The image shows the Venus Express satellite in orbit around the planet Venus. The satellite is a small, boxy spacecraft with a large parabolic dish antenna on its front and two large solar panel arrays on its sides. The planet Venus is visible in the background, showing its characteristic orange and yellow swirling cloud patterns. The background is a dark space filled with stars.

# Wellen in der Venus- Atmosphäre mit Venus Express

Magda Delva <sup>(1)</sup> & VEXMAG team

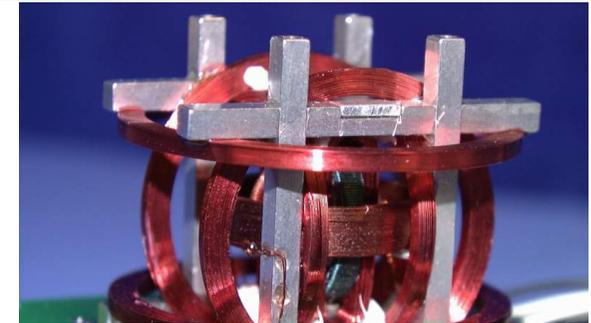
<sup>(1)</sup> Institut für Weltraumforschung, ÖAW, Graz

## Venus Express: ESA Raumsonde

Start: 2005 Nov. 09

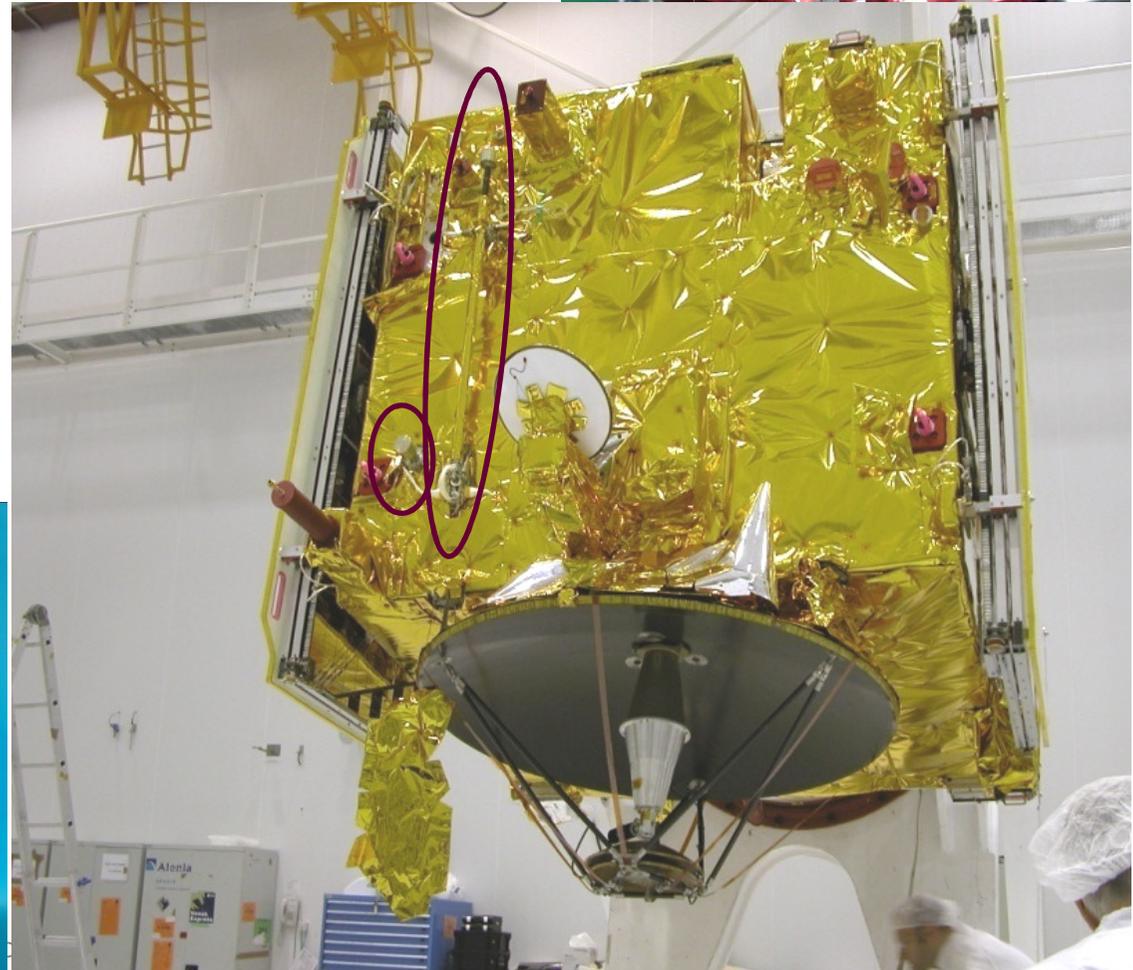
Polarer, elliptischer Orbit um Venus

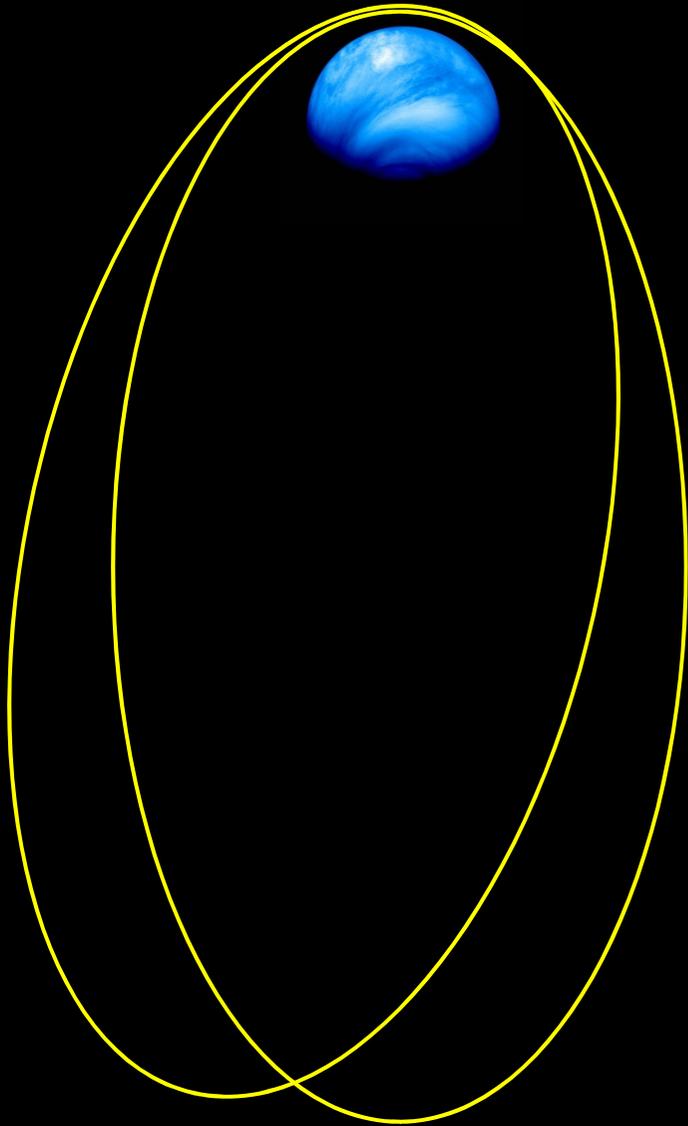
April 2006 – Jan. 2015



## Magnetometer: @ IWF-Graz + Partner

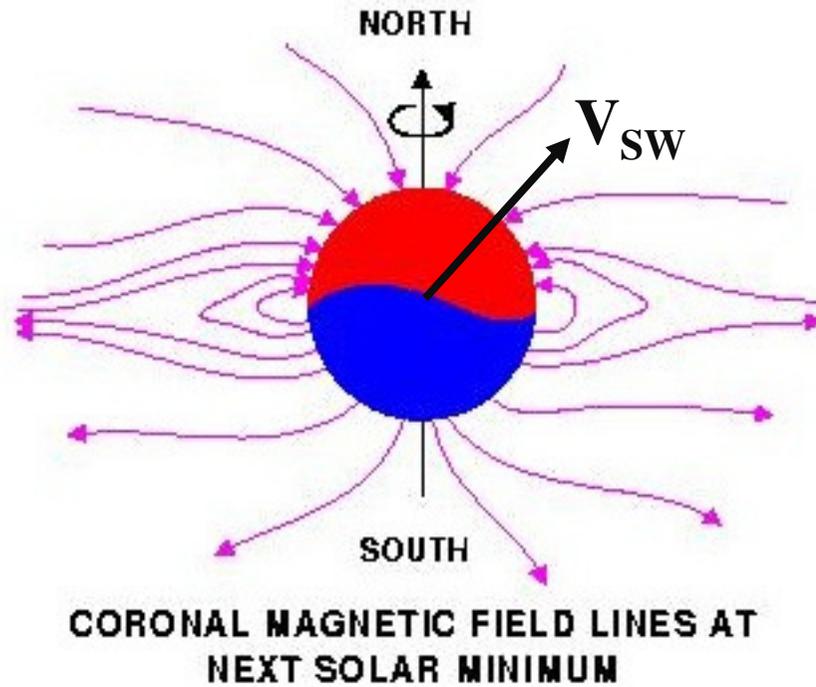
- Messung interplanetarer/  
planetarer Magnetfelder
- Wechselwirkung Venus  
mit Sonnenwind





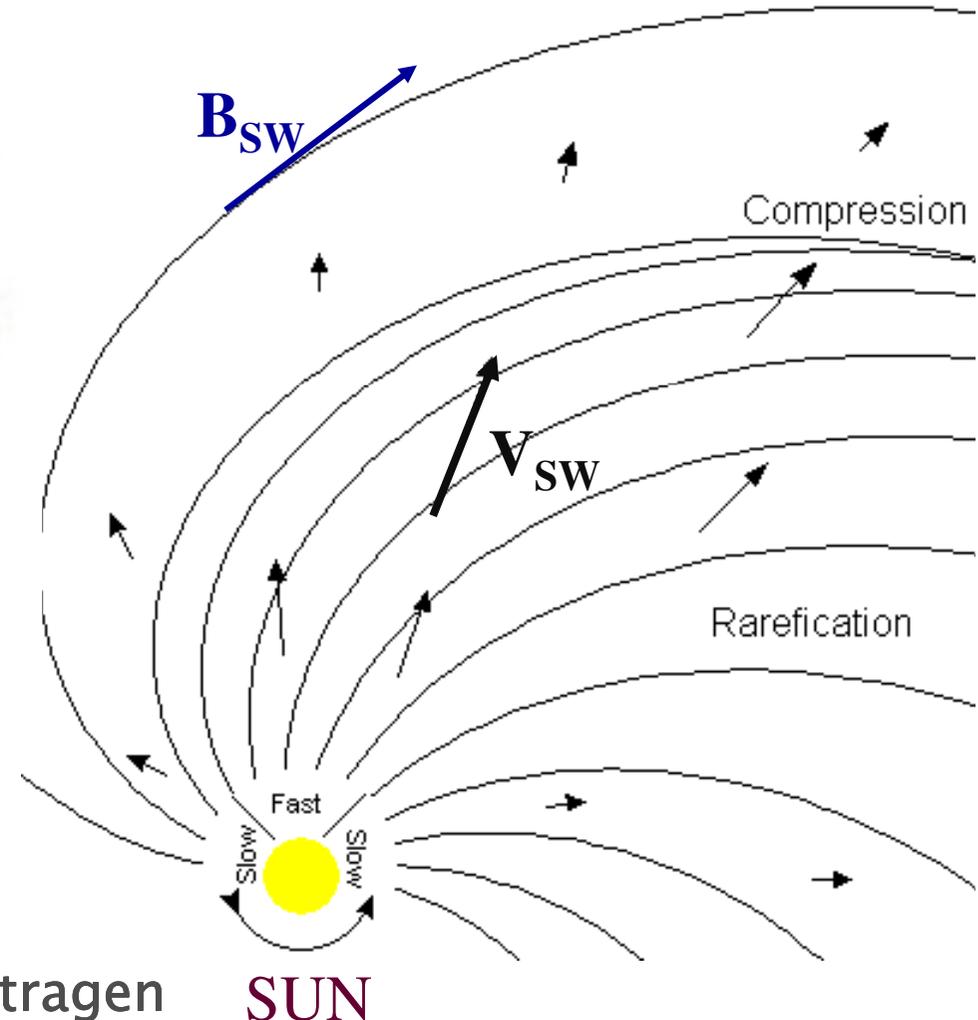
- Polare Bahn, Umlaufdauer 24 St.
- Apozentrum:  
66,000 km max. Distanz
- Perizentrum in der Polargegend
- Perizentrum: 250–400 km Höhe
- Im August 2014:  
**AEROBRAKING** (NEU für ESA)  
bis auf nur 130km!
- Jetzt: Perizentrum wieder  
gehoben auf ~ 250km
- Ende des Brennstoffs  
= Ende ... (~ Jan. 2015)

Sonne = magnetischer Dipol

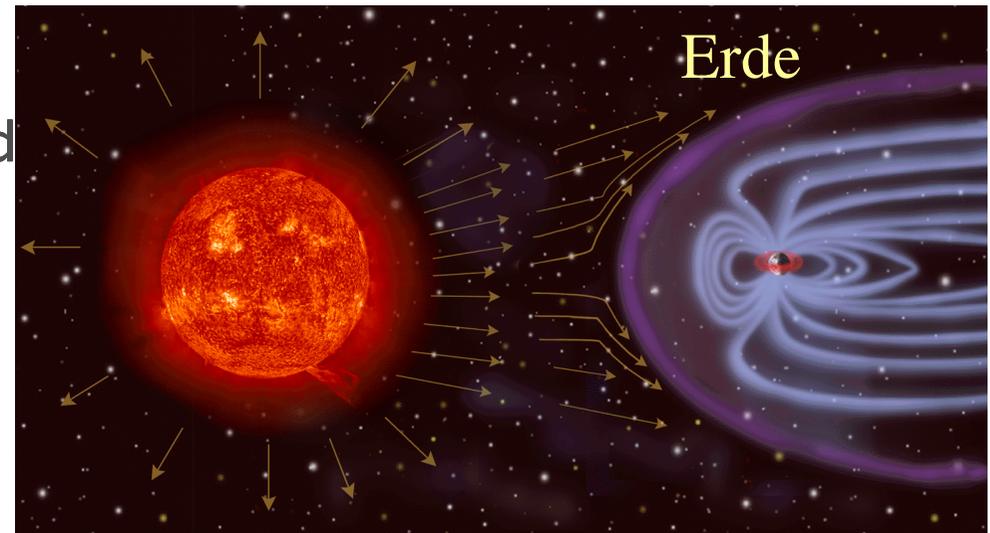


Sonnenwind = Strom geladener Teilchen aus der Sonne

Magnetfeld der Sonne wird vom Sonnenwind in den Weltraum getragen



- **Sonnenwind –> Planet**  
Geladene Teilchen & Magnetfeld treffen auf Planeten ein
- **Für Planet mit Magnetfeld:**  
Sonnenwind wird weit vor Planet abgelenkt  
–> Planet ist geschützt gegen SW – Teilchenstrom



- **Venus: kein internes Magnetfeld**
    - Ionosphäre: äußerer Teil der Atmosphäre, ionisiert durch Sonneneinstrahlung
    - Ionosphäre hält Sonnenwind auf in nur 300 – 800 km Höhe  
–> obere Schichte von SW beeinflusst
- Ziel: besseres Verständnis dieser Vorgänge !**

- **ERDE:** Veränderungen im Sonnenwind haben Einfluss auf die Erde:
  - Entstehung vom Polarlicht (Aurora)
  - Magnetische Stürme stören Satelliten, Funkverkehr, Überlandleitungen etc.



## ABER:

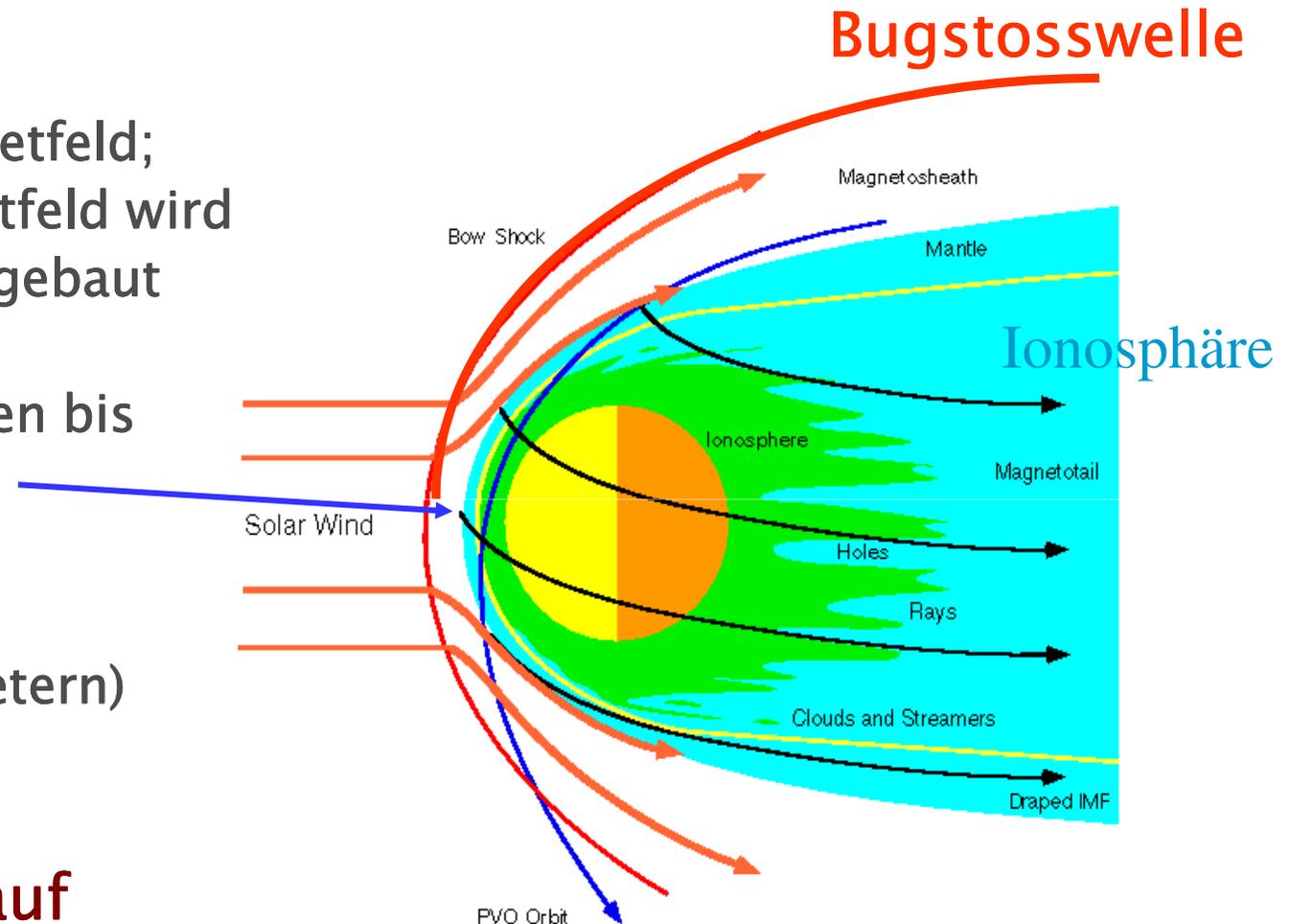
Erd-Atmosphäre liegt geschützt innerhalb der eigenen Magnetosphäre (SW wird in  $\sim 10$  Erdradien abgeschirmt)

## ■ Venus:

- Kein eigenes Magnetfeld;
- Induziertes Magnetfeld wird in Ionosphäre aufgebaut
- Hindernis für SW
- SW kann eindringen bis zu Höhe von 250 – 350 km auf Sonnenseite (abh.v. SW Parametern)

## ■ Deshalb:

**SW hat Zugriff auf obere Venus-Atmosphäre**



## ▪ DETAILS der Wechselwirkung Venus-SW:

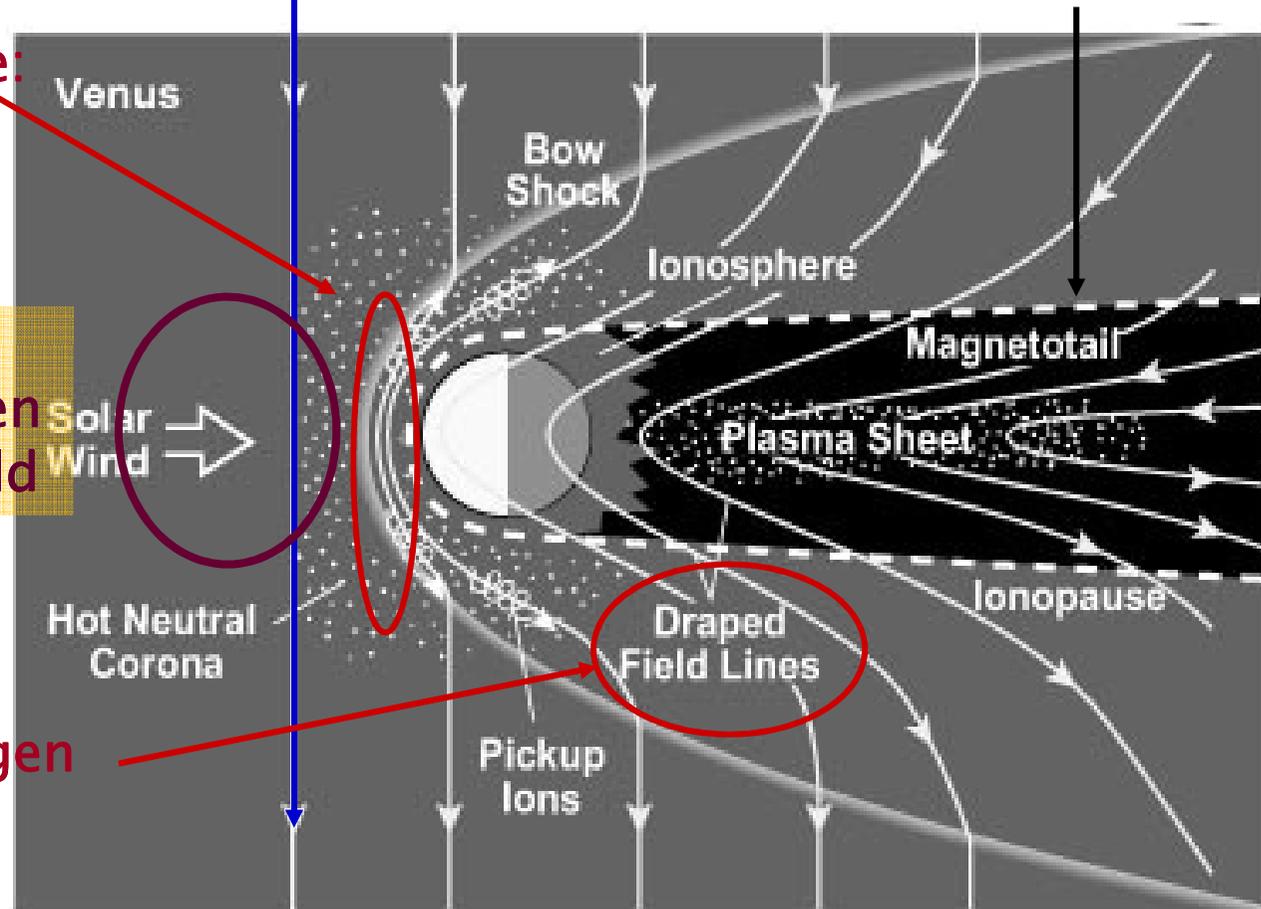
Interplanetäre Magnetfeldlinien

Induzierter Magnetschweif gebildet

Nach Bugstosswelle:  
Feldlinien türmen sich auf

UPSTREAM = im SW  
Venus-Ionen erzeugen  
WELLEN im Magnetfeld

Feldlinien schmiegen sich um Planeten („draping“)



- **Magnetometer Daten UPSTREAM:**

= stromaufwärts, außerhalb der Bugstosswelle,  
aber schon in der äußeren Atmosphäre der Venus

Wellen im Magnetfeld, entstehen durch "pick-up" von  
planetaren Teilchen nach deren Ionisation

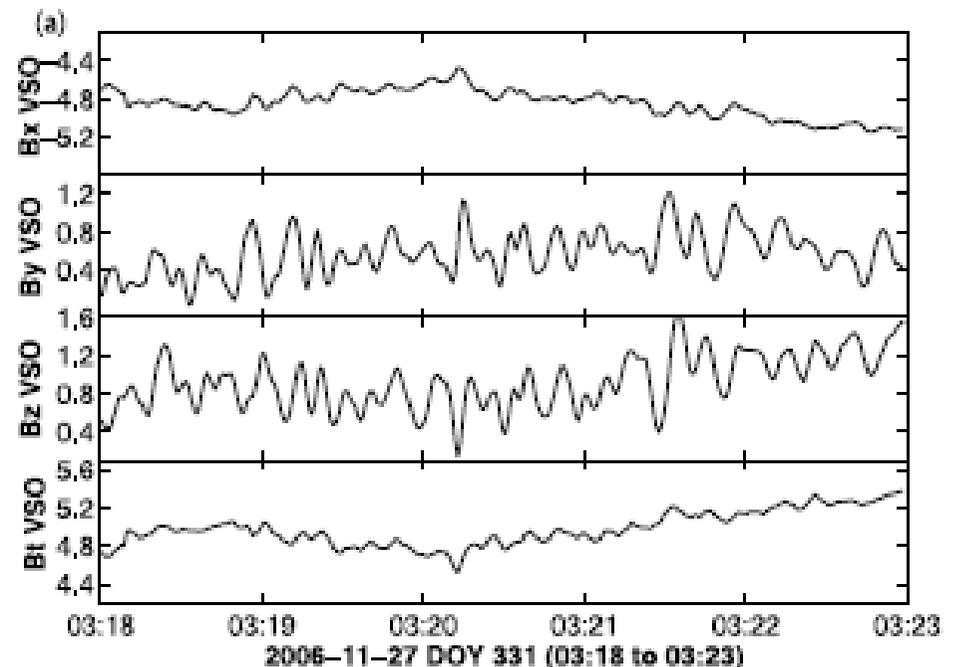
Frequenz der Welle ist spezifisch für das jeweilige Ion:

$$\Omega_{ion} = (Ladung / Masse) * Magnetfeld \quad (\text{Zyklotron-Freq.})$$

$$= q/m * B$$

**Suche nach Wasserstoff –Ionen  
(planetare Protonen)**

= Proton-Zyklotron –Wellen  
mit Frequenz  $f_p = \Omega_{proton}$



### Gesucht & gefunden:

- Wellen durch  $H^+$  (planetare Wasserstoff-Ionen) erzeugt
- weit VOR dem Planeten im Sonnenwind (in 1% der Zeit)
- Magnetometer viel empfindlicher als Teilchen-Instrument !
- Energie der Wellen lässt auf Anzahl der benötigten planetaren Protonen schließen

?????



### PROBLEM:

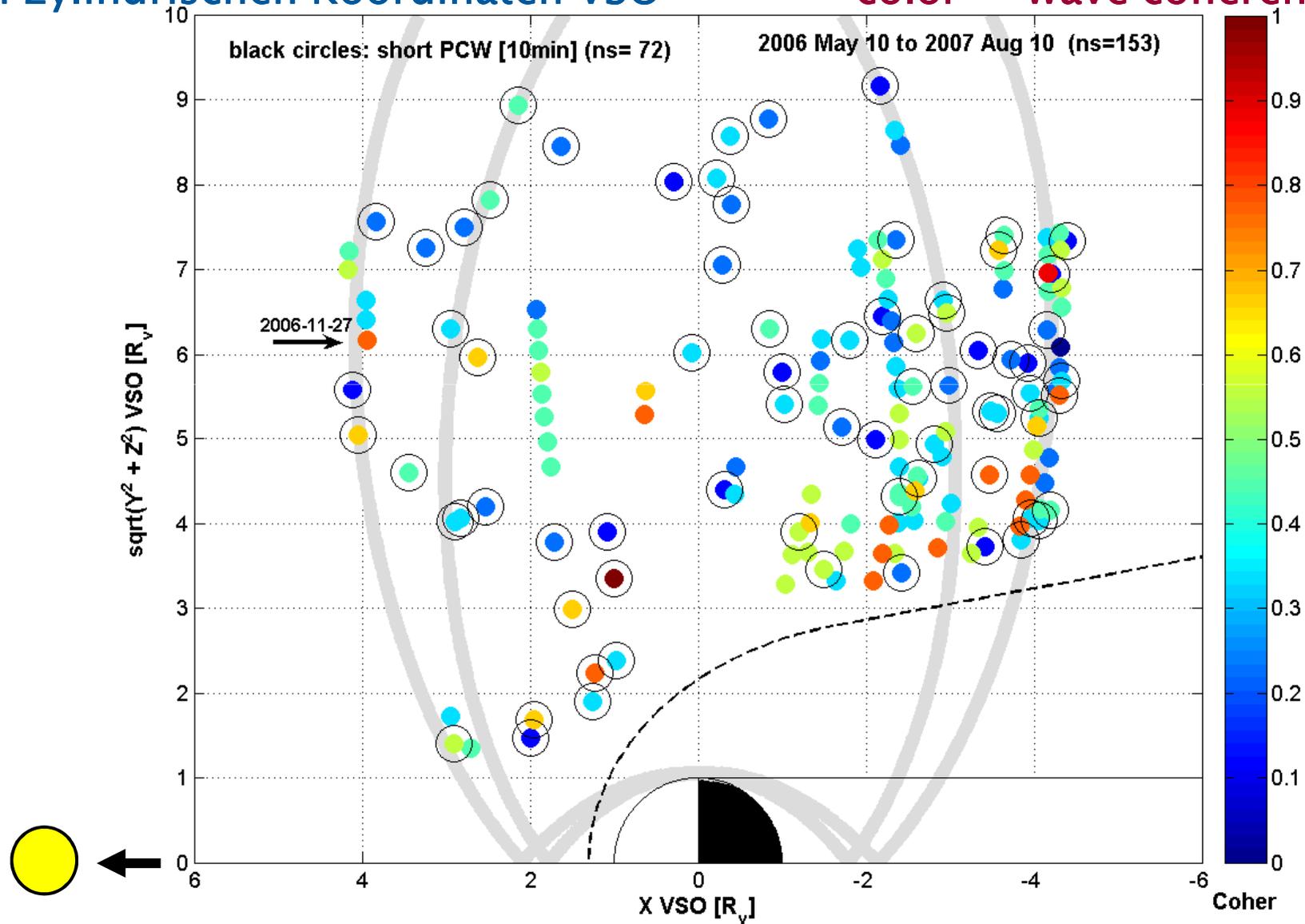
rel. VIEL Wasserstoff benötigt, hohe Teilchen –Dichte  
Modelle sagen: Wasserstoff–Dichte ist nicht so hoch!

### Proton–Zyklotron–Wellen treten auf:

- für bestimmte Orientierung des interplanetaren Magnetfeldes
- für "stabiles Feld" im Sonnenwind (nicht häufig der Fall!)
- oft über große Gebiete um den Planeten

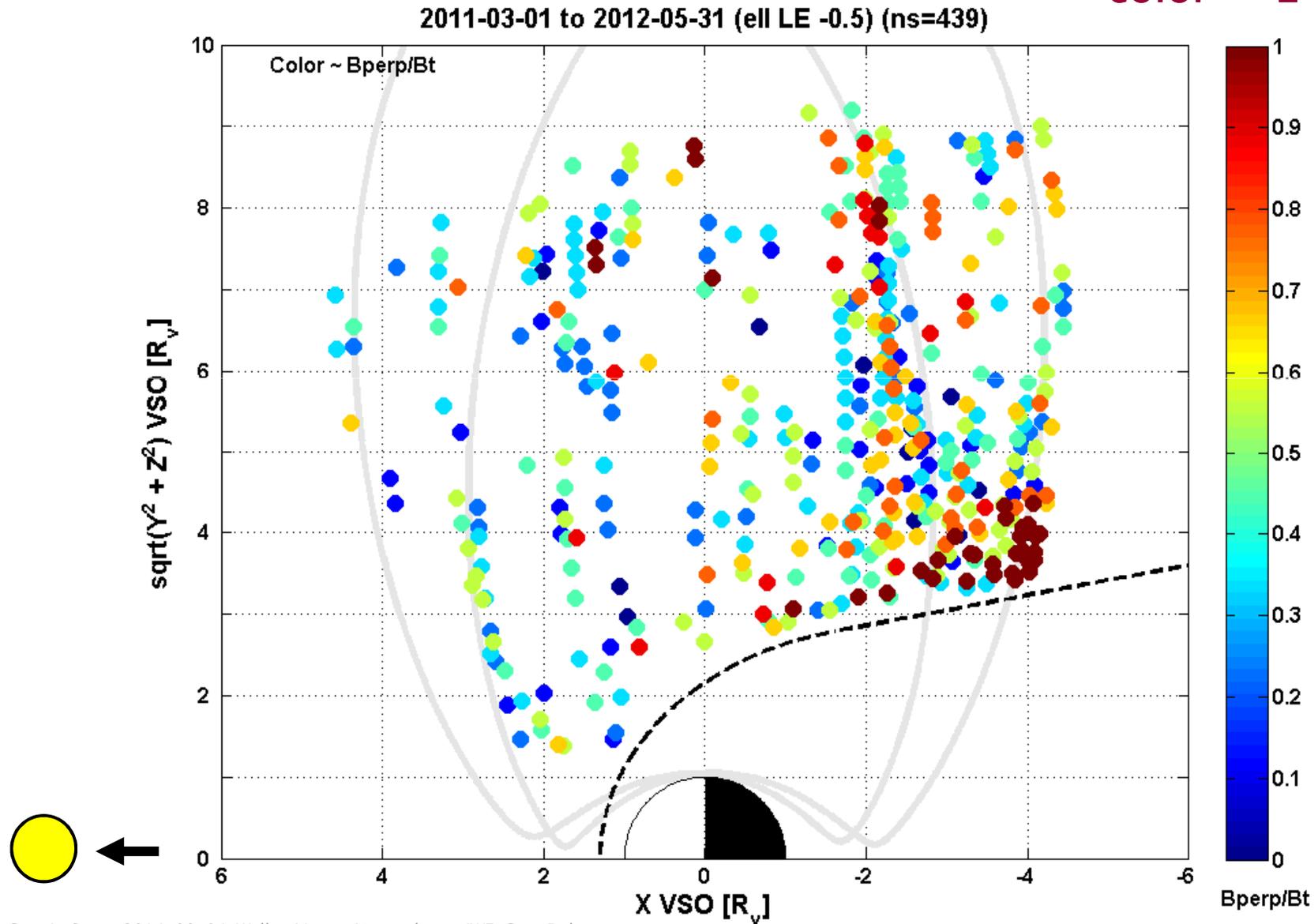
In zylindrischen Koordinaten VSO

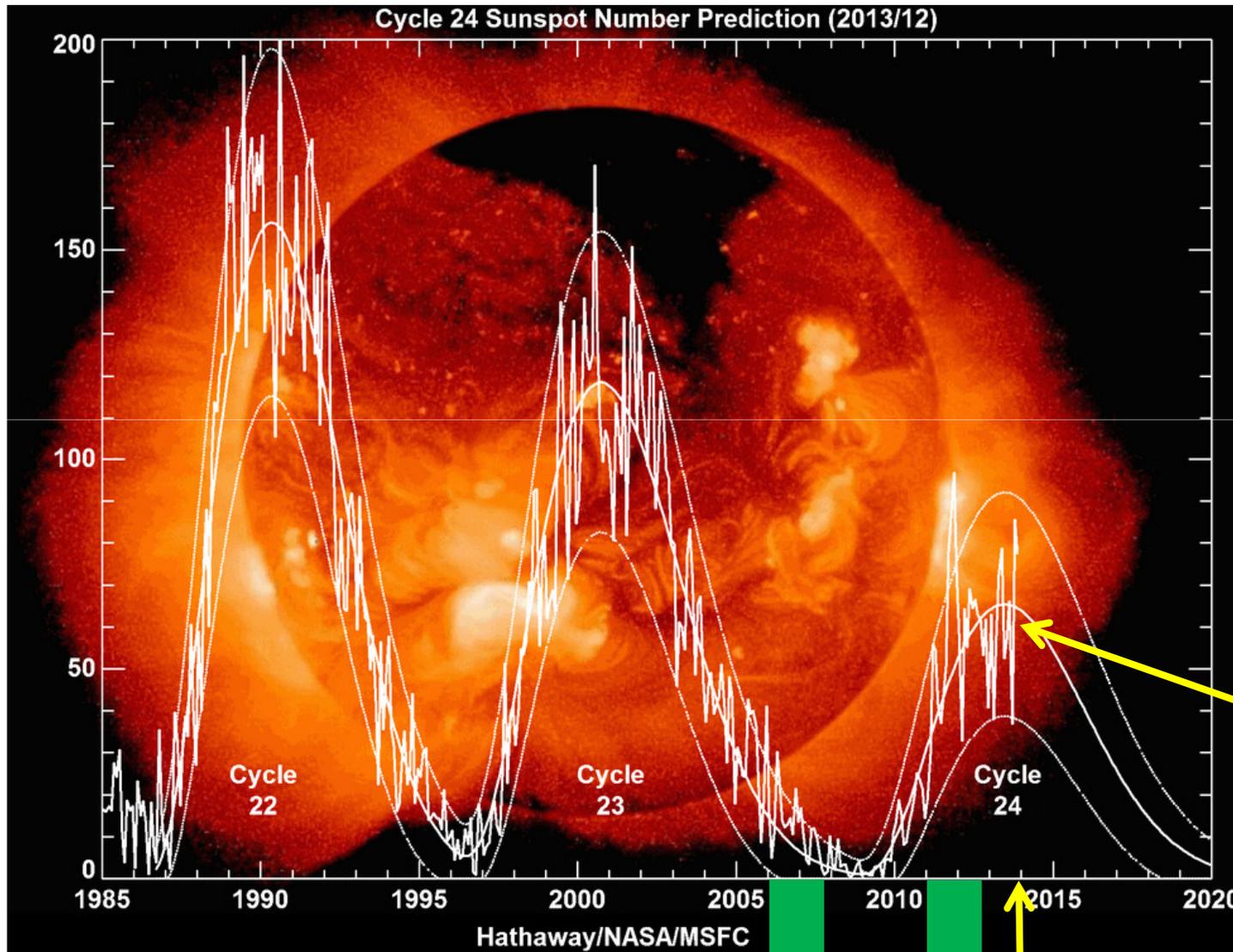
color ~ wave coherence



In cylindrical coordinates VSO

color ~ E-field





- Sonnenzyklus = (2 x) 11 Jahre  
zB. Zyklus 1997 – 2008
- Sonnenflecken Minimum: 2005–2010
- Danach: ansteigende Fleckenzahl
- Jetzt (2013–2014) **Maximum ???**  
sehr niedrige Aktivität

.....

2014

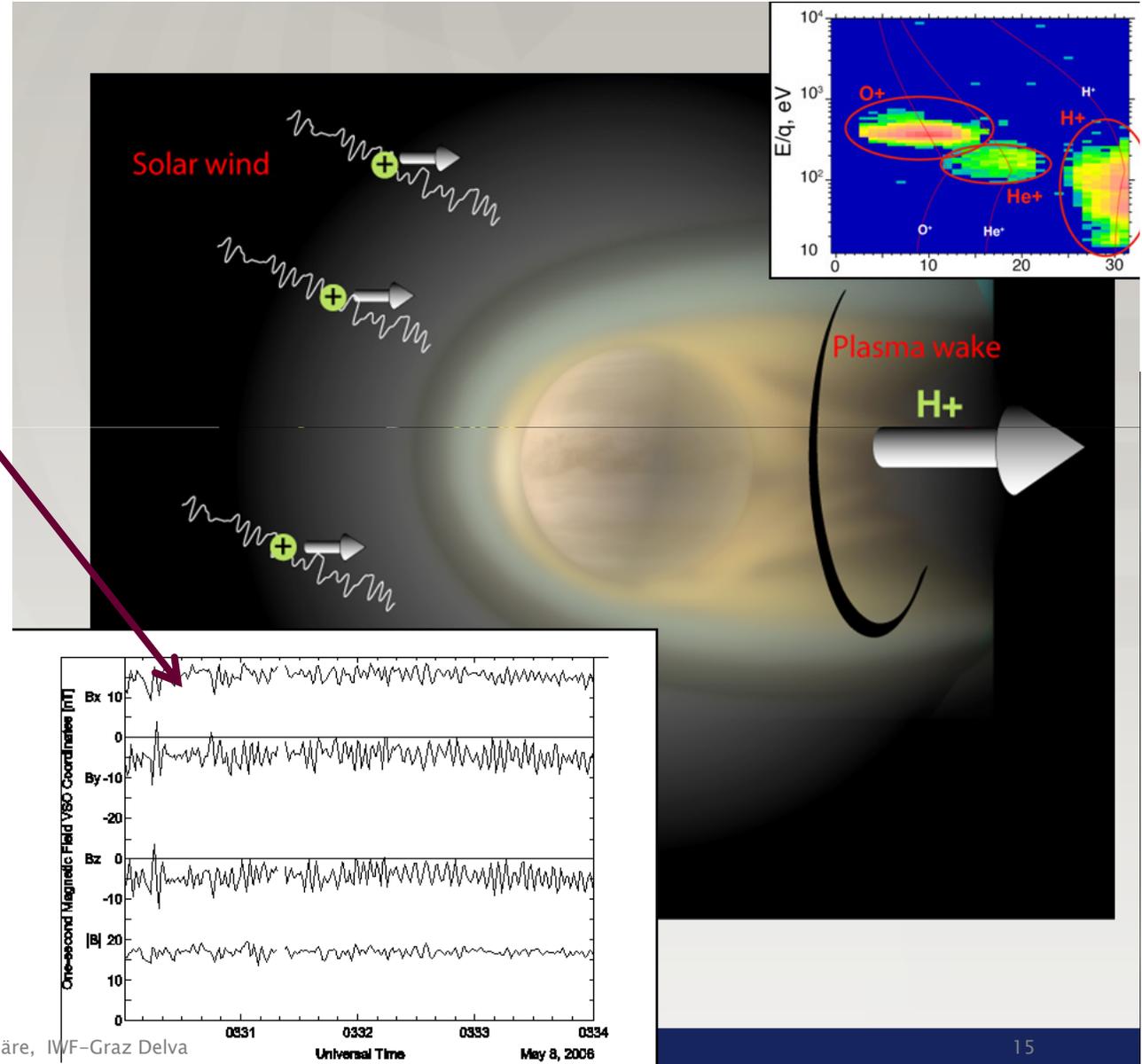
- **2006–2007: Solar Minimum:**  
Proton Zykl. Wellen gefunden
  
  - **2010– 2013 Solar Maximum:**
    - Interplanetares Magnetfeld mehr gestört durch Sonnenaktivität = > weniger Wellen erwartet
    - Jedoch: MEHR gefunden ???
  
  - **Erklärung ?**
    - mehr Ionisation durch höhere UV–Strahlung in Solar Max.  
=> höhere Protonen–Dichte in Venus–Atmosphäre
    - sehr schwaches Sonnen–Maximum, geringe SW–Dichte
- => Es können sich doch mehr Proton Zykl. Wellen bilden für dieses schwache Sonnen–Maximum**

## ▪ Magnetometer Daten

UPSTREAM:  
Zyklotron Wellen

$$\sim f_{proton}$$

=> Venus verliert  
permanent  
Wasserstoff-Ionen  
an den  
Sonnenwind



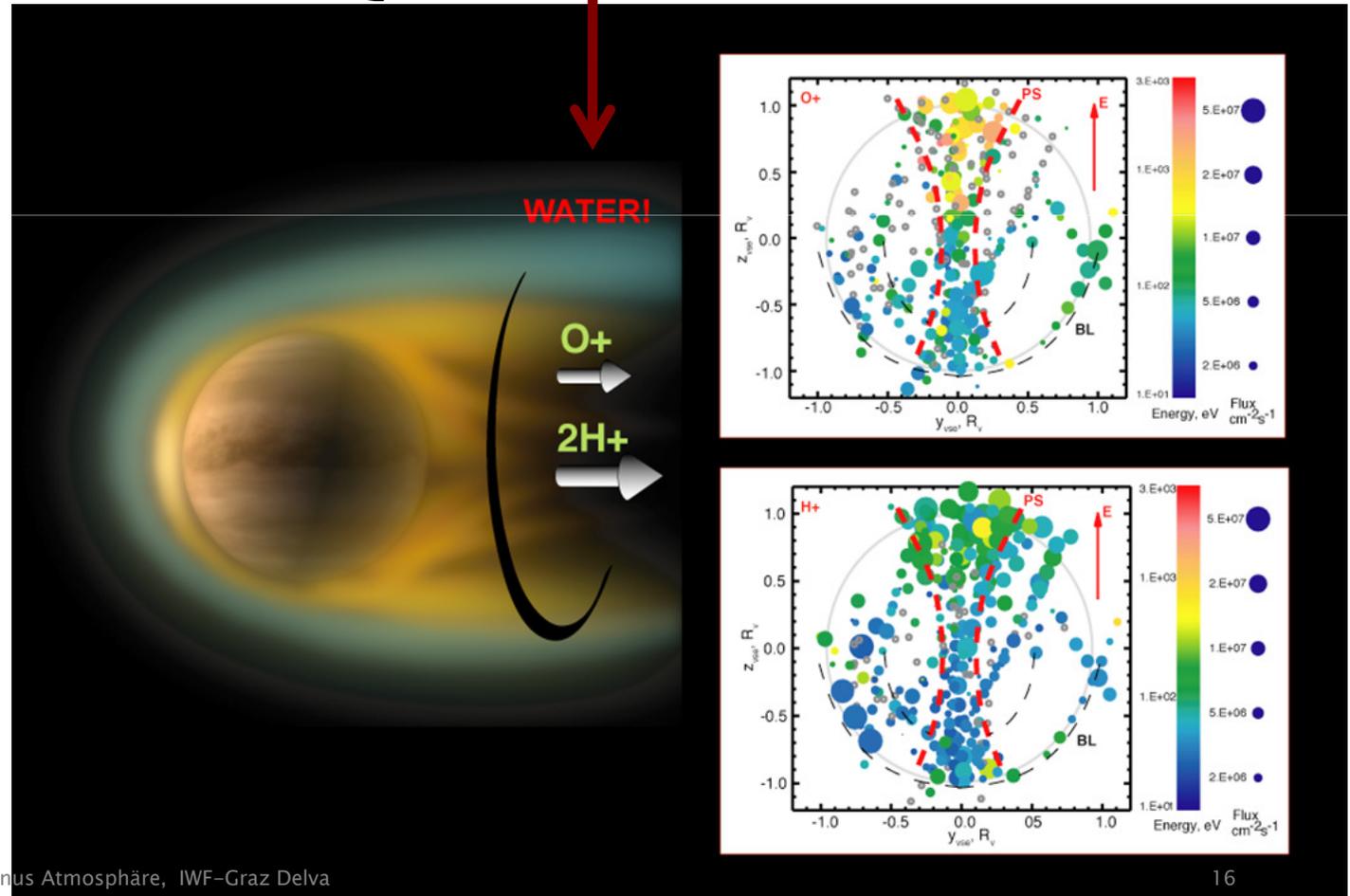
## ▪ Magnetometer und Teilcheninstrument im Schweif:

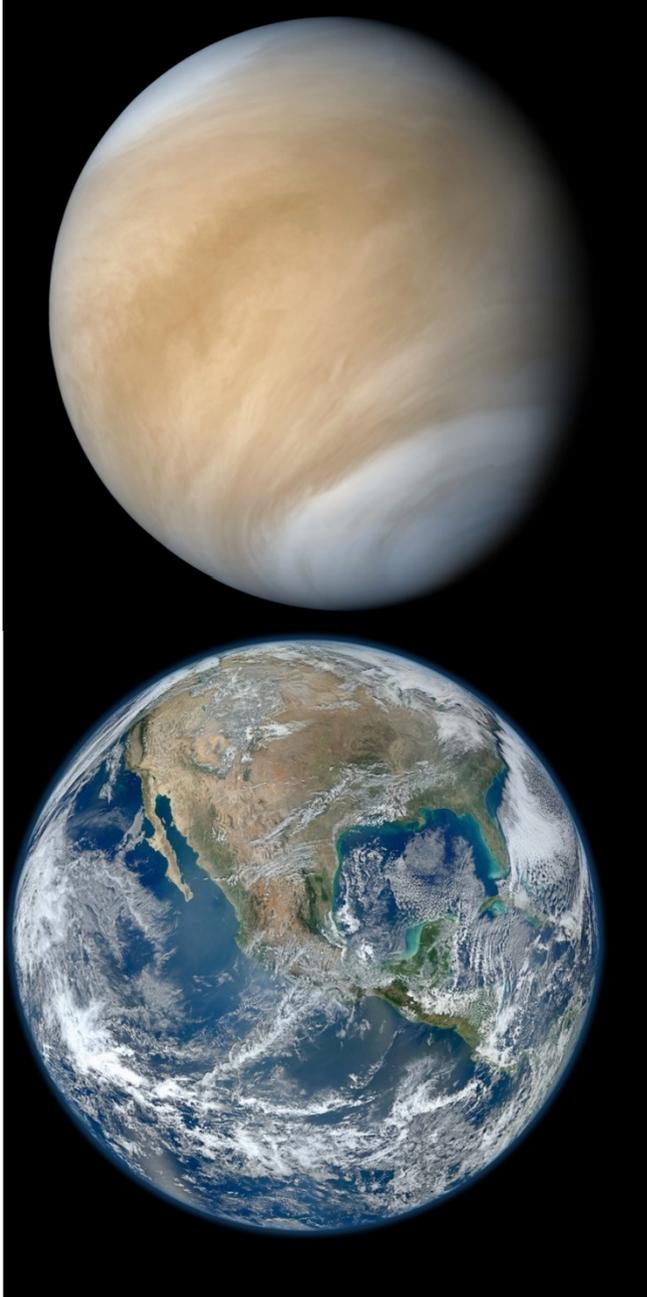
Venus verliert permanent  
im Verhältnis 2/1

Wasserstoff-Ionen (Protonen)  
Sauerstoff-Ionen

$H_2O = \text{Wasser} !!$

Venus verliert permanent Wasser und Wasserstoff a.d. interplanetaren Raum => "gone with the Solar Wind"



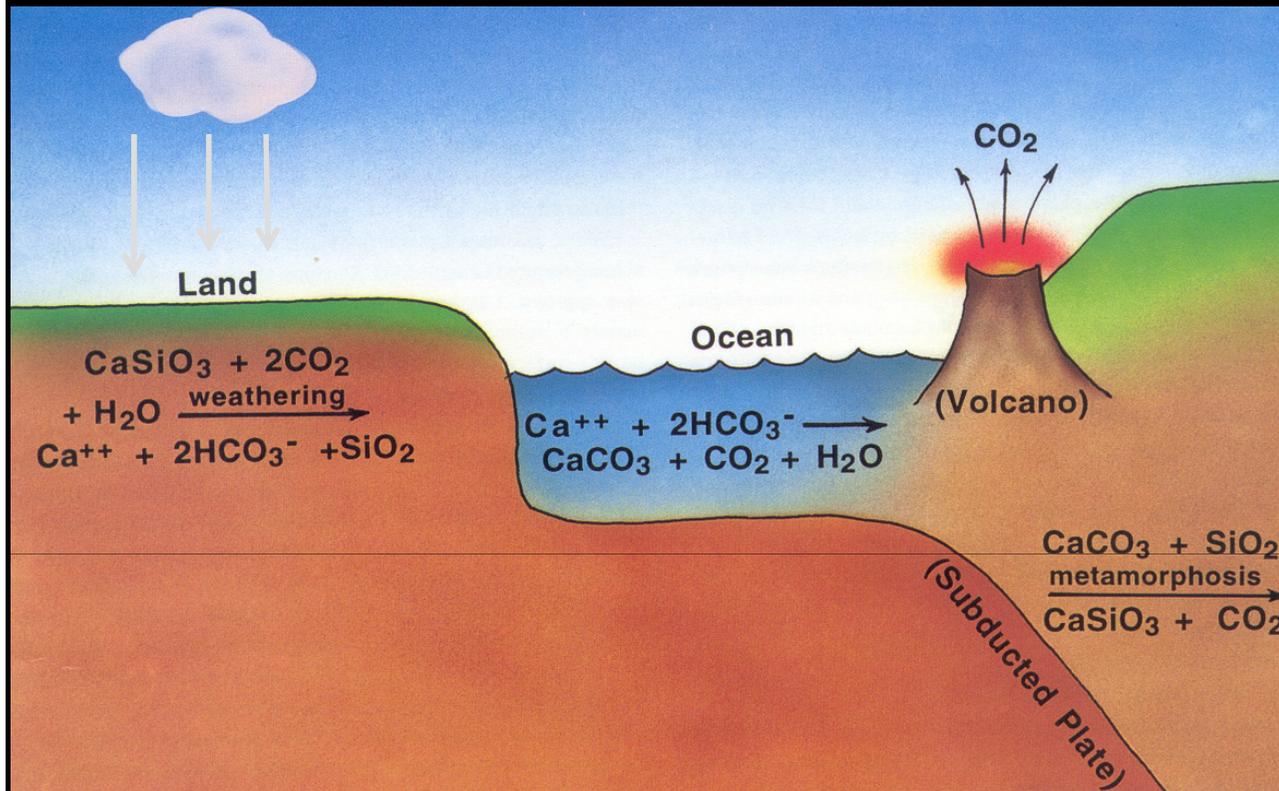


- **Entstehung der Planeten:** Atmosphäre  
Venus & Erde vermutlich sehr ähnlich
- **Jetzt:**

|                                 | Venus                | Erde                 |
|---------------------------------|----------------------|----------------------|
| Diam (km)                       | 12,104               | 12,756               |
| Masse ( $10^{24}$ kg)           | 4.86                 | 5.97                 |
| Entweichgeschw.<br>$V_e$ (km/s) | 10.4                 | 11.2                 |
| Druck P (bar)                   | 92                   | 1                    |
| Oberflächentemp.<br>$T_s$ (C)   | 477                  | 20                   |
| Wasser<br>$H_2O$ (kg)           | $5.9 \times 10^{16}$ | $1.4 \times 10^{21}$ |

Erde hat 100,000 mal mehr Wasser !

- **Warum so anders?**

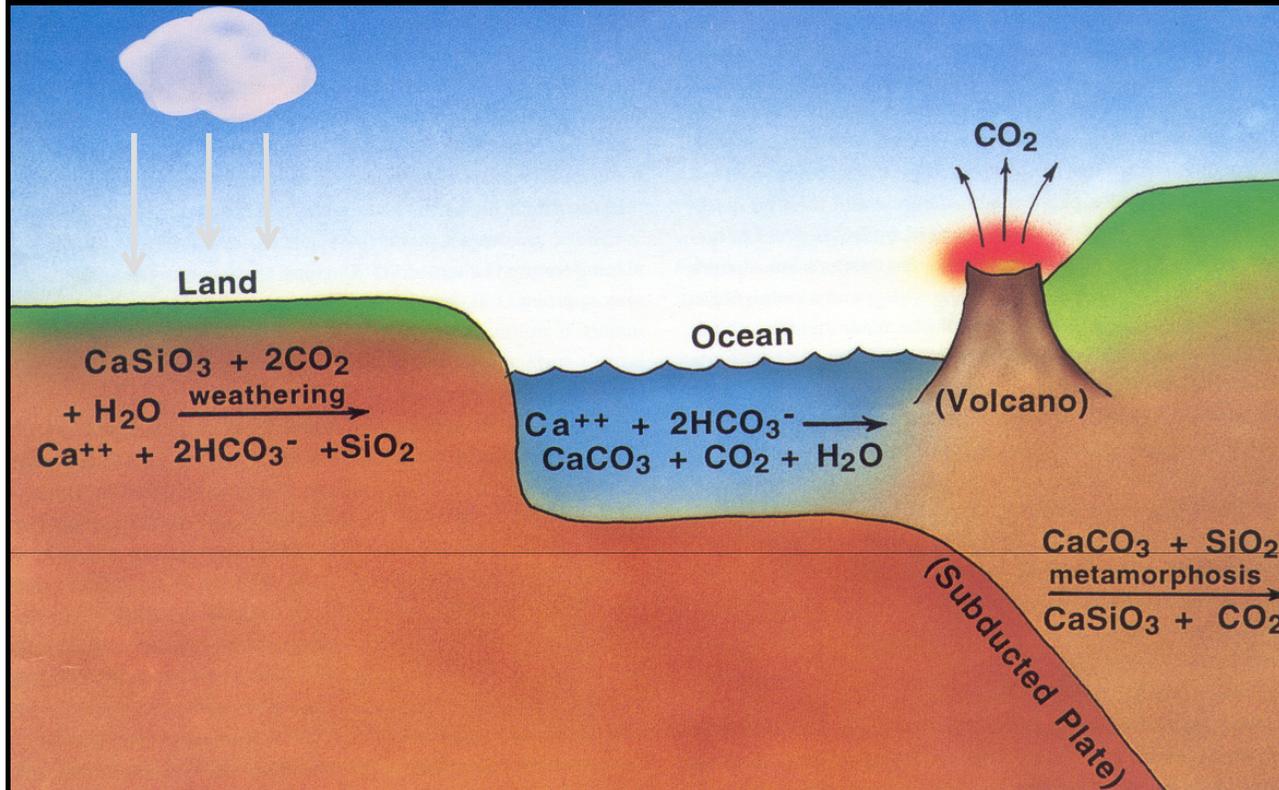


Erde recycles CO<sub>2</sub>  
in ~ 500,000 Jahren

CO<sub>2</sub> : durch "Witterung" aus Atmosphäre entfernt  
(in Regenwasser gelöst), abgelagert in Karbonat-Gestein

Effekt ist schneller in heißem Klima (weil mehr Regen)  
langsamer in kaltem Klima  
hört auf, wenn die Erde gefroren ist.

Source: D. Grinspoon,  
Denver, USA



Source: D. Grinspoon,  
Denver, USA

Venus: derselbe Mechanismus war wirksam @ frühen Venus,  
ABER brach zusammen, als das Wasser verbraucht war

Venus: kein flüssiges Wasser mehr,  
keine Silikat Verwitterung mehr,  
neues  $\text{CO}_2$  aus Vulkanismus verbleibt in der Atmosphäre

=> HOHE Temperatur (~ 450°C)

- Induziertes Magnetfeld gibt Schutz für untere Atmosphäre gegen "Wegblasen" durch Sonnenwind
- Venus verliert permanent Wasser & Wasserstoff an den interplanetaren Raum
  - => Venus Oberfläche staubtrocken
  - => Wenig Wasser(dampf) in der Atmosphäre
- Durch Wasserverlust kann CO<sub>2</sub> nicht mehr aus Atmosphäre entfernt werden
  - => "run away greenhouse effect"

Venus ist eine heißes Pflaster (~ 450 °C !)

## Zusammensetzung

**96% Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)** (Erde)

< 4% Stickstoff (N<sub>2</sub>) (77 %)

< 1% Sauerstoff (O<sub>2</sub>) (21 %)

< **0.1 % Wasser(dampf)**

## Grosse Dichte, grosser Druck

67 kg/m<sup>3</sup> (1.2 kg/m<sup>3</sup>)

93 bar (1 bar)

## Dicke Wolkendecke ("smog")

Schwefelsäure-Tröpfchen

in 50–68 km Höhe

## Starke Winde

Obere Atmosphäre: Rot. in 6 Tagen

Oberste Wolkenschichte:

250–350 km/h; Rot. in 4 Tagen

Am Boden: nur einige km/h

