

SCHRIFTENREIHE DER FRONTINUS-GESELLSCHAFT

Heft 28

FRONTINUS-TAGUNGEN VON 2008–2010 UND WEITERE BEITRÄGE



**SCHRIFTENREIHE
DER
FRONTINUS-GESELLSCHAFT**

Heft 28

**FRONTINUS-TAGUNGEN VON 2008–2010
UND WEITERE BEITRÄGE**

Titelseite: Gradierwerksanlage in Bad Kösen, die am 28.6.2008 im Rahmen der technisch-historischen Exkursion der Frontinus-Gesellschaft besichtigt wurde.
Diese Soleförderungsanlage ist ein bedeutendes technisches Denkmal des 18. Jahrhunderts. Ein riesiges Wasserrad an der Saale setzt ein Kunstgestänge in Bewegung, das zum Bohrlochschacht führt. Von diesem wird die Sole zum 320 m langen Gradierwerk gepumpt, wo sie über die Schwarzdornwände hinunterrieselt.
(Foto: Gilbert Wiplinger)

Redaktion: Prof. Dr.-Ing. habil. Harald Roscher
Dipl.-Ing. Gilbert Wiplinger

Alle Rechte vorbehalten

© Frontinus-Gesellschaft e. V., c/o DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V., Josef-Wirmer-Straße 1–3, 53123 Bonn, www.frontinus.de; info@frontinus.de

Diese Publikation kann bei der Frontinus-Gesellschaft e. V. zum Preis von 14,00 € zuzüglich Porto bestellt werden.

Satz und Layout: Maria Scherrer, Wien

Druck: Prime Rate kft., Budapest

ISBN-Nr.: 3-9806091-4-6

Inhaltsverzeichnis

Einführung	5
Wasserversorgung auf dem Burgberg von Merseburg <i>Prof. Dr.-Ing. Horst Wingrich, Bad Lauchstädt</i>	9
Die Tiefbrunnen im Burgstädtchen Regensberg/Zürich und auf dem Stammsitz der Habsburger im Aargau <i>Raeto M. Conrad, Regensberg, Schweiz</i>	27
Der tiefe Burgbrunnen auf der Burgruine Hohenburg in Homberg (Efze) <i>Heinz Hause, Homberg</i>	43
Hydraulische Betrachtungen zur karolingischen Wasserleitung Ingelheim <i>Dipl.-Ing. Bodo Lamberth, Ludwigshöhe</i> <i>Dipl.-Ing. Werner Lamberth, Ludwigshöhe</i>	49
Die Wasserversorgung der Madenburg <i>Dipl.-Ing. Bodo Lamberth, Ludwigshöhe</i> <i>Dipl.-Ing. Werner Lamberth, Ludwigshöhe</i>	59
Laudatio zur Verleihung der Frontinus-Medaille 2008 an Prof. Dietrich Lohrmann <i>Prof. Dr.-Ing. Hans Mehlhorn, Stuttgart</i>	71
Wassertechnik bei Konrad Gruter von Werden (1424) <i>Prof. Dr. Dietrich Lohrmann, Aachen</i>	73
The aqueducts of Potaiassa <i>Florin Fodorean, Cluj-Napoca, Rumänien</i>	95
Laudatio zur Verleihung der Frontinus-Medaille 2010 an Prof. Dr.-Ing. habil. Harald Roscher <i>Prof. Dr.-Ing. Mehlhorn, Stuttgart</i>	109

Ansprache anlässlich der Verleihung der Frontinus-Medaille 2010 <i>Prof. Dr.-Ing. habil. Harald Roscher, Weimar</i>	111
Talsperren und Fernwasserversorgungen in Thüringen Technische Denkmale und neuzeitliche Versorgungssysteme <i>Prof. Dr.-Ing. habil. Harald Roscher</i>	113
Die Mühlen des Değirmendere Aquäduktes von Ephesos und des Aquäduktes von Anaia/Kadikalesi (Türkei) <i>Dr. Ralf Kreiner, Weimar</i>	141
Anschriften der Autoren	147

Wassertechnik bei Konrad Gruter von Werden (1424)*

PROF. DR. DIETRICH LOHRMANN, AACHEN

1. Der Traktat des Konrad Gruter
2. Pneumatische bzw. „natürliche“ Wasserhebung
3. Wasserhebung mittels Krafteinsatz (*motus violentus*)
4. Brunnenbau
5. Gruters Wassermühlen
6. Kurzer Vergleich mit Johannes Fontana

Der technische Traktat, dessen wassertechnische Inhalte ich hier vorstellen möchte, stammt aus einer der frühesten, ausschließlich technischen Handschriften, die wir aus europäischen Bibliotheken überliefert haben. Entsprechend wertvoll sind die Belege, die der Traktat für eine ganze Reihe von wassertechnischen Maschinen liefert. Besonders wichtig erscheinen seine Beiträge zur Frühgeschichte der Pumpen. Aber auch seine Darstellungen und Kommentare zur pneumatischen Wasserhebung, zum Brunnenbau sowie zu speziellen Typen von Wasserrädern und Wassermühlen gehen den bisher bekannten Überlieferungen in vieler Hinsicht voraus. Wir kannten manche dieser frühen Belege bisher nur aus viel späteren Sammlungen, in Einzelfällen auch aus weniger guten Darstellungen im so genannten Bellifortis des Eichstätter Arztes Konrad Kyeser (1405). Am wichtigsten ist wohl, dass Gruter auch einige sonst seltene Nachrichten zum ost- westlichen Techniktransfer liefert.

1. Der Traktat des Konrad Gruter (1424)

Die aufwändig illustrierte Handschrift befindet sich seit dem Jahre 1623 in der Vatikanischen Bibliothek und ist 2006 erstmals publiziert worden¹. Diese Handschrift war zwar angezeigt in einem massiven vierbändigen Katalog der Mitte des 17. Jahrhunderts, fand aber als vermeintlich anonymes Werk mit technischem Inhalt keine Interessenten. Tatsächlich blieb die weitaus überwiegende Mehrheit der technischen Handschriften des späteren Mittelalters sehr lange wenig beachtet.

Text und Bild haben in diesem Werk gleichrangige Bedeutung. Trotzdem beeindruckt die durchgehende Illustration durch 72 meist ganzseitige Maschinenbilder, die sämtlich in einem vergoldeten Rahmen stehen. Da diese Bilder so in keiner anderen spätmittelalterlichen Handschrift zu finden sind, stellen sie der Forschung bezüglich Herkunft und Ausbildung des Illustrators noch erhebliche Rätsel. Sicher ist jedoch, dass sie im Entwurf auf Skizzen des Autors zurückgehen, die dieser im Verlauf

eines über 30 jährigen Aufenthaltes in Italien gesammelt hat. Seine Aufzeichnungen, vermutlich mehrere Skizzenbücher, sind verloren. Wir haben nur das dekorative Endprodukt in einem einzigen Exemplar.

Einleitend zu seinen Beschreibungen der einzelnen Maschinen liefert der Autor Angaben über seine eigene Karriere und die Umstände seiner Beobachtungen. Er kam im Herbst 1393 an den Hof Papst Bonifaz' IX. nach Rom. Der Papst betraute ihn sieben Jahre lang mit technischen Aufgaben. Der deutsche Techniker muss über eine Art Versuchslabor verfügt haben, wahrscheinlich auch über handwerklich geschulte Helfer, denn er berichtet über vielfältige Versuche im Bereich der Hydrotechnik, eines kontinuierlich ansteigenden Wasserflusses und des damals noch als realistisch eingeschätzten Bemühens um Konstruktion eines Ewigen Rades (*rota continui motus*, modern: Perpetuum mobile). Als diese Versuche nach jahrelangen Bemühungen scheiterten, was der Autor nicht verschweigt, wandte er sich im Jahre 1400 nach Norditalien und fand Beschäftigung an verschiedenen Höfen, so insbesondere in Modena, Ferrara, Padua, Camerino, Lucca. Auch Beobachtungen von Besuchen in Florenz, Ravenna und Venedig sind mitgeteilt. An diesen Orten wandte Gruter sich von den spekulativen Bemühungen um eine Lösung des Energieproblems in Form von kontinuierlicher Rotation bzw. kontinuierlichem Fluss ohne Antrieb ganz ab. Er habe sich entschlossen, heißt es in Kapitel 28, künftig nur noch über wirklich funktionierende Apparaturen zu berichten.

Erst ganz am Ende der in Aachen besorgten Editionsarbeit gelang 2005 die Entdeckung einer eigentümlich verborgenen Mitteilung zum Namen des Autors, zum Zeitpunkt der Entstehung der Handschrift und zur Person des vornehmen Empfängers, dem die reich dekorierte Handschrift in Form einer verborgenen Widmung zugeordnet war. Für die näheren Angaben zur Form dieser Verschlüsselung, eines Akrostichons, sei auf den Einleitungsband der Edition verwiesen.

Als Autor des Traktats tritt nach dieser verborgenen Angabe hervor der Sohn einer angesehenen Brauerfamilie aus Werden an der Ruhr mit Namen Konrad Gruter. Die Angaben gehen noch weiter: 1424 widmete er in Venedig sein Werk dem damaligen König von Dänemark, Norwegen und Schweden, Erich VII. Da dieser zuvor schon Herzog von Pommern war, ist er auch als Erich von Pommern bekannt. Diesem großen nordeuropäischen Herrscher, der in Venedig auf die Bereitstellung eines Schiffes zur Reise ins Heilige Land wartete, dürfte Gruter seine Skizzen zunächst gezeigt und erläutert haben. Der König bestellte ein reich dekoriertes Widmungsexemplar, hat dieses aber nie in Empfang genommen, da er seine Rückreise – nach Gefangennahme und Lösegeldforderung in Palästina – über Ragusa, Ungarn und Preußen stark verkürzen musste, er also nicht nach Venedig zurückkam und offenbar auch nicht mehr das Geld hatte, um seine Bestellung zu bezahlen. Die reich dekorierte Handschrift, so halten wir fest, entstand nach diesen Enthüllungen, die sich nach Entdeckung des Akrostichons aus venezianischen Quellen ergaben, 1424 in Venedig und fasste Gruters Erfahrungen aus einem über dreißigjährigen Aufenthalt in Italien zusammen.

Inhaltlich präsentiert sich der Traktat streng gegliedert in drei Teilen. Den ersten mit 23 Kapiteln nennt Gruter *De aquaeductibus*. Er meint damit keineswegs große Trinkwasserleitungen im Sinne der antiken Aquädukte, sondern die Führung des Wasserflusses in Steigleitungen großer wie kleiner Dimension. Wie in der zeitgenössischen, noch stark von Aristoteles geprägten Physik, die er wohl schon als Student an der Kölner Universität kennen gelernt hatte, unterscheidet er Wasserhebung *secundum naturam* und solche *contra naturam*, natürliche und, wie man etwas widerstrebend übersetzt, „widernatürliche“ Hebung. Zum Abschluss folgen drei Kapitel über Brunnenbau und im zweiten Teil Angaben über Wassermühlen. In dieser Abfolge wollen wir seine Beobachtungen näher verfolgen.

2. Pneumatische bzw. „natürliche“ Wasserhebung

Bereits die Antike kannte diese Möglichkeit der Wasserhebung, sie ist in den Schriften des Philon von Byzanz, eines Zeitgenossen des Archimedes (ca. 287–212 v.u.Z.) sowie in einem der Hauptwerke des Heron von Alexandrien (+ 1. Jh.) näher vorgestellt. Gruters Ausführungen in den ersten Kapiteln seines Traktats gehören zu den ausführlichsten Zeugnissen für die Bekanntheit bzw. Wirksamkeit dieser Schriften im Mittelalter².

Die Wirkung des lateinischen Philon, einer Kurzfassung von dessen griechischer Pneumatik in 15 Abschnitten, schlägt sich schon in Gruters Einleitung nieder, danach vor allem in den Kapiteln 1–3, 5–7 und 19. Es geht im Wesentlichen um die technische Nutzung des „Widerstandes der Natur“ gegen die Bildung eines Vakuums zum Zweck der Wasserhebung. Alles vollzieht sich selbstverständlich in der Terminologie der vor-galileischen Naturphilosophie. Das philonische Material (Kapitel 8–11 seiner Pneumatik) war seit dem 12.–13. Jahrhundert in Westeuropa bekannt. Es fand sich in einem verlorenen Traktat über das Nichts und das Vakuum (*De inani et vacuo*), wurde aber auch in zahlreichen Kommentaren zur Physik des Aristoteles besprochen. Es ging dabei zunächst um die philonische Saugkerze, um den gebogenen Saugheber bzw. Siphon und um den Stechheber, den man Klepsydra (Wasserdiebin) nannte.

Mit der Saugkerze beschäftigt sich Gruter nur beiläufig und erst im Kapitel 19. Er nennt sie, um dem Vorwurf zu entgegnen, er kenne sie nicht. Anders steht es beim Prinzip des Stechhebers und des Siphons. Hier sucht Gruter nach praktischen Erfolgen mit größerer Effizienz. Zunächst präsentiert er den pneumatischen Heber (Kap. 1) und beruft sich gleich auf das Prinzip des Vakuums (*ratione itaque vacui*). Etwas später bezeichnet er es genauer als Prinzip der Vermeidung des Vakuums (*evitatio vacui*). Er schreibt: „Wegen des Vakuums geschieht es, dass ein Gefäß, wenn es mit einem Körper gefüllt ist, auf keine Weise geleert werden kann, wenn nicht ein ähnlicher oder anderer Stoff an seine Stelle tritt. Wie nämlich Wasser, das sich in einer festen Rohrleitung befindet, nirgendwo entweichen kann, es sei denn, Wasser oder Luft oder ein anderer Körper träte an seine Stelle, so muss man das auch für

jeden anderen Stoff auffassen“. Mit Rohrleitungen hatte die Zeit offensichtlich schon Erfahrung.

Anschließend betont er die Notwendigkeit guter Abdichtung und berichtet, was man heute aus der arabischen Fachliteratur ab dem 9. Jahrhundert noch genauer kennt³: „Gefäße dieser Art sah ich auch mit doppelten oder dreifachen Unterteilungen, denn zur höfischen Unterhaltung oder Spielerei füllte man in eine dieser Gefäßkammern reines klares Wasser, in die andere aber künstlich vermisches, zwar klar, aber schwärzend“. An den mittelalterlichen Höfen des Westens dienten solche Röhren und Gefäße gängig zu allerlei Scherzen, insbesondere auch durch schwärzende Silbernitrat-Lösungen, wie Gruter sie mit der Angabe *aqua clara, sed denigrans* andeutet. Die Kunsthistorikerin Hildegard Wiewelhove hat jüngst die Verbreitung solcher Tischbrunnen an den europäischen Höfen näher beschrieben⁴.

Kapitel 2 schildert anhand einer Abbildung, die bald darauf auch bei dem italienischen Ingenieur Mario Taccola und während der nachfolgenden Jahrhunderte immer wieder erscheint⁵, die kontinuierliche Wasserführung über einen erhöhten Ort. Bis ins 16. Jahrhundert hoffte man und stellte es auch so dar, dass mit solchen Leitungen Berge zu überwinden seien. Gruter beschränkt sich in Text und Bild zunächst auf eine Apparatur, bei der das nötige Ansaugen zur Initiation des kontinuierlichen Flusses noch mit dem Mund geschieht. Es geht also um kleine Anlagen. Wie viele spätere Autoren fährt er jedoch fort: „Ist aber die Leitung groß und die Wassermenge ebenfalls (...), wie wenn du Quellwasser von einer Bergseite auf die andere leiten willst, ohne den Berg zu untertunneln (*absque montis perforatione*), so benutze folgende Methode“. Nunmehr soll die gesamte Leitung zunächst gefüllt, dann dicht verschlossen werden. Bei Öffnung des unteren Ausflusses werde dann das Wasser des längeren Leitungsarmes das des kürzeren durch sein größeres Gewicht anziehen, die Vermeidung des Vakuums besorge das Weiterfließen. Auf die Wirkung des Luftdrucks und die Beschränkung auf eine Steighöhe von maximal 8 bis 10 Metern bei solchen Hebevorrichtungen verwiesen erst die Physiker des 17. Jahrhunderts⁶.

In Kapitel 3 betont Gruter nach den aristotelischen Prinzipien des Leeren und Vollen sowie nach der Lehre von der Nähe zum Erdzentrum, dass sich der Pegel gleich hoher Wasserbehälter (pneumatisch) nur angleichen lässt, nicht aber das Wasser eines der Behälter noch weiter ansteigen kann. Mit diesen Befunden wollte das energiehungrige Spätmittelalter sich nicht abfinden. In Kapitel 6 und 7 schildert Gruter, wie man versuchte, mittels derselben Prinzipien weiter zu kommen. Seine Fehlschläge und die anderer Experimentatoren sind insofern von Interesse, als sie eine weit verbreitete Versuchspraxis belegen, die auf der Grundlage der herrschenden Physik nicht zum Erfolg kommen konnte. Trotzdem unterminierte die gewonnene Erfahrung allmählich die Grundlagen der alten Physik, und darin liegt auch das besondere Interesse dieser Texte.

Gruter wünschte anfangs noch (Kap. 7), unbedingt ein Gerät zu finden, „mit dem ich stehendes oder ruhendes Wasser in ständige Bewegung und zum Aufsteigen hätte bringen können“. Er versuchte es (wohl noch in Rom) mit großen Spitzkegeln aus Glas. Deren Wasserdruck sollte im engen Steigrohr einen kontinuierlichen Fluss bewirken und später in größerer Dimension sogar Mühlen antreiben. Durch das Glas will er ein Aufsteigen und Absinken von Wasser beobachtet haben. Weiter kam er nicht. Sein Bild zeigt nur das erwünschte, aus heutiger Sicht natürlich illusorische Ziel, nämlich einen auf die Spitze gestellten Spitzkegel, dessen Wasserinhalt durch sein Gewicht im unten angeschlossenen, stark verengten Steigrohr höher aufsteigen und zurück in den Kegel fließen soll. Seinen Fehlschlag bei diesen Versuchen gibt Gruter offen zu (wie viele Fehlschläge in technischen



Abb. 1 Kap.4: Heronsbrunnen mit Bild der Temperantia

Versuchen hat es nicht zu allen Zeiten gegeben?). Er will damit seine Zeitgenossen von unnützen weiteren Mühen und Kosten abhalten, ähnlich wie er es später bei den Ewigen Rädern tut, die er in vier Varianten vorführt. Diese Versuche, sagt er schon in der Einleitung, bringen nur Geld- und Zeitverlust. Der Leser soll aber erfahren, wie weit er, Gruter, gekommen ist, vielleicht erweise der sich ja als klüger und erfolgreicher. Zum gleichen Zusammenhang gehört möglicherweise auch, dass die zeitgenössische Naturphilosophie sich intensiv mit der Frage des Unendlichen befasste und daher ein technischer Vorstoß in diesen Bereich nicht aussichtslos erscheinen mochte⁷.

Kapitel 4 bringt eine besonders schöne Darstellung des Prinzips des so genannten Heronsbrunnens. Heron von Alexandrien, nach dem diese Form der pneumatischen Wasserhebung benannt ist, wird zwar im Gegensatz zu dem schon behandelten Philon von Byzanz (Kap. 5 und 8) nicht namentlich genannt, aber neben der Darstellung des technischen Schemas steht die vollendete Ausführung in Form eines Tischbrunnens für die höfische Gesellschaft. Ein geflügelter Engel repräsentiert die Kardinaltugend der Temperantia. Sie war im Tugendkatalog des Mittelalters seit dem 12.–13. Jahrhundert zur höchsten Kardinaltugend aufgestiegen, ihre Attribute verwiesen teilweise auf die neuesten technischen Entwicklungen wie Brille, Turmwindmühle oder mechanische Uhr⁸. In Verbindung mit pneumatischer Regelungstechnik wie bei Gruter war Temperantia aber bisher nicht bekannt.

3. Wasserhebung mit Krafteinsatz

Gruter beginnt die Vorstellung dieser Maschinen mit Kapitel 8, der an sich schon in der Antike bekannten Kolbenpumpe. Von ihr hat er erfahren, dass sie zu seiner Zeit in Schiffen der Genuesen eingesetzt wurde. Seine nachfolgenden Pumpen arbeiten mit Blasebälgen, Behälterketten, Propfenkette im Rohr, Schöpfrad, Förderkanal mit Kette, (archimedischer) Wasserschraube, Wasserrad mit Gefäßen in doppelter Felge, breiten Trögen zwischen zwei Wasserrädern und schließlich einem komprimierbaren Sack bzw. Druckbehälter. Das ist systematisch gesehen ein schönes Durcheinander und entbehrt jeder logischen Abfolge. Auf die kommt es dem Autor in anderen Zusammenhängen durchaus an. Logische Ordnung war ein Anliegen seines ansonsten auf sinnvolle Abfolge bedachten Traktates. Das Thema Pumpen war aber offenbar zu neu, um bereits eine schlüssige Abfolge nahe zu legen.

Das westliche Mittelalter hatte, soweit wir das bisher erkennen können, die Wasserhebung mittels Energieeinsatz (Kraft oder Wärme) bis etwa zum 14. Jahrhundert nur in geringem Maße genutzt. Umso mehr bemühte sich diese Epoche, wie schon die Antike, um Perfektionierung von Gravitationsleitungen. Sie benutzte auch Druckleitungen, wie sich unter anderem aus Studien von Klaus Grewe und Clemens Beyer ergibt und noch weiter anhand von Beispielen aus Italien zu zeigen wäre⁹. Die Zeit vermied dagegen den Einsatz von Hebemaschinen, soweit nicht Wasserkraft zur Verfügung stand. Hebemaschinen mit Einsatz von Menschen- oder Tierkraft waren dagegen in der muslimischen Welt weit verbreitet (Shaduf, Saqiya) und dort vor allem aus klimatischen Gründen auch unverzichtbar¹⁰.

Das Wort Pumpen ist ein westliches Wort des 15. Jahrhunderts. Pumpen erscheinen nach den Forschungen Wolfgang von Stromers und Andreas Haasis-Berners im mitteleuropäischen Bergbau erst ab dem 14. Jahrhundert¹¹. Aber auch dann wählte man nach Möglichkeit das Prinzip „Wasser hebt Wasser“, setzte also wassergetriebene Heberäder ein und beschränkte so den Einsatz von Tiergöpeln. Den Pumpen gehörte jedoch die Zukunft. Gruters Maschinenbuch bietet allein schon durch sein frühes Datum (1424) ein wertvolles Zeugnis für das Einsetzen dieser Entwicklung¹².

a) **Schöpfräder.** Ein wassergetriebenes Schöpfrad ist bekanntlich schon bei Vitruv beschrieben (Archit. 10.5.1). Die Erfindung geht mit guter Wahrscheinlichkeit ins hellenistische 3. Jahrhundert vor unserer Zeit zurück¹³. Der ältere Typ des Kammerrades hieß *tympanon* (Trommel), der jüngere *polykadia*, hier waren die Kästen (*modioli quadrati*) am Außenrand des Rades befestigt, wo sie sich am oberen Wendepunkt entleerten und damit eine höhere Leistung erbrachten als die Zellkammern des Tympanons, die das Wasser nur bis zur halben Höhe des Rades hoben¹⁴.

Im Mittelalter befestigte man am Felgenrand die verschiedenartigsten Gefäße und sprach dementsprechend von Becher-, Kannen- oder Eimerkünsten; man benutzte aber auch Zellräder. Unser Autor ergänzt dieses Material. Er bespricht in Ka-

pitel 14 ein Rad mit doppelter Felge (*in circuitu dupla*). Dazwischen sind Kästen (*capse*) angebracht. Von ihnen heißt es: „Die Kästen wiederum sind an der Seite, wo das Rad aufsteigt, ein wenig geöffnet und so gestaltet, dass die leeren Kästen bzw. der leere Teil des Rades, wenn dieses vom Druck des Flusses oder Baches gedreht wird, in das Wasser eintauchen und die Kästen sich füllen“. Vom Rad gehoben, entleeren sie sich anschließend in die Gräben einer Stadt oder Burg, die an Wassermangel leidet. Regelmäßig teilt der Autor auch mit, wo er seine Apparaturen gesehen hat. Im Fall des Doppelfelgenrades ist es ein Ort namens San Martino de Venetiis im Bezirk Padua am Fluss Brenta, der in der Geschichte Venedigs eine große Rolle gespielt hat.

Kapitel 17 zeigt eine Weiterentwicklung. Die Maschine erhält zwei starke Wasserräder und, zwischen ihnen aufgehängt, etwa drei Meter lange Kupferwannen. Mit diesem leistungsstarken Hebewerk wollte der Autor im Sommer 1404 dem Herrn von Padua zu Hilfe kommen, dem die Venezianer von allen Seiten den Wasserzufluss abgesperrt hatten¹⁵. Ein Modell der Anlage war Gruter zufolge im

Frühjahr 1405 bereits ausgeführt und hatte die Billigung des Fürsten gefunden. Der Bau von Einzelteilen im Großmaßstab begann, da zwang der Fortgang des Krieges mit dem übermächtigen Venedig, das Unternehmen abzubrechen.

b) **Wasserschrauben.** Solche Schrauben, auch Wasserschnecken genannt (griech. *helix* oder *kochlia*, lat. *cochlea* oder *vis*) sind bekanntlich seit den Tagen eines Archimedes im Einsatz und bewähren sich heute noch, da sie auch stark verschmutztes Wasser bewältigen. Bei der Entwässerung der niederländischen Küstenlandschaft seit dem späten 16. Jahrhundert spielten sie eine bedeutende Rolle¹⁶. Ihr Vorkommen im Mittelalter ist wesentlich schlechter bekannt. Obwohl im Nildelta längst genutzt, erscheint die Wasserschraube in arabischen Texten aus Ägypten trotzdem nur selten bezeugt. Westeuropa konnte sie theoretisch seit der Karolingerzeit im zehnten



Abb. 2ab Kap.: 16 (Archimedische) Schraube und Schraubenkaskade

Buch des Vitruv kennenlernen, scheint dieses den Maschinen gewidmete Buch aber erst seit der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts näher studiert zu haben¹⁷. Insofern sind auch die Schraubendarstellungen in den Kyaserhandschriften ab 1405 von großem Interesse, doch besagen die dort beigegebenen Hexameter des Eichstätter Arztes in technischer Hinsicht wenig¹⁸.

Kapitel 16 des Traktates von 1424 bringt zur Wasserschraube eine sehr ausführliche Beschreibung und gleich zwei Abbildungen. Die erste zeigt das Innere der Schraube, angetrieben durch eine Kurbel, die zweite ein großes Wasserrad mit Über-einanderschaltung dreier Schrauben und ihrer Getriebe. Der Text geht noch darüber hinaus und hält den Antrieb weiterer übereinander montierter Schrauben für möglich. Solche Schraubenkaskaden sind tatsächlich verwirklicht worden. Girolamo Cardano beschreibt 1556 eine aufwendige Anlage, die er in Augsburg gesehen hat¹⁹. Die Verfasser der jüngeren, gedruckten Maschinentheater der Frühen Neuzeit tragen das Modell, zumeist dreistufig, weiter, bis 1724 der sächsische Hofmechaniker Jakob Leupold dringend von ihm abrät. Er will die Konstruktion der Schraubenkaskade nur noch den „Curiosis“ als Exempel darstellen²⁰.

Bemerkenswert in der ausführlichen Beschreibung der Wasserschraube durch Konrad Gruter ist zunächst ihr rein handwerklich-praktischer Aspekt. Weder nennt sie Archimedes als Erfinder, noch zitiert sie die ausführliche Darstellung des Vitruv (Archit. 10.6). Vitruv erstellte seine *coclea* auch auf ganz andere Weise und ließ sie ganz anders antreiben. Sie wurde getreten, nicht wie bei Konrad Gruter mit einer Kurbel gedreht und von einem Wasserrad angetrieben. Um die Walze sind Holzleisten gebogen, nicht Brettstücke in einer spiralförmig aufsteigenden Nut angenagelt. Vitruv nennt ferner geometrische Relationen, nämlich Teilung der Peripherie mit einem Zirkel durch „Tetranten“ und „Oktanten“ in jeweils vier oder acht Teile, während unser Autor nur allgemein von Rundung in einheitlicher Abmessung spricht (*unica mensura rotundate*). Er betont umso stärker – informiert offenbar von einem erfahrenen Praktiker – die Abdichtung der Brettfugen durch Schiffspech. Bei der Elevation der Schraube bezieht sich Vitruv auf das rechtwinklige Dreieck des Pythagoras; der mittelalterliche Autor bringt stattdessen konkrete Anwendungen; er hat zwei Anlagen selbst gesehen, die eine 1404 in Padua bei der Burg des Herrn von Carrara, die andere später im Arsenal von Venedig, wo er einen „Maschinenmeister der hohen Herrschaft der Venezianer“ getroffen hat, den Meister Petzinus von Bergamo²¹.

c) **Behälterketten.** Behälterketten sind aus der Antike wohl nur im Zusammenhang mit Treitmühlen, nicht mit Wasserrädern, bekannt (Vitruv Arch. 10.4.4)²². Im späteren Mittelalter und in der frühen Neuzeit befestigte man an Ketten, wie an den Heberädern, „Becher“, Kannen, Eimer, auch kleinere Lederbeutel (Bulgen), und sprach dann analog von Becher-, Kannen- oder Eimerkünsten, was die im einzelnen gewählte Transmissionstechnik freilich nicht erkennen lässt. Solche Maschinen sind im Prinzip effizienter als die Heberäder. Sie erlaubten bei Einsatz entsprechend starker Ketten

die Überwindung auch großer Höhenunterschiede und fanden deshalb Verwendung in Brunnen von Burgen, vor allem aber im Bergbau²³.

Unser Autor (Kap. 12) baute 1400 in Modena für den dortigen Bischof eine Behälterkette, die nach seinen Angaben eine Höhe von 25 Fuß (ca 7,5 m) überwand. Seine eindrucksvolle Darstellung zeigt ein Wasserrad in einem nahe vorbei fließenden Stadtkanal. Hinzu kommt eine waagerechte Antriebswelle, die bis zu einer benachbarten Quellfassung reichte und dort das Hebewerk antrieb. Deutlich zu erkennen sind 13 eiserne Behälter an der Kette. Das von ihnen gehobene Wasser sammelte sich oben in einem Speicher und verteilte sich von dort im Palast durch Bleirohre. Eine ähnliche Anlage mit Pferdeantrieb will der Autor acht Jahre später in Tolentino vorgefunden haben, als er sich dort im Dienst des Herrn von Camerino aufhielt.

Vergleichbare Hebewerke, so weiß er außerdem, dienten in Syrien zur Bewässerung der Gärten. Konrad Kyeser bringt 1405 in seinem *Bellifortis* ebenfalls eine Behälterkette²⁴.

In Kapitel 23 kommt der Autor erneut auf die Behälterketten zu sprechen. Er wehrt sich gegen den Vorwurf, seine Darstellung der Wasserheberäder sei unvollständig, und verweist u.a. auf seine eigene Kettenkonstruktion im Bischofspalast zu Modena (Kap. 12). Im Bild zeigt er eine Kette mit Eimern, die weiter auseinander hängen als die schweren eisernen Behälter in Modena. Ein Wasserrad treibt diese Kette an. Dasselbe Bild ergänzt links ein weiteres Wasserrad am gleichen Wasserlauf. Es nimmt Bezug auf das Zellrad an der Brenta (Kap. 14). Für moderne Betrachter entsteht der Eindruck, als fließe das Wasser der Behälterkette in das Zellrad. Das ist nicht gemeint. Das Bild vereint auf engem Raum zwei deutlich getrennte Maschinen.

d) **Förderkanal.** Diese Transportkette mit Rückhaltebrettern, die dicht an die Außenwände des allseitig geschlossenen Kanals anschließen, hat der Autor zwischen 1401 und 1405 in Ferrara gesehen (Kap. 15). Der führende Ingenieur des Hauses Este, der Magister Bertolinus von Novara, hatte dort versucht, mit einer solchen Anlage einen Stadtgraben zu entwässern. Das gelang nur unvollkommen, weshalb der Meister bald



Abb. 3 Kap. 12: Behälterkette von Gruter erbaut für den Bischof von Modena ca. 1400–1401



Abb. 4 Kap. 15: Förderkanal des Bartolino da Novara in Ferrara ca. 1402–03.

gezwungen war, erneut Handarbeiter mit Eimern einzusetzen. Die Maschine war offenbar nicht hinreichend erprobt. Tatsächlich ist sie aus früheren Zeugnissen weder in der Antike noch im westlichen Mittelalter bezeugt (Abb. 4).

Umso besser kennt man sie aus China, dort ist sie erstmals im +2. Jahrhundert zu finden. In der Tang-Zeit (6.–9. Jh.) war sie bereits weit verbreitet, in frühen Illustrationen erscheint sie 965 und 1313. Für Joseph Needham, den besten Kenner dieser Dinge, ist sie „the most characteristic of Chinese water-raising machines“. Ihr Weg nach Europa scheint bisher nicht näher erforscht. Als erste Erwähnung im Westen nennt Needham das Jahr 1597²⁵. Umso wichtiger ist es, dass wir den Förderkanal, gut dargestellt bei dem Autor aus Werden, nun schon am Anfang des 15. Jahrhunderts in Ferrara finden, fast 200 Jahre früher. Es ist die Zeit, in der tatarische Gefangene

bzw. von den Mongolen entführte chinesische oder persische Ingenieure bis weit in den Westen gelangt waren und Venezianer wie Genuesen manches von ihnen gelernt oder auch selbst auf Reisen beobachtet hatten²⁶. Am Beispiel einer östlichen Horizontalwindmühle vermerkt Gruter (Kap. 35) ausdrücklich, dass solche Mühlen von den Tataren im europäischen Sarmatien erbaut würden; er verdanke seine Zeichnung dem Bericht fähiger Werkleute (*ex relatione industrium virorum*). In diesen Personen kann man weit gereiste italienische Kaufleute oder Handwerker vermuten.

Der beschriebene Förderkanal besteht aus einem schräg gestellten langen Holzkasten. An der im Innern verlaufenden Kette sind Platten mit senkrecht nach unten weisenden rechteckigen Rückhaltebrettern befestigt. Diese schließen dicht an die Seiten des Kastens an und drücken das aufgenommene Wasser in die Höhe. Die Förderkette umläuft an beiden Seiten des Kastens eine starke siebeneckige Trommel, den Antrieb leistet (symbolisch) eine Kurbel. Nach dem Ausfluss des Wassers zieht sie die Kette oben in freier Luft zur unteren Trommel zurück. Ein Glied der Förderkette ist gesondert dargestellt. Der Text betont mit Nachdruck, es handele sich um eine *clausa cathena*, die „überall eins und fortlaufend war“²⁷.

e) **Pfropfenkette im Rohr.** Pumpen dieser Art heben Wasser in Holz- oder Metallrohren, indem sie durch das Rohr eine Endloskette mit eng am Rand des Rohres entlang gleitenden Bällen oder Scheiben in die Höhe ziehen. Die Kette führen sie oben und unten jeweils über eine starke Welle. Der Antrieb erfolgt durch Handkurbel, Tiergöpel oder Wasserkraft.

Wegen der Ähnlichkeit mit Gebetsketten sprach man im Fall dieser Technik auch von Paternosterketten bzw. Paternosterpumpen. Sie kommen aus der arabischen Welt. Im westlichen Spätmittelalter und 16. Jahrhundert waren sie weit verbreitet. Sie hießen im Deutschen auch Heinzenkunst oder Taschenwerk; eine moderne Bezeichnung ist Schöpfkolbenpumpe. Haasis-Berner beansprucht sie unter anderem für Buda 1416, für Reichenhall 1438–40, Goslar 1453–56 und Olkusz (Polen) 1471–87, während unser Autor sie mit wesentlich geringerer Hubhöhe bei einem Färber in Florenz beobachten konnte (Kap. 13). Taccola beschreibt die Technik der „Pilze“ an der Kette im Pumpenrohr als eine Übernahme von den Tataren (*secundum Tartaros*)²⁸. Die Hinweise Gruters und Taccolas auf Technologietransfer aus dem Orient ergänzen sich. Bekanntlich gibt es nicht viele Zeugnisse dieser Art.

f) **Druckbehälter (Blasebälge) mit Steigrohr.** Kapitel 18 des Traktats zeigt einen komprimierbaren Ledersack mit zwei Holzplatten oben und unten, an denen das Leder des Sackes angenagelt ist. Das Ganze, bis zu eineinhalb Meter hoch (5–6 Fuß), wird auf den Grund eines Brunnenschachtes abgesenkt und füllt sich dort durch ein Klappventil in der Bodenplatte mit Wasser. Leichte Gewichte drücken die Bodenplatte nach unten, wesentlich schwerere Gewichte komprimieren den Sack langsam von oben und drücken Wasser aus ihm in ein Steigrohr. Das Wasser steigt selbstverständlich nur so lange, wie dieser Kompressionsvorgang anhält.

Unser Autor nimmt die genannte Vorrichtung nicht ernst, weil betrügerische Manipulatoren, so will er erfahren haben, sich ihrer bedienen, um einfältigen Betrachtern einen kontinuierlich bzw. selbsttätig sprudelnden Brunnen vorzugaukeln. Die so genannte Sackpumpe gilt trotzdem als Vorstufe der im 15. Jahrhundert neu entwickelten Saughebepumpe.

Die Sackpumpe ist auch aus der arabischen Welt bekannt und war dem Erlanger Physiker Eilhard Wiedemann zufolge nach demselben Prinzip gebaut wie ein Blasebalg²⁹. Die arabische Handschrift in Oxford von etwa 1400 zeigt jedoch zusätzlich den Einsatz eines Pumpenschwengels, woraus sich hinreichend ergibt, dass von selbsttätiger Wasserhebung keine Rede sein kann.

Ein weiterer Druckbehälter wird in Kapitel 9 behandelt. Die Abbildung bringt einen Blasebalg mit unten anschließendem Wasserkasten, dazu Saug- und Steigrohr und die zugehörigen Klappventile. Diese Apparatur ruht auf dem Rand eines Wasserbeckens oder einer Quelfassung. Sie dient als Pumpe. Der Verfasser rät dazu, das Wasser im Kasten nicht bis zum Leder des Balgs steigen zu lassen, um Fäulnis zu vermeiden.

Solche Pumpen sind durchaus ernst zu nehmen. Man kennt sie wie angedeutet aus arabischen Handschriften. Der Sieneser Ingenieur Taccola lässt um 1430 zwei Bälge abwechselnd pumpen, um kontinuierlichen Fluss zu erzeugen. Sein Landsmann Francesco di Giorgio Martini schützt durch ein Dach ein schön gezeichnetes Modell mit Kurbel-Pleuel-Transmission und Antrieb durch ein Wasserrad³⁰. In Kapitel 11 kennt auch der Werdener Autor schon den Antrieb einer solchen Vorrichtung durch ein Wasserrad. Er baut diese Pumpe in Form eines Blasebalgs (*in follis forma*) jedoch ganz aus Eichenholz und bedient sich ihrer als Unterwasserpumpe.

Schwierig zu deuten ist in diesem Kapitel 11 die Kraftübertragung von der Welle des Wasserrades auf den Deckel des Gebläsekastens. Sie soll sowohl die Schließung wie die Öffnung bewirken. Die Zeichnung zeigt auf der Welle zwei sorgfältig gedrechselte Nocken in Gegenüberstellung von 180 Grad. Der rechte Nocken drückt auf den Außenrand des Kastendeckels, schließt diesen und presst damit das Wasser ins Steigrohr. Der andere Nocken stemmt das Ende der Stange, die mit dem Kastendeckel verbunden ist, nach oben, öffnet diesen also. Da aber Öffnen und Schließen in einer solchen Pumpe nicht gleichzeitig erfolgen können, es sei denn, man benutzte zwei Pumpenkästen, liegt die Annahme nahe, dass an der Welle nur ein Nocken angebracht ist, der abwechselnd öffnet und schließt. Die Zeichnung zeigt nach dieser Deutung zwei Nocken nur, um beide Arbeitsgänge zu verdeutlichen.

Der Autor ergänzt, dass Holzkästen von Pumpen dieser Art beim Schließen einen großen Teil des Wassers durch die Ritzen entweichen ließen. Lederdichtungen fehlen hier ganz. Das mag der Grund sein, warum spätere Balgpumpen in Schwaz (Tirol) 1536 und in Paderborn 1624 sich als Fehlschläge erwiesen haben³¹. Johann Beckmann betont andererseits 1786 die großen Vorteile des Holzkastens gegenüber dem Lederbalg. Ihm zufolge wäre der erste Erbauer einer Kastenspumpe dieser Art um 1550 Hans Lobsinger in Nürnberg gewesen³². Die Pumpe des Autors aus Werden liegt etwa 130 Jahre früher und war auch damals schon keine Neuheit mehr. Leider vermerkt der Autor keinen Ort, wo er sie gesehen hat.

g) Kolbenpumpen. Dieser heute bekannteste Pumpentyp führt uns zurück zu antiken Vorbildern, denn schon der alexandrinische Mechaniker Ktesibios soll eine Doppelkolbenpumpe konstruiert haben, die Vitruv unter Berufung auf ihn näher beschreibt und ausdrücklich als *Ktesibica machina* bezeichnet (Archit. 10.7.1–3). Man könnte in diesem Sinne an eine eher im östlichen Teil des römischen Reiches verbreitete Technik denken, doch sind es gerade die westlichen Provinzen, wo die Archäologie zahlreiche Exemplare solcher Kolbenpumpen, meist als Druckpumpen bezeichnet, hat nachweisen können³³.

Das mittelalterliche Westeuropa kennt die Kolbenpumpen lange Zeit nicht. Sie erscheinen stattdessen (mit horizontalem Doppelkolben) in einer arabischen Ingenieurhandschrift des frühen 13. Jahrhunderts und waren vom Prinzip der Anlage außerdem in byzantinischen Feuerspritzen ständig im Einsatz³⁴. Haasis-Berner nimmt

an, dass die Technik am Ende des 14. Jahrhunderts auch in Deutschland wieder bekannt war und unter anderem in Fritzlär (1393), Grünberg/Hessen (1419) und Augsburg (1412) Anwendung fand³⁵.

Der Autor aus Werden (Kapitel 8) zeigt eine einfache Kolbenpumpe mit einer vier-eckigen Rohrfassung, dazu den Handgriff an der Kolbenstange und eines der beiden Ventile in Einzeldarstellung. Bekanntschaft mit diesem Modell hatte er durch Vermittlung eines von ihm mehrfach genannten Militäringenieurs gemacht, den er 1404 in Padua kennenlernte, Dominicus von Florenz³⁶. Für unseren Autor war die an sich ur-alte Kolbenpumpe sichtlich etwas Neues. Er beschreibt sie in allen Einzelheiten und ergänzt: „Die Erfindung dieser Wasserkunst (*Huius artificii inventio*) sah man zuerst bei den Genuesen, denn sie zogen auf diese Weise das Wasser aus dem Bauch ihrer Schiffe“.

Mit den Genuesen als häufigen Schwarzmeerfahrern gewinnen wir für die Wieder-einführung der Kolbenpumpe in Westeuropa erneut einen Hinweis auf Kontakte mit dem Orient. In Frage kommt dort, wie wir sahen, die arabische wie die byzantinische Welt als Ideengeber, vielleicht auch – vermittelt wieder durch die Mongolen – die chi-nesische Zivilisation, denn auch in China sind Kolbenpumpen früh bezeugt³⁷.

Die antike Kolbenpumpe, für deren Wiedereinführung wir bei Konrad Gruter ei-nen der frühesten Belege erhalten, entwickelte sich nachfolgend in Westeuropa sehr schnell weiter. Schon Taccola um 1430–1432 zeigt doppelte Kolbenpumpen, ja sogar dreifache und dazu einen ganz neuen Typ von Saug-Hebepumpe (suction-lift pump)³⁸. Bei ihm ist das Ventil des Steigrohrs in den Kolben selbst verlegt. Dieses Ventil öff-nete sich beim Abwärtsgang und erleichterte diesen erheblich. Beim Hochziehen des Kolbens freilich war nun gleichzeitig das Wasser zu heben, das sich über dem Kol-ben gesammelt hatte, und neues Wasser durch das Bodenventil anzusaugen. Dieser Saugvorgang wurde modern gesprochen durch den Luftdruck unterstützt, der Abgang des Kolbens nach Hollister-Short zusätzlich noch durch das Gewicht des auf dem Kol-benrand lastenden Wassers erleichtert, d. h. durch die Schwerkraft³⁹. Dieses Detail müsste im Einzelnen noch überprüft werden. Vorteile bot die neue Saug-Hebepumpe in jedem Fall.

h) Wasserhebung durch Wärme. Gruter zeigt in Kap. 19 drei kleine Apparate, um durch Feuer Wasser zu heben. An dieser Möglichkeit sei etwas Richtiges, die gehobe-ne Wassermenge aber nur sehr klein. somit seien diese Methoden nicht Gegenstand seines Vorhabens. Ergänzt sei, dass Gruters Zeitgenosse Johannes Fontana, auf den wir noch zurückkommen, über den Einsatz von Wärme wesentlich mehr mitteilt. Bei ihm geht es aber vornehmlich um den Antrieb von Rädern⁴⁰.

4. Brunnenbau

In Kapitel 20–22 behandelt Gruter Aspekte des Brunnenbaues. Das Thema war, wie es scheint im Laufe des 14. Jahrhunderts zu besonderer Aktualität gelangt, da Ärzte vor verseuchtem Grundwasser warnten und Demagogen mit behaupteten Anschuldigungen von angeblicher Brunnenverseuchung das Volk aufwiegelten⁴¹. Papst Urban V. entwickelte sich in dieser Situation zu einem bemerkenswerten Auftraggeber neuer Brunnen, zunächst in Avignon, dann auch in der Umgebung von Rom und am Vatikanpalast⁴².

Gruter behandelt zunächst die Frage des Auffindens geeigneter Stellen für Brunnengrabungen und ein Verfahren zur Abschätzung der Entfernung zum Grundwasser nach dem Verhältnis der angesaugten Wassermengen in Baumwollballen, die man an den fraglichen Stellen am Boden auslegte. Sein Kapitel 20 ist bemerkenswert auch durch den Verweis auf die antiken Agrarschriftsteller Palladius (+4. Jh.) und Columella (Zeit des Kaisers Augustus). Die Columella-Rezeption verlief ähnlich wie die des Vitruv. Abschriften sind bereits aus der Karolingerzeit bekannt, aber die Auseinandersetzung mit dem technischen Inhalt begann erst im 15. Jahrhundert nach der Wiederentdeckung durch Poggio Bracciolini. Gruter hat Columella wohl nicht gelesen, er kennt ihn durch Verweise bei Palladius und ziert sich hier durch angebliche Literaturkenntnis. Er nennt außerdem den bekannten mittelalterlichen Agrarschriftsteller Petrus de Crescentiis (ca. 1233–1320). Von ihm lag ein Exemplar seines ‚Opus agriculturae‘ in der päpstlichen Bibliothek, wo Gruter es möglicherweise während seiner römischen Zeit gesehen hat⁴³.



Abb. 5 Kap. 22: Brunnen-schacht-Vermauerung von oben

Kap. 21 beschreibt einen verlängerbaren Erdbohrer für die Brunnengrabung. Auf ihn gehen wir hier nicht ein. Das Thema war aktuell wie im Kommentar dargelegt. Weit

in die Zukunft verweist dagegen Kapitel 22 mit den Angaben zur Vermauerung eines Brunnenschachtes von oben nach unten. Eine solche Methode der Vermauerung ist aus der Zeit noch nicht bekannt. Sie entspricht nicht dem aus Antike und Mittelalter ansonsten gut bekannten Absenkverfahren, bei dem der gezimmerte Brunnenkasten dem fortschreitenden Abteufen folgte⁴⁴. Bei der Vermauerung von oben nach unten hingegen glauben zumindest die Bergbauingenieure, dass sie erst im 19. Jahrhundert unter schwierigen Verhältnissen beim Bau von Schächten im Steinkohlebergbau eingesetzt wurde⁴⁵.

5. Gruters Wasserräder und Wassermühlen

In Kürze seien auch Gruters Wassermühlen vorgestellt. Bei den längst eingeführten Mühlen mit verschiedensten Antriebsformen kam Gruters Ordnungssinn besser zum Tragen als etwa bei den Pumpen. Er bildete drei Gruppen: Wasser-, Wind- und andere Mühlen, vornehmlich mit Antrieb durch Menschen oder Tiere. Seine Schwierigkeiten bei der Benennung der letzten Gruppe übergehen wir hier.

Die Darstellung der Wassermühlen folgt, wie es scheint, der Bedeutung der Wasserläufe. Sie beginnt mit Schiffmühlen auf großen Flüssen und präsentiert zunächst ein prächtig dargestelltes breites Wasserrad zwischen zwei Mühlenkähnen. Gesehen hat Gruter solche Mühlen schon in seiner Studentenzeit am Rhein, später auch in Italien am Po und in Rom am Tiber, wo Schiffmühlen seit der Spätantike bezeugt sind, besonders intensiv seit dem 10.–11. Jahrhundert⁴⁶. Gruters breites Mühlrad ergibt ein wesentlich realistischeres Bild vom Wasserrad einer spätmittelalterlichen Schiffmühle als etwa 1411 in der Kölner Darstellung des Martyriums der hl. Ursula zu sehen ist. Das Rad soll bis zu 3 Meter 60 (10 bis 12 Fuß) breit sein und weist damit auf die bekannten Räder der Kölner Rheinmühlen in der Darstellung von Anton Woensam (1531), die eine Breite von 5–6 Metern erreicht haben sollen⁴⁷. Es ist freilich nicht ausgeschlossen, dass Gruters Schiffmühle einer Vorlage in Italien entsprach und die Kölner Schiffmühlen am Anfang des 15. Jahrhunderts noch den sehr viel kleineren Modellen des Mittelalters entsprachen (Abb. 6).

Die nachfolgende Unterwasserturbine mit großem horizontalem Wasserrad und halbkreisförmiger Abschirmung im Kapitel 29 ist ebenso eindrucksvoll dar-



Abb. 6 Kap. 28: Schiffmühle auf großem Fluss

gestellt wie das Rad der Schiffmühle. Gruter liefert zwar keine Ortsangabe, im Gegensatz zu allen anderen Mühlen seiner Kapitel 28–42, aber er lässt keinen Zweifel, dass es diese Räder gegeben hat. „Solche Räder“, sagt er, lagen 15 bis 20 Fuß vom Ufer „wo der Fluss durch größeren Druck und Strömung besonders groß ist“. Die schwere Turbine lagerte auf dem Grund des Flusses, angetrieben durch klappbare Schaufelbretter. Genau wie bei dem entsprechenden horizontalen Windrad (Kap. 35) musste eine Hälfte des Rades gegen den Zustrom des Wassers abgeschirmt sein, um die Rotation zu ermöglichen. Mochte die Effektivität auch gering sein, so reichte die Massenträgheit des Wassers und des relativ schweren Rades in einem großen Fluss zum Betrieb einer Mühle doch sicher aus⁴⁸. Ein ähnliches unter Wasser getriebenes Turbinenrad folgt erst in einem Kupferstich von 1615 unter den (angeblichen) *Machinae novae* des Veranzio⁴⁹.



Abb. 7 Kap. 30: Hängende Mühle auf mittelgroßem Fluss mit stark wechselndem Wasserstand

Die folgende Mühle (Kap. 30, Abb. 7) eignete sich für rasch wechselnde Wasserstände mittelgroßer Flüsse. Das Mühlenhäuschen (*casula molendini*, diese Mühlen waren offensichtlich noch nicht sehr groß) hob und senkte sich, sagt Gruter, wie bei einer Waage⁵⁰, gezogen oder abgesenkt durch eine Kette auf einer Winde an Land. Die Entfernung vom Ufer durfte deshalb nicht groß sein. „Solche Mühlen“, heißt es abschließend, nachdem ihr Bau genau beschrieben ist, „sah ich zuerst in meiner Heimat in Werden an der Ruhr, und auch in Florenz am Arno, unterhalb von Narni am Nero und in Lucca am Cerchio“. Diese hängenden Mühlen waren auch in anderen Regionen wie etwa Frankreich seit dem 13.–14. Jahrhundert verbreitet. Sie sind die Vorläufer der moderneren Panstermühlen, die es in der Neuzeit auch an Ruhr und Lippe gegeben hat⁵¹.

Ein sehr schönes Bild mit prachtvoller Zimmerarbeit (Kap. 31) zeigt im gleichen Rahmen sowohl ein großes unterschlägiges wie ein großes überschlägiges Wasserrad. Der Text spricht im Plural von *picturis* und deutet damit an, dass es sich um zwei verschiedene, kleine Flüsse oder Bäche handeln muss. Der Illustrator hat sie freilich in einem Bild zusammengefasst. Sein überschlägiges Rad wird von oben wie von unten angetrieben. Sehr viele Mühlen dieser Art, fügt Gruter hinzu, arbeiteten mit dem

Wasser eines Stauweihers, der sich hinter einer kräftigen Spundwand auch erkennen lässt. Wir sehen, er befindet sich in einem Land mit knappem und unregelmäßigen Wasseraufkommen.

In der Mark Ancona hat der Autor Mühlen mit noch geringerem Wasserverbrauch gesehen (Kap. 32). Alle hatten Wasserspeicher, ihre Räder waren horizontal gelagert. Sie trugen 16 bis 20 ausgehöhlte, 2 Fuß lange Holzlöffel. Es sind die mittlerweile gut erforschten Horizontalwasserräder (*ritrecine*), verbreitet im gesamten Mittelmeerraum. In späteren Ingenieurhandschriften erscheint das horizontale Mühlrad vor allem bei Taccola, Francesco di Giorgio und Turriano, gedruckt auch bei Ramelli 1588, dessen deutscher Übersetzer 1632, wie die deutschen Imitatoren des 17. Jahrhunderts, bezeichnender Weise auf das in Deutschland nicht verbreitete Horizontalrad verzichteten⁵².

6. Kurzer Vergleich mit Johannes Fontana

Gibt Gruter uns ein hinreichendes Bild vom Stand der Wassertechnik und Hydrologie während der Zeit seines Italienaufenthaltes 1393 bis 1424? Man kann trotz seiner reichen Angaben daran zweifeln, seit neuestens die Jugendwerke seines etwas jüngeren Zeitgenossen, des Venezianers Johannes Fontana, erschienen sind⁵³. Einschlägig zum Vergleich mit Gruter ist insbesondere Fontanas Traktat über eine von ihm konstruierte Wasseruhr. Dieser Traktat in 21 Kapiteln (leider ohne die zugehörigen Zeichnungen überliefert) beruht zwar ebenfalls auf der bei Gruter so deutlich hervortretenden aristotelischen Physik, die dieser schon in Köln (vermutlich durch in Paris ausgebildete Lehrer) kennengelernt hatte. Aber der Venezianer hat in Padua ganz andere Lehrer gehört. Der Herausgeber, Horst Kranz, stellt sie in seiner dichten Einleitung näher vor. Zu ihnen zählte einerseits Blasius Pelacanus, der u.a. die Existenz des Horror vacui leugnete, und zum anderen Paul von Venedig (Paolo Nicoletti, 1369–1429), der in Oxford auch die zeitgenössische englische Physik rezipiert hatte und ihr in seiner großen Summe zur Naturphilosophie eine weite Verbreitung vermittelte.

Fontanas Traktat über seine Wasseruhr ist nicht nur sprachlich eleganter und wesentlich wortreicher gehalten als das Werk Gruters. Er behandelt die einschlägige Strömungslehre auch wesentlich genauer. Seine Uhr mit Aufwärtsbewegung des Wassers (Rekonstruktionszeichnung S. 334) veranlasst ihn u.a., die Hinderungsgründe für den Aufstieg des Wassers sehr genau darzustellen (Kap. 6). Im Kapitel 2 behandelt er Materialfragen und sagt zum Glas wesentlich mehr als Gruter. Gruter hat sich im übrigen auf die schwierige Materie des Uhrenbaues in seinem Traktat nicht eingelassen. Wie Kranz entdeckte (S. 23–25), gab es dafür gute Gründe. In Ferrara hatte Gruter nämlich versucht, eine aufwändige Uhr für den dortigen Markgrafen zu bauen, war daran aber gescheitert und hatte fluchtartig die Stadt verlassen.

Anmerkungen

- * Umgearbeiteter Vortragstext vor der Jahresversammlung der Frontinus-Gesellschaft am 27. Juni 2008 in Weimar. Ich danke der Frontinus-Gesellschaft unter ihrem Präsidenten Prof. Dr.-Ing. Hans Mehlhorn für die Verleihung der goldenen Ehrenmedaille.
- ¹ Konrad Gruter von Werden, *De machinis et rebus mechanicis*. Ein Maschinenbuch aus Italien für den König von Dänemark 1393–1424, übersetzt, kommentiert und herausgegeben von Dietrich Lohrmann, Horst Kranz und Konrad Alertz (*Studi e testi* 428–429), Città del Vaticano 2006.
- ² Näheres im Einleitungsband zur Edition S. 44–52 (wie Anm. 1).
- ³ **Banu Musa bin Shakir, *The Book of Ingenious Devices (Kitab al-Hiyal)*, translated and commented by Donald R. Hill, Dordrecht-Boston 1979.**
- ⁴ Hildegard Wiewelhove, *Tischbrunnen. Forschungen zur europäischen Tafelkultur*, Berlin 2002.
- ⁵ Schematisch auch schon bei Konrad Kyeser, *Bellifortis*, ed. Götz Quark, 2 Bde, Düsseldorf 1967, fol. 54r und in *Physikkomentaren des 14. Jahrhunderts*. Eine großmaßstäbliche Anwendung, die praktikabel war, zeigt Gruter Kap. 10: Entwässerung von Gräben oder Teichen durch einen Schlauch, dessen Ausfluss tiefer herabreicht als sein Einlauf.
- ⁶ Am wichtigsten der Niederländer Isaac Beeckman 1615 und Galileis Schüler Torricelli. Vgl. ausführlich Cornelius de Waard, *L'expérience barométrique. Ses antécédents et ses explications*, Thouars 1936.
- ⁷ Paolo Zellini, *Eine kurze Geschichte der Unendlichkeit*, München 2010, S. 89–122, im Anschluss an die Quellenstudien von Pierre Duhem, *Le système du monde* 7, Paris 1958.
- ⁸ Lynn White Jr., *The Iconography of Temperantia and the Virtuousness of Technology*, in: Ders., *Medieval Religion and Technology. Collected Essays*, Berkeley – Los Angeles 1978, S. 181–204.
- ⁹ Klaus Grewe und Clemens Kosch in: *Die Wasserversorgung im Mittelalter*, Mainz 1991, S. 11–148.
- ¹⁰ Dietrich Lohrmann, *Pumpen und andere „Wasserkünste“ bei Konrad Gruter von Werden (1393–1424)*, in: H.-P. Baum, R. Leng, J. Schneider (Hgg.), *Wirtschaft _ Gesellschaft – Mentalitäten im Mittelalter. Festschrift zum 75. Geburtstag von Rolf Sprandel (Beiträge zur Wirtschafts- und Sozialgeschichte 107)*, Stuttgart 2006, S. 79–92.
- ¹¹ Wolfgang von Stromer, *Wassersnot und Wasserkünste im Bergbau des Mittelalters und der frühen Neuzeit*, in: *Der Anschnitt. Beiheft 2*, Bochum 1984, S. 50–72. Andreas Haasis-Berner, *Wasserkünste, Hangkanäle und Staudämme im Mittelalter. Eine archäologisch-historische Untersuchung zum Wasserbau am Beispiel des Urgrabens am Kandel im mittleren Schwarzwald (Freiburger Beiträge zur Archäologie und Geschichte des ersten Jahrtausends 5)*, Rahden/Westf. 2001, S. 91–108.
- ¹² Die nachfolgenden Ausführungen sind in der Anm. 10 angezeigten Studie ausführlicher besprochen. Etliches übernehme ich.
- ¹³ John Peter Oleson, *Greek Mechanical Water-Lifting Devices*, Dordrecht 1984, S. 325–350, und ders., *Water-Lifting*, in: Örjan Wikander (Hg.), *Handbook of Ancient Water Technology*, Leiden 2000, S. 217–302. Zum Wirkungsgrad vgl. John G. Landels, *Die Technik in der antiken Welt*, München 1979, S. 76–85.
- ¹⁴ Astrid Schürmann, *Griechische Mechanik und antike Gesellschaft*, Stuttgart 1991, S. 94–98..

- ¹⁵ Näheres bei D. Lohrmann, Zwei Ingenieure beim Sturz des Hauses Carrara in Padua, in: Mathieu Arnoux/Pierre Monnet, *Le techniciens dans la cité en Europe occidentale, 1250–1650* (Coll. de l'École française de Rome 325), Rom 2004, S. 25–41.
- ¹⁶ L.E. Harris, *Land Drainage and Reclamation*, in: Charles Singer (Hg.), *History of Technology* 2, Oxford 1956, S. 300–308. Landels, *Technik* S. 79f. vergleicht den Wirkungsgrad der Schraube und des Tympanon.
- ¹⁷ Näheres bei D. Lohrmann, Die archimedische Schraube in der Geschichte der menschlichen Arbeit bis ins 15. Jh., in: Verena Postel (Hg.), *Arbeit im Mittelalter. Vorstellungen und Wirklichkeiten*, Berlin 2005.
- ¹⁸ Kyeser, ms. Göttingen f. 63r, ms. Paris. lat. 17873f. 133r. Zu den zahlreichen anderen Handschriften des Belfortis vgl. zuletzt Rainer Leng, *Ars belli*. Deutsche taktische und kriegstechnische Bilderhandschriften und Traktate im 15. und 16. Jahrhundert (*Imagines medii aevi* 12/1–2), Wiesbaden 2002.
- ¹⁹ Wilhelm Ruckdeschel, Das Untere Brunnenwerk zu Augsburg durch vier Jahrhunderte. Von der Archimedischen Schraube zur Jonval-Turbine, *Technikgeschichte* 47, 1980, S. 348–350. Vgl. D. Lohrmann, Die archimedische Schraube (Anm. 17).
- ²⁰ Jakob Leupold, *Theatrum machinarum hydraulicarum / Schauplatz der Wasser-Künste* II, Leipzig 1725 (Ndr. Hannover 1982), S. 3–5. Einige der Pumpen Leupolds und Ramellis siehe bei Ph. Berdelle-Hilge, *Die Geschichte der Pumpen*, Bodenheim/Rhein 1992.
- ²¹ Haasis-Berner (Anm. 11) hat die Wasserschraube im spätmittelalterlichen Deutschland nicht verzeichnet. Sie findet in den Niederlanden, nach Anfängen in der Gegend von Leiden im 15., erst seit der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts systematische Anwendung.
- ²² Oleson, *Greek and Roman Waterlifting Devices*, Dordrecht 1984, S. 179 f., 350–355, bespricht die außerhalb Ägyptens seltenen Funde solcher „bucket chains“. Er resumiert: „Certainly the Romans avoided unnecessary pumping wherever possible“.
- ²³ Vgl. Klaus Grewe in: *Geschichte der Wasserversorgung 7: Wasser auf Burgen im Mittelalter*, Mainz 2007, S. 58–63. Zum Bergbau Stromer und Haasis-Berner wie Anm. 11.
- ²⁴ Kyeser, Belfortis fol. 56v.
- ²⁵ Joseph Needham, *Science and Civilisation in China IV,2: Mechanical Engineering*, Cambridge 1965, S. 339–349 (Square-pallet chain-pump).
- ²⁶ Verwiesen sei auf die Liste von 124 westlichen Reisenden nach Ost- und Zentralasien 1242–1404 bei Folker Reichert, *Begegnungen mit China. Die Entdeckung Ostasiens im Mittelalter*, Sigmaringen 1992, S. 287–292. Dazu ein Zitat aus dem Bericht des Giovanni di Pian Carpino mit Bezug auf China: *Meliores artifices non inveniuntur in omnibus operibus, in quibus homines solent exercitari*.
- ²⁷ Zur Anwendung des Förderkanals im 17.–18. Jahrhundert vgl. Leupold, *Schauplatz der Wasser-Künste* I, S. 45 mit Tafel 18, der vor allem auf Berlin verweist. Ihm folgend spricht Franz Maria Feldhaus, *Die Technik*, Leipzig 1914 (Ndr. Wiesbaden 1970), Sp. 832–33, Pumpe Nr. 6, von „Schaufelwerk“.
- ²⁸ Frank D. Prager/ Gustina Scaglia, Mariano Tacola and His Book *De ingeneis*, Cambridge (Mass.), 1972, S.51–52; der Vermittler der Nachricht hieß Bartolomeo Pasquini. Needham (Anm. 25) behandelt diesen Pumpentyp nicht. Vgl. Oleson, *Greek and Roman Waterlifting Devices* (Anm. 22) S. 356.
- ²⁹ Eilhard Wiedemann, Über Vorrichtungen zum Heben von Wasser in der islamischen Welt, in: *Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie* 8, 1918, S. 121–154, bes. S. 148

- (Ndr. in ders., Gesammelte Schriften zur arabisch-islamischen Wissenschaftsgeschichte 3, Frankfurt a.M. 1984, S. 1483–1516).
- ³⁰ Nachweise in der Edition des Gruter-Traktats Kap. 9. In Kap. 11 Anm. 5 ist die angenommene Strömungsrichtung zu korrigieren.
- ³¹ Albrecht Hoffmann, Wassernöte und technischer Wandel in der Frühen Neuzeit, in: Frontinus Gesellschaft (Hg.), Geschichte der Wasserversorgung 5: Renaissance, Mainz 2000, S. 39 mit Anm. 116.
- ³² Johann Beckmann, Beyträge zur Geschichte der Erfindungen 1, 1786, S. 326.
- ³³ Oleson, Greek and Roman Mechanical Water-Lifting (Anm. 22) S. 321(Tabelle).
- ³⁴ Ahmad Y. Al-Hasan/ Donald Hill, Islamic Technology. An Illustrated History, Cambridge 1986, S. 49. al-Jazari schreibt ausdrücklich: „This machine is like the ejectors of naphtha except that it is larger than that“.
- ³⁵ Haasis-Berner (Anm. 11) S. 97.
- ³⁶ Näheres bei D. Lohrmann, Zwei Ingenieure beim Sturz des Hauses Carrara inPadua, in: Le technicien dans la cité en Europe occidentale, 1250–1650, hg. Mathieu Arnoux/Pierre Monnet, Rom 2004 (Coll. de l'École française de Rome 325) S. 25–41.
- ³⁷ Needham, Science IV 2 (Anm. 25) S. 144 zum Jahre + 188.
- ³⁸ Näheres dazu bei S. Shapiro, The Origin of the Suction Pump, in: Technology and Culture 5 (1964) S. 566–574 und Graham Hollister-Short, On the Origins of the Suction Lift Pump, in: Technology and Culture 33 (1992) S. 57–75.
- ³⁹ Hollister-Short (Anm. 38); dort auch eine Abbildung.
- ⁴⁰ ed. Kranz (Anm. 53) S. 193.
- ⁴¹ Näheres bei Albrecht Hoffmann, Wassernöte (Anm. 31), S. 11–13.
- ⁴² D.Lohrmann, Wasser für den Vatikanpalast bei der Rückkehr der Päpste aus Avignon1367–1376, in: Eloquentia copiosus. Festschrift für Max Kerner, Aachen 2005, S. 297–314.
- ⁴³ Näheres im Kommentar der Gruter-Edition (Anm. 1).
- ⁴⁴ Vgl. z. B. Renate Tölle-Kastenbein, Antike Wasserkultur, München 1990, S. 32f.
- ⁴⁵ Vgl. zum Beispiel Busse, Die Schachtbohrarbeiten im schwimmenden Gebirge auf den Gruben Anna und Maria im Wormrevier, Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen 3 (1855) Abt. B S. 236 und H. Wagner, Beschreibung des Bergreviers Aachen, Bonn 1881, S. 80. Dazu Gespräch mit dem verstorbenen Bergbauprofessor Ernst-Ulrich Reuther in Aachen.
- ⁴⁶ D. Lohrmann, Schiffmühlen auf dem Tiber in Rom nach Papsturkunden des 10.–11. Jahrhunderts, in: Ex ipsis rerum documentis. Beiträge zur Mediävistik. Festschrift für Harald Zimmermann, hg. v. Klaus Herbers u. a., Sigmaringen 1991, S. 277–286.
- ⁴⁷ Horst Kranz, Die Kölner Rheinmühlen im Mittelalter 1 (Aachener Studien zur älteren Energiegeschichte 1), Aachen 1991, S. 306–324.
- ⁴⁸ Einschätzung von Dr.-Ing. Buchholz, Institut für Wasserbau, RWTH Aachen.
- ⁴⁹ Fausto Veranzio, Machinae novae, Venedig (1615; ND Dortmund 1965), Tafel 13, 16, 17. Vorbehalt Turriano.
- ⁵⁰ *statera*, Gruter spricht auch von Waaghaltung der Mühle auf dem Wasser (*staterio situ*). Der Begriff der Statik ist offenbar aus der mittelalterlichen *statera* bzw. dem *Abstractum statica* abgeleitet.
- ⁵¹ Peter Theissen, Mühlen im Münsterland, Münster 2001, S. 73f, 84–96.

- ⁵² Ausnahmen aus dem Alpenraum bespricht Karl-Heinz Ludwig, Zur Nutzung der Turbinenmühle im Mittelalter, in: Technikgeschichte 53 (1986) S. 35–38.
- ⁵³ Johannes Fontana, *Opera iuvenalia de rotis, horologiis et mensuris*. Jugendwerke über Räder, Uhren und Messungen, hg., übersetzt und eingeleitet von Horst Kranz, (Boethius Bd. 65), Stuttgart 2011. Weiteres zur Wassertechnik Fontanas ist bereits aus der Münchner Handschrift BSB cod. icon. 242 bekannt.

Abbildungsnachweise

1. Kap. 4: Heronsbrunnen mit Bild der Temperantia (Bibl. Vaticana, ms. Vat. lat. 5961 f. 5r)
- 2ab. Kap. 16 (Archimedische) Schraube und Schraubenkaskade (Bibl. Vaticana, ms. Vat. lat. 5961 f. 17rv)
3. Kap. 12: Behälterkette von Gruter erbaut für den Bischof von Modena ca. 1400–1401 (Bibl. Vaticana, ms. Vat. lat. 5961 f. 13r)
4. Kap. 15: Förderkanal des Bartolino da Novara in Ferrara ca. 1402–03 (Bibl. Vaticana, ms. Vat. lat. 5961 f. 16r)
5. Kap. 22: Brunnenschacht-Vermauerung von oben (Bibl. Vaticana, ms. Vat. lat. 5961 f. 23r)
6. Kap. 28: Schiffmühle auf großem Fluss (Bibl. Vaticana, ms. Vat. lat. 5961 f. 30r)
7. Kap. 30: Hängende Mühle auf mittelgroßem Fluss mit stark wechselndem Wasserstand (Bibl. Vaticana, ms. Vat. lat. 5961 f. 32r)

