Transient Lunar Phenomena und Vulkane auf dem Mond?

Vortrag: © Nikolai Wünsche, 2017

Astronomische AG der Archenhold-Sternwarte

1. Transient Lunar Phenomena

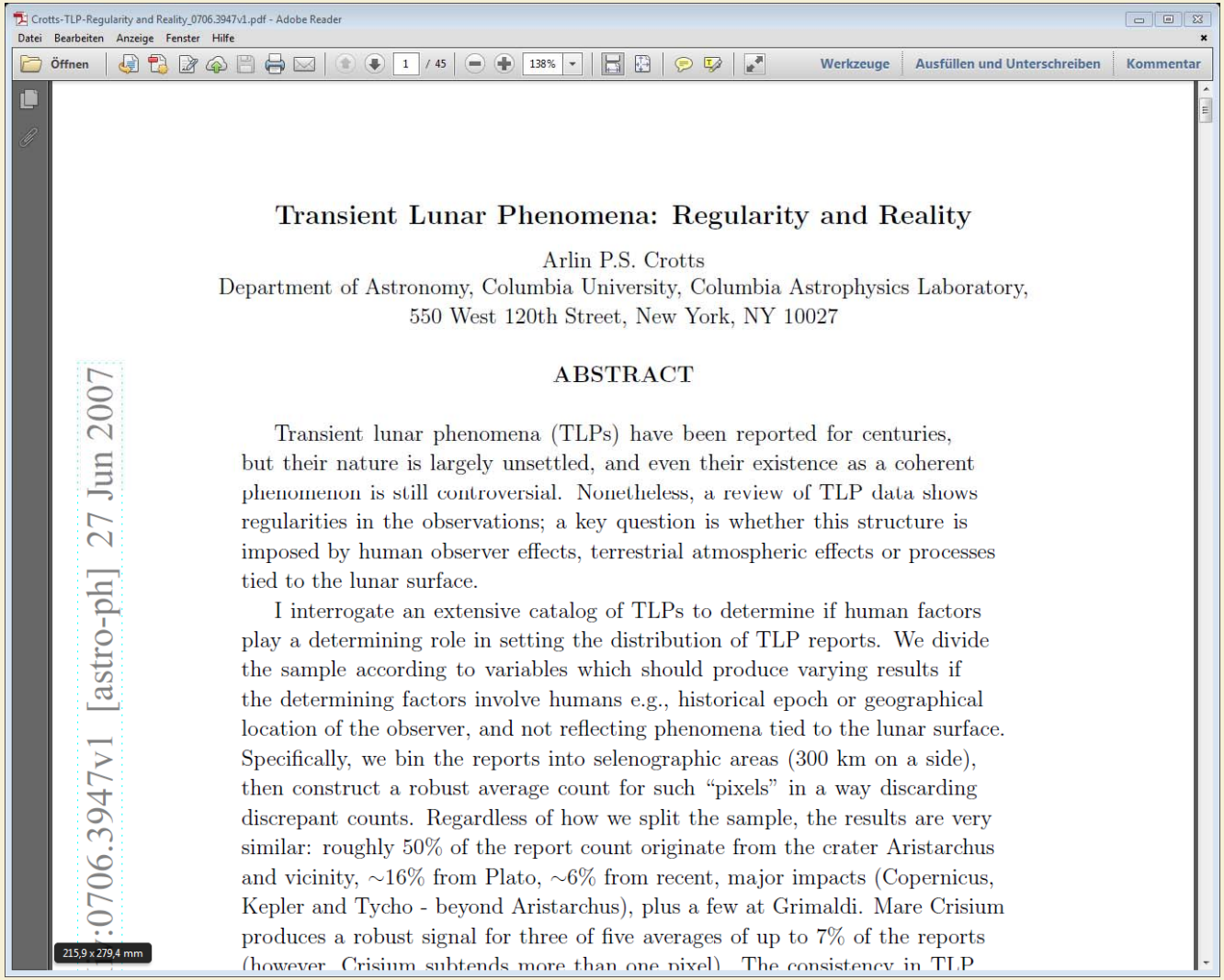
kurzzeitige, lokale Helligkeits- oder Farbveränderungen auf der Oberfläche des Mondes

- Aufhellungen
- rote oder blaue Verfärbungen
- Unschärfen, Nebel
- Leuchterscheinungen

Kataloge: *Middlehurst, Cameron*; ca. 1600 Berichte

Versuch einer Evaluation:
„TLP — Regularity and Reality“
Arlin P. S. Crotts et al von Columbia Universität, 2007

1.1. Crotts „Regularity and Reality“



Crotts-TLP-Regularity and Reality_0706.3947v1.pdf - Adobe Reader

Datei Bearbeiten Anzeige Fenster Hilfe

Öffnen 1 / 45 138% Werkzeuge Ausfüllen und Unterschreiben Kommentar

:0706.3947v1 [astro-ph] 27 Jun 2007

Transient Lunar Phenomena: Regularity and Reality

Arlin P.S. Crotts
Department of Astronomy, Columbia University, Columbia Astrophysics Laboratory,
550 West 120th Street, New York, NY 10027

ABSTRACT

Transient lunar phenomena (TLPs) have been reported for centuries, but their nature is largely unsettled, and even their existence as a coherent phenomenon is still controversial. Nonetheless, a review of TLP data shows regularities in the observations; a key question is whether this structure is imposed by human observer effects, terrestrial atmospheric effects or processes tied to the lunar surface.

I interrogate an extensive catalog of TLPs to determine if human factors play a determining role in setting the distribution of TLP reports. We divide the sample according to variables which should produce varying results if the determining factors involve humans e.g., historical epoch or geographical location of the observer, and not reflecting phenomena tied to the lunar surface. Specifically, we bin the reports into selenographic areas (300 km on a side), then construct a robust average count for such “pixels” in a way discarding discrepant counts. Regardless of how we split the sample, the results are very similar: roughly 50% of the report count originate from the crater Aristarchus and vicinity, ~16% from Plato, ~6% from recent, major impacts (Copernicus, Kepler and Tycho - beyond Aristarchus), plus a few at Grimaldi. Mare Crisium produces a robust signal for three of five averages of up to 7% of the reports (however, Crisium subtends more than one pixel). The consistency in TLP

215,9 x 279,4 mm

Arlin Crotts
1958—2015

Versuch der Evaluation von TLP-Sichtungen

1.1. Crotts „Regularity and Reality“

Wer liefert TLP-Berichte?

- Bis Anfang 20. Jh.: TLP-Berichte von Berufsastronomen. - Um 1930 gibt es jahrelang keine TLP-Reports.
- 1956 kamen TLP durch publizierte Beobachtungen ‚in Mode‘, Sichtungszahlen explodieren

→ Oft unerfahrene Beobachter mit kleinen Teleskopen

Systematische Suche nach TLP mit objektiven Methoden

- Operation Moon Blink 8/1964 — 4/1966: Nichts
- Corralitos Obs. TLP Meas. Pgm. 10/1965 — 4/1972: Diverse TLP-Alarme von außen, keine Bestätigung durch das Programm
- Lunat Intl. Obs. Network 1968-1969: 169 Reports, doch keine Bestätigung außer das Ap11-Event.
-ALPO Clementine Campaign 1994: Nichts

1.1. Crotts „Regularity and Reality“

Wie zuverlässig sind TLP-Berichte?

Die Aufgabe ist, die visuellen Beobachtungen aus vielen Jahrhunderten zu kalibrieren!

Suche im *Astrophysics Data System (ADS)* nach Veröffentlichungen:

- Vor-1930er Selenographen: keine Orte mit überdurchschnittlich vielen TLP-Sichtungen - und insbesondere *nicht Aristarchus* –
- 1930—1955 ähnlich wie zuvor.
- Erst 1956 wurden TLP durch Veröffentlichung schlagartig populär, der Hot-Spot Aristarchus wurde geschaffen.

→ 1956 verschwindet die Möglichkeit, die Voreingenommenheit der Beobachter zugunsten TLP-Hot spots zu evaluieren.

1.1. Crotts „Regularity and Reality“

Verteilung der Dauer eines TLP

(Nur) 71 Reports in Middlehurst (1968) enthalten Angaben zur Dauer besser als Faktor 2.

Dauer aufgeteilt in Wurzel-10-Intervalle ergeben Gruppen:

60s .. 190s	7 Reports
>190s .. 600s	9
>600s .. 1900s	27
>1900s .. 6000s	23
>6000s	5

Sehr kurzlebige TLP (Blitze) könnten durch Meteoriten-Impakte oder durch piezoelektrische Entladungen erklärt werden, ohne Beweise. Meteoriten-Blitze sind teilweise auch durch simultane Beobachter gesehen worden. Es handelt sich um Blitze um 0,1s Dauer.

1.1. Crotts „Regularity and Reality“

Räumliche Verteilung

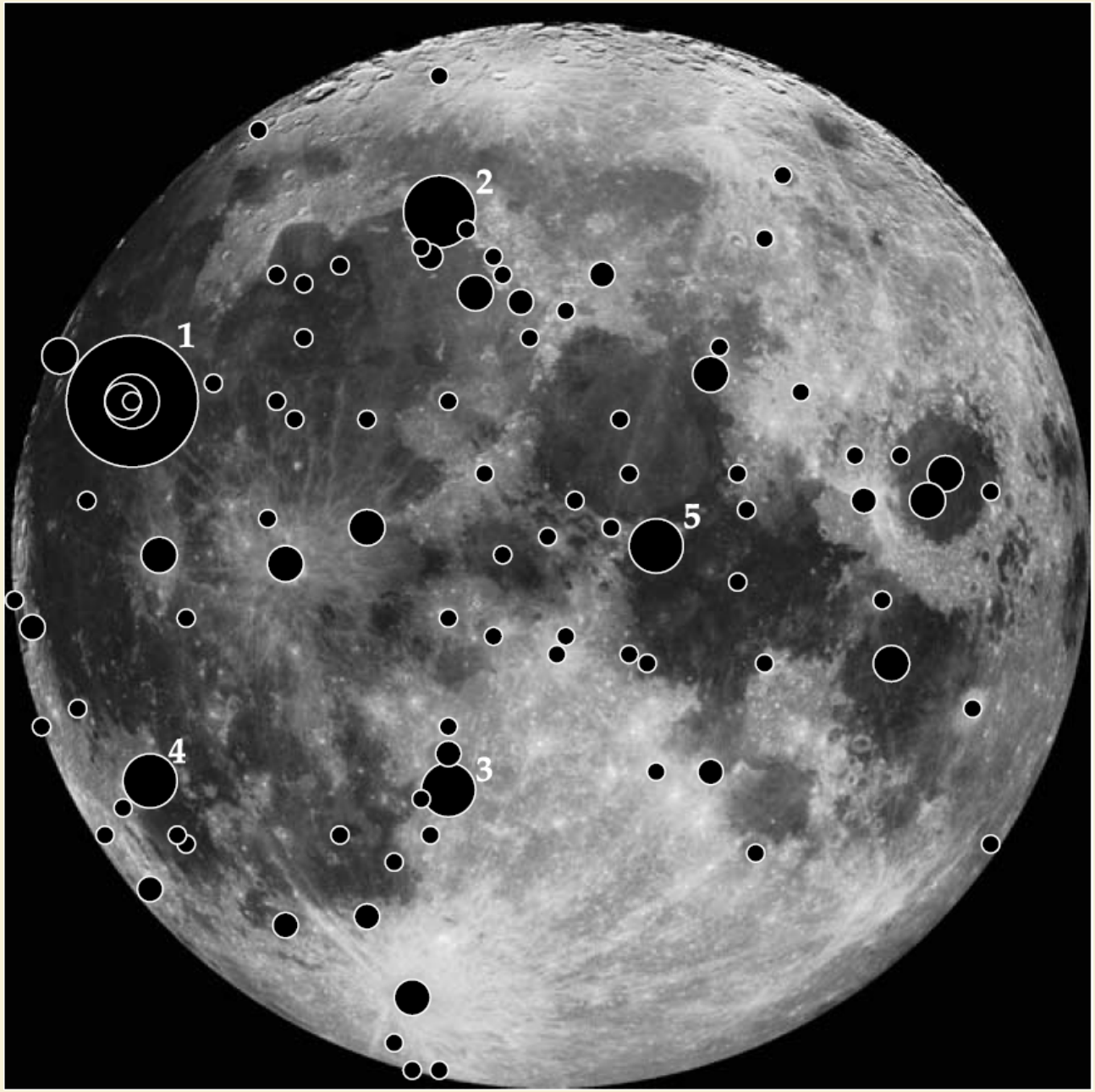
TLP-Orte nach Poisson-Verteilung untersucht, um ‚Zufälle‘ zu eliminieren.
Dazu Mond in 300km x 300km-Pixel aufgeteilt:

Table 5: Number of TLPs Reported Per Feature, Median of Three Historical Periods

Robust Feature(s) Count	Report
46	Aristarchus/Schroter’s Valley
13	Plato
3	Kepler
2 each	Alphonsus, Eudoxus, Grimaldi, Mare Crisium, Posidonius
1 each	Alpetragius, Peak S. of Alps, Bessel, Calippus, Cassini, Carlini, Copernicus, Daniell, Gassendi, Godin, Hercules, Kant, La Hire, Littrow, Manilius, Mare Humorum, Mare Nubium, Messier, E. of Picard, SW of Pico, Proclus, Promontorium Heraclides, Ptolemaus, Riccioli, South Pole, Tycho

(Crotts, S. 21)

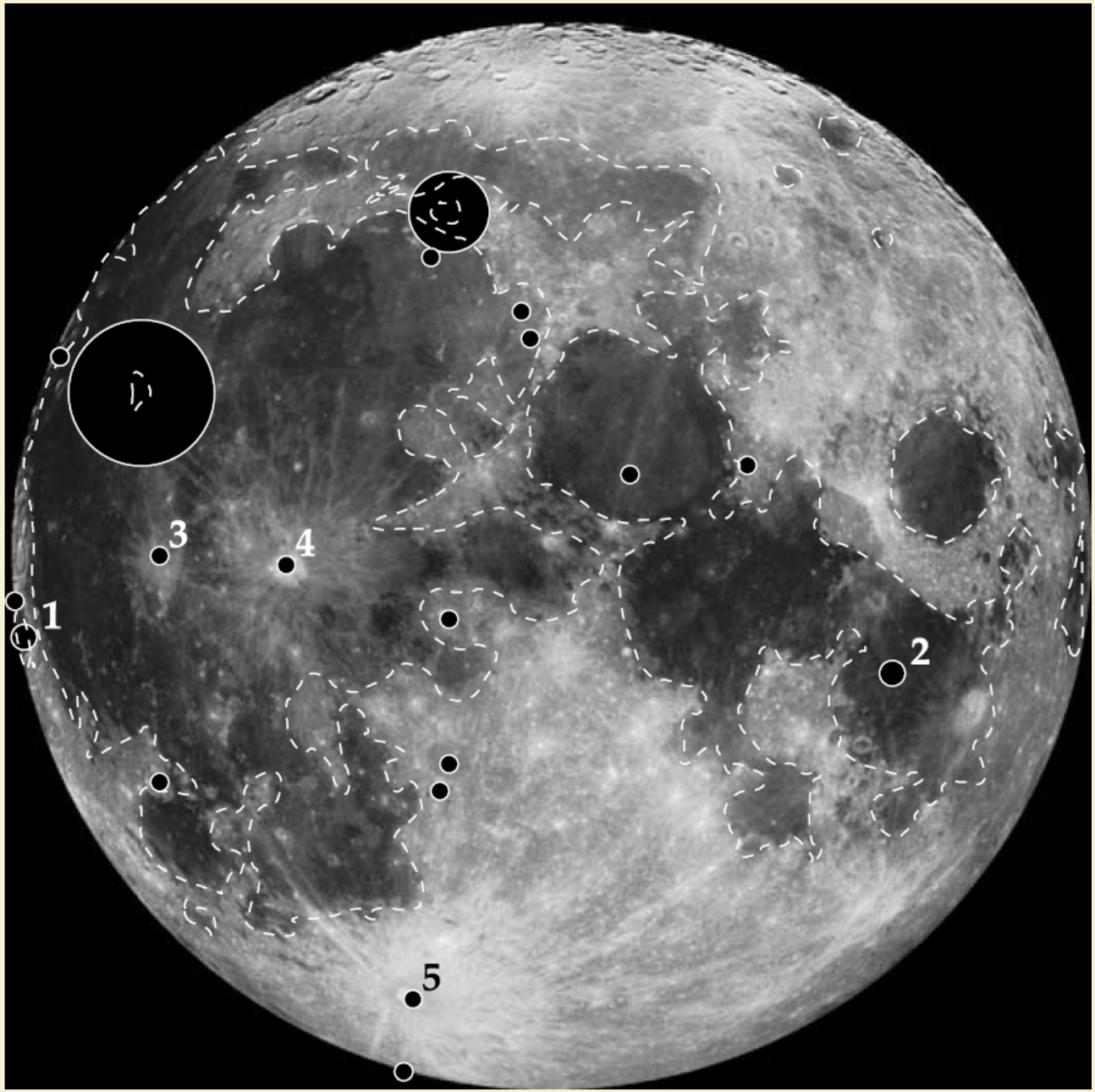
1.1. Crotts „Regularity and Reality“



TLP-Sites aus Middlehurst (1968)

Abb.: Crotts

1.1. Crotts „Regularity and Reality“



TLP-Sites,
die Crotts
Robustheits-Filter
überlebten.

Mare-Ränder
zusätzlich
markiert.

Abb.: Crotts

1. Transient Lunar Phenomena

Immerhin: Impakt-Blitze sind unstrittig… ☺

Impakte sind statistisch über die <u>gesamte</u> Oberfläche verteilt.

Credit: J. Madiedo, University of Huelva, Spain / MIDAS

2. Ausgasungen

- wurden bereits von *Apollo* und *Lunar Prospector* nachgewiesen
- Nachweis von ^{222}Radon durch α-Partikel-Spektrometer
- Robuste TLP-Orte und Ausgasungen sind stark korreliert mit Mare-Hochland-Grenzen und jungen Impakt-Kratern
- ^{210}Polonium und weitere Zerfallsprodukte bzw. Marker für Ausgasungen wurden gefunden
- In Mond-Bodenproben wurden gefunden: CO, CO_2, CH_4 und Spuren von HCN, C_2H_2 *) und O_2, kumulativ bis 200ppm (Burlingame et al. 1970)
- Das meiste dieses Gases sollte aus Sonnenwind-Atomen stammen. (Hodges et al, 1973)
- Spuren von Wasser wurden nachgewiesen (McCubbin et al, 2007)
- Gesamtmasse Ausgasung Schätzung: 200t/Jahr (LACE-Exp. Apollo 17)

*) HCN: Cyanwasserstoff; C_2H_2: Ethin (Azethylen)

Quelle: LUNAR OUTGASSING, TRANSIENT PHENOMENA, AND THE RETURN TO THE MOON. I. EXISTING DATA
Arlin P. S. Crotts · The Astrophysical Journal, 687:692Y705, 2008 November 1

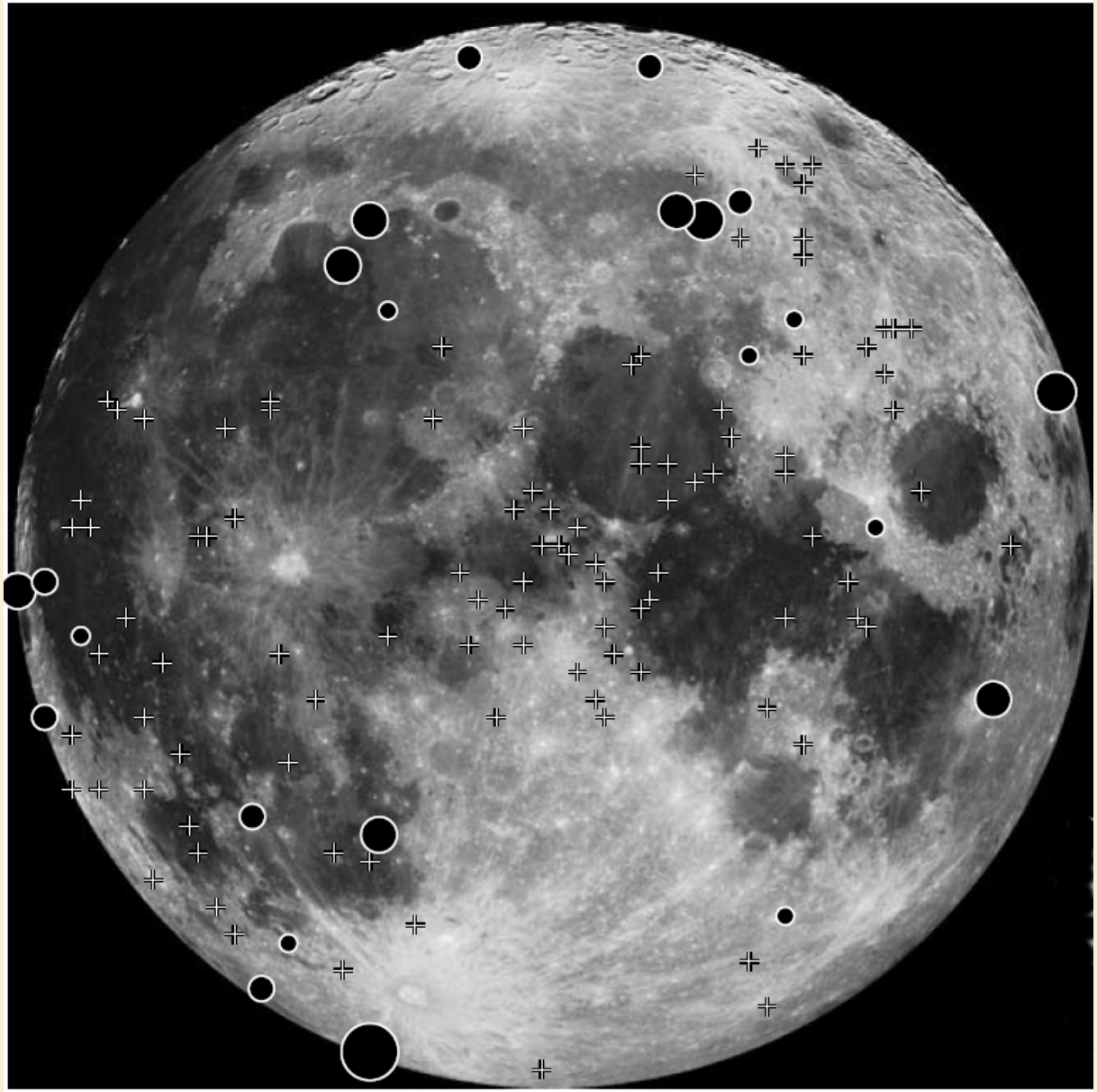
2. Ausgasungen

- Hoch flüchtige Substanzen bei der Bildung von „Fire-Fountains“ nachgewiesen, einschließl. H_2S, F, S und meist Cl in Verbindung mit H_2O, doch kein CO_2, in Konzentrationen zw. 4..40 ppm.

- Die Verbindung *Ausgasung ./. TLP kann nicht petrologisch begründet* werden, erklärt jedoch möglicherweise jüngst gebildete geologische Besonderheiten
  (Schultz 1976; Schultz et al. 2000, 2006).

Siehe: LUNAR OUTGASSING, TRANSIENT PHENOMENA, AND THE RETURN TO THE MOON. I. EXISTING DATA
Arlin P. S. Crotts · The Astrophysical Journal, 687:692Y705, 2008 November 1

2. Ausgasungen



Sind TLP korreliert mit Mondbeben?

Kreise: Flache Beben; Durchmesser ~ Stärke

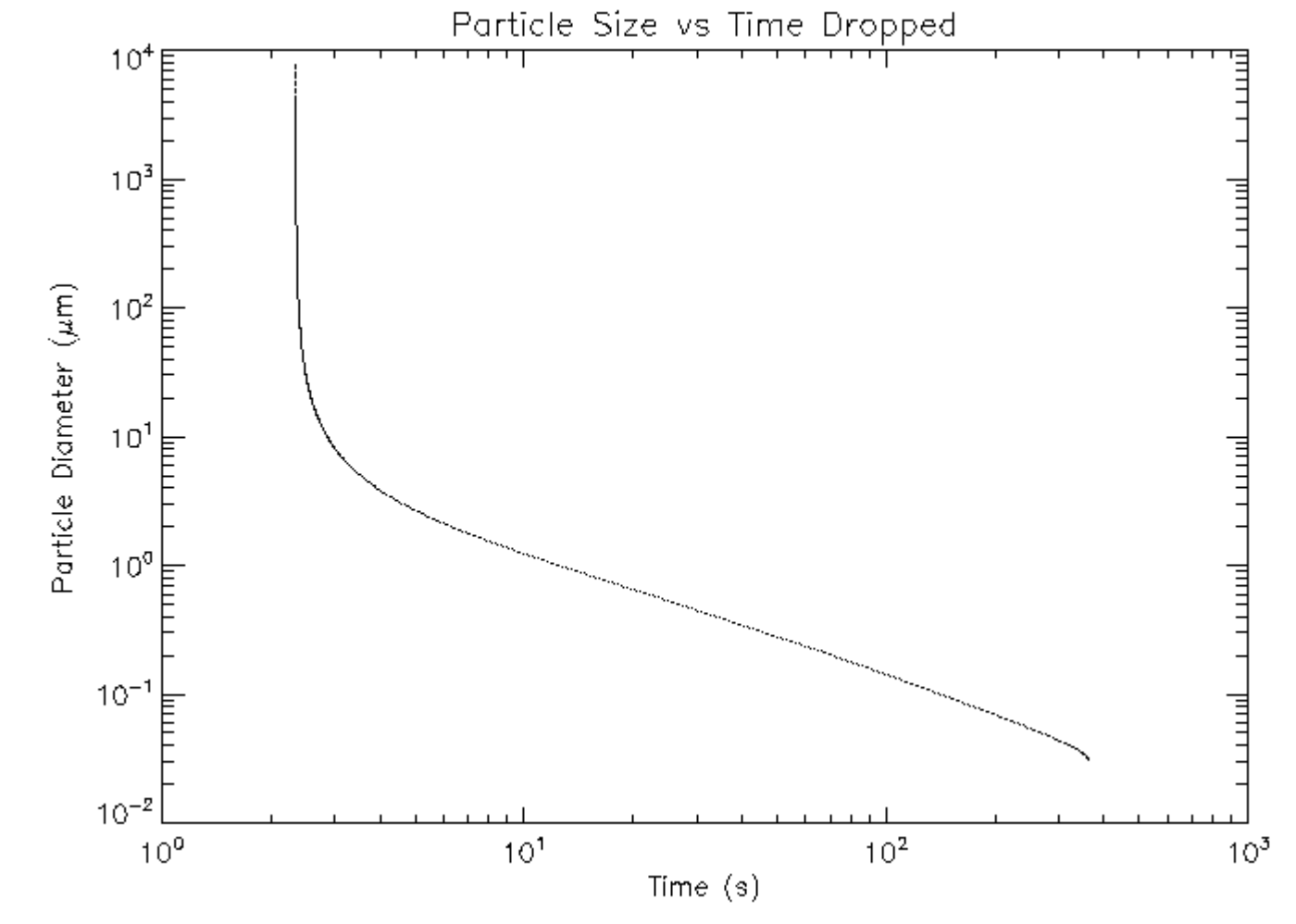
Kreuze: Tiefe Beben

(Nakamura et al, 1979 und 2005)

Korrelation mit Mare-Rändern, aber *nicht mit TLP…*

Abb.: Crotts

2. Ausgasungen

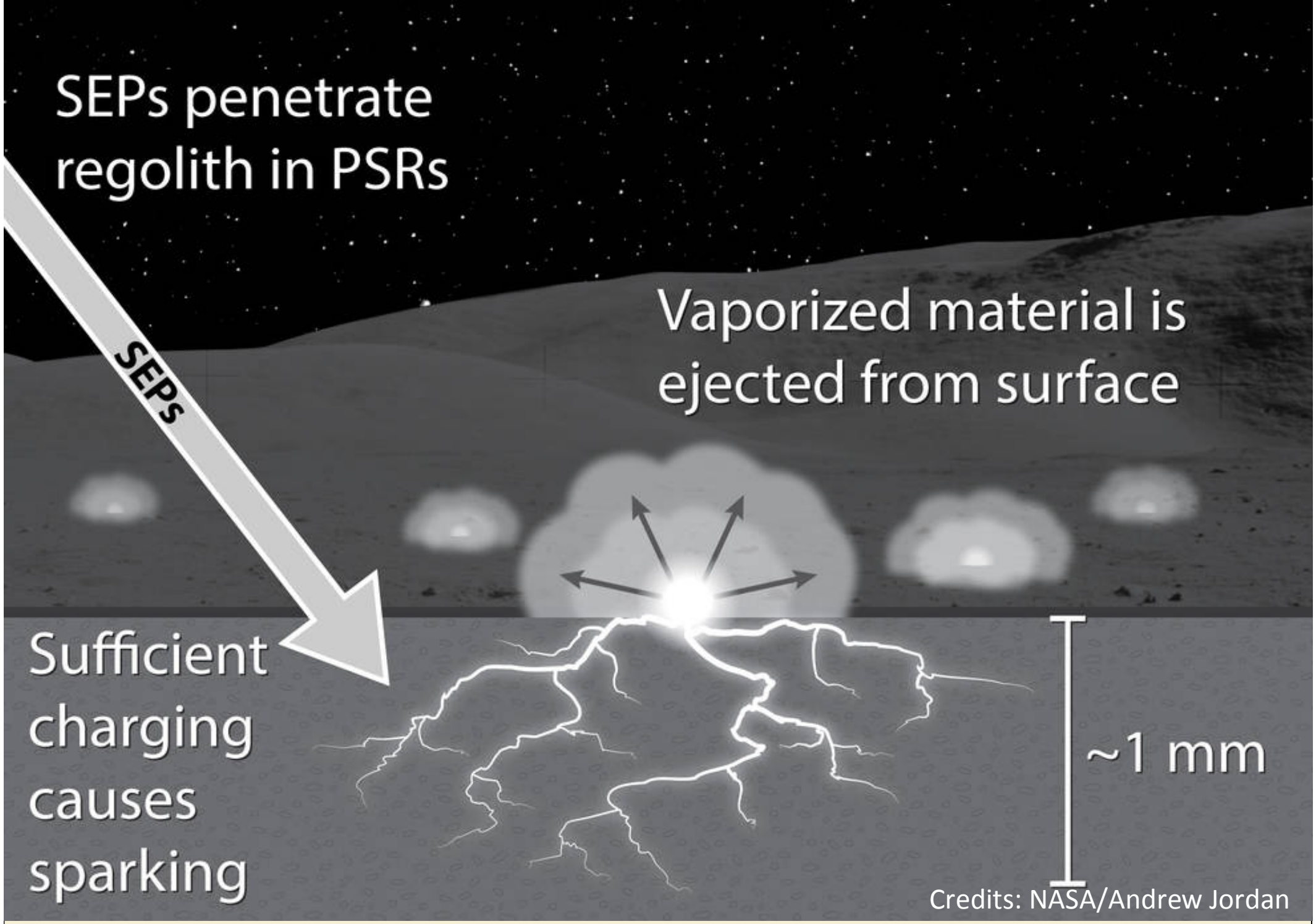


Explosionsartige Ausgasungen

- Keine Belege für Existenz, <u>aber</u>
- könnten sichtbare Staubwolken erzeugen.
- Regolith-Partikel >30µm fallen zu Boden;

Feiner Staub (~λ) schwebt minutenlang.

Lunar Outgassing, Transient Phenomena & the Return to the Moon II: Predictions and Tests for Outgassing/Regolith Interactions. Arlin P. S. Crotts and Cameron Hummels. *Department of Astronomy, Columbia University, Columbia Astrophysics Laboratory, 550 West 120th Street, New York, NY 10027*



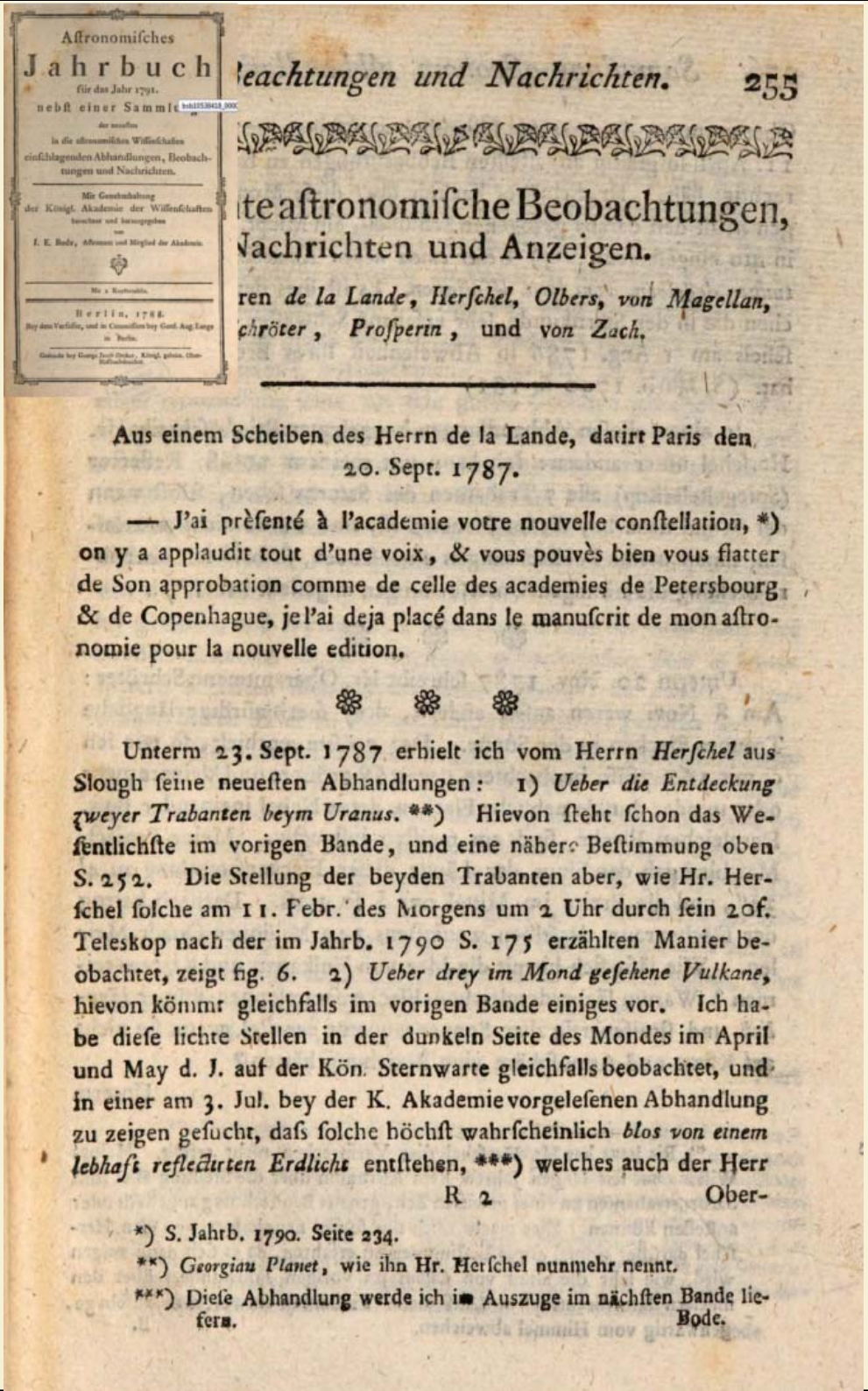
SEP: Solar Energetic Particles: PSR: Permanent Shadowed Regions

2. Ausgasungen

LRO LAMP
Lyman Alpha Mapping Project

E-Mail an Dr. Kurt Retherford
Principal Investigator,
4. Mai 2017

NW> Did the Lyman-Alpha Mapping Project find anything that might be related to outgassings or to lunar volcanism? Are there hints for any type of activity in the Lunar crust, uncovered by LAMP?
KR> Interesting questions, thanks! We indeed are actively looking in our datasets to search for any correlations of potential outgassing with the IMPs reported in Braden et al. 2015. The signal levels expected are very faint and take a lot of effort to process, so these are a work in progress. Braden postulates smaller scale basaltic eruptions rather than a long lived active volcano or the like, meaning the heating and activity is deep down. Cheers, Kurt



Aſtronomiſches
Jahrbuch
für das Jahr 1791.
nebſt einer Sammlung
der neueſten
in die aſtronomiſchen Wiſſenſchaften
einſchlagenden Abhandlungen, Beobachtungen und Nachrichten.
Mit Genehmhaltung
der Königl. Akademie der Wiſſenſchaften
berechnet und herausgegeben
von
J. E. Bode, Aſtronom und Mitglied der Akademie.
Mit 2 Kupfertafeln.
Berlin, 1788.
Bey dem Verfaſſer, und in Commiſſion bey Gottl. Aug. Lange in Berlin.

Beachtungen und Nachrichten. 255

...te aſtronomiſche Beobachtungen,
...Nachrichten und Anzeigen.

...ren *de la Lande*, *Herſchel*, *Olbers*, *von Magellan*,
...*chröter*, *Proſperin*, und *von Zach*.

Aus einem Scheiben des Herrn de la Lande, datirt Paris den 20. Sept. 1787.

— J'ai prèſenté à l'academie votre nouvelle conſtellation, *) on y a applaudit tout d'une voix, & vous pouvès bien vous flatter de Son approbation comme de celle des academies de Petersbourg & de Copenhague, je l'ai deja placé dans le manuſcrit de mon aſtronomie pour la nouvelle edition.

❀ ❀ ❀

Unterm 23. Sept. 1787 erhielt ich vom Herrn *Herſchel* aus Slough ſeine neueſten Abhandlungen: 1) *Ueber die Entdeckung zweyer Trabanten beym Uranus.* **) Hievon ſteht ſchon das Weſentlichſte im vorigen Bande, und eine nähere Beſtimmung oben S. 252. Die Stellung der beyden Trabanten aber, wie Hr. Herſchel ſolche am 11. Febr. des Morgens um 2 Uhr durch ſein 20f. Teleskop nach der im Jahrb. 1790 S. 175 erzählten Manier beobachtet, zeigt fig. 6. 2) *Ueber drey im Mond geſehene Vulkane*, hievon kömmt gleichfalls im vorigen Bande einiges vor. Ich habe dieſe lichte Stellen in der dunkeln Seite des Mondes im April und May d. J. auf der Kön. Sternwarte gleichfalls beobachtet, und in einer am 3. Jul. bey der K. Akademie vorgeleſenen Abhandlung zu zeigen geſucht, daſs ſolche höchſt wahrſcheinlich *blos von einem lebhaft reflectirten Erdlicht* entſtehen, ***) welches auch der Herr

R 2 Ober-

*) S. Jahrb. 1790. Seite 234.

**) *Georgian Planet*, wie ihn Hr. Herſchel nunmehr nennt.

***) Dieſe Abhandlung werde ich im Auszuge im nächſten Bande liefern. Bode.

3. Mondvulkanismus

1787: **Herschel** sieht drei Mondvulkane

Bode sieht sie auch, aber erkennt: „…dass solche höchst wahrscheinlich blos von einem lebhaft reflectirten Erdlicht entstehen.“

Berliner Astronomisches Jahrbuch für 1791, Hrsg. J. E. Bode, Berlin 1788

3. Mondvulkanismus

nature geoscience

SUPPLEMENTARY INFORMATION

DOI: 10.1038/NGEO2252

Evidence for basaltic volcanism on the Moon within the past 100 million years

*S. E. Braden, School of Earth and Space Exploration, Arizona State University, 1100 S. Cady Mall, Interdisciplinary A, Tempe, AZ 85287-3603; (sebraden@asu.edu) (920) 827-6556.

J. D. Stopar, School of Earth and Space Exploration, Arizona State University, Tempe, AZ 85287

M. S. Robinson, School of Earth and Space Exploration, Arizona State University, Tempe, AZ 85287

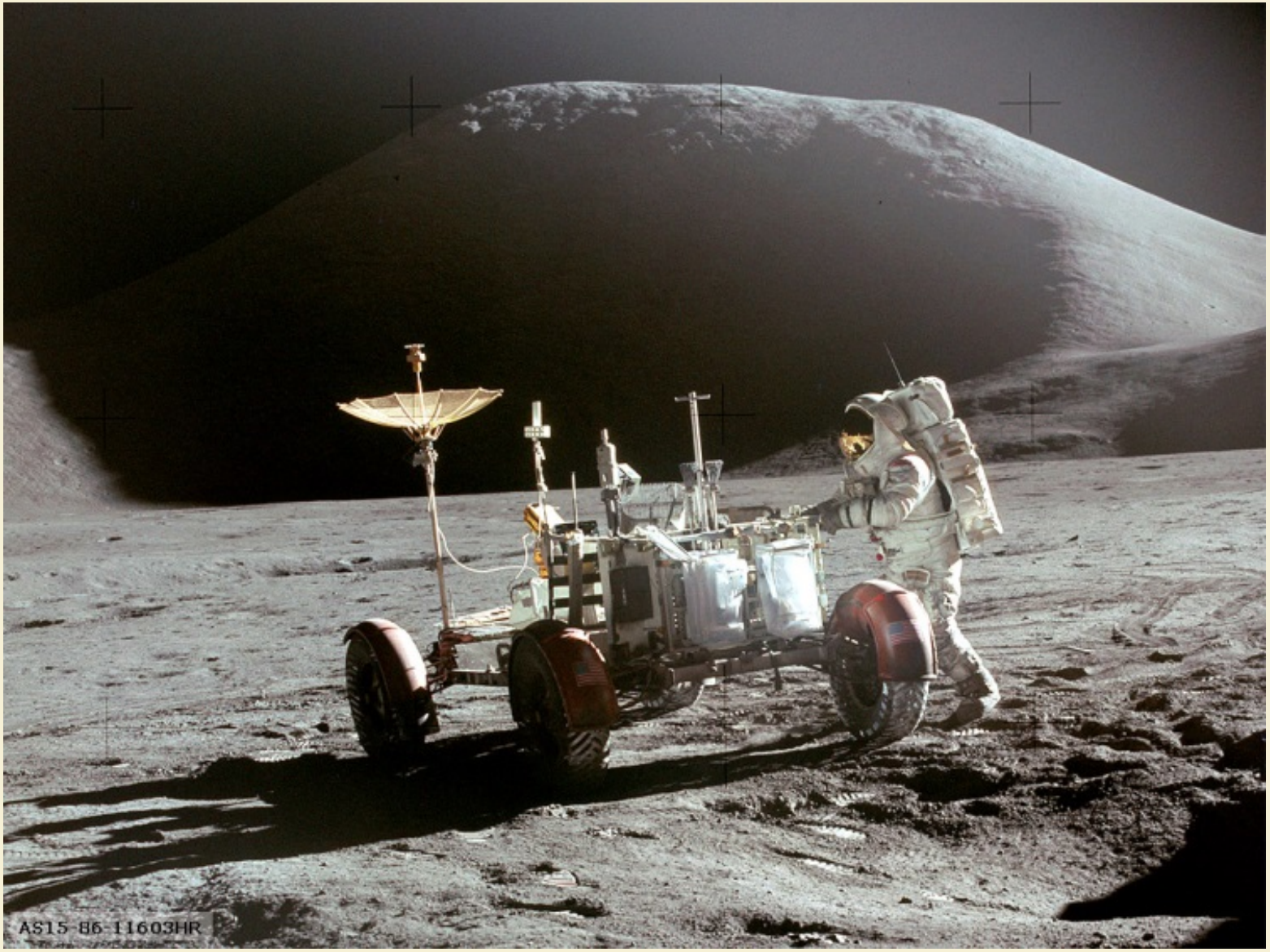
S. J. Lawrence, School of Earth and Space Exploration, Arizona State University, Tempe, AZ 85287

C. H. van der Bogert, Institut für Planetologie, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Wilhelm-Klemm-Str. 10, 48149 Münster, Germany

H. Hiesinger, Institut für Planetologie, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Wilhelm-Klemm-Str. 10, 48149 Münster, Germany

2014: Sind *Braden et al* noch bei Verstand?!

3. Mondvulkanismus

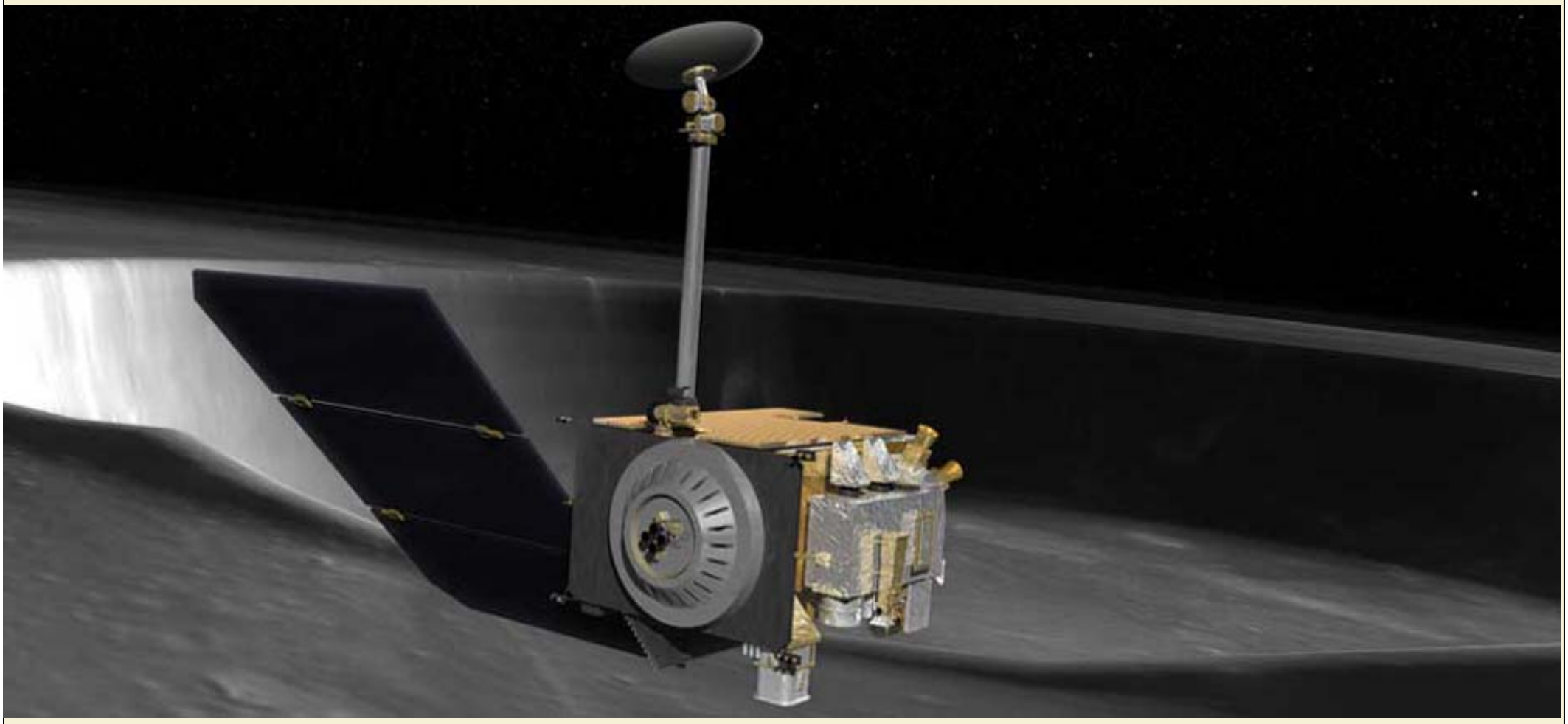


Seit **Apollo** *weiß* man: Mond-Vulkanismus ist seit ~1Mrd a erloschen!

ODER..?

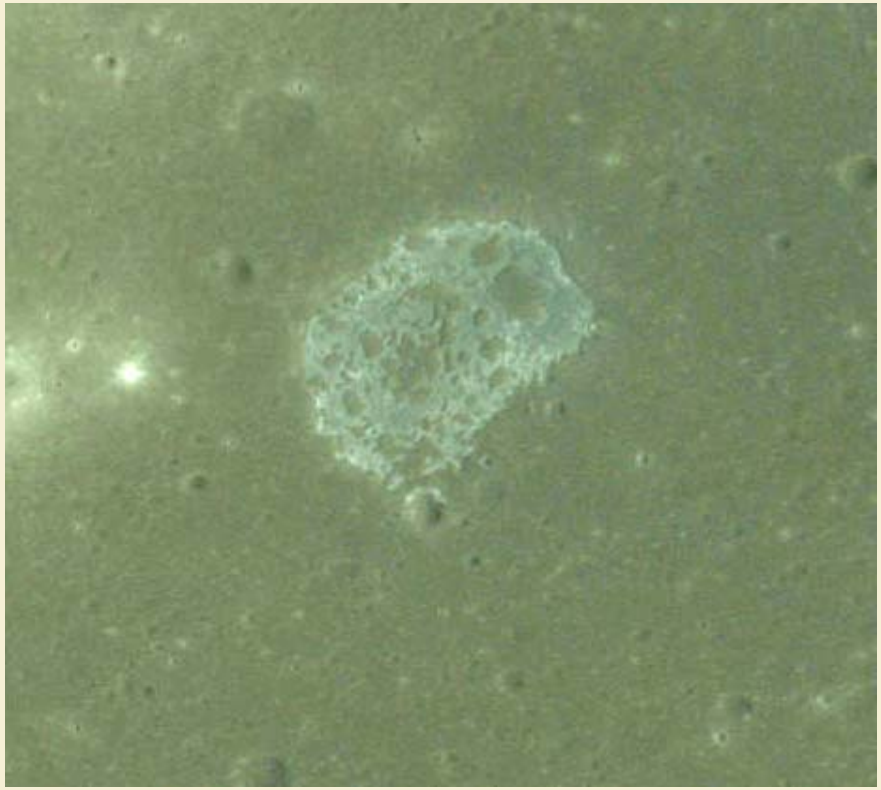
Abb.: NASA

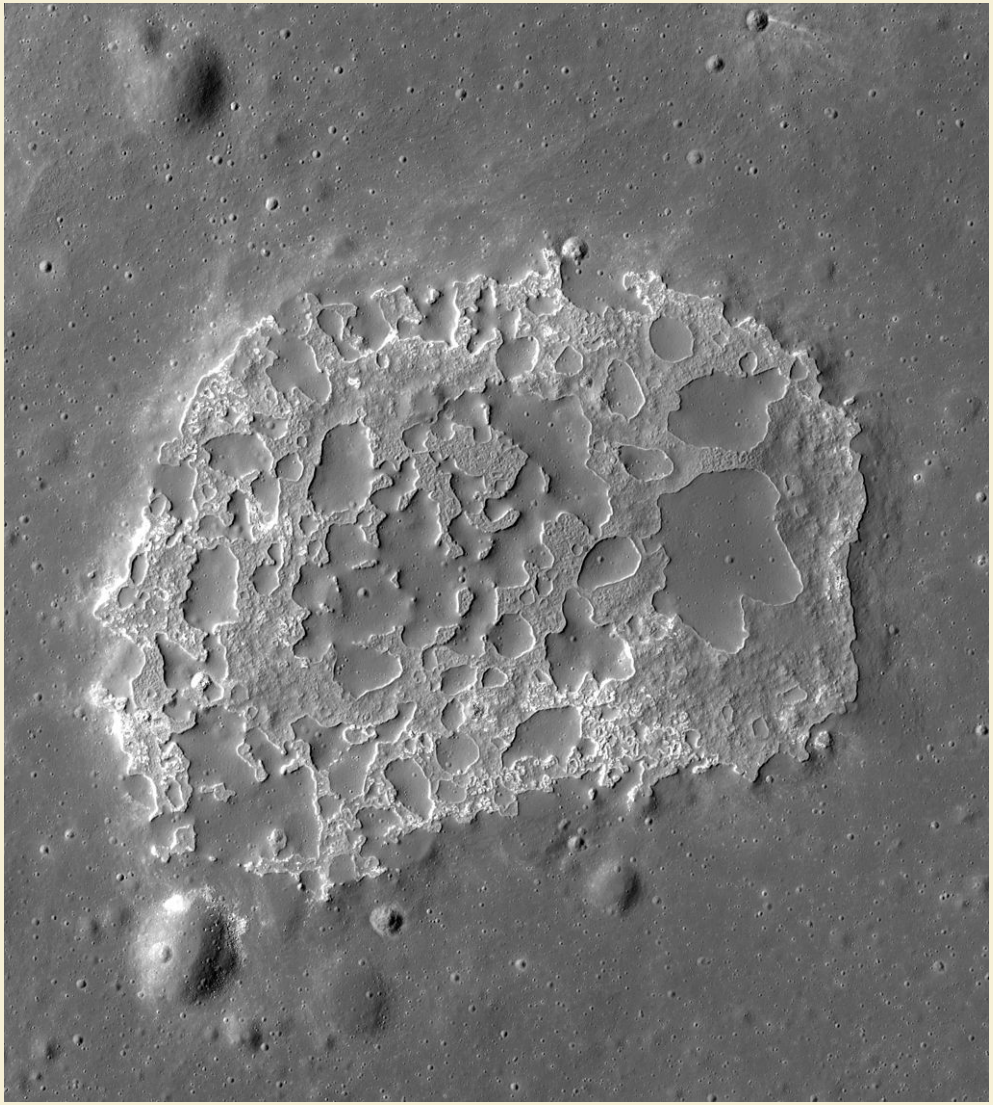
3. Mondvulkanismus



18. Juni 2009: Der *Lunar Reconnaissance Orbiter* wird gestartet. Seine *Narrow Angle Camera* wird später Bilder mit Auflösungen bis 0,5m liefern. Grafik: NASA/GSFC

3. Mondvulkanismus



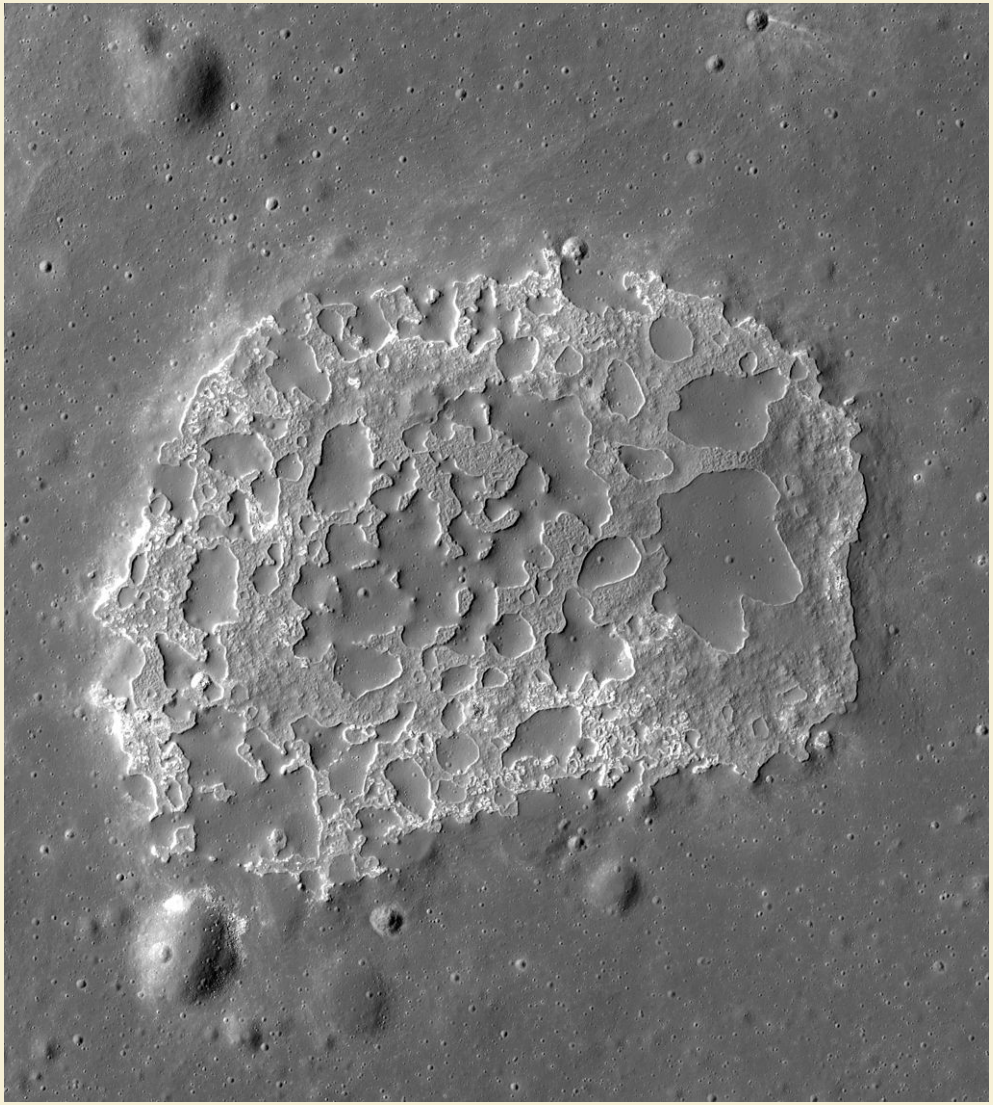


Links: Apollo 17-Foto,
rechts: LROC NAC (1,1m Auflös.)

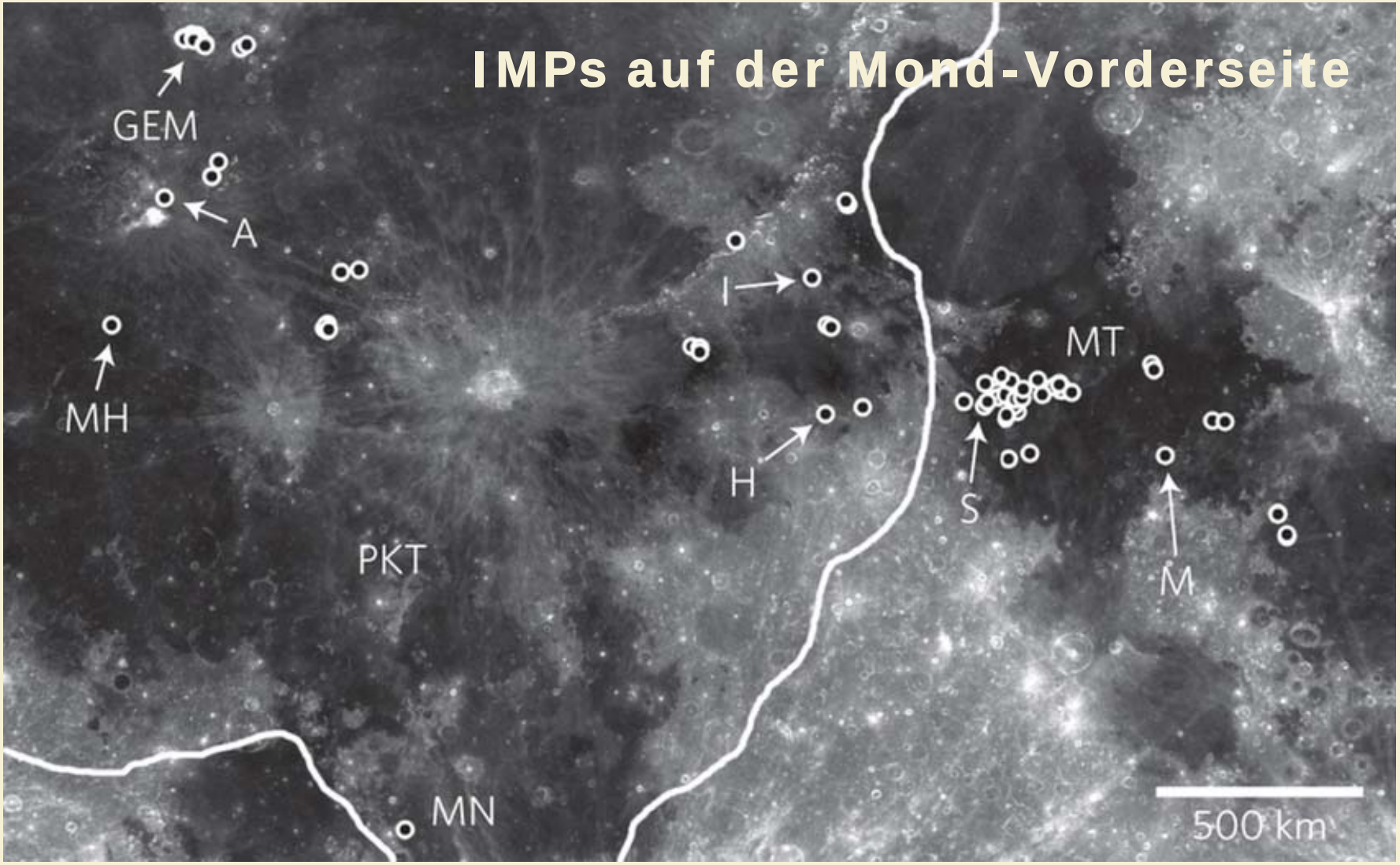
„Ina“: Rätselhafte Formation, das erste der jetzt ~70 „IMPs“.

3. Mondvulkanismus

Irregular Mare Patch (IMP)
-auffallend irreguläre Morphologie und Textur
-geringe Größe (bis 1,2km)
-Zwei morphologisch verschiedene Ablagerungen:
Das topographisch <u>unebene Deposit</u> hat eine sichtbar rauhe, unebene Oberfläche und verschiedenste Block-Dichten.
Im Kontrast dazu hat das <u>jüngere, weiche Deposit</u> eine uniforme Textur und kaum Blöcke.
-Die Grenze beider Ablagerungen ist markiert durch einen abrupten Wechsel der Hangneigung.



3. Mondvulkanismus



Aristarchus (A), Gruithuisen E-M region (GEM), Marius Hills (MH), Mare Nubium (MN), Ina (I), Hyginus (H), Sosigenes (S), Maskelyne (M).

Image: NASA/GSFC/Arizona State University.

3. Mondvulkanismus

Aus rechtlichen Gründen… schauen Sie selbst..:
http://www.nature.com/ngeo/journal/v7/n11/extref/ngeo2252-s1.pdf
Seite 13

3. Mondvulkanismus

Aus rechtlichen Gründen… schauen Sie selbst..:
http://www.nature.com/ngeo/journal/v7/n11/extref/ngeo2252-s1.pdf
Seite 15

IMP Sosigenes Profil zwischen beiden Ablagerungen.
In diesem Profil ist die weiche Ablagerung 10m dick.

3. Mondvulkanismus

Aus rechtlichen Gründen… schauen Sie selbst..:
http://www.nature.com/ngeo/journal/v7/n11/extref/ngeo2252-s1.pdf
Seite 17

Aus der Verteilung der Kratergrößen berechnetes Alter der IMPs.

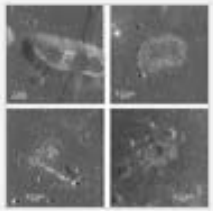
Crater Size-Frequency Distribution (CSFD) ist in Planetologie gängiges Verfahren zur Altersbestimmung von Impakt-Kratern.

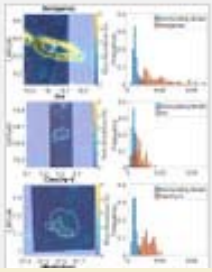
3. Mondvulkanismus

Article outline Show full outline

Highlights
Abstract
Keywords
1. Introduction
2. Background
3. Methods
4. Results
5. Discussion
6. Conclusion
Acknowledgements
References

Figures and tables

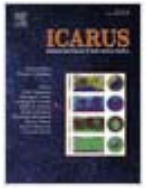




ELSEVIER

Icarus

Volume 290, 1 July 2017, Pages 224–237



Young lunar volcanic features: Thermophysical properties and formation

C.M. Elder [a], P.O. Hayne[a], J.L. Bandfield[b], R.R. Ghent[c, d], J.-P. Williams[e], K.L. Donaldson Hanna[f], D.A. Paige[e]

Show more

https://doi.org/10.1016/j.icarus.2017.03.004

Get rights and content

Highlights

- Ina has a lower thermal inertia than its surrounding terrain.
- Pyroclastic activity may have occurred at Ina.
- There is not extensive coherent rock in the top 15 cm of irregular mare patches (IMPs).
- IMPs have a rock abundance slightly higher than their surrounding terrain.

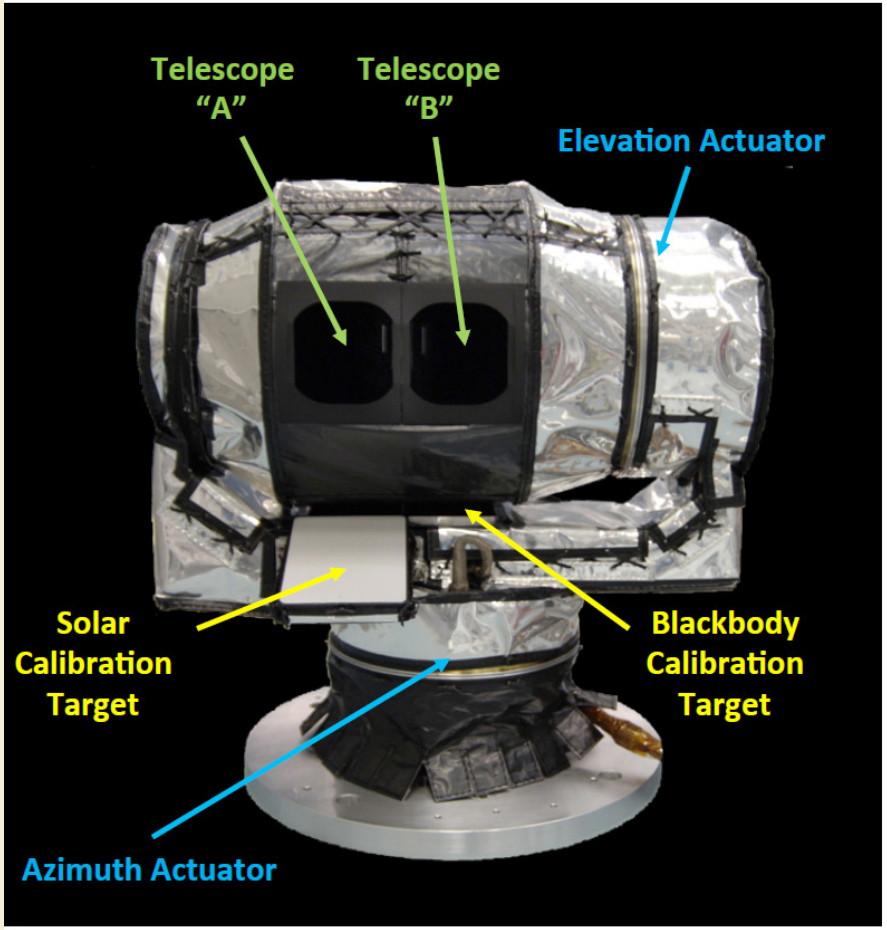
3.1. IMP-Entstehung

Young lunar volcanic features: Thermophysical properties and formation, C.M. Elder et al, ICARUS 290 (2017)

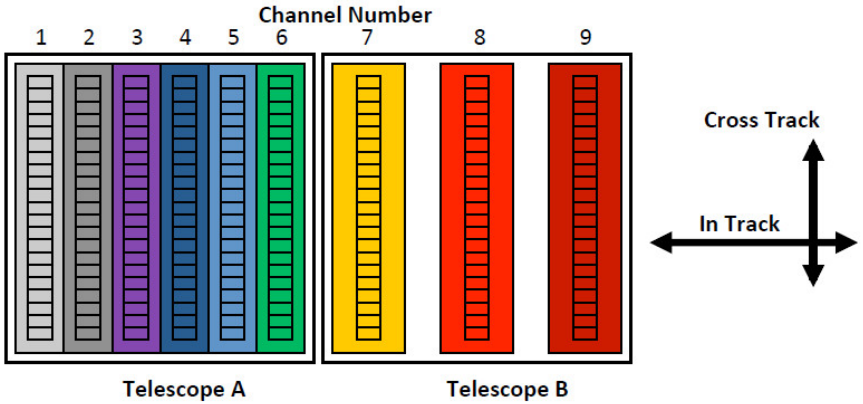
- IMPs sind etwas felsiger als ihre Umgebung, doch der Reichtum an Steinen ist geringer als in Lavaströmen
- Die nächtliche Abkühlungsrate von IMPs lässt darauf schließen, dass *kein überdecktes Felsgestein in den obersten 15cm* verborgen ist
- Die IMPs haben keine einheitlichen thermischen Inertia, sondern unterscheiden sich erheblich → unterschiedliche Entstehung
- Zwei Hypothesen erklären die Beobachtungen am ehesten:
  - Massetransport durch Ausgasung
  - pyroklastische Eruptionen
- Das schließt Aufwerfen von Lavaströmen oder seismische Effekte nicht aus.
- IMPS sind nicht uniform entstanden; die Mechanismen sind Gegenstand aktueller Forschung.

3. Gibt es zurzeit aktiven Mondvulkanismus?

LRO/Diviner Lunar Radiometer



- **Detector Array Layout**



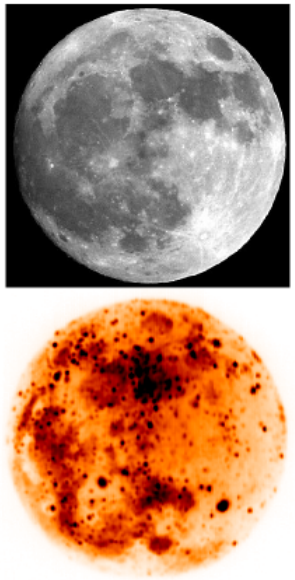
- **LRO launched in 2009, currently in extended science mission**
- **Azimuth and Elevation Actuators**
- **Blackbody and Solar Calibration Targets**
  - Used for in-flight radiometric and photometric calibrations
- **Spatial Resolution**
  - 320 m in track and 160 m cross track 50 km altitude (6.7 x 3.4 mrad)
- **Swath Width**
  - 3.4 km at 50 km altitude (71 mrad)

Thermophysical Properties of the Lunar Surface from Diviner Observations/Paul Hayne et al, 2013

3. Mondvulkanismus

The Infrared Moon

- Temperature cycles of lunar surface sensitive to regolith porosity, surface and subsurface rock concentrations
- Cycles with different periods probe different depths (eclipse vs. diurnal vs. seasonal)
- Nighttime infrared spectral slope constrains surface rock abundance



The eclipsed Moon at 8.3 μm (courtesy Stephan Price, USAF)

In „Thermal Properties of the Lunar Surface from Diviner Observations“, (Paul Hayne et al, 2013) wurden Diviner-Messungen zur Bestimmung der Gesteinsverteilung und Messung der Regolith-Dicke verwendet.

Hayne fand „Cold Spots“, aber keine „Hot Spots“
→ zurzeit kein aktiver Vulkanismus.

Thermophysical Properties of the Lunar Surface from Diviner Observations/Paul Hayne et al, 2013

TLP – IMP – Mondvulkanismus?

Können die jüngsten Ergebnisse TLP erklären?

Jein!

-Explosionsartige Ausgasungen hat es gegeben (→ IMPs) und man würde sie sehen können (→ s. Crotts 2007)
Doch jüngste bekannte Formation ist 18 Mio a alt.
-Pyroklastische Wolken und Feuerfontänen würde man sehen können, doch fehlt jede Spur von aktiven Vorgängen (→ Diviner)
-Lavaströme in IMPs wären viel zu klein und zu kalt, um sie sehen zu können (von der Erde aus <1“)
-Die großen TLP-Hot Spots sind **keine** morphologisch auffallenden Regionen.
-Langsame Ausgasungen sind viel zu schwach, um optisch wirksam zu werden (200t/a →LACE)

Literatur

- Lunar Transient Phenomena/Catalog Extension. Winifred Sawtell Cameron, July 2006. National Space Science Data Center/World Data Center A For Rockets & Satellites 78-03
- Transient Lunar Phenomena: Regularity and Reality. Arlin P. S. Crotts, Columbia University, 2007
- Lunar Outgassing, Transient Phenomena, and the return to the Moon. I. Existing Data. Arlin P. S. Crotts; ApJ 687:692-705, Nov. 2008
- Lunar Outgassing, Transient Phenomena, and the return to the Moon. II. Predictions and Test for Outgassing/Regolith Interactions. Arlin P. S. Crotts, Columbia University, 2009
- Global spatial deconvolution of Lunar Prospector Th abundances. D. J. Lawrence et al. GeoRL 34 (2007)
- Sosigenes Lunar Irregular Mare Patch (IMP): Morphology, Topography, Subresolution, Roughness and Implications for Origin. L. Qiao et al. 47th Lunar and Planetary Science Conference (2016)
- Analysis of Lunar Impact Flashes observed during the 2015 Taurid Outburst. J.M.Madiedo et al, Lunar and Planetary Science XLVIII (2017)
- Thermal Properties of the Lunar Surface from Diviner Observations, (Paul Hayne et al, European Geosciences Union, General Assembly, Vienna, 12.April 2013)
- Regolith formation on young Lunar volcanic Features. C. M. Elder et al, 47th Lunar and Planetary Science Conference (2016)
- Evidence for basaltic volcanism on the Moon within the past 100 million years. Braden et al. S. E. Braden et al, Nature Geoscience 2552 (2014)
- Young lunar volcanic features: Thermophysical properties and formation. C.M. Elder et al. Icarus 290 (2017)