

Ein großer Schritt Mit der erfolgreichen Mission der Apollo 11 ging ein Menschheitstraum in Erfüllung

Die Kunst der Balance Der Mond beeinflusst nicht nur Ebbe und Flut, sondern auch die Balance der Erde

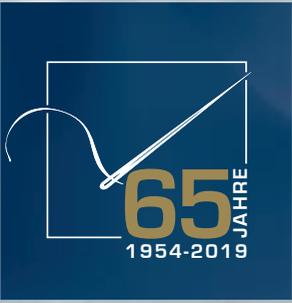
Der Megaflop Das ambitionierte Windradprojekt GROWIAN scheiterte an seinen eigenen Ansprüchen

KULTUR & TECHNIK



Auf zum Mond

Vor 50 Jahren landeten die ersten Menschen
auf dem Erdtrabanten



65 JAHRE
LEIDENSCHAFT
FÜR FEINE STOFFE

Handgefertigte

- Maßanzüge
- Maßhemden
- Maßblusen



müller maßmanufaktur
ganz ihre linie

muellermassmanufaktur.de

MABCENTER MÜNCHEN

Maximiliansplatz 17 | München
Mo-Fr 10.00 - 18.30 | Sa 10.00 - 16.00



**Liebe Leserin,
lieber Leser,**

50 Jahre ist es her, seit Neil Armstrong und Buzz Aldrin den Mond betraten. Nur drei Jahre danach, im Dezember 1972, fand mit Apollo 17 bereits der bis heute letzte bemannte Mondflug statt. Die Apollo-Astronauten brachten von jeder ihrer Missionen etliches Mondgestein zur Erde mit und hinterließen auf dem Mond allerlei Geräte für weitere wissenschaftliche Erkundungen. Künftige Besucher werden aber auch noch andere Hinterlassenschaften finden, Golfbälle beispielsweise, die der Astronaut Alan Shepard 1971 dort hinterließ. Er wollte testen, wie weit ein Golfball auf dem Mond fliegt. Die NASA erfasst all die zurückgelassenen Gegenstände in einer Liste: 800 waren es bis 2012, darunter auch eine Bibel und ein Olivenzweig aus Gold – als Symbol für den Weltfrieden.

Nach der Euphorie der Apolloyahre wurde es still um unseren Erdbegleiter. Doch in den letzten zehn Jahren rückt er erneut ins Blickfeld der Wissenschaft. Indien, China und zuletzt Israel starteten Sonden. Am 3. Januar 2019 konnte China die Raumsonde Chang'e 4 auf der noch weitgehend unerforschten Rückseite des Mondes platzieren. Und in Deutschland bauen derzeit ESA und DLR den größten Mondsimulator der Welt: eine 1000 Quadratmeter große Grube, voll mit künstlichem Mondstaub. Das Ziel der Forscher: eine Mondbasis. Die dazu notwendigen Technologien sollen in der Mondgrube getestet werden. Künftig wollen Wissenschaftler über längere Zeit auf dem Mond leben und forschen. Der Mond könnte zudem als Sprungbrett in weiter entfernt liegende Ecken des Welt-raums dienen, und auch Unternehmer sind interessiert an einem Basislager auf dem Mond. Sie hoffen auf die Möglichkeit, Bodenschätze und Wasser nutzen zu können.

»Auf zum Mond« haben wir daher unser Magazin betitelt: Denn die Eroberung unseres Trabanten scheint gerade in den letzten Jahren wieder an Schwung zu gewinnen. Im Mittelpunkt stehen natürlich die Helden der Apollo 11, auf ihrem Mut konnten alle weiteren Missionen aufbauen. Aber auch der Mond selbst kommt nicht zu kurz. Sie lesen

unter anderem über geflügelte Mondwesen und erfahren Details über die Komplexität des Erde-Mond-Systems. Wir laden Sie zu einer Mond-Entdeckungstour ins Deutsche Museum ein und stellen Ihnen die wichtigsten Filme rund um die Eroberung des Mondes vor. Der Mond, so das Fazit unserer Redaktion, hat nichts von seiner Faszination als Forschungsobjekt verloren und nichts von seiner Magie. Denn obwohl wir mittlerweile doch Einiges über ihn wissen und zumindest sicher sein können, dass er nicht bewohnt ist, erleben wir den Zauber einer hellen Mondnacht auf der Erde heute wie schon zu Eichendorffs Zeiten als etwas ganz Besonderes.

Viel Freude beim Lesen wünscht Ihnen

Professor Wolfgang M. Heckl
Generaldirektor

Mondnacht

Es war, als hätt der Himmel
die Erde still geküsst,
dass sie im Blütenschimmer
von ihm nur träumen müsst.

Die Luft ging durch die Felder,
die Ähren wogten sacht,
es rauschten leis die Wälder,
so sternklar war die Nacht.

Und meine Seele spannte
weit ihre Flügel aus,
flog durch die stillen Lande,
als flöge sie nach Haus.

Joseph von Eichendorff



6
Eine *Ideale Mondlandschaft* malte Wilhelm Kranz 1919 für das Deutsche Museum.



8
Die Mondpioniere Neil Armstrong, Michael Collins und Edwin Aldrin.



14
Noch Ende des 19. Jahrhunderts glaubten viele, dass es Leben auf dem Mond geben könnte.



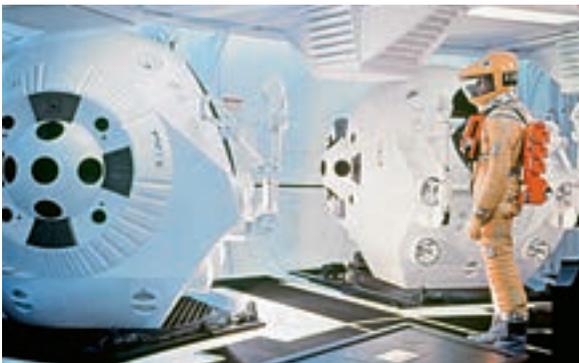
22
Der Mond mag klein sein, ist aber dennoch sehr wichtig für die Erde.



28
Astronauten brachten viele Kilogramm Mondgestein zur Erde mit.



34
An vielen – zum Teil auch überraschenden – Orten begegnet man dem Mond im Deutschen Museum.



40
Schon vor der ersten Mondlandung machten Schriftsteller und Filmemacher Mondreisen zum Thema.



50
GROWIAN sollte das größte Windrad der Welt werden und endete als Megaflop.



56
Fritz Haber schenkte dem Deutschen Museum 1933 ein Replikat seiner Apparatur zur Ammoniaksynthese.

AUF ZUM MOND

- 6** **Ideale Mondlandschaft**
Ein Ölgemälde für das Deutsche Museum | Von **Hannah Schnorbusch**
- 8** **Ein großer Schritt**
Die Pioniere der Apollo 11 | Von **Beatrix Dargel**
- 14** **Die vergessenen Kinder des Mondes**
Ideen zur Besiedelung des Erdtrabanten | Von **Christian Sicka**
- 22** **Die Kunst der Balance**
Über die Bedeutung des Mondes für die Erde | Von **Liliane Biskupek**
- 28** **Die Rätsel des Nachbarn**
Die Erforschung des Mondes | Von **Christian Rauch**
- 34** **Auf Mondfahrt im Deutschen Museum**
Eine Spurensuche | Von **Melanie Jahreis**
- 40** **Mythos und Abenteuer**
Der Mond in Literatur und Film | Von **Bernd Flessner**
-

MAGAZIN

- 50** **Der Megaflop**
Über das Scheitern eines Riesenwindrads | Von **Frank Dittmann**
- 56** **Fritz Habers letzte Amtshandlung**
Ein ganz besonderes Geschenk | Von **Stefan L. Wolff**
-

STANDARD

- 3** **Editorial**
- 46** **MikroMakro**
Die Seiten für junge Leser
- 60** **Innenansichten**
Playmobil-Ausstellung in Bonn
Führungen für Mitglieder
Freundes- und Förderkreis Deutsches Museum
Das Maß der Dinge
- 64** **Schlusspunkt**
- 66** **Vorschau, Impressum**

Ideale Mondlandschaft

Als 1925 die Ausstellung *Astronomie im Deutschen Museum* eröffnet wurde, präsentierte man den Besuchern eine Mondlandschaft in Öl. Von Hannah Schnorbusch

Auf die ersten Besucher, die 1925 die Abteilung Astronomie in dem frisch eröffneten Neubau des Deutschen Museums betraten, wirkte das über 3 Meter lange und 1,5 Meter breite Ölgemälde mit dem Titel *Ideale Mondlandschaft* von Wilhelm Kranz (1853–1930) sicher eindrucksvoll. Man sieht Bergzacken, einen tiefen Horizont, einen schwarzen Nachthimmel, stimmungsvolles Licht – zunächst einmal also ein konventionelles Landschaftsbild, ganz der Tradition der romantischen Malerei des 19. Jahrhunderts verhaftet.

Der fast schwarze Himmel im oberen Bildbereich hebt sich stark von der hellen Horizontlinie darunter ab. Die Sonne taucht die zackigen Felsblöcke und den harten Untergrund im Bildzentrum in ein warmes Licht. Im unteren Bild Drittel kontrastiert die helle Fläche wiederum mit einem ebenfalls sehr dunkel gehaltenen verschatteten Bereich. Ruhig und friedlich liegt sie da, die schroffe Szenerie. Man könnte sich an eine Gletscherlandschaft erinnert fühlen, an ein nächtliches Alpenszenario oder eine raue norwegische Fjordlandschaft, an Mondmaler wie Karl Rottmann, Johann Christian Dahl, Carl Gustav Carus oder gar Caspar David Friedrich.

Doch dann, schon auf den zweiten Blick, springt einem der »Clou« des Bildes ins Auge: Dort, wo man den Mond

Zum Weiterlesen

Vanessa Moos, *Der Sternenhimmel. Gestirne und astrale Phänomene in der Kunst des 19. Jahrhunderts*, Berlin 2016.

James Nasmyth, James Carpenter, *The Moon Considered as a Planet, a World, and a Satellite*, 1874.

Carmen Pérez González (Hrsg.), *Selene's Two Faces. From 17th Century Drawings to Spacecraft Imaging*, Leiden / Boston, Brill, 2018.

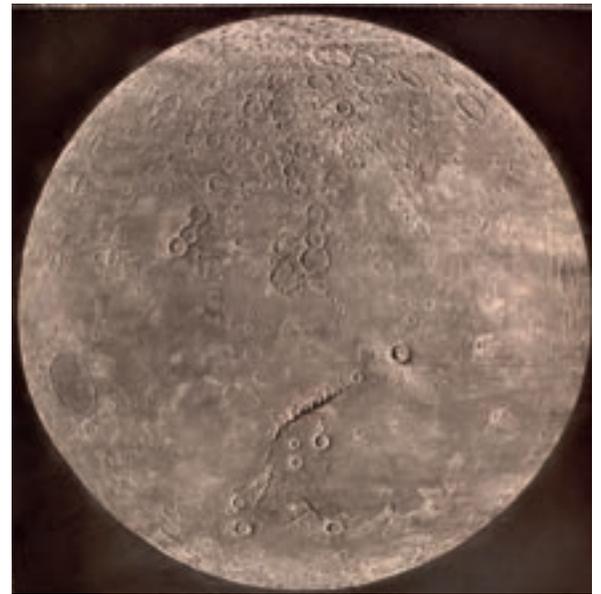
erwarten würde, rund oder sichelförmig, steht hier die Erde am Himmel, zu etwa drei Vierteln angestrahlt, blau, mit kleinen helleren Flecken bedeckt. Der imaginierte Betrachterstandpunkt befindet sich also auf dem Mond, rechter Hand in seinem Rücken muss man sich die Sonne denken, deren Licht Mond und Erde gleichermaßen anstrahlt, die Mondkrater zackige Schatten werfen lässt und einen Teil der Gewässer und Kontinente auf der rechten Seite der Erdkugel sichtbar macht. Der romantische Blick bleibt derselbe, die Perspektive jedoch ändert sich.

Bemerkenswert realistisch sei die Darstellung der Mondoberfläche in Kranz' Gemälde von 1919, so wurde vielfach betont. Ein Zufall? Was wusste man 1919 überhaupt vom Aussehen des Mondes?

Wilhelm Kranz war der ehemalige Leiter des wissenschaftlichen Theaters der Urania Berlin. Die 1888 ins Leben gerufene Urania, deren erklärtes Ziel es war, wissenschaftliche Inhalte einem Laienpublikum verständlich und anschaulich zu vermitteln, umfasste neben dem Theater und einem physikalischen Kabinett auch eine Sternwarte. Wilhelm Kranz war also zweifelsfrei mit der »Materie« Mond vertraut, hatte den Mond durch das Teleskop betrachtet und sich ein Bild von seiner Oberfläche machen können.



Die kleinen Bilder links und unten zeigen den Mond sowie Ausschnitte der Mondoberfläche, fotografiert von James Nasmyth. Nasmyth publizierte diese Fotografien 1874 in dem Buch *The Moon, Considered as a Planet, a World and a Satellite*. Wilhelm Kranz dürfte diese Abbildungen bereits gekannt haben.



Neben Zeichnungen, die anhand der Beobachtung des Mondes durch das Teleskop angefertigt wurden, spielte sicherlich auch die immer besser werdende Fotografie eine wichtige Rolle. Schon seit dem Beginn der Entwicklung der Fotografie versuchte man, den Mond abzubilden, die Beschaffenheit seiner Oberfläche einzufangen. Die älteste erhaltene Mond-Daguerreotypie stammt aus dem Jahr 1840: Sie wurde von dem amerikanischen Physiker John William Draper von seiner Dachsternwarte aus aufgenommen. Erkennen kann man auf dieser Abbildung kaum mehr als das, was man auch mit bloßem Auge am Himmel sieht: ein helles kreisrundes Objekt mit einer dunkleren Sichel auf der linken Seite. Rasant werden die Aufnahmen jedoch besser. Auf einer Aufnahme des Astronomen Lewis M. Rutherfurth aus dem Jahr 1865 sind die Mondkrater bereits gut zu erkennen.

Inspiration durch Fotografien

Eine weitere Inspirationsquelle für Wilhelm Kranz könnten die Mondstudien von James Nasmyth (1808–1890) gewesen sein. Der schottische Ingenieur, Künstler und Philosoph, der vor allem für seine Erfindung des Dampfhammers bekannt ist, war ein passionierter Hobbyastronom. Er entwickelte ein Teleskop, das nach ihm

Ideale Mondlandschaft, 1919 von Wilhelm Kranz gemalt. Öl auf Leinwand, 151 × 326 cm. Das Bild ist im Besitz des Deutschen Museums, wird derzeit jedoch nicht ausgestellt.



DIE AUTORIN

Hannah Schnorbusch hat Klassische Archäologie, Philosophie und Kunstgeschichte in München und Rom studiert. Sie arbeitet als wissenschaftliche Hilfskraft am Deutschen Archäologischen Institut in Madrid.

benannte Nasmyth-Teleskop, mit dem er jahrelang die Beschaffenheit der Mondoberfläche erforschte, Zeichnungen anfertigte und auf deren Basis erstmals ein Gipsmodell der Mondoberfläche entwarf. Die Fotografien des Gipsmodells fanden sich wiederum in seiner 1874 veröffentlichten, gemeinsam mit James Carpenter verfassten, Schrift *The Moon Considered as a Planet, a World, and a Satellite* reproduziert, die großen Anklang fand und in mehrere Sprachen übersetzt wurde und die Wilhelm Kranz mit großer Wahrscheinlichkeit bekannt gewesen sein dürfte.

Kranz' *Ideale Mondlandschaft* entsteht also nicht völlig aus dem Blauen heraus und ist vermutlich sehr viel weniger surrealistisch gedacht als sie der unbedarfte Betrachter damals empfunden haben dürfte.

Stilistisch gesehen mag das Gemälde wenig innovativ sein, avantgardistisch ist das Bild dennoch. Statt den fernen Mond andächtig von der Erde aus zu betrachten, stehen wir als Betrachter nun auf dem schroffen Untergrund des Mondes und sehen die Erde in weiter Ferne. Täten wir nun noch ein paar Schritte weiter nach vorne, so träten wir aus dem Schatten in das helle, warme Licht.

Wie schade, dass Wilhelm Kranz nicht mehr erlebt hat, wie 50 Jahre später das Bild des ersten menschlichen Fußabdruckes auf dem Mond um die ganze Welt geht. ■■



Die Besatzung der Apollo 11 (von links): Kommandant Neil Alden Armstrong, Kapselpilot Michael Collins und der Pilot der Mondlandefähre Edwin Aldrin.

Ein großer Schritt

Vor 50 Jahren landeten die ersten Menschen auf unserem Erdtrabanten. Untrennbar mit der Eroberung des Mondes verbunden sind die Namen derjenigen, die als Erste diese Mission wagten: Neil Armstrong, Michael Collins und Buzz Aldrin. Von Beatrix und Gero Dargel

Obwohl er nie berühmt werden und aus seinem Leben auch kein Museum machen wollte, ist Neil Alden Armstrong als Erster unter den Monderoberern natürlich am bekanntesten. Geboren wurde er am 5. August 1930 auf einer Farm bei Wapakoneta, einer winzigen Stadt im amerikanischen Bundesstaat Ohio. Neil war vielseitig interessiert und lernte früh lesen. Der Zweite Weltkrieg und besonders Pearl Harbor hatten unerwartete Auswirkungen auf den jungen Armstrong. Die damals gerade neu gegründete Pfadfindergruppe »25« in Upper Sandusky, deren

Schriftführer der aufgeweckte Junge geworden war, bekam den Auftrag, Modelle herzustellen, mit deren Hilfe man Erkennen und Unterscheiden von Flugzeugen trainieren konnte. Auftraggeber waren die Verteidigungsbehörden.

Für Neil eine willkommene Abwechslung: Hatten doch Balsaholz und Seidenpapier bereits in den Jahren davor sein Taschengeld verschlungen. Flugzeuge waren seine Leidenschaft, seit die Mutter dem Dreijährigen ein kleines Flugzeug für zwanzig Cent gekauft hatte. Der Vater, Stephen Armstrong, erinnerte sich später: »Von da an liebte

Neil Flugzeuge, und schwirrte damit ständig im und ums Haus herum«.

Geschwänzte Sonntagsschule

Einige Jahre später waren Vater Stephen und Sohn Neil auf dem Weg zur Sonntagsschule. Über der Stadt Warren wurden Rundflüge angeboten. Der Haken daran war, dass sie im Laufe des Tages immer teurer wurden. Mit Billigung des Vaters wurde kurz entschlossen die Sonntagsschule geschwänzt. Stattdessen flogen Vater und Sohn mit der »Blechgans«, einer Ford Trimotor, mit Platz für 12 Passagiere in Korbstühlen. Spätestens an diesem Tage stand der Berufswunsch des kleinen Armstrong fest: Flugzeugkonstrukteur wollte er werden, später dann Pilot, weil: »ein guter Konstrukteur auch die praktischen Aspekte des Fliegens kennen sollte.«

In der Folgezeit entstanden zunächst einmal ungezählte Flugmodelle. Weil das Taschengeld knapp bemessen war, meistens unmotorisierte Exemplare, oder solche mit Gummimotor. Später, an der Uni, entwarf und baute Neil auch Modelle mit Verbrennungsmotor und rasante Steuerleinenflitzer.

Flugunterricht

Selbst in die Luft zu kommen war für einen fünfzehnjährigen Schüler eine sehr teure Angelegenheit. Neil fand einen Job in einer Apotheke. Der brachte 40 Cent pro Stunde ein. Eine Flugstunde kostete damals neun Dollar. Um sich eine Flugstunde leisten zu können, musste Neil 22,5 Stunden arbeiten. Der Flugunterricht auf alten Militär- und Schulflugzeugen fand auf einem Grasflugplatz in der Nähe von Wapakoneta statt. Ausbilder waren drei erfahrene Army-Piloten. Ein neueres Flugzeug, ein Leichtflugzeug vom Typ Aeronca gab es auch, und auf dieser Maschine lernte Neil Armstrong fliegen.

Am 5. August 1946, mit 16 Jahren, erhielt er seinen Schülerpilotenschein. In der darauffolgenden Woche fand sein erster Soloflug statt. Ohne Fluglehrer kostete die Flugstunde sieben Dollar. Das Leben in den Lüften wurde etwas günstiger. Neil nutzte die neu gewonnene Freiheit gleich für praktische Zwecke. Er flog mit der Aeronca zur Eignungsprüfung für das Collegestipendium an der

Purdue University in West Lafayette, wurde zum Studium angenommen und erhielt ein Stipendium der US-Navy. Nach drei Semestern jedoch wurde er bereits zum Militärdienst eingezogen und zum Kampfpiloten ausgebildet. Bei einem Einsatz im Koreakrieg konnte er sich aus seiner beschädigten Maschine mit dem Schleudersitz retten, eine Rettungsmöglichkeit, auf die er später, in seiner Astronautenkarriere auch noch einmal zurückgreifen musste.

Im Frühjahr 1952 war für Neil der Koreakrieg zu Ende und er konnte sein Studium fortsetzen. Mit dem Diplom in der Tasche, bewarb er sich als Testpilot beim National Advisory Committee for Aeronautics (NACA), einem namhaften Forschungsinstitut, aus dem später die NASA hervorgehen sollte. Bereits drei Jahre später hatte er seine Traumposition erreicht, er war Testpilot im Flight Research Center in Edwards, Kalifornien. Hier war der leidenschaftliche Flieger nun hautnah dran an den wegweisenden Hochgeschwindigkeitsflugzeugen dieser Jahre, beispielsweise an der »X-15«.

Schon fast im Weltraum

Armstrong war sowohl an den Pilotprojekten wie auch an den technischen Aspekten dieses Raketenflugzeugs beteiligt. Er arbeitete eng mit Designern und Ingenieuren zusammen und absolvierte von Dezember 1960 bis Juli 1962 sieben Flüge mit diesem Raketenflugzeug. Während der Einsätze erreichte er in der »X-15-3« eine Flughöhe von 207 500 Fuß (63 246 Meter).

Bei der Definition, wo die Erdatmosphäre endet und der Weltraum beginnt, gehen die Ansichten auseinander. Die Fédération Aéronautique Internationale (FAI) definiert die Grenze zum Weltraum bei 100 Kilometern Höhe über dem Meeresspiegel. In dieser Höhe halten sich aerodynamisch erforderliche Fluggeschwindigkeit und Umlaufgeschwindigkeit die Waage. Auch die NASA schließt sich dieser Definition an. Nur die amerikanische Air Force hat eine andere Grenze festgelegt. Nach ihrer Definition beginnt der Weltraum bei einer Höhe von 50 Meilen. Die 207 000 Fuß, die Armstrong erreicht hatte, sind also noch nicht ganz im Weltraum, aber die Weltraumabenteuer lagen zu dieser Zeit ja auch noch vor ihm. Für die neu gebildeten Astronautengruppen kam Neil Armstrong erst ein-



1966 war Neil Armstrong Pilot der Gemini 8, mit der erstmals die Koppelung zweier Raumfahrzeuge in der Erdumlaufbahn gelang.



Wegen Problemen mit dem Treibstoff musste die Gemini 8 Mission vorzeitig abgebrochen werden. Das Bild zeigt die Notwasserung von David Scott und Neil Armstrong im Pazifik.



Im schweren Raumanzug trainierte Neil Armstrong das Besteigen des Mondfahrzeugs.

werke konnten die beiden Raumfahrzeuge getrennt werden. Der Treibstoff wurde knapp und noch vorgesehene Experimente mussten abgebrochen werden. Bereits nach knapp elf Stunden beendete eine Notwasserung im Pazifik die Gemini-8-Mission.

Nach Abschluss des Gemini-Projekts fand Neil einen Platz im Apollo-Projekt. Das Projekt und die Teams waren hochdynamisch. Vor allem die Mondlandefähre war ständigen Veränderungen und Neuplanungen unterworfen. Dieses Element des Apollo-Projekts wurde sprichwörtlich in letzter Minute fertig. Das Training für die Mondlandung erfolgte währenddessen mit einem Lunar Landing Research Vehicle (LLRV) und einem Lunar Landing Training Vehicle (LLTV) auf der Ellington Air Force Base in der Nähe von Houston.

Mondlandung auf der Erde

Das Training der eigentlichen Landephase auf dem Mond unter irdischen Bedingungen war eine besondere Herausforderung für die NASA-Ingenieure. Immerhin beträgt die Schwerkraft unter Mondbedingungen ja nur ein Sechstel der irdischen. Um den Astronauten das entsprechende Gefühl zu vermitteln, wurden die beiden Simulatoren gebaut. Ein Düsentriebwerk gleicht die Schwerkraftdifferenz aus, Lageregelungstriebwerke ähnlich denen, die auch beim späteren Mondlander eingesetzt werden sollten, dienten der Steuerung. Diese wurde erstmals über eine sogenannte Fly-by-Wire-Technologie realisiert. Drei analoge Computer berechneten aus den Steuereingaben des Piloten die Schubwerte der Steuerdüsen. Armstrong absolvierte am 27. März 1967 den ersten LLRV-Flug eines Astronauten.

Armstrong sagte über das LLTV: »(The LM) Eagle flog sehr ähnlich wie das Lunar Landing Training Vehicle, das ich mehr als 30 Mal geflogen war. [...] Ich hatte im Trainer 50 bis 60 Landungen gemacht, und die letzte Flugbahn, die ich zur Landung geflogen habe, war sehr ähnlich der dann über dem Mond in der Praxis geflogenen. Das gab mir natürlich viel Selbstvertrauen – eine bequeme Vertrautheit.«

Absturz auf die Erde

Am 6. Mai 1968 trainierte Neil zum wiederholten Male die Landung im Mondlandefahrzeug Nr. 1 (LLRV-1). Es

mal nicht infrage. Er war aus der Navy ausgeschieden, und Raumfahrt war damals eine ausschließlich militärische Angelegenheit. Bei der zweiten, 1962 vorgestellten Gruppe kam er dann aber doch noch zum Zuge und wurde Teil des Gemini-Projektes. Nach einigen Jahren Arbeit an Simulatoren, als Ersatzmann für das Gemini-5-Team und als Verbindungssprecher am Boden, war es am 16. März 1966 endlich soweit. Neil Armstrong sollte als Kommandant mit Gemini 8 fliegen.

Gefährliches Taumeln und eine Notwasserung im Pazifik

Die ersten Phasen des Fluges waren erfolgreich. Zusammen mit seinem Piloten David Scott führte Neil das Gemini-Raumschiff an einen bereits im All befindlichen Zielsatelliten heran. Während das Andocken reibungslos verlief und die gekoppelten Raumschiffe die Erde umkreisten, schaukelten sich jedoch Roll- und Nickschwingungen unkontrolliert auf. Es war nicht möglich, manuell die Kontrolle über die Gemini-Kapsel wiederzuerlangen. Erst unter Einsatz der eigentlich für die Bremsung zum Wiedereintritt in die Erdatmosphäre vorgesehenen Trieb-



Nach geglückter Landung am 20. Juli 1969 posiert Neil Armstrong vor dem Landefahrzeug.

war sein 22. Flug mit diesem Landetestgestell. Nachdem er etwa fünf Minuten in der Luft gewesen war, verlor er plötzlich die Kontrolle. Etwa 200 Meter über dem Boden entschied er sich für den Schleudersitz. Während der LLRV beim Aufprall zerstört wurde, landete Armstrong unverletzt am Fallschirm. Die Crash-Untersuchung ergab, dass ein Druckverlust in einem Heliumtank das Unglück verursacht hatte. Vor der Wiederaufnahme der Tests wurden zusätzliche Sicherungen und Anzeigeeinstrumente nachgerüstet. Später setzte Armstrong sein Mondlandungstraining im LLTV-2 fort. Seinen letzten Trainingsflug absolvierte er nur drei Wochen vor dem Start der historischen Mondlandungsmission.

Erfolgreiche Karriere

1970 wurde Armstrong zum stellvertretenden Leiter des Washingtoner Aeronautikbüros der NASA befördert. Von 1971 bis 1979 lehrte er als Professor für Luft- und Raumfahrttechnik an der University of Cincinnati und wechselte später in die Wirtschaft, wo er Aufsichtsratsmandate und Managementposten innehatte. Durch die Gründung eigener Firmen wurde er zum Millionär. Neil Armstrong starb am 25. August 2012 an den Folgen einer Herzerkrankung.

Buzz Aldrin – Astronaut mit Dokortitel

Buzz Aldrin wurde am 20. Januar 1930 in Montclair, New Jersey, als Edwin E. Aldrin Jr. geboren. »Buzz« ist ein Spitzname aus frühester Jugend: Die kleine Schwester hatte ihn »Buzzer« statt »Brother« genannt. Später ließ er seinen Namen sogar offiziell zu »Buzz« ändern.

Buzz besuchte die US-Militärakademie in West Point, trat in die Luftwaffe ein und absolvierte eine Jet-Pilotenausbildung. Mit der »F-86«, damals der modernste amerikanische Düsenjäger, flog er sechshundsechzig Kampfeinsätze in Korea. Nach seiner militärischen Ausbildung studierte er ab 1959 am Massachusetts Institute of Technology Aeronautics und promovierte 1963 mit einer Arbeit über Navigationstechniken für bemannte Rendezvous im Orbit. Seine theoretischen Vorarbeiten konnte er bereits wenige Jahre später in der Praxis anwenden. Der frischgebackene Doktor der Aeronautik wurde 1963 Mitglied der dritten NASA-Astronautengruppe.

Das Gemini-Projekt, welches in diesen Jahren gerade mit Hochdruck betrieben wurde, ging seinem Abschluss entgegen. Im Fokus standen Rendezvous und Andockmanöver, genau die Themen, die Aldrin besonders am Herzen lagen. Neben seinen theoretischen Kenntnissen fiel Buzz Aldrin besonders auch durch unkonventionelle Lösungsideen für auftretende Probleme auf. Als sich bei einem Zielsatelliten die Verkleidung nicht gelöst hatte und das Experiment zu scheitern drohte, schlug er einen Außenbordeinsatz vor. Nicht bei allen Vorgesetzten stieß Aldrin damit auf offene Ohren. Auch weil das Ende des Gemini-Projekts unmittelbar bevorstand, erschien sein Einsatz im Weltraum erst einmal fraglich.

Rendezvous außenbords

Als jedoch im Februar 1966 zwei Astronauten bei einem Flugzeugabsturz verunglückten, rückte auch Aldrin in die Reihe der aktiven Astronauten vor. Sein erster Weltraumeinsatz erfolgte mit Gemini XII. Innerhalb von vier Tagen umrundete er die Erde 59-mal. Das Gemini-Programm, das mit diesem Flug abgeschlossen wurde, stand bereits ganz im Zeichen der Vorbereitung der Mondflüge. Aldrin absolvierte dabei auch mehrere Außenbordeinsätze. Die dabei erarbeiteten und verifizierten Methoden erwiesen sich später als entscheidend für das Apollo-Projekt.

Trockentraining

Die Hauptaufgabe von Apollo 11 bestand darin, die Raumfahrer zum Mond und wieder zurück zu transportieren. Das wissenschaftliche Programm »oben« war für die erste Mission recht überschaubar. Geologische Experimente standen immerhin auf dem Plan. Es gab unterschiedliche Theorien über die Frühgeschichte des Mondes. Da wäre es nützlich gewesen, einen Geologen in der Mannschaft zu haben. Doch Wissenschaftler als Astronauten waren erst für eine spätere Mission vorgesehen. Also galt es, dem Apollo-11-Team ein geologisches Rüstzeug zu verpassen.

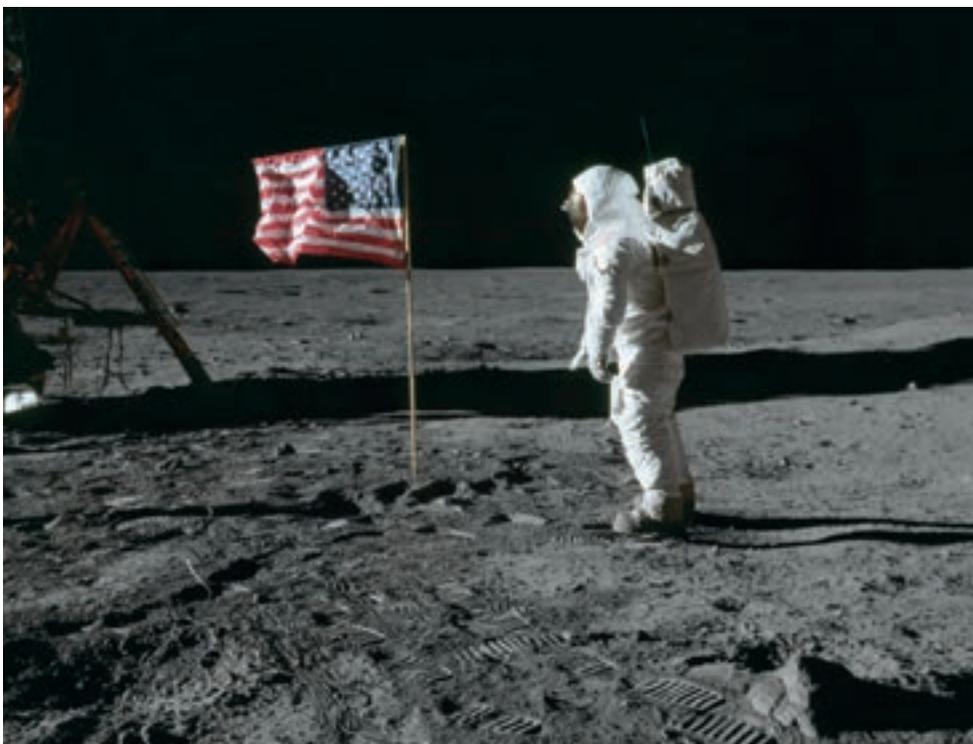
Am 24. Februar 1969 unternahmen also Armstrong und Aldrin zusammen mit ihrem Back-up-Team Lovell und Haise eine spezielle geologische Ausbildungsreise auf der Erde. Die geologische Feldübung in West-Texas fand in der Nähe von Sierra Blanca bei den Ruinen von Fort



Auf dem Mond sollten die Astronauten vor allem Steine einsammeln. Das Know-how dazu wurde Buzz und Neil während einer geologischen Ausbildungsreise vermittelt.



Edwin »Buzz« Aldrin hat die Systeme der Mondfähre gestartet.



Dieses Bild wurde zum Symbol für die gelungene Mission. Astronaut Edwin Aldrin steht neben der amerikanischen Flagge.

Quitman statt. Begleitet von einem Team ausgebildeter Geologen erkundeten sie die Vielfalt der vor Ort vorhandenen Gesteine. Das Training scheint erfolgreich gewesen zu sein, immerhin haben sich die Wissenschaftler nie über die Qualität des vom Mond mitgebrachten Gesteins beschwert. Die Frage, welcher der beiden Mondbesucher am Ende der erste sein würde, wurde übrigens durch rein praktische Gegebenheiten entschieden. Aldrin hätte, um der Erste zu sein, in der engen Mondfähre über Armstrong klettern müssen. Ein Ding der Unmöglichkeit.

1971 verließ Buzz Aldrin die NASA und wurde Leiter des Astronautenausbildungszentrums auf der Edwards Air Force Base. Nachdem die Spannung der Mondmission von ihm abgefallen war, hatte er einige Schwierigkeiten ins »normale« Leben zurückzufinden. Er hatte mit Depressionen und Alkoholproblemen zu kämpfen, bevor er sich selbst einige Jahre später im Flug des Lebens wieder stabilisieren konnte.

Bücher und Patente

Buzz verfasste später einige Bücher über seine Aktivitäten im US-Weltraumprogramm. Unter anderem eine Autobiografie mit dem bezeichnenden Titel *Return to Earth*, denn, wie er sagte, bestand der schwerste Teil seines Lebens nicht darin, zum Mond zu fliegen, sondern dem entgegenzutreten, was ihn bei der Rückkehr erwartete. Zu seinem Anliegen, die Weltraumerforschung zu popularisieren, zählte unter anderem auch eine Tätigkeit als Berater bei der Produktion eines Computerspiels: *Buzz Aldrin's Race into Space*. Es wurde 1992 veröffentlicht.

Aldrin wurden mehrere US-Patente erteilt. Im Jahr 1996 gründete er seine Firma Starcraft Boosters, die kos-

Bilder rechte Seite: Michael Collins war es nicht vergönnt, seinen Fuß auf den Mond zu setzen. Während seine Kollegen die ersten Schritte wagten, umkreiste er den Mond mit der Apollokapsel, die die drei Astronauten anschließend wieder wohlbehalten zur Erde zurück brachte.

tengünstige Raumfahrtssysteme entwirft, ebenso 1998 die ShareSpace Foundation, eine gemeinnützige Stiftung, die den Weltraumtourismus fördern will. 2002 wurde er in eine Kommission berufen, die die Zukunft der amerikanischen Luft- und Raumfahrtindustrie untersuchte.

Michael Collins: Der Kommandant

Michael Collins wurde am 30. Oktober 1930 in Rom geboren. Die Familie, sein Vater war Militärattaché, zog später zurück in die USA. Michael wuchs in Washington auf. Er absolvierte die US-Militärakademie in West Point, und erhielt dort seinen Bachelor of Science. Wie viele andere Astronauten auch diente Collins vor seiner NASA-Zeit als Jagdflieger und Testpilot am Luftwaffenstützpunkt der Edwards Air Force Base. Von 1959 bis 1963 verzeichnete er mehr als 4200 Flugstunden.

Kein Spaziergang im Weltraum

Im Oktober 1963 wurde Michael Collins in die dritte von der NASA benannte Astronautengruppe nominiert. Er war Pilot der dreitägigen Gemini-10-Mission, die am 18. Juli 1966 startete. Gemeinsam mit seinem Kommandanten John Young dockten sie erfolgreich an einem Agena-Zielsatelliten an, manövierten die gekoppelten Raumfahrzeuge in andere Orbits und absolvierten mehrere Außenbordeinsätze.

Später flog Gemini 10 noch ein Rendezvous zu GATV-8, einem eigentlich für eine frühere Mission gestarteten Zielsatelliten. Young hatte das Raumschiff bis auf wenige Meter Entfernung an den Zielsatelliten herangesteuert. Collins hangelte sich hinüber, um von dort eine Platte zur Bestimmung der Mikrometeoriten-Auswirkung zu holen. Beim ersten Versuch rutschte er an der glatten Oberfläche ab und taumelte ins All, konnte aber seine Lage stabilisieren und zum Raumschiff zurückkehren.

Collins war für einen der frühen Apollo-Flüge vorgesehen. Aber auch für ihn änderten sich die Planungen einige Male. Der ursprünglich für Dezember 1967 vorgesehene Flug wurde auf Dezember 1968 verlegt. Statt eines Tests der Mondfähre sollte nun ein Direktflug zum Mond mit Apollo 8 durchgeführt werden, doch Collins musste Mitte 1968 aus gesundheitlichen Gründen aus dem Team aus-



scheiden. Ein Bandscheibenvorfall im Halswirbelbereich. Collins wurde operiert und er musste mehrere Monate eine Halskrause tragen. Während des Fluges konnte er aber immerhin von Houston aus als Verbindungssprecher an der Flugleitung mitarbeiten.

Nach seiner Genesung Ende 1968 wurde Collins als Pilot der Apollo-11-Kommandokapsel nachnominiert. Buzz Aldrin, der diese Aufgabe eigentlich übernehmen sollte, wurde stattdessen Pilot der Mondfähre. Der ursprünglich dafür eingeteilte Fred Haise rückte in die Ersatzmannschaft. Als Kommandant von Apollo 11 war Neil Armstrong vorgesehen. Zu diesem Zeitpunkt war noch nicht klar, ob mit Apollo 11 die erste bemannte Mondlandung durchgeführt werden würde.

Der Adler landet

Collins entwarf übrigens auch das Missionsabzeichen von Apollo 11: ein Adler, der auf dem Mond landet. Die Signets früherer Missionen zeugten eher vom Humor der Teams, Comicfiguren waren nicht selten. Apollo 11 dagegen bekam ein symbolträchtiges Abzeichen. Das amerikanische Wappentier landet auf dem Mond. Die Mondlandung des »Eagle« konnte Collins 1969 aus nächster Nähe verfolgen, seinen Fuß ebenfalls auf den Erdtrabanten zu setzen, blieb ihm verwehrt.

Quarantäne

Länger als die Mondreise dauerte im Übrigen die Quarantäne nach der Rückkehr zur Erde. Aus Sorge vor unbekanntem Krankheitserregern wurden die Crew, sämtliches Ausrüstungsmaterial und das gesammelte Mondgestein unmittelbar nach der Wasserung in einem speziellen Container verschlossen. Die Astronauten saßen also für mehrere Wochen in einem überdimensionalen Wohnwagen fest. Der Kontakt zur Außenwelt war nur durch eine Glasscheibe und per Telefon möglich. Auch die Dankesrede von Präsident Nixon hörten die Mondfahrer nur durch die Scheibe. Erst nachdem sich die NASA-Mediziner sicher waren, dass die Astronauten keine Krankheitserreger eingeschleppt hatten, begann für Armstrong, Aldrin und Collins wieder das normale Leben. Nach dem Apollo-11-Flug bekam Collins das Angebot, Ersatzkommandant von



Apollo 14 zu werden, mit der Aussicht, als Kommandant von Apollo 17 selbst den Mond zu betreten. Collins lehnte jedoch ab.

Im Januar 1970 verließ Collins die NASA und wurde stellvertretender Staatssekretär für öffentliche Angelegenheiten. Ein Jahr später trat er der Smithsonian Institution als Direktor des National Air and Space Museum bei, wo er sieben Jahre blieb. In dieser Position war er für den Bau des neuen Museumsgebäudes verantwortlich, das im Juli 1976 vorzeitig eröffnet wurde und unter den veranschlagten Kosten blieb.

Im April 1978 wurde Collins Unterstaatssekretär der Smithsonian Institution. 1980 wurde er Vizepräsident der LTV Aerospace and Defence Company und trat 1985 zurück, um eine eigene Firma zu gründen.

Collins absolvierte zwei Raumflüge mit 266 Stunden, von denen 1 Stunde und 27 Minuten außerbords verbracht wurden. Er schrieb über seine Erfahrungen mit dem Weltraumprogramm mehrere Bücher, darunter 1974 *Carrying the Fire. An Astronaut's Journeys*. 1975 *Flying to the Moon and Other Strange Places*. 1988 schrieb er *Liftoff: Die Geschichte von Amerikas Abenteuer im Weltraum*. Heute ist Michael Collins Luftfahrtberater und -schriftsteller.

So unterschiedlich die Persönlichkeiten der Männer auf dem Weg zum Mond auch waren, sie eint ein einzigartiges Abenteuer. Die gemeinsame Anstrengung von über 400 000 Wissenschaftlern und Ingenieuren, Technikern und Fachleuten an unzähligen Arbeitsplätzen hat es einer kleinen Anzahl Astronauten ermöglicht, ihren Fußabdruck im Staub des Mondes zu hinterlassen. Und der Wissenschaft Erkenntnisse, die auch unser Leben betreffen. ■■■

Nach der glücklichen Rückkehr wurden die Mondfahrer sofort unter Quarantäne gestellt. Der damalige US-Präsident Richard Nixon, besuchte die Helden der Nation. Seine Dankesrede wurde in den fest verschlossenen Quarantänecontainer übertragen.



DIE AUTOREN

Dipl. Ing.(FH) Beatrix Dargel ist seit 2001 in München als Fach- und Fotojournalistin tätig.

Dr.-Ing. Gero Dargel, studierte Maschinenbau und arbeitet im Softwarebereich. Technik, Technikgeschichte, Modellbau, Luftfahrt und Luftbilder sind gemeinsame Themen.

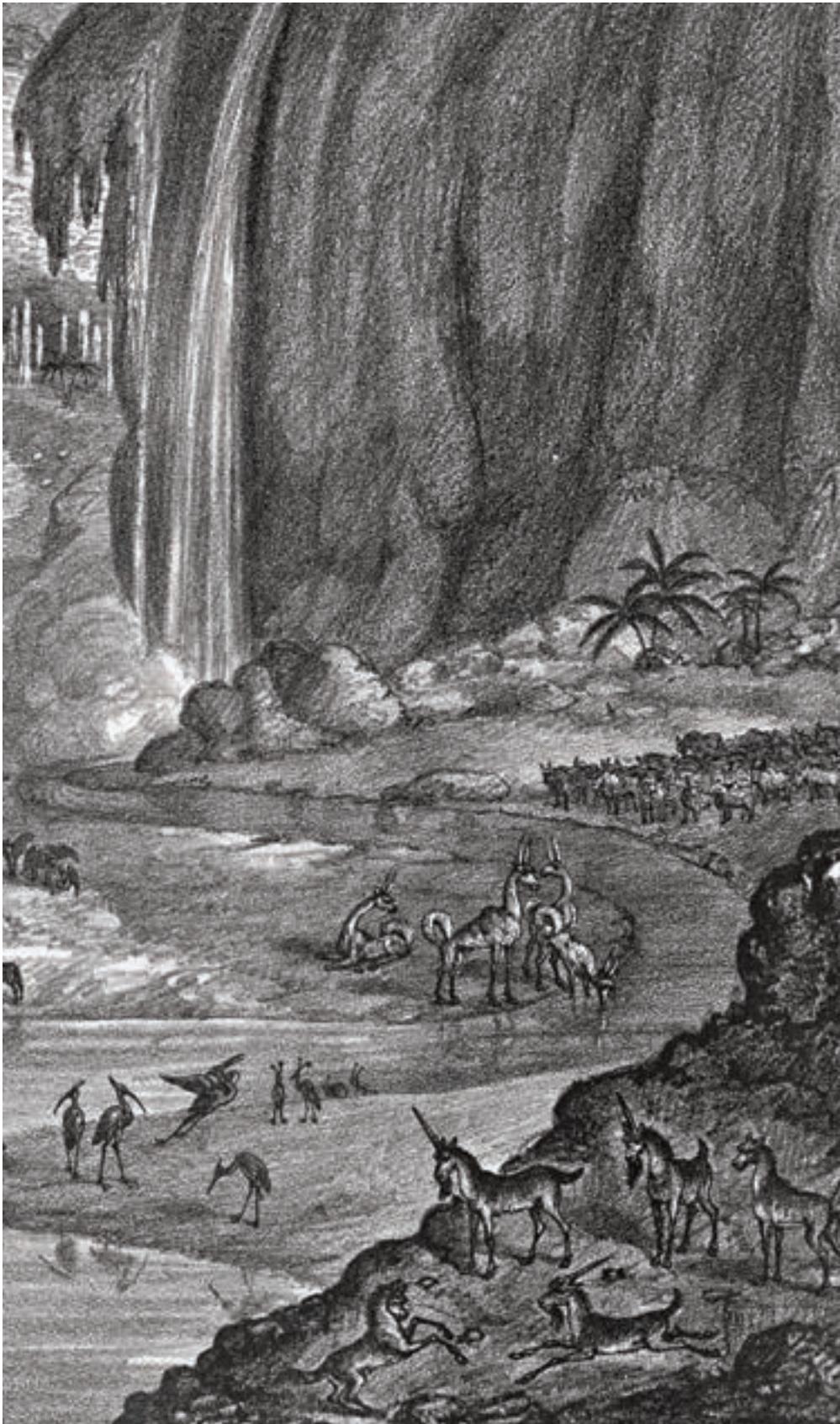


Die vergessenen Kinder des Mondes

Menschen mit Flügeln, zweibeinige Biber und zahlreiche Bäume – die Nachricht von der angeblichen Beobachtung der Mondbewohner faszinierte 1835 viele Menschen. Von Christian Sicka

Ein Blick zum Mond lohnt sich immer. Mit diesem Satz werben Volkssternwarten wie auch die des Deutschen Museums um Besucher. Mit den beiden historischen Teleskopen in der West- und der Ostkuppel des Ausstellungsgebäudes auf der Museumsinsel ist der Mond ein ideales Beobachtungsobjekt. Doch selbst beim Blick durch den

imposanten Zeiss-Refraktor in der Westkuppel können wir nicht sehen, was John Herschel, der Sohn des großen Astronomen Wilhelm Herschel, Anfang des Jahres 1835 in Südafrika auf dem Mond entdeckt hat. Berichterstatter ist Dr. Andrew Grant, ein Schüler des älteren Herschel und seit einigen Jahren wissenschaftlicher Assistent seines Soh-



ihre Flügel waren nun verschwunden, und ihre Haltung im Gehen war sowohl aufrecht als würdig. [...] Sie waren ungefähr 4 Fuß hoch, waren, mit Ausnahme des Gesichts, mit kurzen, glatten, kupferfarbigen Haaren bedeckt, und hatten Flügel, welche aus einer dünnen elastischen Haut ohne Haaren bestanden, die hinten zusammengerollt von der Schulterspitze bis zu den Waden lag. Das Gesicht, welches von gelblicher Fleischfarbe war, zeigte eine kleine Veredlung gegen das des großen Orangutans, da es offener und klüger aussah und eine weit größere Ausdehnung des Vorkopfes zeigte.«

Der Textausschnitt stammt aus einer 1836 in Hamburg herausgegebenen Monografie mit dem Titel: *Neueste Berichte vom Cap der guten Hoffnung über Sir John Herschels höchst merkwürdige astronomische Entdeckungen, den Mond und seine Bewohner betreffend*. Dieses Schriftstück ist eine zeitgenössische Übersetzung einer Artikelserie, die von der Zeitschrift *New York Sun* in der letzten Augustwoche des Jahres 1835 herausgegeben wurde.

Die *Sun* war damals eine der auflagenstärksten Zeitungen mit täglich ca. 20 000 verkauften Exemplaren, und die Resonanz auf die Artikelserie war überwältigend. In ganz New York und später auch in anderen Städten Amerikas und Europas begannen die Leute auf der Straße über die Entdeckungen des John Herschel in Südafrika zu diskutieren. Innerhalb weniger Tage erreichte die Nachricht Baltimore, Philadelphia und Boston. In zwei Wochen war sie bis nach Cincinnati vorgedrungen und innerhalb eines Monats diskutierte man in europäischen Städten über Mondmenschen.

Dass sich Nachrichten so schnell in so breiten Bevölkerungsschichten verbreiten konnten, war ein neues Phänomen. Die Erfindung einer schnellen Dampfdruckmaschine machte hohe Auflagen zu einem geringen Preis möglich. Es war die Geburtsstunde der Massenmedien.

Der Inhalt des Artikels beschränkte sich aber nicht allein auf die Beobachtung von Mondmenschen, wenn auch dieser Textausschnitt den Höhepunkt der Erzählung bildet. Mit blumiger Sprache und in langen, detaillierten Ausführungen beschreibt Andrew Grant die Landschaft, sowie die Flora und Fauna auf dem Mond. Hier eine weitere Kostprobe aus der oben zitierten Monografie:

nes. Seine Erzählung liest sich wie eine Art Reisebericht, obwohl es natürlich nur das Blickfeld von John Herschels Riesenteleskop ist, das über die Mondoberfläche wandert.

Herschel und Grant hatten in dieser Nacht Anfang des Jahres 1835 ihr Teleskop auf den Mond ausgerichtet und Grant berichtet: »[...] Diese Linse, welche bald eingesetzt war, gab uns eine schöne Entfernung von einer halben Meile, und wir zählten drei Haufen jener Geschöpfe, von respective 12, 9 und 15, welche aufwärts gegen einen kleinen Wald nahe dem Anfang der östlichen Abgründe gingen. Wirklich waren sie menschlichen Wesen gleich, denn

Menschenähnliche Wesen mit Flügeln und erstaunliche Pflanzen – so beschrieb eine Artikelserie der *New York Sun* 1835 die Landschaften des Mondes. Die detailreichen Schilderungen inspirierten zu allerlei zeichnerischen Darstellungen. Diese Zeichnung erschien in der 4. Folge.



Geflügeltes Mondwesen: Trotz verbesserter Teleskoptechnik konnten die Astronomen im 19. Jahrhundert die Frage, ob es Leben auf dem Mond gebe, nicht beantworten. Viele Menschen glaubten, dass Leben auf dem Erdtrabanten möglich sei. Wie dieses beschaffen sein könnte, war eine Frage der Fantasie.

»Endlich beobachteten wir Endymion genau. Wir fanden jedes der drei Ovale in seinem innern Raume vulcanisch und unfruchtbar, – den äusserlich sie umgebenden oberen Theil aber sehr reich mit allen erdenklichen Erzeugnissen eines ergiebigen Bodens bedeckt. Dr. Herschel classificirte nicht weniger als 38 Sorten Waldbäume und fast zweimal so viel Pflanzen, die allein auf dieser Strecke gefunden wurden, und sehr verschieden von denjenigen waren, welche man in Breiten näher dem Aequator findet. Unter den Thieren unterschied Dr. Herschel neun Gattungen Säugethiere und fünf eierlegende. Unter ersteren sind eine kleine Sorte Rennthiere, das Elenthier, der gehörnte Bär und der zweifüßige Bieber. Letzterer gleicht unserm Bieber in jeder Hinsicht, bis auf den Mangel eines Schwanzes und seiner fortwährenden Gewohnheit, nur auf zwei Füßen zu gehen. Er trägt seine Jungen im Arme, gleich dem Menschen, und bewegt sich mit leicht dahingleitendem Schritte; seine Hütten sind besser und höher gebaut, als diejenigen manchen Stammes menschlicher Wilden, und aus dem fast in allen bemerklichen Rauch läßt sich schließen, daß den Bewohnern der Gebrauch des Feuers bekannt sei.«

Eingeleitet wurde die Artikelserie in der *Sun* mit einer längeren Beschreibung des Instruments, mit dem alle diese Beobachtungen möglich wurden. Es wird beschrieben als eine Weiterentwicklung der großen Teleskope von Wilhelm Herschel, in der zeitgenössischen Übersetzung heißt

es: »Sir John Herschel hatte seinen Plan und seine Berechnungen auf ein Objectivglas von 24 Fuß im Durchmesser, (also gerade die sechsfache Größe des Glases seines Vaters) gerichtet. [...] Das Gewicht dieser wunderbaren Linse war 14,826 Pfund, oder nach der Schleifung und Politur fast sieben Tons, und ihre veranschlagte vergrößernde Kraft 42 000-fältig. Es war daher zu vermuthen, daß es im Stande sein würde, Gegenstände unsres Satelliten von wenig mehr als achtzehn Zoll im Durchmesser darzustellen, vorausgesetzt daß es möglich sein würde, ihr Brennpunktsbild mittelst der Durchströmung künstlichen Lichtes deutlich zu machen.«

Nicht nur das fantastische Beobachtungsinstrument, sondern auch der Inhalt der gesamten Artikelserie in der *Sun* war natürlich frei erfunden. Der geschickte Aufbau der Erzählung mit vielen pseudowissenschaftlichen Erklärungen, technischen Begriffen und weitschweifenden, dabei aber sehr detaillierten Beschreibungen hat dazu geführt, dass – und das ist das Erstaunliche – die große Mehrheit der Leser dem Verfasser auf den Leim gegangen ist. Damit wurde der Schwindel über den bewohnten Mond zu einem der größten Medienschwindel der Neuzeit.

Der Reporter Richard Adams Locke, dem der Artikel zugeschrieben wird, verfügte über so viel astronomisches Hintergrundwissen, dass auch gebildete Kreise den Mondschwindel glaubten. Beispielsweise vermutete er offenbar, dass ein Spiegelteleskop mit einem Durchmesser von den angegebenen 24 Fuß (7,2 Meter) eine derart hohe Auflösung nicht ermöglicht hätte und baute ein sogenanntes Hydrooxygen-Mikroskop in den Strahlengang ein, ohne natürlich auf den genauen Aufbau dieses Instruments einzugehen, aber mit dem Hinweis, dass die Details in Fachpublikationen dargelegt werden. Um die ganze Erzählung noch glaubwürdiger erscheinen zu lassen, behauptete Locke außerdem im Vorwort, dass die Artikelserie in der *Sun* die ungekürzte Form einer Sonderbeilage des *Edinburgh Journal of Science* wiedergebe. Der Verweis auf diese Publikationen, aber auch der, in Zusammenhang mit seriöser Wissenschaft bekannte Name Herschel, machte bei der Leserschaft großen Eindruck.

Tatsächlich, und dieses Detail der Erzählung stimmte, verweilte der britische Astronom John Herschel zu dieser

Das Foto wurde am 30. April 2002 aufgenommen. Es zeigt eine kleine Fläche der Mondoberfläche am Rande des 56 km langen Taruntius-Kraters etwa 6° nördlich des Mondäquators.



Zeit in Südafrika. Sein Beobachtungsziel war aber nicht der Mond sondern der noch wenig erforschte Südhimmel. Auch das *Edinburgh Journal of Science* hat es wirklich gegeben. Ohne Telefon konnte man John Herschel damals aber nicht direkt befragen. Deshalb flog der Schwindel erst viel später auf, als man versuchte, den Originalartikel im *Edinburgh Journal of Science* aufzutreiben – der natürlich nicht existierte. Herschel erfuhr von seinen angeblichen Entdeckungen durch einen Organisator von Tierschauen, der ihn in Südafrika besuchte. Der Astronom soll über die Geschichte herzlich gelacht haben, und dabei ging es ihm vermutlich ähnlich wie einigen von uns heute, wenn wir von Fledermausmenschen, Elenthieren, gehörnten Bären und dem zweifüßige Bieber lesen.

Aber abgesehen von diesen fantasievollen Geschöpfen – was ist mit der Technik, die in der Erzählung beschrieben wird? Sicher hat es keinen Sinn, sich über das fiktive Hydrooxygen-Mikroskop den Kopf zu zerbrechen, aber die Frage, ob man prinzipiell von der Erde aus Menschen auf dem Mond beobachten könnte, ist schon interessant. Obwohl für die größten heutigen Teleskope der Welt, wie das Welraumteleskop Hubble und das Very Large Telescope (VLT) mit seinen vier Hauptteleskopen mit je 8,2 Metern Spiegeldurchmesser, der Mond kein Beobachtungsobjekt mehr darstellt – schließlich haben Satelliten bereits jedes Detail der Mondoberfläche gescannt – hat man zu Testzwecken diese Teleskope auf den Mond gerichtet.

Das hier abgebildete Foto (im nahen Infrarotlicht bei einer Wellenlänge von 2,3 μm) wurde am Morgen des 30. April 2002 mit einer Kamera mit adaptiver Optik aufgenommen, die an dem ESO VLT 8,2-m-YEPUN-Teleskop montiert war. Der größte Krater im Feld (oben im Bild) heißt Cameron und hat einen Durchmesser von etwa 10 Kilometern. Das Foto ist zweifellos eines der schärfsten Bilder der Mondoberfläche, die jemals mit einem Bodenteleskop aufgenommen wurden und doch beträgt die Pixelgröße immer noch nur 50 x 50 Meter auf der Mondoberfläche. Mit einem Spiegelteleskop, das mit 8,2 Metern also etwas größer ist als das angebliche Spiegelteleskop von John Herschel (7,2 Meter) könnte man daher auch heute kein Menschen auf dem Mond sehen.

Und es gibt ein zweites Problem – die Luftunruhe. Turbulenzen in der Atmosphäre sorgen nämlich dafür, dass das Auflösungsvermögen begrenzt ist. Heute löst man dieses Problem mit der sogenannten adaptiven Optik. Zu Herschels Zeit gab es keine Möglichkeit, dieses Problem zu umgehen. Daher konnte man auch mit großen Spiegelteleskopen zwei Punkte, die vom Beobachtungsstandort unter einem Winkel von weniger als einer Bogensekunde erschienen, kaum noch unterscheiden. Um Menschen auf dem Mond wahrnehmen zu können, hätte man aber eine Auflösung gebraucht, die um Größenordnungen darunter liegt. Mit damaliger Technik war daher die Konstruktion eines Teleskops, das nur annähernd das angegebene Auflösungsvermögen besitzt, völlig unmöglich. Sicher konnten aber die meisten Leser der Mondgeschichte, besonders jene, die nicht in der Astronomie oder der Optik bewandert waren, die Beobachtungsgrenzen nicht beurteilen, und bei vielen überwog am Beginn der industriellen Revolution ein unbeirrbarer Glaube an den technischen Fortschritt.

Auch war für viele die Vorstellung von Wäldern, Seen und Menschen auf dem Mond damals nicht so abwegig wie für uns heute. Warum war das so? Aufgrund welcher Grundlagen hätten die Menschen 1835 den Wahrheitsgehalt der fantastischen Mondgeschichte prüfen können? Tatsächlich war die Meinung der Wissenschaft bezüglich möglichen Lebens auf dem Mond nicht einheitlich.

John Herschel selbst, einer der führenden Wissenschaftler seiner Zeit und der beobachtende Astronom in der Lügengeschichte, hatte die Möglichkeit von Leben auf dem Mond nicht ausgeschlossen. In seiner 1834 in Amerika veröffentlichten *Treatise on Astronomy* hatte Herschel die Argumente für und gegen die Möglichkeit von Leben auf



Johannes Hevelius und Giovanni Riccioli erstellen um 1650 Karten von der Oberfläche des Mondes. Diese Darstellung erschien 1707 in dem Band *Neuer Atlas*, der von Johann Baptist Homann herausgegeben wurde.

dem Mond diskutiert. Am Ende bemerkte er: »Telescopes [...] must yet be greatly improved, before we could expect to see signs of inhabitants, as manifested by edifices or by changes on the surface of the soil.«

Diese Aussage von einem Wissenschaftler vor kaum 200 Jahren mag erstaunen. Betrachten wir also die Geschichte der Mondbeobachtung und wissenschaftlichen Untersuchung des Mondes genauer: Vergessen Sie einmal alles, was sie über den Mond wissen und versetzen sich zurück in eine klare Mondnacht um 500 v. Chr. auf Sizilien. Sie sind ein Schüler in einer der ersten Philosophieschulen der Menschheitsgeschichte, der Schule der Pythagoreer bei Croton. Der Mond zeigt dieselben dunklen und hellen Strukturen wie heute, und wenn Sie scharf sehen, können Sie vielleicht ein paar runde Strukturen und davon ausgehende Strahlen beobachten. Dieses Antlitz des Mondes wird sich auch in den Vollmond-

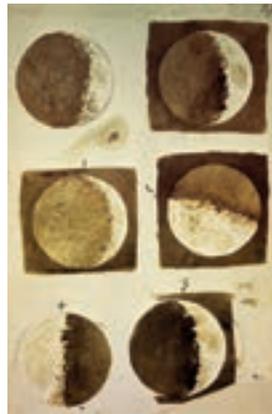
nächten der nächsten Monate nicht verändern und hat sich die nächsten 2500 Jahre bis heute nicht verändert. Was sich verändert hat, ist unser Wissen über die Welt. Auch unsere Wünsche und Sehnsüchte haben sich über die Jahrhunderte gewandelt und damit hat sich auch die Sicht auf den Mond verändert. Wir können nicht wirklich wissen, was der Schüler auf Sizilien im Mond gesehen hat, aber wir wissen, dass die Pythagoreer davon ausgingen, dass der Mond eine große Spiegelfläche ist. Dunkel Bereiche spiegeln unsere Meere und helle Bereiche die Kontinente und Gebirge auf der Erde. Da man noch keine Weltkarte hatte, ergab sich auch kein offensichtlicher Widerspruch. Nur der griechische Geschichtsschreiber Plutarch stellte fest, dass man einen riesigen Ozean, der nach damaliger Vorstellung die Welt umgeben sollte, auf dem Mond nicht erkennt, und erschloss daraus, dass der Mond doch kein Spiegelbild der

Erde sei, sondern eine eigene Welt mit Tälern und Bergen. Seine Sichtweise konnte sich nicht durchsetzen.

Stattdessen prägten die religiös-wissenschaftlichen Theorien von Aristoteles und Ptolemäus mit ihrem globalen Weltmodell der schalenartig ineinandergeschichteten Sphären die Vorstellungswelt der Menschen in den nächsten tausend Jahren über das Mittelalter bis zur Renaissance. Die Mondbahn trennt demnach die sublunare Sphäre des Wechsels und des Sittenverfalls von der supralunaren, göttlichen Sphäre. Der Mond als Teil der göttlichen Sphäre ist von grundsätzlich anderer Beschaffenheit als alles Irdische und natürlich unbefleckt. Damit blieb nur die Spiegelinterpretation, oder die Annahme von durchscheinenden Wolken vor dem Mond, als Erklärung für Strukturen auf dem Mond übrig.

Bei genauerer Beobachtung wäre natürlich aufgefallen, dass die Spiegeltheorie ausscheidet, denn der Mond zeigt der Erde immer dasselbe Spiegelbild, obwohl er offensichtlich unterschiedlichen Regionen auf der Erde gegenübersteht. Erst Leonardo da Vinci (1452–1519) erkannte diese Tatsache, nachdem er die Mondoberfläche in einigen Zeichnungen in seinem Skizzenbuch festgehalten hatte. Die Spiegelthese war daher unhaltbar. Was ist die Alternative. Im Zeitalter der aufkeimenden Naturwissenschaften, kurz nach der Entdeckung aller Weltmeere war nichts naheliegender, als auf dem Mond statt dem Spiegelbild der Erde wahre Kontinente und Ozeane zu vermuten.

Der Engländer Wilhelm Gilbert zeichnete um 1600 erste Karten des Mondes. Wie Leonardo hielt er die dunklen Flächen für Kontinente und die hellen für Meere und gab den großen Strukturen Namen. Als Galileo 1609 zum ersten Mal das gerade erst erfundene Teleskop zum Himmel richtete und den Mond genau beobachtete, versetzte er den Thesen von Aristoteles vom unbefleckten, vollkommen runden Mond den Todesstoß. Mit seinem Fernrohr sah Galileo nicht nur die altbekannten großen dunklen Bereiche, sondern auch viele kleinere runde Strukturen, die man noch nie gesehen hatte. Die Grenzlinien der dunklen Bereiche veränderten sich mit dem Stand der Sonne. Daraus folgerte Galilei, dass es sich bei den veränderlichen dunklen Linien um Schatten handelt, und dass die Oberfläche des Mondes aus Bergen und Tälern besteht.



Galileo Galilei fertigte Skizzen von seinen Beobachtungen des Mondes an. Dabei erkannte er, dass die Oberfläche des Mondes aus Bergen und Tälern bestehen musste.

Galilei hatte bald das Interesse am Mond verloren und andere setzten die Beobachtung mit größeren Teleskopen fort. Der Bierbrauer Johannes Hevelius (1611–1687) verbrachte die Nächte auf dem Dach seines Hauses in Danzig und beobachtete den Mond durch sein Fernrohr, das eine atemberaubende Länge aufwies. 1647 veröffentlichte er in seinem Werk *Selenographia sive Lunae Descriptio* die ersten mit Hilfe des Teleskops erstellten Mondkarten und wurde damit der Begründer der Kartografie des Mondes. Ihm folgte der Theologe und Astronom Giovanni Riccioli (1598–1671). Seine Mondkarte von 1651 war zwar kaum genauer als die von Hevelius. Riccioli bezeichnete aber viele Mondformationen mit Namen, die heute noch gebräuchlich sind. Die hellen Bereiche erkannte er richtig als Hochländer und nannte sie »Terra« (Plural von lat. terra, Land) die dunklen Bereiche bezeichnete er als »Maria« (Plural von lat. mare, Meer), so zum Beispiel: Meer der Ruhe – Mare Tranquillitatis, Meer der Heiterkeit – Mare Serenitatis, Regenmeer – Mare Imbrium, Wolkenmeer – Mare Nubium, Ozean der Stürme – Oceanus Procellarum.

Krater bekamen nach Riccioli die Namen von bekannten Astronomen und Mathematikern: Kopernikus, Pythagoras, Galilei, Hevelius, und einem Mondkrater gab er auch seinen eigenen Namen. Erstaunlicherweise verwendete er den Begriff »mare«, obwohl Riccioli selbst davon überzeugt war, dass es keine Meere auf dem Mond gibt – und übrigens auch keine Menschen. Trotzdem haben sich diese Begriffe durchgesetzt und bis heute gehalten. Allein diese Bezeichnungen haben wohl so manchen dazu verleitet, an Meere auf dem Mond zu glauben.

Obwohl die Mondbeobachtungen immer detaillierter und die Teleskope besser wurden, kam man im 18. Jahrhundert bei der Frage, aus was die Mondoberfläche besteht, kaum weiter – es gab auch Wichtigeres. So hoffte man, das Längengradproblem, also die schwierige Bestimmung des Längengrades auf See, mit Hilfe genauer Mondtabellen und Mondkarten zu lösen. Tobias Mayer bestimmte Positionen auf dem Mond mit dem Mikrometer und zeichnete Längen und Breitengrade auf seiner sehr genauen Mondkarte ein. Doch die Längengradbestimmung mit Hilfe des Mondes stellte sich als sehr kompliziert heraus, und als John Harrison das erste genaue Schiffschronometer

erfand, geriet die Längengradbestimmung mit Hilfe des Mondes in Vergessenheit.

In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts konnten erstmals farbkorrigierte (achromatische) Objektive hergestellt werden, und Wilhelm Herschel brach mit seinem Spiegelteleskop mit einem Spiegeldurchmesser von 132 Zentimetern alle Größenrekorde. Die neuen Teleskope zeigten einen komplett neuen Nachthimmel. Für den Mond bedeutete das, dass bisher unbekannte Details sichtbar wurden, die interpretiert werden mussten.

Viele Beobachter, darunter auch der weltbekannte Astronom Wilhelm Herschel, sahen in diesen Strukturen ganz in der Tradition von Hevelius oder Isaac Newton Spuren von Vegetation und Leben. Johann Hieronymus Schroeter gründete im Dorf Lilienthal 1782 eine Sternwarte, die mit den besten Spiegelteleskopen auf dem Kontinent, zum Teil aus Herschel'scher Produktion, ausgestattet war. Schröter hielt alle Details seiner genauen Mondbeobachtung in dem Werk *Selenotopographische Fragmente zur genaueren Kenntniss der Mondfläche* fest (übrigens eines der Schätze der Bibliothek des Deutschen Museums). Er erkannte Strukturen in den sogenannten mare – die demnach keine Meere sein konnten. Und er vermaß die Höhe vieler Mondberge. Aber auch er glaubte, dass der Mond eine Atmosphäre hat und schloss Leben auf dem Mond nicht aus. Den Höhepunkt der Interpretation des durch die verbesserten Teleskope gesammelten Beobachtungsmaterials stellte aber zweifelsohne die Veröffentlichung des Münchner Professors Franz von Paula Gruithuisen (1774–1852) aus dem Jahr 1824 dar, mit dem vielsagenden Titel: *Entdeckung vieler deutlichen Spuren der Mondbewohner, besonders eines collosalen Kunstgebäudes derselben*.

Gruithuisen hatte mehrere Teleskope von Fraunhofer erworben und beobachtete damit von seiner Sternwarte in München aus – hier ein Auszug aus der erwähnten Publikation: »Soll dieses Kunstwerk [Anm.: gemeint ist ein großes Bauwerk] zur Verhöhnung unserer Pyramiden da seyn? – Wenn die Mondbewohner so gute Fernröhre besitzen als wir, so müssen sie doch die chinesische Mauer gesehen haben, welche auch nicht ärmlicher aussieht, als wäre sie von Mondbewohnern gebaut. Allerdings ist es viel



Gruithuisens Darstellung des von ihm am 23. Oktober 1822 beobachteten, sogenannten Wallwerks mit dem »Sternentempel«. Gruithuisen meinte, es handle sich dabei um ein von Seleniten errichtetes, riesiges Bauwerk.



DER AUTOR

Dr. Christian Sicka ist Physiker und Kurator für Astronomie, Zeitmessung und den Bereich Atom-, Kern- und Teilchenphysik am Deutschen Museum.

leichter, auf dem Monde colossale Kunstgebäude anzulegen, als auf der Erde, da dort die Körper 5 1/3 mal leichter sind, weshalb sie aufeinander keinen so starken Druck ausüben, und viel leichter zu behandeln seyn müssen.«

Obwohl die fachliche Anerkennung dieser Publikation gering war, hat sie eine weite Verbreitung gefunden, und man kann darüber spekulieren, ob nicht Locke, der Autor des Mondschwindels in der *New York Sun* von dieser oder einer ähnlichen Geschichte gewusst hat. Eines ist aber sicher: Die Frage nach Leben auf dem Mond war 1835 auch in Fachkreisen nicht entschieden. Allerdings war der Höhepunkt des Glaubens an eine bewohnte Mondwelt da schon überschritten. Friedrich Wilhelm Bessel (1784–1846) beobachtete 1834 streifende Sternenvorübergänge am Mondrand und konnte keinerlei atmosphärische Ablenkung des Sternlichts feststellen. Daraus leitete er ab, dass die Dichte der Mondatmosphäre nur maximal 1/1000 der Dichte der Erdatmosphäre sein kann. Ohne Atmosphäre aber ist jeder Punkt Oberfläche des Mondes (mit Ausnahme beschatteter Bereiche in tiefen Kratern an den Polen) 14 Tage lang dem gleißenden Sonnenlicht ausgesetzt. Heute wissen wir, dass damit die Temperaturen bei Tag auf etwa 130 °C steigen und während der ebenso lang andauernden Nacht auf minus 160°C fallen – also keine guten Bedingungen für Leben wie wir es kennen.

In der Wissenschaft sind die Kinder des Mondes, die Seleniten, in Vergessenheit geraten. Sie leben nur noch in unseren Romanen und Erzählungen und natürlich in dem größten Zeitungsschwindel aller Zeiten, dem »Great Moon Hoax« weiter. ■■

Advertorial

Reiseziel Mond

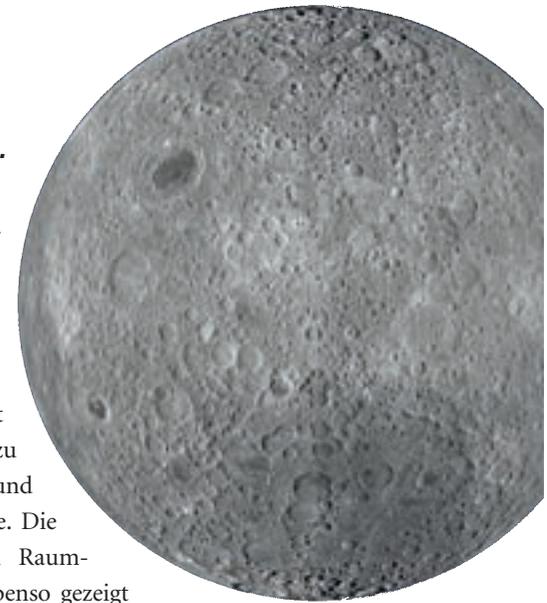
und wie er im Planetarium für Naturwissenschaft begeistern kann.

Der Mond ist auf emotionaler und wissenschaftlicher Ebene ein bedeutender Himmelskörper, der in vielfältiger Weise auf unsere Wahrnehmung und unser Wirken Einfluss hat. Bereits in früher Kindheit nehmen wir den Mond als Begleiter der Nacht wahr und erkennen seine wechselnden Lichtgestalten. Später erfahren wir, dass er auch durch sein Schwerefeld auf die Erde wirkt und damit, neben der Sonne, die Gezeiten bestimmt. Als Ziel für Forschungsmissionen ist der Mond heute wieder stärker in den Fokus der Wissenschaft gerückt. Seine mineralische Zusammensetzung oder die gemeinsame Entstehungsgeschichte des Erde-Mond-Systems erfordern weitere Untersuchungen. Besonders die Entdeckung größerer Mengen Wassereis in tiefen Kratern der Polregionen, die im ewigen Schatten liegen, eröffnet vielversprechende Nutzungs-Perspektiven für künftige Mondmissionen. Auch wenn eine wirtschaftliche Nutzung der Ressourcen des Mondes noch in ferner Zukunft liegt, bietet sie doch eine inspirierende Perspektive für internationale Anstrengungen und Zusammenarbeit. Bereits im kommenden Jahrzehnt könnte das Lunar Orbital Gateway realisiert werden, eine geplante, bewohnbare Basisstation in einer mondnahen Bahn, für astronautische Mondmissionen und sogar für erste Expeditionen menschlicher Entdecker zum Mars.

Das Planetarium Augsburg – als Einrichtung zur Wissenschafts-Kommunikation – nähert sich dem Thema Mond auf sachlicher wie auch emo-

tionaler Ebene und dies für alle Bildungs- und Altersschichten. Anblick, Lichtwechsel und Bewegung des Mondes am Himmel bilden die Ausgangspunkte, gefolgt von einem virtuellen Flug zu ihm mit einer Landung und dem Blick zurück zur Erde. Die Ergebnisse der bisherigen Raumfahrt-Missionen können ebenso gezeigt werden wie Aufbau und Ziele der geplanten Mondprojekte. Dazu wird eine besonders immersive und wirklichkeitsnahe Visualisierung mittels einer 360°-Video-Projektion eingesetzt. Mit den Darstellungsmöglichkeiten des Planetariums und der didaktischen Aufbereitung der Inhalte gelingt es leicht, Wissen unterhaltsam und spannend zu vermitteln. So kann Neugier und Interesse für Naturwissenschaftler und Technik geweckt oder vertieft werden. Besonders bei der heranwachsenden Generation ist dies ein wichtiges Kapital für die soziale wie wirtschaftliche Zukunft unseres Landes.

Gerhard Cerny (Leiter Sparkassen-Planetarium Augsburg)



Planetarium Augsburg
Stiftung der Sparkasse

Abenteuer Weltall

Eine Reise durch Raum und Zeit

S-Planetarium Augsburg
im Naturmuseum
Ludwigstraße 14, Ecke Grottenau
86152 Augsburg
Reservierung wird empfohlen!

s-planetarium.de •  [s.planetarium](https://www.facebook.com/s.planetarium)



Die Kunst der Balance

In 27,3 Tagen umrundet der Mond die Erde und dreht sich in der gleichen Zeit einmal um seine eigene Achse. Doch was wäre, wenn der Mond plötzlich verschwände? Von Liliane Biskupek



In der Bay of Fundy in Kanada beträgt der Unterschied zwischen Ebbe und Flut bei Normalhochwasser etwa 14 Meter, bei günstigen Bedingungen und einer Springflut können es sogar bis zu 21 Meter werden. Ursache des gewaltigen Tidenhubs ist die besondere Lage der Bucht. Für die erdweiten Gezeiten ist zu etwa 2/3 die Gravitation des Mondes, zu 1/3 die Gravitation der Sonne verantwortlich.

Der Mond als hellstes Objekt am Nachthimmel ist für uns Menschen ein vertrauter Anblick. Er ist schon immer da gewesen und wir kennen die der Erde zugewandte Seite mit dem Muster aus hellen, durch Einschlagkrater geprägten, Hochebenen und dunklen, lavagefüllten Meeren. Aber wie wichtig ist der Mond für die Erde und was könnte passieren, wenn der Mond plötzlich verschwinden würde?

Die Nächte wären dunkler, das Klima auf der Erde würde mit der Zeit wesentlich rauer werden und der Forschung fehlte ein spannendes Forschungsobjekt. So lautet eine erste einfache Antwort. Eine differenzierte Antwort auf Grundlage der Beschreibung des Erde-Mond-Systems gibt der folgende Artikel.

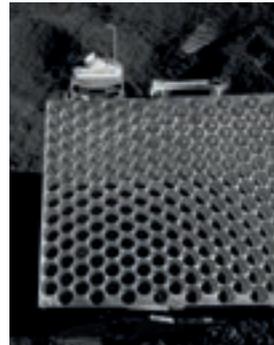
50 Jahre Mondlandung

Am 16. Juli 1969 startete die Raumfahrtmission Apollo 11 der US-amerikanischen Raumfahrtbehörde NASA mit dem Ziel Mond. »The eagle has landed« verkündeten am 20. Juli 1969 die Astronauten Neil Armstrong und Edwin Buzz Aldrin als sie auf der Mondoberfläche im südlichen Mare Tranquillitatis landeten. Dies markiert nicht nur einen Meilenstein in der Raumfahrt. Es war auch ein großer Sprung für die Forschung und Wissenschaft über die Planeten und den Mond. Und zu guter Letzt der Beginn eines neuen geodätischen Raumverfahrens: der Laserentfernungsmessung zum Mond, engl. »Lunar Laser Ranging« (LLR).

Um LLR-Messungen von der Erde aus zu ermöglichen, installierten die Astronauten einen Laser-Retroreflektor auf der Mondoberfläche. Dieser hat eine Größe von 50 mal 50 cm und ist mit 100 Prismen bestückt, die ankommendes Licht in Richtung der Quelle zurückwerfen. Dieser Retroreflektor wird bis heute für LLR-Messungen genutzt. Außerdem bauten die Astronauten ein Seismometer für die Messung von Mondbeben auf sowie ein Sonnenwindexperiment bestehend aus einer Folie, die Partikel des Sonnenwindes einfangen sollte.

Nach Apollo 11 folgten weitere bemannte Mondmissionen. Gleich im November 1969 gelang Apollo 12 eine weitere Landung auf dem Mond. Mit Apollo 13 kam es im April 1970 fast zu einer Katastrophe, jedoch wurden im Januar 1971 die Missionen fortgesetzt, bis Dezember

Buzz Aldrin baut ein Seismometer auf, das Mondbeben messen kann. Im Hintergrund ist der LLR-Retroreflektor zu sehen, den das Team der Apollo 11-Mission ebenfalls auf der Mondoberfläche installierte.

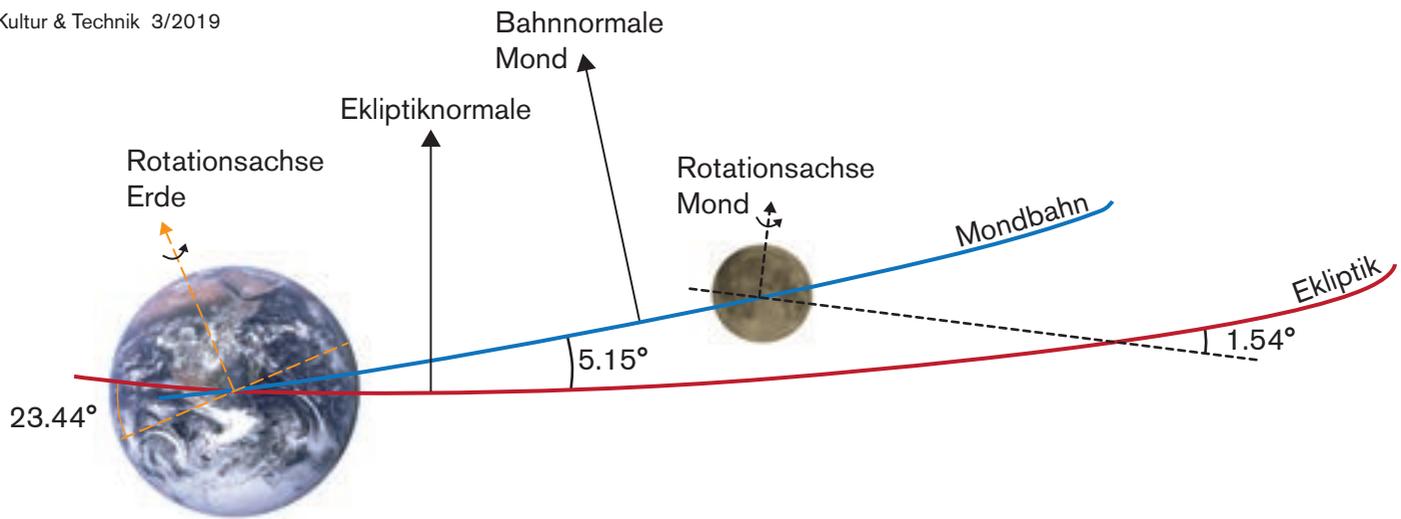


Auch das Team der Apollo-15-Mission baute 1971 einen LLR-Retroreflektor auf.

1972 folgten Apollo 14 bis 17. Sie installierten weitere Experimente auf dem Mond und alle Missionen zusammen brachten 382 kg Mondgestein zur Erde, das meiste davon durch Apollo 15, 16 und 17. Dies ist eine große Besonderheit, da es das einzige extraterrestrische Gestein auf der Erde ist, das nicht von Meteoriten stammt.

Frühere Mondbeobachtungen

Allerdings waren die Apollo-Missionen nicht der erste Versuch den Mond zu erforschen. Schon seit Jahrtausenden steht er im Interesse der Menschen, seine Bewegung wurde studiert und z.B. für die Festlegung von Kalendern genutzt. So ist die Zeitspanne bis Sonne, Erde und Mond wieder die gleiche Konstellation zueinander einnehmen (der synodische Monat) 29,5 Tage lang und die Grundlage für unseren heutigen Monat mit 30 Tagen. Schon vor etwa 2500 Jahren konnten babylonische Astronomen auf Grundlage des Saroszyklus die Mond- und Sonnenfinsternisse vorhersagen. Nach Formulierung des Gravitationsgesetzes durch Isaac Newton 1687 konnte die Bewegung des Mondes aufgrund der auf ihn einwirkenden Kräfte von Erde, Sonne und Planeten über mathematische Formeln beschrieben werden. Die Betrachtung von Raum und Zeit, und damit auch die Beschreibung der Bewegung der Körper im Sonnensystem und darüber hinaus, wurde durch die 1915 veröffent-



lichte Allgemeine Relativitätstheorie von Albert Einstein revolutioniert. Ohne die Relativitätstheorie könnten die geodätischen Weltraumverfahren, wie Globale Satellitennavigationssysteme (GNSS), Interferometrie auf langen Basislinien (VLBI) und Laserentfernungsmessungen zu Satelliten (SLR) bzw. zum Mond (LLR), nicht oder zumindest nicht mit einer hohen Genauigkeit genutzt werden.

Heutiges Wissen über das Erde-Mond-System

Das Erde-Mond-System bewegt sich auf seiner Bahn um den Schwerpunkt des Sonnensystems. Die mittlere Ebene dieser Umlaufbahn definiert die Ebene der Ekliptik. Die Erde hat einen Durchmesser von etwa 12700 km und der Mond ist mit etwa 3400 km einer der größten Monde, der einen Planeten umkreist. Sie bewegen sich um ihren gemeinsamen Schwerpunkt, der sich innerhalb des Erdkörpers, etwa 4700 km vom Geozentrum entfernt, befindet. Der Abstand des Mondes zur Erde beträgt im zeitlichen Mittel etwa 385000 km und variiert während des Umlaufs auf einer elliptischen Bahn zwischen rund 363000 km in Erdnähe und 405000 km in Erdferne. Durch den verhältnismäßig großen Mond und seine Nähe zur Erde wirken starke Gravitationskräfte zwischen den beiden Körpern. Diese Kräfte haben unter anderem Einfluss auf die Rotationsachse der Erde und sind für die Gezeiten verantwortlich.

Rotation von Erde und Mond

Die Rotationsachse der Erde steht nicht senkrecht auf der Ekliptikebene sondern weicht um etwa 23,44 Grad ab. Durch die Fliehkräfte, die bei der Erdrotation wirken, ist die Erde an den Polen abgeplattet und hat einen Wulst am Äquator. Dies führt dazu, dass der Durchmesser am Äquator etwa 43 km größer ist als der von Pol zu Pol. Die Rotationsachse des Mondes steht ebenfalls nicht orthogonal auf der Ekliptik, sie ist um etwa 1,54 Grad geneigt. Die Bahn des Mondes ist um rund 5,15 Grad gegen die Ekliptik verkippt. Die Rotation des Mondes erfolgt mit der gleichen Winkelgeschwindigkeit und der gleichen Rotationsrichtung wie der Bahnlauf um die Erde. Durch diese gebundene Rotation zeigt stets die gleiche Seite des Mondes zur Erde. Allerdings entsteht aufgrund der elliptischen Bahn des Mondes, der Neigung der Mondbahn und

Die nicht maßstabsgetreue Grafik zeigt schematisch die Anordnung von Bahnen, Ebenen und Achsen im Erde-Mond-System (Blickrichtung auf den Äquator).

der Position des Beobachters auf der Erde eine scheinbare Taumelbewegung des Mondes am Himmel (optische Libration) und es können im Lauf der Zeit bis zu 59 Prozent der Mondoberfläche von der Erde aus beobachtet werden.

Die Erde mit ihrer geneigten Rotationsachse bewegt sich wie ein rotierender Kreisel um die Sonne. Sonne und Mond üben durch ihre Gravitationskräfte ein Drehmoment auf die Erde aus, das versucht den Äquatorwulst in die Ekliptikebene zu kippen. Die rotierende Erde weicht diesem Drehmoment rechtwinklig aus und beschreibt als Folge mit ihrer Rotationsachse einen Kegel. Diesen Prozess bezeichnet man als Präzession. Sie wird zu 1/3 von der Sonne und 2/3 vom Mond verursacht und benötigt für einen Umlauf etwa 25700 Jahre. Die Präzession wird durch eine Reihe von Schwingungen überlagert. Sie werden unter dem Begriff Nutation zusammengefasst. Der Größte dieser Effekte mit der längsten Periode von 18,6 Jahren wird durch die Knotendrehung der Mondbahn verursacht. Hier zeigt sich der große Einfluss des Mondes auf die Rotationsachse der Erde.

Würde der Mond plötzlich verschwinden, würde die Erde stark ins Trudeln geraten und die Rotationsachse wäre großen Schwankungen unterworfen, wie ein Kreisel kurz vor dem Kippen. Der französische Astronom Jaques Laskar hat Langzeit-Simulationen des Sonnensystems berechnet und herausgefunden, dass die Neigung der Achse chaotischem Verhalten unterliegen würde und in wenigen Millionen Jahren von den jetzigen 23,44 Grad auf 50 Grad ansteige, später sogar auf 85 Grad. Dies würde dazu führen, dass die Pole im Bereich des heutigen Äquators liegen würden und sich das Klima der Erde verändert. Somit hat der Mond, der die Rotationsachse stabilisiert, auch eine stabilisierende Wirkung auf das Klima der Erde.

Gezeiten

In den Gezeiten zeigt sich für uns Menschen die direkte Wirkung des Mondes auf der Erde. Sie werden zu etwa 2/3 von der Gravitation des Mondes und zu 1/3 von der Gravitation der Sonne verursacht und zeigen sich als Ebbe und Flut. Im offenen tiefen Ozean sind die Amplituden klein, können aber im flachen Wasser vor den Küsten mehrere Meter betragen. Den größten Tidenhub bei Normalhoch-

wasser mit etwa 14 m gibt es in der Bay of Fundy in Kanada. Doch nicht nur das Meer ist den Gezeitenkräften des Mondes und der Sonne unterworfen, auch die Erdkruste hebt und senkt sich um bis zu 30 cm. Sogar die Planeten haben eine gravitative Wirkung auf die Erde, diese ist jedoch sehr gering und spielt für die Meeresgezeiten keine Rolle.

Die durch den Mond verursachte gravitative Wirkung auf die Erde ist auf der mondzugewandten Seite am stärksten und nimmt immer weiter ab, je mehr man sich auf der Erde vom Mond entfernt. Die Wasser- und Landmassen unterliegen dieser Gravitation und formen auf der Seite der Erde, die dem Mond zugewandt ist, einen Gezeitenberg. Auf der mondabgewandten Seite entsteht ebenfalls ein Gezeitenberg, da hier der gravitative Effekt des Mondes am geringsten ist und zusätzlich die Landmassen, die etwas näher am Mond liegen, sozusagen unter dem Wasser weggezogen werden.

Durch die Rotation der Erde liegen die Gezeitenberge allerdings nicht in einer direkten Linie zwischen Erde und Mond, sie folgen dem Trägheitsgesetz und befinden sich immer ein Stück vor dieser Verbindungslinie. Der Mond versucht die Massen in die Verbindungslinie zurück zu ziehen. Diese Gezeitenreibung verursacht durch die Energieerhaltung im System Erde-Mond einerseits, dass sich der Mond jährlich um etwa 3,8 cm von der Erde entfernt und andererseits, dass die Erde langsamer rotiert. Dies wiederum führt zur Zunahme der Tageslänge um etwa $20 \mu\text{s}$ pro Jahr.

Würde der Mond plötzlich verschwinden, blieben nur noch die gravitativen Kräfte der Sonne, die auf die Erde wirken und die Gezeiten würden viel schwächer ausfallen. Die Wassermassen, die vorher vom Mond bewegt wurden, würden nach einiger Zeit einen Stand zwischen der früheren Ebbe und Flut erreichen. Durch die geringe Gezeitenkraft der Sonne, wäre die Gezeitenreibung wesentlich kleiner und die Erde würde nicht mehr so stark abgebremst werden wie jetzt.

Entfernungsmessung zum Mond

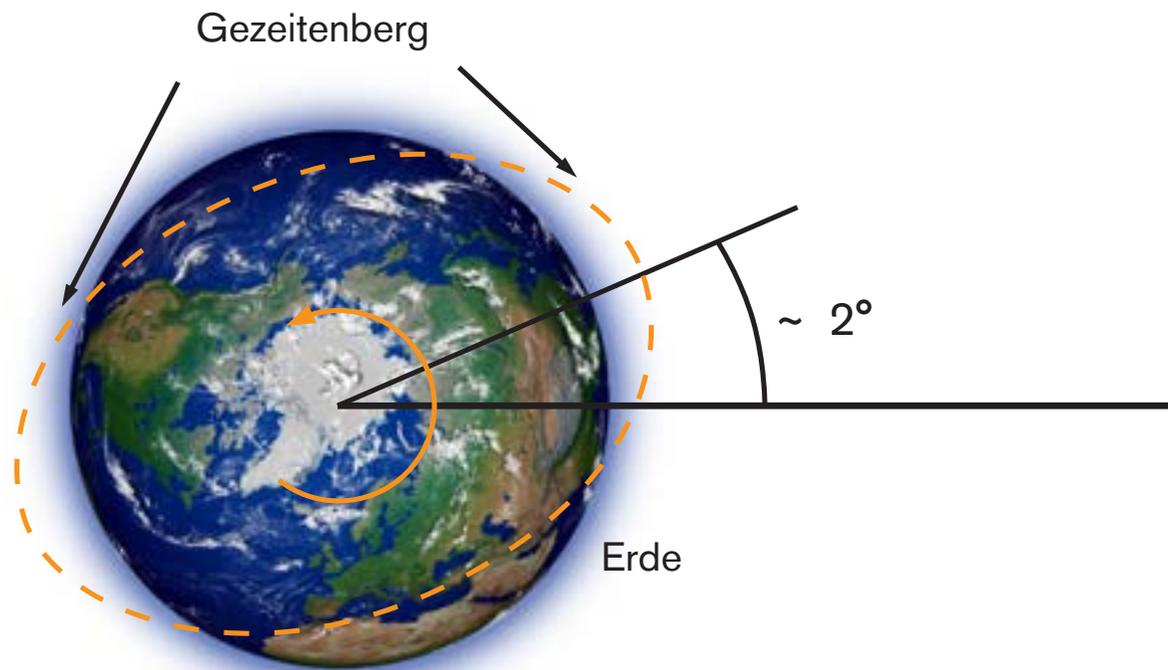
Viele Einzelheiten die wir heute über den Mond und das Zusammenspiel im Erde-Mond-System wissen, basieren auf Ergebnissen der Laserentfernungsmessung zum Mond



Der Satellit »Deep Space Climate Observatory« (DSCOVR), dessen Aufgabe die Beobachtung von Sonnenwinden ist, lieferte dieses Bild von der Rückseite des Mondes, die von der Sonne angestrahlt wird.

(LLR). Nachdem die Astronauten der Apollo 11 Mission einen Retroreflektor auf dem Mond installierten, wurde LLR möglich. Bis 1972 wurden vier weitere Reflektoren zum Mond gebracht: zwei durch die Apollo 14 und Apollo 15 Missionen und zwei durch die sowjetischen Missionen Luna 17 und Luna 21 (dort auf den Rovern Lunochod 1 und 2). Die Reflektoren der Apollo-Missionen bestehen aus einem Verbund von 100 (Apollo 11 und 14) bzw. 300 (Apollo 15) Tripleprismen mit einem Durchmesser von jeweils 3,8 cm. Auf den Lunochod-Rovern wurden französische Reflektoren aus 14 Einzelprismen mit einer Seitenlänge von je 11 cm genutzt.

Auf der Erde sind nur wenige Observatorien in der Lage LLR-Messungen durchzuführen. In den USA ist es das Projekt APOLLO (Apache Point Observatory Lunar Laser Ranging Operation) in New Mexico, in Frankreich das Observatoire de la Côte d'Azur in Grasse und die Matera Laser Ranging Station in Italien. Die längste LLR-Datenreihe (von 1969 bis 2013) des McDonald Observatory in Texas (USA) kann zurzeit aufgrund von finanziellen Pro-



blemen nicht fortgesetzt werden. Von 1984 bis 1990 führte das Observatorium auf dem Mt. Haleakala (Hawaii) LLR-Messungen durch. Einzelne Messungen wurden auch an der australischen Station Orroral und auf der geodätischen Fundamentalstation in Wettzell im Bayerischen Wald durchgeführt, die 2018 den LLR-Betrieb wieder aufgenommen hat.

Das Prinzip von LLR ist einfach: Man schickt einen Laserstrahl von einer Station auf der Erde zu einem Reflektor auf dem Mond und bestimmt anhand der gemessenen Laufzeit die Entfernung. In der Praxis ist LLR allerdings eine sehr anspruchsvolle Messmethode. Ausgangspunkt ist ein Laserpuls, der kurz nach Verlassen des Teleskops eine Lichtscheibe von etwa drei Zentimeter Dicke und einem Durchmesser entsprechend des eingesetzten Teleskops (z.B. bei APOLLO 3,5 Meter oder in Wettzell 0,7 Meter) formt. Der Einzelpuls enthält etwa 3×10^{17} Photonen. Das austretende Laserlicht durchläuft als erstes die turbulente Erdatmosphäre und wird aufgeweitet. Auf dem Mond beleuchtet es eine Fläche zwischen 10 und 70 km². Zum Vergleich, die 300 Tripleprismen des Apollo 15 Reflektors ergeben zusammen eine reflektierende Fläche von 0,34 m², also nur $3,4 \times 10^{-7}$ km². Somit wird nur ein ganz kleiner Teil der ankommenden Photonen zur Erde reflektiert. Dieser zurückgeworfene Laserpuls divergiert aufgrund der Eigenschaften des Reflektors ebenfalls und beleuchtet auf der Erdoberfläche eine Kreisfläche mit 15 km Durchmesser, wovon nur der kleine Bereich der Teleskopöffnung die verbleibenden Photonen zum Detektor leitet. Der gesamte Signalverlust, inklusive zweimaligem Durchlauf durch die Atmosphäre, beträgt etwa 18 Größenordnungen. Am Detektor kommen so nur einzelne der ehemals 3×10^{17} Photonen an. Diese Einzelphotonen müssen aus einer Menge an Störphotonen durch den hellen Mond mit Hilfe einer dreifachen Filterung (räumlich, spektral und zeitlich) separiert werden. Die Messgröße für jeden Laserpuls ist die Pulslaufzeit, d.h. die Zeitdifferenz zwischen Sende- und Empfangszeitpunkt, die mit Hilfe der Lichtgeschwindigkeit

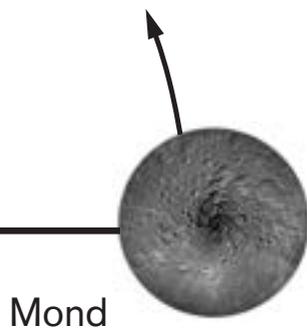
Schematische, nicht maßstabsgetreue Darstellung zur Gezeitenreibung. Die durch den Mond verursachten Gezeitenberge des Wassers liegen aufgrund der Trägheit und der Rotation der Erde nicht in der Verbindungslinie Erde-Mond (Blickrichtung auf den Nordpol).



Die Station Apache Point Observatory (APOLLO) schießt einen Laserstrahl zum Mond. Dieser wird von einem Retroreflektor auf der Mondoberfläche zurückgeworfen und an der Station wieder registriert. In diesem Bild ist der Mond stark überbelichtet, um den Laserstrahl sichtbar zu machen.

in einen Abstand umgerechnet werden kann. Die Detektion des gefilterten Photons aus einem Einzelpuls lässt allerdings noch keine Aussage darüber zu, ob es sich wirklich um ein Photon des ursprünglichen Laserpulses oder nicht doch um ein Störphoton handelt. Aus diesem Grund werden Messungen über einen Zeitraum von etwa 5 bis 15 Minuten zu einem statistisch abgesicherten Messwert, dem Normalpunkt, zusammengefasst. Von 1969 bis Ende 2018 wurden rund 26 000 Normalpunkte gemessen. Diese werden unter anderem am Institut für Erdmessung (IfE) der Leibniz Universität Hannover mit dem Programmpaket LUNAR analysiert.

Die Messgenauigkeit von LLR hat sich von 1969 bis heute vom Meter- zum Millimeter-Bereich verbessert. Diese Genauigkeit kann in der Auswertung genutzt werden, um verschiedene Parameter zu bestimmen und so Informationen zum Erde-Mond-System zu gewinnen. Durch die genaue Berechnung der Mondbahn lässt sich ein dynamisches Referenzsystem erzeugen. Dieses kann man mit einer kinematischen Realisierung über die Quasare aus VLBI vergleichen. Außerdem ermöglicht die LLR-Auswertung, die Rotationswinkel des Mondes zu bestimmen. Zusammen mit den Koordinaten der Reflektoren, mit einer Genauigkeit von etwa einem Dezimeter, lassen sich diese Werte nutzen, um ein mondfestes Referenzsystem zu realisieren. Dies dient als Grundlage für Karten des Mondes oder zur Orientierung von Bildern der Mondoberfläche, die von Satelliten aus gemacht werden (z.B. mit Lunar Reconnaissance Orbiter). Koordinaten und Geschwindigkeiten der Stationen auf der Erde lassen sich mit einer Genauigkeit von wenigen Zentimetern bzw. Millimetern schätzen und könnten in eine kombinierte Auswertung mehrerer geodätischer Raumverfahren zur Realisierung des internationalen erdfesten Referenzrahmens (ITRF) einfließen. Durch die langzeitstabile Bahn des Mondes sind außerdem Größen der Präzession und langperiodischen Nutation bestimmbar. Ebenso ist es möglich, mit Hilfe des LLR Parameter zu schätzen, die den Mondaufbau beschreiben



Mond

und die Masse des Erde-Mond-Systems angeben. Die vorher beschriebene Gezeitenreibung, die zur Entfernung des Mondes von der Erde führt, wurde mit LLR das erste Mal bestimmt. Zuletzt stellt das Erde-Mond-System mit seinen großen Massen ein natürliches Labor dar, mit dem die Einstein'sche Relativitätstheorie überprüft werden kann.

Zukünftige Mondforschung

Um das einzigartige Erde-Mond-Labor zukünftig mit noch höherer Genauigkeit nutzen zu können, gibt es im LLR-Bereich Planungen, die Messungen durch die Observatorien zu verbessern. Außerdem könnten durch neuartige Einzel-Prisma-Reflektoren, die auf dem Mond installiert werden, auch Stationen mit kleineren Teleskopen Millimeter-Genauigkeit bei der Messung erreichen. Eine weitere Möglichkeit zur Genauigkeitssteigerung besteht, wenn Lasertransponder auf der Mondoberfläche abgesetzt werden, die selbst ein regelmäßiges Signal abgeben. Damit ist der gesamte Signalverlust bei der Messung wesentlich geringer und auch die Stationen, die sonst nur Laserentfernungsmessungen zu Satelliten durchführen, können Signale vom Mond empfangen. Der Einsatz eines Teils des weltweiten SLR-Netzes würde die terrestrische Abdeckung der LLR-Observatorien und auch die Menge an qualitativ hochwertigen LLR-Daten wesentlich verbessern.

Und ganz allgemein rückt der Mond wieder stärker ins Interesse der Forschung und Raumfahrt. Länder wie die USA, Russland, China, Japan, Indien, Südkorea sowie Europa planen neue bemannte und unbemannte Missionen zum Mond. Am 3. Januar 2019 landete die chinesische Sonde Chang'e 4 erstmals auf der erdabgewandten Seite des Mondes. Die israelische Sonde Beresheet, deren Landung auf dem Mond geplant war, stürzte am 12. April 2019 leider ab. Dennoch wird es zukünftig viele neue interessante Ergebnisse zum Thema Mond geben. Und da sich der Mond zurzeit mit nur 3,8 cm pro Jahr von der Erde entfernt, bleibt er uns noch sehr lange als Forschungsobjekt erhalten. ■■

Abbildungen: NASA.gov; depositphoto; Grafik: Biskupek/Abjar



DIE AUTORIN

Dr. Liliane Biskupek ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Erdmessung der Leibniz Universität Hannover. Seit 2006 forscht sie u.a. im Bereich Erde-Mond-System und Lunar Laser Ranging.

NEOZ

kabellose Leuchten ...



COOEE 1c

... mit innovativer
Akku-Technologie.

... funktionieren
auch auf dem Mond!

Lust auf mehr? Besuchen Sie uns!
Showroom: Kramergasse 32
82054 Sauerlach bei München

Oder online: www.moonich.de/neo
und telefonisch: +49 (0)8104 647090

MOONICH®
brands for atmosphere



50 Jahre nach den Apollo-Landungen wissen Wissenschaftler einiges über den Mond: über seine Gestalt, Zusammensetzung und Umlaufbahn. Aber es sind auch noch etliche Fragen offen. Zukünftige Forschungsmissionen sollen darüber Auskunft geben.

Von Christian Rauch

Besuch beim Nachbarn



Zwischen 1969 und 1972 haben Apollo-Astronauten 382 Kilogramm Mondgestein zur Erde mitgebracht. Die Analysen der Proben brachten neue Erkenntnisse über Entstehung und Zusammensetzung des Erdtrabanten.

Vieles über unseren Erdtrabanten ist uns längst bekannt. Seit Jahrtausenden durch das bloße Auge. Seit Jahrhunderten durch Teleskope und seit 60 Jahren durch unbemannte Raumsonden. Der Mond hat einen Durchmesser von 3476 Kilometern. Er ist damit gut ein Viertel so groß wie die Erde. Seine Masse beträgt $7,35 \text{ mal } 10^{22}$ Kilogramm, das ist gut ein Hundertstel der Erdmasse. In knapp einem Monat läuft der Mond einmal um die Erde. Dabei bescheint ihn die Sonne unterschiedlich, die Mondphasen vom Vollmond bis zum Neumond entstehen. Und da sich die Erde um sich selbst dreht, zieht der Mond mit seiner Gravitation auf der erdzugewandten Seite die Weltmeere ein wenig zu sich heran. Flutberge entstehen, anschließend Ebben – die Gezeiten.

Der Mond ist unser einziger Begleiter. Und er ist vergleichsweise groß. Unsere Nachbarplaneten im inneren Sonnensystem, Merkur und Venus, besitzen keine Monde. Mars hat zwei, doch die sind sehr klein. Und die äußeren Planeten – von Jupiter bis Neptun – haben zwar jeweils viele Monde, doch die sind gemessen an ihrem Mutterplaneten meist auch recht klein.

Genauer über die Mondoberfläche wissen wir erst seit den Landungen der zwölf Apollo-Astronauten in den Jahren 1969 bis 1972. 382 Kilogramm Mondgestein haben sie mit zur Erde gebracht. Und dank ihrer Analysen konn-

ten Wissenschaftler in den siebziger Jahren das Bild vom Mond revolutionieren. Dass es helle Bereiche, die Hochländer »Terra«^e, sowie dazwischen dunkle Regionen, die Maria (Mehrzahl von »Mare«^e) gibt, erkennt man zwar mit bloßem Auge. Doch woraus sie bestehen, wusste niemand. Und so spekulierten die Menschen jahrhundertlang über wasserhaltige Mondozeane oder gar über Mondbewohner, sagenumwobene Mondgesichter und den »Mann im Mond«.

Seit Apollo ist klar: Die hellen Terra bestehen aus leichteren Mineralien. Die dunklen Beckenfüllungen der Maria aus erstarrter Lava. Und bald entwickelten die Wissenschaftler dazu eine plausible Entstehungstheorie: Als der Mond in seiner Geburtsphase heiß war, war viel Metall und Gestein geschmolzen. Als der Mond abkühlte, sanken schwerere Elemente in die Tiefe und an der Oberfläche verfestigten sich leichtere Mineralien, vor allem Anorthit, zu einer Kruste. Und als diese in den nachfolgenden Jahrmillionen von Meteoriten bombardiert wurde, bildeten sich große Krater in Form von Ringbecken. Die Hochländer und Vorläufer der Maria waren geboren. Noch waren beide hell, doch vor rund 3,9 Milliarden Jahren setzte eine starke vulkanische Aktivität auf dem Mond ein. Lava, reich an Eisen aus tieferen Schichten des Mondes, floss in die Ringbecken, erstarrte und färbte sie damit dunkel.



Und weil seither weitere Meteoriten auf dem Mond einschlagen – durch die fehlende Atmosphäre ungebremst – und Gestein an der Oberfläche pulverisieren, ist die Oberfläche heute von feinem scharfkantigem »Staub« überdeckt, dem »Mondregolith«. Da kein Wasser oder Wind seine Partikel feinschleifen kann, hinterließ er leichte Schäden an den Anzügen der Apollo-Astronauten und rief sogar Lungenreizungen hervor.

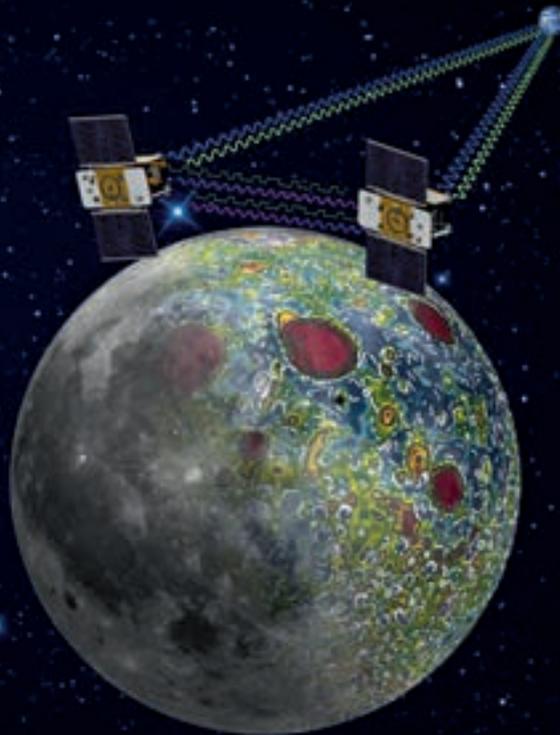
Die Entstehungstheorie der Oberflächengesteine wurde seit Apollo durch weitere Beobachtungen und Messungen bestätigt: Zwar waren die Astronauten nur an sechs teils benachbarten Stellen auf dem Mond gelandet – trotzdem waren ihre Untersuchungen und Bodenproben für die gesamte Mondvorderseite aussagekräftig. Denn damit kalibrierten Wissenschaftler ihre Instrumente auf Teleskopen und Raumsonden, mit denen sie den Mond weiter erforschten. »Durch die Proben verstehen wir die Bodenbeschaffenheit an den Landestellen sehr genau und gleichzeitig haben wir heute hochgenaue Spektrometer im Orbit um den Mond, die an den Landestellen kalibriert werden konnten«, erklärt Harald Hiesinger. »Wenn man dann die Mondoberfläche abtastet, kann man über die Spektren der anderen Regionen deren Zusammensetzung ebenfalls bestimmen.« Hiesinger ist Professor am Institut für Planetologie an der Westfälischen Wilhelms-Universi-

tät in Münster. Seit seinem Studium der Geologie vor gut 30 Jahren ist der gebürtige Münchner an der Erforschung des Mondes intensiv beteiligt. Mondkarten, die die genaue Zusammensetzung, Temperaturverteilung und Alter auf unserem Erdtrabanten zeigen, sind sein tägliches Arbeitsmittel. »Und die Karten werden immer besser«, erklärt der Experte. Denn seit Apollo wurden immer wieder unbemannte Raumsonden zum Mond geschickt.

Eine der erfolgreichsten, der Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) der NASA, umkreist den Mond seit 2009. Die Mitglieder der Arbeitsgruppe um Harald Hiesinger sind außerhalb der USA die einzigen Wissenschaftler, die sofortigen Zugriff auf die Messdaten und Fotos der Sonde haben – für die Öffentlichkeit werden sie erst nach sechs Monaten freigegeben. Mehrere Millionen Bilder und unzählige Sätze von Messdaten des LRO sind bis heute verfügbar. Jeden Monat fotografiert der Orbiter einmal die gesamte Mondoberfläche. Hochauflösende Bilder aus Umlaufhöhen in 50 bis 25 Kilometern erreichen eine Genauigkeit von bis zu 25 Zentimetern pro Bildpunkt. Immer wieder fotografierte LRO auch die Landestellen der Apollo-Missionen. Auf den besten Aufnahmen sind neben der Landefähre sogar die zurückgelassenen wissenschaftlichen Instrumente und die Reifenspuren des Mondrovers zu erkennen. »Spätestens seit diesen Bildern kann niemand mehr behaupten, die Mond-



Harald Hiesinger leitet den Lehrstuhl für Planetologie an der Universität in Münster. Seit 2018 gehört er zum Beraterteam der Europäischen Weltraumorganisation ESA.



Die Aufnahme links zeigt eine hochaufgeköste Ansicht der nordpolaren Region des Erdmondes. Das Bild wurde aus Einzelaufnahmen der Sonde »Lunar Reconnaissance Orbiter« zusammengesetzt.

Rechts daneben ist eine künstlerische Darstellung des Gravitationsfeldes des Mondes zu sehen, basierend auf Messungen der GRAIL-Sonden der NASA, die seit 2012 das Schwerefeld des Mondes vermessen.

landungen hätten nie stattgefunden!«, stellt Hiesinger klar. Wie schon die Lunar Prospector Mission gut zehn Jahre zuvor, hat auch LRO Wasser auf dem Mond nachgewiesen, der nach den Apollo-Missionen eigentlich als staubtrockener Ort gegolten hatte. »Interessanterweise wurde mehr oder weniger zeitgleich auch in den Apollo-Bodenproben auf der Erde Wasser entdeckt«, erklärt Hiesinger. »Bis dahin waren einfach die Analysemethoden nicht gut genug, um die Konzentration nachzuweisen.« Denn der Wassergehalt im Mondgestein ist sehr niedrig: Zwischen 4 und 46 Teile pro Million konnten in kleinen vulkanischen Glasperlen der Apollo-15-Landestelle nachgewiesen werden. Daraus wurde ein Wassergehalt von etwa 0,03 bis 0,07 Prozent im Mondmantel abgeleitet.

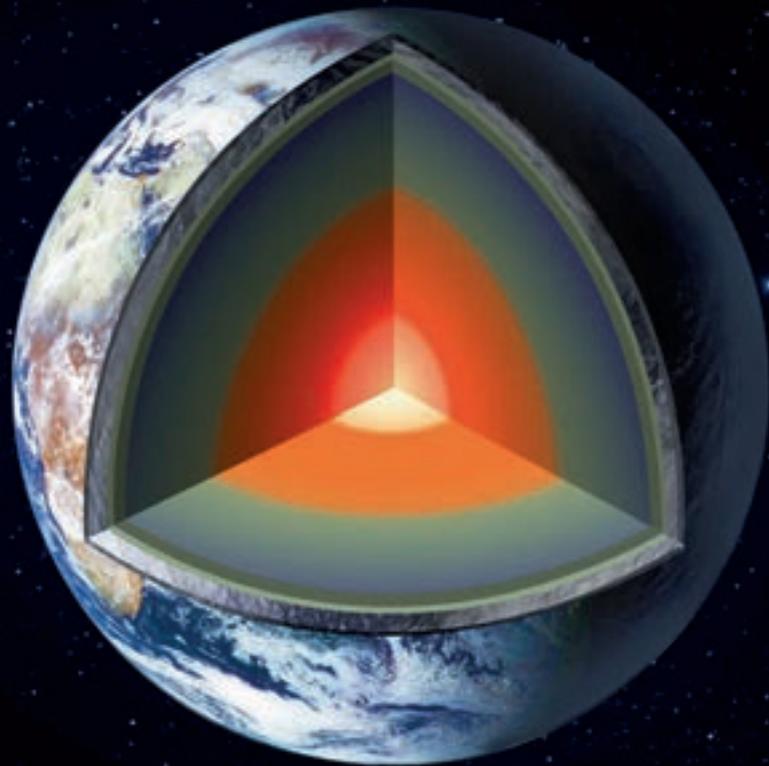
An den Polen jedoch haben Wissenschaftler Wassereis in wesentlich größeren Mengen entdeckt. Dort, wo die flach stehende Sonne etliche Mondkraterböden in ewige Schatten taucht, steigen die Temperaturen gerade einmal 20 bis 30 Grad Kelvin über den absoluten Nullpunkt, das entspricht etwa minus 250 Grad Celsius. Die anderen Teile der Mondoberfläche, wo sich Sonnenlicht und Schatten abwechseln, können hingegen zwischen minus 160 und plus 130 Grad kalt bzw. warm sein. Oberflächenwasser würde bei den wärmeren Temperaturen regelmäßig in das Weltall diffundieren.

Eine andere Mission, die GRAIL-Sonden der NASA vermaßen 2012 das Schwerefeld des Mondes. Daraus entstand die bislang genaueste Gravitationsfeldkarte. Sie zeigt nicht nur exakte Oberflächenstrukturen, wie Ringe von Einschlagbecken, Krater-Zentralberge und Grabenbrüche, sondern gibt auch Einblicke in die Kruste unterhalb der Oberfläche. Während also die Oberfläche und Kruste des Mondes und ihre Entstehung relativ gut verstanden sind,

bleibt die eigentliche Geburt des Erdtrabanten noch etwas im Dunkeln. Die unter Wissenschaftlern mittlerweile weithin anerkannte Theorie besagt, dass die junge Erde vor etwa 4,5 Milliarden Jahren mit einem anderen jungen Planeten, etwa in der Größe des Mars, streifend kollidierte. Dabei wurde Material aus der Erdkruste und dem Erdmantel herausgeschlagen und ballte sich durch die Schwerkraft zu einem neuen Himmelskörper zusammen – dem Mond. »Doch manches ist widersprüchlich«, sagt Harald Hiesinger. »So ist die Isotopenzusammensetzung von Mond und Erde sehr ähnlich.«

Isotopen sind Abwandlungen von Atomen, die zwar gleich viele Protonen, aber unterschiedlich viele Neutronen im Kern tragen. Damit ändern sie die chemischen Eigenschaften des Elements, das sie enthält kaum, prägen ihm aber eine physikalische Signatur ein. Da sich die isotopischen Eigenschaften von Atomen in unterschiedlichen Abständen zur Sonne gewöhnlich unterschiedlich entwickeln, müsste sich der Himmelskörper, der mit der Erde kollidierte, in einem sehr ähnlichen Sonnenabstand, also in unmittelbarer Nähe zur Erde, gebildet haben.

War dieser Planet so groß wie der Mars, kann er aber kaum so nah an der Erde entstanden sein. Manche Wissenschaftler spekulieren daher mittlerweile über einen heftigeren Zusammenstoß, der den einschlagenden Planeten und die junge Erde größtenteils oder gar vollständig schmelzen oder verdampfen ließ. Aus der riesigen Wolke von geschmolzenem Gestein und Gas könnten sich dann Erde und Mond vermischt oder sogar neu gebildet haben – mit eben sehr ähnlichen chemischen und atomaren Eigenschaften. Welche der Varianten sich aber in der Theorie letztlich durchsetzen werden, das wird auch von noch besseren Computersimulationen abhängen.



Auch der innere Aufbau des Mondes ist nicht vollständig geklärt. »Die obersten 400 bis 500 Kilometer verstehen wir halbwegs gut«, so Hiesinger. Denn durch die einstigen Vulkanausbrüche und Meteoriteneinschläge wurde Material aus größeren Tiefen bis an die Oberfläche befördert. Und die Apollo-Astronauten stellten Seismometer auf, die noch viele Jahre lang Messdaten zur Erde funkten. Dennoch wagen Wissenschaftler noch keine definitive Aussage über den Mondkern. Wie groß er ist, wie er sich nach oben abgrenzt, woraus er genau besteht, ist unklar. Eines wissen Wissenschaftler sicher: Der Mond hat kein Magnetfeld. Und da ein großer metallisch-flüssiger Kern, wie der der Erde, in einem sich drehenden Himmelskörper stets ein Magnetfeld erzeugt – gleich einem riesigen Dynamo – kann der Mond keinen solchen Kern besitzen. »Der Kern könnte allerdings klein und größtenteils fest sein«, gibt Hiesinger zu bedenken. »Ein Magnetfeld wäre dann zu schwach um signifikant nach außen zu dringen.«

Endgültige Klarheit über den Kern würden Wissenschaftler erst erhalten, wenn sie genügend seismische Messungen durch den gesamten Mond durchführen könnten. Denn auf dem Mond finden viele, wenn auch recht schwache Beben statt. Durchlaufen die Schockwellen eines solchen Bebens einen flüssigen Mondkern, werden sie auf eine bestimmte Weise abgeschwächt. Die Art der Abschwächung würde Rückschlüsse auf den Zustand des Kerns erlauben. Doch dafür bräuchte es seismische Instrumente auf der Mondvorderseite und der Mondrückseite. Letztere aber war für die Menschen jahrtausendlang unsichtbar. Denn der Erdtrabant dreht sich heute ebenso so schnell um sich selbst, wie er sich um die Erde dreht. Die Schwerkraft der Erde hat ihm diese »gebundene Rotation« aufgezwungen. Daher war und ist die Mondrückseite von der

Erde aus nicht sichtbar. Und so konnte sie lange auch nicht erforscht werden. Nur die sowjetische Raumsonde Lunik 3 machte 1959 erste unscharfe Bilder.

Es dauerte bis zum 3. Januar 2019 als erstmals eine Sonde auf der Mondrückseite landete – die chinesische Mission Chang'e 4. Denn um überhaupt eine Funkverbindung zur Mondrückseite zu etablieren, braucht es extra einen Relaisatelliten, den China 2018 hinter dem Mond postierte. Das Landegerät setzte einen Rover aus, der bis zum März 163 Meter auf der Mondrückseite zurücklegte. Lander und Rover beherbergen neben Kameras zahlreiche wissenschaftliche Instrumente. Eines dieser Instrumente wurde in Deutschland von der Universität Kiel entwickelt. Es misst die kosmische Strahlung auf der Mondoberfläche und liefert Informationen über Neutronen, die aufgrund der Strahlung im Mondgestein entstehen. »Die Messungen erlauben Rückschlüsse auf die Strahlenbelastung für künftige Astronauten«, erklärt Jia Yu.

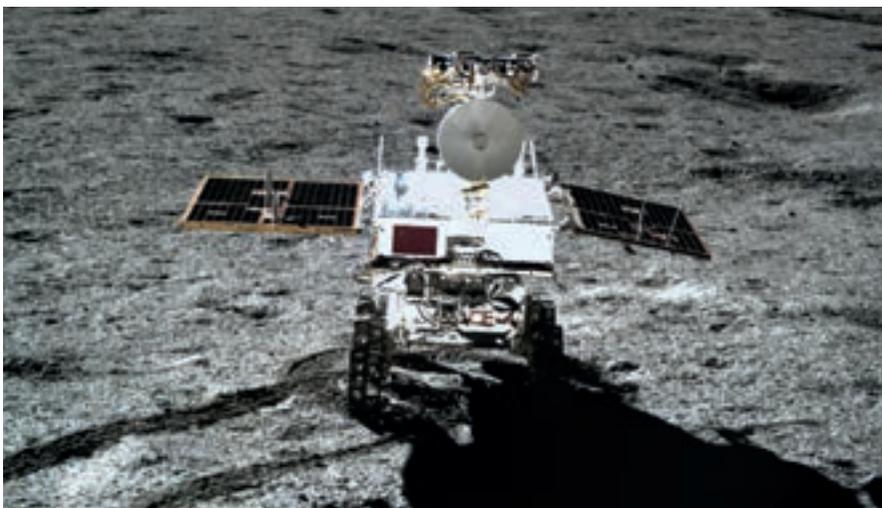
Der chinesische Physiker arbeitet seit sechs Jahren in Kiel und wertet gerade die ersten Messdaten des »Lunar Lander Neutron Dosimetry« aus. Aufgrund der fehlenden Atmosphäre und des fehlenden Magnetfelds gelangen die Partikelstrahlung von der Sonne und die galaktische kosmische Strahlung ungehindert bis zur Mondoberfläche. Für genaue Ergebnisse ist es noch zu früh, doch eins scheint bereits klar: Die Messwerte decken sich weitgehend mit Untersuchungen aus dem Orbit. Weil die Sonne aber zurzeit nur wenig Aktivität zeigt, wird die aktuell gemessene Strahlung durch die galaktische dominiert. Das Team hofft auf ein oder mehr solare Teilchenausbrüche, um diese wichtige Komponente der Strahlenbelastung auch messen zu können.

Für Harald Hiesinger ist klar, dass es auf dem Mond noch viel zu erforschen gibt. »Und je mehr wir erfahren,

Im Gegensatz zur Erde besitzt der Mond kein Magnetfeld. Man nimmt daher an, dass er keinen großen metallisch-flüssigen Kern hat. Klarheit über die Beschaffenheit des Kerns könnten seismische Messungen durch den gesamten Mond liefern. Im Bild links eine grafische Darstellung des Erdkerns, daneben eine des Mondes.



Mit an Bord der Chang'e 4 war das Roboterfahrzeug »Jadehase 2«. Kurz nach der Landung der Raumsonde begab es sich bereits auf seine erste Erkundungsfahrt.



Mit der Raumsonde Chang'e 4 gelang China am 3. Januar 2019 das extrem schwierige Landemanöver auf der Rückseite des Mondes.

desto mehr hilft uns das bei der Erforschung des gesamten Sonnensystems.« Denn der Mond sieht noch immer so aus wie vor Jahrmilliarden, als unzählige Asteroiden und Meteoriten in die großen Himmelskörper einschlugen. »Einschlagkrater, von Mikrometer großen Löchlein in Gesteinsbrocken bis zu tausende Kilometer großen Becken auf der Mondoberfläche, sind bis heute erhalten«, so der Experte. Auf der Erde hingegen haben die Atmosphäre mit Wind und Regen, die Vegetation sowie plattentektonische Verschiebungen viele Spuren der einstigen Einschläge verwischt. So könnte der Mond auch Klarheit zu der Frage bringen, wie sich das Bombardement in der frühen Phase unseres Sonnensystems abgespielt hat. Denn Wissenschaftler nahmen nach ersten Auswertungen der Apolloproben an, dass es vor etwa 3,9 bis 4 Milliarden Jahren eine Phase besonders heftiger Meteoriteneinschläge auf Erde und Mond gegeben habe – das sogenannte »Late Heavy Bombardment«. Daraus folgerte man, dass dies die Entwicklung des Lebens auf der Erde zunächst gehemmt haben könnte. Und in der Tat entwickelten sich die ersten Spuren von Leben auf der Erde, wie Fossilien zeigen, erst nach dieser Phase. Denkbar wäre aber auch, dass die eingeschlagenen

Asteroiden in kurzer Zeit große Mengen organischer Verbindungen und Wasser auf die Erde brachten, die erst dann eine lebensfreundliche Umgebung ermöglicht haben.

Die Theorie des Late Heavy Bombardment ist allerdings umstritten. »Zwar datieren viele Apolloproben in die gleiche Zeitspanne zurück, so dass man einen Höhepunkt bei den Einschlägen vermuten könnte«, sagt Harald Hiesinger. »Doch die Landstellen gruppierten sich alle um das große Imbrium-Becken herum und datieren somit sehr wahrscheinlich die Bildung dieses Beckens.« Proben von beliebigen Orten auf dem Mond, wie sie Mondmeteoriten enthalten, die immer wieder auf der Erde gefunden werden, zeigen auch andere Alter. Das Bombardement könnte also keinen Peak gehabt haben, sondern sich gleichmäßiger über Hunderte von Jahrmillionen abgespielt haben. Wie genau sich die Einschläge in der Frühphase des Sonnensystems verteilten und wie sie auch die Entstehung des Lebens auf der Erde beeinflussten, kann man aber erst ermitteln, wenn neue Bodenproben von gezielt ausgewählten Orten auf der Mondoberfläche den Wissenschaftlern vorliegen.

Damit könnte man auch ein weiteres Rätsel lösen, das des jungen Vulkanismus. Lange nahm man an, vulkanische Aktivitäten auf dem Mond hätten spätestens vor einer Milliarde Jahre aufgehört. 2014 zeigten Fotos der LRO-Sonde Strukturen auf dem Mond, die auf Vulkanismus während der letzten 100 Millionen Jahre schließen lassen. Dieser sehr junge Vulkanismus ist mit der thermischen Entwicklung des Mondes allerdings nur schwer vereinbar und deshalb unter Mondforschern heftig umstritten.

Ob junger Vulkanismus, versteckte Wasservorkommen oder der Zusammenhang von Mondkratern mit der Entstehung des Lebens auf der Erde – neue wissenschaftliche Fragen und Erkenntnisse machen den Erdtrabanten wieder zum attraktiven Ziel für die Raumfahrt. Und der Wunsch der Wissenschaftler nach neuen Mondproben findet Gehör. Nach Chang'e 4 will China mit den Nachfolge-missionen Chang'e 5 und Chang'e 6 Ende 2019 und 2023 Bodenproben vom Mond zur Erde bringen - zunächst von der Vorderseite, bei Chang'e 6 dann auch von der Rückseite. Es wären die ersten Proben seit den Apollo-Missionen und unbemannten sowjetischen Missionen in den siebziger Jahren. Und die europäische Weltraumorganisation

ESA plant mit Russland die Mission »Luna-Resurs« um 2023 Bodenproben am Mondspol zu entnehmen und vor Ort zu analysieren.

2028 soll dann die Mission HERACLES (Human-Enhanced Robotic Architecture and Capability for Lunar Exploration and Science) rund 15 Kilogramm Proben aus der Nähe des Mondspols zur Erde bringen. »Wir erwarten einen signifikanten Wissensgewinn in vielen aktiven Feldern der Mondforschung«, erklärt Harald Hiesinger, der selbst im Beratergremium der ESA für solche Missionen sitzt. HERACLES funktioniert jedoch nur, wenn die NASA, Russland und die ESA ab frühestens 2022 ihre geplante Station in der Mondumlaufbahn aufbauen. Als Nachfolger für die Internationale Raumstation ISS gedacht, soll das »Lunar Gateway« frühestens ab 2024 Astronauten beherbergen, die von dort unbemannte Rover und Forschungsroboter wie HERACLES auf der Mondoberfläche steuern. Später sollen auch Menschen von dort auf dem Mond landen können. Langfristig soll das Gateway als Brückenkopf für Missionen zum Mars fungieren.

China könnte tatsächlich bereits früher Menschen auf den Mond bringen. Geplant ist der Aufbau einer bemannten Basis aus dem Land der Mitte in den späten 2020er Jahren. Unter anderem lockt der Abbau von Rohstoffen: Vorkommen von Wasser und Metallen auf dem Mond könnten zunächst vor Ort für die Raumbasis verwendet werden. Wertvolle Elemente wie Seltene Erden könnten später auch

für den Transport zur Erde und die irdische Nutzung abgebaut werden. Anfang Januar brachte ein biologisches Experiment an Bord des Chang'e-4-Landers binnen wenigen Tagen Baumwollsaamen zum Keimen. Auch wenn das Experiment letztlich nicht ganz gelang, da die Batterie zur Erwärmung des Behälters aussetzte, bevor mitgeführte Insekteneier und weitere Samen hätten schlüpfen können, zeigt es doch das Interesse Chinas, auf dem Mond längerfristig Astronauten forschen und arbeiten zu lassen.

Harald Hiesinger würde am liebsten selbst einmal seinen Fuß auf den Mond setzen. »Mit der entsprechenden Vorbereitung durch das extrem anspruchsvolle Astronautentraining würde ich lieber heute als morgen zum Mond fliegen«, sagt der heute 54-jährige. Einer bemannten Rückkehr zu unserem Erdtrabanten fiebert er in jedem Fall entgegen. Trotz der immer weiter fortschreitenden Robotik ist er überzeugt: »Ein Mensch kann viele Beobachtungen und Daten in kurzer Zeit verarbeiten und selbstständig Entscheidungen treffen. Er ist somit extrem gut geeignet die Mondoberfläche zu erkunden und die wissenschaftliche Ausbeute zu maximieren.« Allerdings gebe es auch Gebiete auf dem Mond, die für Astronauten ungeeignet sind, wie die sehr kalten und immer im Dunkeln liegenden polaren Kraterböden. Harald Hiesinger sieht daher die flexible und sich ergänzende Kombination aus robotischer und menschlicher Erkundung als das beste Mittel für die zukünftige Mondforschung. ■■



DER AUTOR

Dipl.-Ing. Christian Rauch
ist freier Journalist für
Zeitungen und Zeitschriften.
Schwerpunkte: Wissen-
schaft/Technik sowie Reise
und Tourismus.

Anzeige

Teleskop-Service Ransburg
Faszination Weltall und Natur

**Ihr Fachhändler für die
Hobby Astronomie, Tier-
und Naturbeobachtung**

Von-Myra-Straße 8
85599 Parsdorf (ggü Segmüller)
www.teleskop-express.de

Auf Mondfahrt im Deutschen Museum

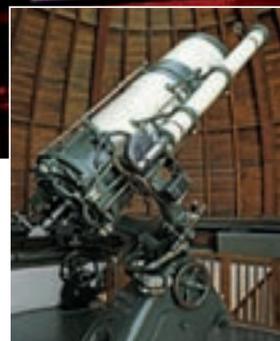
An den ungewöhnlichsten Orten begegnen wir dem Mond im Deutschen Museum. Begleiten Sie unsere Autorin auf ihrer Suche nach Spuren des Erdtrabanten. Von Melanie Jahreis

In der Ostkuppel der Sternwarte des Deutschen Museums ermöglicht ein 40-cm-Cassegrain-Spiegelteleskop der Firma Goerz aus dem Jahr 1913 einen Blick in die Weiten unseres Kosmos.

Wo Tag und Nacht aufeinandertreffen, sind vor allem die Krater des Mondes sehr gut zu erkennen.

Dem Himmel ganz nah

Der Himmel ist klar, die Luft ist kühl – ich spüre meinen warmen Atem, der immer wieder sanfte Luftverwirbelungen ausstößt und im Licht der Laterne tänzelt. Ein Glockenschlag reißt mich aus diesem Traum. Es ist 20 Uhr an einem kalten Januarabend und ich stehe mitten im Hof des Deutschen Museums. »Ich hoffe, du bist noch nicht durchgefroren?«, werde ich von einem Mitglied der Beobachtergruppe der Sternwarte des Deutschen Museums begrüßt. »Komm mit, gleich wird dir warm!« Er schließt uns die Tür zur Ostkuppel auf. Es geht hoch hinauf: 250 Stufen, sieben Stockwerke. Schon nach wenigen Schritten tauen meine tiefgefrorenen Füße auf. Mein Puls steigt. Oben angekommen, schnappe ich nach Luft. Das, was mich erwartet, ist einfach atemberaubend: Der Sternenhimmel über München – eingehüllt in einem dunklen Schleier. Doch es gibt hier noch so viel mehr zu entdecken. Mein Blick fällt sofort auf ein beeindruckendes glänzen-



des Instrument. Es ist ein Teleskop der Firma Goerz aus dem Jahr 1913. Damals wurde es für eine Sonnenfinsternis-Expedition auf die norwegische Insel Alsten erbaut. Erst 1922 fand es seinen Weg in das Deutsche Museum. Nach der Eröffnung der Sternwarte im Jahr 1925 wurde es mit einem Parabolspiegel ausgestattet und konnte seither für visuelle Beobachtung genutzt werden – bis ein Bombenangriff 1944 die Optik massiv beschädigte. Erst viel später, in den 1970er-Jahren wurde es als Cassegrain-Teleskop erneuert und mit Spiegeln der Firma Lichtenknecker bestückt. Allerdings verminderten diese Spiegel die Leistungsfähigkeit, und auch die zunehmende Licht- und Luftverschmutzung des Himmels über München machten eine weitere Anpassung an das Teleskop notwendig. So wurden die Öffnungsverhältnisse an die starke Himmelsaufhellung angepasst und das Teleskop mit einer neuen Spiegeloptik ausgestattet. Heute besticht es durch sein Cassegrain-System 400/7500 mit dem Leitfernrohr 90/1350. Ich überzeuge mich selbst davon und werfe einen Blick durch das Teleskop in den Himmel mit seinen strahlenden Akteuren. Geheimnisvoll und mystisch mutet er an und doch ist er mir so vertraut – der Mond.

Die Beobachtergruppe Sternwarte Deutsches Museum bietet an jedem Dienstag und Freitag bei klarem Himmel Abendbeobachtungen an.
Beginn 20 Uhr: Januar, Februar, März, Oktober, November, Dezember
Beginn 21 Uhr: April, Mai, August, September
Zwei Stunden vor Beginn können Sie unter www.beobachtergruppe.de oder an der Hauptpforte des Deutschen Museums unter Tel. 089/2179-211 erfahren, ob die Abendführung stattfindet.

Bibliophile Kostbarkeiten

Ich möchte mehr über diese leuchtende Gestalt am Himmel erfahren. Daher begeben sich am nächsten Morgen weiter auf eine Mondreise durch das Deutsche Museum. Mein Weg führt mich eine große Steintreppe hinauf. Oben angekommen, öffnet sich per Knopfdruck eine schwere massive Holztür, hinter der sich eine beeindruckende Empfangshalle offenbart. Es ist die Eingangshalle der Bibliothek des Deutschen Museums. Hier will ich mich auf Spurensuche in die Vergangenheit begeben. Ich möchte erfahren, wie es früher war – zu Zeiten als der Mond als unerforschtes Objekt am Himmel galt und die ersten Astronomen sich seiner annahmen. Dazu treffe ich eine Mitarbeiterin der Bibliothek. Sie will mir etwas ganz Besonderes zeigen: *Die Selenographia – Sive lunae descriptio*, das erste umfangreiche Werk über den Mond. Dazu nimmt sie mich mit in einen abseits gelegenen Raum. Als sie die Tür aufschließt, kommt uns der Geruch alter, muffiger Bücher entgegen. Ich muss zugeben: Ich mag diesen Geruch. Er löst in mir Ehrfurcht aus und entschleunigt mich. Langsam lasse ich meinen Blick schweifen. Überall um mich herum füllen sie den Raum, aufgereiht und sortiert in großen Regalen. Große Bücher, kleine Bücher, dicke und dünne Werke – doch allen ist eines gemein: ihr hochbetagtes Alter. Man nennt sie auch Libri rari. Mein

Die Bibliothek des Deutschen Museums hält neben der *Selenographia* eine ganze Reihe von weiteren Schätzen für Sie bereit. Mit 950 000 Bänden ist sie die größte Museumsbibliothek Deutschlands. Die Bibliothek ist täglich von 9 bis 17 Uhr geöffnet. Nähere Informationen erhalten Sie unter www.deutsches-museum.de/bibliothek

Blick verharrt bei einem großen runden Holztisch. Dort liegt er – der Schatz. Aufgebahrt auf einem Buchhalter. Ich komme in Versuchung und möchte gerade mit meiner Hand über das Werk gleiten, als ich die Dame hastig rufen höre: »Nein, bloß nicht anfassen!« Ich zucke verlegen zurück, denn die *Selenographia* ist eines der bedeutendsten astronomischen Werke des 17. Jahrhunderts. Sie wurde 1647 von Johannes Hevelius veröffentlicht und enthält eine detaillierte Kartografie des Mondes, die auf seinen eigenen Beobachtungen basiert. Dazu beschreibt Hevelius die Mondphasen, seine astronomischen Geräte sowie die Werkstatt und sein Observatorium. Hevelius' Werk ist ein wahres Selfmade-Produkt: Das Buch wurde in seiner eigenen Druckerei gedruckt. Sogar die 133 Kupferstiche hat er nach eigenen Zeichnungen selbst gestochen. Der Mann wusste, was er tat und wovon er sprach – so sehr, dass er sogar die Qualität der Mondaufzeichnungen in Galileos *Sidereus Nuncius* von 1610 bemängelte.

Bilder unten links:
Titelseite des Buchs
Selenographia: Sive lunae descriptio.

Mitte: Ein Astronom bei der Himmelsbeobachtung mit einem Teleskop.

Eine Mondkarte mit Mondkratern von Johannes Hevelius

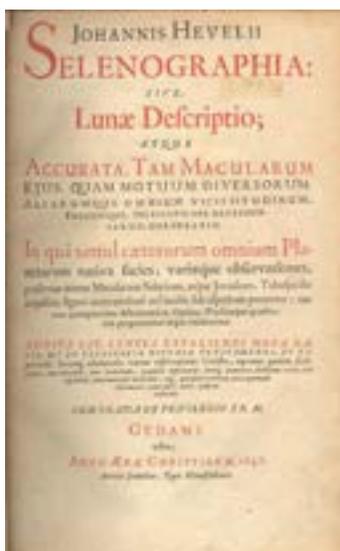


Bild links: Die Oberfläche des Mondes wird auf einem Mondreliefglobus sichtbar.



Bild rechts: Ein weiterer Globus zeigt neben den Mondphasen auch, an welchen Stellen die bisherigen Mondmissionen gelandet sind.

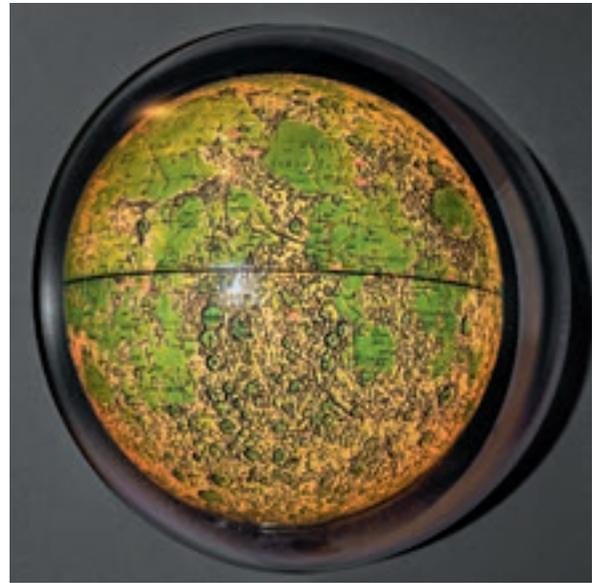


Bild unten: Richard Nixon schenkte der Bundesrepublik im Dezember 1973 ein Stückchen Mondgestein vom Apollo-Flug 17. Heute wird es im Deutschen Museum aufbewahrt.

Die Ausstellung des Deutschen Museums ist täglich von 9 bis 17 Uhr geöffnet. Der Kartenverkauf erfolgt bis 16 Uhr. Einlass bis 16.30 Uhr. An acht Tagen im Jahr ist das Deutsche Museum geschlossen. Eintritt für Erwachsene: 14 Euro, Schüler/Studenten 4,50 Euro. Nähere Informationen erhalten Sie unter www.deutsches-museum.de.

In der Ausstellung Astronomie

Beindruckt von Mondkarten und Mondphasen führe ich meine Reise fort. Es zieht mich in die Ausstellung des Deutschen Museums. Und zwar in die Astronomie, welche sich über drei Etagen in unterschiedliche Bereiche auffächert. Hier möchte ich mehr über den Mond erfahren. Zuallererst sticht mir ein besonderes Exponat ins Auge – es ist ein Mondreliefglobus der, ummantelt von einer Glashaube, in den Raum ragt. Es ist eine Nachbildung des Originals von Eduard von Lade, welches dieser 1899 in Berlin entwarf. Der Globus zeigt die von der Erde aus sichtbare »Vorderseite« des Mondes mit ihren Hochländern und Kratern in einem Maßstab von 1:8 690 000. Da Rechnen noch nie meine Stärke war, kann ich mir unter dieser Größenangabe leider nicht viel vorstellen. Umso mehr freue ich mich über die vielen Informationen, die die Ausstellung bereithält: 3476 Kilometer im Durchmesser ist er groß und 3 384 440 km von unserer Erde entfernt. 27,32 Tage braucht er, bis er uns einmal umrundet hat. Während seines Erdumlaufs ändert sich sein Antlitz. Genauer gesagt erscheint der Mond von der Erde aus gesehen in verschiedenen Beleuchtungsphasen. Von Neumond bis Vollmond nimmt die für uns sichtbare beleuchtete Fläche zu und von Vollmond bis Neumond nimmt sie wieder ab. Wir sprechen von Mondphasen, die durch die perspektivische Lageänderung der Tag-Nacht-Grenze während seiner Erdumrundung entstehen. Und natürlich finde ich auch hierzu eine spannende Demonstration. Per Knopfdruck kann ich beim Mondphasenglobus den Beleuchtungszustand ändern – das ist sehr eindrucksvoll!

Doch plötzlich sehe ich im Augenwinkel etwas noch heller strahlen. Ich traue meinen Augen nicht. Ist es wirklich das, für was ich es halte? Hastig nähere ich mich der Vitrine. Tatsächlich – es ist außerirdisch! Es ist ein Mondstein! 3,7 Milliarden altes Ilmenit-führendes Mondbasalt, ein kleines Fragment des Gesteins 70017, das beim



Apollo-Flug-17 im Dezember 1972 in der Nähe der Mondlandefähre im Taurus-Littrow-Tal vom Astronauten und Geologen Harrison Schmitt entnommen wurde. 1973 schenkte der ehemalige Präsident Richard Nixon dieses kleine Mondgestein im Namen der Menschen der Vereinigten Staaten von Amerika an die Bürger der Bundesrepublik Deutschland. Es ist ein Symbol der Einigkeit menschlicher Bemühungen und steht als Hoffnungsträger der amerikanischen Bevölkerung auf eine friedliche Welt. Während der Apollo-17-Mission wurde auch die Flagge der Bundesrepublik Deutschland an Bord des Raumschiffes »America« mitgeführt. Sie befindet sich ebenfalls in der prunkvollen Vitrine.

Meine Reise durch die Astronomie führt mich weiter. Ein beeindruckendes Bild weckt meine Aufmerksamkeit. Es ist ein Foto eines Fußabdrucks – allerdings nicht irgendein Abdruck, sondern der Fußabdruck von Buzz Aldrin, der am 20. Juli 1969 in der Apollo-11-Mission gemeinsam mit Neil Armstrong und Michael Collins als einer der ersten Menschen in der Weltgeschichte den Mond betrat. »Das ist ein kleiner Schritt für einen Menschen, aber ein großer Sprung für die Menschheit!«, höre ich neben mir einen Vater zu seinem staunenden Sohn sagen. Wie recht er doch hat – denn kein Bild zeigt die Eroberung des Weltraums durch den Menschen eindrucksvoller, als dieses Foto, das ursprünglich nur zu wissenschaftlichen Zwecken entstand. Heutzutage entfacht es das Mondfieber bei allen – nicht nur bei mir.

Wie gerne würde ich noch mehr über die Mondreise erfahren, doch der Ausstellungsbereich über die »Bemannte Raumfahrt« wird im Rahmen der Modernisierung und Sanierung des Ausstellungsgebäudes neu gestaltet und später wieder eröffnet. Früher konnte man hier echte Raumanzüge, Modelle unterschiedlicher Raketen und sogar den Nachbau des Mondfahrzeugs »Lunar Roving Vehicle«, mit dem die Astronauten bei den letzten drei Apollo-Missionen viele Kilometer auf der Mondoberfläche zurücklegten, sowie eindrucksvolle Dioramen der Apollo-Missionen bestaunen. Manche dieser Objekte waren als Leihgaben nur temporär auf der Museumsinsel, andere wiederum befinden sich heute in der Sammlung des Deutschen Museums und werden momentan nach

bestem Gewissen in einem der vielen Außendepots im Umkreis von München gelagert.

Die Depots des Deutschen Museums werden von einem großen Team verwaltet. Restauratoren kümmern sich um den Erhalt der Objekte, Fotografen dokumentieren ihren Zustand, Registrare verwalten die Sammlung und technische Mitarbeiter gewährleisten die reibungslosen Abläufe. Hand in Hand und mit größter Sorgfalt wird inventarisiert, fotografiert, konserviert und restauriert, bevor die Exponate in die Außendepots gebracht werden.

Bei einem Besuch im Deutschen Museum 1970 trug sich Neil Armstrong ins »Goldene Buch« ein.



Schatzsuche im Archiv

Eine weitere Aufbewahrungsform des Deutschen Museums befindet sich im Archiv. Hier werden auf 4,7 Regalkilometern im Bibliotheksgebäude auf der Museumsinsel die Nachlässe von bedeutenden Wissenschaftlern und Forschern sowie Handschriften, Urkunden, Pläne, Zeichnungen und mehr als eine Million Fotografien verwahrt. Damit ist das Archiv des Deutschen Museums weltweit führend im Bereich der Geschichte der Naturwissenschaft und Technik. Aus diesem Grund wundert es mich nicht, dass ich hier fündig werde. Neil Armstrong – wer hätte gedacht, dass er seine Füße nicht nur auf den Mond, sondern auch in das Deutsche Museum gesetzt hat? Den Beweis halte ich in meinen Händen – ein Foto aus dem Jahr 1970. Damals besuchte er während einer Tour durch Europa das Deutsche Museum. Und er ließ es sich nicht nehmen, sich in das Goldene Buch des Museums einzutragen. Wie hat er sich wohl gefühlt, als erster Mann auf dem Mond?

In der Abteilung Physik können Mutige eine virtuelle Fahrt mit dem Lunar Roving Vehicle wagen.



Die VR-Welt hat regelmäßig am Dienstag und Donnerstag, 13.30 bis 16.30 Uhr und Samstag, 10.30 bis 13.30 Uhr geöffnet.

Anmeldung: Während der Öffnungszeiten im VRlab, Ebene 1, ab 10 Jahre. Die Nutzung ist kostenlos.

So finden Sie uns: Zwischen der Physik und dem Verbindungsgang, Ebene 1

Eine Spritztour auf dem Mond

Ich will es genau wissen und steuere zielstrebig das VRlab an, das im Rahmen von »museum4punkt0«, ein 3-D-Visualisierungsprojekt für neue Perspektiven in der musealen Vermittlung, entstanden ist. In zehn Minuten auf den Mond und wieder zurück – hier ist das möglich. Schon beim Betreten des VRlabs habe ich das Gefühl, dass ich mich in einer anderen Welt befinde. Es ist ausgestattet mit modernster Technik und allerlei Spielereien. Zielstrebig steuere ich auf den Fahr Simulator zu, welcher in der Mitte des Raumes steht. »Lust auf eine abenteuerliche Mond-Spritztour?«, werde ich mit einem scherzhaften Blick vom Mitarbeiter des VRlabs gefragt. Oh ja, das habe ich! Also steige ich ein in den Simulator, der in der virtuellen Realität eine 1:1-Nachbildung des echten Mondfahrzeuges »Lunar Roving Vehicle« ist. Hastig schnalle ich den Sicherheitsgurt fest an und stülpe mir die VR-Brille über mein Gesicht. Ein kurzer Blick nach rechts, dann nach links und noch mal rechts, und schon geht es los, die Fahrt mit dem Lunar Roving Vehicle über die Mondlandschaft.

Die Bedienung des Fahrzeugs ist mir noch aus meiner Playstation- und Nintendo-Zeit vertraut: Per Joystick katapultiere ich das Mobil vorwärts, seitwärts und zurück. Auch die Geschwindigkeit lässt sich mit dem Steuerknüppel, ein 3-D-Druck nach Originalplänen der NASA, beschleunigen. Während meiner aufregenden Eroberung des unbekanntem Mondterrains höre ich die Funksprüche der Apollo-17-Astronauten mit der Bodenstation. Es ist eine

ziemlich holperige Angelegenheit, denn überall liegen große und kleine Felsbrocken im Weg und ich muss achtgeben, dass ich mit meinem Mondfahrzeug nicht in einen Krater stürze. Bisher war ich ja immer unfallfrei auf den Straßen unterwegs – aber das soll sich gleich ändern, als ich mit Vollgas und quietschenden Reifen über ein Hindernis brette und mich dabei samt Mondfahrzeug mehrmals überschlage.

Oh je, mir ist schlecht und für einen kurzen Moment verliere ich die Orientierung, doch der freundliche Museumsmitarbeiter steht mir sofort helfend zur Seite und ich kann meine Fahrt weiter fortsetzen – diesmal etwas gediegener. Aber nur etwas, denn was ich mir zum Schluss nicht nehmen lasse, ist die amerikanische Flagge mit Vollgas umzufahren! Ja, so gefällt mir die Monderoberung! Denn bei Berührung der Flagge, erstrahlt plötzlich die bayerische Flagge auf der Mondlandschaft – ein bisschen Größenwahn darf schon sein. Und so muss ich mich natürlich auch noch mit dem Astronauten Alan Shepard messen, der 1971 einen Golfschläger auf den Mond schmuggelte und dort einhändig golfte. Sensationelle 540 Meter fliegt mein Golfball! Dass das an der geringeren Schwerkraft liegt, habe ich als Nichtgolferin natürlich überhört. Denn ich habe schon längst vergessen, dass ich mich nur in einer virtuellen Realität befinde.

Nach dieser aufregenden Mondreise, geht ein erlebnisreicher Tag für mich zu Ende. Glücklicherweise, aber erschöpft, stehe ich wieder mitten im Hof des Deutschen Museums. Es ist schon 17 Uhr. Ich höre wieder den Glockenschlag der astronomischen Kunsthur am Uhrenturm, blicke ein letztes Mal nach oben und muss schmunzeln, als ich die Anzeige der Mondphasen in der Uhr entdecke. Ist er nicht immer und überall, unser treuer Begleiter – der Mond? ■■



DIE AUTORIN

Melanie Jahreis

ist wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung Technik. Als freie Autorin schreibt sie für den C.H.Beck Verlag und für das Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht.



HIRMER

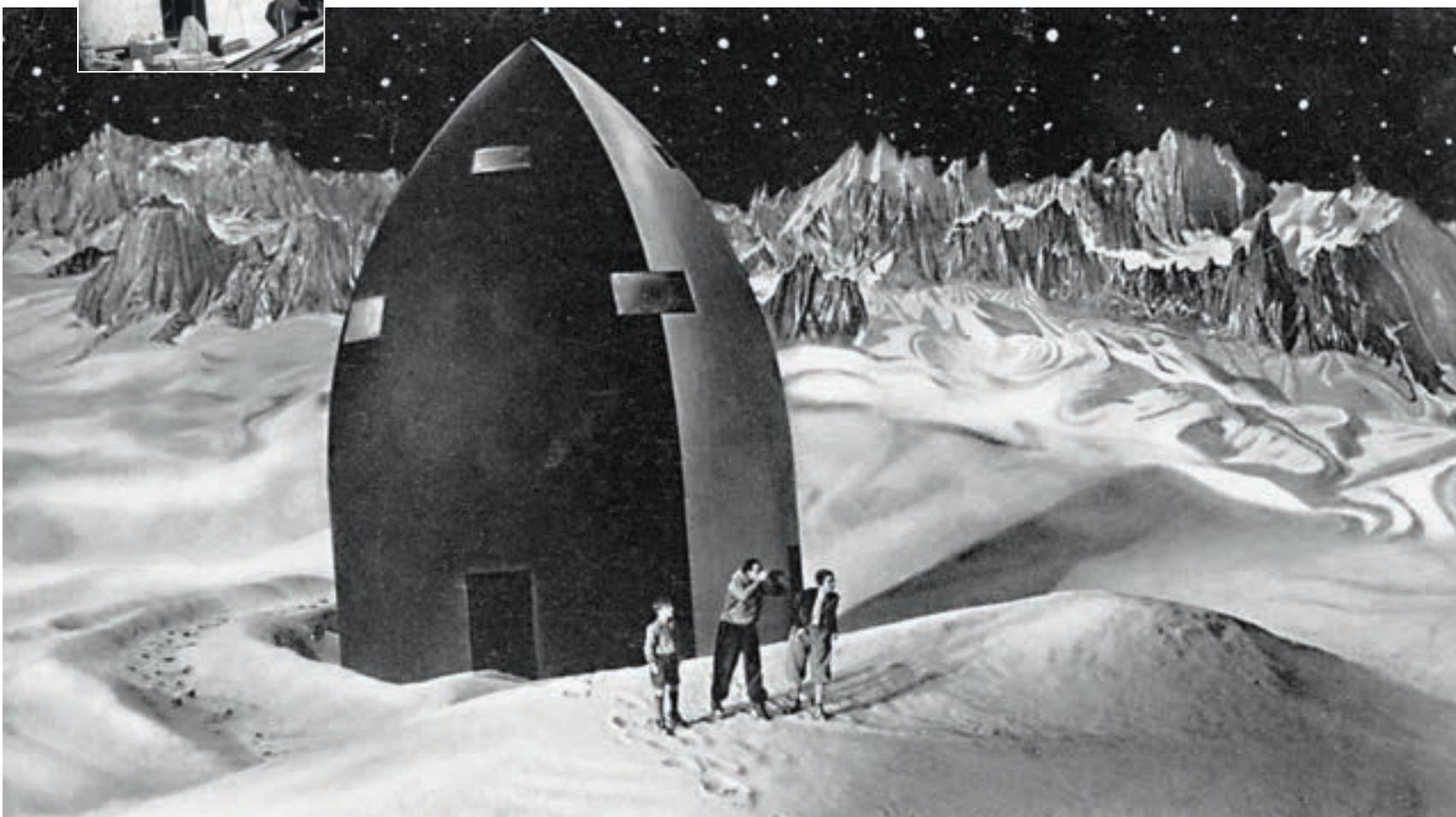
KAUFINGERSTRASSE 28

80331 MÜNCHEN

HIRMER.DE

Mythos und Abenteuer

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde der Mond zum Sehnsuchtsort von Medien und Fortschrittsoptimisten. Was bietet sich also mehr an als eine kleine filmische und literarische Zeitreise ins Space Age. Von Bernd Flessner



Jeder Medienhype hat eine Vorschichte. Das gilt auch für jene beiden Hypes, die das Lebensgefühl und die Fantasien der Menschen in den 1950er- und 1960er-Jahren beflügelten. Der eine Hype lässt sich auf das Reizwort »Atom« reduzieren, der andere auf »Mond«. Beide sind eingebettet in den Fortschritts- und Technikoptimismus der beiden Nachkriegsjahrzehnte. Und beide basieren auf den wissenschaftlich-technischen Erfolgen, die während des Zweiten Weltkriegs vorwiegend von Deutschen und Amerikanern erzielt worden waren.

Die Visionen, aus denen die beiden Hypes hervorgingen, stammen von keinem Geringeren als Jules Verne (1828–1905), auch wenn er nicht der einzige Autor war, der zahlreiche wissenschaftlich-technische Entwicklungen

Bei der Planung zu seinem Film *Frau im Mond* zog der Regisseur Fritz Lang auch Raumfahrt-pioniere wie Hermann Oberth und Rudolf Nebel zurate. Sie halfen beispielsweise beim Entwurf der Filmrakete.

vorhergesehen hat. In seinem Roman *De la Terre à la Lune* (Von der Erde zum Mond, 1865) antizipiert er einen bemannten Flug zum Mond; In *Face au Drapeau* (Die Erfindung des Verderbens, 1896) beschreibt er die Erfindung eines Sprengstoffs mit bislang unvorstellbarer Sprengkraft. Beide Visionen wurden zu populären Zukunftsbildern und flossen in unsere Zukunftsdiskurse ein.

Wie dicht beieinander Vision und tatsächliche Entwicklung lagen, zeigt der Stummfilm *Frau im Mond*, den Fritz Lang (1890–1976) 1929 drehte. Raumfahrt-pioniere wie Hermann Oberth (1894–1989) und Rudolf Nebel (1894–1978) halfen nicht nur bei der Entwicklung der Filmrakete mit, sondern konstruierten auch eine Flüssigkeitsrakete zu PR-Zwecken. Oberth war später an der Konstruktion

der A4-Rakete beteiligt, die unter dem Namen V2 bekannt wurde. Ein weiterer Berater von Fritz Lang war der Raketenpionier Willy Ley (1906–1969), der später für die NASA arbeitete. Er war von einer baldigen Realisierung eines Mondflugs fest überzeugt und schrieb 1929: »Es ist nicht Kintopp, was hier gespielt wird. Es ist eine, wenn auch praktisch noch nicht vollkommen erreichte Wahrheit.«

Ley sollte recht behalten. Am 20. Juni 1944 erreichte eine A4-Rakete eine Höhe von über 170 km und somit den Weltraum. Nach dem Krieg setzten Amerikaner und Russen die Versuche fort. So gelang mit einer A4, die von White Sands (New Mexico) aus gestartet wurde, am 24. Oktober 1946 das erste Foto der Erde aus dem All. Am 20. Februar 1947 schossen die Amerikaner erstmals Fruchtfiegen ins All, zwei Jahre später folgte der Rhesusaffe Albert II, der immerhin 130 km Höhe erreichte. Der Weltraum war nun greifbar.

Noch aber hatten die Visionen die Nase vorn. Der amerikanische Science-Fiction-Autor Robert A. Heinlein (1907–1988) nahm die aktuelle Entwicklung zum Anlass, 1947 den Roman *Rocket Ship Galileo* zu schreiben, der 1950 unter dem Titel *Destination Moon* (Endstation Mond) verfilmt wurde. Das Design der Rakete orientiert sich ausdrücklich an dem der A4-Rakete. Die Hauptunterschiede sind die Größe sowie der Antrieb, für den ein Atomreaktor verantwortlich ist. Heinlein kombinierte also die beiden Reizwörter jener Zeit, »Atom« und »Mond«. Er griff die Vorstellungen der Technikoptimisten auf, die von Atomautos, Atomflugzeugen und Atomzügen träumten, und ergänzte sie um die Atomrakete, wobei in diesem Fall natürlich der Antrieb gemeint war.

Diesem Vorbild folgte 1953 der belgische Comiczeichner Hergé (1907–1983) in den beiden Tim-und-Struppi-Bänden *Objectif Lune* (Reiseziel Mond, 1953) und *On a marché sur la Lune* (Schritte auf dem Mond, 1954). Auch die von Professor Bienlein entwickelte Mondrakete ähnelt der A4-Rakete Wernher von Brauns, dessen Arbeiten ebenso als Quelle dienten wie die Werke von Hermann Oberth und Willy Ley. Der Hauptantrieb ist ein Atomreaktor. Obwohl auch Filme wie *Rocketship X M* (Rakete Mond startet, 1950) das A4-Design verwendeten, wurde Hergés Mondrakete zu einem der prägenden Zukunftsbilder. Die

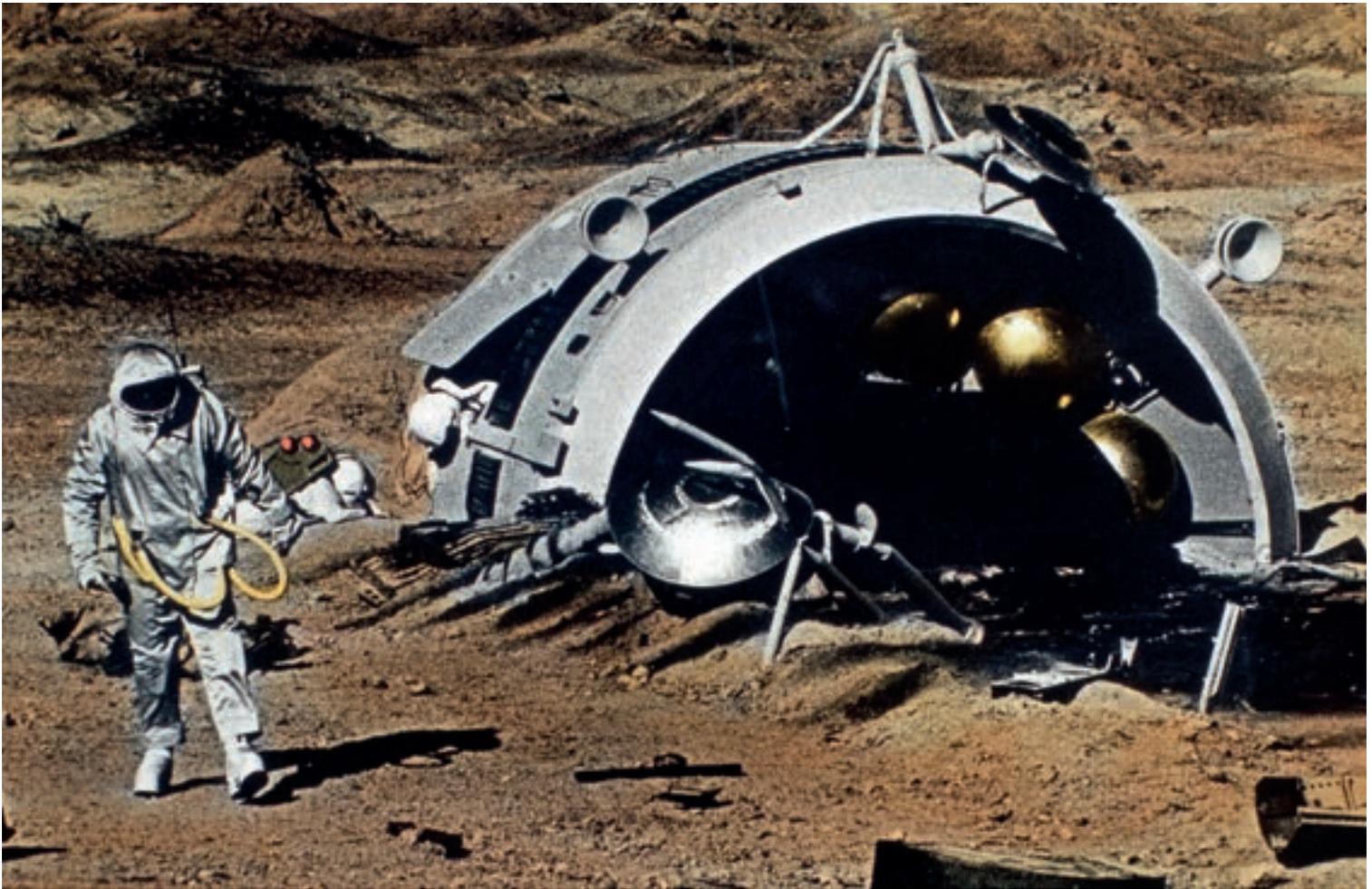


1865 schildert Jules Verne eine Reise von der Erde zum Mond. Die Illustration zeigt die Monderoberer in ihrem Raumschiff – schwebend in der Schwerelosigkeit.

Menschen der Nachkriegszeit stellten sich den Flug zum Mond ungefähr so vor, wie es er in den zitierten Filmen und Comichänden inszeniert wurde.

Gerne wird der Start des ersten Satelliten, Sputnik 1, am 4. Oktober 1957 als Beginn des Space Age, des Weltraumzeitalters genannt. Doch war diese Epochenbezeichnung zu diesem Zeitpunkt längst bekannt. Sie stammt von dem englischen Science-Fiction-Autor Harry Harper (1880–1960). Nach der Veröffentlichung verschiedener Science-Fiction-Stories konzentrierte sich Harper auf populärwissenschaftliche Werke. In seinem 1946 erschienenen Buch *Dawn of the Space Age* (Morgendämmerung des Weltraumzeitalters) prognostizierte er für die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts bemannte Raumflüge und eine umfassende Nutzung der Raumfahrttechnologie. Als Stichtag für den Beginn des Weltraumzeitalters setzte er den 20. Juni 1944 fest, also den Start der ersten Rakete, die den Weltraum erreichte. Seine Wortschöpfung wurde ebenso schnell populär wie der Begriff »Atomic Age« und war ebenso positiv konnotiert. Beide Epochenbezeichnungen wurden auch genutzt, um die entsprechenden Trends in Mode, Architektur, Kunst und Industriedesign zu kennzeichnen. Dabei konkurrierten die Begriffe nicht, sondern wurden oft sogar synonym verwendet. Der Philosoph Odo Marquardt sprach zu Recht von der »Vielnamigkeit unserer Zeit«.

Bis heute erinnern immer wieder Ausstellungen in vielen Museen an den Zukunftsoptimismus, den das »Space Age Design« wie das »Atomic Age Design« zum Ausdruck brachten. Wie sehr auch die Popmusik involviert war, demonstrierte 2014 der amerikanische Jazzgitarrist Bill Frisell mit seinem Album *Guitar in the Space Age*. Zu den von ihm interpretierten Titeln gehört etwa *Telstar*, 1962 komponiert von dem englischen Produzenten Joe Meek (1929–1967). Gewidmet war der Instrumentalhit, der sich knapp sieben Millionen Mal verkaufen ließ, dem ersten amerikanischen TV-Satelliten »Telstar«, der am 10. Juli 1962 gestartet wurde. Eingespielt wurde der Song von Meeks Band »The Tornados«, wobei Meek alle elektronischen Verfremdungsmöglichkeiten jener Tage nutzte, um seine Komposition, insbesondere das Keyboard, so »spacig« wie möglich klingen zu lassen. Der Song beginnt, wie kann es anders sein, mit den Startgeräuschen einer Rakete,



Im Film *Countdown - Start zum Mond*, inszeniert Regisseur Robert Altman drei Jahre vor dem ersten Mondflug ein erstaunlich realistisches Bild von der Mondoberfläche.

von Meek mithilfe verschiedener Tonbandeffekte im Studio künstlich hergestellt. »Telstar« wurde so zum Vorreiter der elektronischen Popmusik der 1970er-Jahre.

Wohin? Zum Mond!

Der britische Physiker und Science-Fiction-Autor Arthur C. Clarke (1917–2008) veröffentlichte 1948 seine erste Kurzgeschichte, *The Sentinal* (Die Wächter). Die Story spielt auf dem Mond im Mare Crisium. Wissenschaftler entdecken dort 1996 eine Art Pyramide, um die drei Meter hoch, die offensichtlich vor langer Zeit von einer außerirdischen Intelligenz dort errichtet worden war.

Natürlich ist dies nicht die erste Erzählung, die auf dem Mond spielt. Dieser Platz gebührt den *Wahren Geschichten* des griechischen Schriftstellers Lukian von Samosata (ca. 120 – ca. 180), der erstmals Menschen auf eine Reise zum Mond schickte. Seither sind unzählige Mondromane erschienen, bevor im 18. Jahrhundert zunächst der Mars und später die Venus als Ziele von Raumreisen hinzukamen. Clarkes Erzählung zeigte hingegen, dass der Mond als Schauplatz und Handlungsort keineswegs ausgedient hat. Im Gegenteil, gerade durch das zunehmende Wissen über den Mond wurde er mehr denn je zu einer Art Sehnsuchtsort, jedoch nicht im spirituellen oder romantischen Sinn, sondern in einem sehr realen.

Als das Space Age nach dem erfolgreichen Flug von Juri Gagarin (1934–1968) am 12. April 1961 noch einmal an Enthusiasmus zulegte, wurde der Mond endgültig zum Symbol des technischen Fortschritts. Als dann auch noch US-Präsident John F. Kennedy (1917–1963) in einer seiner berühmtesten Reden am 25. Mai 1961 eine bemannte

Landung auf dem Mond noch innerhalb des Jahrzehnts anvisierte, kannte der Enthusiasmus kaum noch Grenzen. Das passende Stichwort stammte diesmal von dem deutschen Raketenpionier Willy Ley, dessen 1949 erschienenes Buch *The Conquest of Space* (Die Eroberung des Weltalls) erst jetzt seine volle Wirkung entfaltete. Gemeint ist keineswegs nur der 1955 von George Pal produzierte gleichnamige Spielfilm, sondern die gängige Vorstellung, der Mensch würde nun mit dem Weltall so verfahren wie die europäischen Eroberer und Entdecker im 15., 16., und 17. Jahrhundert mit der Welt. Dass dieser historische Vergleich nicht nur hinkte, sondern geradezu absurd war, interessierte die mediale Öffentlichkeit allenfalls am Rande. Denn in Anbetracht astronomischer Dimensionen ist selbst unser Sonnensystem unvorstellbar winzig. Einen Flug zum Mond als »Meilenstein« einer Eroberung des Universums zu interpretieren, war weiter nichts als krachende Fortschrittspropaganda.

Diese hat kaum jemand so früh entlarvt wie der deutsche Schriftsteller Arno Schmidt (1914–1979). Sein 1960 erschienener Roman *KAFF auch Mare Crisium* hat zwei alternierende Handlungsorte, das Dorf Giffendorf in der Lüneburger Heide und amerikanische bzw. sowjetische Siedlungen auf dem Mond. Während die Lüneburger Heide in der Gegenwart angesiedelt ist, spielen die Szenen auf dem Mond in einer Zukunft nach einem Atomkrieg. Schmidt hat den Kalten Krieg und den damit verbundenen Wettlauf zum Mond zu Ende gedacht. Dank der Mondbasen von Russen und Amerikanern hat sich zwar der alte Traum erfüllt, ist der Sehnsuchtsort endlich erreicht und sogar besiedelt, jedoch ist im Gegenzug die Erde zerstört

und von Atomkratern übersät. Der wissenschaftlich-technische Fortschritt hat zwar zur Erdwerdung des Mondes geführt, jedoch auch zur Mondwerdung der Erde. Schmidt hat die beiden positiven Reizwörter »Mond« und »Atom« in negative verwandelt, hat aus der Utopie eine Dystopie gemacht.

Das Mare Crisium ist auch der Handlungsort des Romans *The Moon Is a Harsh Mistress* (Revolte auf Luna), den Robert A. Heinlein 1966 veröffentlichte. Auch bei Heinlein entspricht der Mond nicht dem medial vermittelten Sehnsuchtsort, sondern gleicht eher einem Internierungslager. Im Jahr 2075 leben rund drei Millionen Menschen in unterirdischen Kolonien auf dem Mond, allesamt Kriminelle oder Nachfahren von Kriminellen. Alle Kolonien stehen unter strenger Kontrolle der irdischen Behörden. Dennoch gelingt den Mondbewohnern, »Loonies« genannt, der Aufstand gegen die Unterdrücker. Ein wichtiger Akteur ist dabei der Zentralrechner HOLMES IV, der mit künstlicher Intelligenz ausgestattet ist. Wie in vielen Werken von Heinlein, kommt es auch in diesem Roman zu größeren Kampfhandlungen, nämlich als die irdischen Instanzen versuchen, die prekäre Lage mit Invasionstruppen unter Kontrolle zu bekommen. Am Ende aber triumphieren die Loonies.

Während die Verfilmung dieses Romans – trotz mehrfacher Ankündigung Hollywoods – noch immer aussteht, kam es 1964 zu einer filmischen Umsetzung des Mondromans von Herbert George Wells (1866–1946). *The First Men in the Moon* (Die ersten Menschen auf dem Mond), erschienen 1901, schildert den Flug des erfolglosen Autors Bedford sowie des Erfinders Cavor zum Mond. Ihr kugelförmiges Fluggerät wird von einem Stoff in Bewegung versetzt, der die Schwerkraft abschirmt, vom Erfinder Cavorit genannt.

Der 1964 entstandene Film bettet den Plot des Romans in eine Rahmenhandlung ein, die mit der Landung dreier Astronauten auf dem Mond beginnt. Diese finden Spuren der ersten, von Wells in seinem Roman beschriebenen Landung vor. Auf der Erde gelingt es, den einzigen Überlebenden des ersten Mondflugs in einem Altersheim ausfindig zu machen, den Autor Arnold Bedford. Seine Erzählung entspricht vage Wells' Roman. Auf dem Mond treffen



Heute würde man diesen Film wohl eher als albern empfinden: *Cat-Women*, von 1953. Der Plot ist so abwegig wie vorhersehbar. Aber die Vielzahl an Filmen und Publikationen rund um den Erdrabanten zeigt, wie virulent das Thema damals in der öffentlichen Diskussion war.

Bedford und Cavor auf Seleniten, auf Mondbewohner, die unter der Oberfläche leben. Nach zahlreichen Abenteuern gelingt Bedford die Rückkehr zur Erde, während Cavor bei den Seleniten zurückbleibt. Die verschiedenen exotischen Mondbewohner wurden von dem amerikanischen Trickspezialisten Ray Harryhausen (1920–2013) im Stop-Motion-Verfahren zum Leben erweckt.

Ein Held gänzlich anderer Couleur begibt sich am 8. September 1961 auf den Weg zum Mond. Denn an diesem Tag erschien der erste Band der Science-Fiction-Serie *Perry Rhodan*, die bis heute ununterbrochen erscheint und längst als literarisches Phänomen gilt. Im ersten Band mit dem Titel *Unternehmen »Stardust«* unternimmt eine fünfköpfige Crew unter Führung des Piloten Perry Rhodan im Jahr 1971 den ersten Flug zum Mond. Ihre atomgetriebene Rakete trägt den Namen »Stardust«. Trotz aller auftretenden Probleme klappt die Landung, wenn auch auf der Rückseite des Mondes. Dort kommt es zu einer Begegnung mit der Besatzung eines havarierten Raumschiffs. Rhodan gelingt es, den Arkoniden zu helfen und erhält dafür den Zugang zu dem überlegenen Wissen der Außerirdischen. Dieses stellt Rhodan nicht einem politischen Block zur Verfügung, sondern der ganzen Menschheit.

Nach dem Erfolg der Heftserie kam es 1967 zu einer filmischen Adaption, der die ersten drei Bände als Vorlage dienten. *Perry Rhodan – SOS aus dem Weltall* eine deutsch-spanisch-italienische Koproduktion, blieb der einzige Versuch, eine Perry-Rhodan-Story auf die große Leinwand zu bringen. Einer der Gründe für den Misserfolg war das Drehbuch, das sich nur grob an der Vorlage orientierte. Neue Figuren wurden eingefügt, etwa Kriminelle, die eigene Ziele verfolgen, wichtige Figuren aus der Heftserie indes weggelassen. Heute würde man den Film als albern bezeichnen.

Was allerdings für so manchen Film aus dem Space Age gilt. Die Krönung ist sicherlich *Cat-Women of the Moon* von 1954. Erneut landen Astronauten auf dem Mond und stoßen dort – natürlich könnte man sagen – auf außerirdisches Leben, diesmal in Gestalt von Katzenfrauen, den Nachkommen einer zwei Millionen Jahre alten Zivilisation. Ein paar Riesenspinnen und lebende Steine sind allerdings auch noch im Spiel. Die Cat-Women verfolgen

Bild rechts: In der Fernsehserie *Mondbasis Alpha 1* wird der Mond durch eine Explosion aus seiner Bahn geworfen. In den Tiefen des Alls erlebt die Crew der Mondbasis allerlei Abenteuer.

den Plan, mithilfe des irdischen Raumschiffs zur Erde zu gelangen und diese zu beherrschen. Was auch sonst? Dass dieser Plan vereitelt wird, von einem Erdenmann natürlich, braucht eigentlich nicht vermittelt zu werden.

Verblüffend realistisch ist hingegen der Film *Countdown* (Countdown: Start zum Mond), den Robert Altman 1967 inszenierte. Er thematisiert den Wettlauf zum Mond und verfolgt dabei die amerikanische Seite. Kritisch beleuchtet der Film, wie Sicherheitsbedenken und wissenschaftliche Interessen den politischen Zielen geopfert werden. Um mit den Sowjets mithalten zu können, verzichten in seinem Film die USA auf das Apollo-Raumschiff und schicken einen einzelnen Astronauten in einem Gemini-Raumschiff zum Mond. Dort stößt dieser auf das havarierte Raumschiff der Sowjets. Nur mit viel Glück kann sich der Amerikaner, gespielt von James Caan, in ein zuvor auf dem Mond gelandetes Habitat retten.

Der Film griff nicht nur tatsächliche Pläne der NASA auf, er hielt sich auch sonst enger an die bekannten Fakten als andere Filme des Space Age. Zum Realismus des Regisseurs gehört auch die unmissverständliche Kritik an dem politisch motivierten Wettkampf um die erste Mondlandung. Insofern nimmt der Film bereits das Ende des Space Age vorweg, das definitiv mit Apollo 17 und der vorläufig letzten Mondlandung 1972 endete.

Kubricks Mond und darüber hinaus

Doch wie realistisch *Countdown* auch immer war, gegen den 1967/68 von Stanley Kubrick (1928–1999) gedrehten Science-Fiction-Film *2001: A Space Odyssey* (2001: Odyssee im Weltraum) hatte Altmans Film keine Chance. Zum ersten Mal in der Geschichte konnte ein Kinofilm seinen Zuschauern das Gefühl vermitteln, tatsächlich im Weltraum zu sein. Die Aufnahmen wirkten derart authentisch, dass Verschwörungstheoretiker später behaupteten, die Mondlandungen hätten gar nicht stattgefunden, sondern Kubrick habe sie im Studio inszeniert.

Das Drehbuch basiert auf der 1948 erschienenen und bereits erwähnten Kurzgeschichte, *The Sentinal*, von Arthur C. Clarke, der das Drehbuch auch zusammen mit Stanley Kubrick verfasste. Aus der kleinen Pyramide wurde der bekannte schwarze Monolith. Dessen Fundort auf



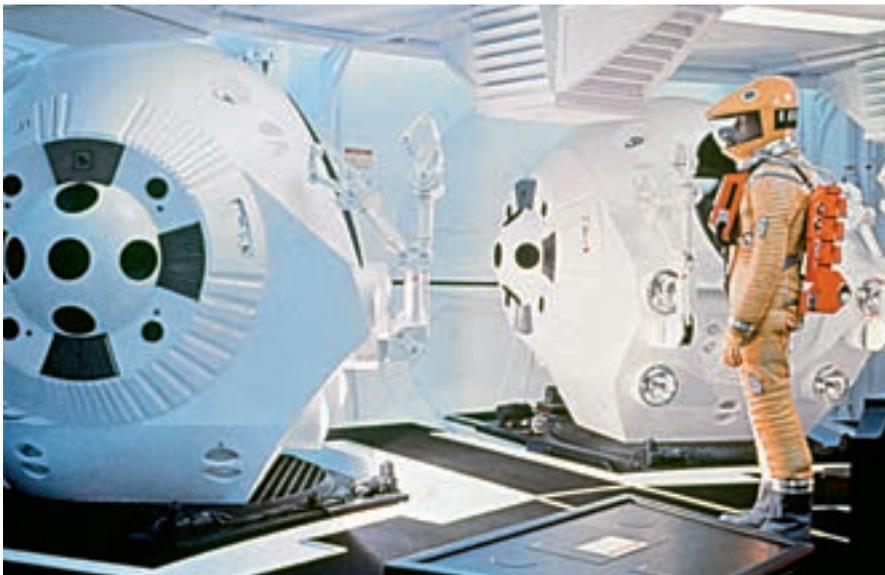
Stanley Kubricks 2001: *A Space Odyssey* vermittelte den Zuschauern das Gefühl, tatsächlich im Weltraum zu sein.

dem Mond ist nicht mehr das Mare Crisium, sondern der gigantische Krater Tycho. Dorthin reist Dr. Heywood Floyd im Jahr 1999, um den mysteriösen Fund mit eigenen Augen zu betrachten. Es ist eine der emotionalsten und eindrucksvollsten Szenen des Films, wenn Dr. Floyd und seine Mannschaft in die Grabungsstelle hinabsteigen und den Monolithen betrachten und berühren, untermalt von einer Komposition von György Ligeti.

Bei aller Fantasie, die dem Werk natürlich innewohnt, unterstrich der Realismus der Aufnahmen den Glauben der Zuschauer an die baldige Inbesitznahme des Mondes durch den Menschen. Kein Zweifel, so oder ähnlich würde es dort aussehen, so oder ähnlich würde man sich dort einquartieren. Und anschließend würde es zu den nächsten Planeten gehen. Keine Frage. Nichts anderes vermittelten die zahlreichen Raumfahrtssendungen jener Zeit, moderiert etwa von den Journalisten Werner Büdeler (1928–2004) oder Günther Siefarth (1929–2002). Letzterer kommentierte 28 Stunden lang die Mondlandung, was ihm den Titel »Mister Apollo« einbrachte. Als Referenzen dienten immer wieder die Schriften Wernher von Brauns, darunter, ganz aktuell, *Space Frontier* (Bemannte Raumfahrt, 1968). Von Braun war überzeugt davon, nach der erfolgreichen Mondlandung umgehend den Mars in Angriff nehmen zu können. Auch ihn hatte das medial befeuerte Weltraumfieber gepackt, zu dessen Auslösern er selbst zählte. Und natürlich waren ihm die politischen Motive des Mondlandeprogramms vollauf bewusst gewesen. Braun fungierte auch als Berater für den Walt-Disney-Film *Mars and Beyond* von 1957, in dem eine Expedition zum Mars geschildert wird. Seine dahingehenden Hoffnungen wurden bisher jedenfalls nicht erfüllt.

Nach den erfolgreichen Mondlandungen verebte das Mondfieber, wie zeitgleich auch das Atomfieber. Auf den Straßen fuhren keine Atomautos, das Energieproblem war ungelöst, der Mond hatte sich als graue Wüste erwiesen, in der weder Monolithen noch Aliens zu finden waren, ganz zu schweigen von Cat-Women. Die Politik verlor ebenso das Interesse wie die Öffentlichkeit.

Ein letztes Mal beschworen zwei TV-Serien den Mond als Sehnsuchts- und Handlungsort. Das Produzentenehepaar Gerry und Sylvia Anderson schuf 1969/70 die briti-



sche TV-Serie *UFO*, in der eine Mondbasis von zentraler Bedeutung ist. Aliens greifen wieder einmal die Erde an, und statt der Cat-Women gibt es weibliche Offiziere in Fantasiekostümen, die man heute als sexistisch bezeichnen würde. Die Helden, Piloten und Chefs sind natürlich Männer, gegen die die grünen Aliens keine Chance haben.

Die andere Serie stammt ebenfalls von Gerry und Sylvia Anderson und wurde von 1975 bis 1977 produziert. In *Space: 1999* (Mondbasis Alpha 1) wirft eine gigantische Explosion den Mond aus seiner Bahn und transportiert so die dortige Mondbasis in die Tiefen des Alls, wo die bekannten Abenteuer auf die Crew warten. Der Mond wird mobil und zum planetaren Raumfahrzeug.

Space Age und Atomic Age waren dennoch vorbei, die »Grenzen des Wachstums« lösten den Fortschrittsoptimismus ab und ersetzen ihn durch einen zunehmenden Zukunftspessimismus. Was noch lange nicht bedeutet, dass kein neues Space Age folgen könnte. Derzeit etwa stehen die Chancen dafür gar nicht so schlecht. ■■

Szene aus *2001: A Space Odyssey* von 1968. Der Film gehört zu den Klassikern der Weltraumfilme.

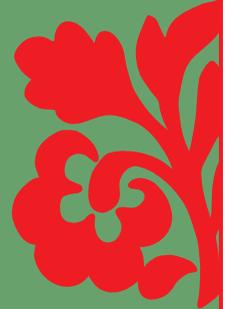


DER AUTOR

Dr. Bernd Flessner,
Zukunftsforscher und
Wissenschaftsjournalist,
lehrt am Zentralinstitut für
angewandte Ethik und
Wissenschaftskommuni-
kation der Friedrich-
Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg.

RADSPIELER

Seit 1841

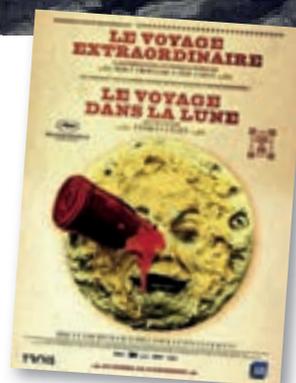


*Radspieler –
damit
Einrichten
Freude
macht!*



*F. Radspieler & Comp. Nachf.
Hackenstraße 7
80331 München
Telefon 089/23 50 98-0
Fax 089/26 42 17
www.radspieler.com*

Wer wohnt am Mond?



Ziemlich unglücklich sieht der Mond aus, den eine Rakete mitten auf der Nase erwischt hat. Das lustige Filmplakat lädt 1902 zu einer Vorstellung des Science-Fiction-Films *Die Reise zum Mond* ein.

Erinnerst du dich noch daran, als du dir das letzte Mal den Mond angesehen hast? Vielleicht war es eine klare Nacht, der Mond erschien groß und rund, hell leuchtend, so nah, als könntest du ihn berühren? Vielleicht hast du auf seiner Oberfläche tanzende Schatten gesehen oder ein Gesicht? Egal, wie viel wir über unseren treuen Erdbegleiter wissen, der Mond wirkt immer wieder magisch. Dies ist wohl auch der Grund dafür, dass sich seit Urzeiten allerhand Geschichten um ihn ranken. Aber was die Menschen im Mond zu sehen glauben, ist je nach Herkunft und Zeit unterschiedlich.

Viele Japaner deuten die Schatten auf der Mondoberfläche als Bild eines Hasen. Menschen in Afrika beobachten hingegen ein auf der Lauer liegendes Krokodil. Bevor in der Mitte des zwanzigsten Jahrhunderts die ersten Menschen den Mond besuchten, gab es keine Möglichkeit sicher zu wissen, aus was der Mond besteht und was so alles auf seiner Oberfläche zu finden ist. Daher ist es nur allzu verständlich, dass die Menschen sich allerhand Geschichten dazu ausmalten, was sie wohl vorfinden würden, sollte der Tag einmal kommen, an dem wir dem Mond tatsächlich einen Besuch abstatten können. Eine dieser Geschichten ließ der französische Filmmacher Georges Méliès 1902 in seinem Film *Die Reise zum Mond* zum Leben erwachen. In diesem Film können wir das Abenteuer sechs

mutiger Astronauten mitverfolgen, die in einer Kapsel, abgeschossen von einer gigantischen Kanone, zum Mond fliegen. Dort angekommen, müssen sie erst einmal in einer Grotte Unterschlupf finden, nachdem ihnen die in ihrer Ruhe gestörten Sterne und Planeten rund um den Mond herum einen wüsten Schneeschauer auf den Hals hetzten. Kaum erholen sich die Astronauten von diesem Angriff, werden sie von den Mondbewohnern, die sich Seleniten nennen, überfallen, vor ihren Herrscher gezerzt und angeklagt. Glücklicherweise gelingt es den Astronauten jedoch knapp, sich aus den Fängen der Seleniten zu befreien und zurück zur Erde zu fliehen.

Als professioneller Zauberkünstler war Méliès in der Lage, mit Hilfe zahlreicher Effekte sowie aufwendigster, fantasievollster Szenenbilder und Kostüme, eine Mondwelt zu schaffen, wie man sie bis zu diesem Zeitpunkt nie gesehen hatte. Mit diesem wohl ersten Science-Fiction-Film überhaupt legte Méliès den Grundstein für die zahlreichen fantastischen Geschichten, die wir seither in unseren Kinos und Wohnzimmern bestaunen können.

Was den Mond in der echten Welt angeht, so wissen wir spätestens seit der ersten Mondlandung, dass sich dort leider keine Bewohner verstecken. Aber wenn wir daran denken, womit sich Méliès tapfere Astronauten herumschlagen mussten, ist das ja vielleicht auch gar nicht so schlecht.

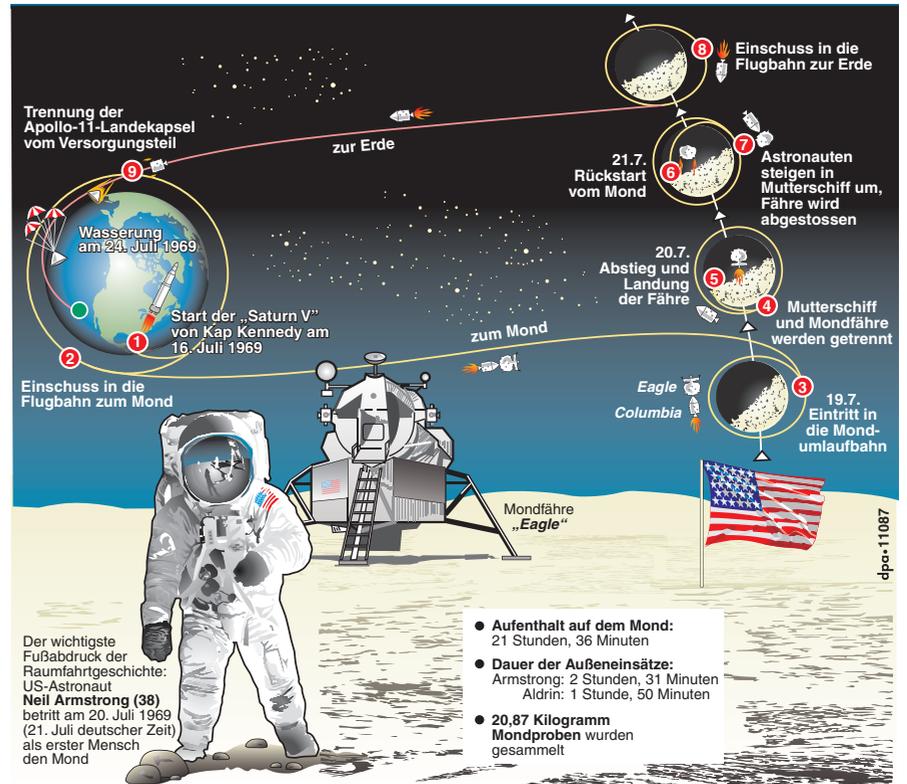
Gelandet!

Am 16. Juli 1969 brechen drei Menschen zu einem außergewöhnlichen Abenteuer auf. Mit dem Raumschiff »Apollo 11« fliegen sie zum Mond. An Bord sind Neil Armstrong, Michael Collins und Buzz Aldrin. Die drei Astronauten hatten jahrelang geübt, ehe sie sich auf die gefährliche Fahrt machten. Der Start findet in Cape Canaveral in Florida statt. Eine Saturn-V-Rakete katapultiert das Raumschiff ins All. Es besteht aus drei Teilen: dem Kommandobereich, dem Servicebereich und der Mondlandefähre. Vier Tage brauchen die Astronauten, bis sie die Umlaufbahn des Mondes erreichen. Dort steigen Neil Armstrong und Buzz Aldrin in die Landefähre um, die sie auf den Mond bringen soll. Michael Collins wird während dieses Ausflugs in der Raumfähre auf seine Kollegen warten. Die landen am 20. Juli um 21.17 tatsächlich auf dem Erdtrabanten. Gerade noch rechtzeitig, ehe der Treibstoff knapp wird. Neil Armstrong ist der Erste, der aus der Landefähre aussteigt und seinen Fuß auf die Mondoberfläche setzt. »Das ist ein kleiner Schritt für einen Menschen, aber ein großer Sprung für die Menschheit«, sagte er (im englischen Original: »That's one small step for a man, one giant leap for mankind.«). Ein Satz, der in die Geschichte eingegangen ist.

Übrigens: Die Mission wurde damals live im Fernsehen übertragen, nach Schätzungen haben die Landung bis zu 600 Millionen Menschen verfolgt.



Neil Armstrong macht seinen ersten Schritt auf dem Mond.



Der »Kalte Krieg«

Die Apollo-Missionen fanden zur Zeit des »Kalten Krieges« zwischen den USA und der Sowjetunion statt. Von 1947 bis 1989 dauerte diese Zeit. Am erbittertsten stritten sich die Großmächte allerdings in den 1950er- bis 1970er-Jahren. Jedes der beiden Länder wollte schneller, mächtiger, »besser« als das andere sein. Teil dieses Konflikts war auch der »Wettlauf ins All« (Englisch: »Space Race«), bei dem beide Seiten versuchten, die »bessere« oder »mutigere« Raumfahrtmission durchzuführen. Zunächst sah es so aus, als hätte die Sowjetunion die Nase vorn. Ihnen gelang es nämlich, den ersten Menschen überhaupt ins All zu schicken, den Kosmonauten (so nennt man die sowjetischen Astronauten) Juri Gagarin. Entsprechend schockiert waren die Sowjets als es den Amerikanern mit der Apollo 11 Mission als Erste gelang, den großen Traum einer Landung auf dem Mond zu erreichen und somit den erbitterten Wettstreit für sich zu gewinnen.

Anzeige



Erzbischöfliche Pater-Rupert-Mayer Tagesheimschulen Pullach -staatl. anerkannt-

Wir sind eine Schulfamilie!



- Gymnasium mit sprachlicher und naturwissenschaftlich-technologischer Ausbildungsrichtung
- Realschule mit den Wahlpflichtfächergruppen I und II (mathem./naturwissenschaftlich/technisch, wirtschaftlich)
- Volksschule mit Teilhauptschule
- Kindergarten mit Kita
- Durchlässige Übergänge zwischen den Einrichtungen
- Bewährtes Tagesheimkonzept (eine Klasse – ein Erzieher)
- Tagesheimzeugnisse
- Fördernde und fordernde Vorbereitung auf den Abschluss
- Großflächige Außenanlagen
- Umfangreiches Zusatzangebot: Chöre, Streichorchester, Schulband, Sprachreisen, Theaterwerkstatt, Golf, Football, Skilager, Schülercafeteria, u.v.a.m.

Vom Kindergarten bis zur Mittleren Reife oder bis zum Abitur - eine Biographie - eine Einrichtung. **Sind Sie interessiert?**
Erzb. Pater-Rupert-Mayer Gymnasium & Realschule Wolfratshausenstr. 30 82049 Pullach Tel.: 089/74426100 www.prmths.de

Die Mondgläubigen

Mythen, Märchen, Aberglaube

Das geheimnisvolle Licht des Mondes regte schon immer die Fantasien der Menschen an. Weltweit haben Menschen dem Mond allerhand besondere Kräfte zugeschrieben. Und natürlich hat man sich auch Gedanken darüber gemacht, warum die nächtliche Himmelslaterne zu- und abnimmt, regelmäßig verschwindet und wiederkehrt.

Owohl wir heute schon sehr viel über den Mond wissen, gibt es nach wie vor erstaunliche Vorstellungen über die Kräfte des Mondes. So sind einige – nennen wir sie hier einmal liebevoll die Mondgläubigen – davon überzeugt, dass Tiere ihr Verhalten nach den Mondphasen richten. So lässt sich beispielsweise beobachten, dass Feldmäuse, die üblicherweise sowohl tagsüber als auch nachts unterwegs sind, bei Vollmond lieber in ihren Löchern bleiben. Das liegt allerdings nicht an der geheimnisvollen Macht des Mondes, sondern daran, dass es bei Vollmond schlicht und einfach ein wenig zu hell ist für die kleinen Feldmäuse. Dadurch sind sie nämlich für hungrige Raubvögel um einiges leichter zu erkennen.

Auch auf den Menschen soll der Mond allerlei Wirkungen haben. Diese Überzeugungen können vor allem Ärzten ganz schön zu schaffen machen. So gibt es Patienten, die sich nur während bestimmter Mondphasen operieren lassen, da sie sich zum »richtigen« Zeitpunkt im Mondzy-

klus geringere Risiken und größere Heilungschancen versprechen. Das kann in den Fällen, in denen eine Operation schnellstmöglich durchgeführt werden sollte, ein ziemliches Problem sein. Keiner wissenschaftlichen Untersuchung ist es bisher gelungen, derartige Einflüsse des Mondes nachzuweisen. Ähnlich verhält es sich auch mit dem Glauben, zu bestimmten Mondphasen gäbe es mehr Geburten. Auch dieser Zusammenhang konnte bis heute nie nachgewiesen werden.

In manchen Fällen sind sich nicht einmal die Mondgläubigen wirklich einig, beim Thema Haareschneiden zum Beispiel. Während die einen lieber bei abnehmendem Mond den Friseur aufsuchen (die Haare würden dann langsamer nachwachsen), raten die anderen, sich bei zunehmendem Mond ein Kreuzchen im Terminkalender zu machen. Denn hier würden sich die Kräfte des Mondes optimal auf die Struktur der Haare auswirken. Sogar der Glatze könne man so den Kampf ansagen! Auch für diesen Zusammenhang gibt es keinen wissenschaftlichen Nachweis, genauso wenig wie für »Mondwasser«, »Mondgetreide« und Ähnliches.



Nicht besonders schlau ist es, als Maus im Licht des Vollmonds spazieren zu gehen.



Ein ägyptischer Mondgott

Der altägyptische Gott »Thot«, wird entweder als Mann mit Ibiskopf oder als Pavian dargestellt. Er war nicht nur der Gott der Weisheit, Wissenschaft und Schriftkunst, sondern auch der Gott des Mondes. Und das kam so: Sonne und Mond galten als Augen des Gottes Horus. Das rechte Auge war das Sonnenaugen, das linke das Mondaugen. Während eines Streits mit Seth, dem Gott der Finsternis, entriss Seth dem Horus das Mondaugen. Thot heilte das verletzte Auge und gab es Horus wieder zurück. Er gilt seither auch als Beschützer und Heiler des »Mondaugen«. Die ganze Geschichte ist etwas kompliziert und es gibt zahlreiche Versionen davon. Sicher ist nur: Es ging ganz schön zur Sache damals, bei den ägyptischen Göttern. Gut, dass wenigstens Thot einen klaren Kopf bewahrte.

Die Mondscheibe am Kopf des Gottes »Thot« ist etwas eingedellt. Das liegt dran, dass die Figur schon sehr alt ist.



Halb Mensch – halb Tier

Seit vielen Jahrhunderten ist in verschiedenen Völkern die Vorstellung verbreitet, dass Menschen durch das Schlüpfen in eine Tierhaut die Eigenschaften des Tieres annehmen können. So kann sich ein Mensch in einen Wolf verwandeln, indem er sich ein Wolfsfell umhängt oder einen »Wolfsgürtel« trägt: Er wird zu einem Werwolf. Noch gruseliger: Angeblich soll jeder, der von einem Werwolf gebissen wird, bei Vollmond selber zu einem wilden Tier werden. Diese Geschichte ist aber ganz und gar nicht alt, sondern eine Idee moderner Filmemacher. Erst sie haben die Verbindung zwischen Mond und Werwolf erfunden, an die die Menschen früher gar nicht gedacht hatten.

Warum der Mond nicht auf die Erde fällt

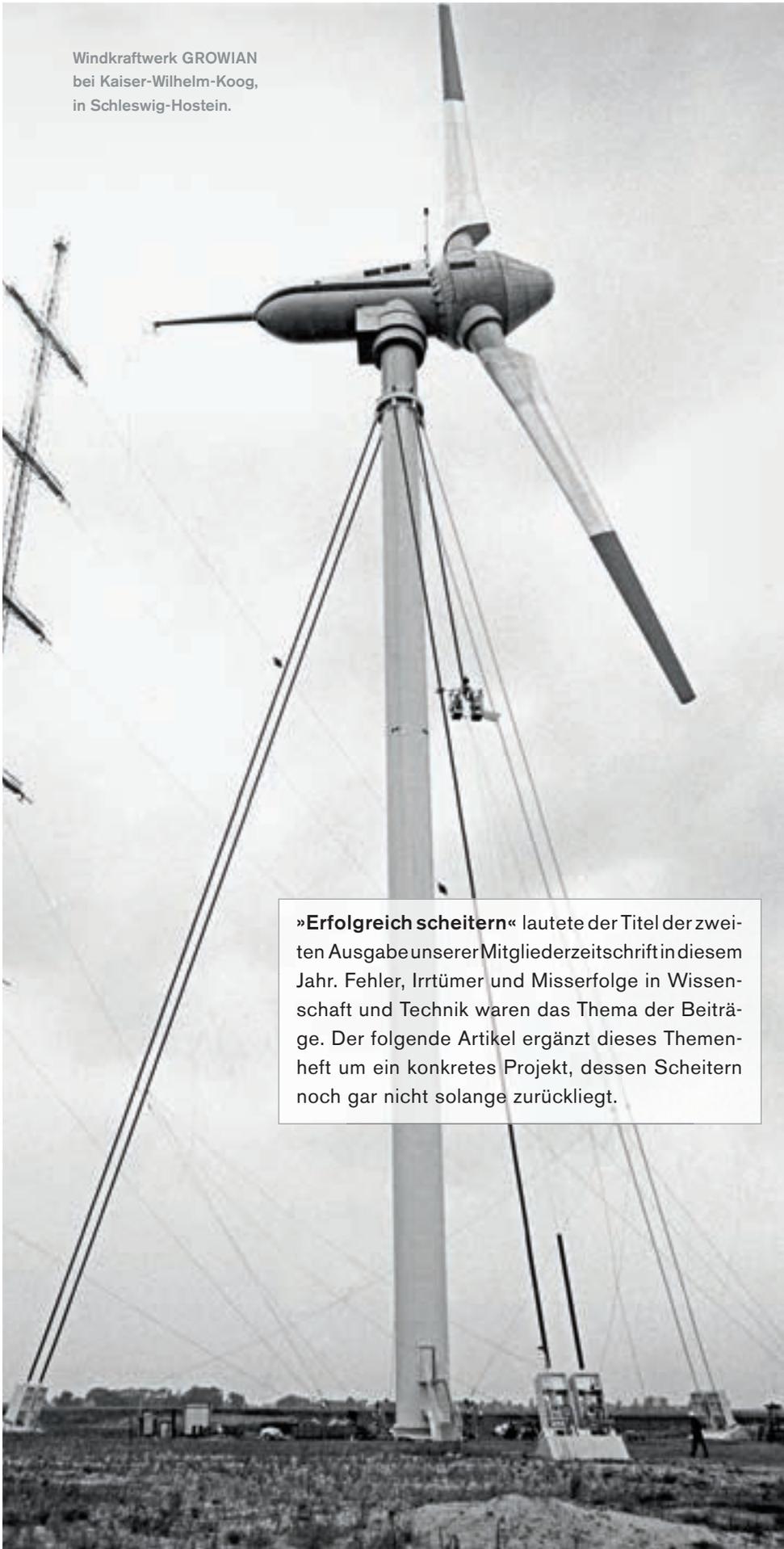
Der Mond kreist um die Erde, Mond und Erde kreisen um die Sonne. Zwischen den dreien wirken verschiedene Kräfte. Die sorgen dafür, dass sich keiner von ihnen einfach aus dem Staub machen kann.

Rutscht dir mal aus Versehen ein Stift aus der Hand, so fällt er zu Boden, passiert uns allen, nicht weiter schlimm, einfach runterbeugen, aufheben, weiterschreiben. Aber was ist da eigentlich gerade passiert? Dass der Stift fällt und nicht fliegt, liegt an der Schwerkraft. Sie sorgt dafür, dass wir Menschen nicht einfach von der Erdoberfläche ins All entschweben, sondern mit beiden Füßen fest auf dem Boden bleiben, und uns nach heruntergefallenen Stiften bücken müssen. Warum aber fällt dann der Mond nicht auf die Erde? Schließlich ist die Erde ganze 81-mal größer als der Mond. Und Dinge mit großen Massen ziehen

Bei einer Fahrt im Kettenkarussell kannst du die Fliehkräfte am eigenen Körper spüren.

sich besonders stark an. Durch die Kreisbewegung des Mondes um die Erde wirkt auf den Mond aber nicht nur die Schwerkraft sondern auch die Fliehkraft. Du kannst diese Kraft sogar spüren, wenn du zum Beispiel mit einem Karussell fährst. Das Karussell fängt an zu kreisen, dein Körper hebt langsam vom Sitz ab, deine Arme und Beine fliegen in die Luft, dein Rücken wird nach außen gegen den Sitz gepresst und du fühlst dich plötzlich ganz leicht und schwerelos. Du fliegst wie ein Vogel! Doch sobald die Fahrt vorbei ist, wird dein Körper wieder ganz schwer und du fällst zurück in den Sitz. Diese Art von Fliehkraft wirkt auch auf den Mond. Der Mond kreist nämlich um die Erde, so wie du im Karussell. Zum Glück ist die anziehende Kraft der Erde dabei so groß, dass der Mond nicht einfach davonfliegt, während die Fliehkraft gerade so stark ist, dass der Mond nicht auf die Erde fällt und bei dir im Wohnzimmer landet. Was für ein wunderbarer Zufall, dass die beiden Kräfte sich so ergänzen, dass der Mond immer schön weiter um unsere Erde kreist.

Windkraftwerk GROWIAN
bei Kaiser-Wilhelm-Koog,
in Schleswig-Holstein.



»Erfolgreich scheitern« lautete der Titel der zweiten Ausgabe unserer Mitgliederzeitschrift in diesem Jahr. Fehler, Irrtümer und Misserfolge in Wissenschaft und Technik waren das Thema der Beiträge. Der folgende Artikel ergänzt dieses Themenheft um ein konkretes Projekt, dessen Scheitern noch gar nicht solange zurückliegt.

Der Megaflop

Seit Jahrhunderten nutzt der Mensch die Energie des Windes. Der Weg bis zu den heutigen leistungsstarken Windkraftanlagen war nicht nur von Erfolgen geprägt.

Von Frank Dittmann

Am 18. Oktober 1983 war viel Politprominenz zum schleswig-holsteinischen Kaiser-Wilhelm-Koog an der Mündung der Elbe in die Nordsee gereist, wurde doch an diesem Tag feierlich die »Große Windkraft Anlage«, kurz GROWIAN, in Betrieb genommen. Mit diesem Projekt verbanden sich viele Hoffnungen: Die Testanlage sollte den Weg zur Erzeugung von Elektroenergie aus Windkraft im großen Maßstab ebnen. Die projektierte Leistung lag bei drei Megawatt, eine Größenordnung, die moderne Windkraftanlagen erst nach 2005 erreichten.

Das Projekt war eine Antwort auf die Ölpreiskrisen der 1970er Jahre, die die Abhängigkeit moderner Industriestaaten von fossilen Energieträgern demonstrierten. In der Folgezeit wurde eine Fülle von Gegenstrategien entwickelt. So senkte man den Anteil des aus den OPEC-Staaten bezogenen Öls durch Erschließung von Ölfeldern in der Nordsee sowie durch die Diversifikation der Handelspartner. Alternative Treibstoffe wie Pflanzenöl und Biodiesel rückten ins Interesse, ebenso die Wärmedämmung von Gebäuden oder die Effizienzsteigerung von Motoren und Heizgeräten. Zugleich wurde vermehrt in Kernenergie investiert. Auch regenerative Energiequellen, die Jahrtausende lang im Zentrum menschlicher Energiegewinnung standen, aber seit der Industrialisierung immer mehr durch fossile Brennstoffe ersetzt wurden, kamen wieder in den Blick. Wind galt dabei als eine Möglichkeit, im großen Maßstab regenerative Energien zu erschließen und GROWIAN sollte der Startschuss sein. Mit einem Rotordurchmesser von über 100 Metern und einer Leistung von drei Megawatt war sie das damals weltweit größte Projekt. Am Ende hatte der Bau 27 Millionen DM und das Gesamt-

projekt 90 Millionen DM gekostet, wovon das Bundesforschungsministerium fast alles übernahm. Dennoch konnte das ehrgeizige Ziel einer dauerhaften Einspeisung in das Elektroenergienetz nicht erreicht werden. Ende 1988 wurde die Versuchsanlage nach gerade 420 Betriebsstunden abgebaut.

GROWIAN wird aber bis heute nicht einfach nur mit dem Scheitern einer Innovation verbunden – also mit einem zwar unerwünschten Ergebnis, das aber im Innovationsprozess doch eher der Normalfall ist (Bauer, *Kultur & Technik* 2/2019) –, sondern als totales Desaster betrachtet. Trotz der Investition erheblicher Mittel konnte das ursprüngliche Projektziel nicht erreicht werden. Kontrovers war auch die Bewertung in der Öffentlichkeit. Einige sahen das Scheitern des GROWIAN als Beweis, dass Windenergie keine Zukunft in einer Hochenergiegesellschaft hat. Aktivisten der sich formierenden Umweltbewegung dagegen wiesen dies zurück und unterstellten, dass der eigentliche Zweck des Projekts gerade darin bestand, die Windenergie als sinnvolle Alternative zu diskreditieren. Industrievertreter wiederum resümierten, aus dem Scheitern viel gelernt zu haben.

Folgerichtig rückte GROWIAN als ein zentrales Beispiel in den Fokus von Studien zum Technologie- und Innovationsmanagement. Bereits drei Jahre nach Abbruch des GROWIAN-Projekts beschäftigte sich eine wirtschaftswissenschaftliche Dissertation mit den Gründen des Scheiterns.

Die Planung

Die Anfänge des GROWIAN-Projekts reichen in das Jahr 1974 zurück. Nach der ersten Ölpreiskrise kamen Experten in einer vom Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) in Auftrag gegebenen Studie *Industriequellen für morgen* (1976) zu dem Ergebnis, dass das Windenergiepotenzial in der Bundesrepublik groß genug sei, um einen relevanten Beitrag zur Energieversorgung zu leisten und empfahlen den Bau einer großtechnischen Versuchsanlage.

Einschlägige Erfahrungen beim Bau von Windkraftanlagen besaß zur diesem Zeitpunkt in Deutschland lediglich Ulrich Hütter. Anfang der 1940er Jahre hatte sich der



Der Maschinenbauingenieur Ulrich Hütter befürwortete vehement die Leichtbauweise der Rotorblätter aus glasfaserverstärktem Kunststoff für das geplante Riesenwindrad GROWIAN.

Maschinenbauingenieur mit solchen Anlagen und ab 1943 mit bemannten Flugkörpern beschäftigt. 1944 erhielt er einen Lehrauftrag für Strömungslehre und Flugmechanik an der TH Stuttgart, der 1952/53 erneuert wurde. Die 1957 von Hütter entwickelte Windkraftanlage W34 mit einer Nennleistung von 100 Kilowatt gilt als Meilenstein der Windenergienutzung. Hütter forschte bis zu seiner Emeritierung 1980 im Bereich der Strömungsdynamik und Flugphysik und galt auch international als einer der führenden Wissenschaftler im Bereich Windenergie.

Mit dem GROWIAN orientierte man sich am Funktionsprinzip der Hütter W34. Das betraf die Bauweise eines Stahlrohrturms mit einem aufgesetzten Maschinenhaus und dem aerodynamisch geformten Zweiblattrotor auf der windabgewandten Seite des Turms genauso wie die verwendeten Materialien. So befürwortete Hütter die Leichtbauweise der Rotorblätter aus glasfaserverstärktem Kunststoff. Um die Risiken, etwa die Unkenntnis der standortbezogenen Windverhältnisse oder Unsicherheiten beim Skalieren der Hütter-Anlage um das 30-fache (!) abzufedern, wurde der Bau des GROWIAN in eine Reihe von Teilprojekten eingebettet. Herausragendes Merkmal sollte aber von Beginn an die Größe sein. So wollte das BMFT nicht lediglich marginale Schritte fördern, sondern strebte ambitionierte Lösungen an, nicht zuletzt da auch in anderen Ländern, etwa in den USA, über große Windkraftanlagen diskutiert wurde. Die Hoffnung auf politischen

Eine Besonderheit des GROWIAN war das vertikal fahrbare Rotorgehäuse. Zu Wartungszwecken sollte es nach unten gefahren werden. Der Rotordurchmesser betrug über 100 Meter, die Leistung lag bei 3 Megawatt. Die Anlage war damit das weltweit größte derartige Projekt.

Die Visionen der Planer gingen aber bereits weiter: »Die nächste Entwicklungsstufe könnte dann eine Großanlage mit 113 Metern Durchmesser [...] sein, deren installierte Leistung zwischen 3 und 6 Megawatt [...] liegen kann. Technisch durchführbar sind auch größere Anlagen mit 160 Metern oder gar 200 Metern Durchmesser«, hieß es in der Studie *Energiequellen für morgen?* Bd. 3: *Nutzung der Windenergie*, die 1976 im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung erstellt wurde.



Prestigegewinn war so groß, dass man bei den Größenvorgaben blieb, auch als sich technische Schwierigkeiten bereits deutlich abzeichnen begannen.

Im Sommer 1977 erhielt die MAN im Rahmen einer beschränkten Ausschreibung gemeinsam mit der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR), heute Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), den Auftrag, ein Projekt auszuarbeiten. Bereits in dieser Phase wurden wesentliche Merkmale festgelegt, wie die Turmhöhe, der Rotor mit zwei Flügeln in Composite-Bauweise und waagerechter Achse sowie die Leistung von 2 bis 3 Megawatt. Auf Grundlage dieser Vorgaben wurden Varianten mit Rotordurchmessern von 80, 100 und 113 Metern diskutiert. Die Vertreter der DFVLR und der MAN sprachen sich für die kleinste Variante aus, um bei gleichem wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn die zu erwartenden Risiken zu minimieren, die sie bei der Herstellung der Rotorblätter (in diesem Fall 40 Meter), bei der Errichtung eines Turms über 80 Meter, bei dessen Bau keine konventionellen Autokräne eingesetzt werden konnten, sowie bei der Skalierung von einer 100-Kilowatt- zu einer 300-Megawatt-Anlage sahen.

Im Vorfeld hatte die DFLVR Untersuchungen an einem – eigentlich im Projekt nicht genehmigten – Prototyp-Rotorblatt vorgenommen. Weil aber das Forschungsministerium mit seinen Forderungen am Limit der damaligen technischen Möglichkeiten festhielt, einigte man sich auf den Kompromiss eines Rotordurchmessers von 100,4 Meter – also auf eine Blattlänge von 50,2 Metern – bei einer Nabenhöhe von 102,1 Meter über Grund. Da keine Erfahrungen mit langen Rotorflügeln aus glasfaserverstärktem Kunststoff vorlagen, setzten die MAN-Ingenieure – vor allem aus Sicherheitsgründen – eine Hybridbauweise durch, d.h. die Kunststoffhülle wurde innen mit einem Stahlholm bis zur Spitze verstärkt. Damit wurde der Rotor aber deutlich schwerer als der ursprünglich in Composite-Bauweise geplante, so dass Bauteile im Maschinenhaus verstärkt

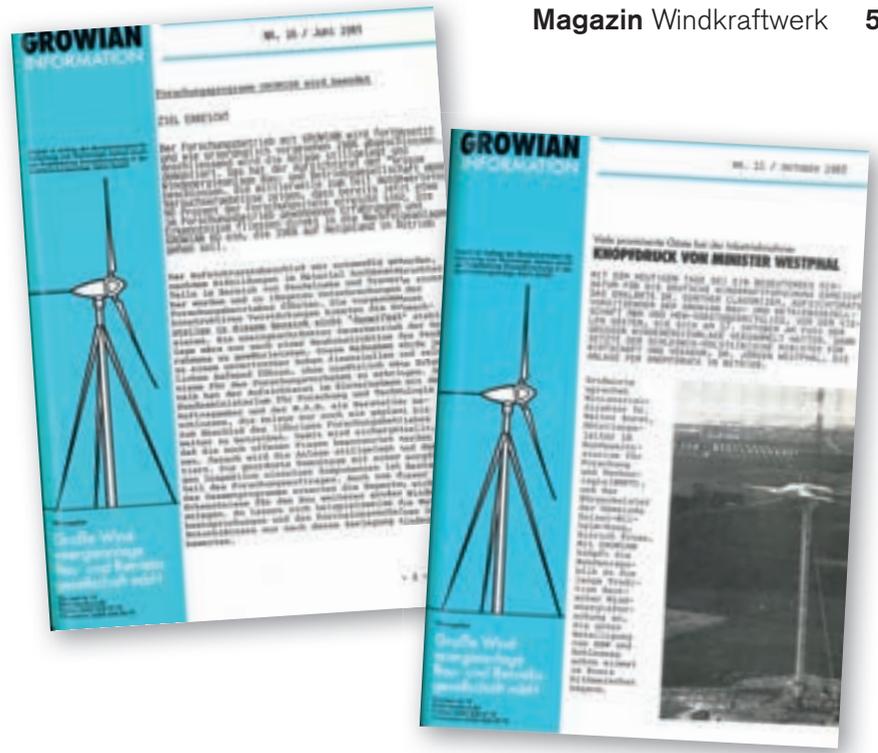
werden mussten, dessen Gewicht damit erheblich zunahm.

Anfang 1978 fiel der Beschluss zum Bau der weltweit größten Windkraftanlage mit 100 Meter Turmhöhe und 100 Meter Flügeldurchmesser. Da die Einbindung der Expertise der Energieversorger vorgesehen war, wurden die Projektunterlagen an diese verschickt und um Stellungnahme gebeten – aber keiner der potenziellen Anwender äußerte sich. Schließlich beauftragte das BMFT im April 1978 die Hamburgische Elektrizitätswerke AG (HEW) mit der Gründung einer entsprechenden Gesellschaft, was schließlich am 8. Januar 1980 mit der »Große Windenergieanlage Bau- und Betriebs-Gesellschaft mbH« (GROWIAN GmbH) umgesetzt wurde. Die Suche der HEW nach weiteren Gesellschaftern gestaltete sich schwierig – am Ende konnte man die Schleswig-Holsteinische Stromversorgungs AG (Schleswig) und die Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk AG (RWE) gewinnen. Zuvor hatten diese Unternehmen aber ihre Anteile an den Gesamtkosten heruntergehandelt und auch sonst zeigte man sich äußerst reserviert. Den maschinenbautechnischen Teil übernahm die MAN, den elektrischen Teil die Siemens AG, den Turm lieferte die Münchner Firma Maurer & Söhne. Mit der Prüfung und Genehmigung waren verschiedene Behörden sowie der Germanische Lloyd betraut.

Der Bau

Aufgrund der vorgesehenen Änderungen am Rotorblatt mussten die bereits vorliegenden Bauunterlagen erheblich verändert werden. Da der Stahlholm nun bis in die Spitze des Blatts reichte, erhöhte sich dessen Masse um zwei Tonnen. Das zog zum Teil gravierende Veränderungen an insgesamt 15 Anlagenteilen nach sich, etwa die Neukonstruktion der Blattlagerung, des Pendelrahmens und des Maschinenhauses. Insgesamt erhöhte sich die Masse des Maschinenhauses mit Rotor von 280 auf 420 Tonnen. Dieses konnte nun nicht mehr wie geplant durch Seilwinden gehoben werden, vielmehr wurde eine hydraulische Hub-

Die von der Betreiberorganisation zwischen 1980 und 1988 für die Öffentlichkeit herausgegebenen 20 Ausgaben der GROWIAN-Information dokumentierten alle wichtigen Projektschritte.



vorrichtung nötig – mit den daraus resultierenden Konstruktionsänderungen.

Im November 1979 beauftragte das Kernforschungszentrum Jülich, das die Projektabwicklung übernommen hatte, den Germanischen Lloyd mit der Prüfung der Konstruktion, vor allem der sicherheitstechnischen Elemente. Die daraus resultierenden Auflagen führten wiederum zu Terminverschiebungen und weiteren Kostensteigerungen. Die Bausumme stieg um zusätzliche 9,4 Millionen DM auf 47,9 Millionen DM. 1981 kamen weitere 6,75 Millionen DM hinzu, was zu Verstimmungen zwischen BMFT und MAN führte. Genehmigt wurden schließlich reichlich 2,4 Millionen DM weniger als die erforderlichen 54,65 Millionen DM.

Mit deutlicher Verzögerung begannen die Bauarbeiten am Kaiser-Wilhelm-Koog im Mai 1981. Die Rampa für das Fundament gründeten in 16 Metern Tiefe, da man erst dort festen Grund vorfand. Im März 1982 erfolgte die Montage des Stahlrohrturmes bis zu einer Höhe von neun Metern. Anschließend wurde das Maschinenhaus über den Turm gestülpt, die Nabe angebracht und die Flügel montiert. Nach Vollendung des Turms zog man im Oktober 1982 das Maschinenhaus mitsamt dem Rotor nach oben. Diese Lösung erlaubte es, Wartungsarbeiten ebenerdig am herabgelassenen Maschinenhaus ausführen zu können. Tatsächlich wurde das Maschinenhaus aber nie wieder heruntergefahren, auch nicht beim Abbruch der Anlage.

Der Betrieb

Aufgrund der Verzögerungen im Projekt erfolgte die Inbetriebnahme elf Monate nach dem geplanten Termin, dem sich von Januar bis November 1983 eine Testphase anschloss. Inzwischen waren im Vorfeld mehrere Masten mit zahlreichen Messinstrumenten errichtet worden, um den auf GROWIAN auftreffenden Wind vermessen und das Anlagenverhalten untersuchen zu können. Nach einer Testphase sollte GROWIAN im Lastbetrieb arbeiten. Dabei hielt man sich die Übernahme in den Dauerbetrieb offen, war die Konstruktion doch gemäß der Ausschreibung auf eine 20-jährige Laufzeit ausgelegt.

Aber bereits beim Probelauf vor der Eröffnung kam es zu technischen Problemen. So zeigte sich, dass das Pen-

deldämpfungslager und die Bremsen zu heiß wurden. Die Anfahrtsteuerung musste nachgebessert und eine Zusatzheizung für die Ölversorgung installiert werden – um nur einige zu nennen. Im Winter 1983/84 gefror Wasser in den Flügelspitzen, die daraufhin Risse bekamen. Die Flügel wurden repariert und mit Entwässerungslöchern versehen. Im Februar 1984 speiste GROWIAN erstmals Strom ins Netz der Schleswig.

Als aber im Mai 1984 Risse im Pendelrahmen entdeckt wurden, einem federnd aufgehängten Stahlrahmen, der zur Stabilisierung des Rotors diente, musste die Anlage stillgelegt werden. Der Pendelrahmen ermöglichte es dem Blatt, am höchsten Punkt etwas stärker zurückzuweichen als am Boden und glich damit die unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten in höheren Bereichen und bodennah aus, welche die Flügel mit einer Spannweite von 100 Metern erheblich belasteten. Nach dem Schaden an diesem zentralen Teil zeigten Simulationsrechnungen, dass an den Stellen der Risse mechanische Lastspitzen auftraten. Zur Verstärkung wurden Stegbleche eingeschweißt. Nach fünfmonatiger Reparatur ging GROWIAN im Oktober 1984 wieder in Betrieb. Aber bereits ein Vierteljahr später, im Januar 1985, fand man neue Risse am Pendelrahmen. Nach der Reparatur zeigten sich bereits am 6. Februar 1985 wieder Risse – diesmal an der Traverse. Deren Verstärkung hielt nur wenige Tage, dann musste erneut nachgebessert werden. Trotz mehrfacher Reparaturen am Pendelrahmen bzw. an der Traverse tauchten nach einigen Tagen Betrieb neue Risse auf und es blieb unklar, ob die Spannungen, die beim Einschweißen von Verstärkungen entstanden, nicht zur erneuten Rissbildung beitrugen. In diesem Fall wäre also die Art und Weise der Reparatur Ursache für weitere Fehler.

Im Oktober 1986 brach einer der vier Hauptpendeldämpfer, die den Rotor bei kleinen Drehzahlen und stark

Zum Weiterlesen

Matthias Heymann, *Geschichte der Windenergienutzung, 1890–1990*. Frankfurt/M. 1995, S. 369–392.

Jörn Pulczynski, *Die große Windenergieanlage GROWIAN. Eine Fallstudie*. In: *Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel*, No. 263, 1991.

Friedrich Körber, *Baureife Unterlagen für große Windenergieanlage GROWIAN*. In: *Forschungsbericht BMFT-FB-T 80-171*, 1980.

Adolf Endres u. a., *Bau der großen Windenergieanlage GROWIAN mit einer elektrischen Leistung von 3 MW*. *Schlussbericht*. Hamburg 1988.

Hans Reinhold, *Betrieb der Großen Windenergieanlage Growian mit einer elektrischen Leistung von 3 MW*. *Schlussbericht*, Hamburg, 1988.

Timm Seeger u. a., *Forschungsvorhaben Schadensuntersuchung GROWIAN*. *Schlussbericht*, Darmstadt 1990.



Der Bau des Forschungswindrads zog auch viele Interessierte und Schaulustige an.

nachfolgenden Kontrollen begrenzt. Nach 12,5 Betriebsstunden folgte eine ein- bis zweitägige Überprüfung.

Das Forschungsprojekt »Bau der Großen Windenergieanlage« endete am 28. Februar 1987, im August 1987 der Gesamtbetrieb und im Dezember 1987 das Messprogramm. Im Sommer 1988 wurde die Anlage nach einer Betriebszeit von insgesamt 17,5 Tagen abgerissen.

Problemanalyse

Das Ende des Projekts bedeutete nicht den Abschluss aller Projektaufgaben, sondern war die Konsequenz der hohen Schadenshäufigkeit. Oberflächlich betrachtet lagen die Gründe für das Scheitern des GROWIAN-Projekts im technischen Bereich: So waren die getroffenen Lastannahmen falsch, was zu konstruktiven Mängeln an der Blattaufhängung führte. Die Ursache dafür lag wohl in der unzureichenden Analyse von mechanischen Spannungen sowie in unzulänglichen Berechnungsmethoden. Hinzu kamen Ausführungsmängel bei der Herstellung der Pendelnabe sowie eine relativ hohe Zahl von Notabschaltungen, die zu zusätzlichen mechanischen Belastungen führten.

Aber wie konnten solche Fehler bei einem renommierten Unternehmen entstehen? Konstruktion und Bau des Pendelrahmens hatte die MAN-Gustavsburg übernommen – ein traditioneller Unternehmensbereich für Stahlteile. Das zentrale Teil der Anlage wurde vom Projektmanagement nicht als innovativer Bestandteil betrachtet und eher routinemäßig bearbeitet. Nach den oben beschriebenen Veränderungen der Rotorblätter hatten Prüfeningenieure der Germanischen Lloyd die Konstruktion begutachtet und Schwachstellen am Pendelrahmen und der Traverse moniert. Da aber Prüfung und Bau parallel erfolgten, waren konstruktive Änderungen nur noch in begrenztem Umfang möglich. Niemand wollte die Verantwortung für weitere Verzögerungen übernehmen. Hinzu kam, dass der Festpreisvertrag zwischen MAN und der GROWIAN GmbH bedeutete, dass der Hersteller die Kosten für den Neubau des Pendelrahmens hätte tragen müssen – das Entwicklungsrisiko wäre also allein zu Lasten von MAN gegangen.

Hier wird deutlich, dass es zu kurz greift, nur die Entwickler verantwortlich zu machen. Offensichtlich gab

asymmetrischer Last stabilisierten. Über die Ursache dieses Schadens gab es unterschiedliche Meinungen. Da die Rissbildung an wichtigen konstruktiven Bauteilen nicht gestoppt werden konnte, entschied man sich, GROWIAN nur noch soweit zu ertüchtigen, um das geplante Messprogramm abschließen zu können. Dafür wurde eine Betriebszeit von 500 Stunden veranschlagt. Außerdem entschied sich die GROWIAN GmbH gegen die Option, die Anlage in den Dauerbetrieb zu übernehmen. Das Projekt wurde somit zu einem rein wissenschaftlichen Forschungsprojekt über das Verhalten von Großwindkraftwerken unter verschiedenen Lastsituationen uminterpretiert. Aus Sicherheitsgründen wurde der Betrieb auf kurze Intervalle mit

es Mängel im Risikomanagement. So hatten die MAN-Entwickler bereits zu Beginn auf mangelnde Erfahrungen beim Bau derart großer Anlagen hingewiesen. Das Ministerium blieb aber aus Prestige Gründen bei seinen äußerst ambitionierten Forderungen, die bereits in der Presse publiziert worden waren. Nachdem die Schwachstelle der Konstruktion offenbar wurde, gab es drei mögliche Auswege: Entweder der sofortige Abbruch des Projekts oder die Neukonstruktion der Pendelnabe, um den eigentlich angestrebten Dauerbetrieb zu gewährleisten. Der Aufwand dafür wurde auf 10 Millionen DM und einen Realisierungszeitraum von zwei Jahren geschätzt. Letztlich fiel eine pragmatische Entscheidung für die dritte Möglichkeit, nämlich die Pendelnabe so weit zu reparieren, um die Projekte, in die GROWIAN eingebettet war, in einem begrenzten Zeitraum von 500 Stunden abzuschließen.

Bleibt die Frage, wie man das Ergebnis des gesamten Projekts bewertet. Der Abschlussbericht zieht eine positive Bilanz: »GROWIAN hat...grundlegende Erkenntnisse und praktische Erfahrungen erbracht, die für die Weiterentwicklung großer Windenergieanlagen unentbehrlich sind ... Im Verlauf des Forschungsbetriebes zeigten sich zwar Materialschwächen an den hochbelasteten Bauteilen im Nabenbereich, die umfangreichen Versuchs- und Meßprogramme konnten jedoch erfolgreich beendet werden.« (Adolf Endres, 1988, S. 147)

Betrachtet man dagegen den Projektverlauf, der hier nur grob skizziert werden konnte, relativiert sich diese Einschätzung. Vor allem die Reduktion auf technische Probleme scheint zu kurz gegriffen. Eine Studie zum Innovationsmanagement kam bereits 1991 zu dem Ergebnis: »Den Entscheidungsträgern fehlte ein umfassendes Innovationsbewußtsein. Dies hat eine realistische Einschätzung der Komplexität verhindert.« (Jörn Pulczynski, 1991)

Bereits die Studie von 1976 ging von der sehr optimistischen Voraussetzung aus, dass Windkraftanlagen im Bereich mehrerer Megawatt realisierbar seien, da die meisten technischen Probleme gelöst seien. Mit GROWIAN sollte ein Prototyp entstehen – also ein funktionsfähiges Versuchsmodell, an dem man das Konzept und die Tauglichkeit der technischen Komponenten vor der Serienproduktion testen konnte. Bei der Auslegung wurde aber zugleich

»Der GROWIAN ... war mit der Absicht geplant, in einem einzigen Schritt eine großtechnische Anlage zur Nutzung von Windenergie auf die Beine zu stellen.«

(Energie aus Sonne und Wind in: Bild der Wissenschaft Extra 1986, S. 43)

eine 20-jährige Lebensdauer zugrunde gelegt, was nicht zur Zielsetzung eines Tests passt.

Offensichtlich war das Entwicklungsziel zu ambitioniert und die Anlage komplizierter als vermutet. Auch die Zieldefinition von Forschungsbetrieb einerseits und langjähriger Energieproduktion andererseits war unrealistisch. Technisch gesehen war die Materialbeanspruchung größer als erwartet. Im Ergebnis liefen die Kosten davon.

Andererseits hatte die Öffentlichkeit die ambitionierte Zielsetzung positiv aufgenommen. Eine Allensbach-Umfrage nach dem Richtfest im Oktober 1982 ergab, dass 31 Prozent der Bevölkerung auf Windkraft setzte. Der Spiegel (Heft 24, S. 218) erklärte 1985 die Schwierigkeiten damit, dass die Atom-Lobby solche Alternativprojekte ablehne und zitierte ein Vorstandsmitglied der am Projekt beteiligten RWE mit einer Aussage, die bereits 1981 die Tageszeitung (taz) veröffentlicht hatte: »Wir bauen Growian, um zu beweisen, dass es nicht geht.« Während die Bundesregierung – so der Spiegel – nach der ersten Ölpreiskrise rund 200 Millionen DM in das Windkraftprogramm investierte, wären der Atomindustrie im gleichen Zeitraum 16 Milliarden DM zugeflossen.

Allerdings muss bei der Betrachtung gescheiterter Projekte auch über deren Reichweite gesprochen werden. So führte das Ende des GROWIAN in Deutschland nicht zum Ende der Windkraftnutzung. Die Unternehmen gingen auf kleinere Anlagen zurück, die in einem langfristigen Prozess höher skaliert wurden. Die MAN brachte ihr Know-how in den Aeroman mit einer Leistung von 30 Kilowatt ein, der einen Zweiblattrotor mit 12,5 Meter Durchmesser besaß. Auf dem GROWIAN-Gelände wiederum entstand 1987 der erste Windpark Deutschlands, war dies doch der Standort mit den umfassendsten Untersuchungen der Windverhältnisse. Der Windenergiepark Westküste existiert bis heute und gilt als eine Keimzelle der kommerziellen Windkraftnutzung in Deutschland. ■



DER AUTOR

Dr. Frank Dittmann
ist Kurator für Energietechnik, Starkstromtechnik und Automation am Deutschen Museum.



Fritz Habers letzte Amtshandlung

Seit dem 19. Jahrhundert beschäftigte sich die Chemie mit der Aufgabe, den für die Herstellung von Düngemitteln so wichtigen Stickstoff »einzufangen«. Fritz Haber war dies 1909 mit der Ammoniaksynthese gelungen. Im Jahr 1933 ließ er dem Deutschen Museum ein Replikat der dafür verwendeten Apparatur überbringen. Von Stefan L. Wolff

München stand Anfang Oktober 1933 ganz in Erwartung der Grundsteinlegung des Hauses der Deutschen Kunst. Bei dem pompös inszenierten Ereignis versammelte sich am 15. Oktober, begleitet von zahlreichen Aufmärschen, ein großer Teil der nationalsozialistischen Prominenz. Wenige Tage zuvor hatte das Deutsche Museum einen eher unauffälligen Besuch aus Berlin erhalten. Der Feinmechanikermeister Hermann Lütge (1886–1970) war angereist, um ein Geschenk seines am 30. September aus dem Amt geschiedenen Institutsdirektors Fritz Haber (1868–1934) zu überbringen.

Es handelte sich um ein Gerät zur Synthese von Ammoniak, das Lütge im Auftrag von Haber erst kurz zuvor nachgebaut hatte. Dies war ein Replikat jener Apparatur, mit der der 40-jährige Haber am 2. Juli 1909 in seinem Karlsruher Institut in Anwesenheit von Vertretern der BASF über fünf Stunden erstmals kontinuierlich eine effiziente Synthese von Ammoniak (NH_3) hatte demonstrieren können. Damit waren die seit 1904 verfolgten Bemühungen Habers, Ammoniak zu produzieren, zu einem erfolgreichen Abschluss gekommen.

Er hatte zunächst begonnen, bei gut 1000°C unter Normaldruck mit Eisen als Katalysator Ammoniak in der Größenordnung von einigen Milligramm herzustellen. Auch

Bild oben: Fritz Haber anlässlich seines 60. Geburtstags 1928 mit einem Modell einer »Apparatur für die Ammoniak-Synthese«.

(Bilder S. 56 und 57: Mit freundlicher Genehmigung vom Archiv des Max-Planck-Instituts Berlin-Dahlem)

wenn die Menge sehr gering war, konnte auf diese Weise die Gleichgewichtsreaktion von Stickstoff und Wasserstoff erstmals quantitativ erfasst werden. Das ermöglichte ihm, die Ausbeute von Ammoniak bei beliebigen Drucken, Temperaturen und Mischungsverhältnissen zu bestimmen. Im Herbst 1906 sah sich Haber jedoch scharfer Kritik von Seiten von Walther Nernst (1864–1941) ausgesetzt, der theoretisch und experimentell weitaus ungünstigere Werte für die Synthese erhalten hatte. Haber führte daraufhin mit seinem neuen englischen Mitarbeiter Robert Le Rossignol (1884–1976) weitere Untersuchungen unter dem Druck von 30 atm durch und konnte seine früheren Ergebnisse bestätigen. Aber daraus ergab sich noch kein effizientes Verfahren, weil die für eine ertragreiche Synthese erforderliche Kombination von Temperaturen unter 700°C und einem Druck von 200 atm zunächst technisch als nicht realisierbar erschien.

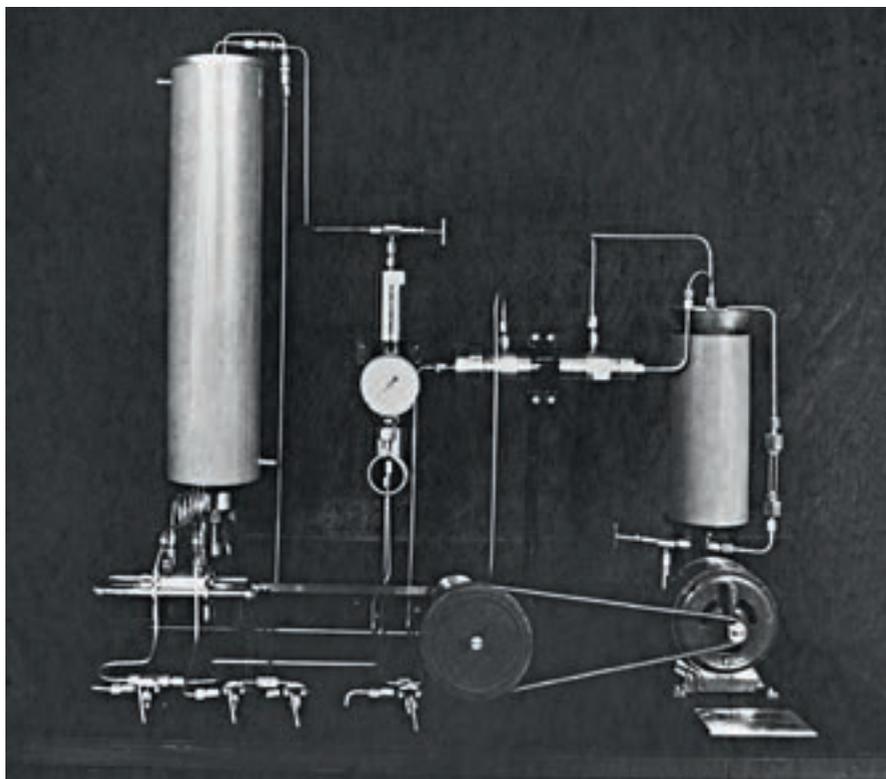
Angesichts der Kenntnis von der Verwendung solcher hoher Drucke bei anderen neuen technischen Verfahren wie der Luftverflüssigung nahmen Haber und Le Rossignol die zunächst unterbrochene Arbeit wieder auf. Sie waren in der Lage mit einem Druck von 200 atm zu experimentieren, was vor allem den Fertigkeiten von Le Rossignol zu verdanken war, der dabei u.a. besondere,

Die »Haber-Le Rossignol Apparatur« führte Fritz Haber am 2. Juli 1909 Vertretern von BASF vor. Links befindet sich eine große Röhre, der Konverter, in dem das Ammoniak entsteht, rechts die Kühlung, die eine Ableitung des flüssigen Ammoniaks ermöglicht. Die zwei Scheiben unten rechts gehören zu der Zirkulationspumpe. Dazwischen befindet sich ein Manometer, das den Druck anzeigt. Die horizontale Röhre dient der Wärmeübertragung.

für den hohen Druck erforderliche Ventile konstruierte. Weiterhin bedienten sie sich bei einer Arbeitstemperatur zwischen 500 und 600 °C neuer Katalysatoren wie Osmium und Uran. Aber auch unter diesen Bedingungen blieb die Synthese unvollständig, weshalb Ammoniak nur schrittweise gebildet und aus dem Prozess portionsweise herausgenommen werden musste. Dies leistete ein Zirkulationsverfahren, bei dem das entstandene Ammoniak durch Kühlung verflüssigt und abgeleitet sowie außerdem die bei der Reaktion entstandene Wärme dem Vorgang wieder zugeführt wurde. Das machte die Apparatur auch zu einem Modell für ein ökonomisch sinnvolles industrielles Verfahren.

Die große Bedeutung des neuen Verfahrens für die Weltenernährung sorgte noch vor Ausbruch des Ersten Weltkrieges für eine rasche industrielle Umsetzung. Haber arbeitete inzwischen in Berlin, wo er 1911 zum Gründungsdirektor des neuen Kaiser-Wilhelm-Institutes für physikalische Chemie und Elektrochemie berufen worden war. Am 1. Juni 1920 erhielt er für die erfolgreiche Ammoniaksynthese den Nobelpreis für Chemie des Jahres 1919. Der Präsident der Schwedischen Akademie der Wissenschaften rühmte in seiner Laudatio das Verfahren als »überaus wichtige[s] Mittel zur Hebung der Landwirtschaft und des Wohlstandes der Menschheit«. Aufgrund von Habers maßgeblicher Beteiligung am deutschen Gaskrieg und der schon vor der Preisverleihung von ihm erwarteten Forderung der Alliierten, seine Auslieferung als Kriegsverbrecher zu verlangen, war diese Entscheidung zwar nicht fachlich, aber politisch hoch umstritten. Die Frage einer Auslieferung sollte sich jedoch bald nicht mehr stellen. Habers fachliche Reputation sowie seine Aktivitäten in der Forschungspolitik, so etwa bei der 1920 gegründeten »Notgemeinschaft«, machten ihn zu einer der wichtigsten Personen im Wissenschaftsbetrieb der Weimarer Republik.

Mit einem Schreiben vom 11. Juli 1922 bot Haber dem Deutschen Museum »geschenkweise« einen an seinem Berliner Institut angefertigten Nachbau einer Apparatur für die Synthese an. Er fügte ein Foto des »Demonstrationsapparat(es) für die Darstellung des Ammoniaks aus Stickstoff und Wasserstoff« bei. Mit Bleistift ergänzte er noch, dass »Haber und Le Rossignol« die Urheber seien.



Wenn Haber hier nicht den oben beschriebenen Apparat hatte nachbauen lassen, mit dem er und Rossignol das Zirkulationsverfahren etabliert und erstmals vorgeführt hatten, sondern einen früheren Entwicklungsschritt, der dann auch noch später bei der BASF zum Austesten verschiedener Katalysatoren zum Einsatz gekommen war, so handelte es sich wohl vor allem um ein historisch-didaktisches Anliegen. Das unterstrich Haber mit dem Angebot, außerdem noch eine Schnittzeichnung zur Verfügung zu stellen, die hinter der Apparatur angebracht die Funktionsweise der einzelnen Teile erläuterte. Oskar von Miller (1855–1934) dankte umgehend für »eine in historischer Beziehung wertvolle und hervorragende Bereicherung unserer Sammlung«. Daraufhin sandte Haber seinen Berliner Mechaniker Lütge Ende Juli 1922 persönlich nach München, verbunden mit dem Wunsch, dass dieser ihn dort selbst aufbauen durfte. Der von einer Kühlung umschlossene Konverter befindet sich hier in der Mitte, rechts steht ein Trockner, an beiden befindet sich ein Manometer, und links wird das Ammoniak abgeschieden. Mangels einer Dokumentation ist allerdings nicht sicher, ob der Apparat damals auch wirklich in die Ausstellung kam.

Was bewegte Haber dazu, über 11 Jahre später dem Museum außerdem noch die Rekonstruktion des Apparates jener ersten Demonstration vom Juli 1909 anzubieten? Innerhalb von wenigen Monaten war Habers alte Welt zusammengebrochen, fand sich einer der herausragenden deutschen Forscher plötzlich in der Rolle des Verfemten wieder, der seinen alten Wirkungskreis verloren hatte und noch auf der Suche nach einem neuen war. Vor diesem Hintergrund mag bei Haber im September 1933 das

Zum Weiterlesen

Fritz Haber, Robert Le Rossignol, *Über die technische Darstellung von Ammoniak aus den Elementen*, in: *Zeitschrift für Elektrochemie* 19, 1913, 53-72. (Aus Patentschutzgründen erfolgte diese Publikation erst vier Jahre nach der erfolgreichen Vorführung.)

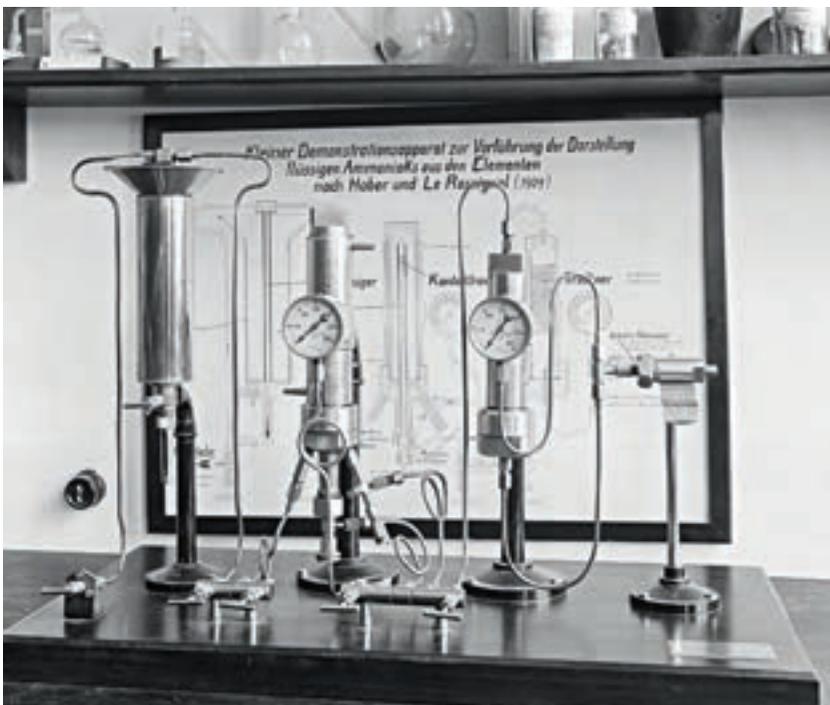
Rudolf Stern, *Fritz Haber. Personal Recollections*, in: *Leo Baeck Jahrbuch* 8, 1963, 70-102.

Dietrich Stoltzenberg, *Fritz Haber. Chemiker, Nobelpreisträger. Deutscher, Jude*, 1994.

Petra Werner, Angelika Irmischer (Hrsg.), *Fritz Haber Briefe an Richard Willstätter 1910-1934*, 1995.

Margit Szöllöis-Janze, *Fritz Haber 1868-1934. Eine Biographie*, 1998.

Ian Wallace, *A Genius for Friendship in Idem*, in: *Fractured Biographies*, 2003, 1-16.



Bedürfnis entstanden sein, über dieses Replikat an einen der für ihn vielleicht wichtigsten Momente seines wissenschaftlichen Lebens zu erinnern.

Nach der Machtübertragung an eine nationalsozialistisch geführte Regierung am 30. Januar 1933, der Notverordnung nach dem Reichstagsbrand in der Nacht zum 28. Februar, den Wahlen vom 5. März unter den Bedingungen des Ausnahmezustandes, dem Gesetz zur »Behebung der Not von Volk und Reich« vom 23. März, das als Ermächtigungsgesetz der Regierung legislative Vollmachten verschaffte, kam es am 7. April zu dem sogenannten Gesetz zur Wiederherstellung des Berufsbeamtentums, dem eine Reihe von Ausführungsbestimmungen folgte. Die Maßnahmen richteten sich vor allem gegen »Nichtarier«, einem Begriff, mit dem man »Juden« unabhängig von ihrer Religionszugehörigkeit erfassen wollte. Ein Großelternanteil, der sich zur jüdischen Religion bekannt hatte, reichte aus, um in diese Kategorie zu fallen.

Für Altbeamte – das waren diejenigen, die schon vor Ausbruch des Krieges in ihren Stellungen gewesen waren, –und »Frontkämpfer« gab es Ausnahmen. Während bei den Universitäten die entsprechenden Fragebögen erst auszufüllen waren, drängte das preußische Kultusministerium speziell im Fall von Habers Institut auf eine rasche Umsetzung. Angesichts des Umstands, Mitarbeiter gegen seine Überzeugung entlassen zu müssen, lehnte Haber es ab, für sich den im Gesetz vorgesehenen Ausnahmestatus zu reklamieren. In einem legendär gewordenen Schreiben erklärte er am 30. April 1933 seinen Rücktritt, d.h. seine Versetzung in den Ruhestand zum 1. Oktober u.a. mit den Worten, bei Mitarbeitern nur die »fachlichen und charakterlichen Eigenschaften [zu] berücksichtige[n], ohne nach ihrer rassenmäßigen Beschaffenheit zu fragen.«

Bild links: Diesen Nachbau eines Apparates, der schon vor dem Demonstrationsversuch von 1909 verwendet worden war, bot Haber 1922 dem Deutschen Museum als Geschenk an. Die dahinter angebrachte Querschnittszeichnung mit der Erläuterung der Funktionsweise gehörte dazu und unterstrich das damit verbundene didaktische Anliegen. Heute befindet sich der Apparat im Depot des Deutschen Museums.

Bild rechts: Noch kurz vor Ende seiner Amtszeit am 30. September 1933 erteilte Haber während eines Kuraufenthaltes in der Schweiz seinem Berliner Mechaniker den Auftrag, ein Replikat der Apparatur von 1909 herzustellen und dem Deutschen Museum zu überbringen. Heute befindet sie sich im Depot des Deutschen Museums.

Er legte bald auch alle anderen Ämter nieder, weil es sich verbiete daran festzuhalten, wenn seinen »Kindern die vollen bürgerlichen Rechte wegen ihrer Abstammung aberkannt« werden. In den folgenden Wochen bemühte sich Haber intensiv darum, seine entlassenen Mitarbeiter an ausländische Institute zu vermitteln. Aber dann stellte sich auch bald für ihn selbst die Frage nach einer neuen Wirkungsstätte. Er musste, wie er seinem Sohn am 2. Mai mitteilte, nun darüber nachdenken, »wie ich den Rest meines Lebens verwende.« Angesichts seiner durch Krankheiten geschwächten Gesundheit und einer Neigung zu depressiven Verstimmungen schätzte er seine Chancen als nicht mehr allzu gut ein. Immer häufiger klagte er über »Herzkrämpfe«. Offenbar fühlte er sich dieser Situation kaum mehr gewachsen, denn er schrieb am 9. Juni an ein befreundetes Ehepaar: »Ich mag nicht über meine seelischen Leiden klagen und die Bitterkeit zum Ausdruck bringen, die mich erfüllt und die ohnedies oft aus mir herausbricht, wo ich sie besser in mir verschlüsse. Ich habe zu lange gelebt.«

Zur Sondierung potenzieller Arbeitsmöglichkeiten reiste Haber im Juli für einige Tage nach Paris, wo sein Sohn Hermann lebte, um dann weiter nach London sowie zu einem Kollegen nach Utrecht zu fahren. Es ergab sich lediglich, dass »in Holland ein guter Wille und keinerlei Möglichkeiten und in England schwerlich irgendwelche Chancen bestehen.« Haber hatte bewusst darauf verzichtet, außerdem nach Oxford zu fahren, weil er das Gefühl hatte, sich dort eventuell aufzudrängen. In London war er bei Gesprächen mit Kollegen in einem Restaurant von Spitzeln belauscht worden, die eine angebliche Agitation gegen den NS-Staat nach Berlin meldeten. Dies sorgte dafür, dass Haber von seiner Reise zu der Konferenz der »International Union of Chemistry« an der Universität im

spanischen Santander vom 8. bis 18. August nicht mehr nach Deutschland zurückkehren sollte.

Das wusste er allerdings noch nicht, als er Anfang August zunächst nach Paris aufbrach. Dort erwartete ihn eine Einladung von William Pope (1870–1939), die ihm die Möglichkeit eröffnete, für eine zunächst begrenzte Zeit in Cambridge arbeiten zu können. Damit schien die Erfüllung seines Wunsches realisierbar, »nicht als deutscher Staatsbürger zu sterben und meinen Kindern und Enkeln nicht das Staatsbürgerrecht zweiter Klasse zu hinterlassen.« Seit Mai war mit einer Tätigkeit in Palästina noch eine weitere Option im Gespräch. In Paris traf Haber deshalb Chaim Weizmann (1874–1952), Präsident der Zionistischen Weltorganisation bis 1931 und dann wieder ab 1935, mit dem er sich seit dem Vorjahr schon mehrfach ausgetauscht hatte. Haber sympathisierte inzwischen sehr stark mit den Ideen des Zionismus. In einem Postskriptum eines Briefes an Einstein bemerkte er, der sich 1892 hatte taufen lassen und sich in Deutschland nun weitgehend isoliert fühlte: »Ich war in meinem Leben nie so juedisch wie jetzt!«

Die Tagung in Spanien brachte Haber an seine Belastungsgrenze. Es war ihm offenbar sehr wichtig, mit seiner Teilnahme öffentlich zu demonstrieren, weiterhin in der Wissenschaft aktiv zu sein. Trotz der Einnahme von Medikamenten erlitt er dabei einen Herzanfall und konnte seinen Vortrag nur mit Hilfe von Nitroglyzerin mühsam »zu einer Art Ende« bringen. Auf dem Rückweg nach Berlin machte er wieder Station in Paris, reiste tags darauf weiter nach Basel, änderte seine Pläne dort abermals und blieb in der Schweiz. Gern folgte er einer Einladung von Weizmann, der in Zermatt mit seiner Familie gerade Urlaub machte. Die Höhe von 1500 m erwies sich jedoch für Habers angeschlagene Gesundheit als äußerst schädlich. Auf dem Rückweg erlitt er einen schweren Herzanfall, aber keinen Schlaganfall, wie er Weizmann bald darauf mitteilte. Es seien keine Folgen zurückgeblieben, »sondern ich bin meiner Glieder und meiner geistigen Kräfte ungehindert Herr.« Haber signalisierte also, dass er sich weiterhin in der Lage sah, an den Optionen Cambridge und Palästina festzuhalten.

Zunächst begab er sich für die folgenden sechs Wochen in eine Kurklinik in Mammern auf der schweizerischen Seite des Bodensees. Dort erholte er sich, empfing Besu-



Die Aufnahme zeigt einen Blick in den ehemaligen Ausstellungsraum 214, »Anorganische chemische Industrie«. (Abbildung aus: Alwin Mittasch, *Der Stickstoff als Lebensfrage*, in: *Abhandlungen und Berichte* 13, 1941.)

cher und bereitete sich auf die angestrebten Tätigkeiten vor. In dieser Situation berührte ihn offenbar die Frage, ob er und seine Leistungen in Deutschland vergessen werden könnten. Als formal noch amtierender Institutsdirektor gab Haber der Werkstatt in Berlin einen Auftrag: »Jetzt aber, wo mein am Ende dieses Monats bevorstehender Abschied die Laboratoriumsbedürfnisse und damit die Werkstattarbeiten unterbricht, habe ich das Interesse des Personals an planmäßiger Beschäftigung in der Werkstatt und das historische Interesse an einer Arbeitsrichtung, die geschichtlich geworden und dabei grundsätzlich erhalten geblieben ist, zum Anlaß genommen, um die seinerzeit weiter entwickelte Karlsruher Construction noch einmal reproduzieren zu lassen.« Das Original war bei dem Umzug von Karlsruhe nach Berlin verloren gegangen.

Das Deutsche Museum erschien Haber dann als der geeignetste Ort in Deutschland, um mit dieser Apparatur die Erinnerung an seinen Anteil an der Ammoniaksynthese zu bewahren. Die Rekonstruktion unterscheidet sich erkennbar durch die andere Anordnung der Pumpe (sichtbar an den beiden Scheiben).

Jonathan Zenneck (1871–1959) als amtierender Museumsdirektor nahm das Angebot vom 21. September als »wertvolle Bereicherung unserer Sammlungen« ohne Zögern gerne an und bestätigte dann am 11. Oktober mit Dank die Aufstellung des Gerätes im Museum. Es scheint jedoch fraglich, ob das Publikum es überhaupt zu sehen bekam. In der Ausstellung wurde das großindustrielle Verfahren nach Haber-Bosch gezeigt. Für den Nachbau gab es dort offenbar keinen Platz.

Haber ist im November 1933 nach Cambridge gegangen, hat seine Forschung wieder aufgenommen und mit Kollegen aus Berlin dort sogar noch einmal ein Seminar abgehalten. Die beabsichtigte Reise nach Palästina verschob er dann doch aus gesundheitlichen Gründen. Auf dem Weg zu einem weiteren Erholungsaufenthalt in der Schweiz ist er am 29. Januar 1934 in Basel gestorben.

Die beiden Apparate sind also keine Originale, den zweiten hat Haber nicht einmal mehr persönlich gesehen. Sie sind dennoch von historischer Bedeutung, denn die Umstände ihrer Entstehung und ihr Weg von Berlin nach München erzählen ein Stück deutscher Geschichte. ■■■



DER AUTOR

Dr. Stefan L. Wolff

Der Physiker und Wissenschaftshistoriker ist Senior Researcher am Forschungsinstitut des Deutschen Museums.

WISSENSchaf(f)t SPASS im Deutschen Museum Bonn

Tausende PLAYMOBIL-Figuren bevölkern bis 25. August 2019 das Deutsche Museum Bonn.



Die Ausstellung
»PLAYMOBIL-Technik-
geschichte(n)« von Oliver
Schaffer (oben im Bild)
begeistert Jung und Alt im
Deutschen Museum Bonn

Der Hamburger Künstler Oliver Schaffer, der eine der größten PLAYMOBIL-Sammlungen der Welt besitzt, inszeniert in einer Sonderausstellung imposante Schau-landschaften rund um die Leitthemen des Hauses: Wissenschaft und Technik. Das Spektrum reicht von der Polarforschung über Mars Expeditionen bis zur Archäologie.

Doch wie werden die bunten Kunststofffiguren eigentlich hergestellt? Auch dies können die großen und kleinen Besucher im Deutschen Museum Bonn anschaulich erleben. Denn die Dr. Boy GmbH & Co. KG aus dem rheinland-pfälzischen Neustadt-Ferndal, ein weltweit führender Hersteller von Spritzgießautomaten, stellt für die Ausstellung einen jener kompakten Automaten zur Verfügung, die auch für die Herstellung von Kleinteilen des fränkischen Kultspielzeugs im Einsatz sind. Eine BOY XXS, ein »Meisterwerk der Technik« aus der Region, stellt »live« mit einem Original-PLAYMOBIL-Werkzeug kleine Spiel-

zeughasen her. »Speziell die für den Mikrospritzguss und die Produktion von Klein(st)teilen ausgelegte BOY XXS ist für die Bauteile von PLAYMOBIL bestens geeignet«, erläutert Michael Kleinebrahm, Leiter der BOY-Anwendungstechnik bei der Vorbereitungsphase im BOY-Technikum mit Antonio Casellas und Werner Preusker vom Förderverein WISSENSchaf(f)t SPASS für Bildung und Innovation im Rheinland e.V.

Als Vorstandsmitglieder des Vereins waren sie nicht nur die treibende Kraft hinter der Kooperation mit BOY. Der Förderverein schultert auch einen Großteil der Kosten für die Ausstellung. So hat er ermöglicht, mit den »PLAYMOBIL-Technikgeschichte(n) – Sammlung Oliver Schaffer« einen neuen Publikumsmagneten in das Haus an der Bonner Ahrstraße zu holen, das ist nur ein Beispiel, wie der Verein zu einer der wichtigsten Stützen des Bonner Teams um Dr. Andrea Niehaus geworden ist.

Mitglieder sehen mehr

Exklusive Führungen – kostenlos für Sie

Als Mitglied des Deutschen Museums haben Sie viele Vorteile:

So können Sie zum Beispiel im Rahmen unserer Führungsreihe einmal im Monat einen exklusiven, nicht-alltäglichen Blick auf unsere Ausstellungen werfen.

Wegen der großen Nachfrage gibt es in München zwei Führungen pro Termin. Jeweils um 11 und um 15 Uhr!

In Bonn weiterhin eine Führung: jeweils um 11 Uhr.

Die Reihe geht in München in die Sommerpause, aber in Bonn geht's weiter.

München

Dienstag, 16. 7.: Kosmos Kaffee

Führung durch die Sonderausstellung
Treffpunkt für die Führung in der Eingangshalle des Deutschen Museums (Museumsinsel)

Bonn

Dienstag, 16. 7.: PLAYMOBIL-Technikgeschichte(n) –

Sammlung Oliver Schaffer, Führung durch die Sonderausstellung
Treffpunkt für die Führung an der Kasse im Eingangsbereich Deutsches Museum Bonn

Dienstag, 20. 8.: Forscherleben im Zenith

Treffpunkt für die Führung an der Kasse im Eingangsbereich Deutsches Museum Bonn

Dienstag, 17. 9.: Ist das möglich? Führung durch die Sonderausstellung

Treffpunkt für die Führung an der Kasse im Eingangsbereich Deutsches Museum Bonn

Bitte melden Sie sich spätestens 14 Tage im Voraus unter Angabe der Mitgliedsnummer an.

Führungen auf der Münchner Museumsinsel:

besucherservice@deutsches-museum.de
(oder telefonisch: 089/2179-333
Mo–Fr von 9–15 Uhr)

Führungen Deutsches Museum Bonn:

info@deutsches-museum-bonn.de
(oder telefonisch: 0228/302-256
von Di–Fr von 14–17 Uhr)

Unsere Führungen sind sehr beliebt. Wir empfehlen Ihnen sich möglichst frühzeitig anzumelden. Bitte beachten Sie auch die geänderte Anfangszeit der Führungen in München. Bitte den Mitgliedsausweis mitbringen.

Der Verein WISSEnschaf(f)t SPASS wurde im August 2015 von namhaften Unternehmern und Wissenschaftlern aus dem Rheinland gegründet, um sich für MINT-Bildung und Innovation in der Region einzusetzen. Einen Schwerpunkt des Vereins bildete von Beginn an die Unterstützung des von der Schließung bedrohten Deutschen Museums Bonn und seine Positionierung als »WissensWerkstatt im Rheinland«. Für die Schulen in der Region ist es eine wichtige Einrichtung, in der die Inhalte der MINT-Fächer (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik) für Kinder und Jugendliche, aber auch Erwachsene mit jeder Vorbildung erlebbar werden. Auch von vielen Menschen und Unternehmen im Rheinland wird das Deutsche Museum Bonn sehr geschätzt: Mehr als 130 Firmen und Privatpersonen haben sich WISSEnschaf(f)t SPASS bereits als Mitglieder angeschlossen.

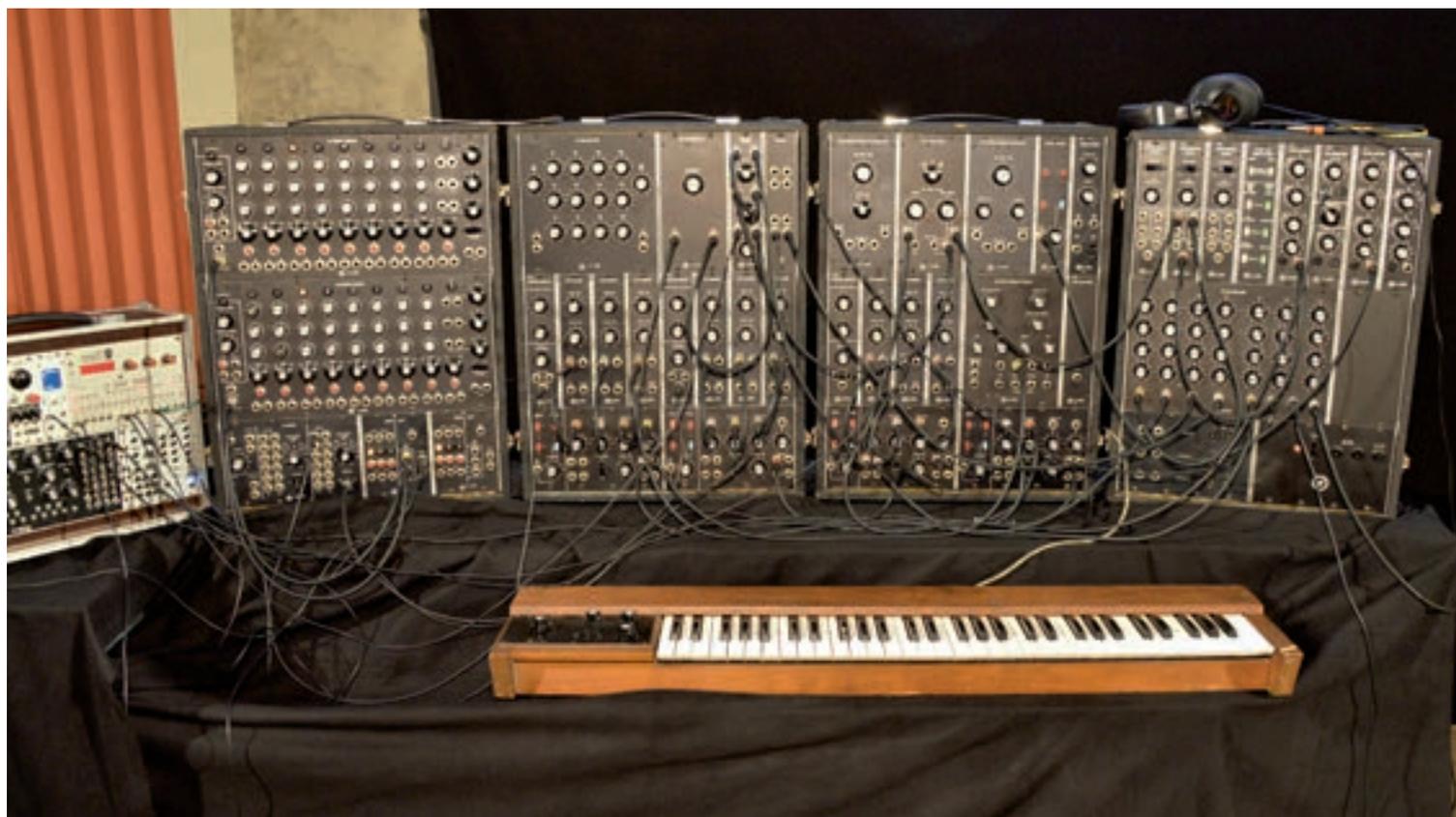
Eine schlagkräftige Truppe: Durch dieses gemeinsame Engagement verschiedener Akteure hat der Verein in den knapp vier Jahren seines Bestehens bereits beachtliche Erfolge erzielt. Nicht zuletzt konnte seine unermüdlige Lobbyarbeit die Politiker der Region überzeugen, das Museum zu erhalten und ein neues gemeinsames Finanzierungskonzept zu verabschieden. Durch Werbung und Öffentlichkeitsarbeit hat der Verein dazu beigetragen, die Besucherzahlen gegenüber 2014 auf rund 120 000 in 2018 mehr als zu verdoppeln.

WISSEnschaf(f)t SPASS will auch über die Förderung für das Deutsche Museum Bonn hinaus MINT-Bildung und Innovation im Rheinland voranbringen. Der Verein will so dem Mangel an Fachkräften in Berufen entgegenwirken, die Wissen und Leidenschaft für technische und wissenschaftliche Themen voraussetzen. Ein großes Anliegen ist es dem Verein, Vorurteile gegenüber technischen Berufsfeldern auszuräumen.

WISSEnschaf(f)t SPASS will weiter wachsen, um MINT im Rheinland voranzubringen und das Deutsche Museum Bonn auch über das Jahr 2020 hinaus zu erhalten. Dafür wird eine wachsende Zahl von Unterstützern benötigt. Informationen, wie man als Unternehmen oder Privatperson helfen kann und welche Vorteile Mitglieder des Vereins genießen, findet man auf der Website des Vereins: www.wissenschaft-spass.de.

Der Klang einer neuen Zeit

Silke Berdux, Kuratorin der Sammlung Musikinstrumente des Deutschen Museums, freut sich über einen legendären Neuzugang: den modularen Synthesizer »Moog IIIp«. Großzügig unterstützt vom Freundeskreis des Deutschen Museums konnte das wertvolle Instrument für die Sammlung erworben werden.



Ein Keyboard und vier tragbare Kästen: Mit diesem Equipment begann der Siegeszug der elektronischen Musik. Der erste deutsche Musiker und Komponist, der sich einen Synthesizer der Firma Moog zulegte, war Eberhard Schoener. Er arbeitete mit Musikern wie Sting, Tangerine Dream und Alan Parsons Project zusammen und ist bis heute treibende Kraft vieler innovativer musikalischer Projekte. Schoener war einer der ersten Musiker weltweit und der erste in Deutschland, der sich Ende der 1960er Jahre mit dem bahnbrechenden modularen System des Erfinders Robert Moog beschäftigte und einen Synthesizer von ihm kaufte. Den heute legendären Synthesizer IIIp entwickelte Robert Moog 1968, vier Jahre nach der Produktion seines ersten Prototyps. Er bietet nicht nur räumlich, sondern auch klanglich höchste Flexibilität. Trotz seiner Größe ist er tragbar (das »p« steht für »portable«). Die beinahe vierzig Mo-

Spektakulärer Neuzugang in der Abteilung Musikinstrumente: Der Moog IIIp wurde 1968/69 von der Firma R. A. Moog Music Inc. in Trumansburg, NY, USA hergestellt. Der Musiker und Komponist Eberhard Schoener und die Beatles haben dieses Instrument genutzt. Er besteht aus vier tragbaren Kästen und einem Keyboard. Das gesamte Equipment wiegt etwa 100 Kilogramm.

odule, in vier Gehäusen verbaut, können über Kabel beliebig miteinander verbunden werden und ermöglichen unzählige Klangkombinationen, mit Keyboard und Ribbon-Controller zudem verschiedene Interfaces und damit verschiedene Spielmöglichkeiten.

Der Moog III war ein erfolgreiches Produkt, doch waren die vielen Komponenten kompliziert zu bedienen. Und er war so teuer, dass sich ihn nur Stars leisten konnten. Die Monkees (IIIp), die Rolling Stones (III) oder Keith Emerson (Model I; Minimoog D) zählen zu den bekanntesten Nutzern des Instruments. Auch die Beatles setzten einen Moog-Synthesizer ein, für ihr Album »Abbey Road«, das von Februar bis August 1969 in den berühmten Abbey Road Studios in London entstand, u.a. für die Stücke: »Here comes the Sun«, »Maxwell's Silver Hammer« und »I Want You (She's So Heavy, Because)«. Aufgrund der komplizierten Bedienung sand-



leiten. Die Kuratorin der Musikinstrumentensammlung, Silke Berdux, ist über den Zugang sehr glücklich: »Der Moog IIIp erschloss Ende der 1960er Jahre eine neue Klangwelt und steht für Klänge, die die Musik einer Zeit geprägt haben. Möglich wurde der Ankauf durch die großzügige Unterstützung von Spendern wie Prof. Dr. Hubert Burda, der Helmut Nanz Stiftung, des Freundeskreises und anderer.« In der neuen Ausstellung Musikinstrumente wird der Synthesizer von Eberhard Schoener als eines der ersten Exemplare der Modellreihe IIIp ein ganz besonderer Anziehungspunkt werden.

Mit einem Moog-Synthesizer produzierten die Beatles drei Titel ihres Albums »Abbey Road«. Jetzt kann das Instrument im Deutschen Museum bewundert werden.

ten sie ihr Exemplar nach den Aufnahmen allerdings wieder an Moog zurück. Nun hat Eberhard Schoener sein Instrument an das Deutsche Museum gegeben. Und die Überprüfung der Seriennummer ergab, dass es sich tatsächlich um den ehemaligen Synthesizer der Beatles handelt.

In der Ausstellung Musikinstrumente erweitert der technisch wie auch klanglich herausragende »Moog IIIp« die bedeutende Sammlung von Elektrophonen, zu der neben weiteren Synthesizern eine einzigartige Sammlung früher elektronischer Instrumente, das Studio von Oskar Sala und das Siemens-Studio für elektronische Musik gehören. In der neuen Dauerausstellung wird der Moog IIIp die Geschichte der Synthesizer ein-

Werden Sie Mitglied im Freundes- und Förderkreis des Deutschen Museums!

Jahresbeitrag:

- 500 Euro für persönliche Mitgliedschaften
- 250 Euro für Juniormitgliedschaften (bis 35 Jahre)
- 2500 Euro für Mitgliedschaften mittelständischer Unternehmen nach EU-Norm
- 5000 Euro für Mitgliedschaften großer Unternehmen

Kontakt:

Freundes- und Förderkreis Deutsches Museum e.V. · Museumsinsel 1 · 80538 München
www.ffk-deutsches-museum.de/de

Ihre Ansprechpartnerin:

Nicole Waldburger-Wickel, Tel. 089 / 28 74 84 21, Mobil 0179 / 1 21 64 26
nicole.wickel@ffk-deutsches-museum.de

Das neue Maß der Dinge

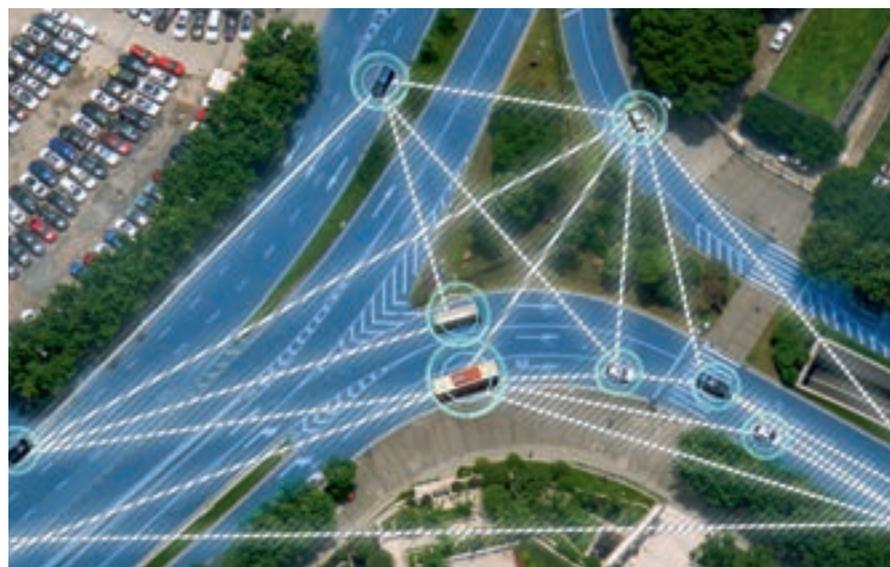


Das Deutsche Museum erhielt von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt einen Schatz aus hochreinem Silizium.

Die Siliziumkugel hat einen Durchmesser von exakt 9,37 Zentimetern, ist aus einem einzigen Kristall geschnitten und wurde so aufwendig bearbeitet, dass sie mit Fug und Recht die rundeste Kugel der Welt genannt werden kann. Sie bestimmt in Zukunft, was ein Kilogramm ist, und soll den Grundstock bilden für eine neue Ausstellung im Deutschen Museum zum Thema Messen. Durch die Zahl der in der Kugel vorhandenen Silizium-Atome lässt sich sehr präzise errechnen, was ein Kilogramm ist. Die Kugel ist Repräsentantin eines neuen Systems, das alle sieben Basiseinheiten des Internationalen Einheitensystems erfasst. Diese werden vom 20. Mai 2019 an mit Hilfe von Naturkonstanten bestimmt. Was den angenehmen Nebeneffekt hat, dass diese Maßeinheiten nicht nur auf der Erde unter jedweder Umweltbedingung gleich sind, sondern überall im Universum.



Seit 2012 erobern Fußgänger und Radfahrer jeden Sonntag die zentralen Straßen der Innenstadt Jakartas. Von 6 Uhr morgens bis 11 Uhr vormittags bleibt die Innenstadt autofrei.



Mobil in der Stadt

Sonntags ab 6 Uhr morgens wird es still auf den Hauptstraßen Jakartas. Fußgänger und Radfahrer erobern in den kommenden fünf Stunden die breiten Verkehrsadern. Im Jahr 2012 hat die indonesische Hauptstadt Sonntage ohne Auto eingeführt – mit großem Erfolg. Doch ab Sonntags mittag windet sich wieder die gewohnte Blechschlange durch die City. Weltweit wachsende Städte müssen die Mobilität ihrer Bewohner neu organisieren. Nicht nur der Verbrennungsmotor und damit verbundene Schadstoffbelastungen sind das Problem. Auch der Individualverkehr stößt an seine Grenzen. Innerstädtische Mobilität wird allerdings kaum verbessert werden können, ohne den Blick über den Stadtrand hinaus aufs Land zu werfen. Denn zahlreiche Menschen pendeln Tag für Tag zwischen Wohnung und Arbeit und sind dabei – mangels attraktiver öffentlicher Angebote – auf das Auto angewiesen. Wir fragen

in unserer nächsten Ausgabe nach den verkehrspolitischen Visionen, den Lösungsvorschlägen aus Wissenschaft und Industrie und den Wünschen derjenigen, die auf zuverlässige Transportmittel angewiesen sind. Außerdem stellen wir Ihnen ermutigende Beispiele vor und laden Sie – am Ende Ihrer Lektüre – zum Mitdiskutieren in einem Webforum ein.

Automatisierte, selbstlernende Fahrzeuge und die intelligente Vernetzung von Mobilitätsangeboten sollen Innenstädte entlasten und den Verkehr sicherer machen.

Es grüßt freundlich
Ihre Sabrina Landes

Impressum

Das Magazin aus dem Deutschen Museum

43. Jahrgang

Herausgeber: Deutsches Museum München
Prof. Dr. Wolfgang M. Heckl
Museumsinsel 1, 80538 München
Postfach 80306 München
Telefon (089) 21 79-1
www.deutsches-museum.de

Gesamtleitung: Dr. Kathrin Mönch (Deutsches Museum),
Dr. Stefan Bollmann (Verlag C.H.Beck, verantwortlich)

Wissenschaftliche Beratung: Dr. Christian Sicka

Redaktionsleitung: Sabrina Landes | publishNET, Hofer
Straße 1, 81737 München, redaktion@publishnet.org;
Redaktion: Birgit Schwintek (Grafik), Inge Kraus (Bild),
Andrea Bistrich (Korrektur), Hannah Schnorbusch
(Schlussredaktion), Justina Schnyder (Praktikantin)

Verlag: Verlag C.H.Beck oHG, Wilhelmstraße 9, 80801 München;
Postfach 400340, 80703 München, Telefon (089)
3 81 89-0, Telefax (089) 3 81 89-398, www.chbeck.de

Redaktioneller Beirat: Dr. Frank Dittmann (Kurator
Energietechnik, Starkstromtechnik, Automation), Gerrit
Faust (Leiter Presse- und Öffentlichkeitsarbeit), Melanie
Jahreis, Dr. Christian Sicka, Prof. Dr. Elisabeth Vaupel (For-
schungsinstitut), Dr. Kathrin Mönch (Verlagsleitung)

Herstellung: Bettina Seng, Verlag C.H.Beck oHG

Anzeigen: Bertram Götz (verantwortlich), Verlag C.H.Beck
oHG, Anzeigenabteilung, Wilhelmstr. 9, 80801 München;
Postfach 400340, 80703 München; Claudia Clever, Telefon
(089) 3 81 89-603, Telefax (089) 3 81 89-589. Zurzeit gilt An-
zeigenpreisliste Nr. 35.

Repro: Rehbrand Medienservice GmbH, Hauptstraße 1,
82008 Unterhaching

Druck, Bindung und Versand: Holzmann Druck GmbH &
Co. KG, Gewerbestraße 2, 86825 Bad Wörishofen

Bezugspreis 2019: Jährlich 29,- Euro
Einzelheft 8,90 Euro, jeweils zuzüglich Versandkosten

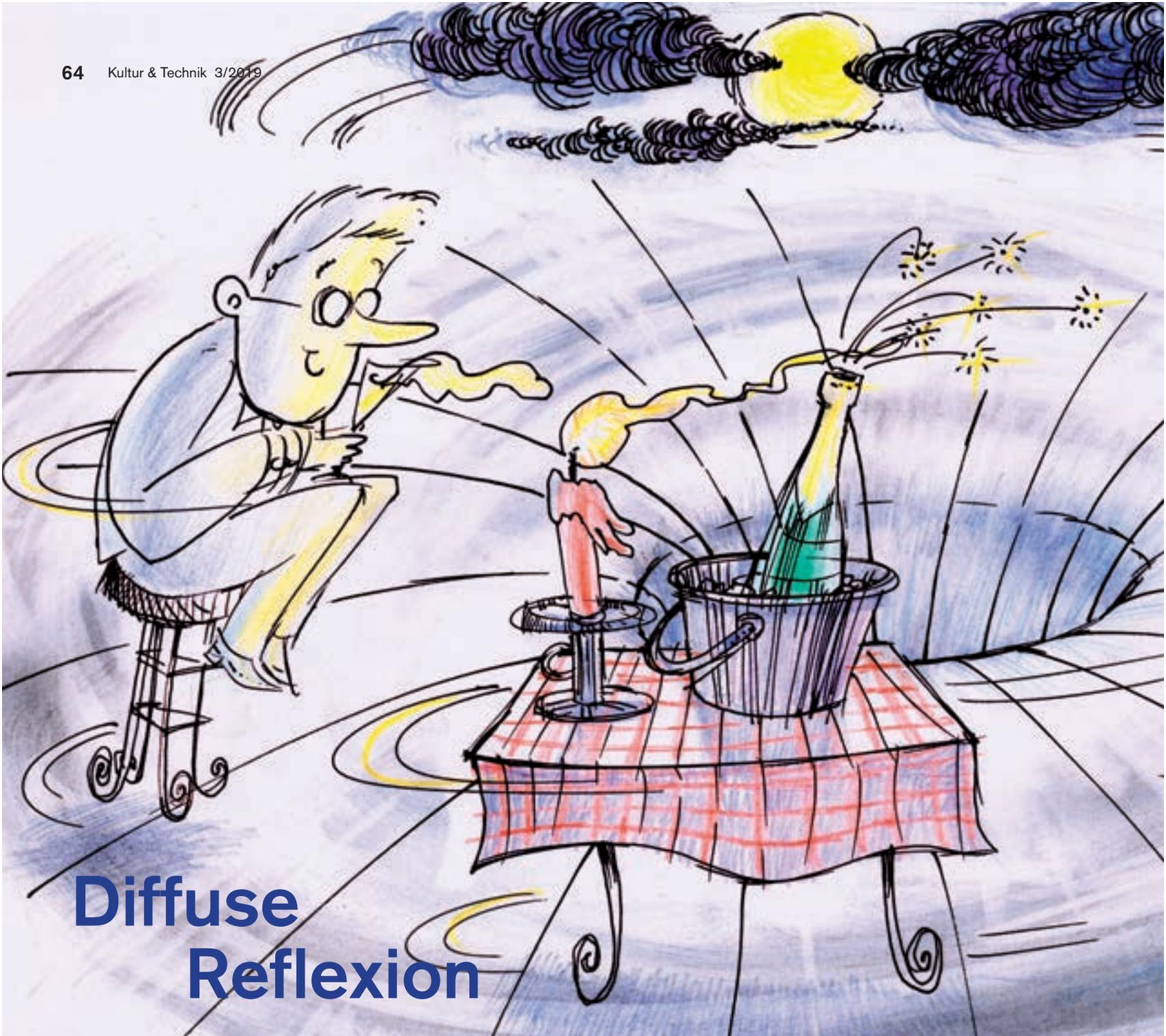
Für Mitglieder des Deutschen Museums ist der Preis für
den Bezug der Zeitschrift im Mitgliedsbeitrag enthalten
(Erwachsene 52,- Euro, Schüler und Studenten 32,- Euro).
Erwerb der Mitgliedschaft: schriftlich beim Deutschen Mu-
seum, Postfach 80306 München.

Für Mitglieder der Georg-Agricola-Gesellschaft zur För-
derung der Geschichte der Naturwissenschaften und der
Technik e.V. ist der Preis für den Bezug der Zeitschrift im
Mitgliedsbeitrag enthalten. Weitere Informationen: Georg-
Agricola-Gesellschaft, Institut für Wissenschafts- und Tech-
nikgeschichte, TU Bergakademie Freiberg, 09596 Freiberg,
Telefon (03731) 393406

Bestellungen von Kultur & Technik über jede Buchhand-
lung und beim Verlag. Abbestellungen mindestens sechs
Wochen vor Jahresende beim Verlag.

Abo-Service: Telefon (089) 3 81 89-679

**Die Zeitschrift erscheint vierteljährlich. Sie und alle in
ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urhe-
berrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der
engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes bedarf der
Zustimmung des Verlags. Der Verlag haftet nicht für
unverlangt eingesandte Beiträge und Bilddokumente.
Die Redaktion behält sich vor, eingereichte Manuskrip-
te zu prüfen und ggf. abzulehnen. Ein Recht auf Ab-
druck besteht nicht. Namentlich gekennzeichnete Bei-
träge geben nicht die Meinung der Redaktion wieder.**
ISSN 0344-5690



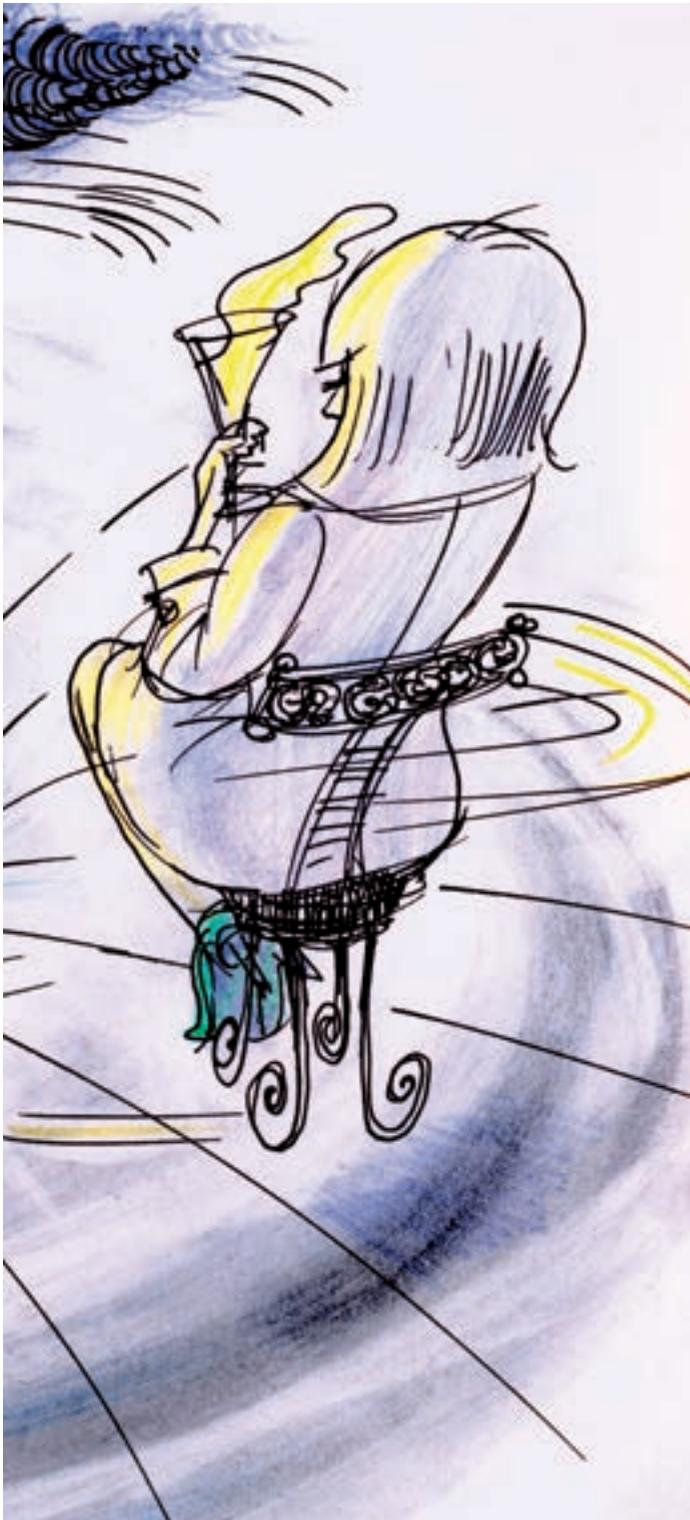
Diffuse Reflexion

Über das Unsichtbare wie über das Irdische haben Gewissheit die Götter, uns aber als Menschen ist nur das Erschließen möglich.

Alkmaion

Immer dann, wenn ich mal gerade meine philosophischen fünf Minuten habe und sehr kluge Dinge sage, sagt Fräulein Schröder gerne so Sätze wie: »Wir müssen dringend den Maler bestellen. Die Küche sieht furchtbar aus!« Aber es stimmt durchaus nicht, dass ich ein Hörgerät benötige, auch wenn Fräulein Schröder anschließend behauptet, dass ich auf diesem Ohr anscheinend taub sei. Mit »diesem Ohr« meint sie das Ohr, das für Handwerker-, Reinigungs- und Renovierungsnachrichten zuständig ist. Fräulein Schröder scheint nämlich zu denken, dass eines meiner Ohren, das rechte oder das linke, wer weiß das schon, für ganz bestimmte Sätze reserviert ist, dass dieses Ohr aber konsequent seinen Dienst verweigert. Das andere Ohr scheint ihrer Theorie nach dagegen für Sätze empfänglich zu sein wie: »Lass uns doch heute Abend ins Kino gehen, lass uns doch heute Abend essen gehen, lass uns doch dieses

Wochenende einfach nichts tun.« Dieses andere Ohr funktioniert verblüffend zuverlässig, sagt sie. Ehrlich gesagt, sind meine Ohren überhaupt nicht das Problem. Ich höre hervorragend, links wie rechts. Sorgen bereiten mir vielmehr meine Augen. Neulich gab es eine Riesenaufregung um ein Foto, das ein Schwarzes Loch abbilden sollte. Ich habe aber auf diesem Foto kein schwarzes Loch gesehen, sondern so ringförmige helle Lichtschlieren. Es wurde gesagt, dass sich diese Helligkeiten am Rande des schwarzen Lochs befänden. Das Loch selbst war naturgemäß nicht zu sehen, denn wie sollte man auch ein Loch sehen können, wo doch ein Loch etwas ist, das nur durch die Abwesenheit von etwas existiert. Dieses Bild hat mich insofern in eine erkenntnistheoretische Krise gestürzt, weil mir dämmerte, dass wir niemals etwas sehen, sondern immer nur die mehr oder weniger hellen Ränder von etwas. Wenn ich also



zum Beispiel glaube, Fräulein Schröder zu sehen, sehe ich in Wahrheit nur die Lichterscheinung drumherum. Wenn ich den Mond anschau, dann sehe ich nur das Licht, das von seiner Oberfläche zurückgeworfen wird. Das ist jetzt zugegebenermaßen alles keine wirklich neue Erkenntnis. Jeder Fotograf und jeder Physiker weiß das. Es ist nur eben manchmal so, dass man zwar irgendwas irgendwie weiß und schon in der Schule gelernt hat oder wenigstens dort hätte lernen können, aber was so etwas wirklich bedeutet, die Wucht einer Einsicht, die erfasst einen eben manchmal viel später und unter den seltsamsten Umständen. Ich sagte zu Fräulein Schröder: »Ich sehe dich nicht. Und schlimmer noch: Ich kann dich auch gar nicht sehen.« Fräulein Schröder antwortete spitz: »Deine Blindheit ist mir auch schon aufgefallen. Zu meinem neuen Kleid hast du noch keinen Ton gesagt.« »Dein Kleid kann ich ja auch gar nicht sehen«,

gab ich dumpf zurück. »Was ich sehe, ist eine diffuse Reflexion von Licht, das auf irgendetwas trifft, das du Kleid nennst. Aber gut. Dir zuliebe will ich das, was ich da sehe, eine sehr schöne Kleid-Reflexion nennen.« »Hoho!« sagte Fräulein Schröder, »Vielen Dank für dieses – soll ich es tatsächlich ›Kompliment‹ nennen?! Was bin ich denn dann für dich? Eine diffuse Fräulein-Schröder-Reflexion?!« Ich hielt es für besser, auf diese Frage nicht direkt zu antworten. Man wird ja so leicht missverstanden. Und es genügte mir auch, bereits für halb taub gehalten zu werden. Ich wollte nicht auch noch als blind oder gar gefühllos gelten. »Nein«, sagte ich, »du bist für mich die Kerze in finsterner Nacht, die Blume meines Herzens, mein leuchtender Mond am blauen Firmament, du bist mein Augen...–«. Fräulein Schröder unterbrach mich. »Soll das ein Witz sein?? Langsam zweifle ich nicht nur an deinen Sinnen, sondern auch an deinem Verstand. ›Leuchtender Mond am blauen Firmament?? Willst du dich über mich lustig machen?« »Aber nein! Wie könnte ich!« rief ich aus. »Nichts läge mir ferner! Der gute goldene Mond, Inbegriff aller romantischen Sehnsucht und Zuneigung! Füllest wieder Busch und Tal/ Still mit Nebelglanz,/ Lösest endlich auch einmal/ Meine Seele ganz;/... Schöner kann man doch kaum sagen, was du für mich bist!« Der Grat war fraglos dünn, auf dem ich mich da gerade bewegte. Ein falsches Schrittschrittchen und ich würde in einen beziehungs-technischen Abgrund rutschen. Vielleicht half einen Themenwechsel. »Sag mal,« sagte ich deshalb, »in welcher Farbe willst du denn die Küche malen lassen?« Fräulein Schröder lachte auf, etwas zu künstlich, etwas zu laut, und verließ stehenden Fußes den Raum. Ich rief ihr noch hinterher, dass sie doch bleiben möge und dass ich mit allem einverstanden sei, selbst wenn sie die Wände rosa malen wolle, sei das für mich völlig okay, und dass sie mich missverstanden habe und dass ihr neues Kleid wirklich sehr schön sei. Aber sie tauchte nicht mehr auf. Ich sah nur noch die hellen Ränder der Türöffnung, die den dunklen Flur umrandeten, und dachte für einen Moment, diese Tür wäre vielleicht der Eingang zu unserem eigenen, privaten, schwarzen Loch. So nahm ich meinen ganzen Mut zusammen und schritt ebenfalls durch diese Tür in den Flur und war ziemlich sicher, sofort verschluckt zu werden und weiß der Kuckuck wo wieder aufzutauchen, auf dem Mond wahrscheinlich, wohin mich Fräulein Schröder gewiss gewünscht hatte. Aber es passierte – nichts. Ich ging durch die Tür ins Wohnzimmer und wurde auch dort nicht dematerialisiert oder weggebeamt. Die Terrassentür stand auf und die kühle Nachtluft strömte herein. Ich trat hinaus. Und da sah ich sie stehen am Rande der Terrasse mit dem Blick nach oben in den Himmel. »Was machst du hier draußen« fragte ich vorsichtig. »Es ist kühl und stockfinster.« »Ich sehe mir den Mond an,« sagte sie. »was sonst.« »Du siehst dir den Mond an?? Wir haben Neumond.« »Eben!« sagte sie und nahm meine Hand. »Nur so kann man ihn wirklich sehen.« ■■

Text:
Daniel Schnorbusch

Illustration:
Michael Wirth



DER AUTOR

Dr. Daniel Schnorbusch
geboren 1961 in Bremen, aufgewachsen in Hamburg, Studium der Germanistischen und Theoretischen Linguistik, Literaturwissenschaft und Philosophie in München, ebendort aus familiären Gründen und nicht mal ungern hängengeblieben, arbeitet als Lehrer, Dozent und freier Autor.

Taxi anno dazumal



ca. 1845:
Pferdekutsche als Taxi
und Taxameter



ca. 1920:
Erstes motorisiertes Taxi
und Taxameter



Taxi heute

Rufsäulen 1958–2009



Solarrufsäulen heute



Taxiruf (089) 2 16 10

Offizieller Partner von
TAXI DEUTSCHLAND
Die Bestell-App der Taxizentralen!



**- Zwei Klicks -
ein Taxi!**



**Standplätze mit Rufsäulen
auch in Ihrer Nähe!**

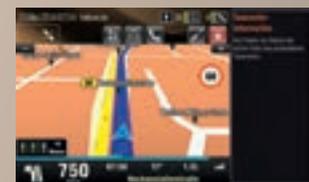


www.taxi-muenchen.de

Neues Datenfunkgerät



Grundgerät
Einfach zu
bedienendes
GPS-Daten-
funkgerät mit
Taxameter



Sygic
Anzeige
bei routen-
geführter
Navigation

Kreditkarten-Terminal



**Kreditkarten-
Lesegerät**
Fahrkosten
mit Kreditkarte
begleichen

Digitale Auftragsvermittlung mit automatischen Bestellsystemen

Bestell-App der Taxi-München eG



Vorbestellungen:

Krankenfahrten, Buszugbringer, Fahrten-
disposition, Besorgungsfahrten

Abrechnung:

Monatsabrechnung, Kreditkarten-
Abrechnung, Fahrtauftragscheine

Kundenberatung:

Frau Weigl, Tel. 089/2161-372
Frau Flotzinger, Tel. 089/2161-399

TAXI-MÜNCHEN eG

Genossenschaft der Münchner
Taxi-Unternehmen

Verwaltung: Engelhardstr. 6,
81369 München, Tel. 089/77 30 77



BY APPOINTMENT TO
HIS MAJESTY THE KING
OF BAVARIA

VORMALIG
KÖNIGLICH BAYERISCHER
HOFLIEFERANT



Ed-Heier

MÜNCHEN