



## **2. Internationales Jost-Bürigi-Symposium vom 14. April 2018**

### ***Zusammenfassungen der Vorträge***

1. Fritz Staudacher: Wer war dieser Jost Bürgi wirklich?.....	2
2. Jürgen Hamel: Nicht nur die Sterne.....	6
3. Günther Oestmann: Ursus' hybrides Modell.....	10
4. Bernard A. Schüle: Jost Bürgis Zürcher Himmelglobus.....	14
5. Bernhard Braunecker: Moderne Messkonzepte .....	16
6. Aurora Sicilia-Aguilar: Die Bildung von Sternen und Planeten.....	19
7. Claude Nicollier: Faszination der Raumfahrt .....	23

## 1. Fritz Staudacher: Wer war dieser Jost Bürgi wirklich?

### DER MATHEMATISCH-TECHNISCHE GENIUS

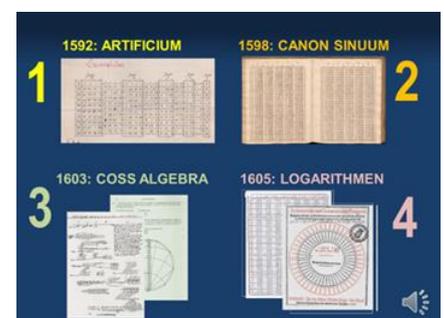
**Der Erfinder des metallenen Sextanten zur Sternvermessung, der Entdecker der astronomischen Differenzenrechnung, der Konstrukteur der ersten Observatoriums-Sekundenuhr, der Erfinder der Logarithmen und des Sinus-«Kunstweges», der Ersteller des ersten Sternverzeichnisses der Neuzeit, der Erbauer des genauesten selbstvermessenen Himmelsglobus, der Autor eines umfassenden Erz-Metallurgie-Traktats, sind ein und dieselbe Person: Jost Bürgi (1552–1632).**



Fast unglaublich: schon eineinhalb Jahrzehnte vor seinem Freund Johannes Kepler bewegt Jost Bürgi 1591 in seiner **Mondanomalienuhr Erde und Mond auf elliptischen Bahnen**, und dies aufgrund selbsterfasster astronomischer Daten. 1594 realisiert er damit auch das kleinste und genaueste mechanische Himmelsgloben-Modell, das jemals gebaut wurde. Es repräsentiert das **Wissen und die Macht der modernen Wissenschaft und Technik über den Sternenhimmel** und den Sonnenstand automatisch fortlaufend, ist aber auch einstellbar auf jeden in der Zukunft oder in der Vergangenheit liegenden Zeitpunkt und wird mit einem Uhrwerk angetrieben. In Ergänzung zum Reichsapfel, der des Kaisers Macht über die Erde zum Ausdruck bringt, ist dieser Zürcher Himmelsglobus das komplementäre Weltmodell mit der Macht über den Himmel und **eines der kostbarsten Objekte der Wissenschaft und Technikgeschichte der Renaissance und der Neuzeit überhaupt.**



Obgleich **Legastheniker, Autodidakt, Nicht-Lateiner und Nicht-Aristokrat**, entwickelt sich der Bürger von Lichtensteig, Kassel und Prag, am Fürstenhof zu Kassel und am Kaiserhof Rudolfs II. in Prag, vom begnadeten Uhrmacher und Instrumentenbauer zum bedeutenden Astronomen und Mathematiker der Frühen Neuzeit und zum unübertroffenen **mathematisch-technischen Renaissance-Genius**. **Jost Bürgi ist gleichzeitig diejenige Persönlichkeit der Wissenschaftsgeschichte, der es am besten gelungen ist, ihre Mathematikerfindungen geheim zu halten.** Eine Verzweiflungstat vor dem omnipräsenten Tycho von Brahe mit zweifelhaftem Ruf und Verursacher von Ursus frühem Tod.



Wer Bürgi wirklich war, werden wir nie ganz in Erfahrung bringen, aber seit der Entdeckung seines *Fundamentum Astronomiae* einschliesslich seines einzigartigen Kunstweges im Jahre 2014 – also 422 Jahre nach seiner Niederschrift – wieder etwas besser: er ist aufgrund dieser Erfindungen der bedeutendste Mathematiker der Astronomie der Frühen Neuzeit.

Ausser seiner bis jetzt mit Napier geteilten Erfinderehre an der Logarithmenrechnung ist Jost Bürgi nun auch der Mathematiker, dem zusätzlich die Ehre des **Erfinders der algebraischen Kunstweg-Sinusbestimmung, der Differenzenrechnung und der rekursiven polynomialen Tabellierung und Interpolation zukommt**. Er nimmt damit Algorithmen vorweg, die man bisher als Erfindungen Briggs', Newtons, de Pronys und Babbages betrachtet hatte. Wie diese zu Bürgis Lösungen gekommen sind, ist Thema des Forschungsprojektes *Bürgis Britische Bifurkation*.

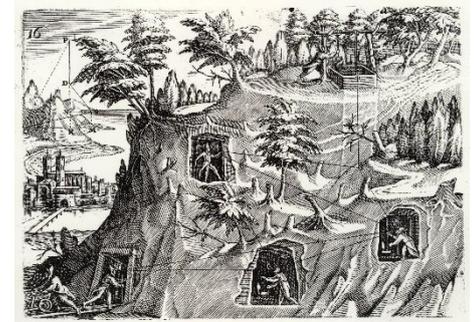


Noch immer wissen wir nicht, wie sein Berufsleben vor dem 25. Juli 1579 ausgesehen hat, und auch nichts über seine Kindheit und Schulzeit. Nicht einmal eine Eintragung über seine Geburt ist auffindbar. Das hat er, wie die Berufsbezeichnung Klein-Uhrmacher, in seinen wenigen von ihm vorliegenden schriftlichen Dokumenten selbst überliefert. Da er, wie wir seit April 2018 durch Jürgen Hamels Auffindung und Analyse seines **Fundamentum Metallicum** wissen, für die damalige Zeit über aussergewöhnliche Kenntnisse über Erze und Metalle besass, dürfte er in seiner Heimatstadt vom aus Augsburg zugezogenen Goldschmied Widiz vor seiner Uhrmacherlehre zum Gold- oder Silberschmied angelernt worden sein.



### Licht in Bürgis Ursachen der Geheimhaltung

Die vierte, erweiterte Auflage der Bürgi-Biografie «Jost Bürgi, Kepler und der Kaiser» vom April 2018 greift erstmals offene Fragen nach den Gründen seines Widerstands beim Schreiben und bei seiner Geheimhaltung und Nichtveröffentlichung druckfertiger Manuskripte auf. Alles deutet auf zwei Hauptursachen hin – die eine **pädagogisch-psychologischer Natur, die andere gesellschaftlich psycho-sozialer Konstellation**.



**Jost Bürgi war, wie auch Einstein, Leonardo da Vinci und Darwin, aus heutiger Sicht Legastheniker**. Um eine solche Lese-, Schreib- oder/und Sprechschwäche erfolgreich therapieren zu können, ist ihr zwischen dem vierten bis siebten Lebensjahr zu begegnen, bevor sie chronifiziert. Doch dazu bestanden bei Bürgi kaum Chancen, denn der Unterricht in der Lichtensteiger Schule fiel aufgrund konfessioneller Wirren vielfach aus. Sein als Schlosser tätiger Vater – über Bürgis Mutter ist nichts bekannt, nicht einmal ein Name – bemerkte die Legasthenie wahrscheinlich nicht einmal und konnte ihm eher handwerkliche Fähigkeiten beibringen als Sprachliches. Bei den anderen Ausnahmetalenten Einstein, Leonardo und Darwin wurde durch ihre gebildeten Eltern und Umgebung der Sprachgebrauch sowie die Lesekultur mit laufendem Üben gefördert und die Schwäche vertrieben mit Bildungsinhalten überlagert und beherrscht.

**DREI AUSSERGEWÖHNLICHE PERSÖNLICHKEITEN**

LEONARDO DA VINCI      ALBERT EINSTEIN      JOST BÜRGI

**= LeGAsTheNiKeR**

Während die Legasthenie «nur» Bürgis Motivation, Anstrengung, Widerstände und ständige Verzögerung beim Verfassen von Texten beeinflusst, verfolgt er mit der Geheimhaltung das Ziel, die Publikation von Bürgis Entdeckungen und Erfindungen der Mathematik zu verhindern. Diese Funktion ist bei Bürgi unauflöslich mit dem Namen **Tycho von Brahe verknüpft, der den gesamten Zeitraum von 1580 bis weit nach seinem Tod tychonisierte und viele Zeitgenossen bis in den Tod tyrannisierte.** Weil er diesem aggressiven, arroganten, hochadeligen und akademisch hochgebildeten Brahe die Nutzung seiner in mühsamen Studien gefundenen exzellenten Lösungen nicht gönnte – und kein anderer als gerade Brahe hätte mit seinen immensen Datenmengen davon stärker profitieren können – unterband er ihre Weitergabe mit Stillschweigegelübden.

So ruhten verschlossen vor Brahe und leider auch vor fast allen andern Zeitgenossen sowie ihnen folgenden Generationen **folgende Bürgi-Manuskripte versteckt in Archiven:** das *Fundamentum Astronomiae* mit Kunstweg und Differenzenrechnung (1586/92), die *Canon Sinuum* genannte genaueste Sinustafel seiner Zeit in 2''-Schritten, die *Coss-Algebra* (1603), die Gebrauchsanleitung seiner *Progresstabulen* (1604) und damit seine gesamte Logarithmenrechnung. Verschollen bis heute ist Bürgis *Canon Sinuum*. Hingegen wurde man um 1800 auf das von Kepler redigierte *Coss-Algebra*-Manuskript Jost Bürgis aufmerksam, das dann 1973 von List-Bialas analysiert, kommentiert und gedruckt wurde; 1854 wurden seine Logarithmentafeln mit dem Unterrichtstext entdeckt und dieser in Deutsch transkribiert und ohne Tafeln gedruckt sowie erstmals 2016 von Kathleen Clark ins Englische übersetzt sowie als Faksimile publiziert; erst 2014 entdeckte Menso Folkerts das *Fundamentum Astronomiae* mit dem Kunstweg, der transkribiert, kommentiert und ediert im Jahre 2016 von Dieter Launert veröffentlicht wurde. Das sind drei Meisterwerke der frühneuzeitlichen Mathematik, die erst vier Jahrhunderte nach ihrer Niederschrift veröffentlicht werden. **Dass Bürgi gleichwohl einen Namen in der Mathematik bekam,** beruht auf der Veröffentlichung seines ungelösten Kunstweg-Rätsels 1588 durch Ursus, mehreren substantiellen Beiträgen in Pitiscus' *Trigonometria* von 1598 bis 1612 einschliesslich der englischen Ausgabe und dem Lob Ursus und Wilhelms IV. als Archimedes und Euklid in einer Person und als erster Astrophysiker.

**Bürgis strenge Geheimhaltung durch Schweigegelübde ist gegenüber Brahe erfolgreich,** der die gesamte Astronomie-Szene dieser Epoche dominierte – und dies sogar noch durch seine Erben bis 1627, als diese nach Keplers *Astronomia Nova* (1609) auch seine *Rudolfinischen Tafeln* so zensurierten, dass der Name Bürgi gerade nur einmal erwähnt wird, und in diesem Falle von seinem ehemaligen Freund sogar tentativ negativ. Andererseits hatte Bürgi auch Kepler verboten, über Bürgis neue Methoden und die *Coss-Algebra*-Manuskriptredaktion durch ihn selbst zu berichten. So ist es kein Wunder, dass ausser der ebenso geheim gehaltenen **englischen**

**DER ARROGANT-AGGRESSIVE TYCHO VON BRAHE**

**JOST BÜRGI**  
LEGASTHIKER  
NICHTLATEINER  
NICHTAKADEMIKER

1592: ARTIFICIUM 2016	1598: CANON SINUUM ?
1603: COSS ALGEBRA 1973	1605: LOGARITHMEN 2016

**BÜRGI VERHÄNGNISVOLLE NAMENSRESTRIKTIONEN**

**BÜRGI VERBIETET KEPLER DIE BEKANNTGABE VON BÜRGI-RECHENMETHODEN AN DRITTE**

**BÜRGI VERBIETET DER VERWENDUNG DES BÜRGI-NAMENS ALS DATENLIEFERANT**

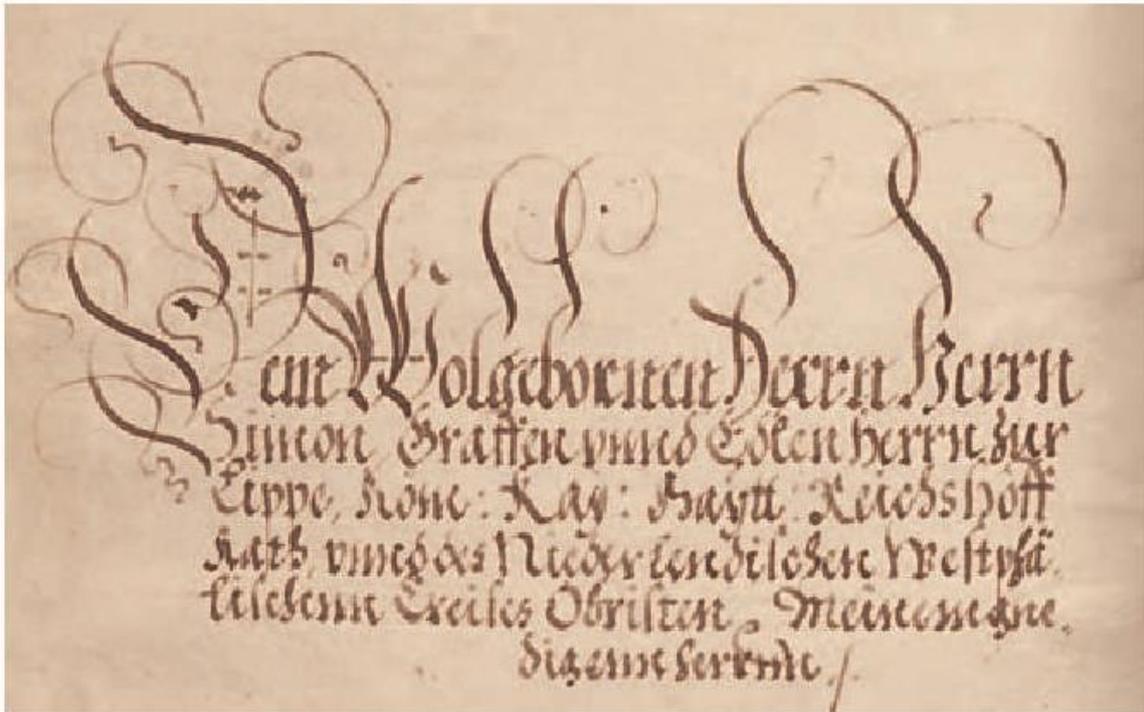
**Kunstweg-Bifurkation** via John Dee und Henry Briggs sowie Keplers geheimer Kenntnis und Nutzung des mathematischen Werkes Bürgis die Leistungen des Mathematikers Jost Bürgi erstmals unsere Generation in vollem Umfang kennt und beurteilen kann.

**Tycho von Brahe hatte Jost Bürgis besten Freund und Kaiserlichen Hofmathematiker Ursus Reimers in den Tod getrieben.** Anstatt für ein angebliches Plagiat durch ein vom Kaiser befohlenes Hofstaat-Gremium

zur Vierteilung und Rädern verurteilt zu werden, starb dieser kurz vor Prozessbeginn an einer Lungenentzündung. Bürgi hatte wegen dieser schändlichen Tat einen gewaltigen Zorn auf Brahe, war aber vom gleich niederen Stande wie Ursus und **musste jederzeit damit rechnen, ein ähnliches Schicksal zu erleiden.** Wegen seiner fehlenden Lateinkenntnisse bezeichnete Brahe in seinen Briefen an den eingebildeten Kasseler Astronomen Rothmann Bürgi ebenso wie dieser: *Illiteratus* (Dummkopf). Dazu war Bürgi auch noch Legastheniker, Nicht-Adeliger und Nicht-Akademiker – Kurz: in den Augen Brahes ein Nichts! Und er sorgte mit seinen Erben dafür, dass bei der Keplerschen Wende nur von Brahe und Kepler die Rede ist. Bis zum heutigen Tag! Nur Galilei war international noch lauter und noch bekannter als Kepler und Brahe zusammen.







Bürgis Arbeit ist „Dem Wolgeborenen Herrn, Herrn Simon, Graffen vnnnd Edlen Herrn zur Lippe“ gewidmet. „Simon VI. von der Lippe war ein gelehrter Landesherr. Mit seinen umfassenden Kenntnissen in den Künsten, Sprachen und Naturwissenschaften verkörperte er das Renaissance-Ideal des universell gebildeten Fürsten.“ (Michael Bischoff 2014). Bürgi weilte zwischen 1594 und 1597 mehrfach am Hofe Simons, am Schloß Brake in Lemgo (heute Weserrenaissance Museum).

Als Herrscher über die Grafschaft Lippe hatte sich Simon mit einer Reihe praktischer Fragen zu befassen, die Themen der Metallurgie und des Nachweises von Metallen betrafen. Zunächst war Simon der Herr der Lippischen Münze in Detmold bzw. Blomberg bei Detmold und hatte als solcher Sorge für qualitativ anerkannte Münzen zu tragen. Dies bedeutete die Einhaltung des in den Münzordnungen festgelegten Gehaltes an Silber bzw. Gold. Dies machte immer wieder eine Prüfung des Metallgehaltes notwendig, besonders als nach 1600 eine immer stärker werdende Münzverschlechterung einsetzte und vielfach Münzen auf ihren Metallgehalt und damit ihre Gültigkeit zu prüfen waren.

Die wissenschaftlichen Interessen Simons erstreckten sich in der Denkweise seiner Zeit auch auf die Alchemie und damit in Verbindung auf die Medizin und besonders die Lehre von den Metallen, besonders die Transmutation unedler Stoffe in Gold mittels des „Steins der Weisen“. Mit dem Versprechen der Erzeugung von Gold fand so mancher Alchimist – darunter gleichermaßen ernsthafte Handwerker und Gelehrte, wie Scharlatane – Unterstützung an Fürstenhöfen, wie in Sachsen oder Brandenburg. Landgraf Wilhelm lehnte die Alchemie jedoch strikt ab, im Gegensatz zu seinem Sohn Moritz, bei dem Bürgi nach Wilhelms Tod und seiner Rückkehr aus Prag tätig war. Doch auch in dieser Hinsicht scheint Bürgi mehr der Ablehnung Wilhelms zuzuneigen, wenigstens sind in seiner Arbeit keine Anklänge an die Alchemie zu finden.

Zum anderen begann Simon 1592 mit der Finanzierung möglicher Kupfervorkommen in seinem Fürstentum. In diesem Zusammenhang waren immer wieder abgebaute Gesteine auf ihren Erz- und Metallgehalt zu prüfen.

Die Handschrift ist streng sachlogisch entwickelt, ihre einzelnen Teile bauen aufeinander auf. Die Gliederung der Abschnitte, aber auch die Anordnung der einzelnen Kapitel entspricht ganz denen, die noch später in thematisch ähnlichen Werken befolgt werden. Insgesamt hat jedoch Bürgis Schrift den Charakter eines Übersichtswerkes. Um die von ihm beschriebenen Tätigkeiten praktisch ausführen zu können, bedurfte es weiterer, detaillierter Beschreibungen und vieler Erfahrung.

Eine Begriffserläuterung zuvor: Bürgi spricht stets von „Prüfung“, was im Sinne von physikalischer oder chemischer Analyse zu verstehen ist.

1. Voraussetzungen und Hilfsmittel für das Schmelzen und Prüfen von Substanzen: Einrichtung eines Schmelz- und Analyseofens sowie dessen Befeuerung, Herstellung von Knochenasche zur Herstellung von Brenntiegeln für den Brennofen, die sog. „Capellen“.
2. Prüfung von Erzen auf Gold, Silber, Quecksilber, Kupfer, Blei, Zinn und Eisen;
3. die Gewichte für Edelmetalle;
4. die Analyse von Metalllegierungen;
5. ein Verzeichnis des vorgeschriebenen Goldgehaltes verschiedener Goldmünzen (Gulden);
6. die Herstellung von Königswasser und Scheidewasser, ein einzelnes, auf den ersten Blick etwas aus inhaltlichen Zusammenhängen herausgenommenes Kapitel, wobei jedoch z.B. der Goldgehalt einer Münze mittels eines Striches mit diesen Säuren geprüft werden kann.

Es ist zu erkennen, dass die Themen der Handschrift zwar im weitesten Sinne mit Bürgis Tätigkeit als Uhr- und Instrumentenmacher zu tun haben – denn Instrumente für fürstliche Auftraggeber seiner Zeit waren immer auch Kunstwerke unter Verwendung edler Materialien.

Diese Themen selbst, lagen Bürgi sehr nahe. Verfahren zur Schmelzung von Metallen und zur Prüfung der Zusammensetzung von Metalllegierungen gehörten unmittelbar zu seinem täglichen Handwerk – und das gilt direkt oder indirekt auch für andere Gegenstände der Handschrift.

Doch die gesamte Anlage der Handschrift ist eine andere: Sie zielt auf praktische Interessen und Bedürfnisse des Lippischen Grafen Simon, auf Bergbau und Münzwesen im weitesten Sinne mit vielen Verzweigungen. Bürgis Schrift zur Probierung und zum Schmelzen von Metallen, darin Verfahren zur Prüfung des Kupfer- und Goldgehaltes von Erzen, traf direkt Simons Interesse. Die Vermutung, Bürgis Schrift sei auf eine direkte Anregung oder direkt als Auftrag Simons entstanden, liegt recht nahe.

Bürgi folgt in seiner Handschrift nicht dem Wunsch, ein Buch zu seiner eigenen Arbeit zu schreiben und dies dann dem Fürsten zu widmen, sondern er schreibt ein Buch für den Fürsten, für dessen Wünsche als Landesherr.

Neben den Schriften „Fundamentum Astronomiae“ (1587/92), „Bürgis Coss“ (Redaktion J. Kepler 1603) und zur Logarithmenrechnung, „Aritmetische und geometrische Progreß Tabulen“ (Prag 1620), ist die metallurgische Arbeit weitere größere schriftliche Ausarbeitung Bürgis. Sie wurde bisher in der Forschung noch nicht berücksichtigt und zeigt uns Bürgi von einer bisher ganz unbekanntem Seite.



### 3. Günther Oestmann: Ursus' hybrides Modell

#### ZUR REKONSTRUKTION DES PLANETARIUMS VON RAIMARUS URSUS

Bei dem von Raimarus Ursus (1551–1600) konzipierten Weltsystem handelt es sich um den Versuch, eine Kompromisslösung zwischen den Systemen von Ptolemäus und Copernicus zu finden: Ursus belässt die an einem Tag um ihre eigene Achse rotierende Erde im Mittelpunkt der Welt. Der Mond kreist um die Erde, die übrigen Planeten (Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn) um die Sonne, die sich wiederum auf einer Kreisbahn um die Erde bewegt. Gegenüber dem Astronomen Caspar Peucer (1525–1602) hatte Ursus im Frühjahr 1586 in Dessau von neuen Hypothesen anstelle der Ptolemäischen und Copernicanischen gesprochen, ohne indes Einzelheiten zu nennen. Über Magdeburg gelangte Ursus nach Kassel, wo er sein System dem Landgrafen Moritz von Hessen-Kassel erläuterte. Im Widmungsbrief zu seinem 1597 in Prag erschienenen Werk *De astronomicis hypothesibus* beschreibt Ursus dieses Ereignis folgendermaßen:

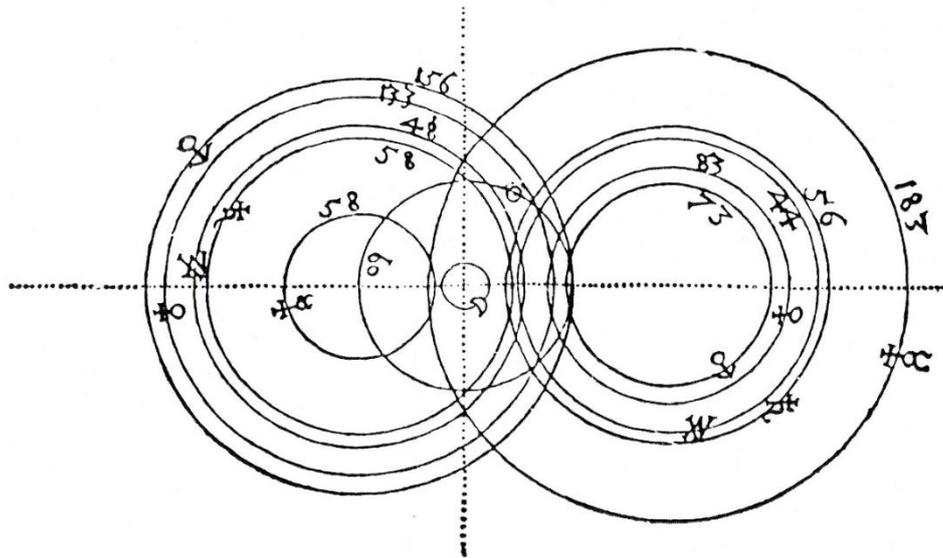
*„Als ich nämlich vor nunmehr fast zwölf Jahren, eben 1585, [...] meine neuen astronomischen Hypothesen erdachte und erarbeitete und diese im nächstfolgenden Jahr 1586, [...] dem Vater Eurer Hoheit, gleichsam als höchstem Förderer dieser mathematischen und besonders der astronomischen Gegenstände und Künste [...] weihte und widmete und als Ihre Hoheit die von mir dargebrachten Hypothesen mit heiterer Miene und ganz dankbarem Herzen in Empfang nahm und sie durch seinen höchst kunstreichen Meister Justus Byrgi, Eurer Hoheit noch dienenden Instrumentenbauer und Uhrmacher, hochbedeutenden Astronomen und Geometer, der auch im astronomischem Metier mein zuverlässigster und bei weitem liebster Lehrer und Ausbilder war, aus Messing konstruieren ließ, als er sah, daß die Hypothesen in einem Modell dargestellt waren und ihre Funktion (in jenem ersten allgemeinen, wenn auch noch groben Entwurf) richtig erfüllten, wurde er von höchster Bewunderung ergriffen und von allzu großer Freude tief bewegt [...]. Ihre Hoheit hatte nämlich einen Himmelsglobus vor ihren Händen, und da sie wünschte und beabsichtigte, in ihn die Bewegung aller Planeten hineinzulegen, gefielen ihr die damals ausschließlich bekannten Hypothesen des Ptolemäus und des Copernicus nicht oder reichten nicht aus: diese [die copernicanischen Hypothesen] zweifellos nicht sowohl wegen der Vielzahl der vielfältigen Bewegung der Erdkugel, als auch besonders wegen der allzu großen Kluft des leeren Raumes zwischen den Planeten und den Fixsternen [d.h., der nicht wahrnehmbaren Parallaxe] [...]; aber jene [die ptolemäischen Hypothesen] nicht wegen der Vielzahl und Verschlungenheit wie auch wegen der Disproportion und der Unstimmigkeit so vieler und so vielfältiger Kreise, wie der exzentrischen und der epizyklischen. Und darum waren diese meine Hypothesen, da sie gleichsam dem Wunsch Ihrer Hoheit entsprachen und genügten, höchst willkommen und erwünscht. Ein zuverlässiger und vertrauenswürdiger Zeuge wird für mich Justus Byrgi selbst sein, der noch am Hof zu Kassel bei Eurer Hoheit lebt und der sehr gut weiß, daß dieses alles wahr und so geschehen ist und daß sich alles so [...] ereignet hat“<sup>1</sup>*

Ursus veröffentlichte sein Weltsystem 1588 in Straßburg, jedoch publizierte Tycho Brahe in seinem Buch *De mundi aetherei recentioribus phaenomenis* ein ganz ähnliches Modell, das demjenigen von Ursus entspricht, jedoch die Erde im Zentrum unbeweglich läßt. Entsprechend führt die Fixsternsphäre eine

<sup>1</sup> *De astronomicis hypothesibus, seu systemato mundano, Tractatus Astronomicus et Cosmographicus [...]*, Prag 1597, fol. AII<sup>r/v</sup>; zit. nach der Übersetzung bei Dieter Launert, *Nicolaus Reimers (Raimarus Ursus): Günstling Rantzaus – Brahes Feind. Leben und Werk* (= *Algorismus: Studien zur Geschichte der Mathematik und der Naturwissenschaften*, 29), München 1999, S. 292f.

Umdrehung am Tag aus, jedoch schneidet die Marsbahn die Sonnenbahn. Tycho bezichtigte Ursus, der sich vier Jahre zuvor bei ihm auf der Insel Hven aufgehalten hatte, des Plagiats seiner Idee, und es folgte ein erbitterter, mit größter Schärfe geführter Prioritätsstreit.<sup>2</sup>

Diagramma rotularum motricum. Ioanni Dee  
Anglo dedicatum.



In seinem *Fundamentum astronomicum* betitelten Buch gibt Ursus ein Räderwerksschema des eben erwähnten, von Bürgi aus Messing gefertigten Modells wieder.

Das Schema widmete er dem englischen Mathematiker und Mystiker John Dee (1527–1608) und gab dazu folgende kurze Erklärung:

„Aber die kleine Maschine der Bewegungsrädchen an der Rückseite des Instruments ist nur so groß, wie sie das Werk an der Vorderseite bewegen; bei ihr setzt ein einziges Sonnenrädchen alle anderen Umläufe und die aller Planeten mit sich in Bewegung. Die einem Rädchen beigefügte Zahl zeigt an, wieviele Zähne jedes einzelne Rädchen hat. Darum muß diese kleine Maschine auf der Rückseite des Instruments befestigt werden.“<sup>3</sup>

Diese betrifft demnach nur die Rückseite, also den Antrieb des Modells. Das Schema veranschaulicht dagegen die Räderpaarungen auf der Vorderseite.

<sup>2</sup> Einzelheiten zu der Auseinandersetzung bei Launert, S. 72–101; s. auch Nicholas Jardine, Dieter Launert, Alain Segonds, Adam Mosley und Karin Tybjerg, „Tycho v. Ursus: The Build-up to a Trial“, *Journal for the History of Astronomy*, 36, 2005, S. 81–165 (dort Hinweise auf weitere Literatur).

<sup>3</sup> *Fundamentum astronomicum*, fol. KIV<sup>v</sup>; zit. nach der Übersetzung bei Launert, S. 189f.; vgl. auch: *Astronomischer Grund: Fundamentum Astronomicum 1588 des Nicolaus Reimers Ursus*, Hg. Dieter Launert (= Acta Historica Astronomiae, 47), Frankfurt/M. 2012, S. 181, 284.

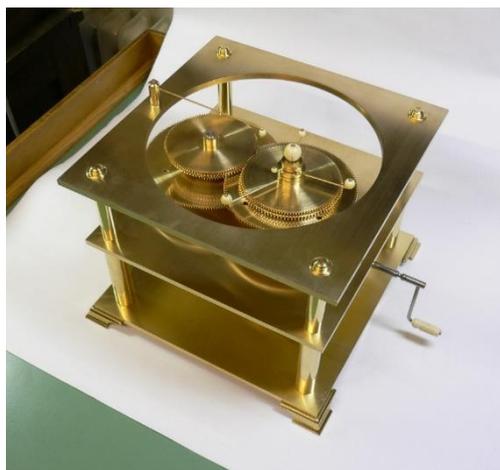
Anhand der Darstellung von Ursus hat John H. Leopold (1935–2010), ehemals Konservator der Uhrensammlung des Britischen Museums, eine Rekonstruktion vorgelegt.<sup>4</sup> Ein Vergleich mit den nach Copernicus berechneten Umlaufzeiten der Planeten zeigt folgende Fehlweisungen:

- Merkur hat eine Fehlweisung von  $-0,0053$  Umdrehung pro Jahr: der Planet geht um etwa 2 Grad pro Jahr vor.
- Venus hat eine Fehlweisung  $0,0009$  Umdrehung pro Jahr: der Planet bleibt um etwa  $1/3$  Grad pro Jahr zurück.
- Mars läuft richtig.
- Jupiter hat eine Fehlweisung von  $-0,0016$  Umdrehung pro Jahr: der Planet geht um etwa  $1/2$  Grad pro Jahr vor.
- Saturn hat eine Fehlweisung von  $-0,0001$  Umdrehung pro Jahr: der Planet geht um etwa  $1/30$  Grad pro Jahr vor.

Die Fehlweisungen sind abgesehen von Merkur – der wegen seiner Sonnennähe ohnehin schwierig zu beobachten ist – recht gering. Anders verhält sich jedoch bei den Drehrichtungen. Die Drehrichtung sämtlicher Planeten ist derjenigen der Sonne entgegengesetzt. Dies gilt zwar im Modell für die äußeren Planeten (Mars, Jupiter und Saturn), nicht jedoch für Venus und Merkur. Da die Umdrehungen der beiden inneren Planeten von der Erde aus nur als Pendelbewegungen um die Sonne wahrgenommen werden, ist dieser prinzipielle Fehler allerdings nur von geringer Bedeutung.

Christoph Rothmann (c. 1550–1601) machte auf den Fehler aufmerksam, und Landgraf Wilhelm IV. ließ daraufhin von Jost Bürgi ein verbessertes Modell herstellen, das ebenfalls nicht erhalten ist.<sup>5</sup>

Das Dithmarscher Landesmuseum in Meldorf gab 2006 beim Verfasser ein zur Vorführung geeignetes Demonstrationsmodell in Auftrag, wobei als Antrieb eine Handkurbel mit aufsteckbarem Vierkantschlüssel über zwei stählerne Kegelräder (Übersetzung 2:1) vorgesehen war.

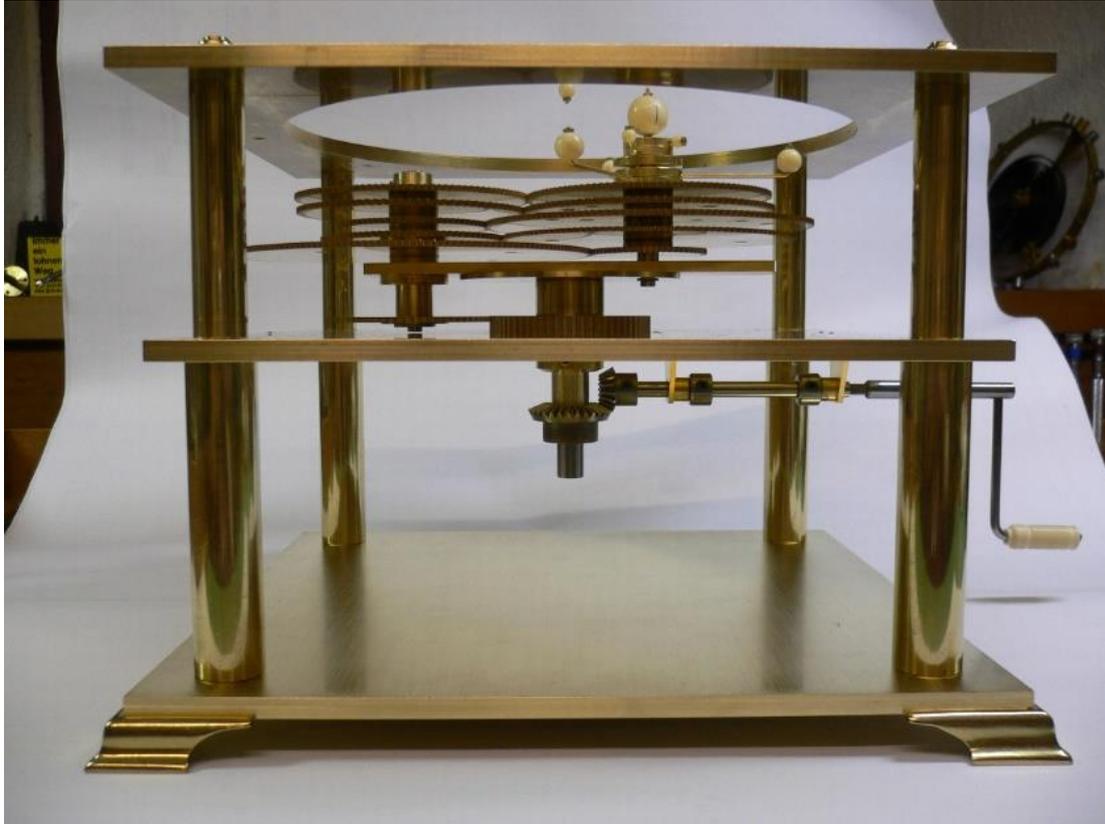


Bei der Berechnung der Zahnräder war die Spitzenhöhe der zur Verfügung stehenden Mechanikerdrehbank (87,5 mm) zu berücksichtigen, und es sollte eine zu große Spreizung der Module (Quotient aus dem Teilkreisdurchmesser und der Zahnzahl) vermieden werden. Nach einigen Proberechnungen erwies sich eine Eingriffsentfernung von 84,5 mm als geeignet. Bei vier Rädern mußte die Zahnzahl allerdings verdoppelt werden (das Übersetzungsverhältnis blieb somit gleich), da sich andernfalls extrem große Module ergeben hätten und die Zahndicken im Verhältnis zu den anderen Rädern zu unterschiedlich ausgefallen wären.

Sechs „krumme“ Teilungen (183, 156, 133, 116, 83, 73) ließen sich mit dem Teilkopf nicht erzeugen, weshalb zuvor eine spezielle Teilplatte hergestellt werden mußte. Die Zahnräder wurden entsprechend der Schweizer Norm NHS 56702 mit Zykloidenprofil, jedoch mit flachem Zahngrund geschnitten. Insgesamt waren 1218 Zähne zu fräsen.

<sup>4</sup> John H. Leopold, *Astronomen, Sterne, Geräte: Landgraf Wilhelm IV. und seine sich selbst bewegenden Globen*, Luzern 1986, S. 190–192.

<sup>5</sup> Leopold, *Astronomen, Sterne, Geräte*, S. 192f.; zu einem Rekonstruktionsvorschlag s. Ludwig Oechslin, *Jost Bürgi*, Luzern 2000, S. 40f.



Anschließend erfolgte die Anfertigung der dünnwandigen Rohre für die Befestigung der Planetenzeiger. Diese waren umso schwieriger zu spannen, als deren Durchmesser bei geringer werdender Länge zunahm, und so mussten zusätzlich Aufspanndorne gefertigt werden.

Das Werkgestell ließ sich hingegen einfacher herzustellen, und die Anfertigung der Werkpfeiler, Distanzscheiben für die Zahnräder, der beiden Lagerbuchsen und der Buchsen für die Planetenzeiger war routinemäßige Dreharbeit. Für die Planeten wurden Elfenbeinkügelchen einer über 100 Jahre alte Perlenkette verwendet (in artenschutzrechtlicher Hinsicht also unbedenklich).

Insgesamt wurde für eine harmonische Proportionierung Sorge getragen, aber auf eine zeittypische Gestaltung verzichtet, da es ja über das Aussehen des Planetariums keinerlei Angaben gibt. Das schlichte, funktionsbetonte Äußere soll den Charakter des Demonstrationsmodells – denn dies war ja die Intention von Ursus – unterstreichen. Der abschließende Arbeitsgang bestand im Aufbringen eines feinen Strichschliffs am Werkgestell; die Radscheiben erhielten auf der Drehbank einen Kreisschliff und sämtliche Oberflächen wurden mit einem goldfarbigen Instrumentenlack überzogen.

## 4. Bernard A. Schüle: Jost Bürgis Zürcher Himmelglobus

### DER KLEINE HIMMELSGLOBUS IN DER SAMMLUNG DES SCHWEIZERISCHEN NATIONALMUSEUMS



Der kleine Himmelsglobus von Jost Bürgi von 1594 ist sicher der schönste und raffinierteste der fünf in Europa erhaltenen Bürgi-Globen. Dennoch ist er der vollkommenste und beinhaltet eine Reihe von ingeniosen Erfindungen.

Als Himmelsglobus zeigt das Objekt aus vergoldetem und versilbertem Messing nicht die Erde, wie man es sonst von Globen gewohnt ist, sondern die Position der Sterne am Firmament. Der Betrachter erblickt die Sterne im Weltall von einem imaginären Standort in der Mitte der Kugel, als wären sie ins Innere der Kugel projiziert. Schaut man aber von aussen auf den Globus, sieht man die Sternbilder folglich spiegelverkehrt.

Die Kugel mit einem Durchmesser von nur 14.2 cm besteht aus zwei Schalenhälften, die zur Ekliptik zusammengefügt sind, und dreht sich automatisch in einem siderischen Tag von 23 Stunden und 56 Minuten um ihrer Polarachse. Im Spalt der Ekliptik dreht sich die Sonne mit der Kugel aber in 24 Stunden. Somit erhält sie jeden Tag eine bestimmte Verspätung und kann in einem Jahr die Jahreszeiten wie auch das jeweils gültige Sternzeichen zeigen.

Auf der Oberfläche der Kugel, die etwa derjenigen eines A4-Blatts entspricht, sind über tausend fixe Sterne eingraviert, als Einzelsterne oder in mehr als vierzig kunstvoll illustrierten Sternbildern zusammengefasst.



Mehrere Koordinatensysteme (Horizont-, Äquator- und Ekliptik-Koordinaten) erlauben, zusammen mit der automatischen Rotation der Kugel, die genaue gegenwärtige Position der Sterne und deren Konstellationen abzulesen und ermöglichen somit eine exakte Ausrichtung der Instrumente für die Himmelsbeobachtung. Meridian und Horizont bilden die Hauptachsen und ein mobiles Meridiansegment, das leider nicht erhalten ist, erleichterte mit einer Lupe die Lesung der Positionen.

Im Innern des Globus ist ein Doppeluhrwerk untergebracht. Es bewegt die Kugel, die Zeiger der Uhr, die Sonne und den Kalenderring. Das Gehwerk weist eine Gangdauer von 4 Tagen auf und das Glockenwerk schlägt jeweils zur vollen Stunde. Eine besonders ausgeklügelte Technik sorgt dafür,

dass die Uhr immer gleich schnell läuft, ob die Feder voll aufgezogen oder schon fast abgelaufen ist. Ein Vierkant am Südpol ermöglicht das Aufziehen der beiden Federn.

Vier Atlanten tragen den Horizontring: vom jugendlichen bartlosen Mann bis zum Greis mit langem Bart ist eine symbolische Darstellung der traditionellen Lebensabschnitte des Menschen zu erkennen.

Auf dem Horizontring befindet sich ein versilberter Jahreskalender, mit der Darstellung der zwölf Monate, der 365 Tage, der Namenstage und der fixen Feiertage. Die beweglichen Feste der röm. kath. Kirche sind in Form von Stäbchen auf einem zusätzlichen vergoldeten Ring dargestellt. Wird einmal im Jahr die Position von Ostern eingestellt, sind alle bewegliche Feste automatisch im Kalender sichtbar. Sogar die Problematik der Schaltjahre hat Jost Bürgi mechanisch gelöst: der Zeiger, der an der täglich automatisch verschobenen Kalenderskala das Datum angibt, ist mobil und zeigt alle vier Jahre zweimal hintereinander auf das Feld des achtundzwanzigsten Februars. Dies gelingt mit Hilfe eines schneckenförmigen Rädchens, das sich täglich um  $1/1461$  seiner Rotation bewegt.

Mit diesem Objekt hat Jost Bürgi nicht nur ein Meisterwerk der Uhrmachertechnik realisiert, sondern darüber hinaus die neusten Kenntnisse der Astronomie und der Mathematik der beginnenden Neuzeit zur Anwendung gebracht.

## 5. Bernhard Braunecker: Moderne Messkonzepte

### ANGEREGT DURCH BÜRGISCHE ANSÄTZE

#### Zeit- und Winkelsekunde

Eine der herausragenden Leistungen Bürgis war die Präzision all seiner Instrumente und speziell die seiner Uhren. Seine Uhren arbeiteten so zuverlässig, dass Zeitmessungen in Sekundengenauigkeit durchgeführt werden konnten. Darauf aufbauend verfeinerten die nachfolgenden Generationen sukzessive die Zeitbasis ihrer Instrumente und Werkzeuge, so dass wir heute mit Femtosekunden-Lasern Augenkrankheiten operieren, und dass wir in der Wissenschaft molekulare Vorgänge mit Attosekunden-Lasern untersuchen können. Die Einheit Atto =  $10^{-18}$  kann man sich trotz ihrer Kleinheit anschaulich vorstellen, wenn man sie auf das Alter des Universums von 13.8 Mia Jahren bezieht, denn die Dauer eines Fingerklickens von einer halben Sekunde entspricht einem Atto-Universum.

Da das Astronomen-Dreigespann Bürgi, Kepler und Brahe, das sich um 1600 in Prag traf, Planetenbahnen und Sternpositionen genauer bestimmen wollte als bis anhin, musste es neben der Zeitmessung auch die Winkelmessung verbessern. Beide Messungen müssen simultan und in ihrer Genauigkeit aufeinander abgestimmt erfolgen, wenn ein bewegtes Objekt präzise lokalisiert und dann verfolgt werden soll. Dank verbesserter Hilfsmittel gelang es Kepler und Bürgi, aber nicht mehr Tycho, der bereits 1601 starb, die drei sogenannten *Keplerschen Gesetze* 1609 sowohl aus den vorliegenden Tycho-Daten als auch aus eigenen Messungen abzuleiten.

#### Erhaltungssätze in der Physik

Die Keplerschen Gesetze sind theoretisch herleitbar, wenn man die Bewegung eines Planeten im Gravitationsfeld einer zentralen Masse untersucht. Man findet, dass dann der Drehimpuls des bewegten Körpers eine Invariante ist, dass er also unabhängig von der Zeit und vom Ort des Planeten immer denselben Wert annimmt. Das war eine wichtige Erkenntnis, dass es in abgeschlossenen Systemen physikalische Größen wie Energie, Impuls und eben den Drehimpuls gibt, die erhalten bleiben, während andere wie z.B. die Masse des Körpers dies nur bedingt sind. Im Laufe der Jahrhunderte wurde die Suche nach weiteren Invarianten auf alle Gebiete der Physik ausgedehnt. Unter diesem Aspekt der Invariantenfindung in der modernen Physik wäre die Rolle von Kepler, Bürgi, Brahe und ihres Zeitgenossen Galilei als Protagonisten der Neuzeit fast noch stärker zu würdigen als ihre bereits beeindruckenden astronomischen Leistungen.

#### Das wissenschaftliche Umfeld von Bürgi

*Als Kepler mit Hilfe Bürgis diese quantitativen Zusammenhänge entdeckte, fragte sich zur gleichen Zeit Galilei in Pisa und Florenz, warum sich Planeten bewegen? Die allgemeine Meinung war, dass, wie jedermann doch täglich sieht, ein bewegter Körper nach einiger Zeit zur Ruhe kommt. Das müsste besonders für die Planeten gelten, wenn man das Alter der Welt berücksichtigt. Waren es nicht doch -wie klerikale Kreise lehrten- unsichtbare Engel, die mit ihrem Flügelschlag die Planeten vor sich hertrieben und so für die ständige Bewegung sorgten? Galilei fand aber, dass sich ein bewegter Körper von selbst weiterbewegt, wenn er nicht ausdrücklich gebremst wird. Nur warum sind, so fragte sich Newton ein knappes Menschenalter später, dann die Planetenbahnen zu Ellipsen gekrümmt? Weil, so seine Antwort, eine zur Sonne weisende und deshalb quer zur Bewegungsrichtung wirkende Kraft vorhanden sein müsse, die die Bahnkrümmung hervorruft, die Gravitation.*

### Genauere Messungen

Die Erkenntnis elliptischer Planetenbahnen durch Kepler und Bürgi war nicht nur für die Astronomie revolutionär, sondern generell auch für die Messtechnik. Denn kennt man das zugrunde liegende physikalische Modell, so lässt sich der jeweils aktuelle Messwert einer Messserie auf seine Stichhaltigkeit überprüfen. Man ermittelt aus den vorangegangenen Messwerten die wahrscheinlichsten Parameter des Modells, hier der Ellipse, zusammen mit ihren statistischen Unsicherheiten und berechnet aus ihnen für die neue Messung einen Voraussagewert mit Toleranzband. Liegt der neue Messwert ausserhalb des Toleranzbandes, ist Vorsicht geboten, dass bei der Messung etwas systematisch falsch lief. Sind letztlich alle Messdaten innerhalb des Toleranzbereiches, muss als nächstes versucht werden, die statistischen Fehler einzuengen. Dazu muss die gesamte Messkette verlässlich modelliert werden.

### Moderne Messtechnik



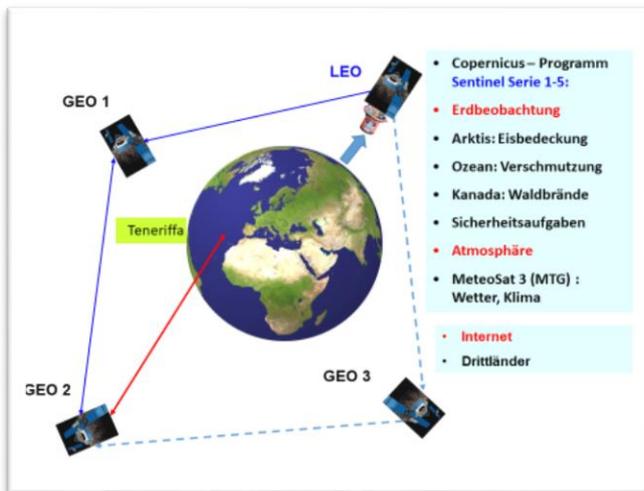
Bei sehr empfindlichen Messungen wie jüngst die von Gravitationswellen (Bild: LIGO Lab/Caltech/MIT) können die Fehlerunsicherheiten deutlich grösser sein als die eigentlichen Signalwerte. Dann muss man die Messung an verschiedenen Standorten simultan durchführen und die Messungen miteinander vergleichen. Es ist erforderlich, an jedem Standort die gesamte Messkette inklusive umweltbedingter Turbulenzen, mechanischer Eigenvibrationen, elektrischem Verstärkerrauschen mathematisch zu modellieren.<sup>6</sup> Nimmt man als Eingangssignale dieses mathematisch-virtuellen Systems die

nach der Theorie zu erwartenden Funktionen, erhält man eine Serie künstlicher, jedoch möglicher Messsignale. Diese vergleicht man mit den tatsächlichen Messdaten mittels aufwendiger mathematischer Schätzmethoden und variiert dabei die Modellparameter so lange, bis eine mathematisch abgesicherte Übereinstimmung vorliegt. Dadurch wird der Einfluss der stochastischen Störungen auf die Messungen erheblich reduziert. Das Risiko, dass durch unzureichende Modellannahmen oder durch apparative Dejustagen während des Messvorgangs systematische Fehler eingeführt werden, verringert man durch eine permanente Kalibrierung der Messapparatur. Bei astronomischen Beobachtungsteleskopen spiegelt man z.B. einen künstlichen Stern ein. Moderne Messtechnik nutzt also die experimentellen, theoretischen und numerischen Tugenden, wie sie Bürgi, Kepler und Brahe als Kollektiv bereits erbrachten.

---

<sup>6</sup> W. Winkler ‚Fundamental research for the development of gravitational wave detectors in Germany‘, **SPG-Mitteilungen Nr.54** (2018), S. 14 <https://www.sps.ch/artikel/geschichte-der-physik/fundamental-research-for-the-development-of-gravitational-wave-detectors-in-germany-19/>

## Datenkommunikation zwischen Satelliten



Das Prinzip der gleichzeitigen Zeit- und Winkelmessung gilt auch in der Satellitenkommunikation. Tieffliegende LEO-Satelliten nehmen permanent Daten von der Erdoberfläche auf, um Umweltverschmutzungen, Waldbrände, aber auch Piraten im Indischen Ozean zu erkennen. Diese Messdaten müssen in Echtzeit zur Erde übertragen werden. Dazu sendet der LEO seine Daten über ein Netzwerk geostationärer GEO-Satelliten zu demjenigen GEO, der über einer Bodenstation positioniert wurde, von wo aus sie in irdische Kabelnetze eingespeist werden.

Die Datenübertragung zwischen LEO und GEO durch Mikrowellen wird immer mehr durch Laserstrahlen ersetzt, da diese eine um viele Zehnerpotenzen höhere Datenrate ermöglichen. Da die LEOs in etwa 700 km Höhe operieren, haben sie eine Umlaufzeit von etwa einer Stunde und bewegen sich mit etwa 7 km/s. Die Laserstrahlverbindung zwischen LEO und GEO muss sehr genau ausgerichtet werden, um den jeweiligen Gegensatelliten metergenau zu treffen.<sup>7</sup>

### Herschel Satellit

Moderne Astronomie erfolgt auch mit Teleskopen von Satelliten aus. Der Satellit Herschel wurde 2009 im 1.5 Mio km von der Erde entfernten Lagrange-Punkt L2 geparkt, da er dort immer im Erdschatten verbleibt. Der Satellit lieferte vier Jahre lang grosse Mengen an Beobachtungsdaten im fernen IR-Spektrum. In diesem Wellenlängenbereich können Astronomen durch den interstellaren Staub hindurch Sternobjekte erfassen. Da die Detektoren in diesem Spektralbereich sehr stark rauschen, mussten sie mit superflüssigem Helium auf  $-271^{\circ}\text{C}$  gekühlt werden, nahe dem absoluten Nullpunkt. Der Heliumvorrat von 2'300 Litern war nach vier Jahren aufgebraucht. Bis dahin hatte Herschel Daten während 22'000 Stunden Beobachtungszeit gesammelt.<sup>8</sup>



### Zusammenfassung

Beste Voraussetzung für den wissenschaftlichen Erfolg ist ein Kollektiv aus genialen Theoretikern, Experimentatoren und Mathematikern. Sie sollten allerdings auf gleicher Augenhöhe miteinander verkehren. In dieser Hinsicht hatte es Bürgi schwer. Umso mehr ist seine ureigene Leistung zu würdigen.

<sup>7</sup> <https://www.sps.ch/artikel/physiker-in-der-industrie/optical-space-communication-information-transfer-from-point-to-point-reinhard-h-czichy-synopta-gmbh-st-gallen-2/>

<sup>8</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Herschel-Weltraumteleskop>

## 6. Aurora Sicilia-Aguilar: Die Bildung von Sternen und Planeten

### WAS ZEITMESSUNGEN ÜBER DEN RAUM SAGEN

Viele Abläufe der Planeten- und Sternentstehung finden auf Längenskalen statt, die selbst mit den leistungsstärksten Teleskopen nicht direkt messbar sind. Mit neuartigen Ansätzen und verhältnismäßig kleinen Teleskopen, die aber über längere Zeitabschnitte operieren, kann man die zeitlichen Änderungen von Messungen in räumliche Eigenschaften übersetzen. Dies erlaubt es, die Oberfläche von Sternen sowie Regionen erdähnlicher Planeten zu erkunden.

#### Wie groß sind neugeborene Sonnensysteme?

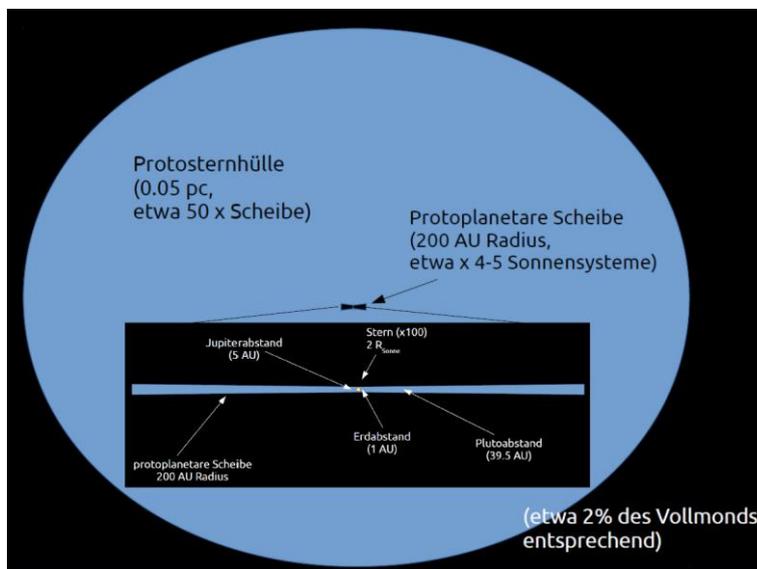


Abb. 1: Protostern (maßstabgetreu). Der blaue Bereich ist die Hülle. Die protoplanetarischescheibe mit einem Babysonnensystem liegt in der kleinen schwarzen Struktur in der Mitte. Für die nächstgelegenen Protosterne entspricht der gesamte gezeigte Bereich etwa 2% des scheinbaren Vollmonddurchmessers.

Ein neugeborenes Sonnensystem nennt man einen Protostern, und es besteht aus dem eigentlichen Stern sowie einer ihn umgebenden Hülle aus Gas und Staub, die sich wegen der Erhaltung des Drehimpulses in der Nähe des Sterns zu einer Scheibe verdichtet (Abb. 1). Aus dieser Scheibe, der protoplanetarischen Scheibe, entsteht in ein paar Millionen Jahren ein Planetensystem. Solche Scheiben sind sehr groß, normalerweise etwa 4 oder 5 mal größer als unser Sonnensystem, das bereits in seinem mittleren Alter ist, und die Hülle ist sogar bis 100 mal größer. Aber da sogar die näheren Babysonnensysteme 300 Lichtjahre entfernt sind, sind sie so klein, dass selbst die größten Teleskope sie nicht auflösen

können (Abb. 1). Eine protoplanetare Scheibe hat von der Erde gesehen eine ähnliche Größe wie ein Krater mit einem Durchmesser von 100 m auf dem Mond. Die Bahn eines erdähnlichen Planeten entspräche der Größe eines Rettungsringes in der Mitte des Kraters und der junge Stern einer 2-3 cm großen Murmel.

#### Farbe, Temperatur, Spektrum und Dopplerverschiebung

Die Auflösung der großen Teleskope, die es zur Zeit gibt (zum Beispiel das ALMA Interferometer in Atacama, Chile<sup>9</sup>), erlaubt es, Strukturen von etwa fünf Astronomischen Einheiten (AU, der mittlere Abstand Sonne-Erde) in den näheren Protosternen zu erkennen. Das ist etwa der Abstand zwischen

9 <http://www.almaobservatory.org/en/home/>

der Sonne und Jupiter und somit völlig ungenügend, um die Details jeglicher kleinerer Struktur abzubilden. Für letzteres brauchen wir folglich andere Methoden.

Jeder Körper sendet Licht aus, dessen Farbe (Wellenlänge) von der Temperatur des Körpers definiert ist. Messen wir dieses Licht, können wir die Existenz von Strukturen mit unterschiedlichen Temperaturen beweisen, auch wenn diese zu klein für die direkte Auflösung sind. Auf diese Art lässt sich zum Beispiel die warme, sogenannte „bewohnbare“ Zone getrennt von den kalten Regionen, in der Eisplaneten entstehen, untersuchen.

Atome und Moleküle senden auch direkt Licht aus, dessen farbliche Zusammensetzung, das Spektrum, uns erlaubt, einem Strichcode gleich das Atom oder Molekül und seine Temperatur eindeutig zu bestimmen. Indem wir das vom Protostern erhaltene Licht nach diesen Spektren analysieren, erhalten wir somit Aufschluss über die chemische Zusammensetzung. Diese kombinieren wir dann mit der Temperaturinformation und den unten beschriebenen Geschwindigkeiten, um räumliche und chemische Strukturen auf Skalen weit unter 1 AU (teilweise bis zu einem Sonnenradius hin) zu bestimmen.

Der Dopplereffekt erlaubt es uns, auch Geschwindigkeiten aus den atomaren und molekularen Spektren zu erhalten. Der Dopplereffekt beschreibt die Verkürzung der Wellenlängen der Signale, die von einem Objekt ausgesendet werden, das sich gegen uns bewegt (Blauverschiebung), und die Verlängerung der Wellenlängen, wenn sich das Objekt von uns weg bewegt (Rotverschiebung). Indem wir die gemessenen Spektrallinien der Spektren nach Blau- oder Rotverschiebungen untersuchen, schlüsseln wir die verschiedenen Regionen auch nach ihren Geschwindigkeiten auf. Wegen den Keplerschen Gesetzen rotiert die protoplanetarische Scheibe innen schneller als aussen. Das Licht, das von Materie ausgesendet wird, die auf den Stern fällt, unterliegt dann einer Rotverschiebung. Im Gegensatz dazu produziert der Sternwind, die Materie, die von der Oberfläche des Sterns ausgestoßen wird, eine Blauverschiebung. Eine Scheibe, die um einen Stern kreist, produziert eine Kombination von Blau- und Rotverschiebungen, da die Materie auf der einen Seite sich gegen uns und die Materie auf der anderen Seite von uns weg bewegt. Die betroffenen Spektrallinien trennen sich dann in eine Doppelspitze auf. Wenn die Scheibe nicht völlig rund oder gleichförmig ist, sind diese Linien zudem asymmetrisch. Dies hilft uns, auch irreguläre Strukturen in den protoplanetarischen Scheiben zu beobachten, die zum Beispiel durch sonst unsichtbare Planeten verursacht werden.

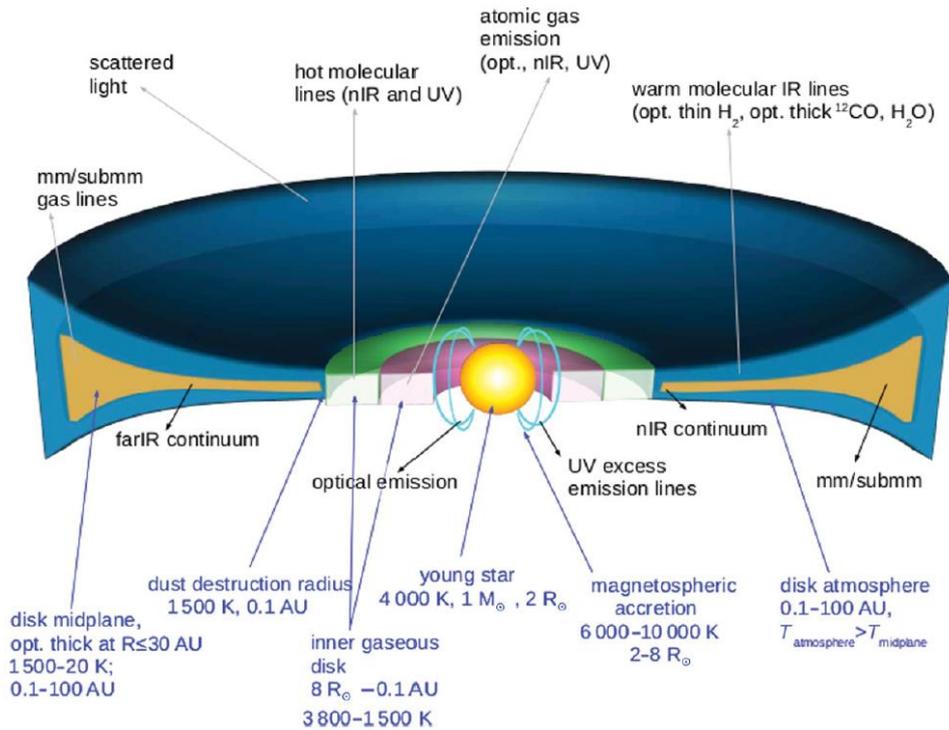


Abb. 2: Künstlerische Darstellung einer protoplanetarischen Scheibe (nicht maßstabgetreu) und worüber die verschiedenen Beobachtungstechniken Aufschluss geben. [Quelle: Sicilia-Aguilar et al., 2016]

### Zeit und Raum

Zeit und Raum sind auch verbunden. Prozesse mit hohen Geschwindigkeiten decken über längere Zeiten sehr große Räume ab (Abb. 3). Wenn wir unsere Beobachtungen jede Stunde, jeden Tag, jede Woche oder sogar alle Jahrzehnte wiederholen, betrachten wir, was in Regionen in aufsteigender Größe passiert. Die Messung des Dopplersignals über mehrere Umlaufzeiten von einem Stern mit Planeten gibt Blau- und Rotverschiebungen, die uns die Existenz der Planeten aufzeigt. Die Beobachtung eines jungen Sterns, der noch Materie von seiner Scheibe aufnimmt, über mehrere Monate oder Jahre hinweg zeigt uns, ob der Prozess der Sternbildung normal oder ungewöhnlich ist. Beobachten wir einen jungen Stern über mehrere Eigendrehperioden (Sterntage), können wir bestimmen, ob der Stern wie unsere Sonne kalte und heisse Flecken hat, die aber im Gegensatz zu den Sonnenflecken in der Regel viel größer sind. Das gibt auch Aufschluss über die stellaren Magnetfelder, denn diese kanalisieren das Einströmen von Materie auf den Stern, was die Sternflecken erzeugt. Es besteht eine große Wahrscheinlichkeit, dass wir mit solchen Methoden in den nächsten Jahren magnetische Zyklen in jungen Sternen beobachten werden können.

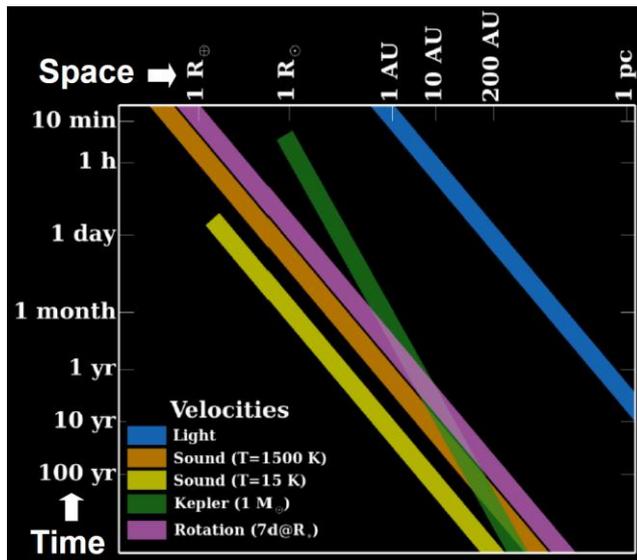


Abb. 3. Die Abhängigkeit zwischen Zeit und Raum für ein paar wichtige Geschwindigkeiten für junge Sterne, protoplanetare Scheiben und Sterngruppen.

### Neue und alte Beobachtungsmethoden

Indem wir all diese Techniken intelligent kombinieren, erhalten wir Aufschluss über die Struktur und Zusammensetzung der protoplanetarischen Scheiben mit einer Auflösung, die höher ist als diejenige, die irgendein einzelnes Instrument je erreichen könnte (siehe Abb. 2). Diese Methoden sind tomographisch, da sie auf vielen einzelnen Messungen beruhen, die für sich selbst genommen ungenügend wären, aber in ihrer Gesamtheit ein Potential haben, das wir erst wirklich zu nutzen begonnen haben.

Da auch kleine Teleskope hier eine wichtige Rolle spielen, verfügen wir bereits seit etwa 40 Jahren über recht gute Beobachtungen von jungen Sternen und protoplanetarischen Scheiben. Das entspricht mehreren Umlaufzeiten von Planeten wie Jupiter. Diese Daten wurden

noch nie nach diesen Kriterien analysiert. Zusammen mit neuen gezielten Messungen werden sie uns erlauben, einen großen Sprung vorwärts in der Rekonstruktion des Raum- und Zeitverhaltens von neugeborenen Sternsystemen zu machen. Das beinhaltet die Wechselwirkung zwischen der protoplanetarischen Scheibe, neugeborenen Planeten und dem Stern. Junge Doppelsternsysteme zeichnen sich auch durch eine hohe Dynamik aus, die wir so entschlüsseln können. All das ist nur ein Teil der Möglichkeiten, und Forschung in diese Richtung hat erst in den letzten Jahren richtig angefangen.

### Bibliographie

„The 2014-2017 outburst of the young star ASASSN-13db. A time resolved picture of a very low-mass star between EXors and FUors“, Sicilia-Aguilar, Oprandi, Froebrich, et al. 2017, *Astronomy & Astrophysics*, 607, 127

„A Rosetta Stone for protoplanetary disks: The synergy of multi-wavelength observations“, Sicilia-Aguilar, Banzatti, Carmona, et al., 2016, *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 33, 55

„Accretion dynamics of EX Lupi in quiescence: The star, the spot, and the accretion column“, Sicilia-Aguilar, Fang, Roccatagliata, et al. 2015, *Astronomy & Astrophysics*, 580, 82

„GW Orionis: Inner disk readjustments in a triple system“, Fang, Sicilia-Aguilar, Roccatagliata, et al. 2014, *Astronomy & Astrophysics*, 570, 118

„A Herschel view of IC 1396A: Unveiling the different sequences of star formation“, Sicilia-Aguilar, Roccatagliata, Getman, et al. 2014, *Astronomy & Astrophysics*, 562, 131

„Optical spectroscopy of EX Lupi during quiescence and outburst: Infall, wind, and dynamics in the accretion flow“, Sicilia-Aguilar, Kóspál, Setiawan, et al. 2012, *Astronomy & Astrophysics*, 544, 93

## **7. Claude Nicollier: Faszination der Raumfahrt**

### **ERKENNTNISSE EINES ASTRONAUTEN**



Hirn, Hand und Herz sind für den Astrophysiker und Astronauten Claude Nicollier ein Dreiklang, der auch im Weltraum Bedeutung hat. Wer mit 26-facher Schallgeschwindigkeit um die Erde kreist und alle 90 Minuten einen Sonnenaufgang erlebt, hat wahrlich ausserirdische Erlebnisse. Sie werden nur möglich, wenn alles exakt berechnet und präzise in die Realität umgesetzt wird. Kein anderer Astronaut hat im Weltraum anspruchsvollere instrumentelle Probleme zu lösen gehabt als er. Doch das sind nicht die einzigen Parallelitäten Nicolliers mit Bürgi.

### **Claude Nicolliers Erd- und Weltraumstationen**

Claude Nicollier wurde 1944 am Genfersee in Vevey geboren. Nach dem Studium der Physik in Lausanne und der Astrophysik in Genf ergriff der Waadtländer den Beruf des Astrophysikers. Parallel zum Studium absolvierte er seine Ausbildungen als Pilot der Schweizer Luftwaffe und als Linienpilot. Schon 1988 ist er erfolgreicher Absolvent der britischen Empire Testpilotenschule, Boscombe Down. Sein Dienst bei der Schweizer Luftwaffe von 1966 bis 2004 stellte eine Teilzeitbeschäftigung dar, bei der er mit Venom, Hawker Hunter und F-5E Tiger flog. Von 1974 bis 1976 arbeitete er als Erster Offizier der DC-9 bei der Swissair.



1978 wurde Claude Nicollier in die erste Astronautengruppe der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) ausgewählt, danach wurde er zum NASA Johnson Space Center (JSC) in Houston, Texas, entsandt, um dort gemäss einer Vereinbarung zwischen der ESA und der NASA eine Ausbildung zum Missions-spezialisten auf dem US Space Shuttle zu absolvieren. Nach einigen Jahren Ausbildung und verschiedenen Jobs bei JSC war er zwischen 1992 und 1999 bei vier Shuttle-Missionen Crewmitglied, und absolvierte dabei am Hubble Space Telescope zwei anspruchsvolle On-Orbit-Korrektur- und Ausbauarbeiten. Während seiner letzten Mission im Dezember 1999 führte er einen Weltraumspaziergang von mehr als acht Stunden Dauer durch, um neue Ausrüstungen zu installieren. Er verbrachte während dieser vier Missionen insgesamt mehr als tausend Stunden im Weltraum.

Claude Nicollier ist Mitglied des Schweizerischen Weltraumzentrums in Lausanne und Honorarprofessor an der Eidgenössischen Technischen Hochschule. Er unterrichtet momentan einen Masters-Kurs mit dem Titel «Space Mission Design and Operations», der auch online als MOOC-Kurs auf der edX-Plattform zugänglich ist.



*Toggenburger Tagblatt, 16. April 2018*

### «Diversität ist wichtig fürs Überleben»

Als erster und bisher einziger Schweizer flog der Astronaut Claude Nicollier ins Weltall. Am Jost-Bürgi-Symposium gab er einen Einblick in die Raumfahrt, die ohne Jost Bürgi in dieser Art nicht möglich wäre. Sascha Erni spricht in Lichtensteig mit Claude Nicollier

*Claude Nicollier, in Ihrem Referat sagten Sie, dass die Raumfahrt langfristig die Chancen fürs Überleben der Menschheit erhöhen könnte. Was bedroht dieses Überleben?*

Die grösste Gefahr ist ganz klar die eines grossen Meteoriteneinschlags. Es ist sicher, dass das irgendwann geschehen wird. Nicht ob, sondern wann. Wenn sich dann die gesamte Menschheit auf nur einem Planeten befindet, haben wir als Spezies ein Problem. Ich sehe die Raumfahrt entsprechend wie einen weiteren Evolutionsschritt: aus dem Wasser aufs Land und in die Luft, nun in den Weltraum. Diversität ist wichtig fürs Überleben.

*Private Unternehmer wie der von Ihnen erwähnte Elon Musk steigen in die Raumfahrt ein. Wie stehen Sie dazu?*

Das ist grossartig, ein neues Kapitel in der Raumfahrtgeschichte! Es finden sich bei Space X viele grosse Talente. Für die NASA ist es ein wichtiger Stimulus, sie wollte diese Entwicklung und hat sie auch aktiv gefördert. NASA und ESA sind auf die Erforschung des Weltraums ausgerichtet, nicht auf Raum-Transport. Mit seinen Marsplänen ist Musk vielleicht zu enthusiastisch, aber in der Raumfahrt-Community genießt er viel Respekt für das, was er tut.

*Ostschweiz am Sonntag, 15. April 2018*

### Prominenter Besuch in Lichtensteig

Am zweiten internationalen Jost-Bürgi-Symposium hat gestern auch der Astronaut Claude Nicollier ein Referat gehalten. Der einzige Schweizer, der je im Weltraum war, würdigte dabei die Arbeit des 1552 in Lichtensteig geborenen Mathematikers, Astronomen und Uhrmachers und nannte diesen ein «Genie».

Nicollier sprach natürlich auch über die Raumfahrt. Er erklärte, wie deren Anfänge dem Kalten Krieg geschuldet waren – heute aber auf dem Gebiet Menschen aus aller Welt zusammenarbeiten. Auch der Blick in die Zukunft fehlte nicht: Laut Nicollier wird es in den nächsten Jahrzehnten zurück auf den Mond gehen. Bereits in wenigen Jahren würden zudem Touristen ins All fliegen. «Wenn Sie die Gelegenheit dazu haben, sollten Sie sie nutzen», sagte er.

Jost Bürgis Einfluss auf Wissenschaft und Technik zeigte sich nicht nur in Nicolliers Präsentation – ohne seine Arbeiten im 16. Jahrhundert gäbe es die moderne Astronomie nicht und damit auch nicht die einzigartige Weltraumkarriere des 73-Jährigen.

