

## Unlängst entdeckt: Huygens' Längengraduhr mit perfekter Unruh "BMP2"



Abb. 1

Es handelt sich hier um die früheste bekannte Uhr zur Bestimmung des Längengrades und ihre historische und horologische Bedeutung läßt sich in den folgenden Punkten zusammenfassen:

- es handelt sich um die früheste noch existierende Längengraduhr, die wir kennen
- ihre Mechanik inspirierte Harrison und trug höchstwahrscheinlich zu seiner mit 20.000 Pfund dotierten Auszeichnung für die berühmte H4<sup>i</sup> durch das English Board of Longitude bei
- es handelt sich um die einzige noch erhaltene Längengraduhr von Huygens
- sie stellt den Höhepunkt von Huygens' schöpferischem Leben dar
- es ist die früheste noch erhaltene Uhr mit einer versuchsweisen reibungsarmen Hemmung
- es ist die früheste noch erhaltene Uhr mit Zeitgleichung
- es ist die früheste bekannte Uhr mit reibungsarmer Lagerung im Räderwerk (Rollenslager)
- es ist die früheste oder eine der frühesten bekannten europäischen Uhren mit konstanter Kraft<sup>ii</sup>

## EINLEITUNG

In der modernen Fachliteratur wird diese Uhr lediglich einmal kurz von John Leopold während seiner Rede beim Longitude Symposium in Harvard 1993 erwähnt: *“...im März 1695 baute Huygens eine bereits vorhandene Uhr (mit Zeitgleichung) mit der neuen Unruh um, aber Einzelheiten hierzu sind uns nicht bekannt. Tatsächlich ist dies das Letzte, was wir von Huygens in Bezug auf Uhren hören, denn er starb am 8. Juli 1695. Eine Beschreibung der neuen Uhr, die er kurz vor seinem Tod angekündigt hatte, wurde nie veröffentlicht.”*<sup>iii</sup>

Leopold begründete seine Schlußfolgerung mit dem letzten erhaltenen Brief von Huygens<sup>iv</sup> an seinen einzigen Bruder vom März 1695, in dem er über den Umbau einer existierenden Uhr mit Zeitgleichung für seine neue Erfindung berichtet: *...Vous lui aurez parlé [Tompion], comme je crois, de ma nouvelle invention d'horloge, dont je vais faire la description et demonstration. J'en ay fait accommoder une vieille a pendule de 3 pieds, qui montre aussi l'heure du soleil, sans qu'il soit besoin de l'Equation du temps.*<sup>v</sup> Huygens beabsichtigte, eine Beschreibung der Uhr zu veröffentlichen<sup>vi</sup> - wie von Leopold abschließend bemerkt, verhinderte dies sein früher Tod am 8. Juli 1695.

Huygens verarbeitete zwei völlig neuartige Mechanismen in seiner Uhr - seine “perfekte Unruh für Längengraduhren” und eine ungebräuchliche Hemmung, die wohl auch von ihm selbst entwickelt worden war.

Die “perfekte Unruh für Längengraduhren” ist eine einzigartige Konstruktion bestehend aus einem Pendel und einer Unruh - an einem Foliot (der Unruh) wurde ein kleines Pendel angebracht. Die Idee mag seltsam erscheinen, aber wie Huygens mit seinen Berechnungen bewies, ist die Konstruktion isochron.<sup>vii</sup>

Huygens' neue Hemmung war ein erster Versuch, eine Hemmung mit reibender Ruhe zu entwerfen. Der Impuls wirkt auf eine chronometerartige Palette durch ein Hemmungsrad mit Verriegelung über das Sekundenrad. Zu weiteren Einzelheiten siehe Abschnitt “Die Hemmung”.

## DIE HISTORIE DER BMP2 SOWEIT BEKANNT

Frühe 1680er Jahre bis 1695: im Besitz von Huygens.

1695-1754: im Besitz der Familie Huygens.

1754: wahrscheinlich während einer Auktion durch die Familie Huygens verkauft (Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens, Band 15, Seiten 19-21).

1754-1980er Jahre: Verbleib unbekannt.

1980er Jahre bis 2002: Time Museum, Rockford, USA (Inv. 727).

2002: während einer Auktion in Sothebys Time Museum am 19. Juni als Lot 129 verkauft, fälschlicherweise Sully zugeschrieben.

## DIE UHR IM TIME MUSEUM

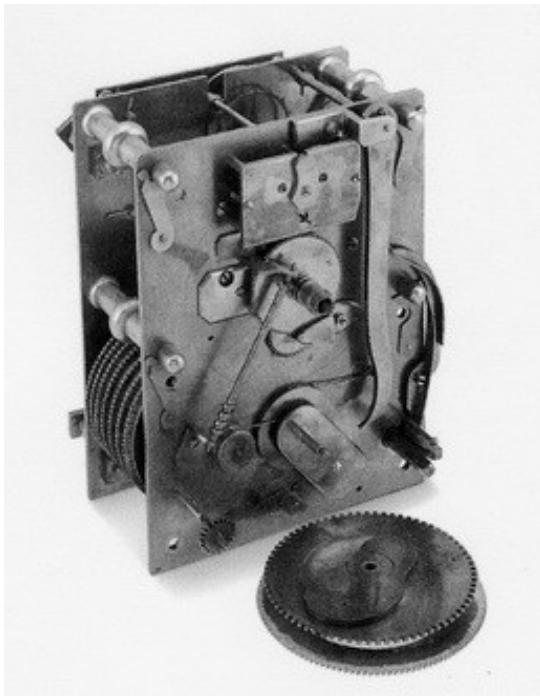
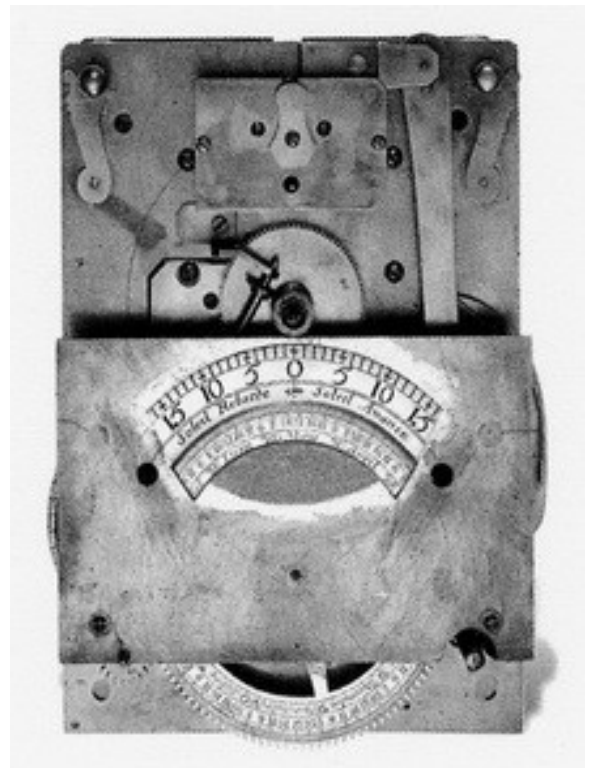


Abb. 50



Die Uhr wurde in den 1980er Jahren vom Time Museum für 20.000 Dollar<sup>viii</sup> erworben, war also relativ preiswert. Die Uhr war nicht funktionsfähig; am Foliot war ein kurzes Scheinpendel angebracht (über das Gewicht am Foliot). Das zweite Gewicht fehlte. Die Verriegelung war zur Antriebspalette verschoben worden. Eine Kette der Zeitgleichung war gebrochen. Die beiden obigen Aufnahmen (Abb. 50) stammen aus der Zeit der Uhr im Time Museum.

Das Gehäuse ist prachtvoll und das erste bekannte seiner Art; es handelt sich außerdem um die früheste bekannte Uhr mit Zeitgleichung. Daher entschied das Museum, die Uhr zu kaufen, obwohl nur ein Uhrmacher in der Lage war, das Gehäuse zu öffnen um das Werk zugänglich zu machen. Wer hätte damals ahnen können, dass es sich wahrscheinlich um eine der bedeutendsten Uhren im ganzen Museum handelte?

## WIE KANN DIE UHR HUYGENS ZUGESCHRIEBEN WERDEN?



◆ Nur Huygens und später Sully stellten Längengraduhren mit perfekter Unruh her. Die Tatsache, dass die Uhr für eine perfekte Unruh gedacht war, zeigt sich deutlich an der Anordnung der Platten. Viertes und fünftes Rad sind mit Brücken versehen, um zusätzlichen Raum zu schaffen (Abb. 7).

Abb. 7

◆ Huygens schrieb, er habe für seine neue Erfindung eine Pendeluhr umgebaut.<sup>ix</sup> Die vorliegende Uhr war ursprünglich mit einem Pendel ausgestattet, der Schlitz für das Pendel und die Pendelsicherung sind klar erkennbar.

◆ Huygens schrieb, seine Uhr habe einen Mechanismus für die Zeitgleichung. Es existiert nur eine solche frühe Uhr mit Zeitgleichung. Den Zeitdokumenten nach waren um 1695 nur sehr wenige Uhren mit einer Zeitgleichung ausgestattet; die Wahrscheinlichkeit, eine weitere Pendeluhr mit Zeitgleichung aus dem späten 17. Jahrhundert zu finden, die zu einer Längengraduhr mit perfekter Unruh umgearbeitet wurde ist daher verschwindend gering. Und sollte eine solche Uhr tatsächlich existieren, so müsste auch sie Huygens zugeschrieben werden, denn der einzige andere mögliche Hersteller solcher Uhren - nämlich Henry Sully - hätte niemals eine bereits vorhandene Uhr umgebaut.

◆ Nur Huygens und Sully stellten Längengraduhren mit perfekter Unruh her. Da diese Uhr nicht von Sully angefertigt wurde (siehe folgenden Absatz), muß sie folglich von Huygens hergestellt worden sein.

## WARUM WURDE DIE UHR IN DER VERGANGENHEIT FALSCH ZUGEORDNET?

Als die Sammlungen des Time Museums aufgelöst wurden, wurde die Uhr an Sotheby's zur Versteigerung gegeben. Im Katalog vom 19. Juni 2002 schrieb Sotheby's die Uhr Sully zu, da "...die Konstruktion des Werkes dieser komplizierten Uhr eine reibungsarme Lagerung der Zahnräder des Räderwerks verwendet, was darauf schließen läßt, dass das Werk von Henry Sully hergestellt wurde."

Sotheby's war also anscheinend der Meinung, dass die reibungsarmen Rollen nur von Sully eingesetzt wurden, während sie tatsächlich bereits lange vor Sullys Zeit zum Einsatz kamen.

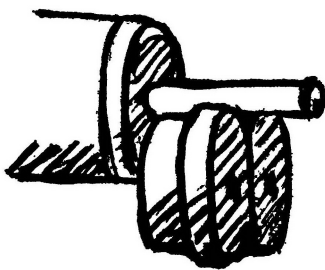


Abb. 6

In der Tat war Huygens mit dieser Mechanik vertraut<sup>x</sup> und sogar Leonardo da Vinci zeichnete sie bereits im Jahre 1494 (Codex Madrid I, Abb. 6).

Es liegt auf der Hand, dass die Annahme, die Uhr sei Sully zuzuschreiben, da er als einziger die reibungsarmen Rollen verwendet habe, nicht zu halten ist.

Nachfolgend sind einige wichtige Umstände aufgeführt, die darauf schließen lassen, dass die Uhr tatsächlich von Huygens und nicht von Sully hergestellt wurde.

- Sully signierte seine Stücke immer an markanten Stellen. Diese Uhr ist unsigniert.
- Ausführung und Datierung der Uhr weisen auf eine Zeit vor Sullys Seeuhren von 1720 hin.
- Sullys Uhren haben keine kunstvollen Gehäuse und sind einfach zu öffnen, um das Werk zu betrachten oder zu überholen. Das Werk der BMP2 ist vollständig im Gehäuse verborgen; dieses besitzt zudem noch einen verborgenen Verschlussmechanismus. Selbst nachdem das Gehäuse entriegelt ist, braucht ein erfahrener Uhrmacher immer noch eine gute halbe Stunde, um das Uhrwerk aus dem Gehäuse herauszunehmen.
- Sully stellte seine Räder und Triebe maschinell her. Die Räder dieser Uhr sind händisch bearbeitet (siehe technische Erläuterung weiter unten, Abb. 51).
- Bei Sullys Uhren ist die Unruh zwischen den Platten angebracht, während sich das Pendel außerhalb der Rückplatte befindet. Dies ist bei dieser Uhr nicht möglich; zwischen den Platten gibt es nicht genug Platz für eine Unruh, da hier das Hemmungsrad im Weg ist.
- Sully legte großen Wert auf die Endverarbeitung seiner Stücke. Julien Le Roy schrieb in *Règle artificielle du Temps*, Sully interessiere sich nicht für Geld, sondern habe nur die Perfektion im Sinn. Bei seiner Uhr "C", die er nachträglich mit einer Schnecke versah, sind die alten Bohrungen vollständig gefüllt und so fein bearbeitet, dass ohne Zuhilfenahme einer Lupe nichts mehr zu erkennen ist.

An dieser Uhr hingegen sind die Zeichen des Umbaus deutlich zu sehen; nicht einmal die alten Bohrungen wurden gefüllt. Diese Details waren dem Uhrmacher nicht wichtig, es kam nur auf das

Konzept an, ein Ansatz, der mit Huygens' Vorgehensweise völlig übereinstimmt, jedoch zu Sully ganz und gar nicht passt. Wie John Leopold bemerkte war "...*Huygens letztendlich nicht wirklich in den Mechanismen an sich interessiert: er war ganz und gar Mathematiker....*"<sup>xi</sup>

# HUYGENS' VERSUCHE, EINE LÄNGENGRADUHR HERZUSTELLEN UND SEINE ANFÄNGLICHEN FEHLSCHLÄGE

In einem Brief vom 12. Dezember 1683 schrieb Huygens an den Mathematiker Bernard Fullenius:

*“...auf Wunsch der Direktoren der Indien-Kompanie und um den Längengrad zu ermitteln versuchte ich, Uhren zu bauen, deren Frequenz der einer Uhr mit 3 Fuß großem Pendel gleicht, die aber nicht von den Bewegungen auf See beeinflusst werden. Ich stellte fest dass die Aufgabe schwieriger ist als ich erwartete, aber obwohl es noch nicht vollbracht ist zweifle ich nicht an meinem Erfolg.”<sup>xii</sup>*

Der Erfolg liess noch weitere 12 Jahre auf sich warten und als er schliesslich eintraf, verstarb Huygens kurz darauf - nachdem er jedoch zwei Längengraduhren mit perfekter Unruh gebaut hatte, die wir hier BMP1 und BMP2 (für *Balancier Marin Parfait* 1 und 2) nennen wollen und die letztendlich zur Lösung des Längengradproblems auf See führten. Bei der hier beschriebenen Uhr handelt es sich um die BMP2.

Huygens setzte zeit seines Arbeitslebens alles daran, eine Methode zur Feststellung des Längengrades zu finden. Die BMP2 ist sein letzter und interessantester Versuch hierzu. Mit der Erfindung seines Pendels war er in der Lage, Präzisionsuhren zu bauen, die er an die instabilen Bedingungen auf See anzupassen versuchte. Es gelang ihm nicht; obwohl die ersten Tests auf See 1662 und 1664 ermutigend waren, so war doch der Versuch im Jahr 1670 nach Huygens' eigenen Worten “eine Katastrophe”.

Der Ruhm, als erster eine zuverlässige Uhr zur Feststellung des Längengrades auf See gefunden zu haben, blieb Huygens verwehrt. Obwohl ihm diese Tatsache sehr zu schaffen machte<sup>xiii</sup> gab er nicht auf; seine Untersuchungen führten ihn in unerforschte Bereiche der abstrakten Mechanik, in denen er die neuesten mathematischen Erkenntnisse seiner Zeit anwandte. Er erschuf sogar einen neuen Bereich in der Mathematik, die Evolutentheorie. Huygens wollte seine theoretischen Entdeckungen in der Praxis für eine Verbesserung seiner Uhren einsetzen. Seine Anstrengungen, eine konstante Zeitmessung als eine betriebssichere Konstruktion zu bauen, die vor allem von Störungen aus der Umgebung unabhängig war, reichten von grundsätzlichen theoretischen Ansätzen bis zu den kompliziertesten Versuchsaufbauten; dies spiegelt sich in seinem gesamten Schaffen wieder, von seiner ersten Pendeluhr 1657 bis zu seinen letzten Entwürfen einer “perfekten Längengrad-Unruh,” die in lediglich zwei Uhren eingesetzt wurde - in der BMP1 und der BMP2.

Theoretische Erkenntnisse und praktische Umsetzung brachten Huygens immer wieder ein Stück voran; seine anfänglichen Fehlschläge bei Längengraduhren wiesen ihm letztendlich den Weg in die Zukunft. Daran glaubte z.B. auch Henry Sully, der 30 Jahre später eine Uhr auf dem Konzept der BMP baute und sie im April 1723 bei der *Académie Royale des Sciences* vorstellte. Im Bericht der Académie hieß es *“... während des ersten Tests, der an der Sternwarte durchgeführt wurde, zeigte die Uhr eine Abweichung von nicht mehr als neunzehn Sekunden in acht vollen Tagen.”*

# DIE IDEE DER *BALANCIER MARIN PARFAIT* (DER PERFEKTEN UNRUH FÜR LÄNGENGRADUHREN)

Nach dem Fehlschlagen seiner Versuche mit Längengraduhren mit Pendel wandte Huygens sich in eine andere Richtung. Im Dezember 1683 schrieb er an Bernard Fullenius, "das Ganze erscheint mir viel schwieriger als anfangs gedacht... und es ist noch immer nicht vollbracht, jedoch gibt es Grund zur Hoffnung auf Erfolg."

Huygens gab seine Versuche mit Pendeln auf und widmete sich dem Bau einer Längengraduhr mit Unruh. Da er die Schwächen der Unruhspirale kannte, suchte er nach einer anderen Lösung. Auf eine solche stieß er recht unerwartet als er herausfand, dass eine Konstruktion aus einem an einer Unruh angebrachten Pendel isochron ist (Abb. 2 und 3). Er belegte dies mathematisch und nannte seine Vorrichtung *balancier marin parfait*.

Die erste Uhr dieser Art, die BMP1, vertraute Huygens zum Bau Barent van der Cloese an, nahm jedoch die meisten der End Einstellungen selber vor. Die Gewichtsuhr hatte eine große Unruh mit Sekundenfrequenz, eine Schneidenaufhängung und einen Ausschnitt für die Sekunden. Landgraf Karl wurde höchstwahrscheinlich von seinem Sohn Kronprinz Friedrich von Hessen-Kassel auf die Uhr aufmerksam gemacht und bat Huygens ihm eine solche Uhr anzufertigen, Huygens lehnte jedoch höflich ab.<sup>xiv</sup> Es könnte allerdings sein, dass Huygens seine Meinung änderte und dass diese neue Uhr für den Landgrafen vorgesehen war; es würde das ungewöhnlich aufwändige Gehäuse erklären.

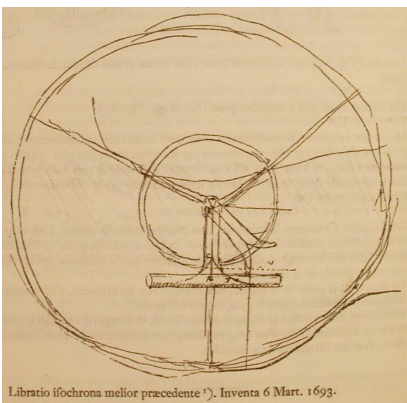


Abb. 2

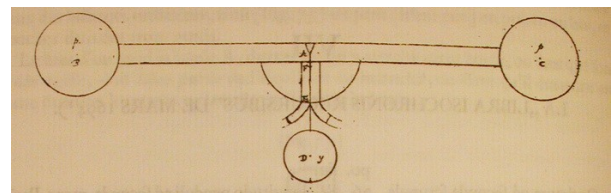
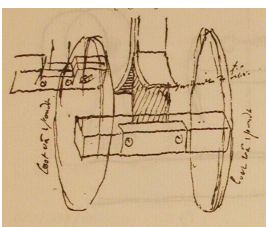


Abb. 3

Zuerst konstruierte Huygens eine große dreiarmige Unruh (Abb. 2).<sup>xv</sup> Tests zeigten jedoch dass diese Anordnung unpraktisch war und Huygens setzte ab 1694 eine zweiarmige Unruh ein, eigentlich ein Foliot (Abb. 3).<sup>xvi</sup> Diese Uhr, die BMP2, ist mit der späteren Unruhversion ausgestattet.

BMP1 war eine Gewichtsuhr, die die Sekunden in einem Ausschnitt anzeigte, wahrscheinlich auf dem Hemmungsrade graviert oder aufgemalt.<sup>xvii</sup> Die Unruh hatte eine Schneidenaufhängung und auf jeder Seite ein kleines Pendel.



Nach Tests mit verschiedenen Pendeln entschied sich Huygens für das in Abb. 4<sup>xviii</sup> gezeigte Pendel.

Eines der größten Probleme der Uhr war ihre gewöhnliche Spindelhemmung. Ihr vorgegebener Rückstoß muss Huygens große Schwierigkeiten bereitet haben.

Abb. 4



## HUYGENS' ZWEITE LÄNGENGRADUHR MIT PERFEKTER UNRUH, BMP2

1695 konstruierte Huygens eine weitere Längengraduhr mit perfekter Unruh, die BMP2 - die vorliegende Uhr. Es handelte sich hier um einen in mehreren Aspekten ganz anders konstruierten Zeitmesser, der wichtigste Unterschied zum Vorgänger jedoch war die völlig neue Hemmung.

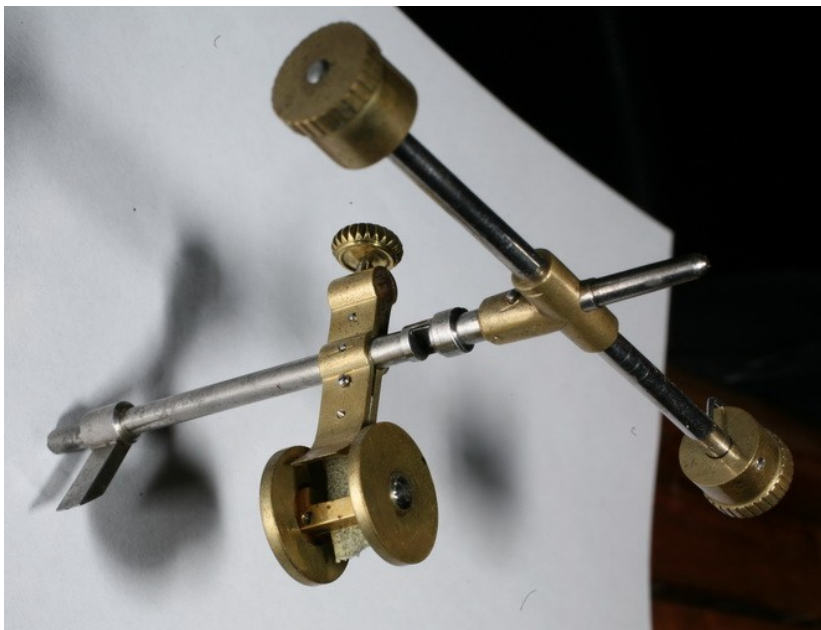
Wie bereits erwähnt ist uns die Uhr aus Huygens' letztem Brief an seinen Bruder vom 4. März 1695 bekannt.<sup>xxix</sup> Darin beschreibt Huygens den Umbau einer Uhr mit 3 Fuß großem Pendel zu einer neuen Erfindung. **Weiterhin führt er aus - was von größter Bedeutung für die Identifikation der BMP2 ist - dass die Uhr die Sonnenzeit ohne Zeitgleichungstabellen anzeigt; das bedeutet, dass die Uhr die Differenz zwischen Solar- und mittlerer Zeit mit einem Zeiger angibt. Dies ist bei unserer Uhr der Fall.**

Er weist außerdem darauf hin, dass er eine Veröffentlichung sowie eine Vorführung der Uhr plane und schreibt, er gehe davon aus, dass sein Bruder Tompion über die Erfindung in Kenntnis setzen werde. Wir wissen nicht ob Tompion je von der Uhr erfuhr, aber es steht fest, dass Huygens weiter für die Erfindung warb. Ein französischer Mathematiker, der Marquis de l'Hospital, sprach kurz darauf in einem Brief vom 14. März 1695<sup>xxx</sup> von seinem Wunsch, die neue Erfindung von Huygens zu sehen; zweifellos hatte er von Huygens' Bruder davon erfahren. Unglücklicherweise kamen alle diese Entwicklungen durch Huygens frühen Tod weniger als drei Monate später, nämlich am 8. Juli 1695 zum Stillstand.

Diese Fakten zu dieser Uhr, der BMP2, wurden der Uhrenfachwelt erst vor 18 Jahren während des Longitude Symposium in Harvard 1993 präsentiert - jedoch lediglich in einer Anmerkung.<sup>xxxi</sup>

## DIE PERFEKTE UNRUH DIESER LÄNGENGRADUHR

Die Unruh bzw. das Foliot sitzt hinten im Hemmungsmechanismus. Sie besteht aus zwei



zylindrischen Gewichten, die in die Gewinde an den Enden des Foliots aufgeschraubt werden. Die Gewichte besitzen eine Skala mit einem Stahlanzeiger zur Einstellung der Frequenz. In der Mitte befindet sich ein kurzes Messingpendel (Abb. 7), das über eine Bandaufhängung zwischen zwei gebogenen Backen<sup>xxii</sup> schwingt. Oben befindet sich eine Mutter, mit der die Konstruktion justiert werden kann. Die Hemmung ist eine Vorläuferin der Duplex-Hemmung (siehe hierzu Abschnitt "Die Hemmung" weiter unten).

Abb. 5

## DER VERBORGENE VERSCHLUSSMECHANISMUS DES GEHÄUSES

Wie John Leopold feststellt: Huygens betrachtete seine Arbeit zur Feststellung des Längengrades durch einem Zeitmesser zeitlebens als eine "Art Geheimsache". Auch als Huygens sein Remontoir entwickelte, hielt er diese Erfindung lange Zeit geheim, er behielt diese Verschwiegenheit sein Leben lang bei. Noch 1693, nachdem er eine "neue für die Uhrmacherei wesentliche Kurve", nämlich die Evolvente, entdeckt hatte machte er seine Erfindung nicht publik sondern veröffentlichte lediglich ein Anagramm dazu in der *Acta Eruditorum*.<sup>xxiii</sup> Im Hinblick auf die BMP1, die Vorgängerin dieser Uhr, sprach Huygens in einem Brief an Haushofmeister de Rosen (Rosey?) von seiner Angst, seine perfekte Unruh für Seeuhren könne ihm gestohlen werden.<sup>xxiv</sup>

Das Gehäuse der Uhr ist so konstruiert, dass es für denjenigen, der die Konstruktion nicht kennt kaum möglich ist, hineinzusehen oder es schnell zu öffnen. Das Werk ist völlig unzugänglich, die Rückwand ist massiv und der Aufzug erfolgt durch das Zifferblatt. Die massiven Seitenplatten verhindern jeden Blick auf das Werk von der Seite. Auch wenn man die Funktion der beiden kleinen Löcher (Abb. 9) erkennt, die die Vorderseite öffnen, so benötigt man doch einen Schraubenzieher und mindestens eine halbe Stunde Zeit, bis man das Uhrwerk vor sich hat.

Diese Tatsache steht im Einklang mit den Erkenntnissen der beiden führenden Huygens-Experten John Leopold und Prof. Michael Mahoney. Neben Leopolds Feststellung dass "*Huygens' Forschung zur Ermittlung des Längengrades mit einer Uhr eine Art 'Geheimsache' war*", schreibt auch Mahoney dass "*...Huygens über seine Erfindungen, von denen er sich künftige Reichtümer erhoffte, mit Argusaugen wachte*".<sup>xxv</sup> (Abb. 14).

Der Sicherheitsmechanismus basiert auf einer Art Vorhängeschlossmechanismus aus dem 17. Jahrhundert, bei dem nach dem Drehen eines Schlüssels Stifte in kleine Löcher eingeführt werden müssen, um die Federn zu lösen, die das Schloss zusammen halten (Abb. 8A, 8B, 8C).



Abb. 8A. Versperrt



Abb. 8B Verborgene Federn verbinden beide Teile. Beidseitig muß ein Stift eingeführt werden, um die Federn zu lösen. Das gleiche Prinzip ist bei der Huygens-Uhr vorhanden.



Fig 8C. Aufgesperrt, kann auseinander genommen werden



Abb. 9. Verborgener Verschlussmechanismus im Gehäuse. Zwei Stifte müssen gleichzeitig in die rechts gezeigten Löcher eingeführt werden, um die Frontplatte zu öffnen, genau wie beim oben gezeigten Schloss.

Ein aufwändiger versperartes Gehäuse ist uns nie begegnet. Es ist erwähnenswert, dass sich Huygens' Rivale Robert Hooke ganz ähnlich verhielt. Am 12. Juni 1675 baute er eine Unruhfeder in eine alte Uhr von Sir Jonas Moore ein und gab die Uhr entsprechend Moores Anweisung an Flamsteed<sup>xxvi</sup> zur Überprüfung. Flamsteed schrieb hierzu *“Jedoch kann ich für diese Uhr keinen Bericht erstellen, da wir sie nicht öffnen können.”*<sup>xxvii</sup>

# UNTERSUCHUNG DES UMB AUS DER PENDELUHR ZUR LÄNGENGRADUHR MIT PERFEKTER UNRUH

Auszählung des Räderwerks und metallurgische Analyse der Bestandteile der Uhr:

## RÄDERZAHL

Schnecke: 84

Schneckenaufzugsrad: 48

Rillen der Schnecke: 16

Aufzugtrieb mit Vierkant für Schlüssel und Anschlagstift: 24

Sperrrad: 33 Zähne, 2 ungeschnitten, Welle mit Anschlagstift mit circa 32.7 Umdrehungen

2. Rad: 80; Trieb: 14

Zentralrad: 60; Trieb: 9 alt, 18 neu (Abb. 12)

4. Rad: 56; Trieb: 8

Sekundenrad: 48; Trieb: 7

Hemmungsr ad: beide 15; Trieb: 12

## METALLURGISCHE ANALYSE (in %)

Anteil	Ag	Cu	Ni	Zn	Sn
Hemmungsr ad (Sperr e)	2.3	65.5		32.2	
2. Rad		69.31		30.69	
4. Rad		67.08	0.09	32.83	
Rollenlager groß		66.27	0.19	33.14	
Rollenlager klein		66.19	0.07	33.37	
Brücke für großes Rollenlager und Unruh		68.02		31.98	
Brücke für kleines Rollenlager		68.87	0.1	31.02	
Brücke für 4. Rad und Sekundenrad (Pendel dahinter)		69.46	0.1	30.44	
Brücke für Welle des Zeitgleichungszeigers		67.12	0.11	32.77	
Aufzugsrad auf der Schnecke angebracht		67.25		32.75	
Federhausabdeckung		67.73	0.07	32.2	
Minutenrohr		66.51	0.06	33.44	
Stundenrad		68.05	0.17	31.77	
Brücke klein	0.18	72.91	0.12	26.25	0.54
Brücke	0.15	75.78	0.16	23.12	0.79

Die metallurgische Analyse entspricht der Datierung.

Mit einem drei Fuß großen Pendel hatte die Originaluhr eine Sekundenfrequenz. Huygens liess das Räderwerk unverändert und so arbeitete auch die perfekte Unruh entsprechend:  $60 \times 56 \times 48 / 8 / 7 / 12 = 3600$  Schläge pro Stunde = ein Schlag pro Sekunde.



Ursprünglich muss es sich hier um eine Gewichtsuhr gehandelt haben. Darauf lassen die beiden überflüssigen Bohrungen in beiden Platten direkt unter der Schneckenwelle schließen. Da der Impuls

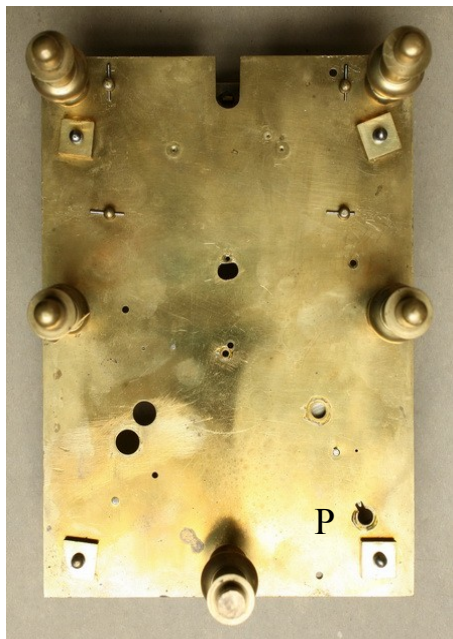


Abb. 10

des Sekundenrads gegen den Uhrzeigersinn ausgerichtet ist (von hinten gesehen, wie in Abb. 10 dargestellt), hätte sich die Schnur an dem mittig platzierten unteren Pfeiler gerieben; um dies zu vermeiden hatte Huygens wohl bei "P" eine Rolle auf einer Welle angebracht - die Bohrungen hierfür sind gut zu erkennen (Abb. 10). Damit sollte die Schnur auf die andere Seite geführt werden. Diese Konstruktion ähnelt der Anordnung in einer Uhr von Huygens, die sich in der Römer-Sternwarte befindet (Abb. 10A).

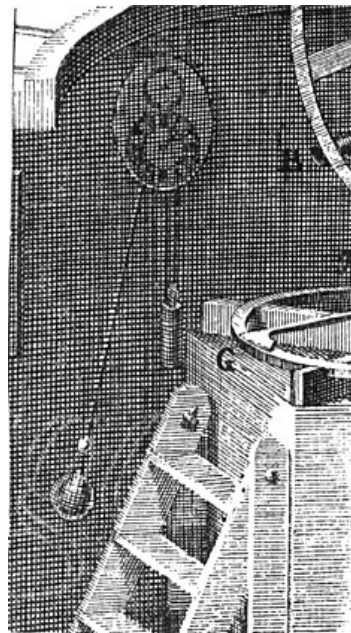


Abb. 10A

Die Uhr hatte ursprünglich eine Gangdauer von einem Monat ( $33 \times 24 / 48 \times 84 / 14 \times 80 / 9 / 24 = 36.6$  Tage). Dies musste Huygens abändern, um den Impuls auf die Hemmung zu erhöhen.

Die Platzierung der Federhauslager (Bohrungen) zeigt, dass das Federhaus vor dem Umbau kleiner war. Der Antrieb eines Pendels erforderte geringere Energie als der Antrieb dieser Hemmung. Huygens stellte sicher fest, dass seine neue Hemmung durch das erste Federhaus nicht genug Leistung erfuhr. Also ersetzte er es durch ein größeres Federhaus und platzierte es seitlicher; dies ist aus der Anordnung der Bohrungen für das Federhaus erkennbar (Abb. 11).

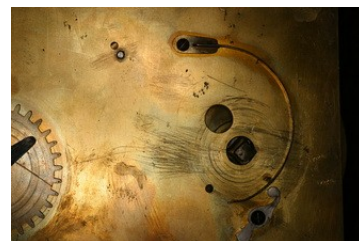


Abb. 11

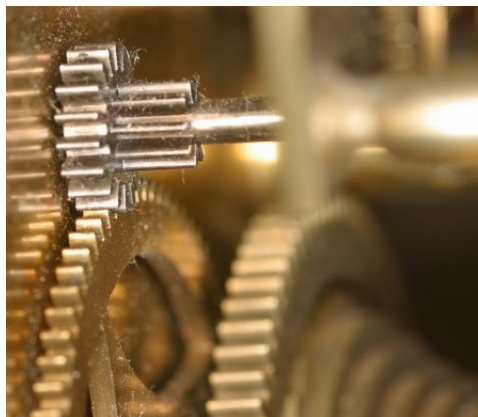


Abb. 12

Dieser Umbau brachte jedoch noch immer nicht den gewünschten Erfolg, die Hemmung hatte weiterhin nicht genug Leistung. Huygens tat, was ein "normaler" Uhrmacher wohl nie getan hätte - er vergrößerte den Durchmesser des Minutenradtriebs. Der ursprüngliche Trieb besaß 9 Blätter. Huygens schnitt ihn am Ende ein und setzte einen weiteren Trieb auf, der zweimal so groß war und die doppelte Anzahl vom Blättern besaß (Abb. 12).

Dies erforderte entweder eine Änderung des Durchmessers des Antriebrads (2. Rad) oder das Rad mußte im gleichen Radius - bezogen auf die Welle der Schnecke - weiter nach unten verlegt werden. Wie die Anordnung der Lager zeigt, entschied sich Huygens für letzteres (Abb. 13). Es erfüllte augenscheinlich seinen Zweck und die Hemmung erfuhr ausreichende Leistung. Im Gegenzug reduzierte sich die Gangdauer der Uhr von 36 auf 18 Tage.



Abb. 13



Abb. 14



Die Uhr wird von vorne aufgezogen. Die Welle der Schnecke liegt allerdings dem Zeitgleichungsmechanismus im Weg; Huygens löste dieses Problem indem er ein weiteres Rad an der Welle anbrachte (Abb. 14). Dieses Rad wird durch ein an der Aufzugswelle seitlich angebrachtes Rad aufgezogen.

Es lohnt sich, den Aufbau dieser Aufzugswelle genauer zu betrachten; am anderen Ende befindet sich ein senkrecht überstehender Stift, der in ein

Stellungsrad eingreift, bei dem zwei Zähne nicht geschnitten wurden (Abb. 15 und

16). Huygens löste hiermit auf einfache Art sowohl das Problem des Aufzugs als auch das des Stellwerks.



Abb. 15



Abb. 16

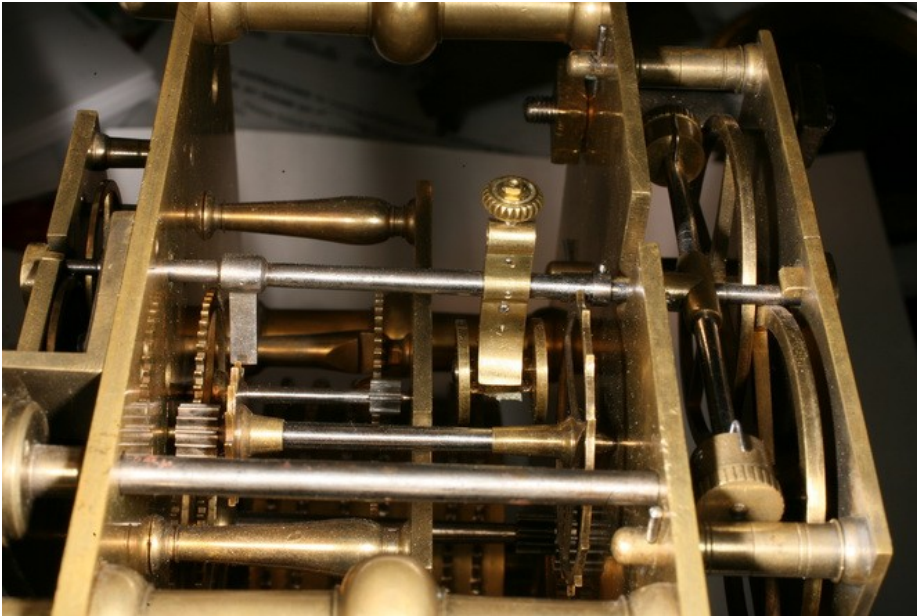


Abb. 17

Das "Bolt and Shutter-"Gesperr wirkt auf das Minutenrad; es handelt sich hier um eine der frühesten bekannten Konstruktionen dieser Art. In späteren Exemplaren wird der gefederte Zahn auf eine andere Art gegriffen. Hier gleitet ein gefederter Zahn in einer speziellen Führung durch einen viereckigen Bügel auf der Welle (Abb. 17). Es existieren einige wenige Uhren von Fromanteel aus dem Jahr 1665 mit einer ähnlichen Anordnung.<sup>xxviii</sup>



## ANPASSUNG DES RÄDERWERKS AN DAS KLEINE PENDEL



Huygens mußte eine geeignete Stelle für das Pendel finden. Wegen der Unruh (dem Foliot) konnte er es nicht außerhalb der Platte befestigen. Er baute also ein Gehäuse um das vierte Rad und das Sekundenrad, was ihm zwischen den Platten genug Platz für das Pendel verschaffte (Abb. 8).

Abb. 18

## ROLLENLAGER



Es gibt zwei Sätze von reibungsarmen Lagern (Rollenlager); zwei große befinden sich hinten und zwei kleine vorne (Abb. 18 und 19). Sie könnten noch aus der Phase stammen, in der die Uhr ein Pendel besaß. Bei einer kleinen Unruh besteht kein Grund, hinten solch große Lager einzubauen. Außerdem sind die Lager mit unnötig großen Buchsen versehen, was darauf schließen läßt, dass die Achsen der Welle einmal größer waren, was wiederum bei einem großen Pendel vonnöten ist.

Abb. 19

# DAS GEHÄUSE

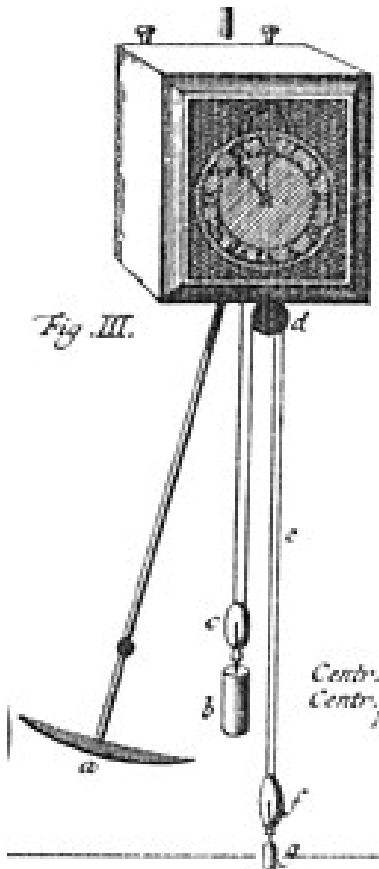


Abb. 21  
 Das Gehäuse ist rechteckig (Abb. 21 und 22) und entspricht so fast genau einer Zeichnung, die Huygens von seiner Pendeluhr angefertigt hatte<sup>xvix</sup> (Abb. 20). Alle vorhandenen Unterlagen deuten darauf hin, dass die BMP2 auf die 1680er Jahre datiert werden kann.



Abb. 22

Das Zifferblatt ist mit schmalen Bügeln am Rahmen befestigt (siehe Abb. 23). Da die Uhr einen Sekundenzeiger besitzt, hat das Zifferblatt einen Ausschnitt.



Abb. 23

Abb. 20



Das Zifferblatt hat nach dem Umbau zwei Löcher (siehe Abb. 24). Eins davon dient dem Aufzug, über das andere wird die Zeitgleichung eingestellt. Der versilberte Ziffernring ist mit vier Schrauben am Zifferblatt befestigt (Abb. 25).



Abb. 24

Abb. 25



Die aus dem Umbau resultierenden Löcher veranlassten Huygens, sie unter einer Deckplatte zu verbergen. Dann brachte er eine wahrscheinlich vor Ort gefertigte Frontplatte an (Abb. links).



Um Jean-Dominique Augarde<sup>xxx</sup> zu zitieren: “...bis zum Ende des 18. Jahrhunderts waren die Kunstschler, die den Ruhm Frankreichs auf diesem Gebiet begründeten nicht hier geboren, ... die besten von ihnen kamen aus den Gebieten des Heiligen Römischen Reiches Deutscher Nation, hauptsächlich aus dem Rheinland, den holländischen Provinzen und Flandern.” Einige dieser Künstler lebten sicher auch in den holländischen Provinzen - Huygens hatte wohl kaum ein Problem, einen solchen Tischler für seine Uhr zu finden.



Abb. 26

Die Maske des Apoll inmitten von Sonnenstrahlen (Abb. 26), der Sonnengott, mit dem sich Ludwig XIV. gern verglich, ist typisch für die damalige Zeit und es gibt zahlreiche entsprechende Darstellungen. Rechts (Abb. 27) findet sich ein Ornament auf einer Paneel im Louvre (Abb. 12) im Stil Ludwigs XIV.



Abb. 27



Abb. 28



Abb. 29

Die aufgelegten Verzierungen (Abb. 29) sind nach Art französischer Einlegearbeiten wie zum Beispiel von Boulle ausgeführt. Das zentrale Sonnenstrahlen-Ornament weist wieder auf den Sonnenkönig Ludwig XIV. hin.



Abb. 30



Abb. 32

Erwähnenswert sind auch die Zeiger. Abb. 31 zeigt den Minutenzeiger der Uhr, Abb. 30 einen Zeiger einer deutschen Uhr circa 1630<sup>xxx1</sup>. Diese Art von Zeiger wurde von etwa 1620 bis zum Ende des Jahrhunderts verwendet, so zum Beispiel bei Uhren von Severijn Oosterwijck in Den Haag um 1655 oder Fromanteel in Amsterdam um 1680, sowie bei weiteren Uhrmachern.

Ein interessantes Element des Zeigers ist der Knopf am Ende, mit dem die Zeit eingestellt wird (Abb. 32). Obwohl man einen solchen Knopf in einigen Uhren des 17. Jahrhunderts findet, ist sein Vorkommen doch eher selten.

Abb. 31

## SEITENPLATTEN

*Table d'Equation du Mouvement du Soleil de 5 en 5 jours pendant toute l'année.*

Janvier 31			Avril 30			Jullet 31			Octobre 31		
Jours	H.	M.	Jours	H.	M.	Jours	H.	M.	Jours	H.	M.
1	5	59	1	3	51	1	10	24	1	10	24
6	6	20	6	2	26	6	4	37	6	11	35
11	8	22	11	1	11	11	7	33	11	13	5
16	10	20	16	0	19	16	5	23	16	14	23
21	11	57	21	1	23	21	5	51	21	15	19
26	13	8	26	2	27	26	6	0	26	15	26
Fevrier 28			May 31			Août 31			Novembre 30		
Jours	H.	M.	Jours	H.	M.	Jours	H.	M.	Jours	H.	M.
1	13	10	1	3	19	1	5	51	1	10	16
6	14	40	6	3	45	6	5	27	6	10	11
11	14	49	11	4	4	11	4	43	11	15	46
16	17	38	16	4	3	16	3	44	16	14	59
21	17	9	21	3	57	21	2	48	21	13	51
26	13	23	26	3	33	26	1	30	26	12	22
Mars 31			Jun 30			Septembre 30			Decembre 31		
Jours	H.	M.	Jours	H.	M.	Jours	H.	M.	Jours	H.	M.
1	13	46	1	2	47	1	0	15	1	10	30
6	11	39	6	1	53	6	1	52	6	8	33
11	10	20	11	1	1	11	3	34	11	0	16
16	8	55	16	0	1	16	5	19	16	3	50
21	7	24	21	1	6	21	7	4	21	1	23
26	5	50	26	1	20	26	8	56	26	1	8

Abb. 35

*Table de l'Heure et minute du Midy aux Heurs Italiques qui commencent 30 minutes après le coucher du Soleil pour la hauteur du Pole de 44.D.38 m.*

Janvier 31		Avril 30		Jullet 31		Octobre 31	
Jours	H. M.	Jours	H. M.	Jours	H. M.	Jours	H. M.
1	19.....5	1	17.....9	1	10.....47	1	17.....41
6	19.....9	6	17.....1	6	15.....40	6	17.....40
11	19.....0	11	16.....23	11	15.....24	11	17.....37
16	18.....56	16	16.....45	16	15.....26	16	15.....31
21	18.....50	21	16.....38	21	16.....1	21	18.....34
26	18.....41	26	16.....31	26	16.....6	26	18.....19
Fevrier 28		May 31		Août 31		Novembre 30	
Jours	H. M.	Jours	H. M.	Jours	H. M.	Jours	H. M.
1	18.....38	1	16.....29	1	16.....12	1	18.....26
6	18.....32	6	16.....18	6	16.....18	6	18.....33
11	18.....26	11	16.....12	11	16.....25	11	18.....39
16	18.....19	16	16.....6	16	16.....31	16	18.....46
21	18.....12	21	16.....0	21	16.....38	21	18.....51
26	18.....5	26	15.....56	26	16.....45	26	18.....56
Mars 31		Jun 30		Septembre 30		Decembre 31	
Jours	H. M.	Jours	H. M.	Jours	H. M.	Jours	H. M.
1	17.....27	1	15.....52	1	16.....53	1	19.....0
6	17.....19	6	15.....49	6	17.....1	6	19.....3
11	17.....11	11	15.....47	11	17.....9	11	19.....5
16	17.....3	16	15.....46	16	17.....17	16	19.....6
21	17.....25	21	15.....45	21	17.....25	21	19.....7
26	17.....17	26	15.....45	26	17.....33	26	19.....6

Abb. 34

Die Seitenplatten - wovon eine mit der Zeitgleichung und die andere mit italischen Stunden graviert ist - müssen von der ursprünglichen Uhr stammen, die Huygens für einen Umbau verwendete.

Die Platte mit der Zeitgleichung (Abb. 34) ist mit *Table d'Equation du mouvement du Soleil de 5 en 5 jours pendant toute l'année* betitelt. Die Tabelle geht mit Huygens' frühem Standpunkt zu diesem Thema einher; in seiner Anleitung von 1665 für die Benutzung von Seeuhren empfahl er generell die Verwendung einer solchen Zeitgleichungstabelle. Das Zifferblatt der mechanischen Zeitgleichung entspricht der Tabelle.

Die zweite Platte zeigt die italischen Stunden (Abb. 35). Italische Stunden gehören zu einem Zeitrechnungssystem, das die Stundenzählung eine halbe Stunde nach Sonnenuntergang beginnt. Die Tabelle trägt den Titel *Table de l'Heure et minute du Midy aux Heurs Italiques qui commencent 30 minutes après le coucher du Soleil pour hauteur du Pole de 44.D.38 m*. Der Längengrad von 44°38m weist auf Norditalien hin, etwa Modena, etwas oberhalb von Bologna oder unterhalb von Mailand oder Venedig; in Südfrankreich auf Bordeaux oder Montelimar.



## DIE HEMMUNG



Abb. 36

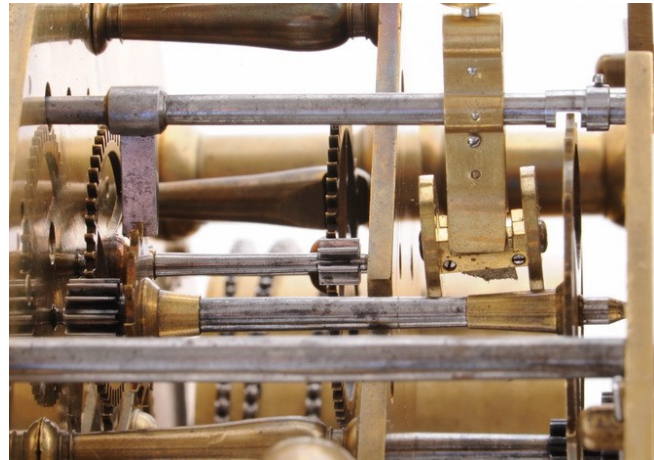


Abb. 37

Die Hemmung (Abb. 36) hat zwei Räder, jedes davon mit 15 Zähnen. Das kleinere der Räder gibt einen Impuls über eine große Palette auf der Unruhwelle direkt an die Unruh (Abb. 37), wie es auch bei einer Chronometer- oder Duplexhemmung geschieht. Das große Rad dient zur Verriegelung.

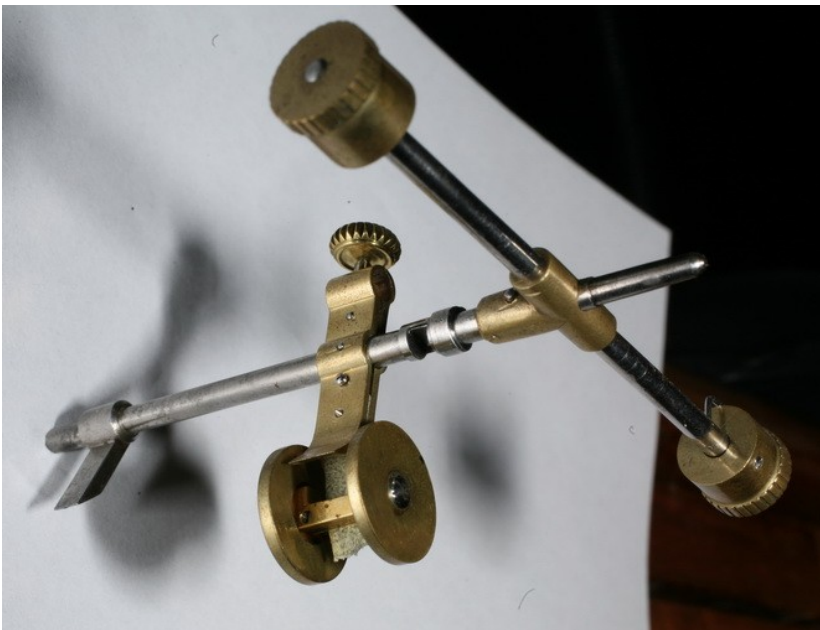


Abb. 38

Um Huygens' Hemmung einschätzen zu können, sollte man kurz auf die frühe Geschichte der Duplexhemmung eingehen. Das führt zum besseren Verständnis darüber, wie Huygens die Duplextechnologie logisch weiterentwickelte. 1724 erwähnte Jean-Baptiste Dutertre duplex-artige Hemmungen zum ersten Mal auf dem europäischen Festland. Er behauptete, diese Art Hemmung erfunden zu haben und stellte ein solches Exemplar bei der Académie vor. Daniel Delander hatte jedoch in England bereits 1715 eine duplex-artige Hemmung in seinen Uhren eingesetzt.

Generell wird die Erfindung der Duplexhemmung Delander zugeschrieben, so erst kürzlich von Tom Robinson; Delander selbst behauptete jedoch nie, diese Hemmung erfunden zu haben. Da er normalerweise keinerlei Scheu hatte, sich in Zeitungsanzeigen seiner Verdienste zu rühmen lässt dies die Vermutung zu, dass er die Duplexhemmung wohl verwendete, aber sie anscheinend von einem anderen Uhrmacher übernommen hatte.

Delander war Tompions Lehrling und Tompion arbeitete mit Hooke zusammen. Derham, der einige von Hookes Uhren untersuchte, schrieb 1696 über dessen Konstruktion mit Doppelunruh: “... die Spindeln [Wellen] seiner Unruhen besaßen jede nur eine Palette, ungefähr in der Mitte der Spindel. Das Kronenrad [Hemmungsrads] lag (anders als bei anderen) umgedreht in der Mitte der Uhr. Die Zähne dieses Kronrads waren parallel zur Achse geschnitten und zeigten mit weiten Zwischenräumen also aufwärts, so dass die Paletten (die etwa 1 Inch lang und schmal waren) zwischen jeden Zahn eingreifen können. Die Spindeln der beiden Unruhen befanden sich auf je einer Seite des Kronrads, so dass die Paletten frei in seine Zähne greifen können. Und wenn das Kronenrad in seiner Umdrehung eine Palette abgegeben hatte, wurde die Palette auf der gegenüberliegenden Seite herangezogen um ihren Schlag auszuführen über den Antrieb, den die erste Unruh ihrer Unruh gegeben hatte; (die beiden Unruhen treiben sich gegenseitig an, wie zu Beginn dieses Abschnitts beschrieben).”<sup>xxxii</sup>

Aus der Beschreibung geht hervor, dass Derham eine Duplexhemmung mit Pirouette schildert. Man könnte argumentieren, dass das Gesperre mehr einer Spindelhemmung entspricht; wenn die Konstruktion jedoch nur eine einzelne Unruh besitzt, passt das Gesperre zur Duplexhemmung - zwar noch grob mit einem leichten Rückstoß, aber es handelt sich doch um den Vorläufer der reibungsarmen Hemmung.

1741 stellte Thiout eine solche Hemmung vor, die er Jean-Baptiste Dutertre Senior zuschrieb (Abb. 39A).<sup>xxxiii</sup> Rees übernahm 1820 den Entwurf von Thiout, veröffentlichte ihn in seinem Buch und schrieb die Hemmung richtig Hooke zu. 1826 kopierte Reid wiederum Rees (Abb. 39). In den 1950ern<sup>xxxiv</sup> übernahm Tardy nicht einfach die Beschreibung der beiden anderen sondern setzte seinen Ehrgeiz daran, Derhams Beschreibung selbst zu nachzuvollziehen; er erklärte die Hemmung zu einer Kombination aus der Arbeit von sowohl Huygens wie auch Hooke (Abb. 40). Bei seiner Beschreibung von Dubafres Hemmung erwähnt Tardy, dass diese “in der Machart von Hooke” sei.



Abb. 39A. Dubafres Hemmung nach Thiout, 1741

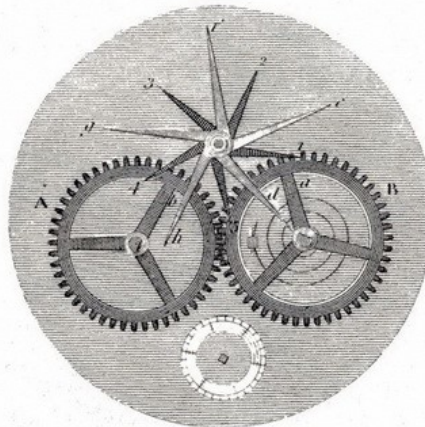


Abb. 39. Hookes Hemmung nach Rees (1820), offensichtlich von Thiout übernommen

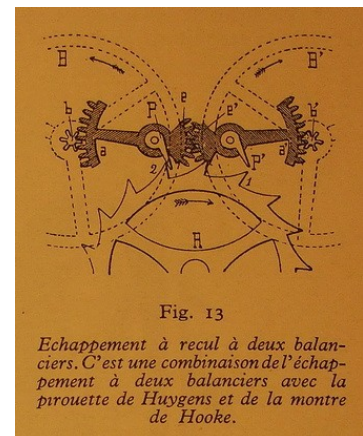


Abb. 40. 1950s, Tardys Version nach Thiout, 1741

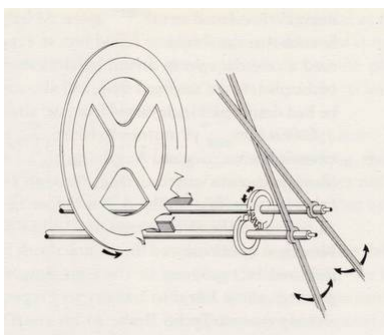


Abb. 41. Bürgis Kreuzschlag

Für unsere Zwecke ist es nicht relevant ob Delander und Dubafre die Hemmung unabhängig voneinander entwickelt haben. Wichtig ist, dass Derham 1696 über die Hemmung schrieb und sie daher bereits vorher existiert haben mußte.

Besonders bemerkenswert ist die Ähnlichkeit dieser Hemmung mit Bürgis Kreuzschlag (Abb. 41). Meines Wissens wurde noch nie auf diese Ähnlichkeit hingewiesen. Tardys Interpretation entspricht Bürgis Hemmung, er fügt lediglich eine Pirouette hinzu. Der Unterschied zu Hooke liegt darin, dass die Paletten für Trieb und Sperre verschieden sind. Das Konzept ist das gleiche - die Duplexhemmung ist eine natürliche Weiterentwicklung einer Spindel mit Bürgis Kreuzschlag in der Mitte - es handelt sich hier also um das fehlende Glied zwischen der Spindelhemmung und der Duplexhemmung.

Die *Proceedings of the Society of Antiquaries of Scotland, Band. 3, Teil 3* von 1860 enthalten unter anderem einen Artikel von Alexander Bryson, der schreibt:

*“...Diese Uhr von Hooke besitzt die Unruhfeder und Doppelunruh zusammen mit einer Duplexhemmung, die auch von Hooke erfunden wurde... Wenn Hooke gewußt hätte, dass seine Duplexhemmung mehr als 200 Jahre lang überdauern sollte, so hätte er die entsprechenden Vereinbarungen getroffen und zweifellos das Preisgeld von 100.000 Gulden der holländischen Staaten für die Feststellung des Längengrades auf See erhalten. ... Nach dieser Enttäuschung hielt Hooke seine Erfindung der Duplexhemmung viele Jahre lang geheim...”*

Von 1674 an arbeitete Hooke mit Tompion zusammen; seine berühmte Uhr für Charles II. im Jahr 1675 wurde von Tompion hergestellt. Delander, der ebenfalls mit Tompion arbeitete, hatte sicherlich Gelegenheit, die Uhr zu sehen. Huygens hätte kaum über Delander von Hookes Erfindung erfahren, aber er hätte von einem gemeinsamen Bekannten - Oldenburg, den Hooke als “den Verräter” bezeichnete - davon hören können.

Wir werden wahrscheinlich nie erfahren, ob die Hemmung dieser Uhr wirklich ganz und gar Huygens’ Idee war, ob er sie nach Bürgi entwickelte oder nach Hooke. Wichtig ist jedoch, dass die Hemmung in dieser Uhr das früheste noch erhaltene Exemplar eines Vorläufers des Chronometers und der Duplexhemmung ist.



## DIE ZEITGLEICHUNG

Da es sich hier um die früheste noch existierende Uhr mit Zeitgleichung handelt, sollte man hierauf näher eingehen. Die erste bekannte Uhr mit Zeitgleichung wurde von John Fromanteel nach den Vorgaben von Nicholas Mercator gebaut, der sie 1666 bei der Royal Society und danach dem König präsentierte. In Frankreich erhob Pierre Gaudron den Anspruch, sein Vater habe im Jahr 1688 die erste französische Uhr dieser Art konstruiert. Falls diese Uhren heute noch erhalten sein sollten, so ist ihr Aufenthaltsort unbekannt. Die vorliegende Uhr stammt aus derselben Zeitspanne und hat die Jahre bis in die Gegenwart überdauert.



Abb. 42

Die Zeitgleichung besteht aus einem Jahreskalenderrad, das über ein Zahnradgetriebe aktiviert wird indem eine Endlosschraube vom Stundenrad mit Schnecke angetrieben wird. Dieser Ansatz wurde aus Konstruktionen aus der Zeit der Renaissance weiterentwickelt. Abb.45 zeigt eine entsprechende Konstruktion in einer etwa 60 Jahre älteren Uhr von Hans Neidner in Hamburg.<sup>xxxv</sup>



Abb. 43



Abb. 44. Das Stundenrad treibt die Schnecke des Zeitgleichungsmechanismus an. Das System wurde von ähnlichen Kalendermechanismen aus der Renaissance-Periode (wie in Abb. 45 dargestellt) übernommen.

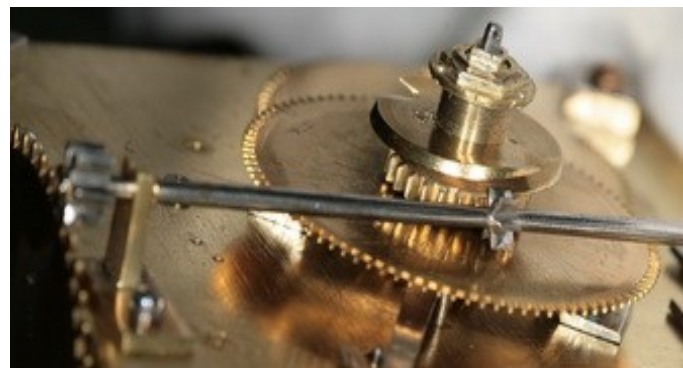


Abb. 45. Ein ähnlicher Kalendermechanismus in einer deutschen Uhr von circa 1630.

Das Stundenrad treibt ein Rad mit 10 Zähnen auf einer Stange, die in einer Endlosschraube endet, die in ein Jahres-/Zeitgleichungsradeingreift. Die Stange dreht sich einmal in  $10/2 = 5$  Tagen bzw.  $365/5 = 73$  mal in einem Jahr. Das Jahresrad (Abb. 48) besitzt 73 Zähne und dreht sich also einmal in einem Jahr. Es handelt sich hier um einen alten Kalendermechanismus, wie er in einigen deutschen Uhren aus dem 16. Jahrhundert verwendet wurde.



Abb. 46. Der Zeigermechanismus der Zeitgleichung ist unkompliziert und geschickt; er besteht aus einem freidrehenden zentralen Rad "A" mit einer Welle für den Gleichungszeiger mit einer schneckenartigen Kette. Ein Ende der Kette ist am Gleichungshebel befestigt, das andere am Federhaus mit Spiralfeder, ähnlich dem Federhaus in Fusee-Uhren. So wird die Rotation des Rades "A" ganz und gar von der Gleichungsnocke

kontrolliert. Ein Zeiger ist an der Hülse von "A" angeschraubt.

Abb. 47. Die Justierung ist einfach und wird über einen Vierkant auf dem Zifferblatt unterhalb von 7 vorgenommen. Das Jahresrad ist reibschlüssig mit der Gleichungsskalenscheibe verbunden, die über ein Rad auf der Welle unterhalb von 7 gedreht werden kann.



Die Nocke ist am Jahresrad angebracht; das reibschlüssige Rad wird von der Schnecke getrieben.

Abb. 48

Abb. 48





## WEITERE TECHNISCHE DETAILS



Abb. 51. Das Aufzugrad weist Markierungen an jedem Zahn auf; es wurde wohl manuell eingeteilt und geschnitten. Siehe auch Abb. 15.

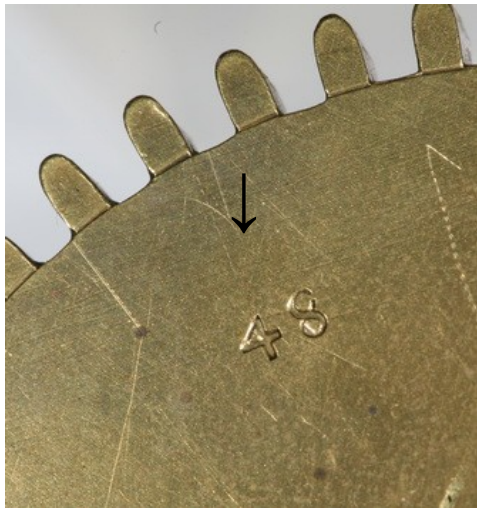


Abb. 52



Abb. 53

Alle massiven Räder tragen die Anzahl ihrer Zähne entweder gestempelt oder eingekratzt.



Abb. 54

Die Blätter der Triebe des 4. Rades (Abb. 54) sowie des Sekundenrads sind abgenutzt und beweisen, dass die Uhr nach der Umarbeitung zu einer perfekten Unruh jahrelang ging.



Abb. 55. Das Federhaus besteht aus 2 Teilen: die Wand aus gelötetem Messingband, der Boden als Polygon geschnitten und gelötet.



Abb. 56. Das Federhaus ist mit erhabenen Lagern verarbeitet.



Abb. 57. Gusslöcher sind bei den meisten der Messingteile zu erkennen.

Abb. 58. Einige der Schrauben weisen Punkte auf, die denen der Gewindelöcher entsprechen.



Abb. 59

Mit Ausnahme des 2. Rads sind die Räder auf Naben montiert; das 2. Rad ist direkt auf den Antrieb montiert und hat einen quadratischen Ausschnitt für Passgenauigkeit (was zeigt, dass es nach dem Montieren geschnitten wurde).



Abb. 60

## FAZIT

Bei der vorliegenden Uhr handelt es sich um eine dieser Raritäten aus der Vergangenheit, die durch ihre besondere Bedeutung unsere Kenntnisse von der Entwicklung horologischer Technologie nachhaltig verändert haben. Die meisten dieser Stücke sind für immer verloren - diese Uhr hatten wir seit den 1980er Jahren praktisch vor Augen, jedoch mit einer falschen Zuordnung. Inzwischen wissen wir, dass es sich hier um die *Balancier Marin Parfait* von Huygens und gleichzeitig sowohl um die älteste Längengraduhr der Welt wie auch um die Inspiration für die hochdekorierete Längengraduhr von Harrison handelt. Sie ist außerdem die älteste noch erhaltene Uhr mit Zeitgleichung.

Huygens war der Lösung des Längengradproblems bis zu seinem frühen Tod sehr nahe gekommen, doch schließlich war es John Harrison (geboren im Todesjahr von Huygens), der - geleitet von Huygens' Arbeiten - die Antwort auf die offenen Fragen in seiner bimetallischen Kompensation fand.<sup>xxxvi</sup>

Der Höhepunkt von Huygens' Versuchen findet sich eindeutig in dieser kürzlich entdeckten Uhr, der BMP2; es ist die letzte Uhr die er, größtenteils eigenhändig, schuf<sup>xxxvii</sup> und in der er die Erkenntnisse seiner lebenslangen Erfahrung einbrachte. Es ist die Uhr, die letztendlich zur Lösung des Längengradproblems führen sollte.

### DANKSAGUNGEN:

Diese Veröffentlichung wäre nicht zustande gekommen ohne die Geduld des Eigentümers während der letzten Jahre, in denen die Uhr untersucht und instand gesetzt wurde. Der kürzlich verstorbene Dr. Michael S. Mahoney von der Princeton University empfahl die Abläufe der Restauration und der Analysen. Die Instandsetzung wurde darauf beschränkt, die Uhr zum Gehen zu bringen, und auch die genaue Metallanalyse war ein Vorschlag von Dr. Mahoney.

Dr. Keith Orford, der so freundlich war den Entwurf zu lesen und zu editieren, brachte eine interessante Analyse von Huygens' Herangehensweise an die "Perfect Marine Balance" aus dem Blickwinkel des Physikers mit ein, Osvaldo Patrizzi, der mindestens zwei der Entwürfe las, steuerte wertvolle Gedanken eines Horologen. William J.H. Andrews von der Harvard University vermittelte den Kontakt mit früheren Besitzern der Uhr, wodurch einige Provenienzfragen geklärt werden konnten, und Richard Newmans feines Gespür für Ausgewogenheit half mir bei der objektiven Betrachtung des Themas. Mein Dank gilt ihnen allen.

- i W.S. Laycock in *The Lost Science of John "Longitude" Harrison* (1976): "...der Engländer [Harrison] verdankt seinem holländischen Vorgänger mehr als er wußte oder zugeben wollte.."
- ii Huygens' Endlosseil-Konstruktion außer Acht lassend.
- iii *The Proceedings of the Longitude Symposium* (Cambridge: Harvard University, 4.-6. November 1993), S. 112.
- iv *Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens* (künftig : *O.C.*), Band 10, Nr. 2891, S. 709.
- v Damals bedeutete *l'Equation du temps* Zeitgleichungstabelle.
- vi *O.C.*, Band 10, Nr. 2892, S. 711
- vii Später bei C.A. Crommelin, veröffentlicht in *Les horloges de Christiaan Huygens*, Bulletin Nr. 61 des Musée National d'Histoire des Sciences in Leiden.
- viii Unser Dank an Patricia H. Atwood für diese Information.
- ix Siehe Anmerkung 4.
- x *O.C.*, Band 18, S. 571-91.
- xi J.H. Leopold, *Christiaan Huygens and his Instrument Makers*, Veröffentlichung zum *Symposium on the Life and Work of Christiaan Huygens*, Amsterdam, 22.-25. August 1979.
- xii *O.C.*, Band 8, S. 475.
- xiii Huygens an Carcavi, 26. Februar 1660 (*O.C.*, Band 3), S. 28.
- xiv Huygens' Brief an Alexander Rolas de Roisey, Haushofmeister des Prinzen. *O.C.*, Band 10, Nr. 2878, S. 684-5
- xv *O.C.*, Band 18, S. 562
- xvi *O.C.*, Band 18, S. 572
- xvii Wir wissen von der Uhr von einem Brief Huygens' an Monsieur de Rosen (oder Rosey), Haushofmeister des Prinzen Friedrich, dem späteren König von Schweden, der die Uhr vermutlich gesehen hat (*O.C.*, Band 10, Nr. 2878). Falls noch vorhanden ist der Aufenthaltsort unbekannt.
- xviii *O.C.*, Band 18, S. 576
- xix Siehe Anmerkung 4.
- xx *O.C.*, Band 10, Brief Nr. 2892, S. 711 "... J'aprens avec plaisir que vous faites imprimer un petit traité philosophique avec la description de vôtre nouvelle horloge que j'ai beaucoup d'impatience de voir estimant infiniment tout ce qui vient de vous...".
- xxi *The Quest for Longitude*, Herausgeber William J.H. Andrews, Cambridge, 1993, S. 112.
- xxii Nach seiner Entdeckung der Kreisevolvente im Jahr 1693 beschreibt Huygens die Backen der Aufhängung eigens als Evolventen und nicht als Zykloiden.
- xxiii *O.C.*, Band 10, Nr. 2823, S. 514-15.
- xxiv *L'autre est la crainte que quelque plagiaire n'aille s'attribuer mon invention...* *O.C.*, Band 10, Nr. 2878.
- xxv J. H. Leopold, *The Longitude Timekeepers of Christiaan Huygens, The Longitude Symposium*, Harvard University, 1993.
- xxvi John Flamsteed, erster Hofastronom.
- xxvii Stephen Inwood, *The Forgotten Genius: Biography of Robert Hooke 1635-1703* (MacAdam/Cage Publishing, 2005), S. 193.
- xxviii Bodenstanduhr circa 1670 in der Sammlung G. Marsh, Winchester, England; Tischuhr in der Prestige Collection; Bodenstanduhr circa 1665 im Britischen Museum (inv. CAI-2099).
- xxix Christiaan Huygens, *Horologium Oscillatorium*, 1673.
- xxx Jean-Dominique Augarde, *Les ouvriers du temps*, Genf, 1996.
- xxxi G. Johan Caspar Görnt, circa 1630. Aus *Pre-Pendulum European Renaissance Clocks* (Patrizzi & Co, Mailand, 2009), S. 202-03.
- xxxii William Derham, "The Artificial Clockmaker," Kapitel *Of the Invention of thofe Pocket-Watches, commonly called Pendulum Watches* (London, 1696), S. 99.
- xxxiii Thiout l'aîné, *Traité de l'horlogerie mécanique et pratique*, Band I, Paris, 1741.
- xxxiv Abraham Rees, *Clocks, Watches and Chronometers: The Cyclopaedia; or Universal Dictionary of Arts, Sciences and Literature* (London, 1820).  
Thomas Reid, *Treatise on Watch and Clock Making* (Edinburgh, 1826).  
Tardy, *La Montre*, undatiert, 1950s.
- xxxv *Pre-Pendulum Renaissance Clocks* (Patrizzi & Co, Mailand, 2009), S. 94-101.
- xxxvi W.S. Laycock, *The Lost Science of John "Longitude" Harrison* (Ashford, Kent, 1976).
- xxxvii Diese Annahme beruht auf der Tatsache, dass Huygens selbst an Vorgängerruhren gearbeitet hat; 1683 baute er ein Modell seines Torsionspendels. Für seine erste "Längenuhr mit perfekter Unruh" stellte er selbst die Unruh her und experimentierte mit verschiedenen Ketten. *O.C.*, Band 18, S. 546-561 und 592-96.