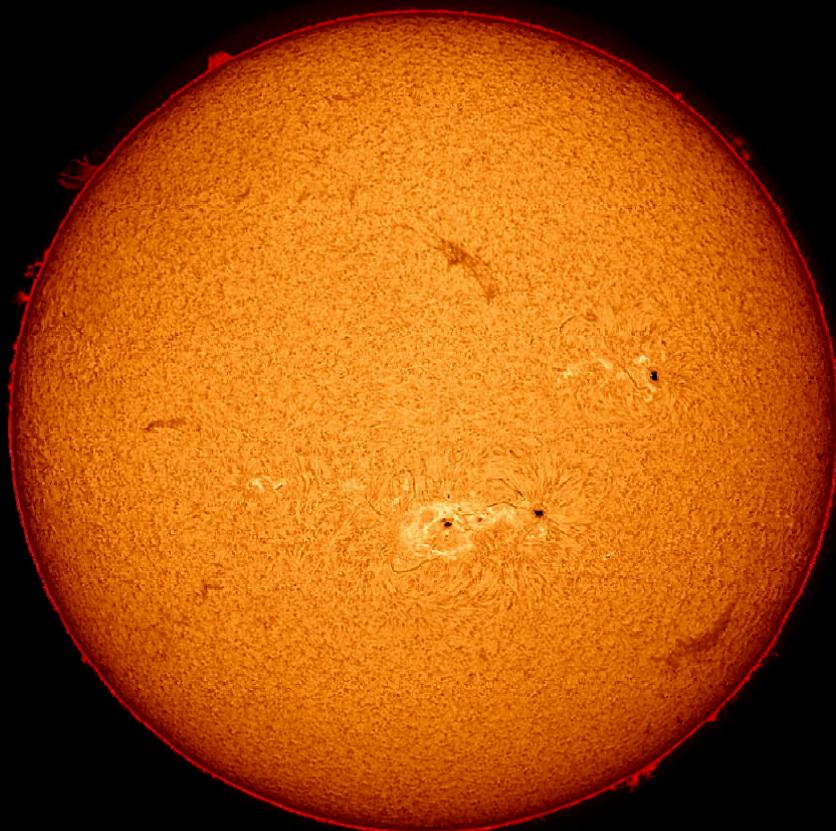


NGC 7027

- Die Dichte des *weißen Zwerges* im Zentrum des Rings ist ungeheuer hoch.
- Ein *Teelöffel* voll weißer Zwergmaterie wiegt *eine Tonne*! Der weiße Zwerg wird Milliarden von Jahren brauchen, um seine Wärme zu verlieren.
- Am Ende, wenn er sich in einen unsichtbaren *schwarzen Zwerg* verwandelt hat, wird er sich den unzähligen toten Sternen anschließen, die sich in der Unermesslichkeit des Universums verlieren.



Größenvergleich: Erde = weißer Zwergstern



Die Sonne, der Stern von dem wir leben



Licht und Schatten – Gedanken zum Schluss

Mitternachtssonne am Nordkap in Norwegen
© Yan Zhang

Die Sonne – der Stern von dem wir leben

- 1/8 -

- Wenn das **Licht** und die **Wärme** der Sonne versiegt, wäre das Leben schon bald von unserem Planeten verschwunden.
- Das Licht der Sonne wird von den Pflanzen absorbiert. Pflanzen, Tiere und Menschen beziehen Sonnenenergie durch die Photosynthese. Sie ist letztendlich die Quelle aller Nahrung, umgewandelte Sonnenenergie! Ein Abfallprodukt der Photosynthese ist der Sauerstoff.



Licht

Pflanzen



Sonne

- Die Sonne liefert aber auch direkt oder indirekt fast die gesamte **Energie** der Erde. Gespeicherte **Sonnenenergie**, in Pflanzen gefangen und zu fossilen Brennstoffen gepresst: Kohle, Erdöl und Erdgas.



Kohle



Erdöl



Erdgas



- Die Wärme der Sonne treibt die **Winde** an und **verdunstet Wasser**, das als Regen niedergeht und Wasserkraftwerke speist.



Windkraft



Wasserkraft

- Unser Leben hängt von der Gegenwart der Sonne und ihrer immer gleichen **Wärme** ab.



Sonne als Wärmespender

- Wir erhalten gerade soviel Energie von der Sonne, dass der größte Teil unseres Wassers flüssig ist, eine wesentliche Voraussetzung für die Bildung von Leben.
- Schon unsere nächsten Nachbarn im All weisen völlig ungeeignete Lebensbedingungen auf.
- Die Venus, dichter an der Sonne, ist heiß genug, um Blei zu schmelzen. Wenn es hier einmal Meere gab, so sind sie längst verdampft.
- Der Mars, weiter von der Sonne entfernt als die Erde, ist in einer Eiszeit erstarrt.



Die Erde

Nur die Erde bietet in unserem Sonnensystem dem Leben eine Chance.....

Vielen Dank und gute Nacht!

Der Anblick des weiten Himmels
kommt als einzige visuelle
Wahrnehmung einem
Gefühl am nächsten.
Samuel Taylor, 1805

