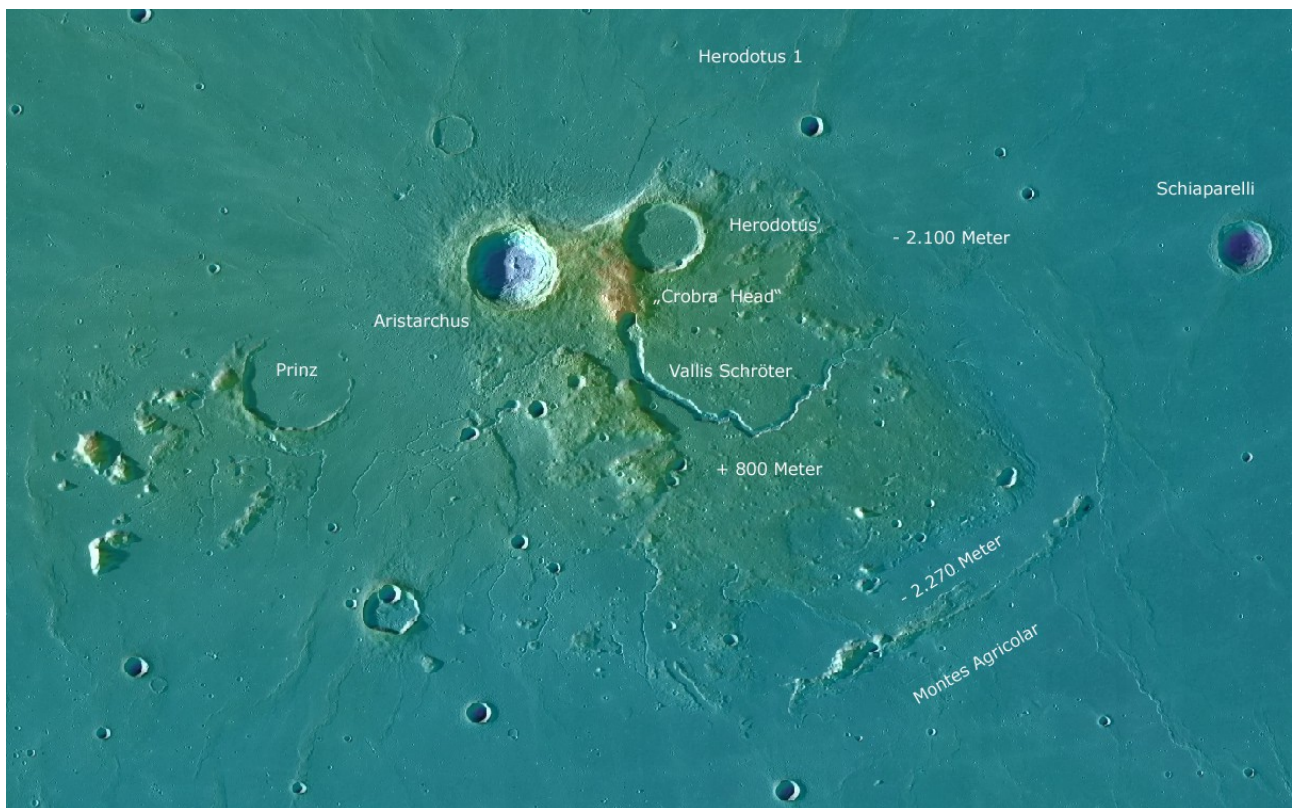


Das LTP-Projekt: Beobachten, wenn es Chancen gibt

Dann aber richtig ...

Kontakt:
Heinz Hilbrecht
Schweizerblick 12
D-79725 Laufenburg (Baden)
E-Mail: scriptorium@fuhrmann-hilbrecht.de
Telefon: (++)49) 07763 – 17 86



Die Aristarchus-Region liefert mehr als die Hälfte aller LTP-Beobachtungen. Es handelt sich um ein vulkanisches Plateau, dass sich rund 3000 m über die umliegenden Maare erhebt. Der "Kobrakopf" ist ein erloschener Vulkan. Aristarchus ist ein junger Krater, maximal eine Milliarde Jahre alt. (Quelle: NASA/LROC)

Grundlegende Gedanken

LTP sind vorübergehende Veränderungen auf dem Mond: "Lunar Transient Phenomena". Sie haben Zeitskalen von Minuten bis Stunden vom Entstehen bis Vergehen. Blitze mit einer Dauer einer Zehntel Sekunde gehen auf Meteoriteneinschläge auf dem Mond zurück. Diese Impakt-Blitze, die auf dem unbeleuchteten Teil des Mondes beobachtet werden, sind nicht Z dieses Projekts.

LTP sind reale Erscheinungen auf dem Mond. Das zeigen zahlreiche Beobachtungen, die nicht auf andere Effekte zurückgeführt werden können. Sie verlangen allerdings den kritischen Beobachter, denn täuschende Effekte gibt es zweifellos. Das stärkste Argument für die Realität der LTP ist ihre räumliche Verteilung auf dem Mond. Mehr als die Hälfte aller LTP wird in der Aristarchus-Region beobachtet (einschl. Vallis Schröteri, "Kobrakopf" und Herodotus). Daneben liefern nur noch wenige Gebiete auf dem Mond LTP.

Wir überwachen den Mond nicht permanent, sondern beobachten dann, wenn wir erhöhte Chancen auf ein LTP haben. Ziel des Projekts ist nicht allein der Nachweis von LTP. Wir wollen ihre Ursachen untersuchen und vielleicht verstehen.

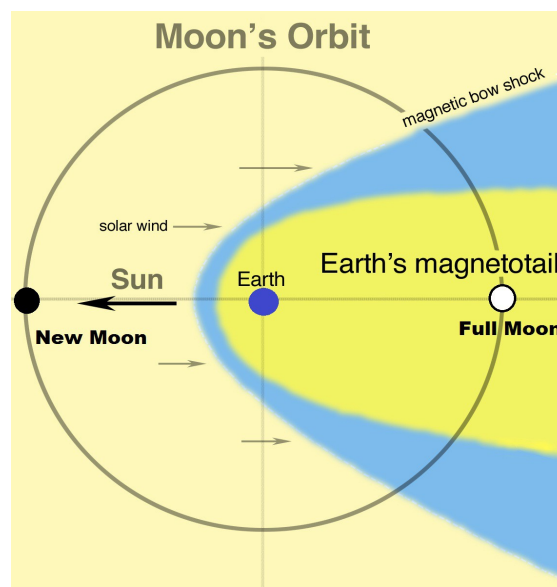


Abb. 1: In der Zeit um Vollmond befindet sich der Mond im Schweif des Erdmagnetfelds, den der Sonnenwind verursacht.

Zwei Drittel aller bisher beobachteten LTP treten auf, wenn der Mond den Schweif des Erdmagnetfelds passiert und der Sonnenwind einen geomagnetischen Sturm mit $K_p = 6$ und größer verursacht (Cameron, unpubl.). Die Passage des Mondes durch den Schweif des Erdmagnetfelds beginnt drei Tage vor Vollmond und endet drei Tage nach Vollmond.

Geomagnetische Stürme entstehen, wenn starker Sonnenwind das Erdmagnetfeld trifft. Diese geladenen Teilchenwolken entstehen durch koronale Massenauswürfe (Eruptionen in aktiven Gebieten der Sonne) und vor allem auch aus koronalen Löchern. In koronalen Löchern ist das solare Magnetfeld zum Weltraum hin offen. Hier kann Sonnenwind ungehindert in den Weltraum strömen. Dieser Sonnenwind kann auf der Erde geomagnetische Stürme erzeugen, auch in Zeiten geringer Sonnenaktivität. Der sichtbare Beweis sind Polarlichter in mittleren Breiten, z.B. über Norddeutschland.

Wir nutzen Frühwarnsysteme für Weltraumwetter und Polarlichter. Sonnenwind und geomagnetische Stürme können für Menschen Schaden anrichten und werden deshalb überwacht.

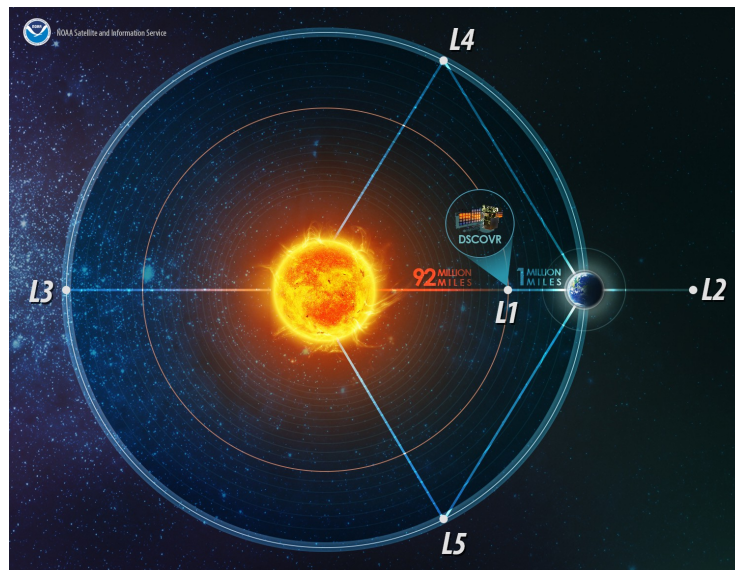


Abb. 2: Die Raumsonden ACE und DSCOVR stehen am Lagrange-Punkt L1 des Erde-Sonne-Systems und messen dort den Sonnenwind. An dieser permanenten Position rund 1,5 Millionen Kilometer vor der Erde, liefern diese Sonden deshalb eine Vorwarnzeit von ein bis drei Stunden, bevor der Sonnenwind die Erde erreicht.

Frühwarnsysteme für Sonnenwind und geomagnetische Stürme gibt es von der US-Wetter- und Ozeanbehörde (NOAA). Deren "Space Weather Prediction Center" (SWPC) verschickt täglich per E-Mail einen Zustandsbericht und eine Vorhersage für die nächsten zwei Tage. Bei starken Ereignissen auf der Sonne wird ein "prompt report" verschickt. Dieser Service ist kostenlos, jeder kann sich registrieren:

<https://www.swpc.noaa.gov/content/subscription-services>

Die Vorhersage für die Woche liefert Tamitha Skov auf Youtube:

<https://www.youtube.com/user/SpWxfx>

Polarlicht-Beobachter betreiben bewährte Strukturen, die wir für den Mond nutzen können. Im deutschsprachigen Raum werden Polarlichter vom AKM betreut, dort im Forum werden auch Vorwarnungen verbreitet:

<https://forum.meteoros.de/viewtopic.php?f=1&t=58456>

"Polarlicht-Vorhersage" ist eine Webseite von Andreas Möller. Die berechnete Polarlicht-Wahrscheinlichkeit beruht auf Daten von ACE und DSCOVR. Wenn hier "erhöht" angezeigt ist, sind die Daten auch relevant für LTP auf dem Mond:

<https://www.polarlicht-vorhersage.de/>

Die Mondphase erfahren wir ebenfalls mit der "Polarlicht-Vorhersage":

<https://www.polarlicht-vorhersage.de/>

Wir beobachten den beleuchteten Teil des Mondes. Nur im direkten Sonnenlicht haben wir Gelegenheit, mit verschiedenen Methoden die Natur der LTP zu untersuchen. Auf dem unbeleuchteten Teil des Mondes beobachten wir von der Erde reflektiertes Licht der Sonne

(sekundäres Mondlicht). Diesem Licht sind Merkmale der Erde aufgeprägt (Sauerstoff-Absorption, Chlorophyll-Reflektion, variable Albedo von Gebieten auf der Erde, Wetter), die Merkmale des Mondes zu stark überlagern.

Wer sich auch einer permanenten Überwachung des Mondes anschließen möchte, findet ausgezeichnete Strukturen und Zusammenarbeit im bestehenden Projekt der BAA und ALPO:
<http://users.aber.ac.uk/atc/alpo/ltp.htm>

Wie sehen LTP aus?

Aus zahlreichen Beobachtungen zeichnen sich wiederkehrende Grundformen ab.

1. Farberscheinungen in begrenzten Gebieten

Meist werden rote oder blaue Farben beobachtet, selten grüne. Die Größen der farbigen Areale liegen im Bereich von Teilen eines großen Kraters bis zur kompletten Kraterfläche.

2. Verdunkelungen oder Aufhellungen

Ein umgrenztes Gebiet ist heller oder dunkler als vorher und nachher. Naturgemäß sind solche Erscheinungen schwierig zu erkennen. Der Test auf nicht-lunare Ursachen (siehe unten) ist wichtig.

3. Verschleierungen

Ein umgrenztes Gebiet wirkt längere Zeit unscharf, im Vergleich zu Nachbargebieten. "Als ob dort eine Wolke drüber liegt" ist eine viel gebrauchte Beschreibung für das Phänomen.

4. Effekte bei Sternbedeckungen durch den Mond

Wenige Sekunden vor einer Bedeckung verfärben sich Sterne rot oder ihre Helligkeit nimmt kurz vor dem Mondrand ab.

Warum das LTP-Projekt?

Spekulationen und Hypothesen ...

Bisherige Projekte wollten LTP nachweisen, denn der Mond galt lange als geologisch tot und unveränderlich. Dafür gab und gibt es groß angelegte Überwachungsprogramme. Das heutige Projekt der ALPO/BAA vermutet auch, dass viele LTP-Meldungen ihre Ursache nicht auf dem Mond hatten, sondern auf Täuschungen zurückgehen, Effekte der Atmosphäre oder der Optik sind (Artefakte). Das ist berechtigt – deshalb gibt es die Checkliste für kritische Beobachter weiter unten in dieser Beobachtungsanleitung.

Trotzdem: Die Masse der Beobachtungen, auch der Parallelbeobachtungen zeigt, dass LTP reale Phänomene auf dem Mond sind. Laufende Projekte zielen darauf, reale LTP zu erfassen und zu beschreiben. Im Prinzip bleibt es bei der Strategie, die LTP-Beobachtungsprojekte seit Jahrzehnten leitet: Die bloße Feststellung, dass da etwas ist.

Wir wollen jetzt den nächsten Schritt tun und fragen: **Wie entstehen LTP ?**

Im Prinzip gibt es dazu zwei Hypothesen. Eine Hypothese ist eine begründete Idee, aus der Fragen für wissenschaftliche Experimente abgeleitet werden können. Wir wollen genau diese Experimente

machen und damit den Ursachen der LTP auf den Grund gehen.

Die Gas-Hypothese

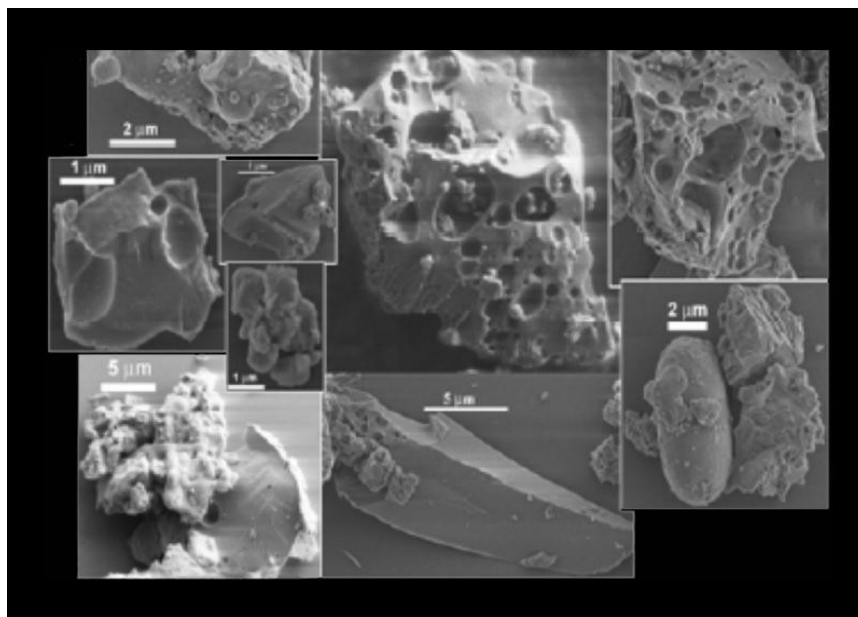
Wenn Astronomen etwas leuchten sehen, denken sie zuerst an Gas. Gas kann durch Strahlung zum Leuchten angeregt werden. Je nach der Anregungsenergie und der Art des Gases entstehen dadurch Farben. Unter geringem Druck erzeugen angeregte Gase Licht in bestimmten Spektrallinien. Bekannt ist die Balmer-Serie des Wasserstoff, vor allem die rote H-Alpha-Linie. Die dunklen Fraunhofer-Linien im Sonnenspektrum erlauben eine regelrechte chemische Analyse unseres Heimatsterns.

Gasaustritte auf dem Mond wurden bei den Apollo-Flügen und durch unbemannte Raumsonden nachgewiesen. Dabei wurde radioaktive Strahlung gemessen, die das radioaktive Gas Radon belegt. Die Aristarchus-Region (wo mindestens die Hälfte aller LTP beobachtet wurden) liefert räumlich besonders scharfe und starke Signale für Radon oder sein Zerfallsprodukt Polonium-210. Weniger lokalisierte, aber klar gemessene Radon-Signale gibt es am Nord-Rand des Mare Imbrium. Radon entsteht in der radioaktiven Zerfallskette von Uran zu Blei. Das Gas könnte im Mondinnern entstehen und an geeigneten Stellen an der Oberfläche austreten.

Allerdings reichen die gemessenen Mengen nicht, um LTP zu erklären. Gibt es also noch andere Gase, die auf dem Mond austreten? Neon wurde in der Umlaufbahn nachgewiesen, auch in sehr kleinen Mengen. Mit dem Sonnenwind erreichen Wasserstoff und Helium den Mond seit Milliarden Jahren, allerdings den gesamten Mond und nicht allein die wenigen LTP-Objekte.

Wir wissen also, dass es Gase und Gasaustritte auf dem Mond gibt. Allerdings können die gemessenen Mengen LTP bisher nicht erklären. Gibt es noch andere Gase, deren Menge Leuchterscheinungen zulässt? Wir wissen es nicht.

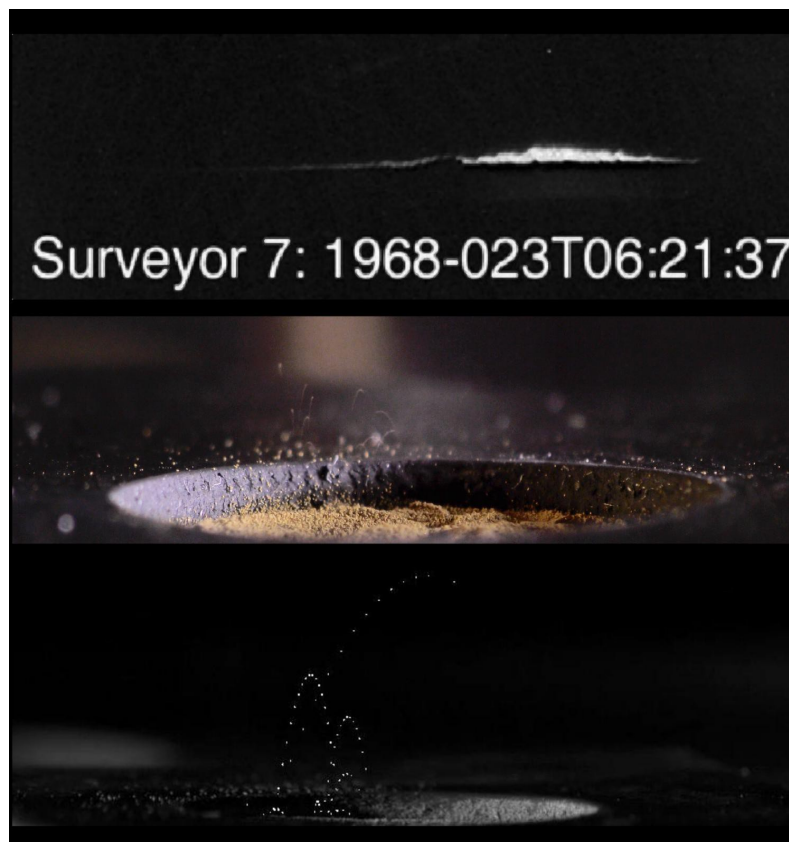
Die Staub-Hypothese



Der Staub auf der Mondoberfläche ist extrem feinkörnig. Häufig handelt es sich um Glas aus Impakt-Schmelzen, die durch Einschläge ausgeworfen und auf dem Mond verteilt wurden. (Quelle: NASA)

Die Mond-Oberfläche ist von großen Mengen Staub bedeckt. Er entsteht bei Einschlägen (Impakts) von Meteoriten seit Milliarden Jahren. Dieser Staub ist extrem feinkörnig: typische Durchmesser der Partikel sind ein bis fünf Mikrometer, mit einer sehr unregelmäßigen Form. Die chemische Zusammensetzung entspricht dem Mondgestein, die Staubpartikel sind allerdings zum größten Teil ein Glas. Es entsteht, wenn Gestein bei einem Impakt aufgeschmolzen wird, und fein geschreddert in den Auswurfmassen schon im Flug erstarrt. Es bleibt keine Zeit, um Kristalle zu bilden.

Gläser mit so geringem Partikeldurchmesser und großen Oberflächen im Verhältnis zum Gesamtvolumen haben ungewöhnliche Eigenschaften. Vor allem können Gläser elektrische Ladungen tragen. Schon ein ganz normaler Stab aus Glas, an Wolle oder Kunstfasern gerieben, trägt eine elektrische Ladung. In den Schulen ist der Versuch beliebt, wenn der Glasstab dann die Haare auf den Köpfen anzieht und sogar senkrecht in die Höhe stehen lässt.



Mond-Staub kann eine elektrische Ladung tragen und dann in einem elektrischen Feld so beschleunigt werden, dass die Partikel fliegen. Das obere Bild zeigt Moonglow, aufgenommen von Suveyor 7, die unteren Bilder zeigen Laborexperimente mit Staub. (Quelle: NASA)

Elektrische Ladungen entstehen auf dem Mond durch die Strahlung der Sonne und durch den Sonnenwind. Ultraviolettes Licht regt Elektronen an, die ein Atom sogar verlassen und eine positive Ladung des Atoms zurücklassen können. Auf der Tagseite des Mondes entsteht so eine (gemessene) positive Ladung von mehreren zehner Volt. Die Elektronen sammeln sich auf der Nachtseite des Mondes, wo Ladungen von einigen tausend Volt entstehen.

Der Terminator des Mondes, das Gebiet zwischen Tag- und Nachtseite, markiert also auch eine Grenze zwischen positiv und negativ geladenen elektrischen Feldern. Es ist nachgewiesen, dass der Mond-Staub in solchen Feldern beschleunigt und über die Mond-Oberfläche fliegen kann.

Vielleicht erklärt der elektrisch mobilisierte Staub den sogenannten "Moonglow" oder "Horizon Glow". Das ist ein räumlich begrenztes Leuchten am lokalen Horizont, in sehr geringer Höhe. Messungen ergaben, dass die leuchtende Schicht nur rund einen Meter über die Mondoberfläche reicht. Die bekannteste Aufnahme von Moonglow stammt von Surveyor 7, einer Landesonde, die 1969 rund 40 km nördlich von Tycho aufsetzte.

Bei den Aufnahmen der Landesonden muss der geringe Horizontabstand vom Beobachter im Auge behalten werden. Erde und Mond haben annähernd eine Kugelform, also eine gekrümmte Oberfläche. Auf der Erde beträgt der Horizontabstand für einen Menschen mit Blick aufs Meer nur rund 5 km. Weiter entfernte Dinge beginnen hinter dem Horizont zu verschwinden. Auf dem Mond ist die Sichtweite nur rund ein bis zwei Kilometer, für einen Surveyor-Lander. Der Moonglow befand sich also in unmittelbarer Nähe, sonst wäre er hinter dem Horizont verschwunden. Direkte Messungen der Staubdichte im Orbit der LADEE-Raumsonde (25 bis 80 km über dem Mond) erbrachten weit zu geringe Mengen Staub, um Moonglow zu erklären.

Spekulieren wir einmal ...

Zur Gas-Hypothese: LTP sind nicht zufällig verteilt, sie konzentrieren sich auf dem vulkanischen Aristarchus-Plateau, in jungen großen Kratern und an Insel-Bergen am Rand großer Maare. Die Aristarchus-Region erfüllt alle Bedingungen.

Junge Großkrater haben evtl. durch Zertrümmerung des Gesteins Wege geschaffen, damit Gase aus dem Mondinnern austreten können. Im Bereich alter Krater sind Klüfte und Risse vielleicht verheilt, denn auch Gestein fließt und "verheilt" solche Risse, wenn es nur genügend Zeit erhält.

An den Rändern der Maare sehen wir in den kleinen isolierten Bergspitzen (z.B. Mons Pico und Mons Piton) die höchsten Erhebungen eines Ringgebirges. Die größten Maare-Einschläge haben Krater bis zu 60 km Tiefe gerissen, die sehr rasch danach mit Lava aufgefüllt wurden. So entstanden die großen Maare-Tiefenebenen, die typisch für die erd zugewandte Seite des Mondes sind. Das Aitken-Becken mit gleich mehreren Ringgebirgen am Südpol des Mondes zeigt, wie ein Maar ohne Lava-Überflutung aussehen würde.

Die mächtige Lava-Decke in Maaren dürfte analog zu irdischen Lavadecken weitgehend dicht zum Mondinnern sein. Finden Gase deshalb Wegsamkeiten, gar eine Möglichkeit sich zu konzentrieren, wo höchste Spitzen des Ringgebirges die Lava-Decke durchspießen? Bei irdischen Erdgas-Lagerstätten ist diese Möglichkeit bekannt.

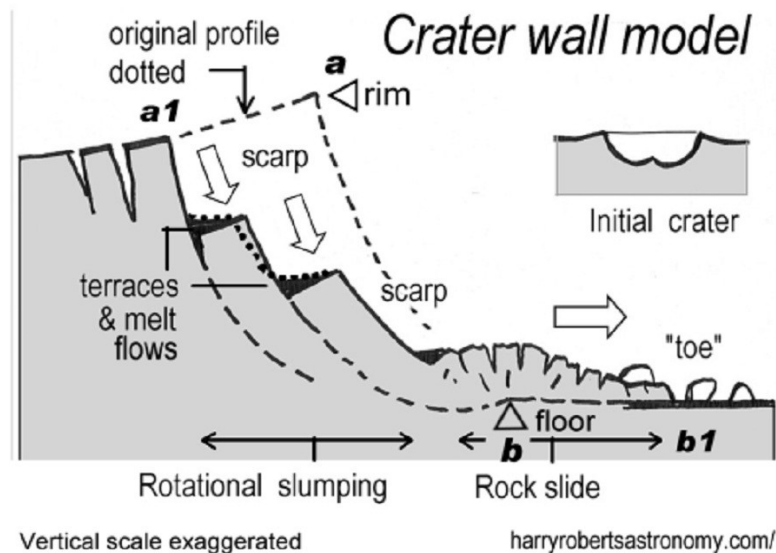
Zur Staub-Hypothese: Was unterscheidet junge Großkrater mit LTP von den alten Kratern ohne LTP, wenn wir dabei an Staub denken? Junge Krater sind nicht ganz so schlimm verstaubt, dort liegt frisches Gestein an der Oberfläche.

Ständige Einschläge auf dem Mond erzeugen immer neuen Staub, der ausgeworfen sich über die Mondoberfläche legt. Je älter eine Struktur auf dem Mond ist, desto mehr Impakts hat es seitdem gegeben und desto mehr Staub konnte sich deshalb über diese Strukturen legen.

Die jungen Großkrater Copernicus, Tycho oder Aristarchus sind in der Copernicanischen Epoche des Mondes entstanden, also in der Zeit seit einer Milliarde Jahren bis heute. Die Zeit des „großen Bombardements“ war vorbei, die Staub-Produktion ist im heute laufenden Mond-Zeitalter gering.

Geologische (selenologische) Untersuchungen der jungen Großkrater zeigen, dass dort Impakt-Glas

aus der Impaktschmelze und andere Auswurfmassen in großen Mengen frisch an der Oberfläche liegen. Sie sind der Einstrahlung von der Sonne fast schutzlos ausgesetzt. Als „elektrische Beschleunigungsstrecke“ für Staub kann ihre unmittelbare Nachbarschaft und große Fläche deshalb eine wichtige Rolle spielen.



Impakt-Schmelze (im Bild "melt", Schmelze) wurde auf den Terrassen und in der Umgebung von Kratern abgelagert. Ihre Oberfläche ist durch sehr schnelle Abkühlung zu Glas erstarrt, ähnlich wie vulkanische Gläser (Obsidian) auf der Erde.

Die großen Krater selbst könnten sogar Staubfallen bilden, in denen Staub immer wieder lokal umgelagert wird. Was wir heute sehen, vor allem die Terrassen am Rand dieser Krater, ist nicht der Impakt-Krater selbst. Der war wesentlich kleiner, hatte weniger als die Hälfte des heutigen Durchmessers. An den steilen Flanken des primären Kraters kam es unmittelbar nach dem Impakt zu gewaltigen Rutschungen, an denen riesige Schollen ein bis drei Kilometer in die Tiefe glitten. Ihre Oberflächen bilden heute die Terrassen, die für solche Krater typisch sind. Die Gleitbahnen dieser Schollen bilden heute steile Hänge.

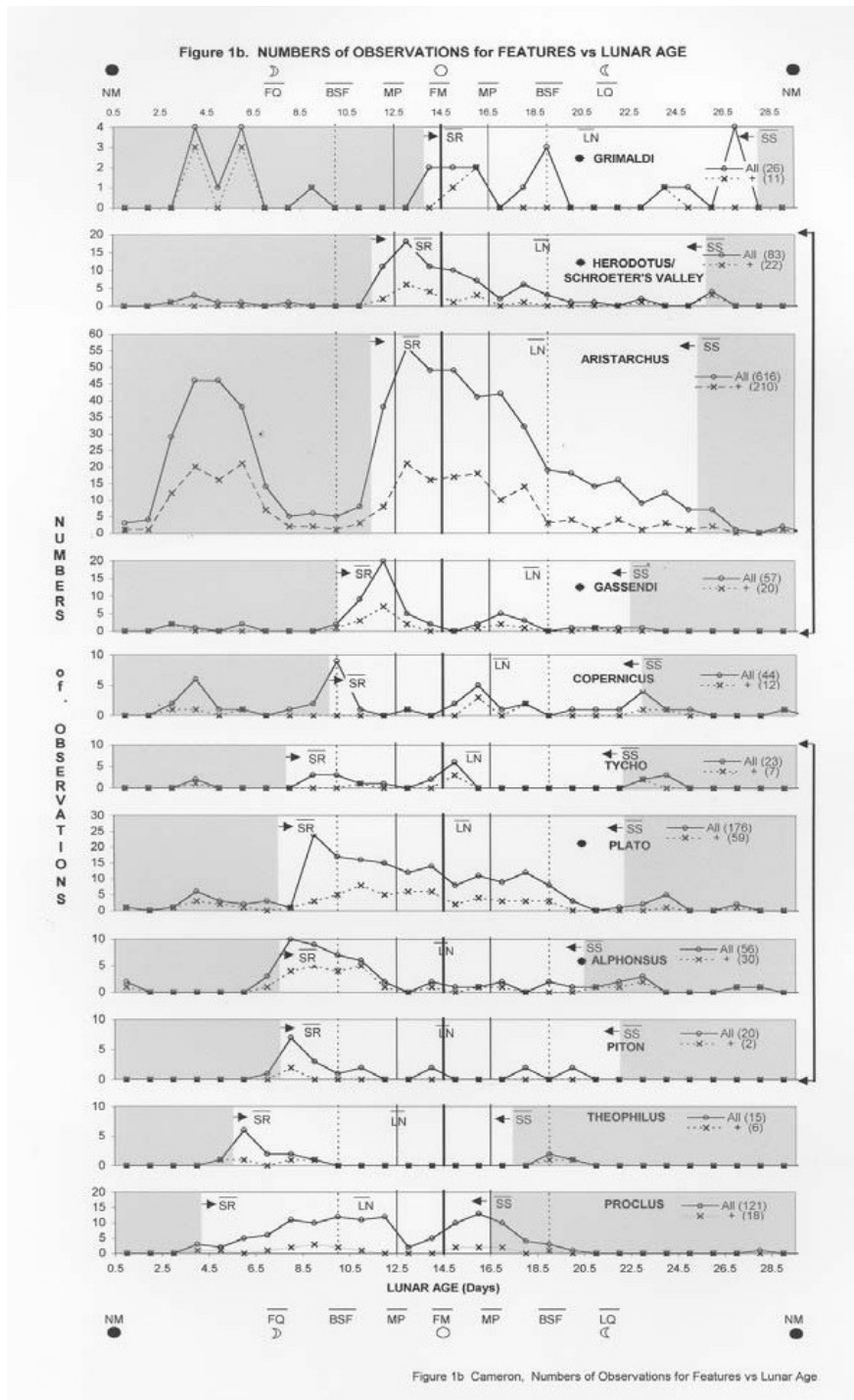
Bilder von Raumsonden (vor allem LROC) zeigen auf den Terrassen Auswurfmaterial aus dem primären Krater, dass auf den Schollen in die Tiefe gerutscht ist. Während der Bildung der Terrassen gab es noch große Mengen flüssige Impaktschmelze im Auswurfmaterial, die teilweise von den Terrassen aus noch weiter in die Tiefe geflossen ist.

Auf den Terrassen liegt heute, fleckenhaft verteilt, zu Glas erstarrte Impaktschmelze neben zertrümmertem Gestein aus den Auswurfmassen. Die Steilhänge zwischen den Terrassen sind dabei 500 bis 1000 m hoch, bei einer typischen Tiefe dieser Krater von rund 3000 m. Das Impakt-Glas ist auf den Terrassen der Sonneneinstrahlung ausgesetzt, die ein elektrisches Feld in Gang setzen kann.

Gehen wir davon aus, das elektrisch beschleunigter Mondstaub in Richtung der Spannungsunterschiede bewegt wird, dürfte sich der Staub nahe an der lokalen Mond-Oberfläche bewegen. Auch die Messungen von LADEE sprechen dafür. Staub könnte also durchaus von außen in den Krater hinein gelangen. Aber kann dieser Staub einen jungen Großkrater wieder verlassen, wenn er dabei große Höhenunterschiede überwinden muss? Wir wissen es nicht. Bilden solche Krater Staubfallen, in denen Staub lokal und in hoher Dichte in lokalen elektrischen Feldern immer wieder umgelagert wird? Wir wissen es nicht.

Wann sollte ich beobachten?

Die besten Chancen auf ein LTP scheinen zu bestehen, wenn sich der Mond im magnetischen Schweif der Erde befindet (drei Tage vor bis drei Tage nach Vollmond) und es gleichzeitig einen geomagnetischen Sturm gibt (Planetarer Index Kp 6 und größer). Das sind unsere "Kernbedingungen", damit wir den Mond auf LTP absuchen. In den kommenden Jahren dürften diese Bedingungen ein- bis zweimal pro Jahr erfüllt sein. Es ist also wichtig, die seltenen Gelegenheiten auch zu nutzen.



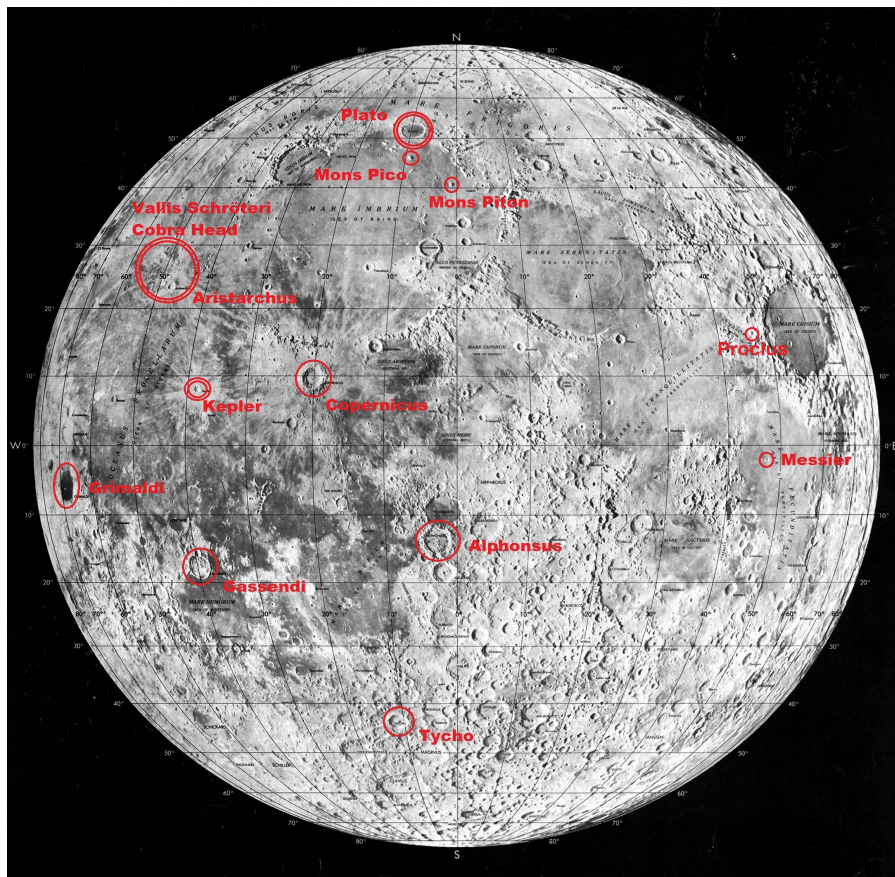
In der Zeit um Vollmond und nach dem lokalen Sonnenaufgang treten LTP gehäuft auf. (Quelle: Winfried S. Cameron, unpubl.)

In der Zeit um Vollmond sind Amateurastronomen am Nachthimmel etwas eingeschränkt, weil der Mond vieles überstrahlt. Es macht also Sinn, diese Zeit dem Mond zu widmen, auch wenn der Sonnenwind gering ist.

Im Zeitraum drei bis vier Tage, nachdem der Terminator ein LTP-verdächtiges Objekt überquert hat, gibt es eine ungewöhnliche Häufung von LTP. Danach nimmt die Wahrscheinlichkeit für LTP wieder ab.

Im unbeleuchteten Teil des Mondes produziert im Grunde nur Aristarchus LTP-Beobachtungen, für gewöhnlich Aufhellungen. Es ist unklar, ob diese LTP ihre Ursachen wirklich auf dem Mond haben. Jedenfalls besitzt Aristarchus eine Albedo, die den Krater auch in der schwachen Beleuchtung durch von der Erde reflektiertes Licht sichtbar macht. Die Albedo der Erde schwankt aber um rund 12% für den Mond, je nach dem welche Teile der Erde das reflektierte Licht für den Mond liefern (Anteil der Kontinente und der Ozeane, jahreszeitlich wechselnde Bewölkung und Pflanzenwuchs über verschiedenen Gebieten). Die Erde dreht sich und kann deshalb innerhalb von Stunden mehr oder weniger Licht für das sekundäre Mondlicht liefern. Veränderliche Helligkeiten von Aristarchus im sekundären Mondlicht könnten ihre Ursache also durchaus auf der Erde haben.

Wo sollte ich beobachten?



LTP werden immer wieder in den rot markierten Gebieten beobachtet. Der weit überwiegende Teil der Beobachtungen stammt aus den doppelt eingekreisten Gebieten und mehr als die Hälfte aller Beobachtungen aus der Aristarchus-Region.

Wie sollte ich beobachten?

LTP sind selten. Wenn es eines gibt, ist es der falsche Zeitpunkt neue Methoden zu probieren, oder Dinge zu tun, die kaum geübt sind.

Deshalb gilt: **Setze ein, was Du gut kannst.**

Beobachte ich ein reales LTP ?

Farben auf dem Mond

Es handelt sich **nicht** um ein LTP, wenn ...

... auch andere Gebiete auf dem Mond Farbeffekte zeigen.

... der Farbeffekt senkrecht zum Horizont steht ("Regenbogeneffekt" in der Erdatmosphäre).

... der Farbeffekt von hell beleuchteten Kanten auf dem Mond ausgeht, die wie ein Spalt in der Spektroskopie wirken können. Beobachten, ob sich der Farbeffekt verändert.

... Farbfehler der Optik die Ursache sind. Bewege das Objekt im Gesichtsfeld des Teleskops, drehe das Okular. Wenn sich die Farben dabei ändern, ist es kein LTP.

... Beobachter sich täuschen. Benutze Farbfilter (rot, blau, grün): Wenn die Farberscheinung damit die Helligkeit ändert, ist die Farbe sehr wahrscheinlich real.

... wenn Farben zum Objekt gehören. Der Krater Aristarchus wirkt immer bläulich, der Boden des Kraters Bullialdus ist orange-gelblich gefärbt.

Ungewöhnliche Helligkeit oder Dunkelheit von Objekten

Es handelt sich **nicht** um ein LTP, wenn ...

... auch andere Objekte ähnlicher Größe mit ähnlichem Abstand zum Terminator, ähnlichen Beleuchtungsbedingungen ungewöhnlich hell erscheinen. Besonders gutes Seeing lässt Objekte auf dem Mond oft heller erscheinen, als gewohnt – schlechteres Seeing kann Helligkeitsschwankungen vortäuschen.

... die Optik die Ursache ist, zum Beispiel Vignettierungen im Okular. Das Objekt im Gesichtsfeld bewegen und auf Veränderungen prüfen. Falls Veränderungen entstehen, ist es kein LTP.

... Feinstruktur in irdischen Wolken Helligkeitsschwankungen verursacht. Üblicherweise bewegen sich solche Strukturen viel zu schnell, um auf dem Mond real zu sein. Beobachte und warte ein paar Minuten ab.

... wenn kleine Berge in Maren im lokalen Sonnenaufgang helle Flecken vortäuschen. Mache Dich vor allem mit der Lage von Mons Piton und Mons Pico vertraut. Am Nordwest-Rand des Mare Crisium gibt es Rillen, Krater und Hügel, die ebenfalls als "helle Flecken" ungewöhnlich aussehen können.

Bewegungen/Veränderungen

Der Mond ist weit entfernt. Selbst wenn sich dort etwas mit der Fluchtgeschwindigkeit des Mondes bewegt (2,38 km/sec) würde es rund eine halbe Minute brauchen, um eine Entfernung vom Durchmesser eines großen Kraters zurückzulegen (rund 100 km). Was sich schneller bewegt, ist sicher kein LTP. Reale Bewegungen oder Veränderungen auf dem Mond müssen im Teleskop langsam erscheinen.

Blitze auf dem unbeleuchteten Teil des Mondes

Einschläge von Meteoriten (Impakts) auf dem Mond sind nicht selten. Sie erzeugen typisch "Blitze"

mit einer Dauer von einer Zehntel Sekunde, mit einer Helligkeit von 9 bis 11 mag. Wer seine Chancen für eine Beobachtung steigern möchte, beobachtet den unbeleuchteten Teil des Mondes (im sekundären Mondlicht) in Zeiten starker Meteorströme (z.B. Perseiden, Geminiden). Impakt-Blitze sollten nicht mehr LTP genannt werden. Ihre Ursache ist bekannt, sie sind zufällig über den Mond verteilt. Impakt-Blitze sind nicht Ziel dieses LTP-Projekts. Blitze auf dem Mond können durch kosmische Strahlung vorgetäuscht werden, die das Auge trifft. Diese Blitze sind hell und scharf begrenzt. Impakt Blitze auf dem Mond wirken etwas unscharf, weil auch sie dem Seeing unterliegen und aus dem ausgeworfenen Impakt-Material stammen.

Blitze auf dem beleuchteten Teil des Mondes

Aufgrund der großen Helligkeit des Mondes, müssen solche Blitze auf ein spektakuläres Ereignis zurückgehen, um sich dort abzuheben. Solche Beobachtungen sind auch über Jahrhunderte hinweg extrem selten. Die denkbare Ursache sind große Impakts.

Literatur

Cameron, W. S. (1978): Lunar Transient Phenomena Catalog, World Space Science Data Center, 78-03 (NSSDC, NASA-TM-79399) <http://users.aber.ac.uk/atc/tlp/cameron1978.pdf>

Cameron, W. S. (2006): Lunar Transient Phenomena Catalog Extension. National Space Science Data Center World Data Center A For Rockets & Satellites, 78-03, NSSDC/WDC-A-R&S 78-03 <http://users.aber.ac.uk/atc/tlp/cameron2006.pdf>

Cameron, W. S. (unpubl.): Analyses of Lunar Transient Phenomena (LTP) Observations from 557–1994 A.D. <http://users.aber.ac.uk/atc/tlp/cameron.pdf>

Webseite von Arlin Crotts mit weiterführender Literatur: <http://user.astro.columbia.edu/~arlin/TLP/>

Webseite von BAA und ALPO für die permanente Überwachung des Mondes auf LTP: <http://users.aber.ac.uk/atc/alpo/ltp.htm>

Messung der Polarisation

Die mögliche Polarisation des Lichts von LTP ist mit einem üblichen Polarisationsfilter möglich, wie er normalerweise zur stufenlosen Lichtdämpfung benutzt wird. Um den Polarisationsgrad und die Richtung der Polarisation zu bestimmen, sind mindestens drei Aufnahmen mit 0 Grad, 60 Grad und 120 Grad Stellungen des Polarisationsfilters notwendig.

Die den Chip erreichende Intensität des Lichts ist dann:

$$I_{a,b,c} = (I_u / 2) + I_p \cos^2 (a - Q)$$

(a = 0, 60, 120 Grad)

I_p ist die Intensität der polarisierten Strahlungskomponente, I_u die Intensität der unpolarisierten Strahlungskomponente. Q ist die Polarisationsrichtung, der Winkel zwischen der Polarisationsebene und der 0-Grad-Ebene des Filters.

Aus den drei Gleichungen folgt durch Differenzbildung und unter Verwendung der Additionstheoreme:

$$2I_a - I_b - I_c = 3/2 I_p \cos 2Q$$

und

$$Q = 1/2 \operatorname{arccot} (2I_a - I_b - I_c) / (\sqrt{3} (I_b - I_c))$$

Der Polarisationsgrad ist definiert als:

$$P = I_p / (I_p + I_u)$$

Damit folgt:

$$3/2 (I_u + I_p) = I_a + I_b + I_c$$

$$I_p = 2/3 (2I_a - I_b - I_c) / \cos 2Q$$

Mit:

$$I_b - I_c = \sqrt{3}/2 I_p \sin 2Q$$

erhalten wir:

$$I_p = 4/3 ((I_a + I_b + I_c)^2 - 3 (I_a I_b + I_a I_c + I_b I_c))^{1/2}$$

Der Polarisationsgrad errechnet sich also mit:

$$P = 2 / (I_a + I_b + I_c) (I_a (I_a - I_b) + I_b (I_b - I_c) + I_c (I_c - I_a))^{1/2}$$

Die Polarisationsrichtung:

$$Q = 1/2 \operatorname{arccot} (2I_a - I_b - I_c) / (\sqrt{3} (I_b - I_c))$$

Die Messung am Teleskop

Das Polarisationsfilter muss vor die Kamera gesetzt werden.

Die Kamera muss am Okularauszug drehbar angebracht, oder wie ein Okular drehbar eingesteckt sein.

Dabei Zenitprisma/Zenitspiegel **nicht** benutzen, denn Reflektion erzeugt Polarisation. Die Messung wäre dann verfälscht und unbrauchbar. Wir messen im geraden Strahlengang.

Es werden drei Fotos (Fotoserien für "Lucky Imaging") aufgenommen: Zuerst bei einer Stellung Null Grad, dann die Kamera um 60 Grad im Okularauszug gedreht, dann um weitere 60 Grad gedreht (siehe Skala am Ende dieses Abschnitts).

Die Helligkeit eines LTP in den Aufnahmen mit den drei verschiedenen Filterstellungen können wir

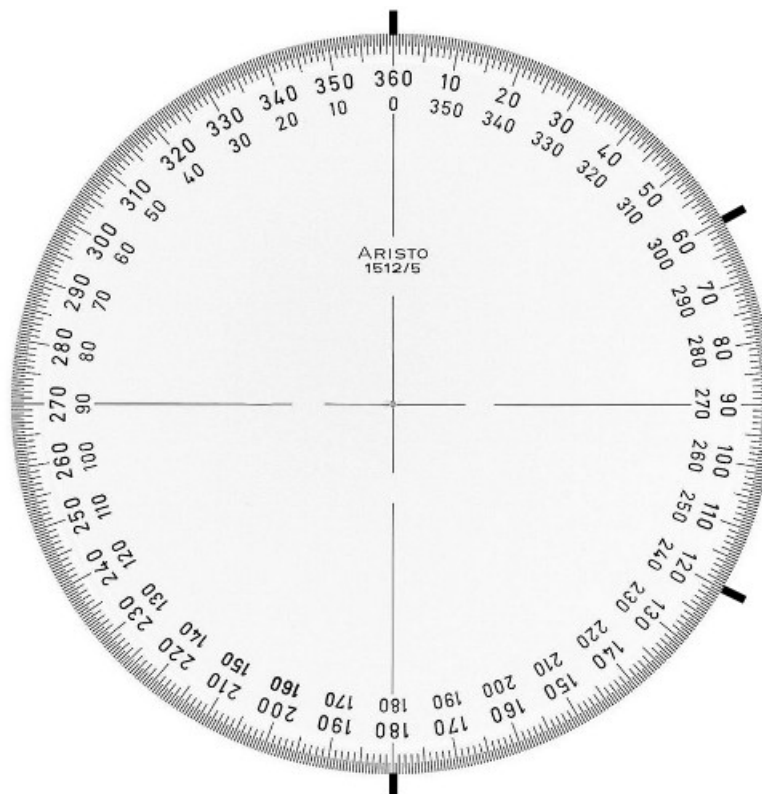
in Digitalfotos mit einer Bildanalyse-Software messen.

Gratis zum Download und für alle Plattformen gibt es

ImageJ : <https://imagej.nih.gov/ij/download.html>

AstroImageJ : <https://www.astro.louisville.edu/software/astroimagej/>

Um die Polarisation des Lichts von LTP zu messen, wird eine Skala für das schrittweise und genaue Drehen der Kamera in 60 Grad-Schritten gebraucht.



Diese Vorlage auf dicke Pappe oder anderes Material kleben und ausschneiden. Die Dicke des Materials soll reichen, um ein Wackeln der Skala zu verhindern. Um Verdrehen beim Drehen der Kamera zu verhindern, kann sie mit etwas Klebeband fixiert werden.

Zum Ablesen muss die Skala mit der Null-Grad-Marke auf einen Fixpunkt am Okularauszug ausgerichtet sein, der sich **nicht** mit der Kamera mitdreht. Geeignet ist zum Beispiel eine Feststellschraube für Okulare oder eine provisorische Markierung mit Filzstift oder Bleistift auf dem Okularauszug. Die genaue Lage dieser Markierung ist nicht wichtig. Die Messung hängt allein von der Drehung der Kamera in 60-Grad-Schritten ab.

Spektroskopische Versuche zu LTP

Von Richard Walker, Rifferswil, richiwalker@bluewin.ch

1. Anlass

Der Autor hat an der Sternwarte Bülach (CH), zusammen mit Heinz Hilbrecht und Stefan Meister, während der Vollmondphase vom 13. Oktober 2019 eine spektroskopische "Trockenübung" durchgeführt. Als Hauptzweck sollten dabei praktische Erfahrungen bei der Lokalisierung und der nachfolgenden spektralen Aufzeichnung und Auswertung eines LTP Ereignisses gesammelt werden, damit später im Ereignisfall keine wertvolle Zeit verloren geht. Bei unseren Tests stand der spektroskopische Nachweis möglicher Gasaustritte im Fokus, welche hauptsächlich um die Vollmondphasen durch stärkeren Sonnenwind zu Emissionen angeregt werden könnten.

2. Verwendete Geräte

Verwendet wurde der DADOS Spektrograf von Bader Planetarium mit dem Reflexionsgitter 200 L mm^{-1} am Ritchey Chrétien-Astrografen (Pro RC 360) mit 2880 mm-Brennweite. Die spektrale Auflösung beträgt so ungefähr $R 900$. Zwischen Teleskop und Spektrograf war ein Klappspiegel (Flip Mirror) mit einem 25 mm Okular geschaltet.

3. Lokalisierung und Positionierung eines LTP Ereignisses

Als Testobjekte wurden zwei der potentiellen "LTP Hotspots", das *Archistarchus Plateau* und der *Krater Kopernikus*, angepeilt. Trotz der typischerweise extrem hellen aber kontrastarmen Vollmondphase konnten die beiden markanten Objekte auf Anhieb gefunden und zuerst im Okular des Klappspiegels zentriert werden.

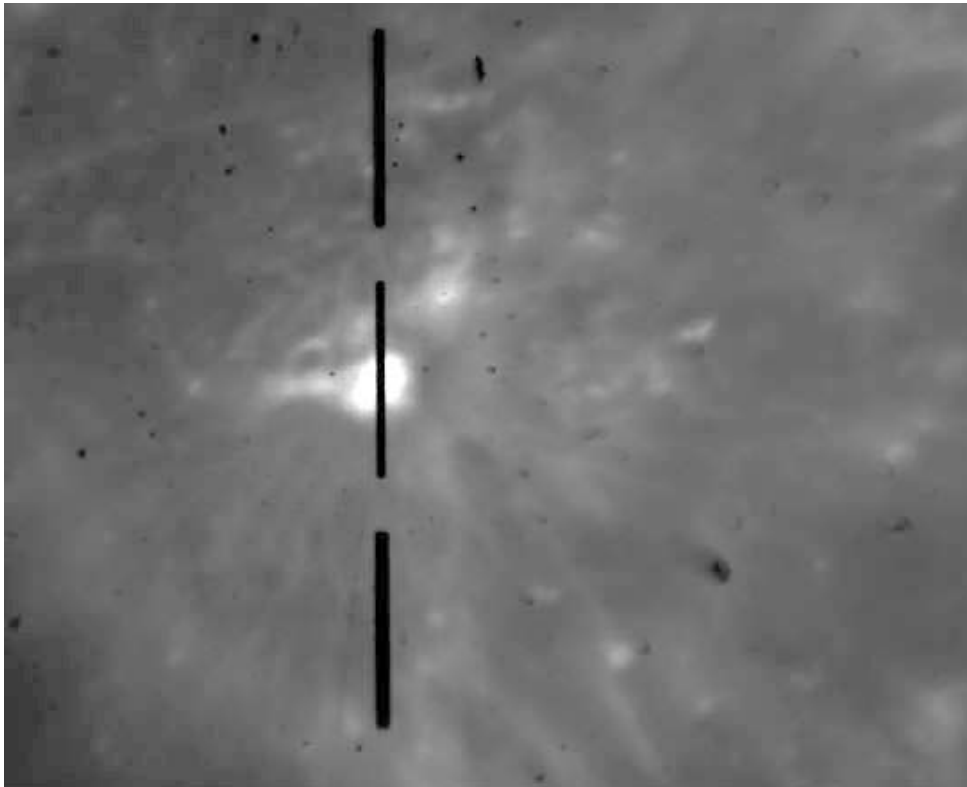


Abb. 1: Spaltposition auf dem Aristarchus Plateau

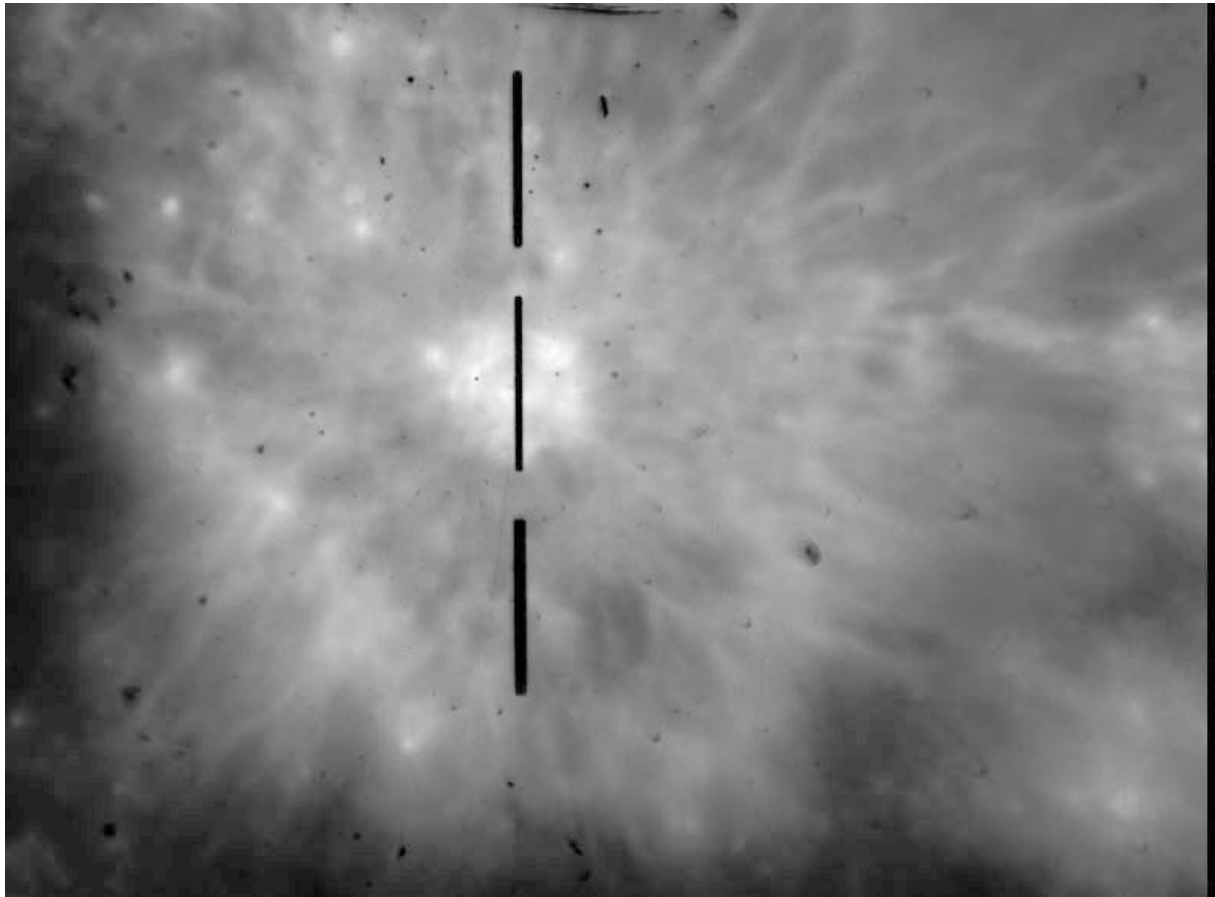


Abb. 2: Spaltposition über den Krater Copernicus

Erkenntnis: Wenn ein LTP Ereignis im Okular des Klappspiegels sichtbar wird, könnte es auch auf dem Spektrografenspalt positioniert werden, selbst wenn hier die Bildqualität, infolge des nicht ganz planen DADOS Spaltspiegels, reduziert ist.

Abb. 1 zeigt die Position des mittleren $25\mu\text{m}$ Spaltes auf dem Aristarchus Krater mit seiner auffällig hohen Albedo. Abb. 2 zeigt dieselbe Spaltkonfiguration auf dem Copernicus Krater.

4. Das Reflexionsspektrum der Mondoberfläche

Erwartungsgemäss zeigt bei dieser niedrigen spektralen Auflösung die Reflexion der "neutralen" Mondoberfläche nur das solare Absorptionsspektrum, mit den typischen, meist metallischen Absorptionen unseres G2V Hauptreihensterns. In der vertikalen Richtung ist in Abb. 3 zudem das Helligkeitsprofil entlang des mittleren $25\mu\text{m}$ Spaltes erkennbar welcher durch den zentralen Bereich des Kraters Aristarchus verläuft (Spaltposition gem. Abb. 1). Dieser Helligkeitsverlauf wird durch die unterschiedliche Albedo aber auch durch die Topografie der Mondoberfläche verursacht.

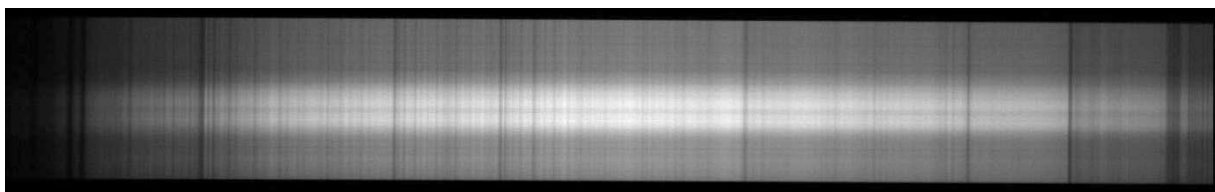


Abb. 3: Spektrum der Aristarchus-Region. Spaltposition in Abb. 1.

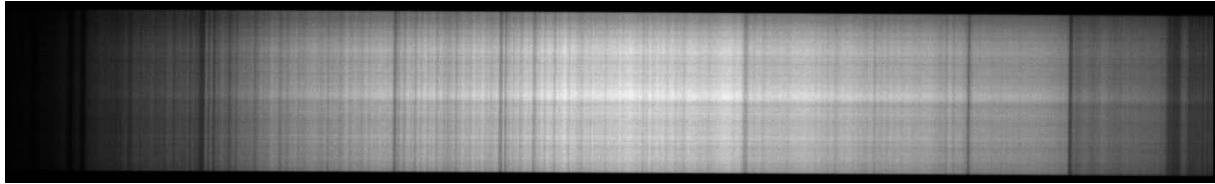


Abb. 4: Spektrum für den Krater Copernicus (Spaltposition in Abb. 2)

5. Spektrale Dokumentation eines LTP Ereignisses

Dieser Testlauf ergab vorläufig folgende Punkte, welche bei einer zukünftigen, spektroskopischen Aufzeichnung eines LTP Ereignisses beachtet werden müssen:

Spaltbreite/Auflösung

Weil hier genügend Licht vorhanden ist kann der dünnste Spalt gewählt werden, welcher auch die höchste spektrale Auflösung generiert (DADOS mittlerer 25 μ m Spalt). Prioritär soll ein niedrig aufgelöstes *Breitbandspektrum* von ca. 3900 – 7000 Å aufgezeichnet werden (DADOS Gitter 200 L mm⁻¹). Falls es die Dauer des LTP zulässt, können interessante Teilbereiche zusätzlich noch mit höher auflösenden Gittern spektroskopiert werden.

Referenzspektrum

Neben dem LTP Spektrum soll in unmittelbarer Nähe des Ereignisses ein zusätzliches Referenzspektrum der ungestörten Mondoberfläche gewonnen werden. Falls möglich soll der Spalt so positioniert werden, dass er neben dem LTP auch über nicht betroffene "neutrale" Oberfläche möglichst gleicher Albedo verläuft. So kann mit einer Aufnahme gleichzeitig das LTP und das Referenzspektrum aufgezeichnet werden.

Dokumentation der Spaltposition

Die Spaltposition, mit welcher das Spektrum aufgezeichnet wurde, muss mit einem Screenshot der Spaltkamera dokumentiert werden (analog Abb. 1 und 2). Falls es die limitierte Bildqualität zulässt, wäre es optimal wenn darauf auch das LTP Ereignis erkennbar wäre.

Eichung der Wellenlängenachse

Da es hier ausschliesslich um die Identifikation der Spektrallinien, basierend auf der Ruhewellenlänge λ_0 , und nicht um die Radialgeschwindigkeit geht, soll das Spektrum aufgrund bekannter Linien im Sonnenspektrum und nicht mit der Kalibrierlampe geeicht werden.

Eichung der Intensitätsachse

Die Darstellung der effektiven solaren Strahlungscharakteristik in Funktion der Wellenlänge ist hier uninteressant. Deshalb soll keine radiometrische Korrektur mit Standardstern durchgeführt, sondern lediglich der Verlauf des aufgezeichneten "Pseudokontinuums" entfernt werden. Das Niveau I_c dieses horizontalen Profils, wird dann abschliessend noch auf 1 normiert.

Die so erreichte Vereinheitlichung der Strahlungsintensität über die gesamte

Wellenlängenachse ermöglicht einen einfachen Vergleich der Linienintensitäten "I" relativ zum Kontinuum "Ic" ($P = I/I_c$). Es erleichtert aber auch die Vermessung von eventuell auftretenden, diskreten Emissionslinien sowie von Einbrüchen im Kontinuumsverlauf (5.3).

Astrofotografische Dokumentation

Falls es die Dauer des LTP erlaubt, soll das Ereignis anschliessend zusätzlich noch ohne Spektrograf direkt fotografiert werden. Dies hat allerdings klar zweite Priorität hinter der Spektrographie.

5. Zu erwartende spektrale Signaturen

Bisher aufgezeichnete Spektren

Diverse Recherchen ergaben, dass erstaunlicherweise A. Kozyrev 1958 im Krater Alphonsus das bisher einzige bekannte Spektrum eines solchen Ereignisses aufgezeichnet und publiziert hatte [3]. Leider ist das im Bericht reproduzierte "Spektralband" nur im kurzwelligen Bereich um ca. 4000Å lesbar und zeigt hier die typischen Absorptionslinien des Sonnenlichts. Die von Kosyrev beschriebenen und hier ausschliesslich interessierenden Emissionen der durch Kohlenstoff erzeugten Swanbänder [8], erscheinen im langwelligen Bereich leider ausgeschwärzt und bleiben daher unsichtbar. Fazit: Hier liegt ein Forschungsfeld vor uns das bisher offensichtlich vernachlässigt wurde und längst bearbeitet werden sollte.

1. Emissionslinien

Das Paper von Kosyrev zeigt, dass bei lunaren Gasaustritten tatsächlich Emissionslinien auftreten können. Dies erleichtert wesentlich die Separierung vom solaren Absorptionsspektrum, weil Emissionen vom Kontinuum nach oben abgehen. Zusätzlich könnte hier versucht werden, das Referenzspektrum, mit den rein solaren Absorptionen, vom LTP Profil zu subtrahieren. Neben den beschriebenen, breiten Swanbändern könnten auch diskrete Emissionen von anderen Gasen wie Radon, Helium etc. auftreten.

2. Einbrüche im Kontinuumsverlauf

Ähnlich wie bei den Reflektionsspektren der grossen Gasplaneten könnten auch hier grössere Einbrüche im Kontinuumsverlauf auftreten, welche infolge der wellenlängenabhängigen Albedo einzelnen Molekülen zugeordnet werden könnten [8].

Literatur/Links

- [1] LTP Projekt der VdS Fachgruppe Sonne, <http://sonneonline.org/de/AG-LTP-Projekt.php>
- [2] Heinz Hilbrecht, *LTP Manual*, <http://sonneonline.org/de/LTP-Projekt/LTP-Manual.pdf>
- [3] N. A. Kozyrev, *Spectroscopic Proofs for Existence of Volcanic Processes on the Moon* 1962 <http://adsabs.harvard.edu/full/1962IAUS...14..263K>
- [4] D. Alter, *The Kozyrev Observations of Alphonsus*, Berkley California 1958 <http://adsabs.harvard.edu/full/1959PASP...71..46A>
- [5] A. Dadaev, *Nikolai A. Kozyrev (1908–1983) — Discoverer of Lunar Volcanism*, Juli 2009 https://www.researchgate.net/publication/26842353_Nikolai_A_Kozyrev_1908-1983_-_Discoverer_of_Lunar_Volcanism_On_the_100th_Anniversary_of_His_Birth
- [6] A. J. Cohen, *Source of Evolution of Gas from the Lunar Crater Alphonsus*, Nature 201: pages1015–1016 (1964) <https://www.nature.com/articles/2011015a0>
- [7] Z. Copal, *Volcano on the Moon?*, The New Scientist, Manchester University, 1958 Vol 4, No 106 <https://books.google.ch>
- [8] R. Walker, *Spectral Atlas for Amateur Astronomers: A Guide to the Spectra of Astronomical Objects and Terrestrial Light Sources* (Cambridge University Press, 2017).
- [9] Wikipedia, *Nikolai Alexandrowitsch Kosyrew* https://en.wikipedia.org/wiki/Nikolai_Aleksandrovich_Kozyrev
- [10] Wiki, *Nikolai Kosyrew* https://the-moon.us/wiki/Nikolai_Kozyrev
- [11] Wikipedia, *LTP* https://en.wikipedia.org/wiki/Transient_lunar_phenomenon

Karten für die Dokumentation der Beobachtungen

Bitte haltet ausgedrucktes Kartenmaterial bereit, damit Ihr am Teleskop LTP und ihre Veränderungen genau eintragen könnt.

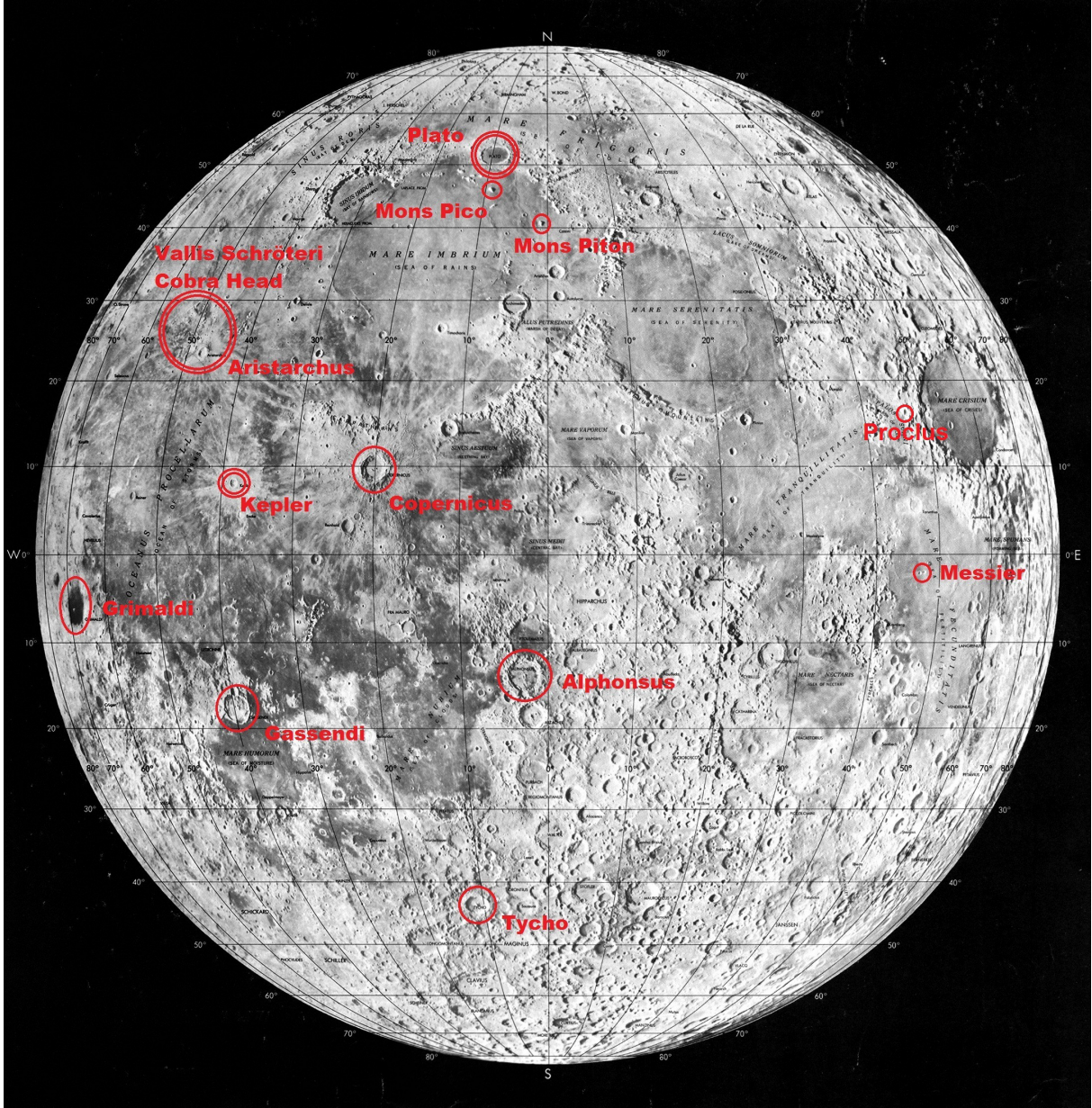
Die Lunar Planning Charts gibt es hier zum Download:

<https://www.lpi.usra.edu/resources/mapcatalog/LOC/>

Auf den folgenden Seiten stehen fotografische Karten der wichtigsten LTP-Gebiete. Sie sind hergestellt mit dem "Virtual Moon Atlas" und beruhen auf Bildern der Clementine-Raumsonde:

<http://ap-i.net/avl/en/tutorial>

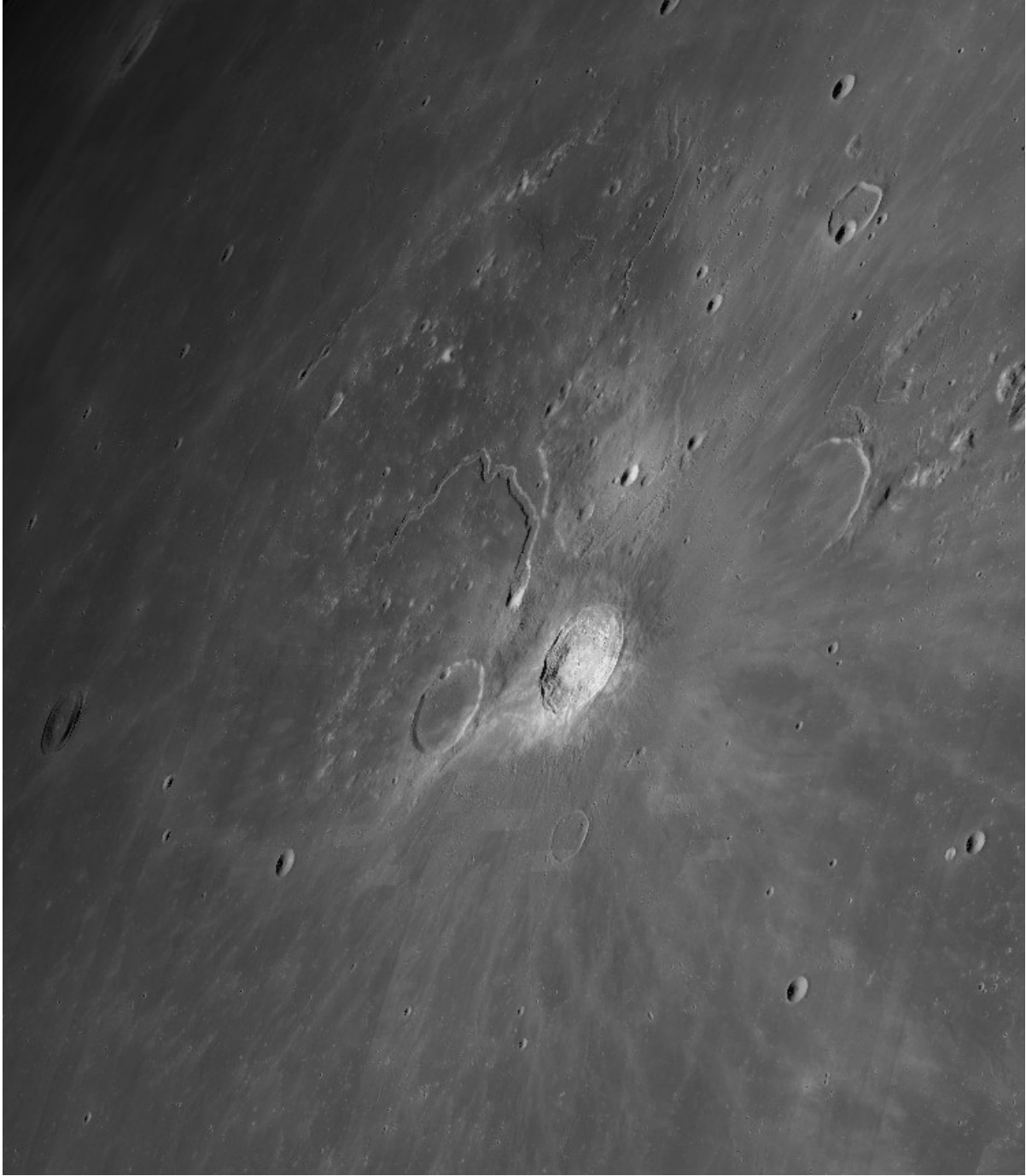
Die wichtigsten Objekte für LTP



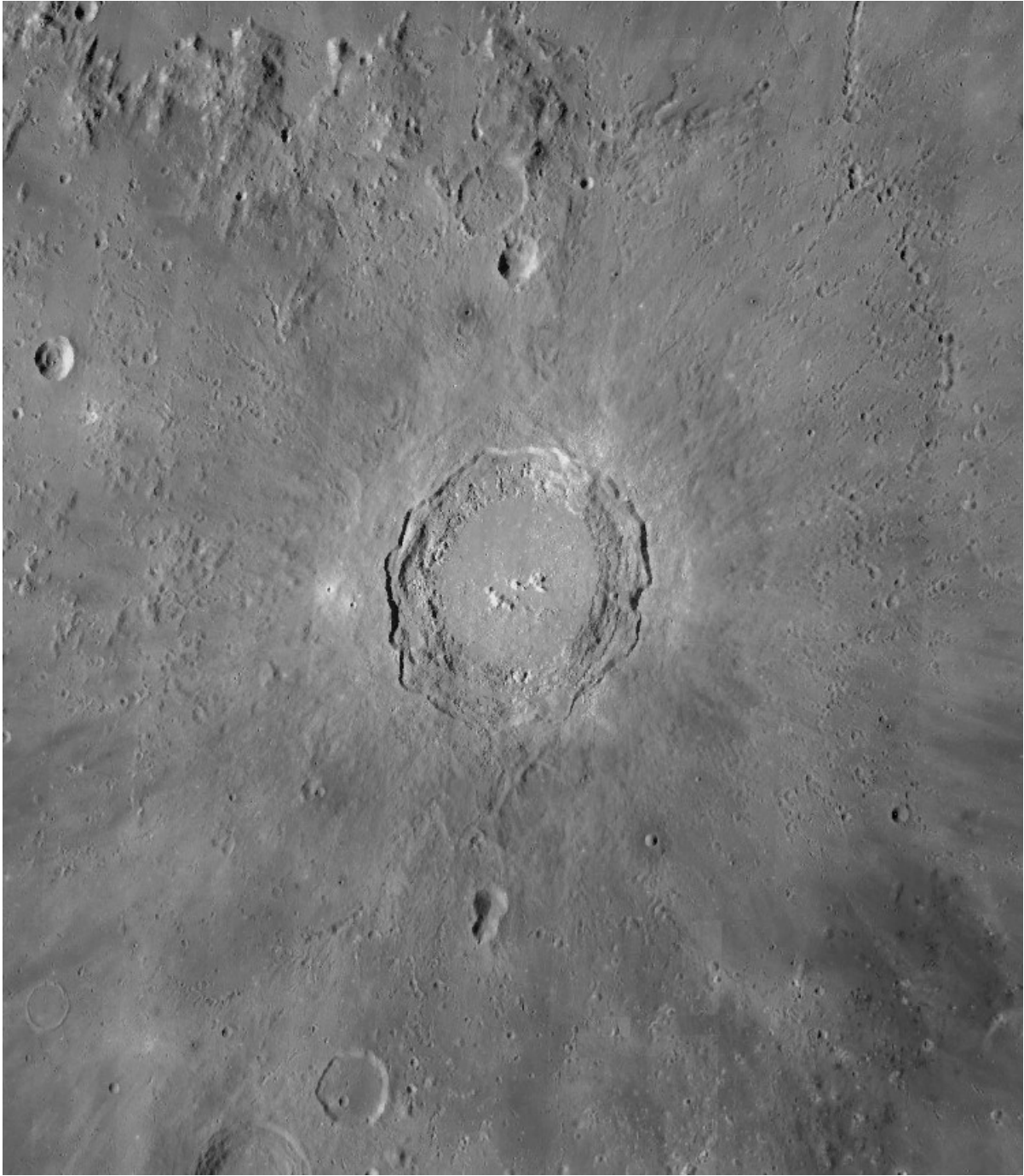
Die Alphonsus-Region



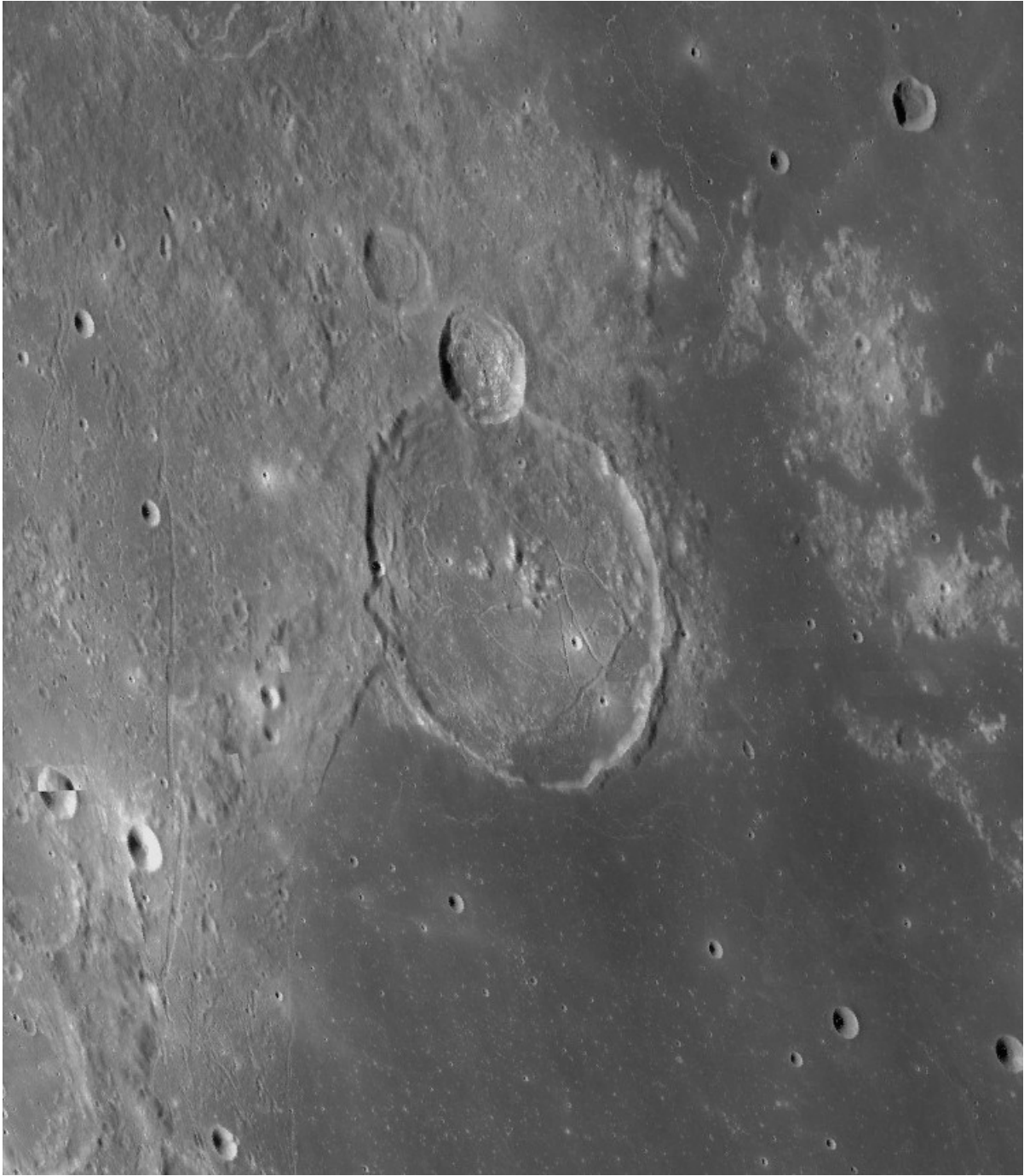
Die Aristarchus-Region



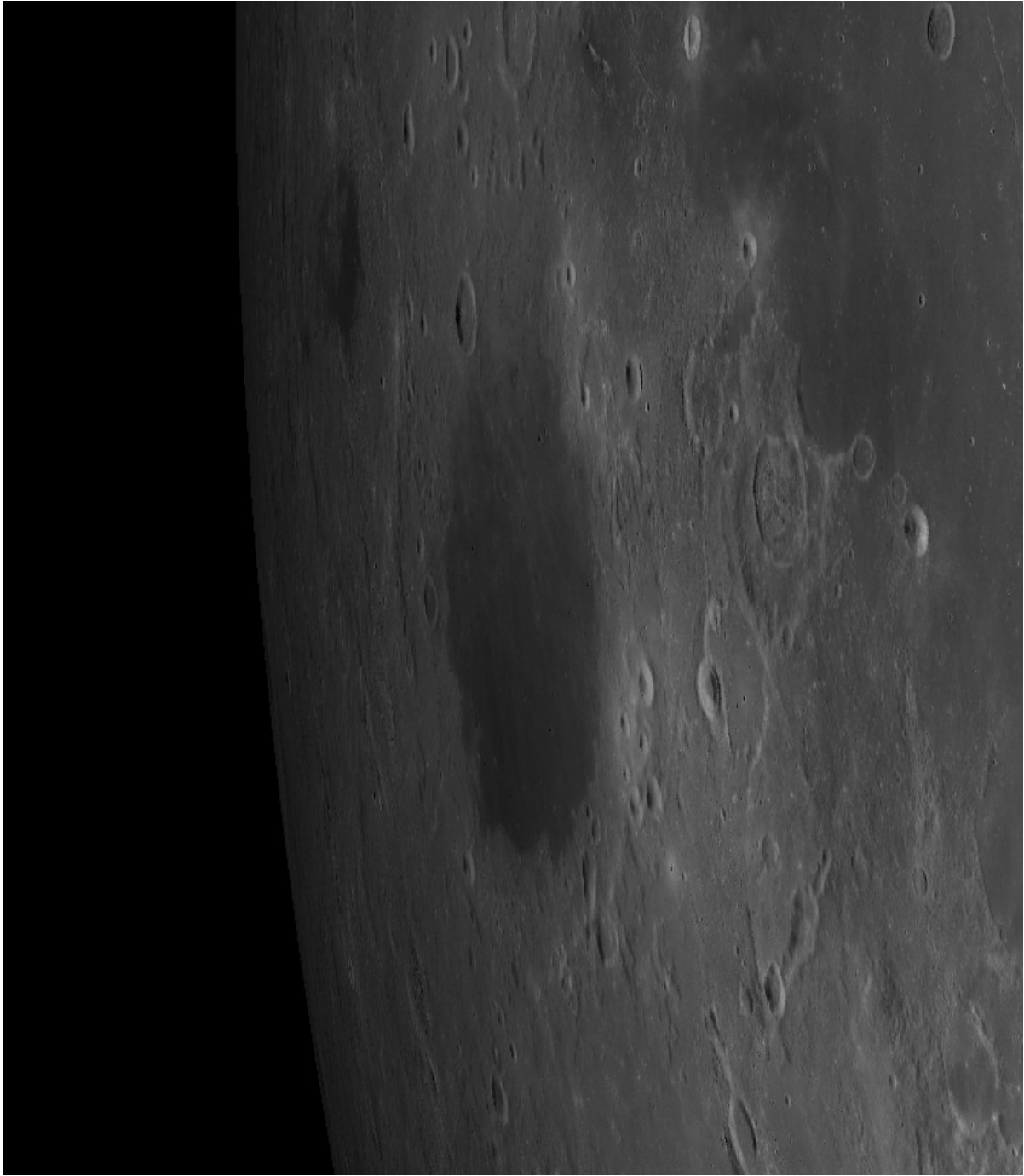
Die Copernicus-Region



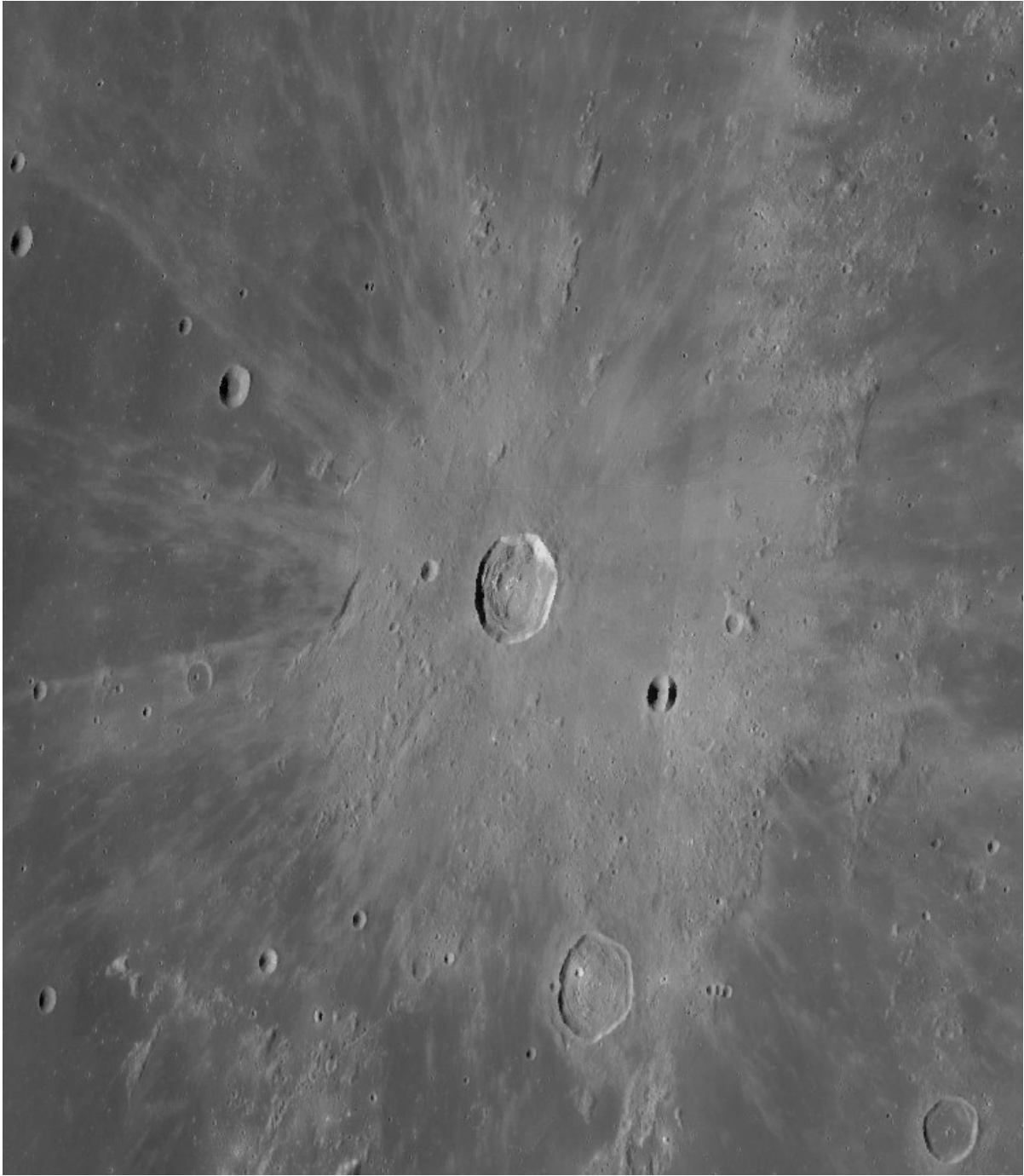
Die Gassendi-Region



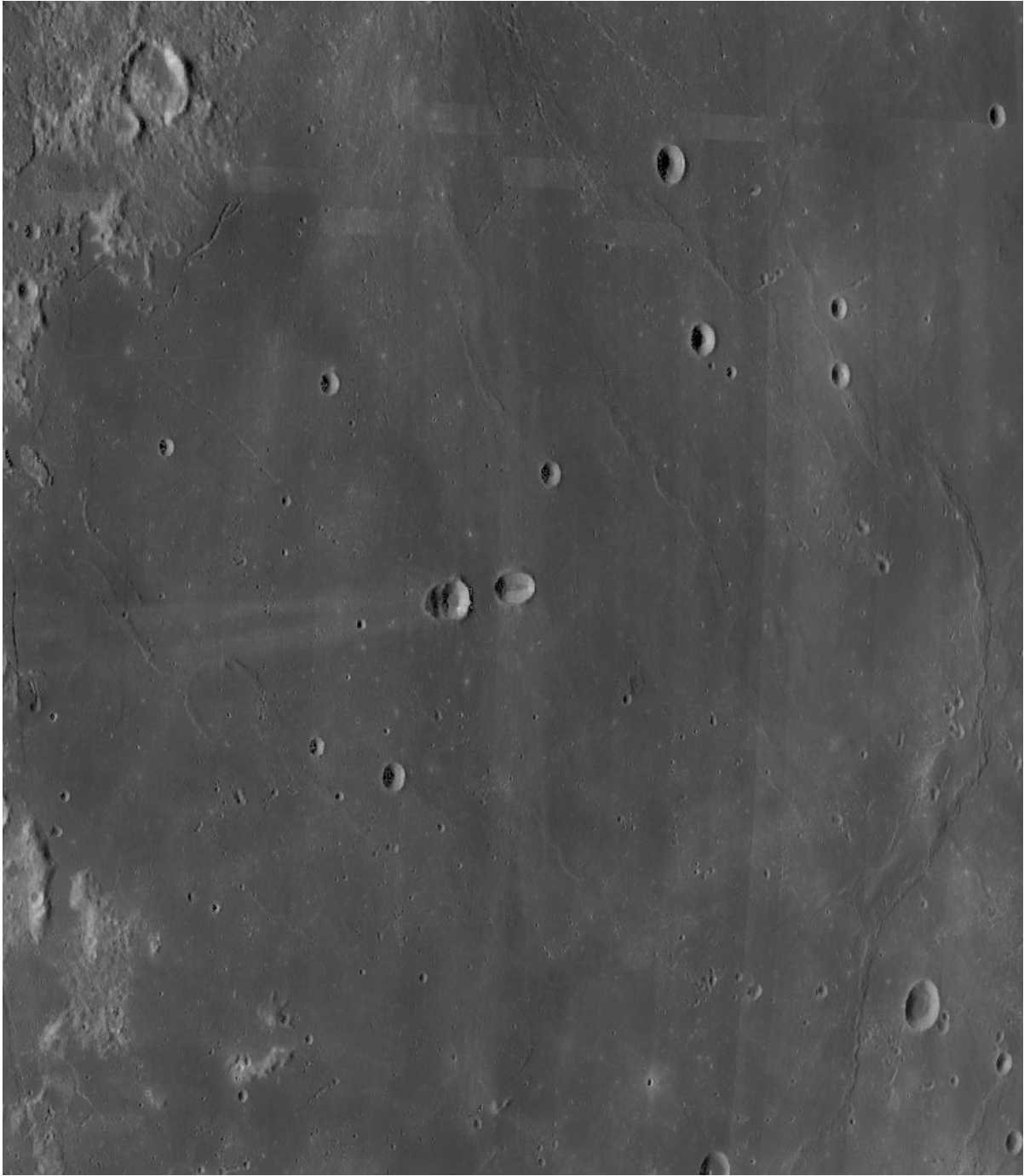
Die Grimaldi-Region



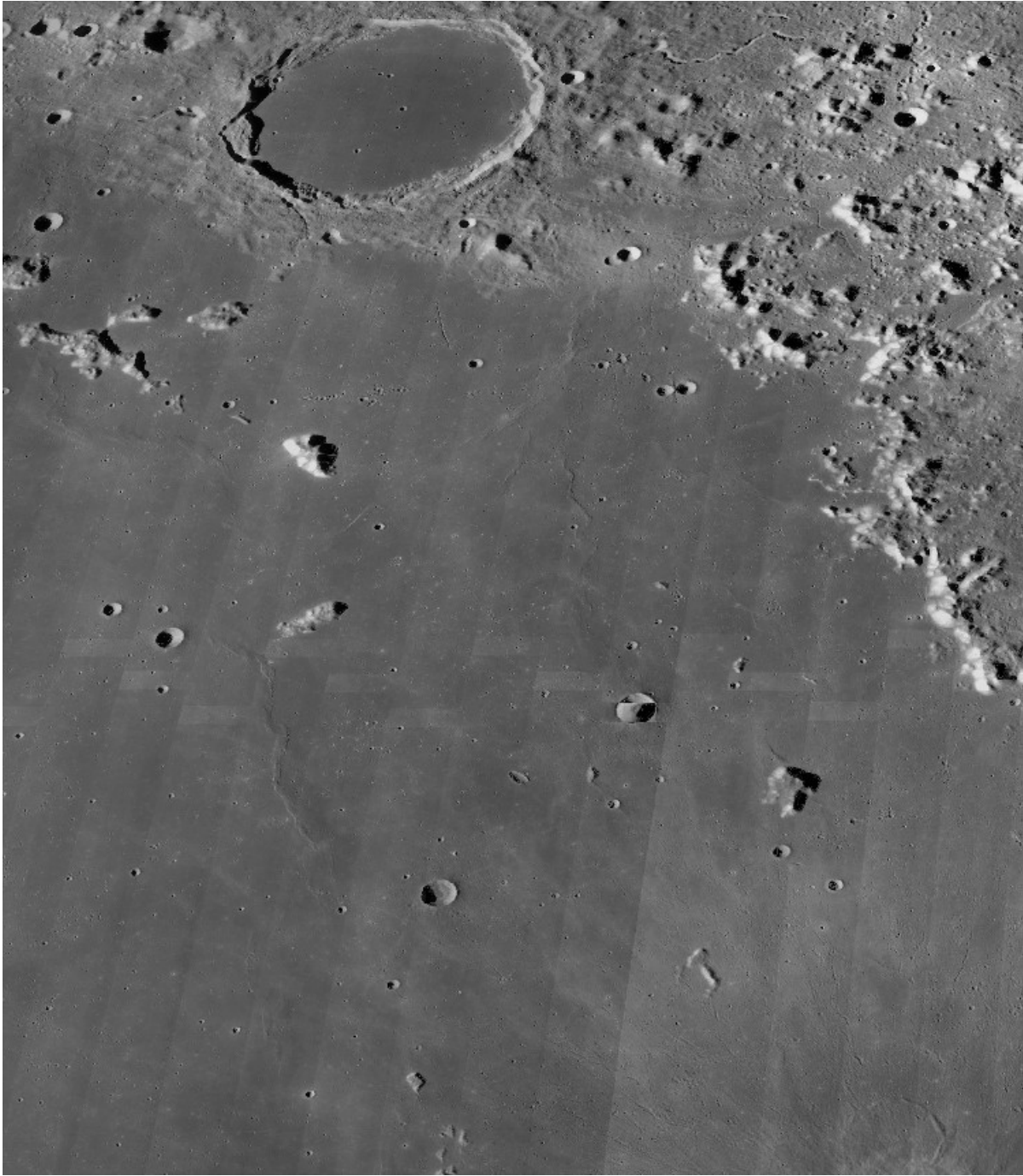
Die Kepler-Region



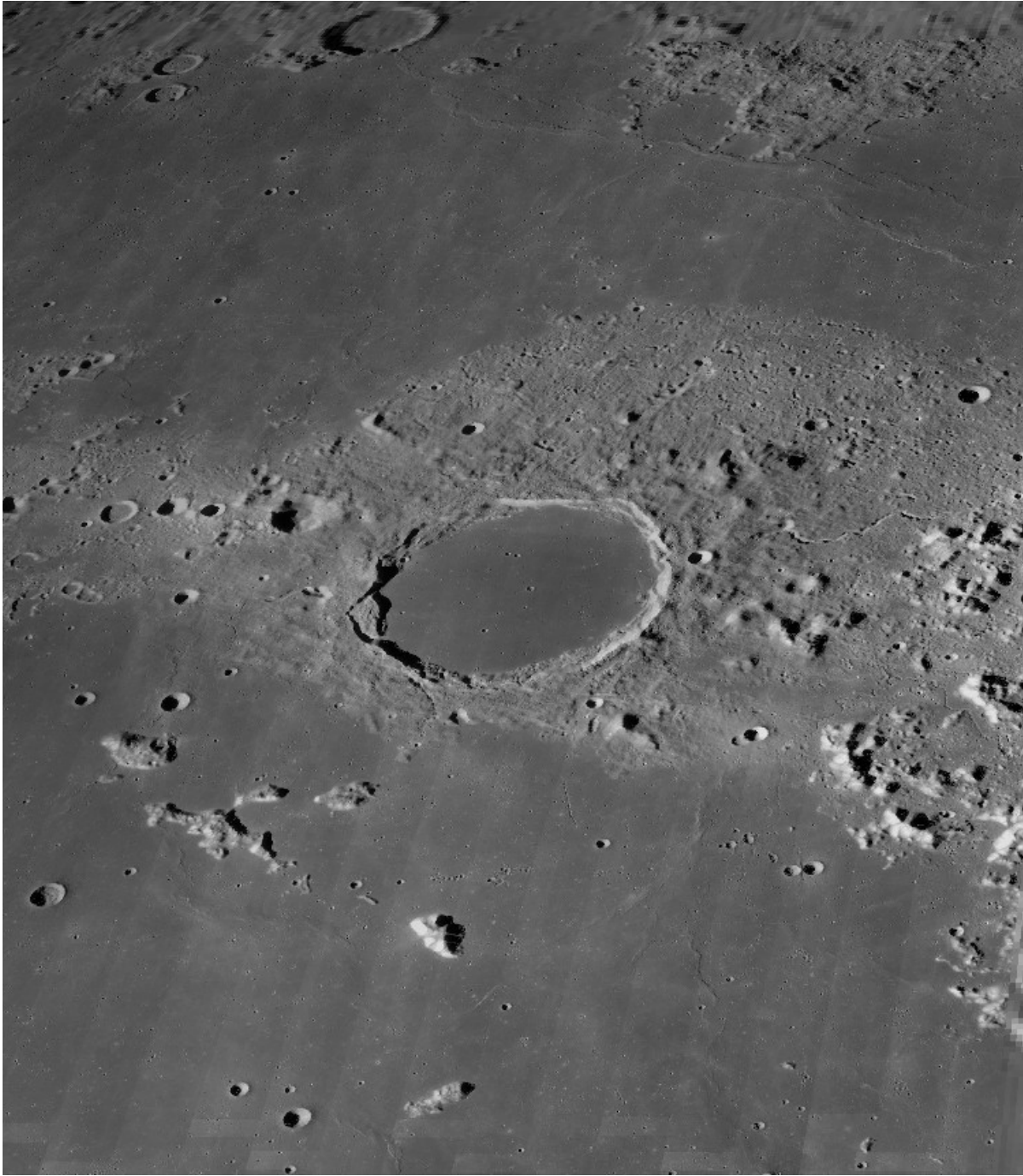
Die Messier Region



Mare Imbrium um Mons Pico und Mons Piton



Die Plato-Region



Die Proclus-Region



Die Tycho-Region

