

**Motivation:**

Kometen sind kleine Himmelskörper aus Staub und Eis, die die Sonne auf exzentrischen Bahnen umlaufen. Ist der Abstand zur Sonne gering genug, beginnt das Eis durch die Sonneneinstrahlung zu sublimieren, wobei auch Staub mit ausgeworfen wird: Der Komet wird aktiv. Leider ist nicht bekannt, wie dieser Auswurfmechanismus im Detail funktioniert. Um die dafür wichtigen Prozesse zu studieren, haben wir zusammen mit internationalen Kollegen das *Comet Physics Laboratory* (CoPhyLab) gegründet, in dem wir den Staubauswurf von Kometenanalogue Materialien studieren können. In den verschiedenen Experimenten vermessen wir die Eigenschaften der Proben und beleuchten die sich im Vakuum befindlichen Proben mit künstlichem Sonnenlicht und beobachten dabei mit zahlreichen Sensoren die Gasemission und den Staubauswurf.

Mit den auf den nächsten Seiten kurz beschriebenen Bachelorarbeiten können Sie uns bei der Suche nach den physikalischen Prinzipien hinter der Staubaktivität von Kometen unterstützen. Kommen Sie bei uns vorbei und wir finden gemeinsam die richtige Bachelorarbeit für Sie, sei es im experimentellen Bereich, bei der Modellierung oder der Datenanalyse.



Thema: **Experimente mit Staub-CO<sub>2</sub>-Eis-Gemischen**

Betreuer: **Prof. Dr. Jürgen Blum**

Vor-Ort-Ansprechpartner: **Christopher Kreuzig**

Bereich: **Experimentdurchführung und einfache Auswertung**

## Beschreibung

Kometen bestehen neben Wassereis auch aus Stäuben und anderen volatilen Substanzen. Im Labor waren bisher nur reine Wassereisproben aktiv, während schon geringe Mengen an Staub die Teilchenaktivität beenden. Hierbei könnte CO<sub>2</sub> als Hypervolatil helfen, die Aktivität zu erhalten. Ziel dieser Arbeit ist es, Proben aus Staub, CO<sub>2</sub>- und Wasser-Eis in unterschiedlichen Verhältnissen herzustellen und die Aktivität zu vermessen.

## Aufgaben:

1. Einarbeitung und Literaturrecherche zum Thema Kometenaktivität und Experimente.
2. Herstellung von Proben aus CO<sub>2</sub>-Eis und Analogmaterial (einschließlich Wassereis).
3. Durchführung von Experimentreihen mit verschiedenen Staub-Eis-Verhältnissen.
4. Diskussion der Ergebnisse mit dem *CoPhyLab*-Team.



Frame Index: 05959321 | Device Vendor: Mikrotron GmbH | Device Model: EoSens Quad1.15

Thema: **Experimente mit Staub-Wassereis-Gemischen**

Betreuer: **Prof. Dr. Jürgen Blum**

Vor-Ort-Ansprechpartner: **Christopher Kreuzig**

Bereich: **Experimentdurchführung und einfache Auswertung**

## Beschreibung

Kometen bestehen neben Wassereis unter anderem auch aus refraktären Stäuben. Im Labor werfen Proben aus granularen Wassereis Teilchen aus. Allerdings kommt diese Aktivität zum Erliegen, wenn Staub hinzugefügt wird, im Gegensatz zu den Kometen, die einen hohen Staubanteil aufweisen. Ziel dieser Arbeit ist es, Proben mit verschiedenen Anteilen von Staub und Eis zu untersuchen.

## Aufgaben:

1. Einarbeitung und Literaturrecherche zum Thema Kometenaktivität und Experimente.
2. Herstellung von Proben aus Wassereis und Analogmaterial.
3. Durchführung von Experimentreihen mit verschiedenen Staub-Eis-Verhältnissen.
4. Diskussion der Ergebnisse mit dem *CoPhyLab*-Team.



Frame Index: 05959321 | Device Vendor: Mikrotron GmbH | Device Model: EoSens  
Quad1.1S

Thema: **Kompressionsmessungen an Eis-Staub-Gemischen bis 1,2 GPa Druck**

Betreuer: **Prof. Dr. Jürgen Blum**

Vor-Ort-Ansprechpartner: **Christopher Kreuzig**

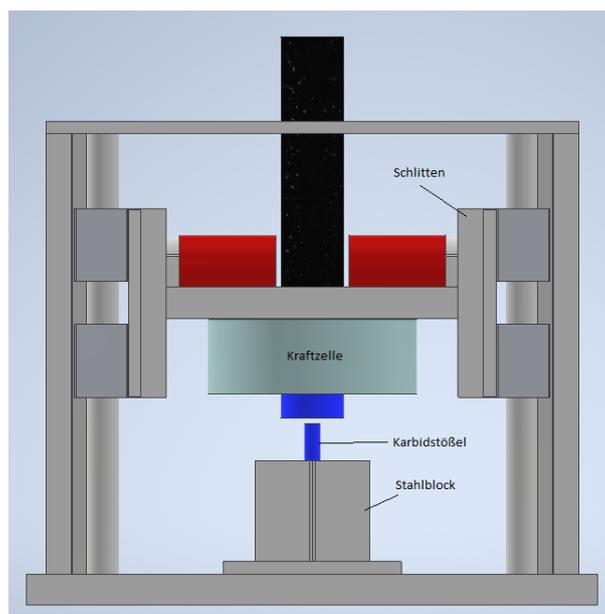
Bereich: **Experimentdurchführung und einfache Auswertung**

## Beschreibung

Während ihrer Entstehung erfahren Protoplaneten sehr hohe Drücke in ihrem Inneren. Für die Erstellung von numerischen Simulationen des thermischen und mineralogischen Verhaltens und damit des inneren Aufbaus solcher Planetesimale ist die Charakterisierung von Staub-Eis-Gemischen auch unter hohen Drücken in einem breiten Temperaturbereich relevant. Dafür soll ein bereits bestehender Versuchsaufbau ausgebaut und getestet werden. Im Anschluss werden verschiedene Staub-Eis-Gemische vermessen.

## Aufgaben:

1. Mit dem Versuchsaufbau, den Messgrößen und der Probenherstellung vertraut machen.
2. Durchführen der Experimente mit verschiedenen Mischungsverhältnissen.
3. Anpassungen für Messungen bei tiefen (und hohen) Temperaturen konzipieren und implementieren.
4. Durchführung von Messungen bei tiefen (100 K) und hohen (500 K) Temperaturen.



# Thema: Cone Penetration Tests an Staub-Eis-Gemischen in der Laborumgebung

Betreuer: Prof. Dr. Jürgen Blum

Vor-Ort-Ansprechpartner: Christopher Kreuzig

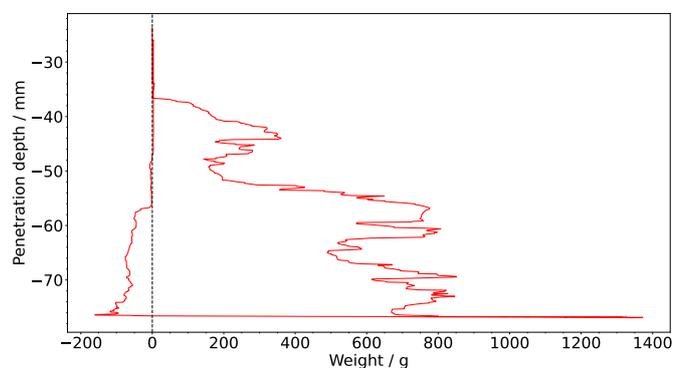
Bereich: Versuchsaufbau und Evaluation und Experimentdurchführung und einfache Auswertung

## Beschreibung

Gemische aus Staub und granularem Wassereis sind unterschiedlich fest. Unter Beleuchtung entstehen dabei auch konsolidierte Lagen innerhalb der Probe. Dies kann mit einem Cone Penetration Test gemessen werden. Dafür muss das Penetrometer vor der Messung gekühlt werden, um das Eis nicht zu sublimieren oder zu schmelzen. Ziel dieser Arbeit ist es, eine Kühlung für diese Experimente zu entwickeln und erste Penetrometerversuche durchzuführen.

## Aufgaben:

1. Einarbeitung und Literaturrecherche zum Thema Cone Penetration Tests und Experimente.
2. Erarbeiten eines Konzepts zur Kühlung des Penetrometers.
3. Herstellung der Proben aus Wassereis, Staub und Wassereis-Staub-Gemischen.
4. Bestimmung des Drucks in unterschiedlichen Tiefen der Proben.
5. Diskussion der Ergebnisse mit dem *CoPhyLab*-Team.



Thema: **Hochaufgelöste optische Beobachtung von Wassereis-Aktivität**

Betreuer: **Prof. Dr. Jürgen Blum**

Vor-Ort-Ansprechpartner: **Christopher Kreuzig**

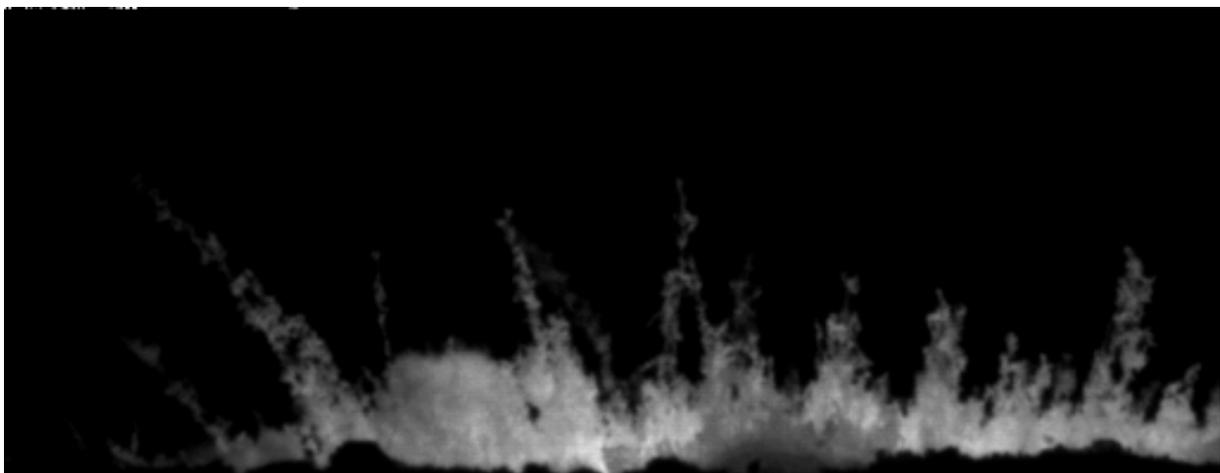
Bereich: **Versuchsaufbau und Evaluation** und **Experimentdurchführung und einfache Auswertung**

## Beschreibung

Der Mechanismus von Teilchenaktivität bei granularem Wassereis ist noch nicht vollständig verstanden. Beispielsweise entstehen bei starker Beleuchtung kleinere Härchen aus Wassereis in mm-Länge (siehe Bild), deren Bildung nicht klar ist. Einige der experimentellen Herausforderungen sind, die räumliche Auflösung und der Arbeitsabstand von Kameras zur Beobachtung und die Aufnahme innerhalb einer Vakuumkammer zu ermöglichen. Eine gute Möglichkeit zur Lösung ist ein Long-Distance-Mikroskop (LDM). Ziel dieser Arbeit ist es, das LDM in eine Vakuumkammer zu bauen, die Proben herzustellen und anschließend die Messungen durchzuführen.

## Aufgaben:

1. Einarbeitung und Literaturrecherche zum Thema Kometenaktivität und Experimente.
2. Aufbau des Versuchsaufbaus zur Beobachtung der Probe mittels eines Long-Distance-Mikroskops inklusive einer passenden Beleuchtung.
3. Herstellung der Proben und Durchführung der Experimente.
4. Ausblick: Durchführung der Experimente mit einem Cryo-SEM (kryogen gekühltes Rasterelektronenmikroskop) in Kiel.



Frame Index: 15284313 | Device Vendor: Mikrotron GmbH | Device Model: EoSens Quad1.1S

Thema: **Aufbau einer miniaturisierten Maschine zur Herstellung von granularen Wassereisproben**

Betreuer: **Prof. Dr. Jürgen Blum**

Vor-Ort-Ansprechpartner: **Christopher Kreuzig**

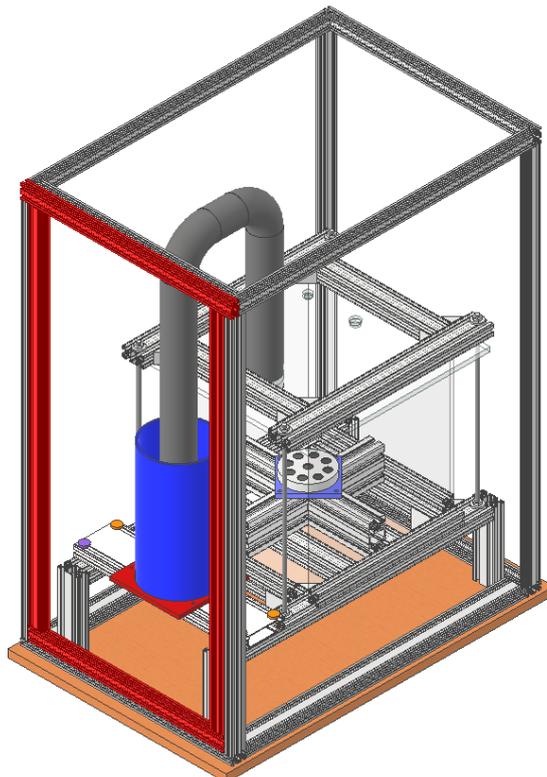
Bereich: **Versuchsaufbau und Evaluation**

## Beschreibung:

Das granulare Wassereis für die Experimente wird von uns mit Hilfe einer selbst konstruierten Maschine hergestellt, die ein Wasservolumen von 40 Litern beinhaltet. Für Proben aus isotopisch markiertem Wasser ( $D_2O$ ) bzw. Gemischen von Wasser mit anderen Stoffen (z.B. Methanol oder gefärbtes Wasser) soll eine Maschine mit einer kleineren Wassermenge konstruiert werden. Die Schwierigkeit ist dabei, die Füllhöhe der Flüssigkeit und die Kühlung der Bauteile. Am Ende der Arbeit sollen die erzeugten Proben in ihren Eigenschaften vermessen werden.

## Aufgaben:

1. Einarbeitung und Verstehen der bisherigen Aufbauten.
2. Entwicklung einer Wasserkühlung zum Schutz der Bauteile und einer automatisch auslesbaren Füllstandsanzeige.
3. Aufbau der Maschine zur Herstellung von granularen Wassereisproben.
4. Vermessung der Wassereisproben intern und mit einem Cryo-SEM (kryogen gekühltes Rasterelektronenmikroskop) in Kiel.



Thema: **Analyse der 3D-Aktivität von Wassereisproben im Labor**

Betreuer: **Prof. Dr. Jürgen Blum**

Vor-Ort-Ansprechpartner: **Christopher Kreuzig, Gerwin Meier**

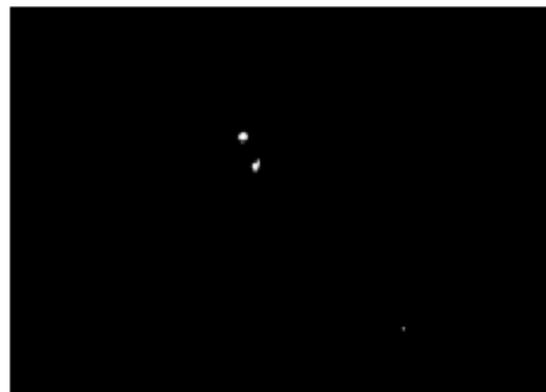
Bereich: **Datenauswertung**

## Beschreibung

Bei Bestrahlung von Licht lösen sich Teilchen aus granularem Wassereis aufgrund des Gasdrucks von sublimiertem Wasserdampf. Dieser Gasstrom soll in dieser Arbeit untersucht werden. Dafür können die Bahnen der ausgeworfenen Teilchen mit Hilfe von zwei senkrecht zueinander stehenden Kameras rekonstruiert werden. Die Teilchenerkennung in 2D mit einer einzelnen Kamera wurde bereits bearbeitet. Nun soll das Matching zweier senkrecht zueinander ausgerichteter Kameras erzeugt werden, um damit den genauen Startpunkt sowie die räumliche Verteilung der Beschleunigung der emittierten Partikel zu bestimmen.

## Aufgaben:

1. Einarbeitung und Literaturrecherche zum Thema Kometenaktivität und Experimente.
2. Weiterentwicklung einer Analysesoftware für 3D Particle Tracking.
3. Bestimmung der Startpunkte der Teilchen auf der Oberfläche.
4. Datenvergleich mit Oberflächenentwicklung und anderen Instrumenten.
5. Entwicklung eines Modells des Gasdruckfelds anhand der Teilchenspuren im Raum.



Thema: **Analyse der Teilcheneigenschaften von Wassereisproben im Labor**

Betreuer: **Prof. Dr. Jürgen Blum**

Vor-Ort-Ansprechpartner: **Christopher Kreuzig, Gerwin Meier**

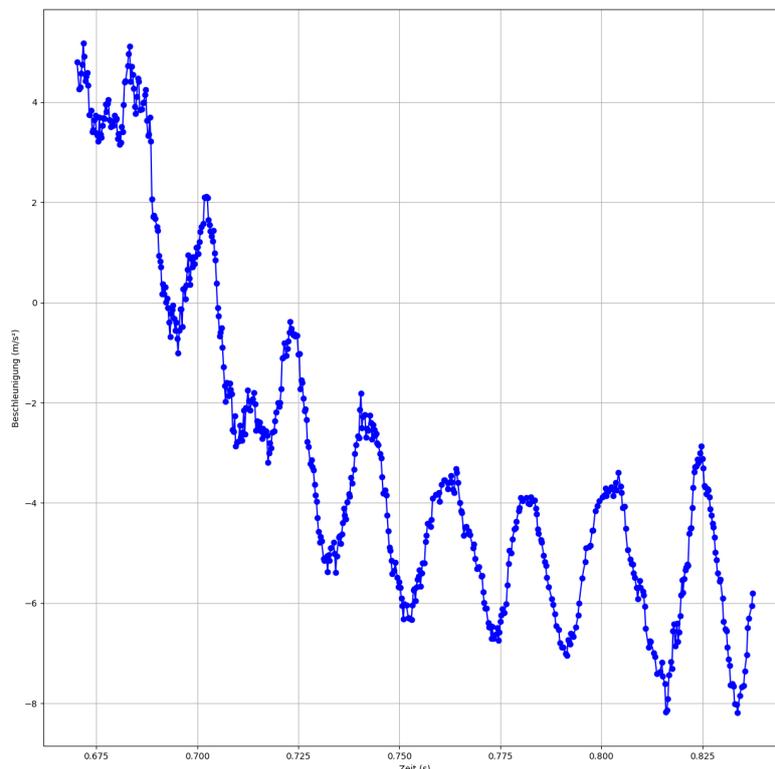
Bereich: **Datenauswertung**

## Beschreibung

In vorherigen Arbeiten wurde herausgefunden, dass die ausgeworfenen Teilchen von granularem Wassereis aus tellerähnlichen Gebilden bestehen. Teil dieser Arbeit ist es nun, diese Strukturen genauer zu vermessen. Die Partikel rotieren im Flug, sodass unterschiedliche große Flächen vom umgebenden Gasfluss beschleunigt werden. Diese Beschleunigungsunterschiede konnten bereits gemessen werden und sollen in dieser Arbeit für alle Teilchen automatisiert bestimmt werden.

## Aufgaben:

1. Einarbeitung und Literaturrecherche zum Thema Kometenaktivität und Experimente.
2. Verstehen der bisherigen Arbeiten und Ergebnisse zur Teilchenbestimmung.
3. Erstellung einer automatisierten Bestimmung der Teilchengrößen über die Zeit.
4. Diskussion der Ergebnisse mit dem *CoPhyLab*-Team.



Thema: **Erweiterung des geometrischen Modells zum Teilchenauswurf von granularen Proben**

Betreuer: **Prof. Dr. Jürgen Blum, Prof. Dr. Bastian Gundlach**

Vor-Ort-Ansprechpartner: **Christian Schuckart**

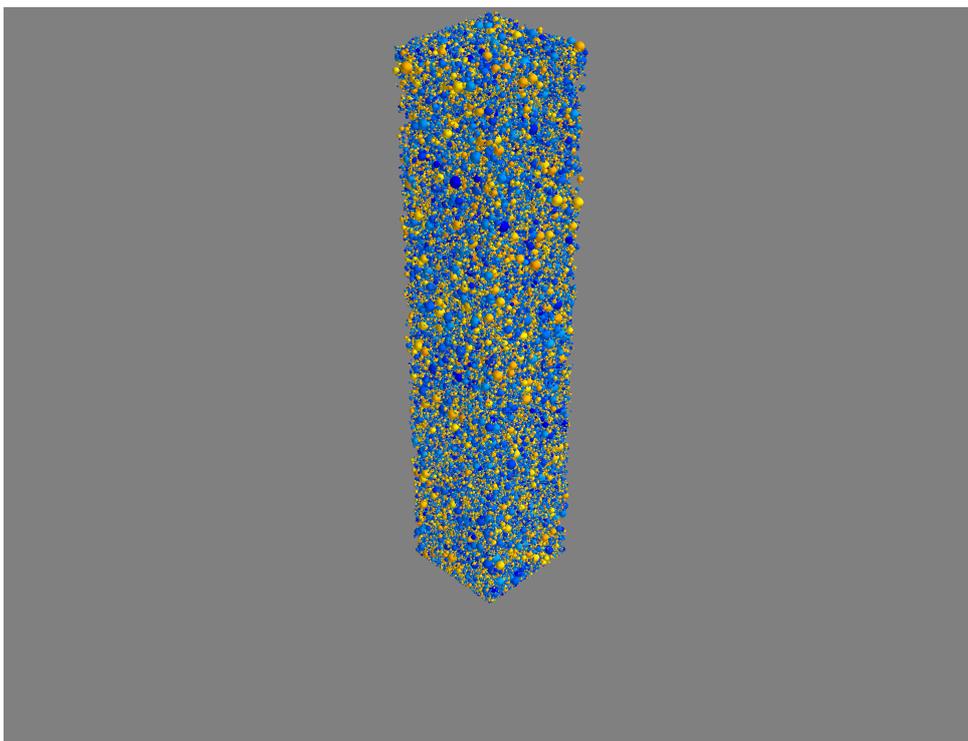
Bereich: **Numerische Simulation**

## Beschreibung

Die Teilchenaktivität von Wassereis kann mit Hilfe eines geometrischen Modells näherungsweise beschrieben werden. Dabei sublimieren die kleineren Eisteilchen in den obersten Schichten schneller als die großen. Wenn ein Agglomerat von größeren Teilchen keine Verbindungen mehr zum Rest der Probe hat, wird dieses als Partikel ausgeworfen. Es gibt Hinweise darauf, dass die Annahme von keinerlei Kontakten zu einschränkend ist. Ziel dieser Arbeit ist es, das geometrische Modell so anzupassen, dass bereits bei  $N$  Kontaktstellen (und nicht erst bei  $N = 0$ ) die Agglomerate ausgeworfen werden.

## Aufgaben:

1. Einarbeitung und Literaturrecherche zum Thema Kometenaktivität und Programmierung.
2. Verstehen des bisherigen geometrischen Modells.
3. Erweitern des Modells zum Ablösen von Teilchen mit  $N$  verbliebenen Kontaktstellen.
4. Berechnung des Teilchenmassenverlusts für die verschiedenen Kontaktstellen.



# Thema: Auswertung der Messdaten vom Mascot Radiometer (MARA) Flight Spare in der CoPhyLab L-Kammer

Betreuer: **Prof. Dr. Jürgen Blum**

Vor-Ort-Ansprechpartner: **Christopher Kreuzig, Gerwin Meier**

Bereich: **PC-gesteuerte Modellerstellung**

## Beschreibung:

Das Mascot Radiometer (MARA) wurde für die Hayabusa 2 Mission entwickelt, um Oberflächentemperaturen örtlich integriert zu messen. Das Flight Spare wurde bei uns im Labor bei Experimenten genutzt. MARA wurde dabei unter einem Winkel montiert, sodass die Abstrahlung der Oberflächentemperatur auch winkel- und entfernungsabhängig ist. Ziel der Arbeit ist, diese Geometrie zu implementieren und die räumlich integrierte Oberflächentemperatur mit einer örtlich aufgelösten Messung zu vergleichen.

## Aufgaben:

1. Einarbeitung und Literaturrecherche zum Thema Kometenaktivität und Experimente.
2. Programmieren eines geometrischen Oberflächenmodells des Sichtfeldes von MARA.
3. Synthetisieren des MARA-Signals aus einer beliebigen Temperaturverteilung im Sichtfeld.
4. Abgleich des räumlich integrierten MARA-Signals mit den räumlich aufgelösten Infrarotkamera-Daten.
5. Zusatz: Erweiterung des geometrischen Oberflächenmodells auf 3D, um die Entwicklung eines Kraters mit einzubeziehen.

