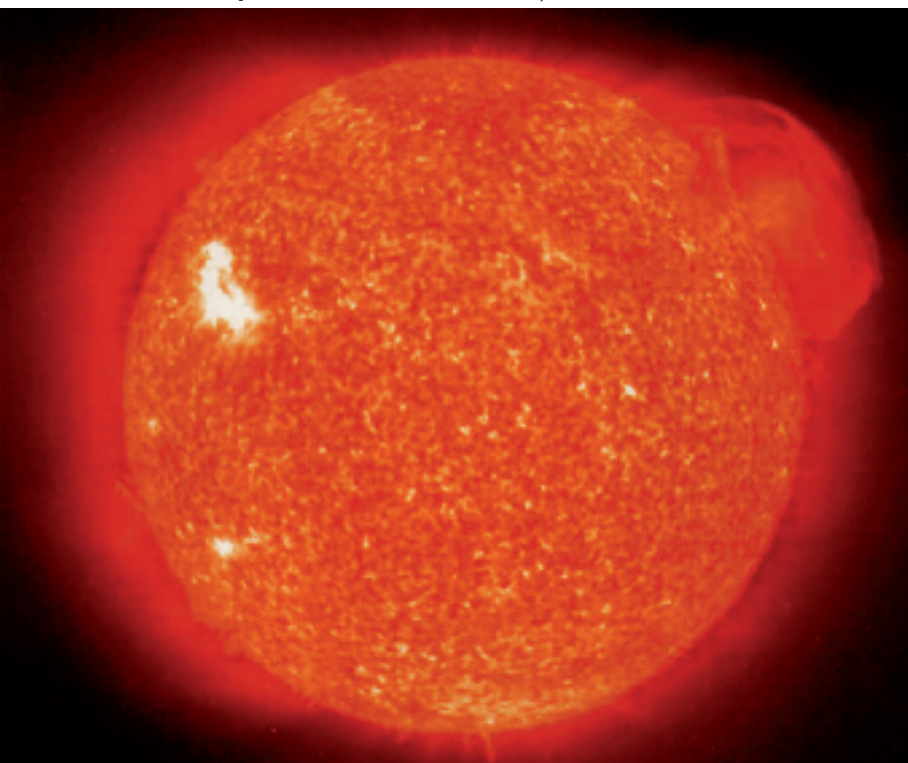


FWU - Schule und Unterricht

DVD 46 02460 / VHS 42 02144 22 min, Farbe



FWU-Klassiker

Die Sonne

Zentralgestirn unseres Planetensystems



FWU –
das Medieninstitut
der Länder



Lernziele –

nach Lehrplänen und Schulbüchern

Den äußeren Aufbau der Sonne verstehen; die zentrale Rolle der Sonne in unserem Planetensystem erkennen; Methoden der Sonnenforschung auch mit Licht im nicht sichtbaren Bereich verstehen; die Bedeutung der Spektralanalyse des Sonnenlichts erkennen; die Sonne als Gasball begreifen, in dem sich die Energie der Kernfusion mit der Gravitation das Gleichgewicht hält; die Dynamik der Sonnenflecken während eines Zyklus verstehen und den Zusammenhang von Sonnenflecken, Protuberanzen und lokalen Magnetfeldern erkennen

Vorkenntnisse

Die Schüler sollten Art und Lage der Planetenbahnen um die Sonne in den Grundzügen kennen und wissen, dass die sichtbare Sonnenoberfläche die eines leuchtenden Gasballs ist. Kenntnisse über Feldlinien von Magneten (Hufeisenmagnet, Elektromagnet) werden vorausgesetzt.

Kurzbeschreibung

Der Film führt kurz in die Bedeutung der Sonne für unsere Erde ein, anschließend erwähnt er die Stellung der Planeten zur Sonne. Ausgehend von der Tatsache, dass alle Energie, die von unserer Sonne ausgeht oder auf ihr umgesetzt wird, aus der Kernfusion im Zentrum resultiert, zeigt er schrittweise den Aufbau der äußeren Schichten ab der Photosphäre, die wir sehen. Es werden der Reihe nach die Granulation, Sonnenflecken, Protuberanzen und Koronavorgänge behandelt. Für die letzten beiden Phänomene zeigt die DVD Vorgänge im Bereich kurzweiliger ultravioletter Strahlung. Zum Schluss geht der Film auf den solaren Wind und die damit verbundenen Aurora-Phänomene ein.

Zum Inhalt

Kurze Bildsequenzen zeigen zu Beginn, wie sehr die Menschen immer schon von der Sonne abhängig waren. Die Physik sieht die Sonne als Zentrum des Planetensystems, als Energie spendendes Zentralgestirn, das sich seit etwa fünf Milliarden Jahren in einem Gleichgewichtszustand befindet. Ein Schnittbild der Sonne bereitet vor jeder neuen Sequenz das als nächstes behandelte Phänomen vor.

Alle Energieumsätze innerhalb und auf der Oberfläche sind auf die im innersten Kern ablaufende Fusion von Wasserstoff zu Helium zurückzuführen; ein Trick zeigt, wie dieser Vorgang abläuft.

Die in der Photosphäre sichtbaren Granulen entstehen durch rein thermische Strömungsvorgänge: Heiße Gase steigen in der nur 300 Kilometer dicken Strömungsschicht von unten her an die Oberfläche, dort breiten sie sich aus und kühlen ab, ihre Dichte nimmt dadurch zu, sie sinken wieder nach unten, die Granule macht einer anderen neuen Platz und verschwindet.

In der Photosphäre zeigen sich die Sonnenflecken. Ihre Entdeckung teilen sich offiziell Galileo Galilei aus Florenz, Christoph Scheiner aus Ingolstadt und Simon Marius aus Gunzenhausen. Es wird aber auch von anderen berichtet, die in dieser Zeit (um 1612) Sonnenflecken gesehen haben sollen. Fernrohre waren dabei nötig, meist benutzte man sie ohne besonderen Schutz. Scheiners Zitat erwähnt die Folgen: „Eine Stunde lang konnte ich danach kaum sehen“.

Eine längere Tricksequenz behandelt das Entstehen und Vergehen von Sonnenfle-

cken. Durch die differenzielle Rotation werden die Magnetfeldlinien am Äquator beim Aufbau des Fleckenmaximums in die Länge gezogen und wickeln sich zuletzt nahezu bandartig um die Sonne. Diese Bewegung überlagert sich mit den aus dem Sonneninnern aufströmenden Gasbewegungen, in denen die Magnetfeldlinien durch Auftrieb an die Oberfläche geschoben werden und sie durchbrechen. Die in breitenkreisartigen Feldverläufen eingebetteten Sonnenflecken bewegen sich immer mehr zum Äquator hin, werden schwächer und verschwinden mit ihren Magnetfeldern. Ein Magnetogramm, das die Vorgänge während eines Sonnenfleckenzyklus aufsummiert, zeigt und verdeutlicht diesen Prozess; zwei Realbeobachtungen sind einander gegenübergestellt, eine im sichtbaren Bereich, die andere im sehr energiereichen ultravioletten Licht. Während das Fleckenmaximum sich abbaut, verschwindet auch das äußere Magnetfeld der Sonne, baut sich in umgekehrter Richtung wieder auf und der nächste Sonnenfleckenzyklus beginnt mit umgekehrtem äußerem Feld. Eine solche Halbperiode dauert etwa elf Jahre, man müsste also eigentlich von einem 22-jährigen Zyklus sprechen. Der Fleckenkern ist etwa 2000 Grad kälter als die Umgebung, also etwa 3800 K heiß. In der Penumbra, dem Fleckenrand, sinkt die Temperatur von 5800 auf 3800 K; man kann dort keine definierte Temperatur angeben. In der Penumbra, dem „Halbschatten“, wird die Granulation gestört, die aufsteigenden Gase strömen aus dem Fleckenkern heraus. Flecken treten in Gruppen auf, die Magnetpole sind flächenförmig verteilt.

Gezeigt wird auch eine Ausnahmeanordnung in Form einer Spirale. Die in den Bildern dargestellten größeren Einzelflecken haben einen Durchmesser von etwa

50.000 km, bei den kleineren beträgt er mehr als 14.000 km. Intensives Leuchten von Wasserstoff und Röntgenstrahlung sind mit den Flecken gekoppelt; dort treten also sehr große Beschleunigungen von Ladungen auf.

Protuberanzen stellen die logische Fortsetzung der Sonnenflecken dar. Es gibt Langzeit-Protuberanzen, die sich auf Grund von Gleichgewichtszuständen tage- oder wochenlang nicht ändern. Es gibt aber auch ruhige Protuberanzen, die innerhalb von Minuten oder Stunden wieder verschwinden. Daneben treten sehr häufig eruptive Protuberanzen auf, die von Anfang an mit besonders stark gebündelten Magnetfeldern verknüpft sind. Die im Film genannten Zahlenwerte (Basisbreite 7000 km, Höhe 40.000 km und Länge 350.000 km) stellen grob geschätzte Mittelwerte dar und vermitteln lediglich anschauliche Vergleiche zu bekannten Größen. Im Film wird der Begriff „Filamente“ vermieden, Filamente sind nichts anderes als Protuberanzen, die man in Draufsicht auf der Sonnenscheibe sieht.

Es folgen Aufnahmen von der rotierenden Sonne, aufgenommen im sehr kurzwelligen UV-Licht. Dabei wird klar, wie die Phänomene Sonnenflecken, Magnetfelder und Protuberanzen ineinander greifen. Die Aufnahmezeiten ziehen sich zwar über mehrere Tage hin, aber bei der Größe der Sonnenscheibe ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit enorm. 100.000 km/h sind nicht selten.

Für die heutige Forschung eignen sich besonders so genannte Sonnentürme, wie sie etwa auf dem Kitt-Peak in den USA oder am Teide auf Teneriffa stehen (siehe Grafik). Will man nach Erkenntnissen in Bereichen des elektromagnetischen Spektrums su-

chen, die unsere Atmosphäre nicht durchlassen, benötigt man dafür Satellitenteleskope; gezeigt werden dabei Start und Flug der Ulysses-Sonde.

Die sichtbare Oberfläche, die Photosphäre, geht in die Chromosphäre über, die Abgrenzung ist dabei fließend. Zum oberen Rand der Chromosphäre hin steigt die Temperatur auf etwa 40.000 K. Zur Erforschung der Chromosphäre eignen sich wegen dieser Temperaturen vor allem Bilder im kurzwelligen ultravioletten Bereich, in dem die Heliumlinien besonders stark hervortreten. SOHO-Bilder zeigen die Umsetzung der UV-Strahlung in eine rote Farbe (Falschfarbenaufnahme); Quellen aller Strahlungsausbrüche sind wiederum die Sonnenflecken. Andererseits wird deutlich, dass die Ausbrüche sich von der Sonne weg zunehmend beschleunigen. Bei einem besonders intensiven Materieausstoß treffen sogar energiereiche Partikel die Aufnahmeapparaturen der Sonde und finden als kleine weiße Punkte oder Striche in den Bildern ihren Niederschlag.

An die Chromosphäre schließt sich, in einer weiteren Tricksequenz verdeutlicht, die innere Korona mit einer Temperatur von 500.000 K an. Die Vorgänge sind noch energiereicher und am besten im sehr kurzwelligen ultravioletten Licht (Eisenlinien) registrierbar; sie werden in eine grüne Farbe transformiert. SOHO-Aufnahmen zeigen die dort ablaufenden Energieprozesse. Dabei werden auch die energiereichsten Explosionen, die „Flares“ erkennbar. In ihnen wurde Helium 3 registriert, das nur von Fusionsvorgängen stammen kann. Wie dies auf die Umgebung einwirkt, demonstrieren drei Bildfolgen von Druckwellen, die mit etwa 500.000 km pro Stunde über die gesamte

äußere Gashölle der Sonne hinweg laufen. Magnetfelder entwickeln sich in Einzelfällen so intensiv, dass sich ihre Magnetfeldlinien über den Äquator hinweg zu den Polen auf der anderen Hemisphäre schließen. Die dabei überbrückten Strecken sind etwa 200.000 km lang.

Der nächste Abschnitt befasst sich mit der äußeren Korona, in der die Temperatur bis zu einer Million Kelvin ansteigt. Die Korona konnte man früher nur bei Sonnenfinsternissen beobachten. Man ergänzt dies heute durch Beobachtungen mit den bei Sonnen-teleskopen üblichen Koronographen. Mit einer Kegelblende wird dabei die Sonne abgedeckt, meist auch noch ein Bereich um die Sonne herum. Die wesentlichsten Bestandteile einer Korona sind Koronastrahlen, deren Ende oft kaum auszumachen ist, und Koronalöcher, die bevorzugt an den Polen auftreten, sich aber ständig verändern. Sehr gut sieht man bei Aufnahmen, die den weite- ren Abstand von der Sonne mit einbeziehen, wie die ausgeschleuderte Materie in einem „Koronaburst“ umso schneller wird, je weiter sie ins Vakuum des Weltalls vordringt. Wiederum dokumentieren die auf die Sonde auftreffenden Partikelschauer, welche Energien dabei auftreten.

Die nächsten Bilder zeigen eher zufällige Funde: Kometen stürzen in die Sonne und verschwinden dort innerhalb von Stunden. Will man die Polregionen der Sonne beobachten, benötigt man eine Bahn senkrecht zur Umlaufbahn der Erde. Dies wurde mit der Raumsonde Ulysses erreicht, die man zunächst 780 Millionen Kilometer weit von der Sonne weg zu Jupiter, dem größten Planeten im Sonnensystem, geschickt hat.

Jupiter wurde dabei als „Gravitations- schleuder“ genutzt; durch seine Schwerkraft und die spezielle Anflugrichtung von Ulysses lenkte er die Sonde in die gewünschte Bahn. So konnte Ulysses im September 1994 erstmals den Sonnensüdpol überfliegen. Die Korona erleben wir zweidi- mensional, dies ist aber die Projektion räumlicher Vorgänge in die gedachte Ebene der Sonnenscheibe, das veranschaulicht eine Tricksequenz. Ebenfalls im Trick sieht man, wie sich die Magnetfeldlinien von der Sonne wegspulen. Über den Polen bilden sie sich trichterförmig aus, so dass dort geladene Teilchen besonders lange festgehalten werden können. In dieser Region vermutet man Teilchen von Supernovaexplosionen. Nach der Simulation eines Überflugs zeigt der Film erste Messergebnisse: Die Partikel- ströme sind über den Polen besonders hef- tig, am Äquator dominiert die Korona.

Das letzte Kapitel behandelt den „Solaren Wind“. Es ist dies ein Partikelstrom, der aus den koronaaktiven Gebieten in Äquatornähe kommt und durch das gesamte Planetensystem hindurch registriert wird. Er verformt das Erdmagnetfeld, so dass es weit über die Mondbahn hinausreicht, und er verursacht Beschleunigungen geladener Partikel im Erdmagnetfeld. Bildsequenzen belegen dies: Auroraleuchten auf der Erde von Space Shuttle aus aufgenommen, in der Polregion des Jupiter, 780 Millionen Kilometer von der Sonne entfernt, und sogar in der Polregion des Saturn, in 1,4 Milliarden Kilometer Sonnendistanz. Zuletzt führen Bilder von Nordlichtern wieder zur Erde zurück, deren Schicksal untrennbar mit der Sonne verknüpft ist.

Ergänzende Informationen

1. Bei den Temperaturangaben spricht der Kommentar immer von „Grad“, es handelt sich um Angaben in Kelvin. Die Bezeichnung „Kelvin“ wurde mit Rücksicht auf jüngere Adressaten vermieden, weil Angaben in dieser Einheit immer noch nicht hinreichend geläufig sind.

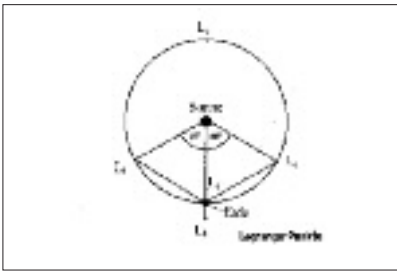
2. Mit erdgebundenen Sonnenteleskopen lassen sich die Kenntnisse von der Sonne im sichtbaren Licht erweitern und präzisieren. Ebenso kann durch entsprechende Geräte der Infrarot- und Radiowellenbereich der Sonnenstrahlung untersucht werden. Ultravioletter Strahlung oder Röntgenstrahlung liegen besonders energiereiche Prozesse zu Grunde, davon können wir, geschützt durch die Erdatmosphäre, auf der Erde nichts erfahren; dies gelingt nur mit Hilfe von unbemannten Erd- oder Sonnensatelliten. Im Erdorbit gab und gibt es einige, z. B. zurzeit Koronas-I. Kontinuierliche Beobachtungen über Tage oder Monate hinweg sind allerdings nur mit Raumsonden in Umlaufbahnen um die Sonne selbst möglich; die Heliosonde (gestartet 1974) war der erste erfolgreiche Versuch.

Ulysses (Zeitplan) Start	6. Oktober 1990
Swing by beim Jupiter	Februar 1992
erste Überquerung des Sonnensüdpols	September 1994
erste Überquerung des Sonnennordpols	September 1995
Aphel bei der Jupiterbahn	April 1998
zweiter Sonnenüberflug	2001

Zwei Satelliten sind heute besonders wichtig für die Sonnenforschung: Ulysses bewegt sich in einer Bahn senkrecht zur Ekliptik, die sie wiederholt durchläuft, weil Jupiter dann, wenn sie ihr Aphel bei der Jupiter-

bahn erreicht, so weit weg ist, dass er sie gravitativ nicht beeinflussen kann; dies gilt zumindest für eine Reihe von Umläufen. Ihr Abstand beträgt über den Polen 3.444.000 km. Die Aufgabenstellung ihrer Mission umfasst im Rahmen der Heliosphäre folgende Forschungsschwerpunkte: Kosmischer Staub, kosmische Strahlung und solare energetische Teilchen, Magnetfelder, niederenergetische Ionen und Elektronen, Radio und Plasmawellen, solare Röntgenstrahlung und kosmische Gammastrahlung, Sonnenwindplasma, Zusammensetzung der Ionen des Sonnenwindes, Zusammensetzung energiereicher Teilchen und des interstellaren Gases, Sonnenkorona, Gravitationswellen; eine Fülle von Aufgaben, die charakteristisch ist für heutige wissenschaftliche Satelliten.

Erste Erkenntnisse finden in der Fachliteratur ihren Niederschlag, bereits jetzt scheint festzustehen, dass die Magnetfelder über den Polen wellenförmigen Schwankungen unterliegen, dass also dort weniger Partikel aus dem Weltall festgehalten werden können, als man ursprünglich vermutete. Der zweite bedeutende Sonnensatellit ist SOHO (The Solar and Heliospheric Observatory). Schwerpunkte im Forschungsbereich dieses Satelliten sind die Chromosphäre, die innere und die äußere Korona. Die Datenaufnahme erfolgt vorzugsweise in den sehr hohen Anregungszuständen heller Emissionslinien im ultravioletten Bereich. Die Heliumlinien in der Chromosphäre liegen bei 30,4 nm, die Linien hochionisierten Eisens in der inneren Korona haben die Wellenlänge 19,5 nm, 28,4 nm und 17,1 nm; alle liegen also im extremen Ultraviolett, die Eisenlinien könnte man schon zur weichen Röntgenstrahlung rechnen. Immerhin ist die Wellenlänge der Heliumlinie noch eineinhalbmal so lang wie



die des Eisens; ein Vergleich im sichtbaren Licht würde der roten (800 nm) und der grünen Farbe (540 nm) entsprechen. Mit den kurzwelligeren Linien kann SOHO vor allem Prozesse erfassen, die im Zusammenhang mit Flares ablaufen.

Der Satellit ist so positioniert, dass er kontinuierlich die Sonne beobachten, und dadurch zusammenhängende Abläufe registrieren kann. SOHO sitzt deshalb in einem der so genannten Lagrange-Punkte des Systems Erde - Sonne (vgl. Grafik). Das Problem einer stabilen Konfiguration zweier als Massenpunkte auffassbarer Sterne regelt das Gravitationsgesetz von Isaac Newton (1684 erstmals mitgeteilt). Das System Erde - Sonne stellt eine solche Konfiguration dar, man vernachlässigt dabei alle anderen Himmelskörper. Nicht mehr allgemein mathematisch exakt lösbar ist dagegen schon das Drei-Körper-Problem. Gesucht ist eine stabile Positionierung, die, wie mit unsichtbaren Stangen stabil verbunden, immer die gleiche bleibt. Für den Sonderfall, dass eine der drei Massen - in unserem Fall SOHO - besonders klein ist, gibt es 5 Lösungen, die so genannten Librations- oder Lagrange-Punkte, in der Skizze mit L1 bis L5 bezeichnet. L4 und L5 bilden mit der Sonne und dem Planeten zwei gleichseitige Dreiecke. Diese Punkte sind vor allen für das Jupiter - Sonne - System

berühmt: Dort sitzt auf der Jupiterbahn die Asteroidenansammlung der Trojaner, hinter Jupiter die Patroklos-, vor ihm die Achillesgruppe; sie umkreisen vermutlich seit der Entstehung des Planetensystems vor vier-einhalb Milliarden Jahren mit der gleichen Geschwindigkeit wie der Planet die Sonne. Aus der Grafik kann man leicht erkennen, dass der Lagrange-Punkt L3 ein stabiler Punkt sein muss, er umkreist als eine Art „Gegenerde“ die Sonne etwa im gleichen Abstand wie wir. Nur könnten wir dort eine Sonde niemals sehen, die Sonne stünde ja davor. L2 ist für die Position von SOHO uninteressant, weil die Erde den Blick auf die Sonne dauerhaft versperren würde. Nur L1 kam für SOHO in Frage, und dort, etwa 1,5 Millionen km von der Erde entfernt und damit um diese Distanz näher an der Sonne, umkreist sie synchron mit uns die Sonne. Sie kann mit Radioteleskopen angepeilt werden, obwohl sie optisch wegen ihrer Größe auf der Sonnenscheibe nicht zu sehen ist. Die Position muss trotz der rechnerischen Stabilität ständig überwacht werden; Venus und Mond stören die leichte Sonde immer wieder.

Außerdem ist SOHO mit einer Reihe von Messinstrumenten vollgepackt, die zum Teil nicht direkt der Sonnenstrahlung ausgesetzt werden dürfen. SOHO konnte zunächst sehr genau positioniert werden und funkte auch die ersten Ergebnisse erfolgreich zur Erde, doch dann ging die Sonde regelrecht verloren, weil ihre Antennen sich von der Erde weggedreht hatten (August 1998). Erst durch die im weltweiten Verbund eingesetzten Radioteleskope gelang es, die Sonde wieder zu finden und sie auf ihre volle Leistungsfähigkeit zu reaktivieren. Seither sendet sie eine große Fülle äußerst überraschender Ergebnisse.

3. Zahlreiche Prozesse auf der Sonnenoberfläche haben ihren Ursprung darin, dass hochenergetisches, heißes Plasma (freie Protonen und Elektronen) durch Magnetfeldkonfigurationen von der Umgebung thermisch isoliert wird. Die Magnetfeldlinien bedingen zum Teil sehr hohe Beschleunigungen der geladenen Teilchen auf geschlossenen Bahnen, die eine Durchmischung mit der umgebenden Materie und damit Temperatenausgleich unterbinden. Eine der Folgen sind die Temperaturunterschiede in den Sonnenflecken. Die Teilchen geben entweder kinetische Energie oder Energie in Form von Strahlung ab, um die Magnetfelder aufzubauen; sie werden dadurch langsamer und kälter. Weil die Magnetfeldlinien sie von der Umgebung abschneiden, kann sich kein Temperatenausgleich einstellen und die Flecken wandern über Jahre hinweg, in sich stabil, zum Äquator, bis sie ihr Energieverlust durch abgestrahlte Magnetfelder verschwinden lässt.

Eine weitere Folge sind die an den Konzentrationen auftretenden Protuberanzen. Die Kräfte bei Magnetfeldern wirken quer zu den Feldlinien, treiben sie also auseinander, wenn Gegenkräfte fehlen. Haben also einmal die Feldlinien die Photosphäre durchbrochen und den sehr viel niedrigeren Druck der Chromosphäre oder der Korona erreicht, dann blähen sich die Feldlinien auf und die Materie wird stark beschleunigt ins Weltall hinausgetrieben. Ruhige Protuberanzen zeichnen dagegen nur Feldlinien stationärer Magnetfelder nach. In ihnen durchlaufen geladene Teilchen spiralförmige Bahnen, stoßen mit Atomen oder Molekülen zusammen und regen diese zum Leuchten an. Vergleichbares geschieht bei uns in den Nordlichtern.

Magnetfelder können sich aber auch in besonders konzentrierten Bereichen zusammenziehen, sie pressen das Wasserstoffplasma immer enger zusammen, bis Fusion zu Helium eintritt. Dann entsteht beim Proton-Proton-Zyklus ${}^3\text{He}$. Dies ist aus der theoretischen Physik bekannt und läuft offenbar bei den energiereichsten Vorgängen auf der Sonne, den Flares ab, wo zumindest zweifelsfrei ${}^3\text{He}$ nachgewiesen wurde. Der Film zeigt die Begleitumstände sehr eindrucksvoll; solche Energien können eigentlich nur aus Fusionsprozessen stammen.

4. Die Spektralanalyse begann mit der Entdeckung der Absorptionslinien durch Joseph von Fraunhofer 1814: „Ich wollte suchen, ob im Farbbilde von Sonnenlichte ein ähnlich heller Streif zu sehen sey, wie im Farbbilde von Lampenlichte, und fand statt dessen mit dem Fernrohre fast unzählig viele starke und schwache vertikale Linien, die aber dunkler waren als der übrige Theil des Farbenbildes, einige schienen fast schwarz zu sein.“ Durch seinen genialen Erfindergeist in der Glasschmelztechnik entdeckte er als erster diese Absorptionslinien, die später nach ihm benannt wurden. Seiner überaus präzisen Arbeitsweise verdanken bis heute alle Refraktoren und Okulare an Spiegelteleskopen in der ganzen Welt ihre optischen Qualitäten.

5. Am Schluss des Films wird das Ende unserer Erde - stark verkürzt - angesprochen. Dem heutigen Wissensstand entspricht, dass sich unsere Sonne schon seit Jahrmillionen ausdehnt und dass damit die abstrahlende Fläche größer wird. Dies ist bislang und auf absehbare Zeit so minimal, dass es uns noch nicht tangiert; die Ausdehnungsgeschwindigkeit nimmt aber in den nächs-

ten Jahrhunderttausenden oder Jahrmillionen deutlich zu. Es wird also auch ohne den von uns verursachten Treibhauseffekt auf der Erde wärmer. Nach heutigen Berechnungen wird in etwa 200 Millionen Jahren die Sonne so groß und damit die Aufheizung der Erde so zunehmen, dass sich die Atmosphäre zusehends verdünnt und verflüchtigt, und damit die Biosphäre ausgelöscht wird. Spätestens dann ist - ohne bis dahin vielleicht (?) mögliche globale Veränderungen - das Leben auf der Erde zu Ende. So werden aus heutiger Sicht Menschen gar nicht mehr miterleben, wie die Erde in dem Roten Riesen „Sonne“ verschwindet. Ob den Mars dasselbe Schicksal ereilt, ist heute noch nicht hinreichend vorhersehbar. Nach dem Kollaps des Roten Riesen zum Weißen Zwerg „Sonne“ könnte dann der Planetenraum bis zum Jupiter völlig leergefegt sein.

Produktion

Konrad Hiller und Heinz Reinhardt im Auftrag von
FWU Institut für Film und Bild und
Ernst Klett Verlag GmbH, 1999

Buch und Regie

Konrad Hiller
Heinz Reinhardt

Grafik

Joachim Reinhardt

Schnitt

Klaus Weger

Begleitkarte

Heinz Reinhardt

Fachberatung

Konrad Hiller

Bildnachweis

SOHO

Pädagogische Referentin im FWU

Sonja Riedel

Verleih durch Landes-, Kreis- und Stadtbildstellen,
Medienzentren

Verkauf durch FWU Institut für Film und Bild,
Grünwald

Nur Bildstellen/Medienzentren: öV zulässig

© 2007

FWU Institut für Film und Bild
in Wissenschaft und Unterricht
gemeinnützige GmbH
Geiseltalstraße 3
Bavariafilmplatz 3
D-82031 Grünwald
Telefon (0 89) 64 97-1
Telefax (0 89) 64 97-240
E-Mail info@fwu.de
vertrieb@fwu.de
Internet www.fwu.de

© 2007

Ernst Klett Verlag GmbH
D-70178 Stuttgart
Rotebühlstraße 77
Telefon (07 11) 66 72-13 33
Telefax (07 11) 66 72-20 80
Internet <http://www.klett.de>



FWU Institut für Film und Bild
in Wissenschaft und Unterricht
gemeinnützige GmbH
Geiselgasteig
Bavariafilmplatz 3
D-82031 Grünwald
Telefon (0 89) 64 97-1
Telefax (0 89) 64 97-300
E-Mail info@fwu.de
Internet <http://www.fwu.de>

**zentrale Sammelnummern für
unseren Vertrieb:**

Telefon (0 89) 64 97-4 44
Telefax (0 89) 64 97-2 40
E-Mail vertrieb@fwu.de



Ernst Klett Verlag GmbH
D-70178 Stuttgart
Rotebühlstraße 77
Telefon (07 11) 66 72-13 33
Telefax (07 11) 66 72-20 80
Internet <http://www.klett.de>

Laufzeit: 22 min
Kapitelwahl auf DVD-Video
Sprache: Deutsch

**Systemvoraussetzungen
bei Nutzung am PC**
DVD-Laufwerk und
DVD-Player-Software,
empfohlen ab Windows 98

GEMA

Alle Urheber- und
Leistungsschutzrechte
vorbehalten.
Nicht erlaubte/genehmigte
Nutzungen werden zivil- und/oder
strafrechtlich verfolgt.

**LEHR-
Programm
gemäß
§ 14 JuSchG**

FWU - Schule und Unterricht

■ 1:1 DVD-VIDEO 46 02460 DVD mit Kapitelwahlpunkten

■ VHS 42 02144

22 min, Farbe

FWU-Klassiker

Die Sonne

Zentralgestirn unseres Planetensystems

Mit Animationen und Realbildern werden die entscheidenden Phänomene erklärt, die auf der sichtbaren Oberfläche oder weiter außen in den Bereichen der Chromosphäre und der Korona ablaufen. Der Film geht dabei vor allem auf Beobachtungen im ultravioletten Licht ein; er verwertet sowohl Ergebnisse, die von der Erde aus beobachtbar sind, wie auch Erkenntnisse, die von Sonnensatelliten stammen.

Bei diesem Film handelt es sich um eine Koproduktion von FWU und Ernst Klett Verlag aus dem Jahr 1999.

Schlagwörter

Astronomie, Sonne, Aurora, Kernfusion, Korona, Protuberanzen, Sonnenflecken, Sonnenwind

Physik

Astronomie • Optik

Allgemeinbildende Schule (8-13)

Erwachsenenbildung

Weitere Medien

42 02477 Mond- und Sonnenfinsternis. VHS

42 02397 Die Suche nach neuen Sonnen und Planeten -
Methoden der Radioastronomie. VHS

66 00170 Multimedia Astronomie. Red Shift 1. CD-ROM