

Ein Bummel durch Astronomie-Rarissima

Alfred Gautschy

Der Inhalt des nachfolgenden, zum Essay gewordenen Streifzugs durch astronomische Rarissima der ETH-Bibliothek Zürich entspannt sich primär aus der Betrachtung darin enthaltener wissenschaftlicher Illustrationen, also der Rapportierung von Himmelsbeobachtungen. Wenig astronomisches Grundwissen vorausgesetzt, lassen sich die eingeflochtenen fachlichen Erläuterungen leicht nachvollziehen und verleiten vielleicht dazu, selbst wieder einmal einen klaren Nachthimmel zu betrachten, um danach selbst die scheinbar simplen Arbeiten der alten Astronomen angebrachter würdigen zu können.

Hintergrund

Ein Bild sagt mehr als tausend Worte dieser ad nauseam bemühte Ratschlag hat auch in naturwissenschaftlichen Veröffentlichungen fruchtbaren Boden gefunden. Wissenschaftliche Primärliteratur ohne Abbildungen, speziell in experimentellen und beobachtenden Disziplinen, aber auch zur Visualisierung von Computersimulationen, ist heute kaum mehr vorstellbar oder aber zumindest weniger attraktiv, um potentielle Klientel zur Lektüre zu verführen. Die Überzeugungskraft eines Bildes ist unvergleichlich größer als die reiner Zahlenkolonnen oder gar oft umständliche rein verbale Umschreibungen alleine. Der nachfolgende Text entstand aus dem ziellosen Flanieren eines Astronomen durch ausgewählte Rarissima der ETH-Bibliothek. Die durch die Druckwerke stimulierten Fragen, die sich daraus entwickelten Gedanken zum Forschungsfeld und der Vergleich mit der heutigen Zeit wurden, wie so oft beim Flanieren, primär durch Bilder evoziert; und wie bei Gesprächen beim Bummeln üblich, ist der Tonfall informell, hoffentlich gar zeitweilig unterhaltsam.

Schon zur Kommunikation der ersten Beobachtungen des Himmels durch das Teleskop setzte Galilei auf die Macht des Bildes, und erst recht würde heute die Astronomie viel an Attraktivität nicht nur in der breiten Bevölkerung verlieren, würde in der Vermittlung auf die oft atemberaubenden, farbenprächtigen Bilder unseres Universums verzichten. Über die Jahrhunderte hinweg hat sich jedoch die Rolle des Bildes in der Wissenschaft stark verändert. Speziell die grafische Darstellung empirischer Mess- oder Beobachtungsdaten in

wissenschaftlichen Schriften ist eine relativ moderne Errungenschaft. Interessanterweise waren es zuerst ökonomische und soziopolitische Daten, die grafisch dargestellt und so kritischer Interpretation zugänglich gemacht wurden. In *Commercial and Political Atlas of England and Wales* (Playfair 1801) wurden gerade drei der noch heute gängigen grafischen Darstellungsmittel – Balken-, Kuchen- und Liniendiagramm – so populär gemacht, dass sie schnell breite Akzeptanz und Anwendung fanden. Lediglich das scheinbar einfachste aller Diagramme, das Streudiagramm, etablierte sich in der Fachliteratur erst erheblich später: Aus der Niederschrift eines Vortrages des Astronomen John Herschel von 1832 vor der Royal Society, in dem er die Resultate seiner astrometrischen Beobachtungen visueller Doppelsterne vortrug, lässt sich schließen, dass er die beobachteten Positionswinkel wohl in Punktdiagrammen aufzeichnete, visuell Kurven durch die Daten zog und daraus die Bahnelemente der Doppelsterne ableitete. Obwohl im Text des Artikels auf vier Figuren Bezug genommen wird, mit denen, gemäß Autor, die scheinbaren Ellipsenbahnen der Doppelsterne *grafisch*¹ gefunden wurden, sind der Publikation keine dieser Figuren beigelegt (Friendly & Denis 2005). In den wissenschaftlichen Sprachgebrauch ging das Streudiagramm (scatter diagram) jedoch erst am Anfang des 20. Jahrhunderts über.

Natürlich erschienen grafische Darstellungen von Beobachtungen oder Messungen in Druckwerken oder gar Manuskripten nicht erst bei Playfair,² doch erst mit seinem oben zitierten Werk erfuhren sie einen Popularitätsschub, der bis heute ungebrochen ist, ja der dank Internet, Onlinemedien und der damit verbundenen Möglichkeiten von Interaktivität, gepaart mit den exponentiell wachsenden Datenmengen im Rahmen von *Data Science*, gar verstärkten Aufwind erfährt. Es war also nicht etwa die Astronomie oder eine andere Disziplin der Naturphilosophie, mit langer Tradition ausgedehnter systematischer Beobachtungsreihen und ausgiebigen Datensammlungen, die die grafische Darstellung von Beobachtungen und deren Auswertung in die wissenschaftliche Literatur einbrachte. In den frühen wissenschaftlichen Schriften spielen Illustrationen allgemein eine untergeordnete Rolle, auf jeden Fall eine weit geringere als die, die ihr in modernen wissenschaftlichen Schriften zukommt. In den Naturwissenschaften sind heute Bilder integrale Bestandteile der Argumentationsketten. Früher jedoch, als die Naturwissenschaft Naturphilosophie bedeu-

Ein unterhaltsamer Einblick in die Geschichte grafischer Darstellungen in der wissenschaftlichen Literatur findet sich etwa in Wainer (2007).

¹ Der Ausdruck „graphisch“ taucht Mitte 19. Jahrhunderts bei Galton und Herschel als Bezeichnung eines Analysewerkzeugs auf.

² Eastwood (1987) enthält ab S. 141 Illustrationen von mittelalterlichen klösterlichen Abschriften aus dem Werk von Plinius dem Älteren.

tete und betont axiomatisch betrieben wurde, gehörte es sich, eine glaubwürdige Argumentation mit rhetorischen Mitteln zu führen. Figuren, deren Herstellung aufwändig und häufig auch nicht genau war, dienten lediglich als ausschmückende Beigabe, oder dann als Darlegung mathematischer Sachverhalte (oft für euklidische Beweisführungen mit Zirkel und Lineal). In diesem Sinne sind wohl auch die durchaus modern anmutenden Liniengrafen mit den scheinbaren Planetenbahnen am Himmel in den handschriftlichen Exzerpten aus dem 9. Jahrhundert der astronomischen Kapitel aus Plinius' *Naturalis Historia* (Eastwood 1987) zu verstehen. Obwohl die Abbildungen der Planetenbahnen am Himmel durch die direkte Beobachtung des Nachthimmels motiviert gewesen sein mögen, so war die grafische Darstellung dermaßen ungenau, dass sie keine quantitative Aufgabe in Informationsgewinn oder -weitergabe wahrnehmen konnte. In gleicher Weise geht es weiter in den astronomischen Veröffentlichungen des späten Mittelalters und der Frühen Neuzeit. *Quantitative* Darstellungen empirisch erhobener Daten, deren Diskussion und Deduktionen daraus finden sich nicht. In der Astronomie bricht erstmals Galilei, der im Gegensatz zu den meisten Astronomen künstlerisch versiert war, im *Sidereus Nuncius* – zumindest teilweise – aus dieser Tradition aus (etwa Gingerich & Helden 2003). Schon in Galileis frühen astronomischen Werken kommt die duale Rolle der Illustrationen zum Ausdruck, einerseits die naturalistische Illustration der gemachten Naturbeobachtung (etwa die Mondzeichnungen) und andererseits der quantitative, anfänglich oft noch ikonische Messnachweis wie bei der Beobachtung der Jupitermonde mit Abstandsangaben in seinen Beobachtungsbüchern.

Mondzeichnungen

Mindestens seit Plutarch (im 2. Jahrhundert n. Chr.) wird im westlichen Kulturkreis Beobachtern des Nachthimmels zugeschrieben, sich über die fleckige Erscheinung der Mondscheibe Gedanken gemacht zu haben.³ Offenbar postulierte man, in Ermangelung besserer Auflösung des Himmelskörpers, entweder die Ozeane und die Landmassen der Erde im Mond gespiegelt oder gar dem Erdtrabanten eigene derartige Strukturen zu sehen – eine Ansicht, die sich über viele Jahrhunderte aufrechterhielt. Selbst Kepler (noch ohne Fernrohrbeobachtung)

³ „[...] Das Gesicht, das in der Scheibe des Mondes erscheint [...]“, wie es in *De Facie in Orbe Lunae* von Plutarch heißt.

vertrat die Meinung, orientiert an Beobachtungen auf der Erde, dass die hellen Gebiete die Ozeane und die dunklen Landmassen seien. Zum gegenteiligen Schluss kam er schließlich, nachdem er den *Sidereus Nuncius* (Galilei 1610) gelesen und die darin veröffentlichten Mondzeichnungen gesehen hatte. Kepler realisierte, dass es höhergelegene Gebiete (Kraterränder) waren, die zuerst Sonnenlicht erhielten und somit die dunklen Gebiete tiefer lagen, diese also die Meere abgrenzten. Von Landmassen und Meeren wollte er jedoch noch immer nicht wegkommen. Auch Thomas Harriot in England, der den Mond schon vor Galilei (im Juli 1609) mit seinem Fernrohr beobachtete (siehe Whitaker 1999), schaffte es noch nicht, das am Fernrohr Beobachtete konzeptionell einzuordnen und korrekt aufzuzeichnen. Erst nach Konfrontation mit den Darstellungen im *Sidereus Nuncius* wurden seine Mondzeichnungen (1610) besser, das heißt realistischer. Dieses ganze Wechselspiel der Interpretationen zeigt zum einen, dass erst ein technologischer Fortschritt – in diesem Fall die Erfindung und Verwendung des Teleskopes – zu einem Paradigmenwechsel im Verständnis des Mondes geführt hat, und zum anderen, dass korrektes Sehen – und Verstehen – mehr bedarf als eines physisch korrekt funktionierenden Auges; genau so wichtig ist die Konditionierung des Geistes, der das Beobachtete stimmig einzubetten vermag.

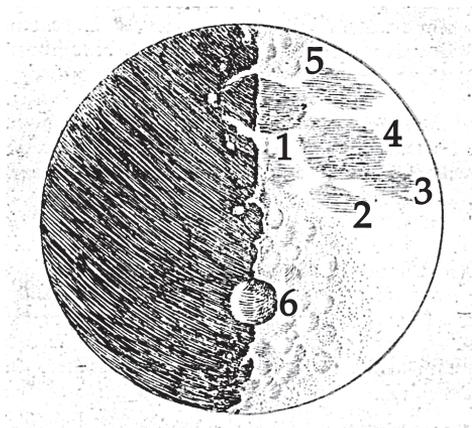
Trotz des ausgeprägten und auf den ersten Blick verführerischen Naturalismus der Mondzeichnungen – speziell der Lavierungen in Galileis Beobachtungsbüchern⁴ – sind die herausgearbeiteten Mondmerkmale in den im *Sidereus Nuncius* erschienenen Radierungen⁵ nicht zufriedenstellend, dies zumindest gemessen an den heutigen Ansprüchen an wissenschaftliche Illustrationen. An entscheidenden Stellen scheitert der Leser an der Zuweisung gezeichneter Details zu tatsächlichen Örtlichkeiten auf dem Mond: Die schon jedem Beobachter ohne Fernrohr zugänglichen Maria in der oberen Hälfte von Abb. 1 sind zwar teilweise identifizierbar: Zweifelsohne sind mit den dunklen Gebieten 2, 3, 4 Mare Nectaris, Fecundiatis und Tranquillitatis gemeint. Bezeichnete jedoch Ziffer 1 das Mare Serenitatis, müsste Ziffer 5 Mare Crisium anzeigen. Die relative Lage der Maria – speziell Mare Crisium läge so völlig falsch – und ihre Größen wären inkorrekt, zudem verläuft bei Halbmond der Terminator nicht mitten durch das Mare Serenitatis. Wäre hingegen Merkmal 1 mit dem Mare Imbrium zu identifizieren, zeigte 5 Mare Serenitatis; in diesem Fall

Siehe etwa Kapitel 2 in Sheehan (1988)

⁴ Galileiana 48, f. 28, Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze

⁵ In dem im Besitz der ETH sich befindlichen Exemplar des *Sidereus Nuncius* fehlen die Kupferstiche der Mondbeobachtungen. Der Platz für das nach dem Textdruck geplante Einfügen der Stiche ist ausgespart. Ein Brief von Galilei erwähnt, dass 30 Exemplare des *Sidereus Nuncius* noch keine Radierungen enthielten; von diesen Drucken sind heute noch 12 Stück nachgewiesen (siehe etwa Needham 2011).

aber fehlt das jedem selbst teleskoplosen Beobachter auffallende und bei zunehmendem Halbmond immer sichtbare Mare Crisium in der Abbildung. Wofür man sich auch immer entscheidet, die relativen Größen und die gegenseitige Lage der fünf großen – auch mit bloßem Auge sichtbaren – Maria sind in der Radierung unzufriedenstellend wiedergegeben.



Die Kritik an den galileischen Mondradierungen konzentriert sich jedoch seit langer Zeit auf den herausragenden Krater, in Abb. 1 mit Ziffer 6 bezeichnet, der in dieser Ausprägung und in dieser Lage auf dem Mond nicht existiert. Einzig der in Wirklichkeit viel kleinere, dafür aber kreisförmige und damit eigentlich illustrationswürdige Krater Albategnius liegt im richtigen Gebiet und könnte als Vorbild für die Übertreibung hergehalten haben. Obwohl die einzelnen Merkmale des durch das Fernrohr gesehenen Mondes inakkurat sind und als solche durch andere Beobachter so keinesfalls bestätigt werden, illustrierten die Bilder dennoch den Kern dessen, was Galilei auf Kosten wissenschaftlicher Reproduzierbarkeit wohl erreichen wollte: Der Mond ist keine göttliche, perfekt glatte Kugel, sondern eine unwirkliche, raue Steinwüste, morphologisch Gebieten auf der Erde nicht unähnlich. Warum Galilei seinen Pflock mit einem nicht in der gezeichneten Weise auf dem Mond beobachtbaren Krater eingeschlagen hat, speziell wo seine weiter unten diskutierten, in der gleichen Veröffentlichung vorgestellten Jupiterbeobachtungen schon beinahe erschreckend genau waren, blieb den Wissenschaftshistorikern bisher verschlossen.

Abb. 1: Einer der Kupferstiche des Mondes im *Sidereus Nuncius*; hier die Phase des ersten Viertels (aus Universitäts- und Landesbibliothek Münster, urn:nbn:de:hbz:6:1-85820). Die nachträglich eingefügten Ziffern verweisen auf die im Text versuchten Zuweisungen zu topografischen Gebieten auf dem Erdtrabant. Die dunklen Gebiete (Maria) mit den Ziffern 1 bis 5 sind auch mit bloßem Auge gut erkennbar. Nur Krater (Ziffer 6), stark überzeichnet und an dieser Stelle auf dem Mond nicht existent, und die nicht konkret zuweisbaren schwächer Angedeuteten auf der beleuchteten unteren rechten Seite des Mondes deuten auf den durch das Teleskop erreichbaren Fortschritt hin.

Galileis Entscheidung ist umso unverständlicher, als sich sowohl im ersten wie im letzten Viertel des monatlichen Mondzyklus gegen den südlichen Mondrand hin (im unteren Teil der Darstellung in Abb. 1) eindruckliche Gelegenheiten bieten, plastische Kraterverläufe, ja sogar als helle Punkte erkennbare zentrale Erhebungen in den sonst noch größtenteils im Schatten liegenden Kratern zu beobachten.⁶ Auch Gingerich & Helden (2003) wiesen darauf hin, dass sich Galilei bei den Mondzeichnungen als *huomo astronomico* – als Künstler – und nicht als Naturphilosoph sah; Galilei hatte ja in der Tat eine künstlerische Grundausbildung und wirkte auch eine Zeit lang als Lehrer an einer Kunstakademie in Florenz. Gingerich et al. sagen Galilei denn auch nach, die Natur nicht quantitativ (d. h. wissenschaftlich) erfasst haben zu wollen, sondern lediglich die Eigenschaften ihres Wesens herauszustreichen. Im Falle der Mondoberfläche soll es also erstmals darum gegangen sein, den Leser zu überzeugen, welcher Natur die auf dem Mond neu entdeckten Strukturen sind und diese gegen das bisher geglaubte abzusetzen: Speziell gilt dies für Berge und Krater, letztere als kreisförmige Vertiefungen in der Oberfläche mit dem charakteristischen Schattenwurf bei schräger Sonnenbescheinung. Der Krater am Terminator (in der obigen Figur mit der Ziffer 6 bezeichnet) spielt dabei eine Schlüsselrolle mit seiner Ausleuchtung, bzw. dem herausgearbeiteten Schattenwurf, der seine Natur als von der Sonne angeleuchtete Vertiefung in der Oberfläche übertrieben klarmacht.

So groß der Einfluss der galileischen Mondbilder auf Wissenschaft und interessierte Öffentlichkeit der Frühen Neuzeit war, so stark hat sich der Anspruch an die Wissenschaft in der Neuzeit verändert: Wäre Galilei ein zeitgenössischer Astronom, er hätte seine Mondbilder wohl entweder gar nicht erst an den wissenschaftlichen Gutachtern vorbei zur Veröffentlichung gebracht, oder sich eher früher als später Anschuldigungen wissenschaftlichen Fehlverhaltens ausgesetzt gesehen.

Im Jahr 1614 antwortete von nördlich der Alpen Johann Georg Locher im Buch *Disquisitiones mathematicæ* mit von seinem Lehrer Scheiner aufgestellten Thesen zum Weltsystem, die mit den neuesten astronomischen Beobachtungen in Übereinstimmung zu bringen waren (Locher 1614). In jenem Werk werden auch – wenig überraschend, thematisch nahe an Galilei – eigene am Teleskop gewonnene astronomische Beobachtungen veröffentlicht und illustriert. Zwar

⁶ Die Bemerkung bezieht sich auf die heute Tycho, Clavius und Moretus genannten Krater.

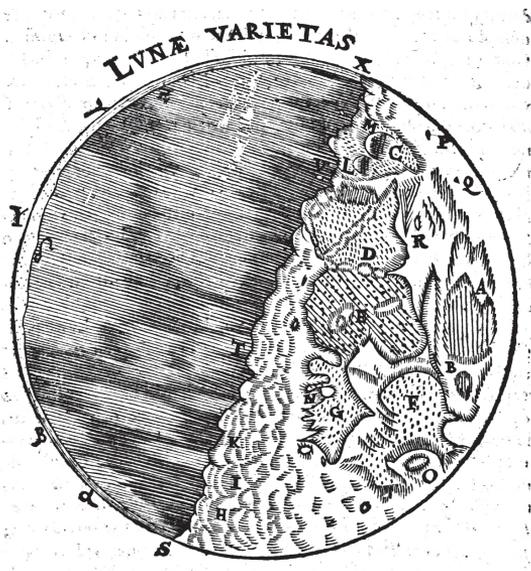


Abb. 2: Holzschnitt mit Mond-
darstellung aus Locher (1614);
obwohl in der Ausführung grö-
ßer als die Radierung Galileis,
sind Lage und Größe der Maria
realistischer.

konnte sich der Autor selbst nach rationalen Überlegungen nicht zum kopernikanischen System bekennen, dennoch wurden Galileis Beobachtungsbefunde reproduziert und gewürdigt, wie etwa der Umlauf der Jupitermonde, der elongierte Saturn, die Phasen der Venus und die in Abb. 2 gezeigte Beobachtung des Mondes. Lochers Mondillustration ist aufgrund ihrer Machart, einem Holzschnitt, naturgemäß erheblich größer als Galileis Kupferstiche; diesbezüglich sind die geringeren Details in der Illustration wenig verwunderlich. Die Maria (in Abb. 1 mit 1 bis 5 bezeichnet) sind in der locherschen Darstellung aber bezüglich Größe und Lage auf der Mondoberfläche näher an ihrer wahren Natur und somit auch klar zu identifizieren. Sehr auffällig ist, dass im Bild (Abb. 2) des sich wiederum im ersten Viertel befindenden Mondes *kein* großer Krater am Terminator zu finden ist. Die Schraffuren der beleuchteten Mondscheibe heben die unebene Oberfläche hervor, die Ränder der Maria mit den Andeutungen von Höhenunterschieden sind diejenigen Eigenheiten der Mondlandschaft, die so nur zumindest in einem einfachen Teleskop erkennbar sind. Für die Arbeiten an den *Disquisitiones mathematicæ* werden Scheiner und seine Studenten wohl noch ein Galilei-Teleskop verwendet haben, später (siehe Rosa Ursina) scheint Scheiner jedoch dem Kepler-Teleskop,⁷ möglicherweise

⁷ Dem ETH-Exemplar der *Disquisitiones mathematicæ* sind drei handschriftliche Texte vorgesetzt. Einer davon heißt *Tractatus de tubo optico* und scheint Scheiners Vorlesung zu Geschichte, Aufbau und Benutzung des Fernrohrs zu sein (Wolf 1876). Nachdem das Kepler-Teleskop – konzeptionell vorgeschlagen 1611 in *Dioptrice* (Kepler 1611) – mit seinen zwei konvexen Linsen nur am Rande erwähnt wird, die Eigenschaften von konvex-konkaven (Galilei-) Teleskopen jedoch detailliert beschrieben sind, ist anzunehmen, dass Letzteres das Arbeitsgerät zur Zeit der Niederschrift war.

parallel nachbetonten Strahlen eingetragen und in dieser Weise (im Gegensatz zu den Maria) nur mit einem Teleskop zu beobachten. Die restlichen kleinen Krater der Mondoberfläche sind hingegen bestenfalls Andeutungen und nur in wenigen Fällen tatsächlich so vorhandenen Mondkratern zuzuordnen. Die Vertauschung von Norden und Süden (verglichen zur direkten Beobachtung von bloßem Auge) in den Kupferstichen kann auf die Benutzung eines Kepler-Teleskops zur Kartenerstellung hindeuten.

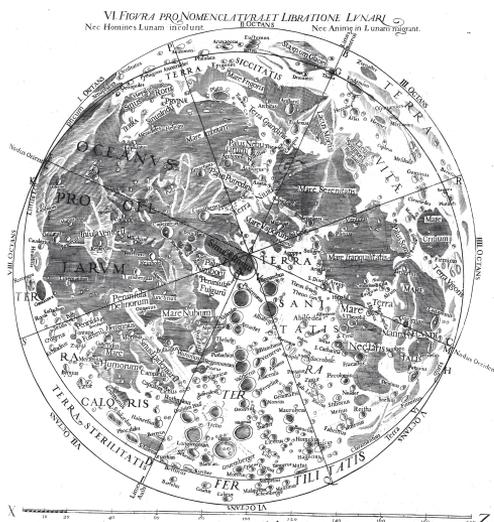


Abb. 4: Kupferstich des gesamten von der Erde aus sichtbaren Teils der Mondoberfläche aus Riccioli (1651). Die durch die Libration zusätzlich sichtbaren Randgebiete sind in der Figur in den durch die gegenseitige Verschiebung der Kreisscheiben entstehenden Sicheln eingezeichnet. Die Riccioli-Karte ist eine leicht überarbeitete und „modern“ beschriftete Version der Mondkarte aus der *Selenographia* von (Hevelius 1647).

Wenig bekannt, aber bezüglich Realitätseindruck alles andere jener Zeit in den Schatten stellend, sind die Mondkarten von Claude Mellan (entstanden zwischen 1635 und 1637 im Rahmen des Versuchs, das geografische Längenproblem der Seefahrer mit Hilfe detaillierter Mondkarten zu lösen)⁸ (Whitaker 1999; Montgomery 1999). Es war jedoch eines der Projekte, die im Sand verliefen: Nach dem Tod des Förderers versiegt auch die Projektfinanzierung. Hevelius hingegen schloss sein Mondkartierungsprojekt erfolgreich ab (Hevelius 1647). Obwohl die Heveliuskarten den Mellan-Karten qualitativ nicht das Wasser reichen können, wird dank des homogenen Satzes von Mondzeichnungen Hevelius noch immer als Vater der Mondkartografie – der Selenografie – betrachtet. Wie praktisch immer, wenn die Zeit für einen wissenschaftlichen Fortschritt reif ist, startete auch die

⁸ Projekt der französischen Forscher Gassendi und Pereire, die anhand des Schattenwurfs an verschiedenen Mondkratern differenzielle Unterschiede der geografischen Länge, einem für die Navigation relevanten Problem, entsprechend unterschiedlich platzierter Beobachter bestimmen wollten. Für die Erstellung der Mondkarten wurden drei Künstler angestellt, von denen jedoch nur Mellan (ein in der damaligen Zeit bekannter Kupferstecher) auf Grund der Qualität der abgelieferten Bilder länger beschäftigt wurde (Whitaker 1999).

Mondkarten-Erstellung mit einem Wettlauf: Gassendi, Van Langren und Hevelius arbeiteten alle zur etwa gleichen Zeit an der Kartografie (topografische Karte und Benennungen) des Erdtrabanten. Van Langren veröffentlichte 1645 eine Karte (*Lumina Austriaca Philippica*), die aber verglichen mit der zwei Jahre späteren Ausführung von Hevelius erheblich gröber war und sich auch bei der Benennung der Topografie nicht durchzusetzen vermochte. Für Generationen von Astronomen galt die *Selenographia* (Hevelius 1647) als das Referenzwerk für die Mondtopografie. Berühmt ist die *Selenographia* auch wegen ihrer Illustration der Libration des Mondes: Trotz gebundener Rotation des Erde - Mond - Systems führt die etwas ungleichmäßige Bewegung des Mondes und seine leichte Neigung gegen die Ekliptik dazu, dass wir auf der Erde im Lauf der Zeit insgesamt knapp 60% der Mondoberfläche zu sehen kriegen. Hevelius war dies bekannt und er fand einen interessanten Ansatz das Phänomen zu illustrieren. Zwei Kreisscheiben sind leicht gegeneinander verschoben gezeichnet. In die Schnittfläche der beiden Kreise eingepasst wurde eine typische Vollmond-Ansicht.⁹ Die beiden an den Mondpolen sich treffenden Sicheln weisen die am östlichen und am westlichen Rand durch die Libration zusätzlich sichtbaren Oberflächengebiete aus. Wenn auch die charakteristischen Details in den temporär sichtbaren Gebieten fehlen, so erhält der Betrachter durch die induzierten variierenden Abstände großer Krater oder Maria vom Mondrand während eines Librationszyklus einen Eindruck von der Stärke des Effekts. Die Libration wurde zwar schon von Harriot und Galilei in der Frühphase teleskopischer Beobachtung bemerkt, aber erst von Hevelius explizit illustriert. Abb. 4 zeigt das Illustrationskonzept der Libration von Hevelius in der etwas späteren und etwas eindrucklicheren Version des *Almagestum Novum* von Riccioli (1651); die Illustration basiert auf den heveliusschen Karten, jedoch durch eigene Beobachtungen (als Observator wird der mit Riccioli arbeitende Astronom P. F. Grimaldi angegeben) kontrolliert und verbessert, wo es notwendig schien (Whitaker 1999). Astronomiegeschichtlich bedeutend ist der neue *Almagest*, weil in den Mondkarten Geländemerkmale, viele der Maria, Gebirgszüge und dominante Krater mit den noch heute verwendeten Namen belegt wurden. Anders als die Vorgänger verewigte Riccioli auf dem Mond nicht zeitgenössische politische und kirchliche Honoratioren oder Freunde, speziell diejenigen, die sich als finanziell zuwendend

⁹ Der Schattenwurf in den Kratern zeigt jedoch, dass die entsprechenden Details der Zeichnung während zunehmender Mondphase entstanden.

erwiesen. Markante Krater auf dem Erdtrabanten sollten gemäß Riccioli nur Namen von solchen Personen zugewiesen kriegen, die eng mit der Astronomie in Verbindung standen bzw. substantielle Beiträge zur Wissenschaft geliefert hatten. So wurde etwa der große Krater im Süden des Mondes mit seinen praktisch über die ganze sichtbare Hemisphäre verlaufenden Strahlen Tycho Brahe gewidmet. Im Mare Procellarum (Meer der Stürme) siedelte Riccioli die Astronomen der heliozentrischen Wende an, so etwa Copernicus, Kepler, Galilei.¹⁰ Der Krater Aristarchus liegt schon nördlich im Mare Procellarum an der Grenze zum Mare Imbrium, wo viele der alten griechischen Naturphilosophen verewigt sind. Aristarch als einer der ersten Heliozentriker verdankt Riccioli die hellste Stelle in diesem Mare; über die von den Kratern Aristarchus, Copernicus und Kepler ausgehenden Strahlen sind die drei großen Geister damit praktisch verbunden. Dass gerade Copernicus von Riccioli einen der auffälligsten Krater des Erdtrabanten gewidmet bekam, hat schon Generationen von Astronomiehistorikern ins Grübeln gebracht, war doch der Taufpate der Krater in der damaligen wissenschaftlichen Gemeinde im progressivsten Fall noch als tychonischer Jesuit bekannt.¹¹ Es ist nicht von der Hand zu weisen, dass die Namensgebung der Mondstrukturen und die Verbindungen untereinander mehr enthalten als was gemeinhin auf den ersten Blick ins Auge springt und möglicherweise tieferen Einblick in Geisteswelt und Rezeption altvorderer Astronomen erlauben. Und wer weiß, vielleicht hat Riccioli ja über die Kraterbenennungen auf dem Mond wirklich Hinweise zu seiner wahren, aber zu Lebzeiten nicht explizierten intellektuellen Gesinnung hinterlassen. Wie dem auch sei, für einen lehrreichen, geschichtlich mäandrierenden Spekulationssonntag sind eine beschriftete Mondkarte und ein Lexikon alleweil gut genug.

In der Nacht vom 12./13. April 1647 ließ sich von Danzig aus ein Vorbeigang des knapp nach dem ersten Viertel sich befindenden Mondes an Jupiter beobachten. Hevelius zeichnete dazu eine modern anmutende auf den Mond zentrierte Zeitsequenz (siehe Abb. 5). Rekonstruiert man die Situation in jener Nacht am Computer, findet man, dass die tatsächliche Librationsphase des Mondes nicht mit der Zeichnung übereinstimmt (das Mare Crisium stand merklich näher am Westhorizont des Mondes als was gezeichnet wurde); zudem verläuft der Terminator der Abb. 5 falsch: Der Mond stand schon leicht nach

¹⁰ Die ursprünglich als Krater interpretierte Struktur, der der Name *Galilei* zugeordnet wurde, stellte sich später, bei höher auflösender Beobachtung lediglich als großer heller Fleck heraus, deren planetologische Provenienz noch immer nicht restlos geklärt ist (und der heute *Reiner Gamma* heißt). So wurde Galilei 1935 von offizieller Seite schließlich doch noch ein echter, schöner, wenngleich relativ kleiner Krater im Mare Procellarum zugestanden, auf dass nun die Kirche wieder im Dorfe stehe.

¹¹ Das Frontispiz des *Almagestum Novum* zeigt das ptolemäische Weltbild am Boden liegend, unter dem gewichtigeren zusammengestückelten Tychonischen und dem Kopernikanischen, beide als Waagschalen in der ausgestreckten Hand der Urania.



Abb. 5: Naher Vorübergang von Mond an Jupiter in der Nacht vom 12. zum 13. August 1647, beobachtet in Danzig, dokumentiert in der *Selenographia* von Hevelius (1647). Die auf den Mond zentrierte Illustration enthält die Positionen von Jupiter und seinen Monden zu unterschiedlichen Zeiten während der Nacht; diese Positionen liegen auf einer wenig nördlich des Mondes vorbeiführenden Geraden. Der Charakter der Grafik ist zeitlos, die Abbildung könnte genauso gut einem modernen astronomischen Beobachtungskalender entspringen.

dem ersten Viertel, in jener Nacht waren die beiden Krater (Ptolemäus und Alphonsus), in der Zeichnung etwas unterhalb der Mondmitte, direkt am Terminator, tatsächlich schon vollständig besonnt und merklich von der Schattengrenze entfernt. Dies lässt vermuten, dass sich Hevelius für die Mondzeichnung einer seiner Mondkarten-Vorlagen bediente, in die er nur noch grob Hilfspunkte für den Terminatorverlauf einzutragen hatte, dabei aber nicht explizit auf die Libration eingehen konnte. Die Tatsache, dass der Terminator *genau* das erste Viertel des Mondzyklus herausstreicht, ist wohl der Ästhetik der Darstellung geschuldet – dies jedoch auf Kosten der astronomischen Genauigkeit. Die gezeichneten Jupiterabstände von der Mondscheibe passen hingegen gut mit Nachrechnungen überein. Wieder zu Nörgelei Anlass gibt aber die Position der Jupitermonde. Bei den Epochen¹² < 8 ist westlich der Jupiterscheibe ein Punkt markiert, der für einen der hellsten vier Jupitermonde stehen könnte. Die Epochen 9, 14, 16 – 18 zeigen jeweils zwei eng nebeneinander stehende Punkte. Zudem ist bei den Epochen 17 und 18 westlich, im Abstand von etwa 6 Jupiterdurchmessern, ein weiterer Mond eingezeichnet. Tatsächlich befanden sich während des gesamten relevanten Vorbeigangs des Mondes an Jupiter

¹² Die Zahlen neben den oberhalb des Mondes aufgefädelten Jupiterpositionen in Abb. 5 benennen die verschiedenen Beobachtungszeitpunkte (*Epochen*), so dass in Richtung größerer Zahlen auch die Zeit fortschreitet.

am 12. August 1647 die vier hellsten Monde auf seiner Westseite (d. h. in der Zeichnung rechts von Jupiter) und ihre Positionen änderten sich nur unwesentlich während des Beobachtungsfensters. Am ehesten treffen die Illustrationen zu Epochen 17 und 18 die reale Situation am Himmel, falls wir annehmen, dass Hevelius in jener Nacht die beiden eng beieinanderstehenden Monde Europa und Io im Teleskop nicht trennen konnte und diese in der Zeichnung an der zweiten Stelle rechts neben Jupiter stehen. Der bei Epoche 18 links, ganz nah bei Jupiter stehende Jupitermond gehört somit eigentlich zu Epoche 17 und bezeichnet den am weitesten westlich von Jupiter stehenden Mond Ganymed; das gleiche Muster gilt für Epoche 18. Bei allen früheren Epochen fehlt jedoch die Position von Ganymed, obwohl dieser als hellster Jupitermond in dieser Nacht einfach zu beobachten gewesen wäre. Wenn auch die Illustration des astronomischen Phänomens attraktiv und publikationswirksam ist, so ist schlussendlich der wissenschaftliche Wert doch gering, da wichtige Details nicht reproduzierbar sind.

Wenige Jahre später hatte Hevelius das Kartenzeichnen so weit perfektioniert, dass die als reine Linienzeichnungen ausgeführten Mondkarten in Hevelius (1662) schon fast an moderne abstrahierende planetologische/tektonische Karten erinnern. Die Mondkarten im *Mercurius in Sole visus Gedani*, das eigentlich dem Merkurtransit vor der Sonnenscheibe vom 3. Mai 1661 gewidmete Buch, wurden jedoch nicht als Selbstzweck gedruckt, sie dienten als Vorlagen, die je nach Beobachtungsprojekt umkopiert wurden, so etwa zur Dokumentation einer partiellen Mondfinsternis (wobei ein genauer Schattenverlauf dabei nicht festzustellen ist, da der penumbrale Erdschatten auf der Mondoberfläche diffus ausläuft), einer Mondbedeckung von „Clara Borial[is] in fronte Scorpii“¹³ am 27.4.1660, einer Bedeckung Spicas, des hellsten Sterns im Sternbild der Jungfrau am 17.6.1660 durch den 69 % beleuchteten, zunehmenden Mond tief im Südwesten des Danziger Himmels. Auch bei Vorbeigängen und für Bedeckungen von Saturn werden die Mondvorlagen benutzt: Am 13. Mai 1661 lief der Mond etwas südlich von Saturn vorbei und bedeckte ihn schließlich am 3. August 1661 sogar. Die Bahnen von Mond relativ zu Saturn sind in den Illustrationen reproduzierbar dargestellt, die Neigung des Saturnringes relativ zum Mond ist jedoch erheblich zu flach. Die Genauigkeit der Zeichnungen mit Stern- und Planetenbedeckungen durch den Mond

Für die ganze Zeit des Vorübergangs am Mond galt, in der bei den Jupiterbeobachtungen erklärten astronomischen Kurzschrift: O K (EI) G

¹³ Es handelt sich dabei um eine Bedeckung von Graffias (β Scorpii) durch den fast vollen Mond in den frühen Morgenstunden des 27. Aprils 1660 tief im Süden, nur etwa 20 Grad über dem Danziger Horizont sichtbar.

zeigen nichtsdestotrotz eine beachtliche Genauigkeit, sie sind alle in guter Übereinstimmung mit mittels modernen himmelsmechanischen Modellen gerechneten Bahnen.

Wir mögen uns etwas amüsieren über die Astronomen, die im 17. Jahrhundert noch Jahre oder gar Jahrzehnte darauf verwendeten, detaillierte Mondkarten zu erstellen. Solche Überheblichkeit können wir uns aber nur dank des technischen Fortschritts, ja dank allgegenwärtiger Digitaltechnik leisten. Nur wer schon mal mit einem Feldstecher versucht hat, sich auf der Mondoberfläche zurechtzufinden, oder wer das Erscheinungsbild eines Kraters neben dem optischen Gerät zu Papier zu bringen versuchte, kann erahnen, welche technische Fähigkeiten, welche Ausdauer und welche Frustrationstoleranz zusammenkommen müssen, um ein topografisch hochkomplexes Objekt, das sich ständig bewegt, das jede Nacht einen anderen Schattenwurf aufweist, dessen Topografie sich von Mondzyklus zu Mondzyklus auf der Mondscheibe verschiebt (Libration), als Ganzes kartografisch erfolgreich zu erfassen. Krater etwa können nur sinnvoll abgebildet werden, wenn sie sich in der Nähe der Terminatorlinie befinden, die flächigen tektonischen Gebiete hingegen zeigen ihren besten Kontrast nur in voller Bescheinung, da sie sich durch unterschiedliche Albedos abgrenzen. Schlussendlich musste, im Gegensatz zur heutigen Arbeit mit dem Teleskop, damals direkt am Okular gezeichnet werden, einerseits mit genügend Licht, um zu sehen was auf das Papier gebracht wird, andererseits aber mit möglichst wenig Licht, um die Adaption der Augen für die Beobachtung am Teleskop nicht zu beeinträchtigen. Die Teleskope damals waren kaum parallaktisch ausgerichtet und schon gar nicht automatisch nachgeführt, so dass das zu studierende Objekt ständig wieder im Gesichtsfeld zu zentrieren war, und dies zusätzlich zur Skizziertätigkeit. Alles in allem ist es also kein Wunder, zogen sich Mondkartierungsprojekte über Jahre oder eben Jahrzehnte hin. Heutzutage hätte man für derartige wissenschaftliche Arbeiten, wären sie visuell und zeichnerisch auszuführen, weder das Personal mit der notwendigen langen Aufmerksamkeitsspanne noch eine Forschungsinfrastruktur, die solches zu unterstützen gewillt wäre.

Das Buch *Experimenta nova* (Guericke 1672), berühmt für die Beschreibung des Experiments mit dem gusseisernen Halbkugelpaar, aus dessen Hohlraum die Luft evakuiert wurde, und das selbst von Pferd gespannen nicht auseinandergerissen wurde, oder der Wirkungsweise

ICONISMUS XIX
LUNÆ FACIES
per Dioptr. Instrumenta.



Abb. 6: Mondkarte des italienischen Optikers Divini, abgedruckt in *Experimenta nova* (Guericke 1672)

der ersten elektrischen Maschinen, enthält neben praktischer Physik auch astronomisch Wissenswertes. An den Planetenzeichnungen und mit ihren Schattenseiten, speziell bei Mars, Jupiter, Saturn, sowie der Tatsache, dass Venus Monde angedichtet werden, wird jedoch klar, dass von Guericke die Himmelskörper weder selbst am Teleskop beobachtet hat noch ein tieferes astronomisches Grundwissen besaß. Positiv sticht dennoch die Qualität der von Eustachio Divini erstellten Mondkarte heraus (Abb. 6); der italienische Optiker benutzte die Illustration des Erdtrabanten ursprünglich, um damit Werbung für die Qualität seiner dioptrischen Instrumente zu machen. Die grafische Nähe der Divini-Karte zur Hevelius-Mondkarte von 1647 ist auffallend: Die Struktur der Maria, die Librationsphase und speziell auch die zeichnerische Ausführung der strahlenreichen Krater, heute Copernicus (Mitte links) und Tycho (Mitte unten) genannt, evozieren Erinnerungen an Hevelius' Werke von 1647. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass Divini an seinen Fernrohren die Hevelius-Karte als Grundlage für eigene Detailergänzungen nahm.

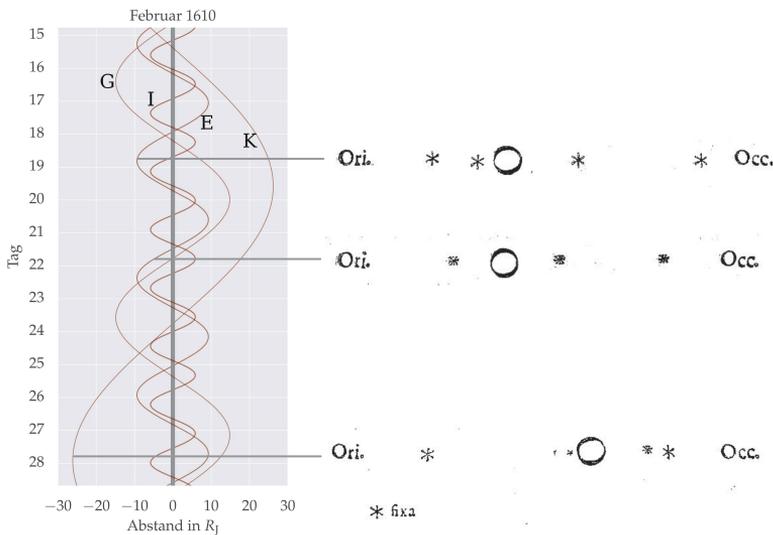


Abb. 7: Die Bewegung der vier hellsten Jupitermonde relativ zu Jupiter in der zweiten Hälfte Februar 1610. Links im Diagramm sind die berechneten Relativpositionen der Monde Io (I), Europa (E), Ganymed (G) und Kallisto (K) in Einheiten von Jupiterradien (R_J) gegen das vertikal nach unten fortschreitende Datum aufgetragen. Zu ausgewählten Daten sind rechts in der Abbildung im *Sidereus Nuncius* veröffentlichte Illustrationen von Beobachtungen Galileis beigelegt. Die grauen horizontalen Linien zeigen, wie gut Galileis Beobachtungen mit heute berechneten Werten übereinstimmen. Das mit „fixa“ bezeichnete Objekt in der untersten Zeichnung Galileis entspricht wahrscheinlich dem Stern mit der heutigen Bezeichnung HD 32811.

Planetenbeobachtungen

JUPITER war nicht nur der erste, sondern wurde, durch seine ihn umrundenden Monde, auch zum berühmtesten Planeten in der Frühphase teleskopischer Beobachtung des Nachthimmels. Wo der Mond im *Sidereus Nuncius* (Galilei 1610) selbst heute noch schön anzuschauen, aber ansonsten wissenschaftlich wenig ergiebig ist, liegt das bei der Dokumentation der Jupiterbeobachtungen ganz anders. Nicht nur die Darstellungsweise, nicht nur die Wahl der abstrahierten Illustration des Beobachteten, auch die erreichte Genauigkeit sind selbst heute noch beeindruckend.

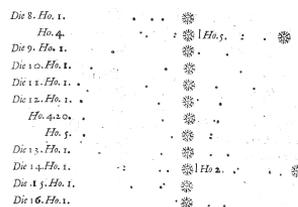
Auf Grund noch existierender handschriftlicher Unterlagen Galileis geht man davon aus, dass er ab Januar 1610 Jupiter am Abendhimmel beobachtete.¹⁴ Abb. 7 illustriert die Genauigkeit, mit der Galilei schon von Anfang an die Positionen der vier hellsten Monde relativ zu Jupiter bestimmen konnte. Im *Sidereus Nuncius* wurde die Jupiterscheibe aus drucktechnischen Gründen durch ein um 90 Grad gedrehtes großes O dargestellt. Jupiters Äquatorialebene, in der sich grob seine hellsten Monde bewegen, ist parallel zur Druckzeile ausgerichtet, Osten (Ori.) steht immer links, Westen (Occ.) rechts. Die Einzelbeobachtungen sind im *Sidereus Nuncius* noch jede für sich in den laufenden

¹⁴ Notizbücher, aus denen Galilei den *Sidereus Nuncius* destillierte, sind online einsehbar in der *World Digital Library*: <http://dl.wdl.org/4183/service/4183.pdf>

Text eingebunden, erst später hat Galilei die Beobachtungen in grafisch tabellarischer Form komprimiert. Aus den Beobachtungsunterlagen, deren Resultate Eingang in den *Sidereus Nuncius* fanden, geht hervor, dass Galilei anfänglich die Jupitermondpositionen offenbar direkt am Teleskop abzeichnete, d. h. grafisch Buch führte. Nur wenig später finden sich in den Beobachtungsnotizen schon numerische Werte an die Jupitermondpositionen geheftet; offenbar begann Galilei schon 1610 quantitative Abstandsmessungen durchzuführen. Zur verwendeten technischen Vorrichtung existieren von Galilei selbst keine Aufzeichnungen. Auf Grund der optischen Konstruktion des galileischen Teleskopes kann ein Mikrometer nicht direkt im Strahlengang platziert werden, so dass derartige Messanordnungen extern zu platzieren waren. Borelli (1666), schon Jahre nach Galileis Tod, berichtete von einer Art Gitternetz, das Galilei parallel zum Teleskop anbrachte, um nach sachdienlicher Festlegung des Abstandes von der Okularposition damit Winkelabstände abzuschätzen, was offenbar mit etwas Übung sehr genau zu machen war. Nicht nur die Kreativität, auch die Geschwindigkeit, mit der Galilei seine Instrumente zu hoher Qualität entwickelte, ist bewundernswert. Innerhalb eines halben Jahres fand Galilei eine hochstehende Lösung zum Problem der Abstandsmessung der Monde von Jupiter, gleichzeitig erlaubte dies auch die Messung des absoluten Winkeldurchmessers von Jupiter am Himmel, aber auch das für die Jupiterbeobachtungen verwendete Teleskop muss optisch ausgezeichnet gewesen sein (Vanin 2016). Dies alles muss man sich vor dem Hintergrund vor Augen führen, dass Galilei bis hin zum Schleifen der Linsen die Konstruktionen selbst ausführen musste.

Auch wenn im *Sidereus Nuncius* die Größe der Jupiterscheibe relativ zu den Mondabständen nicht stimmt, die Relativabstände der Monde sind korrekt. Im Werk von 1613, *Istoria e dimostrazioni*, wurden die quer gelegten Os zur Darstellung der Jupiterscheibe durch eine Kreisradierung ersetzt, auch die Qualität der Abstände der Monde relativ zur Jupiterscheibe verbesserte sich signifikant. Die Jupiter-zentrierte, vertikal ausgerichtete Illustration der Mondstände zu verschiedenen Beobachtungsepochen, vergleichbar mit dem gerechneten Panel links in Abb. 7, wobei jeder Beobachtungszeitpunkt eine Zeile einnimmt, ist vom Standpunkt der Informationsdichte und -ästhetik zeitlos, somit eigentlich perfekt. Noch heute kann die entsprechende astronomische Information nicht kompakter und lesbarer vermittelt werden. Bei

Heute wissen wir, dass praktisch zeitgleich mit Galilei Simon Marius in Deutschland, Thomas Harriot in England, Joseph Gaultier und Nicolaus Claude de Peiresc in Frankreich die Jupitermonde in ihren Teleskopen beobachteten; nicht alle publizierten schnell genug oder überhaupt. Somit ist eigentlich, wie so oft in der Geschichte der Wissenschaft, die Prioritätsfrage der Entdeckung müßig, was nicht heißt, dass dadurch Streitigkeiten hinfallig wurden oder werden; ganz im Gegenteil.



Ausschnitt aus der Illustration der Jupiterbeobachtungen im April 1613 aus dem Nachdruck der *Istoria e dimostrazioni* (Galilei 1655). Die in der Erstausgabe verwendete Kreisscheibe für Jupiter wurde in der Neuauflage durch ein inhaltlich wie auch quantitativ unangebrachtes Sonnensymbol ersetzt.

genügend hoher Beobachtungskadenz relativ zu den Umlaufzeiten der Monde springt denn auch die Mondbewegung förmlich aus der Illustration heraus. Das ist genau das, was in den Illustrationen von Galilei (1613) für den Fall von Kallisto – auch ohne tiefere Kenntnisse der Astronomie haben zu müssen – ins Auge sticht. Die Beharrlichkeit, mit der Galilei den Umlauf der Jupitermonde beobachtete, blieb scheinbar für lange Zeit unübertroffen. Daher ist auch nicht weiter verwunderlich, dass die abgeleiteten Umlaufperioden der vier hellsten Monde (die jeweils einzelnen beobachteten Punkte bei Jupiter mussten also mit einem bestimmten Mond identifiziert werden) von Galilei schon 1613 auf genauer als ein Prozent der heutigen Werte bestimmt wurden (Vanin 2016).

Die großen Jupitermonde zeichnen sich dadurch aus, dass sie ziemlich gut in der Bahnebene Jupiter – Sonne liegen, d. h. von der Erde aus beobachtet liegen sie meistens in guter Näherung entlang einer durch den Jupiteräquator gehenden Linie. Dennoch erkennt man schon in den Illustrationen im *Nuncius*, dass die die Monde darstellenden Sternchen nicht immer schön auf einer Linie gedruckt wurden. Ist das lediglich eine technische Ungenauigkeit, eine Ungenauigkeit Galileis beim Zeichnen oder hat er die Abweichungen der Monde von der Äquatorebene (AE) so beobachtet? Die Himmelsmechanik ist so zuverlässig, dass selbst weit zurückliegende Begebenheiten rechnerisch zuverlässig nachgestellt werden können. Die Kontrolle ausgewählter Epochen, in Abb. 7 etwa am 18. Februar 1610 und am 27. Februar 1610, zeigt, dass am 18. Februar zu Beginn der Nacht Ganymed, nicht Io wie in Galileis Illustration, den größten Abstand von der AE hatte. Am 27. Februar lag lediglich Io in der AE, Europa und Ganymed lagen darüber und ganz im Osten, Kallisto schließlich darunter. Sucht man eine Verbindungslinie zwischen den Monden, so fädeln sich Kallisto Io und Ganymed am ehesten auf einer Linie auf, Europa liegt leicht darunter, nicht aber darüber wie in Galileis Figur.¹⁵ Ähnliche Schlüsse zieht man aus der Analyse anderer Beobachtungsepochen von 1610. Zu jenem frühen Zeitpunkt der systematischen Überwachung der Jupitermonde sieht es nicht so aus, als ob Galilei schon unterschiedliche Bahnneigungen der Monde erkannt hätte. In *Istoria e dimostrazioni* (Galilei 1613), worin Galilei auch wieder auf die Jupitermonde eingeht, ist die Genauigkeit der Beobachtungen erheblich höher. Speziell die relative Lage der Monde, beobachtet zwischen Ende 1612 und Früh-

¹⁵ Der Fleck links neben Io (dem Mond direkt links von Jupiter) stellt keinen Mond dar. Der schwarze Punkt findet sich nur in der ETH-Kopie, nicht aber in anderen Exemplaren. Die Ursache (des dreieckigen Flecks) liegt in der Drucktechnik: Die Sterne waren auf rechteckige/quadratische Druckstöcke „geschnitzt“. Je nachdem wie flach die Lettern waren, konnte es je nach Druck auf das Papier passieren, dass Farbreste von den Rändern des Druckstocks auf die zu bedruckende Seite gelangten.

ling 1613, ist erheblich genauer, dies gilt auch für ihre Abstände von Jupiter, wie auch ihre Lage bezüglich Jupiters AE. Hingegen machte Galilei, zumindest in der gedruckten Version seiner Beobachtungen, Eingeständnisse bei der Angabe der Helligkeiten der Monde, diese waren an den unterschiedlich gewählten Sternsymbolen im *Nuncius* erkennbar, nicht mehr so jedoch der *Istoria*, wo nur noch einheitliche schwarze Punkte gedruckt wurden. Es bleibt aber unklar, ob die unterschiedliche Druckstärke technisch bedingt oder astronomisch motiviert war.

Die Genauigkeit der Jupiterbeobachtungen ist umso erstaunlicher, wenn man sich vor Augen führt, dass die gesamte dahinterstehende technische und astronomische Entwicklung über einen Zeitraum von nur einigen Monaten stattfand. Zudem musste sich Galilei seine technischen Gerätschaften allesamt selbst ausdenken, bauen und benutzen lernen. Jedem der der Illusion verfallen sein sollte, Wissenschaft sei früher einmal ein geruhsames, in Muße betriebenes Metier gewesen, dem sei als Dämpfer der Fall schon der ersten großen astronomischen Veröffentlichung der Frühen Neuzeit in Erinnerung gerufen. Zwischen erster Beobachtung und fertiggestelltem Buch, dem *Sidereus Nuncius*, lagen schon 1609/10 gerade einmal knapp drei Monate: dies ohne Computer und Grafiksoftware, dafür mit Kupferstecher, direkter Vorsprache beim nicht vor Ort angesiedelten Buchdrucker und der Einholung der Publikationsbewilligung bei Kontrollinstanzen der Inquisition. Heute würde wohl selbst eine sehr außergewöhnliche Entdeckungsveröffentlichung *nach* Beendigung aller technischen Arbeiten und trotz aller digitaler Kommunikationsmittel länger brauchen, bis sie offiziell im Druck erscheint.

DIE NICHTENTDECKUNG VON URANUS UND NEPTUN: Geschichten hinter wissenschaftlichen Entdeckungen erfreuen sich häufig erheblichen Publikumsinteresses, sind sie doch unterhaltsam oder dramatisch, ja bisweilen sogar erhellend. Manchmal aber sind die Umstände um *verpasste* oder nicht gemachte Entdeckungen spannender oder lassen zumindest noch mehr davon durchschimmern, wie Wissenschaft als menschliche Aktivität funktioniert.

Während Galileis erster teleskopischer Beobachtungskampagne von Jupiter Anfang 1610 stand dieser am Himmel unweit vom damals noch unbekanntem Planeten Uranus¹⁶, seine Helligkeit (etwa 5.6 Magnitu-

¹⁶ Erst 1781 wurde Uranus von William Herschel entdeckt.

den) entsprach etwa derjenigen der beiden schwächeren von Galilei systematisch beobachteten Jupitermonde. Abb. 8 zeigt die damalige Situation auf einer groben Himmelskarte. Die beiden Planeten Jupiter und Uranus durchliefen am Himmel während der von Galilei im *Sidereus Nuncius* rapportierten Beobachtungskampagne eine Oppositionsschleife: Ende 1609 waren beide Planeten rückläufig (bewegten sich am Himmel auf dem unteren Bahnast zu kleinerer Rektaszension, d. h. westwärts gegen den Sternhintergrund). Anfang 1610 kamen Jupiter und Uranus nicht weit voneinander entfernt (etwa zwei Grad oder vier Vollmonddurchmesser) am Himmel scheinbar zum Stehen, um sich danach wieder rechtläufig, also ostwärts gegen den Sternhintergrund langsam voneinander zu entfernen.

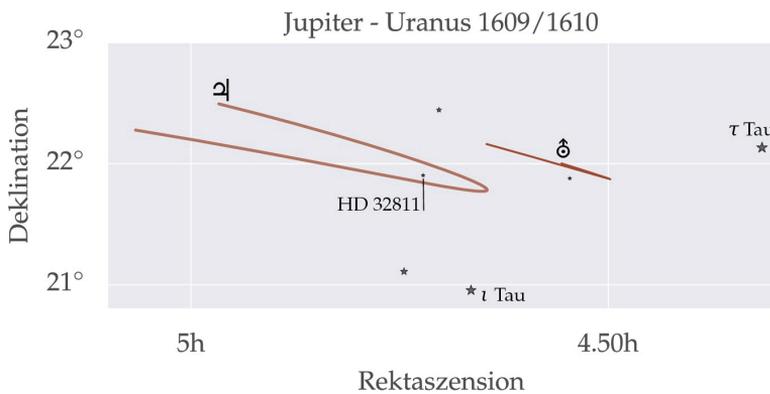


Abb. 8: Darstellung der scheinbaren Bahnen von Jupiter (♃) und Uranus (♅) am Winterhimmel 1609/10. Beide Planeten bewegten sich anfänglich auf den jeweils unteren Bahnästen rückläufig. Die wenigen eingezeichneten Sterne hätten in Galileis Teleskop sichtbar sein müssen. Der Stern HD 32811 ist wahrscheinlich der im *Sidereus Nuncius* als „fixa“ bezeichnete Hintergrundstern.

Abb. 8 zeigt innerhalb der Oppositionsschleife von Jupiter die Position des Sterns mit der heute üblichen Katalogbezeichnung HD 32811 (mit einer Helligkeit von 7.1 Magnituden) herausgestrichen. Der Stern, der in Abbildungen von Jupiter mit seinen Monden (zwischen 27. Februar und 2. März 1610) im *Sidereus Nuncius* mit dem Vermerk „fixa“ (siehe Abb. 7) auftaucht, ist mit HD 32811 positionskompatibel. Das Gesichtsfeld des galileischen Teleskops ist nicht gesichert, da das Originalgerät und seine Vignettierung wie auch das Okular (sprich die Vergrößerung) nicht bekannt sind; Vanin (2016) vermutet auf Grund eigener Beobachtungen mit Replikaten, dass Galilei bestenfalls 30 Bogenminuten (d. h. etwa einen scheinbaren Monddurchmesser) erfassen konnte, ohne das Fernrohr zu bewegen.

Im Idealfall, d. h. um die Zeit der Bewegungsumkehr von Jupiter und Uranus vor dem Sternhintergrund, waren die beiden Planeten

am Himmel etwa 4 Gesichtsfelder des Teleskops voneinander entfernt. Da der für Galilei sichtbare Sternhintergrund um Jupiter herum relativ einfach (siehe Abb. 8), sprich unspektakulär war, und hätte Galilei noch weitere „fixa“ Objekte zwecks Positionsmessung verzeichnet, wäre er wohl unweigerlich auf Uranus gestoßen. Dabei hätte er festgestellt, dass auch diese vermeintliche „fixa“ sich gegen echte Hintergrundsterne bewegt, und dies, wenn auch mit geringerer Schleifengröße, aber dennoch synchron mit Jupiter. Wie es der Zufall will, befand sich südlich der damaligen Uranusbahn ein Fixstern mit einer mit HD 32811 vergleichbaren, d. h. für Galileis Teleskop zugänglichen Helligkeit, so dass eine relative Positionsänderung von Uranus selbst am Umkehrpunkt der Oppositionsschleife relativ einfach erkennbar gewesen wäre. Vermutlich war aber Galilei so von der Entdeckung der Monde und ihrer Bewegung relativ zu Jupiter eingenommen, dass ihm die Vorgänge in der weiteren – zugegebenermaßen nicht offensichtlich einladenden – Umgebung des Blickfeldes seines Teleskops entgangen sind. Dazu gesellt sich die Ironie des Durchgangs des Planeten durch eine Oppositionsschleife während des Beobachtungsintervalls; dabei verkleinert sich die Relativbewegung gegen den Sternhintergrund, beziehungsweise kommt der Planet kurzfristig ganz zum Stillstand, so dass die Entdeckung eines neuen „Wandelsterns“ in dieser Phase schwierig ist.

Aber es sollte noch besser kommen: Der Januar 1613 bot eine, im wahrsten Sinne des Wortes, noch augenfälligere Begegnung mit einem damals auch noch nicht entdeckten Planeten, nämlich mit Neptun.¹⁷ Im Gegensatz zu Uranus gibt es, zumindest in seinen handschriftlichen Beobachtungsbüchern Hinweise darauf, dass Galilei Neptun sichtete, ihn aber nicht als Planeten erkannte, sondern lediglich als „fixa“, also Fixstern taxierte. Im Gegensatz zu Uranus lief Neptun wirklich zentral, denn Jupiter *bedeckte* Neptun in der Nacht vom 3. auf den 4. Januar 1613, durch das Gesichtsfeld von Galileis Teleskop (Abb. 9). Aber nur am 27. Dezember 1612 und am 28. Januar 1613 finden sich im Beobachtungsjournal Skizzen mit „fixa“ Objekten, die mit dem Stern HD 105374 (etwa 7. Magnitude) und mit Neptunpositionen verträglich sind. Obwohl Galilei Jupiter am 2., 3. und am 5. Januar beobachtet, scheint er Neptun, zu dieser Zeit im Gesichtsfeld des Teleskops, nicht erkannt zu haben. Neptun ist mit etwa 7.7 Magnituden Helligkeit schon erheblich schwächer als Uranus es war, und auch

¹⁷ Neptun wurde 1846 von Johann Gottfried Galle auf der Basis himmelsmechanischer Rechnungen von Urbain Le Verrier entdeckt.

viel schwächer als die vier überwachten Jupitermonde. Zudem ging Jupiter im Januar 1613 um Mitternacht herum auf, so dass Galilei den Planeten und seine Monde wohl in Horizontnähe beobachtete. Sollten dann auch noch die atmosphärischen Bedingungen nicht optimal gewesen sein, ist es nicht auszuschließen, dass Neptun in der höchst interessanten und recht seltenen Bedeckungsphase durch Jupiter nicht mehr in der Reichweite von Galileis Teleskop lag.

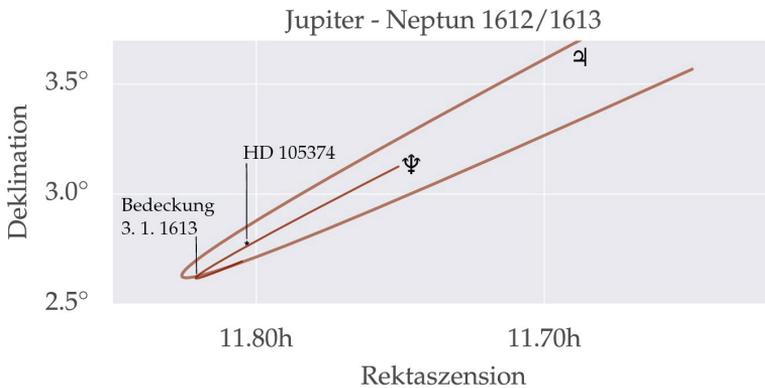


Abb. 9: Darstellung der scheinbaren Bahnen von Jupiter (♃) und Neptun (♆) am Winterhimmel 1612/13. Sowohl Jupiter als auch Neptun bewegen sich zuerst rechtläufig auf dem unteren Ast der Oppositionsschleife von rechts nach links und schließlich rückläufig auf dem oberen Ast wieder nach rechts. Der Stern HD 105374 ist wahrscheinlich einer der in den Aufzeichnungen auftauchenden „fixa“.

Für Himmelsmechaniker sind Galileis Beobachtungen von Neptun aber dennoch von Bedeutung, sie erlauben die Überprüfung der Genauigkeit von Neptuns Bahnelementen. Neptun braucht rund 165 Erdjahre für eine Sonnenumrundung, das bedeutet, dass die Menschheit seit seiner Entdeckung erst gerade eine einzige vollständige Umlaufperiode Neptuns verfolgt hat und somit vermessen konnte. Die himmelsmechanischen Parameter der Uranusbahn sind daher wahrscheinlich noch nicht optimal bekannt. Jeder zusätzliche Datenpunkt von Beobachtungen in der Vergangenheit ist somit hilfreich; und je weiter zurück sie liegt, umso wertvoller ist die Beobachtung. Die von Galilei zufällig gelieferten Datenpunkte im frühen 17. Jahrhundert helfen also, Unsicherheiten in der Bahnbestimmung einzuzugrenzen (Kowal & Drake 1980).¹⁸

Fazit: Galilei hätte im Prinzip also schon bei seinen ersten teleskopischen Beobachtungen durch die Entdeckung weiterer äußerer Planeten die Vergrößerung des Sonnensystems auf sein heutiges Maximum in Griffweite gehabt. Die Chancen zogen aber ungenutzt vorüber, gaben aber immerhin nach einer Pause von etwa 170 resp. 240 Jahren Anlass zu anderweitigen interessanten wissenschaftlichen Kontroversen

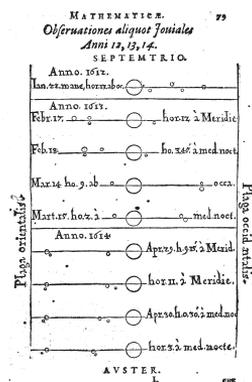
¹⁸ Von praktischer Bedeutung sind genaue Bahnelemente der äußeren Planeten bei interplanetaren Raumflügen, wie etwa letzthin der Mission New Horizons zu Pluto, wo man die gravitativen Einflüsse auch äußerer Planeten nutzen kann, um Kursänderungen mit minimiertem Energieaufwand auszuführen oder im extremsten Fall, um zur richtigen Zeit überhaupt am richtigen Ort zu sein.

und nationalistisch motivierter Wetteiferei bei der Suche nach neuen Welten.

Da die Zeit dazu reif war, tauchten – kaum war der *Sidereus Nuncius* auf dem Markt – natürlich auch Jupitermond-Zeichnungen anderer Astronomen auf. Die diagrammatischen Darstellungen der Beobachtungen lassen oft keinen Zweifel am Einfluss Galileis. So zum Beispiel in den mathematischen Abhandlungen von Locher (1614): Zu jeder Beobachtungsepoche sind darin die Jupitermonde entlang einer horizontal verlaufenden Linie (wie sie bestimmt wurde und ob sie Jupiters AE darstellen soll, bleibt unklar) aufgezeichnet, die verschiedenen Epochen sind vertikal gestaffelt und an Jupiter ausgerichtet, so dass sich eine Spalte unveränderlicher Jupiter-Kreisscheiben ergibt (siehe nebenstehende Randabbildung). Im Gegensatz zu den ausgedehnten Beobachtungsreihen Galileis hat sich Locher nicht viele Nächte am Teleskop abgemüht. Außer in der Nacht vom 29. auf den 30. April 1614 lassen sich wegen der geringen Anzahl Beobachtungsepochen¹⁹ die Bewegungen der Jupitermonde nicht erkennen. Die Beobachtungsepochen von 1612 und 1613 bilden zwar die Mondkonstellationen korrekt, wenn auch ungenau ab, aber erst die vier Einzelbeobachtungen in der Nacht vom 29. auf den 30. April 1614 lassen anhand der Mondkonstellationen

(GK) I O → (KG) (IE) O → (KG) (EI) O,²⁰ alle auf der Ostseite Jupiters, die Relativbewegung von zwei der vier Monde erkennen (in diesem Fall Kallisto und Io). Aus fachlicher Sicht bleibt die Motivation der spärlichen Jupiterbeobachtungen und der resultierenden Illustration in der Veröffentlichung schleierhaft, weder Datenqualität noch Datenmenge können Galilei das Wasser reichen. Das Ziel kann eigentlich nur gewesen sein zu zeigen, dass auch die Ingolstädter um Scheiner die maximal vier Jupitertrabanten zu beobachten im Stande waren.

Fontana (1646) enthält Abbildungen von Jupiter mit zwei dunklen Bändern, wohl die bei guten Bedingungen und guter Teleskopoptik sichtbaren, ausgeprägten äquatorialen Wolkenstreifen darstellend. Auf den insgesamt 8 Holzschnitten zu Jupiter, ungleichmäßig über die Zeitspanne von 16 Jahren verteilt, sind auch die Monde als Sterne mit unterschiedlichen Stellungen relativ zu Jupiter illustriert. Auch hier sind weder Genauigkeit noch Systematik Konkurrenz für Galilei. Noch im selben Jahr erschien auch ein Übersichtswerk von Kircher



Die in Locher (1614) abgebildeten Jupiterbeobachtungen zwischen 1612 und 1614

¹⁹ 1612: 1 Epoche, 1613: 4 Epochen, 1614: 4 Epochen (alle in der Nacht vom 29. auf den 30. April)

²⁰ Astronomische Stenografie: Anfangsbuchstaben der Monde (Ganymed, Kallisto, Io, Europa); Jupiter ist als O markiert; () symbolisiert enges Beisammenstehen.

(1646), das ebenso Jupiterscheiben mit dunklen Bändern enthielt: einem breiteren äquatorialen und zwei schmale Linien symmetrisch dazu in etwas höheren jovianischen Breiten. Obwohl auch in Kirchers Buch bei den Jupiterzeichnungen Beobachtungsepochen vermerkt sind, gibt es keine Hinweise auf die Lage, ja die Existenz von Jupitermonden. Interessant ist, dass in beiden Büchern die Wolkenbänder offensichtlich asymmetrisch relativ zum Äquator liegen. Huygens (1659) schließlich, mit schon erheblich besserer Optik als seine Vorgänger, illustriert in seinem Werk die Wolkenbänder auf Jupiter heller als den Rest des Planeten; am Teleskop selbst erhält man jedoch den umgekehrten Eindruck.

Obwohl das Buch von Hevelius (1647) *Selenographia* heißt, enthält es unter anderem auch detaillierte Zeichnungen von zwei Jupitermond-Beobachtungen in den Jahren 1643 und 1644 inklusive der umgebenden Sternfelder. Leider lassen sich nur wenige Sterne dieser Sternfelder identifizieren, die Klarheit der Zeichnungen leidet darunter, dass selbst innerhalb der gleichen Zeichnung keine einheitliche Maßskala verwendet wurde. Später im selben Buch werden weitere 151 Epochen von Jupitermond-Beobachtungen aus den Jahren 1642 bis 1644 abgedruckt. Für diese große Datenmenge wird auf das bewährte galileische Format zurückgegriffen: Die einzelnen Epochen sind untereinander aufgezeichnet, ausgerichtet an der immer gleich platzierten Jupiterscheibe, die Sternumgebung wird dabei ausgeblendet, nur ganz nahe bei Jupiter oder den vier hellsten Monden stehende „fixa“ werden notiert. Trotz 151 Beobachtungsepochen, die jedoch auf gut drei Jahre verteilt sind, ist die Dichte der Beobachtungen ungenügend, um einen visuellen Eindruck der Mondbewegungen um Jupiter zu erhalten. Alles in allem bleibt trotz des großen Aufwandes unklar, was astronomisch erreicht werden sollte. Heute würde ein Gutachter solches Material als nicht publizierbar zurückweisen, da gegenüber früheren Arbeiten kein Fortschritt, ja keine inhaltliche Motivation erkennbar ist. Es ist sogar so, dass was Galilei mit seiner Beobachtungsdichte – zumindest was die Jupiterbeobachtungen angeht – erreichte, Hevelius nicht zu reproduzieren vermochte.

Im Nachdruck des ursprünglich von 1623 stammenden *Il Saggiatore* (Galilei 1655a) ist auf Seite 266 unter anderem eine Jupiterzeichnung abgedruckt, die dadurch auffällt, dass sie eine nur *fast* runde, strukturelose Planetenscheibe (insbesondere ohne Hinweise auf die äquatorialen

Wolkenbänder oder den großen roten Fleck) zeigt. Ob die nur annähernd runde Darstellung des Jupiter beabsichtigt oder ein technischer Fehltritt war, ist unklar. Für alle äußeren Planeten gilt, dass wir sie je nach relativer Lage zu Erde und Sonne nicht vollständig beleuchtet sehen. Jupiters doch schon großer Abstand von der Erde führt jedoch dazu, dass bestenfalls etwa 1% der Kugel im Schatten liegt, was für einen visuellen Beobachter eigentlich nicht erkennbar ist.

DIE PHASEN DER VENUS UND VENUSTRANSIT: So spektakulär die Entdeckung der Jupitermonde auch war, für das Seilziehen zwischen ptolemäischem und kopernikanischem Weltbild war die Beobachtung und die korrekte Interpretation der Phasen der Venus, d. h. der Verlauf der Sichelerscheinung und -veränderung im Laufe einer Sichtbarkeitsperiode viel wichtiger. Ab Oktober 1610 beobachtete offenbar Galilei Venus, die hell aber tief am Abendhimmel stand. In einem Brief, datiert am 5. Dezember 1610, gesendet von seinem früheren Studenten Benedetto Castelli, wurde Galilei danach gefragt, ob er in der Lage gewesen sei, die „Hörner“ der Venus zu sehen, um dadurch zu entscheiden, ob Kopernikus' Vorstellung der Planetenbahnen möglich sei. Nachdem, auch Anfang Dezember, die Jesuiten in Rom meldeten, dank genügend guter Linsen nun auch in der Lage zu sein, die Jupitermonde zu sehen und zu jener Zeit Venus im letzten Viertel (also als die halbe Kugel im Schatten lag) als das hellste Objekt am Abendhimmel stand, musste Galilei damit rechnen, dass ihr auch in Rom großes Interesse zuteilwerden würde. Damit fühlte sich Galilei wohl unter Zugzwang²¹, so dass er am 11. Dezember 1610, noch vor Abschluss des Beobachtungszyklus, der seine Phasen-Hypothese eindeutig belegen sollte, einen Brief an den toskanischen Botschafter in Prag sandte, worin die vom Absender beobachtete Sichelform der Venus als Anagramm verschlüsselt²² wurde (siehe etwa Drake 1984).

Im Nachdruck von *Il Saggiatore* (Galilei 1655a) sind auf Seite 166 unter anderem die Phasen der Venus beschrieben und gezeichnet (siehe Abb. 10). Galilei war ein versierter Techniker, der mit zunehmender beobachterischer Erfahrung auch seine Teleskope stetig verbesserte. Dennoch überrascht die Qualität der Darstellungen der Venusphasen, wie sie spätestens in den frühen 1620er Jahren entstanden sein mussten. Für beide inneren Planeten gilt immer, dass am Himmel die ganz schmale Sichel in der Nähe der unteren Konjunktion den größten

²¹ Siehe dazu S. 27 von Galilei et al. (2010)

²² Die in *Dioptrice* (Kepler 1611) abgedruckte Version des Briefs zitiert wie folgt: *Hæc immatura à me jam frustra leguntur o y.* (Diese sind im Moment noch unreif, um von mir gelesen zu werden.), oder dechiffriert *Cynthia figuræ æmulatur mater amorum* (Die Mutter der Liebe (Venus) macht die Formen der Cynthia (Mond) nach).

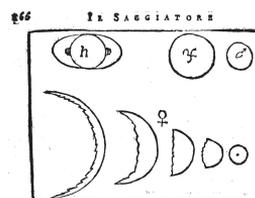


Abb. 10: Planetenzeichnungen von Galilei aus dem sich im Besitz der ETH-Bibliothek befindenden *Il Saggiatore* Nachdruck von 1655

scheinbaren Durchmesser hat. Am kleinsten, dafür am stärksten beleuchtet (d. h. mit der maximal beleuchteten Fläche) dagegen beobachtet man innere Planeten in der Nähe der oberen Konjunktion; zu dieser Phase befindet sich der Planet in der erdfernten Position. Die unterschiedlichen Größenverhältnisse der Venus zwischen unterer zu oberer Konjunktion von ca. 5:1 sind in Galileis Zeichnungen im *Il Saggiatore* (Abb. 10) sehr gut getroffen. Falls die in der Abbildung dargestellten Venusphasen am Abendhimmel aus Beobachtungen während des gleichen Umlaufzyklus der Venus entstanden sind, so ist die zeitliche Abfolge der Erscheinung der fünf ausgewählten Phasen am Himmel in der Radierung von rechts nach links zu lesen.

Als im Winter 1610/11 Galilei die Venus in Norditalien, anfänglich wahrscheinlich noch unsystematisch, mit dem Teleskop zu beobachten begann, richtete nördlich der Alpen auch der Ansbacher Hofastronom Simon Marius sein Teleskop darauf. Wie bei Galilei erweckte Jupiter und auch die meistens sehr auffällige Venus die Aufmerksamkeit von Marius, auch er das neue technische Gerät am Himmel ausprobierend. In Wort und Bild beschrieb er seine Beobachtungen der Venussicheln über die untere Konjunktion im Februar 1611 hinweg im noch im gleichen Jahr gedruckten *Prognosticon Astrologicum* für das Jahr 1612. Somit ist der dort abgedruckte Holzschnitt eine der frühesten Veröffentlichungen der ganz schmalen Venussicheln mit den von der Sonne weg gerichteten Spitzen.²³

Die weiter unten, bei Saturn besprochene Abb. 13 mit einer Illustration aus *Disquisitiones mathematicae* (Locher 1614) enthält unter anderem auch den Stand von Mond und Venus Mitte Februar 1614. Die relativen Größen am Himmel, wie auch die Relativpositionen von Mond (in der Illustration mit *I* gekennzeichnet) und Venus (Objekt *K*) sind nicht korrekt und die Positionen von Venus zu Saturn waren zu den publizierten Daten vom 12. bis 14. Februar 1614 so am Himmel nicht sichtbar. Dennoch geht aus der Illustration klar hervor, dass Venus als nur teilbeschieden im Teleskop erkannt wurde; in der Tat war im Locherschen Beobachtungsfenster Venus in der Nähe ihrer östlichen Elongation und in der Nacht des 12. Februars, d. h. der Nacht, die zur Beleuchtungsphase des Mondes passt, zu etwa 58 % beleuchtet.

Die *Selenographia* von Hevelius (1647), die ein Sammelsurium unterschiedlicher Beobachtungen und Instrumentenbeschreibungen ist, enthält auch Kupferstiche mit unterschiedlichen Beleuchtungsphasen

²³ Wenig überraschend überschüttete Galilei auch Marius wegen dessen frühen Teleskopbeobachtungen des Nachthimmels mit Plagiatsvorwürfen. Seine Rehabilitierung erlebte er nicht mehr; immerhin sind die heute gebräuchlichen, von Marius eingeführten Benennungen der vier hellsten Jupitermonde: Io, Europa, Ganymed, und Kallisto eine Reminiszenz an sein Wirken.

von Venus und Merkur (S. 116); letztere sind wegen seiner größeren Entfernung von der Erde, seiner geringeren Abmessungen am Himmel, wie auch der Nähe zur Sonne erheblich schwieriger zu beobachten. Im Druck sind alle unterschiedlich beleuchteten Planetenscheiben in gleicher Größe verzeichnet, so dass der mit dem Beleuchtungsgrad einhergehende Tiefeneffekt der Lage der Planeten im Raum verloren geht. Dazu kommt, dass die beobachtbare Merkurscheibe bestenfalls etwa so groß erscheint wie die kleinste Venusscheibe am Himmel. Überprüft man die nachträglich berechneten Beleuchtungsgrade mit den Resultaten hevelischer Beobachtungen, findet man in der Tat die Venusphasen zuverlässiger wiedergegeben als diejenigen von Merkur. Von Ende September bis zum Ende des Jahres 1644 verfolgte Hevelius das Hervortreten von Venus aus der unteren Konjunktion; dabei waren anfänglich nur etwa 5 % der rund eine Bogenminute messenden Planetenscheibe beleuchtet. Bis Ende Dezember nahm die beleuchtete Fläche auf zirka 65 % zu, wobei gleichzeitig die scheinbare Ausdehnung der Venus auf ein Drittel der anfänglichen schrumpfte. Die Form der teilweisen Beleuchtung der Venusscheibe ist konsistent mit den himmelsmechanischen Rechnungen. Für die Merkurzeichnungen fällt das Verdikt weniger günstig aus: Abb. 11 zeigt den relevanten Ausschnitt aus einer ganzseitigen Illustration. Die mittlere Zeile mit fünf Phasen-Zeichnungen enthält die ersten Merkurprotokolle der Beobachtungen; sie beginnen am 22. September 1644 und enden bei Scheibe 3 am 2. Dezember des gleichen Jahres. Zwischen Scheibe 2 und 3 liegen gerade einmal zwei Tage, in denen die Merkurbescheinung von 75 auf 77 % anwuchs, d. h. die Beleuchtungsänderung von gezeichneter Scheibe 2 zu 3 ist inkorrekt und die Beleuchtungsstärke in Letzterer sowieso.

Die Scheiben mit den Nummern 4 bis 6 illustrieren das etwas spätere Zeitfenster vom 16. bis 30. Mai 1645, als Merkur aus der oberen Konjunktion heraus am Abendhimmel wieder sichtbar wurde. Am 16. Mai waren zirka 79 % der Merkurscheibe beleuchtet, der Beleuchtungsgrad nahm auf 71 % (19. Mai) und 46 % (30. Mai) ab, während der Durchmesser der Merkurscheibe am Himmel von etwa 6 auf 8 Bogensekunden anwuchs. Hevelius' Zeichnungen (Scheibenummern 4 bis 6) zeigen, speziell für Nummer 4 und 5, nicht nur einen falschen Beleuchtungsgrad, sondern auch der Phasenverlauf ist logisch inkonsistent mit der Bewegung des Planeten relativ zur Sonne. Trotz

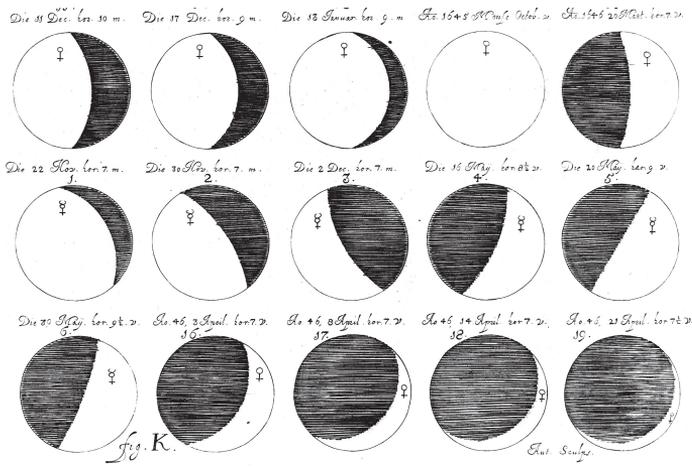


Abb. 11: Phasen von Venus und Merkur 1644 und 1645; Ausschnitt aus einer ganzseitigen Illustration in der *Selenographia*

erschwerter Beobachtungsbedingungen, unter denen Merkur wohl zu sehen war,²⁴ überrascht der Lapsus eines so erfahrenen Astronomen wie Hevelius.

Mit *Mercurius in Sole visus Gedani* widmete Hevelius (1662) zwar dem Merkurtransit vor der Sonnenscheibe vom 3. Mai 1661 ein eigenes Druckwerk; wie aber schon früher enthielt auch dieses Buch wieder ein Sammelsurium astronomischer und meteorologischer Beobachtungen. Besonders verdienstvoll in diesem Zusammenhang erscheint die posthume Veröffentlichung der Beobachtungen eines der seltenen Venustransits, demjenigen vom 24. November 1639,²⁵ des schon jung verstorbenen englischen Astronomen Jeremiah Horrocks. Der Transit begann in Liverpool kurz vor Sonnenuntergang und wurde von Horrocks bis praktisch zum Verschwinden der Sonne am Horizont verfolgt.

In der Illustration des Merkurtransits von 1661, der in Danzig zu etwa drei Viertel der Gesamtdauer beobachtbar war, bevor die Sonne unterging, ist sowohl die Merkurbahn, als auch der Verlauf der Ekliptik eingezeichnet. Aus der Zeichnung wird klar, dass die Merkurbahn merklich gegen die Ekliptik geneigt war. Himmelsmechanische Rechnungen bestätigen die relativen Bahnneigungen; für 1661 ergibt sich jedoch eine etwas stärkere Neigung zwischen Merkurbahn und Ekliptik. Vergleicht man auch die Aufzeichnungen des Venustransits von 1639 mit himmelsmechanischen Rechnungen, so ist zwar das

²⁴ Merkur erscheint am Himmel aufgrund seiner Nähe zur Sonne unter atmosphärisch ungünstigeren Bedingungen, meistens relativ horizontnah und ist lediglich in der Dämmerung zu beobachten.

²⁵ Das Datum in der Zeichnung ist noch julianisch angegeben; nach moderner, gregorianischer Zeitrechnung fand der Venustransit am 4. Dezember 1639 statt. Dieser Vorübergang der Venus vor der Sonnenscheibe wurde von Kepler nicht vorhergesagt, jedoch von Horrocks und dann auch von ihm selbst beobachtet; seine Aufzeichnungen gelten als die Ersten ihrer Art für Venustransits.

Vorzeichen des Neigungswinkels der Venusbahn gegen die Ekliptik korrekt, die Größe des Winkels wurde jedoch erheblich überschätzt. Zieht man jedoch die Umstände in Betracht, unter denen die Beobachtungen gemacht wurden, und auch die Tatsache, dass die Lage der Ekliptik keine direkte Beobachtungsgröße ist, schon gar nicht wenn das Teleskop nicht parallaktisch aufgestellt ist, so ist die Qualität der in *Mercurius in Sole* beschriebenen Beobachtungen nichtsdestotrotz beeindruckend.

DIE PHASEN DES MARS: Venus als innerer Planet, und daher mit ausgeprägten unterschiedlichen Beleuchtungsphasen während ihres Umlaufs um die Sonne, erwies sich also als wichtige Stütze für die kopernikanische Interpretation des Sonnensystems. Abgeschwächt zwar, aber zumindest bei Mars selbst in kleinen Teleskopen noch klar erkennbar, erscheinen auf der Erde auch äußere Planeten noch teilweise abgeschattet. Von Mars stehen für irdische Beobachter maximal 16 % seiner Scheibe im Schatten; bei Jupiter hingegen, wegen seines viel größeren Abstands von der Erde, nur mehr maximal etwa 1 %, so dass der Abschattungseffekt beim größten Planeten als praktisch inexistent abgehakt werden kann. Im Brief vom 30. Dezember 1610 an Castelli erwähnte Galilei, dass er den Eindruck hätte, Mars erscheine im Fernrohr nicht ganz rund.²⁶ Offiziell gedruckt wurde dazu jedoch noch nichts. Der Nachdruck von *Il Saggiatore* (Galilei 1655a) enthält in der Illustration der Planeten (S. 266) auch eine Radierung von Mars (siehe Abb. 10 oben rechts: ♂), der ganz offensichtlich nicht als Vollkreis dargestellt ist. Mit der Abplattung gen rechts, und falls wie gewohnt bei Galilei Osten links und Westen rechts angenommen werden kann, würde die Zeichnung für eine Beobachtung in der zweiten Nachthälfte nicht fern maximaler Abschattung, d. h. vor einer Mars-Opposition sprechen und damit ist man schon versucht, eine Datierung ins Auge zu fassen. Davon wird man jedoch spätestens, oder genauer frühestens, nach Konsultation derselben Figur in der Erstauflage abgehalten: Darin ist nämlich Mars völlig rund dargestellt! Es ist also anzunehmen, dass die scheinbare Abschattung von Mars in Galilei (1655a) nur eine technische Unzulänglichkeit und gar keine vermeintliche astronomische Erkenntnis darstellt. Für diese Interpretation spricht die durchwegs geringere grafische Qualität der Planeten-Darstellungen des Nachdrucks (ausgeführt als Holzschnitt) verglichen mit der als

²⁶ In der ersten Nachthälfte des Dezembers 1610 stand Mars im Sternbild der Fische und war zu 90 % beleuchtet. Es ist somit nicht unplausibel, dass Galileis Teleskop die Abschattung auf der Ostseite der 13 Bogensekunden abmessenden Marsscheibe (zum Vergleich, die Jupiterscheibe spannte damals ca. 45 Bogensekunden am Himmel auf) zu realisieren erlaubte.

Radierung erstellten entsprechenden Figur in der Erstausgabe. Auch *Novae coelestium* von Fontana (1646) enthält Holzschnitte mit Mars-Illustrationen (S. 205 und 206), in denen er in einem Fall die Beobachtung vom 24. August 1638 mit einer sehr übertriebenen Abschattung rapportierte,²⁷ so wie sie von der Erde aus nie beobachtbar ist und beide Male mit groben, eher an geometrische Bordüren erinnernden, auf keinen Fall aber astronomisch interpretierbaren Strukturen auf der Illustration der Mars-Scheibe. In der gleichen Veröffentlichung enthält der Holzschnitt der Jupiterscheibe zwei angedeutete dunklere Bänder, die plausibel die (bei genügend guter Optik) eigentlich immer sichtbaren äquatorialen Wolkenbänder wiedergeben: Fontanas Teleskop war also anscheinend in der Lage, Oberflächenstrukturen auf Jupiter zu erkennen. Auch wenn die gedruckten Marsbilder unrealistisch aussehen, so scheint Fontana dennoch auch das Marsbild im Teleskop als nicht homogen wahrgenommen zu haben. Auch die *Selenographia* (Hevelius 1647) lässt sich Mars nicht entgehen, die Tafel (Fig. G) zwischen Seite 42 und 43 enthält eine undatierte Einzelbeobachtung des roten Planeten (in der Figur mit D bezeichnet), dem Hevelius eine fast 50%ige Abschattung rechtsseitig andichtet, ansonsten aber strukturlos zeichnet. Ein Dutzend Jahre später attestiert (Huygens 1659) Mars ein an die Jupiterwolken erinnerndes, symmetrisch über die Planetenscheibe verlaufendes dunkles Band. Der Planet erscheint zwar dem irdischen Beobachter durchaus als Scheibe mit dunklerer und hellerer Topografie, Mars besitzt aber keine dichte Wolkenbildung zulassende Atmosphäre, so dass jupiterähnliche Strukturen sich nicht ausbilden können. In Ermangelung besserer optischer Auflösung hat Huygens – als einer der besten Beobachter seiner Zeit gepriesen, der sich der außerordentlichen Qualität seiner Teleskope auch durchaus bewusst war (Dijksterhuis 2004) – die durch topografische Unterschiede induzierten Albedo-Änderungen als Wolken auf Mars interpretiert. Schon kurz nach dem Erscheinen des Werkes *Systema Saturnium* (Huygens 1659), nämlich am 28. November 1659 (Mars in Oppositionsnähe, 100 % beleuchtet, scheinbarer Durchmesser am Himmel 17 Bogensekunden), skizzierte Huygens korrekt die grobe Marstopografie in seinem Beobachtungsbuch. Er erkannte die dunkle Y-förmige Hochebene – heute Syrtis Major Planum genannt – und bestimmte anhand ihrer zeitlichen Positionsänderung auf der Marsscheibe auch gleich die Rotationsdauer des roten Planeten korrekt auf rund 24 Stunden.

²⁷ Ende August 1638 war Mars zwar maximal abgescattet, was aber dennoch einer beleuchteten Fläche von etwa 86 % der Gesamtfläche entspricht. Der scheinbare Durchmesser der Marsscheibe am Himmel betrug zu jenem Zeitpunkt 13.5 Bogensekunden.

pur V.S. ch'è stata imperfettione dello strumento, ò dell'occhio del riguardante, perche sendo la figura di Saturno così  , come mostrano alle perfette viste i perfetti strumenti. doue manca tal perfettione apparisce così  non si distinguendo perfettamente la separatione, e figura delle trè stelle; mà io che mille volte in diuersi tempi con eccellente siru

Diuerfi-
tà nel ve-
der Sa-
turno
ragiona-
ta da di-
fetto.

Abb. 12: Saturn-Zeichnungen in *Istoria e dimostrazioni*

SATURN: Zusammen mit Jupiter, dieser dank seiner vier hellen Monde und seinen äquatorialen Wolkenbändern, gehört seit der Erfindung des Fernrohrs Saturn mit seinem Ring zu den Favoriten jedes Himmelsbeobachters. Nach den ersten teleskopischen Beobachtungen brauchte es jedoch Jahrzehnte, bis sich die Astronomen einen Reim aus den seltsamen „Henkeln“ des Saturn machen konnten. Nach dem anfänglich großen Erfolg mit Jupiter wandte sich Galilei ab Mitte 1610 dann auch Saturn zu.²⁸

In *Istoria e dimostrazioni* (Galilei 1613) sind im Text des ersten Briefes an Marc Welser vom 3. Mai 1612 zwei undatierte Saturn-Skizzen eingeflochten (Abb. 12); einmal wirklich als Dreierkonstellation, mit einer dominanten zentralen Scheibe, flankiert von zwei kleineren Kreisen. Schlechtere Beobachtungsbedingungen oder reduziertes Wunschdenken führten in der zweiten Skizze zum Auflösen der beiden flankierenden Kreise; sie verschmelzen mit der zentralen Scheibe zu einer zigarrenförmigen Struktur. Letzteres zeigt die Wirklichkeit; nämlich wozu Saturn im Teleskop verkommt, wenn entweder die Atmosphäre oder die Optik nicht optimal sind.

Die Illustration auf Seite 89 der *Disquisitiones mathematicae* von Locher (1614) gibt die Lage von Saturn am Winterhimmel, zwischen 12. und 14. Februar 1614 im Sternbild der Fische wieder (Abb. 13). Die Sterne im Hintergrund der Zeichnung haben keinen Bezug zur tatsächlichen Situation am Himmel. In der Figur wird das Himmelsgebiet, wie es sich dem bloßen Auge erschließt (mit dem Mond mit *I* und der Venus mit *K* bezeichnet), mit unterschiedlichen Erscheinungsformen von Saturn wie im Fernrohr sichtbar verschmolzen, d. h. in übertriebener Größe in dieselbe Illustration eingewoben. Bei der mit *C* beschrifteten Erscheinungsform von Saturn sind die „Henkel“ mit der zentralen Scheibe verbunden (für den modernen Betrachter kaum vorstellbar, dass darin nicht die Projektion eines Ringes gesehen wird). Bei der mit *D* ausgezeichneten Form ist von den Henkeln gar

²⁸ Nach einem damals populären Verfahren der Anagramme, um nichts zu früh zu verraten aber später Prioritätsansprüche stellen zu können, sollte sich eine wissenschaftliche Vermutung denn bewahrheiten, versteckte Galilei die Henkel-Beobachtung an Saturn in einem Brief vom 30. Juli 1610 an Kepler in *smaismilme-poetaleumibunugtauiras*. Entschlüsselt liest sich das Anagramm als *altissimum planetam tergeminum observavi* – den fernsten Planeten dreifach beobachtet (Helden 1974).

Zwei Anagramme erhielt Kepler von Galilei, beiden entlockte der enthusiastische Mustersucher Aussagen, beide waren nicht was Galilei meinte, aber in beiden keplerschen Lösungen nahm er astronomische Entdeckungen vorweg, die erst Jahrzehnte, ja Jahrhunderte später gemacht wurden (Wolf 1877)!

nichts zu sehen, und schließlich bei *F*, zusammen mit *G* und *H* sind die Henkel abgelöst und erscheinen quasi als Trabanten des Planeten. Interessant ist die augenfällige Übereinstimmung der Darstellungen *C* und *F*, *G*, *H* von Saturn mit Galileis Skizzen im Briefwechsel mit Welser in Ingolstadt (siehe *Istoria e dimostrazioni Galilei* (1613)). Es wäre überraschend, wenn die beiden Jesuiten in Ingolstadt, Locher und Scheiner, Galileis Brief nicht gekannt hätten, fungierte Welser doch in jener Zeit als Scharnier zwischen Galilei und Scheiner.

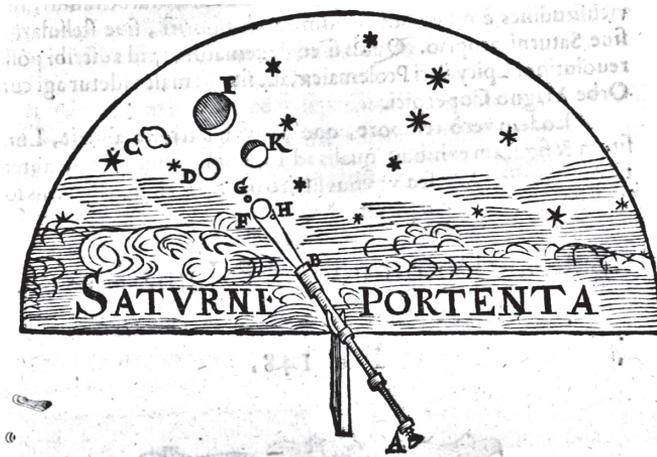


Abb. 13: Mond, Venus, und Saturn im Sternbild der Fische am Abendhimmel im Februar 1614, gemäß einer Darstellung aus Locher (1614)

Galileis Polemik *Il Saggiatore* aus dem Jahre 1623 enthält eine interessante, wiederum undatierte Saturnzeichnung, sie illustriert, dass Galilei die beobachtete Erscheinung nicht in ein physikalisches Ganzes zu packen vermochte: Die Planetenscheibe des Saturn ist *vor* einem geneigten Ring platziert, scheint mit diesem jedoch nicht physisch verbunden zu sein (siehe Abb. 10, der Planet oben links). Diese unbefriedigende Situation hielt noch einige Jahre an. Fontana (1646) etwa illustriert auf den Seiten 129, 131, 137 seines Buches mit ganzseitigen Holzschnitten phantasievoll die Variationen des Erscheinungsbildes von Saturn, speziell seiner Henkel. Auch die im Buch *Ars magna* von Kircher (1646) abgedruckte Illustration von Saturn, im Wesentlichen eine Planetenscheibe mit einander gegenüberliegenden kleineren Ovalen zeigend, geht bezüglich Erkenntnis zur Natur der Henkel und der Qualität der Beobachtung des Ringes nicht über Galilei hinaus.

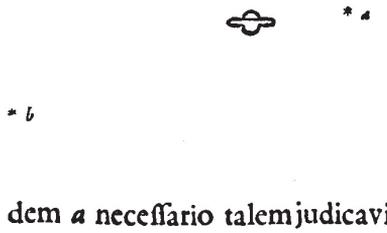
Aufschlussreicher als die Saturnporträts in Fig. G des astronomischen Sammeluriums von Hevelius (1647) sind die in die Sternfelder eingebetteten detaillierten Skizzen von Saturnbeobachtungen der Fig. I. Die als Henkel gezeichneten Saturnringe, sind zwar zu breit, sie erstrecken sich über die ganze Halbkugel und ganz offensichtlich erkannte Hevelius die über die Scheibe verlaufende schon schmale, an Schatten erinnernde Ringprojektion. Im Jahre 1644 blickte man von der Erde aus in einem so spitzen Winkel auf die Ringebene,²⁹ dass der Ring entlang des Sehstrahls scheinbar einen Durchmesser von nur etwa einer halben Planetenscheibe hatte; d. h. die Henkel hätten, bei genügend guter Auflösung, nicht am Rand der Planetenscheibe angesetzt. Die von Hevelius abgedruckten Sternkarten mit den Planetenzeichnungen sind zudem schwierig zu lesen, da er innerhalb derselben Karte unterschiedliche Maßstäbe für die einzelnen Sternpositionen relativ zu den Planeten verwendete, somit ist aus den Karten nicht direkt herauszulesen, wie die Himmelsumgebung der Planeten aussah. In Anbetracht der groben Planetendarstellungen ist auch nicht verwunderlich, dass Titan, der hellste Saturnmond mit einer Helligkeit von knapp 9. Magnitude, in keiner Beobachtungszeichnung enthalten ist.

Im November 1655 kam, nach Oktober 1642, der nächste Zeitpunkt, zu dem die Saturnringe scheinbar verschwanden. Dies war ein geeigneter Zeitpunkt Saturntrabanten zu entdecken, falls denn welche existierten. Steht die Saturnachse senkrecht zur Blickrichtung, bewegen sich Trabanten in der Äquatorebene linear gegen den Planeten, eine Situation wie bei Galilei, als dieser die Jupitermonde entdeckte. Der Zufall wollte es in der Tat, dass in jener Zeit der junge holländische Forscher Huygens sein erstes Teleskop, das ihm erlaubte Sterne bis etwa 9. Magnitude zu beobachten, fertiggestellt hatte. Mit seinem neuen Gerät wandte sich auch Christiaan Huygens den verschwindenden Ringen des Saturn zu. Am 25. März 1655 realisierte er, dass westlich von Saturn, in der Verlängerung des Henkels ein „fixa“ stand, der sich in den nächsten Nächten jedoch relativ zu Saturn bewegte und sich schließlich als Saturntrabant mit einer Umlaufperiode von etwa 16 Tagen zu erkennen gab.

Das obere Paneel von Abb. 14 zeigt die Situation am Himmel bei der Entdeckung des Saturnmondes Titan (bezeichnet mit *a*), der sich danach anders als fixa *b* bewegte. Bei Objekt *b* handelt es sich tatsäch-

²⁹ Im Jahr 1642 stand die Saturnachse senkrecht zur Ekliptik, so dass der Saturnring für irdische Beobachter scheinbar verschwand.

Die sequenti, nempe 26 Martij stella *a* eodem modo eademque qua prius distantia juxta Saturnum collocata erat, *b* verò duplo quam ante remotior. Unde, quum distantia inter se stellarum *a* & *b* major esset effecta, sequebatur vel utramque vel alteram saltem erraticam esse. Et stellam quidem *a* necessario talem judicavi, quoniam Saturnum eo



remotior. Unde, quum distantia inter se stellarum *a* & *b* major esset effecta, sequebatur vel utramque vel alteram saltem erraticam esse. Et stellam quidem *a* necessario talem judicavi, quoniam Saturnum eo

Diebus insequentibus usque ad 27 Maij, ejusmodi positus fuit qualem exhibent schemata subiecta.

6. Maij.	*		
7. Maij.	*		
10. Maij.			*
11. Maij.			*
12. Maij.			*
14. Maij.			*
15. Maij.			*

ægrè conspectus comes propter instans plenilunium.

Abb. 14: Oben: Entdeckungskonstellation von Titan (Objekt *a*), am 25. März 1655. Unten: Illustration der Bewegung eines „Gestirns“ (d. h. des Mondes Titan) relativ zu Saturn im Mai 1656 (Huygens 1659); die schon von Galilei im *Nuncius* gewählte Illustrationsform bewährt sich auch hier.

lich um einen Hintergrundstern, heute mit HD 93178 bezeichnet, etwa gleich hell wie Titan bei seiner Entdeckung, aber viel roter. Im Laufe der Nächte des Frühlingsanfangs 1655 musste klar geworden sein, dass sich sowohl Saturn wie Gestirn *a* relativ zu *b* am Himmel bewegten (von rechts nach links gemäß Situation in der Abbildung), dass aber *a* relativ zu Saturn eine zusätzliche Eigenbewegung zeigt. Aus der etwas mehr als einen halben Umlauf von Titan um Saturn zeigenden Zeitreihe (Abb. 14 unten) ließ sich schon eine Umlaufperiode von zirka 16 Tagen (heute akzeptierter Wert ist 15.945 Tage) abschätzen. Die Relativabstände von *a* und *b* zu Saturn zum Entdeckungszeitpunkt sind nicht sehr genau reproduziert, speziell *b* liegt 38 % zu nahe an Saturn (möglicherweise gezwungenermaßen, um Platz beim Druck

zu sparen). Der Positionswinkel von b zu a , von Saturn aus gemessen, stimmt dennoch auf etwa 10 % genau. Das untere Paneel von Abb. 14 zeigt eine Zusammenstellung von Beobachtungen von Titan und seiner Relativbewegung gegenüber Saturn im Frühling 1655, wie schon bei Jupiter in Galileis *Sidereus Nuncius*, den Umlauf um das Zentralobjekt – hier Saturn – grafisch klar suggerierend. Sogar die Lage des Ringes (dessen Existenz als solcher zum Zeitpunkt der Entdeckung gar nicht erkannt worden war) relativ zum Beobachter wird in ikonografischer Abstraktion von Saturn korrekt dargestellt; Huygens hat somit schon 1655 einen Schritt über die Henkel-Interpretation hinaus gemacht gehabt. Da Huygens vor der Veröffentlichung der Resultate, speziell der Erkenntnis, dass Objekt a ein Saturntrabant ist, zuerst noch ausführlichere Beobachtungsreihen zum Trabantenumlauf und zur Natur der Saturnhenkel anstellen wollte, versandte auch er als Prioritätsversicherung ein Anagramm zur Saturnmondentdeckung an einige Forscher und ritzte die Wortfolge auch auf den Rand des Objektivs seines Refraktors (Helden 2004). Im kurzen Traktat *De Saturni Luna Observatio Nova*, datiert auf den 5. März 1656,³⁰ gab Huygens die Entdeckung des Saturnmondes bekannt, versprach ein umfangreicheres Werk mit allen Saturnbeobachtungen und einer Exegese zu den zeitlich variierenden Saturn-Erscheinungsformen. Zur Sicherung seines Prioritätsanspruches auf die Ring-Hypothese verpackte er diese Information sicherheitshalber am Ende von *De Saturni Luna* (...) wiederum mittels Anagramm. Etwa drei Jahre später erschien dann schließlich das versprochene Werk: *Systema Saturnium* (Huygens 1659).

Mit seinem Bruder baute Christiaan Huygens zunehmend bessere Teleskope, so dass das Werk *Systema Saturnium*, in dem die wahre Natur der Saturnhenkel gelöst wurde, äußerst detaillierte und, selbst an heutigen Maßstäben gemessen, modern anmutende Zeichnungen von Saturn und seinem Ring beigefügt werden konnten. Speziell eine Illustration, diejenige mit der geometrischen Erklärung der Saturn-Ringsichtbarkeit, beeindruckt: Einerseits sind entlang der Umlaufbahn Saturns aufgefädelt Stellungen des Planeten während einer Umrundung der Sonne dargestellt, wie er einem über der Ekliptik sich befindenden Beobachter erscheinen würde, etwas außerhalb der Umlaufbahn wird zu den jeweiligen Epochen die Erscheinungsform Saturns für einen Beobachter auf der Erde dargestellt. Selbst eine

³⁰ Ein Nachdruck des kurzen Werks findet sich im Sammelband *Opera mechanica, geometria, (...)* von Chr. Huygens, 1751, das sich im Besitz der ETH-Bibliothek befindet.

moderne Lehrbuch-Illustration kann den Sachverhalt nicht besser erklären.

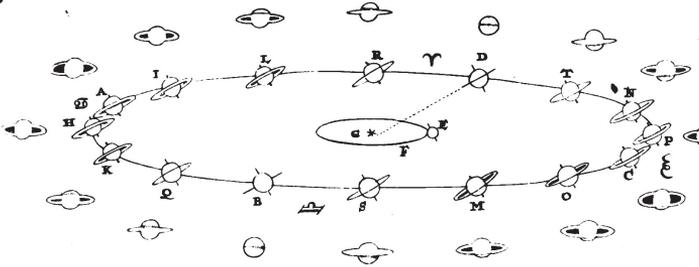


Abb. 15: Huygens illustriert, wie aus der Lage von Saturn im Raum, seiner Umkreisung der Sonne die von der Erde aus beobachtbare Erscheinung des Planeten entsteht – wüsste man es nicht besser, man hielte dies für eine viel modernere Illustration (Huygens 1659).

Bis heute wird darüber gerätselt, warum es so lange dauerte, bis der hellste Saturnmond schließlich entdeckt wurde; ist er doch so hell, dass auch Beobachter vor Huygens ihn mit ihren Geräten hätten sehen können. Selbst Galilei verzeichnete in den Sternfeldern des *Sidereus Nuncius* Sterne, die schwächer als Titans Helligkeit sind. In einem modernen Nachbau von Galileis bestem Teleskop wurde Titan denn auch klar erkannt (Vanin 2016). Gerade im Falle Galilei ist es vielleicht ein Hinweis darauf, dass der moderne Nachbau technisch zu optimistisch konzipiert wurde; denn Galilei war auf Monde und deren Relativbewegungen gepolt und wäre wohl enthusiastisch darauf angesprungen, hätte er auch bei Saturn entsprechende Indizien gehabt. Aber auch in keiner der Zeichnungen von Hevelius, der mit unterschiedlichen Teleskopen aus seinem großen Instrumentenpark auch Saturn unter die Lupe nahm, gibt es Hinweise auf eine Saturnmond-Sichtung. Zugegebenermaßen ist eine einfache Erkennung von Saturnmonden nur zu Zeiten möglich, in denen uns der Ring von der Kante erscheint. Nur dann bewegen sich die Trabanten, wie die Jupitermonde, fast linear vor und hinter der Planetenscheibe vorbei. Bei Saturn stellt sich dieser Zustand nur etwa alle dutzend Jahre ein. Als keiner der Astronomen Monde um Saturn entdeckte, setzte sich dieser Zustand als De-facto-Weisheit fest und es bedurfte erst wieder eines Jungspunds, der sich gut ausgerüstet über vorgefertigte Meinungen hinwegsetzte, oder diese vielleicht gar nicht erst kannte; damals wie heute das Vorrecht der Jugend.

Sonnenflecken

Obwohl unter günstigen Bedingungen Flecken auf der Sonnenoberfläche auch mit bloßem Auge zu sehen sind und in unterschiedlichen Kulturen auch dokumentiert sind, galt das Antlitz der Sonnenscheibe für lange Zeit als Referenz der Makellosigkeit. So waren denn auch in vorteleskopischer Zeit Sonnenflecken kein systematisch behandeltes Thema. Selbst Kepler, einer der großen Querdenker in der Geschichte der Wissenschaft, sichtete – noch ohne optische Hilfsmittel – im Jahre 1607 Sonnenflecken, war jedoch überzeugt, einem Merkurtransit vor der Sonnenscheibe beigewohnt zu haben (Galilei et al. 2010, S. 21). Schon wenige Jahre später, nun mit an den Himmel gerichteten Teleskopen, wurde schließlich auch die Sonne zu einem Studienobjekt, deren Erscheinungsbild systematisch und detailreich studiert wurde. Zudem tritt auch bei den Sonnenflecken wieder das gleiche Phänomen wie schon bei den Mond- und den Jupitermondbeobachtungen auf: Eröffnet sich eine neue Technologie, ist schlagartig auch die Zeit reif, wissenschaftlich einen weiteren Schritt zu machen; wer diesen schlussendlich tut, ist eigentlich unerheblich und oft von Zufällen bestimmt. Gewöhnlich tauchen gleiche Ideen an verschiedenen Orten auf, und so arbeiten mehrere Personen praktisch gleichzeitig und unabhängig an Gleichem – so geschah es denn auch wieder im Fall der Sonnenflecken.

In England beobachtete ab August 1609 der dem Landadel angehörende Thomas Harriot den Himmel mit einem bescheidenen Teleskop.³¹ Es ist nur natürlich, dass er nebst Mond und Sternenhimmel früher oder später auch die Sonne anpeilte. Durch die große und für die Gesundheit der Augen gefährliche Helligkeit der Sonne, muss ein optisch aufgerüsteter Beobachter jedoch Vorkehrungen treffen, um das Tagesgestirn überhaupt erst intensiver betrachten zu können. Es scheint, als ob Harriot die Sonne anfänglich immer nur kurz, und nahe am Horizont, wo ihre Helligkeit durch die Atmosphäre und/oder Dunst oder Nebel abgeschwächt wird, beobachtete. Harriot, dem nachgesagt wird, weder Ruhm noch wissenschaftliche Unsterblichkeit begehrt zu haben, publizierte keine seiner Beobachtungen. Erst posthum stieß man zufällig auf seine Beobachtungsbücher; in diesen finden sich etwa 200 Sonnenfleckenzeichnungen in der Zeit zwischen 18. Dezember 1610 und 28. Januar 1613 (julianisch).³² Ausgegraben wurden die Aufzeichnungen 1786 vom deutschen Astronomen von Zach; Wolf

³¹ Apertur 1 – 1.5 cm, 10-fache Vergrößerung

³² Im Internet sind die digitalisierten Beobachtungsbücher Harriots über das Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte allgemein zugänglich gemacht.

(1873) beschreibt die Umstände in einer seiner historischen Notizen. Rudolf Wolf griff schon in seinen frühen eigenen Sonnenfleckstudien auf die historisch wertvollen Harriot Daten zurück; in den 6. *Mitteilungen über Sonnenflecken* (Wolf 1858) beschreibt er unter anderem, wie er selbst an die Harriot-Unterlagen kam – schon damals war internationale Vernetzung ein Element erfolgreicher astronomischer Arbeit. Wolf war zwar bewusst, dass Harriot nicht die Ehre zuteil wird, als Erster Sonnenfleck durch ein Teleskop beobachtet und als astronomisches Thema erkannt zu haben, viel wichtiger war und ist jedoch sein Verdienst, der Nachwelt effektiv nutzbare Rohdaten in der Form seiner Beobachtungsskizzen hinterlassen zu haben. Diesen Dienst haben Johannes & David Fabricius aus Friesland, die heute als Erstbeobachter von Sonnenflecken zeichnen, der Nachwelt nicht erwiesen. Es war ein Tag im Dezember 1610, als Johannes Fabricius die Sonne kurz nach Sonnenaufgang direkt durch das Teleskop beobachtete.³³ Nach ersten direkten, wahrscheinlich schmerzhaften Beobachtungen wechselten Vater und Sohn Fabricius zu einer Camera Obscura als Beobachtungsgerät, um zu überprüfen, ob die im Teleskop gesehenen Flecken auf der Sonne real waren, d. h. ob sich das Erscheinungsbild reproduzieren ließ. Im Laufe der Beobachtungsreihe realisierten die beiden Herren Fabricius schon, dass die Bewegungsrichtung der Sonnenflecken gegen die Ekliptik geneigt war und dass die scheinbare Geschwindigkeit der Flecken am Sonnenrand (vgl. zur Scheibenmitte) kleiner wurde. Johannes Fabricius schätzte, dass ein großer Fleck (genügend lange Lebenszeit vorausgesetzt) 10 Tage brauchte, um nach dem Verschwinden am Westrand am Ostrand der Sonne wieder zu erscheinen. Leider wurden in der im Juni 1611 erschienenen Arbeit *De Maculis in Sole Observatis* die Beobachtungen nicht detailliert rapportiert. Die reine Prosaarbeit diskutiert lediglich die unbekannte Anzahl gemachter Beobachtungen, woraus auf jeden Fall korrekte Schlussfolgerungen gezogen wurden: Die beobachteten dunklen Flecken sind auf der Sonne selbst verankert, die Sonne ist fest und kugelförmig. Für die Rotation der Sonne verweist Fabricius auf Giordano Bruno und Kepler und verhindert so, sich selbst festlegen zu müssen.³⁴ Obwohl das Werk von Fabricius den Ruhm der Erstbeobachtung sicherte, bleibt es durch das gänzliche Fehlen expliziter Beobachtungsprotokolle oder Zeichnungen für die Wissenschaft von geringem Wert.

³³ Leider enthält *De Maculis in Sole Observatis* (Fabricius 1611), Seiten C2v – C3r, keine spezifischeren Zeitangaben.

³⁴ Aus Galilei et al. (2010) p. 31 – 32

Wolf (1877), der große Sonnenfleckenbeobachter und Wissenschaftshistoriker, spricht davon, dass erstmals im März 1611 auch der Jesuit Scheiner und sein Assistent Cysat in Ingolstadt mit einem Teleskop Sonnenflecken beobachtet hätten. Auf Grund des durch solche Behauptungen eingehandelten Ärgers mit der Kirchenhierarchie, nahm Scheiner seine Sonnenbeobachtungen aber erst im Oktober jenen Jahres wieder auf. Die Resultate sind in drei Briefen, zusammen publiziert als *Tres Epistolae de Maculis Solaribus* (Welser 1612b), an Marcus Welser, einen Mäzen und Gelehrten in Augsburg, gerichtet. Welser leitete die Informationen, gedruckt als Büchlein (Abb. 16), auch an Galilei weiter, woraufhin – wenig überraschend – einmal mehr ein Prioritäts- und ein Interpretationsstreit entflammten. Wo Galilei schon eine intrinsische Ursache auf der Sonne bevorzugte, wollte Scheiner das Phänomen noch mit die perfekte Sonne eng umlaufenden Trabanten interpretiert sehen. In den *Tres Epistolae* versteckte sich der Autor Scheiner denn auch hinter dem Pseudonym „Apelles“; erst im weiter unten erwähnten Monumentalwerk *Ursina Rosa* von 1630 löst Scheiner schließlich das Pseudonym-Rätsel um sich und seinen Assistenten Cysat auf.

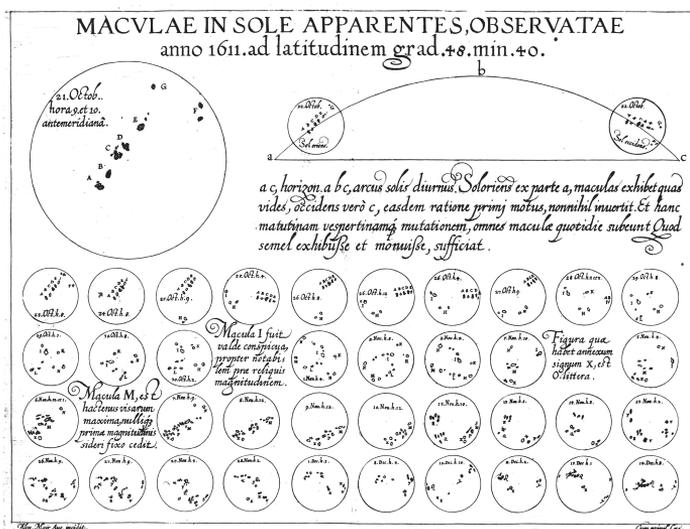


Abb. 16: Die berühmte Abbildung der Sonnenfleckenbeobachtungen Scheiners aus *Tres Epistolae*. In der ETH-Sammlung ist diese Illustration aus unbekanntem Grund im Vorspann der *Uranometria* von Bayer (1603) eingebunden.

Zur gleichen Zeit wie Galilei und Scheiner beobachtete in Franken Simon Marius mit Teleskop ausgerüstet Sonnenflecken, die Phasen der Venus und auch Jupitermonde. Da er aber nicht schnell genug publizierte und konfessionell nicht im gleichen Club wie Scheiner

spielte,³⁵ wurde er von Scheiner, der von den Beobachtungen Marius' wusste, nicht nur ignoriert, sondern gar des Plagiats bezichtigt. Marius sollte aber nicht Scheiners einzige Streitfront bleiben.

Galilei antwortete Welser umgehend auf dessen *Tres Epistolae*, aufklärend, dass er (Galilei) schon 18 Monate früher (also etwa im August 1610, damals noch in Padua) Sonnenflecken beobachtet, diese auch anderen Leuten vorgeführt, und die Bewegung dieser Flecken auf der Sonnenoberfläche verfolgt hätte. Die entbrannte Streiterei um die Sonnenflecken veranlasste Galilei (1613), das Werk *Istoria i dimostrazioni intorno alle macchie solari* herauszugeben. Die darin vorkommenden, als Radierungen ausgeführten Beobachtungszeichnungen der Sonnenoberfläche mit Flecken stammen aus dem Jahre 1612; es handelt sich wahrscheinlich um das Beobachtungsmaterial, auf das im Antwortbrief an Welser Bezug genommen wurde.³⁶ Die größeren Flecken und Gruppen zeigen schon durch Schraffur herausgearbeitete strukturelle Details, Penumbra und Umbra werden klar unterschieden. Die Beobachtungsfolge ist dicht genug, um die Bewegung auf der Sonnenscheibe (d. h. die Rotation der Sonne) und die intrinsische Veränderung der Flecken und Fleckengruppen zeitlich nachvollziehen zu können. Die auch heute noch modern anmutende grafische Qualität der frühen Fleckenzeichnungen mit ihren beinahe fotorealistischen, fein ziselierten Penumbren (exzellent als Kupferstiche ausgeführt) ist ein Beleg mehr für das geschulte Auge Galileis und seine kunsthandwerkliche Fähigkeit, Beobachtetes auf Papier zu bringen.

Später im Jahr 1612 veröffentlichte Welser (1612a) für Scheiner einen weiteren Satz von Briefen zu den Sonnenflecken (bekannt unter der Abkürzung *Accuratio*), worin längere Beobachtungsreihen aus Frühling und Frühsommer jenes Jahres einbezogen wurden. Wenn auch die grafische Qualität der Fleckendarstellungen nicht merklich besser war als in den *Tres Epistolae*, war in den neuen Fleckenillustrationen auf den dargestellten einzelnen Sonnenscheiben der Verlauf der Ekliptik eingetragen; eine Korrelation von Sonnenfleckenlage und Verlauf der Ekliptik ist erkennbar. Der Ausdruck *Accuratio* bezieht sich also wohl eher auf die Argumentationskette, dass die Flecken real waren, und nicht auf das Beobachtungsmaterial per se. Die ersten vier Sonnenzeichnungen der in Abb. 17 gezeigten Tafel enthalten nebst Ekliptik noch eine leicht dagegen geneigte, nicht zentral verlaufende Linie, entlang derer Scheiner zwischen 10. und 12. Dezember 1611

³⁵ Siehe Blatt G4^v des Anhangs zu *Mundus Iovialis*, wo Marius schreibt: „[...] indem er mich als Calvinisten beschimpft, der ich niemals gewesen bin. [...]“ (Gaab & Leich 2014)

³⁶ In der sich in der ETH-Bibliothek befindlichen Erstausgabe sind die Sonnenfleckenbilder herausgeschnitten. Die ETH-Bibliothek besitzt jedoch ein vollständiges Exemplar des Nachdrucks aus dem Jahr 1655.

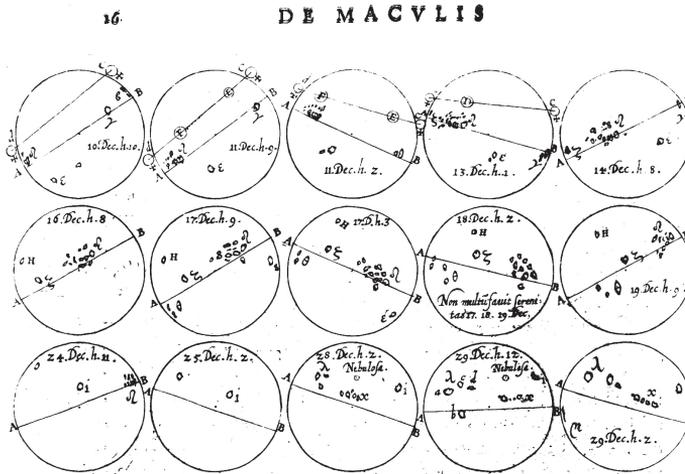


Abb. 17: Ausschnitt aus der Fleckenillustration auf Seite 16 in *Accuratio* von Welser (1612a)

die Venus während etwa 45 Stunden in ihrer oberen Konjunktion erwartete. Dass Scheiner das vorhergesagte Ereignis nicht als Transit, sondern als Bedeckung beobachtete (wobei während und in der Nähe der Bedeckung die Venus eben *nicht* sichtbar ist), bewog ihn zur Interpretation, dass Venus um die Sonne kreise, da sie während der Konjunktion „über“ ihr stand. Nach heutigem Wissensstand passierte Venus die Sonne nicht, wie in den ersten vier Sonnenscheiben von Abb. 17 angedeutet, nördlich der Ekliptiklinie (d. h. auf der *oberen* Sonnenhälfte der Zeichnungen), sondern südlich davon. Zudem hat die Venusbahn in den Zeichnungen auch die falsche Neigung. Mit modernen Ephemeriden findet sich eine Zunahme des Abstandes der Venus von der Ekliptik von Westen gegen Osten (am Austritt aus der Sonnenscheibe links müsste der Abstand von Venus zur Ekliptik korrekterweise größer als beim Eintritt auf der rechten Seite sein). Nichtsdestotrotz ist die Genauigkeit der Himmelsmechanik zur damaligen Zeit beachtlich, denn die Konjunktion von Venus innerhalb eines Sonnendurchmessers, d. h. mit einem Fehler von weniger als einem halben Grad, war korrekt vorausgesagt; lediglich das Weltbild passte noch nicht.

Auch wenn die Fleckenzeichnungen im *Accuratio* nicht sonderlich detailreich sind, so fügt Scheiner doch noch ausführliche Beschreibungen des Phänomens hinzu, die belegen, dass er schon 1611 Optik von genügender Qualität besaß, um damit Details *in* den Flecken zu

erkennen. Scheiner beschreibt zudem auch schon die Methode der Projektion der durch das Teleskop vergrößerten Sonnenscheibe auf eine Wand bzw. auf Papier; dies jedoch nicht, um die Flecken besser zeichnen zu können, sondern um damit optische Fehler in der Linse besser zu erkennen und auszuschließen, dass diese die Ursache von Flecken auf der Sonnenscheibe sind (siehe dazu Biagioli 2002).

Zumindest einen positiven Nebeneffekt hatte die Streiterei zwischen Galilei und Scheiner: Den Sonnenflecken wurde dadurch viel Aufmerksamkeit zuteil, so dass der Nachwelt mehr detailliertes Beobachtungsmaterial überliefert wurde, als es wohl sonst der Fall gewesen wäre. Aus dem Jahrzehnte dauernden Gezänk zwischen Galilei und Scheiner, aber auch zwischen anderen Parteien, entnehmen wir detailliert belegt, dass in der Wissenschaft schon seit Langem mit harten Bandagen um schlussendlich nebensächlich Persönliches gekämpft wird.

Ein Opus magnum, das die frühen Sonnenfleckstudien ausgesprochen reich illustrierte, ist die *Ursina Rosa* (Scheiner 1630), deren aufwändiger Druck alleine vier Jahre in Anspruch nahm. Scheiner fasste darin seine umfangreichen Beobachtungsreihen der Sonne der vorangegangenen grob 15 Jahre zusammen und illustrierte dazu die Arbeitsweise, mit der die Resultate gewonnen wurden. Beobachteten Scheiner und seine Assistenten anfänglich noch direkt durch das Teleskop (das Sonnenlicht bei Beobachtung in Horizontnähe entweder durch die Erdatmosphäre abschwächend oder dann durch Verwendung von Farbgläsern), so setzte sich bald die für Serienproduktion von Bildern angebrachtere, auch von Galilei früh praktizierte Projektionsmethode durch. Eine der technischen Illustrationen (Abb. 18) in der *Ursina Rosa* zeigt eine der frühesten Darstellungen eines parallaktisch aufgestellten Teleskops, eines „Heliotropii Telioscopici“ (Helioskop),³⁷ mit dem das Anfertigen von Sonnenfleckzeichnungen erheblich erleichtert wurde. Bei der korrekten Aufstellung einer parallaktischen Montierung muss nämlich die scheinbare Bewegung eines Himmelsobjekts nur noch in einer Achse kompensiert werden. Im Gegensatz zur horizontalen Aufstellung eines Teleskops ist jedoch die parallaktische Ausrichtung, d. h. die Ausrichtung einer Achse parallel zur Erdachse aufwändiger. Noch heute wird diese Aufgabe, die oft bei portablen Amateurinstrumenten anfällt, salopp als „scheinern“ bezeichnet. Einzig der Strahlengang des Sonnenlichts durch das Dach

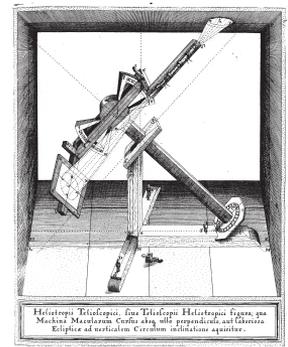


Abb. 18: Eine der frühesten Illustrationen parallaktischer Aufstellung eines Teleskops, hier am Beispiel von Scheiners Helioskop (Scheiner 1630)

³⁷ Ein auf die Sonnenbeobachtung spezialisiertes Teleskop

der in Abb. 18 abgebildeten Kiste macht keinen praktischen Sinn. Um dem Gang der Sonne während eines Tages zu folgen, bedarf es mehr als eines Loches im Dach des möglichst abgedunkelten Arbeitsplatzes.

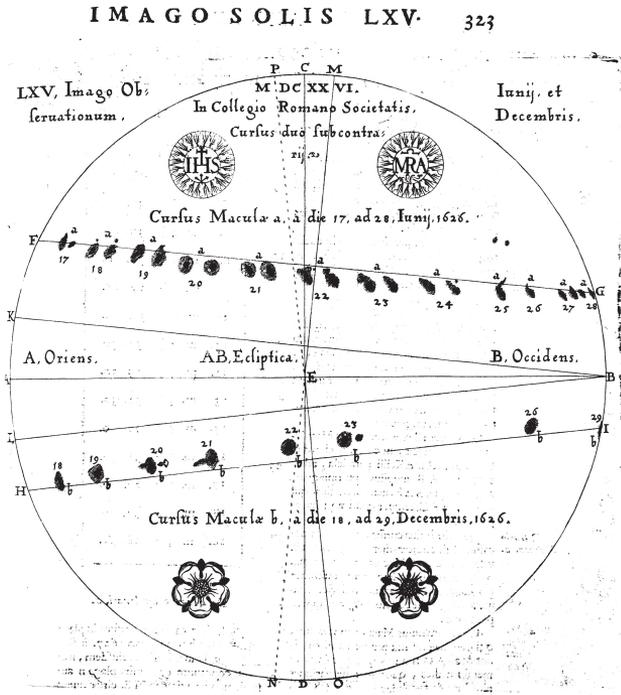


Abb. 19: Eine der vielen – abgesehen von den illuminierenden Devotionalien – modern anmutenden Illustrationen von Sonnenflecken aus der *Rosa Ursina*. Auf der Sonnenscheibe verzeichnet sind zwei um etwa ein halbes Jahr versetzte Zeitreihen von Fleckenbeobachtungen von der Dauer von jeweils etwa zehn Tagen (Scheiner 1630).

Scheiners Beobachtungsreihen der Sonnenflecken machten ihm schon klar, dass die Sonnenachse etwa 7 Grad gegen die Ekliptik geneigt ist (die Verbindungslinie zwischen A und B in Abb. 19). Mehrere Illustrationen in der *Ursina Rosa* zeigen diesen Sachverhalt eindrücklich, indem Scheiner rund ein halbes Jahr auseinander liegende Beobachtungssequenzen von Fleckengruppen auf *einem* Bild der Sonnenscheibe zusammenfasste. Die in Abb. 19 gezeigte Darstellung ergäbe sich also, wenn Fleckenzeichnungen der einzelnen Daten auf durchsichtigem Untergrund übereinandergelegt würden, wobei die Sonnenscheiben alle korrekt auszurichten sind, so dass alle Ekliptiklinien A – B (die in einer parallaktischen Aufstellung einfach auszumachen sind) übereinander zu liegen kommen. Die Sonnenscheibe in Abb. 19 enthält zwei Zeitreihen von Sonnenfleckenbeobachtungen;

auf der oberen Hälfte eine vom 17. bis 28. Juni 1626, auf der unteren Hälfte die Bewegung einer Fleckengruppe ein halbes Jahr später, zwischen 10. und 29. Dezember 1626. Die unterschiedlich geneigten Verbindungslinien zeigen, dass die Rotationsachse der Sonne gegen die Ekliptik geneigt ist. In den einzelnen Flecken sind jeweils Umbra und Penumbra detailliert herausgearbeitet. Auch die topologische Veränderung der Flecken/Fleckengruppen über einige Tage hinweg ist akkurat illustriert. Dass die Fleckengruppen im Juni auf der Nordhalbkugel und im Dezember auf der Südhalbkugel der Sonne liegen, ist Zufall, möglicherweise auch speziell so herausgegriffen, um den Sachverhalt der Neigung der Sonnenachse gegen die Ekliptik grafisch prägnanter herauszustreichen.

Auch die *Selenographia* von Hevelius (1647) enthält an Scheiner erinnernde Darstellungen von Zeitreihen, die die Entwicklung von Sonnenflecken auf der Sonnenscheibe dokumentieren. Der Instrumententeil der *Selenographia* illustriert den technischen Aufbau, mit dem die Sonnenzeichnungen per Projektionsmethode angefertigt wurden. Offenbar hatte Hevelius eine eigene abgedunkelte Beobachtungshütte, in der das Fernrohr durch eine Wandöffnung geführt wurde. Falls er den Aufbau wirklich so bewerkstelligte, war das zeichentechnisch zwar hilfreich, beobachtungstechnisch jedoch ein Albtraum: Die scheinbare Sonnenbewegung bedingt ja, dass schon während der Anfertigung einer Zeichnung das Teleskop – wie auch das Papier – korrekt bewegt werden müssen, um die Bewegung des Gestirns am Himmel zu kompensieren. Wie immer die Zeichnungen schlussendlich entstanden, die Flecken mit Umbra und Penumbra wurden sehr aufwändig und detailreich aufgezeichnet. Die wiederum fast schon fotorealistischen Stiche sind zudem ganz auf Wissenschaft beschränkt, das heißt frei von Widmungen und Huldigungen; ein Vorteil derer, die sich ihre Bücher selbst finanzieren konnten und nicht um finanzielle Gunst Oberer buhlen mussten.³⁸

Auffällig in vielen frühen Illustrationen von Sonnenflecken ist deren scheinbare Größe relativ zur Sonnenscheibe. Flecken der Größe wie in Abb. 19 oder noch größere wie in Hevelius (1647) abgebildet wären unter Umständen schon mit bloßem Auge sichtbar. Hevelius' Beobachtungen aus den Jahren 1642 bis 1644 entstanden jedoch kurz vor dem Beginn der praktisch fleckenfreien Phase des Maunder-Minimums der Sonnenaktivität; es ist unwahrscheinlich, dass noch

³⁸ Scheiners Hoffnung mit *Ursina Rosa* einen wissenschaftlichen und finanziellen Erfolg zu erzielen erfüllte sich nicht. Bis an sein Lebensende scheinen ihn die monetären Folgen seines aufwändig gestalteten Werks belastet zu haben (Galilei et al. 2010).

so kurz davor dermaßen große Fleckenkomplexe auf der Sonne auftauchten. So beschleicht einen bei den zwar eindrücklichen Bildern der Sonnenflecken doch der Verdacht, dass zugunsten des grafischen Eindrucks hin und wieder bei der Größe des Phänomens übertrieben wurde.

Sternkarten

Um sich mit den Objekten seiner Forschung überhaupt systematisch beschäftigen zu können, ist, unabhängig vom Fachgebiet, als Erstes einmal eine Bestandsaufnahme des Forschungsgegenstandes vorzunehmen. In der Astronomie kommt dazu, dass die Himmelsobjekte auch kartografisch erfasst werden müssen, auf dass sinnvoll darüber kommuniziert werden kann. Da sich aber die Objekte am Himmel scheinbar bewegen, sich nicht nur im Tageslauf, sondern zusätzlich auch noch im Laufe des Jahres verschieben, stellte die Inventarisierung des Himmels von Anfang an hohe Ansprüche an die Vorgehensweisen. Vor diesem Hintergrund ist verständlich, dass die Himmelskartografie über lange Zeit hinweg eine wichtige astronomische Aufgabe darstellte, die aufwändiger und langwieriger Arbeiten bedurfte. Zumindest war vor dem Einsetzen der technologischen Entwicklung optischer Hilfsgeräte die Zahl buchhalterisch zu erfassender Objekte noch übersichtlich.

DIE STERNBILDER entstanden wohl zur Erleichterung der Orientierung und der Kommunikation von Erscheinungen am Himmel; sie sind menschliche Konstrukte und unterscheiden sich somit je nach Kulturkreis. Durchgesetzt haben sich die in der westlichen Zivilisation eingebürgerten, ausgehend von vor etwa dreitausend Jahren in den mesopotamischen Kulturen entstandenen (siehe etwa Hunger & Pingree 1999; Barentine 2016a).

Das berühmteste frühe Zeugnis inventarisierender Himmelsarbeit ist wohl die *Mathematike Syntaxis* von Claudius Ptolemäus, worin er in der Mitte des 2. Jahrhunderts enzyklopädisch das astronomische Wissen des Altertums zusammenfasste. In der westlichen Welt wurde das Werk, angelehnt an seine arabische Benennung *al-magisti*, als *Almagest* berühmt. Aus Ermangelung jeglicher Darstellung des Sternhimmels, dürfte uns dieses Werk an dieser Stelle gar nicht aufgefallen sein; da es aber den klassischen Kanon der Sternbilder und die heute

noch gebräuchliche (unterdessen auch physikalisch untermauerte) Helligkeitsskala in die westliche Welt brachte und für über ein Millennium hinweg das Maß der Dinge war, soll es kurz erwähnt werden: Ein lateinischer Abriss der ursprünglichen ptolemäischen *Syntaxis*, versehen mit eigenen Kommentaren, wurde von Regiomontanus (1496) veröffentlicht. Eine vollständige lateinische Übersetzung des *Almagest* erschien schließlich 1515 (Ptolemaeus 1515).³⁹ Im Druckwerk wird der Name des Übersetzers nirgendwo erwähnt. Selbst heute noch lesenswerte Analysen zur Provenienz dieser Übersetzung finden sich im Artikel von Baily (1843). Eigentlich betreffen nur Buch VII und VIII des *Almagest* den berühmten Sternkatalog: Die tabellarische Auflistung enthält 1028 Einträge von Himmelsobjekten in den 48 mesopotamisch-griechischen Sternbildern.⁴⁰ Drei Sterne sind absichtlich doppelt aufgeführt, da sie als je zwei Sternbildern zugehörig betrachtet wurden. Drei Objekte bezeichnen Sternhaufen (η / χ Persei, M44 und ω Centauri), bei den Sternen 18 und 20 in Cetus („Walfisch“) wird noch immer debattiert, ob es sich dabei eigentlich um Dubletten der Sterne 17 und 19 Cetus handelt. Auf jeden Fall enthält der Katalog mindestens 1020 unterschiedliche Sterne.⁴¹

Die *Uranometria* von Bayer (1603) gilt aufgrund der (noch heute gebräuchlichen) Benennungssystematik der etwa 1700 hellsten Sterne und wohl aufgrund ihrer teils schon fast barocken und zum Teil ins bizarre tendierenden figürlichen Ausschmückungen der 48 ptolemäischen Sternbilder als eines der großen astronomischen Kartenwerke der Frühen Neuzeit. Auch ist den einzelnen Karten ein Koordinatensystem unterlegt, so dass Objekte am Himmel eindeutig mit Zahlenpaaren, und nicht mehr nur verbal vergleichend beschrieben werden konnten. Zwei Stiche der *Uranometria* zeigen je die Milchstraße und die Sterne der nördlichen und südlichen Himmelshalbkugel in stereografischer Polarprojektion. Ein zusätzlicher Kupferstich präsentiert zwölf damals neue, nicht im *Almagest* enthaltene Sternbilder am Südhimmel, die durch die auf den südlichen Meeren verkehrenden Seefahrer nach Europa gelangten. Was noch heute an die *Uranometria* erinnert, sind die bayerschen Sternbezeichnungen: In jedem Sternbild werden den hellsten, mit bloßem Auge sichtbaren Sternen griechische Buchstaben zugewiesen. So heißt also der hellste Stern im Sternbild Andromeda α Andromedae, der zweithellste β Andromedae, und so weiter. Da im *Almagest* nur ganzzahlige Helligkeitswerte existieren

³⁹ Sowohl das Epitom von Regiomontanus wie auch die *Almagest*-Ausgabe von 1515 sind in der ETH-Bibliothek vorhanden.

⁴⁰ Zwölf der Sternbilder bilden den heute noch gebräuchlichen Zodiak entlang der Ekliptik; 21 Sternbilder decken darüber die nördliche Hemisphäre ab. Südlich des Zodiaks liegen 15 Sternbilder und ein ursprünglich nicht kartierter Bereich, der den antiken Beobachtern nicht zugänglich war.

⁴¹ Die rund 1000 Sterne bis zur 6. Größenklasse, also der bestenfalls von bloßem Auge sichtbaren sind nur eine Auswahl der tatsächlichen Zahl. In den *Almagest* schafften es nur diejenigen Sterne, die sich auch in die Sternbilder einbauen ließen.

und somit ein Sternbild mehrere Sterne gleicher Helligkeit besitzen kann, werden in der *Uranometria* bei solch einem Dilemma die Benennungen in Richtung West nach Ost am Himmel vergeben. Die beiden Regeln fanden, wie immer wenn die Realität dazwischenfunkt, oft Anwendung. Fälle, in denen weder die eine noch die andere eingehalten wurde, finden sich aber häufig, so wie Dubletten, die sich auch in diesen Katalog einschlichen. Waren in ausgedehnten, mit vielen hellen Sternen bestückten Sternbildern die griechischen Buchstaben einmal aufgebraucht, griff Bayer auf das lateinische Alphabet zurück, beginnend mit A. Das Sternbild des Herkules mit seinen insgesamt 49 in der *Uranometria* gelisteten Himmelsobjekten benötigte, als einziges Sternbild, zusätzlich auch noch das gesamte lateinische Alphabet.⁴² Schon die Auswahl der Sterne der in den Tafeln definierten klassischen Sternbilder macht klar, dass der *Almagest* Bayers Ausgangspunkt für seinen Atlas darstellte. Die Himmelskoordinaten wurden auf das Äquinoktium von 1600 angepasst, dies mit Tycho Brahes Vorarbeit für dessen eigenes Projekt *Astronomiæ instauratæ progymnasmata* (Brahe 1610)⁴³; die zugrunde liegenden astronomischen Daten waren in handschriftlicher Form schon Jahre vor Drucklegung im Umlauf.

⁴² Bayer begann das lateinische Alphabet mit A, fuhr danach aber mit Kleinbuchstaben weiter. Die lateinischen Buchstaben j und v wurden in den Benennungen nicht verwendet.

⁴³ Tycho Brahe starb 1601. Kepler brachte posthum, 1602/03, die vollständige Version der *progymnasmata* heraus.

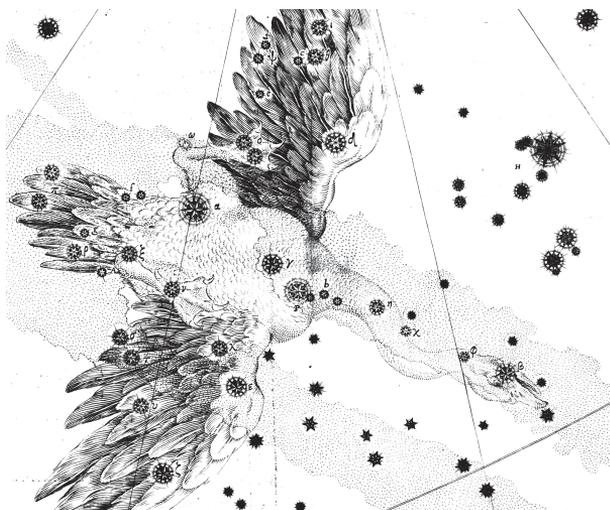


Abb. 20: Darstellung des Sternbildes des Schwans in der *Uranometria*. Die beiden im Text erwähnten Sterne sind P Cygni in der Brust und χ Cygni im Hals des Vogels.

Beispielhaft sei aus der *Uranometria* das Sternbild des Schwans herausgegriffen (Abb. 20); zu jedem anderen Sternbild lässt sich sicherlich ähnlich Lehrreiches wie auch Kurioses erzählen. So findet sich etwa

auf der Brust, beim Halsansatz des Schwans ein Stern mit der Bezeichnung „P“; dieser Stern tauchte in keinem der vor der *Uranometria* verwendeten Kataloge auf und gehört so zu den rund 500 zusätzlichen von Bayer selbst in seinen Sternkatalog eingeführten Sternen. Moderne Beobachtungen über die vergangenen Jahrzehnte hinweg zeigen P Cygni als Stern von etwa fünfter Größenklasse am Himmel, er ist also, speziell bei der heute vorherrschenden Lichtverschmutzung, bestenfalls nur noch knapp ohne optische Hilfe auffindbar. Aus heutiger Sicht ist P Cygni also kein sich aufdrängender Stern für einen Sternkatalog bestehend aus nur mit bloßem Auge sichtbaren Objekten. Aus nach wie vor unverstandenen astrophysikalischen Gründen durchlief P Cygni in den Jahren nach 1600 jedoch einen Helligkeitsausbruch, der bis in die 1620er Jahre andauerte,⁴⁴ und ihn mit der dabei erreichten etwa dritten Größenklasse als relativ hellen Stern am Himmel erscheinen ließ. Durch diese visuelle Prominenz erfuhr er auch ein gewisses Interesse als „Nova stella“ (siehe etwa Kepler 1606). Astronomiegeschichtlich interessant, speziell unter dem Gesichtspunkt der (fehlenden) Erkenntnis, dass Sterne auch veränderlich sein können, ist auch die Nachbarschaft von P Cygni: Der Stern χ Cygni, der zwar im besten Fall etwa vierte Größenklasse erreicht, fehlt im *Almagest*, ist aber in der *Uranometria* verzeichnet. Dies verwundert, da χ Cygni nur während weniger Wochen jeweils hell genug scheint, um mit bloßem Auge gesehen zu werden, danach verschwindet er jeweils wieder für etwa ein Jahr. Es ist auch nicht selten, dass χ Cygni während einiger Jahre gar nie hell genug wird, um mit bloßem Auge erkennbar zu sein. Dies schien zu Zeiten von Bayer nicht so weit ins Bewusstsein gerückt zu sein, dass es einer Bemerkung würdig gewesen wäre. Als veränderlicher Stern, der seine Helligkeit zyklisch verändert, wurde χ Cygni erst 1686 von Gottfried Kirch identifiziert.⁴⁵ Ähnlich erging es in jener Zeit auch anderen veränderlichen Sternen (Hoskin 1977).

Über die heidnischen Sternbilder enervierte sich der Augustinermönch Johann Schiller, ein Kollege Bayers, dermaßen, dass er keinen Aufwand scheute, den gesamten Himmel zu christianisieren und dazu einen aufwändig gestalteten Himmelsatlas, den *Coelum stellatum christianum*, drucken zu lassen (Schiller 1627). Numerologisch naheliegender mutierten die zwölf Tierkreiszeichen zu den zwölf Aposteln. Interessanter hingegen ist, dass aus dem Schlangenträger Papst Benedikt wurde, der große Hund zu König David mutierte, und der Paradiesvo-

⁴⁴ Siehe etwa Riccioli (1651) Libri VIII, Sectio II, Caput XII, wobei genaue Daten nicht angegeben sind. Danach verschwand der Stern für das bloße Auge und war gemäß Riccioli in den 1640er Jahren nicht sichtbar.

⁴⁵ Der Stern χ Cygni ist ein sogenannter Veränderlicher vom Typ Mira; ein pulsierender roter Riese mit einer Lichtwechselperiode von etwa 408 Tagen.

gel neu als Eva erstrahlte, um nur wenige der Neuinterpretationen zu erwähnen. Im Gegensatz zur *Uranometria* verschwand jedoch Schillers Kuriosum bald wieder in der Versenkung.

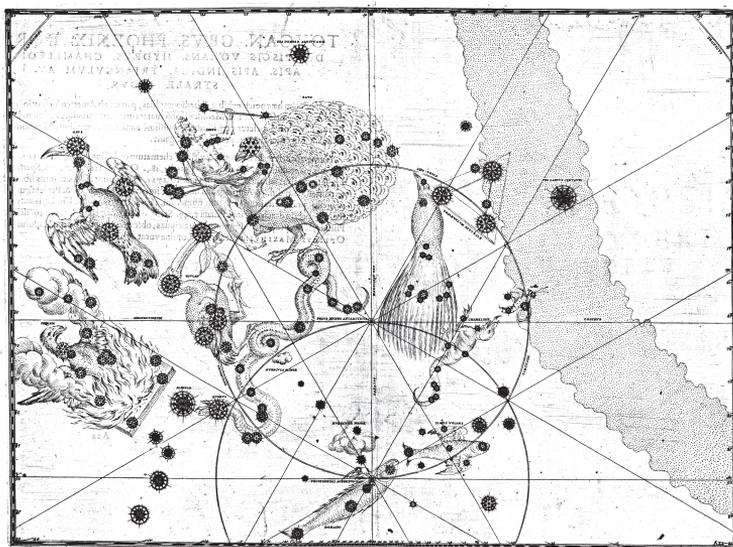


Abb. 21: Karte Aaa mit dem fragmentarischen Kenntnisstand des Südhimmels, wie er in die *Uranometria* einging. Die äquatoriale Azimutal-Projektion zeigt den südlichen Himmelspol etwas unterhalb der Mitte des Kartenblatts (wahrscheinlich damit an den oberen Blattecken zumindest kleine Stücke des südlichen Wendekreises sichtbar bleiben). Um 23.5 Grad zum Himmels südpol versetzt ist der ekliptikale Südpol im Körper des Goldfisches (Dorado) verzeichnet; kartografisch inkorrekt sind die davon ausgehenden geraden Strahlen, die korrekterweise gekrümmt zu verlaufen haben.

DER SÜDHIMMEL, zumindest der dem Mittelmeerraum und Europa nicht zugängliche Teil, blieb bis Ende des 16. Jahrhunderts sternbildliche terra incognita. Erst die die Meere auf der südlichen Hemisphäre befahrenden holländischen Seeleute wurden angewiesen, Informationen über die im Süden sichtbaren Sterne heimzubringen, die dann auch schnell Eingang auf Himmelsgloben fanden. Die neuen Daten aus Holland mögen denn auch die Quellen gewesen sein, derer Bayer sich bediente, als er der *Uranometria* die Karte Aaa (siehe Abb. 21) mit weit südlich gelegenen Sternen und Sternbildern hinzufügte (Ridpath 2014). Im Gegensatz zu den wenig zugänglichen Himmelsgloben wurden durch das Druckwerk die Sterne im tiefen Süden des Himmels einer breiteren Interessengruppe zugänglich gemacht. Karte Aaa enthält insgesamt 136 davor nicht katalogisierte Sterne, wobei 121 davon in 12 neue Sternbilder verteilt wurden. Die Sternbildnamen sind im Wesentlichen noch heute im Gebrauch, wenn auch Lage und Ausdehnung der Konstellationen am Himmel verändert wurden. So wird etwa das Sternbild Apis (Biene) heute als Musca (Fliege) geführt;

das an den Himmel projizierte Wesen sollte wohl die Liebblingsspeise des dahinter platzierten Chamäleons darstellen. Vermutlich hatte Bayer beim Umkopieren der Information von Sterngloben⁴⁶ in seine Sternkarten die Hintergründe nicht verstanden und lediglich die grafische Form interpretiert. Ganz in diesem Sinne ließe sich dann auch das seltsame Aussehen des Chamäleons verstehen, das das Sternbild auf der Bayer-Karte illustrieren soll; eines von mehreren Tieren, das den Kupferstechern wohl nur vom Hörensagen bekannt war. Das Sternbild Apis Indica (der Paradiesvogel) trägt heute den offiziellen Namen Apus. Das bayerische *Apis* ist wahrscheinlich ein Schreibfehler und sollte eigentlich *Avis* (Vogel) heißen. Nichtsdestotrotz behauptete sich die ursprüngliche Bezeichnung etwa zwei Jahrhunderte bevor sich die korrekte Benennung durchsetzte. Hydrus, die Wasserschlange, hat verglichen mit der Darstellung auf Blatt Aaa (Abb. 21) heute einen wesentlich anderen Verlauf am Himmel und wurde zudem erheblich beschnitten. Interessant ist die Illustration der Kleinen Magellanschen Wolke (Nubecula Minor) als kleine cumulusartige Wolke neben dem Schlangenkörper links der Kartenmitte.⁴⁷ Der Stern links oberhalb von Nubecula Minor ist somit mit dem mit bloßem Auge gut erkennbaren Kugelsternhaufen 47 Tucanae zu identifizieren. Das gleiche Schicksal der Missinterpretation widerfuhr lang davor schon dem Kugelsternhaufen ω Cen sowie den offenen Sternhaufen Praesepe und h/χ Perseï, die alle im *Almagest* als Sterne katalogisiert wurden. Zu guter Letzt ist auf Blatt Aaa der zwischen der Großen Magellanschen Wolke und dem ekliptikalen Südpol eingezeichnete Stern lediglich mit einem nichtstellaren Objekt zu erklären, in diesem Fall mit dem hellen Emissionsnebel, heute als 30 Doradus oder Tarantelnebel bekannt.

An das bayerische Benennungssystem der Sterne mittels griechischen Buchstaben und dem Sternbildnamen wurden die südlichsten Teile des Himmels erst Mitte des 18. Jahrhunderts angehängt. Dies nachdem schließlich ein Großteil des Südhimmels auch noch mit neuen Sternbildern parkettiert war. In den Jahren 1751 und 1752 kartierte der französische Astrom de La Caille in Südafrika, am Kap der Guten Hoffnung, den Südhimmel mit bescheidenem Instrumentarium. Innerhalb eines Jahres vermaß er mit seinem an einem Quadranten montierten 1/2-Zoll-Fernrohr die Positionen von knapp 10 000 Sternen. Die 1930 als mit bloßem Auge sichtbar ausgewiesenen Sterne südlich des Wendekreises des Steinbocks verzeichnete de La Caille in

⁴⁶ Die ungenauen Helligkeiten und die lediglich groben Positionen der Sterne auf Blatt Aaa geben Anlass zur Vermutung, dass Bayer nicht mit Tabellen arbeitete sondern seine Stern-Informationen direkt von Sterngloben übernahm (Ridpath 2014).

⁴⁷ Die Große Magellansche Wolke (Nubecula Major) erscheint auf der Karte Aaa in der Nähe des ekliptikalen Südpols, dem zweiten scheinbaren Zentrum im unteren Bereich des Kartenblatts. Die südliche Milchstraße zieht sich strukturlos als graues, ausgefranztes Band durch die rechte Blathälfte.

einer Sternkarte, die posthum als *Coelum australe stelliferum* (La Caille 1763) veröffentlicht wurde und 14 neue, heute noch gebräuchliche Sternbilder enthielt.

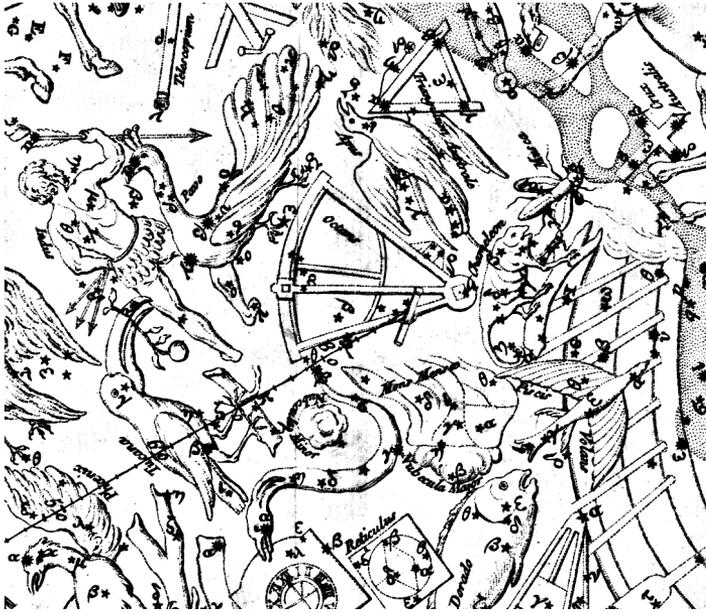


Abb. 22: Die Sternbilder um den Himmelsüdpol, wie sie de La Caille um 1750 herum einteilte; im *Coelum australe* sind sie mit ihren lateinischen Benennungen und den griechischen Bezeichnungen der hellen Sterne abgedruckt. Selbst die exotischen Tiere sind unterdessen weniger phantastisch, das heißt naturalistischer dargestellt.

Abb. 22 zeigt, dass verglichen mit Abb. 21 um 1750 herum die meisten hellen Sterne des Südhimmels schließlich auf Sternbilder verteilt waren. Auch wenn es nur durch relativ schwache Sterne markiert ist, so ist doch bemerkenswert, dass dem Naturschauspiel der häufig über den Tafelberg strömenden Nebeldecke durch de La Caille am Himmel mit dem Sternbild Mons Mensae, heute einfach nur Mensa genannt, die Ehre erwiesen wurde. In jener Zeit, mit ihren in schneller Folge gemachten technischen Erfindungen, fanden einige dieser Errungenschaften ihren Weg an den Himmel – also quasi als die neuen Götter der Frühmoderne: die Luftpumpe (Antila), der Brennofen (Fornax), das Mikroskop (Microscopium), die Pendeluhr (Horologium), um nur einige zu erwähnen.

Der letzte große, ohne optische Hilfsmittel erstellte Sternkatalog war der *Catalogus Stellarum Fixarum* mit 1564 Sternen, der posthum im Werk *Prodromus Astronomiæ* (Hevelius 1690) zusammen mit dem entsprechenden Sternatlas *Firmamentum Sobiescianum* gedruckt wurde.



Nicht nachvollziehbar ist die Tatsache, dass der Autor, selbst Bauer und Besitzer der größten damaligen Teleskope, noch einmal einen Katalog erstellte, der ausschließlich auf Messungen mit bloßem Auge beruhte. Das schwülstige Frontispiz (Abb. 23) lässt den Verdacht aufkommen, der Autor habe sich damit selbst ein Denkmal setzen wollen, indem er bewies, es mit den alten großen Himmelsdurchmusterern,⁴⁸ speziell Tycho, mit dessen Sternkatalog er seine eigenen Messungen im *Catalogus Stellarum Fixarum* verglich, aufnehmen zu können. Die mit bloßem Auge sichtbaren Sterne des Nordhimmels wurden noch durchgängiger mit Sternbildern abgedeckt; dazu fügte Hevelius zehn vornehmlich aus schwachen Sternen bestehende Sternbilder hinzu, von denen aber nur sieben heute noch verwendet werden. Betrachtet man die Karten genauer und vergleicht sie etwa mit den Bayerschen, so fällt auf, dass die die Helligkeit repräsentierenden Größen der Sternsymbole recht ungenau sind, so dass der Vergleich von am Himmel erkennbaren Asterismen mit den Atlaseinträgen auch ohne die überaus üppigen figürlichen Interpretationen des gestirnten Himmels schwierig ist. Hinzu kommt, dass die Himmelsdarstellung im *Firmamentum*

Abb. 23: Hevelius, im Vordergrund mit sobieskianischem Schild und Sextant, Urania und den berühmten Astronomen seine neuen Sternbilder (ihm folgend, metaphorisch dargestellt) per *Catalogus Stellarum Fixarum* darbringend. Unter schweren Wolken zeigt sich die Skyline von Danzig, wo Hevelius seine Beobachtungsplattformen unterhielt.

⁴⁸ In der oberen Blatthälfte von Abb. 23 beachte man die Garde der Koryphäen zu beiden Seiten von Urania.

Sobiescianum seitenverkehrt ist, d. h. es wurde die Sichtweise eines von außen auf die Himmelskugel Schauenden gewählt, wodurch ein einfaches, direktes Arbeiten mit den Karten erschwert bis verunmöglicht wird. Alleine schon dieser letzte Aspekt dürfte bei den Beobachtern wenig zur Popularität des Kartenwerks beigetragen haben.

Die beiden Übersichtskarten (Planisphären) des Sternatlanten sind in ekliptikalen Koordinaten dargestellt, so dass auf der Karte des Nordhimmels der Polarstern nicht im Kreiszentrum steht. Dementsprechend ist auch der Himmelssüdpol nicht im Zentrum des den Südhimmel abdeckenden Kreises. Das Zentralgebiet der Süd-Karte wird nach wie vor durch das große, noch nicht unterteilte Sternbild des Argo Navis ausgefüllt; abgesehen davon ist der Südhimmel sternbildlich nach wie vor so schwach besiedelt wie zu Zeiten Bayers. Die Informationen zu den nicht von Danzig aus sichtbaren, und somit nicht von Hevelius selbst vermessbaren Sternen des tiefen Südens müssen also aus schon existierenden Katalogen übernommen worden sein, ohne dass sich der Autor jedoch explizit dazu äußert.

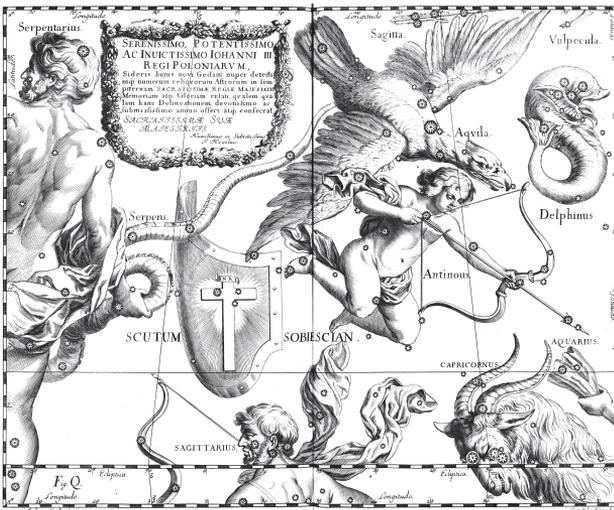


Abb. 24: Atlantenblatt aus *Firmamentum Sobiescianum* mit dem von Hevelius eingeführten Sternbild *Scutum Sobiescian[um]* inklusive ausführlicher Huldigung des damals amtierenden polnischen Königs

Dass Hevelius in *Prodromus Astronomiae* nicht nur pragmatische Ziele verfolgte, geht schon aus der Benennung des Sternatlanten als *Firmamentum Sobiescianum* hervor und zeigt sich noch einmal deutlich beim von ihm eingeführten Sternbild *Scutum Sobiescian[um]* (Abb. 24), dem Schild des polnischen Königs Jan III.

Sobieski, das dieser angeblich beim Kampf gegen die Wien belagernden Türken auf dem Felde getragen haben soll.

Die ausgeprägte himmlische Majestätsverehrung durch Hevelius muss vor dem Hintergrund königlicher Zuwendungen, speziell monetärer Hilfe beim Wiederaufbau des 1679 durch ein Feuer zerstörten Observatoriums gesehen werden. Wie beeindruckt der König schließlich von dem sehr schwachen, nur aus wenigen Sternen aufgespannten Sommersternbild war, ist jedoch nicht überliefert. Immerhin hat das Sternbild die Jahrhunderte, wenn auch nach einigen Stürmen (Ridpath 1988), überlebt und wird heute im Kanon der offiziellen Sternbilder in der Kurzform Scutum geführt.

Die Ehre, den ersten teleskopbasierten Sternkatalog herausgebracht zu haben gebührt John Flamsteed, dem ersten königlichen Astronomen (Astronomer Royal) Englands, auf dessen Initiative hin auch die Sternwarte in Greenwich gebaut wurde. An eben diesem Ort wurden die Positionen von knapp 3000 von dort beobachtbaren Sternen vermessen. Der auf dem Katalog basierende Atlas erschien jedoch erst nach Flamsteeds Tod, im Jahre 1729, und war aufgrund seiner Genauigkeit für lange Zeit populär, wenn auch wegen seiner stattlichen Abmessung nur umständlich zu handhaben und teuer. Ein interessantes Detail im Zusammenhang mit Flamsteed ist der Ursprung der heute noch gebräuchlichen Flamsteed-Nummern, ein Numerus Currens der Sterne innerhalb jedes Sternbilds,⁴⁹ die auf dem Flamsteed-Katalog aufbauen, nicht aber von Flamsteed selbst eingeführt wurden. Die Durchnummerierung der Sterne erfolgte erst 1783 in einer Überarbeitung und Erweiterung des Flamsteed-Katalogs durch Lalande in Frankreich (Lalande 1783). Von den Resultaten der französischen Überarbeitung von Katalog und Atlas besitzt die ETH-Bibliothek die 3. Auflage des sogenannten Fortin-Flamsteed-Atlanten (Fortin et al. 1795). In dieser erheblich handlicheren Ausgabe der Himmelskarten wurden alle Benennungen am Himmel von lateinisch auf französisch übersetzt, die Helligkeit der Sterne verzeichnete man mit eindeutig unterscheidbaren Symbolen, und frisch entdeckte Nebel (womit alles im Teleskop im Gegensatz zu den Sternen nebulös erscheinende gemeint war) fanden Aufnahme. Das Äquinoktium im Fortin-Flamsteed-Atlas passte man an eine spätere Epoche (1780) an, während die meisten künstlerischen Interpretationen der Sternbilder gegenüber Flamsteed, der sich stark an Bayer orientierte, kaum

⁴⁹ Z. B. 61 Cygni, der erste Stern, dessen jährliche Parallaxe, also seine Entfernung geometrisch gemessen wurde, oder 51 Pegasi, seit 2015 gemäß Beschluss der Internationalen Astronomischen Union auch Helvetios genannt, da dies der erste Stern war, bei dem ein Planet außerhalb unseres Sonnensystems entdeckt wurde; dies von Genfer Astronomen, daher die zusätzliche, etwas ungewöhnliche Benennung.

verändert wurden; der Wal etwa, siehe Abb. 25, blieb nach wie vor die gleiche absurde Kreatur wie schon 1603 in der *Uranometria*. Der Stern *o Ceti*, Mira, erkannte man im französischen Atlas aber nun unmissverständlich als veränderlich (*changeante*).

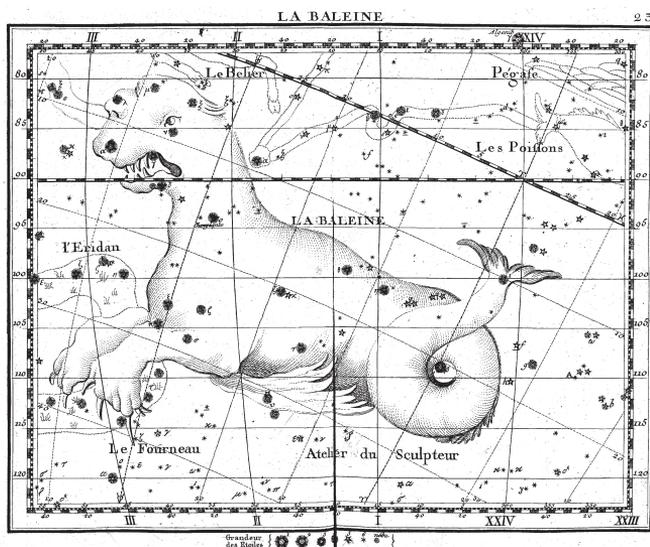


Abb. 25: Darstellung des Sternbilds Cetus im Fortin-Flamsteed-Atlas. Der veränderliche Stern *o Ceti*, rechts unterhalb des Maules der Kreatur ist als veränderlich markiert. Unterhalb des Wals sind die neuen südlichen Sternbilder, der Brennofen (*le Fourneau*) und die Bildhauerwerkstatt (*Atelier du Sculpteur*), zumindest textuell angedeutet.

Sternbilder sind ja nichts intrinsisch astronomisches, sondern das Abbild menschlichen Dranges, Muster zu sehen und diese als Bilder zu interpretieren und zu memorieren. Somit sind diese Bilder von vorherrschender Kultur wie auch vom Zeitgeist beeinflusst. Wo anfänglich in Vorderasien und Europa griechische und mesopotamische Götter und Helden an den Himmel gesetzt wurden, fanden in der frühen Neuzeit in verbliebenen Himmelsnischen auch noch allerlei technische Errungenschaften einen Platz. Der Vergleich von Cetus in Abb. 25 (aus der Fortin-Flamsteed-Erstaussgabe von 1775) mit dem der Darstellung in Abb. 26 aus Bodes *Darstellung der Gestirne* von 1805⁵⁰ zeigt weiterhin keinen Fortschritt in der Darstellung des Wals – ziemlich detailgetreu wurde wieder Bayers Kuriosum abgezeichnet. Als Fortschritt findet sich aber eine schon lieblos erscheinende Aufreihung von Gerätschaften südlich des Wals, also im Deklinationsbereich, der davor in unseren Breiten praktisch unbekannt war. Im Gegensatz zu Flamsteeds Atlas sind bei Bode auch Sternbilder von de LaCaille eingebunden, so dass sich bei den technisch inspirierten Sternbildern

⁵⁰ Die ETH-Bibliothek besitzt den zweisprachigen (deutsch/französisch) für Liebhaber und Laien initiierten Bode-Atlas in seiner zweiten, verbesserten und erweiterten Ausgabe (Bode 1805). Die professionelle, lateinische Version erschien 1801 als *Uranographia* mit 17 240 kartierten Sternen und gilt mit mehr als einen Meter messenden Blatt diagonalen als einer der größten Atlanten seiner Art.

unterhalb des Wals („Der Wallfisch“) nun „Der Chemische Apparat“, „Die Elektrisir Maschine“ und „Die Bildhauer Werkstatt“ finden.

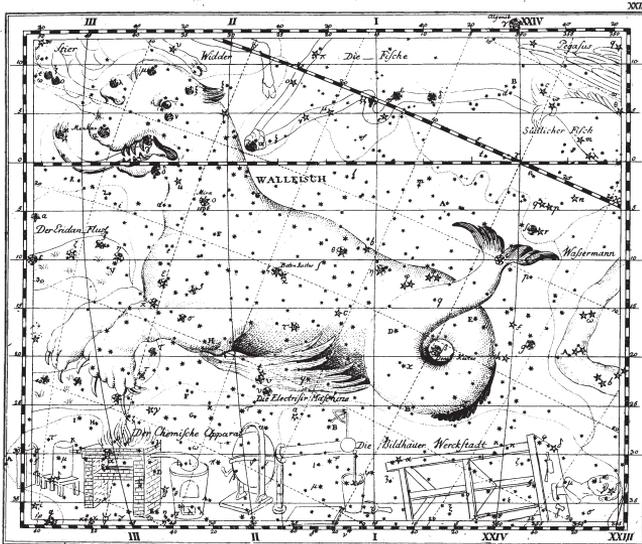
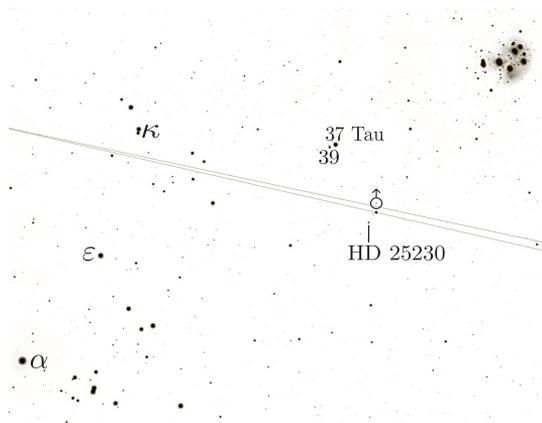


Abb. 26: Die Umgebung des Sternbildes Cetus (Wal) in einer der Himmelskarten von Bode (1805). Interessant ist die schon fast geometrische, wenig ästhetische Aufreihung der neuen Sternbilder südlich des Wals, also in den Gebieten, die den frühen Namensgebern von Asterismen nicht zugänglich waren oder uninteressant schienen.

Entlang ansteigender Rektaszension listete Bode im Tafelteil seines Werkes insgesamt 5505 Sterne aus einer Zusammenstellung von Piazzi auf, gefolgt von 372 Nebelflecken und Sternhaufen, die alle auch in den dem Tabellenwerk angeschlossenen Karten verzeichnet sind. Im Gegensatz zu Lalande benutzte Bode seinen Numerus Currens durchgehend für alle Sterne, er nahm also keine Rücksicht auf die Sternbildgrenzen. Diese Grenzen waren in *Vorstellung der Gestirne* erstmalig, auf die Beschreibungen von Flamsteed Bezug nehmend, als punktierte Linien eingetragen. Mit der dadurch erreichten vollständigen Parkettierung des Himmels wurde es somit prinzipiell einfach, ein Himmelsphänomen einem bestimmten Sternbild zuzuschreiben, eine einfache deskriptive Methode, die noch heute ihre Anwendung findet. Die schon 1782 große Zahl der in Bodes Himmelsatlas verzeichneten Sterne lässt erahnen, dass es aufwändig wurde, einen nützlichen kartografischen Beitrag zur Astronomie zu leisten. Zugleich stellte der Atlas-Teil von *Vorstellung der Gestirne* den Abschluss der Ära der figürlich ausgeschmückten Himmelskarten dar. Die darauf folgenden Kartenwerke bemühten sich zunehmend nur noch um Objektivität

und Genauigkeit der Verzeichnung der schnell wachsenden Zahl von Himmelsobjekten, die die immer größer werdenden Instrumente zu entdecken erlaubten.



Der Planet Uranus, der bei genügend Glück – wie weiter oben dargelegt – schon von Galilei hätte gefunden werden können, erkannte schließlich 1781 Herschel als Planet. Beobachtet wurde der Himmelskörper, wenig überraschend, jedoch schon früher, verzeichnet wurde er dabei jeweils irrtümlich als Stern.

Der nachweislich erste Beobachter war John Flamsteed, dessen Uranus-Beobachtung später als 34 Tau katalogisiert wurde. Bode realisierte diese Fehlinterpretation 1785, also erst drei Jahre nach dem ersten Erscheinen seiner *Vorstellung der Gestirne*. In der an der ETH-Bibliothek vorhandenen zweiten Ausgabe von 1805 wurde in der Nähe der Position von 34 Tau korrekterweise der Hinweis auf Uranus (δ) und das Beobachtungsjahr von Flamsteed (1690) gestochen (siehe Abb. 27 links). Der Vergleich von modernen Positionsberechnungen und Sternkarten mit dem Kupferstich aus Bodes Atlas fällt leicht: Die Qualität von Helligkeit und Position der Sterne ist sehr gut und die ausschmückenden Darstellungen der Sternbilder sind dezent genug, um sachdienlich in den Hintergrund zu treten und kaum zu stören. Rechnet man also die Himmelspositionen von Uranus für das Jahr 1690 nach, so findet man die im bodeschen Kartenblatt eingezeichnete Position konform mit einer Beobachtungsepoche Ende Dezember 1690. Die rechte Karte in Abb. 27 zeigt die Situation für die Nacht

Abb. 27: Links: Kartenausschnitt aus dem Bode-Atlas mit dem Stern 34 Tau, oder vielmehr Uranus auf der Ekliptik (durch Schraffierung gemustertes Band), zwischen den Hyaden und den Plejaden. In der Ausgabe von 1805 ist das Himmelsobjekt mit dem astronomischen Zeichen für Uranus (δ) und dem Beobachtungsjahr 1690 verzeichnet. Rechts: Ausschnitt aus einer modernen Himmelskarte mit der Position von Uranus am 30. Dezember 1690 eingezeichnet. Zum besseren Vergleich der beiden Kartenausschnitte sind ausgewählte Sterne mit ihren populärsten Benennungen versehen worden.

vom 30. Dezember 1690. Die Ekliptik und die scheinbare Bahn von Uranus sind als querlaufende Linien dargestellt. Ende 1690 bewegte sich Uranus auf dem Kartenausschnitt scheinbar von links nach rechts (rückläufig). Um den Vergleich mit der Bode-Karte (linke Abbildung) zu erleichtern, sind einige der Sterne auch rechts mit Bezeichnungen versehen. Der Vergleich der Karten zeigt, dass in Bodes Himmelsatlas Uranus wohl mit dem sich zum Beobachtungszeitpunkt links unter ihm gelegenen Stern (heute etwa als HD 25230 benannt) verwechselt wurde. Auch die relativen Helligkeiten von Uranus und HD 25230 sind vertauscht. Ende Dezember 1690 war Uranus etwa 5.6 Magnituden hell, HD 25230 jedoch ist nur von 6.8 Größenklasse. Dass die Objekte vertauscht wurden, ergibt sich auch aus dem Vergleich mit der Erstausgabe von Bodes Himmelsatlas von 1785. Das Sternchen am unteren Ende des Ekliptikbands war schon in der Erstausgabe wie auch in der erweiterten von 1805 verzeichnet. Der als HD 25230 identifizierte Stern hingegen fehlt in der Erstausgabe. Die Neuauflage von 1805 wurde durch ausgewählte schwächere, nur teleskopisch vermessene Sterne wesentlich erweitert. Zudem zeigen die himmelsmechanischen Rechnungen im rechten Bild von Abb. 27, dass die relativen Positionen von Uranus und HD 25230 den Vertauschungsverdacht stützen.

Es war überdies Johann Bode, der den Namen *Uranus* für den neuen von Herschel gefundenen Planeten einführte; diese Bezeichnung setzte sich jedoch erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wirklich durch. Herschel selbst nannte den Planeten *Georgium Sidus*, wohl als einzigartiges himmlisches Geschenk an seinen Gönner, den englischen König Georg III., für alle anderen war es einfach *Herschels Planet*.

Vielen Versuchen der Astronomen ihre persönlichen Präferenzen als Devotionalien am Himmel zu verewigen war keine Permanenz beschieden; die sich dahinter versteckenden Geschichten sind und bleiben dennoch interessant und oft amüsant; Barentine (2016a) und für noch obskurere, heute vergessene Schöpfungen ist Barentine (2016b) vielseitig bildende Lektüre. Die Motivationen, Asterismen zu benennen, waren nicht selten vom Drang nach Ruhm oder Hoffnung auf Fördermittel getrieben; hin und wieder war aber selbst ungetrübter Humor am Werk: *Felis*, die Katze, geht auf eine Idee Lalandes zurück, der das Tier an den Himmel projizierte, um als Katzenliebhaber etwas Spaß zu haben, nachdem ihn dieser schon über lange Zeit



Abb. 28: Sternbild *Felis*, die Katze, von Lalande vorgeschlagen, im Bode-Atlas das erste Mal in einen Atlanten übernommen

ermüdete, wie er in einem Brief an Bode erörterte.⁵¹ Bei der ersten Darstellung von Felis, in Karte 19 der *Uranographia*, kann man sich dazu kaum erwehren, im mürrischen Gesicht der Katze die Karikatur eines menschlichen Zeitgenossen zu sehen. Ein paar Jahre später, in der Neuauflage der *Vorstellung der Gestirne*, ist die Darstellung des Sternbilds nur noch ein schwacher Abklatsch des *Uranographia*-Originals; es verblieb nur noch eine Umrisszeichnung des Tiers, das menschenähnliche Antlitz war gänzlich verschwunden (Abb. 28). Ein anderes heute nicht mehr existierendes, hingegen schon im Altertum erwähntes Sternbild ist in Abb. 24 enthalten: *Antinoös*, eingebettet zwischen Adler und Sagittarius. Der Legende nach trug ein Adler Antinoös zu Zeus. Aber nicht nur das heroische Altertum wurde immer wieder bemüht, je nach nationaler Zugehörigkeit huldigte man unterschiedlichen Adeligen, lebend oder verstorben: Friedrichs Ehre (Honorus Frederici), Reichsapfel (Pomum Imperiale) für Leopold I., Brandenburgisches Szepter (Scepterum Brandenburgicum), Karls Umhang (Robur Carolinum) für König Charles II. von England oder die Schwerter des sächsischen Kurfürstentums (Gladii Electorales Saxii) zu Ehren Johann Georgs III., um einige der Auswüchse zu erwähnen. Je nach Lust wurden aber auch auf Forschungsreisen der Europäer neu entdeckte Tiere dem himmlischen Zoo beigefügt: So etwa das Flughörnchen (Scirius Volans), der Solitaire (Turdus Solitarius) oder das Ren (Rangfier).

Am Ende des 19. Jahrhunderts waren sich die Astronomen lediglich über 48 Sternbilder am Himmel einig, der Rest unterlag mehr oder weniger persönlichen oder nationalen Vorlieben. Ordnung an den Himmel zu bringen, tat schließlich not, auf dass alle Astronomen sich wieder einig wurden, was gemeint war, wenn sie sich über Himmlisches unterhielten.

Nach dem Ersten Weltkrieg etablierten die Astronomen ein global agierendes Gremium zur Förderung und Koordination internationaler Zusammenarbeit: die Internationale Astronomische Union (IAU). Dazu gehörte und gehört weiterhin im Rahmen der sogenannten Kommission 3 auch die verbindliche Festlegung der Benennung der Himmelsobjekte. An der ersten Generalversammlung der IAU 1922 in Rom wurde eine Liste mit 88 weithin anerkannten Sternbildern vorgelegt; sie diente daraufhin als Grundlage der Festlegung ihrer Grenzen. Federführend war der belgische Astronom Eugène Del-

⁵¹ Allgemeine Geographische Ephemeriden, 1799, Band 3, 623

porte, der an der zweiten Generalversammlung 1925 die himmlische Grenzziehung zur Vernehmlassung vorlegte. Charakteristisch an der Konstruktion der Grenzen ist, dass sie aus Segmenten von Linien konstanter Deklination und Rektaszension zusammengestückelt sind. Nach Rückmeldungen vor allem der Kommission 27 der IAU, der Gruppierung, die die Erforschung veränderlicher Sterne übersieht, und die noch kleine Änderungen wünschte, wurde im ersten Quartal 1930 die vollständige Parkettierung des Sternhimmels mit 88 Sternbildern offiziell abgeschlossen und blieb seither aus gutem Grunde unverändert. Warum gerade die veränderlichen Sterne in diesem Prozess eine wesentliche Rolle spielten, liegt in deren Benennungssystematik, diese enthält den Genitiv des Sternbildes, in dem der veränderliche Stern liegt. Mit dem Aufkommen der Fotografie, die schnell in der Astronomie aufgenommen und extensiv angewandt wurde, und damit zur ersten Datenexplosion, quasi zu einer analogen Big-Data-Epoche führte, nahm unter anderem auch die Anzahl der veränderlichen Sterne sehr schnell zu. Die Aussicht, deren Bezeichnungen ändern zu müssen, sowie der Gefahr, damit in der wissenschaftlichen Literatur Verwirrung zu stiften, führte zu den berechtigten Interventionen.

Die Himmelsfotografie, nach der Einführung des Teleskops die zweite technologische Revolution in der Astronomie, mit ihrer eigenen reichhaltigen Geschichte auf dem Weg zur Objektivierung der Wissenschaft, liefert ihrerseits genügend Stoff für einen anderweitigen historischen Bummel.

Die im Artikel erwähnten Jupitermond-Rechnungen wurden mit dem Python-Modul `ephem` ausgeführt. Sternkarten und astronomische Situationspläne wurden mit der Planetariumssoftware `Stellarium` nachgestellt. Alle Berechnungen beruhen auf dem Sonnensystemmodell VSOP87, mit dem zentriert auf das Jahr 2000, für den Bereich ± 2000 Jahre, Planeten- und Mondpositionen genauer berechenbar sind, als es die Überprüfung historischer Beobachtungen bedingt. Herrn Dr. Kurt Locher gebührt mein großer Dank, den Text auf astronomische Integrität wie auch auf sprachliche Sauberkeit durchforstet zu haben.

Literatur

Baily, F. 1843, *Memoirs of the Royal Astronomical Society*, 13, 1

Barentine, J. 2016a, *The lost constellations* (Cham: Springer)

Barentine, J. 2016b, *Uncharted Constellations* (Cham: Springer)

Bayer, J. 1603, *Uranometria omnium asterismorum continens schemata, nova methodo delineata aereis laminis expressa* (Augustae Vindelicorum: excudit Christophorus Mangus), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 8931

Biagioli, M. 2002, in *Wissensideale und Wissenskulturen in der Frühen Neuzeit*, ed. W. Detel & C. Zittel (Berlin: Oldenbourg Akademieverlag), 39

Bode, J. E. 1805, *Vorstellung der Gestirne auf vier und dreyszig Kupfertafeln: nebst einer Anweisung zum Gebrauch und einem Verzeichnisse von 5877 Sternen, Nebelflecken und Sternhaufen* (Berlin u. Stralsund: Lange), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 4183

Borelli, G. A. 1666, *Theoricae mediceorum planetarum ex causis physicis deductae* (Florentiae: ex typographia S. M. D.), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 4312

Brahe, T. 1610, *Astronomiae instauratae progymnasmata* (Uraniburgi: apud Gdoefridum Tampachius), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 4153

Dijksterhuis, F. 2004, *Lenses and Waves, Archimedes* (Dordrecht: Kluwer Academic Publishers)

Drake, S. 1984, *Journal for the History of Astronomy*, 15, 198

Eastwood, B. 1987, *Mathematics and its applications to science and natural philosophy in the Middle Ages*, ed. E. Grant & J. Murdoch (Cambridge: Cambridge University Press), 141 – 172

Fabricius, J. 1611, *De maculis in sole observatis narratio* (Wittenberga: Typis Seuberlichij; Impensis Borneri & Rehefeldij), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 4389: 6

Fontana, F. 1646, *Novae coelestium, terrestriumq[ue] rerum observationes, et fortasse hactenus non vulgatae* (Neapolis: apud Gaffarum), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 4215: 1

Fortin, J., Méchain, P. F. A., Lalande, J. J., & Flamsteed, J. 1795, *Atlas Céleste de Flamstéed* (Paris: chez le Citoyen Lamarche), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 4401

Friendly, M. & Denis, D. 2005, *Journal of the History of the Behavioral Sciences*, 41, 103

Gaab, H. & Leich, P. 2014, *Globulus*, 18, 11

Galilei, G. 1610, *Sidereus nuncius magna, longeque admirabilia spectacula pandens ... Galileo Galileo ... : nuper a se reperti beneficio sunt observata in lunae facie, fixis innumeris, lacteo circulo, stellis nebulosis, apprime vero in quatuor planetis circa [...]* (Venetiis: apud Thomam Baglionum), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 4342: 1

Galilei, G. 1613, *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari e loro accidenti comprese in tre lettere scritte all'illustriss. sig. Marco Velseri linceo duumuiro [...]* (Roma: Mascardi)

Galilei, G. 1655, *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari e loro accidenti comprese in tre lettere scritte all'illustriss. sig. Marco Velseri linceo duumuiro [...]* (Bologna: per gli HH. del Dozza), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 3745: 1

Galilei, G. 1655a, *Il saggiatore nel quale con bilancia esquisita, e giusta si ponderano le cose contenute nella libra astronomica, e filosofica di Lotario Sarsi Sigensano [...]* (Bologna: per gli HH. del Dozza), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 3745: 2

Galilei, G., Scheiner, C., Reeves, E., & Van Helden, A. 2010, *On sunspots* (Chicago: University of Chicago Press)

Gingerich, O. & Helden, A. v. 2003, *Journal for the History of Astronomy*, 34, 252

Guericke, O. v. 1672, *Ottonis de Guericke experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de vacuo spatio primum a ... Gaspare Scotto ... :*

nunc vero ab ipso auctore perfectibus edita, variisque aliis experimentis aucta. Quibus accesserunt simul certa quaedam de aeris pondere circa terram (Amstelodami: apud Joannem Janssonium a Waesberge), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 9089

Helden, A. v. 1974, *Journal for the History of Astronomy*, 5, 105

Helden, A. v. 2004, in *ESA*, Vol. SP-1278, *Titan - from discovery to encounter*, ed. K. Fletcher, Noordwijk, 11–29

Hevelius, J. 1647, *Selenographia sive lunæ descriptio: atque accurata, tam macularum ejus, ... delineatio, ...; addita est, lentes expoliendi nova ratio, ut et telescopia diversa construendi, et experiendi, [...]* (Gedani: Hünefeld), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 8932

Hevelius, J. 1662, *Mercurius in Sole visus Gedani, anno christiano MDCLXI, d. III Maii, St. n. cum aliis quibusdam rerum coelestium observationibus, rarisque [...]* (Gedani: autoris typis, et sumptibus, imprimebat Simon Reiniger), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 10317

Hevelius, J. 1690, *Prodromus astronomiæ, exhibens fundamenta, quae tam ad novum planè & correctiorem stellarum fixarum catalogum construendum, quàm ad [...]* (Gedani: Johannis-Zachariae Stollii), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 9629: 1

Hoskin, M. 1977, *Sudhoffs Archiv*, 61, 195

Hunger, H. & Pingree, D. 1999, *Handbuch der Orientalistik. Abt. 1, Der Nahe und Mittlere Osten*, Vol. 44, *Astral sciences in Mesopotamia* (Leiden: Brill)

Huygens, C. 1659, *Systema Saturnium, sive De causis mirandorum Saturni phaenomenôn, et comite ejus planeta novo* (Hagae-Comitis: ex typographia Adriani Vlacq), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 4451

Kepler, J. 1606, *De stella nova in pede serpentarii et qui sub ejus exortum de novo iniit trigono igneo: libellus astronomicis, physicis, metaphysicis, [...]* (Pragae: ex officina calcographica Pauli Sessii), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 4156

Kepler, J. 1611, *Dioptrice seu Demonstratio eorum quæ visui & visibilibus propter conspicilla non ita pridem inventa accidunt : præmissæ epistolæ Galilæi de iis, quæ post editionem nuncii siderii ope perspicilli, nova & admiranda in coelo deprehensa sunt; item examen præfationis [...]* (Augustæ Vindellicorum: typis Davidis Franci), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 1367: 2

Kircher, A. 1646, *Ars magna lucis et umbræ, in decem libros digesta: quibus admirandæ lucis et umbræ in mundo, atque adè universa natura, vires effectusque uti nova, ita varia novorum reconditiorumque speciminum exhibitione, [...]* (Romæ: Sumptibus Scheus; ex Typographia Grignani), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 8883

Kowal, C. T. & Drake, S. 1980, *Nature*, 287, 311

La Caille, N. L. d. 1763, *Coelum australe stelliferum* (Parisiis: sumptibus Hipp. Lud. Guerin et Lud. Fr. Delatour), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 4364

Lalande, J. J. 1783, *Éphémérides des mouvemens célestes* (Paris: Hérisant)

Locher, J. 1614, *Disquisitiones mathematicæ, de controversiis et novitatibus astronomicis: quas sub praesidio Christophori Scheiner ... publice disputandas posuit, propugnavit ... Ioannes Georgius Locher* (Ingolstadii: ex typographeo Ederiano apud Elisabetham Angermariam), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 4325

Montgomery, S. 1999, *The Moon and the Western Imagination* (Tucson: The University of Arizona Press)

Needham, P. 2011, *Galileo's O, Vol. II, Galileo makes a book*, ed. H. Bredekamp (Berlin: Akademie Verlag)

Playfair, W. 1801, *Commerical and Political Atlas and Statistical Breviary of England and Wales* (London: J. Wallis)

Ptolemaeus, C. 1515, *Almagestum CL. Ptolemei Pheludiensis Alexandrini astronomorum principis opus ingens ac nobile omnes celoru*

motus continens. Venetiis : felicibus astris eat in lucem ductu Petri Liechtenstein coloniensis germani (Venitii: Petri Liechtenstein), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 1357

Regiomontanus, J. 1496, Epytoma Ioannis de Monte Regio in almagestum Ptolemei (Venetiis: Johannes Hammann), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 4361

Riccioli, G. B. 1651, Almagestum novum astronomiam veterem novamque complectens observatiobus aliorum et propriis novisque theorematibus, problematibus ac tabulis promotam in [...] (Bononiae: ex typographia haeredis Victorii Benatii), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 9471

Ridpath, I. 1988, *Star Tales* (Cambridge: Lutterworth)

Ridpath, I. 2014, *The Antiquarian Astronomer*, 8, 97

Scheiner, C. 1630, *Rosa Ursina* (Bracciani), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 10152

Schiller, J. 1627, *Coelum stellatum christianum: ad maiorem Dei omnipotentis, sanctæque eius tam triumphantis, quam militantis ecclesiae gloriam, obductis gentilium simulachris, eidem domino et creatori [...]* (Augustae Vindelicorum: praelo Andreae Apergeri), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 1504: 1

Sheehan, W. 1988, *Planets and Perception* (Tucson: The University of Arizona Press)

Vanin, G. 2016, *Journal for the History of Astronomy*, 46, 441

Wainer, H. 2007, *Graphic Discovery: A Trout in the Milk and Other Visual Adventures* (Princeton: Princeton University Press)

Welser, M. 1612a, *De maculis solaribus et stellis circa Iovem errantibus, accuratior disquisitio : ad Marcum Velsorum ... perscripta : interiectis observationum delineationibus* (Augustae Vindelicorum: Ad insigne pinus), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 5461: 3

Welser, M. 1612b, *Tres epistolae De maculis solaribus: scriptae ad Marcum Velsorum ... : cum observationum iconismis* (Augustae Vindelicorum: Ad insigne pinus), ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 5461: 4

Whitaker, E. 1999, Mapping and naming the Moon (Cambridge: Cambridge University Press)

Wolf, R. 1858, Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft Zürich, 3, 124

Wolf, R. 1873, Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft Zürich, 18, 335

Wolf, R. 1876, Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft Zürich, 21, 290

Wolf, R. 1877, Geschichte der Astronomie (München: Oldenbourg),
ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke, Rar 15138