

WILHELM FOERSTER STERNWARTE & MIT ZEISS-PLANETARIUM BERLIN

BERLIN 41 • Munsterdamm 90 • Insulaner • Ruf 7962029

Protokoll

der

212. Sitzung der

GRUPPE BERLINER MONDBEOBACHTER

1976 Dezember 13

Beginn: 20.00 Uhr.

Es sind erschienen die Damen Arnold, Seidel, Zeuschner sowie die Herren Fette, Freitag, Hänig, Huffer, Jechow, Kummrow, Kunze, Loewenhaupt, Möller, Nehls, Kunert, Neye, Reinsch, Skarzynski, Stadler, Völker, Voigt und 2 Gäste.

Herr Kunert eröffnet die Sitzung und erteilt Herrn Skarzynski das Wort zu einem Bericht über einen Aufsatz von Herrn Classen aus Pulsnitz zum Thema "Große Krater-Landschaft in Mitteleuropa entdeckt" - Sonderdruck aus Band 29, Heft 4, April 1976, Seite 124-226 Naturwissenschaftliche Rundschau:

Darin führt Herr Classen im wesentlichen aus: "Noch bis 1965 galten Meteoritenkrater als eine Ausnahmeerscheinung. Meteoritenkrater sind bis dahin nur als Einzelkrater öffentlich bekannt geworden. Aber man hatte in Australien bereits 1930 den ersten Kraterhaufen gefunden. Heute hat man bereits an 200 Stellen der Erde mehr als 1000 Krater entdeckt. Das Bild hat sich wesentlich verändert: Der Einzelkrater ist nach heutiger Ansicht ein Sonderfall, der Kraterhaufen ist die Regel.

Eine intensive Suche nach Impakt - Kratern ergab 1975 folgendes Bild: Vom Steinheimerbecken und dem Nördlinger-Ries ausgehend bis tief in die Tschechoslowakei hinein existieren auf einer ellipsenförmigen Fläche von 400 km Länge und 120 km Breite anscheinend viele Hunderte von Impaktkratern. Es treten Kraterhaufen auf, die aus über einem Dutzend von Einzelobjekten bestehen. Der durchschnittliche Durchmesser der Krater beträgt im Westen 2 - 3 km. Im Osten sind die Krater kleiner, hier haben sie nur einen Durchmesser von 1 km.

Weniger gut läßt sich die meteorische Entstehung von Mulden im Bayerischen Wald und Seengebieten in der Tschechoslowakei nachweisen. Um Impaktkrater nachweisen zu können, sucht man nach einem Gestein, dem Alemonit, dieses Gestein tritt auf dem ganzen Gebiet in allen Kratern und Kraterhaufen auf.

Die Analyse des Alemonit ergab 98% Kieselsäure. Dieser hohe Gehalt an Kieselsäure läßt vermuten, daß eine Anreicherung der SiO_2 durch kosmische Materie erfolgt ist. Das Alemonit weist eine Ähnlichkeit mit dem im Nördlinger-Ries gefundenen Impaktgestein, dem Suevit, auf. Beide Gesteinsarten: Das Alemonit und auch das Suevit-Gestein entstehen im Moment des Einschlages des Meteoriten in das Grundgestein. Das Grundgestein wird zertrümmert, durch den Aufschlag entsteht eine gewaltige Hitze, diese hohe Temperatur bringt das Gestein zum Schmelzen, es entsteht dadurch eine neue Gesteinsart. Die mechanische Tiefenwirkung, als Zertrümmerung, ist verhältnismäßig gering und beträgt nur ca. 20 - 30 m.

Auf dem Gebiet der Tschechoslowakei sind besonders an 2 Fundstellen in den Kratern und deren Umgebung Zentimeter große rundliche Glaskörper (aus vulkanischem Glas) gefunden worden, für deren Entstehung noch keine gültige Theorie besteht. (Nach Ansicht von Herrn Classen gibt es keine weiteren Fundorte.)

Für die Entstehung der Kraterlandschaft stellt Herr Classen folgende Theorie auf:

Vor 14,8 Millionen Jahren ist ein Riesen-Meteorit in Erdnähe gelangt. Durch Einflüsse der Erd-Gravitation oder vermutlich beim Eintritt in die Erdatmosphäre ist der Meteorit in Stücke zerborsten. Es entstand ein Meteoriten-Schwarm, bestehend aus Teilen unterschiedlicher Größe. Die Flugrichtung des Meteoriten-schwarms war von Osten nach Westen. Die kleinen Meteoriten-Objekte schlugen zuerst auf die Erde herab. Das Gebiet der Tschechoslowakei wurde zuerst betroffen. Danach folgten die Stücke mittlerer Größe, diese fielen im süd-deutschen Raum.

Die zwei größten Stücke, von 1 km Durchmesser das größte Stück, bildete das Nördlinger Ries, und das kleinere von ca. 100 m Durchmesser, das Steinheimer Becken. Auch von kleineren Stücken wurden die Nebenkessel des Nördlinger-Rieses gebildet.

Es sind das die Krater in P f a h l d o r f mit 2,5 km Durchmesser, S o r n h ü l l mit 1,5 km Durchmesser und M a n d e l g r u n d mit 1 km Durchmesser.

Als Kraterhaufen wird noch der aus 14 Einzelkratern bestehende H e m a u e r P u l k aufgeführt.

Für die Entstehung der M o l d a v i t e , damit sind die kleinen Glaskörper gemeint, welche in der Tschechoslowakei niedergefallen sind, findet Herr Classen die Erklärung: Der Riesen-Meteorit sei aus tektitischem Glas gewesen, also ein Glas-Meteorit. Die Außenhülle ist abgeplatzt und zerborsten und zuerst herabgefallen. Für die unsymmetrische Verformung einiger der neugefundenen Krater wird die Flugrichtung der Meteoriten und auch die Neigung des Terrains zum Einschlagwinkel verantwortlich gemacht. Schließlich betrachtet Herr Classen die Glas-Moldavite als Reste des Meteoriten.

Der Vortragende, Herr S k a r z y n s k i , gibt dazu einige Anmerkungen. Durch einen Bekannten, der seinen Wohnsitz nach dem Kriege nach Steinheim verlegt hat, erhielt er neuestes Informationsmaterial über das Steinheimer Becken und das Nördlinger Ries. Daraus entnimmt er bezugnehmend auf eine Veröffentlichung von Hüttner u. Reiff 1976 und von Reiff 1974 (Schrifttum Hüttner u. Reiff: Keine Anhäufung von Astroproblemen auf der Fränkischen Alb. N.Jb. Geöl. Mh. 1976), daß die Veröffentlichungen im Widerspruch zu den Veröffentlichungen von Illies 1969 und Rutte 1971, auf welche sich Herr Classen stützt, stehen.

Daraus ergäbe sich die Erkenntnis, daß die in den letzten Jahren als Einschlagkrater gemeldeten Strukturen auf der Fränkischen Alb nicht durch Meteore entstanden sind.

Im wesentlichen werden fälschlich als Einschlagkrater bezeichnete Strukturen auf der Fränkischen Alb angegeben: "Alle Nebenkessel des Nördlinger Rieses, der Kraterhaufen Hemauer Pulk und einige andere Objekte".

Es ist ferner festzustellen, daß kleine Körper aus vulkanischem Glas, die M o l d a v i t e , nicht nur an den zwei Fundorten in der Tschechoslowakei, sondern auch im Nördlinger Ries gefunden werden. Nur im Nördlinger Ries werden die vulkanischen Glasbomben "Flädle" genannt.

Auch ist die Tiefenwirkung des Meteoreinschlags, mindestens im Nördlinger Ries und im Steinhuder Becken, ganz gewaltig größer als Herr Classen annimmt. Das Grundgestein ist zu 2 - 3 km Tiefe zerschlagen worden. Stoßwellen haben nach der Explosion des Meteoriten 50 - 100 km³ zerstörtes Gestein herausgeworfen.

Das Gestein, was vom Einschlag entfernter lag, wurde am Ort zertrümmert. In weiter Entfernung entstanden im Grundgestein Spalten und Risse. An der Einschlagstelle entstanden innerhalb von Millisekunden Temperaturen von über 5 000°, bei dieser hohen Temperatur ist der Meteorit und das getroffene Gestein verdampft.

Die entferntere Zone hatte noch bei einer Entfernung von 1,5 km 1 500 bis 2 200° Temperatur, hierbei ist das Gestein geschmolzen und herausgespritzt, die zerstäubte Flüssigkeit bildete das vulkanische Gestein *Suevit*, gleichzeitig wurden vulkanische Glasbomben im zähflüssigen Zustand in die Luft geschleudert, von den Schwaben "*Flädle*" genannt.

Flädle und die tschechischen Moldaviten dürfen ihre Entstehung etwa gleicher Vorgänge verdanken.

Ein Teil des ausgeworfenen Gesteinsmaterials fiel in den Krater zurück. Später füllte sich der Krater mit Wasser und der Riessee bzw. der Steinheimersee entstand. Die Seen setzten Sedimente von Muschelkalk mit eingeschlossenen Tierskeletten ab. Nachdem das Wasser im Laufe von einigen tausend Jahren abgelaufen oder das Wasser verdunstet war, blieb eine Sedimentschicht von ca. 30 - 40 m liegen. Bereits dadurch waren alle Spuren eines Meteoriteneinschlags verwischt.

Eine üppige Vegetation sorgte später dafür, daß es schwierig wurde, das Nördlinger Ries und das Steinheimer Becken als Meteoriten-Krater zu enträtseln. Es entstanden viele Theorien über die Entstehung des Nördlinger Rieses.

Ähnliche Vulkan-Theorien, wie man sie früher für die Entstehung der Mondkrater entwickelte, tauchten auf und wurden wieder verworfen. Für die Meteoriten-Theorie, die auch schon alt ist, fehlten bisher schlüssige Beweise.

1960 stellte der amerikanische Wissenschaftler *Shoemaker* im Auftrage der NASA Untersuchungen im Ries an. Er fand in Proben von *Suevit*-Gestein das *Coesit*. Coesit ist ein Mineral, bestehend aus einer neuen Modifikation der Kieselsäure im Quarz. Die SiO_2 -Ionen sind fester gepackt. *Coesit* ist bei sehr hohem Druck von 35 000 Atmosphären herstellbar und kommt in der Natur nicht vor.

Die gewaltigen Stoßwellen, die durch Atomspengversuche entstehen, erzeugen in den Atombombenkratern Coesit.

In den USA im Arizona Krater und anderen Meteoritenkratern wurde *Coesit* gefunden. Es wurden noch weitere Veränderungen in der Struktur der Gesteinskristalle mikroskopisch festgestellt. Diese Strukturveränderungen werden bei allen erwiesenen Meteoriten-Kratern festgestellt.

Beim Nördlinger Ries und dem Steinheimer Becken sind diese wesentlichen Kriterien eines Meteoritenkraters erfüllt. Dagegen sind nach Hüttner u. Reiff 1976 die in den letzten Jahren als Einschlagkrater gemeldeten Strukturen nicht durch Meteoriten entstanden.

Herr *Skarzynski* erklärte abschließend, daß er hofft, durch Beispiele dargestellt zu haben, wie Theorien entstehen, wie sie geprüft werden, wie sie mit anderen Theorien konkurrieren und schließlich durch bessere Theorien ersetzt werden."

Im Anschluß daran erteilt Herr *Kunert* Herrn *Freitag* das Wort zu einem Bericht über "Die Frühgeschichte des Mondes" von William K. Hartmann in *ASTRONOMY* - September 1976:

"Die September-Ausgabe von *ASTRONOMY* - Gesamtumfang 80 Seiten - enthält 3 Artikel über den Mond, aktuelle Berichte über die amerikanischen Marssonden, einen Artikel über das Entwickeln von Astrofilmen sowie die scheinbar regelmäßigen Beiträge: Sternkarte, Planeten-Finder und die spezielle Behandlung einer Himmelsregion (diesmal Adler, Schild) mit Hinweisen auf astronomisch interessante Objekte. Jeder Beitrag in diesem Heft ist reich bebildert, 23 prächtige Farbdrucke unterstützen die Vorstellungskraft, Photos genauso wie künstlerische Darstellungen. Selbst 15 Seiten Werbung verkraftet man mühelos unter dem Aspekt der Information über Amateur-Fernrohre, Montierungen, Zubehör und deren Preise. *ASTRONOMY* erscheint monatlich und kostet 1,50 Dollar; Auflage ca. 50 000.

Nun zum Artikel von William K. Hartmann über die Frühgeschichte des Mondes: Die Bildung einer festen Kruste, das Entstehen großer Marehecken sowie gewaltiger Lavaflüsse, alles das sind Ereignisse der Frühgeschichte unseres Mondes vor ca. 4,6 bis 3,2 Mrd Jahren; Krater mit Strahlenkränzen, wie Tycho oder Kopernicus, sind jüngere Gebilde. Diese Informationen leitet man aus den Altersbestimmungen der Gesteinsproben vom Mond ab. Das Gesamtalter des Mondes wie des Planetensystems wird mit ca. 4,6 Mrd Jahren angegeben. Darüber, wie der Mond entstand, sind sich die Wissenschaftler noch nicht einig. Die mittlere Dichte des Mondes mit $3,3 \text{ g/cm}^3$ (Erde $5,5 \text{ g/cm}^3$) führte zur Einfangtheorie. Danach entstand der Mond an einer Stelle im Sonnensystem, wo die Zusammensetzung des Ausgangsmaterials gerade diese mittlere Dichte ermöglichte. Irgendwie wurde er auf seiner Bahn so beeinflusst oder abgelenkt, daß er in den Anziehungsbereich der Erde gelangte. Diese Theorie erklärt die Mondentstehung, indem sie sie in eine entfernte Gegend des Urplanetensystems verschiebt; die Himmelsmechanik jedoch zeigt, daß es fast unmöglich ist, einen Himmelskörper dieser Größe intakt einzufangen. Die Abspaltungstheorie schlägt vor, daß eine schnell rotierende Urerde große Partien ihrer Oberfläche abschleuderte, die dann in Erdnähe den Mond bildeten. Setzt man voraus, daß sich der Eisenkern der Erde bereits gebildet hatte, daß die Oberfläche also aus leichtem Material bestand, so versteht man, wie die geringere Dichte des Mondmaterials zustande kam; doch auch die Abspaltungstheorie kommt in Konflikt mit der Himmelsmechanik. Erde und Mond seien nebeneinander zur gleichen Zeit entstanden; diese Theorie, der gemeinsamen Entstehung des Erde-Mond-Systems, umgeht dynamische Probleme, sie erklärt jedoch nicht die unterschiedliche Zusammensetzung der entstandenen Himmelskörper.

Alle drei Mondentstehungstheorien haben einige Mängel, man hoffte, daß das Apollo-Unternehmen endlich Klarheit schaffen würde. Doch auch das Wissen über die wahrscheinliche Zusammensetzung der oberen Gesteinsschichten liefert kaum schlüssige Hinweise auf die Mondentstehung, es stellt aber zusätzliche Forderungen an eine neue Theorie. Die Wissenschaftler favorisierten darum in den letzten Jahren 2 Hybrid-Theorien. Die erste vermischt die Einfang- und Abspaltungstheorie. Ein Himmelskörper, vielleicht noch größer als der heutige Mond, hat die Erde so getroffen, daß gewaltige Mengen des Krustenmaterials weggesprengt wurden und auf diese Weise in eine Umlaufbahn um die Erde gelangten. Erhitzung und Pulverisierung erklären, weshalb die sich später vereinigende Mondmaterie arm an leicht flüchtigen Elementen ist. Auch eine dichte Passage eines planetengroßen Körpers könnte erhebliche Mengen Krustenmaterials in eine Erdumlaufbahn gehoben haben, die sich dann dort später vereinigten.

Gemeinsames Merkmal beider Theorien ist die "Katastrophenkomponente", das höchst seltene Zusammentreffen zweier Himmelskörper. Aber sind denn Katastrophen bei der Bildung des Planetensystems auszuschließen? Hat sich denn bei unserem Planetensystem alles gleichförmig und linear entwickelt? Alle Planeten bewegen sich annähernd auf einer Scheibe, der Ekliptik, um die Sonne. Doch schon die Rotationsachsen weisen für Venus und Uranus große Neigung auf. Saturn besitzt ein Ringsystem; und die Erde hat einen ungewöhnlich großen Mond im Verhältnis zur eigenen Masse. Seltene Zufallsereignisse scheinen also in der Entwicklung unseres Planetensystems beteiligt gewesen zu sein.

Ist schon die Entstehung des Mond-Erde-Systems ungeklärt, so kann man doch über die Oberflächenentwicklung des Mondes einiges aussagen. Kraterbildung und Erhitzung bis zum Schmelzen der obersten Schicht sind die Stichworte. Zahlreiche Bruchstücke der Planetenbildung bewegten sich in unserem Sonnensystem vor ca. 4,6 Mrd Jahren. Noch heute finden wir einen kleinen Vorrat davon im Planetoidengürtel.

200 Mio Jahre dauert es heute, bis der erste Zentimeter Mondoberfläche umgepflügt ist. Kurz nach seiner Entstehung, also vor 4,6 Mrd Jahren, wird vermutlich eine Spanne von einigen 1000 Jahren dazu genügt haben. Krater, wie Aristarch oder Kopernicus, entstanden damals alle 1000 Jahre, Krater von einem Kilometer Durchmesser entstanden jedes Jahr, und Krater so groß wie ein Fußballstadion bildeten sich jeden Tag. Faustgroße Brocken prasselten fast ununterbrochen auf die Mondoberfläche. Trotzdem ist es ungewiß, ob dieses Feuerwerk dazu reichte, die Mondoberfläche zu erschmelzen. Sicher ist jedoch, daß der Mond in seinen jungen Jahren, vor 4,2 Mrd Jahren, eine flüssige, zumindest breiige Oberfläche besaß, so daß schwere Bestandteile der Schmelze versinken konnten und daß die erkaltende Kruste sich aus leichten Bestandteilen bildete.

Diese Theorie erklärt ebenfalls, warum die Astronauten kein Gestein finden konnten, das älter als 4,1 Mrd Jahre ist. Glauben wir also, daß sich vor 4,1 Mrd Jahren die feste Kruste verfestigte, daß sie nur noch gelegentlich von größten Bruchstücken durchschlagen wurde, und postulieren wir ferner, daß vor 4 Mrd Jahren die Einschlagshäufigkeit allmählich nachließ, so erklärt sich fast von selbst, weshalb die ersten Erstarrungsgebiete, die wir heute als *B o c h l a n d* bezeichnen, von Kratern aller Größe geradezu übersät sind, während die später in die tieferen Lagen geflossenen Mare-Basaltschichten von mittleren und großen Kratern fast verschont wurden. Ein Lavafluß, der vor 4,1 Mrd Jahren eine Tiefebene anfüllte, war schon nach 100 Mio Jahren von dem umgebenden Hochland nicht zu unterscheiden; ein Maregebiet, das erst vor 3,5 Mrd Jahren entstand, sieht vermutlich heute noch aus wie am ersten Tage, zumindest was die Großstrukturen angeht. Die Einschlagshäufigkeit nahm also zwischen 4,1 und 3,5 Mrd Jahren erheblich ab und verminderte sich dann fast gleichmäßig bis zum heutigen Tag."

Daran schließt sich das Referat von Herrn *V o i g t* an:

"Zunächst stellt Herr *V o i g t* richtig, daß der Krater, von dem hier die Rede sein soll, nicht Bailly ist, wie im 211. Protokoll angekündigt wurde, sondern ein Gebilde, das östlich von Bailly liegt und keinen Namen hat.

Auf Blatt 22 des Berliner-Mond-Atlases ist dieses Gebiet nördlich von Schickard als Mare-Fläche in der Nähe des hellen Kraters *Z u c c h i u s* zu lokalisieren. Die Mare-ähnliche Tönung zeigt sich bei hohem Sonnenstand am intensivsten, während sie bei Abendlicht (Blatt 26 BMA) gerade noch erkennbar ist. Die nähere Umgebung dieses Areals tritt hier jedoch plastischer hervor, und man erkennt seine Lage eingerahmt von Schiller, Rost, Bettinus-Zecchius und Phocylides. Nach dieser Lagebeschreibung des Gebietes gibt d. Referent nunmehr dem Autor das Wort und verliest seine Übersetzung:

"Der größte Krater auf dem Antlitz des Mondes (Übersetzung aus "Journal of the British Astronomical Association - 1976 October 86,6 v. John H. Rogers):

Als der größte Krater auf der erd zugewandten Seite des Mondes wird allgemein Bailly bezeichnet, jedoch liegt nur 160 km außerhalb des Walles von Bailly ein anderer großer Krater, 11% größer, mit einem äußeren Ring von 340 km Durchmesser und einem konzentrischen Ring von 180 km. Diese Formation füllt den meisten Raum zwischen Bailly, Phocylides und Schiller, welcher letzterer viel von ihrem Ostwall unkenntlich macht. Es sei einmal gesagt: Es ist eines der eindrucksvollsten Gebiete dieser Region, jedoch ohne Namen und auch bei britischen Beobachtern wenig bekannt. Es ist in den bedeutendsten Atlanten nicht erwähnt. Wilkins und Moore beschreiben lediglich die Erhebungen, die den inneren Ring bilden, jedoch wurde das Gebiet auf Lunar-Orbiter-Aufnahmen beschrieben.

Der Referent möchte darüber berichten, weil die Schiller-Kreis-Region, englisch: Schiller Annular Plain, im folgenden "SAP" genannt, bei niedrigem Sonnenstand ein sehr eindrucksvolles Gebilde darstellt. (Blatt 16A und 28A des BERLINER MONDATLAS).

Das Gebiet beginnt mit einer flachen Kurve, die sich von Schiller nach Süden und Westen zieht und von zwei Ringgebirgen eingeschlossen wird. Unter günstigen Lichtbedingungen können die Böschungen nach Norden verfolgt werden unter Einbeziehung von zerrissenen niedrigen Hügeln, die die beiden konzentrischen Ringe schließen. Der äußere Ring ist lediglich durch eine nach innen abfallende Böschung zu erkennen, während der innere Ring mehr eine Kette von Hügeln darstellt mit einigen größeren Abhängen. Diese Anordnung ist typisch für Formationen mit mehreren Ringen, ähnlich dem Mare Orientale, Mare Nectaris und den weiter unten erwähnten. Besonders ist das Beispiel des Unterschiedes zwischen Appeninen und Alpen zu erwähnen. Die beiden Ringe sind zu zerstört, um noch eindeutige Formen zu erkennen, jedoch zeigt die Zeichnung eine Tendenz des Nord-Süd-Verlaufes der äußeren Böschung. Die unstrukturierten Flächen sind glatt und Mare-ähnlich, obgleich die Fläche zwischen den Ringen eine hohe Albedo aufweist. Der Boden des inneren Kreises mit der nördlichen Region weist eine mittlere Albedo auf, die bei hohem Sonnenstand die auffallende Form des SAP zeigt. Nach Angaben von McDonald nannte Riccioli dieses Gebiet "Schillerius" und unseren heutigen "Schiller" Bayerus. Lowmann führt dazu aus: "Die relativ hohe Albedo dieses namenlosen Mare demonstriert, die Tendenz der Mondlandschaft Albedo-Merkmale anzugleichen".

Das Mare ist am dunkelsten etwas innerhalb des inneren Ringes. Am späten Abend, wenn die Sonne im flachen Winkel auf dieses Gebiet scheint, sieht man diesen Teil etwas erhöht, und er formt einen dritten Ring, der sich vom hügeligen ersten wesentlich unterscheidet. Die meisten nahen Krater und große Teile des umgebenden Hochlandes sind mit Mare-ähnlichem Material hoher Albedo bedeckt, ähnlich dem zwischen den SAP-Ringen. Die Erklärung dieses Materials erfordert Vorsicht, weil es auch oftmals mit dunklem Material zusammen erscheint. Es ähnelt auch den "Caylay formations" von welchen die Apollo-16-Beispiele zeigten, daß sie kein Mare-Material sind.

Das SAP ist durch nachträgliche Einschlüsse intensiv zerstört worden, wie die vielen Krater zeigen sowie Kraterketten und Risse, die die ursprüngliche Form überdecken. Die frischesten Spuren sind viele kleine Kraterketten, alle ca. 1 km groß, in der Zeichnung markiert. Eine auffallende Kette zieht sich nach Nordost von Segner C. Sie ist von der Erde als eine Serie von Rillen zu erkennen. Die Kette zwischen Phocylides A und K zeigt nach Südwest gerichtete Einschlüsse. Die meisten Ketten sind kreisförmig zum hellen Strahlenkrater Zecchius angeordnet und sind sicherlich Sekundärkrater von ihm. Einige mögen zum Hansen-System gehören, welches weiter westlich liegt.

Über das ganze SAP sind glatte, tiefe Krater verstreut, die immer in Linie zu größeren Kratern an den Nordwest-Enden liegen (Phocylides A, K und N). Dies macht den Eindruck, als seien sie Nachfolge-Einschlüsse vom Nordwesten kommend. Die meisten auffallenden Reihen liegen im inneren Ring des Mare, dessen eine Hälfte von ihnen völlig zerstört wurde. Augenscheinlich sind diese Erscheinungen Teile des Mare-Orientale-Ringsystems, das weiter westlich liegt und diffus begrenzte Gruben und Hügel hinterlassen hat. Dies gibt somit die Möglichkeit, das Alter der meisten großen danebenliegenden Krater einschließlich Phocylides und Schickard als vor dem Orientale-Einschlag liegend zu bestimmen.

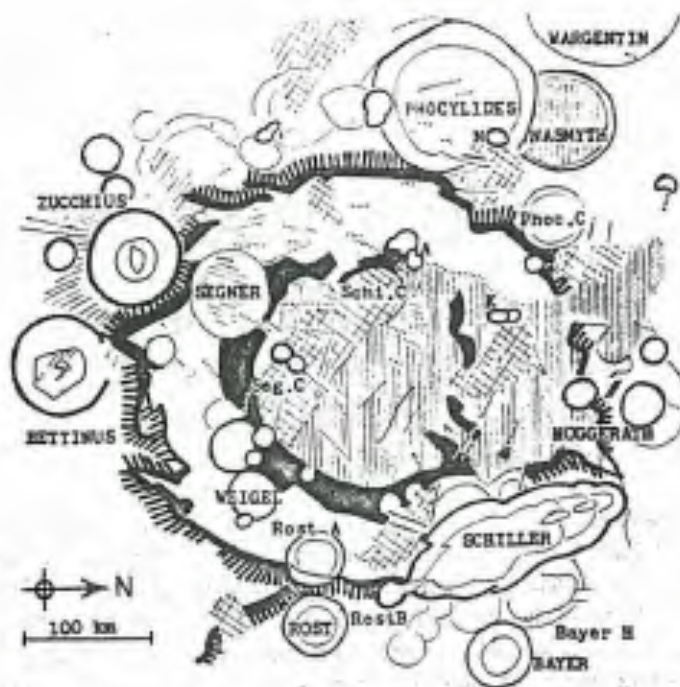


FIGURE 3. Chart of the SAP, prepared from Lunar Orbiter 4 photographs in ref. 5. Solid black represents the inner ring and the scarp of the outer ring, with shading on the highland outside the latter. Vertical shading represents the main mare areas: cross-hatching indicates areas of Orientale secondary cratering, and craters identified only by letter are Orientale craters named from Phocylides. Dotted lines represent crater-chains.

Große Kraterlandschaft in Mitteleuropa entdeckt

Bericht von Johannes Classen, Pulsnitz

Faunentier E.-Oberfl.

Schon seit hundert Jahren wird dem Nördlinger Ries, einem ringförmigen Gebilde um die Stadt Nördlingen in Süddeutschland von 20 bis 24 km Durchmesser, von den Geologen erhöhte Aufmerksamkeit gewidmet. 1904 kam der Verdacht auf, daß es sich bei dem Ries um einen gewaltigen Meteoritenkrater handeln könne. Erst seit etwa 1965 bestehen über den meteoritischen Ursprung des Rieses keine Zweifel mehr.

42 km südwestlich vom Zentrum des Nördlinger Rieses liegt das Steinheimer Becken, eine heute etwa 100 m tiefe Einsenkung von 3,5 km Durchmesser. 1933 wurde dieses Gebilde erstmals als Impaktkrater bezeichnet. Seit 10 Jahren ist diese damals kühne Aussage allgemein angenommen.

Nachdem 1955 durch H. REICH und W. HORRIG kleine, seismisch gefundene „Nebenkessel“ des Nördlinger Rieses bekanntgeworden waren, wurden 1969 von H. ILLIES die nebeneinander befindlichen Ringstrukturen Pfahldorf (2,5 km Durchmesser), Sornhüll (1,5 km Durchmesser) und

Mandelgrund (1 km Durchmesser) beschrieben. Sie liegen östlich des Nördlinger Rieses in der südlichen Frankenalb und sind morphologisch noch gut im Gelände erkennbar.

Man intensivierte nun die Nachsuche nach Impaktkratern und stieß in der südlichen Frankenalb auf Dutzende von Ringstrukturen von je etwa 1 km bis höchstens 3 km Durchmesser. Oft waren diese Krater zu Haufen angeordnet, so beispielsweise der aus mindestens 14 Einzelkratern bestehende „Hemauer Pulk“.

Da von Anfang an der Verdacht bestand, daß diese neuen Krater außer mit dem Nördlinger Ries auch mit den dem Ries gleichaltrigen Moldavite-Fundorten in der Tschechoslowakei in Verbindung stehen, wurden die geologischen Untersuchungen weiter nach Osten ausgedehnt. Besonders E. RUTTE vom Institut für Geologie in Würzburg und seine Mitarbeiter waren hieran beteiligt. Der Erfolg war überraschend. Überall stieß man auf Spuren von Impaktkratern. Einige davon waren noch verhältnismäßig leicht zu erkennen, wie beispielsweise der Krater Sautthal (Abb. 1). Die Mehrzahl der Krater waren jedoch nur durch geologische Intensivuntersuchungen nachweisbar.

Anfang 1975 ergab sich folgendes Bild: In Süddeutschland sowie offenbar auch im Südwesten der Tschechoslowakei und in Niederösterreich (bei Edelbach und Gföhl) existieren auf einer Fläche von mindestens 400 km Länge und 50 bis 120 km Breite anscheinend „viele Hunderte von Impaktkratern“ von durchschnittlich 1 km Durchmesser (Abb. 2). Im Westen sind die Krater im allgemeinen etwas größer (2 bis 3 km Durchmesser), im Osten herrscht die Standardgröße (1 km Durchmesser) vor. Durch örtliche Zusammenballungen entstehen einestils verhältnismäßig gut nachweisbare Kraterhaufen mit gelegentlich bis zu über einem Dutzend von Einzelobjekten (Frankenalb), andernteils minder gut als meteoritisch erkennbare Mulden (Bayrischer Wald) und Seengebiete (Tschechoslowakei). Die Mulden erreichen eine Länge bis zu 15 km, die heutigen tschechoslowakischen Seengebiete eine solche bis zu 30 km.

Charakteristisch für alle diese vermutlichen Impaktkonstrukturen ist ein Gestein, das man 1970 erkannte und dem



Abb. 1. Der Krater Sautthal und der Nebenkrater Schaffergrube in der Frankenalb im Reliefmodell. Jede Schicht entspricht 2 m Höhendifferenz (aus E. RUTTE 1974).

J. Classen, Sternwarte Pulsnitz, X-8514 Pulsnitz/Sachsen.



Abb. 2. Die mitteleuropäische Kraterlandschaft zwischen dem Steinheimer Becken in Süddeutschland und Třebíč in der Tschechoslowakei (nach J. CLASSEN).

man den Namen Alemonit (nach Alemona = Altmühl, dem Hauptfluß der Frankenalb) gab. Es findet sich überall in dem oben angegebenen riesigen Gebiet, und zwar auch zwischen den einzelnen Kraterhaufen und Mulden. Am häufigsten ist es aber innerhalb der letzteren in unmittelbarer Nähe der Impaktkrater.

Alemonit ähnelt dem Suevit (nach Suevia = Schwaben), der im Nördlinger Ries als Impaktgestein vorkommt. Es unterscheidet sich jedoch vom Suevit durch die ausnahmslos totale Verkieselung der von den Impakten betroffenen Sedimentgesteine. Die Entstehung des Alemonits erfolgt in der Sekunde des Einschlages der meteoritischen Körper durch die äußerst intensive Zertrümmerung des auf der Erdoberfläche anstehenden Gesteins. Die Tiefe der mechanischen Einwirkung ist verhältnismäßig gering und beträgt meist nur etwa 20 bis 30 m.

Die Analyse eines Alemonits aus der Gegend von Kehlheim ergab 98% SiO_2 , 0,4% Al_2O_3 , 0,2% Fe_2O_3 , 0,2% TiO_2 und 0,3% Alkalioxide bei 0,8% Glühverlust. Da sich derartige Kieselsäuregehalte keinesfalls allein aus den impaktierten Sandsteinen ableiten lassen, muß ernsthaft an die Zufuhr kosmischer Materie gedacht werden.

Ein schon vorher bekanntes charakteristisches Mineral des Gebietes ist ferner das tektitische Glas, das in Gestalt der zentimetergroßen rundlichen Moldavite in der Tschechoslowakei gefunden wird. Während Alemonit aber überall in dem Gebiet der neuen Impaktkrater vorkommt, sind die Moldavite auf zwei engbegrenzte Fundorte bei České Budějovice (Budweis) und bei Třebíč (Třebitsch) beschränkt (Abb. 2). Hier allerdings sind sie in großen Mengen zu finden.

Alle beschriebenen Impaktlokalitäten bilden eine langgestreckte Streuellipse, die von West nach Ost verläuft. Diese Streuellipse reicht nach heutiger Kenntnis vom Steinheimer Becken in Süddeutschland bis zu dem östlichsten bisher bekanntgewordenen Moldavite-Fundort in der Tschechoslowakei, Hrušovany nad Jevišovkou am Unterlauf der Dyje (Thaya). Nicht weniger als 468 km ist diese Kette lang.

Den Zentralpunkt dieser Kette bildet das Nördlinger Ries. Dieses muß eine ausschlaggebende Rolle bei der Entstehung der beschriebenen Kraterlandschaft gespielt haben. Offenbar wurde die Rieskatastrophe vor $14,8 \cdot 10^6$ Jahren durch einen in die Nähe der Erde gelangten Riesenmeteorit hervorgerufen. Dieser zerbrach und bildete einen Meteoritenschwarm, entweder weil er die Rochesche Grenze passierte und dadurch starken unterschiedlichen Gezeitenwirkungen ausgesetzt war, oder weil er in die Erdatmo-

sphäre eindrang und hier die durch seine Erhitzung entstehenden Spannungen nicht aushielt.

Ein derartiges Zerbrehen wird bekanntlich auch bei normalen Meteoriten beobachtet. Diese gehen dann als Stein- oder Eisenmeteoritenschauer auf einem meist elliptisch begrenzten Gebiet der Erdoberfläche nieder. Je kleiner der Auftreffwinkel des Meteoritenschwarms ist, um so langgestreckter wird die Streuellipse. Auch tritt eine großemäßige Sortierung der einzelnen Meteorite ein. Die größten Meteorite fliegen am weitesten, die kleinsten gehen zuerst zur Erde nieder. Man kann dadurch immer leicht die Flugrichtung des Meteoritenschwarms ermitteln. Ein gutes Beispiel für das Gesagte ist das Fallgebiet des Steinmeteoritenschauers von Homestead, Iowa, USA (Abb. 3).

Bei der Rieskatastrophe kam der Meteoritenschwarm jedenfalls von Osten. Seine etwa 1 km im Durchmesser große und etwa $2 \cdot 10^{12}$ kg schwere Hauptmasse flog zusammen mit einem abgetrennten großen Teilstück am weitesten nach Westen, hier das Nördlinger Ries und das Steinheimer Becken bildend. Die mittelgroßen Teile gingen großemäßig sortiert in der Frankenalb, im Bayerischen Wald und im Westen der Tschechoslowakei nieder und erzeugten hier die von West nach Ost an Größe abnehmenden Meteoritenkrater. Die kleinsten Teile, die ballistisch sehr ungünstigen Moldavite, wurden von der Erdatmosphäre bereits weit im Osten in der Mitte der Tschechoslowakei zum Niedergehen gezwungen.

Nicht verschwiegen sei, daß einige süddeutsche Einzelkrater Unsymmetrien besitzen, aus denen manche Autoren auf eine Ankunftsrichtung des Meteoritenschwarms von NNW schließen. Nun liegen aber die betreffenden Lokalitäten alle dicht nördlich am Tal der Donau. Das Gelände ist also nach Süden geneigt, wobei der Höhenunterschied beispielsweise im Bereich des Steinheimer Beckens 300 m beträgt. Zwischen Pfahldorf und der Donau ist noch ein

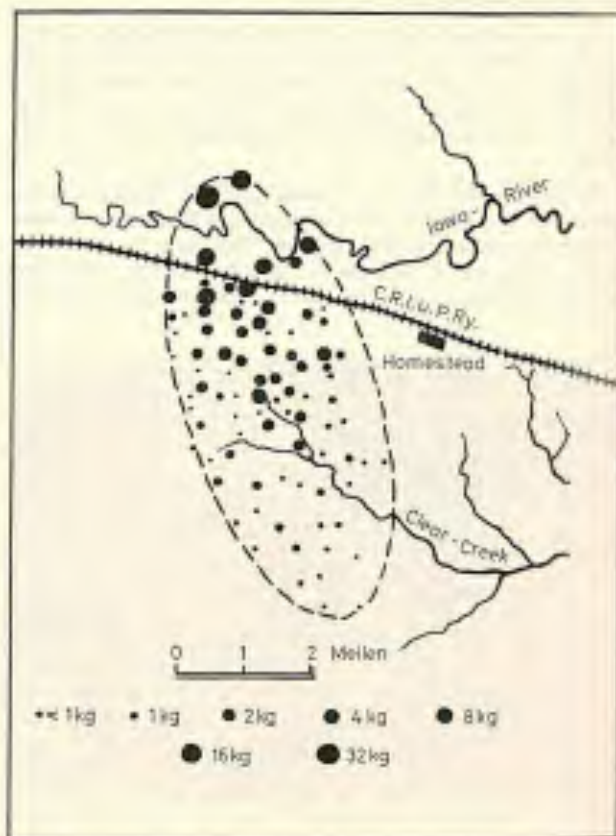


Abb. 3. Fallgebiet des Meteoritenschauers von Homestead, Iowa/USA, vom 12. 2. 1875 (nach FARRINGTON).

Höhenunterschied von 100 m vorhanden. Trifft aber ein Meteorit auf eine geneigte Oberfläche auf, so muß sich das in Unsymmetrien auswirken. Nicht die Ankunftsrichtung des Meteoriten erzeugt also die Unsymmetrien, sondern die Neigung des Terrains.

Was die Moldavite betrifft, so gibt es über deren Entstehung noch keine allgemein angenommene Theorie. Jedoch lassen sich alle Aspekte des Moldaviterätsels zwanglos erklären, wenn man voraussetzt, daß der die Rieskatastrophe verursachende große Meteorit aus tektitischem Glas bestand (70% bis 80% SiO_2 , 10% bis 15% Al_2O_3 , 2% bis 5% FeO und 2% bis 3% K_2O). Durch eine schon bei seiner Entstehung erfolgte schnelle Abkühlung erhielten die Außenschichten dieses Glasmeteoriten Perlsteinstruktur, das heißt sie wurden von zwiebelschalentartigen Sprüngen durchsetzt. Als dann das Zerbrechen des Meteoriten begann, blätterten diese perlitischen Außenschichten in zwei Etappen ab, ähnlich wie auch bei normalen Stein- oder Eisenmeteoriten die Außenschicht „abgeblasen“ wird und auf der Flugbahn des Meteoriten zurückbleibt. Das perlitische Glas zerfiel dabei wie sibirischer Marekanit oder Bologneser Glas zu zwei Haufen zentimetergroßer Kerne, die verhältnismäßig langsam wie Stein- oder Eisenmeteoritenschauber niedergingen. Nur so können die beiden 60 km großen Fundorte der Moldavite sowie auch die anderen Tektitfundorte (Elfenbeinküste, Nordamerika und Südostasien/Australien) befriedigend erklärt werden.

Die kleinen Moldavite sind also die einzige Substanz, die unverändert von dem anfänglichen Riesenmeteorit erhalten blieb. Die größeren Bruchstücke dieses Meteoriten trafen dagegen mit kosmischer Geschwindigkeit auf der Erdoberfläche auf, explodierten hier und erzeugten Impaktkrater. Von ihrer Substanz vermengte sich allenfalls ein kleiner Rest mit dem Gestein der Erdoberfläche. Auf diese Weise mögen Aemonit und Suvit mit ihren hohen SiO_2 -Gehalten entstanden sein.

Sollte sich das Vorhandensein der oben beschriebenen großartigen Kraterlandschaft in vollem Maße bestätigen, so dürfte das Interesse an Meteoritenkratern in Zukunft nicht unerheblich anwachsen. Noch vor wenigen Jahren (etwa bis 1965) galten die Meteoritenkrater noch als eine Art Ausnahmeerscheinung auf der Erde. Vor

allem waren auch, nachdem 1905 als erster Meteoritenkrater derjenige von Arizona in den USA entdeckt worden war, immer nur Einzelkrater im Gespräch. Dabei hatte man bereits 1930 den ersten Kraterhaufen aufgefunden, nämlich Henbury in Australien mit insgesamt 15 einzelnen Objekten. Aber Henbury blieb zunächst ein Sonderfall. Dadurch waren noch 1955 bei etwa 50 Lokalitäten erst 75 einzelne Krater bekannt. Auch die ab 1965 erschienenen ersten größeren Kraterkataloge verzeichneten fast nur Einzelkrater. Beispielsweise wies der vollständigste dieser Kataloge, derjenige von M. H. HEY in London, bei 139 Lokalitäten noch nicht einmal 180 einzelne Krater auf.

Heute nun beträgt die Gesamtzahl der Lokalitäten 200 und die der einzelnen Meteoritenkrater etwa 1000. Die Kraterhaufen sind anstelle der Einzelkrater in den Vordergrund getreten. Dieses ist nicht nur eine Folge der neu entdeckten Kraterlandschaft in Mitteleuropa. Vielmehr werden jetzt überall auf der Erde neben neuen Einzelkratern auch Kraterhaufen gefunden. Selbst neue Kraterlandschaften wie beispielsweise die aus mindestens vier Kraterhaufen mit insgesamt etwa 100 einzelnen Objekten bestehende Kraterlandschaft von Quillagua in Chile kamen hinzu. Es gibt kaum noch einen Zweifel, der Einzelkrater ist ein Sonderfall, der Kraterhaufen ist die Regel.

Schließlich zeigen die Entdeckungen der letzten Jahre auch, daß Impaktstrukturen auf der Erde häufiger sind, als man bisher annahm. Wahrscheinlich war die Erde zumindest früher in ähnlicher Weise mit Kratern bedeckt, wie man dieses jetzt noch beim Mond sowie den inneren Planeten und ihren Begleitern beobachtet. Auf der Erde entzog sich nur ein großer Teil der Krater der Entdeckung, weil die zerstörenden Einflüsse hier sehr groß waren. Auch die Krater, die sich erhielten, sind oft nur durch moderne Untersuchungsmethoden nachweisbar. Trotzdem dürfte in Zukunft durch die Verbesserung dieser Methoden sowie durch eine bessere Kenntnis über die bei Impaktereignissen eintretenden geologischen und mineralogischen Veränderungen noch eine bisher nicht für möglich gehaltene Zahl neuer Meteoritenkrater entdeckt werden. [H. ILLIES, *Oberrhein. geol. Abh.* 18, 1 (1969). — E. RUTTE, *Oberrhein. geol. Abh.* 23, 97 (1974). — E. RUTTE, *Naturwissenschaften* 59, 214 (1972). — J. CLASSEN, *Veröff. Sternwarte Pulsnitz* Nr. 2, Nr. 6 und Nr. 10 (1967, 1969 und 1975).]

Die NATURWISSENSCHAFTLICHE RUNDSCHAU erscheint monatlich. Bestellungen nimmt jede Buchhandlung des In- und Auslandes, die Post oder der Verlag entgegen. In den Ländern Belgien, Dänemark, Großbritannien, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Portugal, Schweden, der Schweiz und der Vatikanstadt ist der Bezug durch die Post ebenfalls möglich. *Bezugspreis:* jährlich DM 78.—. Einzelheft DM 7.50. Studenten u. Assistenten in nicht voll bezahlter Stellung jährlich DM 62.40.

Probeheft: kostenlos durch den Verlag.

Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft m. b. H., Stuttgart N, Birkenwaldstraße 44, Postfach 40.