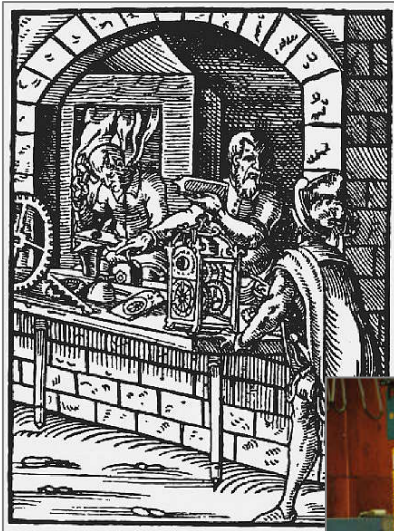
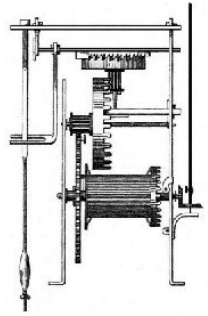


Zeit und Zeichen

Informationen über
Turmuhren
und verwandte Gebiete



**Konstruktion und Bau einer
mechanischen Räderuhr zur
Messung von temporalen und
äquinoktialen Stunden**

*Der Uhrmacher, Holzschnitt von Jost Amman,
Nürnberg, Mitte 16. Jh.*



**Von der Zeitmessung zur Uhr und zur Physik
oder „der (un)heimliche Zugriff der Atomuhr“**

Cäsium Uhr, Physikalisch Technische Bundesanstalt

1 2017

Fachkreis Turmuhren

Fachkreis Turmuhren

Berichte von und für Freunde der Turmuhren © 2017

Inhalt:

- 1 Ekkehard Koch
Ein Wort vorweg

- 3 Manfred Harig, Bergisch Gladbach
Konstruktion und Bau einer mechanischen Räderuhr
mit Spindelhemmung und Waag,
für die Anzeige der Temporal- und / oder Äquinoktialzeit

Bildnachweis: Harig, Manfred, Bergisch-Gladbach

Titelbild aus: *König, Gerhard, Die Uhr, Geschichte-Technik-Stil, Köhler & Amelang, Leipzig, 1991, ISBN 37338-0065-6*

- 27 Prof. Dr. Dietrich Haarer, Bayreuth
Von der Zeitmessung zur Uhr und zur Physik
oder „der (un)heimliche Zugriff der Atomuhr“

Bildnachweis: Haarer, Prof. Dr. Dietrich, Bayreuth

Titelbild: *Cäsiumuhr in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig*

- 42 Steffen Willing, Gräfenhain
Bilder einer restaurierten Turmuhr von 1755 in Göhren – Döhlen

Bildnachweis: Willing, Steffen

Herausgeber: Fachkreis Turmuhren in der DGC

Deutsche Gesellschaft für Chronometrie e.V.

Erscheinungsweise: in offener Folge

Eigenverlag des Fachkreises Turmuhren in der DGC

Redaktion: Peter Faßbender, Hürth, Ekkehard Koch, Georgsmarienhütte,

Verantwortlich für den redaktionellen Inhalt: Ekkehard Koch, Vorsitzender

Fachkreis Turmuhren in der DGC

c/o Ekkehard Koch

Papiermühle 35a

D-49124 Georgsmarienhütte

info@f-k-turmuhren.de

www.f-k-turmuhren.de

Der Inhalt ist urheberrechtlich geschützt, alle Rechte bleiben bei den Autoren, die auch für den Inhalt ihrer Beiträge und Bilder verantwortlich zeichnen.

Ein Wort vorweg

Mit dem ersten Sonnenaufgang vor Jahrtausenden begann die Zeitmessung. Sie beschäftigt seitdem die Menschheit; den Wissenschaftler ebenso wie den Handwerker, mit dem Ziel mehr über das Phänomen Zeit und ihre Messung zu wissen, sie möglichst genau zu erfassen und die Ergebnisse darzustellen, abzubilden. So ist es auch in den nachstehenden Abhandlungen. Hier stehen sich zwei Meilensteine der noch mechanischen Zeitmessung gegenüber. Im Hintergrund wird aber deutlich, dass es jetzt eigentlich keiner mechanischen Zeitmesser, sprich Räderuhren, mehr bedarf.

Beide Autoren befassen sich mit der Zeitmessung aus unterschiedlichen Blickwinkeln. Wissenschaft und Handwerk begleiten einander und die Ergebnisse führen zum gemeinsamen Ziel, verständliches Wissen zum Themenkreis der Zeitmessung zu vermitteln.

Manfred Harig, Mechaniker und Maschinenbauer, widmet sich dem Beginn der mechanischen Zeitmessung mit gewichtsbetriebenen Räderuhren. An einer von ihm konstruierten und in allen Teilen selbst gebauten „Experimentaluhr“ erforscht er die technischen Möglichkeiten der frühen Zeitmessung. Die Stärken und Schwächen der ersten mechanischen Hemmung werden hierbei deutlich. Begleitend wird dazu das in damaliger Zeit weit verbreitete Zeitmaß, die Temporalstunde, in Wort und Bild behandelt.

Dr. Dietrich Haarer, emeritierter Professor für Experimentalphysik, betrachtet Zeitmessung im kritischen Rückblick auf ihre Entwicklung in der Vergangenheit.

Das Hauptaugenmerk ist aber darauf gerichtet, wie der Fortschritt von der reinen gewichts- und/oder federbetriebenen Uhr erfolgte. Winzige Elektromotoren ersetzten zunächst die mechanischen Aufzugssysteme. Dann zogen bald Quarzkristalle in die Uhren ein. Ab den siebziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts schien die Notwendigkeit rein mechanischer Zeitmesser, sprich Uhren, nicht mehr erforderlich. Das war die Zeit zu der eine Quarz-Uhr 100,00 DM oder weniger kostete. Die „unvorstellbare“ Genauigkeit dieser Uhren war so groß, dass sie in 24 Stunden eine Abweichung von nur 1 Sekunde hatten. Doch das reicht heute nicht, die Zeitmessung ist jetzt so genau, dass eine Funkuhr nur noch eine Gangabweichung von 1 Sekunde in 10 000 Jahren hat.

Viel Freude und neues Wissen aus der Betrachtung dieser Lektüre wünscht Ihnen

Ihr

Ekkehard Koch

Wie ist es zu der beschriebenen Uhr gekommen?

Vor 30 Jahren begann ich, Turmuhren zu sammeln. Mich interessierten dabei vorrangig Uhrwerke, die technische Besonderheiten im Bereich der Hemmung haben. Diese Werke sind selten und oft in einem schlechten Zustand. Für die Reparatur und die häufig erforderliche Rekonstruktion beschädigter oder gar fehlender Teile habe ich viel Zeit in Theorie und Praxis investiert. Versuch und Irrtum begleiteten den Weg zum Erfolg. Während dieser Zeit wuchs mein Respekt vor den alten Meistern, die uns diese wunderbaren Werke hinterlassen haben. Es drängte sich die Frage auf, wann, wie und wo hat das mit den gewichtsbetriebenen Räderuhren angefangen.

Dazu kam als logische Folgerung das Thema Temporalstunden. Dieser Bereich nimmt bei Uhrenfreunden einen besonderen Raum ein. Das Für und Wider wird häufig diskutiert und endet mehr oder weniger ergebnisoffen.

Der von mir vorgenommene Versuch auf die offenen Fragen der Mechanik und der temporalen Zeitmessung eine Antwort zu finden, ist auf den folgenden Seiten zusammengefasst. Das sind meine persönlichen Schlüsse und praktischen Arbeitsergebnisse.

Bezüglich der Bezeichnung „Schwingungsdauer“ auch als „Schlagzahl“ bekannt, für eine Waag oder ein Pendel, kann es zu unterschiedlichen Auslegungen kommen. Unter Schwingungsdauer verstehe ich die Zeit von einem Tick zu dem anderen Tack. Das ist die Zeit die das Pendel oder die Waag von einem Umkehrpunkt zum anderen Umkehrpunkt gebraucht. So beschreibt es auch Curt Dietzschold in seinem Buch: „Die Turmuhren mit Einschluß der sogenannten Kunstuhren, Verlag: Bernhard Friedrich Voigt, Weimar 1894, Seite 117.

Für das Uhrmacherhandwerk ist der Begriff „Schwingungsdauer“ in diesem Zusammenhang eine überlieferte und somit geschichtliche Größe. Ihre Anwendung bezieht sich auf alle Ankerhemmungen, die zwei Arme haben; bei Uhren mit einer Spindelhemmung sind es die beiden „Spindellappen“. Bezogen auf die physikalische Größe „Frequenz“ wären die genannten Ergebnisse „Halbschwingungen“.

Es ist mir eine Freude, wenn sich Leser dieser Schrift an dem Themenkreis beteiligen und mir ihre Beobachtungen, Ideen, Ansichten und Forschungsergebnisse mitteilen.

Manfred Harig
Bergisch Gladbach, im Frühjahr 2017

Wann tickte die erste Räderuhr mit mechanischer Hemmung?

Die Forschung geht davon aus, dass die Räderuhr mit mechanischer Hemmung im ausgehenden 13ten Jahrhundert entwickelt wurde. Von wem oder wo ist nicht bekannt. Da die Klöster im 13ten Jh. in hohem Maße Wissenschaft und Forschung dominierten, sind wohl hier die ersten Schritte dieser Entwicklung zu suchen. Weil kein datierbares Exemplar und auch keine nachvollziehbare Beschreibungen aus jener Zeit erhalten sind, wissen wir heute nicht, wie die ersten Räderuhren beschaffen waren. Die Altersannahme der Forschung stützt sich auf Rechnungen über Horologien aus den 80er Jahren des 13ten Jh. Skeptiker halten dem entgegen, dass eine Rechnung über ein Horologium auch auf eine Wasseruhr hinweisen könnte, siehe dazu Dohrn van Rossum „Die Geschichte der Stunde“.

Eine alte, unwidersprochene Erwähnung einer Räderuhr kennen wir aus Dantes göttlicher Komödie von 1320, Vierundzwanzigster Gesang:

„Und so wie Räder in der Uhr Gefüge
sich so bewegen,
dass, wer aufmerkt, glaubt,
das erste stehe still, das letzte fliege.“

Quelle: Dante Alighieri/Witte, Die Göttliche Komödie, Berlin, Askanischer Verlag 1921

Wenn ein Schriftsteller 1320 eine Räderuhr so treffend beschreibt, kann dieses doch nur bedeuten, dass sie zu diesem Zeitpunkt bereits weitläufig eingeführt war. Hinzu kommt, dass ab 1305 in der Literatur laufend auf die Existenz von Uhren an vielen Stellen in Europa hingewiesen wird. Es ist schwer vorstellbar, dass die rasche Verbreitung der Räderuhr in so wenigen Jahren vollzogen wurde. Wahrscheinlich waren die ersten gewichtsbetriebenen Räderuhren mit bescheidenen Gangergebnissen bereits Mitte des 13ten Jh. oder noch früher in Funktion.

Jean Froissart, er war französischsprachiger Dichter und Chronist und lebte in der Zeit um 1337 bis 1405. Von ihm stammt das 1369 verfasste Gedicht „Li Orloge Amoureux“ in diesen Versen werden die einzelnen Bestandteile einer Uhr mit den Attributen der Liebe verglichen. Froissart beschreibt zum Beispiel die Waag, das Schwingelement der Uhr, in dem er es im übertragenen Sinn mit einem Tänzer vergleicht. Er bezeichnet die Waag als „Foliot“. Foliot ist von dem französischen Wort „folie“ abgeleitet und bedeutet Verrücktheit (verrückt herumtanzen). Das Wort Foliot ist bis heute als andere Bezeichnung für „Waag“ erhalten. Weitere Einzelteile, auch des Schlagwerks, werden hier ebenso beschrieben.

Quelle: Bruton, Eric, Uhren Geschichte Schönheit u. Technik, Orbis Publishing Limited, London 1979

Wie ist man in jener Zeit ohne Räderuhr mit dem täglich ablaufenden Zeitprogramm umgegangen?

Die Landbevölkerung richtete sich augenscheinlich nach dem Stand der Sonne. Als zuverlässiger Wecker diente der morgendliche Hahnenschrei.

In den zivilisierteren Lebensräumen hatte man Elementaruhren. Das waren Sonnen-, Wasser- und Feueruhren. Bei bedecktem Himmel und des nachts fielen die Sonnenuhren aus. Für den Fall hatte man Wasseruhren, die froren im Winter ein. Wenn beide Systeme versagten, nahm man Kerzen oder Öllämpchen mit Stundemarkierungen. Sanduhren sind seit der ersten Hälfte des 14. Jh. nachgewiesen, sie entstanden zu einer Zeit, zu der Räderuhren schon in Gebrauch waren.

Die Zeit wurde stündlich der Bevölkerung mitgeteilt, indem der Türmer die Stunden per Hand auf die Stadtglocke übertrug. Oder die Wächter vermittelten die Zeit durch Hornsignal und Ausrufen. „Hört ihr Leut und lasst Euch sagen—,,

Viele Belange des Alltags, wie das Öffnen und Schließen der Stadttore, der Beginn und das Ende von Markttagen oder die regionale Wasserzuteilung sowie der Wachwechsel der Stadtsoldaten konnte so pünktlich eingehalten werden.

Die Gläubigen erfuhren, wann sie zur heiligen Messe eilen mussten, und in den Klöstern konnten die Gebete pünktlich verrichtet werden.

So einfach, wie das hier dargestellt wird, war das damals nicht. Man lebte seit der Antike ununterbrochen nach der temporalen Zeit. Die heute fast vergessene temporale Stunde begegnete mir erstmals in dem Buch „Turmuhrwerke“, Herausgegeben 2001 vom Fachkreis Turmuhren in der DGC. Bernhard Schmidt beschreibt in dem Artikel „Die Waaguhr“ kurz und stimmig den Umgang mit der Temporalstunde im 14ten Jh.

Zum tieferen Verständnis befasste ich mich etwas eingehender mit diesem Thema. Es ist überliefert, dass sich die Sumerer bereits 3000 Jahre vor unserer Zeitrechnung jahreszeitlich an den Sonnenwendtagen und den Tag- und Nachtgleichen orientierten. Zeitgleich wurden von unbekannten Baumeistern die megalithischen Steinkreise in Stonehenge errichtet. Ihre Ausrichtung zeigt heute noch den Betrachtern an den Sonnenwendtagen, dass nur die aufgehende Sonnenscheibe an einer ganz bestimmten Stelle erscheint.

Darstellung der temporalen Zeit, die Einteilung des Tages in Stunden

Für uns hat der Tag, bestehend aus der hellen und dunklen Zeit, 24 Stunden mit jeweils 60 Minuten. Er endet um Mitternacht, um 24 Uhr. Die Stundenzählung beginnt dann bei null und reicht bis 12 Uhr, das ist dann 12 Uhr mittags. Die Zählung wird fortgesetzt und geht wieder über 12 Stunden. Die erste Stunde nach mittags 12 Uhr beginnt mit der Zahl 1, oder aber, damit es nicht zu Verwechslungen kommt, wird mit 13 weitergezählt bis 24 Uhr. Dann kommen ein neuer Tag, ein neuer Tagesname und ein neues Tagesdatum. Dieses System und die Stundenrechnung nennen wir die äquinoktiale Zeit.

Nun soll der Unterschied verdeutlicht werden zwischen der heute gebräuchlichen Tageseinteilung mit 24 gleichlangen Stunden von jeweils 60 Minuten, der

Äquinoktialzeit und der früher, zur Entstehungszeit der mechanischen Uhr noch üblichen temporalen Einteilung des Tages, in von der Jahreszeit abhängigen und in zwölf Abschnitte eingeteilte hellen und dunkeln Phasen des Tages. Basis war also der natürliche Tag.

Beginnt heute der Tag um Mitternacht, so war zur Temporalzeit Tagesanfang mit dem Beginn der hellen Tagesstunden, also bei Sonnenaufgang und endete bei Sonnenuntergang. Dann begann die Nacht, sie dauerte bis zum Sonnenaufgang. Das war auch jeweils der Beginn der Stundenzählung. Die Temporalstunden hatten keine einheitliche Länge in Minuten. Mit der heutigen Tageseinteilung haben sie nur die Zwölfteilung gemeinsam. Die sich aus 24 Stunden mit jeweils 60 Minuten Dauer ergebende Tageslänge von 1440 Minuten war zwar wie heute, wurde aber anders eingeteilt.

Wir rechnen heute zwei mal 12 Stunden für den Tag, ohne Rücksicht darauf, ob es hell oder dunkel ist.

Die Temporalzeit unterscheidet die hellen und dunklen Stunden des Tages und teilt diese wechselnden Zeitspannen immer in gleiche 12 Teile ein. Da die Abschnitte von hell und dunkel sich im Laufe des Jahres verändern, verändern sich zwangsläufig auch die Längen der jeweiligen Zwölftel.

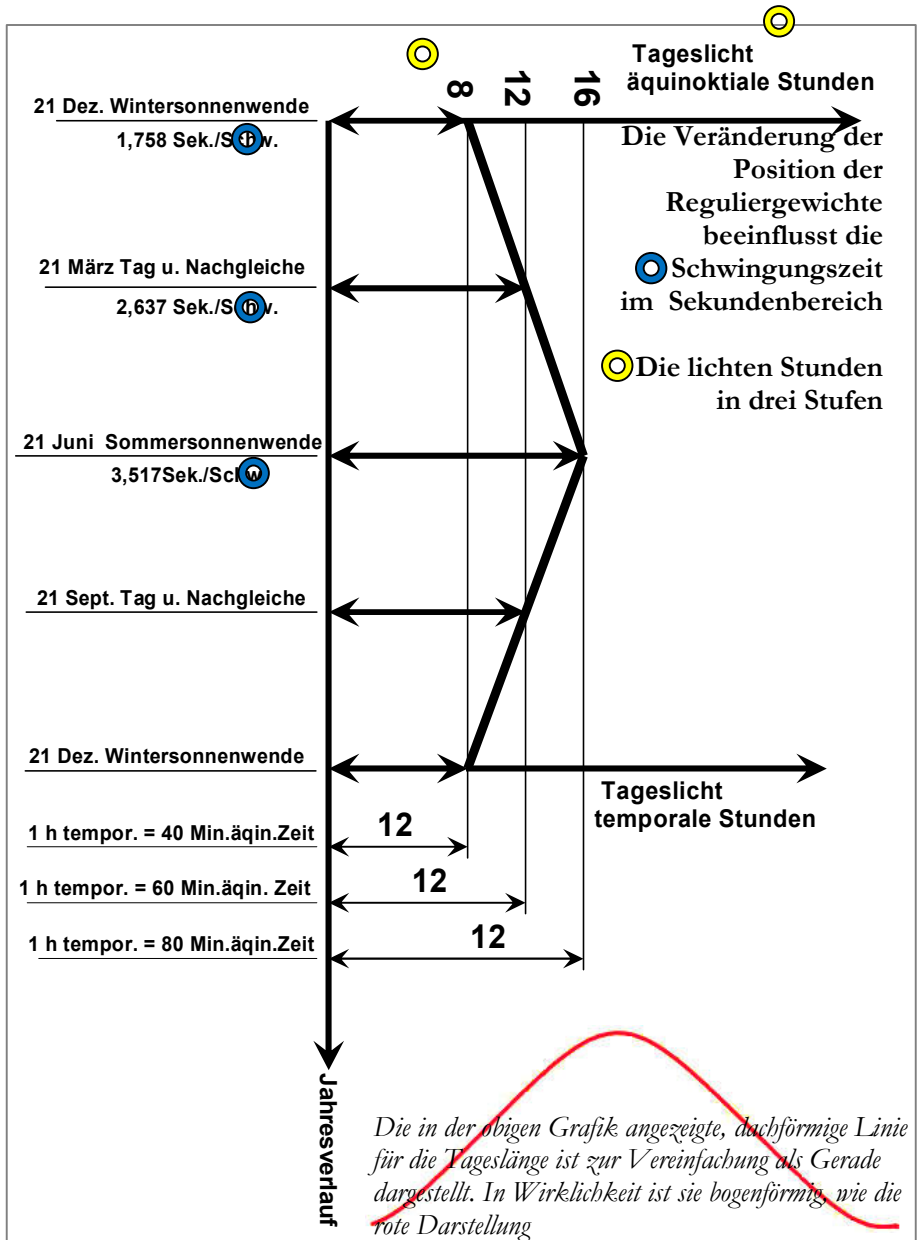
Am 21. Dezember, dem kürzesten Tag im Jahr, ist nach unserer heutigen äquinoktialen Zeitrechnung die helle Tageszeit nur 8 Stunden lang, also 8×60 Minuten, das entspricht einer Dauer von 480 Minuten.

Nach temporaler (alter) Zeit musste der helle Tag aber in zwölf gleiche Abschnitte eingeteilt werden. Es sind also die 480 Minuten durch 12 zu teilen, somit ist eine temporale Stunde an diesem Tag nur 40 Minuten lang. Die dunkle Zeit an diesem Tag beträgt aber 16 Stunden mit jeweils 60 Minuten. Das ist eine Spanne von 960 Minuten. Für die temporale Zeit bedeutet das, 960 Minuten müssen durch 12 geteilt werden um 12 gleichlange Abschnitte zu haben. 1 Zwölftel entspricht demnach 80 Minuten.

Zusammengefasst für die Temporale Zeit bedeutet das am 21. Dezember:

- 12 Tagstunden mit jeweils 40 Minuten
 - 12 Nachtstunden mit jeweils 80 Minuten.
- Einem kurzen Tag folgt also eine lange Nacht oder umgekehrt folgt einem langen Tag eine kurze Nacht, so wie es der Sonnenlauf über das Jahr vorgibt.
- Der Unterschied der Tageslänge übers Jahr ist abhängig von der geographischen Breite oder Breitengrad. Köln liegt nahe dem 51ten Breitengrad. Das entspricht in etwa dem Faktor 1:2. Rostock liegt nahe dem 54ten Breitengrad. Dort beträgt der Faktor bereits 1:2,43. Noch weiter nördlich in Irland ist es länger hell, und der Faktor steigt auf 1:3.

Das oben gesagte wird nochmals in dem nebenstehenden Diagramm deutlich zusammengefasst. Für die Erstellung des Diagramms wurden die Sonnenwendtage, die Tag- und Nachtgleichen und der Faktor 1:2 gewählt.



- Die dachförmige Linie zeigt den Anstieg der Tageshelligkeit vom kürzesten Tag im Dezember bis zum längsten Tag im Juni und wieder zurück. Neben der rechten Ordinate sind die drei selben Stufen in temporaler Zeit angezeigt.
- Egal wie lange es hell war, jeder lichte Tag hatte 12 temporale Stunden.

Am 21. März und 21. September, den Tag- und Nachtgleichen, den Äquinoktien, sind, wie der Name schon sagt, Tag- und Nacht gleich lang und haben nach unserer Zeitrechnung wie nach temporaler Rechnung jeweils 720 Minuten. Auf 12 Stunden aufgeteilt entspricht dieses wiederum einer Stundenlänge von 60 Minuten.

Am 21. Juni, dem längsten Tag im Jahr, ist die helle Tageszeit nach unserer heutigen Rechnung 16 Stunden lang und hat 16 x 60 Minuten, das bedeutet 960 Minuten. Für die temporale Zeit sind diese 960 Minuten in 12 gleich lange Teile einzuteilen, $960 : 12$ entspricht 80 Minuten. Eine temporale Tagstunde hatte demnach 80 Minuten.

Der Ursprung der temporalen Zeitrechnung (*Horae antiquae*) ist im Orient und dem alten Griechenland zu finden. Der Sinn dieser Zeiteinteilung wird deutlich, wenn man die damaligen Lebensumstände betrachtet. Die täglichen Arbeiten, sozialen Aufgaben und Ereignisse waren weitgehend abhängig vom natürlichen Licht, von der Sonne. Hier eine für die Allgemeinheit gültige Struktur, also feste Abschnitte zu haben, erleichterte das Leben in einer Gemeinschaft.

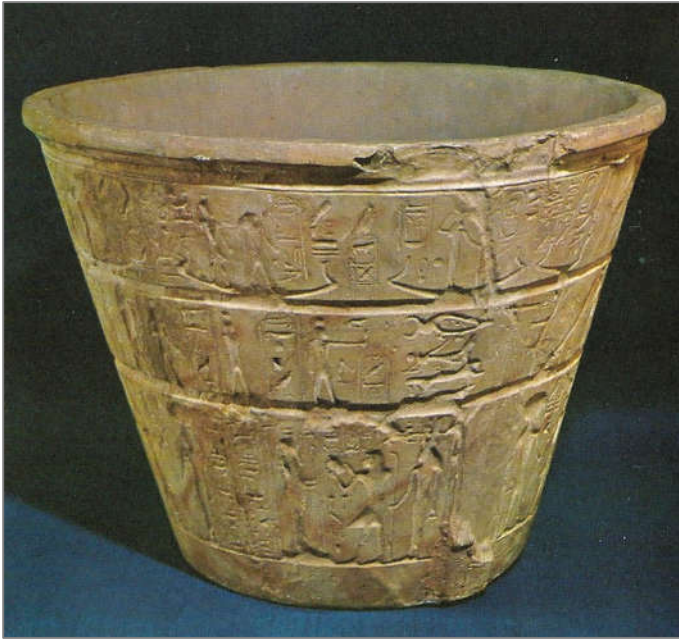


Kerzenubr mit einem Schattenwerfer für eine Skala mit Zeiteinteilung, 20. Jh.

Quelle: The Time Museum, Volume1, Time Measuring Instruments Part 3, ISBN 0912947012, 1984

Wie ließen sich die Elementaruhren auf die unterschiedlich lange Temporalstunde einstellen?

Dem veränderten Sonnenstand folgend zeigte die Sonnenuhr mit ihrem Punktschatten automatisch die unterschiedlich langen Temporalstunden an.



Nebenstehend eine einfache „Auslauf-Wasseruhr“

ohne technische Zusatzeinrichtungen.

Es handelt sich um eine Rekonstruktion nach Fundstücken aus dem Tempel zu Karnak, Ägypten, 1415 – 1380 vor Chr.

Bild, Quelle: Zeller, Alfred. P., Uhren, München,

Schuler Verlagsgesellschaft mbH 1974

Das Gefäß wird mit Wasser befüllt und durch eine kleine Öffnung in der Nähe des Bodens „läuft das Wasser aus“.

An einer Skala im Inneren der Wasseruhr kann am Wasserstand abgelesen werden, welcher Zeitabschnitt seit der Befüllung „verflossen“, vergangen ist.

Auf der nächsten Seite sehen wir eine Wasseruhr, die bereits über eine verstellbare hydraulische Hemmung verfügte. Der griechische Mechaniker Ktesibios aus Askra erfand um 250 vor Chr. eine Wasseruhr mit Zahnradgetriebe. Das Wasser trat aus dem Gefäß durch eine feine Goldmündung oder durch einen durchbohrten Edelstein aus. Auf einem Korkschwimmer saß ein Zeiger für eine senkrechte Stundenskala. Eine ebenfalls daran angebrachte Zahnstange bewegte durch Zahnräder Figuren „und andere Nebendinge“. (Vitruvius, Architectura Buch 9 Kap. 8,4).

Quelle: Feldhaus, F.M.: Die Technik, Ein Lexikon der Vorzeit, der Geschichtlichen Zeit und der Naturvölker, Heinz Moos Verlag GmbH & Co KG, München, 1970

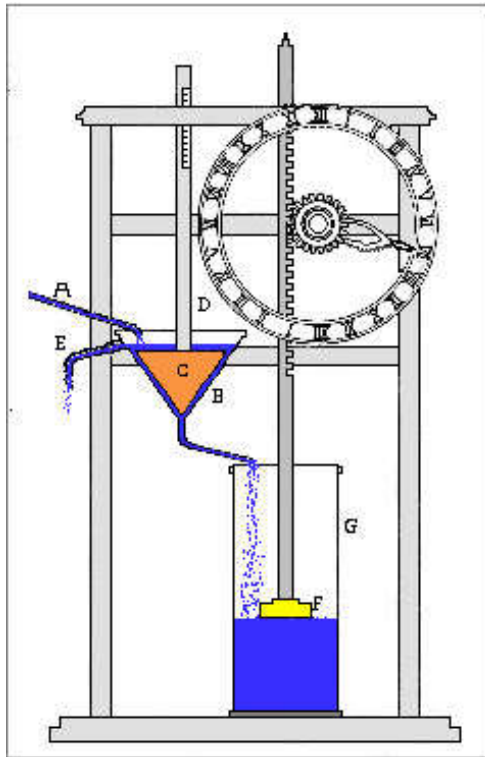
Derart komfortable Kombinationen von Hydraulik und Mechanik existierten also bereits 250 Jahre vor unserer Zeitrechnung.

Die Klepsydra (Wasseruhr)

Das über den Zufluss **A** in den Einlauftrichter **B** fließende Wasser stellt durch ständigen Überlauf **E** den gleichbleibenden Wasserdruck sicher. In der Trichtermittte befindet sich der Konus **C**, er ist verbunden mit der Stange **D**, diese hat eine Skala, nach der die Eintauchtiefe des Konus eingestellt wird. Der Konus lässt nur eine bestimmte Menge Wasser in den Zylinder **G** fließen. Durch Heben oder Senken der Stange **D** wird der Wasserdurchlass, wie beim heutigen Wasserhahn, gesteuert. Der Schwimmer **F** bewegt dann über eine Zahnstange den Zeiger, der auf einem Ziffernring die Zeit anzeigt.

**Wenig Wasser - lange Stunde,
viel Wasser – kurze Stunde.**

Die gefundene Einstellung wird mittels der Stange **D** im Gestell fixiert. Morgens und abends wird umgestellt. Das ist also die erste Hemmung für eine Uhr, die die Menschheit hervorgebracht hat. Die Forschung kennt Beispiele, dass bereits bei den Babyloniern ähnliche Wasserregulierungen bei Uhren bekannt waren.



Antike Wasseruhr, etwa 150 v. Chr., Rekonstruktion aus dem 18. Jh.

*Quelle: Rees, Rev. Abraham, The Cyklopaedia, London, 1819 – 1820; und: König, Gerhard, Die Uhr, Geschichte-Technik-Stil, Koehler & Amelang, Leipzig, 1991
Farbfassung nachgetragen von: Koch, E.*

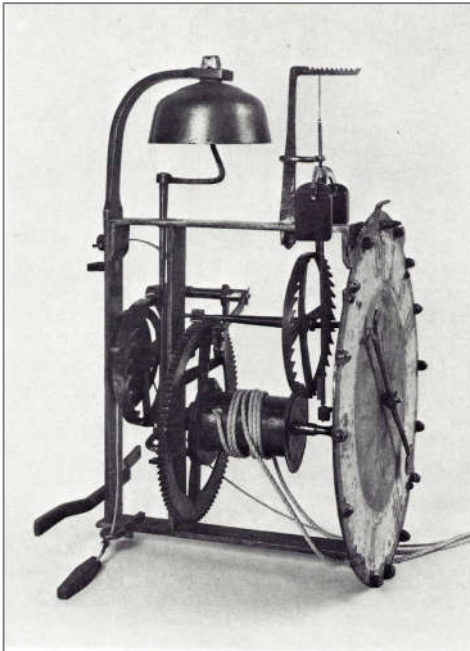
Warum dauerte es so lange mit der mechanischen Lösung?

Um eine Hemmung zu entwickeln, die rein mechanisch das gleiche leistet wie die oben aufgeführte hydraulische, verstrichen mehr als 1500 Jahre, bis im 13ten Jh. die erste gewichtsbetriebene Uhr mit mechanischer Hemmung tickte.

Den temporalen Vorgaben folgend musste die Hemmung am Tag anderes gehen als in der Nacht. Damit nicht genug: Übers Jahr mussten in gewissen Abständen durch eine Gangänderung die sich verändernden und somit unterschiedlichen Tages - und Nachtlängen ausgeglichen werden. Nun wird es schon deutlich, welch umfassendes Gedankengut unsere Altvordenen beherrschen mussten, um diesen kolossalen Entwicklungsschritt zu meistern.

Die Spindelhemmung mit einer Waag, auch als Foliot bezeichnet.

Die Lösung wurde gefunden in der Spindel-Hemmung. Ein an einem Faden hängender, waagrechter Balken, die Waag, mit zwei verschiebbaren Gewichten, wird links herum und rechts herum von einer Spindel mit zwei Lappen, der eigentlichen Hemmung, angetrieben. Durch die Gewichte auf dem Balken kann die Schwingungszeit verändert werden. Gewichte nach innen verschoben bedeutet, dass die Massenträgheit abnimmt, das Räderwerk dreht sich schneller. Werden die Gewichte nach außen verschoben, nimmt die Massenträgheit zu und das Räderwerk dreht sich langsamer. Damit hatte man endlich eine Möglichkeit die damals benutzte unterschiedlich lange Temporalstunde einzustellen.

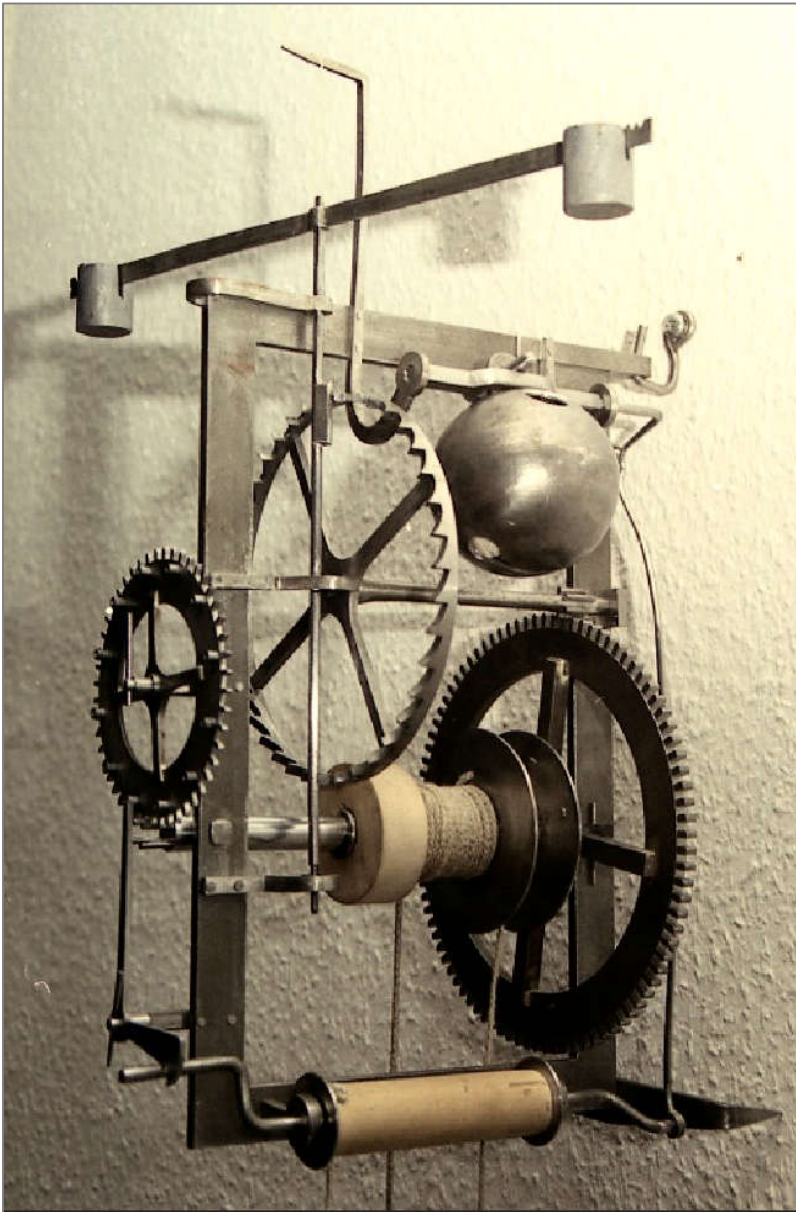


Diese Erkenntnis ist auch im Anfang der gewichtsbetriebenen Räderuhr verwirklicht.

Die ersten Uhren dieser Art, wir nennen sie heute Türmeruhren, waren in den Stadttürmen aufgestellt. Sie lösten die bis dahin verwendeten Elementaruhren ab. Um diese Uhr zu stellen, war die Sonnenuhr unverzichtbar. Zur Mitte des Tages hatte man die ortsbezogene genaue Zeit. Das war dann die 6te Stunde.

Nebstehendes Uhrwerk wird in dem Buch von Lunardi als eine der ältesten, noch existierenden Räderuhren vorgestellt. Die Entstehungszeit wird mit 1390 oder früher angegeben. Dieser Uhrentyp könnte auch als Vorläufer der großen Turmuhren angesehen werden.

Bild, Quelle: Lunardi, Heinrich, 900 Jahre Nürnberg, Wilhelmbaumüller, Universitätsbuchhandlung Wien 1974



Nachbau einer Wanduhr (Türmeruhr) aus dem 16. bis 17. Jh.?

Im Mainfränkischen Museum in Würzburg,

mit Zeigerwerk und Schelle. Als Schelle wird eine hohle Kugel bezeichnet, in deren Innenraum eine lose Kugel ist. Wird die Schelle bewegt, verursacht die Kugel ein „klingendes“ Geräusch.
Quelle: Foto des Herstellers, Fowler, Ian D., Friesenhagen



*In dem Germanischen Nationalmuseum zu Nürnberg, 15 Jh. ?
Quelle: Foto, Koch. E.*

Türmeruhr mit Stundenwecker, aus der St.-Sebaldis-Kirche zu Nürnberg, dort hatte sie im südlichen Turm ihren ursprünglichen Platz. Das Zifferblatt war vor der Restaurierung der Uhr mehrfach übermalt. Uhrmachermeister Gustav Speckhart (1852 bis 1919) restaurierte das Werk und entfernte die spätere Bemalung auf dem Zifferblatt. Jetzt ist wieder der ursprüngliche Zustand mit der Einteilung von 16 Stunden, den Nürnberger Stunden zu sehen. Die vorstehenden 16 Nagelknöpfe erlaubten es dem Türmer, auch bei Dunkelheit die Zeigerstellung zu ertasten. Er konnte dann die entsprechende Stundenzahl auf der Stadtglocke anschlagen.

Gedanken zum Eigenbau einer Türmeruhr

Wie schon eingangs erwähnt, weiß man bis heute nicht, wie eine Uhr aus der Anfangszeit beschaffen war. Um selber nachzuvollziehen, was die alten Meister geschaffen haben, entschloss ich mich, solch eine Uhr nach den Ergebnissen meiner Versuche und eigener Vorstellung zu bauen.

Die einfachste Machart mit dem geringsten Aufwand wurde vorgesehen. Der Werkstoff richtete sich dabei nach dem zur Entstehungszeit von Räderuhren verfügbaren Material: Holz, Eisen, Hanf.

Der Aufbau

Das Getriebe besteht aus Bodenrad, Trieb und Steigrad. Die Wellen sollen in einem Flachrahmen aus Eichenholz gelagert sein. Ein Antriebsgewicht mit einem Gegengewicht soll mittels Schlingseil eine Schnurrolle ohne Gesperr antreiben.

Weiter wurden vorgesehen

Ein akustisches Stundensignal, eine Stundenanzeige auf einem Zifferblatt und eine Minutenskalierung auf dem Bodenrad, welches 1-mal in der Stunde umlaufen soll.

Für den Waagbalken sind zunächst beidseitig nur 3 Kerben gemäß der Daten des Diagramms auf Seite 5 für die Temporalzeit gedacht.

Die Konstruktion

Es ist nicht leicht etwas zu neu oder anders zu erdenken, wenn es den Gegenstand schon gibt und er einem in Wort und Bild oder gar als fertiger Gegenstand in Funktion oft begegnet ist. Meine Gedanken mussten sich damit beschäftigen von einem bestehenden Uhrwerk so viel wie möglich wegzulassen und das es doch noch seine Funktion voll, dauerhaft und sicher erfüllt. Die Technik musste auf wenige ursprüngliche Bauteile reduziert werden.

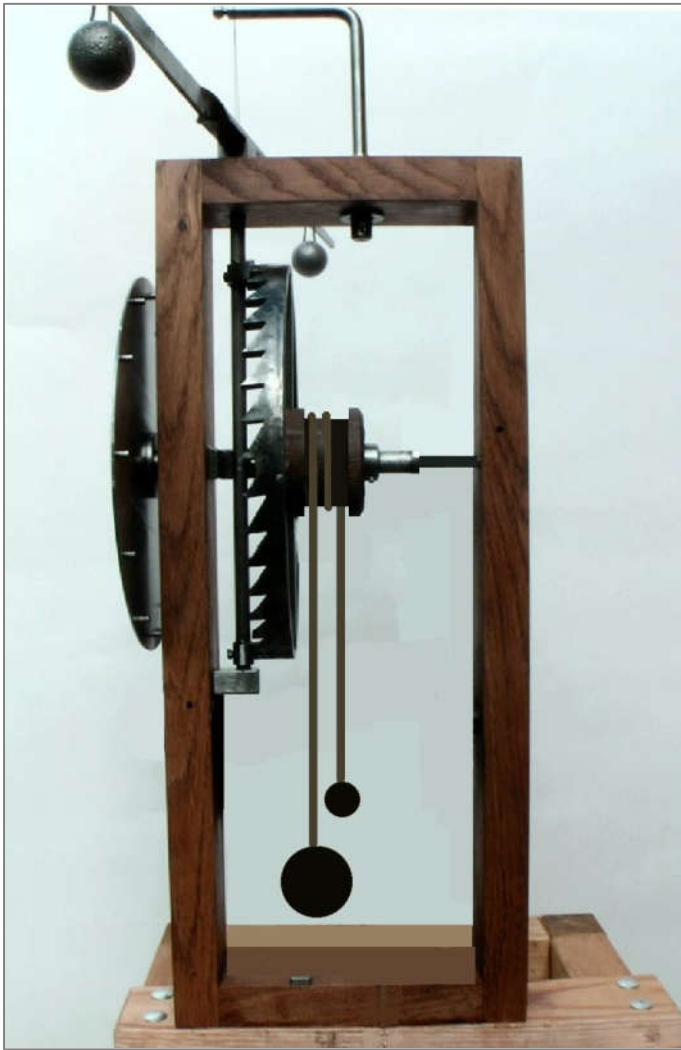
Die Einzelteile waren mit Werkzeugen herzustellen, die es zu ihrer gedachten Entstehungszeit X schon gab.

Die Werkstoffe mussten zu der Zeit X vorhanden gewesen sein. Diese Überlegungen nahmen viel Zeit in Anspruch und es war ein langer Reifeprozess bis der Zeichenstift Bauteile zu Papier brachte. Das Radiergummi war da mindestens so wichtig wie der Zeichenstift selbst. Auch in der Theorie gibt es Versuch und Irrtum.

Erforderlich für ein funktionstüchtiges Uhrwerk sind nur:

- Die Hemmung, bestehend aus Spindel und Waag.
- Das Steigrad auf einer Achse, die gleichzeitig als Schnurrolle dient.
- Ein Zeiger, der an einem Ende der Achse von Steigrad und Schnurrolle ist.

Bei dem vorgestellten Uhrwerk habe ich dieses ergänzt um ein Bodenrad und ein Trieb, damit ein Umlauf von einer Stunde möglich ist und eine längere Gangdauer. An Stelle des Zeigers wurde eine Scheibe mit schrittweiser Fortschaltung als Zifferblatt gewählt. Eine weitere Ergänzung ist das Schlagwerk mit Auslösestift, Hammer und Glocke.



Seitenansicht des Uhrwerks, das auf seine Mindestbestandteile reduziert ist, das Zwischenrad mit Trieb und das Schlagwerk fehlen.

Im Vordergrund der technischen Ausführung stand immer der handwerkliche Aspekt. Erst wenn der Arbeitsschritt in reiner Handarbeit machbar und erfolgreich geschehen war, durfte eine heute gängige Arbeitstechnik oder eine Maschine verwendet werden. Das kostete viele Arbeitsstunden, vermittelt aber ein authentisches Ergebnis.

Die Ausführung

- Der Holzrahmen, mit der Profilstärke 60 x 30 mm und den Maßen Höhe, Breite: 560 x 230 mm, wurde mittels Schlitz und Zapfen verleimt.
- Die Getriebewellen wurden direkt im Holz, nur mit Ölschmierung gelagert.
- Das Bodenrad mit 105 Zähnen und einem Durchmesser von 324 mm hat eine Minuteneinteilung und macht eine Umdrehung pro Stunde.
- Dieses wurde mittels 4 Speichen fest mit der hölzernen Schnurrolle vernietet.
- Ein Laternentrieb mit 6 Stäben ist auf die Steigradwelle aufgespresst.
- Das Steigrad hat einen Durchmesser von 284 mm, 39 Zähne, eine Teilung von 20 mm und ist wiederum durch 4 Speichen mit einer Holznabe vernietet. Die 39 Zahnsitzen sind um eine Teilung nach hinten versetzt gefertigt, damit die Zähne beim Verlassen der Lappen mit ihrer gesamten Breite scharf abfallen.
- Die Lappen sind 22 mm lang (gemessen von der Spindelmitte) und haben einen Krümmungsradius von 35 mm. Der Öffnungswinkel der Lappensitzen zueinander beträgt 92°.
- Die glatte Schnurrolle wird durch ein Schlingseil aus Hanf durch 540° Umschlingung rutschfest angetrieben.
- Das in Versuchen ermittelte Antriebsgewicht beträgt 5 kg und benötigt ein Gegengewicht von 1 kg. Das Gegengewicht ist erforderlich, damit das um die hölzerne Schnurrolle gewickelte Zugseil straff und fest gehalten wird.
- Zwei Schaltfinger sind mit der Bodenradwelle verbohrt.
- Der Erste spannt eine Blattfeder mit einem Hammer, der zur vollen Stunde einmal mal auf die Glocke schlägt.
- Der Zweite bewegt im Stundenschritt ein 12stündiges Zifferblatt.
- Der Waagbalken wurde nach vielen Versuchen 620 mm lang und hatte zunächst nur beidseitig jeweils 3 Kerben für die Gewichte, entsprechend dem Diagramm von Seite 5. Der Balken ist mit der Spindel fest verbunden und wahlweise an einem Faden hängend oder auf einem Lager stehend verwendbar. Diese Lösung wurde gewählt, da es historische Vorbilder späterer Uhren gibt, die jeweils auf der einen oder anderen Basis funktionieren. Das sollte somit auch seine konstruktive Plattform finden.
- Die verschiebbaren Gewichte haben je 200 Gramm.
- Das Gewicht der Spindel mit dem Waagbalken und den Verschiebegewichten beträgt 906 Gramm.
- Frühe Uhren hatten sicher überwiegend Steingewichte als Kraftquelle. Darauf habe ich verzichtet, um besser mit verschiedener Antriebskraft und unterschiedlichen Reguliergewichten an der Waag experimentieren zu können. Die eingesetzten Gewichte sind aus Blei und wurden in meiner kleinen „Feldschmiede“ im Garten gegossen.

Wie schon berichtet, habe ich im Zusammenhang mit der Konstruktion auch einiges berechnet, so auch die Zahnzahlen von Trieb und Rädern.

Die Aufgabe war, das Zifferblatt sollte sich in zwölf Stunden, gleich ob diese äquinoktial oder temporal sind, einmal drehen. Bei einer heutigen Räderuhr mit einem Pendel ist das eine einfache Sache. Die Schwingungszahl des Pendels ist aus vorgegebenen Zahnzahlen schnell errechnet. Ist für die Ermittlung der dazu passenden Pendellänge kein Tabellenwerk zur Hand, kann diese auch rechnerisch ermittelt werden. In die entsprechende Formel wird dazu auch g = Erdschwerebeschleunigung/Erdbanziehung eingegeben, üblicherweise mit dem Mittelwert von $9,80 \text{ m/s}^2$.

Aber wie verhält sich die Erdbanziehung bei einer Waag und welchen Einfluss kann sie ausüben? Darauf hatte ich keine Antwort und habe mich deshalb an von mir gemachten Aufzeichnungen orientiert. Da sind auch meine Beobachtungen und Messungen an der Turmuhr von 1386 in Salisbury, England, eingeflossen. Während des internationalen Symposiums 2011 mit dem Fachkreis Turmuhren in Oxford hatte ich ausführlich Gelegenheit mich mit dieser Uhr zu beschäftigen und aus der Funktion der Waag Schlussfolgerungen zu ziehen.

Bei den erforderlichen Berechnungen für das Modell nahm ich eine Schwingungszeit der Waag, von Umkehrpunkt zu Umkehrpunkt, wie bei einem Pendel, von zwei Sekunden als Ausgangswert.

Die Zahnzahlen der Räder (Steigrad und Bodenrad) werden miteinander multipliziert, das Resultat dieser Rechnung wird nochmals mit 2 multipliziert, weil für den Fortgang eines Zahnes im Hemmungsrad 2 Wechsel erforderlich sind. Dieses Ergebnis wird dividiert durch die Zahnzahl des Triebes.

Die Rechnung sieht dann so aus:

Steigrad / Hemmungsrad $Z = 39$

Bodenrad: $Z = 105$

Steigradtrieb: $z = 6$

$$\frac{39Z \cdot 105Z \cdot 2 \text{ Wechsel}}{6z} = 1365 \text{ Wechsel oder Halbschwingungen}$$

Nun ist zu ermitteln wie lang ein Wechsel dauert, Basis dafür ist eine Stunde, also 3600 Sekunden.

$$\frac{3600 \text{ Sekunden}}{1365 \text{ Wechsel}} = 2,637 \text{ Sekunde je Wechsel}$$

Nachdem die Pendel- / Waagschwingungen pro Stunde errechnet wurden, war noch zu erproben, mit welcher Gesamtlänge der Waag diese Schwingungszahl zu erreichen ist. Das war wirklich eine längere Versuchsreihe mit verschiedenen Gewichten und endete bei einer Länge von 620 mm.

Gemäß Diagramm haben die lichten Stunden am:

- 21. Dezember 40 Min.
- 21. März 60 Min.
- 21. Juni 80 Min.

Die Schwingzeiten der Waag wurden errechnet:

- 21. Dezember $40 \times 60 : 1365 = 1,785$ Sekunden pro Schwingung
- 21. März $60 \times 60 : 1365 = 2,367$ Sekunden pro Schwingung
- 21. Juni $80 \times 60 : 1365 = 3,516$ Sekunden pro Schwingung

Mit diesen Werten und einer Stoppuhr wurden die Abstände für die Kerben empirisch ermittelt. Die Abstände, gemessen von der Spindelmitte:

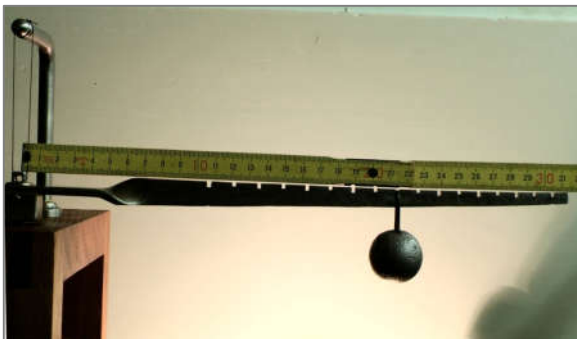
- 21. Dezember 107 mm
- 21. März 215 mm
- 21. Juni 305 mm

Belegung der Kerben auf dem Waagbalken.

- Am 21. Dezember werden am Tag die inneren und nachts die äußeren Kerben belegt.
- Am 21. März werden bei Tag und Nacht die mittleren Kerben belegt,
- am 21. Juni Tagsüber die äußeren, nachts die inneren Kerben.

Die Umhängung der Gewichte erfolgt jeweils bei Sonnenaufgang und bei Sonnenuntergang. Bei richtigem Gang der Uhr weist das Zifferblatt bei der Umstellung jeweils auf die 12te Stunde.

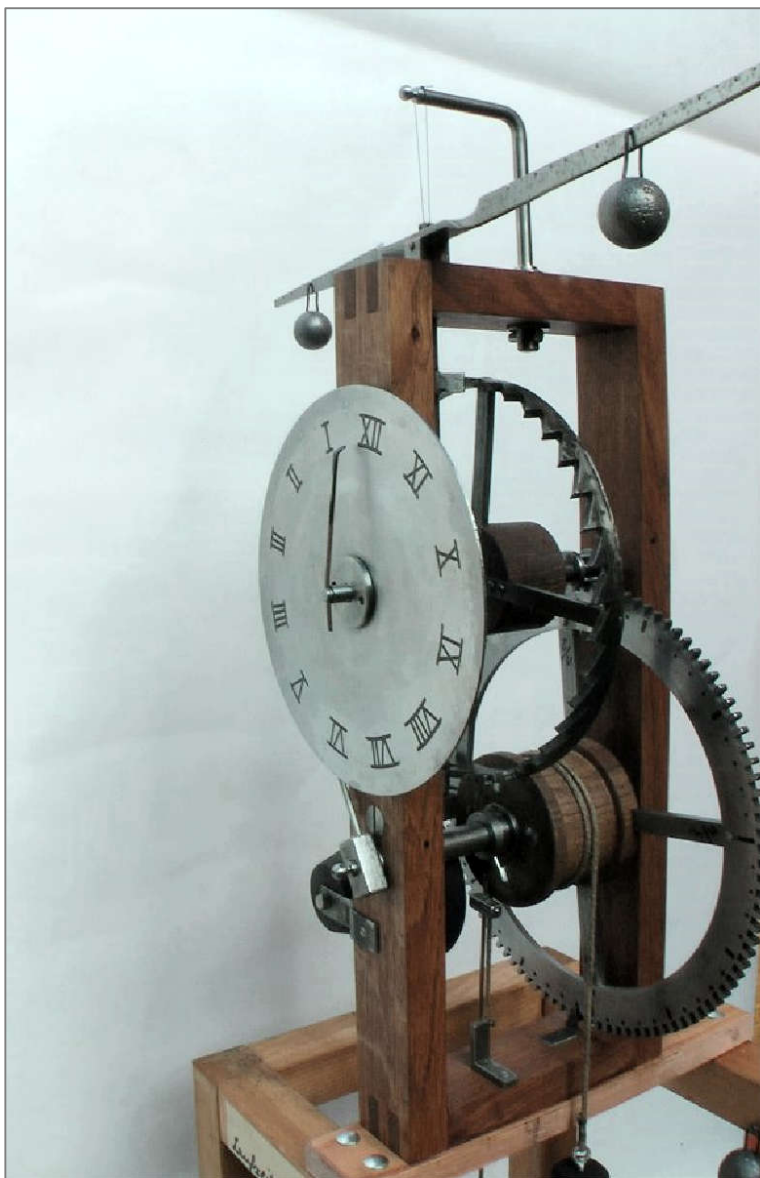
Die Gangfehler einer Uhr mit Spindelhemmung wurden von Uhrenfreunden oft diskutiert. Auch im vorliegenden Fall sind sie vorhanden, sie schwanken zurzeit bis zu 30 Sek./h. sind aber nicht konstant. Die Ursache liegt in dem sich verändernden Antriebsgewicht, an dessen Verbesserung ich noch arbeite.



Mit den gewonnenen Erkenntnissen wurden die Kerben auf dem Waagbalken beidseitig auf 17 erhöht. Für jede 30 Minuten Tageslichtveränderung gibt es eine Kerbe.

Bei dem Umhängen der Gewichte morgens und abends muss theoretisch alle 10,76 Tag eine Kerbe weiter gerückt werden.

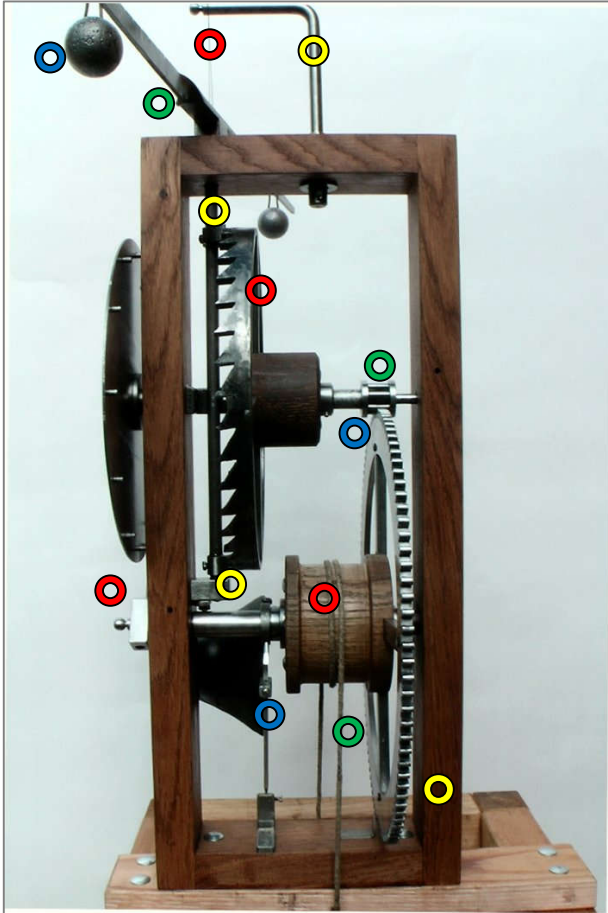
Ein zuverlässiger Gang bedingt eine Nachjustierung bei jedem Kerbenschritt.



Die Türmeruhr während der Erprobung

Der Aufbau des Gestells in einfacher Rahmenbauweise erinnert an die Bauform früher, englischer Turmuhrwerke, siehe dazu auch:

Beeson, C.F.C., English Church Clocks 1280 – 1858, 1971, ISBN 0900592 78 8, Seite 81ff.



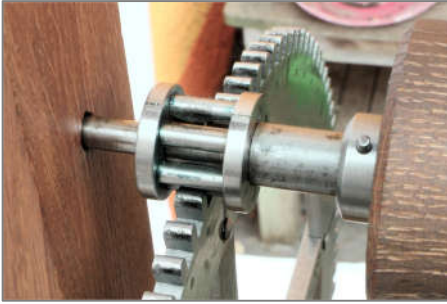
- Haltewinkel ○
- Fadenaufhängung ○
- Waag ○
- Reguliergewichte ○
- Spindel / Spindellappen ○
- Steigrad ○
- Steigrad-Trieb ○
- Bodenrad ○
- Lagerbuchse der Spindel ○
- Seilrolle ○
- Gewichtszug ○
- Glockenhammer ○
- Holzrahmen ○
- Zifferblatt-Mitnehmer ○

*links, das Uhrwerk mit der
Bezeichnung seiner Bauteile*



oben, eines der eingesetzten und geölten Holzlager, es wurde kein Lignum Vitae verwendet

Einige technische Details:



Eingriff von Hohltrieb und Bodenrad



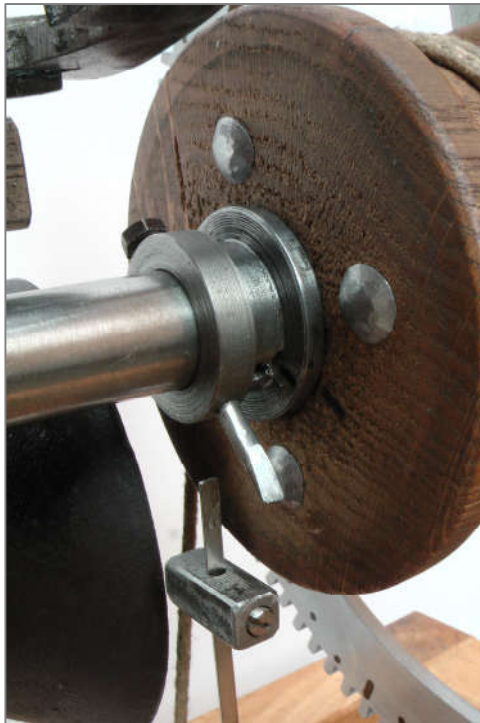
Der gebogene Spindellappen taucht in das Hemmungsrad ein



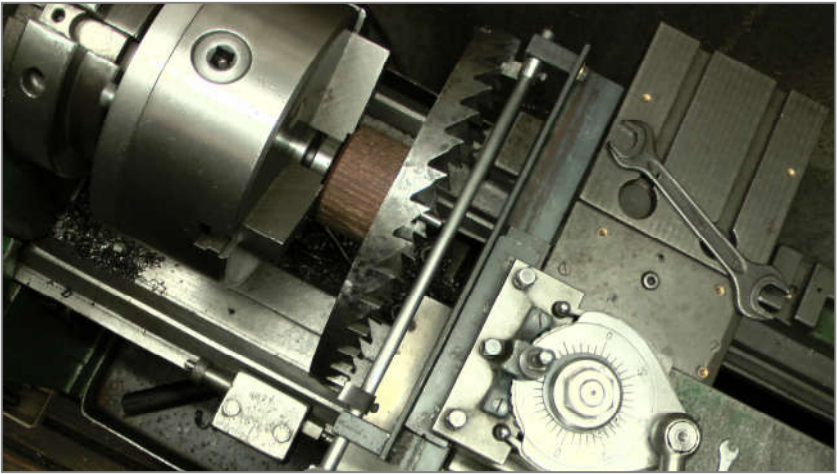
Das Schlagwerk, unten der Schlaghammer an einer Stahlfeder, er wird mit dem Hebnagel darüber vorgespannt, links die Glocke, pro Stunde ein Schlag



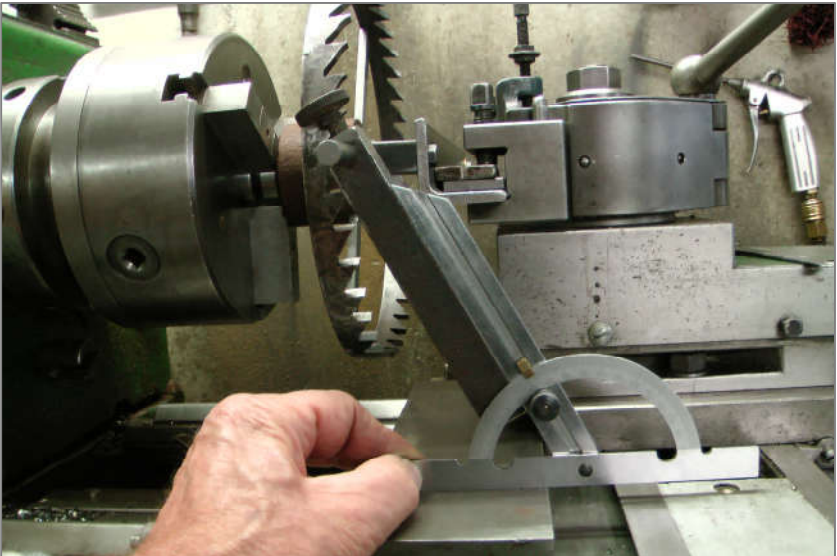
Die Aufhängung der Waag an einem „Faden“



Detail von Feder und Schlaghammer



*Ermittlung des optimalen Eingriffswinkels der Spindellappen in das Hemmungsrads und die Suche nach ihren besten Krümmungsradien.
Als „Einspannvorrichtung“ diente die Drehbank.*



*Detail der der Bestimmung des Öffnungswinkels für die Spindellappen,
ein Winkelmesser dient zur genauen Ermittlung der Gradzahlen.*



Das fertige Uhrwerk,
das Zifferblatt wird bei jedem Umlauf
des Bodenrades um 30° , ein zwölftel des
Umfangs, mit dem unter der Scheibe
sichtbaren Schaltfinger weiter geschaltet.
Der Zeiger, Weiser, der im Bild auf die
Zwölf zeigt, steht fest.



Die gewollt einfache Konstruktion
und Ausführung der Uhr wird bei
dieser
Rückansicht besonders deutlich.

Weiterführende Literatur:

Die Geschichte der Stunde, Gerhard Dohrn - van Rossum, ISBN 3-44616046-9

Der Bürgerliche Tag, Dr. Gustav Bilfinger, Stuttgart, W. Kohlhammer, 1888

Die Mittelalterlichen Horen, Gustav Bilfinger, Sändig Reprint Verlag, Hans R. Wohlwend, Vaduz / Lichtenstein, unveränderter Druck der Ausgabe von 1892.

Von Zeiten und Uhren Teil 3, Wasseruhren, Sonnenuhren und Sanduhren, Knut Deutsche, 2003, Museum für Zeit, D-67806 Rockenhausen,,

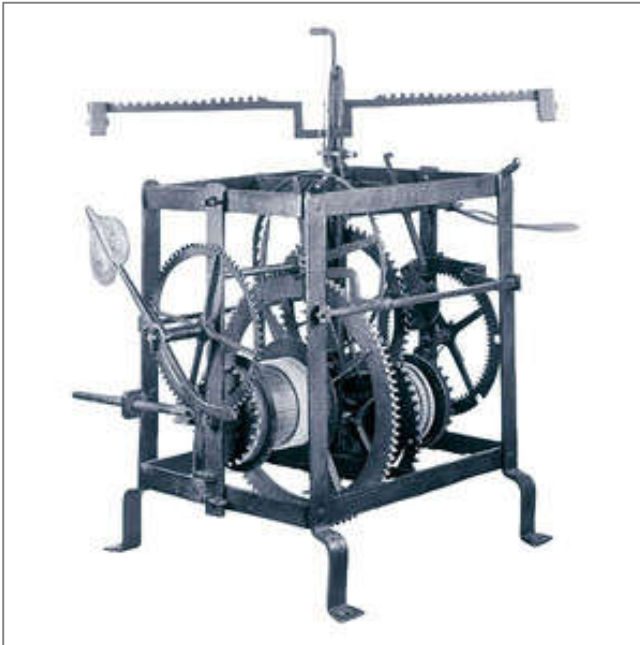
Gedanken über das Wesen der Räderuhr, Ernst Matthäus Fürböck, Graz, Beitrag in: Schriften der Freunde alter Uhren, DGC, Heft XVI, 1977

Die Turmuhren mit Einschluß der sogenannten Kunstuhren, Curt Dietzschold, Verlag: Bernhard Friedrich Voigt, Weimar 1894
(dieser Titel ist auch erschienen als Reprint, Callwey Verlag, München)

**Dr. Dietrich Haarer, Professor em. für Experimentalphysik,
Von der Zeitmessung zur Uhr und zur Physik**
oder „der (un)heimliche Zugriff der Atomuhr“

Im frühen Mittelalter und in der Antike basierte die Zeitmessung auf einer Vermessung des Standes der Gestirne (Astrolabium) und insbesondere auf der Ablesung von Sonnenuhren. Angeregt durch die Mechanik der von Hand zu verstellenden Astrolabien kam man dann im späteren Mittelalter dazu, den Gang der Zeit durch mechanische Apparate (Uhren) darzustellen. Die ersten Uhren waren wohl geschmiedete Kirchturmuhren und später gotische Türmer-Uhren, bei denen der Takt (das Zeitmaß) durch eine Waaghemmung realisiert wurde. Diese Uhren waren sehr ungenau und Gangabweichungen von einer Stunde pro Tag waren typisch und so war man gezwungen, die Uhren bei Sonnenschein immer wieder nach einer Sonnenuhr auszurichten und hatte damit einen Standard für die lokale Sonnenzeit (ablesbar auf etwa 5 Minuten oder besser, je nach Ausführung und Zifferblatt)

Hier fragt man sich, woher diese großen Ungenauigkeiten der ersten Uhren stammen und dies liegt (wie wäre es wohl anders zu vermuten) nicht etwa an der Unfähigkeit der Schmiede, sondern an der mangelnden Präzision des Zeit-Standards, der Waag bzw. deren Funktionsweise.



Mittelalterliche Turmuhr mit Waag; Quelle ¹

Das Bild zeigt eine typische Turmuhr, wie sie in Stadttürmen und in Klöstern üblich waren. In den Klöstern waren die Uhren wichtig zum Einhalten der Gebetszeiten und in den Städten regelten sie das öffentliche Leben. Das Bild der Türmer-Uhr zeigt die Waag als „Rotationshebel“, der von einem Steigrad angetrieben wurde. Dieses Steig- oder Hemmungsrad versetzte der Waag in regelmäßigen Abständen über eine Achse mit zwei „Spindellappen“ Impulse in abwechselndem Richtungssinn. Physikalisch ist dieser Vorgang eine Regulierung über den Drehimpuls (Impuls in Rotationsrichtung). Je nach Gewicht am angeschlossenen Getriebe und je nach Schmierung lief die Waag (auch als Foliot bezeichnet) schneller oder langsamer und daher kamen dann die großen Abweichungen die, wie bereits erwähnt, im Tag mindestens eine viertel Stunde betrug. Eine Regulierung der Waag konnte durch die auf dem „Rotationshebel“ (Waagbalken) aufgesetzten Gewichte erfolgen, die das Trägheitsmoment veränderten (die zu bewegendende Rotationsmasse = Trägheitsmoment). Je weiter außen die Gewichte gesetzt wurden, desto größer war das Trägheitsmoment und desto langsamer die Waagbewegung.

Bewusst wurde an dieser Stelle nicht von der „Waag-Schwingung“ gesprochen, denn die Waag ist, streng genommen, kein physikalisch definiertes, schwingungsfähiges System. Zu einem solchen gehört ein „Oszillator“ bei dem die Schwingungsenergie periodisch von potentieller Energie in Bewegungsenergie umgewandelt wird. (Ein Oszillator ist ein physikalisch definiertes Resonanzsystem mit einer wohldefinierten Frequenz, der sogenannten „Eigenfrequenz“; diese Eigenfrequenz ist dann das „Einheitsmaß“ der jeweiligen Zeitmessung). Zwar gibt der Waag-Balken die Bewegungsenergie der rotierenden Masse zu einem sehr geringen Anteil an die Aufhängung und das Räderwerk weiter, doch wird dabei die Bewegungsenergie der Waag-Anordnung nur zu einem sehr kleinen Teil durch die fadenartige Aufhängung und das Räderwerk aufgenommen. Durch diese unvollständige Umwandlung der kinetischen Rotationsenergie in „potentielle Energie“ ist die Waag kein echter Oszillator im physikalischen Sinne und hat daher auch keine wohldefinierte „Eigenfrequenz“, sondern nur eine grob definierte Repetitionszeit, die von den Gewichten und von der Schmierung abhängt und die dann zu den beobachteten Ungenauigkeiten führt.

Etwa 3 Jahrhunderte dominierte die Waag die Uhrentechnik und selbst die Taschenuhr von Peter Henlein (1479-1542) hatte eine Waag-ähnliche Unruhe, die vom Federantrieb periodisch hin und hergeworfen wurde. Bild 2 zeigt das Werk einer „Bisamapfel-Uhr“ wie sie etwa dem Henlein'schen Bauprinzip entspricht und eine früher im Internet zugängliche Animation zeigte deutlich, dass diese Uhr (deren Ursprung meines Wissens immer noch nicht ganz geklärt ist) Schwingungen der Unruh erzeugt, die manchmal wie „Herzflattern“ aussehen (d.h. Fluktuationen der Oszillation) die dann zu schlechten Genauigkeitswerten führten.

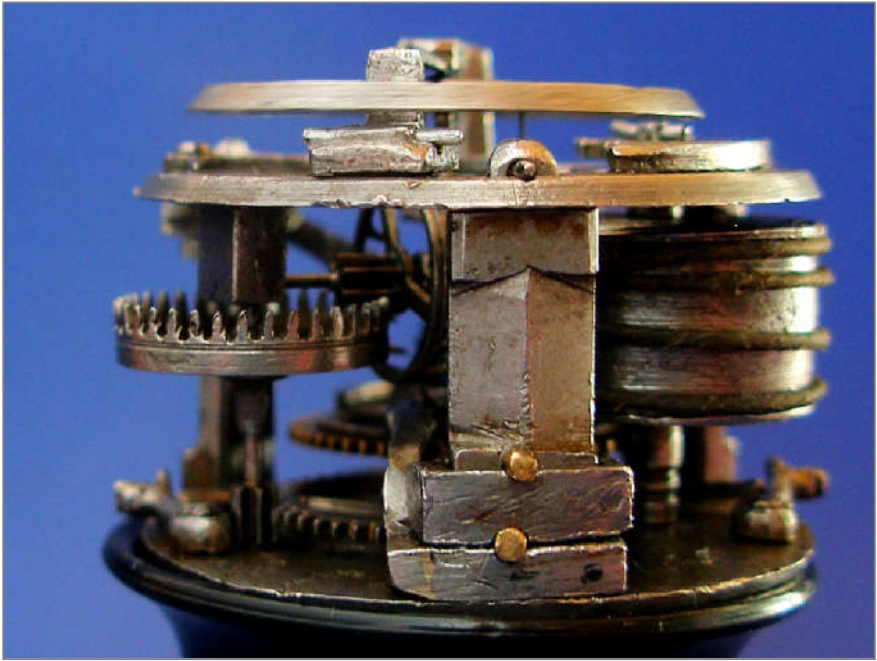
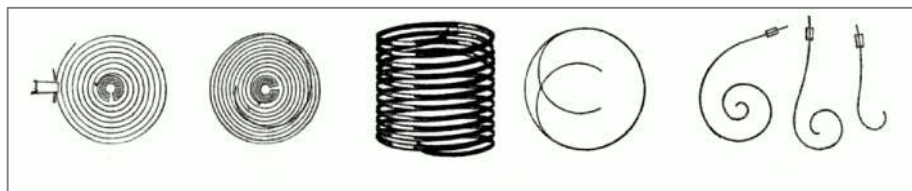


Bild 2, Bismapfeluhr, deren Bauweise mit der Henlein Uhr Gemeinsamkeiten hat; Quelle ²

Es waren dann zwei Physiker, die sich etwa gleichzeitig um 1675 die ersten Oszillatoren für Uhren patentieren ließen. Der Engländer Robert Hooke formulierte das „Federgesetz“ nach dem die von einer Feder erzeugte Kraft proportional zur Auslenkung (Dehnung oder Torsion) ist. Hooke und seine Nachfolger verwandten diese Federkraft als Rückstellkraft für die Uhren- Unruhen und so konnte in dieser Konfiguration die gesamte Rotationsenergie der Unruhen in Federspannung (potentielle Energie) umgewandelt werden und in diesem Sinne stellte diese Bewegung eine „harmonische Schwingung“ dar (harmonisch = Frequenz wohldefiniert). Wenn diese Schwingung einmal angestoßen ist so wiederholt sich dieses periodische Wechselspiel relativ oft (abhängig von der Reibung; ohne Reibung und Luftwiderstand wäre dieses Wechselspiel unendlich lang).

Seit dieser Erfindung (eine aus Laien-Sicht kleine Variation) wurden die Uhren (und später oft Seechronometer) zu hochpräzisen Zeit-Messinstrumenten.



*Verschieden geformte Unruhe-Federn,
die zu einem, je nach Reibung, perfekten Oszillator führen; Quelle ³*

Gezeigt werden verschiedene Feder-Formen, wie sie dann in der Uhrmacherei umgesetzt wurden. Aus meiner Sicht war es Henlein, der mit zwei Schweinsborsten bei einer Uhr im Britischen Museum (die wahrscheinlich von ihm stammt) den Ausschlag einer kleinen Waag in einer Taschenuhr elastisch abfederte und so – in Anfängen – bereits einen ersten Schritt zu einem Oszillator machte – intuitiv-. Diese Schweinsborsten gibt es in den in Museen lagernden Uhren nicht mehr, da sie wohl von Chitin-fressenden Käfern beseitigt wurden oder auch nur aus Altersgründen verloren gingen (die Nürnberger Henlein Uhr ist wohl nach Ansicht der Experten eine Fälschung aus dem Ende des 19. Jahrhunderts). Von den Schweinsborsten weiß man aus Briefen von Henlein, der diese als Ersatzteile mitgeliefert hatte – siehe Quelle 11 mit Kommentar -. Da die Schweinsborsten aber nicht die ganze Rotationsenergie der Unruhe aufnehmen und abgeben konnten, war damit allerdings noch nicht der „Oszillator“ im Hooke’schen Sinne erfunden.

Bei der Henlein Ausstellung in Nürnberg waren einige Taschenuhren aus der Renaissance zu sehen; diese hatten bereits Rückstellfedern an der Unruhe, die jedoch später angebracht worden waren. Wie üblich hatte man früher Uhren (die wertvolle Messinstrumente darstellten) sehr häufig nachträglich dem neuesten Stand der Technik angepasst.

Die zweite, unabhängige Erfindung eines perfekten Oszillators für eine Uhr war die Erfindung der Pendeluhr durch Christiaan Huygens (Patent 1763). Auch das Pendel ist ein perfekter Oszillator, da es die kinetische Schwingungsenergie, die das Pendel in der „Null-Lage“ besitzt in Höhenenergie beim Maximalausschlag umwandelt und diese Höhenenergie (geleistet gegen die Schwerkraft) ist dann die „potentielle Energie“ der Schwingung. Wiederum ist diese Oszillation bei geringer Dämpfung sehr lang-anhaltend.

Nicht umsonst waren bis Mitte des 20. Jahrhunderts die meisten Präzisionsuhren Sekundenpendel Uhren, oft ausgeführt mit Invar Stäben als Pendel und mit verschiedenen Kompensationsmechanismen, um die Wärmeausdehnung und den damit zusammenhängenden Messfehler zu minimieren (Invar ist eine Eisen-Nickel-Legierung mit einem sehr kleinen Wärme-Ausdehnungskoeffizienten).

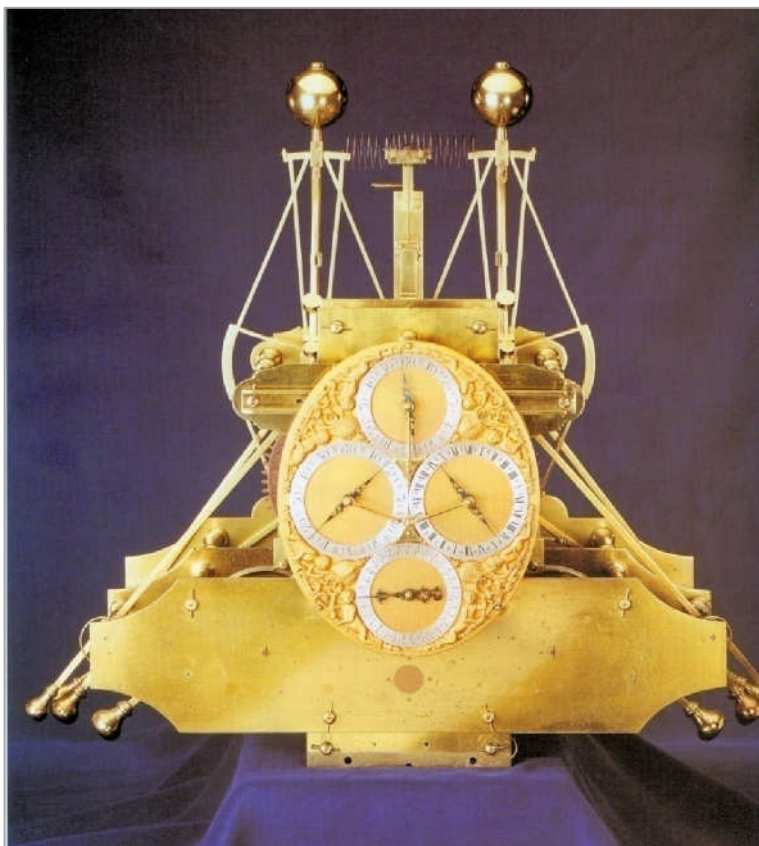
Je weniger das Pendel bei seiner freien Schwingung (durch Eingriff von Anker und Rädern) gestört wird, desto genauer ist die jeweilige Zeitanzeige. Daher betrieb man gegen Ende des 19. Jahrhunderts einen großen Aufwand, um eine möglichst „freie“ Pendelschwingung zu realisieren (z.B. Riefler Pendel).

Im oben beschriebenen Sinne des wertvollen Zeitmessgeräts „Uhr“ wurden dann früher oft Uhren mit Waag-Hemmung in Uhren mit Pendel-Hemmung umgebaut. Heute, wo eine Uhr mehr ein Schmuck- und Kunstgegenstand ist, werden diese Waag-Hemmungen oft wieder „rückinstalliert“ (was den Wert der jeweiligen Uhr eher mindert).

An dieser Stelle ist es auch interessant darüber zu reflektieren, ob nicht schon Galilei (1564-1642), der ja die Physik der Pendelgesetze formuliert hatte, bereits der Erfinder der Pendeluhr war. In die Praxis umgesetzt und patentiert hat Huygens die mechanische Ausnutzung des Pendel-Gesetzes zum Uhren-Bau. (Eine Skizze von Galilei, die eine Uhr mit Pendel darstellt und die immer mal wieder in Büchern auftaucht, ist wohl nicht authentisch).

Der in der Historie der Zeitmessung nächste Schritt in Richtung Genauigkeit der Zeitmessung wird John Harrison (1693-1776) zugeschrieben. Harrison erhielt vom Englischen Parlament 1765 (als 73-jähriger) 10 000 Pfund, was damals eine hohe Summe darstellte. Das Preisgeld war ursprünglich auf 20 000 Pfund festgesetzt worden und Harrison starb, den Berichten nach, verbittert. Erst seine Erben erhielten weitere 8 700 Pfund. Die Bedingung war, dass eine von ihm gebaute Uhr eine mehrmonatige Seereise (Jamaika und zurück) mit weniger als einer Minute Fehlweisung absolvieren sollte (In Wirklichkeit waren es 5 Sec.). Nicht umsonst war in der Seefahrernation England die Zeitmessung so wichtig, da man auf Schiffen die Ost/West Position wegen der Erd-Rotation nur mit genauer Kenntnis der Zeit ermitteln konnte.

Die drei ersten Uhren von Harrison, auch als H1 bis H3 bezeichnet, waren wunderbare Exemplare höchst-präziser Konstruktion und Technik aber sie verfehlten ihr Ziel. Sie waren massiv gebaut und hatten niedrige Schwingungsfrequenzen.



*Harrisons H, Gegenschwingende Drehpendedel
mit Feder Rückstellung und Grashopper Hemmung; Quelle ⁴*

Auch die beiden anderen Uhren H2 und H3 sind ähnlich schön und aus der Literatur bekannt.

Was selten diskutiert wird (und durch die Meinung des Physikers und Verfassers gefärbt sein könnte) ist die Tatsache, dass die endlich erfolgreiche Uhr H4 eher aussieht wie eine überdimensionale Taschenuhr. Harrison hatte sich in den Jahren 1752/53 eine Präzisionsuhr vom dem Taschenuhr-Bauer John Jeffreys (London) nach seinen eigenen Vorlagen bauen lassen. Von Harrison stammen insbesondere die Temperaturkompensation der Unruhfeder (mittels eines Bimetall-Mechanismus), die Spindellappen aus Diamant, um Reibungsverluste zu minimieren sowie ein Remontoir. Auf Grundlagen dieser Entwicklungen baute Harrison seine Uhr H4, die deswegen auch manchmal „Jeffreys Uhr“ genannt wird. Zu einer genauen Aufteilung der Entwicklungsarbeiten fehlt mir das Detailwissen (Die Kuratoren in Greenwich drücken sich bei einer Diskussion der Abgrenzung zwischen Jeffreys und Harrison vorsichtig aus – Bei einer Reise der DGC-).

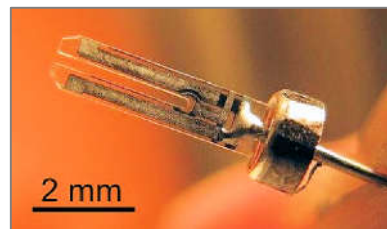
Es ist jedoch naheliegend, anzunehmen, dass die ersten Uhren von Harrison (H1 – H3) mit ihren langsamen Schwingungen (im Sekundenbereich) durch die Fluktuationen der Meeresbewegung mehr beeinträchtigt (d.h. gestört) wurden als der „Schnellschwinger“ H 4 in Taschenuhrformat, bei dem die Schwingungsfrequenz eher im Zehntel-Sekundenbereich lag. Hier gibt es weniger störende Resonanzen mit den Meereswellen und deswegen war dann diese Uhr diejenige, die unter Navigationsbedingungen die genauesten Resultate lieferte und den ausgeschätzten Preis gewann. Es ist nämlich von der Physik her bekannt, dass sich Schwingungen umso mehr beeinflussen (und in diesem Falle stören), je dichter die Frequenzen bei einander liegen. Nicht umsonst versucht man z.B. im Flugzeugbau und in vielen Bereichen des Maschinenbaus Resonanz Schwingungen zu vermeiden (man konnte z.B. nachweisen, dass bei frühen Düsen-Passagierflugzeugen die Flügel aufgrund von Resonanzschwingungen gebrochen sind; auch dürfen (auch heute noch) Soldaten Kolonnen nicht im Gleichschritt über Brücken gehen, um unerwünschte Resonanzphänomene zu vermeiden).



„The Diamond Timekeeper“, Uhr H4 entwickelt nach einer Präzisionsuhr von John Jeffreys und gebaut von John Harrison. Die genaue Aufteilung der Arbeiten konnte von mir nicht eruiert werden; Quelle ⁵

Wie nach Harrison's Entwicklungen genauerer Uhren auf der Hand lag, war die Schwingungsfrequenz und Verlustfreiheit (Reibung) eines Uhrenoszillators von entscheidender Bedeutung: Je höher die Frequenz und je geringer der Reibungsverlust, desto genauer war die Resonanzfrequenz eines „Zeitmessgebers“ zu definieren und konstant zu halten. Von der Physik her war bekannt, dass sich Quarzkristalle durch Anbringung von Elektroden und durch Anlegen von Wechselfeldern zu hochfrequenten Schwingungen anregen lassen. Dabei ist die Resonanzkurve dieser Schwingungen besonders schmal, da die Energieverluste beim Schwingen des Kristalls minimal sind; außerdem ist die Temperaturabhängigkeit der Schwingungsfrequenz aufgrund der geringen thermischen Ausdehnung von Quarzkristallen sehr sehr gering. Daher wurden bereits 1929 in den damals wohl führenden Forschungslaboratorien, den Bell Laboratories in den USA, die ersten Quarz Oszillatoren zur Zeitmessung gebaut und 1929 als nationaler Frequenzstandard in den USA eingeführt. Diese Uhren waren große Messgeräte, die zur Temperatur-Stabilisierung in geregelte Heizöfen eingebaut wurden. Typische Schwingungsfrequenzen lagen bei diesen Messgeräten im Bereich von 50 000 Hz (Schwingungen pro Sekunde). Bereits wenig später wurde an der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Berlin eine Reihe von Zeit-Messgeräten gebaut, mit denen es gelang, die Schwankungen der Erd-Rotation zu messen.

Es lag nun auf der Hand, diese Technik der Uhren, basierend auf Schwingquarzen zu miniaturisieren und daraus tragbare Uhren mit wenig Strombedarf herzustellen. Erste, sehr teure Armbanduhren wurden von Patek Philippe in der Schweiz hergestellt; aber die Optimierung der Entwicklung von preiswerten Uhren im Bereich von 100 oder einigen 100 \$ wurde von japanischen Firmen, wie z.B. Seiko, erfolgreich vorangetrieben und führte dann zu der sogenannten „Quarzkrise“ in den 70-ziger und 80-ziger Jahren: Mechanische Uhren waren vom Preis und von der Genauigkeit nicht mehr konkurrenzfähig; sie überleben jedoch in einem Bereich, in dem Design und Schönheit vom Kunden immer noch honoriert werden.



*Typische Quarz Armbanduhr von heute;
Daneben der in U-Form geschliffene Quarz-
Kristall; Quelle ⁶*

Das Bild zeigt die letzte Präzisionsuhr, die noch so aussieht wie eine Uhr - die Quarz Armbanduhr -; im Bild sieht man den Schrittmotor (bzw. die elektrische Spule, die ihn antreibt) und die Batterie (Knopfzelle). Der Quarz Kristall ist in dem kleinen Metall-Zylinder und die Schaltkreise (nicht sichtbar) sind auf einem „Mikrochip“ wie er heute in jedem elektronischen Teil, teils sichtbar und teils versteckt angebracht ist. Die rasante Entwicklung dieser Miniaturisierung wurde vorangetrieben von der Halbleiterindustrie und nicht etwa von der Feinmechanik oder der konventionellen elektrotechnischen Industrie. Es ist erstaunlich und ringt uns Respekt ab, dass kritische Elemente dieser Uhren (Schwingquarze und deren elektrische Stabilisierung) sowie Miniatur-Schrittmotoren immer noch größtenteils in der Schweiz hergestellt werden.

Die technischen Daten einer typischen Quarz Armbanduhr sind eine Frequenz von 32 768 Hz; dies entspricht einer Frequenz von 2^{15} und diese kann dann bequem mit 15 elektronischen „Flip-Flops“ (Zähler, die nur zwei Stellungen haben) auf eine Frequenz von 1 Hz, der Frequenz des Schrittmotors reduziert werden. (Im Prinzip entspricht dieses etwa 30 Transistoren auf einem Halbleiterchip – aus heutiger Sicht eine triviale technische Aufgabe).

Mit dem Schrittmotor der Quarzuhr hört die Mechanik der Zeitmessung auf. Zwar liegt schon hier der Schwerpunkt der Entwicklung auf Halbleiter Miniaturisierung und auf Minimierung des Energiebedarfs (Batterie Standzeiten), doch sind immerhin noch ein mechanischer Schrittmotor und ein paar wenige Zahnräder für die Zeitanzeige nötig.

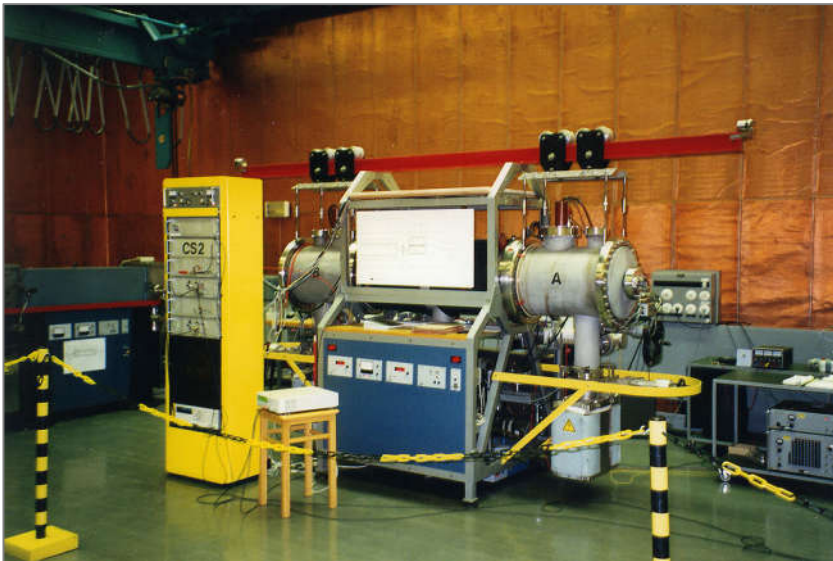
Jetzt kommen für die zukünftigen Uhren Entwicklungen physikalisch-spektroskopische Prinzipien zum Zuge, die die Zeitmessung von da ab dominieren: Die Quarzuhr ist zwar etwa 1000-mal genauer als eine präzise Pendeluhr. Die darauf folgende „Atomuhr“, die in den Physikalisch-Technischen Anstalten (weltweit) anzutreffen ist, schwingt jedoch mit einer Schwingungsfrequenz von 9,19 GHz (eine Zahl mit neun Nullen) fast 1 Million mal schneller als die von uns geliebte Quarzuhr. Wer sein Handy abliest oder eine Funkuhr zuhause hat, verfügt über eine Genauigkeit von etwa 10^{-13} das bedeutet, dass eine Atomuhr etwa 1 Milliarde mal genauer ist als eine Quarzuhr (etwa 1 Sekunde in 10 000 Jahren)! Umsonst ist diese astronomische Genauigkeit - die unser Vorstellungsvermögen übersteigt- nicht; sie wird dadurch erzeugt, dass man weltweit über etwa 260 Atomuhren mittelt (die die Zeitsignale untereinander austauschen).

Uhren dieser Art haben mit konventionellen Uhren nichts mehr zu tun; sie sind spektroskopische Maschinen, bei denen atomare Schwingungen (hier die magnetischen Schwingungen des Cäsium – Atoms) in Zeitsignale umgesetzt werden. Dies bedarf eines großen technischen Aufwands, wie man Bild 7 entnehmen kann. Im Bild ist eine Vakuum Apparatur, bei der ein Strahl von Cs (Cäsium) Atomen zur Resonanz gebracht wird und deren „atomare Schwingung“ dann auf konventionelle Elektronik übertragen wird. Wie gesagt, stehen derartige Uhren in fast allen

Ländern und vergleichen ständig ihre Zeitsignale und koordinieren diese weltweit. Diese Signale erlauben dann eine Satelliten-gesteuerte Navigation, wie wir sie vom „Navi“ her kennen, die den Standort unserer Autos in Realzeit angibt. Die Präzision der Schwingungen des Cs-Atoms ist deswegen so genau, weil diese Schwingungen in der Hülle des Atoms keiner Reibung ausgesetzt sind (quasi im Vakuum der Atomschale).

Zusammenfassend: Die Zeit wird heute zutage nicht mehr durch Uhren gemessen, sondern von spektroskopischen Maschinen aus dem Apparatepark der Physik und diese erlauben uns Genauigkeiten, die schon jetzt unser Vorstellungsvermögen übertreffen: Gewöhnliche Uhren sind Schmuck-Gegenstände, für die wir auch heute noch viel Geld ausgeben, die jedoch in der Zeitmessung nur noch eine symbolische Rolle spielen.

Mit derzeitigen physikalischen Atom Uhren kann man Gegenstände auf der Erde mit einer Genauigkeit von weniger als 1 m erfassen (Dies geschieht durch Laufzeitmessungen von elektromagnetischen Wellen zu einem Satellitensystem; die Genauigkeit der Militärs ist größer aber nicht offengelegt).

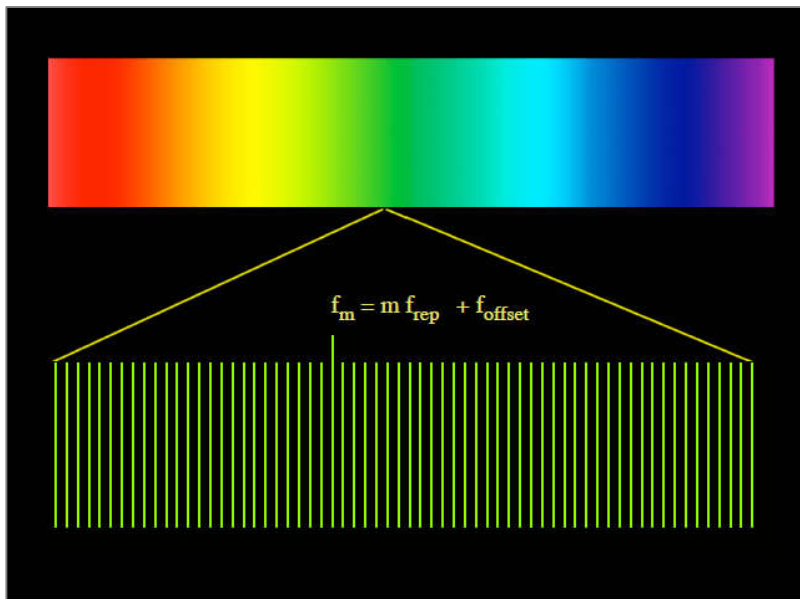


Atomuhr in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig; Quelle ⁷

Nun könnte man sich fragen, ob eine fast unvorstellbare Genauigkeit von dreizehn Dezimalen hinter dem Komma nicht genügt. Nein: Es genügt den Physikern noch nicht, denn der derzeitige Zeit-Standard schwingt im GHz Bereich und man könnte die Frequenz noch weiter treiben, sodass man in den Bereich des sichtbaren Lichts gelangt. Diese Frequenz liegt im Bereich von 100 THz (also nochmals einen Faktor 10 000 höher als der jetzige Standard).

Der Vorteil wäre, dass man dadurch die Zeit nochmals bis zu einem Faktor 100 genauer messen könnte (was zur Definition physikalischer Messgrößen erwünscht wäre; diese werden nämlich oft in Frequenz-Einheiten – Hz - gemessen); der Nachteil ist, dass man diese hohen Frequenzen nicht mehr elektronisch messen kann, da die derzeitige Halbleitertechnik nur bis in den GHz Bereich funktioniert. Einen Schritt in diese Richtung hat der Münchner Physiker und Nobelpreisträger Teodor Hänsch und seine US Kollegen R.J. Glauber und J.L. Hall getan: Man kann die Frequenz eines Lasers (wie wir ihn von Laserpointer kennen) in 100 000 Frequenzkämmе aufspalten und diese Frequenzen dann mit schneller Elektronik weiterverarbeiten. (Eine detailliertere Beschreibung dieser neuen Technik würde den Rahmen dieses Artikels sprengen und ist für Uhrenliebhaber eher uninteressant)

Das nächste Bild zeigt, wie dies im Prinzip funktioniert. Diese Technik ist erst in der Entwicklung und es wird noch dauern, bis man „Laser Uhren“ auch technisch betreibt und als neuen Zeit-Standard verwendet. Die derzeitigen Cs Uhren sind so entwickelt und gebräuchlich, dass sich größere Forschungslabors eine „echte Atomuhr“ leisten können (die natürlich dann auch gewartet werden muss – z.B. Austausch der Cs Atomquelle etc.).



Zukünftige Atomuhr. Aufteilung der Lichtfrequenz in 100 000 „Frequenzkämmе“ die dann elektronisch weiterverarbeitet werden; Quelle ⁸

Quintessenz: Der vorliegende, kurze Artikel soll zeigen, wie mühsam es war, gute Zeitstandards – und insbesondere Uhren – zu entwickeln und wie es oft Jahrhunderte der Entwicklung bedurfte, Innovationen zu erfinden, die einen Quantensprung der Genauigkeit erlaubten. So kam es, dass der Einbau einer Unruhfeder oder eines Pendels die Uhren um ein Vielfaches genauer machte. Es vergingen dann nach diesen Neuerungen aus der Physik drei Jahrhunderte, in denen man durch Feinmechanik und Kunstsinn immer bessere und schönere Uhren bauen konnte – wunderbare Kulturgüter und Kunst Objekte -. Die Quarzuhr und später die Atomuhr haben diesen drei Jahrhunderten des „Spielens und schöner Machens“ ein Ende gesetzt und die Uhren in die physikalischen Labors verdammt. Dies hat dann dazu geführt, dass die derzeitige „neue Generation“ keine Uhren mehr benötigt, da „man“ ohnehin auf das Smart Phone schaut und gleich Datum und Atomzeit im Griff hat.

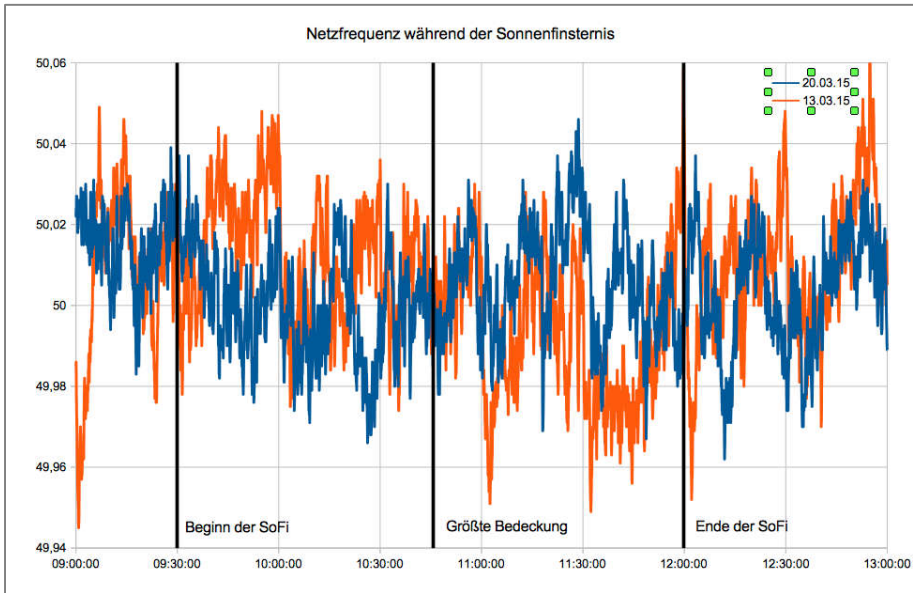
Zu Ende des Artikels noch eine interessante Nebenbeobachtung, die den meisten „Nicht-Technikern“ wohl nicht so geläufig ist: Selbst die ordinäre Haushaltssteckdose ist heute zutage von der Atomuhr „versklavt“. Unsere 50 Hz Netzfrequenz ist Europa-weit über etwa 10 Millionen Quadratkilometer verbreitet und es wird die Frequenz kontinuierlich von mindestens zwei Labors gemessen und mit Atomuhren verglichen. Genauer noch: Es wird nicht die Frequenz gemessen, sondern es wird die Zahl der Spannungssoszillationen (des 50 Hz Taktes) gezählt und aufaddiert. Weicht die „Netz Zeit“ (Zeit von einer Synchronuhr gemessen) um mehr als 20 Sekunden ab, so wird nachreguliert: Ist das Stromnetz „voraus“ in der Zeit, so wird für den nächsten Tag die „Sollfrequenz“ von 49,990 Hz vorgegeben; läuft das Netz hinterher, so wird eine Frequenz von 50,010 Hz vorgegeben. Dies entspricht einer Regelung „in der dritten Dezimale“, der dann alle größeren Stromerzeuger folgen müssen (eine Mammut-Aufgabe bei der gleichzeitigen Einspeisung von Solar- und Windstrom, die jeweils nicht berechenbar sind – was sich in unseren Kosten für den Netzbetrieb niederschlägt - . (Man würde sich manchmal wünschen, unsere Politiker verinnerlichen das, bevor sie unrealistische Szenarien vorschlagen!)).

Nachfolgend das Foto meiner von mir selbst gebauten, transparenten Synchronuhr; *Quelle* ⁹ (Die Genauigkeit unseres Strom-Netzes erlaubt es einem eher laienhaften Uhrensammler, wie mir, eine genaue Uhr zu bauen: Das Bild zeigt eine transparente „Plexiglasuhr“, die aus richtig ausgesuchten, alten Zahnrädern und ein paar selbst gebastelten Zahnrädern aus Plexiglas besteht. Der einzige, nicht selbst gebaute Baustein ist eine „Multipol-Spule“ aus einem alten CD Laufwerk, die den Plexiglas Rotor mit einer Frequenz von $3 \frac{1}{3}$ Hz antreibt.



Blick in unseren Garten auf / durch die selbst gebaute Plexiglas Uhr

Diese Uhr läuft manchmal 10 Sekunden vor und manchmal 10 Sekunden nach aber sie wird in 10 Jahren immer noch so genau laufen, weil die technischen Labors der Netzbetreiber ein wachsames Auge haben. Für den Alltagsgebrauch reicht heute zutage eine „Bastleruhr“ zur Messung der „Alltagszeit“.



Der „Härtetest“ der Netzfrequenz bei einer partialen Sonnenfinsternis; Quelle ¹⁰

Das abschließende Bild zeigt, dass die Netzbetreiber die Frequenz selbst bei einer partialen Sonnenfinsternis sehr gut im Griff haben. Ein Grund mehr, dem Stand der Technik gute Noten zu erteilen und sich zu freuen, dass Uhrenbau nun in den Bereich des Bastlers gerückt wurde.

Für manchen Feinmechaniker ist dies ein Grund zur Ärgernis, da die genaue Zeit nicht mehr die Präzision des Handwerkers widerspiegelt, sondern den Status der physikalischen Messgeräte. Umso schöner finde ich es, dass Uhren immer noch ein Symbol der Schönheit sind: Warum sonst würden sich Uhren Freaks mit Geldbörse eine Tourbillon Armbanduhr für schlappe 200 000 Euro an das Handgelenk binden oder viel Geld investieren, um eine Napoleonische Uhr mit 10 Stunden/Tag zu ersteigern?

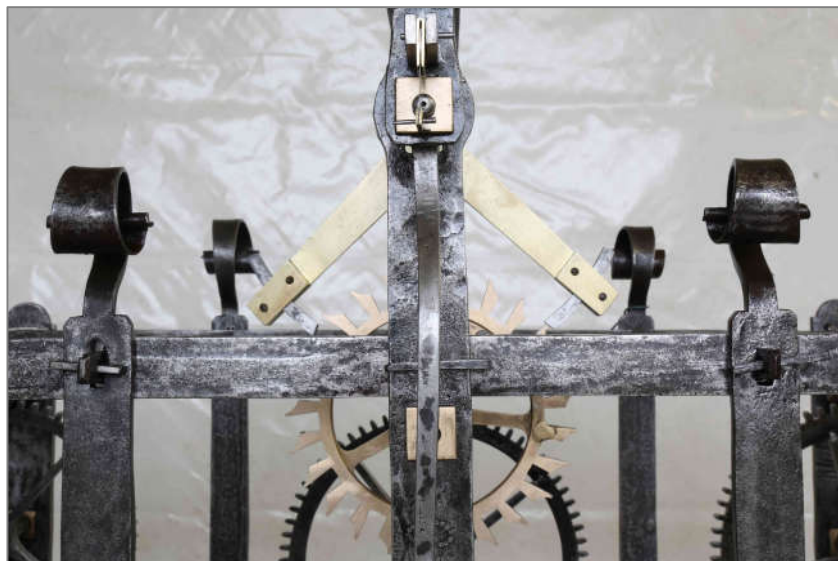
Quellenangaben

- ¹ *Deutsches Museum „Meisterwerke aus dem Museum Band V“ Inv. Nr. 1905/2300*
- ² *Werk aus einer Bisamapfeluhr aus „deutsche Uhrmacher-de“. Eine Original Bisamapfel Uhr ist im Walters Art Museum in Baltimore. Das gezeigte Werk ist in seiner Herkunft umstritten; Internet Dokumentationen sind kontrovers und wurden im „Henlein“ Jahr von vielen Experten diskutiert. (Ausstellung Nürnberg Germanisches Museum ab Dez. 2014)*
- ³ *Bild aus Wikipedia zur „Unruh (Uhr)“*
- ⁴ *Aus Greenwich Museum unter „collections.rmg.co.uk“*
- ⁵ *Aus Wikipedia „John Harrison“*
- ⁶ *Aus Wikipedia „Quarzuhr“*
- ⁷ *Cäsium Uhr der PTB (Physikalisch Technische Bundesanstalt Braunschweig); siehe auch Dokumentationen der PTB*
- ⁸ *Vortrag zum Nobelpreis von Prof. Hänsch „Passion for Precision“ Dez. 2006 - Dia 20. Der Autor hat mich bei einer Diskussion der physikalischen Grundlagen auf diese Quelle als frei verfügbar verwiesen.*
- ⁹ *Blick in unseren Garten auf / durch die selbst gebaute Plexiglas Uhr*
- ¹⁰ *Netzdaten bei der partiellen Sonnenfinsternis am 20.3.2015, Internetdaten der Netzbetreiber*
- ¹¹ *Anmerkung, Kommentar des Verfassers:
Der Originalbrief von Henlein, in dem die Schweinsborsten erwähnt werden, erschien in einem Zeitungsartikel, den ich leider nicht mehr finden kann. Der Kurator der Uhrensammlung des British Museum in London zeigte uns bei einer Reise der DGC die Uhr, die Henlein zugeschrieben wird. Dort zeigen zwei feine Bohrungen in der Uhrenplatine, wo die Schweinsborsten vermutlich eingesetzt waren.*

Turmuhwerk von 1755, in Göhren – Döhlen,
nach der Restaurierung und Reparatur in der Fachwerkstatt
von Steffen Willing in Gräfenhain



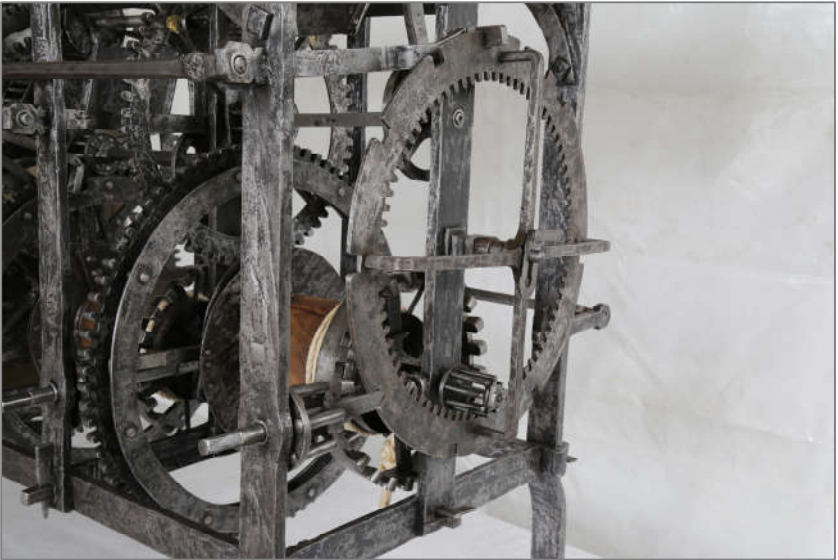
Die Arbeit ist getan, die Reinigung erfolgte in reiner Handarbeit



Die Hemmung



Das Rollwerk, die Bekrönung



Die Schloss- oder Schlusscheibe für den Stundenschlag



Seilwalze mit Hufeisengesper



Das Datum des Herstellungsjahres, 1755

Literatur, herausgegeben vom Fachkreis Turmuhren in der DGC e.V.

- **fünf "Kataloge von Turmuhr-Herstellern"**

- **J.G. Baer, Sumiswald**, Schweiz, 1913, 46 Seiten, 21x29,7 cm
- **Mäder, Andelfingen**, Schweiz, 1934, 40 Seiten, 16x23 cm
- **Ungerer, Straßburg**, Frankreich, 1930, 46 Seiten, 21x29,7 cm
- **Korfhage, Buer, Deutschland**, 1913, 52 Seiten, 16x23 cm
- **Weule, Bockenem, Deutschland**, 1925, 106 Seiten, 21x29,7 cm

Als Reprint, in bester Qualität. Die Kataloge werden nur als kompletter Satz abgegeben und kosten insgesamt 65,00 €, plus Versandkosten, in Deutschland sind das 5,00 €.

- **"Praktische Anweisung zur Behandlung und Reparatur der Turmuhren"**

von Louis Alexander Seebaß, 1846. (Reprint)

Von den Texten und Zeichnungen des Autors kann man nur begeistert sein. Dieses 1846 veröffentlichte Werk ist für Personen, die sich mit Turmuhren beschäftigen, sehr wichtig. Herr Seebaß, selbst Groß- und Kleinuhrmacher, wendet sich schon auf der Titelseite an „Mechaniker, Uhrmacher, Schlosser, Schullehrer, Thürmer, Castellane etc. ...“

Die **geschmiedeten Turmuhren** / Räderuhren werden hier ausführlich in Funktion und Wirkung sehr gut beschrieben. Der „Seebaß“ ist ein wertvolles Grundlagenwerk. Die erstklassigen Bildtafeln geben eine genaue Übersicht der Teile an geschmiedeten Uhren mit Waag oder Pendel. Dieses Wissen kann auch auf „moderne“ Turmuhren übertragen werden.

50,00 €, plus Versandkosten in Deutschland, 5,00 €

- **„Turmuhrwerke II“,**

ISBN 3-9807704-6-X;

von Bernhard Schmidt.

Ein Buch mit 250 Turmuhrenfotos, nach Herstellern sortiert. Dazu weitere Uhren und Detailaufnahmen, Recherchen zur Bestimmung einer Turmuhr.

- Turmuhrenfotos
- Herstellerverzeichnis und Landkarte
- Nürnberger Kunstuhr, Glockenspiel Salzburg
- Antrieb
- Gleichschaltung von Turmuhren
- Recherchen über den Uhrmacher einer alten Turmuhr
- Schmiedearbeiten
- Bronzeguss

66,50 € plus Versandkosten in Deutschland, 5,00 €

Sonderausgabe:

Das erste Buch „Turmuhrwerke“ Ausgabe 2001

ist jetzt in kleiner Stückzahl als Foto-Nachdruck erhältlich!



Uhrwerk, als „Türmeruhr“ mit Waag und Spindelhemmung, die vollen Stunden werden durch einen Schlag auf die Glocke verkündet. Gleichzeitig dreht sich das Zifferblatt um eine Stunde weiter. Die Uhr hat kein Zeigerwerk, der Zeiger (Weiser) steht fest. Angezeigt werden, je nach Einstellung der Reguliergewichte am Waagbalken, nahlweise Temporal- oder Äquinoktialstunden.

Erbauer: Manfred Harig, Bergisch Gladbach