

# Die Sonne – ein Feuerball wird untersucht

Sonnenforschung in Südniedersachsen



Andreas Lagg

Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung  
Katlenburg-Lindau

Übersicht:

- Was wissen wir über die Sonne?
- Woher kommt unser Wissen?
  - Fraunhofer-Linien
- Was macht das Lindauer MPS?
  - Beobachtungen
  - Theorien
  - Simulationen
- Warum Sonnenforschung?

# Vortragsgebrauchsanleitung: Hörer



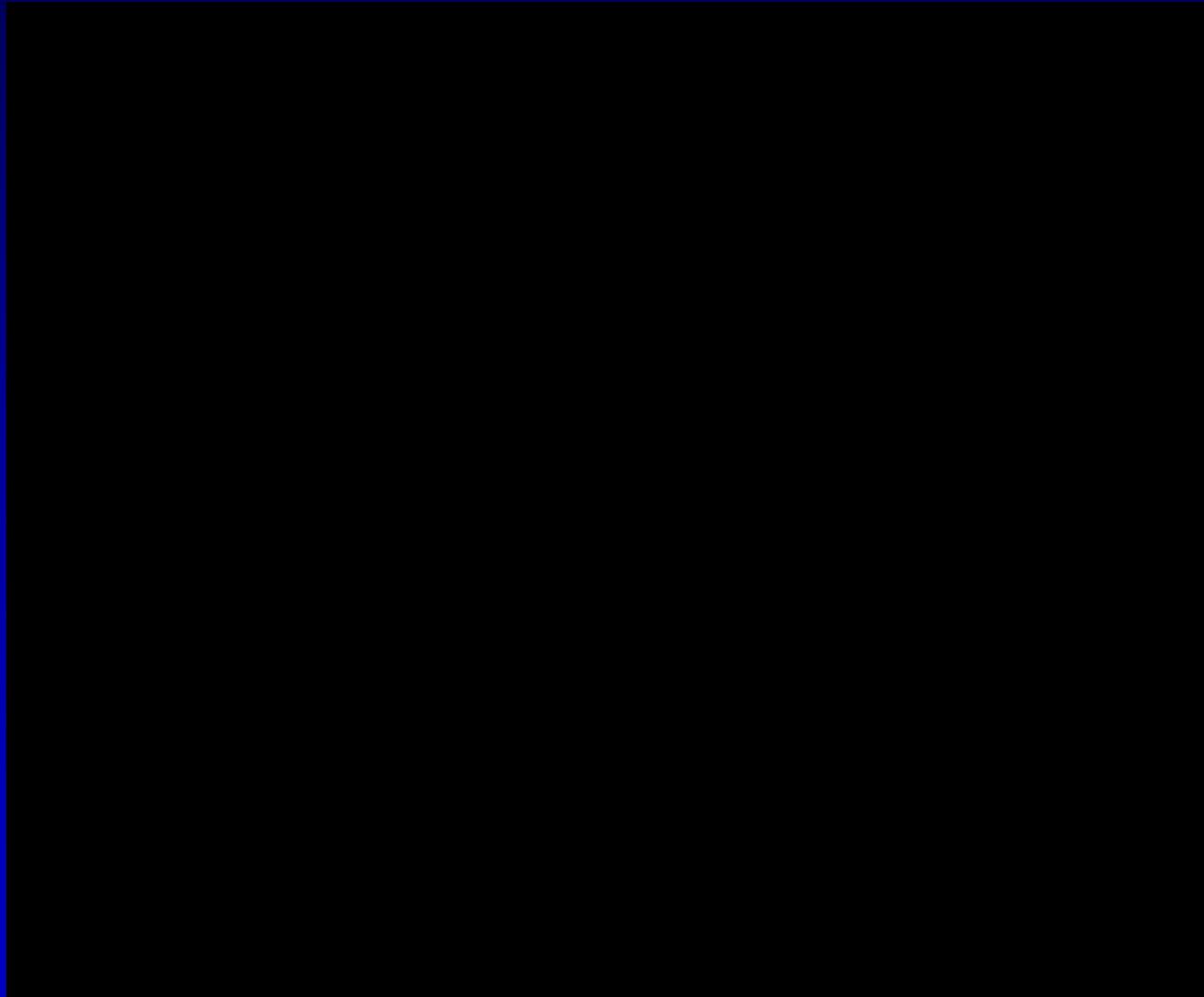
- Achtung Physik!
- Wer den Berg nicht erklimmen möchte darf sich zurücklehnen und am Bier nippen.



- Achtung schwierige Physik!
- Wer nicht ins Schleudern geraten möchte, darf sich zurücklehnen, einen kräftigen Schluck trinken und die Augen schließen.

# Wie alles begann...

vor ca. 4.5 Milliarden Jahren...

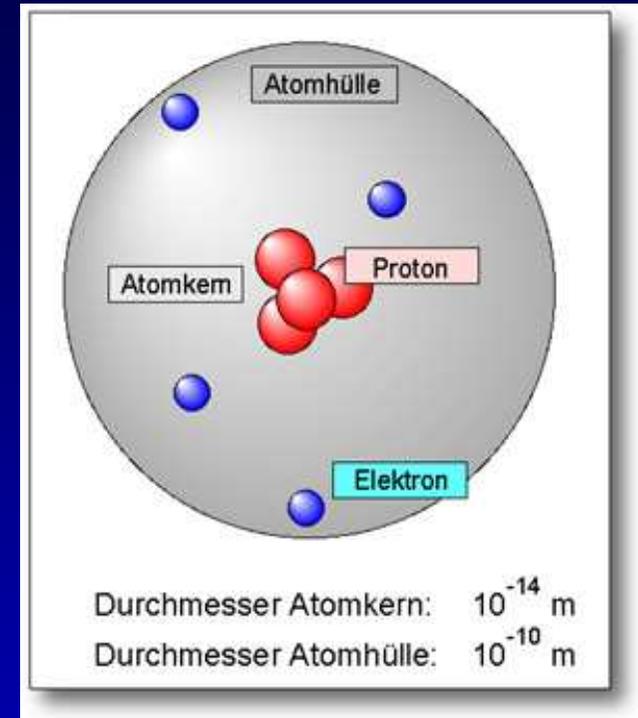


# Der "heiße Ofen"

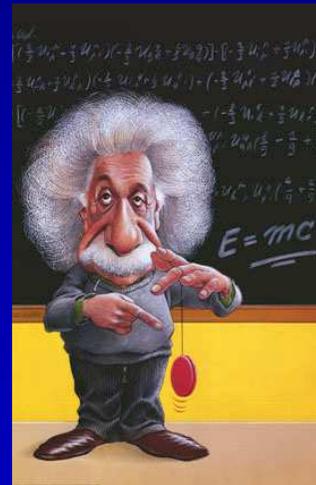
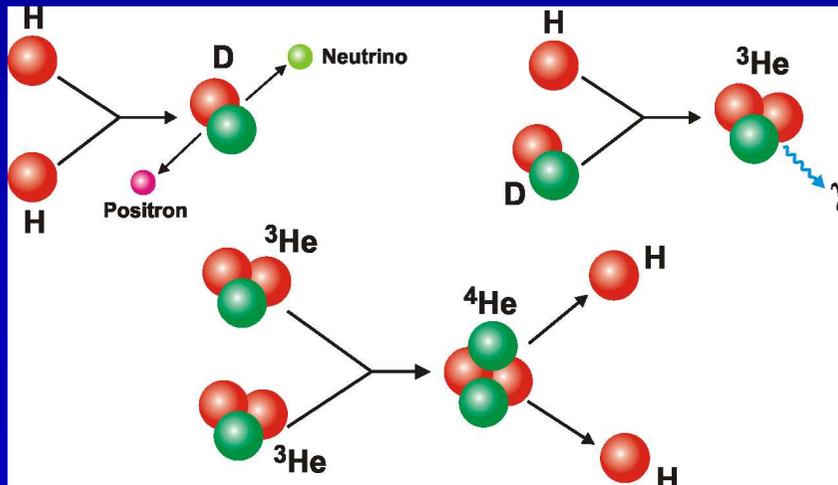


Normalfall:  
Atomkern von Elektronen umkreist  
→ 2 Atomkerne immer getrennt

Sonne:  
Druck, Temperatur extrem hoch  
→ Atomkerne verschmelzen (=Fusion)



$$E = mc^2$$

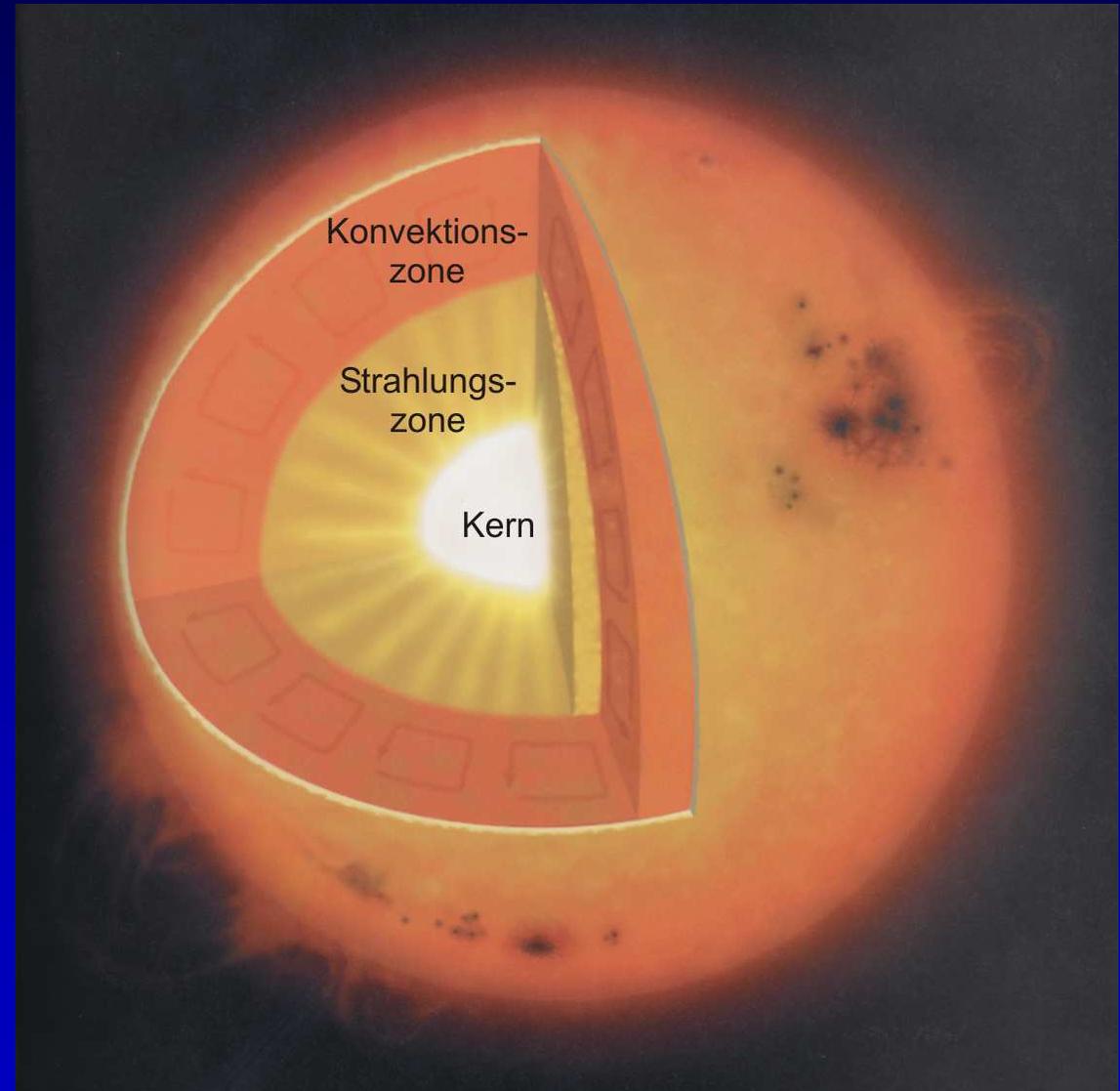


pro Sekunde:  
Energiebedarf der  
Menschheit für über  
1 Million Jahre!

# Der innere Aufbau



- Strahlung  
→ z.B. Feuer
- Wärmeleitung  
→ z.B. Pfannengriff
- Konvektion  
→ z.B. kochendes Wasser

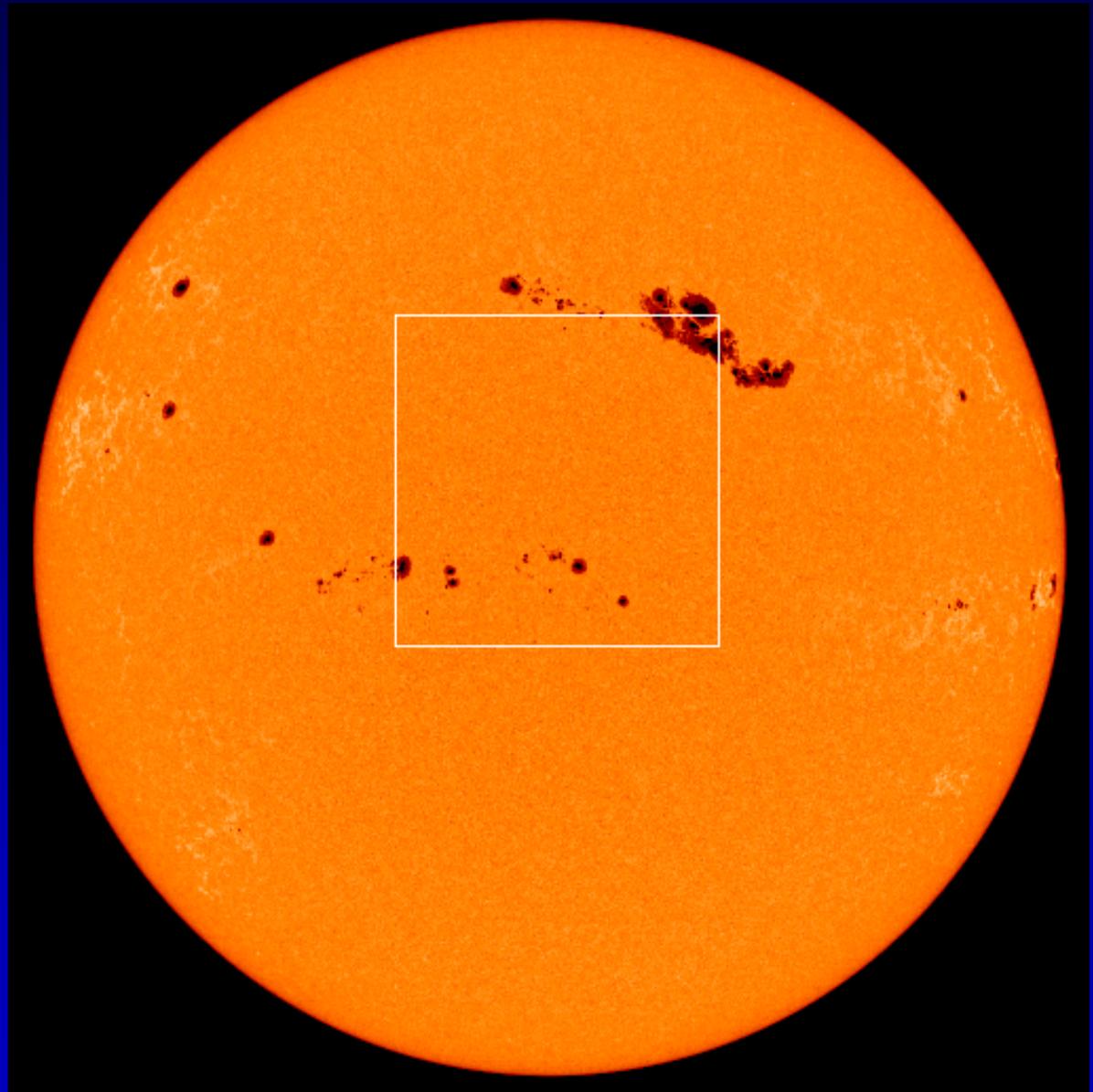


Kern: 15 Millionen Grad  
Oberfläche: ~ 6000 Grad

# Die Sonnenoberfläche

Weißlicht

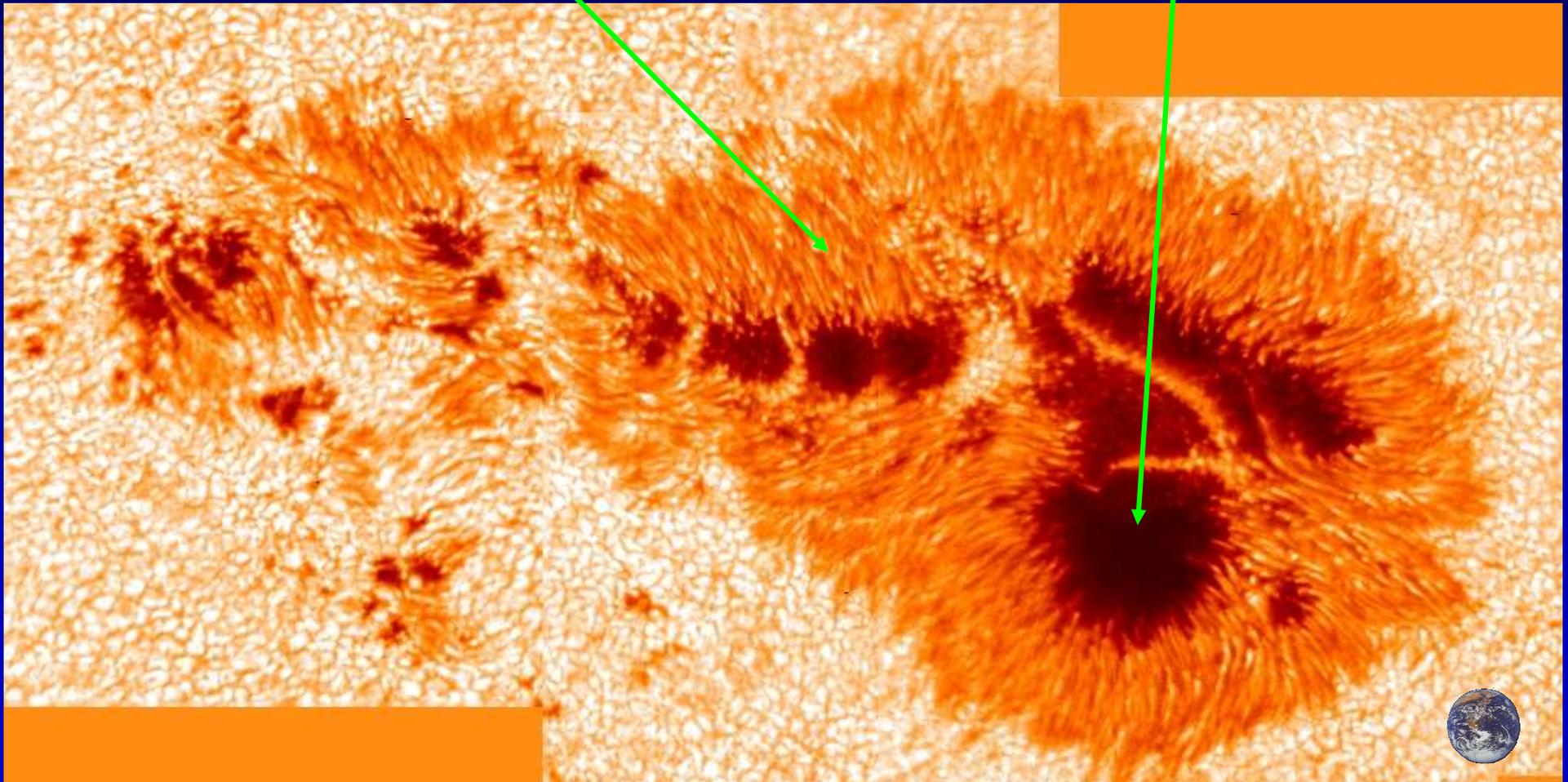
(Sonnenfinsternis-Brille)



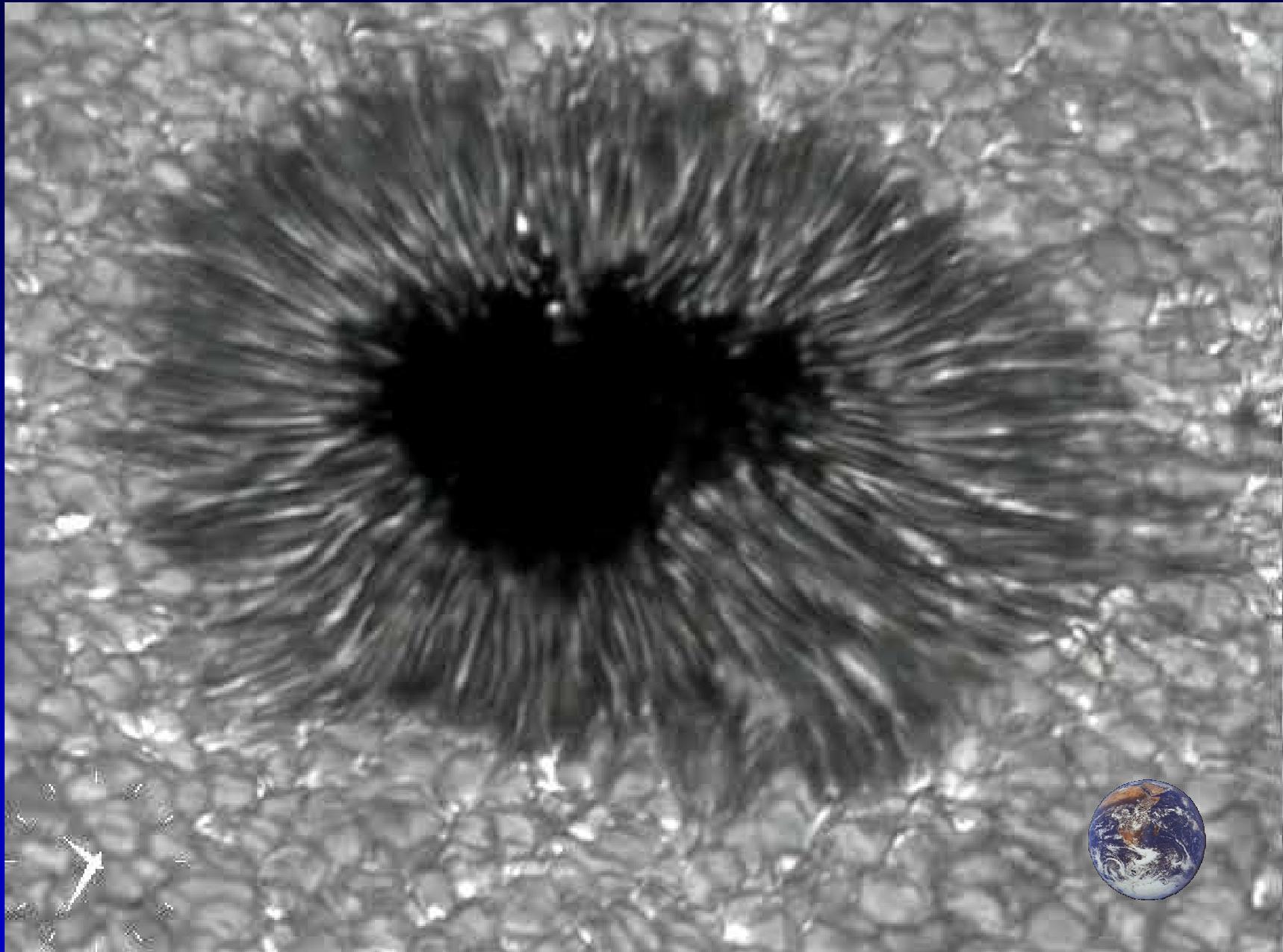
# Sonnenflecken

Penumbra

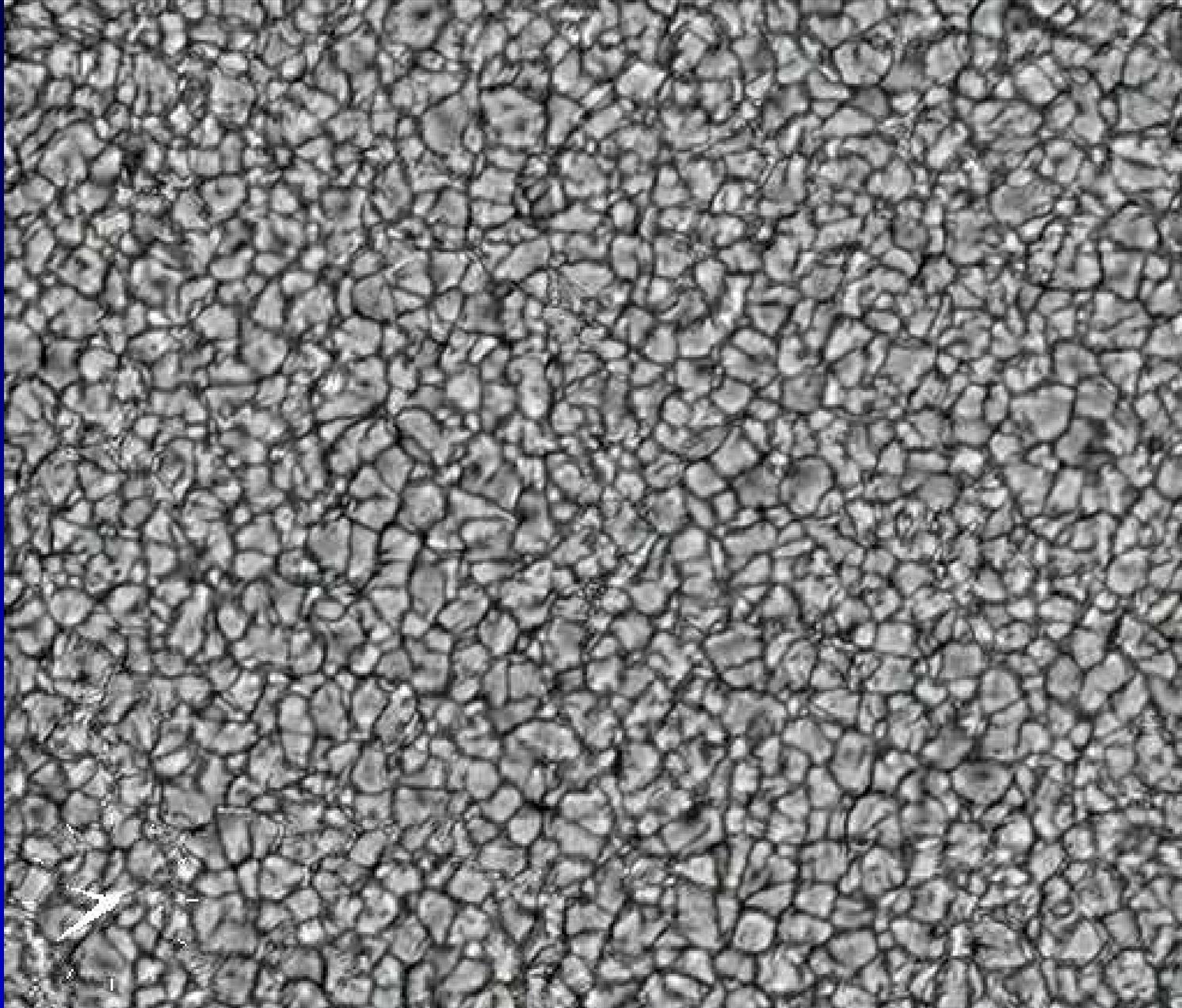
Umbra



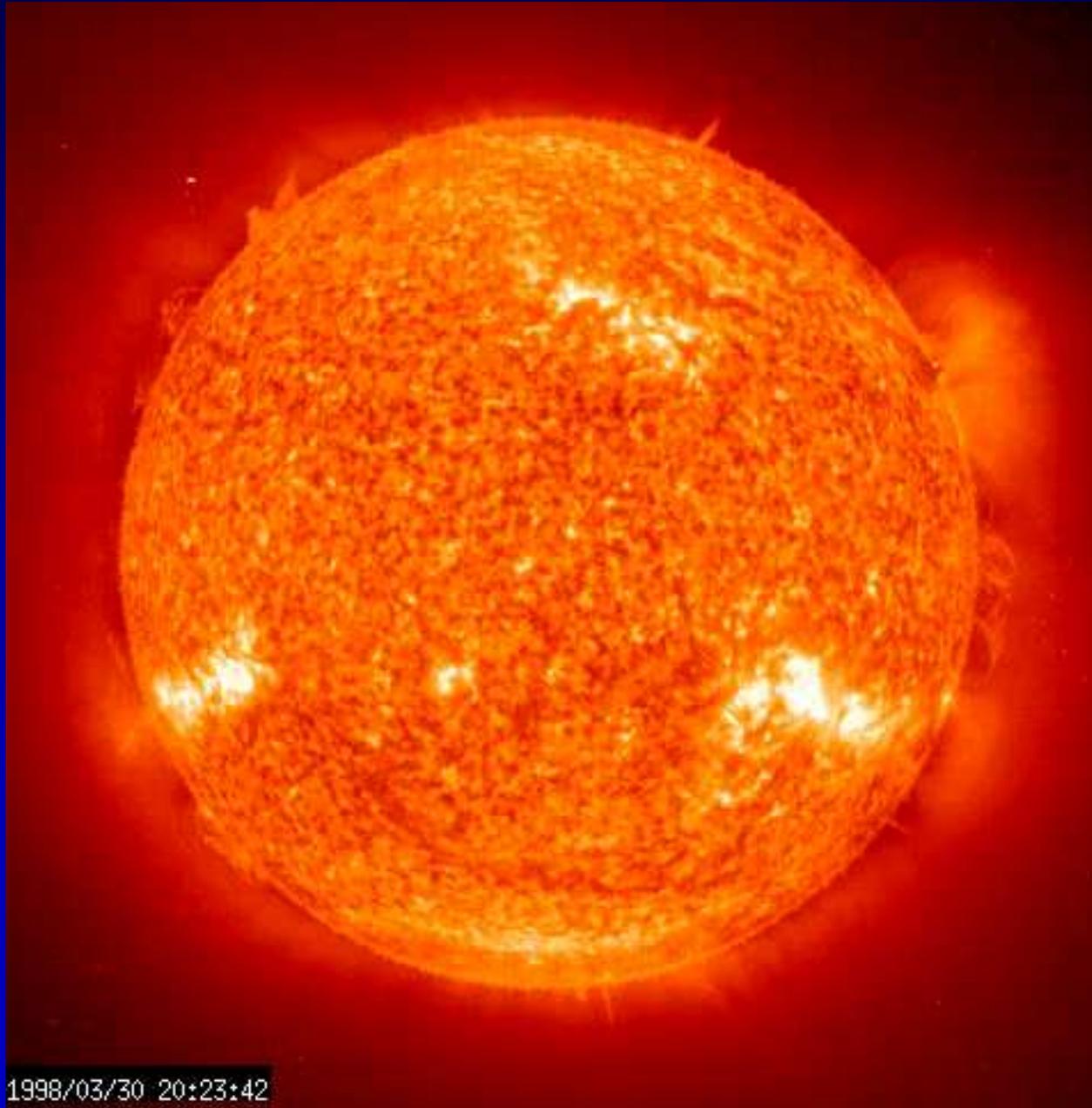
# Sonnenflecken (Dynamik)



# Granulation

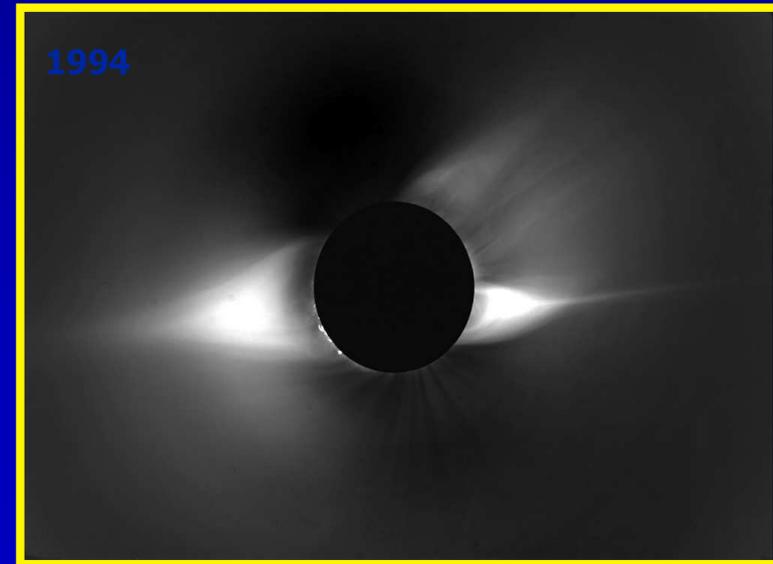
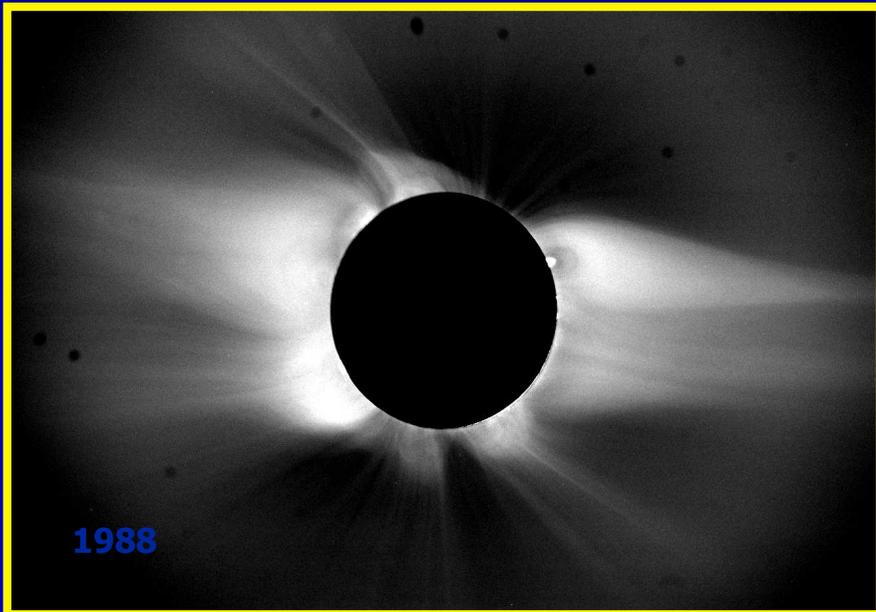
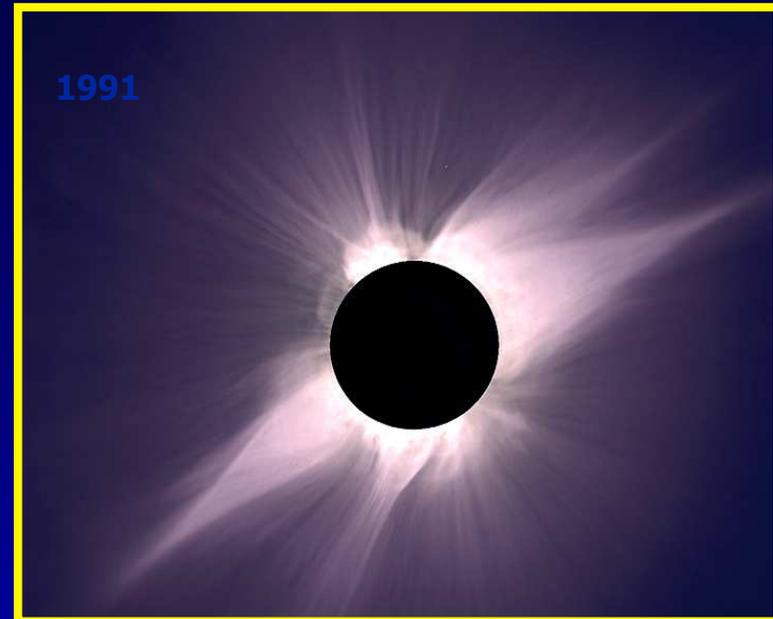
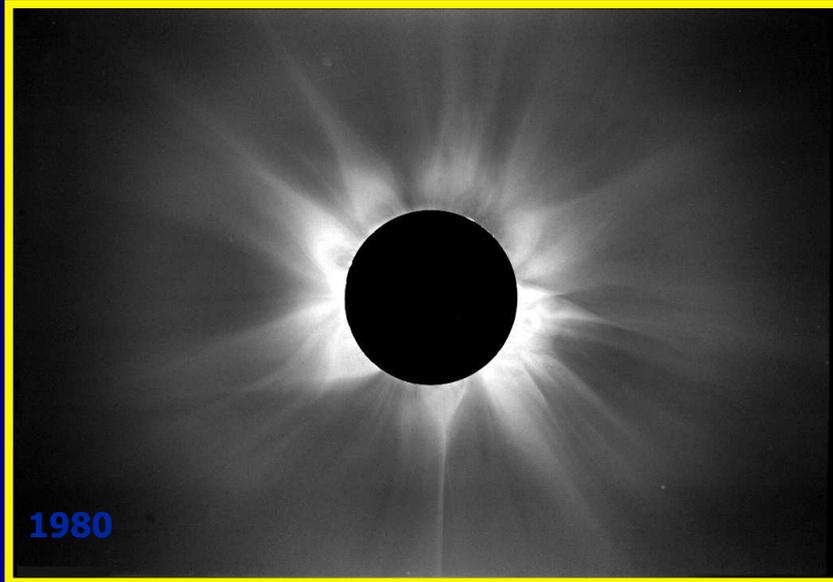


# Übergangsregion

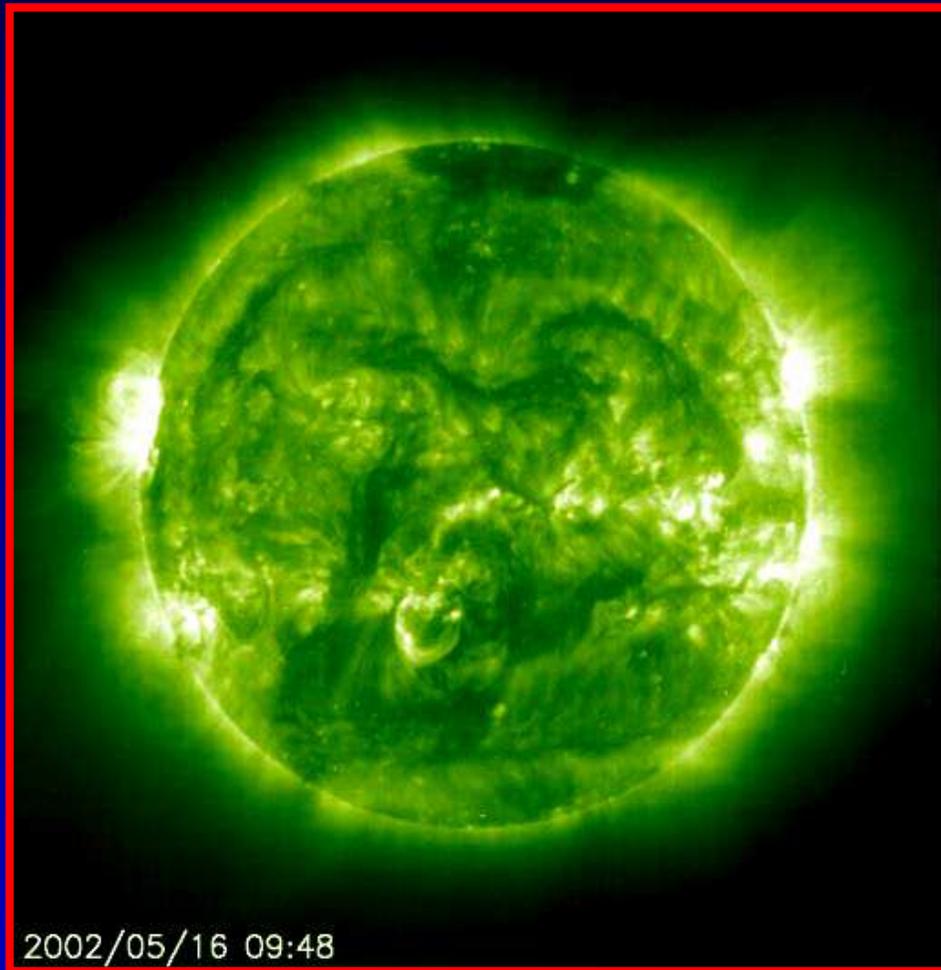


1998/03/30 20:23:42

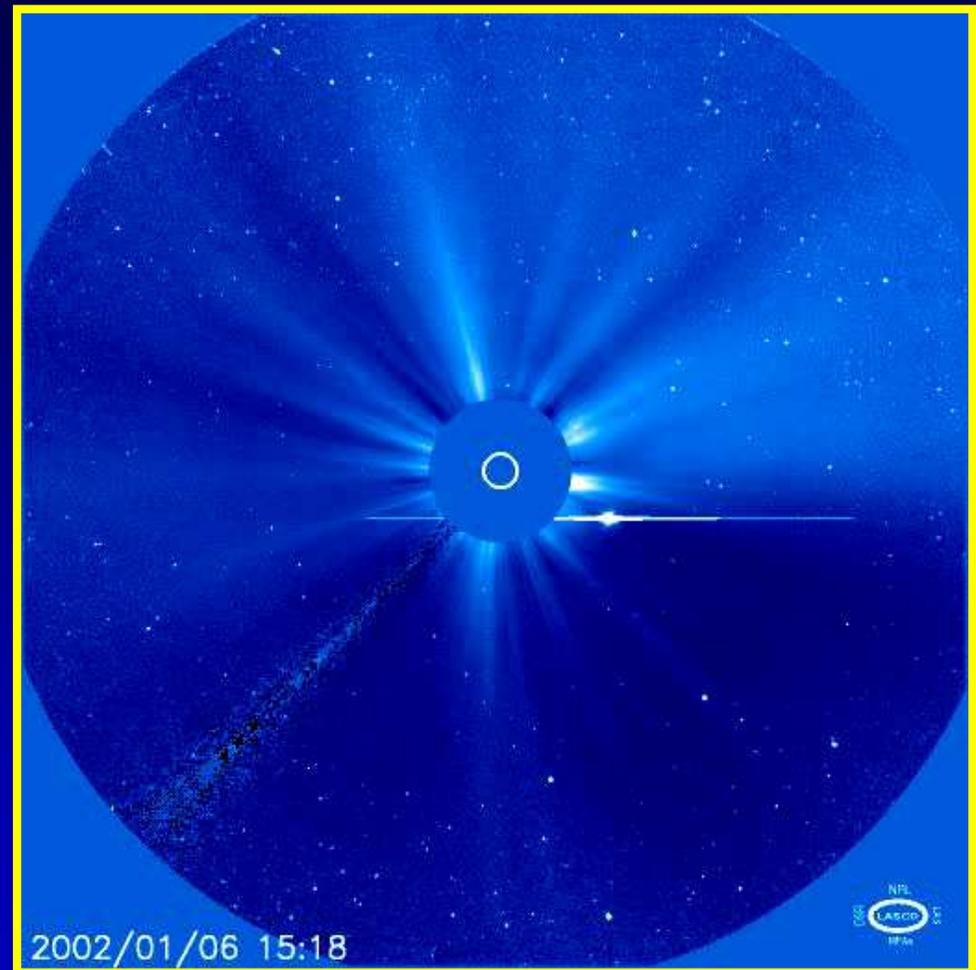
# Sonnenkorona während Finsternissen



# Die Korona

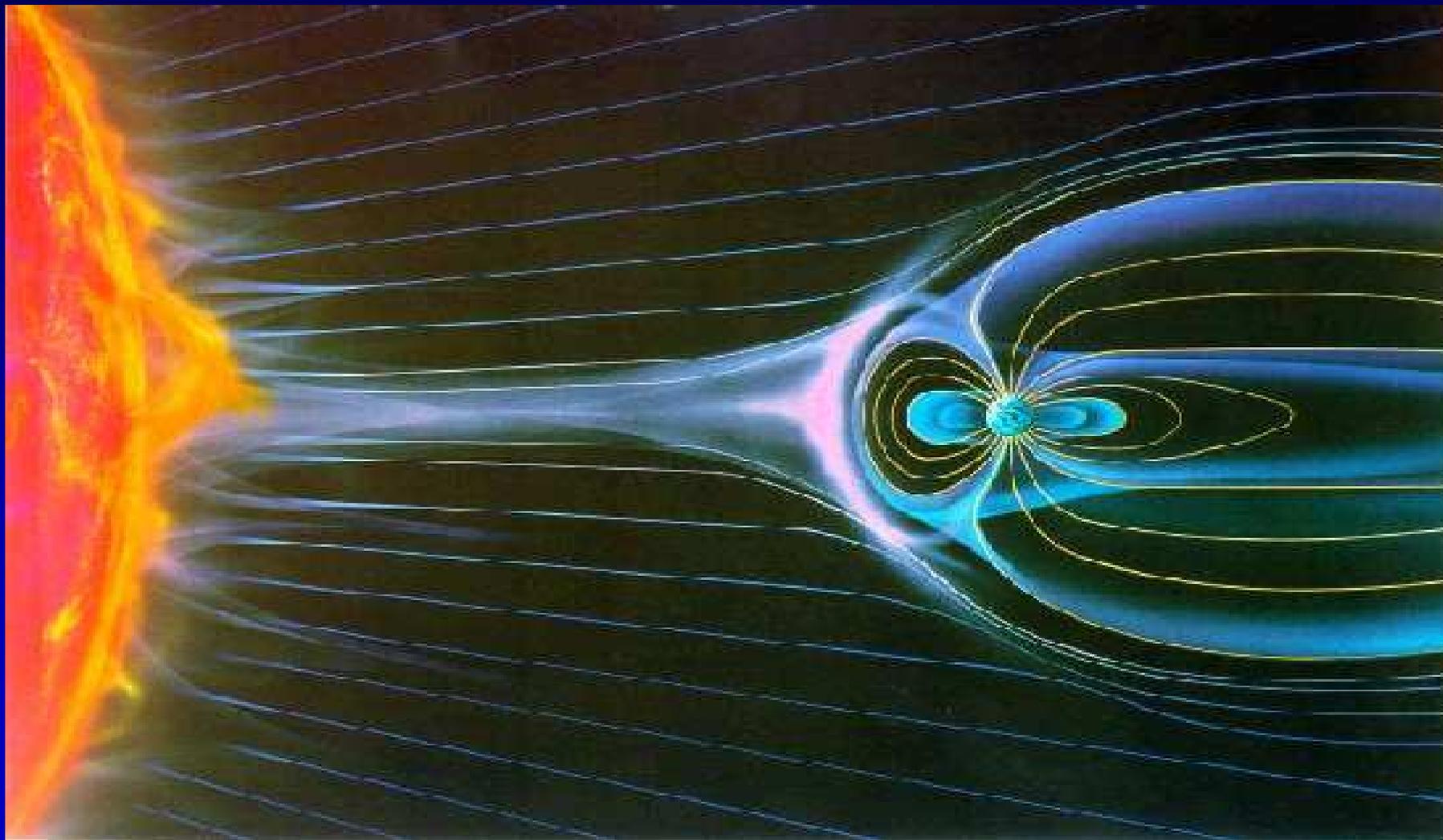


EUV Korona: Plasma bei  $>10^6$  K  
(EIT 195 Å)



Weißlicht Korona mit Kometen  
(LASCO C3)

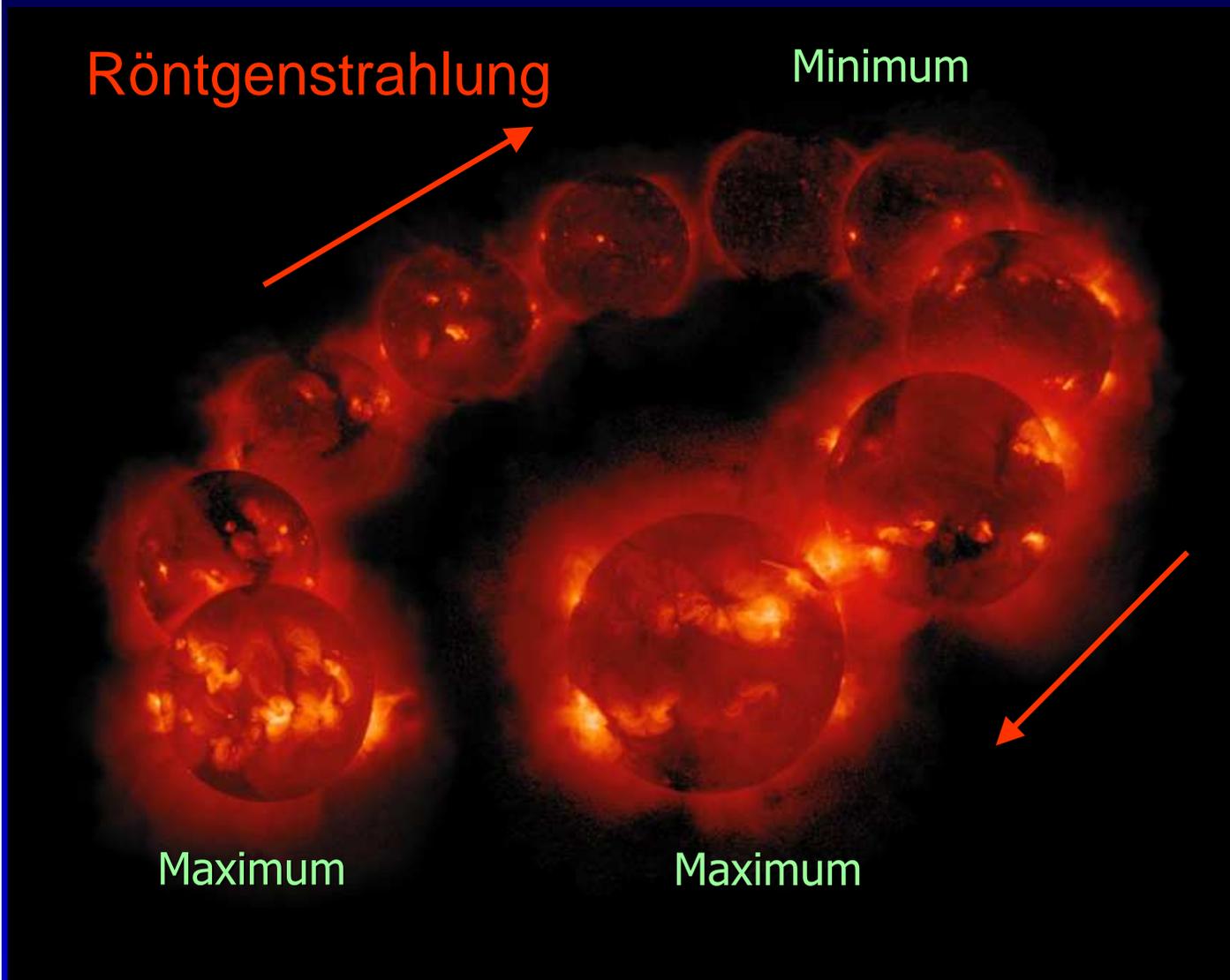
# Der Sonnenwind



# Polarlichter



# Sonnenzyklus



Variation der Strahlung  
im Röntgenbereich:

Faktor 100!

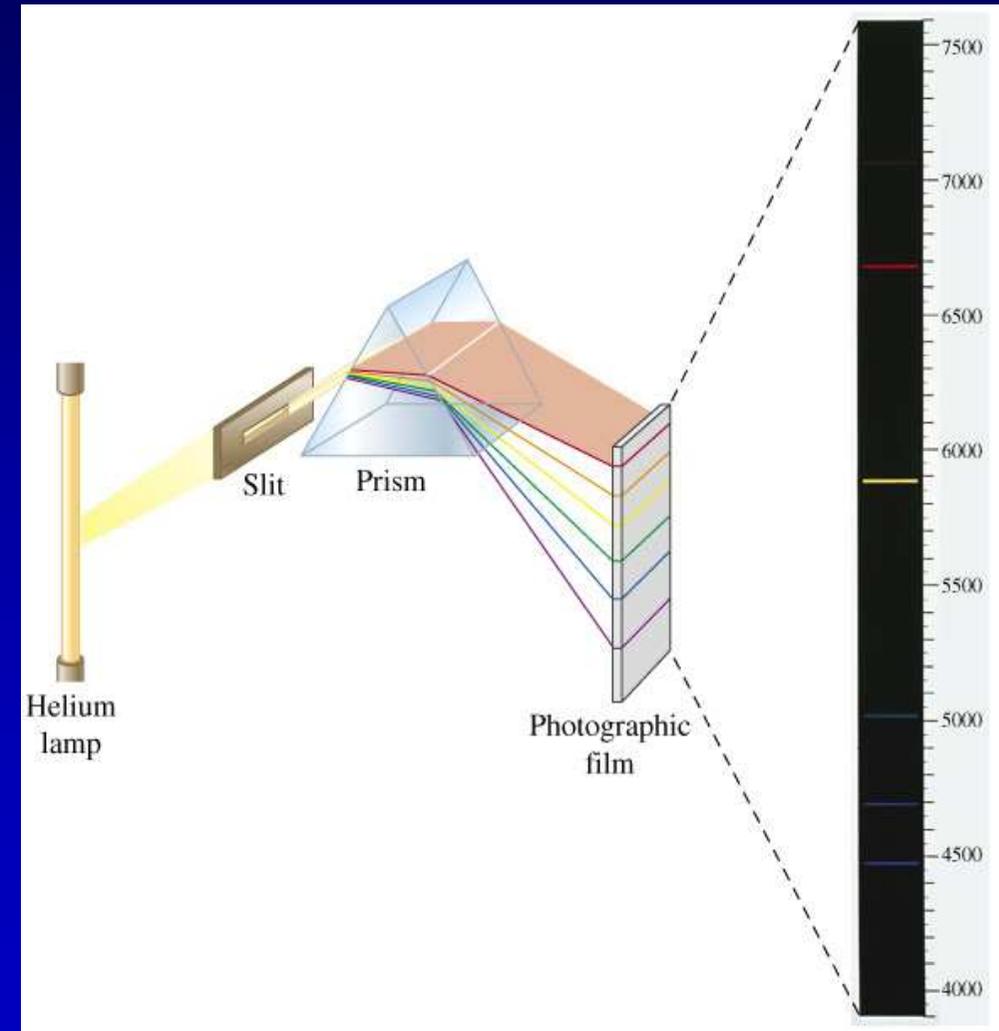
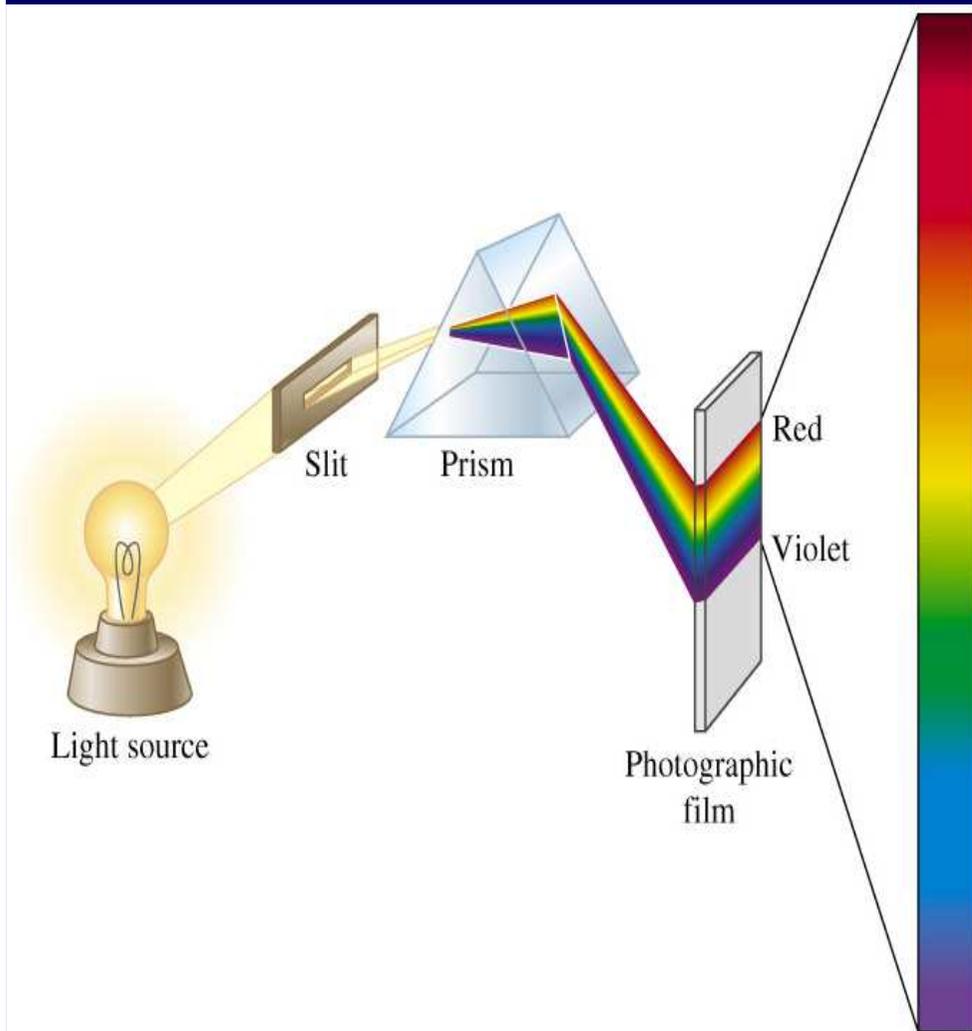
Variation der gesamten  
Strahlung:

im Promillebereich

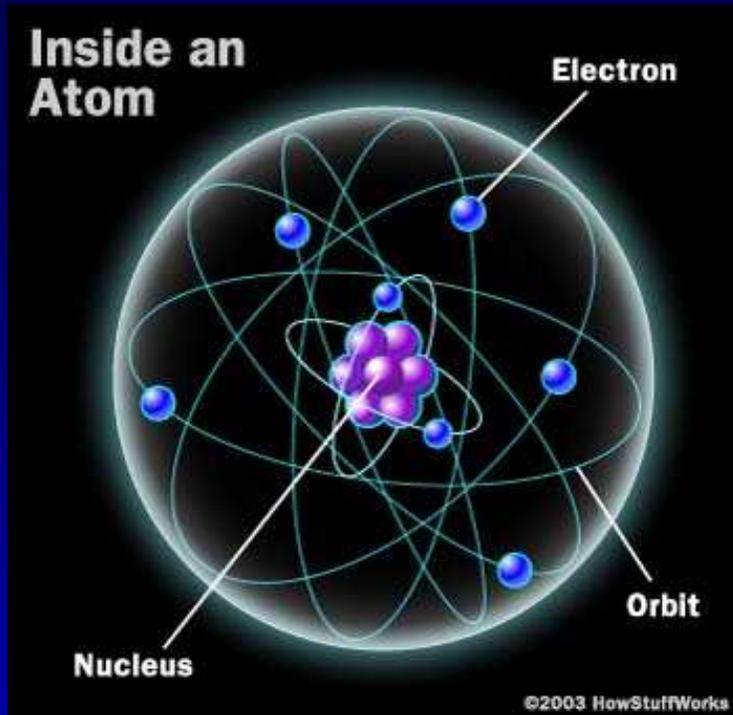
# Woher wissen wir das?

keine in-situ Messungen möglich

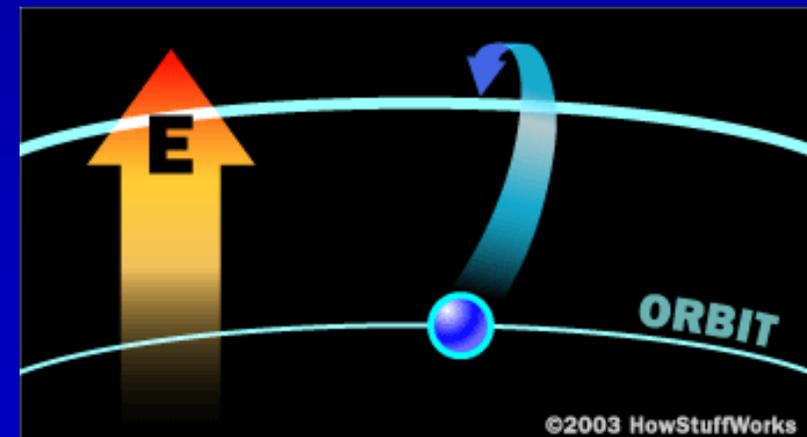
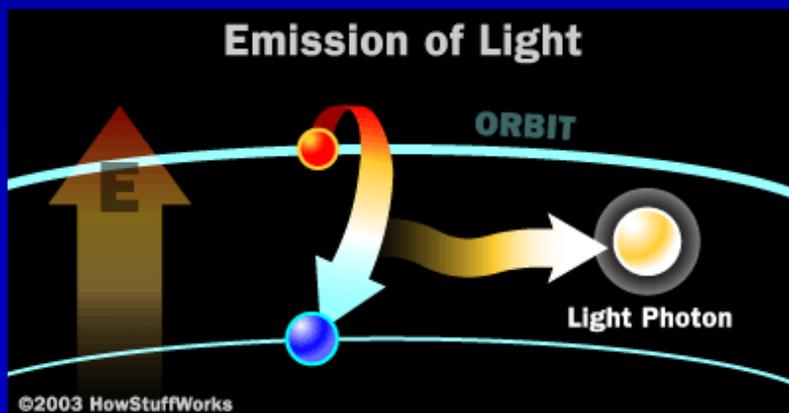
→ Messung des Sonnenlichtes (Spektrometrie)



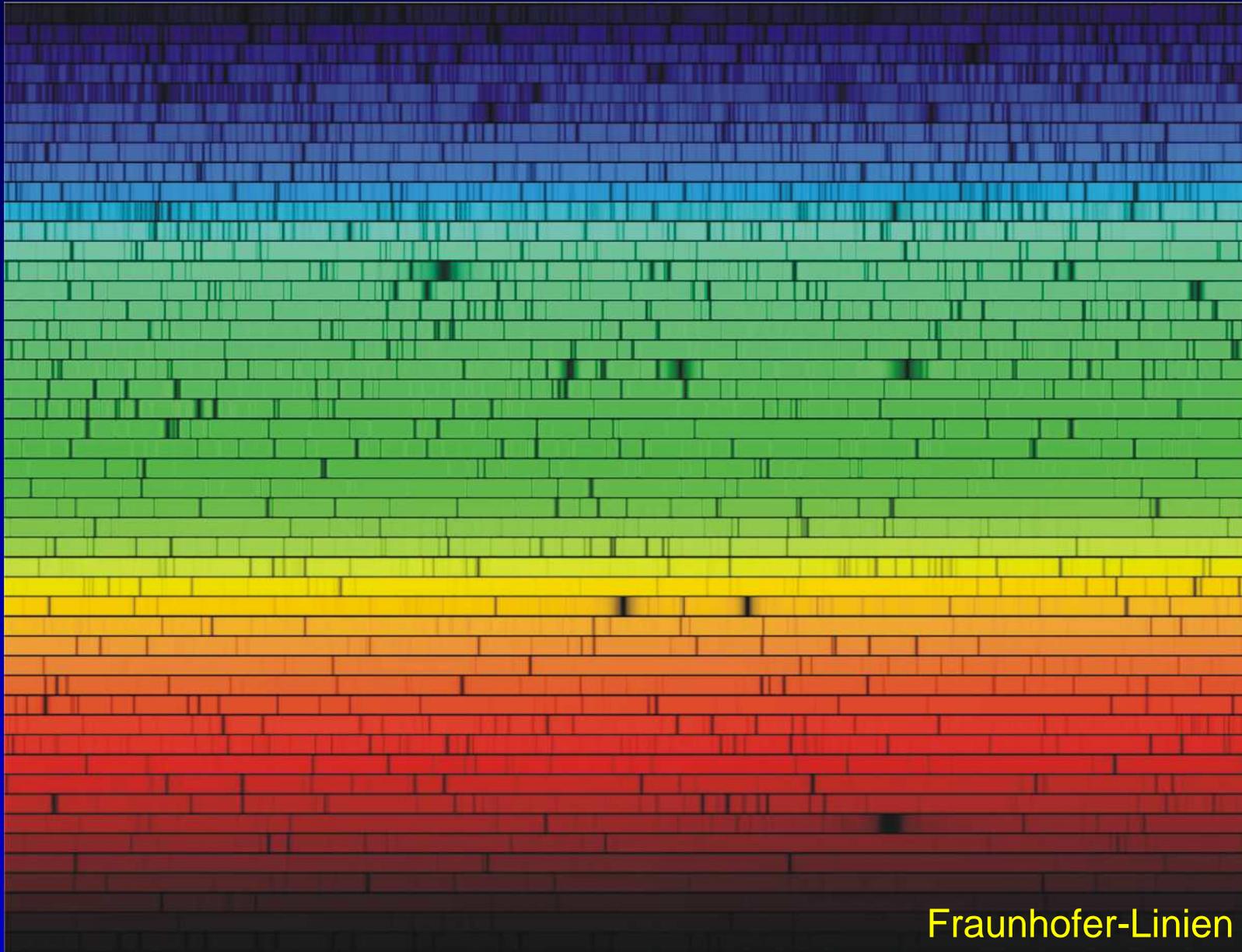
# Wie entstehen Fraunhofer-Linien (1)



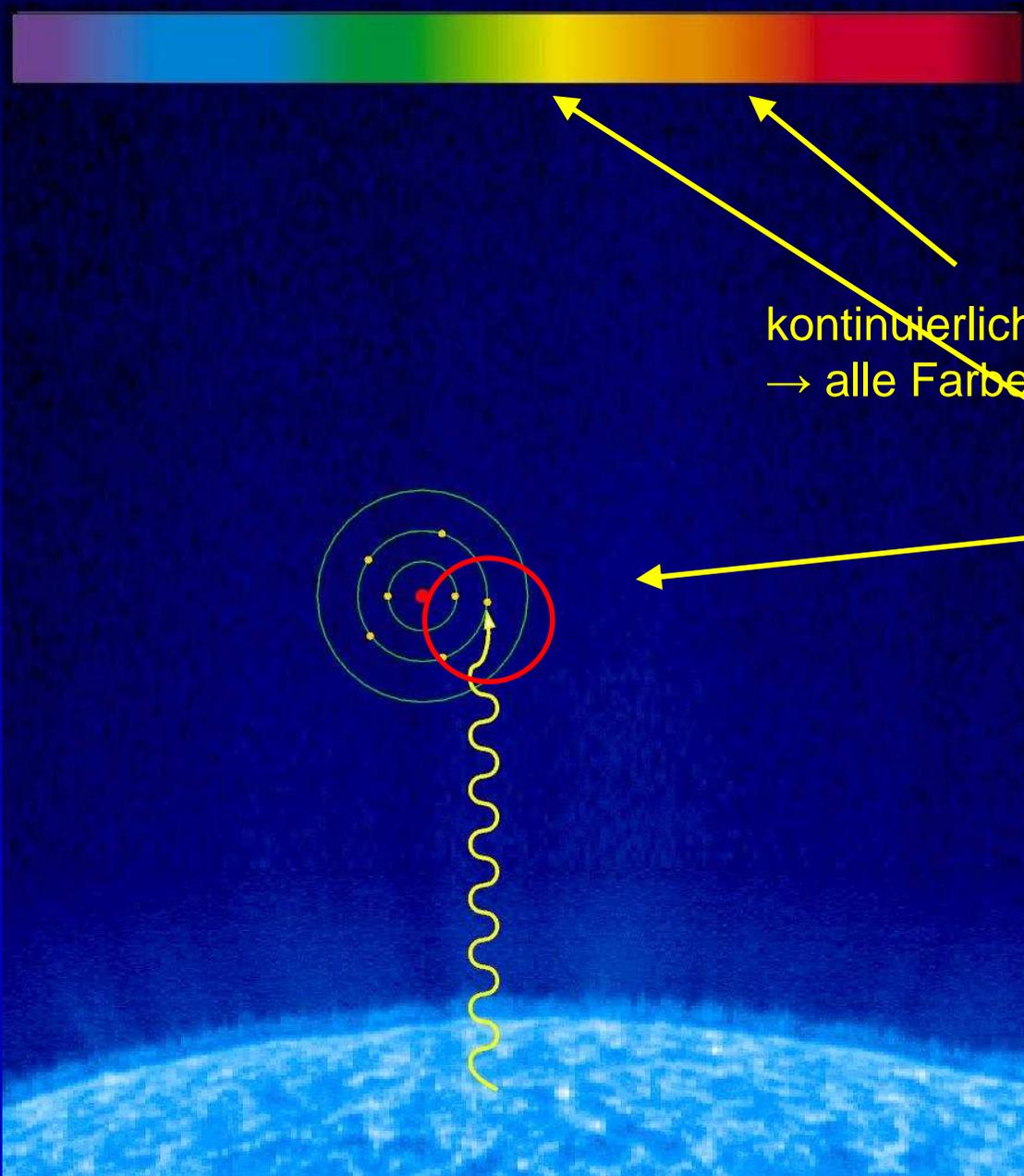
- Quantenphysik: nur bestimmte Bahnen um den Atomkern sind erlaubt
- jede Bahn entspricht einer bestimmten Energie
- Bahnwechsel = Energieänderung ( $\Delta E$ )
  - auf höhere Bahn: Energie reinstecken
  - auf niedrigere Bahn: Energie wird frei
- Energieübertragung durch Licht (Photonen, Lichtquanten)



# Sonnenspektrum



# Wie entstehen Fraunhofer-Linien (2)



kontinuierliches Spektrum (Regenbogen)

→ alle Farben / Wellenlängen kommen durch

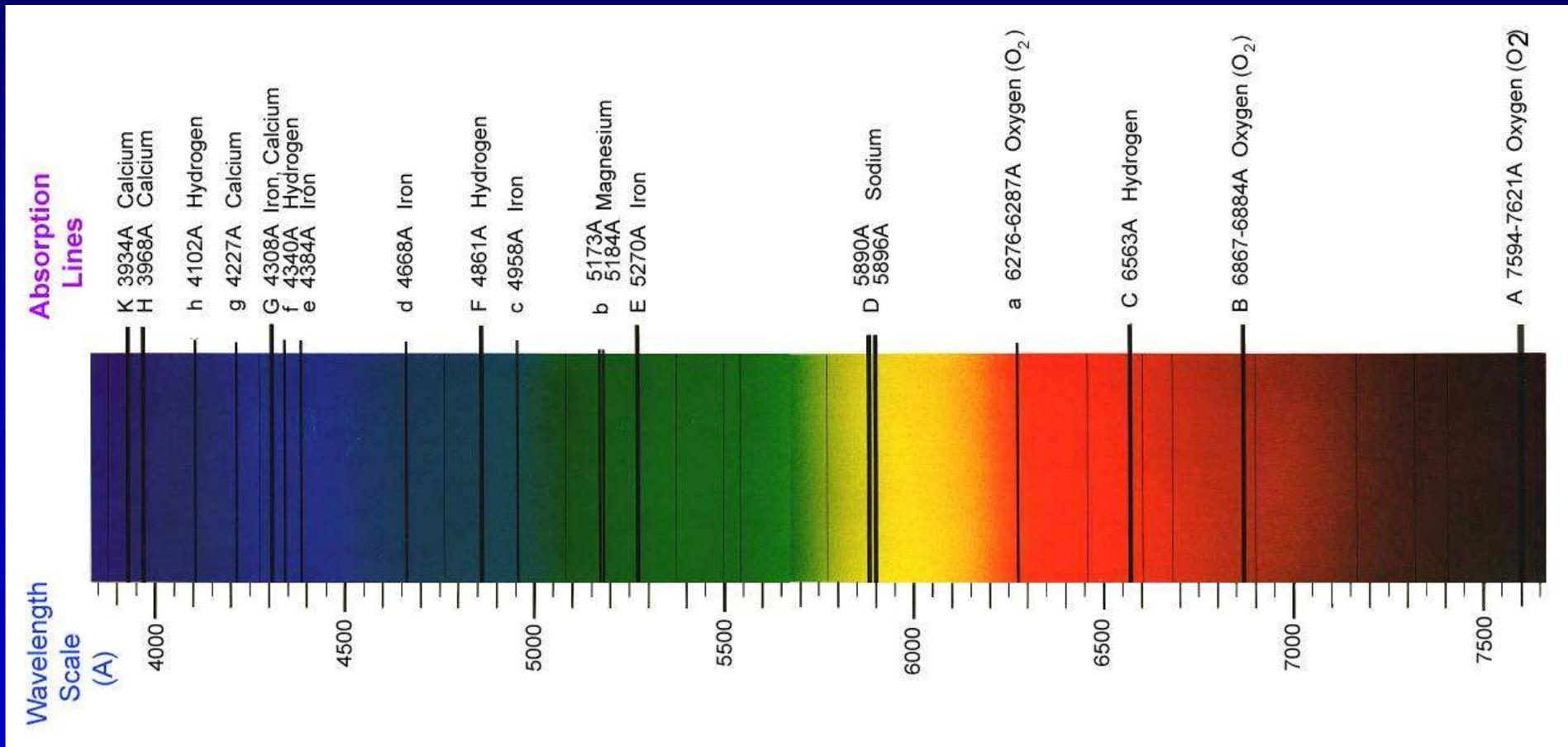
Lichtteilchen (Photon) hebt  
Elektron auf höhere Bahn  
→ Photon vernichtet

- jedes Atom / Molekül hat charakteristische Energieniveaus
- Fingerabdruck der Zusammensetzung der Sonnenatmosphäre!

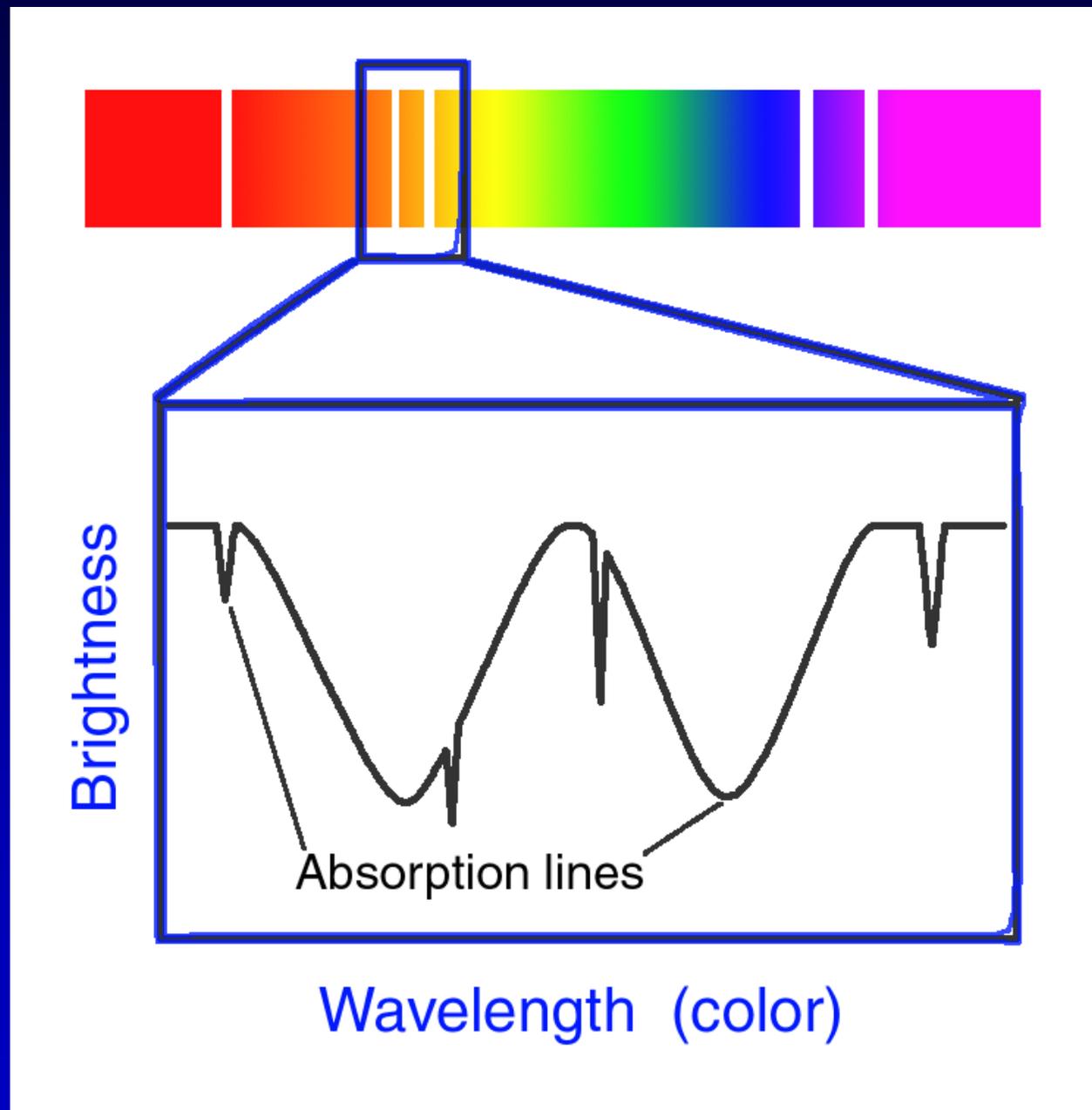
## Zusammensetzung

← Ultraviolett (UV)

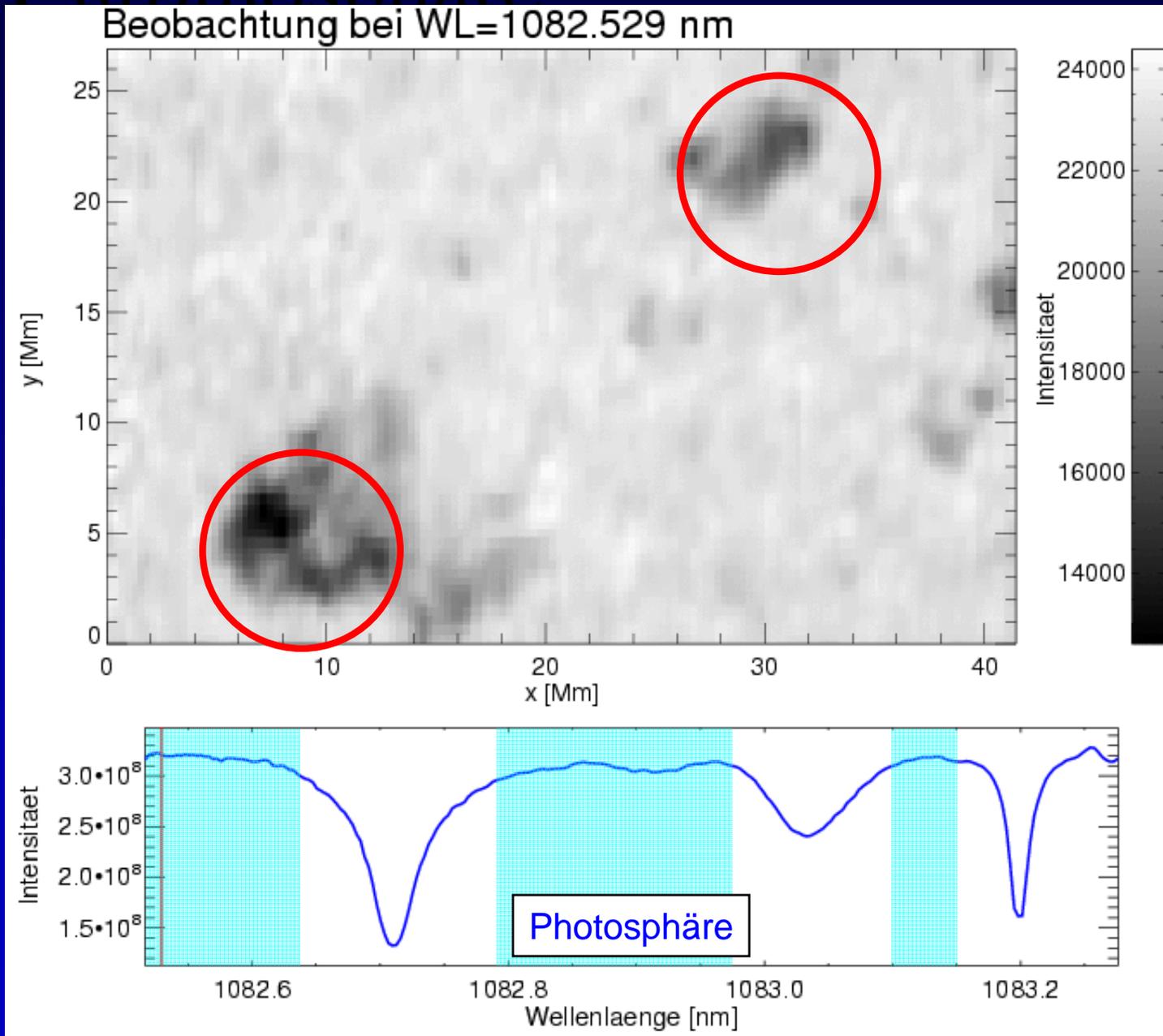
Infrarot →



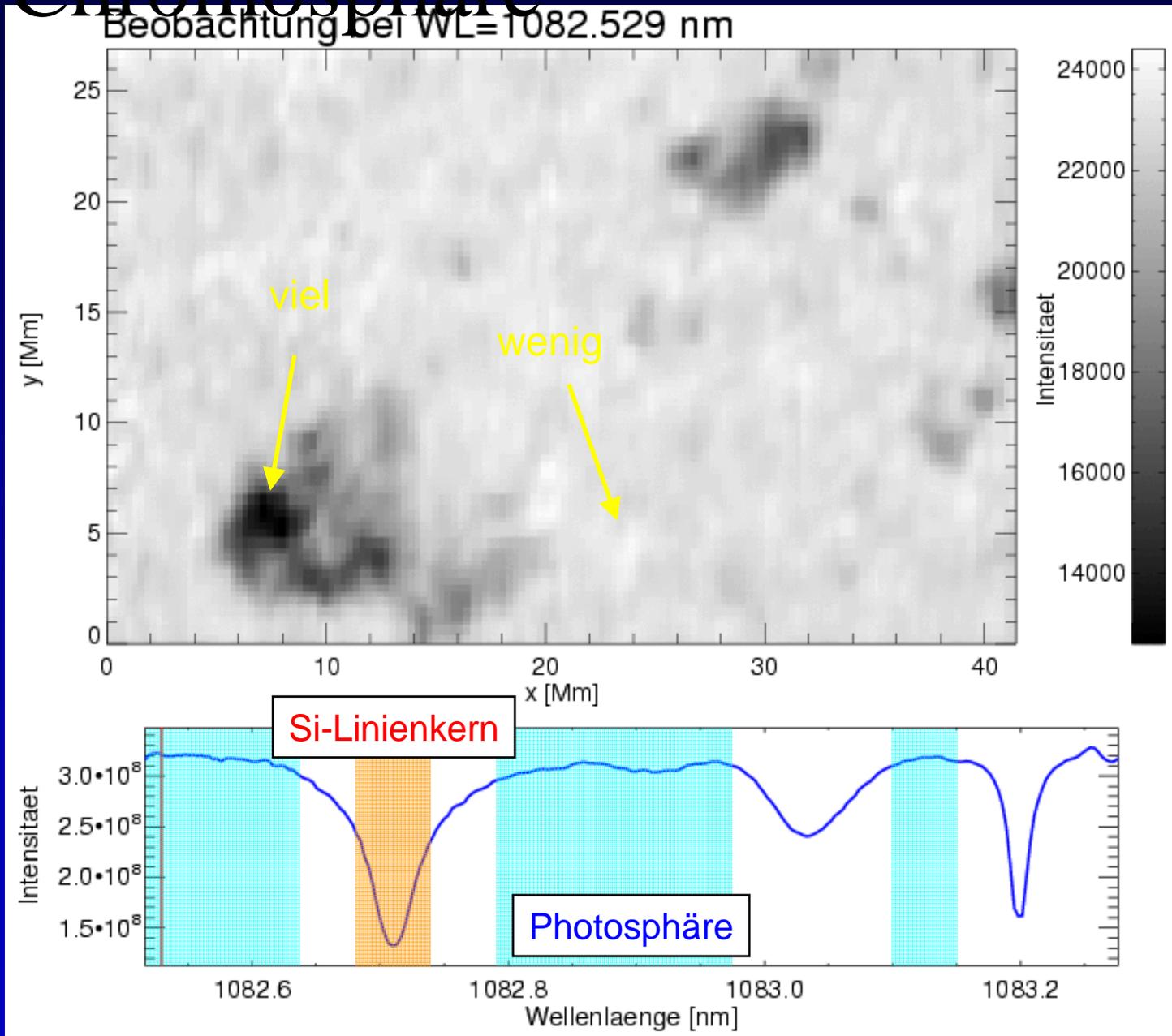
# Absorptionsspektrum



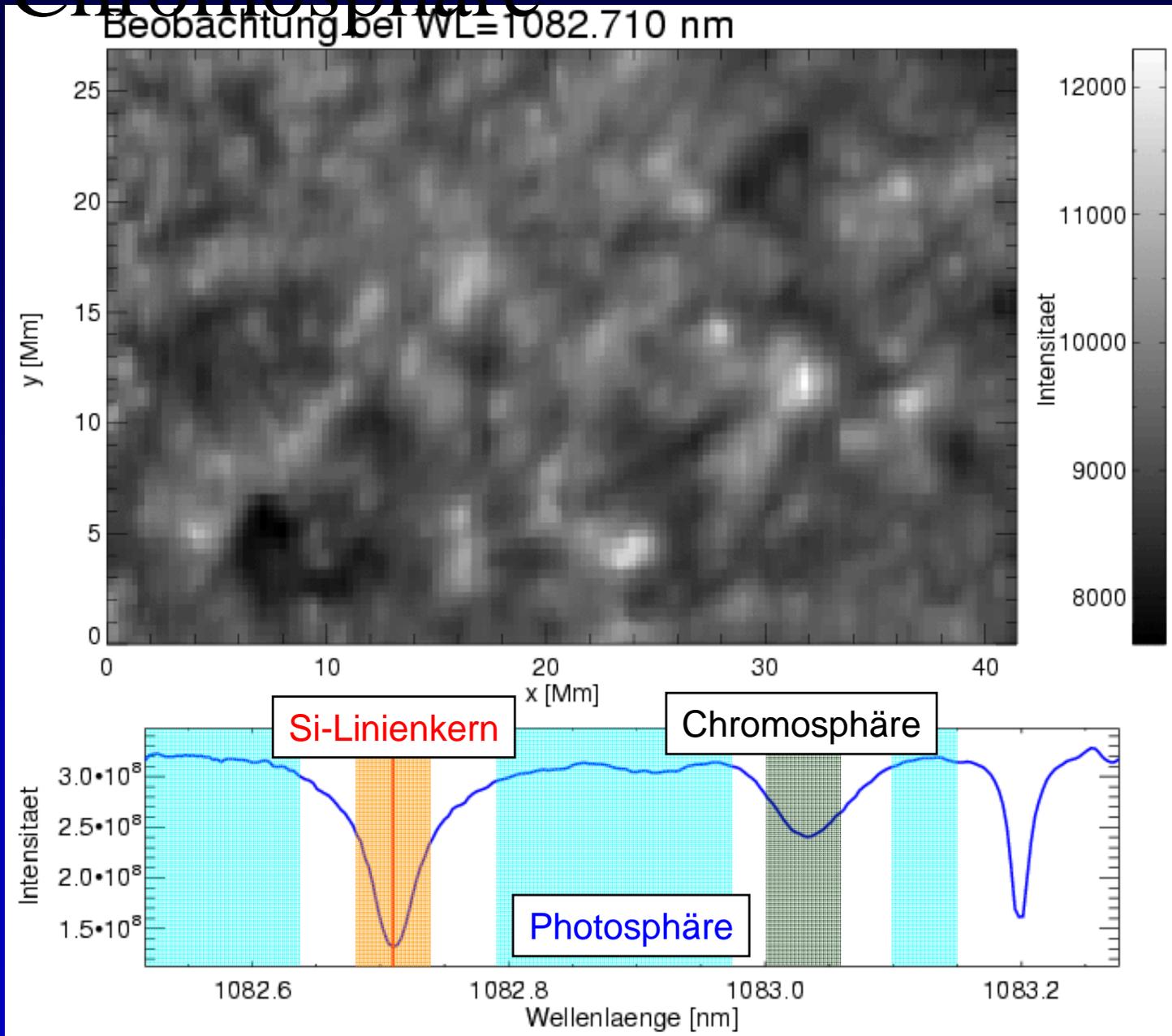
# Photosphäre - Linienkern - Chromosphäre



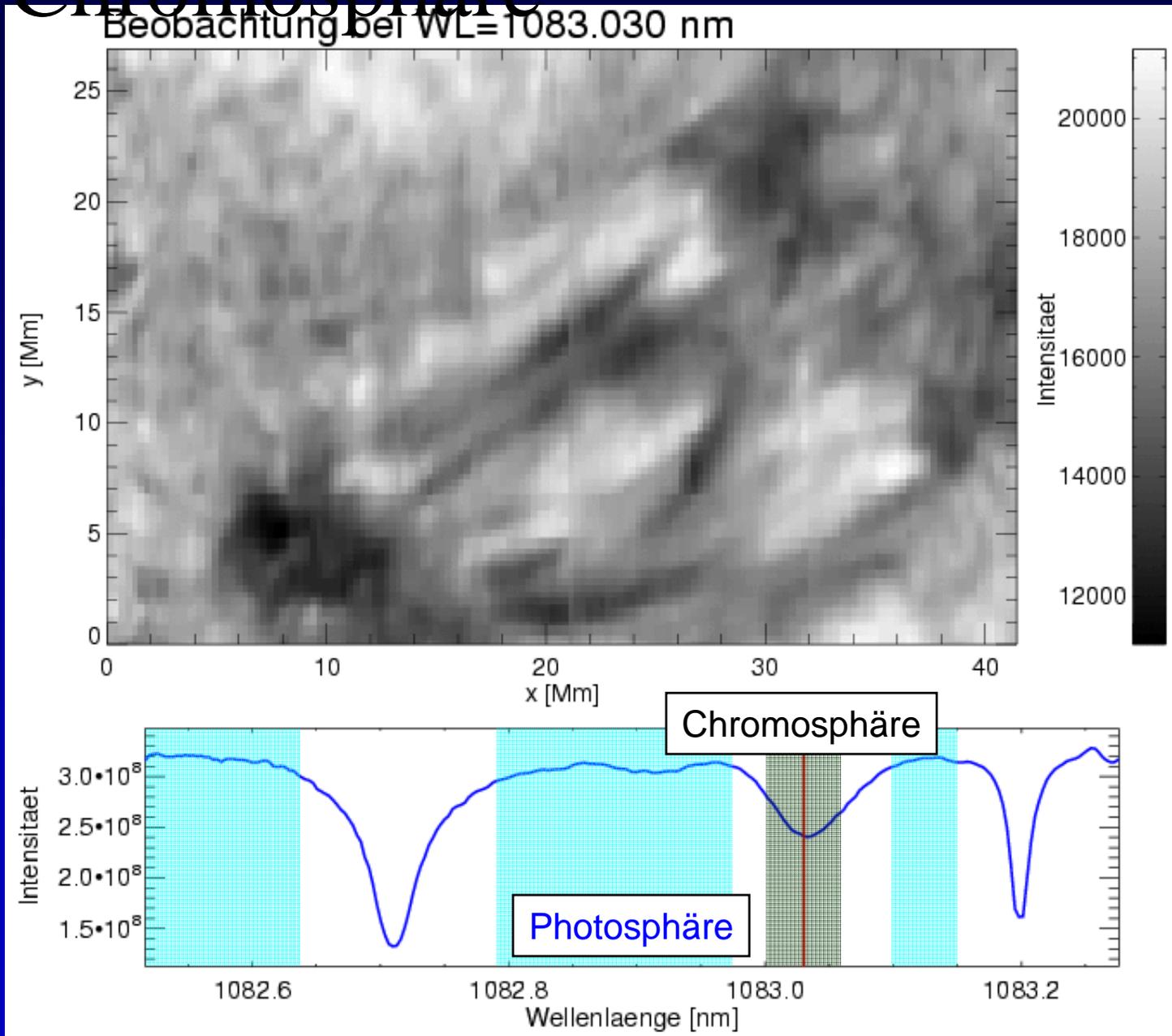
# Photosphäre - Linienkern - Chromosphäre



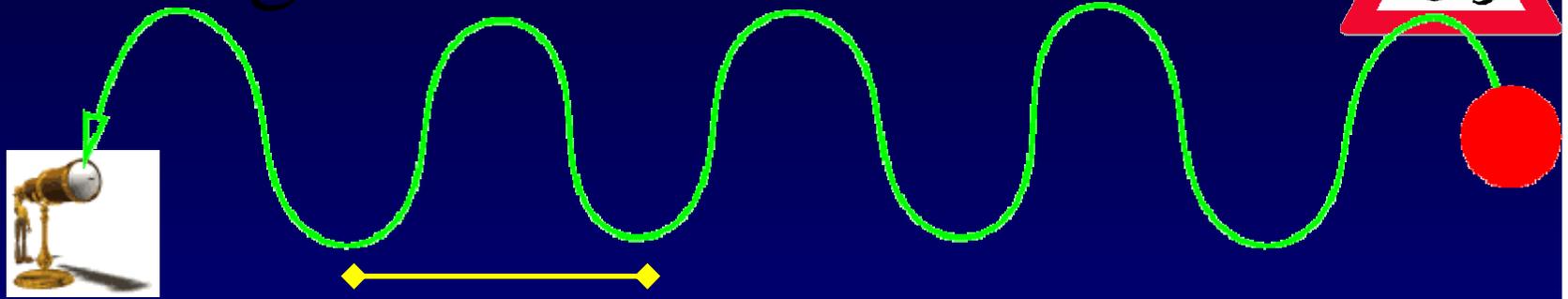
# Photosphäre - Linienkern - Chromosphäre



# Photosphäre - Limbikern - Chromosphäre



# Geschwindigkeiten



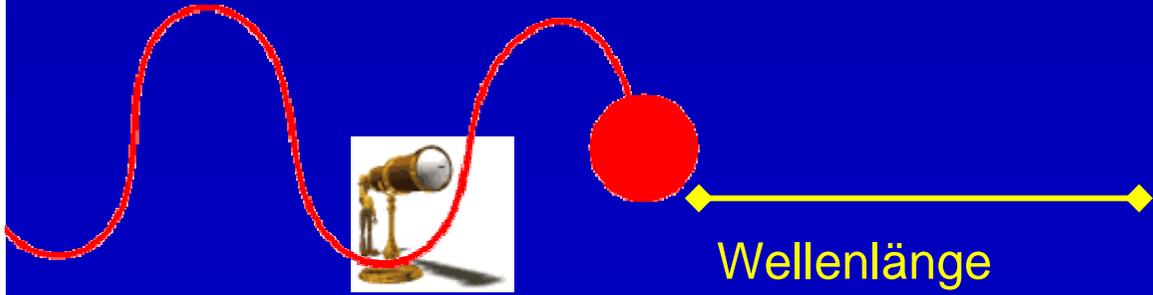
Wellenlänge



Bewegung hin zum Beobachter  
→ Blauverschiebung  
Schall: hoher Ton

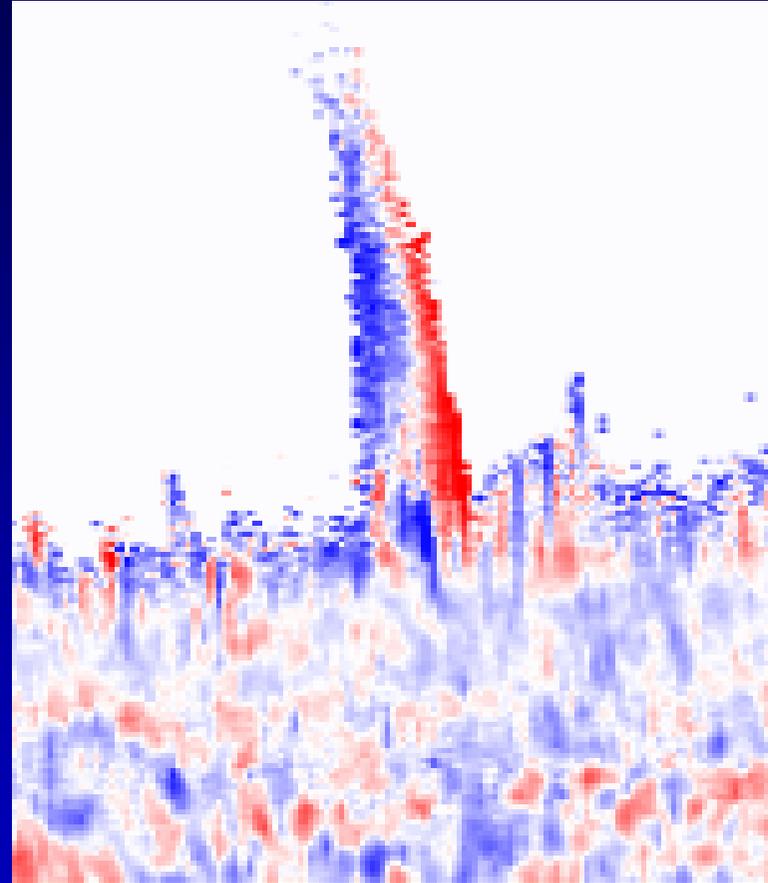
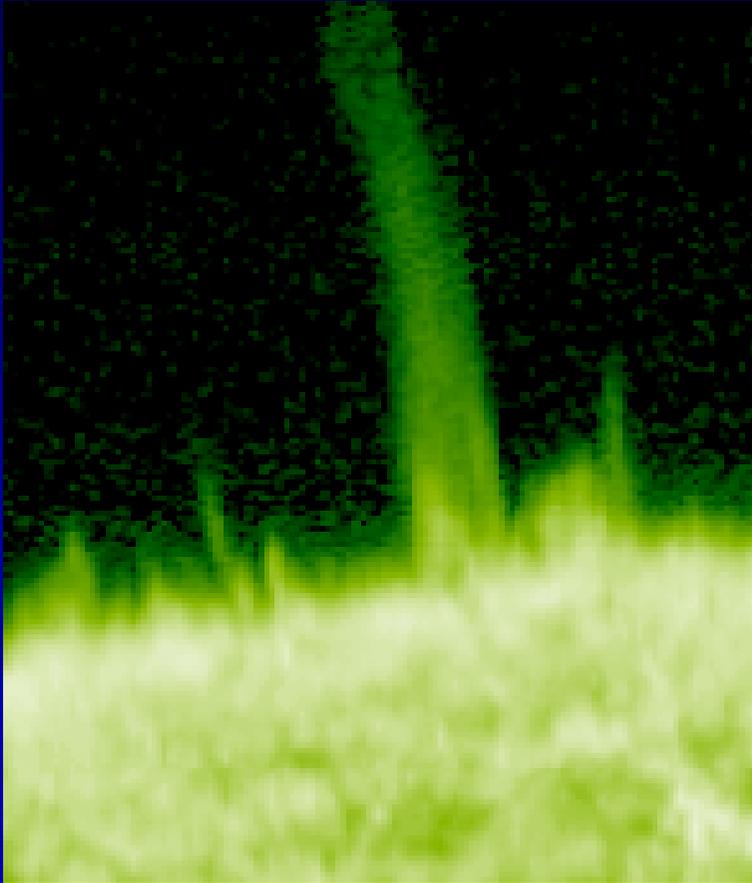
Wellenlänge

Bewegung weg vom Beobachter  
→ Rotverschiebung  
Schall: niedriger Ton



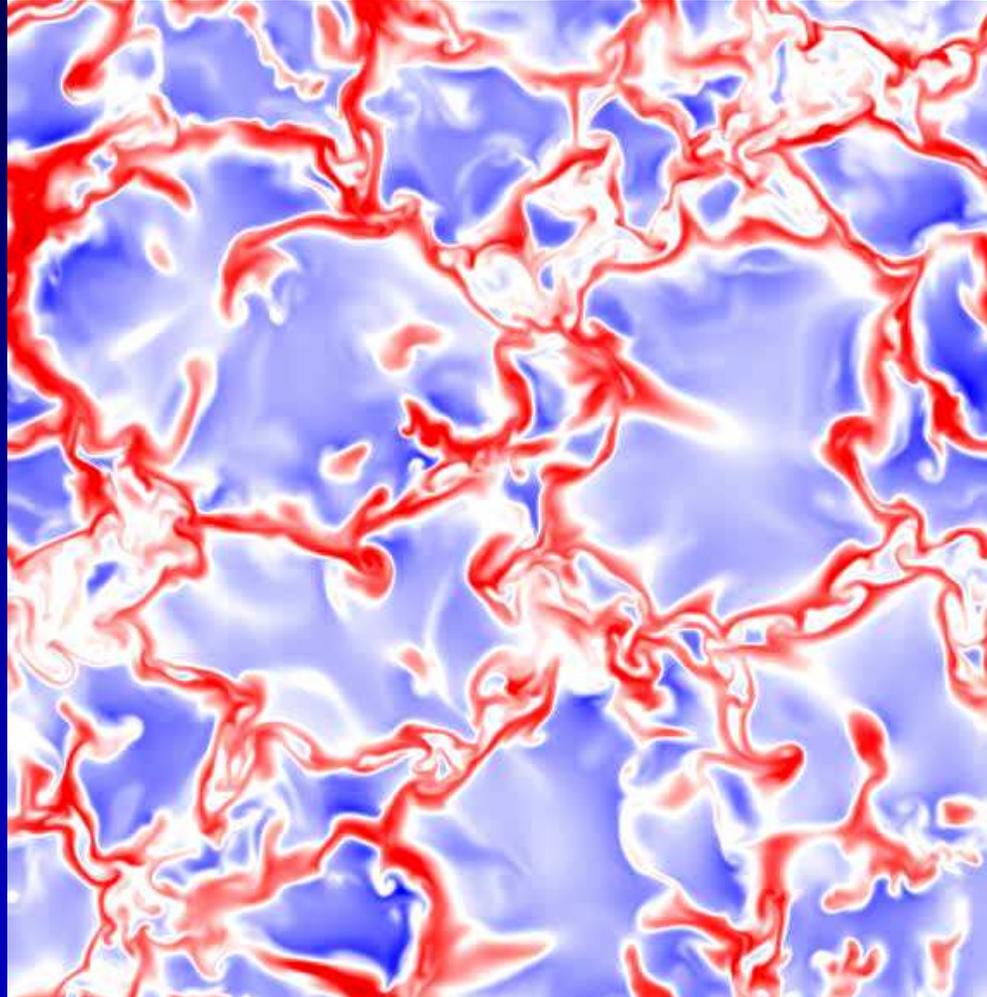
Wellenlänge

# Windgeschwindigkeiten in der Sonnenatmosphäre



Solarer Tornado: Windgeschwindigkeit 50000 km/h

# Konvektion

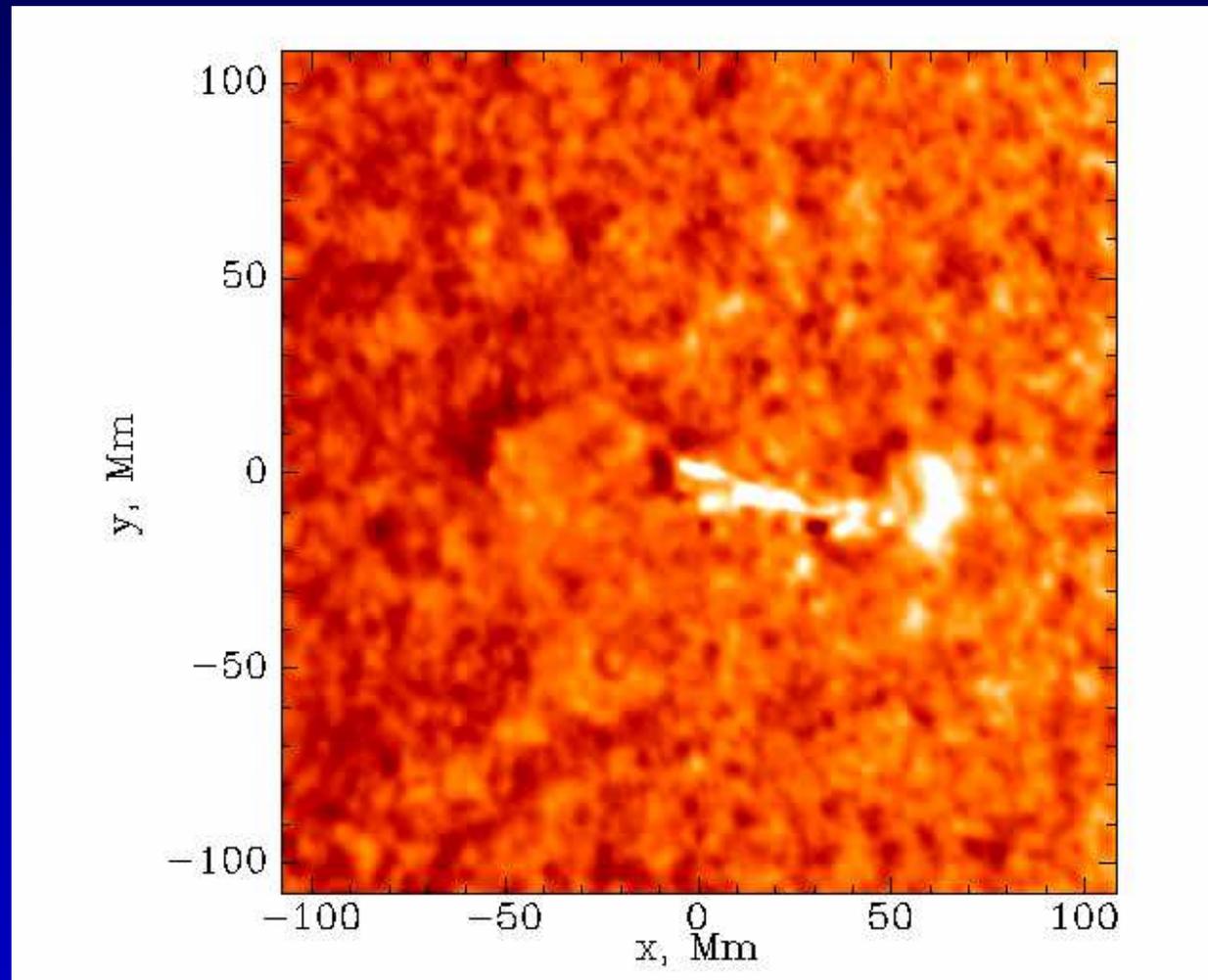


blau:  
Material strömt nach oben

rot:  
Material fließt nach unten

# Helioseismologie

## Sonnenbeben



Dauer des Films: ~ 1 Stunde

# Informationen aus Fraunhofer-Linien

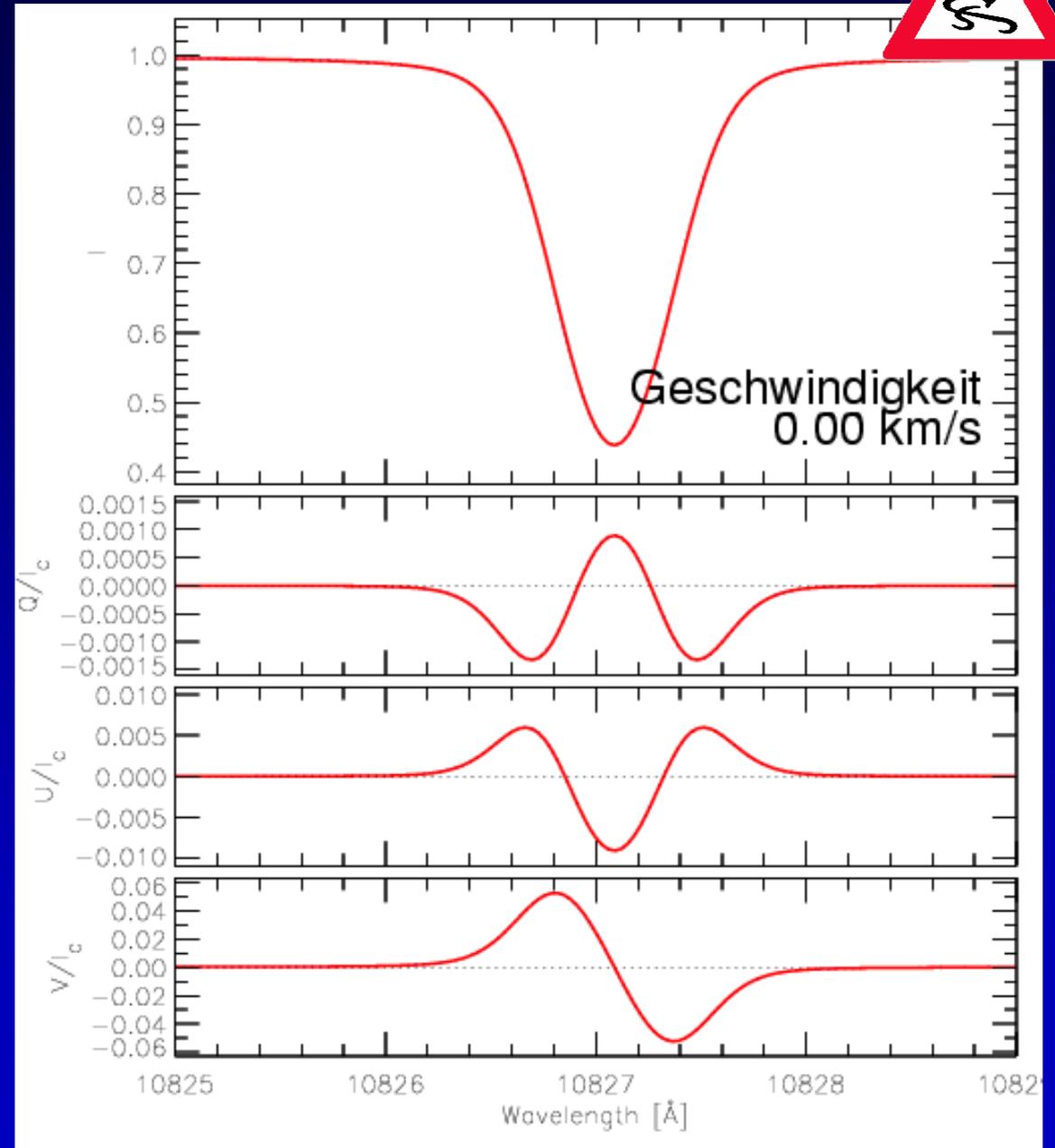


Geschwindigkeiten  
(„Winde“, Strömungen)  
Doppler-Effekt

Temperatur  
(kalt=3500°, heiß=6000°)  
Linienbreite

Dichte  
(Anzahl, Anreicherungen)  
Intensität

Magnetfelder  
(Sonnenflecken)  
Linienaufspaltung



# Informationen aus Fraunhofer-Linien

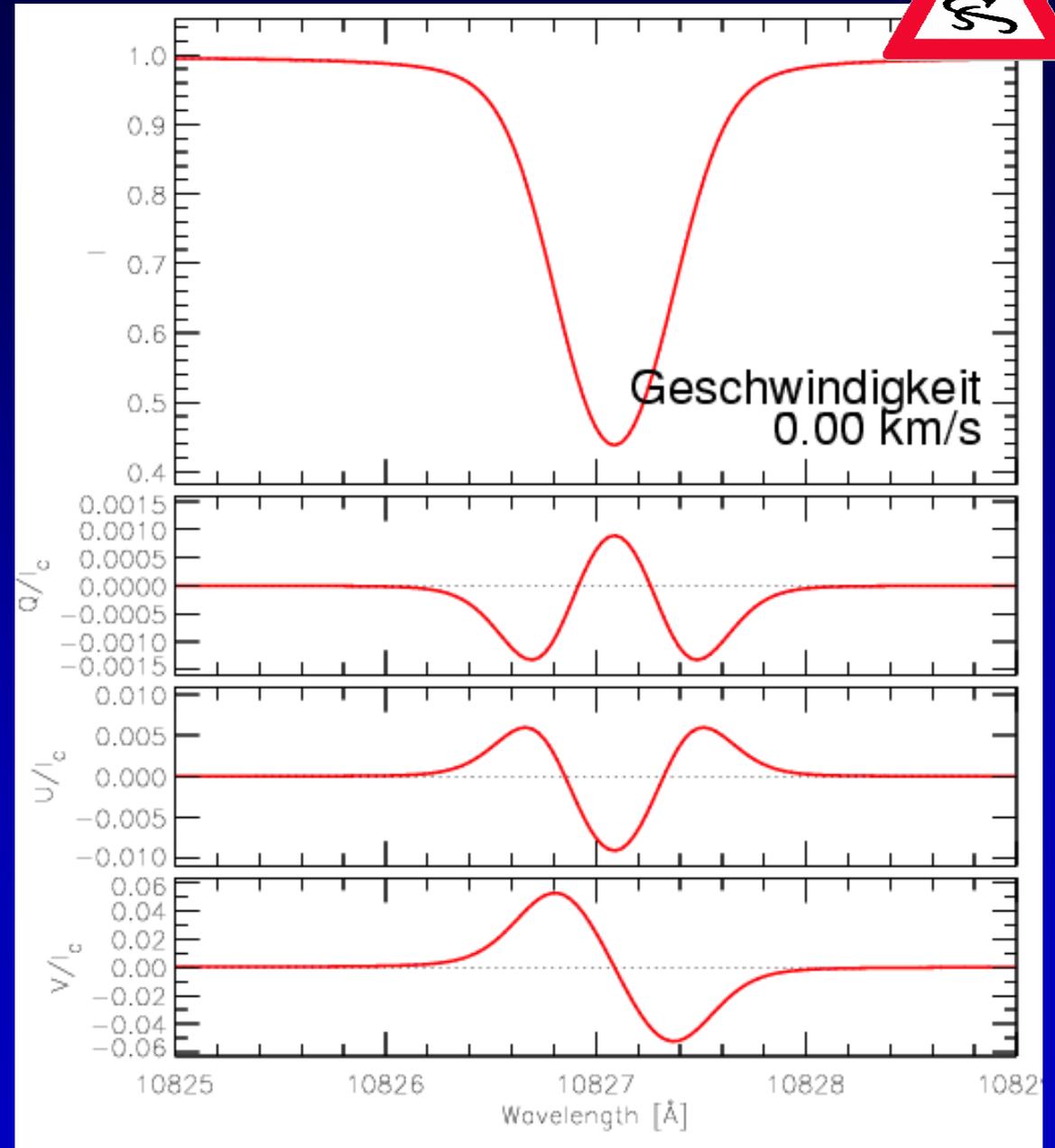


Geschwindigkeiten  
(„Winde“, Strömungen)  
Doppler-Effekt

Temperatur  
(kalt=3500°, heiß=6000°)  
Linienbreite

Dichte  
(Anzahl, Anreicherungen)  
Intensität

Magnetfelder  
(Sonnenflecken)  
Linienaufspaltung



# Informationen aus Fraunhofer-Linien

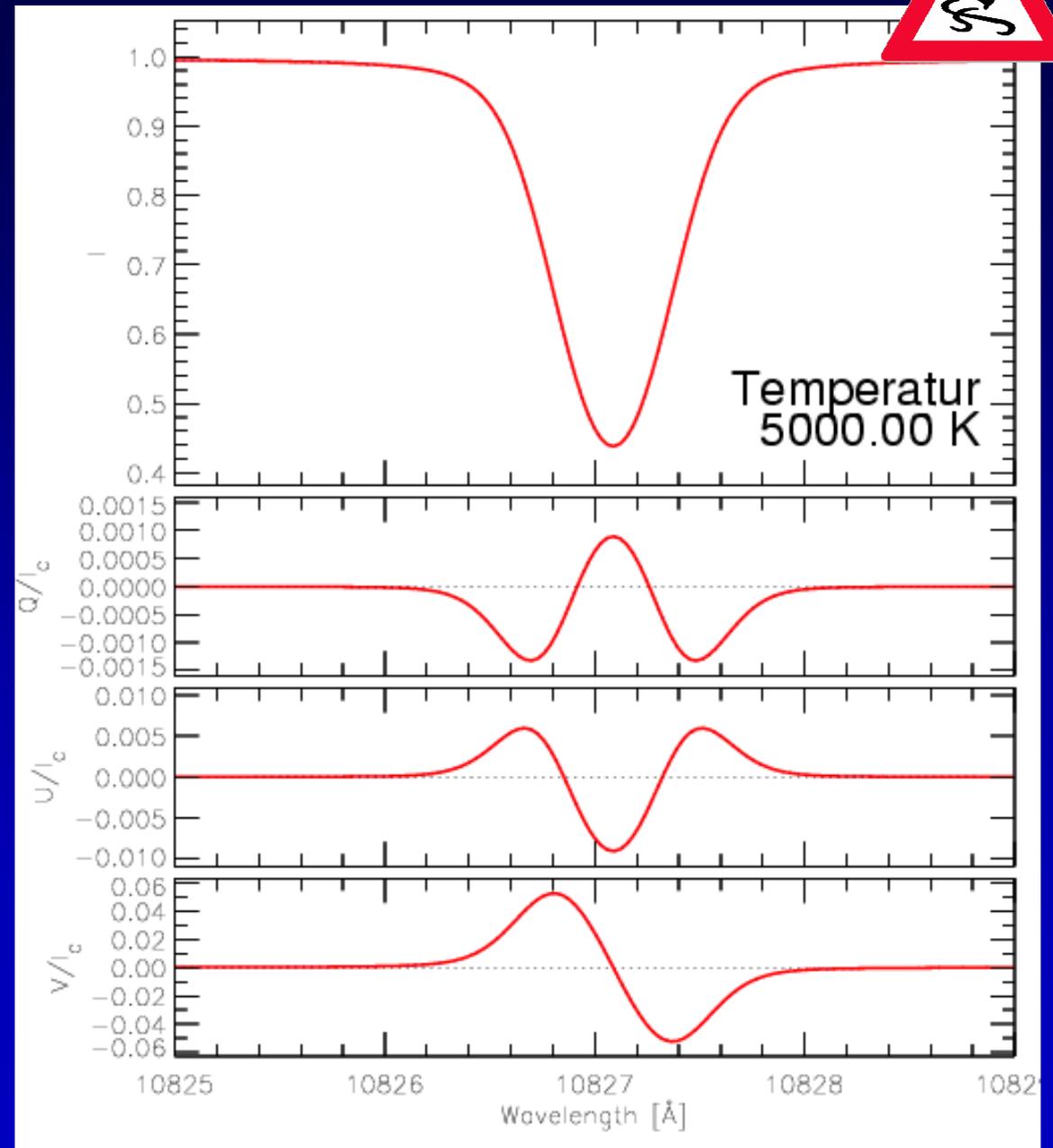


Geschwindigkeiten  
(„Winde“, Strömungen)  
Doppler-Effekt

Temperatur  
(kalt=3500°, heiß=6000°)  
Linienbreite

Dichte  
(Anzahl, Anreicherungen)  
Intensität

Magnetfelder  
(Sonnenflecken)  
Linienaufspaltung



# Informationen aus Fraunhofer-Linien

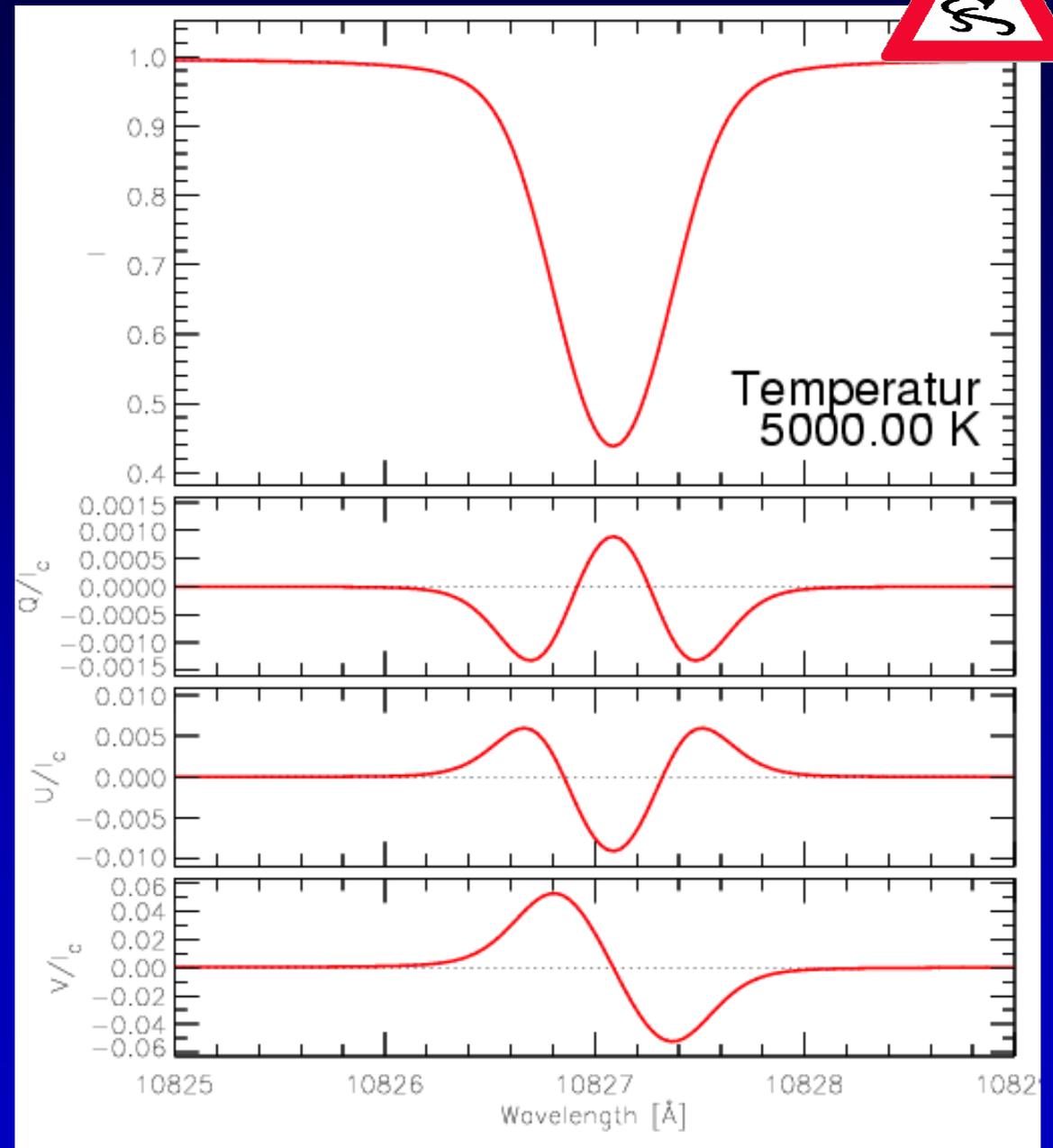


Geschwindigkeiten  
(„Winde“, Strömungen)  
Doppler-Effekt

Temperatur  
(kalt=3500°, heiß=6000°)  
Linienbreite

Dichte  
(Anzahl, Anreicherungen)  
Intensität

Magnetfelder  
(Sonnenflecken)  
Linienaufspaltung



# Informationen aus Fraunhofer-Linien

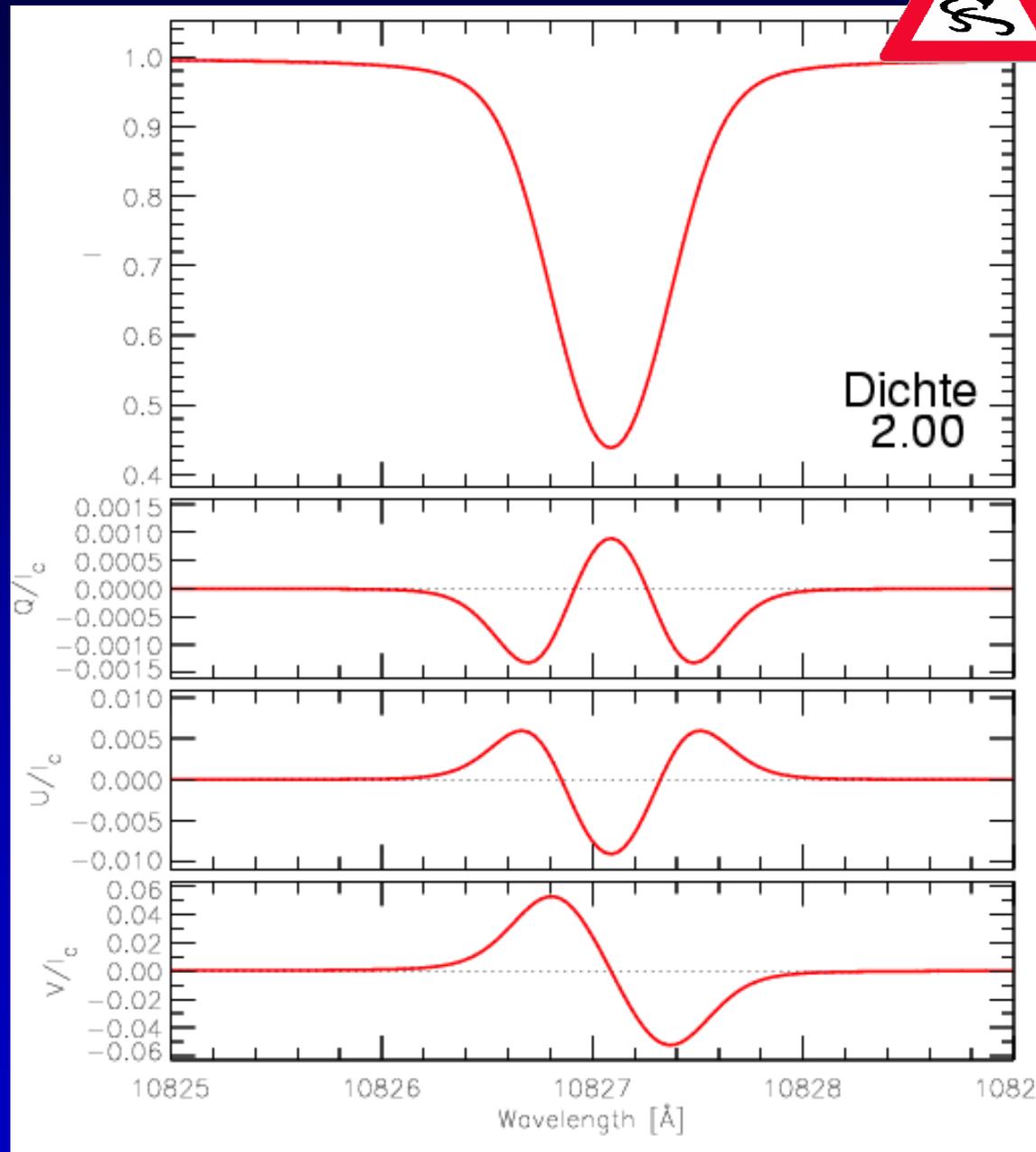


Geschwindigkeiten  
(„Winde“, Strömungen)  
Doppler-Effekt

Temperatur  
(kalt=3500°, heiß=6000°)  
Linienbreite

**Dichte**  
(Anzahl, Anreicherungen)  
**Intensität**

Magnetfelder  
(Sonnenflecken)  
Linienaufspaltung



# Informationen aus Fraunhofer-Linien

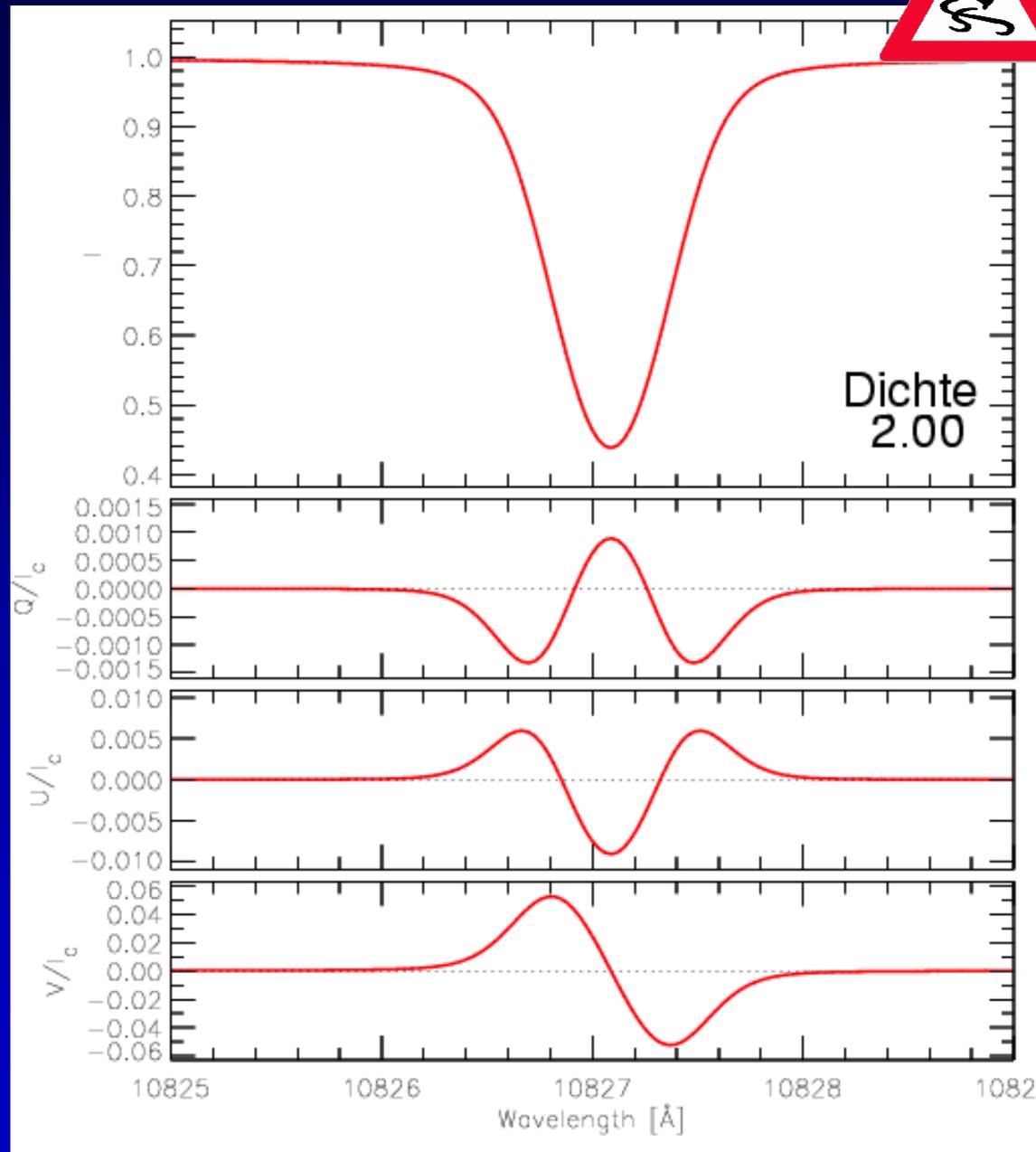


Geschwindigkeiten  
(„Winde“, Strömungen)  
Doppler-Effekt

Temperatur  
(kalt=3500°, heiß=6000°)  
Linienbreite

**Dichte**  
(Anzahl, Anreicherungen)  
**Intensität**

Magnetfelder  
(Sonnenflecken)  
Linienaufspaltung



# Informationen aus Fraunhofer-Linien

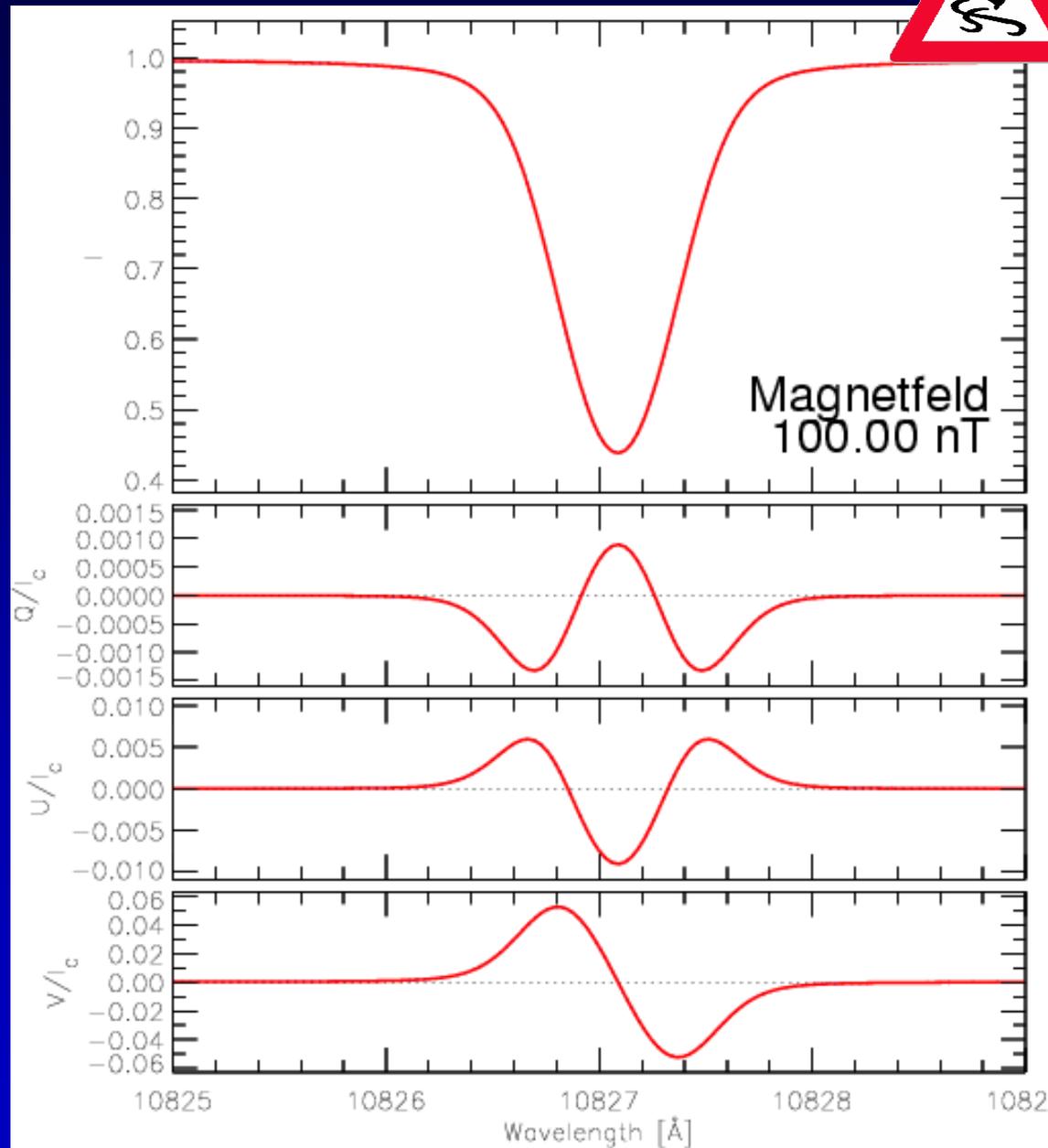


Geschwindigkeiten  
(„Winde“, Strömungen)  
Doppler-Effekt

Temperatur  
(kalt=3500°, heiß=6000°)  
Linienbreite

Dichte  
(Anzahl, Anreicherungen)  
Intensität

Magnetfelder  
(Sonnenflecken)  
Linienaufspaltung



# Informationen aus Fraunhofer-Linien

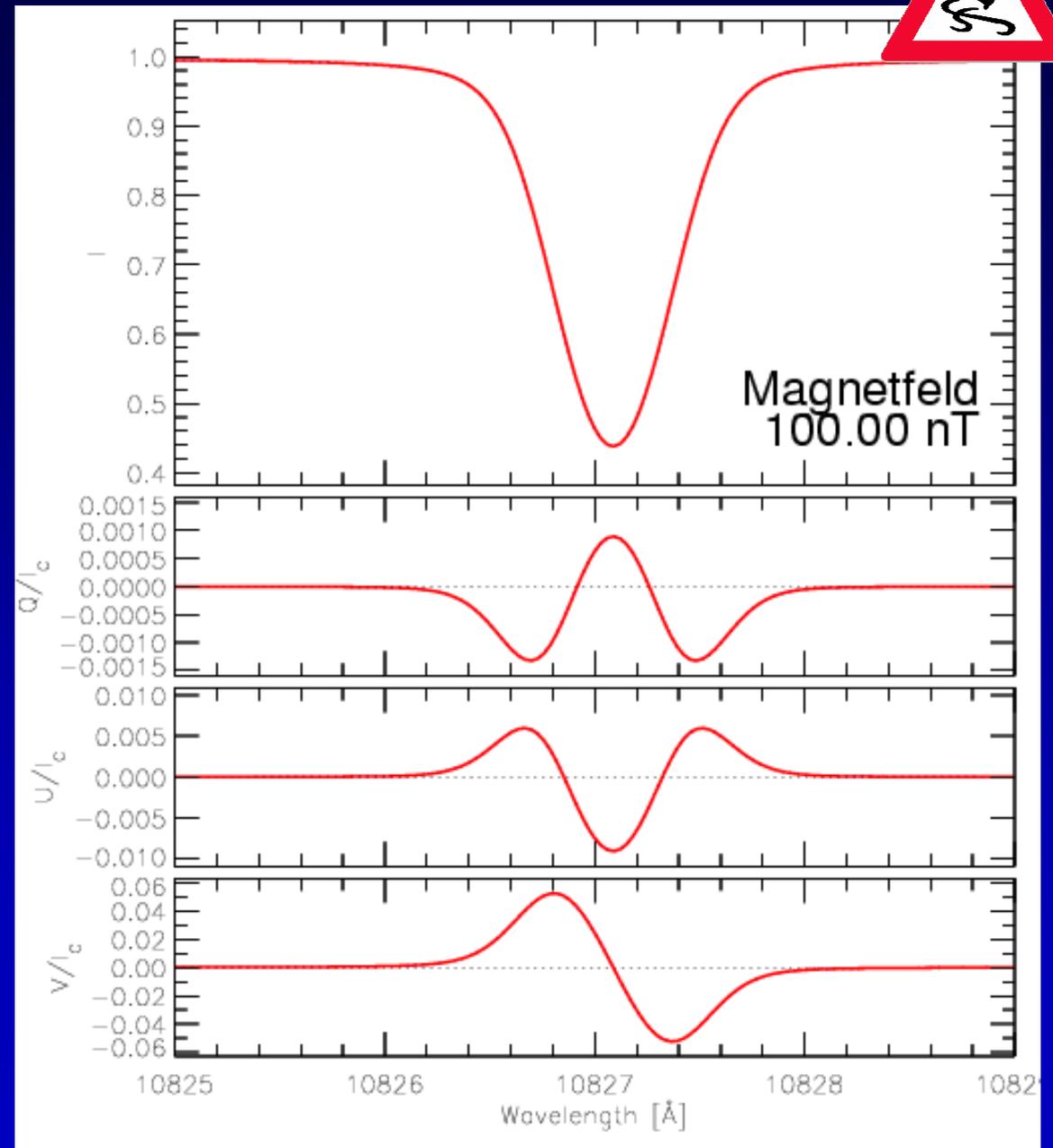


Geschwindigkeiten  
(„Winde“, Strömungen)  
Doppler-Effekt

Temperatur  
(kalt=3500°, heiß=6000°)  
Linienbreite

Dichte  
(Anzahl, Anreicherungen)  
Intensität

Magnetfelder  
(Sonnenflecken)  
Linienaufspaltung



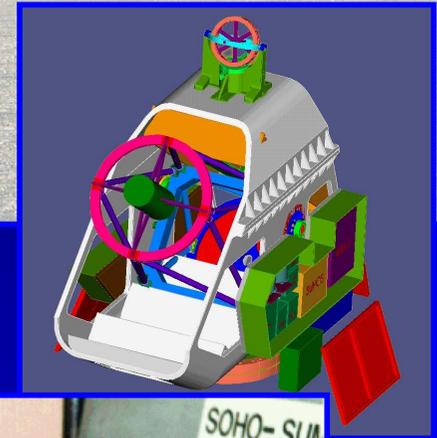
# Was passiert in Lindau?

## Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung

- Gründung: 1948  
(MPI für Ionosphärenforschung)
- 1958: Stratosphäre +  
Ionosphäre = MPI für  
Aeronomie
- seit 1. Juli 2004: MPI für  
Sonnensystemforschung

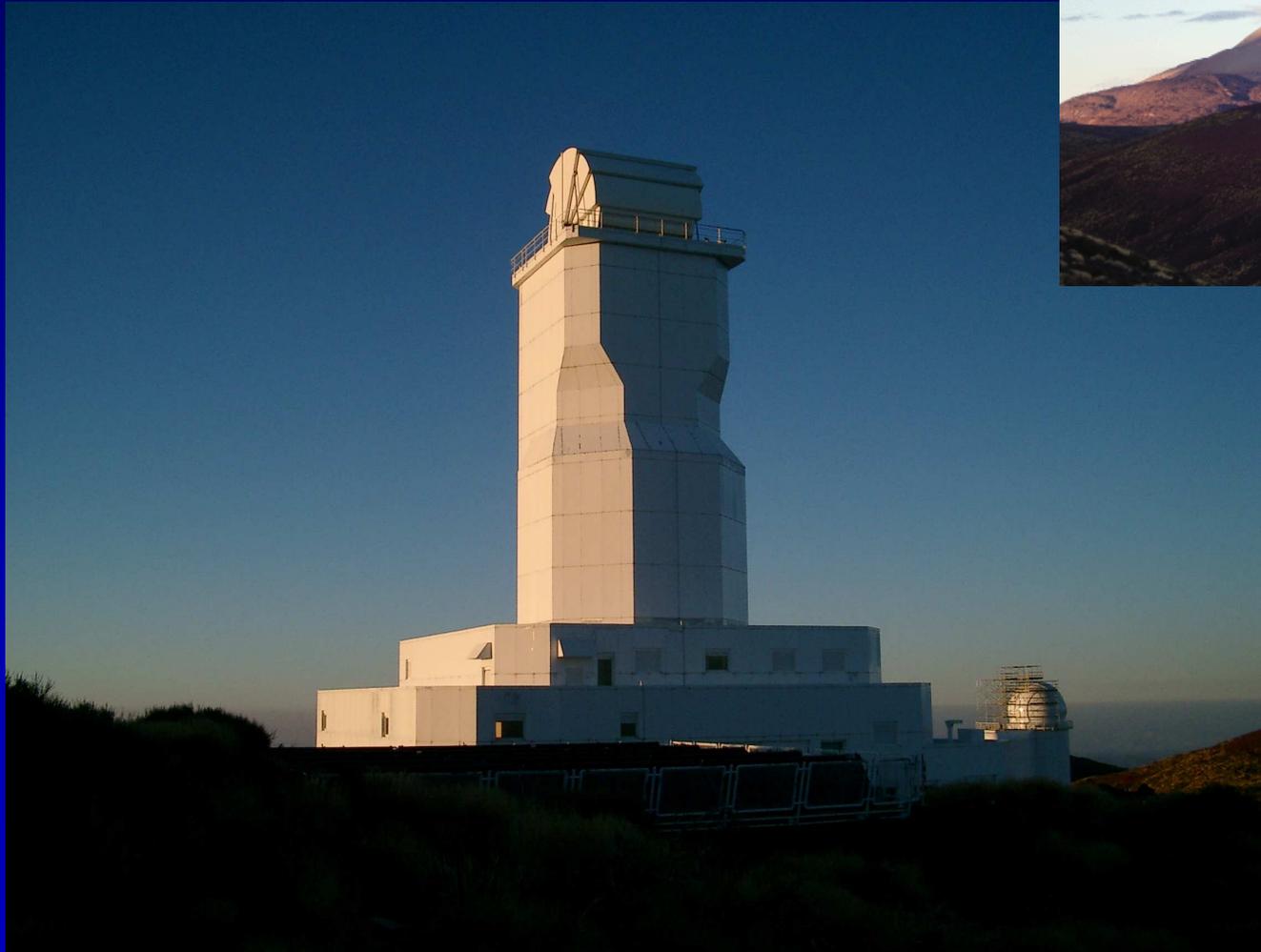


# MPS: Instrumentenbau



# MPS: Sonnenbeobachtungen

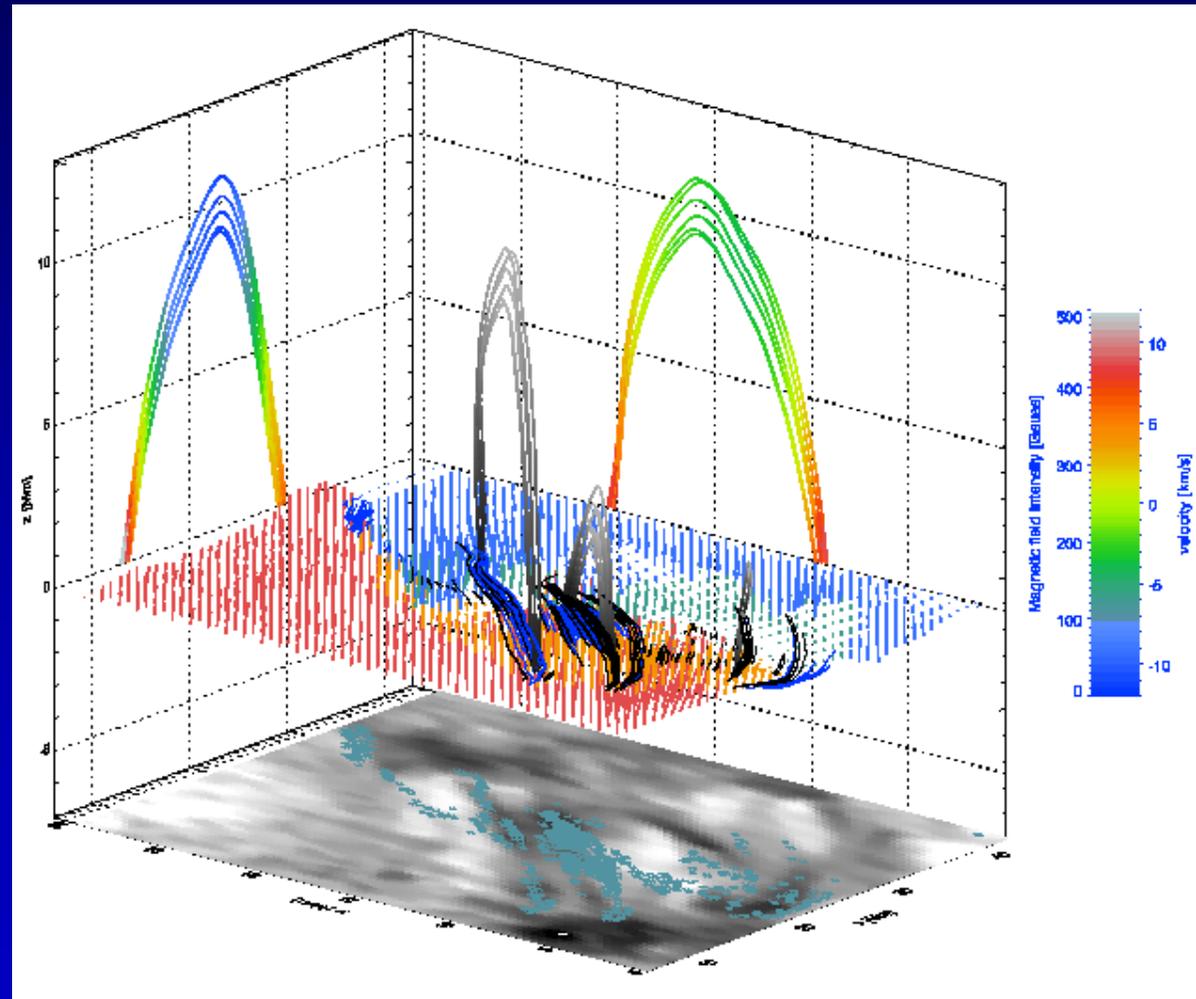
## Bodengebundene Beobachtungen



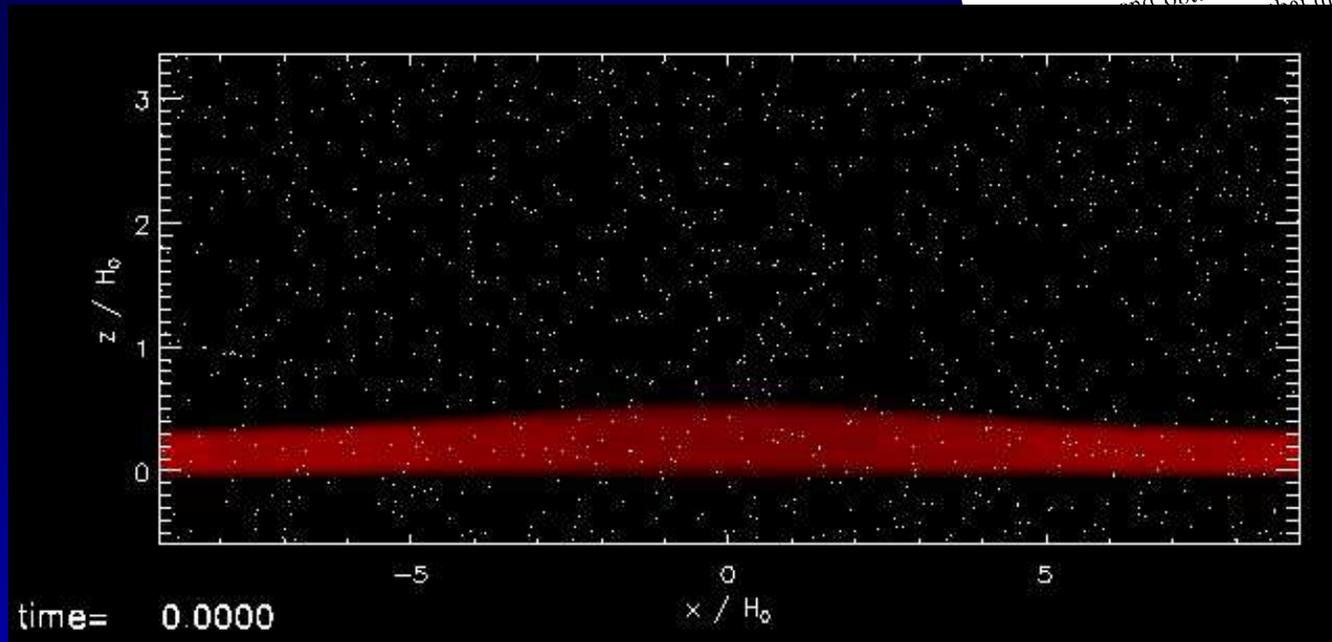
- Teneriffa (Teide-Observatorium)
- La Palma
- Kitt Peak (Kalifornien)
- Locarno (Schweiz)

# MPS: Auswertung von Beobachtungen

z.B. Magnetfeldmessungen



# MPS: Theorien / Modelle



- Anwendung der Formeln auf Supercomputern
- erlauben Einblicke in die grundlegenden Prozesse
- gesucht: optimale Übereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung

cated, at  
presented by Solanki et al.  
a time consuming non-LTE analy  
et al. (1995) the fact that the lin  
and obtain most of their contrib  
that they can be us  
velocity at the  
understand  
work conc  
sums of Ga  
t step we e  
These fits  
netic field  
with the a  
ation to th  
$$\frac{\cos 2\chi + U}{V}$$

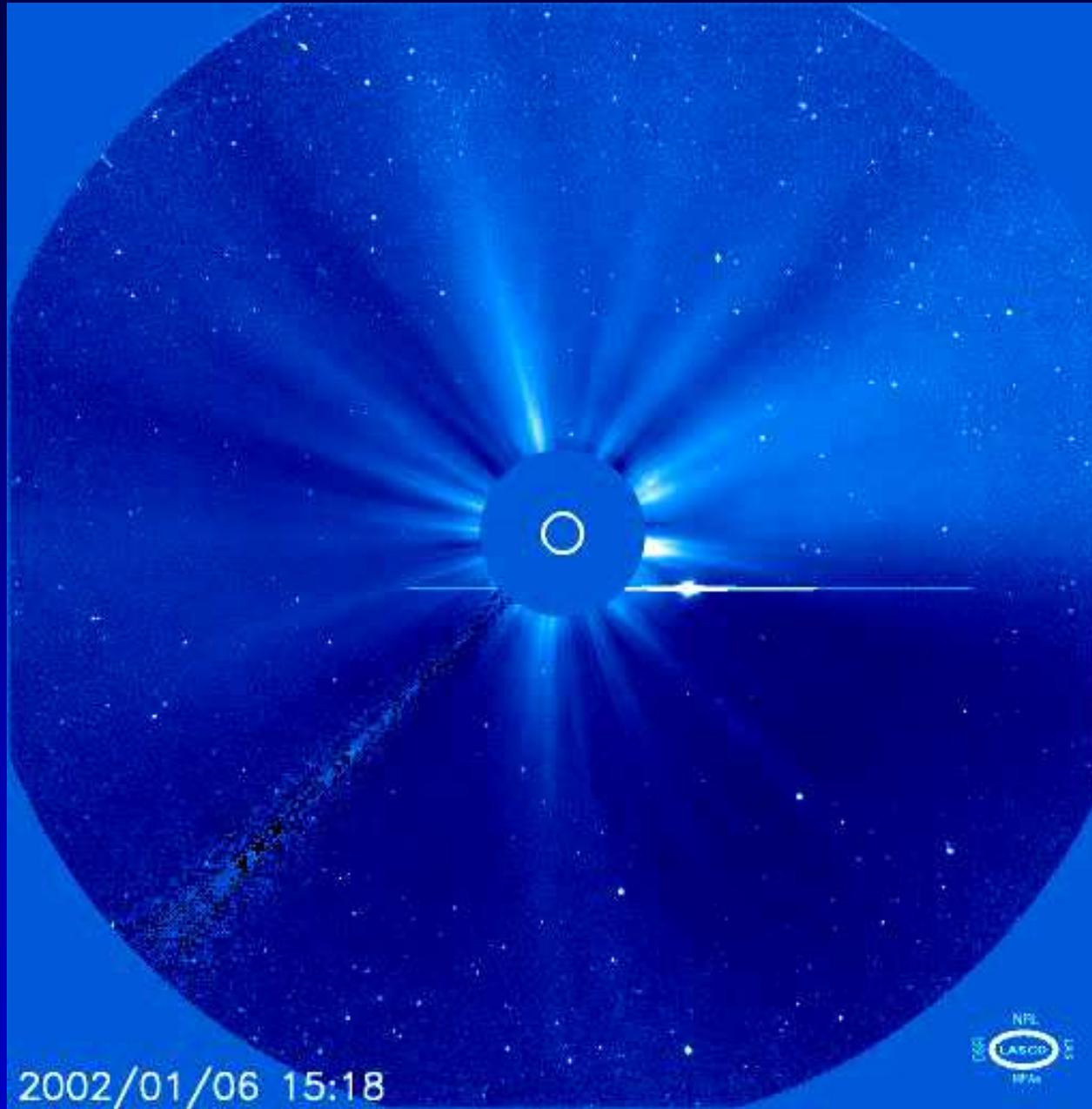
this approa  
est for  $Q$   
small in th  
evertheles  
through the ratio  
(e.g. Landi Degl'I  
Eq. (2) is strictly  
so that it is expec  
duced  $\gamma$ , in parti  
Therefore, v  
approach that  
radiative trans  
2003), as well  
ner, which, h  
The spe  
a spectral  
Lorentzian  
Gaussian,  
Voigt fun  
Landi De  
and the a  
$$\eta_{b,r} =$$

# Warum Sonnenforschung?

Sonnenforschung ist **zweckfreie** Grundlagenforschung

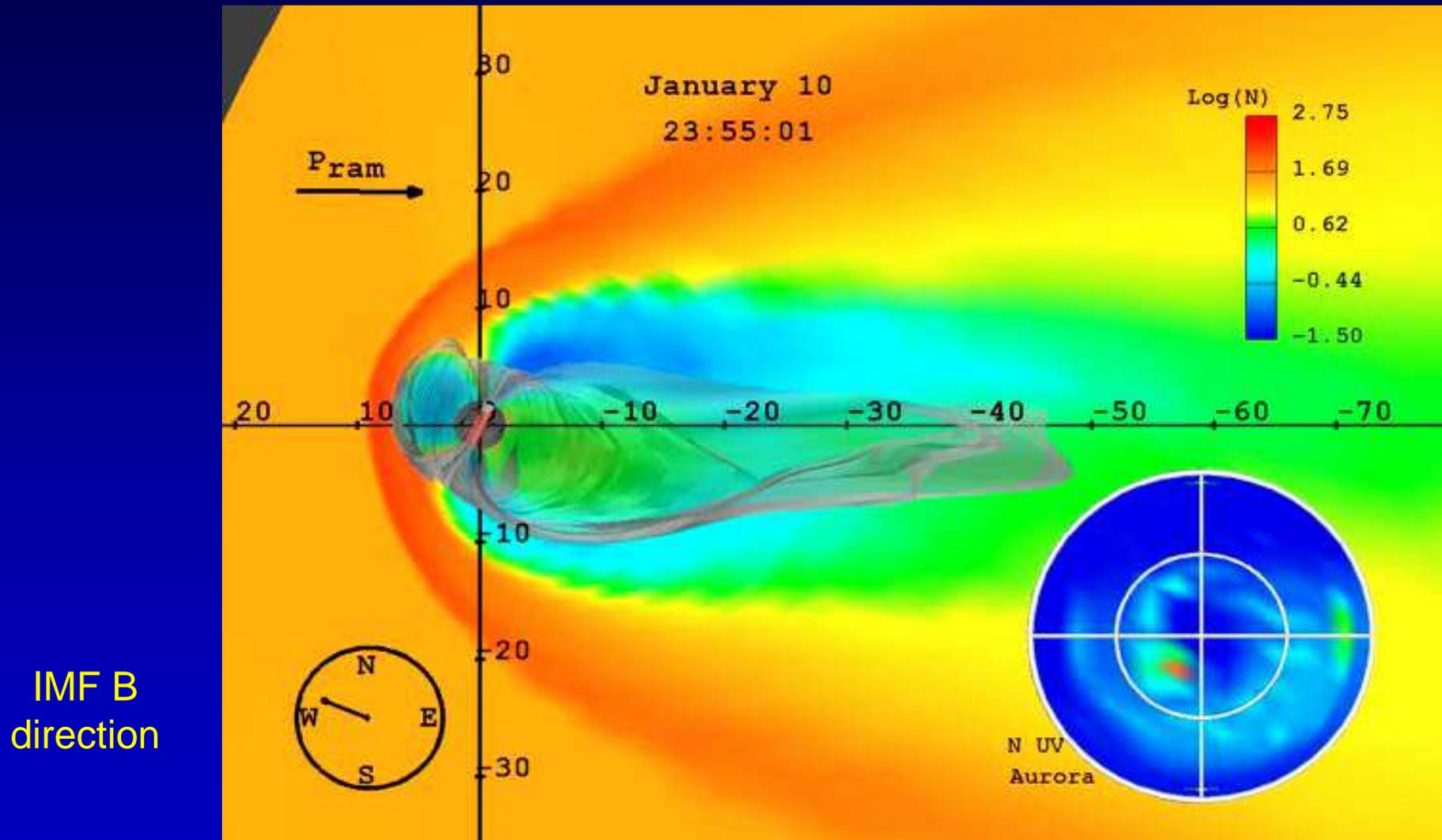
- Forschung ist neugiergetrieben
  - Forschung ist ergebnisoffen
  - Forschung ist nicht produkt- oder gewinnorientiert
- unvermeidbar: Anwendungen
- Sonne als Labor  
→ Atomphysik (Laser)
  - Technologieentwicklung
  - „Space Weather“
  - Zusammenhang Sonne-Klima

# Sonnensturm: Gefahr für die Erde?



# Geomagnetischer Sturm

Simulation: Reaktion der Magnetosphäre auf Massenauswurf von 6.1.97



Avg. solar wind speed: 410 km

Goodrich et al. 1998 GRL

**BILD**  
UNABHÄNGIG · ÜBERPARTEILICH  
www.bild.de

**Fleischessen erhöht Krebsrisiko**  
Washington – Wer regelmäßig viel Rind- oder Schweinefleisch isst, erhöht das Risiko an Darmkrebs zu erkranken dramatisch. Forscher der „Amerikanischen Krebsgesellschaft“ (ACS) hatten 150.000 Personen befragt. Ergebnis: Bei den Viel-Fleischessern stieg das Krebsrisiko um 40 Prozent. Warum das Fleisch die Tumorentstehung begünstigt, ist noch nicht bekannt.

**Neues Auto**  
Im Web über 700.000 Top-getraute  
**Neues Zuhause**  
Im Immobilienmarkt der schnelle Weg in die Traumwohnung  
**Neuer Job**  
Stellenbörse klicken, finden, online bewerben  
Heute bei www.bild.t-online.de

**Tsunami-Erdbeben hob Deutschland an**  
Düsseldorf – Das verheerende Erdbeben vor Sumatra am 26. Dezember hat auch Deutschland angehoben: Im Abstand von zwanzig Sekunden hat sich die Erde mehrfach um sechs Millimeter bewegt, sagte der Leiter der Erdbebenwarte Biersberg (Universität Köln). Die Kraft des Bebens sei so groß gewesen, daß man damit den gesamten Energiebedarf Europas für drei Monate und 21 Tage hätte decken können.

**Tägliches Bier hält Frauengehirn fit**  
Washington – Täglich ein Glas Bier oder Wein – und das Gehirn von Frauen bleibt auch im Alter fit und munter! US-Wissenschaftler untersuchen in einer Langzeitstudie 12.480 Frauen zwischen 70 und 81 Jahren heraus: Bei Frauen, die täglich einen Drink zu sich nehmen, läßt das Gedächtnis weniger stark nach als bei solchen, die gar nicht trinken. Die Forscher gehen davon aus, daß dies auch für Männer gilt.

**Nazi-Skandal im Landtag**  
Nazi-Eklat im sächsischen Landtag. Während einer Schweigeminute für die Opfer der NS-Herrschaft verließ die NPD den Saal – Seite 2.

**Orkaner Sturm!**  
Mega-Explosion auf der Sonne! Strahlenhagel prasselt Richtung Erde. Plasma-woiken rasen auf uns zu. Experten befürchten Blackouts von Satelliten, Handys und TV-Geräten. Sogar die Weltwirtschaft könnte abschließen – letzte Seite.

**Heidi friert nie...**  
Heizkostennachzahlung? Also, Heidi ist da kein raus. Sie weiß nämlich, wie echtes Energiesparen geht: Öhrchen immer schön warmhalten. Die empfindlichen Stellen mit einem warmen Hut abdecken. Und wenn's doch mal zu kalt wird, schnell ins Bettchen springen. Rätzlatz – da wird ihr ganz schnell wieder heiß...



**Steinbrück will DNA-Tests ausweiten**  
Düsseldorf – Nordrhein-Westfalens Ministerpräsident Peer Steinbrück (SPD) hat gefordert, DNA-Tests für alle Straftaten breiter anzuwenden. Steinbrück zu BILD: „Ein Kindermörder darf nicht frei herumlaufen, wenn wir das mit der DNA-Analyse auch für minder schwere Straftaten, die vorher begangen wurden, verhindern können.“ Die Behörden von Daleschütz zern teilte er nicht. Die DNA-Überprüfung sei wie der Vergleich von „Dokumenten mit chinesischen Schriftzeichen“, Steinbrück verglichen. „Vergleichen wird nur, ob sie übereinstimmen, ohne daß jemand weiß, was sie bedeuten.“

**HypoVerleinsbank Milliarden-Verlust**  
München – Riesen-Minus für die HypoVerleinsbank: Deutschlands zweitgrößte Bank hat 2004 erneut einen Mrd.-Verlust erwirtschaftet. Ursache seien u.a. „faule Immobilienkredite“ in Höhe von 2,75 Mrd. Euro. Es werde nicht mehr damit gerechnet, daß Kunden diese Kredite zurückzahlen.

**Gegen Renten-Erhöpfung**  
Berlin – Sozialministerin Ulla Schmidt (SPD) hat Forderungen nach einer Rentenerhöhung im Sommer als „blanke Effekthascherei“ zurückgewiesen.

**EU-Kommission verurteilt Brüssel**  
Die neue EU-Kommission unter Präsident José Manuel Barroso ist vor dem Europäischen Gerichtshof in Luxemburg verurteilt worden.

**Geheimtransport auf Estonia**  
Stockholm – Eine schwedische Untersuchung hat bestätigt, daß auf der verunglückten Fähre Estonia (852 Tote) geheime Elektroausrüstungen des sowjetischen KGB transportiert wurden. Das Material sei allerdings nicht explosiv gewesen.

**Feuer in Atomkraftwerk Buzapest**  
in ungarischen Atomkraftwerk Paks brach abends ein Feuer aus. Der Brand wurde schnell gelöscht.

**Französisch beliebt**  
Wiesbaden – Die deutschen Schüler stehen auf Französisch als Fremdsprache. Laut Statistischem Bundesamt nahmen 2004 rund 1,6 Millionen Jugendliche am Französisch-Unterricht teil.

**NACHRICHTEN** Leserbrieffe Seite 6

**DRK-Hospital fertig**  
Colombo – Das mobile Krankenhaus des DRK in den Flutgebieten von Sri Lanka ist fertig aufgebaut. Es kann täglich 500 Patienten behandeln.

**Fötus 50 Jahre in Mutter**  
Hanoi – Ärzte haben in Vietnam einer Frau (75) einen 50 Jahre alten Fötus herausoperiert. Das Baby war 45 cm lang und wog 2,1 Kilo.

**Schiffs-Crash auf Bosphorus**  
Istanbul – Bei dichtem Nebel kollidierte auf dem Bosphorus eine voll besetzte Personenfähre mit einem leeren Tankerschiff. Drei Passagiere wurden leicht verletzt.  
**Börse**  
Frankfurt/M. – Xetra Dax: 4216 (-4), Euro: 1,2965 (1,2936) Dolar: Kilobaren Gold: 10 475 (r. 15).

**Sonabend TV-TIPS Sonntag**

**„Wetten, dass...?“ Show**  
Das erste „Wetten, dass...?“ kommt in diesem Jahr aus Hannover. Thomas Gottschalk präsentiert mit Gerard Depardieu, Sag-Tenor Placido Domingo und Musical-Komponist Andrew Lloyd Webber. Dazu gibt's die neue Popkönigin Joss Stone (17) – und natürlich spannende Wetten. **Werden Sie „Wetten, dass...?“ Superstar!** Alles über die Gewinn-Aktion auf S. 6  
ZDF, 20.15 Uhr

**„Die Burg“ Reality-Show**  
Zehn Promis ziehen auf eine Mittelaltersburg in Österreich. Die einen leben bereits als Adlige, der Rest schließt in Armut. Sonya Kraus und Ebon modernisieren das Spektakel. Als Kandidaten u. a. dabei Prinz Friedrich von Ahltholt und Comedy Star Tanja Schwanert.  
Pro Sieben, 22.30 Uhr

**Man sieht sich immer zweimal.**  
Diesen Sonntag in BILD am SONNTAG: die Bundesligae-Rückrunde im größten Sportteil aller Zeiten.  
Bild am Sonntag

**Soviel Heizkosten müssen Sie für 2004 nachzahlen**

Von JAN W. SCHÄFER Hamburg – Millionen Mieter müssen in den nächsten Wochen mit hohen Nachzahlungen für Heizung und Strom rechnen! Laut Mieterbund drohen Zusatzausgaben von bis zu 30 Prozent. Grund: die im vergangenen Jahr deutlich gestiegenen Öl- und Erdgaspreise. BILD sagt, mit welchen Nachzahlungen Durchschnittsmieter für 2004 maximal rechnen müssen:

Größe der Wohnung (m²)	Heizöl (Euro)	Gas (Euro)	Strom (Euro)
30	+77	+46	+14
50	+96	+58	+17
60	+115	+68	+19
70	+134	+80	+22
80	+154	+92	+25
90	+172	+103	+28
100	+192	+114	+32
120	+230	+136	+48
Freistehendes Haus			
120	+263	+131	+48
150	+375	+164	+50



**GEWINNER**  
Jetzt räumt Audi richtig ab! Nach dem „Goldenen Lenkrod“ von BamS gewinnt der neue Audi A6 jetzt auch den ersehnten ADAC (15 Millionen Mitglieder) vergebenen „Gelben Engel“ für das beste Auto 2005! Die Leser der ADAC-Motorwelt wählten den Opel Astra und den VW Golf auf die Plätze zwei und drei. BILD meint: Turbo-stark!

**Landpartie für 4,99 €**

**Siegfried Lenx**  
*So zärtlich war Süßkyken*  
Die BILD Bibliothek: Jede Woche ein neuer Bestseller!  
Jetzt im Buch- und Zeitschriftenhandel.  
Bild Dir Deine Meinung!

# Wird unsere liebe Sonne jetzt böse?

**Dieser gigantische Strahlungsturm gefährdet den Schutz der Erde**

Der größte Sonnenfleck, der je gemessen wurde. Auf der Sonnenoberfläche ist es 6000 Grad heiß. In diesem Explosionskern aber herrschen unvorstellbare zwei Millionen Grad Celsius

Der Riesenknall auf der Sonne! Ein Fleck von der Größe Jupiters ist explodiert – 318mal so groß wie die Erde!

Die Eruption entfesselt eine Plasmawolke, gespickt mit Milliarden elektrischer Teilchen. Jetzt rast der Strahlungshagel auf die Erde zu.

Sonnenphysiker Rainer Schwenn (62) vom Max-Planck-Institut in Katlenburg (Niedersachsen): „Gewöhnlich benötigen diese Wolken vier Tage, um die 150 Millionen Kilometer zurückzulegen. Heute erreichen sie die Erde in nur zwei Tagen. Der Einschlag der Teilchen wird die Erde umhüllen.“

gen. Heute erreichen sie die Erde in nur zwei Tagen. Der Einschlag der Teilchen wird die Erde umhüllen.“

Sonnenwinde den Aufprall der normalen kosmischen Strahlung auf die Erde. Resultat: Weniger Wassertröpfchen bilden sich in der Atmosphäre – es regnet nicht. Sonneneruptionen können sogar die Weltwirtschaft gefährden. Schon vor 150 Jahren hat der englische Ökonom Stanley Jevons bewiesen: Verlängert sich die Eruptionsphase, drohen Dürren, Mißernten und weniger Wohlstand.

heißt das die Erde auf? Ja. Eine aktive Sonne strahlt härter – es wird wärmer. Auch verhindern diese

**Nein!**

**Liebe ist...**

... sich nicht länger als für einen Kuß voneinander trennen zu wollen.



**Deutscher Tourist überfährt Ehefrau**

Wellington – Tragischer Unfall im Urlaub: Auf einem Parkplatz in Wellington (Neuseeland) fuhr ein deutscher Tourist (74) seine Ehefrau (64) tot. Sie hatte ihn in eine Parklücke dirigieren wollen, als der Mann von der Bremse abrutschte und auf Gaspedal trat.

**Der US-Präsident geht auf Schmuse-Kurs**

Von TOM JUNKERSDORF

Washington – Amerika feiert sie schon als die neuen Kennedys. Das Power-Couple George W. Bush (58) und Ehefrau Laura (58), die reichste Ehefrau der Welt, im...  
 Yorks Edeldesigner Oscar de la Renta (10 000 pro Kleid) schneidert für sie Maß. Sie ist Haferbrei mit Früchten, macht Yoga, st...  
 Tanz in die zweite Amtszeit: US-Präsident



**Mafia tötet sechs Knast-Aufseher**

Mexico-City – Die Drogenmafia schlug blutig zurück. In der mexikanischen Grenzstadt Matamoros wurden in einem Geländewagen sechs ermordete Aufseher eines Hochsicherheitsgefängnisses gefunden. Erst in der letzten Woche hatte die mexikanische Bundespolizei die Kontrollen in dem Gefängnis verschärft: Jahrelang hatten Insassen dort Aufseher geschmiert.

**DAS Bild WETTER** Für Samstag 22. Januar 2005