

Die Atwoodsche Fallmaschine von Wisenpaintner – Inventarnummer 775

Lara Hartung
lara.hartung@uni-jena.de

The Atwood Machine by Wisenpaintner – inventory number 775

The object with the inventory number 775 has a long history as part of the collection of Deutsches Museum. In the catalogue, it is identified as an Atwood Machine, and a plate on the instrument informs that it was constructed by Johann Anton Wisenpaintner in Eichstätt, 1795. However, there remain many unexplained instrument parts and unsolved questions. This article tries to point out some of those unresolved questions and find – at times highly speculative – possible answers, as well as retrace the history of the instrument. It argues, that some of the instrument's features hint that it might have been used for several scientific purposes at once – i.e. as an Atwood Machine and Tribometer – and tries to interpret this in the context of demonstration devices and their important function in 18th century science.

Keywords: Atwood Machine, Deutsches Museum, Johann Anton Wisenpaintner, 775

Einleitung

Dieser Artikel beschäftigt sich mit dem Objekt, das im Deutschen Museum München unter der Inventarnummer 775 gelistet ist. Bei dem untersuchten Objekt handelt es sich um eine Atwoodsche Fallmaschine, die zur Untersuchung beschleunigter Bewegungen dient (Gründungssammlung Deutsches Museum). Am Fuß eines der Räderwerke findet ein Schild mit der Aufschrift „Joann Anton Wisenpaintner in Eychstätt Fecit 1795“. Die Inventarnummer 775 ist in weiß auf den Tisch geschrieben und lässt auf eine Zugehörigkeit zur Gründungssammlung des Deutschen Museums schließen.

Als Objektmaße sind in dessen Online-Katalog angegeben: „Höhe 553mm, Breite 320mm, Tiefe 280mm, Masse 6,02kg (Gründungssammlung Deutsches Museum)“. Eigene Messungen wurden leider nicht durchgeführt, sodass es sich bei sämtlichen anderen im folgenden auftauchenden Werten um Schätzungen handelt.



Fig. 1 Fallmaschine von allen Seiten. Quelle: Deutsches Museum München © Lara Hartung.

Atwoods Fallmaschine

Als Newton im Jahr 1687 seine „Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica“ veröffentlichte, stellte er die mathematische Mechanik auf eine fundamental neue Grundlage. Ein experimenteller Nachweis der Newtonschen Gesetze gestaltete sich allerdings schwierig. Die mangelnde Genauigkeit der Messung kurzer Zeiten verlangte für Fallexperimente sehr lange Fallstrecken, bei denen der systematische Fehler durch Luftwiderstand nicht vernachlässigbar war; Gleichzeitig krankten Versuche, die Beschleunigung über schiefe Ebene zu verringern wie Galilei sie durchführte an hohen Fehlern durch Reibung und Rotationseffekte (Atwood 1784: 296).

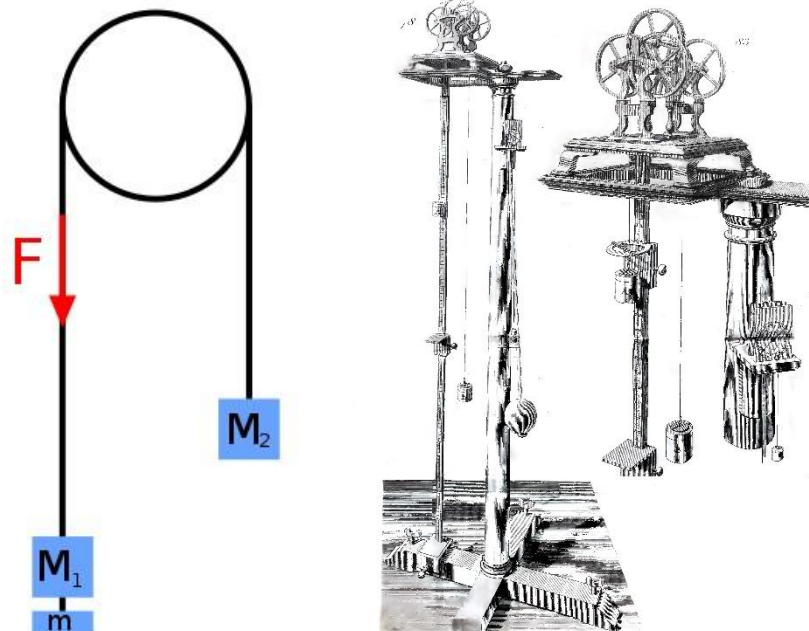
George Atwood versuchte 1784 in seinem Buch „A Treatise on the Rectilinear Motion and Rotation of Bodies“, eine Lösung für diese Probleme darzustellen. Nachdem er die Fallexperimente Desaguliers und Galileis dargelegt und deren Schwierigkeiten aufgezeigt hat (Atwood 1784: 296), unterbreitet er selbst einen Vorschlag für eine Maschine, die er laut (Schaffer 1994: 160) bereits in den späten 1770ern entworfen hat. Deren Grundprinzip ist es, die Beschleunigung zu verringern, um bei gleicher Strecke längere Fallzeiten zu erreichen. Atwood nutzt dazu ein Gegengewicht, das über einen auf einer beweglich gelagerten Rolle verlaufenden Faden mit der eigentlichen Masse verbunden ist (vgl. Abb. 2) (Atwood 1784: 299). Sind die beiden Massen gleich groß, so befindet sich das System im Kräftegleichgewicht und damit (sofern es nicht zuvor beschleunigt wurde) in Ruhe (Atwood 1784: 299). Fügt man jedoch auf der einen Seite ein Übergewicht hinzu, bewegt sich das System in diese Richtung mit einer Beschleunigung von

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} \cdot g < g.$$

Für die Gewichte verwendet Atwood Metallzylinder mit klar definiertem Massenverhältnis. Der Auslösemechanismus ist recht simpel: Unter dem schwereren Gewicht wird per Hand ein Stab weggezogen. Dadurch ist es möglich, eine Beschleunigung aus der Ruhe zu erreichen (Atwood 1784: 308).

Die Konstruktion mit der Rolle steht auf einem hohen Ständer, an dem eine Skala angebracht ist, um die Falldistanz abzulesen. Die Zeit wird mithilfe eines Sekundenpendels gemessen, das für etwa eine halbe Stunde jede Sekunde tickt. Um dennoch eine Genauigkeit zu erreichen, die höher ist als $1/2s$, wendet Atwood einen Trick an: er kalibriert die Skala so, dass das Gewicht die Fallstrecken-Markierungen immer zu ganzzahligen Sekundenzahlen erreicht. So ist es leichter zu erkennen, ob es synchron mit dem Ticken an der Markierung vorbei fällt (Atwood 1784: 308). Atwood

geht jedoch noch weiter: Er schlägt vor, dass es aufgrund der Reaktionszeit nicht genügt, das Gewicht loszulassen sobald der Experimentator das Ticken hört – er müsse sich an das Ticken gewöhnen und darauf einstellen, damit beides im exakt selben Moment passiert (Atwood 1784: 309).



a) Grundprinzip (Wikimedia Commons).

b) Entwurf aus (Atwood 1784: 451).

Fig. 2 Funktionsweise einer Atwoodschen Fallmaschine

Atwood beschreibt mehrere Experimente, die sich mit seiner Konstruktion durchführen lassen, bis ins kleinste Detail. So ist es beispielsweise möglich, auf eines zweier gleich schwerer Gewichte ein längliches Zusatzgewicht aufzulegen, das beim Fall durch einen am Ständer befestigten Ring abgehoben wird, da zwar das eigentliche zylindrische Gewicht durch den Ring passt, das längere Zusatzgewicht jedoch nicht. Damit wird das System zunächst beschleunigt, bewegt sich dann jedoch (näherungsweise) kräftefrei und damit mit konstanter Geschwindigkeit, die sich leicht bestimmen lässt (Atwood 1784: 311). Dieser Ring erlaubt in einem anderen Experiment eine abgebremste Bewegung, sofern die eine zylindrische Masse schwerer ist als die andere, letztere jedoch in Summe mit der Zusatzmasse ein höheres Gewicht aufweist als die erste und das System zunächst beschleunigt, bis sich die Richtung der Kraft durch das Abheben der Zusatzmasse umkehrt (Atwood 1784: 312). Für all diese Experimente nennt Atwood explizite Zahlen für die Maße und Gewichte, und berechnet die erwarteten Ergebnisse. Die auf volle Sekunden angepasste Skala fordert hohe Genauigkeit und ganz spezielle Gewichtsverhältnisse.

Dass diese mathematischen Überlegungen nicht ohne Fehler experimentell bestätigt werden können, ist ein zentraler Punkt in Atwoods Abhandlung. Bevor er überhaupt die Problemstellung anspricht, führt er auf mehreren Seiten theoretische Überlegungen zu Messungenauigkeiten im physikalischen Experiment aus (Atwood 1784: 291) – eine Tatsache, die besonders auffällig ist, da sich der Abschnitt zur

Fallmaschine mitten im Buch befindet. Insbesondere die Reibung nimmt bei ihm einen hohen Stellenwert ein (Atwood 1784: 316). Dabei betrachtet er Effekte, die kleiner sind als die beobachtbare Genauigkeit, als vernachlässigbar:

[...] those experiments, in the construction of which all the conditions required by the theory being observed, as nearly as can be estimated by the senses, the results differ from the truth, by errors so small as to be unperceived, may be regarded as perfect. (Atwood 1784: 294)

Mit der Konstruktion seiner Fallmaschine versucht Atwood, so viele systematische Fehler wie möglich auszuschließen. Die Auswirkung des Luftwiderstandes wird durch die kurze Fallstrecke minimiert (Atwood 1784: 315). Um die Reibungsverluste möglichst gering zu halten, verwendet er sogenannte Friktionsrollen („friction wheels“): Die Achse, auf der sich das Hauptrad befindet, ist nicht selbst gelagert, sondern liegt auf zwei Paaren beweglicher, sich nicht berührender Räder auf. Dreht sich die Achse, drehen sich durch die Haftreibung auch die Räder, die Reibungseffekte der Lagerung werden auf die der Rollen umgelenkt und damit merklich verringert (Atwood 1784: 316). Während er die Effekte der Eigenmasse des Fadens als vernachlässigbar gering diskutiert (Atwood 1784: 313) widmet Atwood sich ausführlich einer rechnerischen Korrektur des Fehlers durch die Eigenmasse und Trägheit des Rades. Da das Rad nicht rotationssymmetrisch (Atwood verwendet hier den Begriff „irregular“ (Atwood 1784: 301)) ist, lässt sich das Massenträgheitsmoment nicht berechnen; stattdessen bestimmt Atwood dessen Äquivalentmasse experimentell (Atwood 1784: 300-302). Diese Äquivalentmasse muss zur bewegten Gesamtmasse addiert werden:

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1 + m_j} \cdot g$$

Als Ziel seiner Fallmaschine nennt Atwood „to describe such an instrument as will subject to experimental examination, the properties of the five mechanical quantities“, welche er anschließend als m , F , s , t und v benennt (Atwood 1784: 298). Er verweist auch explizit auf die Bestätigung der Beziehung $s \sim t^2$, die aus dem zweiten Newtonschen Gesetz $F = m\ddot{s}$ folgt (Atwood 1784: 295). Gleichzeitig ist die Beschleunigung selbst nicht als eine der „five mechanical quantities“ genannt, was interessante Fragen hinsichtlich der Beziehung zum zweiten Newtonschen Gesetz aufwirft. Auch die präzise Abstimmung des Instrumentes auf ein erwartetes Ergebnis (beispielsweise durch die angepasste Skala) ist auffällig. Um diese Beobachtungen einzuordnen ist es interessant, einen Blick auf die demonstrative Bedeutung von Experimenten im 18. Jahrhundert im Allgemeinen und von Atwoods Maschine im Speziellen zu werfen.

Demonstrationsapparate und Mechanik zur Zeit der Aufklärung

Die Aufklärung brachte dem 18. Jahrhundert eine Hinwendung zur wissenschaftlichen Durchdringung der Gesellschaft und aller Lebensbereiche und veränderte den Wissenschaftsbetrieb grundlegend. (Teichmann 1992: 320) beschreibt das 18. Jahrhundert als „Glanzzeit des Empirismus und der weltanschaulichen „Popularisierung“ dieses Wissens.“ Es kam zu einem Aufschwung der experimentellen Forschung, die nun wenigstens in der Physikdidaktik einen neben der mathematischen Theorie nahezu gleichberechtigten Platz einzufordern begann (Füssel 2017: 281). Traditionell wurde Physik oder Naturphilosophie als „Gesamtbereich der qualitativen Naturwissenschaft“ (Teichmann 1992: 312) verstanden, zu der die heutige Chemie genauso gezählt werden konnte wie Anatomie oder Geographie (Schimank 1969:

458). Die Mechanik, wie andere exakte Disziplinen der heutigen Physik, fielen dabei jedoch vielmehr in den Bereich der Angewandten Mathematik. Als die Physik begann, sich als eigenständige Disziplin heraus zu differenzieren und damaligen Teilbereiche der Mathematik einzubeziehen, rückten auch mechanische Experimente weiter ins Interesse (Schimank 1969: 464-465).

Dieser Prozess war wenigstens zum Teil auch mit der Ausbildung einer wissenschaftlichen Öffentlichkeit verknüpft, der theoretisch-mathematische Überlegungen schwieriger nahezubringen waren. Im Zuge der Aufklärung wurde die Wissenschaft von den Universitäten in den öffentlichen Raum, in die Kaffeehäuser und Salons, getragen, und es entwickelte sich eine zunehmend ablehnende Haltung gegenüber etablierten Institutionen (Füssel 2017: 279). Die in diesem Prozess erreichte Zielgruppe war deutlich breiter aufgestellt als reine Naturforscher (Schimank 1969: 465). Nicht jeder, der sich mit Mechanik oder Astronomie beschäftigte, hatte nunmehr eine hinlängliche mathematische Ausbildung und war imstande, beispielsweise der Beweisführung in Newtons „Principia“ zu folgen. An Stelle der mathematischen Beweise trat daher ein zugänglicherer anschaulicher Beweis durch Experimente, in denen die Behauptungen mit eigenen Augen nachvollzogen werden konnten (Schimank 1969: 465). „Aufgeklärte Wissenschaft produzierte Evidenz und Autorität in öffentlichen Inszenierungen. [...] Im Zeichen einer ‚öffentlichen Wissenschaft‘ kam publikumswirksamen Experimenten zentrale Bedeutung zu“, so (Füssel 2017: 280)

Zweck solcher Experimente war häufig weniger empirische Wissensbildung im heutigen Sinne, sondern die Illustration und anschauliche Bestätigung von Sachverhalten, die aufgrund mathematischer Beweisführung von vorne herein als wahr angenommen wurde (Schaffer 1994: 158). Was den Wahrheitsanspruch betraf, stand die Mathematik in diesen Fällen über der Empirie. (Schaffer 1994: 162) bezieht sich hinsichtlich solcher Experimente auf den Unterschied zwischen offenen und geschlossenen Settings: Während in einer offenen Situation eine ergebnisoffene Forschung stattfindet, sind sich in einem geschlossenen Setting alle Teilnehmer bereits vorab über das korrekte Ergebnis einig (Schaffer 1994: 162). In solchen Settings ist Falsifikation der Theorie keine vorgesehene Option, bei abweichenden Ergebnissen wird der Fehler im experimentellen Aufbau gesucht (Schaffer 1994: 166)

Den in diesen Experimenten verwendeten wissenschaftlichen Apparaten kam in erster Linie eine Funktion als Demonstrationsinstrument zu: Sie wurden so konstruiert und abgestimmt, dass sie möglichst zweifelsfrei und eindringlich das erwartete Ergebnis und die dahinterstehende Philosophie illustrierten. „Demonstration devices were used as part of the process of fixing and regulating the meanings natural philosophers gave to the doctrines which they taught“, so (Schaffer 1994: 160). Dies konnte zum einfacheren Verständnis für eine breite Zielgruppe dienen, jedoch auch zur weltanschaulichen Lehre in der speziellen fachlichen Ausbildung: „The aim of demonstration was to make a specific doctrinal interpretation of these devices' performance seem inevitable and authoritative.“ (Schaffer 1994: 157)

Atwoods Maschine fügt sich in dieses Bild ein: Die angepassten Skalen und präzisen Gewichtsverhältnisse nehmen ein erwartetes Ergebnis vorweg und entfalten ihre volle Wirkung erst durch die präzise Übereinstimmung mit demselben. Auch Atwoods Verweis auf die Anpassung des Experimentators auf den Pendelrhythmus passt in das Bild, das (Schaffer 1994: 162) von Demonstrationsgeräten zeichnet: “It is concluded that much of the apparent authority of these devices relies on the gestures performed by the demonstrator and the cultural resources available within the setting of the demonstration. These gestures and resources draw attention away from the workings

of the machine and towards the philosophy which the machine is designed to demonstrate.” (Schaffer 1994: 162)

Gleichzeitig ordnet er Atwoods Maschine als politisches Mittel ein: In einer Zeit, in der die Universität Cambridge als traditionelle Wissensinstitution zunehmend angegriffen wurde Proponenten von „living matter“-Theorien religiöse Grundfesten wie die menschliche Seele infrage stellten (Schaffer 1994: 168), setzte die Universität diesen Tendenzen neue Textbücher und anschauliche Experimente entgegen: “The curriculum now helped demonstrate the truth of the propositions of Newton's mechanics and the legitimacy of the regime of the Georgian university“ (Schaffer 1994: 164). Einige Zeilen zuvor bezieht Schaffer explizit auch Atwoods Maschine ein: “Atwood's 1784 Treatise, and his much-expanded Analysis of a Course of Lectures on Natural Philosophy of the same year, were deliberate contributions to this enterprise (Schaffer 1994: 164)” Gleichzeitig diente der starke Fokus auf die Elimination von systematischen Fehlern, insbesondere der Reibung, als gesellschaftliches Distinktionsmerkmal gegenüber Ingenieuren: Was in der praktischen Anwendung geschah wurde nicht als relevant für die Forschung zu den Naturgesetzen gesehen, da Effekte wie die Reibung hier nicht beachtet wurden und Ingenieure aus Atwoods Perspektive ihre Instrumente vielmehr durch Versuch und Irrtum statt Wissenschaft entwickelten (Schaffer 1994: 173).

Die wissenschaftlichen Demonstrationen beleuchten auch das Verhältnis, das die Physiker in Cambridge zu Newtons Gesetzen hatten. (Hanson 1958: 101) betrachtet das zweite Newtonsche Gesetz als eine Aussage, die je nach Kontext Definition oder prüfbarer Satz sein kann. Atwoods Maschine sieht er als Beispiel für die zweite Lesweise: „[...] his famous machine was invented solely to prove the empirical truth of the law (Hanson 1958: 101)“. (Schaffer 1994: 166) setzt dem entgegen, dass eine empirische Hinterfragung nicht bezweckt gewesen sei: Zwar wurden die Gesetze nicht als bloße, analytische Definition, sondern als kontingente Aussagen gesehen, gleichzeitig galten sie jedoch als mathematisch so evident, dass sie experimentell nicht anfechtbar waren (Schaffer 1994: 166). Die häufig verwendete Bezeichnung als „Newtonsche Axiome“ (unter einem euklidischen Axiombegriff) wäre somit zutreffender.

Beschreibung von Aufbau und Funktion des Objektes - Aufbau

Die Fallmaschine ist zum größten Teil aus Messing gefertigt, wobei sich einzelne Elemente (Stange, Schrauben) aus einem anderen Metall finden. Das Instrument steht auf einem lackierten Holztisch.

Der Aufbau des Gerätes ist in Abb. 3 dargestellt. Kernelement der Fallmaschine ist ein Messingrad, dessen Durchmesser etwas geringer ist als die Breite des Tisches (1a), das fest auf einer Achse aus einem anderen Metall (1b) montiert ist. Der Außenrand des Rades ist konkav, sodass zu vermuten ist, dass hier ein Riemen verlief, der jedoch nicht erhalten ist. Das Rad besitzt drei Speichen mit rundem Querschnitt. Mittig zwischen zwei Speichen ist am Außenrand des Rades eine Markierung in Form einer punktförmigen Einkerbung zu sehen, die eine Ausgangsposition markieren könnte. Auf der Achse befindet sich auf der einen Seite des Rades ein Messingzylinder (1c) mit diagonal abgeflachten Kanten sowie einer V-förmigen Rille – möglicherweise ebenfalls eine Spurrille für einen Riemen. Eine Schraube aus Messing ist vorhanden, deren Zweck allerdings nicht eindeutig zuordenbar ist. Auf der anderen Seite befindet sich ein Schraubengewinde (1d).

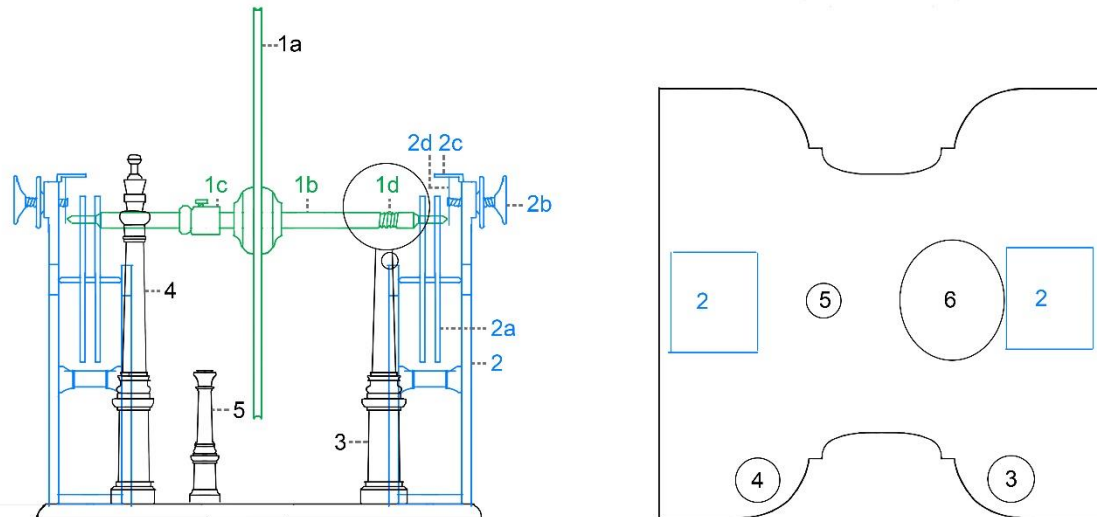
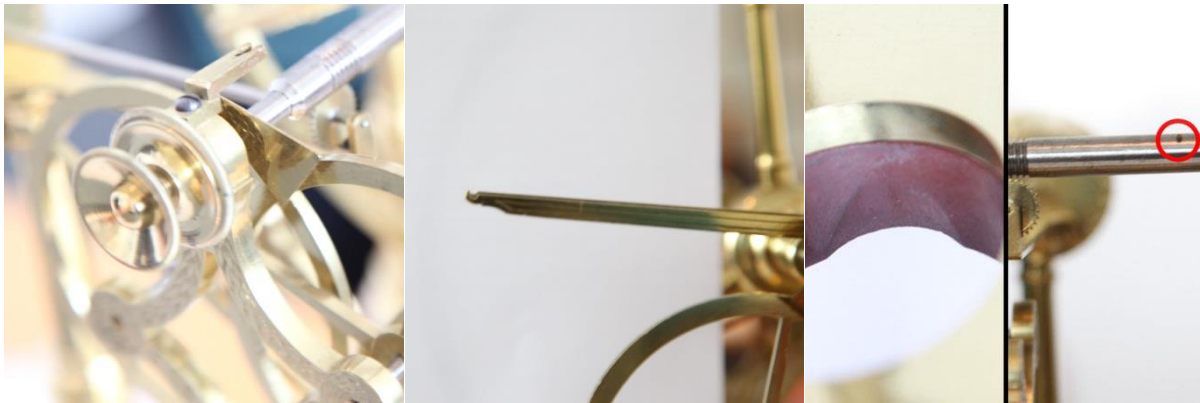


Fig. 3 Aufbau der Fallmaschine 775 frontal in Position 2 (links) und Grundriss der Tischplatte (rechts). Die Größenverhältnisse sind Schätzungen auf Basis von Fotografien. Quelle: Deutsches Museum München © Lara Hartung.

Die Enden der Achse laufen spitz zu und sind in Position 1, die vermutlich zur Aufbewahrung diente, durch Schrauben fixiert, deren Ende eingekerbt ist sodass sie darin die Achsenenden halten (2b). Die Räderwerke (2) bestehen aus jeweils zwei Ständern, zwischen denen zwei kleinere, gegeneinander berührungslos versetzte vierspeichige Räder (2a) beweglich gelagert sind. Die Lagerung ist ebenfalls durch zugespitzte Achsenenden realisiert. Die äußere Seite des Räderwerkes führt weiter nach oben zu den Schrauben 2b. Seitlich auf dem Schraubengewinde liegen dünne, dreieckige Metallplättchen auf (2c), die rundliche Kratzspuren aufweisen. Von den Räderwerken ausgehend erstrecken sich kleine Haken (2d) über die Achse, die Löcher aufweisen, zu denen ein Schlitz hinführt.

Die kleineren Räder lassen sich im Vergleich mit Atwoods ursprünglicher Konstruktion sehr einfach als Friktionsrollen identifizieren. Zur Benutzung der Fallmaschine werden die Schrauben 2b geöffnet, die Achse herausgenommen und auf die Friktionsrollen gelegt (Position 2), wo sie sich mit sehr geringer Reibung drehen kann. In dieser Position wird auch die Bedeutung der Plättchen 2c klar: Sie befinden sich in diesem Fall genau an den Enden der Achse und verhindern ein longitudinales Verrutschen, wobei die zugespitzten Enden der Achse die Berührungsfläche und damit die Reibung minimieren. Die Kratzspuren lassen sich durch diese Positionierung sowie die spitzen Enden der Achse erklären und weisen zudem auf Gebrauch hin (vgl. weiter unten).

Neben den Räderwerken befinden sich auf der Tischplatte drei „Pfosten“. Zwei davon haben etwa die Höhe der Achse und befinden sich auf derselben Seite außen am Tisch. An einem davon (3) ist ein Ziffernblatt mit einer Einteilung wie bei einer Uhr befestigt, dessen Zeiger mit einer Stange verbunden ist, die zur Achse reicht. Liegt die Achse auf den Friktionsrollen auf, so verbindet ein Zahnrad am Ende der Stange diese mit dem Gewinde 1d. Bei Drehung der Achse dreht sich somit auch der Zeiger. Ein Versuch ergibt, dass ein Minutensegment – also 5 Grad bzw. 1/60 des Ziffernblattes – einer halben Umdrehung des Rades entspricht. In der Position, in der der Zeiger direkt auf 12 steht, befindet sich die oben erwähnte punktförmige Markierung am Tiefpunkt des Rades.



a) (2d)

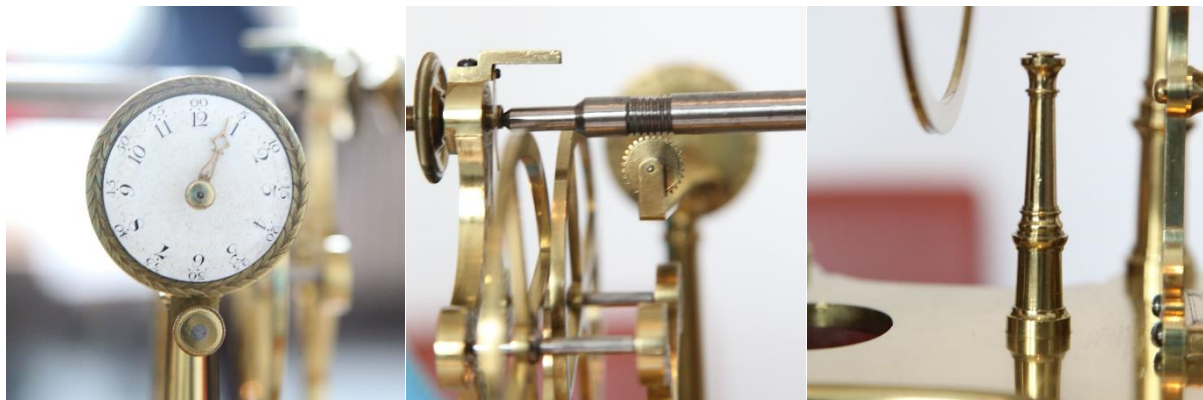
b) Haken am Ende der Hebel

c) Kerben in (6) und darüberliegender Pin

Fig. 4 Besonderheiten. Quelle: Deutsches Museum München © Lara Hartung.

Auf dem anderen Pfosten (4) befinden sich zwei an beiden Seiten überstehende Hebel, die unabhängig voneinander so präzise ausbalanciert sind, dass sie sich in jeder Position im Gleichgewicht befinden und stehen bleiben. Die Hebel lassen sich somit auf die Achse auflegen, ohne dass sie von sich aus Druck durch Schwerkraft ausüben. Am dem Pfosten gegenüberliegenden Ende der Hebel befinden sich Einkerbungen, in die etwas – vermutlich Gewichte – eingelegt oder eingehängt werden könnte.

Direkt unterhalb des Metallzylinders auf der Achse befindet sich ein dritter Pfosten, der etwa die halbe Höhe der Achse besitzt (5). Entlang der Oberkante befindet sich eine sehr schmale Rille.



a) (3): Ziffernblatt

b) (1d)

c) (5)

Fig. 5 Ziffernblatt mit Mechanismus sowie Pfosten. Quelle: Deutsches Museum München © Lara Hartung.

Beschreibung von Aufbau und Funktion des Objektes – der Tisch

Die Konstruktion steht auf einem rotbraun lackierten Holztisch. Kratzer und Macken im Tisch weisen darauf hin, dass es sich um ein helles und recht weiches Holz handelt. Die Tischbeine sind s-förmig gewölbt und mit geschnitzten Ornamenten versehen. An den Füßen des Tisches befinden sich große Schrauben aus Messing, die zur

Feinjustierung der Höhe (vgl. Gründungssammlung Deutsches Museum) oder zur Befestigung auf der darunterliegenden Säule dienen könnten. Auf die Oberseite der Tischplatte ist Messing aufgesetzt. Die Platte hat eine Sanduhrform, sodass die Enden des Rades 1a trotz des geringeren Durchmessers über die Einkerbungen im Tisch hinausstehen und somit die Gewichte nicht von der Tischplatte behindert werden. Da der Tisch eine Höhe hat, die für Atwoods Fallexperimente deutlich zu gering ist, ist zu vermuten, dass das Objekt wie auch Atwoods Original auf einer Säule stand, die jedoch nicht erhalten ist.

In der Tischplatte befindet sich eine elliptische Aussparung (6). Da die Aussparung für die primären Gewichte bereits durch die Sanduhr-Form des Tisches gegeben ist, ist dessen Zweck unklar. Bemerkenswert ist an dieser Stelle, dass sich oberhalb des Loches nur reine Achse befindet, diese jedoch an dieser Stelle einen winzigen Pin aufweist. Das Holz in der Aussparung ist schräg nach unten hin eingekerbt ist. Verlängert man die Einkerbung auf beiden Seiten tangential, so schneiden sich diese Geraden auf der Achse -- fast so, als wäre dort ein Pendel befestigt gewesen.

Beschreibung von Aufbau und Funktion des Objektes – Verarbeitung und Gebrauchsspuren



a) Tisch © Lara Hartung.

b) Gravuren am Räderwerksockel © Convin Splettsen.

c) Herstellersignatur © Convin Splettsen.

Fig. 6 Verzierungen. Quelle: Deutsches Museum München.

Die Fallmaschine ist sehr edel und kunstvoll ausgearbeitet und mit gravierten Ornamenten versehen. Gleichzeitig sind die einzelnen Elemente so präzise ausbalanciert und ausgearbeitet, dass das Instrument eindeutig auf wissenschaftliche Präzision abzielt. Das Messing ist glänzend, großflächige Spuren deuten darauf hin, dass es poliert worden sein könnte. Auf der Tischplatte sind vereinzelte Kratzer sichtbar, und das Holz des Tisches weist kleinere Macken auf. Insgesamt wirkt das Instrument jedoch sehr gut erhalten. Eindeutige Gebrauchsspuren finden sich eigentlich nur auf den dreieckigen Plättchen, deren Kratzer genau dem Verlauf potenzieller Spuren der Achsenenden entsprechen und damit bestätigen, dass das Instrument mehrfach in Position 2 gebracht wurde.

Im Vergleich zu der hochwertigen und edlen Verarbeitung der Maschine selbst wirkt der Tisch etwas unpassend. Das Material wirkt vergleichsweise billig und die Lackierung wirft die Frage auf, warum nicht direkt ein rotes Holz verwendet wurde. Möglicherweise ist der Tisch nachträglich hinzugefügt worden. Allerdings gibt es einige

Punkte, die dagegensprechen: Im Deutschen Museum finden sich Instrumente von Wisenpaintner die ebenfalls lackiert sind, und ein Restaurationsbericht von 1984 beinhaltet keine Hinweise, dass der Tisch nicht original wäre (vgl. Abschnitt 4.2). Eine weitere Fallmaschine desselben Herstellers weist einen nahezu identischen (allerdings nicht farbig lackierten) Tisch auf (vgl. weiter unten), der jedoch im Falle einer späteren Rekonstruktion auch als Vorlage hätte gedient haben können.

Beschreibung von Aufbau und Funktion des Objektes – Besonderheiten und Spekulation



a) Kratzer auf der Tischplatte
© Lara Hartung.

b) (2c) mit Kratzspuren
© Convin Splettsen.

c) Macken am Tisch © Lara Hartung.

Fig. 7 Kratzer und Gebrauchsspuren. Quelle: Deutsches Museum München.

Geht man davon aus, dass Säule, Schnur und Gewichte Teil des Instrumentes aber nicht erhalten sind, weist die Fallmaschine sämtliche Eigenschaften von Atwoods Originalkonstruktion auf. Wisenpaintner scheint jedoch zusätzlich Dinge ergänzt zu haben – am auffälligsten die beiden Pfosten mit den Hebeln und dem Ziffernblatt. Bei beiden lässt sich über die Funktion nur spekulieren.

Die Einkerbungen an den Hebelenden lassen vermuten, dass dort Gewichte eingehängt wurden, und damit eine Kraft auf die Achse ausgeübt wurde. Die Tatsache, dass die Hebel so gut ausbalanciert sind, dass diese Kraft ohne Gewichte vollständig fehlt, legt die Vermutung nahe, dass diese Kraft möglichst akkurat kontrolliert und dadurch untersucht werden sollte. Möglicherweise dienten die Hebel zum Hinzufügen von Reibung, die zur ausgeübten Normalkraft proportional und somit durch die Gewichte kontrollierbar ist.

Die Messung der Radumdrehungen mithilfe des Ziffernblattes scheint auf den ersten Blick eine Alternative zu der Skala zu sein, mithilfe welcher Atwood die Fallstrecke bestimmt. Zwar ist die Tischhöhe deutlich zu niedrig, als dass das Instrument ganz ohne Säule funktionieren könnte, dennoch könnte das Ziffernblatt die Skala an dieser Säule ersetzt haben. Diese Konstruktion visualisiert deutlich anschaulicher den Zusammenhang zwischen Fallzeit und Fallstrecke. Atwood stimmte seine Skala so ab, dass die Fallstrecke einer ganzzahligen Sekundenzahl entsprach – ein Ziffernblatt macht diesen Zusammenhang unmittelbar intuitiv, was für ein Demonstrationsobjekt ein wichtiges Kriterium ist. Allerdings bedeutet eine solche Abstimmung auch eine Limitierung der möglichen Gewichte. Eine vertikale Skala an der Säule lässt sich – je

nach Gewichten – austauschen und anpassen, das Ziffernblatt hingegen ist fixiert und erlaubt nur für sehr spezifische Gewichtskonstellationen eine Kalibration auf volle Sekunden.

Durch eine kurze Abschätzung fällt auf, dass die Größenordnungen der Fallstrecke und Bewegung auf dem Ziffernblatt nicht übereinzustimmen scheinen. Nimmt man einen Raddurchmesser von etwa 20cm an¹, so entspricht eine Umdrehung des Rades – und damit eine Bewegung des Zeigers um 2 Minutenintervalle – einer Fallstrecke von etwa 60cm. Die von (Atwood 1784: 308) angegebene Fallhöhe von 64 Zoll, i.e. ca. 1,62m, entspricht somit 2-3 Umdrehungen des Rades bzw. etwa 5-6 Minutenintervallen. Der Zeiger wird sich also kaum jemals aus den ersten fünf Minuten hinausbewegen. Anders herum wären für eine vollständige Umdrehung des Zeigers 30 Umdrehungen und damit eine Strecke von 18 Metern nötig. Eine solche Strecke wäre für eine Atwoodsche Fallmaschine nicht sinnvoll, da der Grundgedanke derselben ja gerade war, zu lange Fallstrecken zu vermeiden. Scheinbar wird nur ein Bruchteil des Messintervalls ausgenutzt.

Diese Überlegungen machen klar, dass das Ziffernblatt kaum als Ersatz für die Skala gedacht gewesen sein kann, da eine solche Kalibration sehr ineffizient wäre. Eine denkbare Erklärung, die an die oben genannten Gedanken der Anschaulichkeit anknüpft, wäre eine Wahl der Gewichte, bei der die Bewegung des Zeigers entlang der Uhrminuten genau einer Sekundenanzeige entspricht. An dieser Stelle wäre es interessant zu untersuchen, für welche Gewichte dies gegeben ist und ob dadurch sinnvolle Versuchsanordnungen beschrieben werden. Doch selbst für eine grobe Abschätzung wären eine genaue Vermessung der Maschine sowie eine Bestimmung des Trägheitsmomentes von Achse und Rad notwendig.

Zudem würde eine Verwendung des Ziffernblattes als Skalenersatz ein Ablesen oben auf der Säule notwendig machen, was wenig praktikabel ist. Insgesamt scheinen einige Elemente wie die Hebel oder ein möglicher Auslösemechanismus (s.u.) nur schwierig bedienbar gewesen zu sein, während das Instrument für Fallexperimente auf einer Säule stand. Vermutlich dienten diese Elemente also zu Zwecken, die eine Einstellung vor Experimentbeginn erlaubten und bei denen das Instrument bereits fertig eingestellt auf die Säule gestellt wurde. Alternativ könnte die Fallmaschine noch einen anderen Zweck gehabt haben, der keine Säule benötigte (vgl. Einordnung und Spekulation).

Neben den beiden größeren Pfosten weist das Objekt weitere Elemente auf, die in Atwoods Beschreibung nicht vorhanden sind und deren Zweck bei unabhängiger Betrachtung unklar ist: Der kleine Pfosten könnte Teil einer Auslösevorrichtung gewesen sein, zu der auch der darüber befindliche Zylinder gehörte. Das Loch könnte möglicherweise zum Ausgleich der trotz Friktionsrollen noch vorhandenen Reibungsverluste gedient haben, indem ein geringes Gewicht an einem um die Achse gewickelten Faden langsam abrollt und so eine Gegenkraft zur Reibung ausübt. Allerdings müsste dieses Gewicht unwahrscheinlich gering gewesen sein, um genau der Reibung zu entsprechen. All das sind jedoch Spekulationen, für die es nur wenig Anhaltspunkte gibt. Der Zweck der Haken oberhalb der Achse und der Einkerbungen in der Aussparung bleibt vollständig unklar.

¹ Da es nur um Größenordnungen geht und ohnehin keine genaueren Maße bekannt sind, wird hier der Einfachheit halber mit $\pi \approx 3$ gerechnet.

Geschichte des Objektes - Entstehung

Die Gravur am Fuß des Räderwerks gibt über Hersteller und Entstehungsjahr explizit Auskunft: Die Fallmaschine wurde 1795 von Johann Anton Wisenpaintner in Eichstätt hergestellt. Hersteller und Zeitrahmen werden durch andere Instrumente Wisenpaintners gestützt (vgl. z.B. (Sichau 2006: 65-66)), die in einen ähnlichen Zeitraum fallen. Darüber hinaus Informationen zu finden gestaltet sich allerdings deutlich schwieriger. Wisenpaintner selbst wird nur in wenigen Quellen erwähnt. Die Inventarseite der Gründungssammlung des Deutschen Museums schreibt über ihn

Johann Wisenpaintner (Lebensdaten unbekannt), der auch als "Wiesenpaintner" auftaucht, war wohl ein Sohn von Georg Ignatius Wisnpaintner (1718-1790), der in Eichstätt als Hofuhrmacher wirkte und für den der Bau von Präzisionspendeluhrn gemeinsam mit seinen Söhnen nachgewiesen ist. (Gründungssammlung Deutsches Museum)

Deutlich bekannter ist Georg Ignatius Wiesenpaintner (der auch in anderen Schreibweisen erwähnt wird). Die Lebensdaten des Uhrmachermeisters finden sich ebenso in anderen Quellen (vgl. unten), und er ist bekannt dafür, die erste Präzisionspendeluhr in Deutschland gebaut zu haben. Eine Stützung der Aussage, dass es sich bei Johann Anton Wisenpaintner um seinen Sohn handelt, findet sich in einer Meldung des Donaukuriers über den Verkauf des Hauses in dem er einst lebte:

Der Uhrmacher Wiesenpaintner wurde 1718 in Hädersbach in Niederbayern geboren und heiratete 1748 in Eichstätt Maria Magdalena Franziska Ploninger aus Stadtamhof. Zwei ihrer sechs Kinder wurden ebenfalls Uhrmacher. [...] Der Uhrmacher starb 1790.

Sein Sohn Johann Anton Thomas wurde Hofuhrmacher in Eichstätt. Er bezeichnete sich als "Kunstuhrmacher und Hersteller physikalischer Geräte". Da er nicht verheiratet war, wurde nach seinem Tod 1813 seine Habe versteigert. (Ettle 2003)

Diese Informationen sind zwar nicht wissenschaftlich gesichert, decken sich jedoch zu vielen Teilen mit anderen Quellen: So stimmen die Lebensdaten Georg Ignatius Wisnpaintners mit den in andere Quellen genannten überein und auch von zwei Söhnen, mit denen er Uhren baute, ist die Rede (vgl. z.B. Gründungssammlung Deutsches Museum, Chloupek 2008 und Ermert 2015). In zwei Zeitungen von Beginn 1814 finden sich Ankündigen der genannten Versteigerungen (Königlich-Baierisches Intelligenzblatt 1814, Augsburgische Ordinari Postzeitung 1814).

Gleichzeitig wird Johann Anton Wisenpaintner in einigen Quellen als „junger Mechaniker aus Wien“ bezeichnet: „Nach dem Abgang von Caligari verschrieb er sich einen jungen Mechaniker aus Wien Anton Wiesenpaintner, der sich mit Brander und Höschel messen konnte (Heinrich 1819: 37)“ heißt es in einer Biographie des Benediktinermönches Coelestin Steiglehner. Auch (Münchener allgemeine Literatur-Zeitung 1819) spricht von Wien, beruft sich jedoch vermutlich auf Heinrich, ebenso wie (Schaff 1912: 217), welcher die Biographie explizit zitiert. In jedem Fall ist nicht auszuschließen, dass Wisenpaintner einige Jahre in Wien verbracht hat. 1781 wurde Steiglehner auf die Professur für Physik, Astronomie und Mathematik in Ingolstadt berufen, wo er sich des „sehr verwahrloste[n] und ohne brauchbare Maschinen vorgefundene[n] (Münchener allgemeine Literatur-Zeitung 1819)“ mathematisch-physikalischen Kabinetts annahm (Heinrich 1819: 36). Der erwähnte Mechaniker Wendelin Caligari begleitete Steiglehner als Mechaniker von St. Emmeram in Regensburg nach Ingolstadt. Dort wurde er von Steiglehner unterhalten, um sich um

das Kabinett zu kümmern (Heinrich 1819: 36). Wie lange genau Caligari in Ingolstadt blieb schreibt Heinrich nicht, doch es heißt, Steiglehner „unterhielt ihn großmütig ein volles Jahr (Heinrich 1819: 36)“. Es ist also anzunehmen, dass Wisenpaintner frühestens 1782 nach Ingolstadt wechselte, spätestens jedoch 1784, da (Schaff 1912: 217) angibt, dass Steiglehner in diesem Jahr ein Budget von 390 Gulden zum Unterhalt Wisenpaintners bewilligt wurden. Zudem beantragte er im Oktober desselben Jahres Hofschutz für Wisenpaintner, der Juni 1785 bewilligt wurde (Schaff 1912: 217). Zu diesem Zeitpunkt arbeitete dieser also sicher noch für Steiglehner. 1791 verließ Steiglehner die Universität und ging zurück nach St. Emmeram, da er zum Fürstabt gewählt wurde (Heinrich 1819: 56). Über Wisenpaintners Anstellung ist nichts Weiteres bekannt.

Mit einem Baudatum von 1795 liegt die hier untersuchte Fallmaschine außerhalb des Zeitraumes, in dem Steiglehner in Ingolstadt lehrte. Interessant ist jedoch, dass sich im Depot des Deutschen Museums eine weitere Fallmaschine von Wisenpaintner aus dem Jahr 1785 befindet, die große Ähnlichkeit zu Objekt 775 aufweist (Hagmann 2018). Hervorzuheben ist besonders, dass auch dieses Instrument ein Ziffernblatt aufweist, das die Anzahl der Umdrehungen des Rades misst. Dieses Design ist also schon einige Zeit vor 1795 entstanden. Anders als bei dem hier betrachteten Objekt wirkt die Fallmaschine von 1785 deutlich weniger edel. Die Tischplatte und die Pfosten sind aus Holz, Haken und Plättchen oben an den Räderwerken fehlen. Die Maschine besitzt keine Hebel, stattdessen befindet sich oben auf dem entsprechenden Pfosten ein Holzquader mit einem dünnen Metallstab, der den Messingzylinder berührt. Durch das eine Räderwerk und den kleinen Pfosten verläuft eine Stange, die an der Außenseite der Fallmaschine in eine Schraube mündet. Das andere Ende der Stange berührt direkt die Stelle des Rades, an der sich bei der Fallmaschine von 1795 die punktförmige Markierung befindet. Vermutlich handelt es sich dabei um einen Auslösemechanismus. Bemerkenswert ist, dass die Fallmaschine von 1785 nur ein Jahr nach Atwoods Veröffentlichung entstanden ist². Eine Untersuchung, wie die Idee zu Wisenpaintner gelangte, könnte interessant sein.

Ob Wisenpaintner die Fallmaschine von 1785 für Steiglehner anfertigte, ist nicht eindeutig: In (Schaff 1912: 217) heißt es, Wisenpaintner habe nebenbei externe Aufträge aus Eichstätt und Ingolstadt angenommen³. Da die beiden Orte nur knapp 25km auseinanderliegen, ist auch die Angabe von Eichstätt als Entstehungsort in dieser Hinsicht wenig aussagekräftig. Sollte jedoch ein Auftrag Steiglehners bestanden haben, stellt sich die Frage nach dessen Beteiligung. Heinrich schreibt

Allein unter Steiglehners Leitung war es leicht, physikalische Maschinen zu bauen. Er war selbst praktischer Mechaniker, und kannte den Zweck und den Geist jedes Instrumentes, machte im Fall der Noth Modelle, und stets Handzeichnungen, ahmte auch nie die aus Büchern bekannten Maschinen sklavisch nach. Wäre es in der Mechanik wie im Kunstfache gebräuchlich, dem fecit auch das invenit beizusetzen, so würde sein Name in unsern physikalischen Kabinetten gar häufig auf den Maschinen gelesen werden. (Heinrich 1819: 37-38)

Natürlich sind diese Angaben mit Vorsicht zu behandeln, da Heinrich auch an anderen Stellen mit Lob an Steiglehner nicht spart. Zusätzliche Quellen wären für eine Kontextualisierung hilfreich. Trotzdem ist eine Beteiligung Steiglehners an dem Design

² Ein Übertragungsfehler der Gravur ist allerdings nicht vollständig auszuschließen, vgl. (Hagmann 2018).

³ Diese Notiz wird jedoch mit der Tätigkeit als Uhrmacher in Bezug gesetzt. Die Anzahl an möglichen Kunden für eine Fallmaschine dürfte in jedem Fall sehr eingegrenzt sein.

der Fallmaschine von 1785 und damit auch einigen Besonderheiten des in dieser Arbeit untersuchten Objektes nicht auszuschließen.

Was die Entstehung der Fallmaschine von 1795 angeht, gibt es noch weniger klare Hinweise. Zu diesem Zeitpunkt befand sich Steiglehner im Kloster St. Emmeram Regensburg. Dort sammelte er weiter physikalische Instrumente (Heinrich 1819: 63), und es ist nicht auszuschließen, dass eine weitere Kooperation mit Wisenpaintner bestand. Da die Sammlung aus St. Emmeram 1810 im Rahmen der Säkularisierung dem Bayerischen Staat und damit der Bayerischen Akademie der Wissenschaften übereignet wurde, könnte das Instrument auf diesem Weg an die Akademie gelangt sein. Wahrscheinlicher ist allerdings, dass Wisenpaintner die Fallmaschine direkt für die Akademie oder für die Universität anfertigte. In (Sichau 2006: 65-66) heißt es, Wisenpaintner habe Demonstrationsapparate „unter anderem für die Bayerische Akademie der Wissenschaften bzw. die Universität“ hergestellt.

Geschichte des Objektes – Bayrische Akademie und Deutsches Museum

Über die Verwendung und Geschichte der Fallmaschine an der Akademie ist nichts bekannt. Erst als die Akademie 1903 ihre Sammlung dem Deutschen Museum stiftete und die Fallmaschine mit etwa 1000 anderen Objekten in die Gründungssammlung des Deutschen Museums übergang, treten ihre Spuren wieder an die Oberfläche. In einem Ausstellungsführer der ersten Physikausstellung des Deutschen Museums im Jahr 1906 ist eine Fallmaschine Wisenpaintners erwähnt (Deutsches Museum 1907). Da die Fallmaschine von 1785 bei ihrem Eingang in die Sammlung 1905 als „Friktrionsräderwerk“ katalogisiert wurde (Hagmann 2018), ist sehr wahrscheinlich, dass es sich bei dem ausgestellten Stück um das hier behandelte Objekt handelt.

Seitdem war das Objekt Teil mehrerer Ausstellungen und ist es auch heute. Die verwendete Begleittafel, die wenig weitere Informationen liefert, wurde im Jahr 1970 erstellt. Ein bemerkenswerter Zwischenfall ereignete sich 1984: Außerhalb der Öffnungszeiten verschaffte sich eine geistig verwirrte Person Zugang zur Physikausstellung und beschädigte mehrere Vitrinen einschließlich der darin befindlichen Objekte – darunter auch die Fallmaschine. Das Objekt wurde aus der Ausstellung genommen und restauriert. Laut Angaben im Restaurierungsbericht war die Tischplatte gebrochen sowie zwei der Beine abgebrochen und wurden geleimt. Die Fallmaschine wurde „zerlegt und mit Testbenzin gereinigt (Deutsches Museum 1984)“, verbogene Elemente (Räderwerk, Zapfen der Friktrionsrollen) und ein gebrochener Gewindeansatz eines Räderwerkes ersetzt. (Deutsches Museum 1984)

Dem Bericht beiliegende Fotografien zeigen das verbogene Instrument sowie die Kratzer, die es durch die Schläge und Glassplitter erhalten hat und die „mit Lacktupfer“ ausgebessert wurden (Hagmann 1984). Es liegt nahe zu vermuten, dass die tieferen Kratzer auf der Tischoberfläche durch diesen Zwischenfall entstanden sind und im Restaurierungsprozess nicht vollständig ausgebessert werden konnten. Sichtbar wird auf den Fotografien, dass das Objekt auch im zerkratzten Zustand grundsätzlich glänzend und poliert wirkt. Obgleich die Vermutung nahe liegt, dass das Objekt von 1795 poliert wurde (vgl. oben), spricht diese Tatsache dafür, dass dies bereits vor der Restaurierung 1984 geschehen sein muss. Eine mögliche Erklärung dafür wäre eine Restaurierung im Rahmen einer der früheren Ausstellungen zu einer Zeit, als es üblich war, Objekte zu polieren und für die Ausstellung möglichst neu wirken zu lassen.

Bei der Fallmaschine von 1785 hingegen zeigen sich deutliche Gebrauchsspuren, das Messing ist angelaufen. Da diese sich im Depot befindet und anzunehmen ist, dass

sie nie ausgestellt wurde, wurde sie in diesem Fall nicht poliert⁴. Leider sind jedoch aus dieser Zeit keine Restaurierungsprotokolle erhalten.

Einordnung und Spekulation

Die sehr detailreiche und repräsentative Ausführung bei gleichzeitig sehr exakter und feiner Justage sprechen für eine Verwendung der Fallmaschine als Demonstrationsobjekt: Das Instrument sollte repräsentativ wirken und ein Publikum beeindrucken, gleichzeitig jedoch so exakt wie möglich die wissenschaftliche Theorien bestätigen und möglichst akkurat sein, ohne Zweifel aufkommen zu lassen. Wissenschaftlicher und repräsentativer Nutzen sind nur schwer trennbar.

Ziffernblätter, die dem in der Fallmaschine verwendeten sehr ähnlich sind, finden sich auch in anderen Geräten Wisenpaintners, weshalb zu vermuten ist, dass es sich um ein in seiner Werkstatt mehrfach vorhandenes Standardbauteil handelt. Möglich wäre eine ähnliche Situation für den Tisch, da er nahezu identisch zu dem der Fallmaschine von 1785 ist. Das könnte auch die Einkerbungen im Loch erklären – möglicherweise wurden solche Tische für Tischuhren mit Pendeln verwendet. Allerdings ist das eher unwahrscheinlich, da diese Art von Gerät sehr teuer war und vermutlich nicht häufig genug hergestellt wurde, als dass eine Vorab-Produktion von Tischen mit so speziellen Aussparungen ansatzweise sinnvoll wäre.

Schwieriger als die Frage nach der Verwendung dieses speziellen Ziffernblattes ist die Frage, weshalb überhaupt ein Ziffernblatt verwendet wurde, da dieses eine Skala wie oben erwähnt nicht ersetzen kann. Eine oben bereits erwähnte Möglichkeit wäre die präzise Abstimmung auf Sekunden. Eine solche würde sich gut in das Bild eines Demonstrationsobjektes fügen: Die Bewegung eines „Sekundenzeigers“ als Maß für die Fallstrecke auf das Sekundenpendel abzustimmen ist eine eindrucksvollere Illustration der Akkuratheit der Gesetze als eine bloße Skala.

Eine andere, sehr spekulative Hypothese ergibt sich unter Berücksichtigung der Hebel und des halbhohen Pfostens. Bei (Lee 2016) findet sich eine Abbildung eines Objektes, das in dieser Hinsicht außergewöhnliche Ähnlichkeit zu der Fallmaschine aufweist. Dabei handelt es sich allerdings nicht um eine Atwoodsche Fallmaschine, sondern um ein Tribometer nach Desaguliers. Bei diesem zu Beginn des 18. Jahrhunderts entwickelten Instrument zur Untersuchung von Reibung liegt ähnlich wie bei der Atwood-Maschine eine Achse mit einem Rad auf Friktionsrollen auf. Im Gegensatz zu Atwood wird diese jedoch nicht durch Gewichte in Bewegung gesetzt, sondern durch eine Feder, die das Rad in Schwingungen versetzt. Die Anzahl der Schwingungen gibt Auskunft über die Dämpfung, die durch Reibung zustande kommt. Diese lässt sich mittels Hebeln, an denen Gewichte befestigt sind, hinzufügen und regulieren.

Zwar verfügt das Tribometer aus (Lee 2016) nur über einen Hebel, dennoch ähnelt dieser denen bei Wisenpaintners Gerät. Besonders auffällig ist jedoch die Befestigung der Feder: Diese ist oben an der Achse montiert, unten an einem Pfosten, der dem des hier untersuchten Instrumentes extrem ähnelt. Die Befestigung der Feder am Pfosten erfolgt über genauso eine Rille, wie sich auch bei der Fallmaschine findet. Davon ausgehend wäre es möglich, dass auch an der Fallmaschine eine solche Feder

⁴ Diese Argumentation lässt sich auch in die andere Richtung ziehen: Die mangelnde Politur ist ein Hinweis, dass das Objekt von 1785 nie ausgestellt war und es sich damit bei der 1906 ausgestellten Fallmaschine um das hier untersuchte Instrument handelt.

vorhanden war, die unten an der Rille des Pfostens und oben mittels der Schraube am Messingzylinder der Achse befestigt wurde.

Unterstützt wird diese Überlegung durch die Tatsache, dass dem Restaurationsbericht von 1984 Fotografien zweier Tribometer aus dem Bayerischen Nationalmuseum beilagen. Eines davon ist aufgrund der Feder deutlich als solches zu erkennen; das andere hingegen besitzt keine Feder. Da jedoch keine Aussparungen in der Tischplatte für Gewichte zu finden sind und der Rand des Rades nicht eingekerbt ist, was ein Einführen eines Fadens unmöglich macht, kann es sich nicht um eine Fallmaschine handeln. Ein Zylinder auf der Achse sowie eine einseitig vom Räderwerk ausgehende Stange mit Schlitz deuten darauf hin, dass hier eine Feder befestigt werden konnte, die jedoch nicht beiliegt – es scheint also hier möglich zu sein, die Feder abzunehmen. Ähnlich könnte es sich mit der Fallmaschine verhalten. Allerdings schließen die Tischform und die Rille im Rad eine reine Verwendung als federgetriebenes Tribometer aus, da sie eindeutig auf die Verwendung eines Fadens oder Riemen hinweisen. Sollte das Instrument als Tribometer ähnlich dem von Desaguliers gedient haben, so tat es dies vermutlich zusätzlich und nicht anstelle der Funktion als Fallmaschine.

Nimmt man an, dass das Instrument zusätzlich zur Untersuchung von Reibungseffekten genutzt werden konnte, erklärt dies die Elemente, die auf einer Säule nur schwer nutzbar sind: Die Reibungsversuche ließen sich problemlos ohne Säule durchführen. Neben den Versuchen mit einer Feder nach Desaguliers gibt es weitere Möglichkeiten, wie mit dem vorhandenen Aufbau Reibungseffekte betrachtet werden könnten: Eine Verwendung ähnlich einem Muschenbroek-Tribometer, das bestimmt, wie viel Kraft nötig ist, um die Haftreibung zu überwinden und zwei über per über eine Rolle verlaufendem Faden verbundene Gewichte in Bewegung zu setzen, wäre nicht ausgeschlossen⁵.

Die Verwendung des Ziffernblattes zur Anzeige der Umdrehungen könnte möglicherweise eine weitere Art der Reibungsbestimmung ohne Feder erlauben: Anstelle von Schwingungen wird es möglich, die Umdrehungen des Rades in eine Richtung zu zählen. In diesem Fall würde die Kalibration des Zeigers Sinn ergeben: Ohne fallende Gewichte kann das Rad eine deutlich höhere Anzahl an Umdrehungen erlauben und den Messbereich ausnutzen. Notwendig wäre in diesem Fall ein Mechanismus, um das Gerät in Gang zu setzen, da bei Desaguliers Tribometer die Feder diesen Zweck erfüllt. Möglich wäre ein Gewicht, das an einem um die Achse gewickelten Faden hängt und langsam durch die Aussparung in der Tischplatte abrollt. Bei der Fallmaschine von 1785 fällt auf, dass die Tischplatte in der Nähe des Loches besonders viele Kratzer aufweist, was für ein durch das Loch fallendes Gewicht sprechen könnte. Allerdings verfügt diese Fallmaschine über keine Hebel; Reibung könnte höchstens über den kleinen Pin auf dem Pfosten hinzugefügt werden, was bei einer Befestigung der Feder am Messingzylinder wenig Sinn ergibt. Eine Nutzung als Tribometer liegt hier deutlich weniger nahe.

Eine solche Multifunktionalität könnte der Verwendung als Demonstrationsobjekt dienlich sein: So könnten die Effekte von Reibung nicht nur wie bei einem Tribometer für sich veranschaulicht werden, sondern direkt auch deren Auswirkungen auf andere Versuche wie die von Atwood vorgeschlagenen. In jedem Fall illustrieren diese möglichen Untersuchungsmethoden der Reibung die Überlegungen, die bei (Atwood 1784: 291-294) so prominent aufgeführt werden: Sowohl Reibungsverluste, als auch

⁵ Eine solche „Frictionsmaschine“ wird von (Heinrich 1918) erwähnt, so dass diese Funktionsweise Steiglehner wie vermutlich Wisenpaintner bekannt gewesen sein muss.

die Haftreibung, die ein in Bewegung setzen verhindert, können direkt veranschaulicht werden. In dieser Hinsicht scheint die Fallmaschine weniger physikalische Gesetze, sondern vielmehr den Prozess des Experimentierens selbst zu untersuchen: Sie illustriert nicht nur die physikalischen Fallgesetze sondern gleichzeitig die Effekte, die bei deren Messung das Ergebnis verfälschen und fügt sich ein in das Bild einer Wissenschaft, die auf die Unvollkommenheit des Experimentes und nicht der Theorie fokussiert ist.

Offene Fragen und Ausblick

Diese Überlegungen sind jedoch hoch spekulativ und die Frage, nach dem wirklichen Zweck der involvierten Elemente, wie auch des Instrumentes selbst das Eigenheiten verschiedener physikalischer Maschinen aufweist, bleibt ungeklärt. Eine Untersuchung des Trägheitsmomentes des Rades und möglicher Gewichtskonstellationen könnte Klarheit verschaffen, ob eine Kalibration des Ziffernblattes auf Sekunden eine sinnvolle Erklärung ist oder dieses einen anderen Zweck gehabt haben muss.

Ebenso wenig klar ist, was die Bewegung ausgelöst hat. Einen Auslösemechanismus wie bei der Fallmaschine von 1785 findet sich nicht, und für eine simple Lösung wie die Atwoods ist das Instrument deutlich zu durchdacht. Auch eine Verbindung des kleinen Pfostens zum Metallzylinder mittels eines durchschneidbaren Fadens wäre deutlich zu unelegant, insbesondere wenn man bedenkt, dass das Ganze in 2-3 Metern Höhe geschehen musste. Dieses Argument spricht auch gegen die Verwendung der Hebel als Auslösemechanismus, da diese noch auf der Säule betätigt werden müssten. Auch dass es zwei Hebel sind spricht gegen die Funktion als Auslöser.

Offen ist auch die Frage nach der Öffnung samt Einkerbungen in der Tischplatte sowie den Haken (2d) oberhalb der Achse, zu deren Funktion nicht einmal Spekulationen vorliegen.

Eine tiefer gehende Untersuchung zu Wisenpaintner sowie zur Funktion der Fallmaschine an der Akademie könnte weiteren Aufschluss über den physikalischen wie gesellschaftlichen Zweck des Instrumentes geben. So würde die Information, ob die Maschine in Vorlesungen genutzt wurde und wenn ja in welchen, viel über die intendierten Lehrinhalte der Demonstration sagen. Auch eine Beschäftigung mit der Fallmaschine von 1785 könnte aufschlussreich sein. Ein Ansatzpunkt hierfür wäre die Beziehung Wisenpaintners zu Steiglehner und dessen Zeit an der Universität Ingolstadt. Ebenso interessant wäre es zu sehen, ob andere Fallmaschinen oder Tribometer existieren, die diese Funktionen vereinen, und ob mit Wisenpaintner oder Steiglehner in Verbindung stehende Instrumente zu finden sind, die verschiedene Zwecke vereinen. Da sehr wenig Informationen vorliegen, könnte eine breitere und tiefer gehende Recherche eindeutige Aussagen erlauben. Was im Rahmen dieser Arbeit liegt, sind Ansätze und Spekulationen.

Literatur

- Atwood, George 1784. *A Treatise on the Rectilinear Motion and Rotation of Bodies with a Description of Original Experiments Relative to the Subject*, Cambridge: Trinity College.
- Augsburgische Ordinari Postzeitung von Staats-, gelehrten, historisch- u. ökonomischen Neuigkeiten 1814.
- Chloupek, Eva 2008. *In der Tradition der alten Handwerksmeister*. Donaukurier Eichstätt. URL: <https://www.donaukurier.de/lokales/eichstaett/In-der-Tradition-der-alten-Handwerksmeister;art575,1820222> (14.07.2018).
- Ermert, Jürgen 2015. *Uhrmacher: Wisenpaintner, Georg Igantius*. Uhrmacherverzeichnis. URL: <http://www.uhrmacherverzeichnis.de/> (14.07.2018).
- Ettle, Josef 2003. *Werkstätte berühmter Uhrmacher*. Donaukurier Eichstätt. URL: <https://www.donaukurier.de/lokales/eichstaett/5WEST30-Werkstaette-beruehmter-Uhrmacher;art575,565412> (14.07.2018).
- Füssel, Marian 2017. Aufklärung, In: Marianne Sommer, Staffan Müller-Wille und Carsten Reinhardt (Hg.): *Handbuch Wissenschaftsgeschichte*. Stuttgart: J.B. Metzler Verlag: 278–286.
- Gründungssammlung Deutsches Museum. *Atwoodsche Fallmaschine, Inventarnummer 775*. URL: <https://digital.deutsches-museum.de/projekte/gruendungssammlung/detail/775/> (14.07.2018).
- Hagmann, Johannes-Geert 2018. Private Kommunikation.
- Hanson, Norwood Russell 1958. *Patterns of Discovery*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Heinrich, Placidus 1819. *Kurze Lebensgeschichte des letzten Fürst-Abtes zu St. Emmeram in Regensburg Cölestin Steiglehner*, Regensburg: Daisenberger.
- Königlich-Baierisches Intelligenzblatt für den Ober-Donaukreis, Eichstätt 1814.
- Lee, Virginia 2016. *Seven Interesting Exhibition Items at the Museo Galileo*. URL: <http://qcvoices.qwriting.qc.cuny.edu/virginialee105/2016/03/08/seven-interestingexhibition-items-at-the-museo-galileo/> (14.07.2018).
- Münchener allgemeine Literatur-Zeitung 1819.
- Deutsches Museum 1984. Restaurierungsbericht: Fallmaschine von Wisenpaintner, Reg. Nr. 775.
- Deutsches Museum 2013 [1907]. *Führer durch die Sammlungen*, Springer-Verlag.
- Schaff, Josef 1912. *Geschichte der Physik an der Universität Ingolstadt*, Dissertation an der Friedrich-Alexanders-Universität Erlangen.
- Schaffer, Simon 1994. Machine Philosophy: Demonstration Devices in Georgian Mechanics. In: Albert Van Helden und Thomas L. Hankins: *Osiris Vol. 9, Instruments*. Chicago: The University of Chicago Press: 157–182.
- Schimank, Hans. 1969. Die Wandlung des Begriffs Physik während der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts. In: Karl-Heinz Manegold (Hg.): *Wissenschaft, Wirtschaft und Technik: Studien zur Geschichte*. München: Verlag F. Bruckmann KG: 454–496.

- Sichau, Christian. 2006. Johann Anton Wisenpaintner – Mechanikus in Eichstätt. In: Josef Kirmeyer et al. (Hg.). *Bayerns Weg in die Moderne. Bayrisches Handwerk 1806-2006*. Augsburg: Haus der Bayrischen Geschichte: 65–66.
- Teichmann, Jürgen 1992. Die Mythen der Physiker: Weltbau und Experiment im 18. Jahrhundert – Von der mechanischen Astronomie zur chemischen Elektrizität. In: Land Hessen, Ministerium für Wissenschaft und Kunst, Hessische Kulturstiftung, Stadt Darmstadt und Lichtenberg-Gesellschaft e. V. (Hg.): *Georg Christoph Lichtenberg 1742-1799 - Wagnis der Aufklärung* München: Carl Hanser Verlag: 312–321.