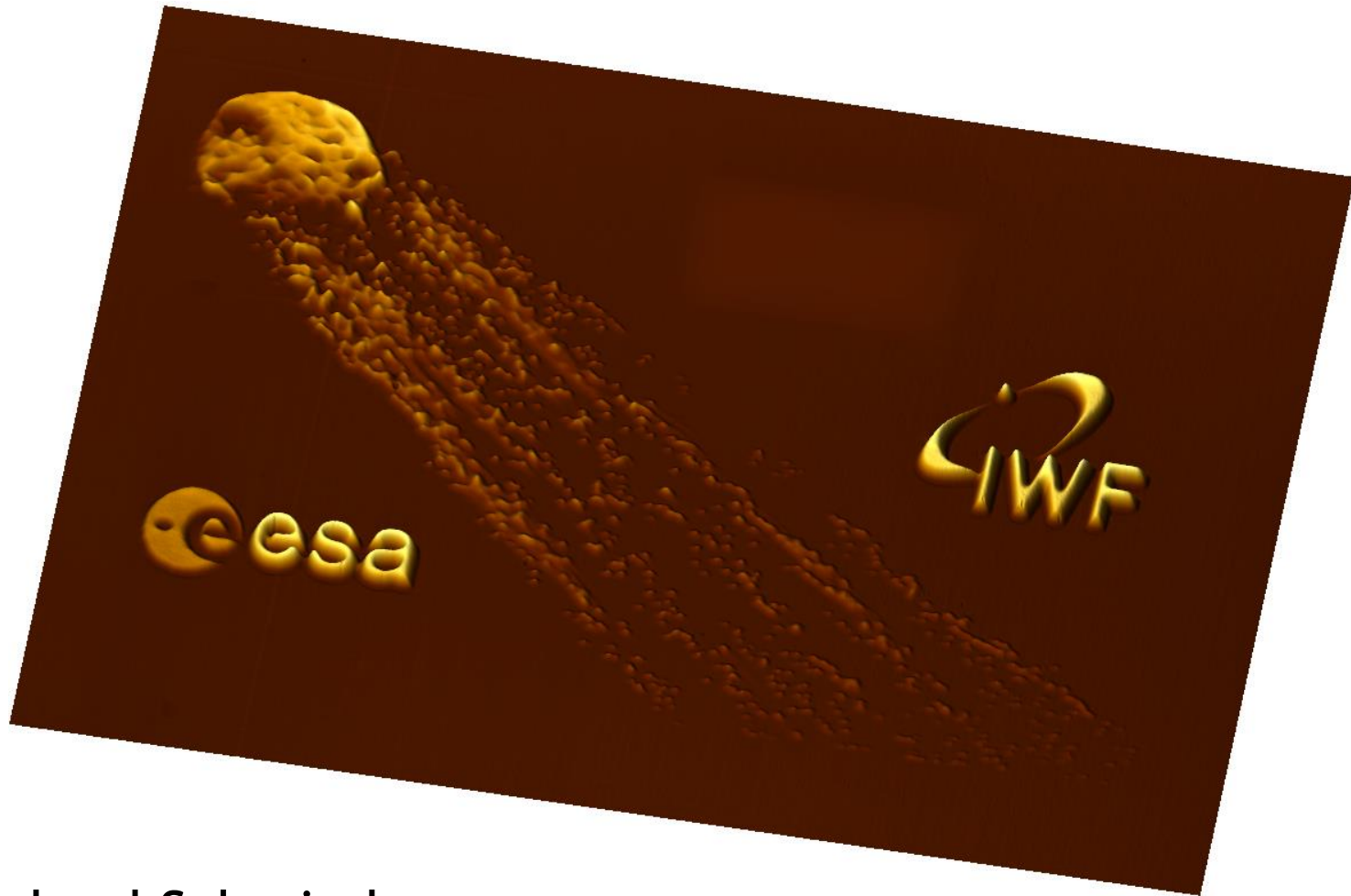


KOMET 67P/CHURYUMOV-GERASIMENKO UNTER DEM MIKROSKOP

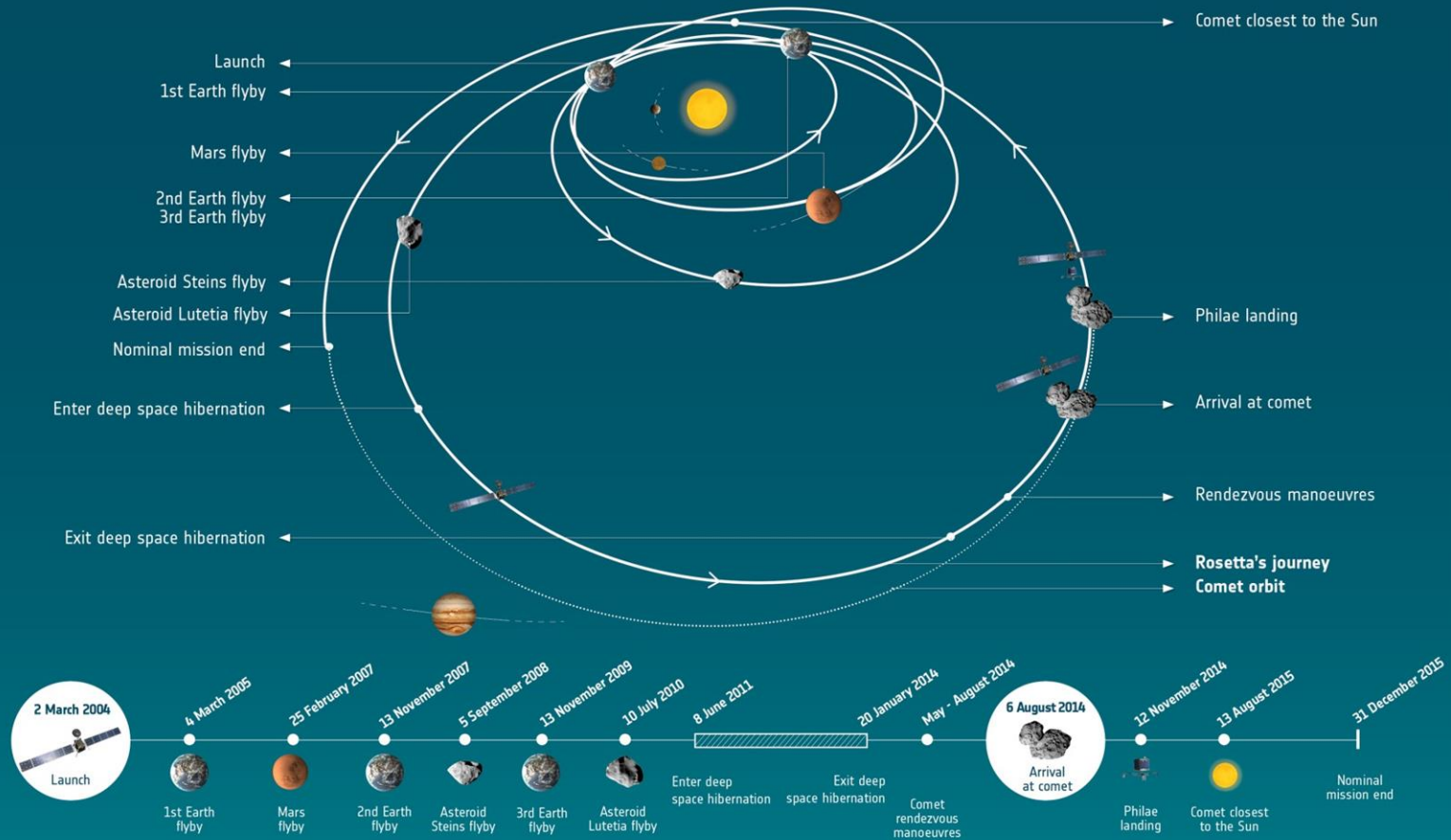


Roland Schmied

Institut für Weltraumwissenschaften, Österreichische Akademie der Wissenschaften

DIE ROSETTA MISSION

→ ROSETTA'S JOURNEY



www.esa.int

European Space Agency

sci.esa.int/rosetta/54787-rosettas-journey-and-timeline/

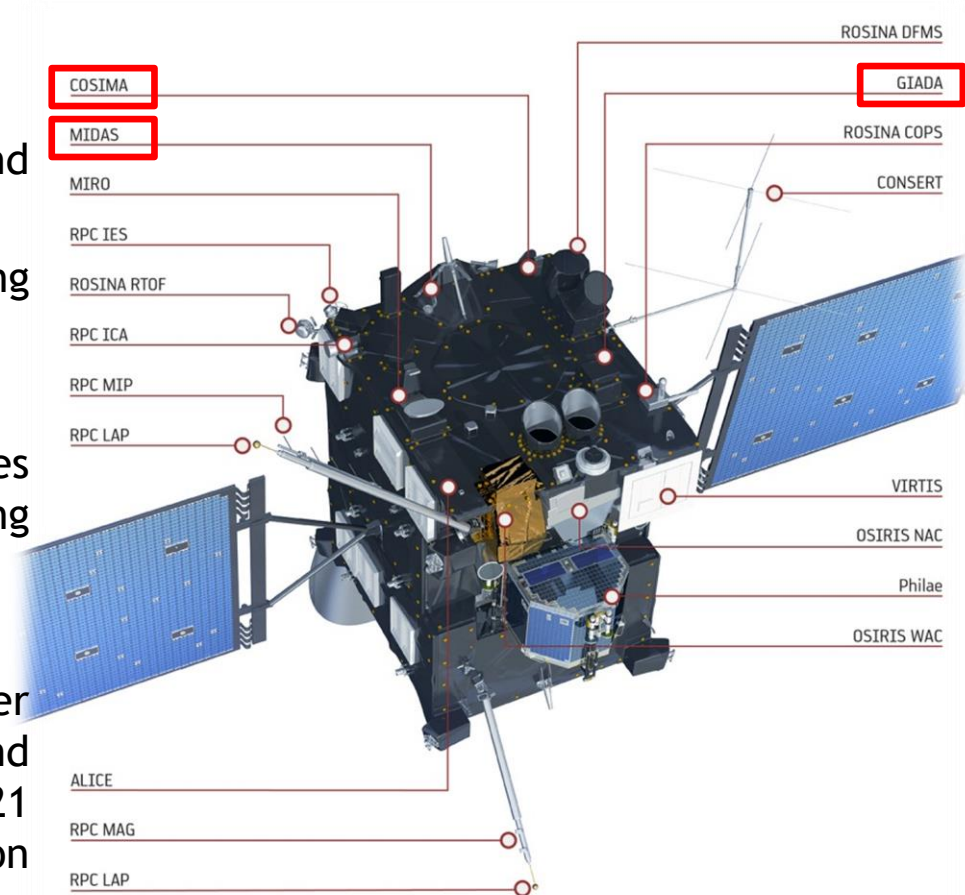
DIE ROSETTA MISSION

Rosetta's wissenschaftliche Ziele:

- Ursprung der Kometen
- Zusammenhang zwischen Kometen und interstellarem Material
- und deren Auswirkungen auf die Formierung des Sonnensystemes.

Kometenstaub kann größtenteils unverändertes Material von der frühen Phase der Entstehung des Sonnensystemes enthalten.

Zur Untersuchung des Kometen, seiner Umgebung, Oberflächenbeschaffenheit und chemischen Zusammensetzung sind 21 Instrumente an Bord von Rosetta - 3 davon untersuchen die Staubteilchen, welche den Kometenschweif bilden.



www.esa.int/spaceinimages/Images/2013/12/Rosetta_s_instruments_white_background

ENTSTEHUNG VON KOMETEN

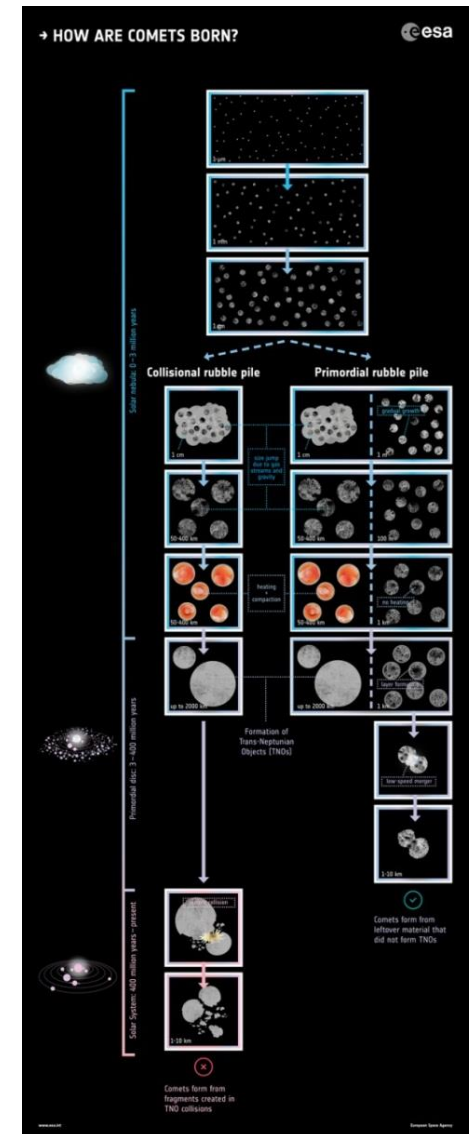
Theorie 1 (collisional rubble pile):

- Kometen entstehen aus Fragmenten bei der Kollision größerer Objekte → Kometen sind relativ junge Objekte im Sonnensystem

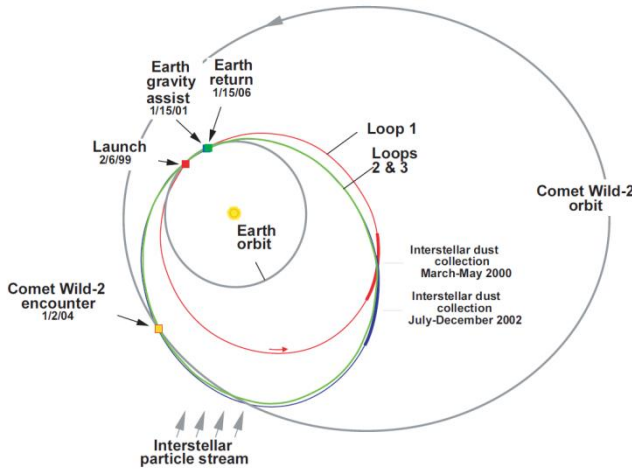
Theorie 2 (primordial rubble pile theory):

- Kometen sind sehr alte Objekte aus den Anfängen der Formierung des Sonnensystemes

Beide Theorien starten von cm-großen Teilchen, welche im Sonnennebel aus kleinsten Körnern aufgebaut werden → Kometenstaub liefert hinweise auf die Entstehung von verschiedenen Objekten im Sonnensystem



BISHERIGE ERGEBNISSE - STARDUST



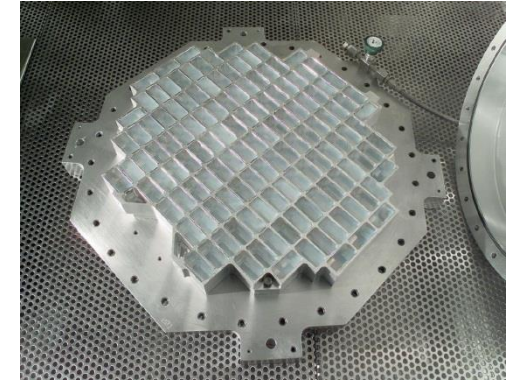
Mission trajectory

stardust.jpl.nasa.gov



stardust.jpl.nasa.gov

Komet Wild 2

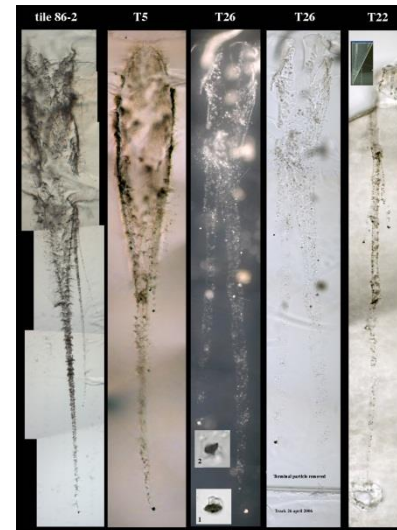


stardust.jpl.nasa.gov

Gel-Array

NASA's Stardus Mission untersuchte Komet Wild 2 und brachte Proben von Staubpartikel zurück zur Erde

- Vorbeiflug mit 240 km Entfernung zum Komet beim nächsten Punkt
- Gel-Array zum Einfangen von Partikel
- Relative Geschwindigkeit beim Vorbeiflug: 6.1 km/s



stardust.jpl.nasa.gov

Staub im Gel

BISHERIGE ERGEBNISSE - INTERPLANETARE STAUBPARTIKEL (IDP)

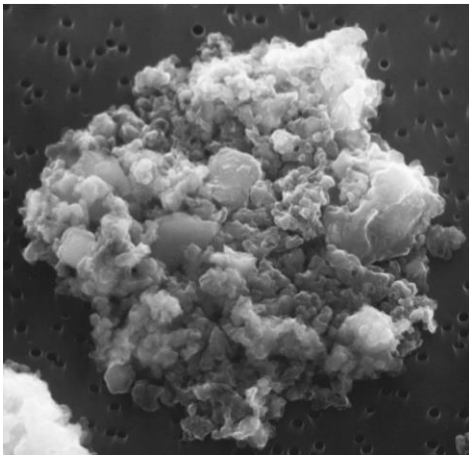


NASA / Carla Thomas

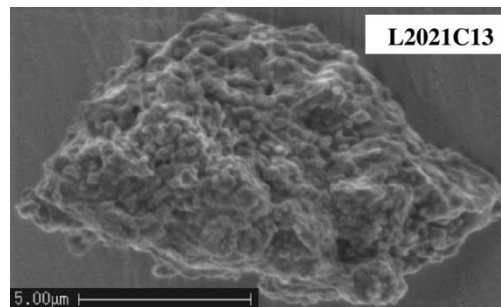
Täglich fallen Tonnen an Partikel, u.a. von Asteroiden und Kometen, auf die Atmosphäre der Erde.

Diese kosmischen Partikel können mit einem speziellen Kollektor eingefangen werden bevor sie sich mit terrestrischem Material vermischen.

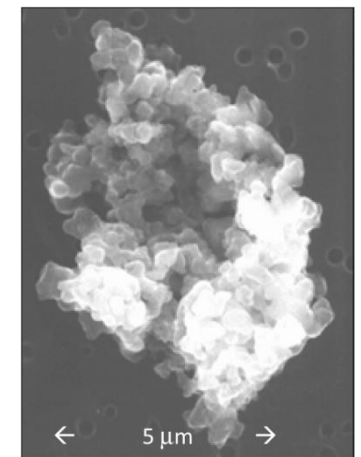
Der Ursprung der einzelnen Partikel bleibt jedoch unbekannt.



Volten et al 2007

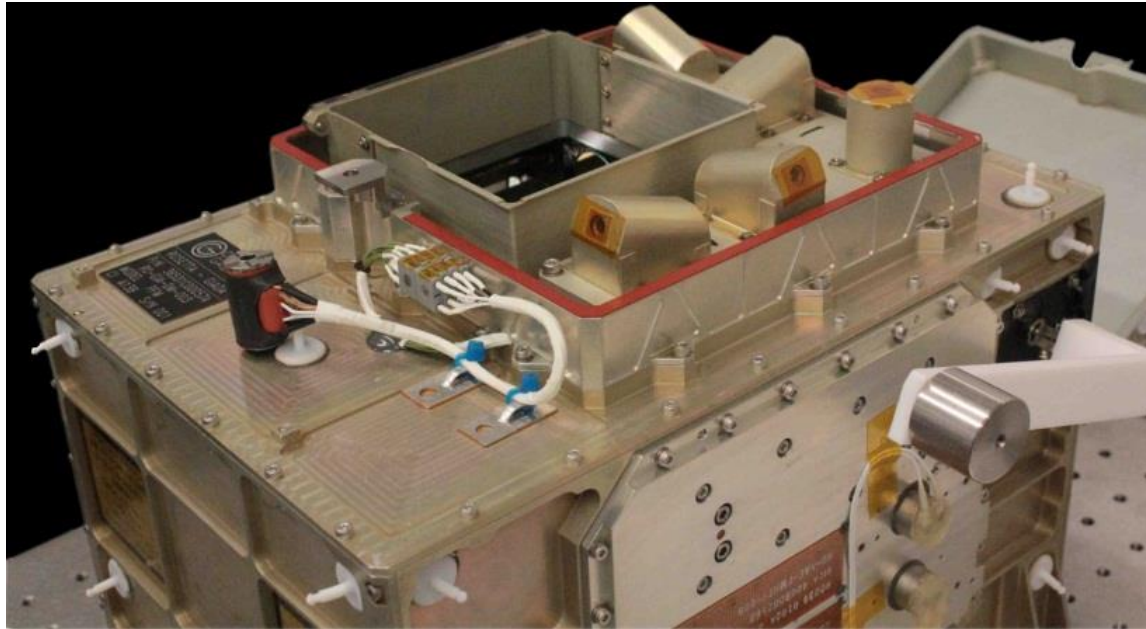


Rotundi et al 2007



Flynn et al 2013

INSTRUMENTE ZUR UNTERSUCHUNG VON KOMETENSTAUB - GIADA



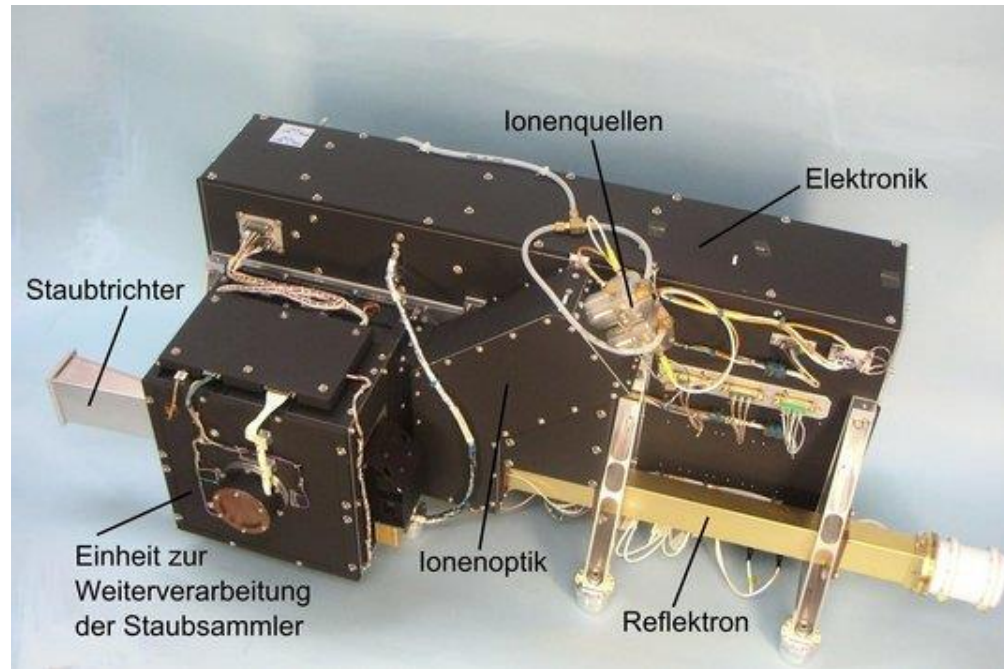
nssdc.gsfc.nasa.gov

GIADA (Grain Impact Analyser and Dust Accumulator) besteht aus 3 Modulen:

- GDS (grain detection system): einer Laser-Lichtschranke
- IS (impact sensor): ein piezoelektrischer Aufprallsensor
- Schwingquarze zur Detektion der angelagerten Kometenstaubteilchen

Ziele: Untersuchung der Staubgrößenverteilung in der Koma und deren Zusammenhang mit der Staubemission des Kometen, Einschränkung der Dichte

INSTRUMENTE ZUR UNTERSUCHUNG VON KOMETENSTAUB - COSIMA



www.mps.mpg.de/1845518/COSIMA

COSIMA (Cometary Secondary Ion Mass Analyzer) besteht aus:

- COSISCOPE: ein optisches Mikroskop
- Einem Sekundärionen-Flugzeit-Massenspektrometer

Ziele: Charakterisierung von Staubteilchen von 67P/C-G und Bestimmung der Moleküle, Elemente und Isotopen der Teilchen

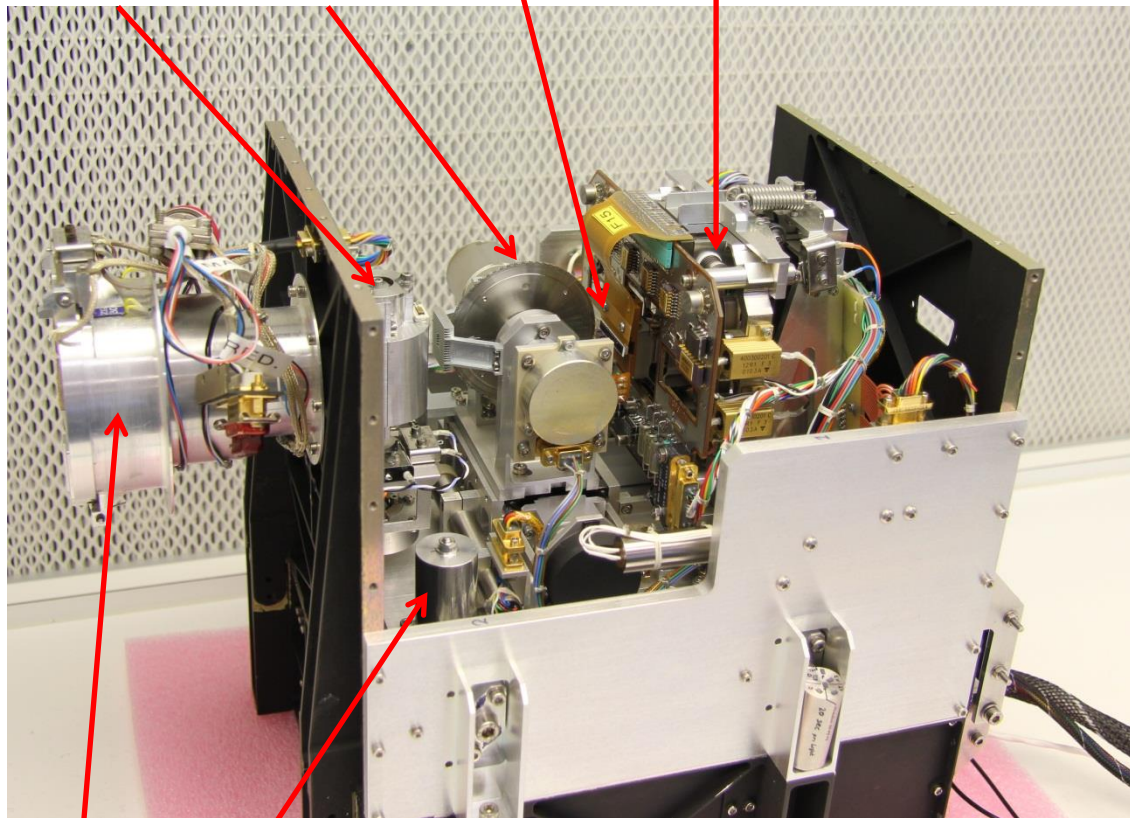
ROSETTA'S MICRO-IMAGING DUST ANALYSIS SYSTEM - MIDAS

Cantilever

Verschluss

Probenrad

XYZ Bühne



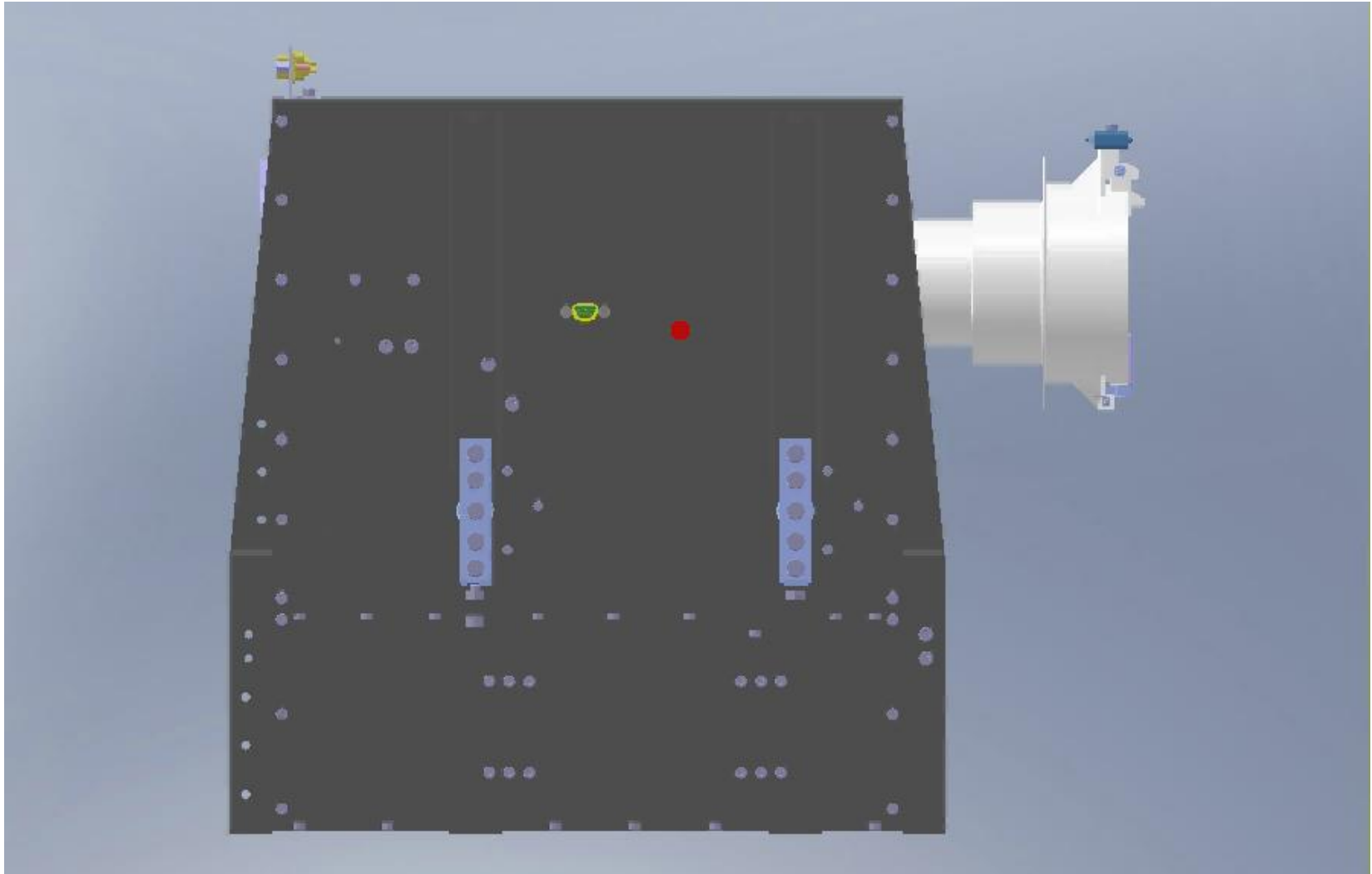
Trichter

Dämpfer

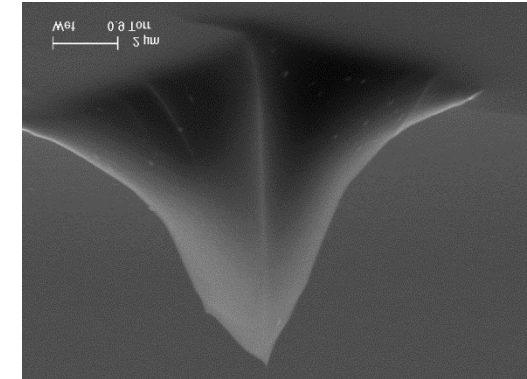
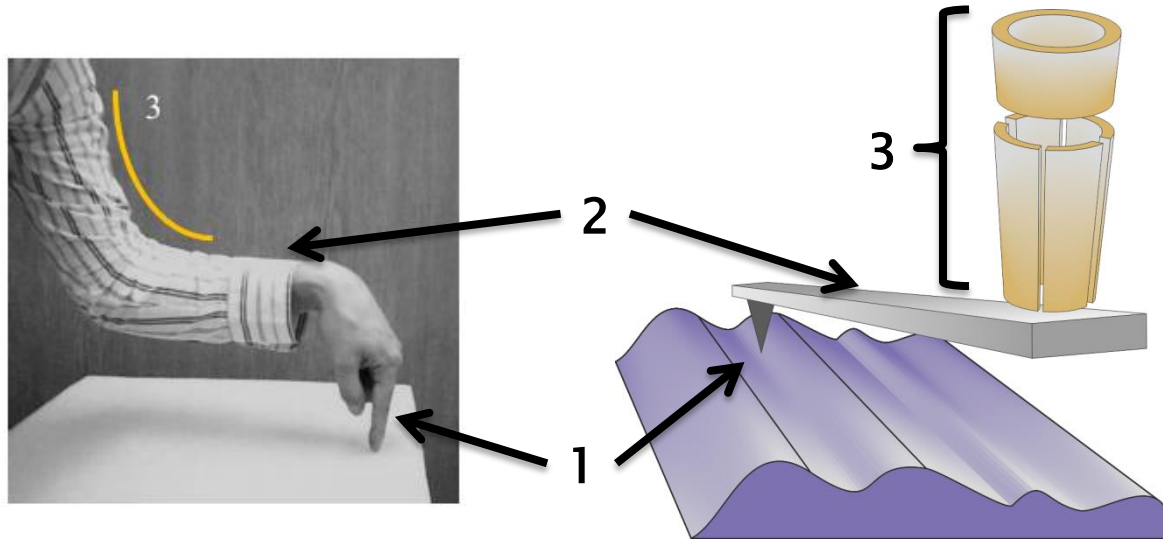
MIDAS war das erste AFM im Weltraum und dient zur Messung von

- 3D Oberflächenstrukturen
- Staubpartikel im Mikro- und Nanometerbereich
- Physikalische Eigenschaften:
 - Druckfestigkeit, magnetische Eigenschaften

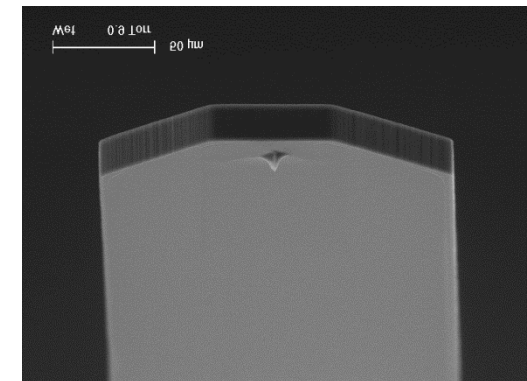
ROSETTA'S MICRO-IMAGING DUST ANALYSIS SYSTEM - MIDAS



DAS PRINZIP DES RASTERKRAFTMIKROSKOPES



MIDAS tip



MIDAS cantilever

Komponenten eines Rasterkraftmikroskopes:

- Spitze meist in der Form einer Pyramide
- Cantilever verformt sich beim Kontakt zwischen Spitze und Probe - ermöglicht die Messung der Oberfläche
- System zur seitlichen Bewegung der Spitze über die Probe - meist mittels piezoelektrischen Elementen

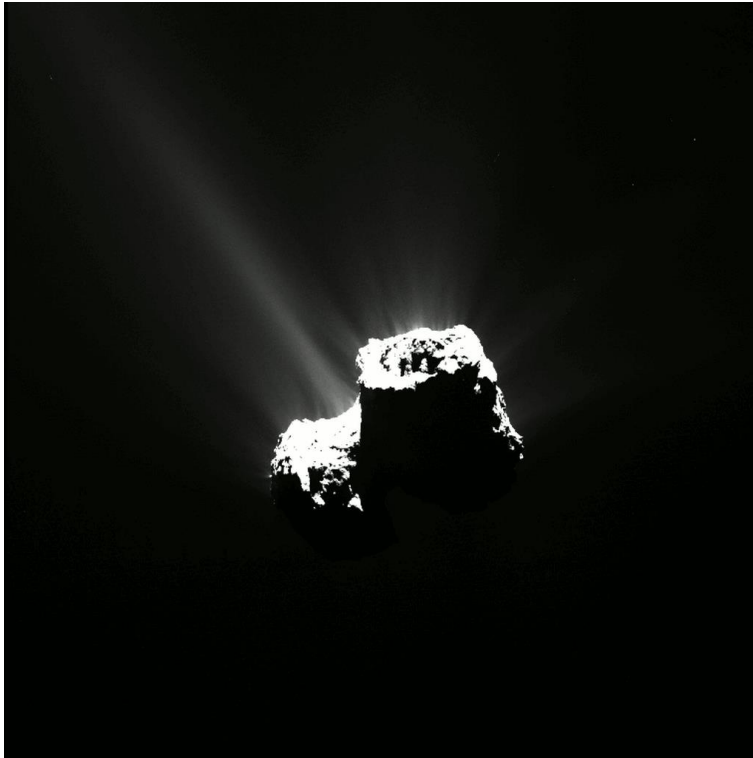
DIE GRÖßTEN ‚STAUBTEILCHEN‘



ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA

DIE GRÖßTEN ‚STAUBTEILCHEN‘

OSIRIS NAC



OSIRIS WAC

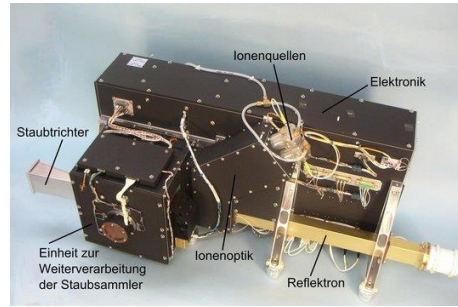
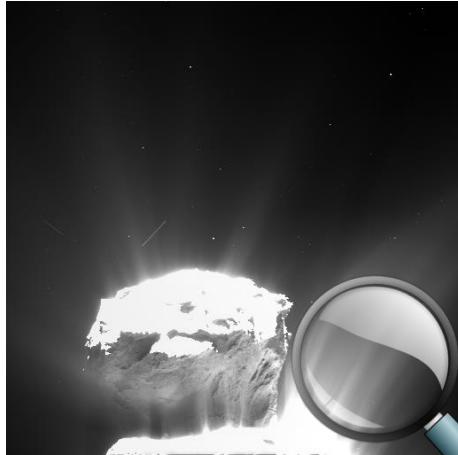


ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA

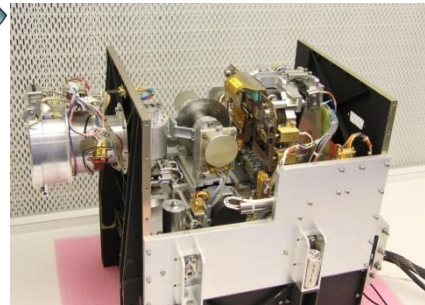
Neben Gasen verliert der Komet ständig Material in Form von Kometenstaub

- Um Perihelion im August 2015 ~ 1000 kg pro Sekunde! [Fulle 2016]
- ‚Staubteilchen‘ im Meter - bis Milimeter - Bereich [Fulle 2016, Rotundi 2015]
- Einige Teilchen mit 15-50 cm Größe sind möglicherweise in einem elliptischen Orbit [Davidsson 2015]

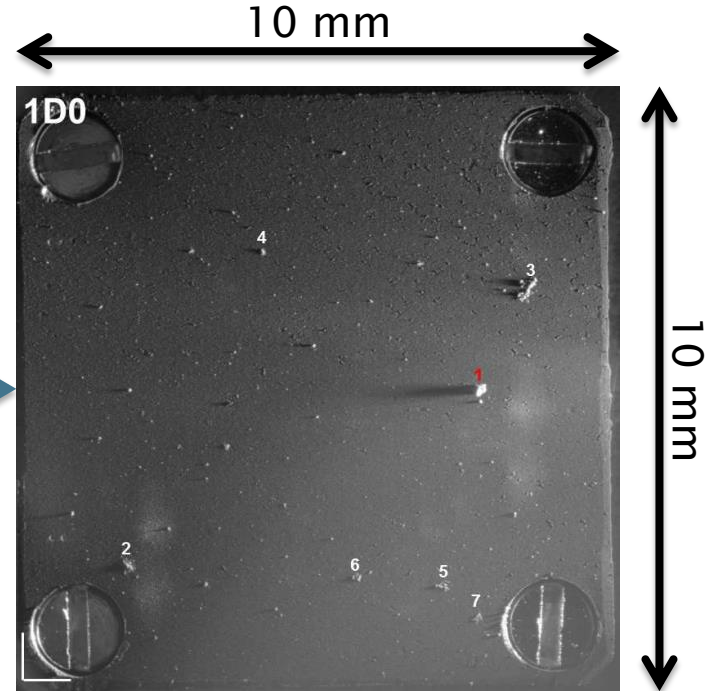
STAUBFÄNGER VON COSIMA UND MIDAS



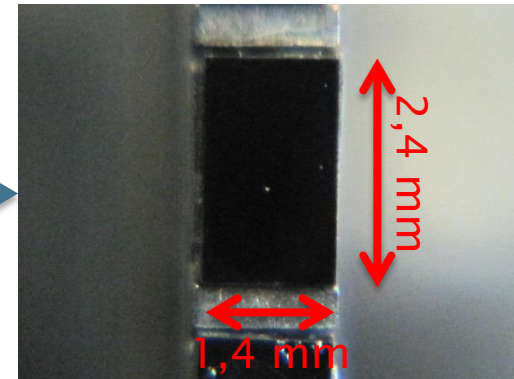
COSIMA



MIDAS



COSIMA Facette

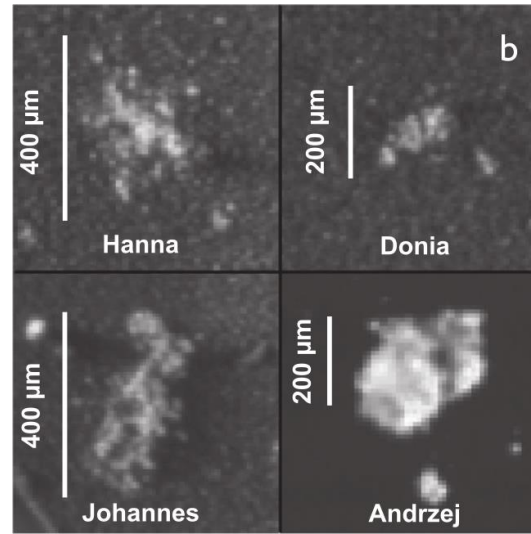


MIDAS FS Facette

„GRÖßENVERTEILUNG“



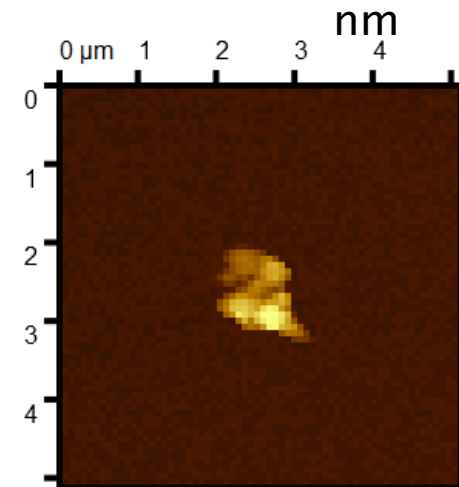
Fullle et al. 2016



Hilchenbach et al. 2016

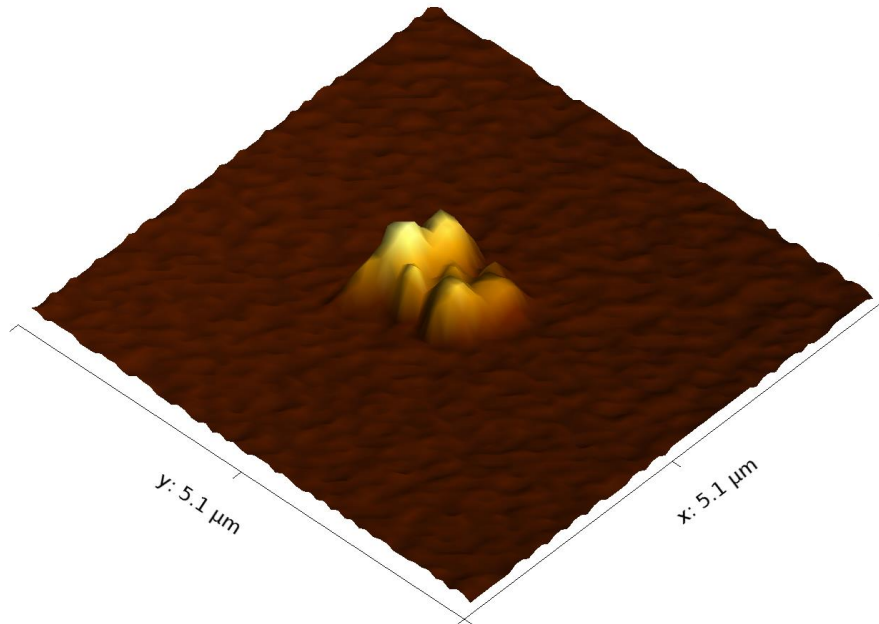
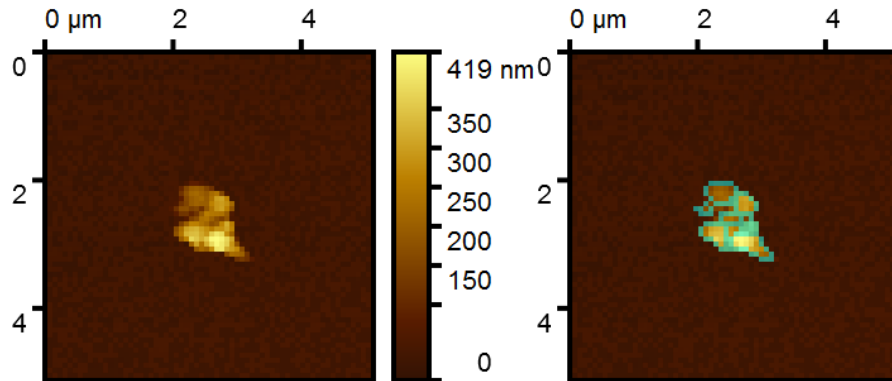


ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team
 MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA



Bentley et al. 2016

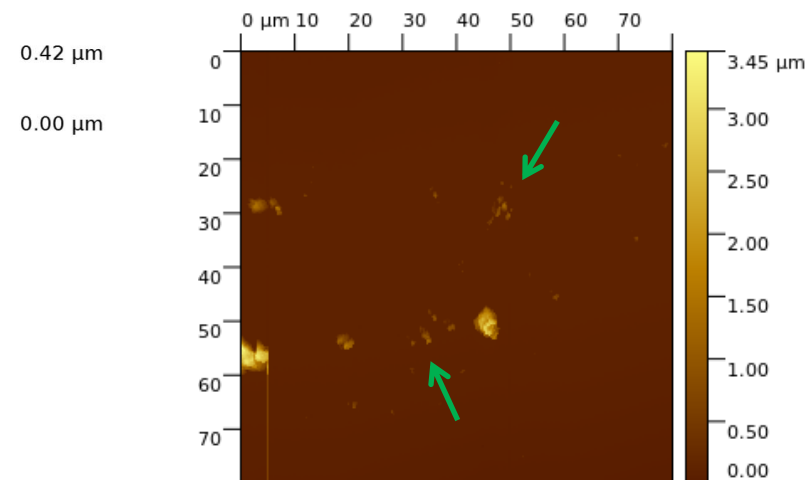
NANOMETER TEILCHEN



Die kleinsten Einheiten bisher sind um die 250 nm im Durchmesser

Höher aufgelöste Scans mit Einheiten unter 100 nm sind im Moment in Auswertung

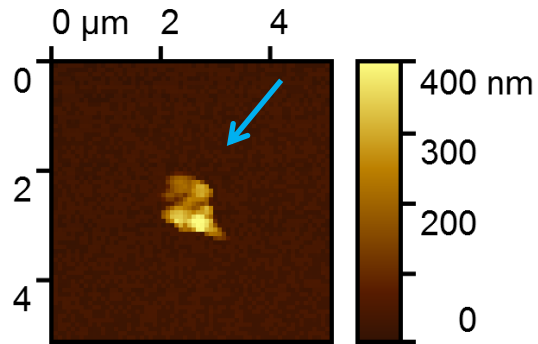
Mehrere Körner bilden Mikrometer große Teilchen, welche sehr häufig beobachtet wurden (**grüne** Pfeile)



NANOMETER TEILCHEN

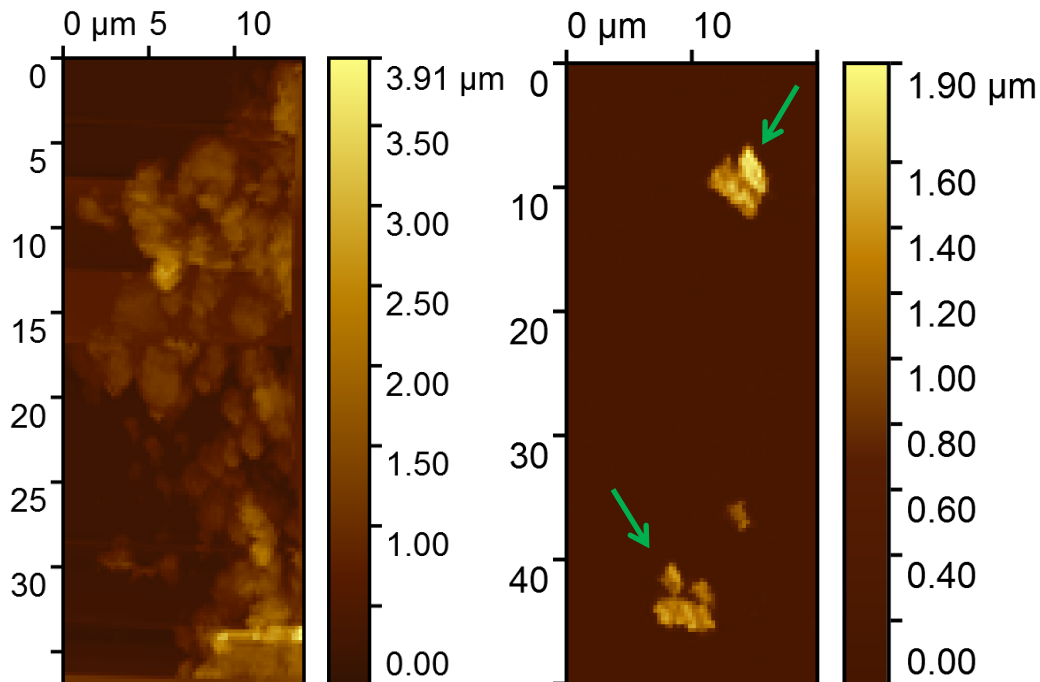


AUFBAU GRÖßERER TEILCHEN



Bisher zeigten alle größeren Teilchen, dass sie aus kleineren Einheiten aufgebaut sind

Die kleinsten Einheiten bilden ca. Mikrometer große Teilchen



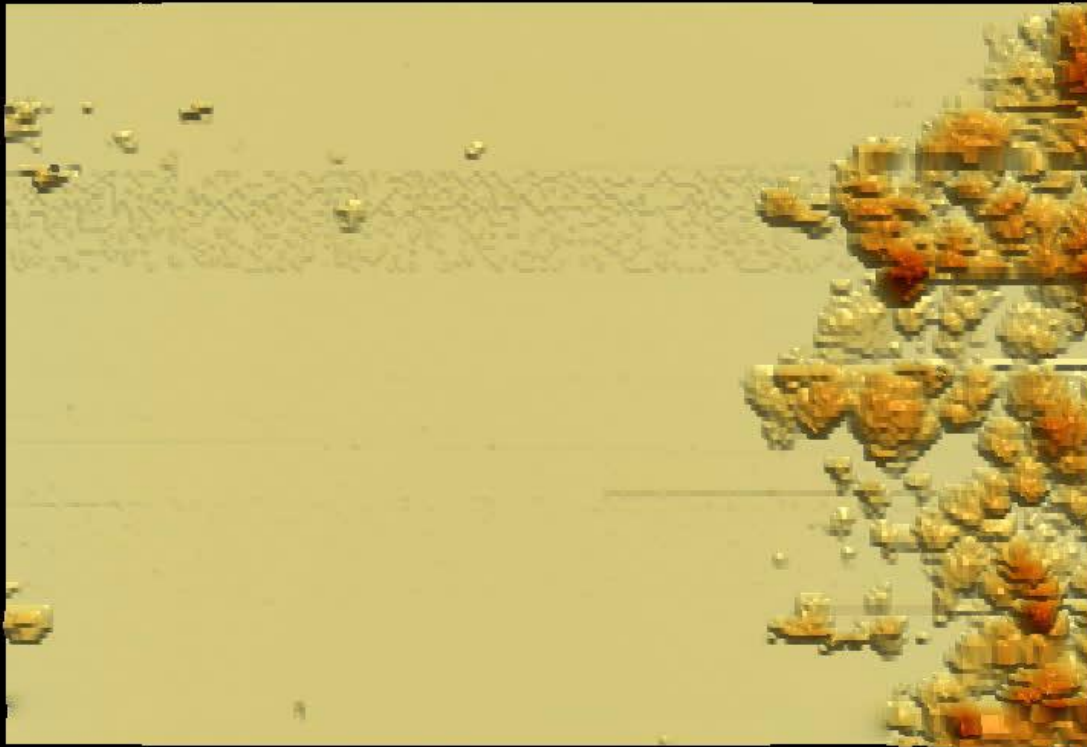
Die nächstgrößeren Teilchen (2-5 μm) sind aus diesen kleineren Teilchen aufgebaut.

Auch Teilchen über 30 μm zeigen klare Untereinheiten, welche im Bereich von 2 μm liegen.

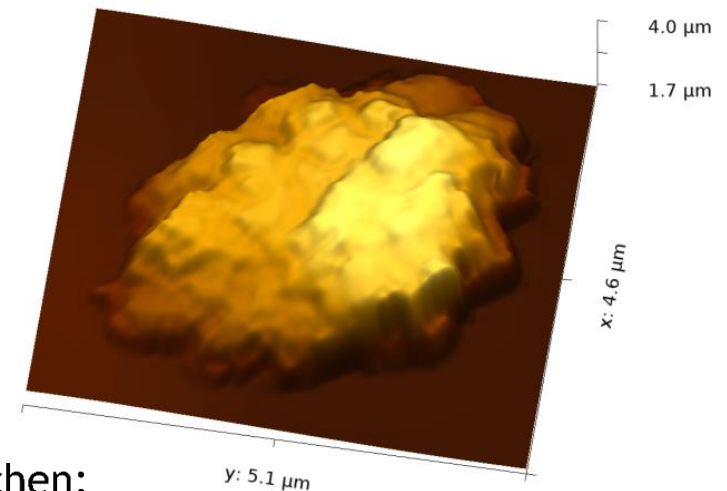
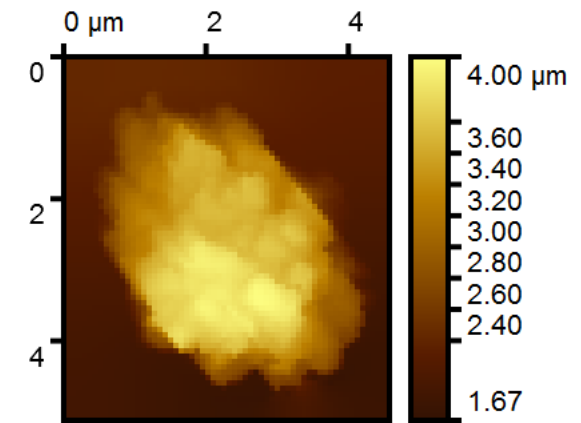
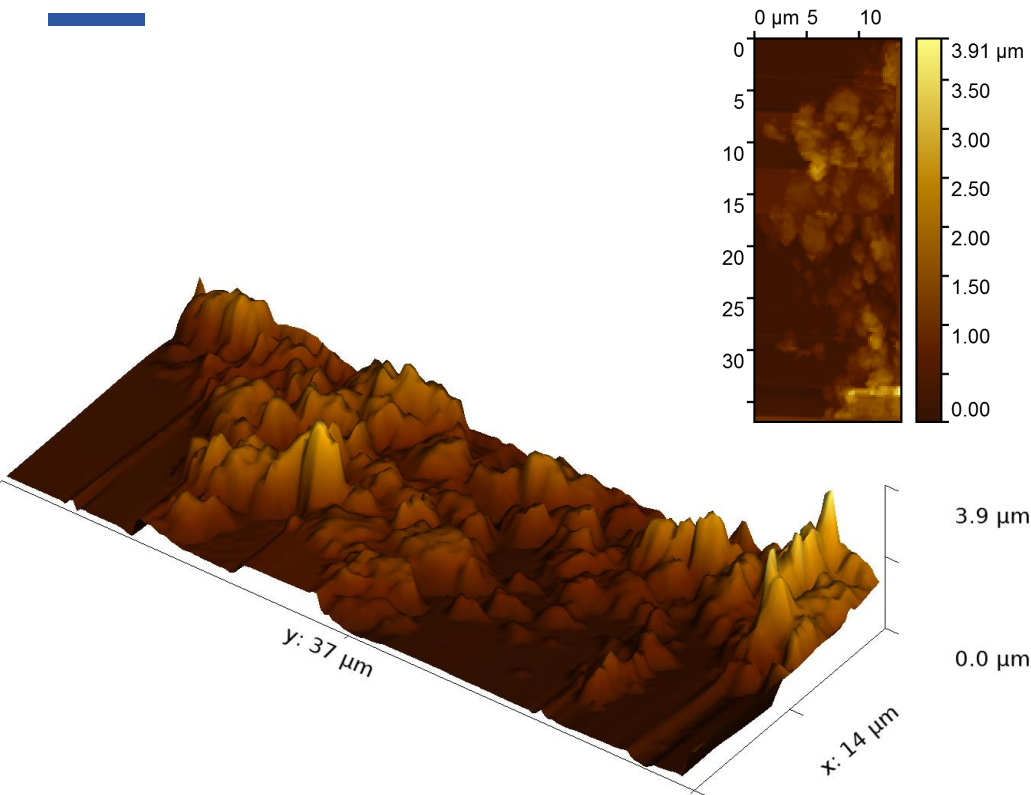
Diese unterschiedlichen Größen deuten auf eine hierarchische Struktur hin.

Bentley et al. 2016

AUFBAU GRÖßERER TEILCHEN



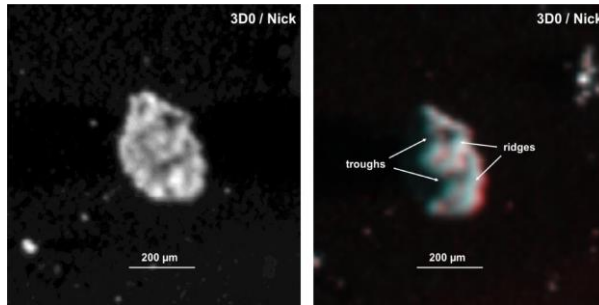
UNTERSCHIEDLICHSTE STRUKTUREN



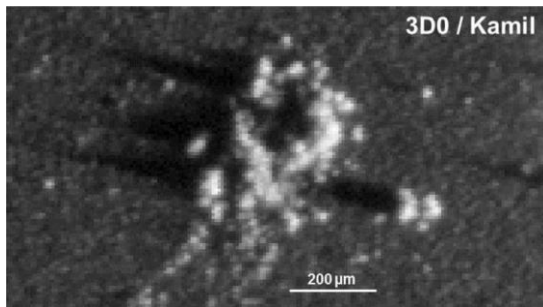
MIDAS fand verschiedenste Strukturen von größeren Teilchen:

- Sehr poröse Agglomerate mit großen Freiräumen
- Kompakte Teilchen mit dicht gepackten Untereinheiten

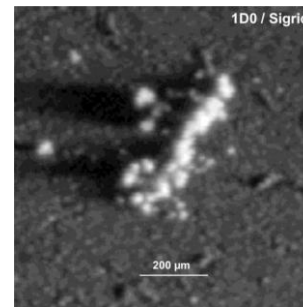
EINTEILUNG VON COSIMA



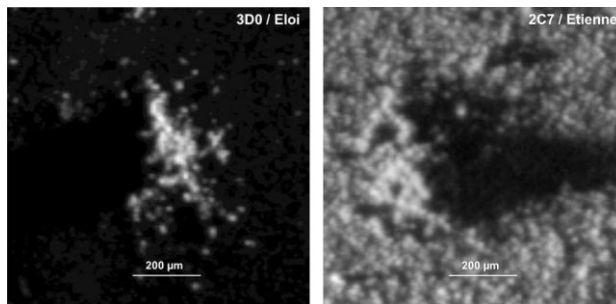
kompakt



shattered



glued



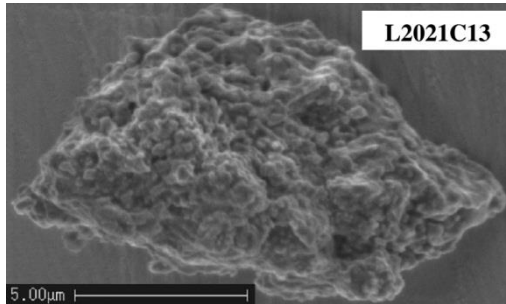
rubble pile

Images from Langevin et al 2016

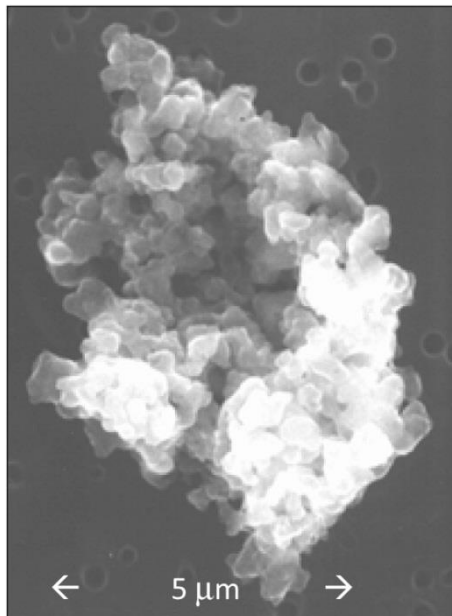
COSIMA findet grundsätzlich 2 unterschiedliche Gruppen von Kometenstaubteilchen:

- Kompakt
 - Sub-Strukturen sind dicht gepackt
 - Kaum abgesplitterte Teilchen
- Cluster mit mehreren Formen:
 - zersplittert (shattered)
 - haufenartig (rubble pile)
 - Aneinander haftende Untereinheiten (glued)

EINTEILUNG VON GIADA



Rotundi et al 2007



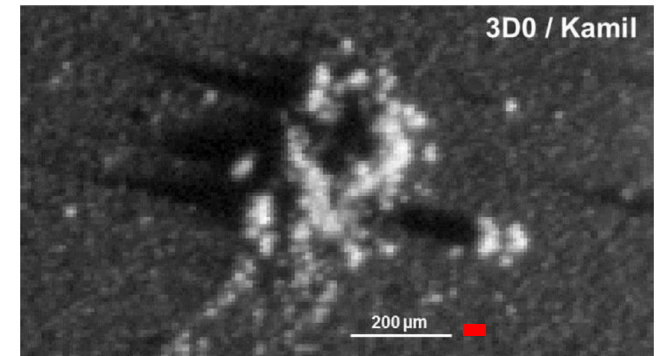
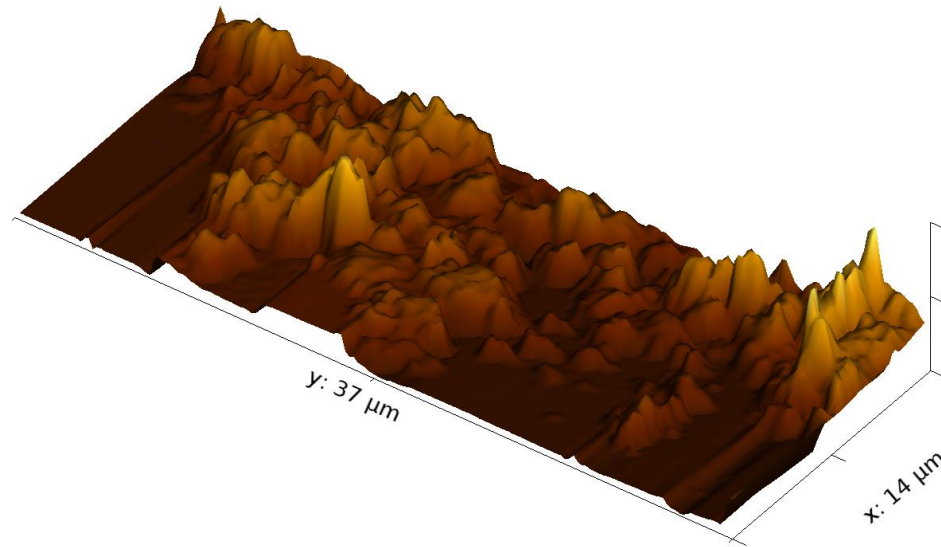
Flynn et al 2013

GIADA unterteilt ihre Teilchen aufgrund der physikalischen Eigenschaften am Aufprallsensor und Laserschranken in 2 Gruppen:

- Kompakt
 - 0.03 - 1 mm
 - Teilchen wurden möglicherweise im Sonnensystem modifiziert
 - Dichte $(1.9 \pm 1.1) \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$

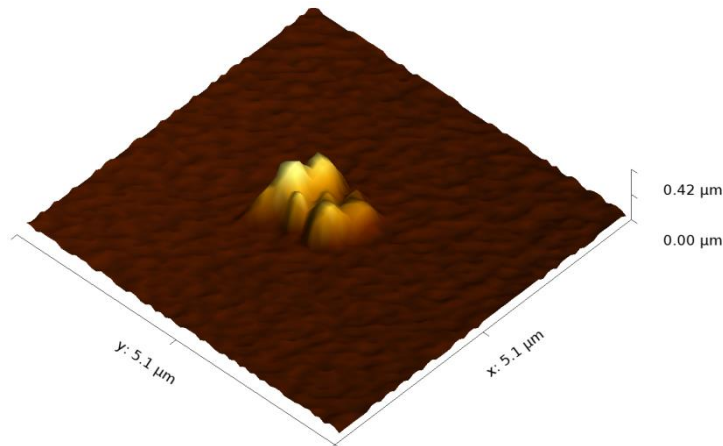
- Locker gepackt (fluffy)
 - 0.2 - 2.5 mm
 - Viele Freiräume zwischen den sub-mikrometer Untereinheiten
 - Durch den Aufprallsensor wird eine Dichte von $< 1 \text{ kg m}^{-3}$ vorhergesagt

HIERARCHISCHER AUFBAU VON KOMETENSTAUB



Langevin et al 2016

COSIMA findet in ihren $> 100 \mu\text{m}$ Partikeln überall kleinere Untereinheiten, deren Größe $14 \mu\text{m}$ überschreitet (1 Pixel).



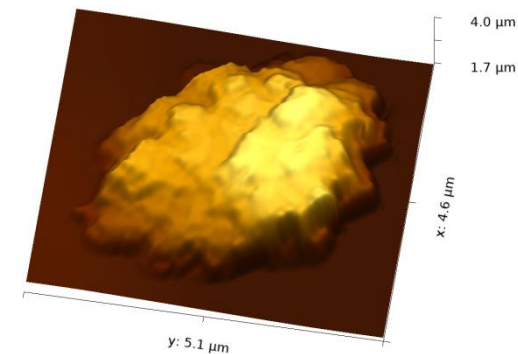
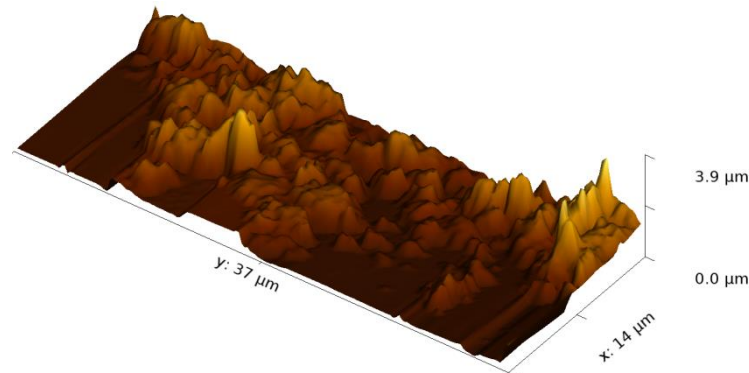
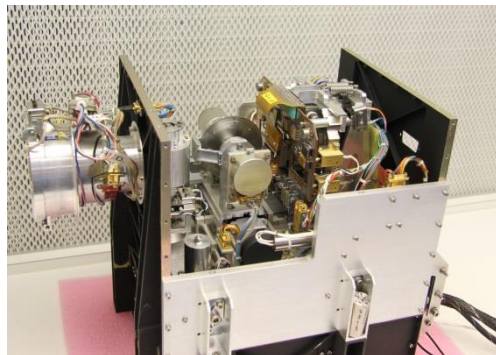
MIDAS' größere Partikel mit $\sim 10\text{-}60 \mu\text{m}$ Größe zeigen deutlich kleinere Untereinheiten im Bereich von $2 \mu\text{m}$

Mikrometer große Partikel zeigen weitere Untereinheiten bis hin zu $\sim 100\text{-}200 \text{ nm}$

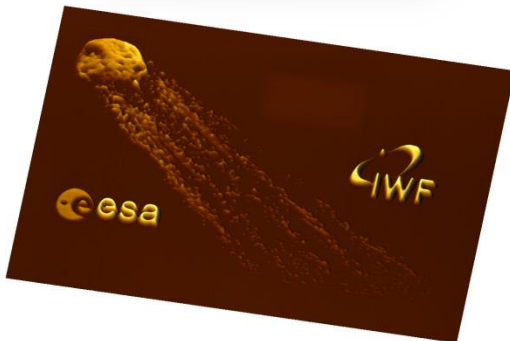
Auch GIADA hat hinweise auf sub-mikrometer Strukturen

ZUSAMMENFASSUNG

- ESA's Rosetta Mission begleitet den Kometen für über 2 Jahre
- Kometenstaub wird mit unterschiedlichen Instrumenten analysiert (OSIRIS, GIADA, COSIMA, MIDAS)
- MIDAS wurde in Graz entwickelt und von Beginn an betrieben und kann erstmalig die 3D Struktur der kleinsten Partikel auflösen
- Verschiedenste Partikelgrößen/ -strukturen (porös-kompakt, mm-nm) wurden bisher entdeckt



DANKSAGUNG



- Mark S. Bentley
 - Thurid Mannel
 - Harald Jeszenszky
 - Klaus Torkar
 - Willibald Riedler
-
- COSIMA & GIADA team
 - Rosetta team
 - FFG for financial support
 - FWF for financial support

Danke für die Aufmerksamkeit!

roland.schmied@oeaw.ac.at

iwf.oeaw.ac.at

[Twitter: @RosettaMIDAS](https://twitter.com/RosettaMIDAS)