

## Das Magische Pendel (v. 1.0 vom 09.07.2023)

### Das „Magisches Pendel“ – Die Geschichte eines praktischen Versuchs

Das ganze fing damit an, dass ich mir einen alten Traum erfüllen wollte und zwar den Bau eines „Perpetuum Mobiles“. Wie jeder weiß, ist das nicht möglich, also wollte ich wenigstens etwas bauen, was einem Perpetuum Mobile ähnlich sieht und von außen soll nicht erkennbar sein, mit welcher Technologie das ganze bewerkstelligt wird, so dass zumindest der Eindruck eines „Perpetuum Mobiles“ entsteht.

Schnell war mir klar, dass das am einfachsten mit einem Pendel geht, welches einfach dauernd hin und her schwingt. Zunächst wollte ich mir ein solches kaufen aber tatsächlich gab bzw. gibt es da nichts vernünftiges, also habe ich mich entschlossen so etwas „versuchsweise“ selber zu bauen....

Die erste Folie zeigt ein paar erste Überlegungen, die ich dazu hatte:

## MAGIC PENDULUM

### My „wishlist“:

- Hight approx. 1 Meter
- Look like a „Perpetuum Mobile“
- No visible electronics
- Utterly quiet
- Low friction (*ball bearings!*)
- Stable, harmonic swings
- DIY project .....
- Low budget (**less than € 50**)



Ich habe dann in meiner alten Formelsammlung - die ich noch aus Studienzeiten aufgehoben hatte - nachgeschaut und folgendes gefunden:

## SOME FIRST THOUGHTS

➤ Physics:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

$$\pi = 3.14$$

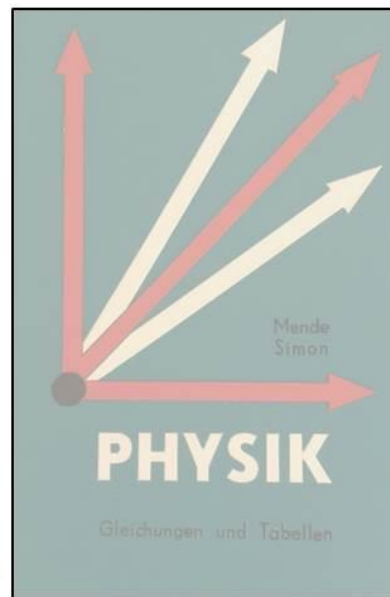
$$L = 1m$$

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$T \approx 2s$$

➤ Measurement:

$$T = 1.79s$$



Danach ist die Schwingungsdauer  $T$  nur von der Pendellänge. Das hat mir sehr zugesagt.

Bei einer Pendellänge von ca. 1 Meter ergibt sich rechnerisch eine Schwingungsdauer von ca. 2 Sekunden (Man nennt das auch: Sekundenpendel).

Eine solche Lösung erschien mir praktisch sehr brauchbar für die Machbarkeit und sie sollte auch eine gute Beobachtung ermöglichen und auch ausreichend Platz für einen „Antrieb“ den man ja nicht sehen soll und der irgendwo versteckt werden muss (Magnete, Elektronik, Batterien, etc.).

Der mechanische Aufbau war schnell fertiggestellt. Erwähnenswert ist vielleicht noch, dass ich zwei Kugellager eingebaut habe um die Reibung zu minimieren. Ich habe dann mit verschiedenen „Antriebslösungen“ experimentiert...

Zunächst habe ich versucht mit einem einfachen elektronischen Zähler mit einem angeflanschten Relais einen Elektromagneten zyklisch ein und auszuschalten.

Dies war eine reine Steuerung, d.h. kein Sensor wurde verbaut.

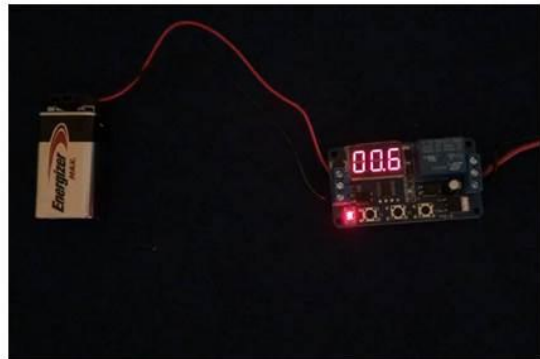
## FIRST PROTOTYPE

- Simple electronic on/off switch with relay
  - Duty time and period can be modified
  - Used to directly control the electromagnet
  - No sensors

Many experiments, but:

Result:

- \* Too noisy (Relay)
- \* Not stable enough....



Es hat sich schnell bald herausgestellt, dass dieser Antrieb nicht lange stabil läuft, denn die Eigenfrequenz der Pendelschwingung war nach kurzer Zeit nicht mehr synchron mit dem Zyklus der elektronischen Steuerung, d.h. die beiden „Schwingungen“ liefen immer mehr auseinander. Folglich kam das Pendel nach ein paar Minuten immer wieder zum Stehen....

Außerdem war das Schalten des Relais akustisch hörbar und auch das sollte ja nicht sein...

Im nächsten Versuch habe ich dann einen Reed Kontakt besorgt und dieser wurde durch das Pendel kurzzeitig geschlossen, wenn dieses gerade am tiefsten Punkt vorbeikam. Die Steuerung habe ich mit meinem alten Raspberry Pi realisiert und das Relais durch einen elektronischen Verstärker (MOS-FET) ersetzt.

## SECOND PROTOTYPE

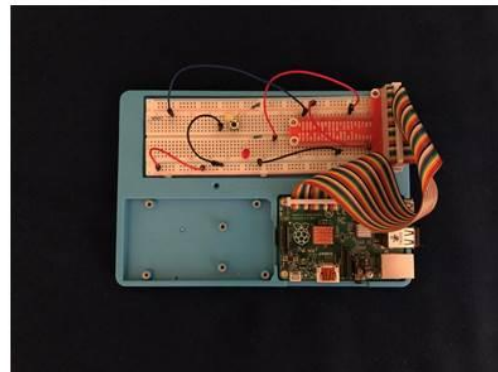
- Redeployment of my „old“ Raspberry Pi computer
- Feedback loop by use of a magnetic „Reed Contact“



Many experiments, but:

### Result:

- Stability improved
- Reed contact impacts swing
- Reed contact broken after a few hours



Das hat dann schon viel besser funktioniert. Doch leider ist der Reed-Kontakt nach einigen Stunden kaputt gegangen. Die mechanische Belastung war einfach zu groß. Außerdem wurde die Pendelschwingung durch die Nähe zum Reed-Kontakt immer wieder „unruhig“. Das sah nicht sehr schön aus und störte die ansonsten gleichmäßige und harmonische Pendelschwingung.

Also entschloss ich mich erneut nach einer anderen Lösung zu suchen.

Zwischenzeitlich hatte ich mir einen Raspberry Pico gekauft und mich ein wenig mit der neuen Programmiersprache „Python“ beschäftigt. Bei der Suche nach geeigneten Sensoren ist mir ein „Hall-Effekt Sensor“ aufgefallen, der ideal schien für diese Anwendung. Ein Hall Sensor erkennt auch statische Magnetfelder und arbeitet praktisch rückwirkungsfrei. Allerdings ist der Effekt relativ schwach und eine ausreichende Erkennung funktioniert nur, wenn der Magnet sehr nahe ist und damit das Magnetfeld relativ stark.

Nach einigen Versuchen (d.h. Feststellung der optimalen Platzierung und Einstellung der Empfindlichkeit) ist das aber gut gelungen und der Hall-Sensor arbeitet seitdem extrem zuverlässig.

## THIRD PROTOTYPE

- New Raspberry Pi Pico board
- Feedback loop by use of a „Hall Sensor“

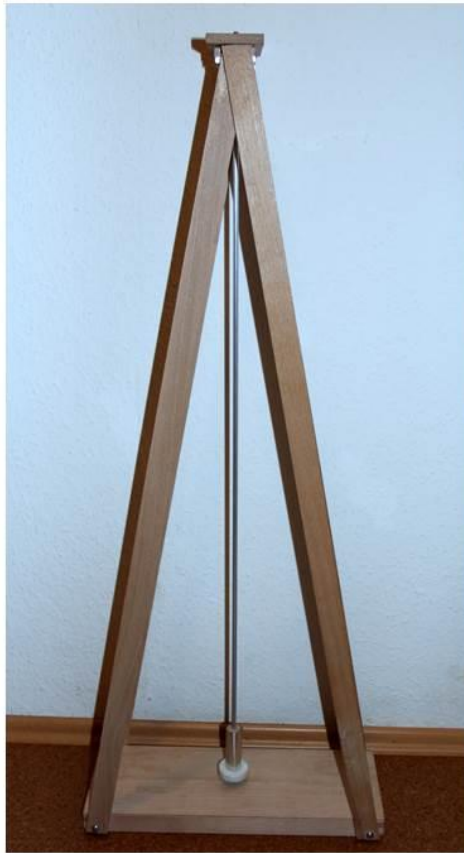


Many experiments:

### Result:

- Stability is great
- Swing now perfectly balanced
- Power consumption is reasonably low
- Tested for more than 50 hours

Die weiteren Bilder zeigen noch ein paar Details, wie Ansicht, Schaltplan bzw. Messergebnisse.



Das oben gezeigte Pendel läuft über 50 Stunden ohne Unterbrechung und wird von zwei Batterien gespeist.

Diese sind:

- Eine LiPo Batterie (7.4V) für den Magnetstrom und
- Vier AA-Zellen (à 1.2V) für die Versorgung des Picos mit der angeschlossenen Peripherie.

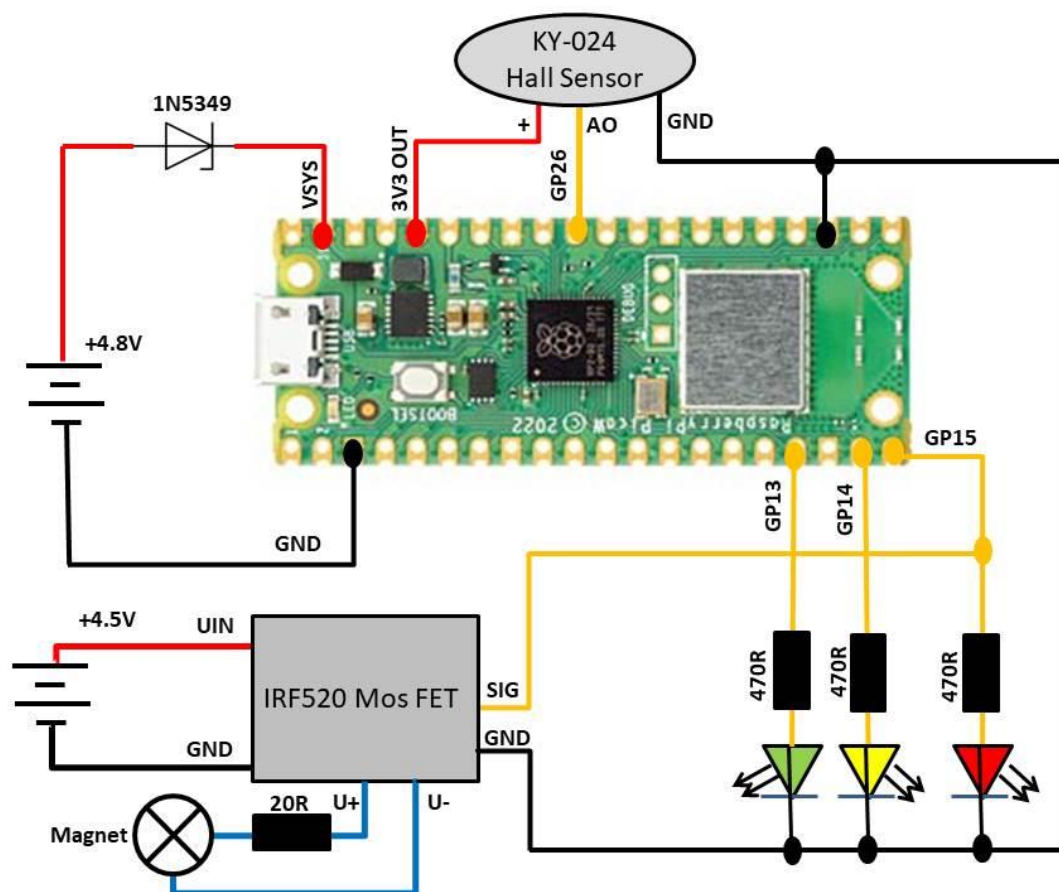
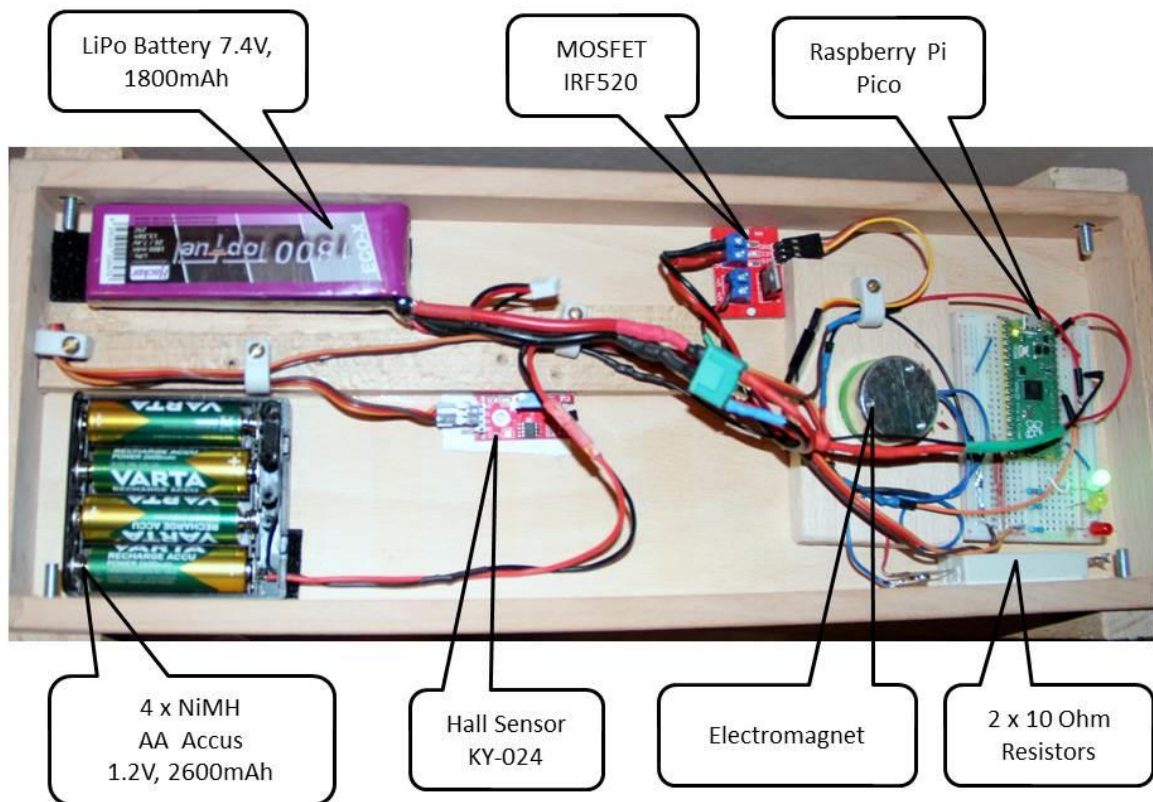
Es sind von außen keinerlei Geräusche vernehmbar und die gesamte Elektronik ist vollkommen unsichtbar in dem unteren Holzboden versteckt.

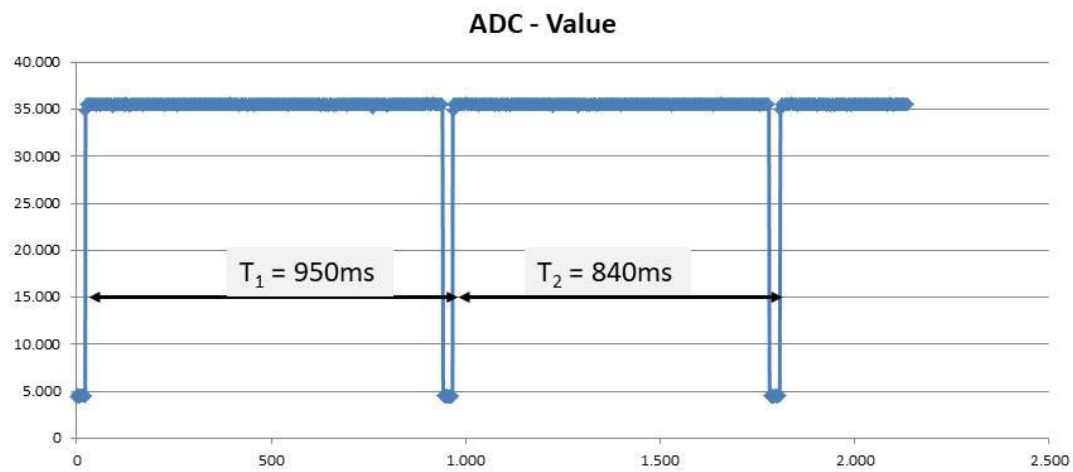
Ein außenstehender Beobachter mag meinen, dass dies ein echtes „Perpetuum Mobile“ ist.

Die Kosten für dieses Projekt sind minimal.

Die Kugellager und die Batterien sind nicht eingerechnet, denn die hatte ich schon in meiner Bastelkiste.







$$T = T_1 + T_2 = 1790\text{ms} = 1.79\text{sec}$$

## Pricelist

No.	Article	Description	Price	Comment
1	Controler	<a href="#">RaspberryPi Pico</a>	8,90 €	
2	Sensor	<a href="#">Hall Sensor</a>	5,29 €	
3	Driver	<a href="#">MOS FET</a>	1,72 €	Can be purchased in packages of 5 pieces.
4	Diode	<a href="#">Z-Diode</a>	0,33 €	Can be purchased in packages of 30 pieces.
5	Magnet	<a href="#">Magnet</a>	11,39 €	
<b>SUM:</b>			<b>27,63 €</b>	