The image shows the Venus Express spacecraft in orbit around the planet Venus. The spacecraft is a small, boxy satellite with a large parabolic dish antenna on the left side and two large solar panel arrays on the right. The planet Venus is a large, orange-brown sphere with visible cloud patterns, filling most of the background. The space around the planet is dark with some stars visible.

Neue Erkenntnisse über Venus mit der Raumsonde Venus Express

Magda Delva ⁽¹⁾ & VEXMAG team

⁽¹⁾ Institut für Weltraumforschung, ÖAW, Graz

Entstehung:

Vor ca 4.5 Mrd. J., aus pre-solarem Nebel
Venus, Erde, Mars – zugleich entstanden

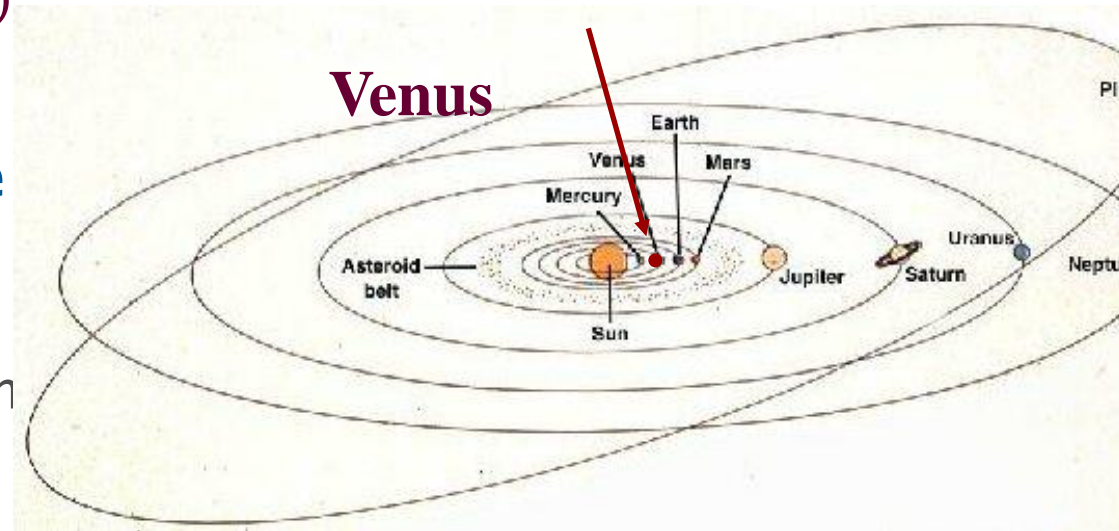
Vermutung: am Anfang sehr ähnlich, auch die **Atmosphären**
(jetzt aber ganz anders!)

Kreisbahn um die Sonne

$$R_V = 108.2 \text{ Mill. Km}$$

$$= 0.72 \times R_{\text{Erde}}$$

Um die Sonne in 225 Tagen



Grösse, Masse

$$\square_V = 12103 \text{ km} = 0.95 \times \square_{\text{Erde}}$$

$$\text{Masse}_V = 0.8 \times \text{Masse}_{\text{Erde}}$$

$$\text{Schwerebesch}_V = 8.87 \text{ m/s}^2 \quad (\text{Erde: } 9.78 \text{ m/s}^2)$$

$$\text{Entweichgeschw}_V = 10 \text{ km/s} \quad (\text{Erde: } 11 \text{ km/s})$$

- **Näher zur Sonne**

 - > fast doppelte Energie von Sonne

- **Eigenrotation „retrograd“** , gegen die Bahnbewegung

 - Um sich selbst in **243 Tagen**
(rel. zu den Sternen)

 - Aber: an einer Stelle:

 - 58.5 Tage hell, 58.5 Tage Nacht

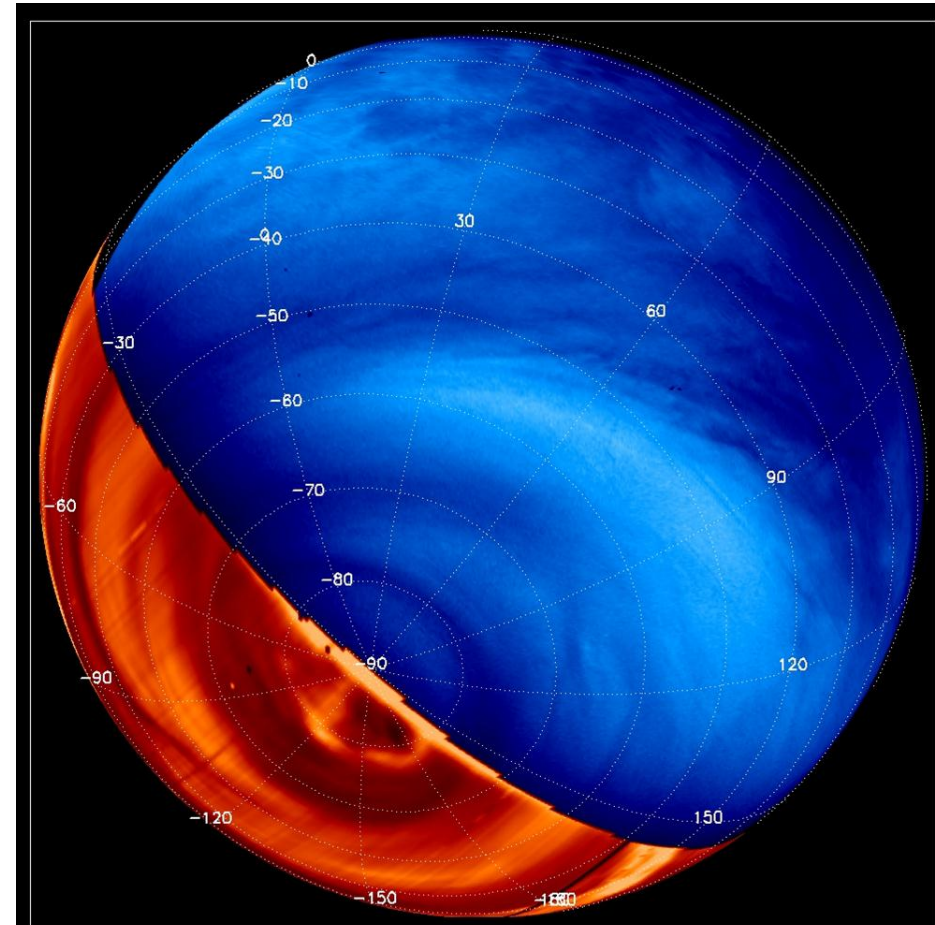
 - > lange,
intensive Sonneneinstrahlung

- **Dichte Wolkendecke**

 - Sonnenstrahlung grossteils
reflektiert (80%)

 - nur 10% trifft auf Oberfläche

Venus in UV und IR
(Venus Express)



Zusammensetzung

| | |
|--|--------|
| 96% Kohlendioxid (CO ₂) | (Erde) |
| < 4% Stickstoff (N ₂) | (77 %) |
| < 1% Sauerstoff (O ₂) | (21 %) |
| < 0.1 % Wasser(dampf) (H ₂ O) | |

Grosse Dichte, grosser Druck

| | |
|----------------------|--------------------------|
| 67 kg/m ³ | (1.2 kg/m ³) |
| 93 bar | (1 bar) |

Dicke Wolkendecke ("smog")

Schwefelsäure-Tröpfchen
in 50–68 km Höhe

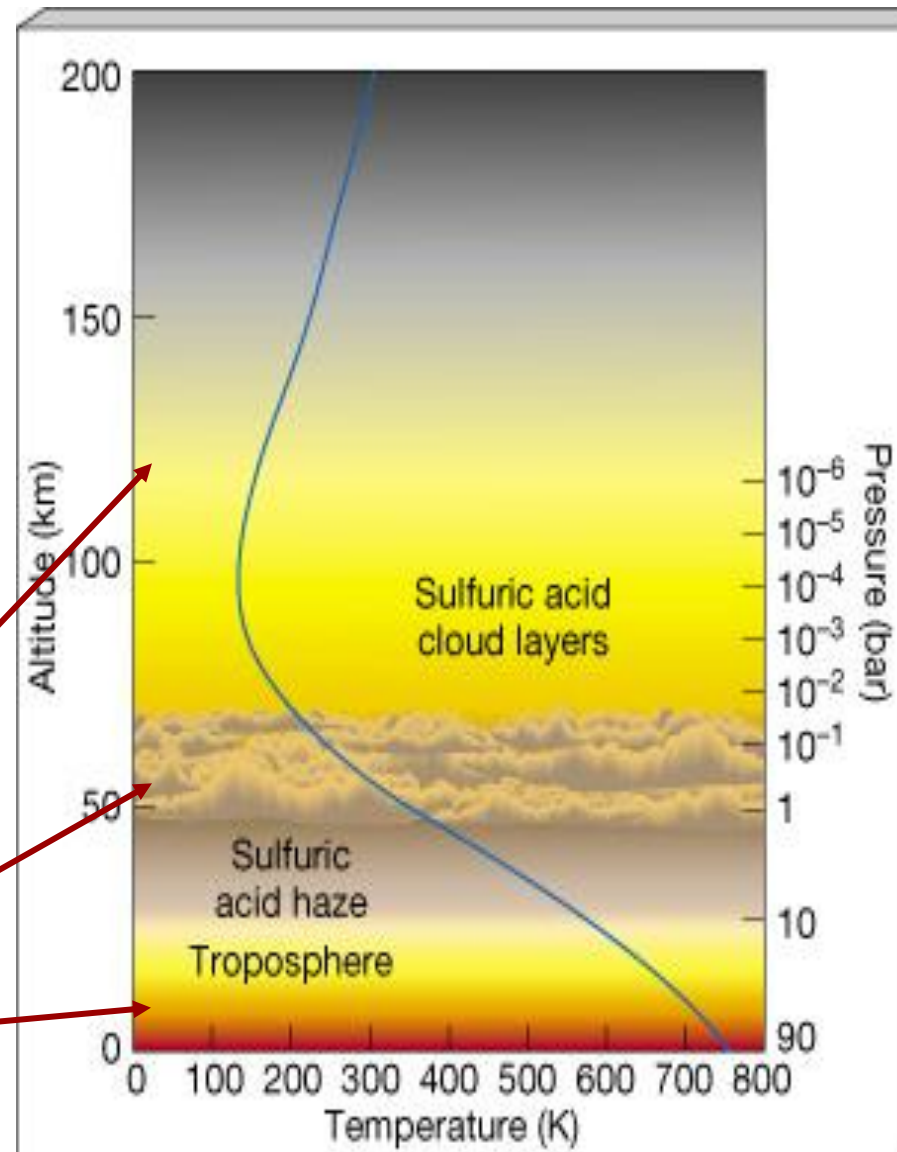
Starke Winde

Obere Atmosphäre: Rot. in 6 Tagen

Oberste Wolkenschichte:

250–350 km/h; Rot. in 4 Tagen

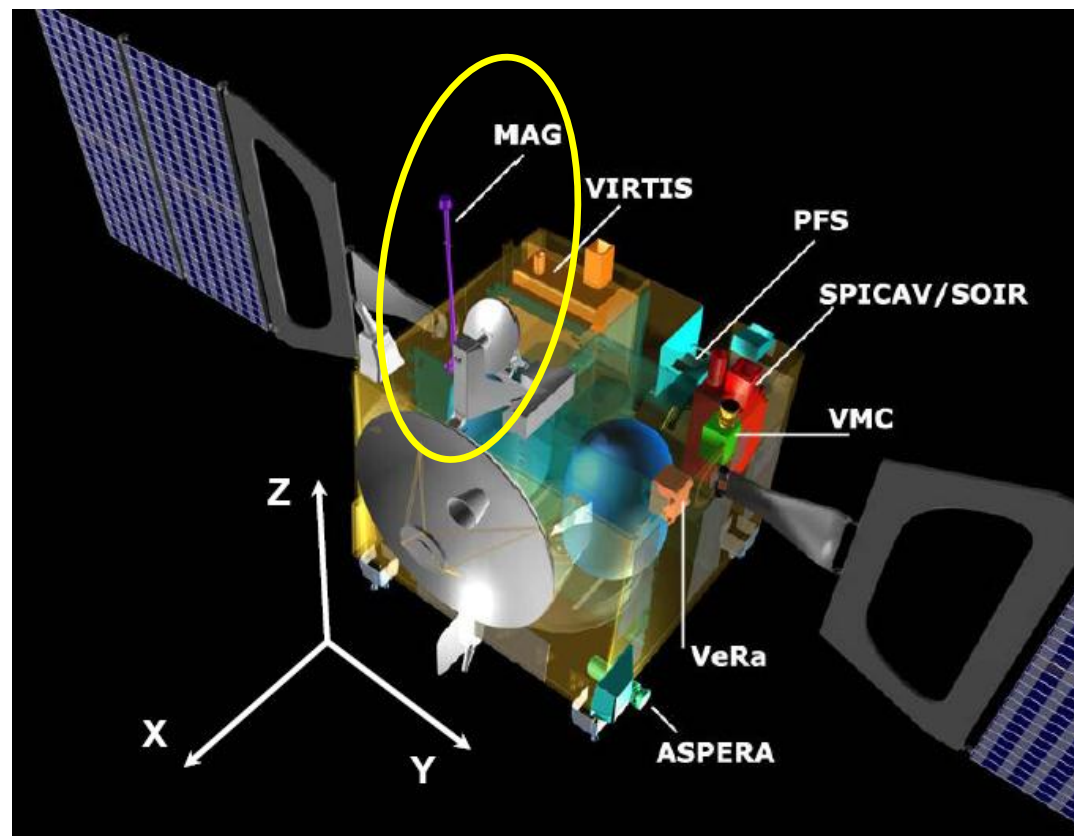
Am Boden: nur einige km/h



- Start: 9 Nov. 2005
- Ankunft @ Venus: 11. April 2006
- Nominale Missionsdauer: bis Ende 2007
- Verlängerung bis Ende 2014
- Aufgabe/Instrumente:
Beobachtung der Atmosphäre:
 - Wolkenstruktur & Bewegung
 - Temperaturverteilung
 - Zusammensetzung

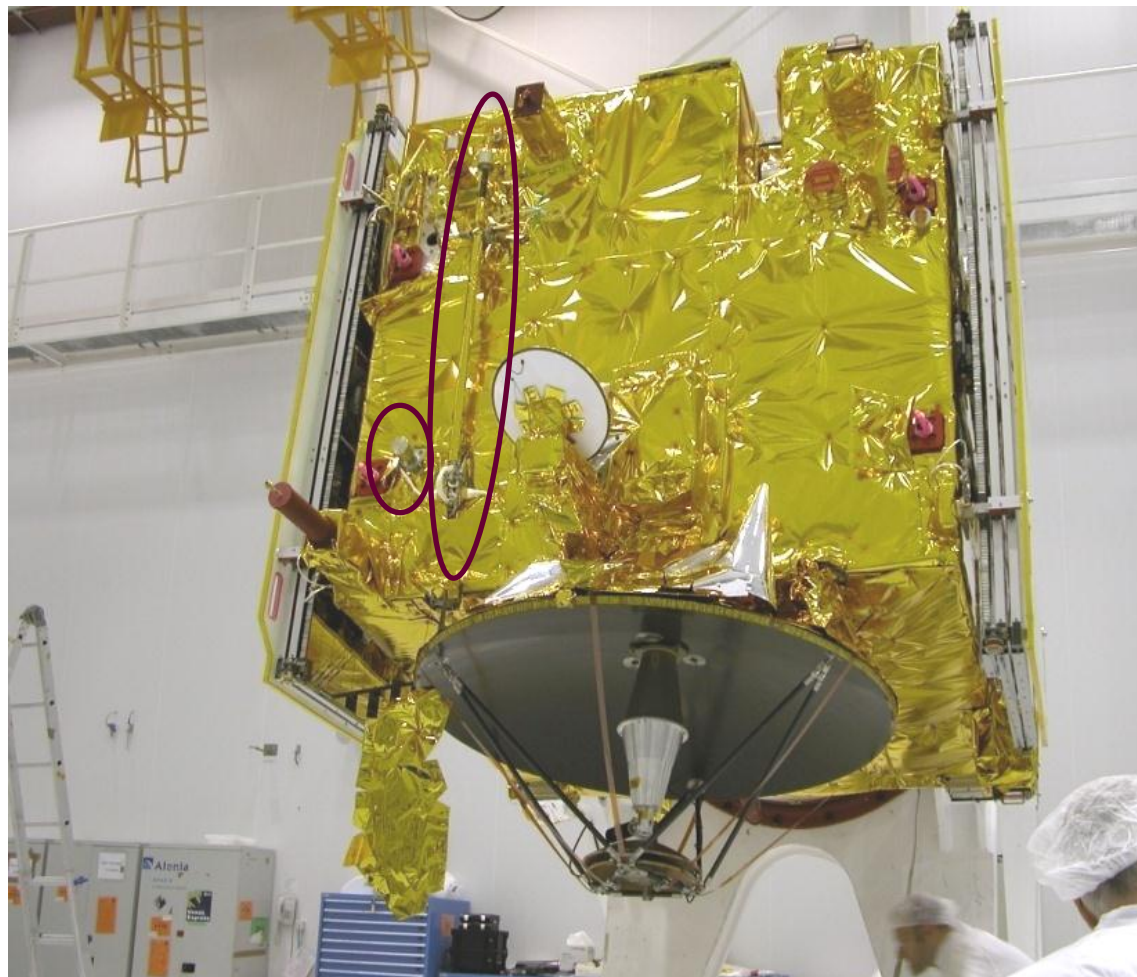
Wechselwirkung Venus mit Sonnenwind:

Messung geladener Teilchen
Magnetometer (IWF-Graz)



- **Zwillingsatellit** von Mars Express
- 1,5 x 1,8 x 1,4 m
- 1270 kg (gesamt), davon 93 kg für **7 wissenschaftliche Instrumente**
570 kg Treibstoff
- **400 N** Hauptmotor
- **4 x 10 N** Steuerdüsen
- 3 Lithium-Ionen-Batterien
- 2 High-Gain-Antennen
- Solarzellen
- **Prime Contractor:**
EADS Astrium, Toulouse

VEXMAG



▪ Magnetometer: @ IWF-Graz

Messung interplanetarer / planetarer
Magnetfelder

- Sehr kleine Größen werden gemessen:
SCHWIERIG!

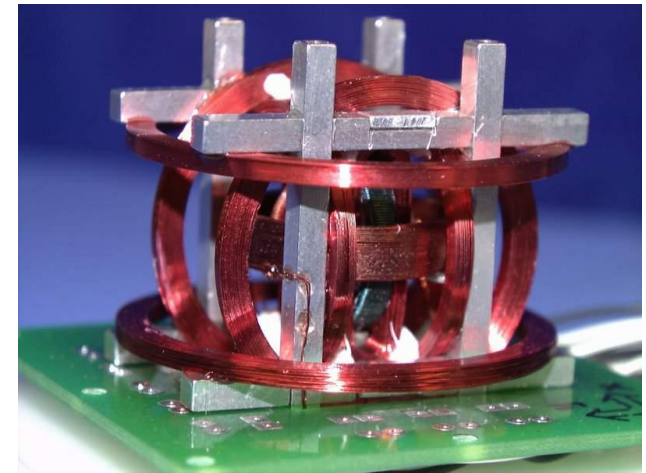
Auf Erde: 50 000 nT

Interplanetarer Raum: 5–100 nT

→ Tests:
nur im feldfreien Raum möglich!

▪ Teile:

- Zwei Sensoren, um Effekte der S/C
wegrechnen zu können:
am S/C, am Boom (1m lang)
- Elektronikbox für Steuerung und
Datenerfassung



Sensor: ca. 4 x 4 x 4 cm, 50 gr.

Principal Investigator: Tielong Zhang, IWF

Experiment Manager: Gerhard Berghofer, IWF

IWF Graz

IGM TU-Braunschweig

Imperial College London

University of Sheffield, UK

Univ. California, Los angeles (UCLA)

Institutet för Rymdfysik , Kiruna, Schweden

RSSD-ESTEC, Noordwijk (ESA, Niederlande)

- Internationale Kooperation mit TU Braunschweig und Imperial College London

E-BOX



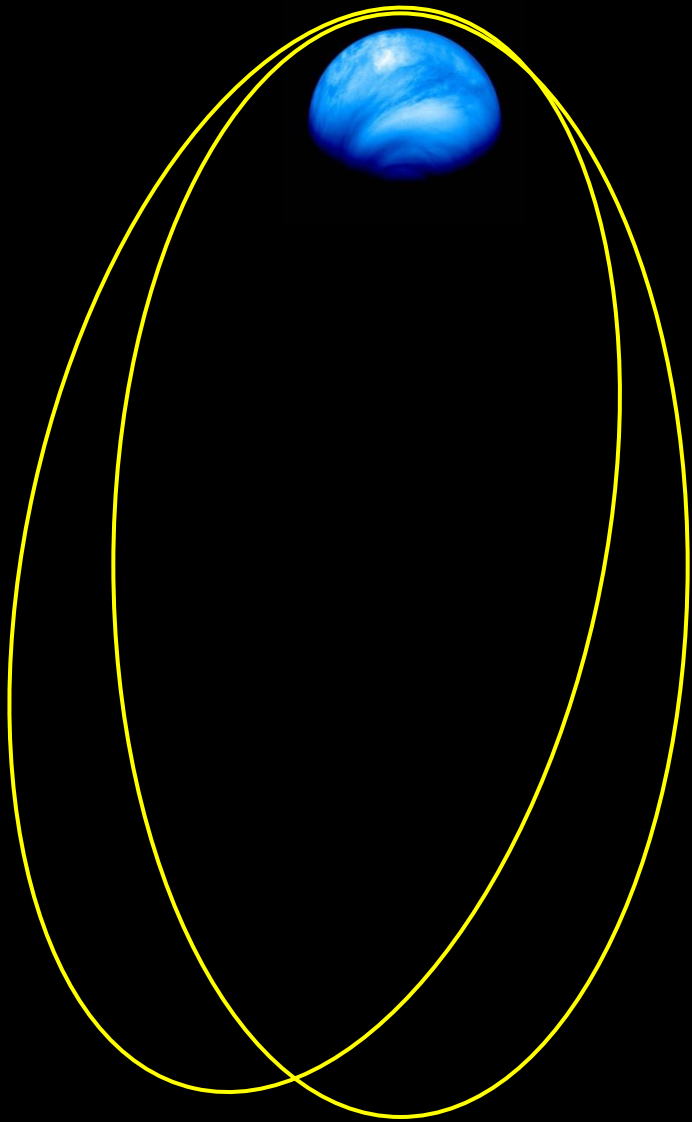
MAG-OS



HEBELARM (90 cm)

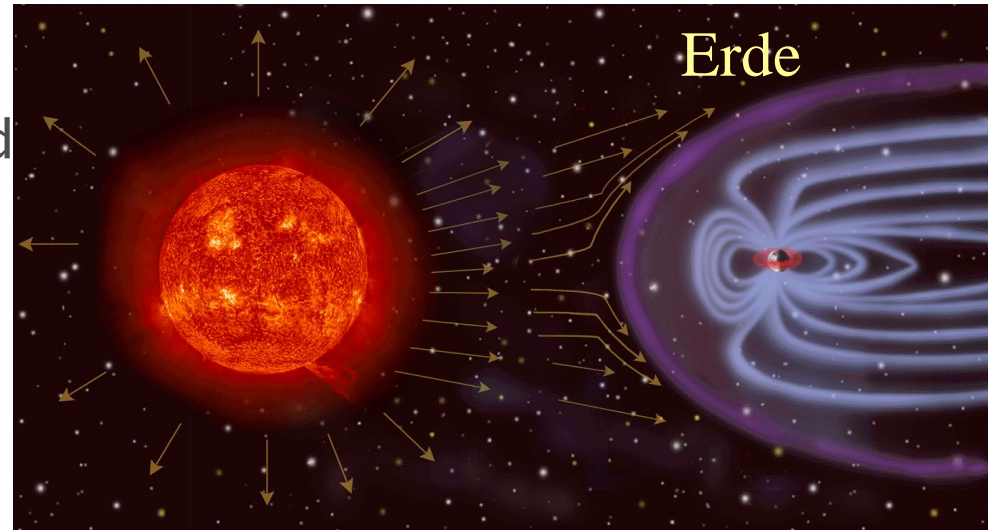
MAG-IS





- Polare Bahn, Umlaufdauer 24 St.
- Apozenrum:
66,000 km max. Distanz
- Perizentrum: 250–400 km Höhe
- Perizentrum gesenkt bis auf
165 km in 2010
- Perizentrum in der Polargegend:
von 78° in 2006
bis 90° Nord in 2009,
jetzt Bewegung nach Süden mit
~ 3.5°/Jahr

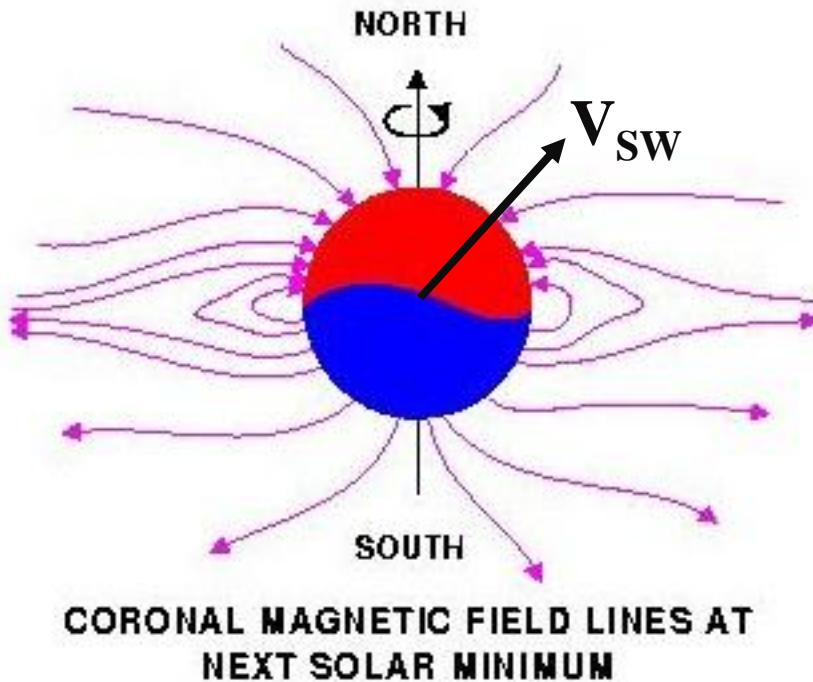
- **Sonnenwind –> Planet**
Geladene Teilchen & Magnetfeld treffen auf Planeten ein
- **Für Planet mit Magnetfeld:**
Sonnenwind wird weit vor Planet abgelenkt
–> Planet ist geschützt gegen SW – Teilchenstrom



- **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

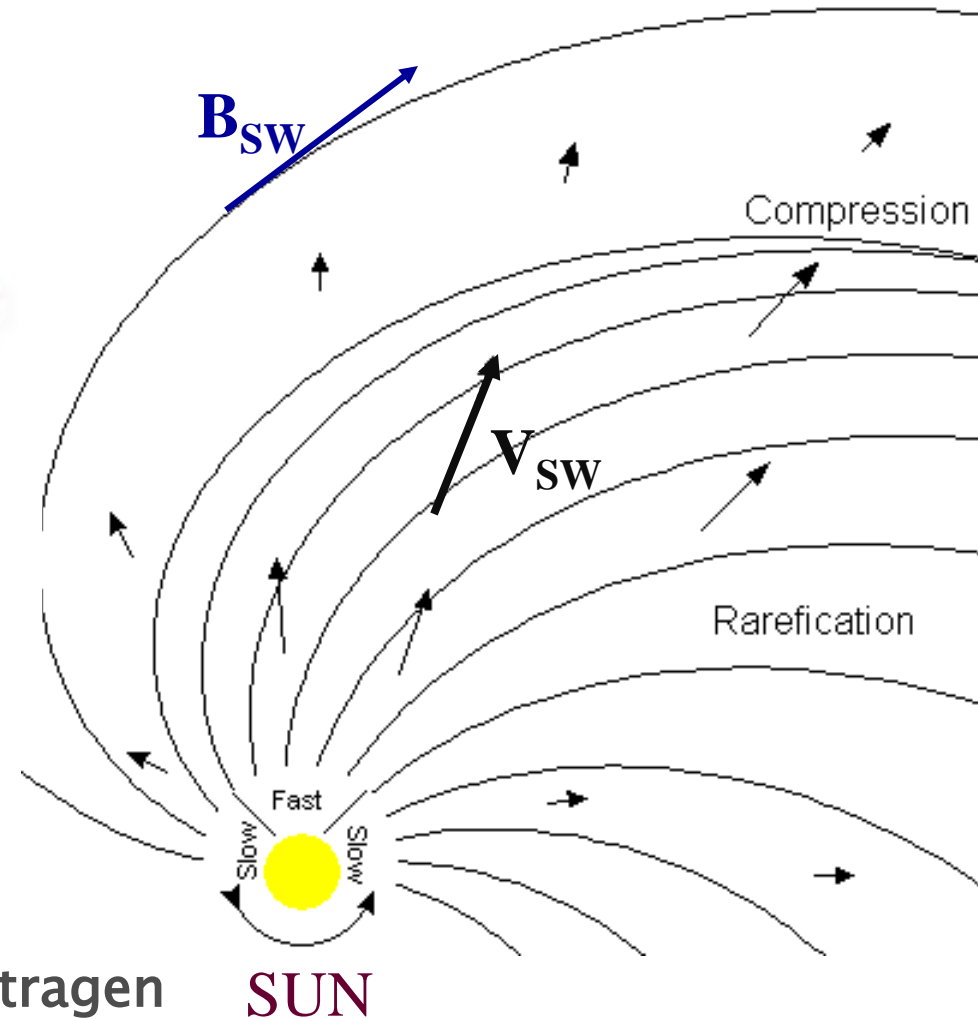
Ziel: besseres Verständnis dieser Vorgänge !

Sonne = magnetischer Dipol

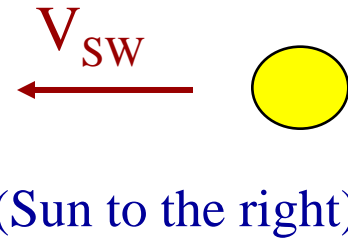
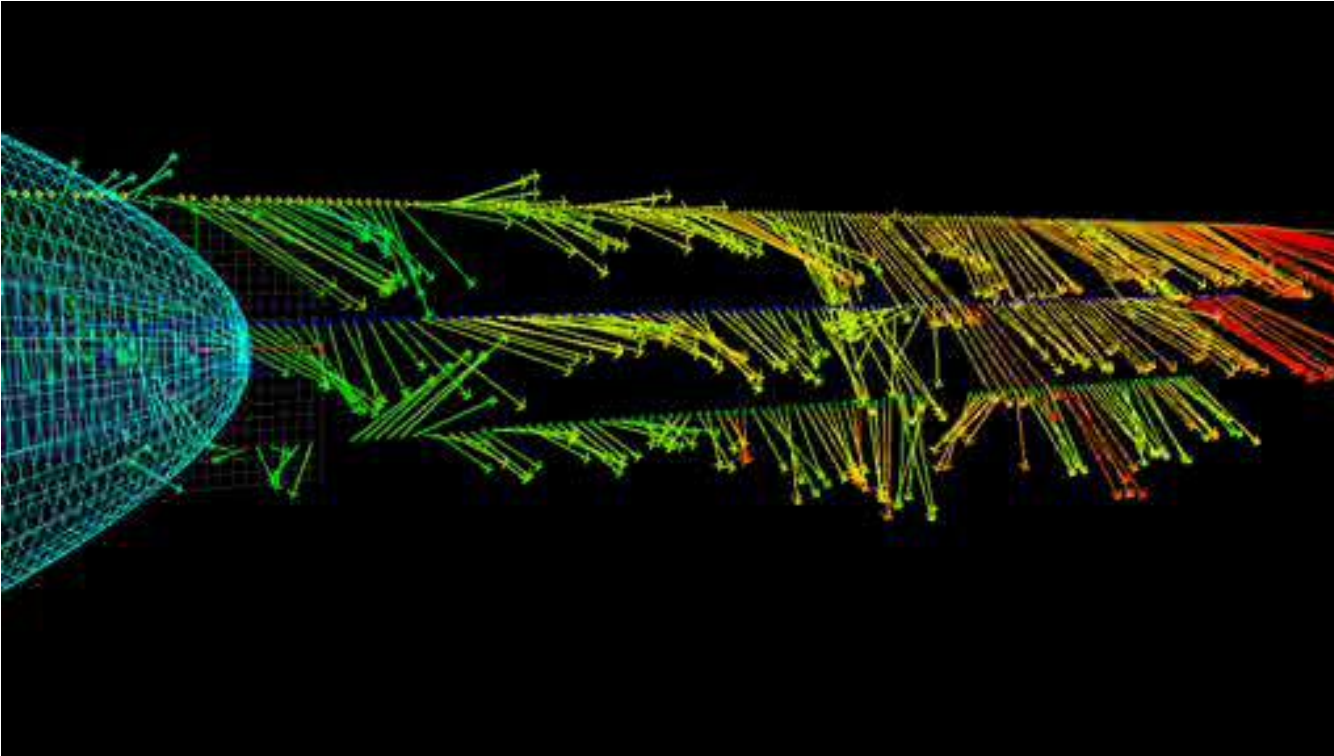


Sonnenwind = Strom geladener Teilchen aus der Sonne

Magnetfeld der Sonne wird vom Sonnenwind in den Weltraum getragen



- Sonnenwind trägt Magnetfeld der Sonne in den interplanetaren Raum



(Goddard Space Flight Center, NASA)

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



ABER:

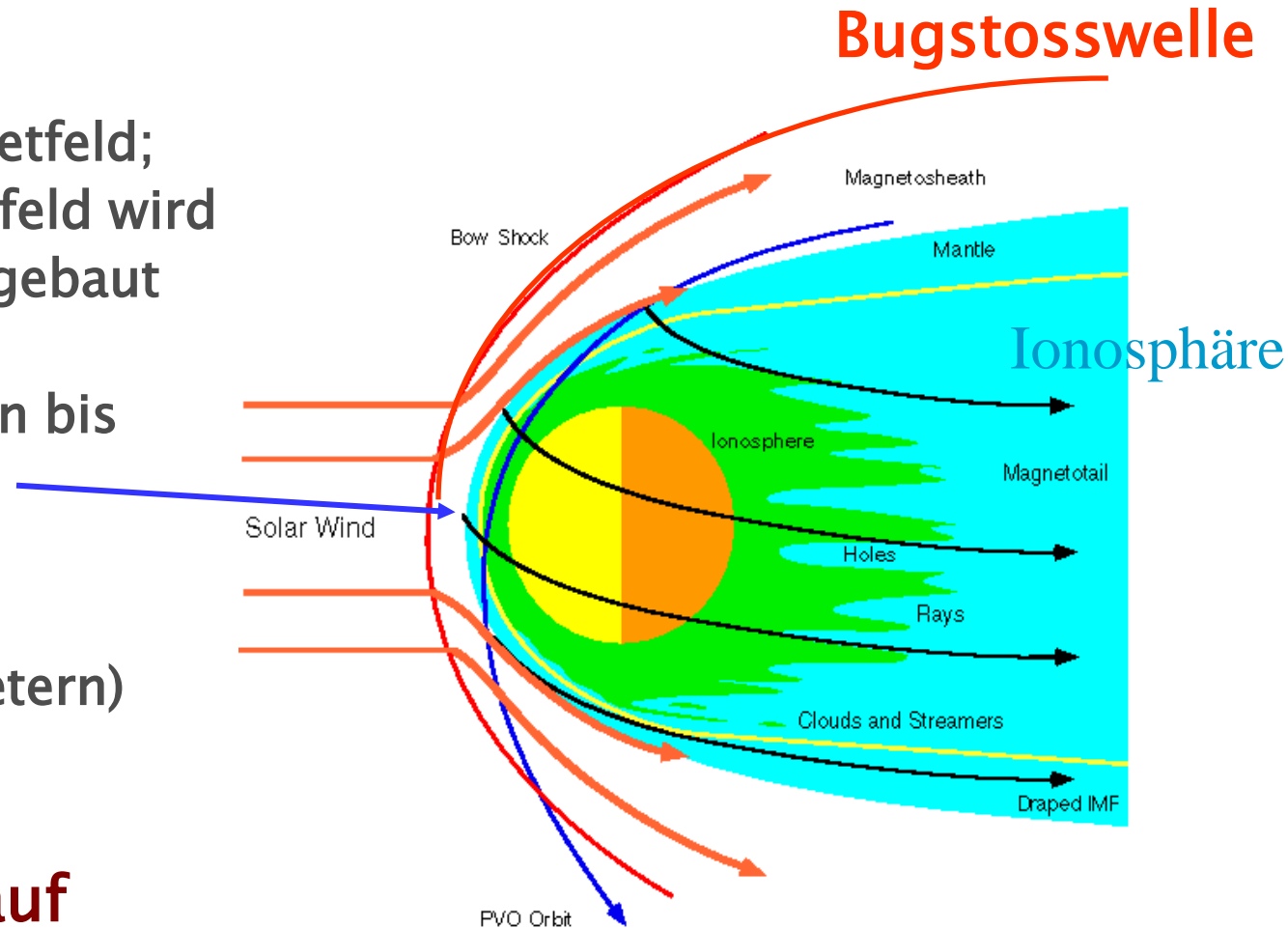
Erd-Atmosphäre liegt geschützt innerhalb der eigenen Magnetosphäre (SW wird in ~ 10 Erdradien abgeschirmt)

■ 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



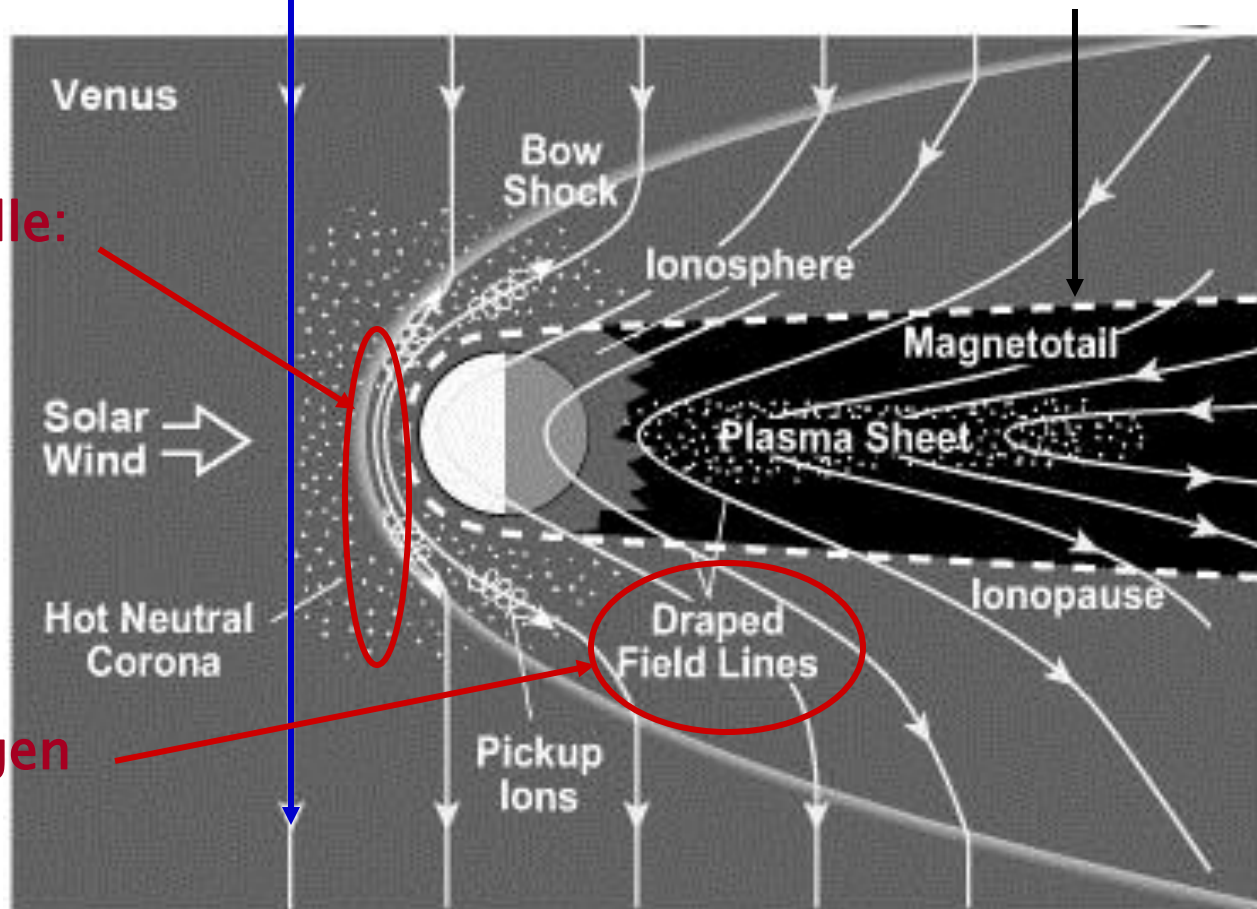
DETAILS der Wechselwirkung Venus-SW:

Interplanetäre Magnetfeldlinien

Induzierter Magnetschweif gebildet

Nach Bugstosswelle:
Feldlinien türmen sich auf

Feldlinien schmiegen sich um Planeten („draping“)



- Induziertes Magnetfeld entsteht durch induzierte elektrische Ströme in Ionosphäre
- Zwei mögliche Mechanismen zur Strom-Entstehung:

- Elektrisches Feld \mathbf{E} der Sonnenwind-Strömung

$$\mathbf{E} = (-\mathbf{V}_{sw} \times \mathbf{B}_{sw}) \quad (\text{induz. toroidales B-Feld})$$

Problem: wenn \mathbf{V}_{sw} parallel zu \mathbf{B}_{sw} : $\mathbf{E} \sim \mathbf{0}$ und keine Ströme

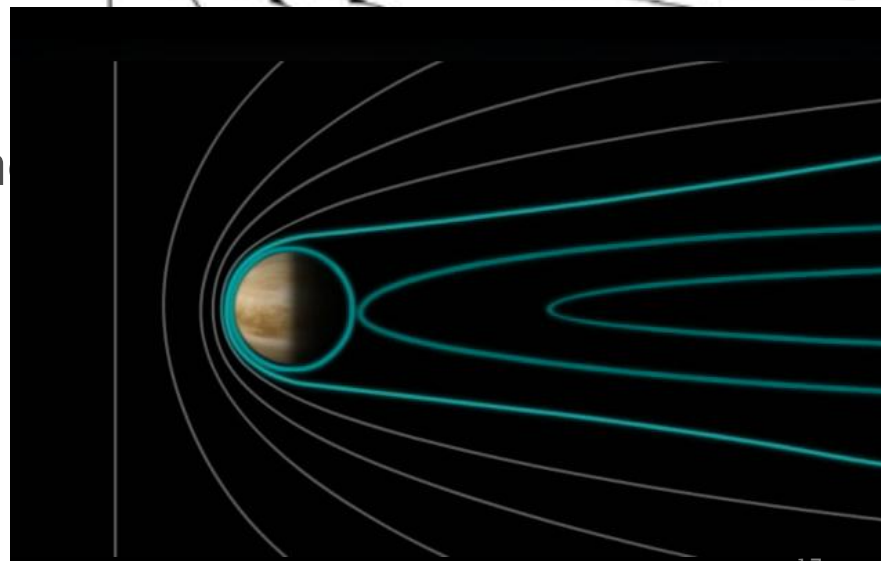
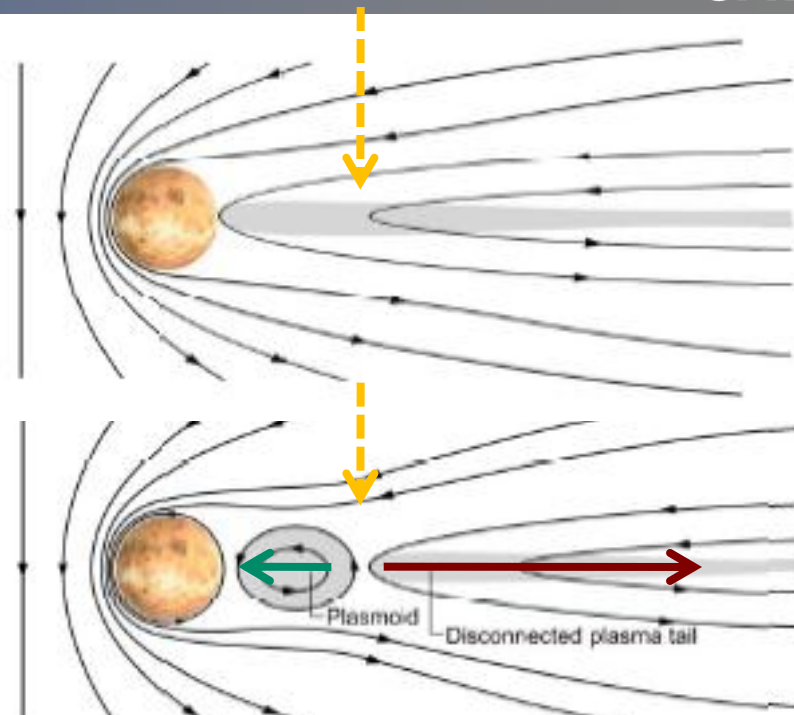
- Faraday Induktion, bei veränderlichem \mathbf{B}_{sw}

$$\frac{\partial \mathbf{B}_{sw}}{\partial t} \quad (\text{induziertes B-Dipol-Feld})$$

Problem: keine Ströme wenn $\frac{\partial \mathbf{B}_{sw}}{\partial t} = 0$

- **VEXMAG:** (Dubinin et al.)
Hinweise, dass beide Mechanismen vorkommen

- **Magnetometer, Nachtseite:**
- Magnetfeldlinien verbinden sich ab und zu NEU im Schweif (“Reconnection“)
- Folge 1: **Plasma** (geladen Teilchen) **strömt zurück Richtung Venus**
=> Energie-Eintrag in die Nachtseite der Atmosphäre
cfr.: auf der Erde löst dieses Phänomen magnetische Stürme und Polarlichter aus.
- Folge 2: **Plasma strömt schneller weg v. Venus**

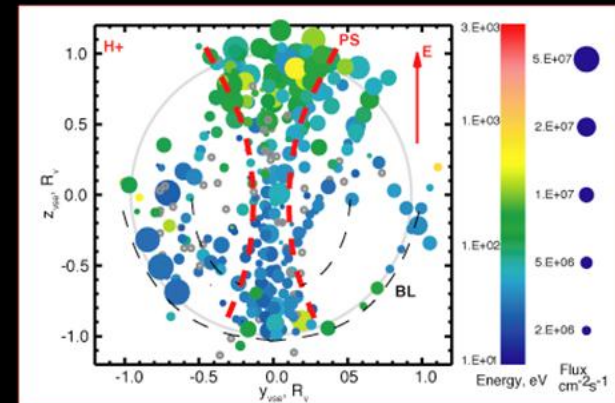
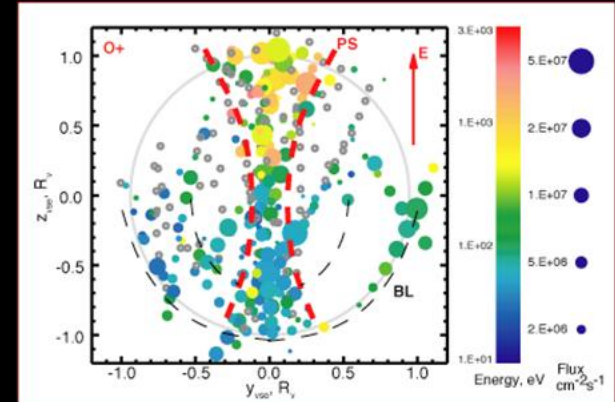
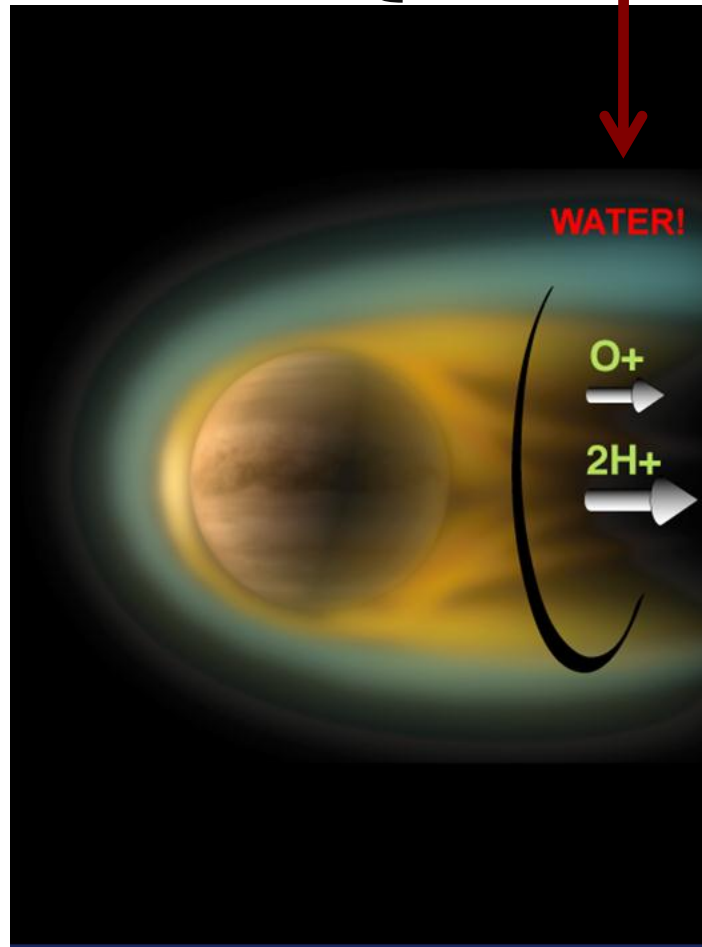


▪ Magnetometer und Teilcheninstrument im Schweif:

Venus verliert permanent
im Verhältniss 2/1

Wasserstoff-Ionen (Protonen)
Sauerstoff-Ionen

$H_2O = \text{Wasser} !!$



▪ Magnetometer Daten

UPSTREAM:

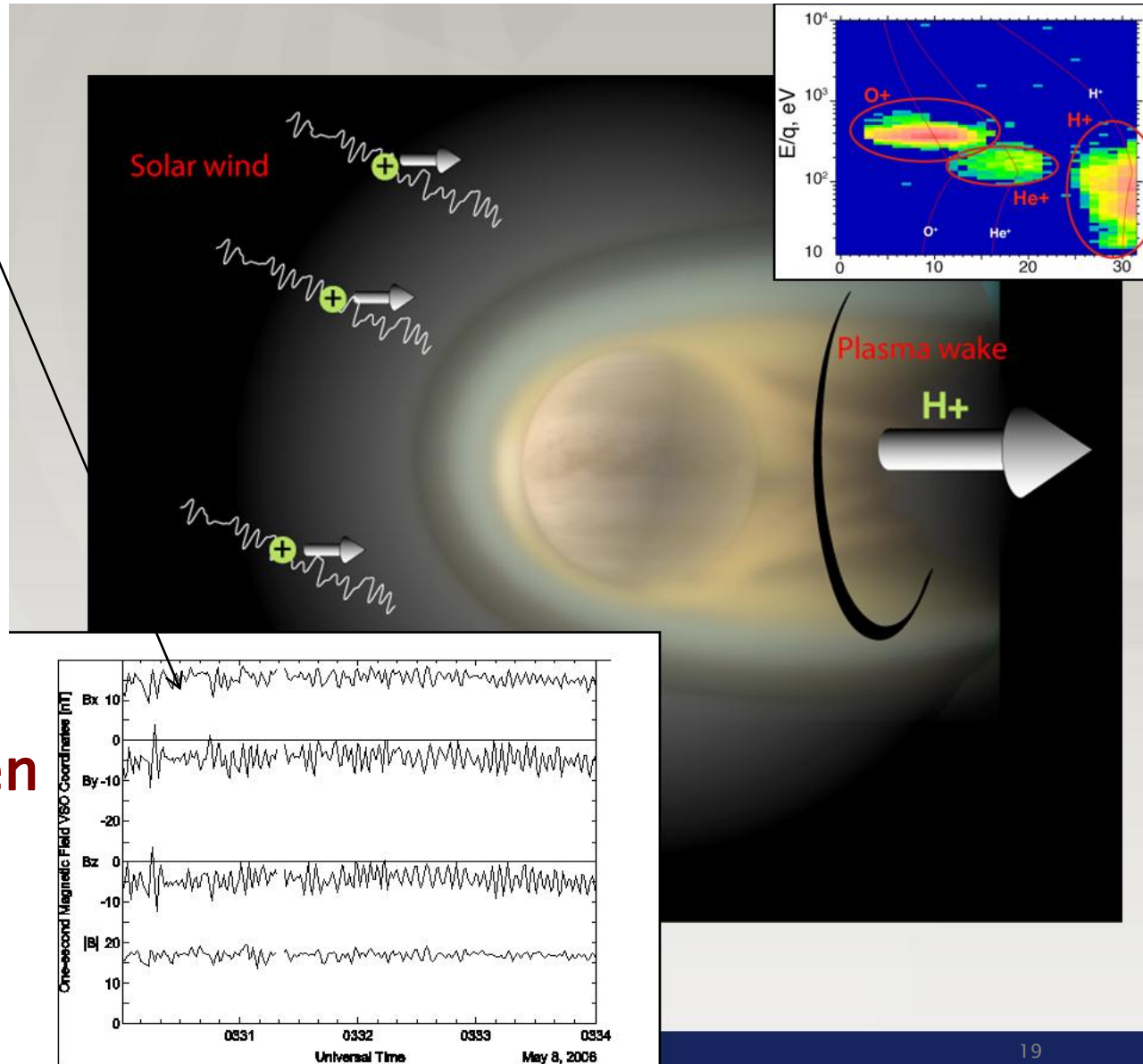
Zyklotron Wellen

$$\sim f_{proton}$$

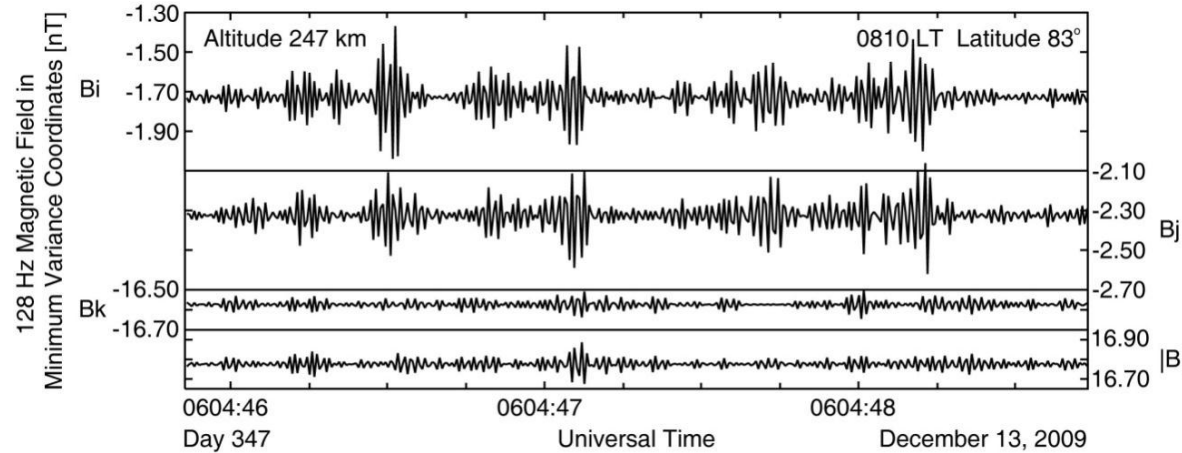
=> Venus verliert permanent Protonen an SW Sonnenwind

Venus verliert permanent Wasser und Wasserstoff a.d. interplanetaren Raum

“gone with the Solar Wind“

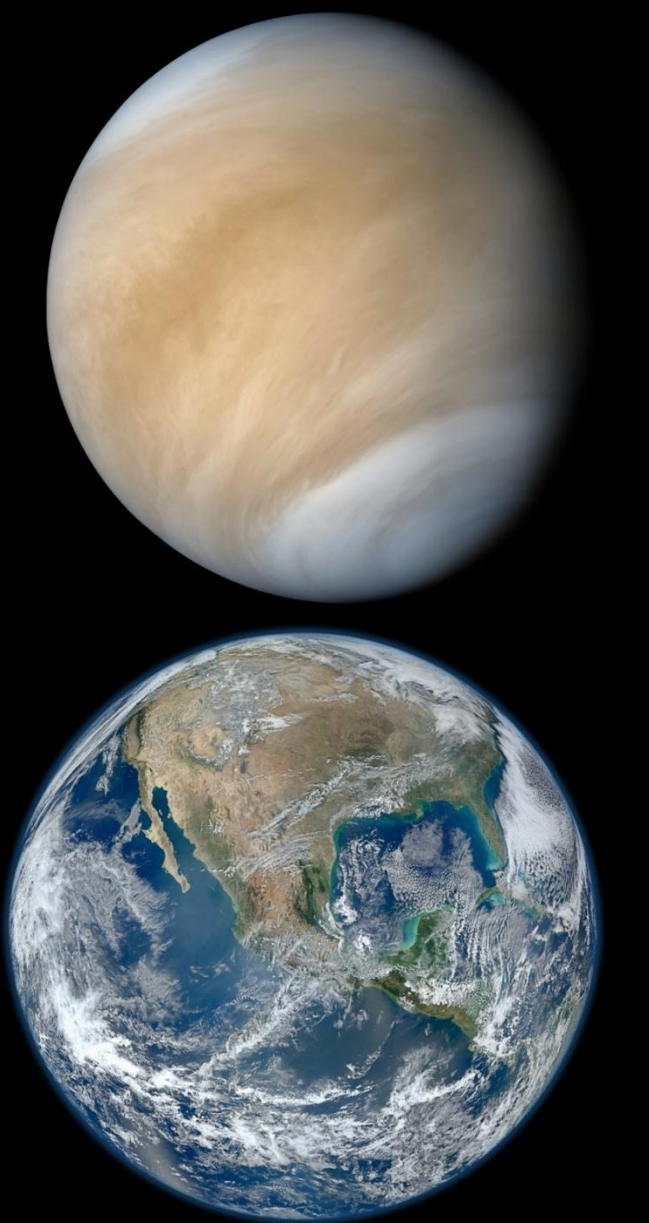


▪ Magnetometer Daten im Perizentrum (H ~165–300 km)



- Signale von tieferliegenden Blitzen in Atmosphäre
- Rege Bliztätigkeit (1/2 so viel als @Erde)
- Blitze = Energie-Eintrag in Atmosphäre spaltet Moleküle auf, erlaubt andere Verbindungen
=> **Änderung der Chemie!!**



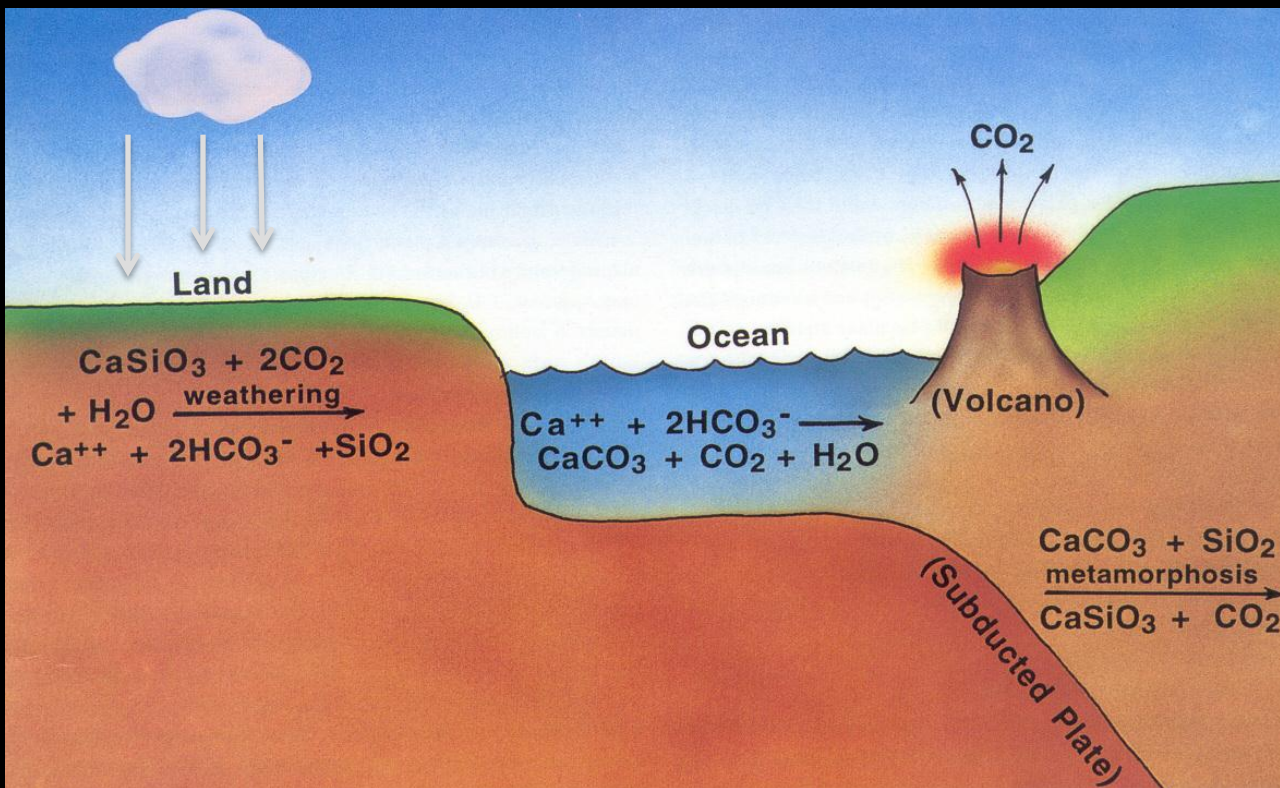


- Entstehung der Planeten: Atmosphäre
Venus & Erde vermutlich sehr ähnlich
- Jetzt:

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

Erde hat 100,000 mal mehr Wasser !

- Warum so anders?



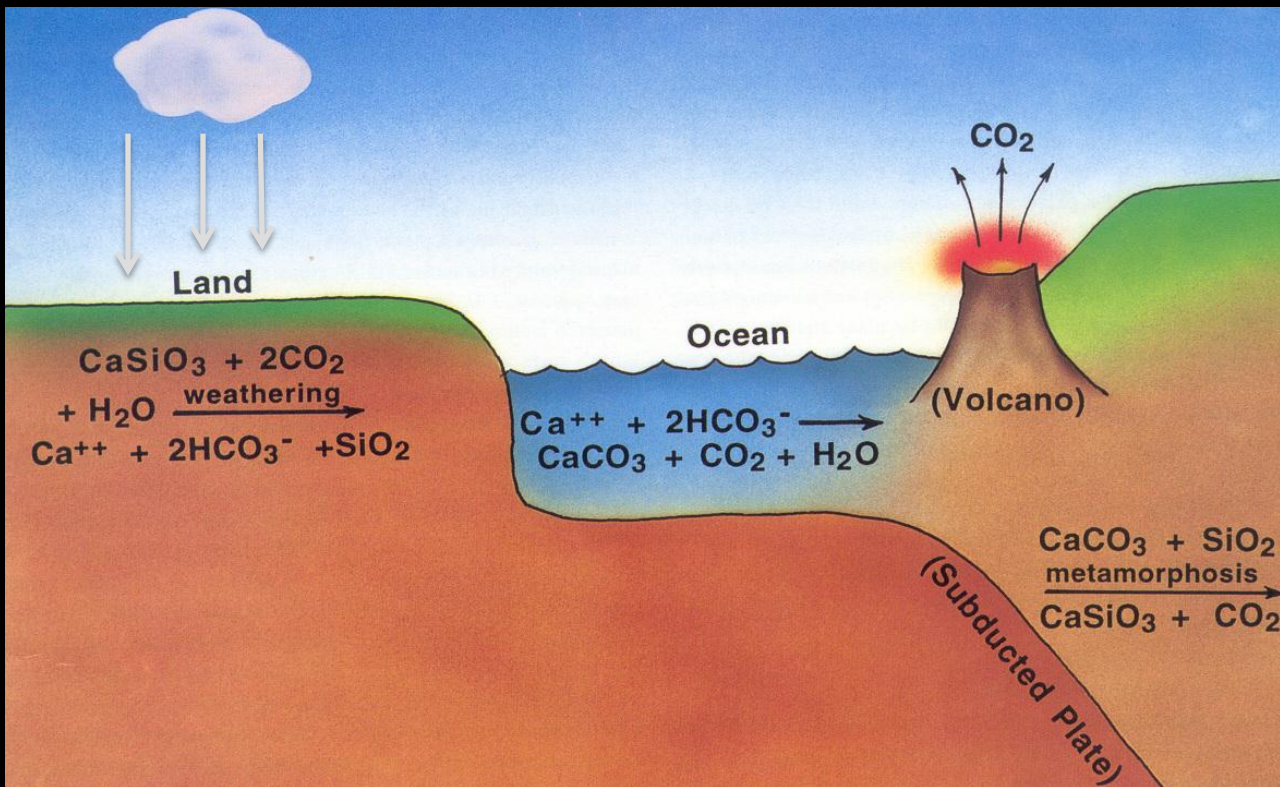
Erde recycles CO_2
in ~ 500,000 Jahren



CO_2 : durch "Witterung" aus Atmosphäre entfernt
(in Regenwasser gelöst), abgelagert in Karbonat-Gestein

Effekt is 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 @ früher Venus, ABER brach zusammen, als das Wasser verbraucht war

**Venus: kein flüssiges Wasser mehr,
keine Silikat Verwitterung mehr,
neues CO₂ aus Vulkanismus verbleibt in der Atmosphäre
=> HOHE Temperatur (~ 450°C)**

- **Induziertes Magnetfeld gibt Schutz für untere Atmosphäre gegen den Sonnenwind, auch im Sonnenaktivitäts-Minimum**
- **Blitztätigkeit ermöglicht Spaltung von Molekülen und dadurch Entstehung NEUER Verbindungen in Atmosphäre**
- **Venus verliert permanent Wasser & Wasserstoff an den interplanetaren Raum**
- **Durch Wasserverlust kann CO₂ nicht mehr aus Atmosphäre entfernt werden**
=> „run away greenhouse effect“ => 450 °C !

