

Liebe Leserin, lieber Leser,

New Horizons hat Anfang des Jahres den Vorbeiflug am transneptunischen Objekt (TNO) „Ultima Thule“ mit Bravour gemeistert! Die ersten Funkbilder haben uns aus $6\frac{1}{2}$ Milliarden Kilometern Entfernung erreicht. Sie zeigen einen – „Schneemann“! Wie zuvor vermutet, handelt es sich um zwei „dreckige Schneebälle“, die jetzt einander berühren, wobei des Schneemannes „Kragen“ seltsam hell erscheint. Der Korpus des Mannes, Ultima geheißen, misst 19,5 km, sein Kopf, Thule, bringt es auf 14,2 km. Man darf auf die Auswertung der Daten vom Vorbeiflug gespannt sein. Ultima Thule gibt Rätsel auf: Wenn Ultima und Thule einst getrennt waren, wie fanden sie zueinander? Und wieso rotiert das Gesamtgebild mit rund 15 Stunden Rotationsdauer ausgesprochen langsam? (Der Einfang eines dreimpulsbelasteten Begleiters aus einer nahen Umlaufbahn sollte zu sehr schneller Rotation führen.)

Alles deutet darauf hin, dass 2014 MU₆₉, so die bislang offizielle Bezeichnung, das Primitivste unter der Sonne ist, was Menschen bisher zu Gesicht bekommen haben. Der Transneptunier treibt sich seit $4\frac{1}{2}$ Milliarden Jahren im Eiskeller des Sonnensystems herum, dem Kuiper-Gürtel. Die Bahn ist ziemlich kreisförmig, der Sonne sind „Ultima“ und „Thule“ nie nahegekommen. (Es sei angemerkt, dass es TNO mit einer spannenderen Vorgeschichte gibt!) Von der Größe her handelt es sich um ein typisches Planetesimal, ein Planetenbaustein, der halt weder in einen Planeten „verbaut“, noch von der Planetenbaustelle entfernt wurde. Völlig spurlos dürften die Jahrtausende nicht an „Ultima Thule“ vorbei gegangen sein. Kosmische Strahlung und das UV der fernen Sonne werden dem Paar *o b e r f l ä c h l i c h* zugesetzt, d. h. es chemisch verändert haben, was die rötliche Färbung erklärte.

Vor einem halben Jahrhundert, am 8. Februar 1969, bekam die Erde Besuch aus dem All. Ein 5-t-Projektil, eine seltene Art von Steinmeteorit, zerbarst und ein Gesteinsregen ging in der Westlichen Sierra Madre im Norden Mexikos nieder, nahe dem Flecken Pueblito de Allende im Bundesstaat Chihuahua. Die Rede ist vom berühmten *A l l e n d e* Meteoriten.

In jener Morgenstunde vor 50 Jahren gelangte $4\frac{1}{2}$ Milliarden Jahre altes Planetenbaumaterial durch Zufall in unsere Hände!

Sieben Monate danach kam es zu einem weiteren bemerkenswerten Meteoritenfall. Am 28. September 1969 traf es den Süden Australiens. Nahe Murchison im Staate Victoria fielen Fragmente eines weiteren *kohligen Chondriten* vom Himmel. Im Murchison-Meteoriten wurden erstmals extraterrestrische Aminosäuren und zuckerähnliche Verbindungen nachgewiesen. Aminosäuren sind Eiweißbausteine, diverse „Zucker“, sog. Polyole, bilden das Gerüst für viele organische Moleküle, die das Leben so braucht! Die Grundstoffe des Lebens wurden vermutlich lange vor der Bildung des Sonnensystems in interstellaren Molekülwolken, womöglich unter dem Einfluss von Sternstrahlung, vorgefabriziert.

Das Jahr 1969, für Meteoritenjäger war es das Jahr der primitiven Meteoriten, der *kohligen Chondrite*,

Ihr Hans-Erich Fröhlich

Der Himmel im Februar

Merkur erreicht am 27. Februar mit 18° seine größte östliche Elongation. Das ist wenig, weil er gerade das Perihel seiner Bahn durchlaufen hat. (Günstigstenfalls sind 28° Winkelabstand zur Sonne drin.) Dennoch ist er, der quecksilbrige Götterbote der Griechen, bereits Tage zuvor nach Sonnenuntergang am Abendhimmel sichtbar.

Venus ist Morgenstern. Ihre größte westliche Elongation (47°) liegt hinter ihr. Von unserer Position aus gesehen nähert sie sich bereits wieder der Sonne. Am 18. Februar zieht sie 1° nördlich am Saturn vorbei.

Mars schafft es, gegen Ende des Monats eine Deklination (Höhe über dem Himmelsäquator) von 15° zu erklettern. Er ist der Planet für die erste Nachthälfte und geht nach wie vor kurz vor Mitternacht unter.

Jupiter erscheint am Monatsende bereits kurz nach 3 Uhr auf der Bildfläche. Am 27. und 28. Februar, vor Sonnenaufgang, präsentiert er sich mit dem Erdmond sowie Venus und Saturn im SO.

Mit nicht ganz zwei Stunden Abstand folgt dem Jupiter der Saturn. Falls Sie diesen in der Morgenstunde des 2. Februar vermissen, so ist das in Ordnung: Der Mond – auf seinem Weg in Richtung Sonne – schiebt sich für 50 Minuten vor den Saturn! Kurz vor 7:40 MEZ gibt er ihn an der dunklen Seite der Mondsichel wieder frei. Titan, des Saturn größter Mond – er übertrifft

unseren Mond an Größe um das Anderthalbfache –, taucht bereits Minuten zuvor wieder auf. Neumond ist zwei Tage später, am 4. Februar.

Und die Tage werden wieder länger, was besonders am Tagesausgang zu bemerken. Die Sonne verabschiedet sich Anfang Februar 45 Minuten später als Anfang Januar. Sie steht aber nur 25 Minuten früher auf als am Jahresbeginn. Insgesamt ein Gewinn von über einer Stunde binnen eines Monats!

Kohle aus dem All

Auch wenn der Zahlenwert recht unsicher ist, man rechnet mit jährlich etwa 40 000 t Massezuwachs der Erde durch Einfall extraterrestrischen Materials – in der Hauptsache Mikrometeorite. Größere Brocken, ab 1 mm bzw. einige Milligramm aufwärts, verursachen beim Niedergehen, reibungsbedingt, sichtbare Leuchterscheinungen: Meteore (Sternschnuppen) und Feuerkugeln. „Meteor“ hat insofern mit Meteorologie zu tun, als man bis Ende des 18. Jh. annahm, es handele sich um rein Atmosphärisches. Der aus Wittenberg gebürtige Klangkünstler, Instrumentenbauer, Akustiker („Chladni’sche Klangfiguren“!) und Astronom Ernst Florens Friedrich Chladni (1756–1827) hatte den extraterrestrischen Ursprung erkannt und damit die Bedeutung von Meteoriten als „Reisende durch Zeit und Raum“, die u. a. von den Anfängen des Sonnensystems Kunde geben. Die damalige Wissenschaft wollte indes „vom Eisen, das vom Himmel fällt“, nichts hören. Zu unglaublich war selbst dem Göttinger Kollegen Georg Christoph Lichtenberg (1742–1799), was da Herr Chladni, der von Vortragsreisen quer durch Europa lebte, von sich gab.

Die interplanetaren Besucher selbst nennt man jetzt Meteoroiden. Was die Erdoberfläche mehr oder weniger lädiert erreicht, ist ein Meteorit. Und davon gibt es inzwischen jede Menge, wobei die meisten sicherlich noch nicht einmal als solche erkannt werden. Nur an speziellen Orten ist klar, es kann sich nur um Stoff von „oben“ handeln: auf Tafelbergen¹ oder auf antarktischem Eis. Von der Zusammensetzung her unterscheidet man Stein-, Stein-Eisen- und Eisenmeteorite. 5/6 aller Meteorite entfallen auf die Steinmeteorite (Chladni „Meteorsteine“). Unter diesen sind die k o h l i g e n C h o n -

¹Der Flieger Antoine de Saint-Exupéry (1900–1944), der auf einem Tafelberg landete, führt in „Wind, Sand und Sterne“ den Beweis: „Auf ein Tuch, das man unter einem Apfelbaum ausbreitet, fallen Äpfel – ein Tuch unter den Sternen kann nur Staub von Gestirnen erhalten“

d r i t e von besonderem Wert². Chladni selbst besaß einen derartigen kohlschwarzen Stein. Er befand sich bis 1945 im Berliner Naturkundemuseum. Sieht man von flüchtigen Bestandteilen wie den Edelgasen ab, so gleicht ihre chemische Zusammensetzung derjenigen der Ursonne. Wir halten sozusagen „Sonnenstoff“ in der Hand! Die Chondrite werden wegen ihrer millimetergroßen Silikatkügelchen so genannt. Sie heißen Chondren oder Chondrulen. Als kohliges Chondrit kann der Allende-Meteorit kein Absprengeleinzelstück eines bereits differenzierten Himmelskörpers sein. Kleinplaneten wie die Ceres oder prominente Asteroiden wie die Vesta sind, bedingt durch ihre Größe, innerlich radioaktiv aufgeheizt und aufgeschmolzen, wobei schwereres Material nach unten sinkt und leichteres aus dem Inneren aufsteigt. (Was ein schönes Beispiel dafür ist, dass allein die Schwerkraft es vermag, quasi „aus dem Nichts“ Unterschied hervorzubringen, wo doch sonst alles auf Breitschmierer und Gleichverteilung hinausläuft.) Auf diese Weise kommt es nicht nur zu einer kugelförmigen Gestalt, sondern eben auch zu jener chemischen Trennung, wie wir sie von der Erde kennen: ein dichter ($12,5 \text{ g/cm}^3$) NiFe-Kern, ummantelt und zuoberst mit einer leichten ($2,7 \text{ g/cm}^3$) Kruste, im wesentlichen aus Silizium, Aluminium und (unter den Ozeanen) Magnesium (SiAl bzw. SiMa), versehen.

Der Allende-Meteoritenfall ist der best-studierte³ kosmische Steinregen überhaupt. Über zwei Tonnen wurden inzwischen aus einem Areal von ca. 300 km^2 geborgen. Das größte Fragment wiegt gut zwei Zentner. Die vom Himmel gefallenen Steine enthalten die typischen Schmelzkügelchen (Chondren) sowie „feuerfeste“ Kalzium- und Aluminiumhaltige Einschlüsse (CAI). Sogar auf Nanodiamanten ist man gestoßen. Man munkelt, diese seien p r ä s o l a r e n Ursprungs – „Sternenstaub“, auskristallisiert bei einer Supernovaexplosion. Jedenfalls deuten gewisse nicht-solare Isotopenverhältnisse⁴ darauf hin. Hat gar die Druckwelle einer Supernovaexplosion einst den Anstoß zur Bildung unseres Sonnensystems vor 4,568 Milliarden Jahren gegeben?

²... und das nicht nur für die Wissenschaft: Sie sind wasserreich und kommen somit als Bringer unseres Wassers in Frage! Die Erde ist vermutlich „trocken“ entstanden.

³Mehrere Mineralien, wie das Allendeit, wurden überhaupt erst in ihm entdeckt.

⁴Eine Supernova ist zwar nicht auszuschließen, es sei aber angemerkt, dass die Ursonne energetisch hyperaktiv war und das Isotopenproblem hausgemacht sein könnte. Selbst heutzutage noch kommt es bei Flares zu Kernreaktionen – auf der Sonnoberfläche! Und die protoplanetare Scheibe? Elektrische (Blitze) und magnetische Entladungen (Superflares) könnten einiges bewirkt haben, beispielsweise Aufschmelzvorgänge, wie die Chondrulenbildung.

Eine kurze Geschichte des Festen

Wir haben meist festen Boden unter den Füßen und sind umgeben von Festem. Das ist nicht die Norm! Im *baryonischen* Universum, jenem Teil, der aus ordinären Atomen besteht, den Elementen des Periodensystems, herrscht das Gas vor, das ionisierte Plasma. Der Festkörper ist selten, was kaum wundert, sind doch die schweren Elemente rar⁵. Wie Schneekristalle, die beim Unterschreiten einer gewissen Temperatur aus dem Wasserdampf auskondensieren⁶, bilden sich auch mikroskopisch kleine Staubpartikeln in den kühlen Hüllen von Sternen und in protoplanetaren Gasscheiben, sofern es nur erst einmal kalt genug geworden ist. Feuerfestes fällt naturgemäß eher aus der Gasphase aus als Flüchtiges.

Es ist ein langer (und leider immer noch nicht ganz verstandener) Weg vom Feinstaubkörnchen zum Planeten. Er beginnt auf jeden Fall in einer protoplanetaren Gasscheibe⁷, in unserem Falle dem solaren Urnebel. Mikroskopisch kleine Staubteilchen, vom turbulenten Gas mitgerissen, stoßen mit anderen zusammen und haften unter günstigen Umständen durch elektrische Kräfte aneinander. Auf diese Weise bilden sich – durch Zusammenballung – immer größere⁸ Gebilde, zunächst recht lockere. Diese sinken zur Mittelebene der protoplanetaren Scheibe. Dort kommt es wegen der hohen Teilchenkonzentration zu weiterem Wachstum. Größere Brocken tun dies auf Kosten der kleinen. Es bilden sich schließlich kilometergroße Planetesimale.

Es sei angemerkt, dass in dem Maße, in dem die Teilchen an Größe und Durchschlagskraft zunehmen, sie sich vom Gas abkoppeln und schließlich ihrer eigenen Wege gehen. Den Übergang zu beschreiben ist theoretisch an-

⁵Lediglich das Eisen fällt etwas heraus: In der generell fallenden Häufigkeitsverteilung der Elemente jenseits vom Bor, also ab dem Kohlenstoff, gibt es die sog. Eisenspitze, was damit zu tun hat, dass kernphysikalisch der Eisenatomkern der kompakteste Kern überhaupt ist. Man kann thermonuklear Energie gewinnen, indem man Kerne leichter als Eisen zu schwereren Kernen, Eisen eingeschlossen, verschmilzt (fusioniert) oder aber überschwere Atomkerne, wie Uran, in leichtere spaltet.

⁶unter Mitwirkung von Kondensationskeimen

⁷Staubige Scheiben, sog. Proplyds, kann man z. Z. als Silhouetten im Orionnebel bewundern, einem Sternentstehungsgebiet.

⁸Heftige Stöße können bereits Erreichtes durch Fragmentation wieder zunichte machen. Dies geschieht bei zu hoher Relativgeschwindigkeit der Stoßpartner. Erstaunlicherweise werden Stöße gut verkraftet. Das scheint der Porosität des Materials geschuldet, wodurch die Energie des Aufschlags absorbiert wird, ohne den Körper zu zersprengen.

spruchsvoll: Die Gasscheibe ist druckunterstützt⁹ und rotiert infolgedessen ein wenig langsamer, als von Kepler vorgeschrieben. Völlig vom Gas losgelöste Teilchen bewegten sich wie Planeten *à la* Kepler. Reale Teilchen liegen dazwischen und spüren daher Gegenwind. Durch aerodynamische Reibung spiralen Teilchen nach Innen, in Richtung Sonne. Die Driftgeschwindigkeit hängt von der Teilchengröße ab.

Geht es eventuell schneller? Gesetzt, der „Staub“ wird nicht durch Turbulenz¹⁰ aufgewirbelt, könnte die Eigengravitation einer extrem dünnen, sprich „kalten“¹¹, Scheibe aus Granulat den Vorgang der Planetesimalbildung erheblich beschleunigen: Unter dem Zugriff der Gravitation entstünden Planetesimale quasi „schlagartig“.

So ein nunmehr kilometergroßer Körper – keineswegs ein Monolith, treffender wäre der Begriff „Geröllhaufen“ (rubble pile) – hat den Vorteil, durch sein Eigengewicht zusammengehalten zu werden. Körper von Hunderten von Kilometern Abmessung beeinflussen gravitativ nicht nur sich selbst, sie ziehen auch andere in ihren Bann. Durch gegenseitige Anziehung und Verschmelzung „gerinnt“ ein Meer an Planetesimalen binnen kurzem (man spricht von einem „runaway“) zu einer überschaubaren Anzahl an Protoplaneten. Ein paar davon schaffen es, richtige Planeten zu werden, indem sie andere Protoplaneten einfangen. Beim Aufprall entsteht Wärme, sehr viel Wärme, welche den Protoplaneten teilweise aufschmilzt. Das Aufleuchten beim Einschlag dürfte lichtjahreweit zu sehen sein. Diesen Schwerkraft-getriebenen Einfallvorgang bezeichnet man als Akkretion. Aus Protoplaneten sind letztendlich die erdähnlichen Planeten und die festen Kerne der Gasriesen hervorgegangen. Bei den Riesenplaneten, welche über ausgedehnte Gashüllen verfügen, hat das rapide gravitative Aufsammeln (Akkretion) von Scheibengas ihr übriges getan.

Im Falle von Jupiter wäre sogar eine schnelle Geburt denkbar: durch eine Gravitationsinstabilität, welche die ganze Scheibe erfasst (nicht nur ihren Staubanteil). Dazu hätte es allerdings einer Urscheibe bedurft, die massenmäßig nicht mehr vernachlässigbar klein gegenüber der Ursonne gewesen wäre. Der

⁹Schlimmer noch: *turbulenz*druckunterstützt! Turbulenz versteht man bis heute nicht richtig, und das liegt nicht an den (magnetohydrodynamischen) Gleichungen! Die sind bekannt.

¹⁰Turbulenz könnte auch konstruktiv wirken, indem sie Staub in Wirbeln konzentriert.

¹¹Die Bezeichnung „kalt“ besagt, dass die Geschwindigkeiten der Staubpartikeln senkrecht zur Scheibe klein sind.

Planet wäre dann, sozusagen „im freien Fall“, aus einer zufälligen Verdichtung in der Scheibe hervorgegangen und das binnen weniger Tausend Jahre. Dieses Szenario erklärte zwanglos, wieso seine Chemie derjenigen der Ursonne gleicht¹². (Bekanntlich fallen im Schwerfeld alle Körper gleich schnell. Eine chemische Differenzierung unterbliebe.) Träfe das zu, wäre Jupiter in der Tat so etwas wie eine verhinderte Sonne.

Vor nicht ganz vier Milliarden Jahren, man schreibt das Hadaikum (Hadean), kam es zu einer himmelsmechanischen Säuberung. Eine 2:1-Bahnresonanz zwischen Jupiter und Saturn erschütterte das Sonnensystem. Dadurch wurden Uranus und Neptun nach draußen befördert. Nahezu alles unverbaute Kleinzeug, der „Bauschutt“ sozusagen, wurde von den vier Riesenplaneten gravitativ hinweggeschleudert – man kennt das vom „swing-by“ Manöver aus der Raumfahrt – oder aber nach Innen „gekickt“, auf den Weg zur Sonne. Damals kam’s zu den Einschlägen auf dem Mond, die wir heute als Maria¹³ bezeichnen. Das „heftige Bombardement“ jener Tage prägte das Antlitz des Mondes auf immer! Auch die Erde bekam ihren Teil ab. Doch sind die Narben des urzeitlichen Feuerregens längst durch Plattentektonik sowie Wind und Wetter getilgt. Nur Astrobleme („Sternwunden“) aus geologisch jüngerer Zeit, wie das Nördlinger Ries, sind noch nicht vom Erdboden getilgt.

Was an Kleinzeug das anfängliche Tohuwabohu überstand, findet sich heute im inneren Asteroidengürtel wieder. Es ist der klägliche Rest einer einst starken Population von Planetesimalen und Planetenembryos. Ceres und Vesta sind übrig gebliebene Protoplaneten! Der äußere Gürtel, der Kuiper-Gürtel (zumindest sein „kalter“¹⁴ Teil) hat von dem Tumult im inneren Sonnensystem wenig mitbekommen. Dort gibt es noch den begehrten Urstoff aus den Anfangstagen der protoplanetaren Scheibe, der weder der Sonne nahekam, noch sonst verändert wurde.

¹²Ob das stimmt, soll u. a. die Jupitersonde Juno herausfinden.

¹³Das neueste chinesische Mondmobil, Chang’e-4, wurde in einer der größten Einschlagsmulden des Planetensystems ausgesetzt: dem Südpol-Aitken-Becken.

¹⁴„Kalt“ bezieht sich auf die Kleinheit der Individualgeschwindigkeiten senkrecht zur Symmetrieebene. Je geringer diese „thermische“ Geschwindigkeit, desto „kälter“ und desto stärker die Konzentration zur Mittelebene.