

# Physik Anekdoten (20)

## Leonardo daVinci und die Uhren

Fritz Heiniger, Gärbigässli 2, CH-3812 Wilderswil

### Zusammenfassung

Der vielseitig interessierte Renaissance-Künstler Leonardo daVinci<sup>1</sup> hat sich auch mit Uhren und Zeitmessung auseinandergesetzt<sup>2</sup>. Im Codex Madrid I sind mindestens 60 Skizzen, Zeichnungen und Textstellen enthalten, die sich direkt oder indirekt auf den Bau von Uhren beziehen. Leonardo charakterisiert dabei nicht nur den Stand des Wissens seiner Zeit, sondern erfindet auch eigene Mechanismen. Seine vielfältigen Beschäftigungen mit mechanischen Elementen und sein fundamentales Verständnis für deren Funktion, führen ihn nach einigen Erfahrungen auch zum Entwurf von mittels Schwerependel geregelten Uhren. Ob er solche Uhren wirklich gebaut oder durch Handwerker hat ausführen lassen, ist nicht bekannt. Auf jeden Fall hat er aber sämtliche hierfür erforderlichen Bauteile gekannt, teilweise selbst weiterentwickelt und ist so als Visionär auch im Bereich der Zeitmessung seiner Epoche vorausgeeilt<sup>3</sup>. Der eigentliche Durchbruch des Prinzips der Pendeluhr erfolgt allerdings erst mit den Arbeiten des Niederländers Christian Huygens über 150 Jahre später.

### 1. Einleitung

Älteste mechanische Uhren (sog. Räder- oder Waaguhren) sind seit dem 13. Jahrhundert bekannt. Diese Uhren funktionieren nach folgendem Prinzip (siehe Fig. 1): Die Waag oder das Foliot<sup>4</sup> besteht aus einem auf einer Spindel waagrecht gelagerten Waagbalken, dessen Schwingungsdauer durch verschiebbare Gewichte verändert werden kann. An der Spindel sind zwei Lappen aus Metall angebracht, die abwechselnd in die Zähne des von einem Uhrgewicht oder von einer gespannten Feder angetriebenen gezackten Kronrads eingreifen. Einerseits erteilt das Kronrad der Waag kontinuierlich Impulse, so dass diese in ständiger Schwingung gehalten wird; andererseits wird das Kronrad nach jeder halben Schwingung der Waag durch einen der beiden Lappen an der Spindel gehemmt (- daher die Bezeichnung "Hemmung"). Im Prinzip würde die Ganggeschwindigkeit der Uhr durch das Drehen des Kronrads bestimmt. Diese Drehung wird aber durch die Hemmung und den Waagmechanismus unterbrochen, so dass sich die Drehung des Kronrads verlangsamt und zugleich die Zeit in regelmässige Intervalle unterteilt wird, deren Summe schliesslich über ein Räderwerk mittels Zeiger der Zeitangabe dient.

Historisch gesehen hat erst die Erfindung der Hemmung mit Waag (oder Foliot) die mechanische Uhr möglich gemacht. Die anderen Bauteile, wie Gewichtsantrieb, Zahnräder und drehende Zeiger, sind schon früher bekannt gewesen. Wer im 13. Jahrhundert diese Bauweise der Uhren mit Waag erfunden hat, ist nicht bekannt. Als Variante zur Balkenwaage hat man oft auch ein hin- und herschwingendes Rad verwendet, welches als "Unrast"<sup>5</sup> bezeichnet wird.

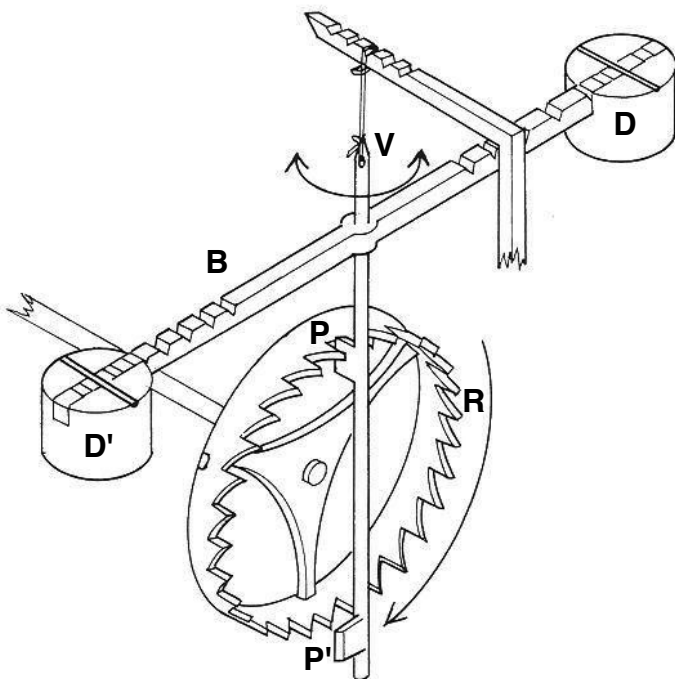


Fig. 1: Räderuhr mit Kronrad R, Spindel V mit aufgesetzten Metalllappen P und P' sowie der Waag B mit verschiebbaren Gewichten D und D'.

© Ian D. Fowler, Uhrenhanse (modifiziert).

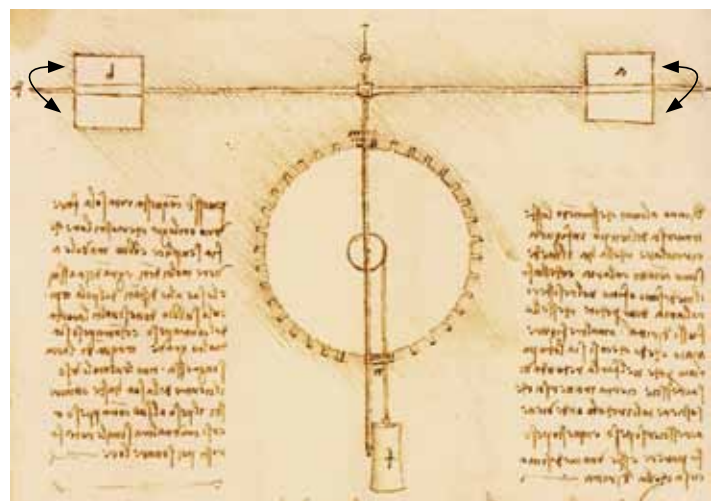


Fig. 2: Leonardo daVinci: Beschreibung einer 1-Räderuhr mit Gewichtsantrieb (f), Spindel mit aufgesetzten Metallteilen (m und n) sowie dem Foliot (d), mit zwei Flügeln (a) und (b). Diese Zeichnung illustriert den Kenntnisstand Ende des 15. Jahrhunderts (s. Ref. 3).

1 F. Zöllner, Leonardo daVinci 1452-1619, Sämtliche Gemälde und Zeichnungen, Taschen, Köln, 2007.

2 Für die Zeit vor der Entdeckung der Madrider Codices ist dieses Thema behandelt worden durch C. Pedretti, Studi Vinciani, Librairie E. Droz, Genève 1957, S. 99 - 108

3 S. dazu auch S. Bedini, L. Reti in "The unknown Leonardo", McGrawHill, N. Y. 1974, S. 240

4 <http://de.wikipedia.org/wiki/Foliot>

5 Es ist zu beachten, dass die Unrast im Gegensatz zur sogenannten "Unruhe" nicht eigenschwingfähig ist.

Eine Uhr mit Foliot zeichnet und beschreibt Leonardo da Vinci detailliert in Codex Madrid I, foglio 115 verso, und charakterisiert dadurch zugleich den Wissensstand seiner Zeit.

## 2. Leonardos Verbesserungen

Leonardos Beschäftigung mit Uhren manifestiert sich vor allem in der Handschrift des Codex Madrid I, welche als seine grundsätzlich der Mechanik verpflichtete Lehrschrift gelten kann <sup>6,7</sup>. Mindestens 60 Skizzen und Zeichnungen, und beinahe ebensoviele Textstellen beziehen sich direkt oder indirekt auf den Bau von Uhren, sowie auf die Konstruktion und Funktionsweise einzelner Bauteile <sup>8</sup>.

Der kreative Geist von Leonardo bleibt aber nicht bei der Beschreibung der Uhrmacherkunst seiner Epoche stehen. Er denkt sich schon bald eigene, modifizierte Uhrwerke aus. Eine erste Variante scheint der recht komplexe Entwurf einer Räderuhr inklusive Anzeige in Codex Madrid I, foglio 27 verso, darzustellen <sup>9</sup>. Ein weiteres, sehr interessantes Beispiel findet sich in Codex Madrid I, foglio 157 verso (siehe Fig. 3). Diese als Uhr mit Unrast konzipierte Konstruktion enthält verbesserte Elemente, so eine doppelte Untersetzung des Gewichtsantriebs über zwei Stufen, um die Dauer des Antriebs zu verlängern, und eine vertikal gelagerte Unrast (Flügelrad). Diese Uhr nach Leonardo wirkt sehr eigenständig und originell. Ein pfiffiger Mechanismus mit einem Ritzel und einer fest dran angebrachten sinusförmig gekerbten Rolle ersetzen die herkömmliche Hemmung. Über Ritzel und Spindel, der sich in der Kerbe wellenförmig bewegt, kann der Antrieb mit der Unrast wechselwir-

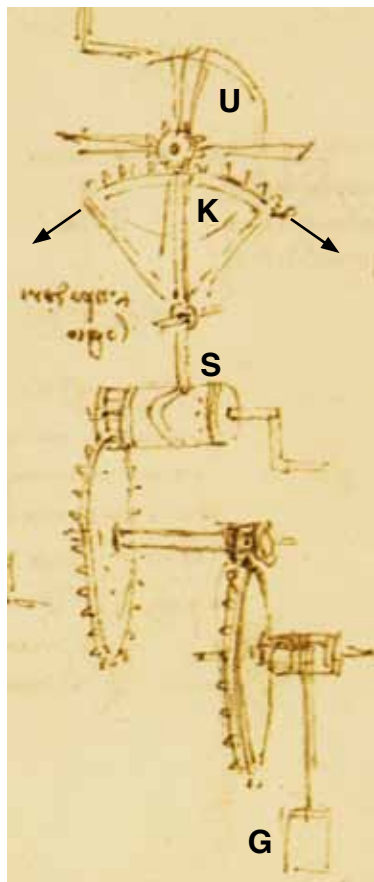


Fig. 3: Räderuhr mit Unrast (Flügelrad U) nach Leonardo da Vinci, angetrieben durch eine doppelt untergesetzte Gewichtskraft (G). Über ein Ritzel und eine fest damit verbundene, sinusförmig gekerbte Rolle bewegt sich das nur als Segment ausgebildete Kronrad (K). Die Funktion der Hemmung wird durch das Zusammenspiel von gekerbter Rolle und hin- und herwippendem Spindel (S) übernommen. Die Unrast (U) dreht sich wechselweise von links nach rechts und umgekehrt.

<sup>6</sup> Ladislao Reti, "The two unpublished Manuscripts of Leonardo da Vinci in the Biblioteca Nacional of Madrid" I, Burlington Magazine, No. 778, vol. 110 (Jan. 1968)

<sup>7</sup> F. Zöllner: Leonardo da Vinci 1452 – 1519, Künstler und Wissenschaftler, Taschen Köln, 2007

<sup>8</sup> Eine Liste dieser Textstellen, sowie deren Referenzierung zu anderen Handschriften Leonardos, befindet sich im Anhang.

<sup>9</sup> A. M. Brizio, Die Handschriften von Madrid, Unesco Kurier, Bern Hallwag 1974, Nr.10; S.12-13.

ken. Eine kleine, in Achsenrichtung der Rolle angebrachte Kurbel dient sowohl zum Aufziehen der Uhr, als auch zum Justieren. Sicher geht jedoch eine solche Konstruktion sehr ungenau, obwohl sie im Prinzip funktionsfähig ist. Dies wegen unkontrollierbarer Reibungskräfte in der Vorrichtung zur Hemmung nach Leonardo.

Das bedeutet: Trotz zwei potentieller Verbesserungen weist diese Räderuhr mit Unrast und Hemmung nach Leonardo erhebliche Unzulänglichkeiten auf, die Leonardo aber wohl schon bald erkannt oder gar durch praktische Versuche ermittelt hat. Die Unrast ist natürlich kein Zeitgeber, d.h. kein eigenständig schwingender Mechanismus, dessen Güte <sup>10</sup> oder Ganggenauigkeit etwas zur Gewährleistung der korrekten Zeitmessung beiträgt. Erst ein solches, heute selbstverständliches Element, macht eine Uhr zu einem echten Gerät der Zeitmessung (in modernen Uhren meist ein Schwingquarz).

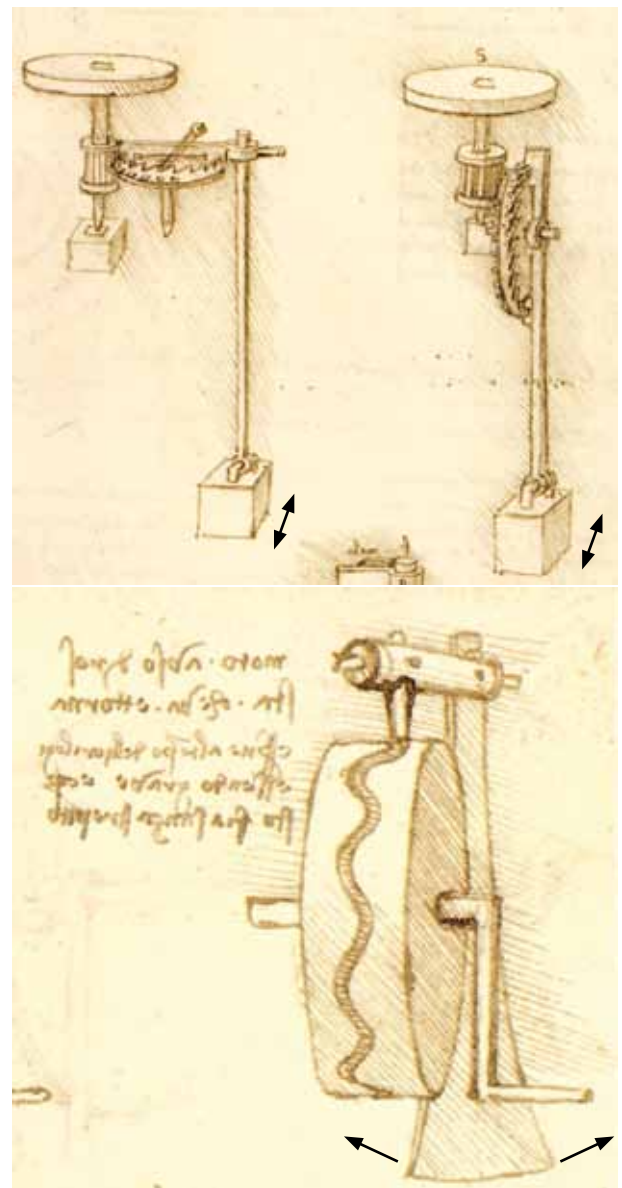


Fig. 4 a,b: Schwere-Pendel in Verbindung mit Hemmung und Kronrad, zur Regulierung von Räderuhren (Cod. Md I, f 63 v).

Fig. 4 c: Pendel als Ersatz der Unrast in Leonardos Uhr von Fig. 3. Leonardo selbst schreibt dazu: "Bewegung, die vermöge einer Schwere-Schwingung hin- und hergeht und als Hemmung der Uhren dient. Und das geschieht ohne Geräusch."

<sup>10</sup> Gerhard König: Die Uhr. Geschichte, Technik, Zeit. Koehler + Amelang, Berlin 1999

Aufgrund der in Leonardos Schriften verstreuten Notizen sowie der Tatsache, dass die Uhren für Leonardo ein ständiges Thema sind, kann vermutet werden, dass Leonardo mit grosser Intuition bald nach Besserem sucht.

Leonardo entwirft in Cod. Forster II, f 63 r eine weitere Räderuhr. Eine solche, von der Zeichnung Leonardos inspirierte "Räderuhr mit Pendel", kann heute sogar auf dem Uhrenmarkt käuflich erworben werden, stellt jedoch eine sehr weit gehende Interpretation der Skizze von Leonardo dar <sup>11</sup>.

Das Pendel als Zeitmesser zu verwenden, ist wohl nicht eine originale Idee von Leonardo selbst; denn schon frühere Generationen kennen handgehaltene Pendel <sup>12</sup> für die Messung von kurzzeitigen Ereignissen, so z. B. beim ballistischen Schiessen. Leonardo beschreibt ein solches Experiment

<sup>11</sup> <http://www.mostredileonardo.com>

<sup>12</sup> Seit dem Altertum als Perpendikel bekannt. (Perpendikel = lat. Bleilot; perpendikular = senkrecht)

zum Beispiel in Codex Madrid I, foglio 147 r. Daher ist es nicht verwunderlich, dass Leonardo bald auch ein Pendel in Betracht zieht, um die Hemmung am Kronrad einer Räderuhr zu regulieren. Zwei entsprechende Skizzen sind in Codex Madrid I, foglio 61 v enthalten (siehe Fig. 4 a,b); weitere Skizzen befinden sich im Codex Atlanticus, 397 r. Aber möglicherweise liegt gerade in dieser Kombination von zwei ansich bekannten Prinzipien, nämlich der Räderuhr und dem selbstschwingenden Perpendikel, die eigentliche kreative Leistung Leonardos.

Insbesondere wird aufgrund der vorangehenden Ausführungen auch die Bedeutung einer Skizze von Codex Madrid I, foglio 8 r, oben rechts (siehe Fig. 4 c), klar: Es handelt sich dabei offensichtlich um eine ähnliche Einrichtung, wie bei der entsprechende Anordnung in Fig. 3, aber hier mit Pendel. Denkbar ist, dass Leonardo damit versucht, die Unzulänglichkeiten seiner eigenen Erfindung zu beseitigen. Die Unrast in der Konstruktion mit Sinusrille soll durch ein Pendel ersetzt werden, welches über die Rille mit dem Rest des

#### Anhang: Textstellen aus Codex Madrid I & Konkordanzen

foglio	Anz. Zeichnungen	Anz. Texte	Kurze Beschreibung	Konkordanzen
4 r	1	1	Gekapselte Feder (von gleichbleibender Kraft) als Antrieb	
5 r	3	1	Zahnräder, Räder mit Sperre	CA 61 v
7 r	3	1	Hemmung; Zahnräder	
8 r	4	1	über Hemmungen	CA 216
11 r / v	22	6	Federn sowie Bauteile für Links- und Rechtsbewegung	CA 397 v
12 r	2	1	Antrieb mit Sperrklinke für Läutwerk einer Uhr	CA 399 v
13 r	9	6	Antrieb; Über - & Untersetzung mit Zahnrädern	CA 397 v
13 v	4	4	Funktionsprinzip Räderuhr; Übertragung durch Zahnräder; gekapselte Feder mit Rücklaufsperr	
14 r	6	2	Gekapselte Feder & Spannmechanismus inkl. Entkopplung	CA 10 r; CA 372 r
14 v	1	1	Vorrichtung für das Ziehen von Blattfedern	CA 397 v
15 v	2	1	Achsenlose Zahnräder	
16 r	1	1	Gekapselte Feder (von gleichbleibender Kraft) als Antrieb	
20 r	1	1	Rücklaufsperr & Klinke	
27 r	2	2	Gewichtsantrieb mit grosser Masse	
27 v	3	4	Beschreibung Funktionsmodell Räderuhr (es fehlen gewisse Bauteile)	
45 r	2	1	Gekapselte Feder (von gleichbleibender Kraft) als Antrieb	
61 r	3	1	Hemmung mit Schwerependel	
67 v	1	1	Gebogene Metallfeder	
70 r	3	3	Vorrichtung für Läutwerk mit Hammer	
79 v	2	2	3 gebogene Federelemente & deren Funktionsprinzipien	
80 v	1	3	Vorrichtung für Läutwerk	
85	8	2	Prinzipielle Funktionsweise von Spiralfedern inkl. gekapselte Federn	
115 v	4	4	Funktionsprinzip Uhr mit Waag; Spindel mit Lappen	
116 r	2	5	Prinzip der Kraftübertragung durch Zahnräder	
116 v	1	1	Antriebsrad mit Gewicht & Klinkensperre	
117 r	1	1	Antriebsrad mit Gewicht & Klinkensperre	
152 v		1	Gewichtsantrieb mit grosser Masse	
157 v	2	1	vollständige Uhr nach daVinci mit Unrast & Hemmung durch Sinuswelle	
160 r	1	1	Räderuhr mit Waagebalken & Pendel	Cod. Forster II

Uhrwerks wechselwirken kann; die Kurbel in Fig. 4 c hat dann denselben Zweck wie in der Konstruktion von Fig. 3.

Allerdings: Obwohl die theoretische Überlegung hinter der Verbesserung stimmt, dürfte der praktische Erfolg des Einbaus eines solchen Elements in die Uhr von Fig. 3 enttäuschend gewesen sein. Die Probleme einer Hemmung mit Reibung sind dadurch nicht beseitigt.

Leonardo ist denn auch bei diesem Ansatz nicht stehengeblieben. Überall verstreut durch seine heute noch erhaltenen Manuskripte finden sich die entscheidenden Elemente, die es zum definitiv erfolgreichen Bau einer Pendeluhr braucht. Dies wird klar, wenn man die Skizzen und Entwürfe von seiner Hand mit der Rekonstruktion eines Funktionsmodells der Pendeluhr, so wie sie sich Galileo Galilei vorgestellt hat, vergleicht (siehe Fig. 5).

Ein Funktionsmodell dieser sog. "Pendeluhr nach Galilei" befindet sich im Museo Galileo in Florenz, welches auch als virtuelles Museum besucht werden kann<sup>13</sup>. Von Galileos Sohn Vincenzo und von Vincenzo Viviani stammt die einzige zeitgenössische Handzeichnung, die daselbst gezeigt wird.

Über die eigentlichen Überlegungen Galileos zu den Pendeluhren scheint nicht viel in unsere Zeit gekommen zu sein. So empfinden denn viele Betrachter auf den ersten Blick die behauptete Erfindung der Pendeluhr durch Galileo Galilei – sozusagen "ex nihilo" – als suspekt. Die Pendeluhr hat doch der Niederländer Christian Huygens erfunden? Das ist immer noch in fast allen Köpfen, denn nachweislich hat Huygens als Erster ein Patent auf eine "Uhr mit Pendel" angemeldet.

### 3. Diskussion

Aufgrund den oben geschilderten Fakten wird jedoch klar: Die Uhr von Galilei ist nicht aus dem Nichts entstanden. Wie immer die Wege gewesen sind, die das Wissen über Uhren in den nächsten zwei Generationen mit Gelehrten wie Benedetti, Tartaglia, Fazio, Cardano sowie Buonamici, dem Lehrer Galileis, und schliesslich Galileo Galilei selbst genommen hat: In Italien ist vor und während des Seicento Entscheidendes zur Kunst der Zeitmessung geleistet und beigetragen worden.

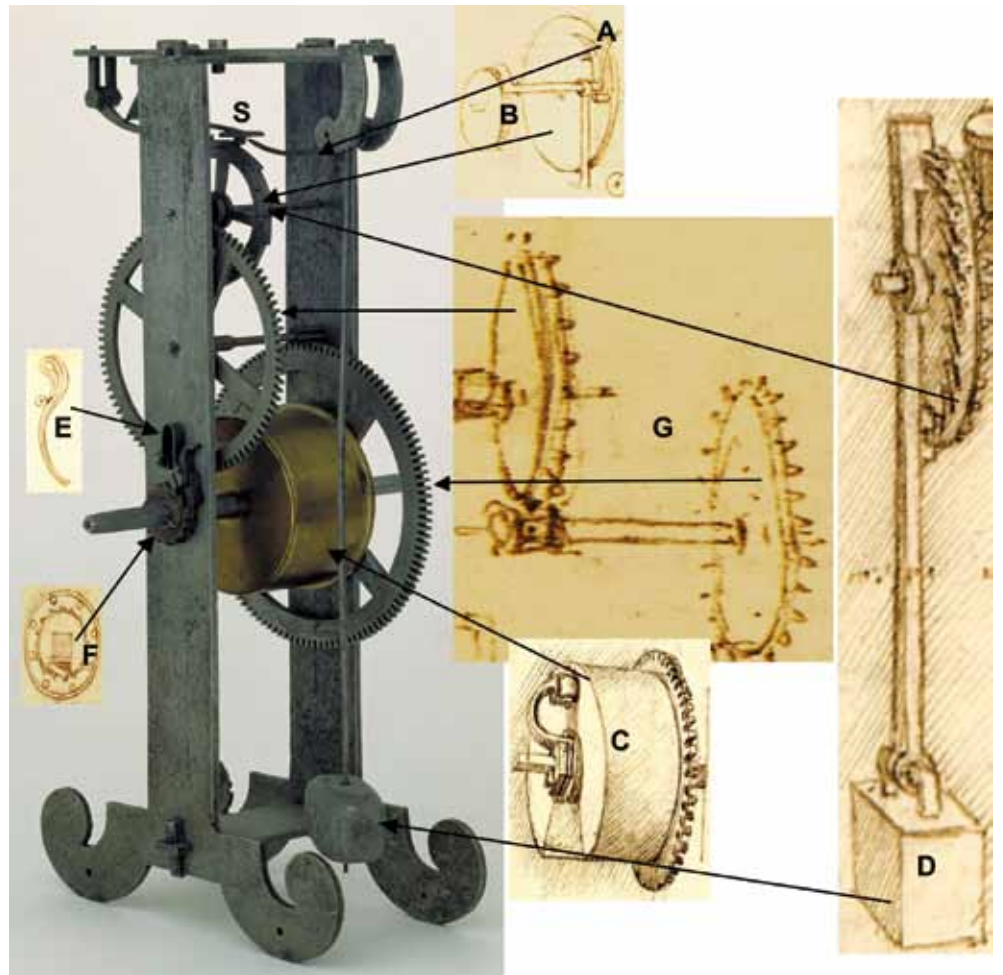


Fig. 5: Pendeluhr nach Galilei (Modell). Beim Bauteil A (Cod. Md. I f 8 v) handelt es sich um eine Konstruktion zur Hemmung. Die Sperrklinke am Rad B (Cod. Md. I f 18 v) entspricht der Sperrklinke S in Galileos Modell. Der Antrieb für das Modell erfolgt mit einer gekapselten Feder, wie sie Leonardo verschiedentlich gezeichnet hat. Die Spannfeder in der Kapsel C (Cod. Md. I f 13 v) kann nach dem Aufziehen nicht mehr zurückspulen, weil eine externe Sperre dies verhindert, und muss daher ihre Kraft an das nachgeschaltete Räderwerk abgeben. Die Rücklaufsperrre am Uhrenmodell ist durch die von einer Blattfeder wie E (Cod. Md. I f 79 v) ans Sperrrad gedrückte Klinke realisiert. Die Kraftübertragung mit doppelter Untersetzung wie G (Cod. Md. I 157 v) ist schon in der Konstruktion der Uhr von Fig. 3 verwendet worden. Und schliesslich dient das Pendel wie D (Cod. Md. I, f 61 v; hier seitenverkehrt wiedergegeben) als Regulierung des Uhrengangs.

Das schmälert nicht die grossen Verdienste von Huygens, denn eine neue Idee kann durchaus eine sehr lange Totzeit haben, bis dass ihr wahrer Wert erkannt wird. Denn erst die grundsätzlichen Abklärungen zur isochronen Zeitmessung von Christian Huygens, sowie dessen bahnbrechendes Buch "Horologium Oscillatorium", haben der Pendeluhr zum Durchbruch verholfen und so "die Welt verändert".

Dr. **Fritz Heiniger** ist Physiker (pensioniert) mit Spezialgebieten Optoelektronik, Laser und Nachtsicht. Nach Promotion und Assistenz an der TH Darmstadt, Deutschland, hat er von 1984 - 1999 für die Gruppe für Rüstungsdienste, Schweiz, als Gruppenchef Optronik und von 2000 - 2011 für die Abteilung Armeeplanung der Schweizer Armee als stellvertretender Bereichsleiter Masterplanung gearbeitet.

<sup>13</sup> <http://museogalileo.it/indice.html>