

Der Mond war und bleibt eine bedeutende Herausforderung für die Menschheit

Schlussbemerkungen
Lutz-Günther Fleischer

Ihnen, sehr verehrte Gäste und Mitglieder der Leibniz-Sozietät, sei für Ihr Interesse und Ihre rege Beteiligung an der Diskussion gedankt.

Ein darüber hinausreichendes Komplement gebührt allen Referenten für Ihre interessanten und außergewöhnlich anregenden Ausführungen, die sich wie ein Mosaik zu einem illustren Gesamtbild vereinen. Aus den faszinierenden astronomischen und selenografischen Fakten formiert sich ein bahnbrechendes Kapitel der Wissenschaftsgeschichte. Oder - mit John Bernal besser: ein *Szenarium der Wissenschaft in der Geschichte*.

Der Mond war und bleibt eine bedeutende Herausforderung für die Menschheit für alles was der Mensch selbst gestaltend hervorbringt: *wissenschaftlich, technisch-technologisch, ökonomisch-ökologische, kulturell und politisch*.

Für die Astronomie ist er ein naheliegendes Beobachtungsobjekt am Himmel. Das System Erde und Mond wird mit einigem Recht als *Doppelplanet* betrachtet, da eine Reihe wesentlicher physikalischer Eigenschaften maßgeblich von deren Interaktionen bestimmt werden: Ohne Mond, der sich pro Jahr 3.8 cm von uns entfernt (Jürgen Müller), würde die Erde entscheidend schneller rotieren. Der Trabant wirkt folgenreich auf die Atmosphäre und die Biosphäre unseres Doppelplaneten. Er induziert Gezeitenkräfte und beeinflusst die Bewegung des oberen Erdmantels auf seiner fließfähigen Unterlage, formiert die Plattentektonik (Ralf Jaumann). Außer der Erde ist er der einzige Himmelskörper des Sonnensystems, den zwischen 1969 und 1972 bereits 12 Menschen besuchten. Sie betraten die uns zugewandte Seite des Mondes, hinterließen auf dessen Oberfläche 60 wissenschaftliche Experimente und entnahmen ihm 382 kg Gestein und Bodenproben.

Das vom Präsidenten, Gerhard Banse, in seiner Eröffnung angeführte, mit dem hellen Vollmond assoziierte medizinisches Phänomen, die zur Gruppe der unerwünschten und inadäquaten Verhaltensauffälligkeiten (Parasomnien) zählende, *Schlafstörung*, bei der der Handelnde - ohne wach zu sein - das Bett verlässt, herumläuft oder gar Arbeiten verrichtet, wird, wie wir heute wissen, unbegründet, als „*Mondsüchtigkeit*“ bezeichnet. Die *Sehnsucht* nach einem erneuten Besuch des heute verwaisten Erdtrabanten und die ungestillte menschliche Neugier bleiben unwidersprochen.

Ein sich allmählich ‚enträtselnde‘ Porträt vom Mond

Was wir heute über den Mond wissen, verdanken wir weit überwiegend den *Orbitern* und *Landegeräten* aus den Jahren zwischen 1959 und 1970 - von Lunik 1,2,3 bis zu den Apollo Mond-Missionen 8 bis 17. Die weltweit erste Mondsonde und zugleich erste Raumsonde, Lunik 1, erreichte zwar nicht das geplante Missions-Ziel, den Aufschlag auf dem Mond, sondern wurde wegen ihrer zu großen Geschwindigkeit unabsichtlich am 4. Januar 1959 zur ersten *Vorbeiflugsonde*. Sie schickte aber, wie geplant, zahlreiche wertvolle Informationen zur Erde. Das Apollo-Programm fungierte als entscheidende Stufe im Streben, einen Menschen auf dem Mond zu landen und ihn sicher wieder zur Erde zurück zu bringen. Im bedeutenden Jahr der Apollo-Mission gelang am 21. Juli 1969 mit Apollo 11 die durchaus problematische

erste bemannte Mond-Landung. Bei den späten Missionen erkundeten die Astronauten den Mond intensiver mit batteriebetriebenen Mondfahrzeugen. Sie ließen das Sammeln von 2.200 Gesteinsproben im Alter zwischen 3,1 und 4,7 Milliarden Jahren mit einer Gesamtmasse von 382 kg an geologisch interessanten Stellen zu und ermöglichten die Positionierung seismischer Experimente in erheblichen Entfernungen von den Basisstationen. Mit den sechs Apollo-Mondlandungen wurden insgesamt beeindruckende 100 km zu Fuß oder per Rover überwunden. Inzwischen ist China nach der Sowjetunion und den USA das dritte Land, das eine Sonde auf dem Mond abgesetzt hat, allerdings das erste, dem dies auf der erdabgewandten Seite des Himmelskörpers gelang. Das generiert neue Potentiale und Sichten. Die Chinesischen Forscher erkunden mit ihrem Mond-Rover Yutu-2 (Jadehase) erstmals die Rückseite des Mondes. Abweichend von seiner Vorderseite liegen dort zahlreiche tiefe Krater. Am 15. Mai 2019 berichtete ein Team der chinesischen Akademie der Wissenschaften im Fachmagazin "Nature", dass der Jadehase 2 möglicherweise dort auf tief liegendes Mantelgestein gestoßen sei.

Die Karte, die die Mondsonde Chang'e-2 in den Jahren 2010 und 2011 die Landung vorbereitend von der Mondoberfläche aufnahm, erreicht eine räumliche Auflösung von sieben Metern pro Bildpunkt und ist derzeit die *beste globale Darstellung des Erdtrabanten*. Obwohl die Bilder der US-amerikanischen Raumsonde Lunar Reconnaissance Orbiter teilweise eine Auflösung von weniger als einem halben Meter pro Bildpunkt bieten, beschränken sie sich auf relativ kleine, ausgewählte Bereiche der Mondoberfläche.

Eine der bisher praktisch hervorstechendsten Entdeckung der Mondforschung ist das gefrorene Wasser am Grund von Kratern in der Nähe des selenonalen Südpols. Dieses vermutlich aus externen Quellen stammende Eis überdauerte wahrscheinlich bereits viele Millionen Jahre und könnte zukünftigen Missionen zur Sauerstoff-Gewinnung und zur Trinkwasserbereitung dienen. Das Mondinnere konnte erst in bescheidenen Ansätzen mit Mondorbitern mittelbar in einigen Einschlagkratern untersucht werden.

Bevor die ersten Raumsonden den Mond erreichten, war die Menschheit über Jahrtausende auf erdgebundene *Beobachtungen mit bloßem Auge* angewiesen; ab dem 17. Jahrhundert nutzte sie dafür Teleskope und weit später die Photographie. Hier, neben unserem Veranstaltungsraum in der Archenhold-Sternwarte Berlin, kann als historisches Herzstück das 1896 gebaute astronomische Riesenfernrohr besichtigt werden. Mit 21 Metern Brennweite ist es das längste voll bewegliche Linsenfernrohr auf der Erde. Mit 680 Millimetern Objektivdurchmesser zählt es zu den zehn leistungsstärksten Linsenfernrohren der Welt.

Die Erforschung des Erdtrabanten beschränkte sich ursprünglich auf kartografische und morphologische Betrachtungen. Dennoch wurden schon unter den Bedingungen früherer Jahrhunderte Herausragendes geleistet. Lange vor der Erfindung des Fernrohrs beobachtete Al-Battani sehr präzise den Himmel. *Mohammed ibn Dschabir Al-Battani* - latinisiert Albategnius - (unsicher 858 - 929) war einer der größten Mathematiker und Astronomen der arabischen Welt. Er verfasste einen Katalog aus fünfhundert Sternen. Al-Battanis „Buch der Tafeln“ [kitab al-zids] gilt als sein astronomisches Hauptwerk. Unter dem Titel "Scientia Stellarum" wurden die Tafeln erstmals im Jahr 1537 in Nürnberg gedruckt. Das Buch hatte Plato Tibertinus 1116 ins Latein übertragen. Das 57 Kapitel umfassende Originalmanuskript wird im Vatikan aufbewahrt.

Albategnius bemerkte diverse Fehler im *Weltmodell des Ptolemäus*, die er in seinen Texten ohne weiteres Aufheben korrigierte. Zu einem radikalen Bruch mit den antiken Ideen rang er sich aber nicht durch. Noch Jahrhunderte später beeinflusste das Werk ‚Kitab Al-Zij‘

herausragende Astronomen, wie Nicolaus Copernicus, Tycho Brahe und Johannes Kepler, die Al-Battani mehrfach zitierten.

Al-Battani entdeckte, dass der erdnächste Punkt der *scheinbaren Sonnenbahn* wandert. Er berechnete die *Neigung der Erdatmosphäre zur Ekliptik* und beobachtete die *Präzession*, die Richtungsänderung der Rotationsachse unter der Wirkung äußerer Kräfte, die ein Drehmoment senkrecht zu dieser Achse induzieren.

Die *Länge des Sonnenjahres* bestimmte er zu 365 Tagen, 5 Stunden, 46 Minuten und 24 Sekunden. Die Abweichung vom tatsächlichen Wert beträgt nur ungefähr zwei Minuten.

Eine Epoche des Umbruchs und der Erneuerung

Im Jahre 1609 dokumentierte Galileo Galilei erstmals revolutionäre Beobachtungen über differenzierte Strukturen des Erdtrabanten. Er bemerkte, dass sich die Landschaftsreliefs der festen Mondoberfläche aus kraterreichen Hochländern (Terrae) und flachen Tiefebene-/Mondmeeren (Maria) mit weniger Krater konstituieren und die ‚Mondmeere‘ nicht, wie lange angenommen, aus Wasser bestanden. Ihre Entstehung ist zunächst umstritten. Die Realitäten einer reinen Steinwüste erschütterte das damalige Weltbild, weil die als göttlich angesehenen Himmelskörper weder perfekte Kugeln, noch unveränderlich waren. Die Sonnenflecken widersprachen dem Ideal einer unversehrten Kristallkugel..

Galileo Galileis [1610](#) in Venedig in lateinischer Sprache gedruckte *Sidereus Nuncius* (Sternenbotschafter/Nachricht von neuen Sternen) war die erste wissenschaftliche Abhandlung, die aus astronomischen Beobachtungen mit einem Teleskop hervorging. Außer über den Erdmond berichtete Galilei im letzten Teil des *Sidereus Nuncius* über vier sich nahe dem Jupiter *bewegende* Objekte. Zu Ehren der vier Söhne der Familie Medici nannte er sie *Mediceische Gestirne*. Diese Jupitermonde belegen zweifelsfrei die Bewegung der Gestirne.

„Eppur si muove“

Die Entdeckung der ersten vier Jupitermonde und die Tatsache, dass die Sonne nicht um die Erde kreist, erschütterte vor 400 Jahren das eherne Weltbild mächtiger und rigoroser katholischen Kreise und führte zu schwerwiegenden Konfrontationen. Galileis sogenanntes *heliocentrisches Weltmodell* erklärte, dass im [Sonnensystem](#), die Planeten um die Sonne kreisen, die im Mittelpunkt des Systems steht. Auch das widersprach der Bibel. Galileis Schriften wurde auf den Index gesetzt; und ihm verboten, seine Lehre zu verbreiten. Der Reformator und damit geistige Aufrührer landete im Gefängnis. Den späteren Hausarrest verbrachte er auf dem Land. Danach zog es ihn wieder nach Florenz. Galilei hielt sich - wider besseres Wissen – lebenslang an die auferlegten Restriktionen. Indes wird kolportiert, Galilei habe beim Verlassen des Gerichtssaals der Inquisition gemurmelt: „Eppur si muove“ - und sie (die Erde) bewegt sich doch.

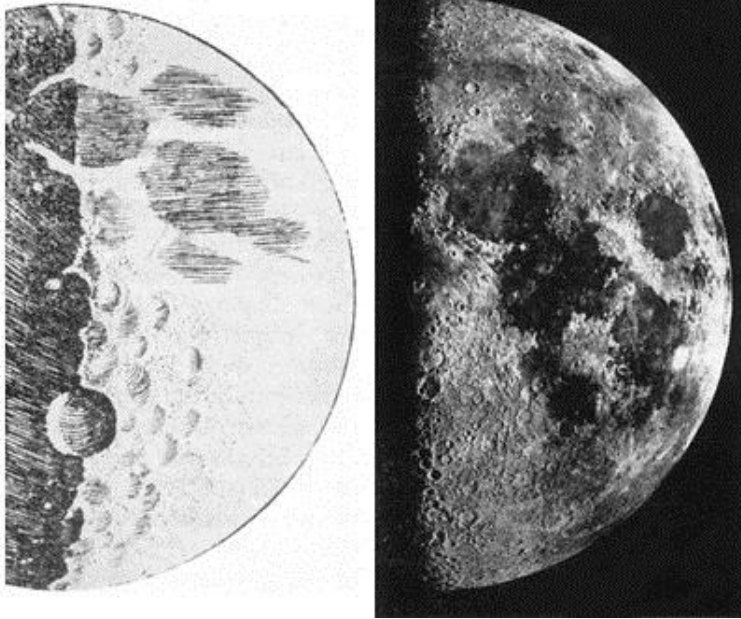
Das veränderte nicht nur das Denken von Menschen, animierte - schon unmittelbar nach dem Tod Galileis - Maler zu kolossalen Gemälden, sondern bewegte noch Jahrhunderte später Schriftsteller oder ‚Stückeschreiber‘ und gebar Mythen und Legenden. Bertolt Brecht konstatierte 1945 in einer 2. Fassung des epischen Stückes *Leben des Galilei*, dass letztlich die Atombombe ein „klassisches Endprodukt seiner wissenschaftlichen Leistung und seines sozialen Versagens“ sei. Er exponiert darin den Wert und die Verwertbarkeit von Wissen, setzt die ethischen, politischen und gesellschaftlichen Bedingungen von Wissenschaft ins

Zentrum. Im 14. Bild lässt Brecht seinen Galilei erkennen, dass er die welthistorisch einmalige Chance gehabt hätte, eine Art Hippokratischen Eid, ein *Gelöbnis der Naturwissenschaftler* zu initialisieren, „ihr Wissen einzig zum Wohle der Menschheit anzuwenden“ [Bertolt Brecht: *Leben des Galilei*. (S.126) [Edition Suhrkamp](#) Bd. 1, Frankfurt 1963]

Nach Lage der Dinge bedürfen derartige Idealisierung des unmittelbaren Faktenbezugs: Erst nach einer 20-jährigen Auseinandersetzung, am 22. Juni 1633, verurteilte die ‚heilige Inquisition‘ Galileo Galilei wegen *Copernicanismus*, verpflichtete ihn der Pontifex, der ‚Irrlehre‘ abzuschwören und weihte ihn so zum Märtyrer. Der Schweizer Journalist und Schriftsteller Hans Conrad Zander, ehemals selbst Dominikanermönch, d. h. Mitglied eines Ordens, der die Inquisition maßgeblich mittrug, heute eine Koryphäe des Glossierens, charakterisiert Galilei in der religiösen „janusköpfigen Satire“, „Kurzgefasste Verteidigung der Heiligen Inquisition“ (Gütersloh 2007), als „epochalen Januskopf“ Der „*Champion der Emanzipation der Wissenschaft* aus kirchlicher Knechtschaft und *Märtyrer moderner Geistesfreiheit*“, biete von vorn betrachtet, „das schöne Gesicht der Kultfigur Galilei. Von hinten angeschaut hingegen „die hässlichste aller akademischen Fratzen: ein Naturwissenschaftler, der übereifrig, skrupellos sein Wissen und seine Technik in den Dienst politischer Tyrannen stellt“. Mit dieser satiregemäßen Überspitzung desertiert Zander allerdings aus einem, „das Gleichgewicht haltenden“ *Librations-/Lagrange-Punkt*.

Bleiben wir bei den historischen Fakten: Galileo Galilei erarbeitete eine *urtümliche Karte des Mondes*. Wegen des kleinen Gesichtsfeldes und der Verzerrungen, die seine Teleskope erzeugten, war diese erste Darstellung noch sehr ungenau, und die Proportionen stimmten nicht überein. Dennoch wird sie als ‚Mutter‘ der modernen Selenografie anerkannt.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die *Mondkarte* als *Federzeichnung von Galileo Galilei* im Vergleich mit einer aktuellen *Amateurfotografie* des Mondes. Der 130 Kilometer große, eindeutig zu identifizierende, *Mondkrater Albategnius* wurde nach dem Mathematiker und Astronomen, Mohammed ibn Dschabir Al-Battani - latinisiert Albategnius - benannt. Der Krater befindet sich neben zwei ähnlichen, die ebenfalls Namen von Heroen der Astronomie-Geschichte, von Ptolemäus und Hipparch, tragen.



Quelle: Wikipedia. Die Bildkomposition wurde von ihrem Urheber [ECeDee](#) als [gemeinfrei](#) veröffentlicht.

Interdependenzen der Technik- und Erkenntnisqualität

Für die erstmals im Siderius Nuncius dokumentierten aufsehenerregenden Mondbeobachtungen nutzte Galilei, nach einem von ihm verschwiegenen Holländischen Vorbild selbst gebautes und etwas verbessertes Teleskope. Angeblich hatte das erste Galilei'sche Linsenteleskop eine zwanzigfache Vergrößerung. In ihrer optischen Konstruktion ähnelten diese Teleskope mit einem chromatischen Objektiv (einer Sammellinse) und einer Zerstreulinse als Okular einfachen Operngläsern. Die Instrumente lieferten aufrecht stehende und seitenrichtige Bilder. Sie besaßen ein Gesichtsfeld, das den Vollmond nur teilweise erfasste und unterlagen einer starken *chromatischen Aberration, d. h. erzeugten - infolge der* Längs- und Querfehler – [unscharfe Abbildungen mit Farbsäumen](#). [Erst](#) weit später standen der Astronomie verbesserte Instrumente zur Verfügung. Deren Objektive vermochten die Längsfehler für blau und rot (**achromatisch**) bzw. (**apochromatisch**) zusätzlich für grün, also für drei Farben (Wellenlängen) partiell auszugleichen. Abhängig von der spezifischen Anwendung werden nunmehr sogar 4 bis 6 Einzellinsen aus verschiedenen Flint- und Krongläsern effektiv kombiniert. Dafür sind komplexe Technologien aufzubieten, sicher zu beherrschen und mit genauem Arbeiten zu verbinden. Das erlebte und begriff ich während meiner 4-jährigen Ausbildung zum Feinoptiker im VEB Carl Zeiss Jena.

Neben den theoretischen Fortschritten – vor allem der mathematisierten Naturwissenschaften - prägte die *Geräteentwicklung* entscheidend die Qualität der Beobachtungen und die der wissenschaftlichen Erkenntnisse.

Visuelle Analysen sind mehr oder weniger subjektiv, gelegentlich nur schwer oder gar nicht eindeutig reproduzierbar, hängen - insbesondere an der Grenze des Auflösungsvermögens des benutzten Teleskops – u. a. von der Sehschärfe des Beobachters, von seinen Erfahrungen, Fähigkeiten und Fertigkeit ab. Das musste schon Galilei bei einigen seiner ‚Augenzeugen‘ und Widersacher schmerzlich zur Kenntnis nehmen.

Photographische Abbildungen gewähren objektive Einblicke, offerieren beständig die gleichen Details, lassen sich superponieren, können verschiedentlich ausgewertet, vor allem aber *intersubjektiv bewertet* werden. Mit Fotofolgen bzw. seriellen Bild-Aufzeichnungen, besteht die Chance, Objekte und Muster in offenkundig diskreten Sequenzen bzw. in (quasi)kontinuierlicher Bewegung aus verschiedenen Blickwinkeln und multispektral in ihrer räumliche Lage und dreidimensionalen Form zu registrieren. Demgemäß wurde die Multispektralkamera (MKF-6), die mit ihren sechs Objektiven die Photogrammetrie und die Spektrometrie kombiniert, während der sowjetischen SOJUS-22 Mission erstmals 1976 für Aufnahmen der Erdoberfläche eingesetzt. Für die Raumstation SALJUT 6 mit einigen revolutionären Neuerungen, wie einem zweiten Kopplungsstutzen, und für SALJUT 7 sowie die Raumstation MIR (1986-2001) gehörte sie bereits zur Standardausrüstung. Das MKF6-Projekt bedeutete für mehrere Forschungsinstitute der AdW der DDR sowie zahlreiche andere wissenschaftliche und wissenschaftsleitende Institutionen erste Initiativen zur kosmischen und luftgestützten Fernerkundung der Erdoberfläche. Die MKF-6 bleibt einer der technisch bahnbrechendsten Beiträge der DDR zur bemannten Raumfahrt.

Aktuelle Entwicklungstendenzen, Hoffnungen und Erwartungen

Die von Refraktoren mit steigenden Längen, über terrestrische und extraterrestrische Spiegelteleskope vom visuellen Bereich ausgehende Entwicklung der optischen Astronomie (sichtbares Licht, UV und Infrarot) nutzt heute komplementär - weit über diesen Teil des elektromagnetische Spektrum hinausreichend - die Röntgen- und Radiostrahlung und bezieht Neutrinos ein. Mit Beginn des 21. Jahrhunderts vollzog sich im Kontext mit dem revolutionären technologischen Fortschritt allmählich ein fundamentaler Wandel von der klassischen analogen (Silberhalogenid-)Photographie hin zur Digitalphotographie, die sich rasant entwickelte.

Die überaus komplexen und ständig steigenden Ansprüche der unbemannten und *bemannten Raumfahrt* sind nur in internationaler Kooperation zu erfüllen, undenkbar ohne technisch basierte fortgeschrittene Medizin, sie fordern generell das leistungsstarke Ensemble der Schlüsseltechnologien. Neue kommerzielle Kapazitäten bieten neuartige Möglichkeiten, um die *Wirtschaftstätigkeit im Weltraum grundsätzlich zu erforschen und zu erweitern*. Allerdings dürfte das auch neue gesellschaftliche Probleme hervorbringen, die vorausschauend bedacht werden sollten.

China sorgte Anfang Januar 2019 mit der Landung der Chang'e 4 auf der Rückseite des Mondes für internationales Aufsehen. Israel, Indien, Russland, China und Japan - alle haben Pläne für weitere Sonden zum Mond. Und auch die europäische Raumfahrt plant eine unbemannte Mondmission.

Wissenschaftler begrüßen es, wenn der Mond wieder umfassender und intensiver untersucht würde. Entwicklungsträchtige offene Fragen, wie sie u.a. Ralf Jaumann skizzierte, gibt es im Überfluss. „Es herrscht fast Einstimmigkeit unter den Raumfahrtagenturen und Unternehmen, was den Wunsch betrifft, schon in der nahen Zukunft mit Menschen zum Mond zu fliegen“, urteilt der Raumfahrtspezialist und Autor der ‚SpaceNews‘ Jeff Foust. In diesem Sinne wirbt der ESA-Generaldirektor Jan Wörner, unter dem Stichwort „*Moon Village*“ dafür, künftig global alle Kräfte zu bündeln: die der staatlichen Raumfahrtagenturen weltweit und die privater Unternehmen. Noch wehrt sich die NASA gegen eine Kooperation mit China. Allmählich scheint sich das allerdings zu ändern. Das deutete sich auf dem weltweit größten Raumfahrtkongress, dem [International Astronautical Congress \(IAC\)](#), 2018 in Bremen an,

auf dem über die Erkundung des Mondes debattiert wurde. Man wolle es dieses Mal anders anpacken als beim letzten Mal, bedeutete der amerikanische Politiker Jim Bridenstine, seit April 2018 Direktor der NASA .

Es ist die gemeinsame Verantwortung der Weltgemeinschaft, dass die internationalen Bedingungen für die Erforschung des Mondes fortschrittsfördernd gestaltet und eine ausschließlich friedliche Nutzung der Erkenntnisse gewährleistet wird.