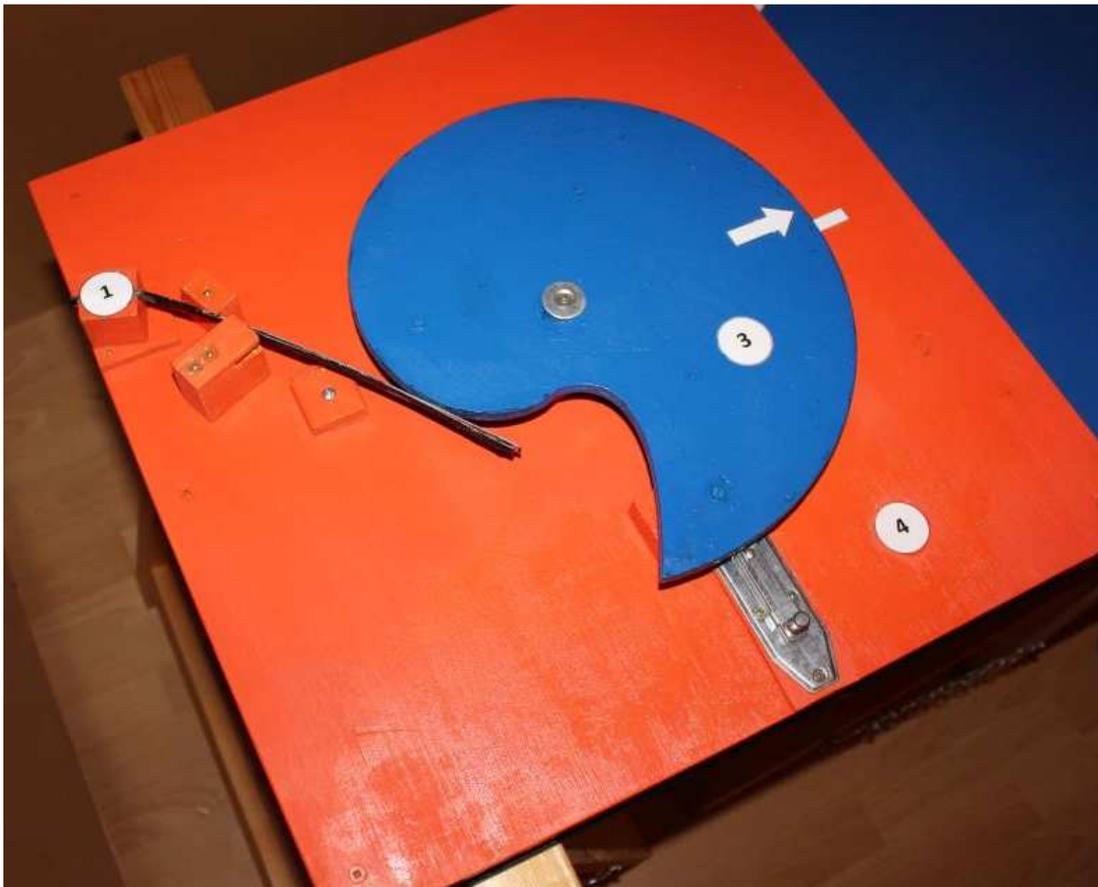


Erster Taschenuhrmechanismus "Stackfreed" von Peter Henlein



Gruppenmitglieder: Isabel, Moritz, Oliver

Gliederung P-Seminar

A) Rahmen des P-Seminars „Ausstellungsstücke zu interessanten Physikthemen“

B) Exponat „Stackfreed“-Mechanismus von Peter Henlein

I. Projektbeschreibung

1. Historischer Hintergrund
2. Peter Henleins Biographie
3. Uhrenmechanismus Stackfreed
4. Aufbau des Hands- On-Exponats

II. Protokoll

1. Bauphase
2. Veranstaltungen

III. Analogie zum Original-Stackfreed in Peter Henleins Taschenuhr

IV. Auswertung der Messung

C) Jetzige Taschenuhr

A) Rahmen des P-Seminars

„Ausstellungsstücke zu interessanten Physikthemen“

Franken, speziell Nürnberg, hatte seine Blütezeit im Mittelalter und in der Renaissance, viele einzigartige und innovative Entwicklungen von Regiomontanus über Dürer sind in dieser Zeit entstanden. Die meisten kann man jedoch nur in Museen betrachten, aus diesem Grund nahm sich ein P-Seminar des Jahrgangs 2011/13 des CJT-Gymnasium Lauf vor, die Entwicklungen als Hands-on-Exponate nachzubauen. Das bedeutet, dass man sie anfassen, Sachen bewegen, drehen und einfach viel besser verstehen kann, wie das jeweilige Stück funktioniert.

Wir, die „Peter-Henlein“-Gruppe, haben uns mit dem Phänomen des Stackfreeds beschäftigt. Die Ausgangssituation war die Idee, eine portable Uhr zu bauen. Da Uhren zu dieser Zeit aber mit einem Pendelmechanismus liefen, war es problematisch, diesen in eine Taschenuhr zu bauen, da die Uhr ja auch gekippt wurde und das Pendel so nicht mehr schwingen konnte. Deswegen entwarf Henlein einen Antrieb mittels Blattfeder. Da die Spannkraft mit abnehmender Federspannung aber ebenfalls abnimmt und das zu einer ungleichmäßigen Laufgeschwindigkeit der Uhr führen würde, entwickelte Henlein den Stackfreed-Mechanismus.

B) Exponat „Stackfreed“-Mechanismus von Peter Henlein

I. Projektbeschreibung

I.1. Historischer Hintergrund

Die ersten Taschenuhren wurden ca. 1500 in Nürnberg gefertigt. Da Uhren zu dieser Zeit aber mit einem Pendelmechanismus liefen, war es problematisch, diesen in eine Taschenuhr zu bauen. Die Problematik, die mit dem Bau einer Taschenuhr verbunden war, ist die Tatsache, dass es schwierig ist, eine Kraft zu erzeugen, die trotz alltäglicher Bewegungen konstant ist. Dieses Problem wurde erstmals mit Hilfe des Stackfreed-Mechanismus gelöst, der in dieser Arbeit genauer erläutert wird. Obwohl man sich nicht sicher ist, ob er den Stackfreed-Mechanismus erfunden hat, nennt man Peter Henlein als wichtigsten Vertreter bei der Erfindung der Taschenuhr.



Die Taschenuhren waren nicht nur in Nürnberg beliebt, sondern verbreiteten sich schnell in Europa, v.a. in Frankreich, Holland und England. Sie liefen allerdings sehr ungenau, weil Stöße und Erschütterungen die Uhrzeit verfälschten.

Doch mit der Erfindung der Unruh mit Spiralfedern des Holländers Christiaan Huygens änderte auch diese sich. Nicht nur der Mechanismus änderte sich, sondern auch die Hülle.

Nachdem zunächst, wie oben zu sehen ist, zylinderförmigen Taschenuhren gebaut wurden, wurde schon bald danach eine oval und runde Form als Gehäuse verwendet, die dann meist aus Gold oder Silber gefertigt.

I.2. Biografie Peter Henlein

Peter Henlein, der Sohn des Messerschmieds Hans Henlein, wurde zwischen 1479 und 1485 in Nürnberg geboren. Über die jungen Jahre Henleins ist nichts weiter bekannt. Erst 1504 tauchte sein Name im Zusammenhang mit einem Totschlag wieder auf, weswegen er auch im Barfüßerkloster nach Asyl verlangte. Von dort aus erhielt er 22-mal freies Geleit für die Verhandlungen. Erst 1508 wurde der Fall abgeschlossen und es konnte nicht festgestellt werden, welcher der Beteiligten den tödlichen Schlag ausgeführt hatte. Nach der Bezahlung eines gewissen Betrags an die Familie des Getöteten machte Peter Henlein 1509 seinen Meister als Schlosser.

Er heiratete 3-mal, 1509 seine erste Frau Kunigunde, nach deren Tod, etwa zehn Jahre später, 1521, seine zweite Gattin Margarethe und schließlich 1540, nachdem im selben Jahr seine zweite Gattin verstorben war, Walburga Schreyer. Henlein besaß ein Haus am Katharinengraben und auch finanziell schien es ihm gut zu gehen. Nachdem sein Bruder Hermann in Augsburg wegen eines schweren Verbrechens hingerichtet wurde, bedrohte er einen Augsburger Messerschmied und griff ihn mehrmals verbal an, weswegen er auch bestraft wurde.

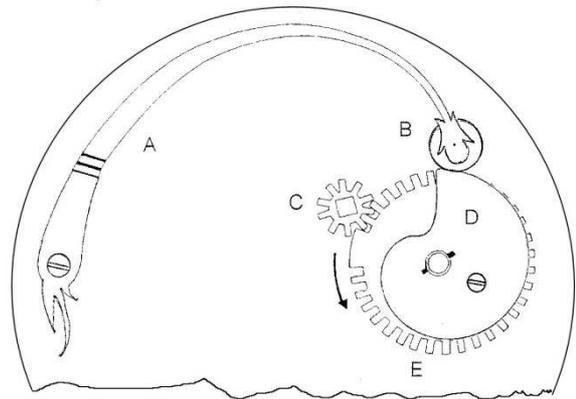
Zwischen 1521 und 1525 lieferte der Handwerker Uhren an den Nürnberger Rat, der diese an prominente Besucher verschenkte. Henlein war aber auch über die Stadtgrenzen hinaus bekannt. Von Markgraf Albrecht IV. von Brandenburg erhielt er den Auftrag für eine komplizierte Planetenuhr. In Nürnberg fertigte er 1535 die Nürnberger Rathausuhr. Des Weiteren sollte er 1541 eine Turmuhr für die Nürnberger Exklave Lichtenau anfertigen.

Er erfand außerdem die Technik, Uhrwerke so klein und schwerkraftunabhängig zu machen, dass sie am Körper getragen werden konnten, was zur Erfindung der Taschenuhr beitrug.

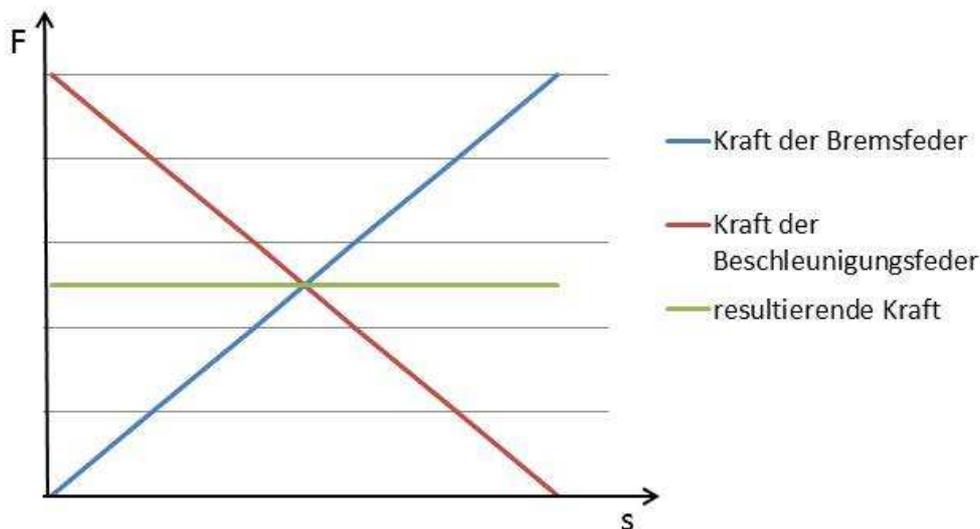
Peter Henlein starb im Jahre 1542.

I.3. Uhrenmechanismus Stackfreed

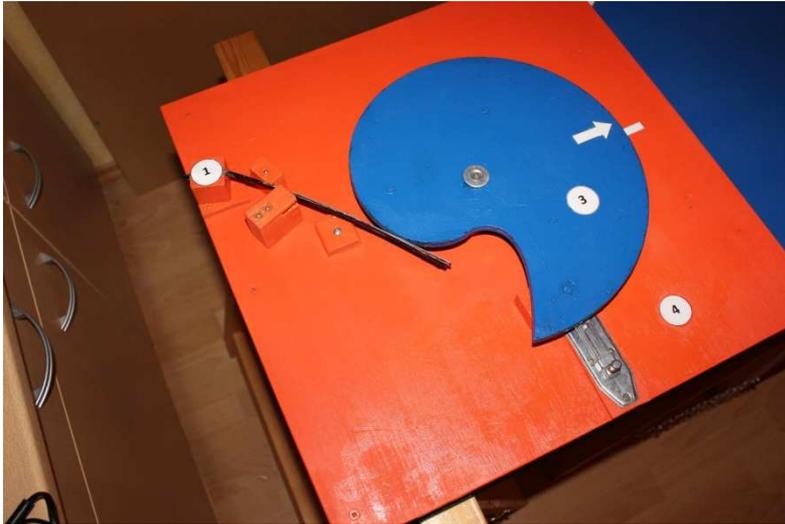
Der Mechanismus besteht aus der antreibenden Blattfeder. Diese befindet sich unter der sogenannten Kurvenscheibe (D rechts). Durch die Blattfeder wird die Kurvenscheibe beschleunigt. Durch die besondere Form der blauen Scheibe wird eine zweite Feder nach und nach gespannt, um die große Feder am Anfang mehr, und später weniger abzubremsen. Dadurch dreht sich die Scheibe mit konstanter Geschwindigkeit.



Also läuft ein Uhrwerk, das von einer Feder angetrieben wird, bedingt durch den linearen Kraftabfall zu Beginn schneller als gegen Ende (s. roter Graph unten). Mithilfe der Bremsfeder (A), deren Kraft durch die Kurvenscheibe linear steigt und der Bewegung entgegengesetzt ist, wird somit eine konstante resultierende Kraft erzielt. Nachdem die Reibung eines mit konstanter Geschwindigkeit laufenden Uhrwerks ebenfalls konstant und betragsmäßig der resultierenden Kraft entspricht, folgert daraus eine konstante Geschwindigkeit des Uhrwerks.



I.4. Aufbau des Hands- On-Exponats



Das Projekt bestand darin, den Stackfreed-Mechanismus in Form eines Hands-On-Exponat nachzubauen. Hierzu organisierten wir uns eine Blattfeder in groß und schnitten uns mithilfe eines Lasers eine Kurvenscheibe ((3)im Bild in blau) in passender Größe zurecht.

Das Ganze wurde (wie links im Bild zu erkennen) auf ein Holzbrett (4) montiert. Die Blattfeder befindet sich unter der orangenen Holzplatte. Sie überträgt ihre Spannwirkung durch einen Holzstab (mittig auf der Kurvenscheibe im Bild zu sehen) auf die Kurvenscheibe. Die Bremsfeder (1) wurde direkt neben der Kurvenscheibe befestigt.

Jetzt kann man die Kurvenscheibe spannen und gegebenenfalls mit dem Riegel fixieren. Wenn man sie dann loslässt, kann man beobachten, dass sie sich gleichmäßig dreht.

Des Weiteren befindet sich die Kurvenscheibe auf einem größeren Brett, wo sie mit Scharnieren befestigt ist, um das Model zu kippen. Hierbei kann man zunächst die Beschleunigungsfeder sehen, aber auch, bei Wiederholung des Versuches in dieser Stellung erkennen, dass sich die Scheibe auch so gleichmäßig dreht. Womit der Mechanismus unabhängig seiner Lagerung läuft.



- 1 Bremsfeder
- 2 Beschleunigungsfeder
- 3 Kurvenscheibe
- 4 Riegel

II. Protokoll

II.1. Bauphase

Zunächst wurden einige Rahmeninformationen über Peter Henlein und das Projekt im Allgemeinen gesammelt. Dabei wurden bisherige Stoffsammlungen verglichen und ein Buch über Peter Henlein ausgeliehen. Zu Beginn wurden einige Prototypen erstellt, um ein Gefühl für die Anfertigung eines Stackfreeds zu bekommen. Diese wurden anschließend verglichen und diskutiert. Dabei traten bereits einige Probleme auf, deren Lösung für die spätere Ausarbeitung sicherlich essentiell sein wird.

Dazu zählen beispielsweise die korrekte Form der Kurvenscheibe sowie die oft sehr hohe Geschwindigkeit während des Ablaufens.



Bremsfeder

Bei einem Ausflug zum OBI wurden mit offenen OBI-Mitarbeitern zahlreiche Informationen über mögliche Materialien für die Kernkomponenten des künftigen Modells gewonnen werden. Dabei standen vor allem mögliche Materialien für die Federn im Vordergrund. Zunächst gab es ein Problem



mit dem Material der Bremsfeder. Die erste Möglichkeiten war zunächst eine Feder aus Holz. Geeignet wäre zum Beispiel Manau-Holz ("Sumpfpflanze") gewesen. Vorteil hierbei ist, dass wir die Federhärte selbst wählen konnten, denn das Holz können wir jederzeit bearbeiten. Der

Nachteil dabei ist, nachdem es nunmal Holz ist, hat es keine perfekten "Federeigenschaften", wie volle Elastizität etc. Des Weiteren wurde eine Bremsfeder aus Metall in Erwägung gezogen. Wir hatten zunächst Federstahl im Gespräch, an den kommt man aber nur schwer heran bzw. er war zu hart. Eine gute und einfache Alternative waren Zinken eines Laubrechens. Diese passten von der Länge her perfekt und wir konnten je nach Bedarf mehrere übereinander legen. Vorteile dabei: Wir gehen kein Risiko ein, die Lösung ist besonders einfach und wir konnten quasi sofort mit dem Einbau beginnen. Daraufhin wurde die eigens für das Projekt angefertigte Blattfeder analysiert.

Kurvenscheibe



Außerdem wurden Form und späteres Aussehen des Modells geplant und diskutiert. Hierbei ließen wir uns von Uhrenmodellen auf der „Experimenta“ in Heilbronn inspirieren. Bei dem Besuch im FabLab wurde die endgültige Form der Kurvenscheibe herausgearbeitet und in Plexiglasplatten per Lasercutter geschnitten. Um den Radius an den jeweiligen Winkeln, die bei der Scheibe abnehmen, zu berechnen half uns folgende Formel:

$$r = r_{\max} \cdot (1 - (\theta/\theta_{\max})^2)^{1/2};$$

Der endgültige Bauplan wurde erarbeitet, die meisten Materialien angeschafft, mit dem Bau und der Lackierung des Modells wurde begonnen. Die Kurvenscheibe wurde samt Achse in das Modell eingebaut. Die Bremsfeder wurde angebaut und justiert, die Beschleunigungsfeder fixiert sowie ein Stopper angebracht. Die Plexiglasscheibe wurde auf dem Modell platziert und befestigt. Mehrere Lackschäden wurden dabei ausgebessert. Außerdem wurden die Scharniere angepasst und befestigt sowie die Arbeiten an der Bodenplatte begonnen.

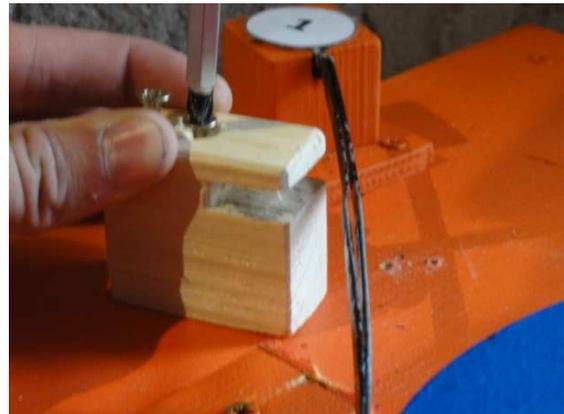
II.2 Veranstaltungen

Das Modell wurde im Fembohaus zahlreichen interessierten Besuchern präsentiert und vorgestellt. Es wurden einige interessante Gespräche mit Besuchern geführt und viele Fragen geklärt. Hervorzuheben ist dabei ein langjähriger Peter-Henlein-Fan und Uhrensammler, der sehr beeindruckt auf das Modell und die präzise Arbeit und Präsentation reagierte.



Nachdem das Modell zwei Tage lang im Turm der Sinne ausgestellt war, hat sich der Halterungsmechanismus der Beschleunigungsfeder am Holz aufgrund fehlerhafter Bedienung gelöst. Um ihn zu erneuern, musste die Feder ausgebaut werden und anschließend wieder montiert werden.

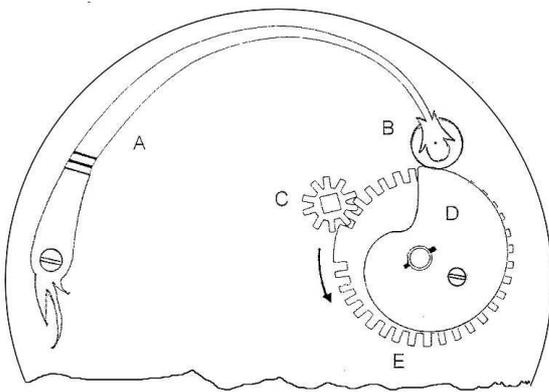
Nach weiteren zwei Tagen Ausstellung kam es bereits zur nächsten Beschädigung durch Besucher. Diesmal wurde die Halterung der Bremsfeder aus ihrer Verankerung gerissen. Nach vorheriger Diskussion im Team über die nötigen Arbeiten wurden diese schnell durchgeführt.



Da sich auch die Lokalpresse für unser Projekt interessierte, fand im Turm der Sinne ein Interview mit Fotoshooting statt. Keine der gestellten Fragen blieb unbeantwortet, so dass dieses Event sichtlich allen Beteiligten viel Freude bereitete. Beim Besuch im Turm der Sinne fiel wie oben beschrieben auf, dass die Bremsfeder zu viel Spielraum besitzt. Um diesen einzuschränken, wurde eine Laufschiene gebaut. Des Weiteren fanden mehrere kleinere Verbesserungsmaßnahmen statt, wie z.B. die Erhöhung der Bremsklötze und die Verbesserung der Lage und Höhe des Starriegels.

Im Rahmen des Schulfestes fand eine interne Vorstellung statt, die von zahlreichen interessierten Besuchern genutzt wurde.

III. Analogie zum Original-Stackfreed in Peter Henleins Taschenuhr



Der grundlegende Aufbau unseres Exponats stimmt größtenteils mit der ursprünglichen Version Peter Henleins überein. Der Radiusabfall der Kurvenscheibe (D) stimmt proportional mit der von Henlein verwendeten Kurvenscheibe überein. Ein Unterschied

besteht in der Materialwahl der Bremsfeder (A), da anstatt einer Blattfeder ersatzweise Zinken eines Federbesens verwendet wurden. Diese wirken mit dem gleichen Effekt wie die ursprünglich verwendete Blattfeder.

Aufgrund der Größe des Exponats wurden die Materialien für die Kurvenscheibe, die Federn und die Unterlage anders gewählt. Im Original bestand der Stackfreed hauptsächlich aus Metall, während das Exponat, abgesehen von den Federn, aus Holz und Kunststoff besteht. Des Weiteren führte die Größe und die damit erhöhte Masse zu Problemen bei der Wuchtung, was zu einem ungenauen Ablauf des Mechanismus führte, da dieser zu kurz war. Außerdem sorgte große Reibung zwischen Bremsfeder und Kurvenscheibe für Probleme bei der Abstimmung von Beschleunigungs- und Bremsfeder.

Das führt zu einer sehr schnellen Entspannung der Beschleunigungsfeder, nämlich innerhalb von wenigen Sekunden, während Henleins Taschenuhr mehrere Stunden brauchte, bis sie wieder aufgezogen werden musste.

Erläuterungen zum Videoclip¹

Das Video zeigt zwei Versuche, die die Auswirkungen der Bremsfeder verdeutlichen. Hierbei wird zunächst der Ablauf mit Bremsfeder veranschaulicht, wobei deutlich zu sehen ist, dass die Kurvenscheibe mit der Bremswirkung der Feder nahezu konstant läuft. Verdeutlicht wird

¹ siehe: <http://www.youtube.com/watch?v=57h7BxM4mSI&feature=youtu.be>

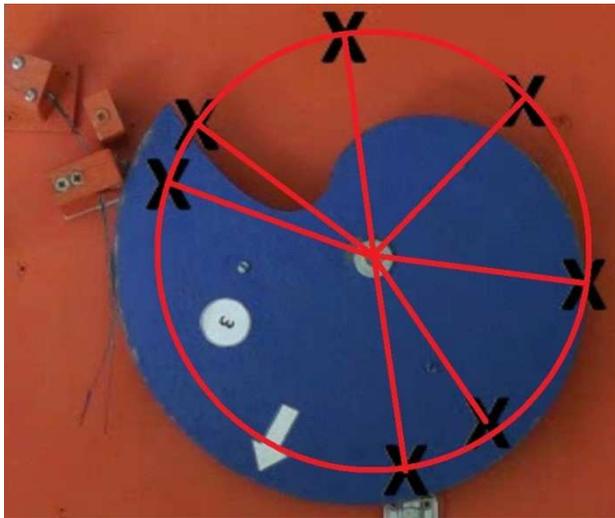
dies im Video durch Markierungen, die im Video im Abstand von einer Sekunde gesetzt wurden.

Im zweiten Teil des Videos wird der gleiche Versuch, bloß ohne Bremswirkung der Feder, durchgeführt. Hierbei merkt man deutlich den Unterschied zu Versuch 1, da sich die Kurvenscheibe nicht konstant, sondern beschleunigt bewegt. Das wird erneut durch Markierungen im selben Zeitabstand im Video veranschaulicht.

Um die beiden Versuche deutlicher darzustellen, werden die Abläufe jeweils auch in Zeitlupe gezeigt, da die oben angesprochenen Probleme zur Analogie jeweils zu einem schnellen Ablauf des Versuches führen. Dadurch kann man mit bloßem Auge den konstanten bzw. beschleunigten Ablauf kaum erkennen.

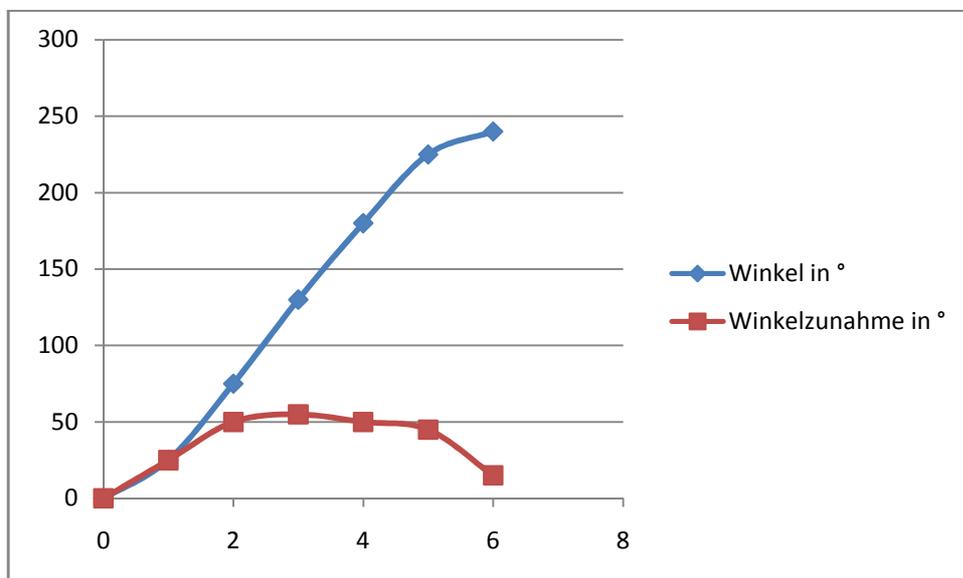
IV. Auswertung der Messung

Drehung mit Bremsfeder:



Messungen im Abstand von $\frac{1}{10}$ Sekunde

Zeit in $s * 10^{-1}$	Winkel in $^{\circ}$	Winkelzunahme in $^{\circ}$
0	0	0
1	25	25
2	75	50
3	130	55
4	180	50
5	225	45
6	240	15



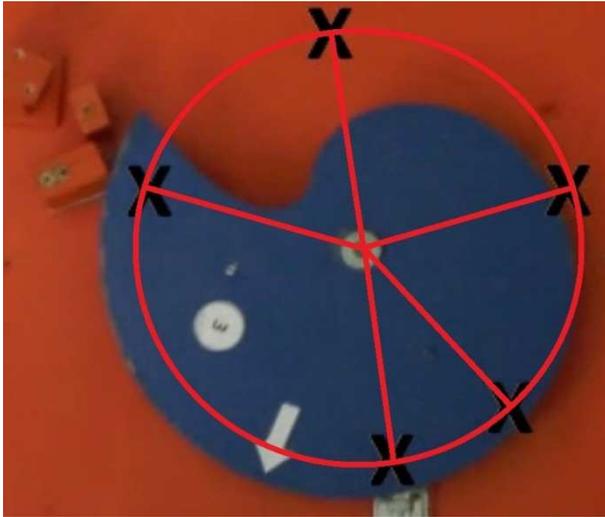
Winkelzunahme im Bereich von $\frac{1}{10}$ Sekunde bis $\frac{5}{10}$ Sekunden in etwa konstant (ca. 50°)

Physikalische Deutung:

Konstante Strecken-/Winkelzunahme erkennbar (s. Diagramm; ca. von $\frac{1}{10} - \frac{5}{10}$ s)

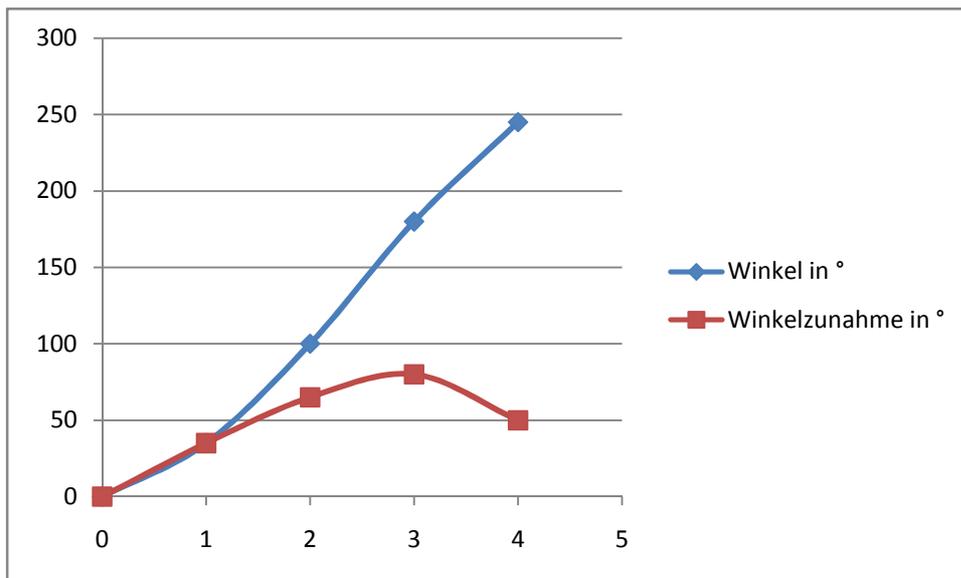
\Rightarrow Konstante Geschwindigkeit: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ (s. Diagramm; ca. von $\frac{2}{10} - \frac{5}{10}$ s)

Drehung ohne Bremsfeder:



Messungen im Abstand von $\frac{1}{10}$ Sekunde

Zeit in $s * 10^{-1}$	Winkel in $^{\circ}$	Winkelzunahme in $^{\circ}$
0	0	0
1	35	35
2	100	65
3	180	80
4	245	65



Winkelzunahme im Bereich von $\frac{1}{10}$ Sekunde bis $\frac{3}{10}$ Sekunden konstant zunehmend

Physikalische Deutung:

Konstante Beschleunigung erkennbar (s. Diagramm; ca. von $0 - \frac{3}{10}$ s)

\Rightarrow Beschleunigte Geschwindigkeit: $v = a \cdot t$

\Rightarrow Parabelförmige Streckenzunahme: $s = \frac{1}{2} a t^2$

(Anmerkung: Messabweichungen (ca. +/- 10%) des jeweils letzten Messwerts aufgrund von abruptem Ende des Versuchsablauf)

C) Jetzige Taschenuhren

Peter Henleins erste Taschenuhr hatte die Größe einer Dose, war also nicht wirklich als Taschenuhr geeignet. Auch durch das Herumtragen der Uhr traten Störungen hervor, was aber nicht sonderlich von Bedeutung war, da die erste Taschenuhr nur einen Stundenzeiger und keinen Minutenzeiger hatte. Die Taschenuhr wurde immer weiterentwickelt und ließ sich dabei auch von der Mode beeinflussen. Daher hatte sie zum Beispiel im 16. und 17. Jahrhundert eine Kreuzform. Auch das Gehäuse wurde verkleinert und ein Minutenzeiger wurde hinzugefügt.

Erst durch den französischen Uhrmacher Jean Antoine Lépine erhielt die Taschenuhr ihre heutige Form. Er erreichte die sehr flache Form, indem er die Räder mit Brücken und Kolben befestigte und nicht wie davor mit Platinen.

Die Lépine-Taschenuhr wurde später von der Savonette-Taschenuhr abgelöst, die sich durch den hinzugefügten Deckel, den man mit einem Knopf öffnen konnte, der das Ziffernblatt schützen sollte und auch durch die seitlich angebrachte Aufzugskrone, die man auch heute noch bei unseren Armbanduhren findet, auszeichnete.

Taschenuhren galten schon immer als modisches Accessoire und Statussymbol. Meist wurde und wird noch heute die Taschenuhr aus Edelstahl, Chrom oder Messing hergestellt das Uhrwerk dagegen besteht meistens aus einer Quarzuhr oder sie wird mit einem mechanischen Uhrwerk betrieben. Die Gehäuse werden je nach der aktuellen Mode graviert, vergoldet oder mit Edelsteinen besetzt. Heutzutage sieht man immer wieder Lépine-Taschenuhren, bei denen der Deckel fehlt um die meisterhaft designten Uhrwerke bewundern zu können. Das Ziffernblatt wird dabei mit einer dünnen Glasschicht geschützt.

Und auch heute gibt es noch einige Taschenuhr-Hersteller, wie unter Anderem Kienzle, Regent und Inducta.