

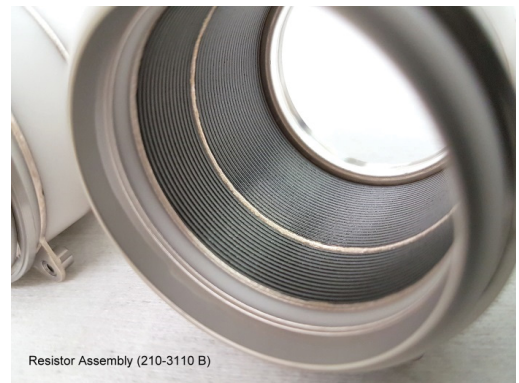


## Fügetechnologie für die Raumfahrt

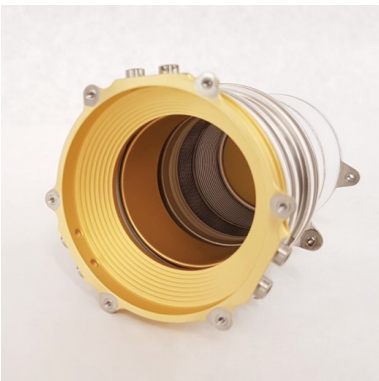
Empa Abteilung 202, Fügetechnologie und Korrosion

### Von Rosetta bis Juice – mehr als 20 Jahre Erfahrung mit Komponenten für die Raumfahrt

Seit über 20 Jahren ist die Empa in Zusammenarbeit mit dem Physikalischen Institut der Universität Bern an der Entwicklung und Herstellung von Baugruppen für wissenschaftliche Instrumente für die Raumfahrt beteiligt. Beispielhaft werden komplexe Metall-Keramik Bauteile zusammengefügt, die in diversen Massenspektrometern eingesetzt werden. Solche Komponenten lassen sich mit Hilfe der Löttechnologie vakuumdicht, hochspannungsfest und viel kompakter / in Leichtbauweise fertigen anders als mit mechanischer Verbindungstechnik.



Resistor Assembly (210-3110 B)



### Bauteile für Jupiter Mission (2022)

#### Integrated Reflectron #1 (NIM)

L = 89 mm / Ø61 mm

<b>Fügeverbindungen:</b>	<b>32</b>
- Gelötet: (8 + 4 + 4)	16
- Laser geschweisst: (5 + 6 + 1)	12
- Elektronenstrahl geschweisst:	4

### Eigenentwicklungen

- Ultra-hochvakuumdichte Lötungen von Titan und seinen Legierungen mit Keramikwerkstoffen
- Funktionelle Beschichtungen von Keramiken:
  - Hochfeste, vakuumdichte Metallisierung von Oxid- und Nitridkeramiken
  - Leiterbahnen mit hochohmigen Widerständen mittels Dispenser-Printing
  - Leiterbahnen mit genau definierten Widerständen für Miniaturheizer mittels Siebdruck

### Unsere Kernkompetenzen

- Entwicklung von kundenspezifischen Löttechnologien
- Entwicklung von massgeschneiderten funktionellen Beschichtungstechnologien
- Design und Herstellung von hochpräzisen, miniaturisierten gelöteten und/oder geschweissten Baugruppen

#### Kontakt

Hans Rudolf Elsener  
Mail: [hansrudolf.elsener@empa.ch](mailto:hansrudolf.elsener@empa.ch)  
Tel.: +41 58 765 4227

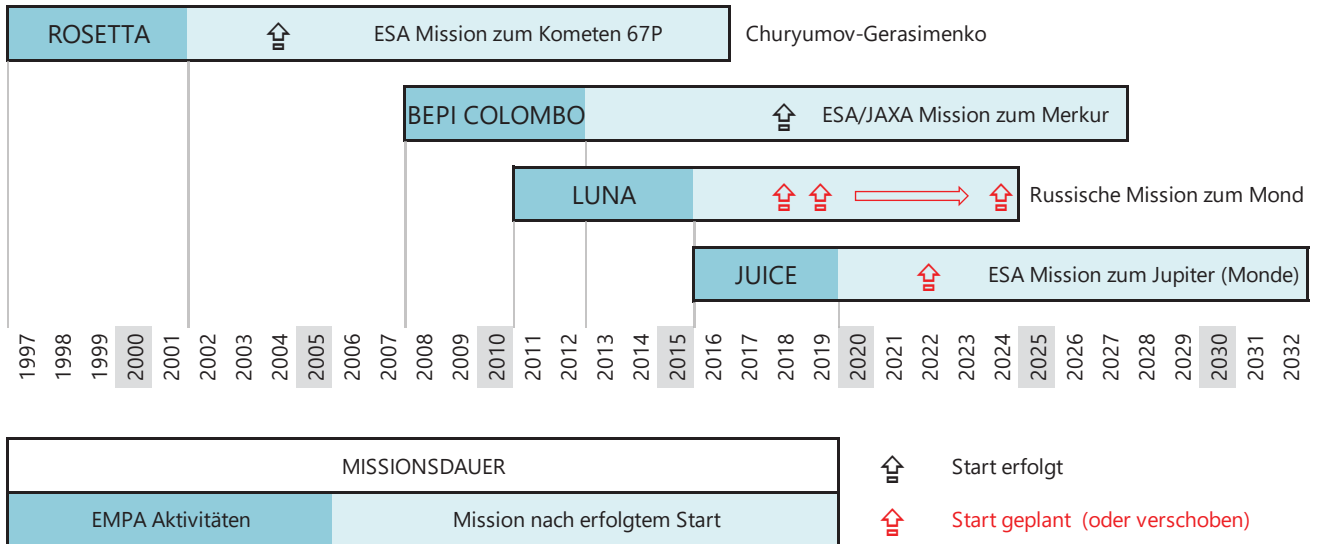
Tobias Burgdorf  
Mail: [tobias.burgdorf@empa.ch](mailto:tobias.burgdorf@empa.ch)  
Tel.: +41 58 765 6597

Jolanta Janczak-Rusch  
Mail: [jolanta.janczak@empa.ch](mailto:jolanta.janczak@empa.ch)  
Tel.: +41 58 765 4529

## Fügetechnologie für die Raumfahrt

Empa Abteilung 202, Fügetechnologie und Korrosion

### Zeitachse – von Rosetta (1997) bis Juice (2019)



### Baugruppen von der Empa

Mission	Experiment	Instrument	Baugruppe
ROSETTA	Rosina	RTOF	Ionenoptik für Flugzeitmassenspektrometer
ROSETTA	Rosina	DFMS	Zoom-Optik für doppelfokussierendes Massenspektrometer
BEPI COLOMBO	Serena	STROFIO	Ionenoptik für Flugzeitmassenspektrometer
BEPI COLOMBO	MPPE	ENA	Beheizbare Struktur
LUNA	GAP	NGMS	Ionenoptik für Flugzeitmassenspektrometer
JUICE	PEP	NIM	Ionenoptik-Baugruppen des Flugzeitmassenspektrometers

### Beschreibung und Darstellung der wichtigsten Baugruppen

Die wichtigsten Baugruppen aus ROSETTA, BEPI COLOMBO, LUNA und JUICE werden auf den folgenden Seiten ausführlicher beschrieben und dargestellt.

### Mitwirkung an andern Weltraum-Missionen

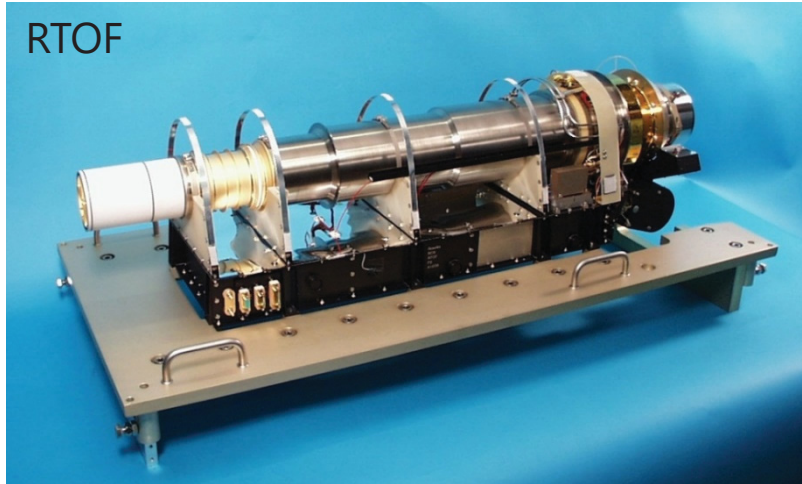
Mission	Start	Instrument	Beitrag
ExoMars Trace Gas Orbiter	2016	CaSSIS (Kamera)	Wärmebehandlungen
CHEOPS	2019	Teleskop für ExoPlaneten	Herstellung von diversen Mini-Heizern
PLATO	2026	Teleskop für ExoPlaneten	Wärmebehandlungen
COMET INTERCEPTOR	2028	Maniac	Evaluation

# Rosetta 1997 – 2001

Start: 02.03.2004

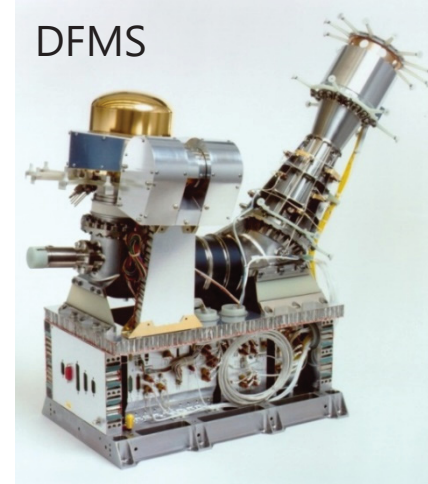


- Ionenoptische Komponenten für Rosina: mitentwickelt / hergestellt von der Empa



Flugzeitmassenspektrometer mit Ionenspiegel

Foto: Universität Bern



Doppelfokussierendes Massenspektrometer

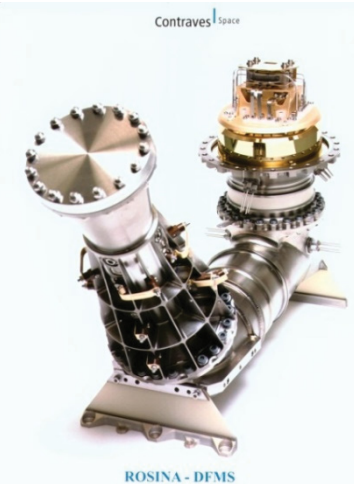
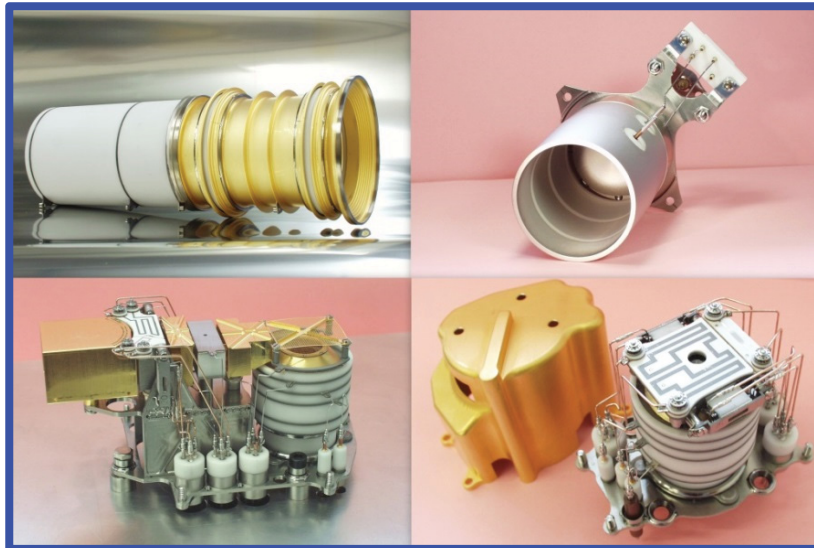
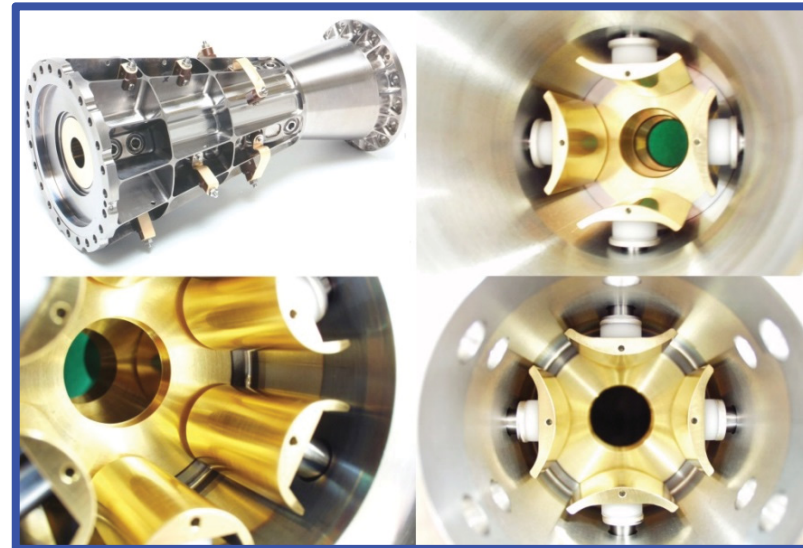


Foto: Oerlikon Contraves Space

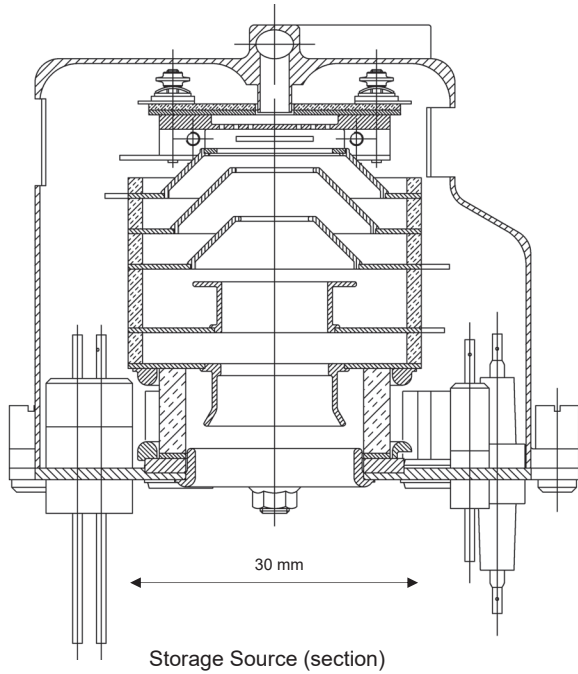


Bauteile der Empa (Ionenspiegel / Ionenquellen)

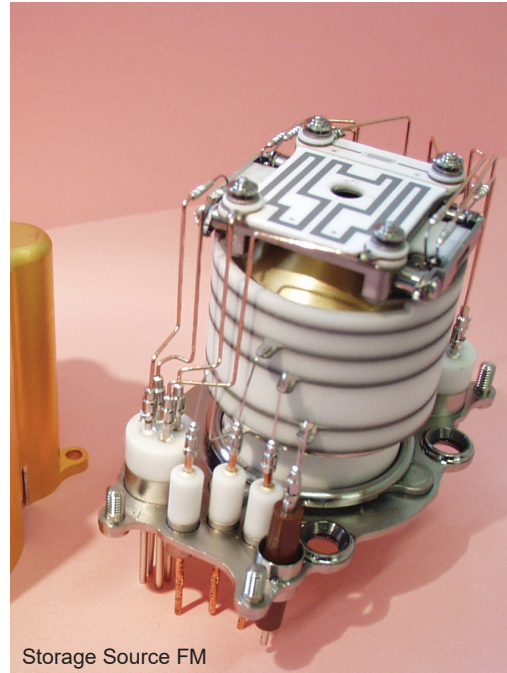


Bauteile der Empa (Zoom Optik mit Quadru-/Hexapolen)

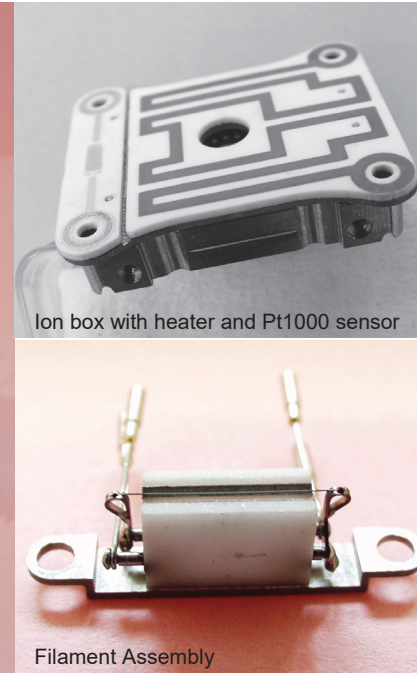




Storage Source (section)



Storage Source FM



Ion box with heater and Pt1000 sensor

Filament Assembly

## Ionenquellen für das Flugzeit-Massenspektrometer RTOF (ROSETTA ROSINA)

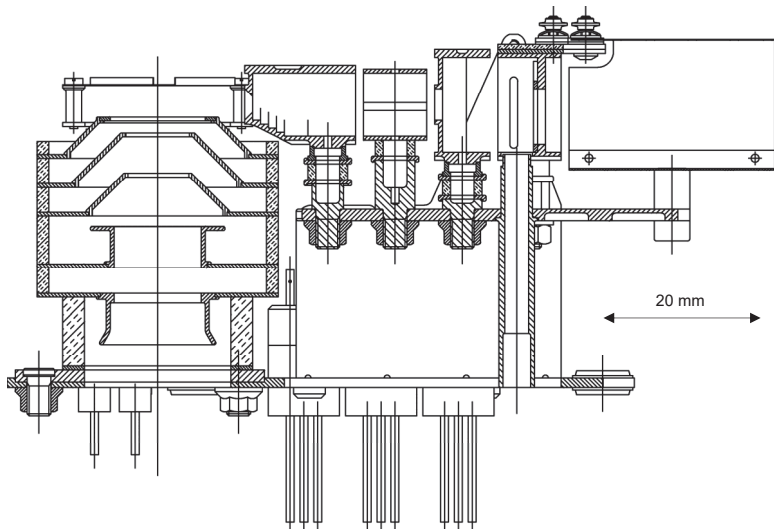
# Der Hauptteil der Ionenquelle besteht aus übereinander gestapelten konzentrischen und geschweissten Elektroden, welche mit Keramikringen (Isolatoren) präzise verlötet sind. Die geometrische Toleranz ist besser als 0.02 mm, während die Spannungsfestigkeit einiger Elektroden  $-6\text{kV}$  aufweist.

# Der Heizer der Ionenbox besteht aus einer siebgedruckten Keramikplatte, welche zusammen mit einem Temperatursensor (Pt1000) auf einen metallischen Träger gelötet ist.

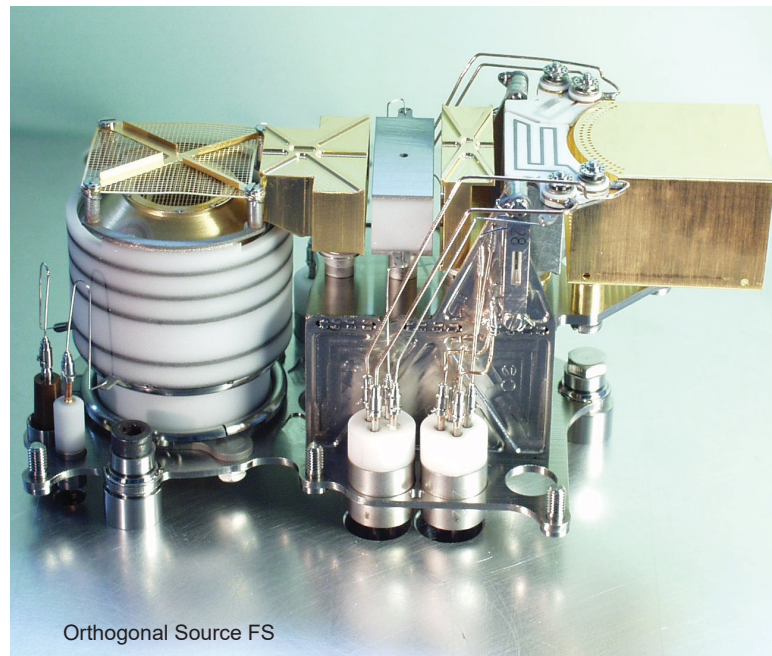
# Beim Filament Assembly für die Ionisierung von neutralen Gasen handelt es sich um ein miniaturisiertes Bauteil, das gelötet und geschweisst wurde (Abmessung der Keramik  $8 \times 5 \times 3 \text{ mm}$ ).

# Bei der Hochspannungsdurchführung (Aussendurchmesser 4 mm) handelt es sich um eine Eigenentwicklung, welche Spannungen bis  $-12\text{kV}$  aushält (im Vakuum und Gleichstrom).

# Der Träger der Ionenquelle besteht aus gefrästen Titanblechen, welche mittels Laser geschweisst wurden.

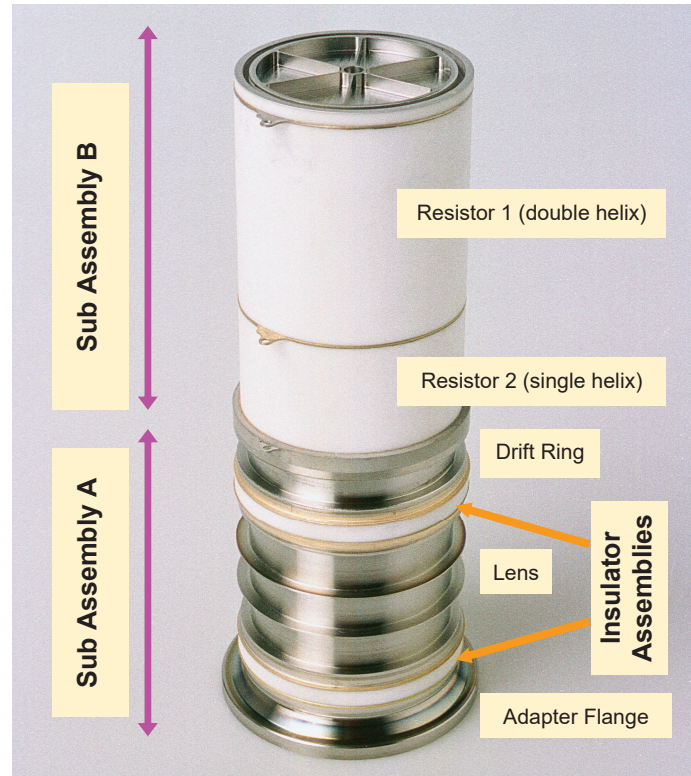
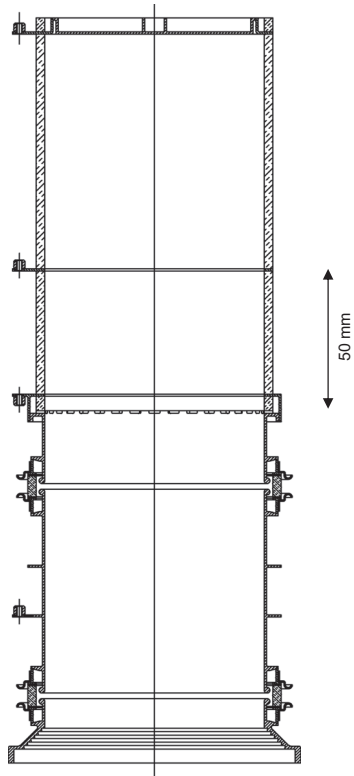


Orthogonal Source (section)



Orthogonal Source FS





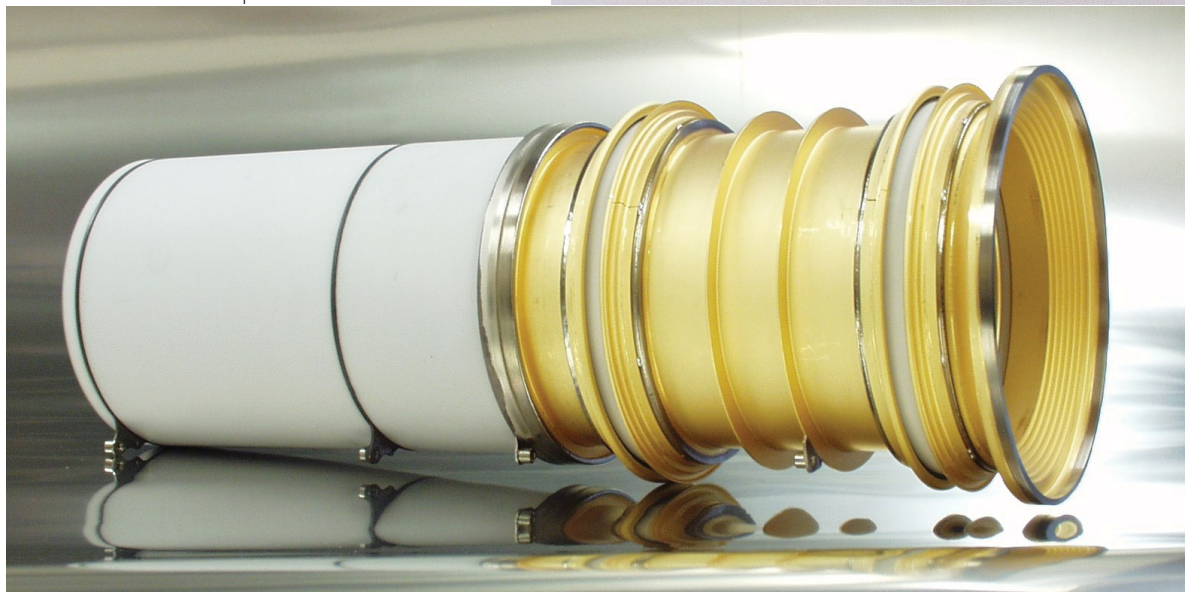
## Integrated Reflectron für das RTOF Massenspektrometer (ROSETTA ROSINA)

# Das Integrated Reflectron ist eine ultrahochvakuumdichte, gelötete und geschweisste Struktur aus Keramik und Titanlegierungen.

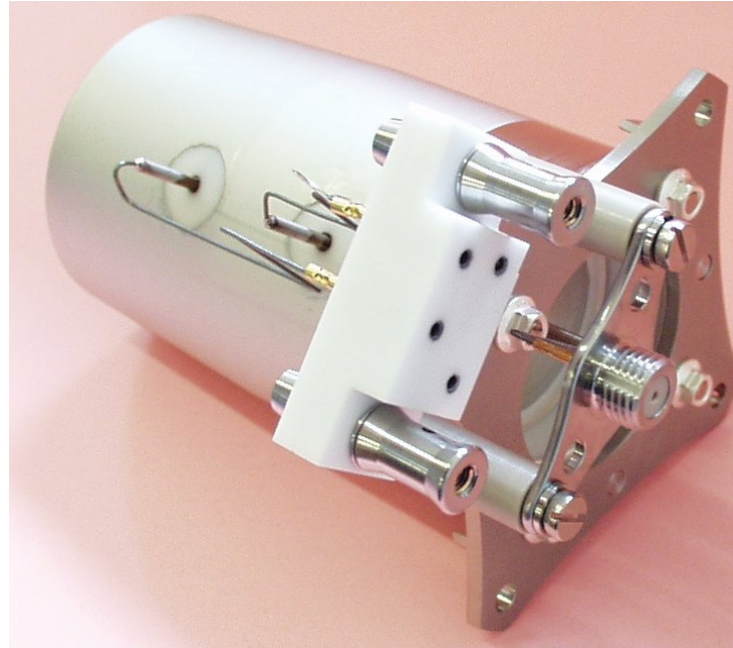
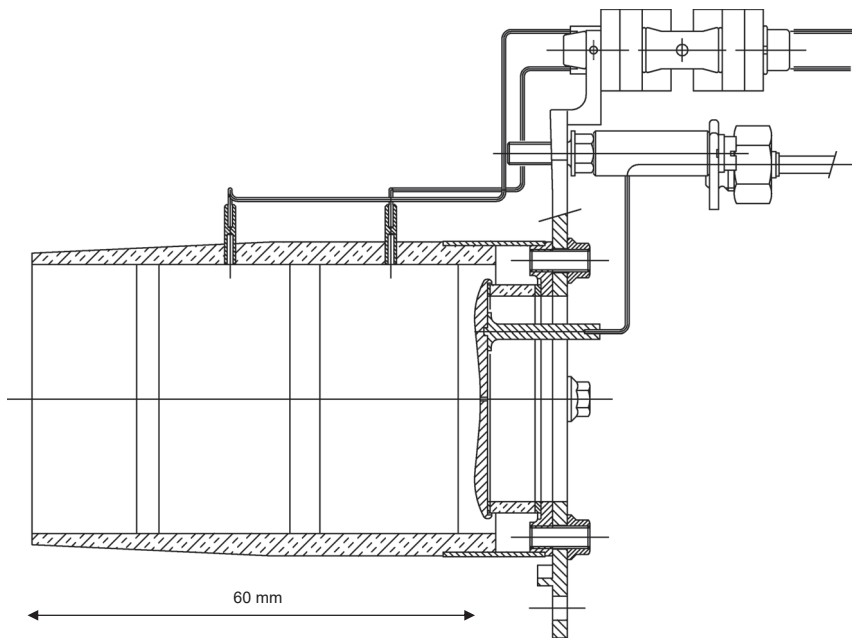
# Die Titan- und Keramikteile sind im Vakuumofen gelötet worden. Die Unterbaugruppen (Sub Assemblies) wurden mittels Elektronenstrahl und Laser geschweisst.

# Beide Widerstandsrohre aus Keramik sind inwendig mit spiralförmigen Leiterbahnen versehen. Zur Erreichung des Feldgradienten wurden rund 15 m Linien mittels CNC Pastendispenser appliziert ( $R_{\text{tot}} \approx 1.5G\Omega$ ).

# Die Spannungsfestigkeit der Isolatoren beträgt  $-6kV$ .







## Hard Mirror für das RTOF Massenspektrometer (ROSETTA ROSINA)

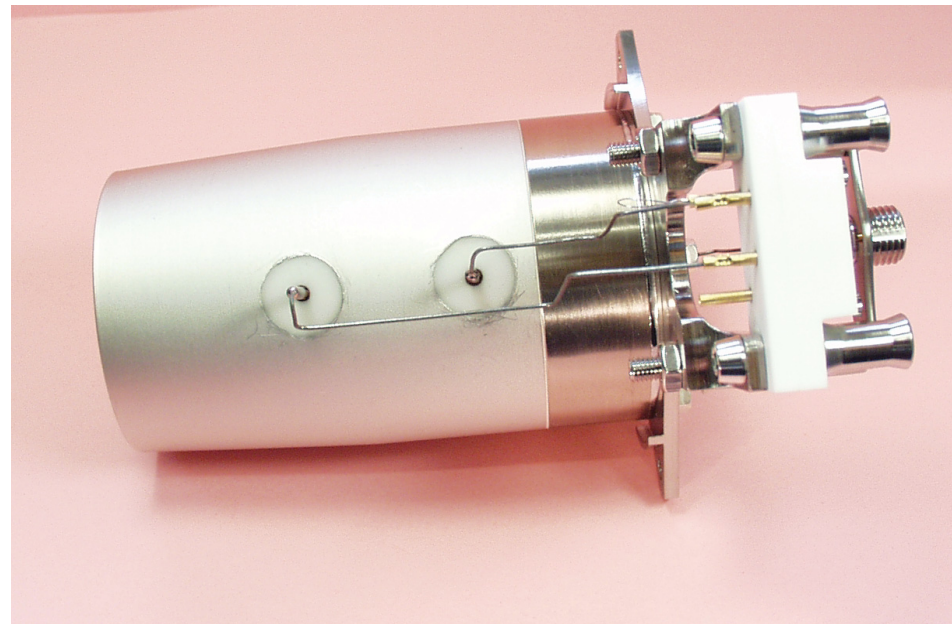
# Der Hard Mirror ist eine gelötete und geschweisste Konstruktion aus Keramik und Titanlegierungen.

# Die Titan- und Keramikteile wurden im Vakuumofen gelötet, während die beiden Sub Assemblies mittels Laser zusammenschweisst wurden.

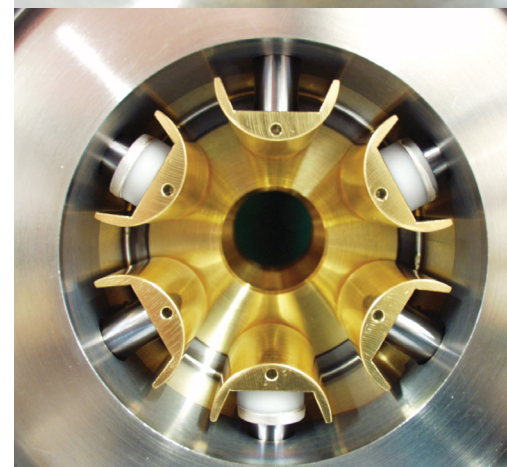
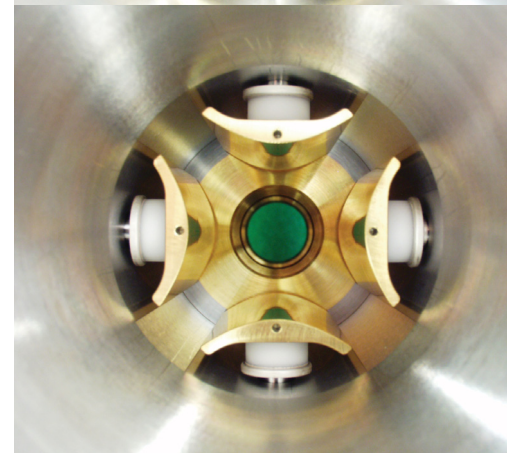
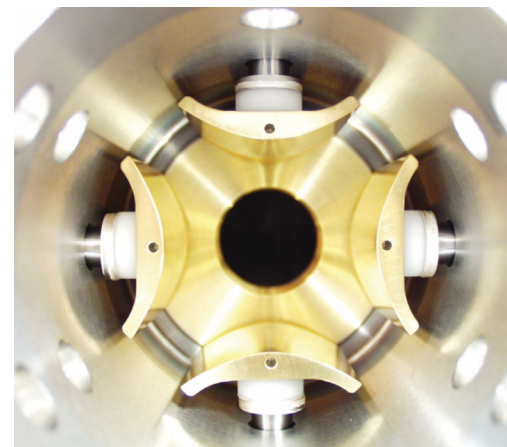
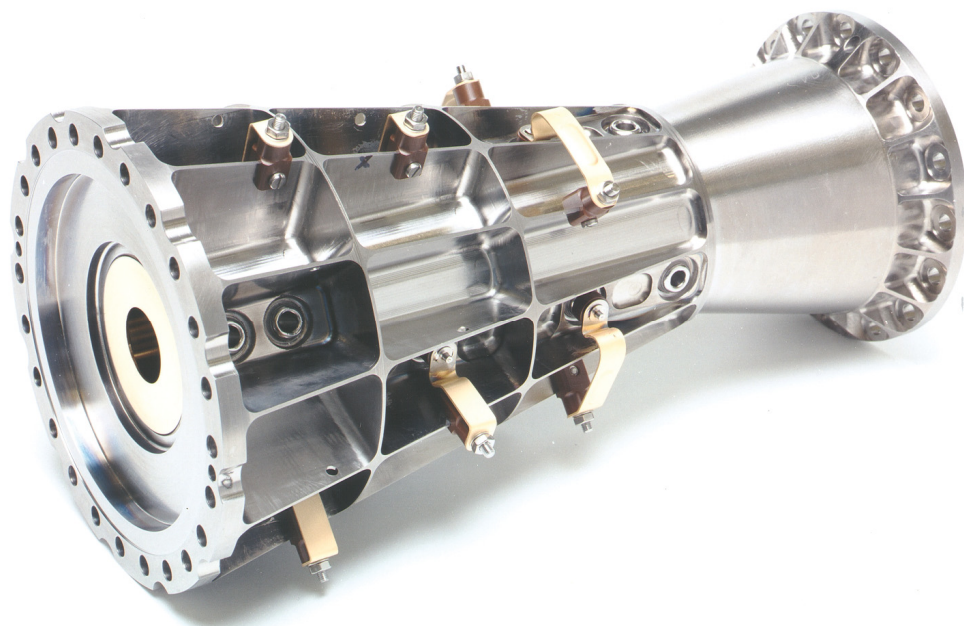
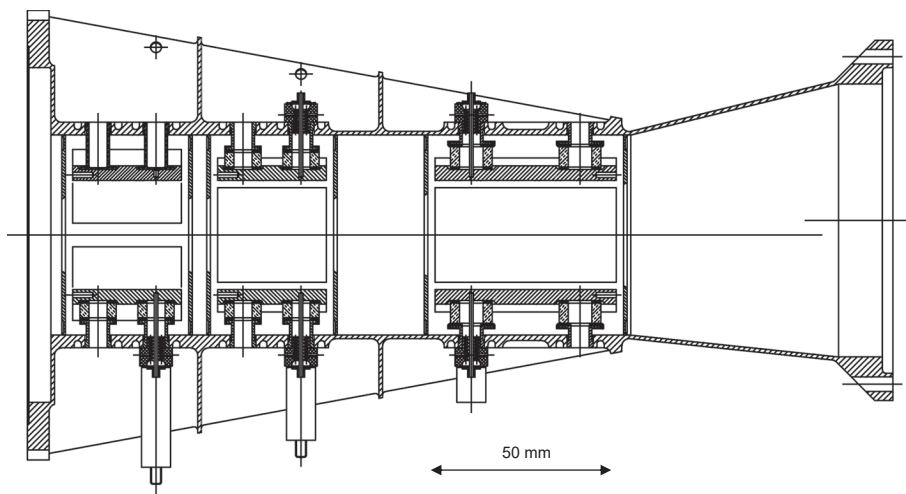
# Das abgeschrägte Aluminiumoxid-Rohr ist teilweise metallisiert, um Elektroden innerhalb des begrenzten Raums zu realisieren.

# Die Hochspannungsfestigkeit der Isolationsstrecken erreicht  $-6\text{kV}$ .

# Die beiden Hochspannungs- und Koaxstecker wurden an der Empa entwickelt und hergestellt.







## Zoom Optik für das doppelfokussierende Massenspektrometer (ROSETTA ROSINA DFMS)

# Die Zoom Optik ist eine ultrahochvakuumdichte, gelötete und geschweisste Konstruktion aus Keramik und Titanlegierungen.

# Die Titan- und Keramikteile der Quadrupole / Hexapole wurden im Vakuumofen gelötet. Die gemessenen geometrischen Abweichungen waren kleiner als 0.02 mm.

# Die Pol-Assemblies und Blenden wurden mittels Elektronenstrahl ins Titangehäuse geschweisst. Die Abweichungen der Pol-Oberflächen bezüglich Form und Positionierung waren kleiner als 0.05 mm.

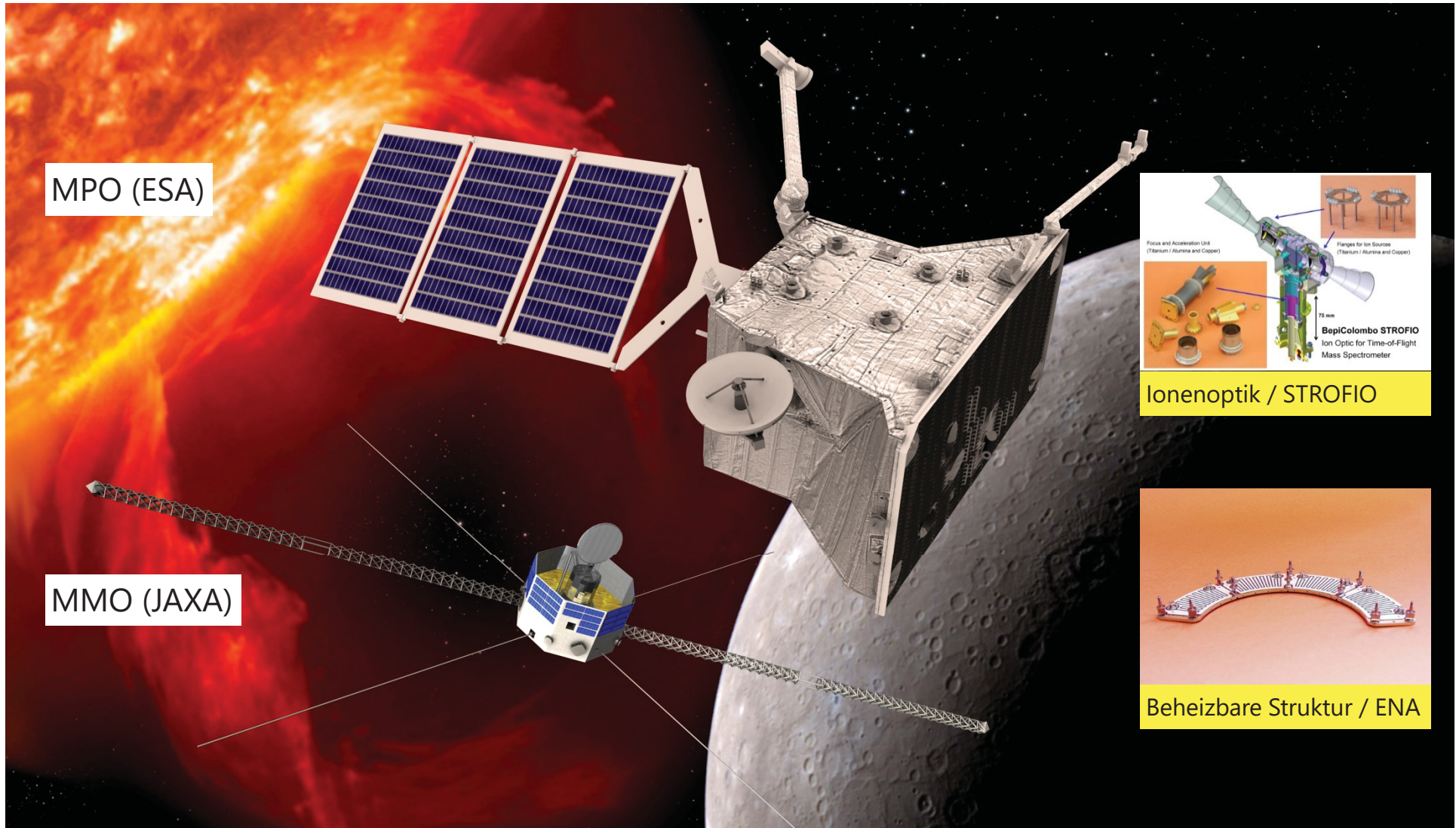
# Die Hochspannungsfestigkeit der Isolatoren erreicht  $-3\text{kV}$ .



# Bepi Colombo 2008 – 2012

Start: 20.10.2018

- 7-jährige Reise zum Merkur – wegen insgesamt 9 «Swing-by-Manöver»
- Empa Bauteile auf der europäischen und japanischen Sonde



ESA image (ID 338'857): Artist's impression of BepiColombo



# Bepi Colombo 2008 – 2012

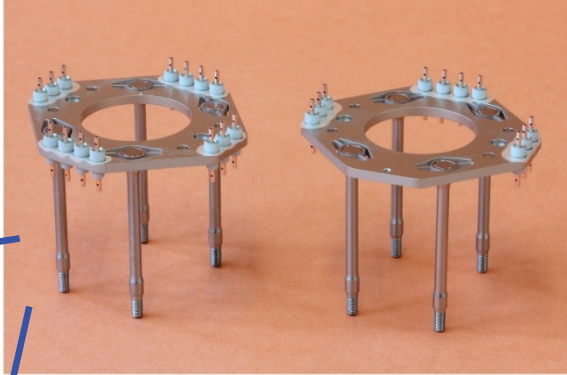
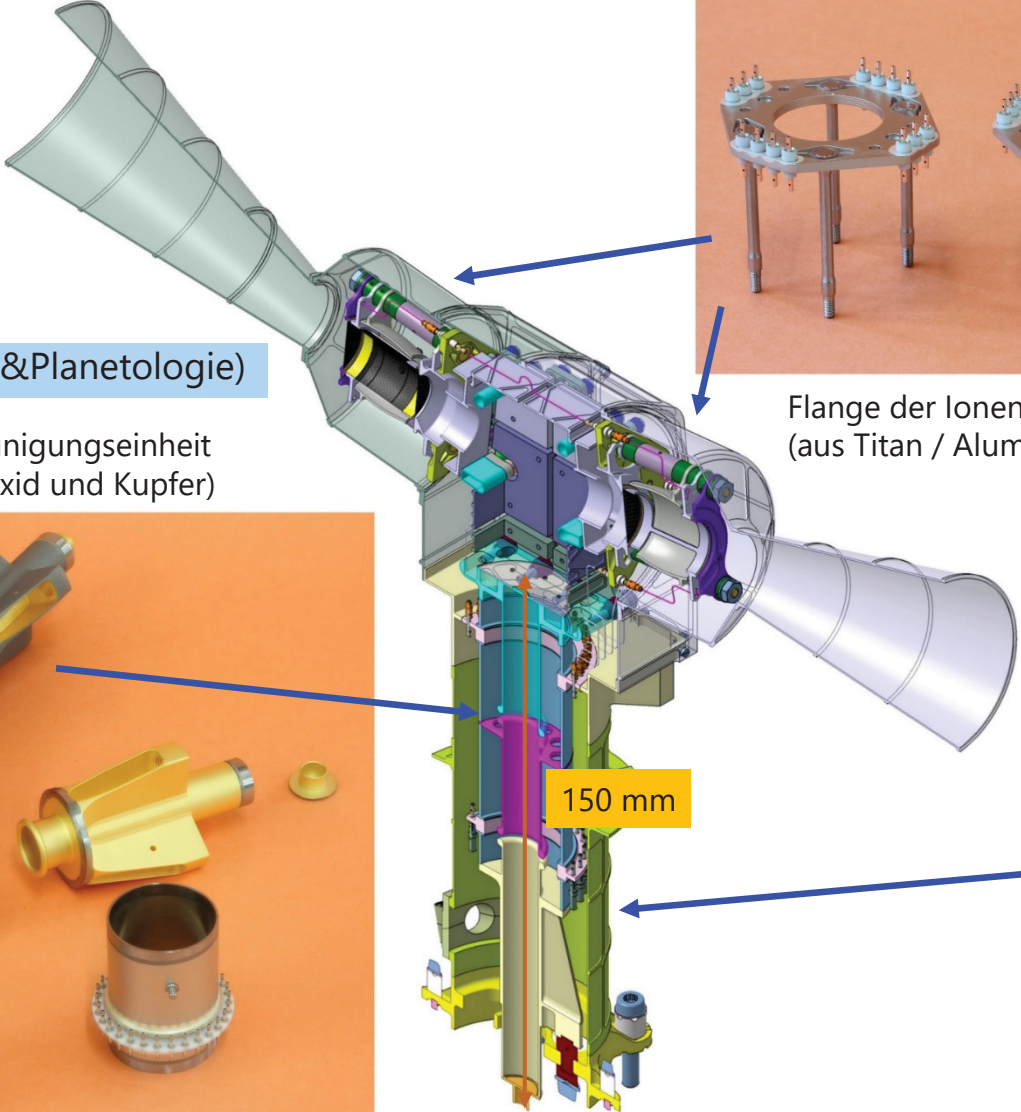
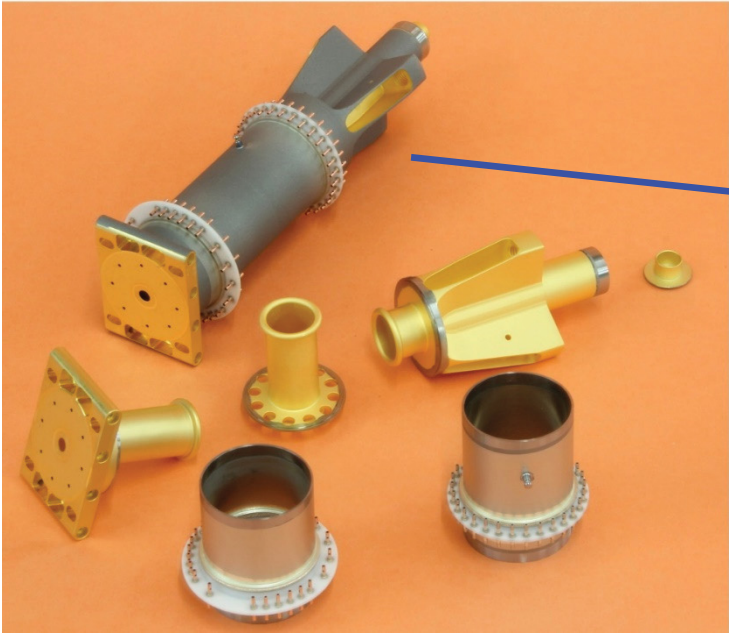
Start: 20.10.2018



- Ionenoptik für STROFIO Flugzeitmassenspektrometer (Experiment: Serena)
- ESA Satellit MPO

Design:  
Universität Bern  
(Weltraumforschung&Planetologie)

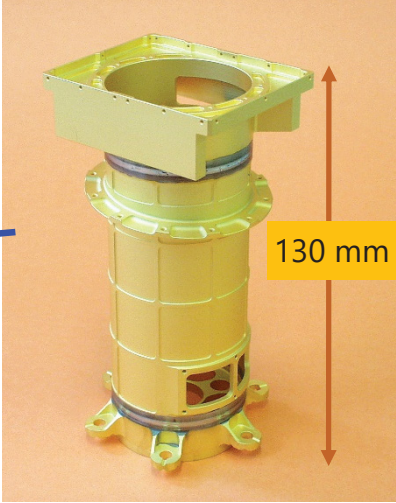
Fokussier- und Beschleunigungseinheit  
(aus Titan / Aluminiumoxid und Kupfer)



40 mm

Flange der Ionenquellen  
(aus Titan / Aluminiumoxid und Kupfer)

Aussenrohr (aus Titan)



130 mm

150 mm

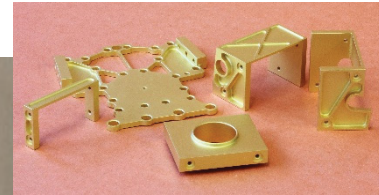
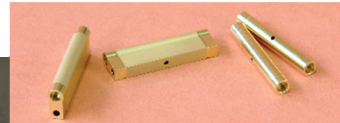


# Bepi Colombo 2008 – 2012

Start: 20.10.2018

- Ionenoptik für STROFIO Flugzeitmassenspektrometer (Experiment: Serena)
- ESA Satellit MPO

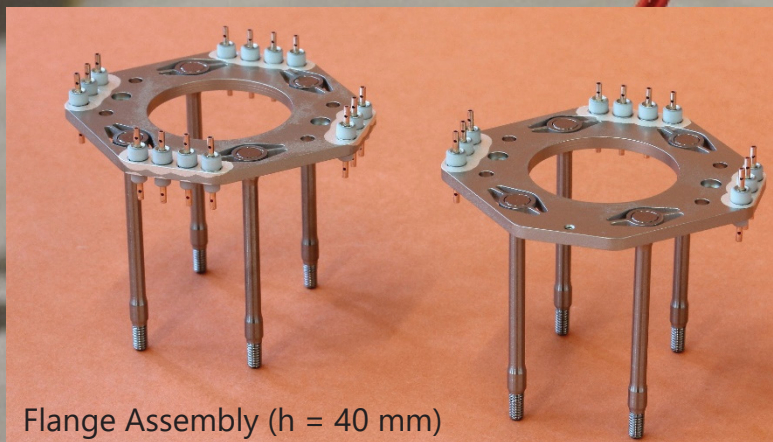
## Deflection Unit / Source



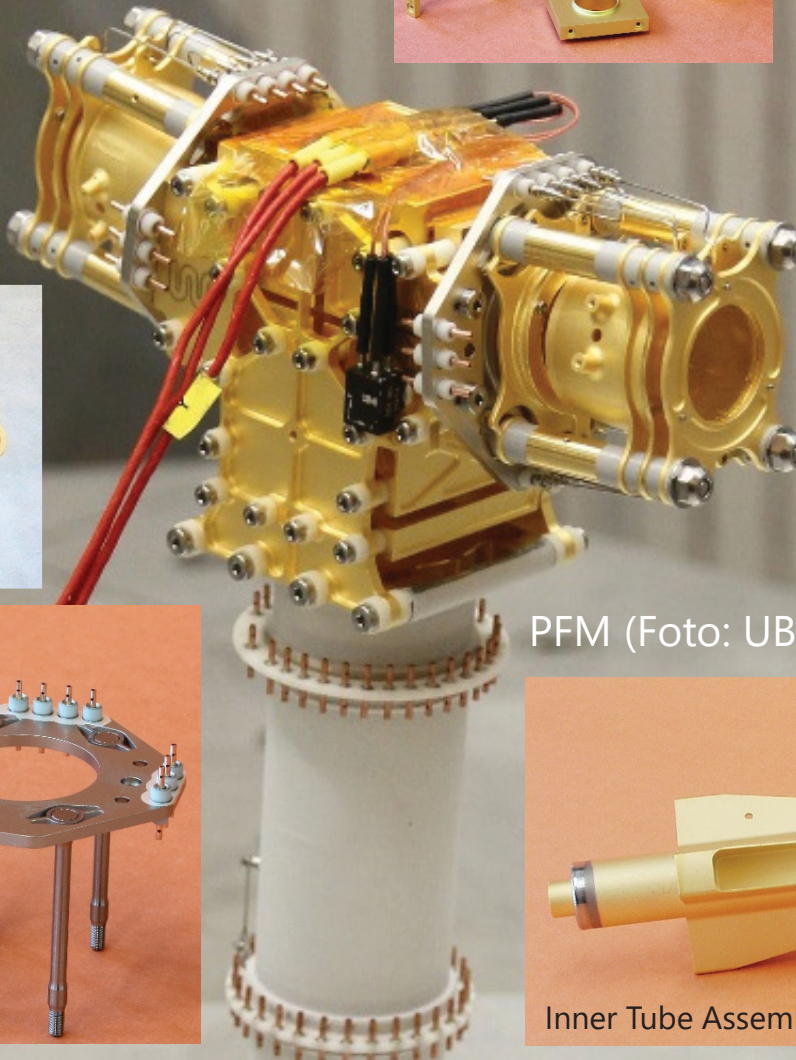
Parabola



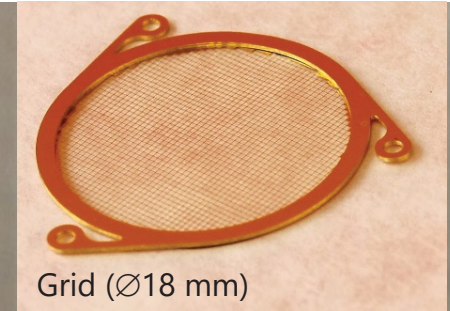
Accelerator



Flange Assembly (h = 40 mm)



PFM (Foto: UBE)



Grid (Ø18 mm)



Grid Assembly (h = 22 mm)



Inner Tube Assembly (l = 150 mm)



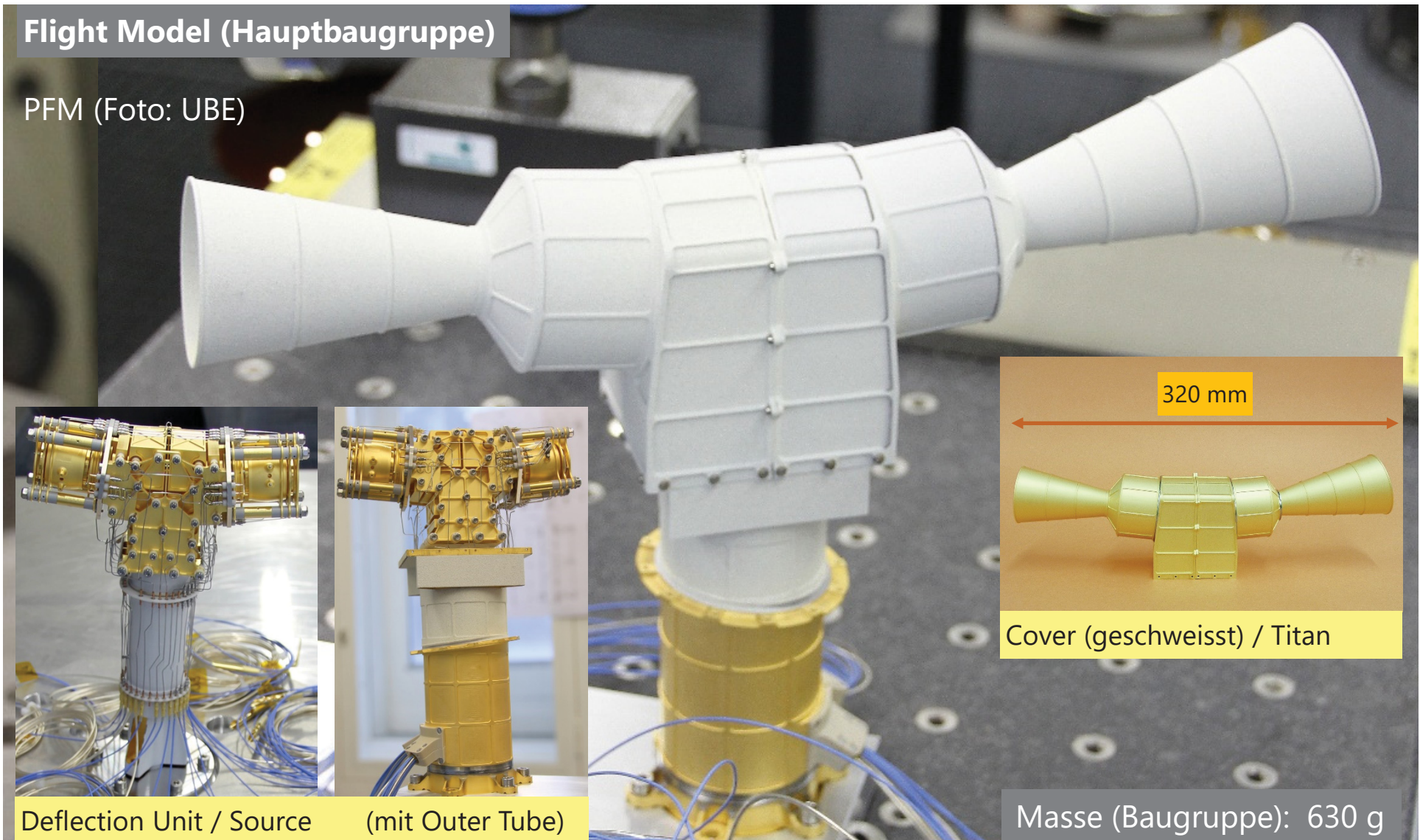
# Bepi Colombo 2008 – 2012

Start: 20.10.2018

- Ionenoptik für STROFIO Flugzeitmassenspektrometer (Experiment: Serena)
- ESA Satellit MPO

## Flight Model (Hauptbaugruppe)

PFM (Foto: UBE)

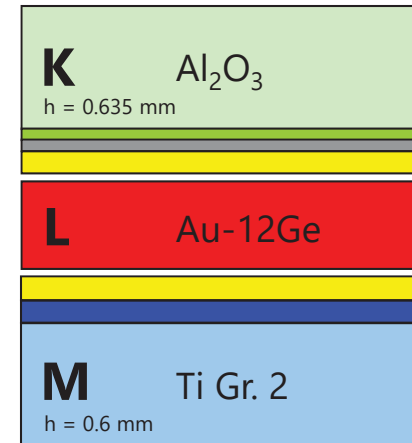
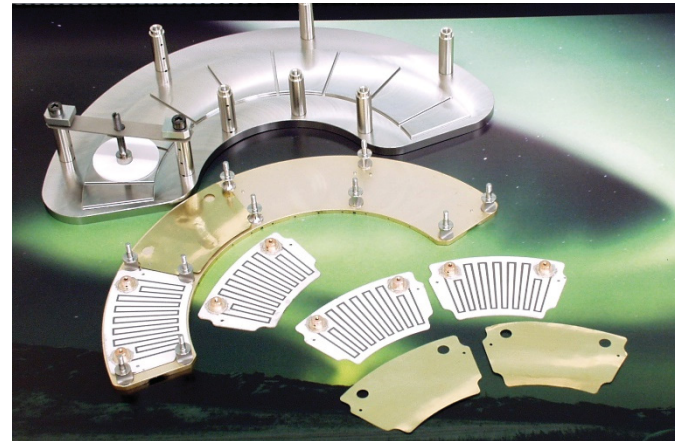




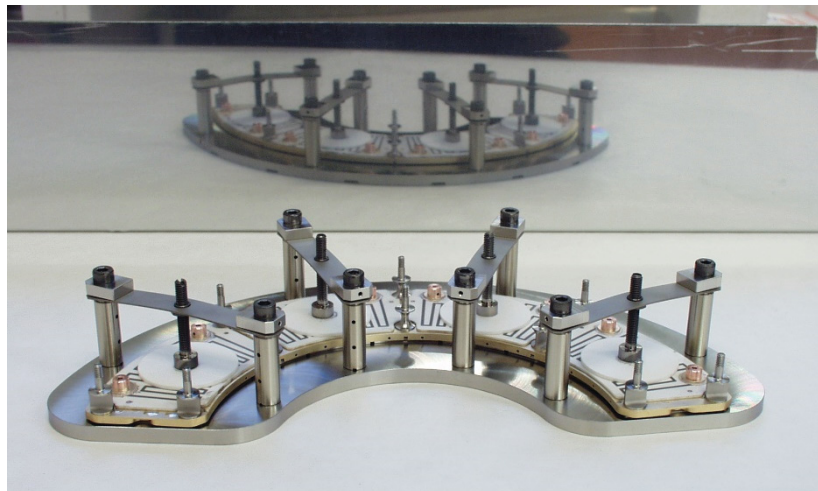
# Bepi Colombo 2008 – 2012

Start: 20.10.2018

- Beheizbare Struktur für ENA ⇨ Detektor für «Energetic Neutral Atoms» (Experiment: MPPE)
- JAXA Satellit MMO



Lötung von beschichteten Heizern auf vergoldete Titanstruktur mit Au-12Ge Lotfolie bei 400 °C im Vakuumofen



Lötlehre (mit Prototyp / 2008)



Beheizbare Struktur (Flugmodell, m = 40 g / 2010)

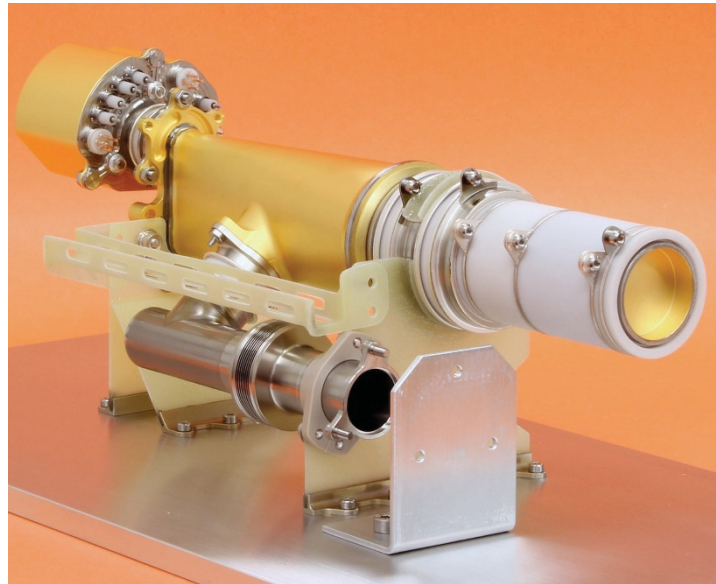


# Luna 2011 – 2015

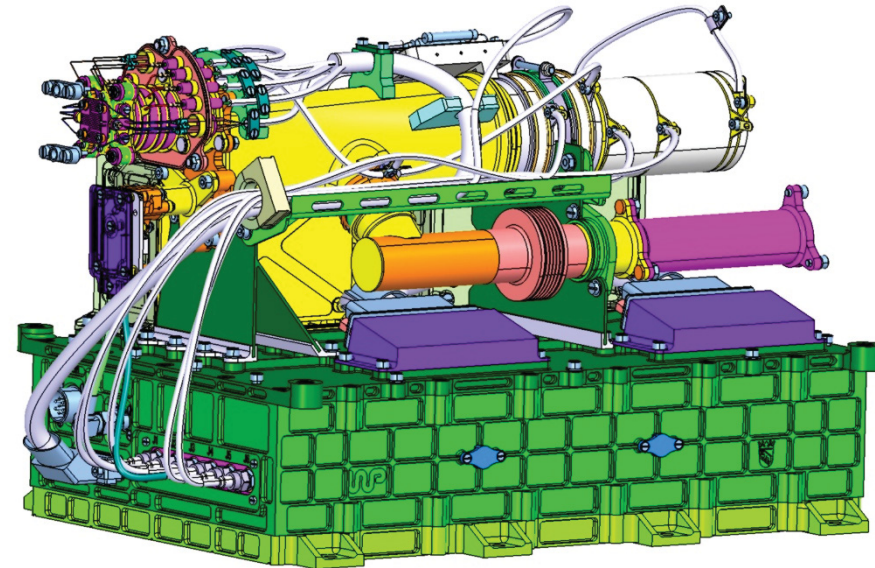
Start: ab 2024 (geplant)



- Ionenoptik für Flugzeitmassenspektrometer (NGMS) ⇒ GAP (Gas Analytic Package)
- GAP besteht aus einem Ofen, Gas-Chromatographen und dem Massenspektrometer NGMS



Ionenoptischer Sensor (TVM) für NGMS  
Herstellung: Empa (2013)



3D Modell des Massenspektrometers (NGMS)  
Design: Universität Bern, Weltraumforschung (2011)



Reflectron Luna vs. Rosetta

Im Vergleich zum RTOF (Rosetta) ist das NGMS leichter und kleiner:

- Gesamtmasse: 3.5 kg
- Abmessungen: 260 x 150 x 180 mm

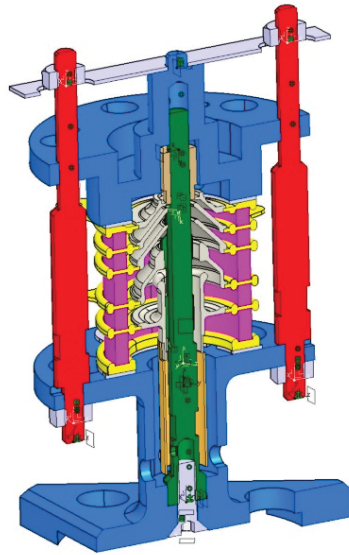
Volumen- und Gewichtsreduktion machen sich beim Ionenspiegel zwar deutlich bemerkbar (siehe Abbildung zweier Prototypen), aber dafür braucht es auch eine schnellere und effizientere Elektronik.



# Luna 2011 – 2015

Start: ab 2024 (geplant)

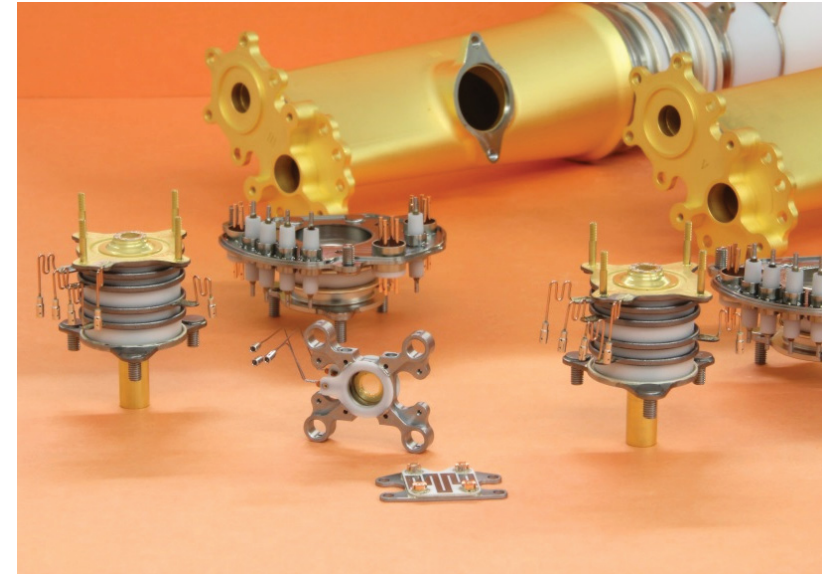
- Ionenoptik für Flugzeitmassenspektrometer (NGMS) ⇒ GAP (Gas Analytic Package)
- Kernkompetenz: Hochvakuumlöten ⇒ Einhalten von engen Toleranzen



Design Lötlehre



Aufbau der Ionenquelle (Body)



Einbau der einzelnen Komponenten

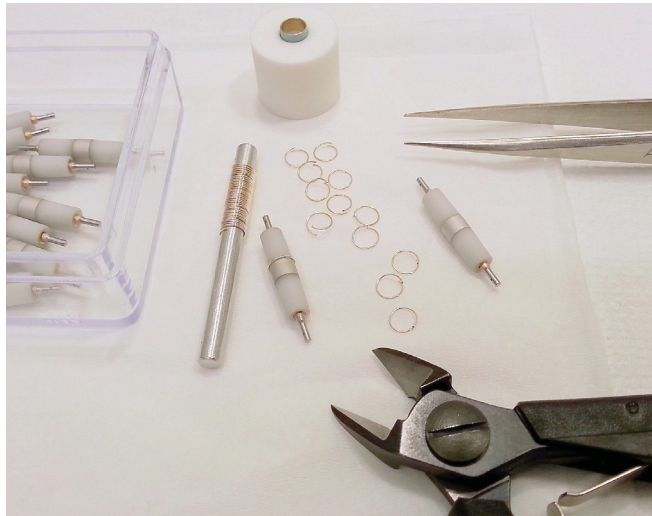
- Design der Lötlehre – unabdingbar, um höchste Präzision zu erreichen
- Maximale Abweichung (axial): 0.02 mm
- Realisierung von 11 Lötverbindungen in einem Prozess (Ionenquelle)
- Die Hochvakuum-Lötungen wurden mit unterschiedlichen Lötfolien, Pasten und Drähten durchgeführt:
  - AgCuInTi (600-750 °C) / CuSnTiZr (920-950 °C) / Ag28Cu (800 °C)
- Alle Lötverbindungen müssen die Kräfte bei einem Raketenstart aushalten



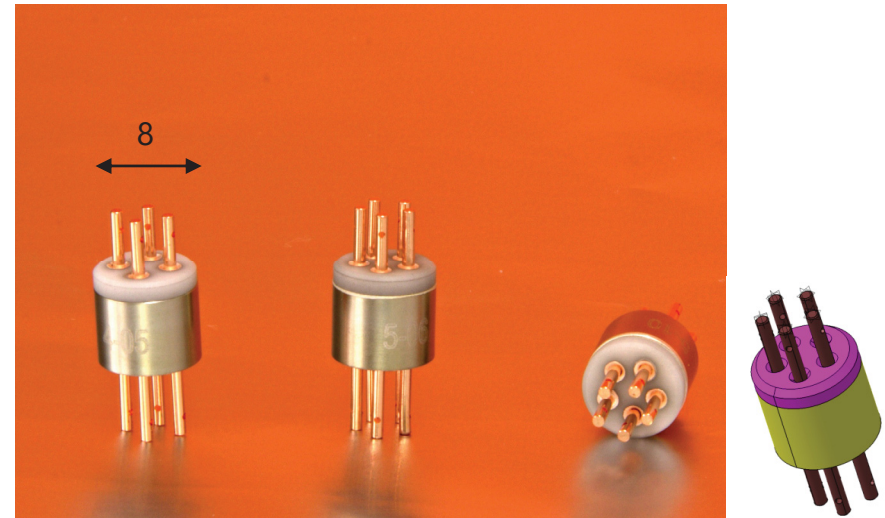
# Luna 2011 – 2015

Start: ab 2024 (geplant) 

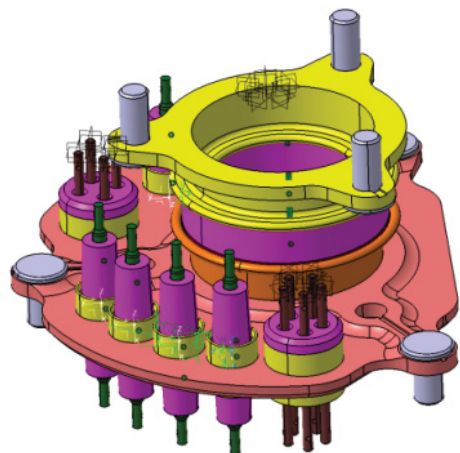
- Ionenoptik für Flugzeitmassenspektrometer (NGMS) ⇒ GAP (Gas Analytic Package)
- Metall-Keramik Durchführungen für Ionenquelle



1-Pin Hochspannungs-Durchführungen (6 kV)



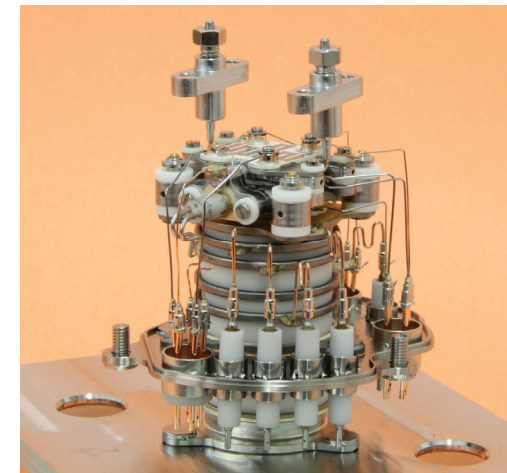
Mehrfach-Durchführungen



Mounting Plate / Durchführungen



Eingeschweisste Durchführungen

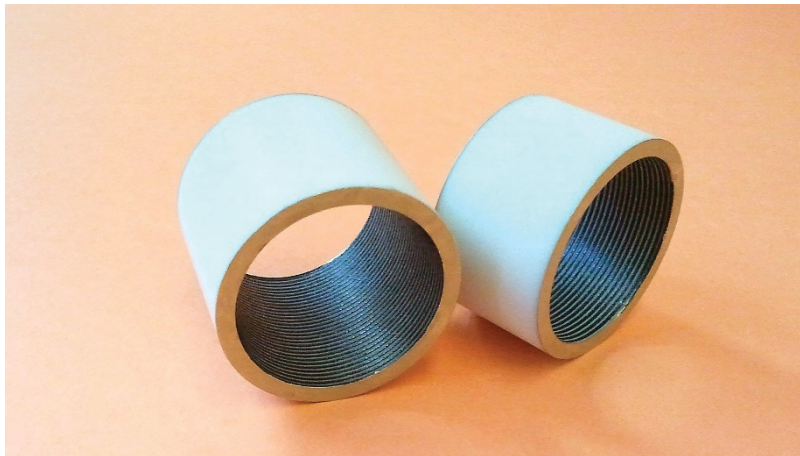


Ionenquelle (Flight Spare FS-3)

# Luna 2011 – 2015

Start: ab 2024 (geplant)  Empa  
Materials Science and Technology

- Ionenoptik für Flugzeitmassenspektrometer (NGMS) ⇒ GAP (Gas Analytic Package)
- Drift Tube Assembly mit integriertem Ionenspiegel (Reflectron)



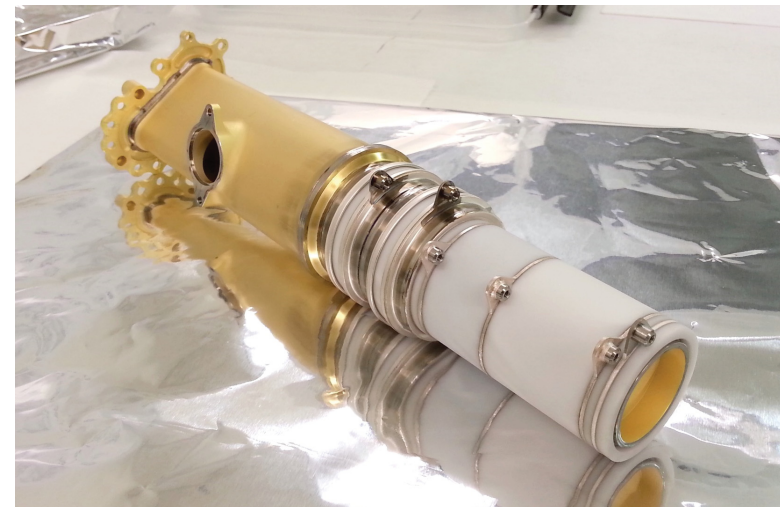
Resistor 1&2 (Beschichtete Rohre aus Aluminiumoxid)



Teile vor dem Elektronenstrahlschweißen



Reflectron (l = 100 mm)



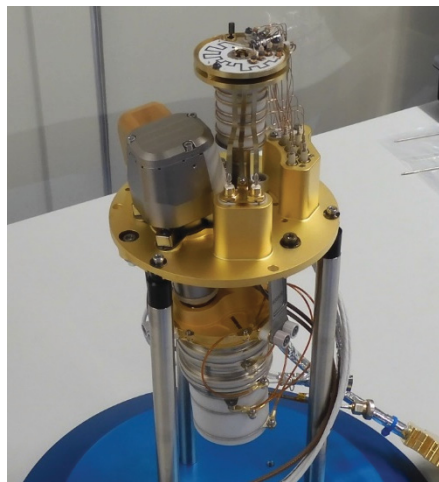
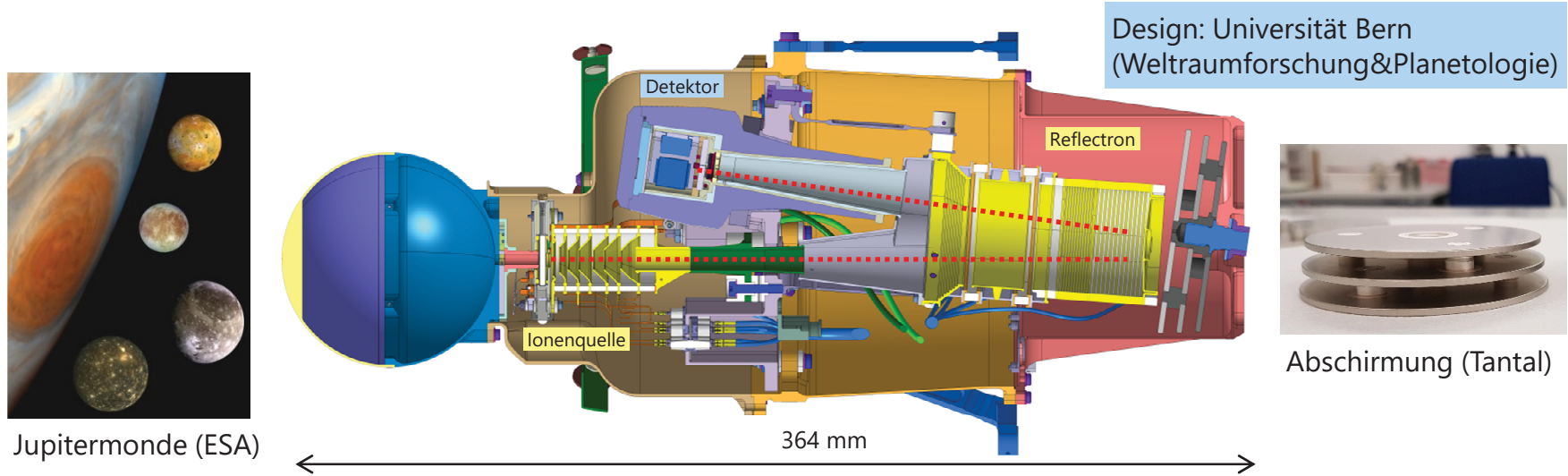
Drift Tube Assembly



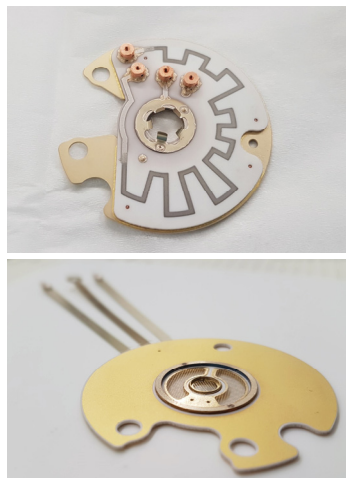
# Juice 2016 – 2019

Start: 2022 (geplant)

- Ionenoptische Komponenten für Flugzeitmassenspektrometer NIM (Experiment: PEP)
- ESA Mission zu den Jupitermonden (Jupiter Icy Moons Explorer)



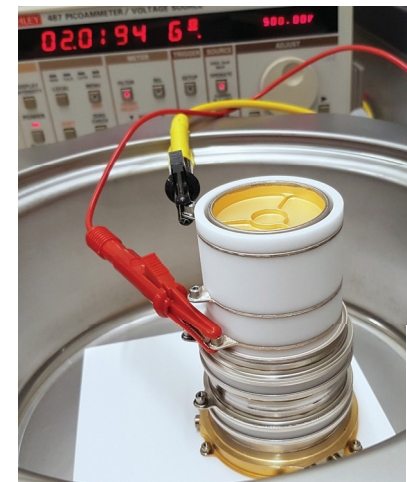
PFM (Foto: UBE)



Obere Elektroden (IQ)



Ionenquelle (welded)



Reflectron