

Zeitschrift: Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG

Herausgeber: Eisenbibliothek

Band: 91 (2019)

Artikel: Uhrmacher als Prototypen technischer Experten in der europäischen Vormoderne : das Zusammenwirken technischer Kompetenzen bei den Ingenieuren der Renaissance

Autor: Dohrn-van Rossum, Gerhard

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-846793>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 20.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Uhrmacher als Prototypen technischer Experten in der europäischen Vormoderne

Das Zusammenwirken technischer Kompetenzen bei den Ingenieuren der Renaissance

Uhrmacher wurden über lange Zeit als prototypische Maschinenbauer der frühen Industrialisierung angesehen. Uhrwerke aller Art finden sich häufig unter den von den «Renaissance-Ingenieuren» des 15. Jahrhunderts konstruierten oder entworfenen Maschinen und Mechanismen. Ihre Uhrwerke waren nicht nur als Zeitmesser sensationelle technische Innovationen. Sie wurden auf längere Sicht auch zur Grundlage vielfältiger Folgeinnovationen.

Mechanische Uhren wurden sofort nach ihrem Erscheinen im frühen 14. Jahrhundert als Automaten und Spitzenleistungen menschlicher Kunstfertigkeit bewundert. Die seither geläufigen Konzepte vom Kosmos als Uhr und Gott als Uhrmacher verstärkten das Prestige der Uhrenbauer, ganz gleich ob sie astronomisch gebildete Konstrukteure oder versierte Praktiker waren. Auch wenn es in der neueren Forschung kritisch gesehen wird, hat man Uhrmacher lange für die prototypischen Maschinenbauer der frühen Industrialisierung gehalten. Uhrwerke aller Art finden sich auch auffällig häufig unter den von den «Renaissance-Ingenieuren» des 15. Jahrhunderts konstruierten

oder entworfenen Maschinen und Mechanismen. Die seit dem Mittelalter geläufige Berufs- oder Tätigkeitsbezeichnung «Ingenieur» bezieht sich auf die Vielfalt der praktischen Kompetenzen in militärischen, architektonischen oder im engeren Sinne technischen Bereichen. Uhrwerke waren damals nicht nur als Zeitmesser sensationelle technische Innovationen. Sie wurden auf längere Sicht auch zur Grundlage vielfältiger Folgeinnovationen.

Schon in der Chronik, die zum allerersten Mal zum Jahr 1336 von einer Uhr mit automatischem Schlag der 24 Tagesstunden auf einem Mailänder Kirchturm berichtet, ist nicht nur von dieser höchst nützlichen Neuerung



1

die Rede, sondern auch von vielen weiteren technischen Neuerungen in Mailand in der Zeit der Visconti-Fürsten. Da hört man auch von ganz neu erfundenen Mühlen, die weder von Wasser noch von Wind getrieben würden, sondern über kunstvolle Getriebe von Gewichten und Gegengewichten nach Art der Uhren. Damit könne ein Knabe kontinuierlich 35 Liter Getreide in guter Qualität mahlen.¹ Diese Chronik ist ein wichtiges Zeugnis für das seit dem Beginn des 14. Jahrhunderts erwachende Interesse an und das Bewusstsein von zeitgenössischen technischen Innovationen und ihren Erfindern.² Gewichtsantriebe für Mühlen finden sich dann öfter in den Maschinenbüchern des 16. Jahrhunderts.³

Planetarien

Unter den seit dieser Zeit bekannten Monumentaluhren mit astronomischen Indikationen, Figurenläufen und Musikspielwerken hat es einige wenige echte sogenannte Planetarien gegeben, die neben den zahlreichen üblichen Indikationen auch die Bahnen der sogenannten Wandelsterne (stellae errantes), der Planeten, die am sichtbaren Himmel scheinbar unregelmässig und teilweise scheinbar rück-

wärts kreisten, anzeigten. Von diesen sehr anspruchsvollen Konstruktionen kennen wir heute noch zwei, weil ihre Konstrukteure als Autoren Werkstattberichte bzw. Bauanleitungen hinterlassen haben. Richard of Wallingford (1292–1335), der Sohn eines Grobschmieds, hat während seines Studiums in Oxford Abhandlungen über astronomische Beobachtungsgeräte verfasst und diese wohl auch gebaut. Als Abt des Benediktinerklosters St. Albans in Herefordshire (seit 1327) verwendete er viele Jahre auf die Kalkulationen und die Konstruktion einer komplizierten astronomischen Uhr, die nicht nur die 24 Tagesstunden schlug, sondern auch den Lauf von Mond und Sonne auf einem Astrolabzifferblatt und kalendarische Indikationen, evtl. auch Gezeiten, anzeigen sollte. Auch die Prognose von Mondeklipsen war möglich. Beschrieben hat er das Gerät in seinem «Tractatus Horologii Astronomici». Es ist wohl kaum übertrieben, Abt Richard auch als Ingenieur zu bezeichnen.⁴ Eine berühmte Buchminiatur zeigt ihn in seiner Werkstatt beim Auszirkeln einer Metallplatte.

Ein Epitaph, heute an der Aussenmauer des Baptistariums in Padua, rühmt den Stadtarzt von Chioggia und Unternehmer Jacopo Dondi der Konstruktion bzw. «Erfin-

dung» der öffentlichen Uhr, die der Stadtfürst Ubertino I. von Carrara 1344 an seinem Palast hatte anbringen lassen. Sein Sohn Giovanni Dondi war Professor für Medizin, Astrologie und Logik an den Universitäten von Padua und Florenz und Leibarzt der Visconti, für die er auch als politischer Berater tätig war.⁵ Anlässlich von Grenzstreitigkeiten zwischen Venedig und Padua fertigte Giovanni eine Karte des Gebiets südlich von Padua an, wo sein Vater Besitzungen und Mühlenbetriebe hatte. Nach der Überlieferung gab die – heute verlorene – Karte alle Wasserläufe, Sümpfe, Deiche und Flussmündungen getreu wieder.⁶ Die Stellung als Leibarzt des Herzogs von Mailand verschaffte Giovanni Musse, die er nutzte, um, wie schon sein Vater, eine Abhandlung über Thermalquellen zu verfassen. Neben den rein akademischen Erörterungen, ob und wie die alten Autoritäten in diesen Fragen übereinstimmen, finden sich jetzt schon recht anschauliche Beobachtungen der Quellen von Abano und St. Helena, die geräuschvoll blubberten wie ein unregelmässig geformtes Glasgefäss auf einem Kochtopf.

16 Jahre lang bis 1365 hat Giovanni Dondi an einem komplexen uhrwerkgetriebenen Mechanismus gearbeitet. Das «Astrarium», Prototyp aller Planetarien, sollte ohne die für Laien mühsamen Tabellen und Kalkulationen Planetenpositionen anzeigen. Die Beschreibung bzw. Bauanleitung – und das war neu in den mittelalterlichen technischen Aufzeichnungen bzw. Maschinenbüchern – nennt die Materialien (v. a. Messing), gibt die Masse (empirisch: «Finger», «Messerklänge») an und folgt methodisch dem Konstruktionsvorgang von den einzelnen markierten Elementen und der Form der Zahnräder allmählich bis zur Gesamtapparatur.⁷ Die Umlaufzeiten einzelner Räder und Triebe betragen zum Teil mehrere Jahre; für die Darstellung der Planetenorte musste Dondi auch ovale und unregelmässige Zahnräder, Pleuel und Führungsschienen entwickeln. Einem französischen Reisenden erzählte er später – wenig glaubwürdig –, er habe alle Metallarbeiten eigenhändig ausgeführt.⁸ Ob schon dem Vater oder erst dem Sohn der über Jahrhunderte in der Familie geführte Beinamen «dall Orologio» beigelegt wurde, ist nicht ganz klar. Paradoxerweise hat sich Giovanni Dondi bei allem Selbstbewusstsein in Bezug auf seine technische Leistung nie als der Neuerer empfunden, den wir heute in ihm sehen.

Das Astrarium bedurfte sorgfältiger Wartung, und dafür mussten Mitarbeiter angelernt werden. Einer davon hat jahrelang das Haus der Dondis mitbewohnt: Andrea degli Organi aus einer Familie von Mailänder Ingenieuren. Die Bibliothek und das Astrarium in Pavia zogen zahlreiche Besucher an, und schon um 1385 preist der französische Diplomat Philippe de Mezières das Astrarium als ein Weltwunder. Francesco Petrarca und Leonardo da Vinci haben diese Bibliothek besucht; Leonardo hat wohl auch eines der Zifferblätter abgezeichnet. Obwohl die Sforza sich um das Astrarium nicht weniger kümmerten als die Visconti, sprechen alle Nachrichten dafür, dass das Gerät nach dem Tod des Konstrukteurs nie mehr richtig funktioniert hat. Die Bauanleitung wurde verliehen und zurückgefordert, gelegentlich mussten Teile ersetzt werden, aber meistens fehl-

te es an Uhrmachern, die sowohl die handwerklichen Fähigkeiten als auch die entsprechenden theoretischen Kenntnisse besaßen. In der Mitte des 15. Jahrhunderts wird ein Guglielmo Monaco, der später als Uhrmacher und Geschützmeister in Dubrovnik und Neapel tätig wird, aus Paris zu einer Reparatur herbeigerufen. Nach den letzten Nachrichten über Dondis Astrarium soll Kaiser Karl V., ein grosser Uhrennarr, die Überreste des Astrariums noch in Pavia gesehen haben. Für ihn soll dann der Ingenieur und Hofuhrmacher Gianello Torriano, Konstrukteur der berühmten Wasserwerke bei Toledo, neue planetarische Uhren, eine davon mit etwa 1800 Zahnrädern, gebaut haben.⁹

Baumeister, Architekten, Militäringenieure

Das im 14. Jahrhundert von der ökonomischen und demographischen Entwicklung beförderte Städtewachstum brachte auch enorme urbanistische Herausforderungen: Mauerbauten, Brücken, Kanäle, Brunnen, Schleusen, religiöse, zivile und militärische Grossbauten. Wir beobachten in dieser Zeit die zunehmende Bedeutung von Spezialisten: von Bergbautechnikern, Baumeistern/Architekten, Armbrustern, Geschützmeistern, Kanonengiessern, Orgelbauern und auch Uhrmachern. Freiberufliche und angestellte technische Experten mit Mehrfachkompetenzen traten bei Grossprojekten v. a. in Oberitalien auf. Kathedralbauten, Arsenalen, Hafenanlagen, Kanäle und Schleusen wie auch Bergwerke erwiesen sich als Milieus hoher Innovationsbereitschaft, die innovative Akteure magnetisch anzogen.

An der im Jahr 1386 begonnenen Dombaustelle in Mailand, wo u. a. einige Hunderttausend grosse Marmorblöcke über Kanäle herbeigeschafft und bearbeitet werden mussten, schlug ein «magister ab orologiis» Francisco Pessono im Jahr 1402 eine Steinsägemaschine («instrumentum pro resecandi lapides vivos») vor, die – wie eine Uhr! – nur mit Gewichten («solum per contrapensibus») betrieben werden sollte. Sie sollte mehr leisten als fünf mit derselben Aufgabe beschäftigte Männer. Die mit 10 Gulden für ein kleines Holzmodell veranschlagten Kosten wurden vorgestreckt. Noch im September 1403 baute Francisco Pessono an dieser Säge und erhielt 25 Gulden für ein grosses Eisenrad («gran ruota di ferro»). 1405 wurde die Säge repariert. Der Uhrmacher hatte die Baustelle später verlassen¹⁰ und wurde zwischen 1418 und 1420 in Diensten des Herzogs Filippo Maria Visconti in Como als «magister a bombardis» tätig.¹¹ Ein anderer «maestro d'orologi» und «ingegnere», Giovanni da Zellino, erhielt im Juli 1404 einen Vertrag über die Konstruktion einer Maschine («strumento») für den Transport und zum Heben von Marmorblöcken. Sie sollte mit einem Drittel des bisher dafür benötigten Personals auskommen. Die Fabbrica del Duomo bewilligte 50 Gulden, wälzte aber das Risiko des Misslingens auf den Konstrukteur ab. Offenbar waren die Versuche erfolgreich. Giovanni da Zellini wurde im November 1404 zum «ingegnere della fabbrica» ernannt.¹² Im Juli 1406 hörte man von einer Marmorsäge, die der Mühlenbauer Zannone Cavellazzi («magister a molendinis») konstruiert hatte. Bei ihrer erfolgreichen Prüfung durch eine Kommission von Depu-

tierten und Ingenieuren der Dombauhütte wurde festgestellt, dass sie Steine massgerecht sägen konnte und von einem gewöhnlichen Arbeiter bedient wurde. Ausserdem ersetzte sie die körperliche Arbeit von fünf Menschen, war auf der Baustelle problemlos transportabel und ihre erwartete Lebensdauer entsprach der eines gewöhnlichen Sterblichen.¹³ Qualifizierter Uhrmacher war auch der zwischen 1400 und 1450 am Dom als Architekt tätige Filippino degli Organi da Modena, politischer Protegé der Visconti-Herzöge, die schon lange Mitglieder der Familie «degli Organi» als Ingenieure in ihren Diensten hatten. Schon im Jahr 1352 war den Mönchen von S. Maria dell'Valle bei Mailand gestattet worden, Wasser aus dem neuen Kanal, dem Naviglio Grande, abzuleiten. Die Mönche baten um technische Hilfe durch den «magister in zingnerius Johannes de Mutina dictus de Organis» (Giovanni degli Organi).¹⁴ Unklar ist, ob dieser Hydraulik-Experte im Dienst der Visconti selbst auch Orgeln bauen konnte oder ob er den Namen schon geerbt hatte. 1354, zwei Jahre später, baute er die erste Turmuhr im gerade von den Visconti annektierten Genua.¹⁵ Ein Filippo degli Organi war im Mai 1438 mit Arbeiten an einem Naviglio zwischen Bereguardo und Pavia sowie im Jahr darauf mit dem Bau einer Schleuse in der Stadt Mailand beschäftigt.

Künstler-Ingenieure

Wegen der Vielfalt seiner technischen und militärischen Kompetenzen war Domenico da Firenze (Domenico di Benintendi di Guidone, gestorben 1409) sicher ein Archetyp des Renaissance-Ingenieurs.¹⁶ Ausweislich der zeitgenössischen Chroniken haben verschiedene Herrschaften seine Kompetenzen bei Festungsbauten, bei zivilen und militärischen Kanal- und anderen Wasserbauten ebenso genutzt wie seine artilleristischen Fähigkeiten. In seiner Zeit bei Niccolò d'Este war Domenico mit einem Konrad zusammengetroffen, der in meinem Inventar zu den Quellen der mittelalterlichen Uhren zum Jahr 1402 als «magister Conradus teoticus» verzeichnet ist. Im Jahr 1402 hatte dieser Konrad den Auftrag, auf dem Palast des Niccolò III. d'Este in Ferrara eine neue Uhr mit Figurenautomaten einzurichten. Er war jedoch technisch überfordert und entzog sich dem unfertigen Projekt durch Flucht.¹⁷ Dieser Konrad wurde vor etwa 15 Jahren von Dietrich Lohrmann und seinem Team als vielseitiger und auch recht gebildeter Autor eines sensationellen frühen Maschinenbuchs identifiziert.¹⁸ In diesem Buch berichtet Konrad Gruter von seinen gelungenen wie auch von seinen gescheiterten Projekten bei verschiedenen Herren in Rom, Modena, Camerino in den Marken, in Ferrara, Padua und Lucca. Wir erfahren auch von Konrads Kontakten mit anderen Ingenieuren. In seiner Zeit beim Markgrafen Niccolò III. d'Este bittet ihn Francesco Novello da Carrara, Herr von Padua, zusammen mit Domenico da Firenze und einem Giovanni de Livello aus Verona nach Padua, um dort dafür zu sorgen, «dass, da ihm das Wasser der Brentella von demselben Magister Dominicus zur Zeit des grossen ersten Herzogs von Mailand [Giangaleazzo Visconti], als dessen berühmter und scharfsinniger Werk-

meister der Magister Dominicus überall galt («artifex famosus ac subtilis undique habitus et reputatus»), abgeleitet worden war, ihm nun von demselben Magister auch geholfen werde, von anderswoher genügend Wasser zu beschaffen».¹⁹

Domenicos Vorschlag, den Fluss Bacchiglione, an dem Padua seine Mühlen betrieb, dafür aufzustauen, war dem Markgrafen zunächst zu teuer. Konrad Gruter schlug dann 1404 ein Schöpfwerk vor und baute auch ein Holzmodell: Zur Ausführung kam es aber nicht, weil Francesco Novello in venezianischer Kriegsgefangenschaft verstorben war.

In Gruters durch Miniaturen illustrierten Erfahrungsberichten ist die Rede von Mühlen aller Art, von denen er sagt, es würden ständig neue Arten entwickelt, von Brücken, Wasserhebwerken, militärischem Gerät, auch von Bombarden, von einer Tauchausrüstung, aber auch von einem Dauerthema spätmittelalterlicher Techniker: dem kontinuierlich bewegten Rad, dem Perpetuum mobile. In einer Skizze findet sich auch ein für den Uhrenbau wichtiger Zahnradtyp, das sogenannte Kronrad. Gruters Buch weitet unseren Blick auf ein ziemlich dichtes Netz und zahlreiche Migrationsvorgänge in Ober- und Mittelitalien sowie auf ein Milieu zahlreicher nicht akademischer, aber durchaus gebildeter Ingenieure.

Dionisio da Viterbo (gestorben 1497), der Sohn eines Maurers, war von 1469 bis 1474 Wärter der Uhr auf dem Torre del Mangia in Siena, die er zusammen mit seinem Bruder auch repariert hatte.²⁰ Im September 1477 wurde den beiden eine Zahlung für den Bau einer ausserordentlich gelungenen Uhr in Cortona angewiesen.²¹ Der Sieneser Bankier Ambrogio Spannochi empfahl Lorenzo di Medici im gleichen Jahr den in Bologna tätigen Dionisio und verwies auf eine kunstvolle Uhr mit Figuren- und Musikautomaten, die Dionisio auch in Florenz vorführen könne.²² Dionisio bewarb sich dann im Februar 1479 beim Fürsten mit der Beschreibung tödlicher Waffen und bot eine persönliche Vorführung tragbarer und kostengünstiger Schiessgeräte an.²³ Lorenzo drückte zwar seine Wertschätzung für Dionisio aus, dieser musste aber, weil er in die Pazzi-Verschwörung verwickelt war, fliehen. Wir finden ihn dann mit seinem Bruder in Venedig, wo er in Würdigung seiner Verdienste zum fest angestellten Ingenieur im Arsenal der Serenissima wurde.²⁴ Diese Verdienste bestanden im Bau einer Pontonbrücke über den Po, in der Konstruktion einer Schleuse am Übergang des Piovego in die Brenta und in der Wartung und Ausbaggerung des Canal d'Arco zwischen Padua und Monselice. Als Gutachter war er 1488 beim Umbau der Festung in Feltre, an der Grenze zum bischöflichen Trento, tätig. Im vatikanischen Codex Palatino 767, f.163 (um 1480) finden sich Zeichnungen von fünf Bombarden, die Dionisio zugeschrieben werden.²⁵

Prominentester Vertreter der Gruppe der Künstler-Ingenieure der Renaissance ist wegen seiner künstlerischen, architektonischen und ingenieurtechnischen Leistungen gewiss Filippo Brunelleschi (1377–1446). Er war gelernter Goldschmied und sein Biograph Antonio Manetti

berichtet, dass er in seiner Jugend Uhren und klingende Wecker mit verschiedenen Arten von Federn konstruiert habe wie auch Mechanismen («ingegni»), die er gesehen habe. Erst seit 1999 ist bekannt, dass die Gemeinde Scarperia bei Florenz von Brunelleschi eine Turmuhr gekauft hatte.²⁶ Die Uhrentechnik habe ihm geholfen, verschiedene Maschinen zu entwerfen:²⁷

«Er begann daher, als er die Bekanntschaft einiger Wissenschaftler machte, seine Erfindungsgabe auf Themen wie Zeit und Bewegung, Gewichte und Räder zu lenken, und wie man Letztere zum Drehen bringt und sie in Gang setzt. Auf diese Weise fertigte er eigenhändig eine Reihe exquisiter und wunderschöner Uhren an.»²⁸

Von Federzügen angetriebene Uhrwerke finden sich auch in den etwa gleichzeitig entstandenen Aufzeichnungen des Mariano di Jacopo, genannt Taccola (1381 bis um 1453), ein vielseitiger Ingenieur, der sich selbst als «Archimedes von Siena» bezeichnet hat.²⁹

Brunelleschi war auch an einem Versuch beteiligt, die Stadt Lucca in eine Insel zu verwandeln – ein öfter verschwiegener Misserfolg hydraulischer Kriegführung.³⁰ Das erste uns bekannte Patent, das er sich 1422 von der Republik Florenz hat ausstellen lassen, zeigt Brunelleschis ausgeprägtes Selbstbewusstsein als Erfinder. Sein «Badalone» (von battello «Ungetüm») genanntes Gerät («machina») sollte den Transport schwerer Marmorsäulen auf dem Arno, der meist nur flaches Wasser führte, ermöglichen. Er verlangte Schutz vor Nachahmung, exklusive Nutzungsrechte und finanzielle Vorteile. Die Signoria bestätigte das Privileg:

«[...] damit ein Privileg geschaffen würde für Filippo, damit Filippo noch stärker auf höhere Ziele hingeführt würde, und zu noch subtileren Erforschungen/Erfindungen angeregt würde.»³¹

Das Projekt erwies sich zum Spott der Städter als Desaster und wurde später gern verschwiegen. Dennoch hat die Stadt Brunelleschi auf einem nach 1446 geschaffenen Epitaph als grossen Erfinder verewigt.

Die sich entwickelnde engere Beziehung zwischen Wissenschaft und Technik wie auch die Versuche, neue Techniken zu wissenschaftlichen Beobachtungen anzuwenden, lassen sich gut an der Person des Giovanni Fontana (1395–1440?) verfolgen. Dabei wird auch deutlich, wie sich im Milieu der Techniker und Ingenieure ein Fortschrittsbewusstsein, sogar ein Bewusstsein von kontinuierlichem technischen Fortschritt entwickelte. Fontana, ein humanistisch gebildeter und technisch sehr versierter Arzt kam aus dem gelehrten Milieu um die Universität Padua, verabschiedete sich aber von der akademischen Laufbahn und liess sich als Stadtarzt in Udine nieder. Sein umfangreiches Werk besteht aus rund 20 Traktaten zur Naturphilosophie und – teilweise verschlüsselt – zu Kriegsmaschinen, Automaten, Wasserspielen, Weckern und Uhren mit Figuren- und Musikautomaten,³² Kryptographie³³ und mnemotechnischen Apparaten. In seinem «Maschinentheater» finden sich allerlei Gaukeleien, pyrotechnische Spielereien, Rake-

ten und Theatertricks. Spektakulär sind vor allem seine Entwürfe zur indirekten Messung von Entfernungen im Wasser, in der Luft und auf der Erde durch Laufzeitmessungen künstlicher Tiere mit Raketenantrieb. Fontana sieht sich als Erfinder, nach dem Motto: Gott habe dem Menschen so viel intellektuelle Kraft gegeben, dass sie Künste entwickelt hätten, die die Natur von allein nicht hervorgebracht hätte.³⁴ Er berichtet beispielsweise stolz von der Entwicklung von Brunnen für die Stadt Venedig, die er teils alten (griechisch-arabischen) Quellen entnommen, teils aber aus eigenem «ingenio» konzipiert habe.³⁵ Eine von ihm entwickelte Uhr bezeichnet er als «mea invencio» und als ein neues Gerät, ein «artingenium novum».³⁶ Seine Erfindungen sollten junge Leute und andere «Ingenieure» zu Weiterentwicklungen anregen.³⁷ Stolz äussert er sich über die technischen Errungenschaften und Erfindungen des späteren Mittelalters. Die ganze bewohnbare Welt sei voll von erstaunlichen Gegenständen, ingeniösen Maschinen und Werkzeugen, die die Künste oder die «scientiae operative quas artes vocamus» vorwärts bringen könnten.³⁸ Allerdings sei die schreckliche Maschine, die man «bombarda» nennt, eine Erfindung sowohl der Gottlosigkeit wie des Genies; immerhin sei anzuerkennen, dass ungeheure Wirkungen von so wenig Pulver ausgelöst werden können.³⁹

Seine erst 2011 von Horst Kranz herausgegebenen Jugendwerke behandeln Sanduhren, Wasseruhren und letztendlich mechanische Geräte und Getriebe sowie mechanische Uhren zur Messung von Bewegungen und Entfernungen. Messungen mit Wasseruhren werden schon in der Antike erwähnt. Fontana konzipierte solche Geräte mit den relativ modernen Sanduhren, die er zu raffinierten Apparaten mit kontinuierlichem Betrieb und gradierten Skalen weiterentwickelte.

Öfter merkt Fontana an, dass er die Geräte selbst gebaut und ausprobiert habe. Allerdings werden sie – falls überhaupt jemals gebaut – kaum funktioniert haben. Er wusste aber auch um ihre Unvollkommenheiten und Ungenauigkeiten, v. a. um die Schwierigkeit, Wasser- und Sanduhren zu kalibrieren. Im Rückblick wird deutlich, dass er sich mit diesen Vorschlägen auf technischen «Holzweigen» befand. Damit war er nicht allein. Man denke an den Vorschlag des Nikolaus von Kues zur vergleichenden Messung von Puls und Atem mittels einer Wasseruhr, an Leon Battista Albertis merkwürdige Projekte zur Messung von Wassertiefen, vor allem aber an Leonardo da Vincis immer wieder niedergeschriebene Messprojekte mithilfe solcher Elementaruhren. Verblüffend ist Fontanas Optimismus im dritten Traktat, auch kleinste Zeiteinheiten messen zu können, etwa Stundenteile von Minuten über Sekunden, Terzen bis zu Quarten oder auch Tausendsteln von Stunden.

Leonardo Da Vinci

Unser idealtypisches Konzept vom Renaissance-Künstler-Ingenieur ist geprägt von der Erinnerung an die nach allgemeiner Ansicht alle überragende Figur des Leonardo da Vinci (1452–1519). Leonardo gehört deutlich zu den bisher geschilderten Traditionen und fühlte sich auch selbst ihnen

zugehörig. Er kannte fast alle Akteure (wie z.B. Taccola, Francesco di Giorgio, Lorenzo della Volpaia) persönlich oder aus Aufzeichnungen. Zumindest auf dem Papier trieb er viele technische Entwicklungen weiter. Durchbrüche auf dem Gebiet moderner wissenschaftlicher Applikationen sind ihm aber wohl nicht gelungen.

Am Hof der Sforza in Mailand war er 17 Jahre als «pictor et ingeniarius ducalis» tätig und auch in Florenz, in Rom und Frankreich als Maler, Bildhauer, Kartograph, Architekt, Anatom, Mechaniker und Waffenexperte. Ausser den bekannten Kunstwerken ist uns eine grosse Zahl von Aufzeichnungen überliefert, die in grossen Bibliotheken Europas bewahrt werden. Wohl an die hundert Skizzen, Notizen und Überschriften zeigen deutlich, dass Leonardo sich zeit seines Lebens mit vielen Aspekten der Uhrentechnik befasst hat. Leonardo war mit der avanciertesten Uhrentechnik um das Jahr 1500 vertraut.⁴⁰ Nur einmal hat Leonardo ein komplettes Uhrwerk gezeichnet. Sein anhaltendes Interesse an den mechanischen Elementen der Uhren und ihren Funktionen ist auch in seinem nicht realisierten Projekt einer allgemeinen, von den einzelnen Mechanismen abstrahierenden Maschinenlehre begründet. Inzwischen ist es um Leonardo da Vinci als Universalgenie, als genialen Techniker am Beginn der Moderne, als «Daniel Düsentrrieb» der Renaissance etwas leiser geworden. Wir kennen die zeitgenössischen Kontexte und die zeitgenössischen technischen Autoren einfach besser. Inwieweit Leonardo zeitgenössische Technik registrierte, zeitgenössische Überlegungen aufnahm und weiterführte, und wo wir ihn als Erfinder bezeichnen können, ist schwer zu sagen. Daher bleibt die jeweilige «Erfindungshöhe» oft unklar.

Leonardo hat sich mit Zahnrädern, auch mit epizyklischen Zahnformen, mit Übersetzungen und Getrieben sowie mit Weck- und Läutwerken auf Glocken beschäftigt. Er hat das Astrarium des Giovanni Dondi und auch eine astronomische Uhr beim Zisterzienserkloster Chiaravalle Milanese studiert, wobei er auch eine Minutenanzeige erwähnt. Ganz neu sind für uns seine Aufzeichnungen zu Federantrieben, ihrer Herstellung und zu den Möglichkeiten, die nachlassende Kraft der Stahlfedern für einen gleichmässigen Antrieb auszugleichen.⁴¹

Neben vielen Überlegungen zu Gewichtsantrieben kommt Leonardo immer wieder auf das Problem der gleichmässigen Bewegung, des «motu continuo» zurück. Das ist wohl der Grund, dass er immer wieder den Hemmungsmechanismus, der das regulierte Gleichmass der Bewegungen sichert, zeichnete oder erwähnte.

Uhren sind für uns in erster Linie Zeitmesser und genau in dieser Hinsicht zeigt sich bei Leonardo da Vinci ein merkwürdiger Befund. Leonardo fragte nach der Geschwindigkeit des Windes, der Fliessgeschwindigkeit von Flüssen, oft auch nach der Messung von Schiffsgeschwindigkeiten. Die Messgeräte aber, die er vorschlug, sind durchweg traditionelle Elementaruhren: Wasseruhren, Sanduhren, Quecksilberuhren. Dabei konzipierten er wie auch Giovanni Fontana durchaus raffinierte Mechanismen mit 24-Stunden-Schlagwerken und auch mit Minuten- und Sekunden-

teilungen. Bei den von ihm konzipierten Messungen stellte er immer wieder die – moderne – quantifizierende Frage «quanto per ora?» Solche Fragen konnte man damals aber nicht eindeutig beantworten. Einerseits war die Genauigkeit der damals verfügbaren Zeitmessgeräte nicht weit genug entwickelt. Wichtiger noch: Abstrakte Zeiteinheiten wie Stunden, Minuten und Sekunden waren damals theoretisch geläufig, praktisch hat man damit noch nicht gearbeitet. Als Zeiteinheit benutzt Leonardo das sonst nicht belegte «tempo musicale» oder «tempo armonico».⁴² Die Referenz war für ihn der menschliche Atemrhythmus bzw. der Pulsschlag. Er versuchte, diese «tempi» zu präzisieren, indem er sie als Teile einer gleich langen Stunde definierte. Leonardo ging von 1080 Atemzügen in der Stunde aus; das würde nach heutiger Rechnung 3,33 Sekunden pro Atemzug ergeben. An späterer Stelle ersetzte er die Zahl 1080 durch 3000, womit wohl der menschliche Ruhepuls gemeint ist.

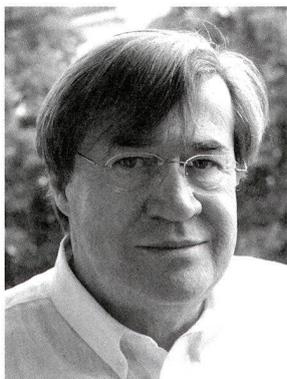
Diese vielleicht der Musiktheorie entlehnten⁴³ Zeitmasse finden dann bei Leonardo durchaus moderne Anwendungen: Im Zusammenhang mit dem von Machiavelli und Leonardo um 1503 entwickelten utopischen Projekt, den schwer schiffbaren Arno von Florenz aus an Pisa vorbei ins Meer zu leiten,⁴⁴ auch um der Stadt Florenz zu Lasten Pisas einen eigenen Seehafen zu verschaffen, hat Leonardo nicht nur spezielle Bagger entworfen. Er hat auch die Kosten kalkuliert und überlegt, wie viele Schaufeln feuchter Erde ein Arbeiter in einer Stunde ausheben und hinter sich werfen könnte.⁴⁵ Er ging unter Berücksichtigung von Erholungspausen von 500 Schaufeln pro Stunde (6 tempi armonici = 7,2/sec) aus und wollte damit die Möglichkeit nachweisen, ca. 1 Million Tonnen Erde zu fixen Kosten zu bewegen. Für die Berechnung menschlicher Arbeitsleistungen und die damit verbundenen Kostenkalkulationen, also auch für die Entfaltung der Zeit-Geld-Gleichung, schienen Leonardo diese eigentümlichen Zeitgliederungen offenbar hinreichend. Moderne naturwissenschaftliche Messtechniken waren noch rund ein Jahrhundert entfernt. Ferne Vorläufer tayloristischer Überlegungen wurden hier sichtbar, ohne dass dabei schon Uhren benutzt worden wären.

Fazit

Die Renaissance-Ingenieure haben ihre vielfältigen Kompetenzen an den damals vor allem in Oberitalien geläufigen technischen Herausforderungen entwickelt und praktisch umgesetzt: Militär- und Bautechnik, Hebe- und Baumaschinen sowie Wasserbau. Auffällig sind die zahlreichen Bezüge zur Konstruktion von Uhren aller Art und die dabei heute noch erkennbaren dichten Kommunikationsnetze, das ausgeprägte Bewusstsein von technischen Fortschritten. Anders als oft vermutet, haben die Diskurse um die Aufwertung der «Artes mechanicae» keine Rolle gespielt. Es ist mehr Schreibtischtechnik betrieben worden, als praktische Messungen durchgeführt worden sind. Ob und wie weit die Ingenieur-Autoren im 15. Jahrhundert uhrentechnische Innovationen vorantrieben oder konzipiert oder solche nur registriert haben, ist immer noch zu entscheiden. ■

Zum Autor

Prof. em. Dr. Gerhard Dohrn-van Rossum



Gerhard Dohrn-van Rossum (geb. 1947) hat in Berlin und Heidelberg Geschichte und Philosophie studiert. Mit der Arbeit «Politischer Körper – Organismus – Organisation. Zur politischen Metaphorik» wurde er zum Dr. Phil. promoviert. Seine Habilitationsschrift «Zeitordnung. Die mechanische Uhr und die Einführung der modernen Stundenrechnung seit dem Spätmittelalter» ist 1992 beim Hanser-Verlag erschienen. Nach Gastprofessuren in Chicago, Bielefeld und Zürich wurde er 1994 auf den Lehrstuhl für die Geschichte des Mittelalters und der Frühen Neuzeit der TU Chemnitz berufen.

Technische Universität Chemnitz, Deutschland
g.dohrn@phil.tu-chemnitz.de

Verwandter Artikel im Ferrum-Archiv:
«Die Natur als Vorbild technischer Entwicklungen – Leonardo da Vinci und die Ingenieure der Renaissance» von Marcus Popplow in Ferrum 72/2000: Technik und Natur – Die Natur als Vorbild technischer Entwicklungen



Anmerkungen

- 1 Galvano Fiamma, *Opusculum de rebus gestis [...]*, in: *Rerum Italicarum Scriptores R.I.S.*, t. 12/4, hg. v. Carlo Castiglioni, Bologna 1938, S. 16 und ad a. 1341, c. 19: «Quod civitas mediolanensis multis novitatibus floret», S. 41.
- 2 Pamela O. Long, *Invention, Secrecy, Theft. Meaning and Context in Late Medieval Technical Transmission*, in: *History and Technology* 16 (2000), S. 223–241; Gerhard Dohrn-van Rossum, *Novitates – Inventores. Die Erfindung der Erfinder im Spätmittelalter*, in: Hans-Joachim Schmidt (Hg.), *Tradition, Innovation, Invention. Fortschrittsverweigerung und Fortschrittsbewusstsein im Mittelalter*, Berlin/New York 2005, S. 27–49.
- 3 Agostino Ramelli, *Le diverse et artificiose machine*, Paris 1588, c. 130–131, S. 200–204; Jacobus Strada von Rossberg, *Künstliche Abriß allerhandt Wasserkünsten*, Köln 1623, Nr. 11 u. ö.
- 4 John D. North, *God's Clockmaker: Richard of Wallingford and the Invention of Time*, Oxford 2005, S. 194–199.
- 5 Raphayni de Caresinis, *Venetiarum Chronica*, in: *Rerum Italicarum Scriptorum R.I.S.*, t. 12/2, hg. v. Ester Pastorello, Bologna 1922, S. 20.
- 6 Zu den Dondis vgl. Gerhard Dohrn-van Rossum, *Bauanleitung für ein Weltwunder. Das Astrarium des Giovanni Dondi dall'Orologio aus Padua*, in: Yaman Kouli et al. (Hg.), *Regionale Ressourcen und Europa*, Berlin 2018, S. 287–302 mit den weiteren Nachweisen.
- 7 Romano Nanni, *Leonardo and the Artes Mechanicae*, Mailand 2014, S. 142–146.
- 8 Silvio A. Bedini und Francis R. Maddison, *Mechanical Universe. The Astrarium of Giovanni de Dondi*, Philadelphia 1966, S. 20 und 25f.
- 9 Bedini/Maddison (wie Anm. 8), S. 40; Cristiano Zanetti, *Janello Torriani and the Spanish Empire. A Vitruvian Artisan at the Dawn of the Scientific Revolution*, Leiden 2017, S. 156–172, 270–285.
- 10 Cesare Cantù (Hg.), *Annali della Fabbrica del Duomo di Milano dall'origine fino al presente*, Mailand 1877, I, S. 248, 252, 256, 257, 268.
- 11 Angelo Angelucci, *Documenti inediti per la storia delle armi da fuoco italiane*, Turin 1896, S. 107–109.
- 12 Cantù, *Annali* (wie Anm. 10), S. 262, 264, 268.
- 13 Ebd., S. 276f., 282.
- 14 Luigi Osio (Hg.), *Documenti diplomatici tratti dagli archivi milanesi*, I, Mailand 1864, S. 117.

- 15** Luigi T. Belgrano, *Degli antichi orologi pubblici d'Italia [...]*, in: *Arch. Stor. It.* 7 (1868), S. 45–49; evtl. hat er schon 1347 eine Uhr in Monza gebaut.
- 16** «magister lignaminum et ingignierus nobilissimus, et ultra alios in sua arte multipliciter commendatus» (1403), Giovanni Gaye, *Carteggio inedito d'artisti I*, Florenz 1839, S. 54; Giulio Fasolo, Domenico di Benintendi da Firenze, ingegnere del secolo XIV, in: *Archivio Veneto* 5a ser. 57 (1927), S. 145–180; Alda Guarnaschelli, Domenico di Benintendi di Guidone, in: *Dizionario Biografico degli Italiani*, 40 (1991); Dietrich Lohrmann, Zwei Ingenieure beim Untergang des Hauses Carrara in Padua [1404–1405], in: Mathieu Arnoux und Pierre Monnet (Hg.), *Le technicien dans la cité en Europe occidentale, 1250–1650*, Rom 2004, S. 25–42.
- 17** «fuit incepta constructione et laborerium Horologii novi [...] per magistrum Conradum teotonicum, qui tandem non capax industriae ad perfectionem concepti magisterii, infecto opere se absentavit per fugam.» *Jacobus de Delayto, Annales Estenses*, in: *Rerum Italicarum Scriptores R.I.S.*, t. 18, 1731, col. 973DE.
- 18** Konrad Gruter von Werden, *De machinis et rebus mechanicis. Ein Maschinenbuch aus Italien für den König von Dänemark 1393–1424*, bearb., übers. und komm. v. Ulrich Alertz, Horst Kranz, Dietrich Lohrmann, Vatikanstadt 2006, cap. 17, S. 86–91.
- 19** Lohrmann (wie Anm. 16), S. 40f.
- 20** Andrea Bona, Dionisio da Viterbo: ingegnere della Repubblica di Venezia nel XV secolo, in: Giuliana Mazzi und Stefano Zaggia (Hg.), «Architetto sia l'ingegniero che discorre». *Architetti ingegneri e protti nell'età della Serenissima*, Venedig 2004, S. 71–104.; Giampaolo Ermini, *Campane e cannoni: Agostino da Piacenza e Giovanni da Zagabria; un fonditore padano e uno schiavone nella Siena del Quattrocento* (con qualche nota su Dionisio da Viterbo e gli orologi), in: Matteo Ceriana und Victoria Avery (Hg.), *L'industria artistica del bronzo del Rinascimento a Venezia e nell'Italia settentrionale*, Verona 2008, S. 387–446.
- 21** Renzo Giorgetti, *L'Orologio del Palazzo dei priori di Cortona*, in: *Annuario Accademia Etrusca di Cortona* 28 (1999), S. 227–232.
- 22** Beschreibung der Uhr bei Francesco Oriolo in: *Scienze sugli inventori [...]*, in: *Biblioteca Italiana o sia Giornale di Letteratura, Scienze ed Arti* compilato da vari letterati 19 (1820), S. 460.
- 23** Gaetano Milanese, *Nuovi documenti per la storia dell'arte toscana dal XII al XV secolo*, Florenz 1901; 1973, S. 125f.
- 24** Michael Edward Mallett und John R. Hale, *The Military Organization of a Renaissance State: Venice c. 1400 to 1617*, Cambridge 1984, S. 94f.
- 25** Frank D. Prager und Gustina Scaglia, *Mariano Taccola and his Book «De Ingeniis»*, Cambridge Mass 1972, S. 198–200.
- 26** Mario Fondelli, *Un «oriuolo» di Filippo di Ser Brunellesco Lippi a Scarperia*. *Critica d'Arte*, Ser. 8, 62 (1999), Nr. 4, S. 26–37.
- 27** Antonio Manetti [1423–1497], *Vita di Ser Filipp di Ser Brunellesco*, in: Gaetano Milanese (Hg.), *Operette storiche edite ed inedite*, Florenz 1887, S. 93.
- 28** Giorgio Vasari, *Das Leben des Brunelleschi und des Alberti*, bearb. von Matteo Burioni, übers. von Victoria Lorini, Berlin 2012, S. 15.
- 29** Paolo Galluzzi (Hg.), *Prima di Leonardo. Cultura delle machine a Siena nel Rinascimento*, Mailand 1991, Nr. V.A.24, S. 427.
- 30** Frank D. Prager und Gustina Scaglia, *Brunelleschi. Studies of his Technology and Inventions*, Cambridge Mass 1970, S. 129;
- 31** Frank D. Prager, *Brunelleschi's Patent*, in: *Journal of the Patent Office Society* 28/2 (1946; rev. Prager 1970), c. 6, S. 109–135; Romano Nanni, *Il Badalone di Filippo Brunelleschi e l'iconografia del «navigium» tra Guido da Vigevano e Leonardo da Vinci*, in: *Annali di storia di Firenze* 6 (2011), S. 65–119.
- 32** Z. B.: Johannes Fontana, «Liber instrumentorum iconographicus»/Ein illustriertes Maschinenbuch [BSB Cod. icon 242 und 242a], hg. u. übersetzt v. Horst Kranz, Stuttgart 2014; Nr. 77, S. 138, vgl. Nr. 42, S. 93; Online: <http://codicon.digitale-sammlungen.de>.
- 33** Horst Kranz und Walter Oberschelp, *Mechanisches Memorieren und Chiffrieren um 1430. Johannes Fontanas Tractatus de instrumentis artis memorie*, Stuttgart 2009.
- 34** «Tanta enim ad opera vis ingenii data est a deo hominibus ut multiplices artes adinvenirent, et plura effecerint, quod per se natura facere non potuisset.» in seinem anonym publizierten Traktat: *Liber Pompilii Azali Placentini de omnibus rebus naturalibus*, Venedig 1544, fol. 110v.
- 35** «Ego, Iohannes Fontana, novos adinveni fontes, partim ex antiquorum fundamentis collectos, partim ex proprio ingenio; ...» Fontana (wie Anm. 32), S. 79f.; vgl. Frank D. Prager, *Fontana on Fountains. Venetian Hydraulics of 1418*, in: *Physis* 13 (1971), S. 341–360.
- 36** Johannes Fontana, «Opera iuvenalia de rotis horologiis et mensuris»/Jugendwerke über Räder, Uhren und Messungen, hg. u. übersetzt v. Horst Kranz, Stuttgart 2011., S. 78f. mit weiteren Belegen.
- 37** «atque suo ingenio subtiliora necnon utiliora possint adinvenire, facilius valeant inventis addere.» Fontana, *De pisce Vorrede*, ebd., S. 405.
- 38** *Liber Pompilii* (wie Anm. 34), fol. 110v, «Totius fere habitabilis orbis fabricis illustratur magnificis, ingeniosis machinis plenus et organicis instrumentis de quibus scientiae operativae quas artes vocamus ratione instrunt modumque demonstrant.»
- 39** «Ex quibus est orrida machina quam bombardum appellamus ad diruendam omnem fortem durietem etiam marmoream turrem non minus impietatis quam ingenii fuisse existimo qui primo adinvenit ... tantam vim habeat a pusillo pulvere.» Ebd., fol. 111v.
- 40** Carlo Pedretti, *Il «Tempo degli Orologi»*, in: *Studi Vinciani: Documenti, analisi e Inediti Leonardeschi*, Genf 1957, S. 99–108; Silvio A. Bedini und Ladislao Reti: *Leonardo und die Uhr*, in: Ladislao Reti (Hg.), *Leonardo, Künstler, Forscher, Magier*, Frankfurt/M 1974, S. 240–263; Ulrich Alertz, *Leonardos Uhrwerke und Automaten-Antriebe im Codex Madrid 1*, in: *Deutsche Gesellschaft für Chronometrie. Jahresschrift* (2016).
- 41** Frühere Beispiele bei J. H. Leopold, *The Almanac Manuscript. Staats und Stadtbibliothek Augsburg Codex in 2° no. 209*, Rome circa 1475–circa 1485, London 1971.
- 42** Augusto Marinoni, *Tempo armonico o musicale di Leonardo da Vinci*, in: *Lingua nostra* 16/2 (1955), S. 45–48.
- 43** Bonnie Blackburn, *Leonardo and Gaffurio on Harmony and the Pulse of Music*, in: Barbara Haggh (Hg.), *Essays on Music and Culture in Honor of Herbert Kellman*, Paris 2002, S. 128–149.
- 44** Leonardo Rombai, *La «politica delle acque» in Toscana. Un profilo storico*, in: *Rivista Geografica Italiana* 99/3 (1992), S. 613–650; Roberta Barsanti (Hg.), *Leonardo e l'Arno* 2015, Pisa 2005.
- 45** Edmondo Solmi, *Leonardo e Machiavelli*, in: *Archivio Storico Lombardo* 39 (1912), S. 219–244; Roger D. Masters, *Fortune is a River: Leonardo da Vinci and Niccolò Machiavelli's magnificent dream to change the course of Florentine history*, New York 1998. Zu den Kanalprojekten vgl. Jean Paul Richter, *Scritti Letterari di Leonardo da Vinci/The Literary Works of Leonardo da Vinci*, vol. II, London 1883, Nr. 1001–17 u. ö.

Bildnachweis

- 1 © British Library Board, Ms. Cotton Claud. E.IV, fol. 201r.