

Akademische Technik im 15. Jahrhundert

Inhalt und Terminologie einer wiederentdeckten Jugendschrift Johannes Fontanas*

VON HORST KRANZ

Überblick

Der Beitrag analysiert eine anonym überlieferte lateinische Schrift über Räder (Wien, ÖNB, cod. 5153*) und identifiziert Johannes Fontana aus Venedig als Autor. Fontana verfasste das Werk während seines Studiums der Artes liberales und Medizin in Padua, bevor er um 1418 seine Traktate über Messungen *von* Zeit und *durch* Zeit schrieb. Ausgehend von der aristotelischen Naturphilosophie und neuen Physik des 14. Jahrhunderts nähert sich Fontana der Technik auf wissenschaftlichem Weg und bezeugt das große Interesse, mit dem das universitäre Milieu Paduas den technologischen Wandel der frühen Renaissance begleitete. Akademiker erscheinen als Träger und Vermittler von technischem Wissen. Fontana entwickelt eine Typologie von Rädern, Achsen und Zähnen, zu deren Differenzierung er eine technische Terminologie im Lateinischen entwirft, die bisher weitgehend unbekannt war. Ein anschauliches Beispiel für den Antrieb eines Rads durch heiße Luft (*fumus*) im Wiener Codex hilft, die Funktionsweise des *castellum umbrarum* in Fontanas Münchener Bilderhandschrift zu verstehen (BSB, cod. icon. 242).

Abstract

The article analyses an anonymously handed down Latin work on wheels (Vienna, ÖNB, cod. 5153*), and identifies the author as Giovanni Fontana from Venice. Fontana wrote this work during his studies of the liberal arts and medicine in Padua, before he wrote his treatises on the measuring *of* time and *by* time around 1418. Proceeding from Aristotelian natural philosophy and the new physics of the 14th century, Fontana approaches technology scientifically. It proves the great interest with which Padua's university circles followed the technological changes of the early Renaissance. Academics were both sources of knowledge and imparted it. Fontana develops a typology of wheels, axles and teeth, and in order to differentiate between them he also develops a technical terminology, which has been largely unknown until now. A descriptive example in the Viennese Codex, depicting the driving of a wheel by means of hot air (*fumus*), is helpful for the under-

* Für Präzisierungen danke ich herzlich den Profs. Uta Lindgren und Menso Folkerts, München.

standing of the mode of operation of the *castellum umbrarum* in Fontana's illustrated Munich manuscript (BSB, cod. icon. 242).

Vormoderne Techniken, vor allem Maschinen mit Rädern, ziehen gegenwärtig verstärkt das Interesse der engeren Fachwelt und darüber hinaus eines größeren Publikums auf sich. Die hohe Kunst antiker griechischer Zahnradtechnologie etwa lässt sich überzeugend an dem komplexen astronomischen Mechanismus von Antikythera aufzeigen, der aktuell Gegenstand intensiver Forschung verschiedener Disziplinen ist.¹ Den dinglichen Überresten aus dem Altertum stehen wissenschaftliche Texte zur Seite. So beginnen die (pseudo-)aristotelischen *Problemata mechanica* mit Getrieben und Kreisbewegungen. Die Schriften von Archimedes, Heron und Pappos dokumentieren eine umfassende theoretische Beschäftigung mit Mechanik und die Konstruktion raffinierter Geräte, mit denen man die Gesetze der Natur scheinbar überwinden und, wenn es sich um Automaten handelte, ein Publikum wirklich in Erstaunen versetzen konnte. Häufig besprochen werden auch Wegmesser und Wassermühle mit Zahnradgetrieben des römischen Ingenieurs und Baumeisters Vitruv.²

Als besonders glaubwürdigen Zeugen für das Wiederaufblühen des vermeintlich untergegangenen antiken technologischen Erfindergeistes benennt man gewöhnlich den Künstleringenieur der Renaissance schlechthin.³ Leonardo da Vincis Maschinen erweckt man mit CAD-Programmen gewissermaßen zum Leben und gewinnt neue Einsichten.⁴ Das hohe Niveau seiner Entwürfe zur Getriebe- und Zahnradtechnik bietet insbesondere der Theorie und Anwendung vereinende Codex Madrid I aus der Zeit um 1490. Die Auswertung ist im Gange.⁵

- 1 François Charette, High Tech from Ancient Greece. The Antikythera Mechanism, in: *Nature* 444, 2006, S. 551f.; Michael T. Wright, Understanding the Antikythera Mechanism [Vortrag Athen, Oktober 2005], Preprint unter: www3.imperial.ac.uk [Stand: 16.5.2007]. Siehe auch The Antikythera Mechanism Research Projekt unter www.antikythera-mechanism.gr.
- 2 Neueste Literatur zu den Autoren und Mechanikern in Astrid Schürmann (Hg.), *Physik/ Mechanik (Geschichte der Mathematik und der Naturwissenschaften, Bd. 3)*, Stuttgart 2005, Beiträge von Burkhard Meißner, Dennis L. Simms, Philippe Fleury und Karin Tybjerg.
- 3 Siehe dazu den Überblick von Eberhard Knobloch, *Les ingénieurs de la Renaissance et leurs manuscrits et traités illustrés*, in: Michael Ciaran Duffy (Hg.), *Engineering and Engineers (Proceedings of the XXth International Congress of History of Science (Liège, 20-26 July 1997), Bd. 17)*, Turnholt 2002, S. 23-65.
- 4 Domenico Laurenza, Mario Taddei u. Edoardo Zanon, *Leonardo dreidimensional. Mit Computergrafik auf der Spur des genialen Erfinders*, Stuttgart 2006.
- 5 Leonardo da Vinci, *Codices Madrid I-II, 5 Bde.*, Faks.-Ausgabe, Transkription v. Ladislao Reti, dt. Übersetzung v. Gustav Ineichen, Friedrich Klemm, Ludolf v. Mackensen u. Reinhild Richter, Kommentar v. Ladislao Reti, Frankfurt a.M. 1974; Pamela O. Long, *Picturing*

Die Epoche zwischen diesen Hochblüten war indessen alles andere als unfruchtbar. Leonardo voraus gingen fähige Ingenieure und Verfasser technischer Texte, deren Leistungen in der jüngeren Vergangenheit gewürdigt worden sind. Bertrand Gille und Jean Gimpel gaben wichtige Impulse.⁶ Ausstellungen zu den Ingenieuren vor Leonardo führten der Öffentlichkeit mittelalterliche Inventionen und Innovationen anschaulich vor Augen.⁷ Eine rege Forschung hat den technologischen Wandel herausgearbeitet, der das Bevölkerungswachstum des Hoch- und Spätmittelalters begleitete und den wirtschaftlichen Aufschwung begünstigte. Verbesserungen der Räder- und Getriebetechnik wie der Energieausnutzung erlaubten zunehmend die Mechanisierung von Arbeitsgängen, die Effizienz der Gewerbe stieg. Vom Hämmern schweren Eisens bis zum Zwirnen feiner Seide kamen wassergetriebene Maschinen zum Einsatz.⁸ Den wachsenden Verkehr zu Lande erleichterten verbesserte Laufräder für Karren und Wagen.⁹ Eindrucksvolle Belege für die Leistungsfähigkeit mittelalterlicher Feinmechanik sind die Räderuhren, in erster Linie Giovanni Dondis hochentwickeltes Astrarium von 1365.¹⁰

Seinen schriftlichen Ausdruck fand der technologische Aufbruch in einer illustrierten technischen und wissenschaftlichen Fachliteratur, die mit Villard de Honnecourts Skizzenbuch in Volkssprache um 1220/30 einsetzte.¹¹ Der Physiker Pierre de Maricourt diskutierte 1269 die Möglichkeit, mit der Kraft des Magneten eine kontinuierliche Kreisbewegung zu erzeugen.¹² Weitere studierte Autoren, meist Ärzte, griffen zur Feder, um technische Traktate in latei-

the Machine. Francesco di Giorgio and Leonardo da Vinci in the 1490s, in: Wolfgang Lefèvre (Hg.), *Picturing Machines 1400-1700*, Cambridge, MA 2004, S. 117-141; Marina Della Putta Johnston, *Leonardo da Vinci's Codex Madrid I. The Creation of the Self as Author*, Ann Arbor, MI 2000; zur Analyse der Zahnräder vgl. Herbert Maschat, *Leonardo da Vinci und die Technik der Renaissance*, München 1989. Lesenswert weiterhin Conrad Matschoß, *Geschichte des Zahnrades*, Berlin 1940, vor allem S. 1-23.

- 6 Bertrand Gille, *Ingenieure der Renaissance*, Düsseldorf 1968; Jean Gimpel, *Die industrielle Revolution des Mittelalters*, Zürich u. München 1981.
- 7 Paolo Galluzzi (Hg.), *Prima di Leonardo. Cultura delle macchine a Siena nel Rinascimento*, Mailand 1991; ders. (Hg.), *Les ingénieurs de la Renaissance. De Brunelleschi à Léonard de Vinci*, Florenz 1995. Dazu die bereits viermal aufgelegte *Europäische Technik im Mittelalter 800 bis 1400, Tradition und Innovation*, hg. v. Uta Lindgren, Berlin 2001.
- 8 Siehe den Überblick zur Mühlentechnik bei Karl-Heinz Ludwig, *Technik im hohen Mittelalter zwischen 1000 und 1350/1400 (Propyläen Technikgeschichte, Bd. 2)*, Berlin 1992, S. 76-106.
- 9 Ebd., S. 145-149.
- 10 Giovanni Dondi dall'Orologio, *Tractatus astrarii*. Edition critique et traduction de la version a par Emmanuel Poulle (*Travaux d'Humanisme et Renaissance*, Bd. 371), Genf 2003.
- 11 Roland Bechmann, *Villard de Honnecourt. La pensée technique au XIIIe siècle et sa communication*, Paris 1991.
- 12 Zuletzt dazu Dietrich Lohrmann, *Idee und Wirklichkeit des Perpetuum mobile im Mittelalter*, in: *Technikgeschichte* 73, 2006, S. 227-251, bes. 240-244; Andreas Kleinert, *Wie funktionierte das Perpetuum mobile des Petrus Peregrinus?* in: *Internationale Zeitschrift für Geschichte und Ethik der Naturwissenschaften, Technik und Medizin* 11, 2003, S. 155-170.

nischer Sprache zu verfassen.¹³ Guido von Vigevano ersann 1335 u.a. einen Windwagen, der die ausgefeilte Mechanik der Turmwindmühle mit drehbarer Haube nutzen sollte.¹⁴ Giovanni Dondi, zeitweise Medizinprofessor in Padua, beschrieb das subtile Zahnradsystem der Planetenuhr in einem der anspruchsvollsten technischen Traktate des Mittelalters.¹⁵ Auch Konrad Kyeser, 1405 Verfasser des *Bellifortis*, dürfte eine medizinische Ausbildung gehabt haben.¹⁶ In einem Maschinenbuch für König Erich von Dänemark brachte der ehemalige Student der Kölner Artistenfakultät Konrad Gruter 1424 neben physikalischen Versuchen zum *Motus continuus* einen gut geordneten Abriss der ihm bekannten Mühlentechniken und *Perpetua mobilia*. Kennzeichnend für Gruter sind die naturphilosophischen Begründungen, mit denen er das Gelingen oder Scheitern seiner Experimente erklärte.¹⁷ Diese akademischen Verfasser näherten sich der Technik auf wissenschaftlichem Weg. Ihre Werke verstärken den Eindruck, dass Theorie und Praxis, naturphilosophische Gelehrsamkeit und technische Anwendung, sich im späten Mittelalter keineswegs fremd waren.¹⁸

Zeitgleich arbeitete die scholastische Wissenschaft theoretisch auf dem Gebiet der geradlinigen und Kreisbewegung. Gerhard von Brüssel, ein Euklid- und Archimedes-Kenner, führte in der ersten Hälfte des 13. Jahrhunderts mit seinem *Liber de motu*, in dem er sich u.a. mit der Geschwindigkeit rotierender Körper befasste, eine Blüte der Kinematik im lateinischen Westen herauf. Für die vom Oxforder Merton College und der Universität Paris ausgehende neue Physik des 14. Jahrhunderts stehen Thomas Bradwardine und Nicole Oresme.¹⁹ Ihre Forschungen zur Bestimmung von Proportionen und Messung von Quali-

- 13 Lynn White Jr., *Medical Astrologers and Late Medieval Technology*, in: ders., *Medieval Religion and Technology. Collected Essays*, Berkeley, CA 1978, S. 297-315 (zuerst erschienen in: *Viator* 6, 1975, S. 295-308).
- 14 Dazu Ulrich Alertz, *Der Windwagen des Guido von Vigevano*, in: *Technikgeschichte* 68, 2001, S. 53-77.
- 15 Zur Einordnung Gerhard Dohrn-van Rossum, *Die Geschichte der Stunde. Uhren und moderne Zeitordnungen*, München u. Wien 1992, S. 170-175.
- 16 Rainer Leng, *Ars belli. Deutsche taktische und kriegstechnische Bilderhandschriften und Traktate im 15. und 16. Jahrhundert*, Bd. 1 (*Imagines medii aevi*, Bd. 12/1), Wiesbaden 2002, S. 110-114.
- 17 Konrad Gruter von Werden, *De machinis et rebus mechanicis. Ein Maschinenbuch aus Italien für den König von Dänemark 1393-1424. Einleitung und Edition, übers., komm. u. hg. v. Dietrich Lohrmann, Horst Kranz u. Ulrich Alertz (Studi e testi, Bd. 428-429), Città del Vaticano 2006*, Bd. 2, Kap. 24-42; s.a. Lohrmann (wie Anm. 12).
- 18 Wie traditionelle literarische und mathematische Bildung und Hand- und Ingenieurarbeit zueinanderfanden, skizziert sehr anschaulich in einem weiten Bogen, in dessen Mittelpunkt der gelehrte Alberti (1404-1472) steht, Anthony Grafton, *Leon Battista Alberti. Baumeister der Renaissance*, Berlin 2002, Kap. 3.
- 19 Grundlegend zur mittelalterlichen Kinematik Marshall Clagett, *The Science of Mechanics in the Middle Ages*, Madison, WI 1959, Teil 2. Zu Oresme jetzt ausführlich Ulrich Taschow, *Nicole Oresme und der Frühling der Moderne. Die Ursprünge unserer modernen quantitativen-metrischen Weltaneignungsstrategien und neuzeitlichen Bewusstseins- und Wissenskulturs*, Halle 2003.

täten flossen in technische Traktate gelehrter Verfasser ein und trugen so zur Verwissenschaftlichung bzw. Mathematisierung von Technik bei.

Vor diesem Hintergrund ist eine kleine technisch-wissenschaftliche Schrift in lateinischer Sprache zu sehen, die erst 2003 bekannt geworden ist.²⁰ Das Werk widmet sich den Rädern in einer Systematik und Terminologie, wie sie für das Mittelalter bisher nicht bezeugt sind. Diese und den Autor mit seinen sonstigen technischen Schriften vorzustellen, ist das Anliegen des Beitrags.

1. Der Codex

Es handelt sich um den elf Blatt zählenden Papier-Codex 5153* in 4° der Österreichischen Nationalbibliothek, den der Katalog als *Tractatus de horologiis conficiendis et in genere de machinis cuiuscunque generis motricibus cum rotaris* ohne Nennung eines Autors ausweist. Rund 70 geometrische und technische Zeichnungen, *multae figurae mechanicae*, so der Katalog, illustrieren den Text.²¹ Entstanden ist der selbst undatierte Codex in der ersten Hälfte des 15. Jahrhunderts im nördlichen Venetien, wie die Schrift und ihre eigentümliche Orthographie nahelegen.²² Seine erste Herausgeberin Anni Th. Lantink-Ferguson hat das Büchlein zwei verschiedenen Autoren zugeordnet, den eigentlichen Traktat dem Autor A, diverse Ergänzungen dem Autor B. In der Tat hat man es auf den ersten Blick mit zwei Handschriften zu tun. Die erste Hand hat die Abhandlung über Räder zu Papier gebracht, die zweite fügte später Ergänzungen hinzu. Aber auch der Traktat ist offensichtlich nicht in einem Zug geschrieben worden. Nach dem Schriftbild zu urteilen, hat Hand A die Kapitel auf 1r bis 2v (Praef., Kap. 1-2), 3r bis 4r (Kap. 3), 5r-v (Kap. 4-5), 6r (Kap. 6) und 9v bis 11v (Kap. 7) mit einem gewissen zeitlichen Abstand geschrieben. Das Schriftbild lockerte sich von Passage zu Passage auf, die Sorgfalt ließ nach. Den frei gebliebenen Platz, 4r zur Hälfte und 4v sowie 6r Mitte bis 9r, füllten zwischendurch oder später Hand A und B mit Aufstellungen und Zeichnungen aus. Geometrische Erläuterungen, systematische Aufstellungen von Möglichkeiten, ein Rad zu zählen, sowie eine Reihe von un gelenk wirkenden Skizzen auf 4r-v, 6r und 7v, 8r-v und 9r jeweils oben wurden von Lantink-Ferguson dem Autor B zugewiesen, die mit Zirkel und Lineal ausgeführten, sorgfältigeren Zeichnungen auf 6v, 7r und 8r-v hingegen dem Autor A, dem Verfasser des Traktats. Dagegen sei hier bis zu einer genauen Prüfung der Nachträge die Möglichkeit offen gehalten, in dem Codex das Heft eines einzigen Autors zu sehen, der im Laufe der Zeit den freien Platz

20 Annie Th. Lantink-Ferguson, A Fifteenth-Century Illustrated Notebook on Rotary Mechanisms, in: *Scientiarum Historia* 29, 2003, S. 3-66, mit Transkription des Textes, Übersetzung ins Englische und Abbildung der Handschrift. Den Hinweis darauf verdanke ich Gerhard Dohrn-van Rossum, Chemnitz.

21 *Tabulae codicum manu scriptorum praeter graecos et orientales in Bibliotheca Palatina Vindobonensi asservatorum* 4, ed. Academia Caesarea Vindobonensis, Wien 1870, S. 42.

22 Lantink-Ferguson (wie Anm. 20), S. 3, Zuordnung von E. Irblich, Wien, ÖNB.

für Notizen und Skizzen zum rein persönlichen Gebrauch nutzte. Siehe dazu auch unten Abschnitt 5 und 7.

2. Terminologische Eigenheiten

Was in dem Traktat als erstes auffällt, sind neben den ungewohnten Schreibweisen eine Reihe von Fachbegriffen, die gewiss kein allgemein bekanntes technisches Vokabular des 15. Jahrhunderts darstellen. Bezeichnungen wie *horalogium* (*horalegium*), *rotalegum*, *circulmota*, *polifluus*, *politenus* bzw. *politens* und *politencula* finden sich nicht in gängigen Wörterbüchern. Der erwähnte, fast gleichzeitig in Venedig schreibende Konrad Gruter verwandte sie nicht. In Dondis ausführlicher Beschreibung des Astrariums sucht man sie vergeblich. Auch Guido von Vigevano brachte in der Darstellung seiner Fahrzeuge keinen von ihnen.

Gleichwohl ist der eine oder andere Begriff der wissenschaftsgeschichtlichen Literatur nicht ganz unbekannt. Lynn Thorndike und Marshall Clagett stießen in abschriftlich erhaltenen frühen Werken über Uhrenbau und Messtechnik des venezianischen Doktors der Artes und der Medizin Johannes Fontana auf die ungewöhnliche Form *horalegum*. Während Thorndike eine Vorliebe Fontanas für diese Schreibweise statt des üblichen *horologium* vermutete, konnte Clagett sich vorstellen, dass sie dem technischen Unverständnis eines Kopisten geschuldet sei. Indessen bemerkte Clagett auch die Verwendung von *rotalegum* und *politencula* sowie den Verweis Fontanas auf einen früher verfassten *Tractatus de rotalegis omnium generum*.²³ Das Werk ist bisher nicht gefunden worden, so dass offen bleiben musste, was genau unter einem *rotalegum* zu verstehen ist. Die Lösung liefert jetzt der Wiener Codex.

Damit ist der Autor genannt. Das erwähnte halbe Dutzend Fachbegriffe taucht bisher nur in den technischen Traktaten von Johannes Fontana auf. Er benutzte sie wie selbstverständlich. Die Empfänger seiner Schriften müssen das ungewöhnliche Vokabular bereits gekannt haben. In der Wiener Handschrift nun sind die Wörter erklärt und ihre Bedeutungen visualisiert. Darüber hinaus finden sich weitere Verbindungen zu Fontanas Techniktraktaten, von denen einige unten zitiert werden. Vor der Analyse des Wiener Textes ist der Verfasser mit seinen frühen Schriften vorzustellen.

3. Der Autor und seine bisher bekannten technischen Werke

Fontanas akademische Vita lässt darauf schließen, dass er in den 1390er Jahren geboren wurde. In Padua studierte er nacheinander, wie für Ärzte typisch, die Artes liberales und Medizin, um sie 1418 und 1421 jeweils mit einer Doktorprüfung abzuschließen. Zu seinen Lehrern in den Artes gehörten

23 Lynn Thorndike, *A History of Magic and Experimental Science*, Bd. 4: Fourteenth and Fifteenth Century, New York 1934, S. 156f.; Marshall Clagett, *Archimedes in the Middle Ages*, Bd. 3: *The Fate of the Medieval Archimedes*, Philadelphia, PA 1978, S. 244f., dazu ein Textauszug S. 291f. mit *rotalegum* und *politencula*.

seinerzeit weithin berühmte Professoren wie der Aristoteles-Kommentator Paul von Venedig (verst. 1429) und der Naturphilosoph Blasius von Parma (verst. 1416). Über Fontanas Lebensweg nach dem Studium weiß man sehr wenig. Sicher ist, dass er 1421 im Auftrag des Dogen von Venedig eine diplomatische Mission zu dem Condottiere Francesco Carmagnola übernahm. Aufenthalte in Rom und auf Kreta zu unbekannten Zeitpunkten werden von ihm selbst erwähnt. In den 1430er Jahren praktizierte er eine Zeitlang als venezianischer Stadtarzt von Udine. Verstorben ist Fontana 1455 oder später.²⁴

Bis dahin hatte er fast vierzig Jahre lang über wissenschaftliche Themen geschrieben. Die Bestandsaufnahme von Clagett zählt 20 Werke, mit der Wiener Schrift 21, von denen sich zehn erhalten haben.²⁵ Die ersten drei der bisher bekannten technischen Traktate entstanden 1418 sowie kurz vorher und nachher, also während des Studiums in Padua. Erhalten haben sie sich abschriftlich in einer Sammelhandschrift von ca. 1440 der Universitätsbibliothek Bologna (ms. 2705), hier gekennzeichnet durch die Sigle B. Eine Ausgabe ist in Vorbereitung.

- a) An der Spitze (B 1r-51v) steht eine ausführliche Bauanleitung für ein *Horalegum pulverum* in zwei Teilen mit 18 bzw. 20 Kapiteln, illustriert durch rund 40 kleinere und größere Zeichnungen. Dabei handelt es sich um ein komplexes Gerät, eine Kombination aus Sand- und mechanischer Uhr, die Fontana als eigene Erfindung ausgibt. Empfänger war ein gewisser Ludwig aus Venedig. Nach Auskunft des Explicit entstand die Schrift 1418. Zu dieser Zeit existierte die nächstgenannte Schrift über die Wasseruhr bereits. Denn in dem Sanduhrentraktat (B 45v; Teil 2, Kap. 7) bezieht sich Fontana auf diese. Vermutlich liegt mit der erhaltenen Version des Sanduhrentraktats von 1418 die jüngere Erweiterung oder Aktualisierung einer älteren Fassung vor.
- b) Die zweite Bologneser Abhandlung (B 53r-75v) beschreibt in 21 Kapiteln ein *Horalogium aqueum*, eine Wasseruhr, mal mit steigendem, mal mit fallendem Wasser und verschiedenen, teils kuriosen Weckvorrichtungen. Dieses Mal ging das Werk an einen Empfänger namens Polixcus. Die römische Jahreszahl im Explicit ist wegen einer Rasur nur gut zur Hälfte lesbar. Der Platz reicht aus für die Zahl 1416 oder 1417, den 31. Oktober. Auf jeden Fall nimmt Fontana in dem Wasseruhrentraktat (B 62v, 63v; Kap. 9, 10) Bezug auf einen bereits verfassten Sanduhrentraktat.
- c) Die dritte Abhandlung (B 85r-105v) trägt den Titel *Metrologum* oder *Tractataus de pisce, cane et volucre*. Hinter dem zoologisch klingenden

24 Zu Person und Werk siehe Thorndike (wie Anm. 23), S. 150-182, und Clagett (wie Anm. 23), S. 239-259, hier die Angaben zur älteren Literatur; Eugenio Battisti u. Giuseppa Saccaro Battisti, *Le macchine cifrate di Giovanni Fontana, con la riproduzione del Cod. Icon. 242 della Bayerische Staatsbibliothek di Monaco di Baviera e la decrittazione di esso e del Cod. Lat. Nouv. Acq. 635 della Bibliothèque Nationale di Parigi*, Mailand 1984, S. 7-18.

25 Clagett (wie Anm. 23), S. 244-259.

Titel verbergen sich zwölf Kapitel über die Messung *von* Zeit, über Bewegung im Wasser, auf der Erde und in der Luft mit verschiedenen Arten des Antriebs sowie über das Messen von Wassertiefen, Ebenen und Höhen *durch* Zeit. Den Elementen Wasser, Erde und Luft passend zugeordnet sind Fisch, Hund und Vogel als künstliche Tiere (*animalia artificialia*). Das vierte Element, das Feuer, sorgte in Form einer Pulverladung für den Antrieb der ‚tierischen‘ Instrumente.²⁶ Die erwähnten Uhren stoppten die Zeitspanne, in der Fisch, Hund und Vogel eine Strecke zurücklegten. Datiert ist die Schrift zwar nicht. Doch muss sie nach den beiden Uhren-traktaten entstanden sein, d.h. 1418 oder kurz danach.

Leider sind die Illustrationen zum zweiten und dritten Traktat in den Abschriften nicht ausgeführt worden. Auch wissen wir nicht, an wen das Metrologum gerichtet war. Sicher ist freilich, dass es dieselbe Person gewesen ist, die Fontanas vierte technische Abhandlung erhielt.

- d) Das als *Bellicorum instrumentorum liber* bekannte Werk ist eine ungeordnete Bilderhandschrift von etwa 1420, ein Maschinentheater mit Hebe-maschinen, Fahrzeugen, Brunnen, optischen und medizinischen Geräten, Schlössern, Schlüsseln, Automaten, Spielzeugen, aber auch Waffen. Anders als in den Bologneser Uhren- und Messtraktaten stehen in dieser Münchener Handschrift eindeutig die Bilder im Vordergrund (BSB, cod. icon. 242, hier mit M spezifiziert). Mehrfach weist der Autor darauf hin, dass sich die Darstellungen selbst erklären bzw. die Themen dem Leser ohnehin bekannt seien. Die Münchener Handschrift war bisher das einzige technische Werk Johannes Fontanas, das einen Herausgeber gefunden hatte.²⁷

Hinzugekommen ist jetzt der Wiener Traktat, der im Folgenden mit W bezeichnet ist. Sein Inhalt sei hier vorläufig skizziert, um eine Idee von der Disposition des Stoffes und dem benutzten Vokabular zu geben. Johannes Fontanas Verfasserschaft und der Bezug zu seinen späteren Schriften treten dann deutlich hervor.

4. Inhalt und Vokabular des Wiener Traktats

Einen Titel hat das Werk nicht. Der Text teilt sich in sieben Kapitel, denen eine Art Praefatio vorausgeht. Eine Zählung ist nicht vorhanden. Die Überschriften in Klammern <> stammen vom Bearbeiter. Die Kapitelanfänge ergeben sich inhaltlich jeweils aus dem ersten Satz, graphisch aus dem Umstand, dass Platz für eine zwei oder drei Zeilen hohe Initiale ausgespart ist,

26 Zu den Anwendungen des Feuerantriebs siehe Horst Kranz, Raketenantrieb um 1420. Ideen und Experimente des venezianischen Arztes Johannes Fontana, in: Lotte Kéry (Hg.), *Eloquentia copiosus*. Festschrift für Max Kerner zum 65. Geburtstag, Aachen 2006, S. 315-333.

27 München, Bayerische Staatsbibliothek, Cod. icon. 242. Die Bilder und Texte mit Übersetzung ins Italienische bei Battisti/Saccaro Battisti (wie Anm. 24), S. 53-140. Dazu die bibliographische Notiz auf S. 39-41. Dort auch eine Chronologie der Bologneser Traktate.

die aber nur in der Praefatio ausgeführt wurde. Formal abgeschlossen ist die Abhandlung nicht. Ebenso wenig verrät sie, ob sie an einen Empfänger gegangen ist.

Praefatio: <De etymologia rotalegi et horalogii>

Die Vorbemerkung der Wiener Handschrift ist aus noch unbekanntem Grund durchgestrichen, ihre Orthographie gewöhnungsbedürftig. Fontana bildet **rotalegum** aus *rota* (Rad) und *legere* (sammeln, zusammenstellen). Insofern sei das *rotalegum* eine Zusammenstellung mehrerer Räder in passender Zusammensetzung (*roctarum cole<c>tio, cohordinatio plurium roctarum in debita cole<c>tione*, W 1r). Unverkennbar ist die Begriffsbildung durch Isidors Deutung des Wortes *horologium* inspiriert,²⁸ allerdings im umgekehrten Sinne. Statt vorhandene Wörter zu erklären, schafft Fontana neue. In **horalogium** hingegen sieht er, anders als Isidor, ein Kompositum aus *hora* im Sinne von Zeit und *lexis* im Sinne von Berechnung oder Messung, also eine Zeitmessung. Wenn das *horalogium* Räder besitze, dann sei es ein *rotalogium*. Doch nicht jedes *rotalogium* sei ein *horalogium*, denn es gebe Zusammenstellungen von Rädern, die nicht der Zeitmessung dienen. Dazu gehören auch Fahrzeuge, wie Fontana später im Bologneser *Metrologum* ausführt: *Potest et rotalegum super quatuor rotas formari* (B 93v, Kap. 6). Eine passende Übersetzung von *rotalegum* ins Deutsche, die von einer engeren Zweckbestimmung des Rads abhebt, könnte ‚Räderwerk‘ sein.

Nun sei *horalogium* auf doppelte Weise zu verstehen. Einmal sei eine beliebige Messung von Zeit gemeint, unabhängig von der angewandten Technik, ein andermal eine Messung mit einer Anordnung von Rädern. Als Zeitmesser ohne Räder nennt Fontana zur Veranschaulichung zwei Typen: eine Sanduhr, bei der Sand von einem Glas in ein anderes fällt (*per casum pulveris de uno vitro in aliud*, W 1r), und eine Wasseruhr mit steigendem Wasser (*per ascensum aque*, W 1r), bei der ein kleineres Glas mit einer kleinen Öffnung im Boden in einem wassergefüllten größeren Glas steht, darin absinkt und kontinuierlich Wasser aufnimmt. Die Wasseruhr für gleichlange Stunden beschreibt er nun recht ausführlich mit zwei Varianten für die Stundenanzeige, deren Abstände immer größer werden müssen, um das immer schnellere Steigen des Wassers auszugleichen. Zwei Skizzen illustrieren die Funktionsweise. Eine der beiden Anzeigen besteht aus einem Schwimmer, auf dem ein Stab mit der Stundenskala sitzt. Dieses Bauteil der Wasseruhr erkennt man auch in der Münchener Handschrift auf einem Bild, das die Entfernungsmessungen mit Fisch, Hund und Vogel zusammenfasst (M 37r). In der Wiener Handschrift kündigt Fontana weitere Varianten an: *Et sic de aliis que possunt fieri, ut alias tractabo* (W 1r). Das Versprechen wird er erfüllen

28 Isidori Hispalensis episcopi Etymologiarum sive originum libri XX, recognovit brevique adnotatione critica instruxit, hg. v. Wallace Martin Lindsay, Oxford 1911, Lib. XX, 13,5: *Horologia, quod ibi horas legamus, id est colligamus.*

und später die erwähnte Bologneser Abhandlung über Wasseruhren schreiben. Und darin wiederum wird er sich auf seinen älteren *Tractatus de rotalegis omnium generum* (B 71v, Kap. 17) bzw. auf eine Schrift *De cohordinationibus rotarum* (B 73v, Kap. 19) beziehen. Ob damit die Wiener Abhandlung gemeint ist, bleibt zu prüfen.

Auf die Sanduhr geht Fontana im ersten Abschnitt des Wiener Codex nicht weiter ein, sondern beschränkt sich auf die bloße Nennung und eine Skizze mit der Beischrift *horalogium per pulverem* (W 1r). Aber auch der Sanduhr wird er später, sogar noch vor der Wasseruhr, die genannte ausführliche Bologneser Abhandlung widmen und im ersten Teil erneut mehrfach auf seine ältere Schrift *De rotalegis* verweisen (B 6v, 12v, 16v, 20r; Kap. 4, 8, 9, 11). Im zweiten Teil des Sanduhrentraktats bringt der ideenreiche Fontana zudem noch die Variante *legis horam* und bezeichnet damit beim ersten Mal eine Wasseruhr (B 45v, Kap. 7), beim zweiten Mal eine Sanduhr (B 50r, Kap. 9).

Doch von Uhren ohne Räder, so schließt der Vorspann der Wiener Handschrift, wolle er in diesem ersten Buch (*in isto primo libro*, W 1r) gar nicht reden, sondern von dem zweiten Typ, den Uhren also, die durch die Zusammenstellung von Rädern (*per cohordinationem rotarum ad invicem*, W 1r) ein *rotalegium* bilden, ein Räderwerk.

Der ganze einleitende Abschnitt bildet eine Art terminologische und inhaltliche Abgrenzung, die etwas umständlich und abschweifend geraten ist und vielleicht deshalb durchgestrichen wurde. Zu erwarten sind jetzt Bestandteile von mechanischen Uhren bzw. von Getrieben.

Kapitel 1: <De rotis>

Sein Thema im engeren Sinne geht Fontana mit einer Definition seines wichtigsten Gegenstands an: *Rotta est corpus circulare planum circulariter mobile, ad operationem rottalegi reperta* (W 1v). ‚Ein Rad ist ein runder, flacher und kreisförmig beweglicher Körper, erfunden zur Funktion eines Räderwerks.‘ Es hat ein Zentrum wie eine Kugel und kann einen flachen, konkaven, konvexen oder spitzen Umfang haben.

Es folgt die Unterscheidung zwischen einem beweglichen und einem unbeweglichen Rad (*rota mobilis* bzw. *immobilis*). Dem beweglichen Rad gibt Fontana aufgrund der Kreisbewegung den Namen **circulmota**: *Rotta mobilis intellegendo de motu circ<u>lari proprie apelatur circulmota, que quasi interp<r>etatur quod circulariter movetur* (W 1v). Von dem Radtyp *circulmota* könne es in einem Räderwerk zwei Varianten geben, die eine drehe sich durch angehängte Gewichte ständig, die andere nur zeitweilig (*circulmota mobilis continue* bzw. *circulmota mobilis aliquando*). Die *rota immobilis* bzw. *stabilis* bewege sich in einem Räderwerk überhaupt nicht. Im Bologneser Sanduhrentraktat finden wir *circulmota* z.B. in folgender Formulierung: *Est enim cavendum semper, cum volumus polifluum vel circulmotam leviter volvi, <ut> quicquid resistenciam faciat* (B 15r; Teil 1, Kap. 9). ‚Da wir wollen, dass Achse

und Rad sich leicht drehen, ist stets zu verhüten, dass etwas Widerstand leistet.‘ Das gleichfalls in Bologna erhaltene *Metrologum* beschreibt u.a. Automaten in Tiergestalt mit einem Antrieb wie bei den mechanischen Uhren. Wie in der Wiener Handschrift heißen die Rädchen darin **circulmote**: *Motor vero primus circulatorum omnium in ipso [sc. animali] positum diversimode aptari posset* (B 94r, Kap. 6). ‚Der erste Beweger aller in dem Tier eingesetzten Räder aber ließe sich auf verschiedene Weise einrichten.‘ Kurz, *circulmota* meint ein Rad, das sich um seine Achse dreht, ohne eine Ortsbewegung zu vollziehen.

Eine weitere Fundamentalunterscheidung im Wiener Traktat ist die zwischen dem gezähnten und nicht gezähnten Rad (*rota dentica* bzw. *non dentica*). Die Zähnung wiederum könne auf dem Umfang, der Krone oder der Rippe erfolgen (*quedam dentificatur per circumferentiam, per coronam colateralem* oder *per costam*, W 1v). Ist ein Rad nur auf dem Umfang gezähnt, bezeichnet Fontana es als gleichförmig, ist es auf Krone oder Rippe gezähnt, als ungleichförmig (*rota uniformis* bzw. *difformis*). Gleichförmige Räder seien in den meisten Fällen auf dem flachen Umfang gezähnt (*per circumferentiam planam*), nur dann und wann auf dem spitzen (*per acutam*).

Auf die verschiedenen Möglichkeiten, ein Kron- oder Rippenrad zu zähnen, kann an dieser Stelle verzichtet werden. Fontana spielt mehrere Varianten durch und gibt genaue Anweisungen, wie man mit dem Zirkel Position und Größe von Krone und Rippe auf dem Rad zu bestimmen hat, und illustriert das Verfahren durch Zeichnungen. Selbstverständlich sind auch Kombinationen von Zähnungen möglich, sogar alle Typen gleichzeitig. So könne ein Rad auf Rippe, Krone und Umfang gezähnt sein, dann sei es im ureigentlichen Sinne ein ungleichförmiges (*quedam potest dentari [...] per costam, per coronam et per circumferentiam simul, et ista propriissime difformis concluditur*, W 2r). Auf Kron- und Rippenräder wird Fontana später, 1418, im zweiten Teil der Bologneser Beschreibung seiner kombinierten Sand- und Räderuhr des öfteren zu sprechen kommen, wenn es um die Mechanik der Stundenanzeige geht (z.B. *Capitulum sextum in quo describitur alius modus noticie horarum, et est per coronas*, B 44r).

Kapitel 2: <De dentibus>

Folgerichtig geht Kapitel 2 ausführlich auf die Gestalt der Zähne an Zahnrädern ein. Grundsätzlich unterscheidet Fontana zwischen dreieckigen, viereckigen, halbrunden, stabförmigen und unregelmäßigen bzw. trapezförmigen Zähnen (*quidam est dens triangularis, quidam quadrangularis, quidam semicircularis, quidam polixetenus, quidam est dens helmuariffus*, W 2r). Das Kapitel lässt ahnen, dass der Student zeitnah Euklids Geometrie kennengelernt hat. Die am weitesten verbreitete, so genannte Adelard II Version der *Elemente* etwa hat in Buch I, Def. 23 *elmunharifa* statt *irregulares*.²⁹ *Elmu-*

29 Robert of Chester's (?) redaction of Euclid's *Elements*. The so-called Adelard II version 1, hg. von Hubertus L. L. Busard u. Menso Folkerts, Basel 1992, S. 114.

harifa idest trapezie, glossierte eine Marginalie in einer Londoner Handschrift der Elemente.³⁰ Mehrfach wird sich Fontana später in der Schrift über das *Hora-legum pulverum* auf Euklid berufen (B 9r, 15v, 19r; Teil I, Kap. 5, 9, 11).

Es versteht sich von selbst, dass der junge Artist in guter scholastischer Manier verschiedene Varianten der Zähne aufführt. So kann der dreieckige Zahn rechtwinklig, spitz oder stumpf sein (*Dens triangularis quidam est rectus, quidam est acutus, quidam est obtusus*, W 2r). Der viereckige Zahn kann ein äußerer oder ein innerer sein (*Dens quadrangularis [...] quidam est intrinsecus, quidam extrinsecus*, W 2r), je nachdem, ob er in den Umfang des Rads eingeschnitten ist oder außen aufgesetzt. Als halbkreisförmig bezeichnet Fontana einen Zahn, wenn er von zwei Linien eingefasst wird, die entweder beide gebogen sind, oder die eine gerade und die andere gebogen (*Dens semicirculus qui clauditur duabus lineis, quarum quelibet est obliqua, vel una recta et altera obliqua*, W 2v). Der halbkreisförmige Zahn kann regelmäßig und unregelmäßig sein (*regularis* bzw. *irregularis*). Regelmäßig ist er, wenn sein Rand einen Kreisbogen darstellt, d.h. wenn seine Randlinie beim Kontakt mit der Basis gleiche Winkel bildet. Erzeugt die Randlinie des Zahns nicht gleiche Winkel, dann handelt es sich um einen *dens semicirculus irregularis*. Wie der viereckige Zahn kann auch der halbkreisförmige ein innerer oder ein äußerer sein. Ein stabförmiger Zahn schließlich ist jeder, der weder drei- oder viereckig noch halbrund ist. Seine Gestalt ist unendlich veränderbar (*Dens polixetenus vocatur omnis dens, qui non sit triangularis, nec quadrangularis, nec semicirculus, et iste dens potest variari in infinitum*, W 2v). Die *polixeteni* sind nichts anderes als Stöcke, wie man sie beispielsweise von den Getrieben oder Laternen eines Mahlwerkes her kennt. Sie verbinden zwei parallel zueinander stehende Scheiben. Wie er das Wort *polixetenus* gebildet hat, erklärt Fontana nicht. Am Ende des zweiten Kapitels wendet er sich noch einmal dem dreieckigen Zahn zu, der gleichschenkelig und nicht gleichschenkelig sein könne (*dens triangularis, quidam est equilineus, quidam inequilineus*, W 2v). Veranschaulicht ist der Abschnitt durch 22 Skizzen, von denen mehrere durch Beschneiden des Papiers verstümmelt sind.

Kapitel 3: <De diversitate corporum circularium et eorum velocitatibus>

Nach dem Rad und seinen Zähnen geht Kapitel 3 zu den runden Körpern und ihrer Schnelligkeit über. Unter Verweis auf die Weltkugel bemerkt Fontana zunächst, ein sphärischer Körper habe ein Zentrum und einen Umfang (*corpus spericum est habens centrum et circumferentiam*, W 3r). Und alle Linien vom Zentrum zum Umfang seien gleich lang. Einen runden Körper mit

30 Ebd. Bd. 2, S. 450 (Varianten zu Elem. I, Def. 23, Z. 49). Ebenso die von Campanus um 1260 bearbeitete Ausgabe, die von Blasius von Parma und wohl auch von seinem Schüler Fontana benutzt wurde. Vgl. Hubertus L.L. Busard (Hg.), Campanus of Novara's Edition of Euclid's Elements, Stuttgart 2005.

Umfang, aber ohne Zentrum, bezeichnet er als *corpus orbiculare*. Der Unterschied zwischen ihnen bestehe darin, dass der sphärische Körper nur eine konvexe Oberfläche und einen Umfang habe, der orbiculare Körper hingegen zwei Oberflächen und zwei Umfänge, nämlich einen konkaven und einen konvexen (*Corpus enim spericum solam superficiem convexam habet et unam circumferentiam. Corpus orbiculare duas superficies et circumferentias habet, scilicet concavam et convexam*, W 3r). Anders gesagt, das *corpus orbiculare* ist eine Hohlkugel oder eine Art Felge.

Die Bewegung eines runden Körpers (*corpus circulare*) geschehe auf zwei Arten. Entweder drehe er sich auf der Stelle, dann habe er zwei gegenüberliegende, feste, stillstehende Punkte (*duo puncta extremalia opposita, que quiescunt et firma sunt*, W 3r). Diese wiederum bezeichne man als Pole (*poli*). Zur Veranschaulichung erinnert Fontana seinen Leser an die Drehung des Weltalls um den nördlichen und südlichen Himmelspol (*Meridies et septentrio polli celli dicuntur*, W 3r). Oder der runde Körper bewege sich rollend fort (*Secundo modo corpus circulare volvitur continue aquirendo alium et alium locum*, W 3r). Auf die Ortsbewegung richtet sich Fontanas Interesse hier aber nicht, sondern auf die erste Art einer Drehbewegung, die um feste Pole.

Nach dieser Klarstellung ist der Rest des Kapitels der Schnelligkeit der Bewegung vorbehalten, die in der Naturphilosophie wie im praktischen Uhrenbau gleichermaßen von zentraler Bedeutung war. Auf einem kreisförmigen Körper, der sich drehe, bewege sich ein Punkt nahe dem Umfang schneller als ein Punkt nahe dem Pol, weil er in gleicher Zeit eine größere Strecke zurücklege. Der Pol selbst bewege sich ja nicht (*Polus enim non movetur*, W 3r). An der Stelle ergibt sich für den Studenten wieder die Gelegenheit, Stoff aus der Vorlesung oder Lektüre zur Geltung zu bringen. Um zu veranschaulichen, wie man das Verhältnis von Quantitäten, hier auf Bewegung bezogen, zueinander bestimmt und ausdrückt, benutzt Fontana vielleicht den *Tractatus de proportionibus* Thomas Bradwardines von 1328, ohne dessen Namen zu nennen.³¹ Dieser wichtige, in der Tradition der boethianischen Arithmetik stehende Text zur mathematischen Behandlung physikalischer Probleme aus dem Merton College war in Padua wohlbekannt, Fontanas Lehrer Blasius von Parma hatte ihn durchaus kritisch kommentiert.³² Die Ausführlichkeit, mit der Fontana fünf Gattungen von Proportionen mit Zahlenbeispielen entwickelt, scheint dafür zu sprechen, dass er unmittelbar aus einer Fassung schöpft. Hier seien nur die Gattungen genannt, die unter die *Pro-*

31 Thomas of Bradwardine, *His Tractatus de proportionibus*, Its Significance for the Development of Mathematical Physics, hg. u. übers. v. H. Lamar Crosby Jr., Madison, WI 1955, Kap. 1, S. 66-71, dazu die Aufstellung auf S. 22-24. Zur Bedeutung Bradwardines für die Mechanik siehe Clagett (wie Anm. 19), S. 199-222.

32 Graziella Federici Vescovini, *Due commenti anonimi al „Tractatus proportionum“ di Tommaso Bradwardine*, in: *Rinascimento* 19, 1979, S. 231-322. Moderne Ausgabe: Blaise de Parme, *Questiones circa tractatum proportionum Magistri Thome Bradwardini*, hg. v. Joël Biard u. Sabine Rommevaux. *Textes philosophiques du Moyen Age* 22, Paris 2005.

portiones maioris inaequalitatis fallen: *Proportio multiplex, superparticularis, superpartiens, multiplex superparticularis* und *multiplex superpartiens* (W 3v). Als scholastisch ausgebildeter Autor gibt sich Fontana im Übrigen auch durch die Verwendung des altfranzösischen Artikels *li* oder *ly* zu erkennen, den die Professoren der Universität Paris in das gelehrte Schrifttum eingeführt hatten: *pone li*, 2' *post ly*, *super* 'et dicas', *superbi* ' (W 3v); „setze die 2' hinter das ,super' und sage ,superbi'“. ³³

Von den Schlüssen, die Fontana unter Hinweis auf Buch 6 und 7 der aristotelischen Physik am Ende von Kapitel 3 zieht, seien nur zwei zur Kreisbewegung erwähnt, um die Verbindung von Mathematik, Physik und Mechanik in dieser Abhandlung über Räder zu veranschaulichen. Bei einem kreisförmig bewegten Gegenstand bestimme sich die Schnelligkeit nach der Strecke, die der am schnellsten bewegte Punkt in so und so viel Zeit zurücklege (*velocitas in motu circulari attenditur penes lineam vel circulum descriptum a puncto velocissimo moto in tanto tempore*, W 4r). Dem fügt er noch die geometrische Erläuterung hinzu, dass bewegte Dinge sich gleichmäßig drehen, wenn sie in gleicher Zeit gleiche Winkel um ihr Zentrum bilden. Das tun sie aber nicht, wenn sie bei gleichem Winkel und gleicher Zeit unterschiedliche Kreise beschreiben (*illa mobilia equaliter circunt, que in equali tempore equales angulos circa centrum suum describunt, e tamen cum hoc stat, quod non equaliter moventur; ubi duos circulos inequales constituerent*, W 4r). Veranschaulicht ist Kapitel 3 durch sechs Zeichnungen.

Kapitel 4: <De polo et polifluo i.e. axe>

Systematisch fortschreitend kommt Fontana nach den Rädern und Zähnen in Kapitel 4 zur Achse und ihren Polen. Die instruktiven Abbildungen seien hier beispielhaft wiedergegeben. Zur Veranschaulichung greift er erneut auf das vertraute Bild von der Weltkugel zurück. Diese würde sich nicht kreisförmig bewegen, wenn sie keine Achse und Pole hätte. Ein Pol sei ein unbeweglicher Punkt, um den sich der Himmel drehe, so wie Norden und Süden. Die Achse wiederum sei eine Linie von einem Pol zum anderen. Freilich gebe es eine wirkliche und eine gedachte Achse (*Axis est linea prothrecta ab uno polo ad alium, et iste est duplex, scilicet verus, et imaginarius*, W 5r). Die wirkliche Achse wolle er hier als **polifluus** bezeichnen, weil sie von einem Pol zum anderen fließe. Vor allem darauf richte sich seine Aufmerksamkeit in diesem Buch (*Verum axem pro presenti polifluum appello, eo quod ab uno polo ad alium fluit. Et de illo maxime est nostre intentionis in hoc libro*, W 5r). In den späteren technischen Traktaten wird *polifluus* zum Standardbegriff, so auch in der Beschreibung der kunstvollen, beweglichen Teufelsfigur in der Münchener Bilderhandschrift³⁴: *Cornua simul et corona moventur per polifluum, cuius*

33 Siehe dazu Peter Stotz, Handbuch zur lateinischen Sprache des Mittelalters Bd. 1, München 2002, I, 46.3; I, 48.2; Bd. 4, München 1998, IX, 37.12.

34 Battisti/Saccaro Battisti (wie Anm. 24), S. 94.

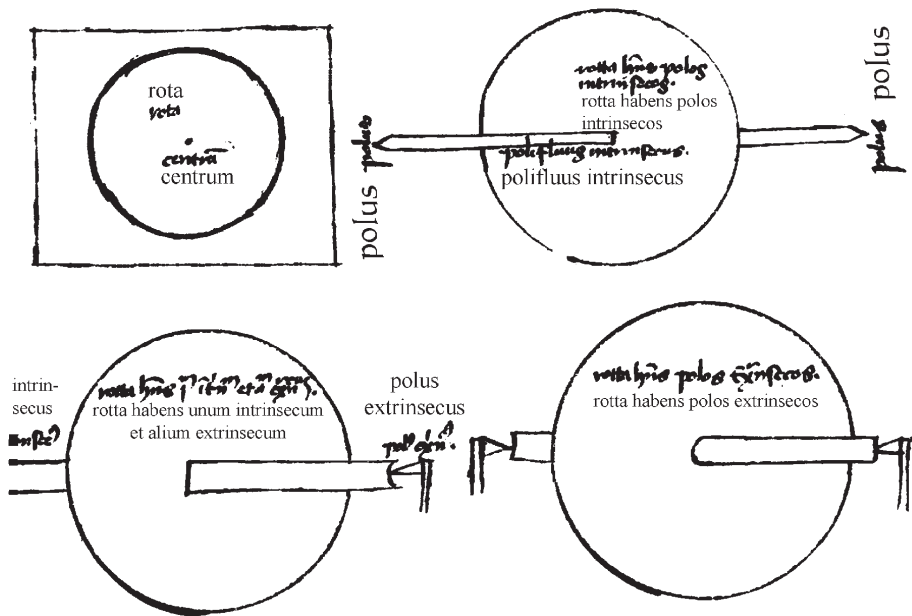


Abb. 1a) (oben links) In einem anderen Körper gelagertes Rad mit „unbeweglichem“ Zentrum. Quelle: Wien, ÖNB cod. 5153*, 5r. b) (oben rechts) Rad mit inneren Polen, fest mit der Achse verbunden. Quelle: Wien, ÖNB cod. 5153*, 5r. c) (unten links) Rad mit einem inneren und einem äußeren Pol. Quelle: Wien, ÖNB cod. 5153*, 5r. d) (unten rechts) Rad mit äußeren Polen. Quelle: Wien, ÖNB cod. 5153*, 5r.

poli sunt in auribus (M 60r). ‚Die Hörner und zugleich die Krone bewegen sich durch eine Achse, deren Pole sich in den Ohren befinden.‘ In der Bologneser Anleitung zum Bau des *Horalegum pulverum* rät Fontana dem Empfänger, Ludwig, der terminologischen Klarheit halber die Hauptachse der Uhr als *magister polifluus* zu bezeichnen: *Et tu hunc magistrum polifluum dicas, ut de cetero tecum in nominibus rerum concors sim* (B 20r; Teil 1, Kap. 11).

Drehen könne sich ein Rad, so fährt die Wiener Handschrift fort, um einen oder um zwei Pole. Um einen Pol drehe es sich, wenn das Rad in einem anderen Körper gelagert sei, von dem es umfasst werde. Der unbewegliche Punkt wäre dann das Zentrum des Rads (Abb. 1a). Um zwei Pole drehe sich ein Rad, wenn von einer oder von zwei Seiten eine Linie senkrecht in sein Zentrum falle. Die Enden dieser Linie wären dann die Pole, um die sich das Rad drehe. Das wäre der *axis verus* bzw. *polifluus*.

Die Achse könne eine innere oder eine äußere sein (*polifluus intrinsecus* bzw. *extrinsecus*). Die innere Achse sei fest mit dem Rad verbunden, so dass sich beide nur zusammen drehen (Abb. 1b). Zudem könne das Rad noch jeweils innere und äußere Pole haben (*poli quanti intrinseci* bzw. *extrinseci*). Innere Pole befänden sich an der inneren Achse selbst (Abb. 1b), äußere

Pole hingegen weder an der inneren noch an der äußeren Achse (Abb. 1c). Nun könne ein Rad einen inneren und einen äußeren Pol haben (Abb. 1d). Die äußere Achse sei nicht fest mit dem Rad verbunden (Abb. 3). Rad und Achse könnten sich also getrennt voneinander drehen. Das gleiche sei der Fall, wenn man eine Schnur durch das Zentrum eines Eis ziehe (Abb. 2).



Abb. 2: Ausgeblasenes Ei auf gespanntem Seil als polifluus extrinsecus. Quelle: Wien, ÖNB cod. 5153*, 5v.

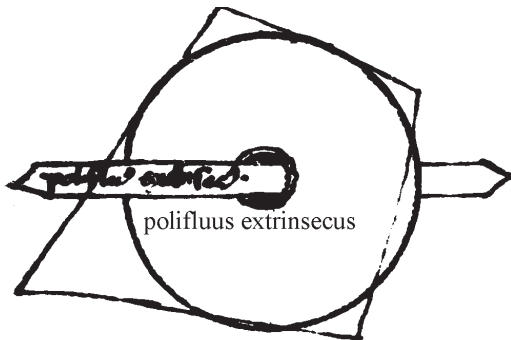


Abb. 3: Rad mit äußerer Achse. Quelle: Wien, ÖNB cod. 5153*, 5v.

Was die äußere Gestalt angeht, nennt Fontana runde Achsen, viereckige und so fort (*polifluus rotundus* bzw. *quadratus*). Aber auch gleichförmig und ungleichförmig könnten sie sein (*polifluus uniformis* bzw. *difformis*, Abb. 4). Eine gleichförmige Achse habe von einem Ende zum anderen die gleiche Gestalt, eine ungleichförmige sei an einem Ende dicker als am anderen oder habe eine Rippe. Dann gebe es noch die gezähnte und die ungezähnte Achse

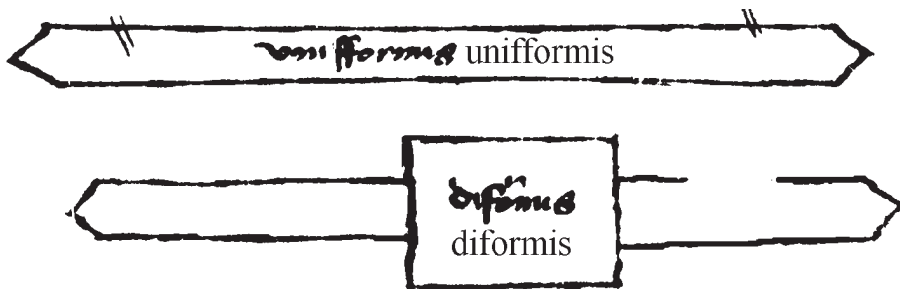


Abb. 4: Gleichförmige und ungleichförmige Achse. Quelle: Wien, ÖNB cod. 5153*, 5v.

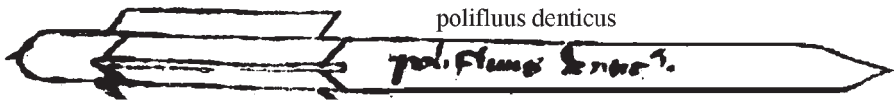


Abb. 5: Gezeichnete Achse. Quelle: Wien, ÖNB cod. 5153*, 5v.

(*polifluus denticus* bzw. *non denticus*, Abb. 5), sowie die bewegliche und unbewegliche (*polifluus mobilis* bzw. *immobilis*), je nachdem, ob sie sich im Räderwerk drehe oder nicht. Habe die Achse nur ein Rad, sei es eine Einradachse (*unipolifluus*), habe sie zwei oder drei Räder, handele es sich um eine Zweiräder- oder Dreiräderachse (*bipolifluus* bzw. *tripolifluus*, Abb. 6). Zehn Skizzen illustrieren das Achsenkapitel.

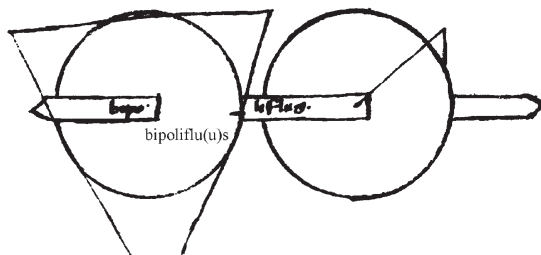


Abb. 6: Zweiräderachse. Quelle: Wien, ÖNB cod. 5153*, 5v.

Kapitel 5: <De politenis et politencula>

Das kurze Kapitel 5 bildet den Abschluss der technisch-terminologischen Definition eines Räderwerks. Unter einem **politenus** versteht Fontana die Halterung, in der die Pole der Achse lagern (*Politenus sive politenens interpretatur quasi polos tenens*, W 5v). Auch hier nimmt er wieder eine Differenzierung vor zwischen einem *politenus extremalis* bzw. *medius*. Der äußere sei der Polhalter im engeren Sinne, während der mittlere nur einen Teil der Achse stütze. Die Polhalter selbst befinden sich in einem Gestell, das die

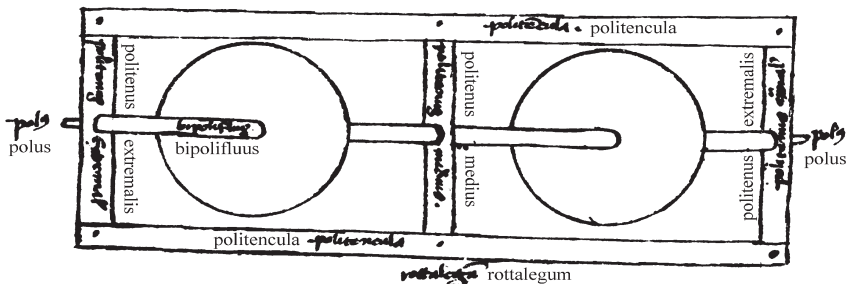


Abb. 7: Räderwerk mit Zweiräderachse, mittlerem und äußeren Polhaltern in einem Gehäuse. Quelle: Wien, ÖNB cod. 5153*, 5v.

Bezeichnung **politencula** erhält (Abb. 7). In der Bologneser Bauanleitung für die Sanduhr mit mechanischen Teilen heißt das Gehäuse, das die gesamte Konstruktion umgibt, gewöhnlich ebenso: *Politencula vero una eciam ex partibus numeratur que domus est politenentium, ubi poliflui figuntur rotarum, et circulatorum ad hos fines pertinencium. Eam ex ligno construxi veluti armarium, quod tegeret et operam nostram custodiret* (B 2v; Teil 1, Kap. 1). ‚Aus Teilen setzt sich aber auch ein Gehäuse zusammen, das der Sitz der Polhalter ist, in denen die Achsen der Räder lagern, und der Ringe, die diesen Zwecken dienen. Ich konstruierte es aus Holz wie einen Schrank, der unser Gerät abdecken und schützen sollte.‘ Damit hat Fontana in der Wiener Schrift die Maschinenteile aufgeführt, differenziert und benannt, die in passender Anordnung zusammen ein Räderwerk ergeben (*Et hec totta corhordinatio dicitur rottaleum*, W 5v).

Kapitel 6: <Conclusiones>

Kapitel 6 bringt keine weitere technische Beschreibung, sondern nach scholastischer Gepflogenheit eine Aufstellung von sieben Schlussfolgerungen aus den Kapiteln 4 und 5. Nur die erste sei zitiert: Ein Rad, das nicht in einem Gehäuse sitze, lasse sich nicht gut und gehörig zur Bewegung in einer Anordnung einstellen, bei der Zähne von Rädern ineinandergreifen (*rotta non posita in politencula non potest bene et debite ordinari ad mottum in cohordinatione, intersecatione dentium existente rottarum*, W 6r).

Kapitel 7: <De motionum causis rotarum>

Im Mittelpunkt des letzten Kapitels steht die praktische Anwendung. Den kinematischen Ansätzen in Kapitel 3 folgt die Beschäftigung mit den Ursachen der Drehbewegung. Orientiert an der Elementelehre spielt Fontana die Arten des Antriebs durch und veranschaulicht sie durch Beispiele und Bilder.

- a) Als erste Möglichkeit, ein Rad in Bewegung zu versetzen, erscheint die Muskelkraft eines vernunft- oder nicht vernunftbegabten Lebewesens. Gemeint ist das Tretrad, in dem Mensch und Tier einhergehen können (*potest animal tam rationale quam inrationale ingredi super concavum corone et pedibus ambulando volvere rottam*, W 9v). Die zugehörige Skizze zeigt ein Eichhörnchen in einem Laufrad.
- b) Zweite Energiequelle sei der natürliche Wind, der beispielsweise auf Türmen installierte Räder drehe, um Getreide in feines Mehl für Brot zu verwandeln. Fontana beschreibt freilich keine Windmühle mit ihren Flügeln, wie man sie kennt, sondern nur knapp ein breites Rad bzw. eines mit wenigen breiten Zähnen, die der Wind erfassen soll (*facta rotta in politencula, que sit lata, vel habens dentes raros latos, ut artificialiter fit, oposita vento volvitur*, W 9v). Ergänzend zum Antrieb durch natürlichen Wind bringt er noch den Wasserdampf. Als Anwendungsbeispiel dient ein Bratspieß mit einem Flügelrädchen (*rotta parvissima habens dentes raros latos et leves*,

- W 9v), gedreht von Dampf, der aus einem Behälter mit kochendem Wasser aufsteigt.
- c) Als dritte Möglichkeit, Räder von Sägen oder Mühlen zu drehen, nennt Fontana nur kurz den allgemein bekannten Antrieb durch fließendes oder fallendes Wasser.
 - d) Mehr Platz gewährt er dem vierten Antrieb, der von eingeschlossener heißer Luft (*fumus*) erzeugt werden soll. Fontana erläutert diese seltsam anmutende Energiequelle anhand einer spielerischen Anwendung. In seinem Kanon der Möglichkeiten, Bewegung zu erzeugen, bildet der *fumus* als Variante des Antriebs durch Feuer eine feste Größe. Denn in vier weiteren Traktaten geht er zumindest kurz darauf ein. Die Äußerungen sind in Abschnitt 6 unten zusammengestellt.
 - e) Fünfte Ursache schließlich ist die Kraft des Magneten, wie sie beispielsweise die Seeleute bei der Navigation mit dem Kompass nutzten (*rotta movetur propter mottum calamite vel magnetis lapidis, qui naturaliter elevat ferrum*, W 10v). Das Gerät besteht aus einem in einem Kasten gelagerten Rädchen, dessen Zähne für die Windrichtungen stehen. An einem der Zähne muss ein kleines Stückchen Eisen befestigt sein. In Drehung versetzt man es, indem man um das Rädchen herum einen Magnetstein bewegt. Hört die Bewegung des Magneten auf, richtet sich das Rädchen aus und man kann die Windrichtungen von den Zähnen ablesen.

Nicht mitgezählt ist bei Fontana der seit dem 13. Jahrhundert immer wieder thematisierte Selbstantrieb von Rädern, die er aber wohl nur vom Hörensagen kennt. Recht ausführlich geht er auf ein Rad ein, das große Ähnlichkeit mit Konrad Gruters zweiter *rota continui motus* hat.³⁵ Als Antreiber vorgesehen ist Quecksilber (*argentum vivum*), das sich selbst in Rillen zwischen Rand und Zentrum des Rads hin und her bewegen und dieses durch Gewichtverschiebungen in Drehung versetzen soll. Ein grundsätzlicher Unterschied zwischen Fontanas und Gruters Rad besteht darin, dass Fontanas Variante eine gerade Zahl an Rillen hat, während Gruter Wert auf eine ungleiche Zahl und damit auf ein Ungleichgewicht des Rads legt. Für realisierbar hält Fontana die Bewegung eines solchen Rads gleichwohl nicht. Ein weiteres Rad, das sich nach Auskunft von Fontanas Informanten wie gehabt durch Verlagerungen von Gewichten drehen soll, erinnert an Gruters dritten Versuch.³⁶ Wie sich zeigt, diskutierte man Ende des 14. und Anfang des 15. Jahrhunderts unter Artisten intensiv die Verwirklichung der ständigen Kreisbewegung und probierte auch allerlei Räder aus. Die Ähnlichkeiten der Entwürfe sprechen für einen regen Austausch. Von dem angestrebten *Motus continuus* spricht Fontana indessen nicht.

35 Konrad Gruter von Werden, Bd. 2 (wie Anm. 17), Kap. 25, S. 121-124. Näheres zu Gruters Entwürfen im Zusammenhang der mittelalterlichen Überlieferung zu den ewigen Rädern bei Lohrmann (wie Anm. 12).

36 Konrad Gruter von Werden, Bd. 2 (wie Anm. 17), Kap. 26, S. 125-128.

Bisher war die Rede von einem direkten oder gewollten Antrieb von Rädern. Ausklingen lässt Fontana das siebte Kapitel mit Beispielen für einen gewissermaßen indirekten Antrieb bzw., scholastisch ausgedrückt, für einen Antrieb *per accidens*. Dieser Fall liegt für ihn vor, wenn ein Ochse einen Wagen zieht, wodurch sich die Räder bewegen, oder wenn sich auf einer äußeren Achse (*in polifluo extrinseco*) eine Rolle dreht, auf die man ein Seil aufwickelt.

Soweit Inhalt und technisches Vokabular des eigentlichen Wiener Traktats.

5. Ergänzungen

Die Nachträge auf den zunächst unbeschriebenen Seiten des Wiener Codex könnten durchaus auch von Johannes Fontana selbst stammen. Zur Weitergabe oder Veröffentlichung waren diese jüngeren Notizen, Aufstellungen und Skizzen in der vorliegenden Form aber wohl nicht bestimmt. Sie haben den Charakter von Gedächtnisstützen und zum Teil unvollendeten Entwürfen. Es handelt sich auf 2v und 4r um Bemerkungen zur geometrischen Gestalt von Zähnen. Auf 4v folgt eine lange Liste von Varianten, wie man ein Rad an Umfang, Krone und Rippe zähnen kann. In ihrer Kargheit ist die Aufstellung für den Uneingeweihten nicht leicht verständlich, zumal die Überschrift durch Beschneiden des Heftes verloren ging. Zur Anschauung seien die ersten sieben Zeilen auf W 4v zitiert: *Aut dentatur per superfitem terminantem totam. Aut dentatur per superfitem concavam in orbiculari. Aut per costam supra. Aut per costam superfitaliter. Aut per coronam supra. Aut per coronam infra. Aut per coronam superfitaliter*. Erkennbar geht es um die Zähnung eines Rads: am Umfang, auf der konkaven Seite, durch eine Rippe oben, durch eine Rippe oberflächlich, durch eine Krone oben, durch eine Krone unten, durch eine Krone oberflächlich. Hier besteht noch Erklärungsbedarf.

Unter den Skizzen auf 6v und 7r findet sich ein weiteres Perpetuum mobile mit Schiebegewichten, das dem vierten Modell von Konrad Gruter gleicht.³⁷ Mit Rädern und Uhren nichts zu tun haben auf den ersten Blick die sieben Vogelfallen. Der Eindruck täuscht. Im Bologneser Traktat über das *Horologium aqueum* befasst sich Fontana in mehreren Kapiteln mit Weckvorrichtungen. Dazu bedarf es eines leichtgängigen Mechanismus, damit die Bewegung der Uhr das gewünschte Signal auszulösen vermag. Auch Tierfallen müssen leicht zuschnappen. Getreu seiner Vorliebe für praktische Beispiele aus dem Alltag zieht Fontana im Wasseruhrentraktat folgende Parallele: *Clavibus eciam facilibus quidam utuntur, qui capere volunt animalia. Constituunt insuper instrumentorum suorum claves, que a parvissima re mote finem suum consequuntur. Patet hoc quoniam pluribus modis mures, vulpes, volatilia, et alia animalia facilitate clavium capiuntur, ut modico tactu vel a pede vel ab ore veniant in carcerem vel trabucum, quo captiventur vel*

37 Ebd. Kap. 27, S. 129-133.

occidantur. Et similibus nos uti debemus (B 70v, Kap. 16). ‚Leichter Schlösser bedienen sich auch Leute, die Tiere fangen wollen. Sie bringen dazu in ihren Geräten Schlösser an, die, von einem ganz kleinen Gegenstand bewegt, ihren Zweck erfüllen. Es ist bekannt, da man auf viele Arten Mäuse, Füchse, Vögel und andere Tiere durch die Leichtigkeit von Schlössern fängt, dass sie durch saches Berühren mit dem Fuß oder Maul in den Käfig oder die Falle hineinkommen, um gefangen oder getötet zu werden. Ähnlicher Schlösser müssen auch wir uns bedienen.‘ Vor diesem Hintergrund ist der Rückgriff auf Vogelfallen in Uhrentraktaten ganz und gar nicht abwegig.

6. Drehbewegung durch heiße Luft (*fumus*)

Fontanas Münchener Bilderhandschrift von etwa 1420 enthält zwei Apparate mit drehbaren Teilen, die von dem Element Feuer, speziell wohl von heißer Luft (*fumus*) angetrieben werden sollen. Funktionsweise und Tauglichkeit geben indes einige Rätsel auf. Die Darstellungen gewinnen an Klarheit, wenn man den Wiener Codex zu Rate zieht.

- a) f. 57v des Münchener Codex zeigt unter der Bezeichnung *volubilis rota* ein großes, recht breites Zahnrad, das von einem Holzgerüst in vertikaler Stellung gehalten wird (Abb. 8). Die Zähne weisen nach innen, wo sie in ein kleines Rädchen mit vier Zähnen greifen. Eine Achse ist nicht erkennbar. Wie das große Rad angetrieben werden soll, verrät die kurze, chiffrierte Erläuterung, die sich in lateinischer Schrift so liest: *Vertitur a fumo rota ista, quia in se ag<r>egans fumum candele, ille expire non*

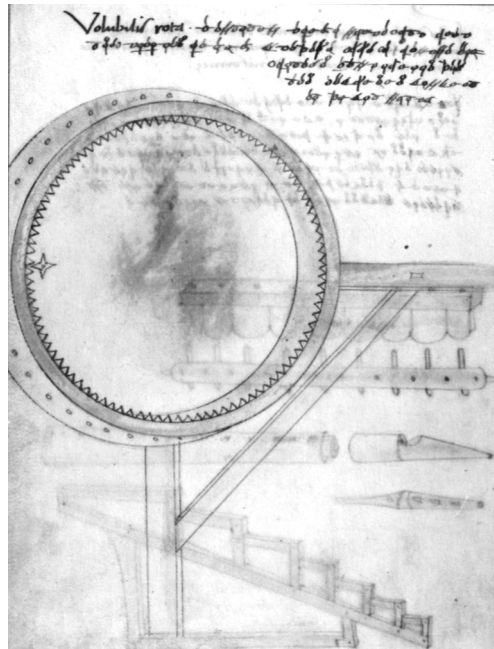


Abb. 8: Heißluftgetriebenes Rad. Beischrift: *volubilis rota*. Quelle: München, BSB, cod. icon. 242, 57v.

potens, intra obvios dentes inclusus circu<m>it et ducit rotam. ‚Von Heißluft wird dieses Rad gedreht, da es in sich die heiße Luft einer Kerze sammelt; diese, die nicht entweichen kann, kreist innen eingeschlossen gegen die Zähne und bewegt das Rad.‘ Die Kerze fehlt in der Zeichnung, ebenso die Abdeckungen, die die heiße Luft in dem Rad zurückhalten müssten. Zudem vermisst man einen Hinweis auf die Zweckbestimmung der Maschine.

Sicher zu Recht sah das Ehepaar Battisti eine Verbindung zu der Feueruhr,³⁸ auf die Fontana schon in zwei älteren Traktaten hingewiesen hatte. In der Bologneser Abhandlung über Fisch, Hund und Vogel erfahren wir: *pariformiter eciam de horologio igneo, quod aut ex fumo, vel ex candela subtili, vel ex consumptione olei aut similis in lampade formatur, que in quibusdam tractatibus meis diffuse satis explanata sunt* (B 86v, Kap. 2). ‚genauso auch bei der Feueruhr, die man aus Heißluft, einer feinen Kerze oder der Verbrennung von Öl oder Ähnlichem in einer Lampe bildet, die ich <alle> in meinen Traktaten ganz ausführlich erklärt habe.‘ Die Passage bezieht sich auf Markierungen, an denen sich Stunden und Teile von Stunden ablesen lassen. Diese Trilogie der Feueruhr hatte er zuvor auch schon im *Horalogium aqueum* aufgezählt (B 63r-v, Kap. 10). Entdeckt hat man die zitierten Abhandlungen bisher nicht. Dem Empfänger der Münchener Handschrift dürften sie wie andere Schriften Fontanas bekannt gewesen sein, jedenfalls würde dies die Kürze der Texte erklären. Schließlich finden wir den *fumus* als Antreiber noch im jüngeren, mnemotechnischen *Secretum de thesauro*, in dem Fontana seine früheren Konstruktionen von Uhren mit Weckfunktion anspricht: *Ego quidem persepe feci horalogia, quandoque rotis, quandoque fumo egencia, que me ad opus vocabant inmemorem, ac si veram haberent memoriam in se ipsis.*³⁹ ‚Ich habe ja des öfteren Uhren gebaut, die mal Räder, mal Heißluft benötigten und mich Vergesslichen zur Arbeit riefen, als besäßen sie ein richtiges Gedächtnis.‘ Mangels weiterer Einzelheiten bleibt das heißluftgetriebene Rad vorläufig mysteriös. Etwas weiter kommen wir bei der zweiten Apparatur der Münchener Bilderhandschrift.

- b) f. 67v präsentiert eine aufwendig gemalte Vorrichtung für Schattenspiele mit gewohnt kurzer Beischrift: *Castellum umbrarum eo quod in loco obscuro situatur, et [Radierung] intra ponuntur, et figure umbrate variantes actus suos ostenduntur.* ‚Schattenburg deshalb, weil man sie an dunklem Ort aufstellt. Innen plziert man [Kerzen/Räder?], und die Schattenfiguren zeigen sich mit ihren wechselnden Bewegungen.‘ (Abb. 9)

Die gegenüberliegende Seite (f. 68r) bringt zum besseren Verständnis drei unterschiedlich breite und unterschiedlich gefaltete Streifen aus einem nicht spezifizierten Stoff, der das Gerät offenbar umgeben sollte, mit folgender

38 Battisti/Saccaro Battisti (wie Anm. 24), S. 93, Kommentar zu f. 57v, ferner S. 10f.

39 Ebd., S. 147 (Paris BN, n. a. lat. 635, f. 35r).

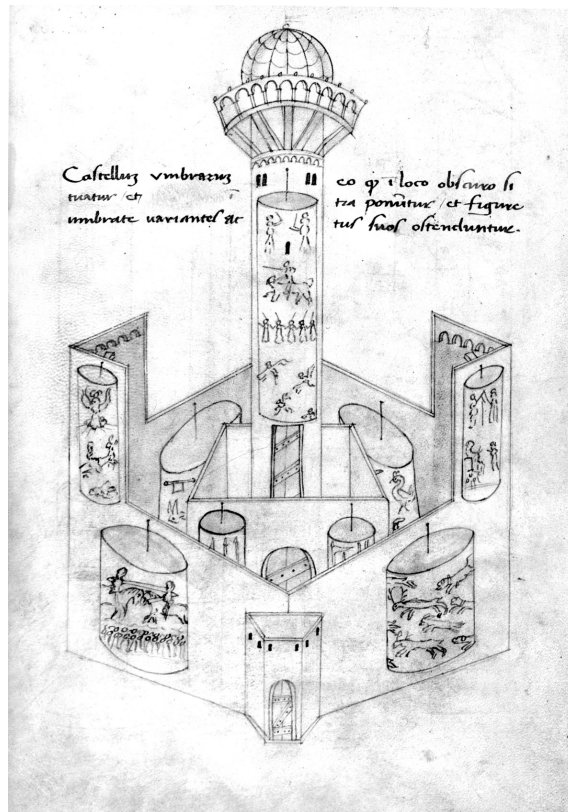


Abb. 9: Schattenburg. Beischrift: castellum umbrarum. Quelle: München, BSB, cod. icon. 242, 67v.

Erläuterung: *Triples modus ostenditur revolutionum, sicut hic figuratur; lacticum, medium et subtile, quod quexivisti ad tuum propositum.* „Es zeigt sich eine dreifache Art der Umfassung, wie hier dargestellt: breit, mittel und schmal, was Du für Dein Vorhaben erbeten hast.“⁴⁰

Bei dem zunächst erwähnten Rad mit Heißluftantrieb fehlt die Zweckbestimmung. Dieses Mal ist die Zweckbestimmung des Apparats zwar angedeutet, aber es fehlt die Art des Antriebs. Indessen lesen wir im letzten Kapitel des Wiener Codex, wie ein solches Gerät funktionieren soll. Der Zweck besteht darin, bewegliche Schatten von kleinen Figuren zu erzeugen, die sich auf einem rotierenden, leichten Rädchen mit vertikaler Achse befinden. Die Enden der Achse stecken in einem Deckel und einem Boden. Dicht abgeschlossen wird das Gerät rundum mit einer dünnen Hülle, auf der die Schatten erscheinen sollen. In der Bodenplatte ausgespart ist ein Loch, durch das sich eine brennende Kerze unter dem Rädchen platzieren lässt. Für den An-

40 Ebd., S. 99, Kommentar zu f. 67v-68r.

trieb soll die heiße Luft (*fumus*) sorgen, die sich mangels Austrittsöffnung im Kreis bewegen und das Rädchen drehen würde, wie Fontana unter Berufung auf den Philosophen ohne genauere Stellenangabe behauptet. Wirklich ist für Aristoteles Rauch gleich Wind. Fange sich Wind beispielsweise in einer Enge, werde die strömende Masse zur Seite gedrängt und beginne zu kreisen und zu wirbeln.⁴¹

Leider führt Fontana die Funktionsweise seiner Apparatur auch hier nicht im Detail aus. Unter *fumus* dürfte vor allem die von der Kerze erwärmte, aufsteigende Luft zu verstehen sein. Schon der kleinste Hauch, ein *ventus minimus* (W 10r), soll das Rädchen in Bewegung versetzen. Als *fumus ignis* bezeichnet Fontana an anderer Stelle auch den Wasserdampf (W 9v), der hier den *ventus naturalis* ergänzt. So ähnlich wie bei der Schattenburg muss man sich wohl auch den Antrieb des zuerst beschriebenen Rads (*volubilis rota*) vorstellen. Das Funktionsprinzip ähnelt in gewisser Weise dem einer Weihnachtspyramide.

Je nach Gestalt der Hülle, so fährt Fontana im Wiener Traktat fort, würden die mit dem Rädchen kreisenden Figuren stets gleiche oder sich verändernde Schatten werfen. Die Wiener Abbildung zeigt die Lampe mit einer

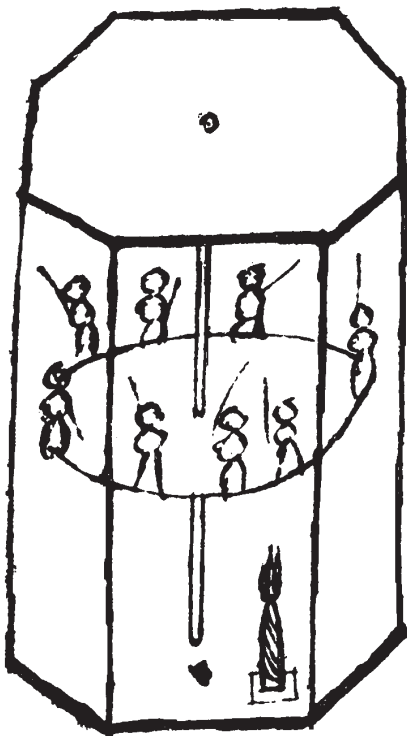


Abb. 10: Heißluftgetriebener Schattenwerfer mit drehbarem Rädchen über einer Kerze in achteckiger Hülle. Quelle: Wien, ÖNB cod. 5153*, 10r.

41 Aristoteles, *Meteorologica* III,1 (370 b 17ff; 371 b 1ff).

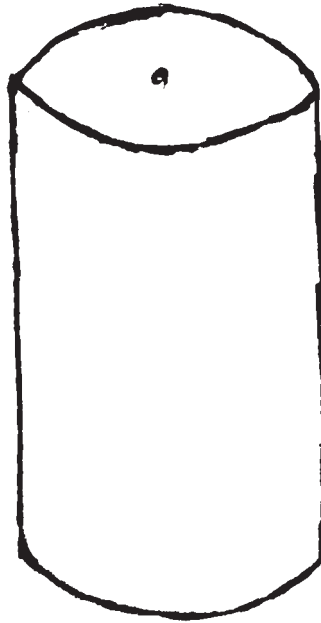


Abb. 11: Runde Hülle für heißluftgetriebenen Schattenwerfer. Quelle: Wien, ÖNB cod. 5153*, 10r.

achteckigen Außenhaut für wechselnde, alternativ eine runde Hülle für gleichbleibende Schatten. Im Inneren erkennbar sind neben der Öffnung im Boden die Kerze (unten) und das Rädchen (Mitte) mit einem *polifluus intrisecus* und den Figuren darauf (Abb. 10 u. 11).

Die jüngere Münchener Version (Abb. 9) gibt sich reicher. Sie bringt neun Geräte, strenggenommen nur die Hüllen mit unterschiedlichen Motiven. Darunter befinden sich auch Reiter (unten links, oben Mitte) und Jagdszenen (unten rechts), wie in der Wiener Handschrift erwähnt. Wie es scheint, hat der Zeichner dieser Kopie das Prinzip nicht genau verstanden. Denn die Figuren dürften nur auf dem oberen Teil der Hüllen zu sehen sein, nicht unten, wo die Kerze zu stehen kam. Als sicher voraussetzen kann man wieder, dass der Empfänger der Münchener Handschrift die Methode schon kannte. Für Uneingeweihte ist die Funktionsweise nicht ohne weiteres einsichtig, doch schreibt Fontana hier auch nicht für ein großes Publikum. Heute freilich erreicht seine Abbildung sogar Vertreter ganz moderner Disziplinen. So bezieht sich der Computerwissenschaftler Philippe Codognot u.a. auf das *castellum umbrarum*, wenn er Zeugnisse für die Vorgeschichte der virtuellen Realität anführt.⁴²

Der Wiener Text sei hier im Wortlaut zur Diskussion gestellt (W 10r):

42 Philippe Codognot, *Nature artificielle et artifice naturel*, in: Christine Buci-Glucksmann (Hg.), *L'art à l'époque du virtuel*, Paris 2004.

Quarto modo volvitur rotta per fumum non habentem exitum, exempli gratia, ut si fiat rotta levis in politenacula, e ponatur in loco clauso, ubi sit multitudo ignis et fumus habundet. Fumus enim secundum Phylosophum non habens exitum circulariter movetur. E dum moventur levia, rotta movetur, ut patet. Pono tibi brevisime ingenium in hac experientia, ut fiant duo corpora equalia sive circularia sive angularia distantia per spatium aliquantum taliter, quod unum stet super altero. Et accipiatur rota cum polifluo intrinseco ita, quod polus unus sit in centro ilius corporis et alter polus in centro alterius. Dicentur corpora talia politenentes. Ponantur levisima corpora hominum equitantium cum lanceis, seu venationes rusticorum et animalium inrationabilium vel alia tibi placencia composita de cedula sive de ligno subtilissima artificiatia. Oportet enim quod rota sit ita levis quod minimus ventus volvat eam. Quo facto claudetur circum circa illa duo corpora de sutili cornu sive cedula taliter, quod fumus exire non possit. Et in corpore infimo fiat foramen, per quod ponatur candela acensa, et claudetur. Dum igitur candela comburitur, fumus habundat. Non habens exitum circulariter movetur, e movebitur rota cum figuris e statuis, ita quod homines respicientes umbras statuarum mirrabuntur nescientes causam esse. Si corpora extrema sunt circularia, statue videbuntur semper eiusdem formeque figure; si sunt angularia, videbuntur statue in variis formis.

Viertens dreht sich ein Rad durch Heißluft, die keinen Ausgang hat, zum Beispiel, wenn man ein leichtes Rad in einem Gehäuse baut und in abgeschlossener Umgebung aufstellt, wo es viel Feuer gibt und heiße Luft. Denn Heißluft, die keinen Ausgang hat, so der Philosoph, bewegt sich im Kreis. Und solange sich Leichtes bewegt, bewegt sich ein Rad, wie offenkundig ist. Ich bringe Dir ganz knapp ein Gerät in diesem Versuch: Man stelle zum Beispiel zwei gleiche Körper, ob rund oder eckig, in geringem Abstand voneinander so auf, dass der eine über dem anderen steht, und installiere ein Rad mit innerer Achse so, dass der eine Pol im Zentrum des einen Körpers, der zweite im Zentrum des anderen sitzt. Solche Körper sollte man als Polhalter bezeichnen. Dann stelle man ganz leichte, sehr fein gearbeitete Figuren von Reitern mit Lanzen oder von bäuerlichen Jagden und Tieren oder was sonst Dir gefällt aus Papier oder Holz darauf. Das Rad muss jedenfalls derart leicht sein, dass der geringste Hauch es dreht. Danach schließe man die beiden Körper rundum mit feinem Horn oder Papier so ab, dass die heiße Luft nicht entweichen kann, und schaffe in dem unteren Körper eine Öffnung, durch die man eine brennende Kerze einsetzt, und schließe es dann. Solange die Kerze brennt, entsteht reichlich heiße Luft. Da sie keinen Ausgang hat, bewegt sie sich im Kreis, und das Rad mit den Gestalten und Figuren wird sich bewegen, so dass Leute, die die Schatten der Figuren sehen, staunen werden, ohne die Ursache zu kennen. Wenn die Körper außen rund sind, werden die Figuren immer gleich aussehen, sind sie eckig, erscheinen die Figuren in verschiedenen Formen.

7. Titel des Wiener Traktats: *De rotalegis*?

Die sieben Abschnitte ergeben zusammen ein organisches Ganzes. Die Praefatio grenzt das Thema ab, Kapitel 1 bis 6 beschreiben und benennen in folgerichtiger Disposition die Technik, Kapitel 7 zählt die Ursachen der Drehbewegung auf. Da die Praefatio von einem *primus liber* spricht, besteht Grund zu der Annahme, dass wir das erste Buch eines umfangreicheren Werkes vor uns haben, zumindest Teile davon. Ob es sich um eine Endredaktion handelt oder um Entwürfe, muss im Moment unentschieden bleiben. Auch ist noch genauer zu untersuchen, ob der Wiener Codex ein Heft Johannes Fontanas mit persönlichen Aufzeichnungen sein kann. Im autographen *Tractatus de trigono balistario* von 1440 (Oxford, Bodl. Libr. Canon. Misc. 47), aus dem Clagett Kapitel 24 von Buch 2 edierte, und einer Notiz in einem Buch aus dem Besitz Johannes Fontanas (Paris, BN, lat. 9335) liegt Vergleichsmaterial vor.⁴³

Was man in der Abhandlung über das Zusammenspiel von Rädern vermisst, ist das eine oder andere Beispiel für eine Über- oder Untersetzung von Drehbewegungen durch ein Getriebe. Womöglich kommt das Thema in einem der nicht erhaltenen Teile vor. In den jüngeren Traktaten jedenfalls befasst sich Fontana damit, so etwa im Bologneser Metrolog bei der Beschreibung eines Getriebes für eine Räderuhr (B 86v-87r, Kap. 2) und eines Wegemessers (*mensuratorium viatorium*, B 103r, Kap. 11), der aus einer Hintereinanderschaltung von Zahnrädern besteht.

Verfasst hat Fontana die Wiener Schrift während seines Studiums in Padua, noch vor dem hier angekündigten Wasseruhrentraktat, der 1418 oder etwas früher entstand. Da er eine Typologie entwirft und fachsprachliche Grundlagen schafft, dürfte es sich um einen ganz frühen, wenn nicht gar ersten Versuch auf technischem Gebiet handeln. Dafür spricht auch, dass Fontana seine Leser in späteren Werken ohne falsche Bescheidenheit immer wieder auf bereits existierende und geplante Traktate verweist. In der Wiener Handschrift kommen keine Rückverweise vor. Dagegen bezieht er sich in den Abhandlungen über die Wasser- und Sanduhren in sechs Kapiteln auf das Werk *De rotalegis* bzw. *De cohordinationibus rotarum*. Doch geschieht das jeweils in sachlichen Zusammenhängen, die sich in dem Wiener Codex nicht finden.

So wie sie vorliegt, kann man in der Wiener Handschrift nicht die oft genannte gesamte Abhandlung *De rotalegis* sehen. Wohl aber könnte sie ein Teil davon sein, nämlich das erste Buch zu Theorie und Terminologie des Räderwerks. Wenn es so ist, dann hat Fontanas Freund Ludwig aus Venedig eine Fassung erhalten. Diesen erinnert der Autor später im Bologneser Sanduhrentraktat, wie folgt: *Simili eciam ordine alie rote cum polifluis precedentium copulate ea parte in politencula moveri possint, qualiter in*

43 Clagett (wie Anm. 23), S. 250 u. 270-288.

tractatu meo rotalegorum diffuse te docui (B 20r; Teil I, Kap. 11). ‚In ähnlicher Anordnung ließen sich noch weitere Räder, die mit den Achsen der vorigen verbunden sind, auf dieser Seite in dem Gehäuse bewegen, wie ich Dich in meinem Traktat über die Räderwerke ausführlich gelehrt habe.‘ Unbestreitbar ist die Kenntnis des Wiener Codex für das Verständnis solcher und anderer Passagen in den Bologneser Schriften überaus nützlich.

Freilich sollte man derzeit auch noch nicht ganz ausschließen, dass mit dem Wiener Codex ein Auszug aus einem anderen Uhrentraktat aufgetaucht ist, denn Fontana hat neben den beiden erhaltenen noch weitere verfasst: *ut in tractatibus de horalegis meis [...] conscripsi* (B 63r), ‚wie ich in meinen Abhandlungen über die Uhren ... beschrieben habe‘, sagt er beispielsweise in Kapitel 10 des Bologneser *Horalogium aqueum*. In Kapitel 8 beruft er sich auf ein Büchlein mit der Beschreibung einer Metalluhr ohne Gewichte auf einem drehbaren Pfeiler: *quam proprie in quodam libello de compositione horalegi metalici in pila volubili constructi sine pondere declaravi* (B 59v).

8. Schluss

Die Wiener Schrift des Artes- und Medizinstudenten Johannes Fontana rückt das akademische Interesse an Technik im zweiten Jahrzehnt des 15. Jahrhunderts in helles Licht. Technische Themen mögen damals nicht auf universitären Lehrplänen gestanden haben. Doch waren gebildete Kreise innerhalb und außerhalb von Universitäten dafür empfänglich, insbesondere an Fontanas Studienort Padua. Dort ist für 1401 ein *Liber mechanicorum* belegt.⁴⁴ Ganz und gar anwendungsbezogen war zeitgleich das technische Interesse des Herrn von Padua. 1403 lud Francesco Novello da Carrara den mehrfach erwähnten Experimentator Konrad Gruter ein, der gerade für Francescos Schwiegervater in Ferrara tätig war. Angesichts des sich zuspitzenden Konflikts mit Venedig sollte Gruter das Paduaner Kriegsgerät inspizieren.⁴⁵

Mehr als einmal betont Fontana, dass er mit seinen illustrierten Abhandlungen den Wunsch von Freunden erfülle. Für den ohnehin ehrgeizigen und schreibfreudigen jungen Mann dürfte das nur ein zusätzlicher Ansporn gewesen sein. Typisch für die gelehrte Betrachtung ist die Systematik, mit der der recht unbefangene Student seit etwa 1417 gewissermaßen Zahn um Zahn an die Beschreibung von Rädern und Uhren herangeht. Er bereichert die lateinische Sprache um eine beachtliche Anzahl technischer Fachausdrücke. Giovanni Dondi hatte ein halbes Jahrhundert vorher als voll ausgebildeter, gestandener Gelehrter und Lehrer geschrieben.

Zudem kann man von einer fortschreitenden Verwissenschaftlichung und Mathematisierung von Technik sprechen, erkennbar an den naturphilosophischen Begründungen und der Einbeziehung von Schriften wie Euklids Ele-

44 Dazu und zu den Maschinenbüchern vor 1450 die Einleitung zu Konrad Gruter von Werden, Bd. 1 (wie Anm. 17), S. 43-57, bes. 54.

45 Ebd., S. 83-88.

menten und einer Abhandlung über die Proportionen in die Beschreibung und Differenzierung von Maschinenteilen. Hier treffen sich Wissenschaft und Technik.

Der direkte Bezug zur Wirklichkeit ergibt sich unter anderem aus dem letzten Kapitel des Wiener Codex über die Anwendungen der Räder. Selbst experimentiert hat Fontana offenbar auch damals schon, z.B. mit dem Lauf-rad des Eichhörnchens: *E propter eius mobilitatem nimiam semper volvet rottam dum vivet, que multotiens probavi* (W 9v). „Und aufgrund seiner großen Beweglichkeit wird es, solange es lebt, das Rad beständig drehen, was ich häufig ausprobiert habe.“

Die Einordnung der Schrift en détail in die wissenschaftlich-technische Überlieferung der frühen Renaissance ist im Zuge einer Edition und Kommentierung noch vorzunehmen. Schon jetzt aber tritt deutlich hervor, dass man in gelehrter Umgebung drei Generationen bevor Leonardo praktische Studien auf dem Gebiet der Mechanik betreiben und im Codex Madrid in Wort und Bild darstellen sollte, über die Gestalt und Typologisierung von Zahnrädern nachgedacht hat. Als Träger und Vermittler von technischem Wissen in akademischen Kreisen treten die Naturphilosophen und Ärzte hervor, Fontana auch als Ideengeber und Anreger.

Anschrift des Verfassers: PD Dr. Horst Kranz, Historisches Institut der RWTH Aachen, Verfügungszentrum, Bauteil Ost, Kopernikusstr. 16, 52056 Aachen, E-Mail: Horst.Kranz@post.rwth-aachen.de

