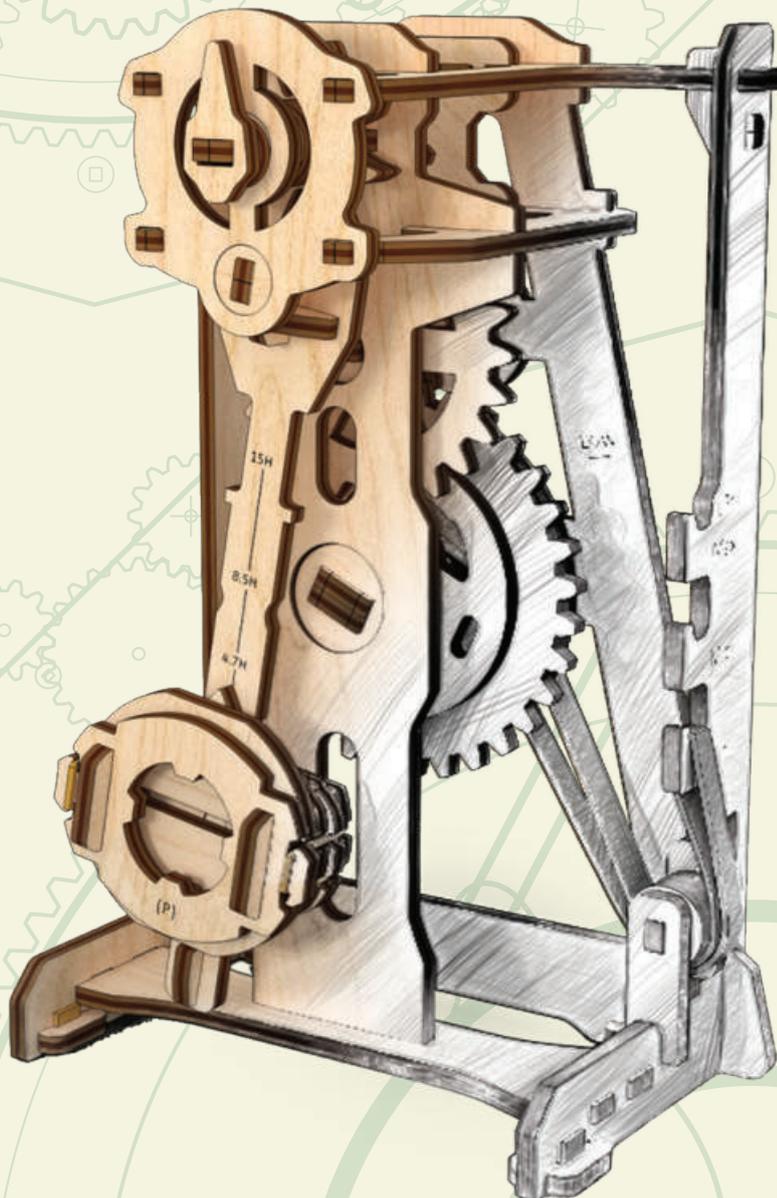


MECHANISCHES MODELL

# PENDEL



Lernanleitung

# §1 Einführung



## **Peter Henlein**

Geboren 1479 in Nürnberg, Deutschland.  
Erfinder der ersten Uhr der Welt.

## **Wie ein junger Mann die Welt in Schwingung versetzte**

Das moderne Leben ist ohne Uhren nahezu unvorstellbar. Irgendwann hat sich bestimmt jeder schon einmal gefragt, wie ein alter Wecker funktioniert. Manche haben vielleicht sogar versucht, eine Uhr zu zerlegen und zu reparieren und sind dabei auf unzählige kleine Schrauben, Zahnräder und Federn gestoßen. Da demontiert man diese Zeitmesser und dann - dann sitzt man da, mit einer Unmenge winziger Teile. Welches davon ist das wichtigste?

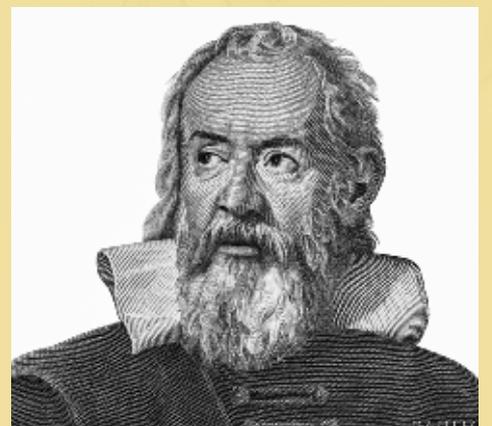
Anfang des 16. Jahrhunderts erfand ein Schlossermeister aus Nürnberg eine Uhr, die mit einem Räderwerk und einer Zugfeder funktionierte. Es war ein sehr einfacher Mechanismus und seine Genauigkeit ließ einiges zu wünschen übrig: Bedingt durch verschiedene Faktoren, insbesondere die Federspannung und die Kraftwirkung auf das Räderwerk lief die Uhr entweder zu schnell oder zu langsam. Der Uhr fehlte ein Hemmungsmechanismus, das „Herz“ eines klassischen Zeitmessers. Zwei große Geister des 17. Jahrhunderts sorgten dafür, dass das Uhrwerk sein Herz bekam: Galileo Galilei und Christiaan Huygens.



## **Galileo Galilei**

Geboren am 15. Februar 1564 in Pisa, Herzogtum Florenz

Galileo Galilei war ein italienischer Physiker, Ingenieur, Astronom, Philosoph und Mathematiker, der wertvolle Beiträge zur Entwicklung zahlreicher wissenschaftlicher Disziplinen leistete. Er verwendete als Erster ein Teleskop zur Beobachtung von Himmelskörpern und machte zahlreiche bedeutende astronomische Entdeckungen. Galilei war Begründer der experimentellen Physik. Mit seinen Experimenten widerlegte er das aristotelische geozentrische Weltbild und schuf die Grundlagen für die klassische Mechanik.



## **Christiaan Huygens**

Geboren am 14. April 1629 in Den Haag, Republik der Vereinigten Niederlande.

Christiaan Huygens war ein niederländischer Ingenieur, Physiker, Mathematiker, Astronom und Erfinder. Er war das erste ausländische Mitglied der britischen Gelehrten-Gesellschaft „The Royal Society of London“ und wurde in die Französische Akademie der Wissenschaften aufgenommen, die er wenig später leiten sollte. Huygens ist einer der Begründer der Theoretischen Mechanik und der Wahrscheinlichkeitstheorie.



# §2 Geschichte

**Alles begann mit einem Pendel.  
Es wird davon ausgegangen, dass es  
in Pisa erfunden wurde.**

Im Jahr 1584 pflegte der neunzehnjährige Medizinstudent Galilei den Gottesdienst in der Kathedrale von Pisa zu besuchen.

Der Legende nach wurde er dabei einmal von einem seltsamen Phänomen abgelenkt: Vom Wind angetrieben schwangen die massiven Bronzekronleuchter, die mit langen Ketten an der Decke des Bauwerks befestigt waren, hin und her und die Dauer dieser Schwingungen blieb trotz abklingender Amplitude\* identisch.

Zu jener Zeit gab es keine genauen Zeitmesser. Doch der junge Mann fand einen Weg: Er maß die Schwingungsdauer mithilfe seiner eigenen Herzfrequenz. Durch das Zählen seiner Herzschläge kam der Experimentator zu dem Schluss, dass während die Schwingungen beständig blieben und ihre Amplitude abklang, die Dauer der einzelnen Schwingungen exakt dieselbe blieb.

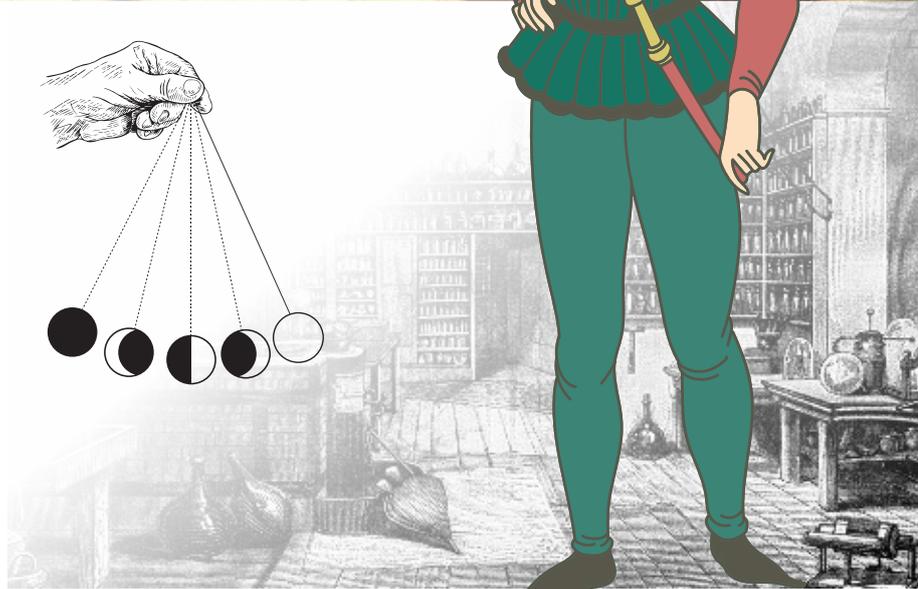
Galilei setzte sein Experiment zuhause fort. Er brachte unterschiedlichste Dinge zum Schwingen: einen Türschlüssel, einen Kieselstein an einem Faden, ein leeres Tintenfass, alles, was er nur finden konnte, um die Schwingungen des Kronleuchters zu simulieren. Das Ergebnis seiner ersten Untersuchungen war ein ganz einfaches Pendel: ein kleiner Schwingkörper an einem Faden. Wenn man ihn zu einer Seite hin zog und losließ, schwang der Körper lange Zeit hin und her.

Ermutigt durch dieses Ergebnis stellte sich der Erfinder sofort die nächste Frage: Wie wirken sich die Länge des Fadens und das Gewicht des Schwingkörpers auf die Dauer der kombinierten Schwingungen des Pendels aus? Nachdem er den Faden verlängert hatte, fand er heraus, die sich die Schwingungen verlangsamten. Die Schwingungsfrequenz eines Pendels mit einem 100 m langen Faden betrug rund 2 Sekunden. Erhöhte man die Länge um ein Vierfaches auf 400 cm, stieg die Schwingungsfrequenz auf 4 Sekunden. Ein viermal längerer Faden ließ das Pendel also doppelt so lange pro Periode schwingen. Eine Verlängerung um das Neunfache hatte eine Erhöhung der Schwingungsfrequenz um das Dreifache zur Folge. Gleichzeitig stellte er fest, dass die Größe der Amplitude keinen Einfluss auf die Ergebnisse des Experiments hatte.

Als Galilei den Einfluss des Gewichts des Schwingkörpers auf die Schwingfrequenz untersuchte, kam er zu einem höchst unerwarteten Ergebnis. Ein schwerer Metallkörper und ein leichter Korken schlangen in perfektem Einklang. Es stellte sich heraus, dass das Gewicht des Schwingkörpers keinerlei Einfluss auf die Schwingungsfrequenz hat. So

\* Amplitude - im Zusammenhang mit mechanischen Schwingungen eines Körpers – ist die maximale Abweichung von der Gleichgewichtsposition.

Arched windows in the building near Pisa tower (Italy)



kam der Erfinder zu dem Schluss, dass die Schwingungsdauer eines Pendels unabhängig von der Amplitude immer gleich lang ist, eine Erkenntnis, die als das erste Pendelgesetz bekannt wurde.

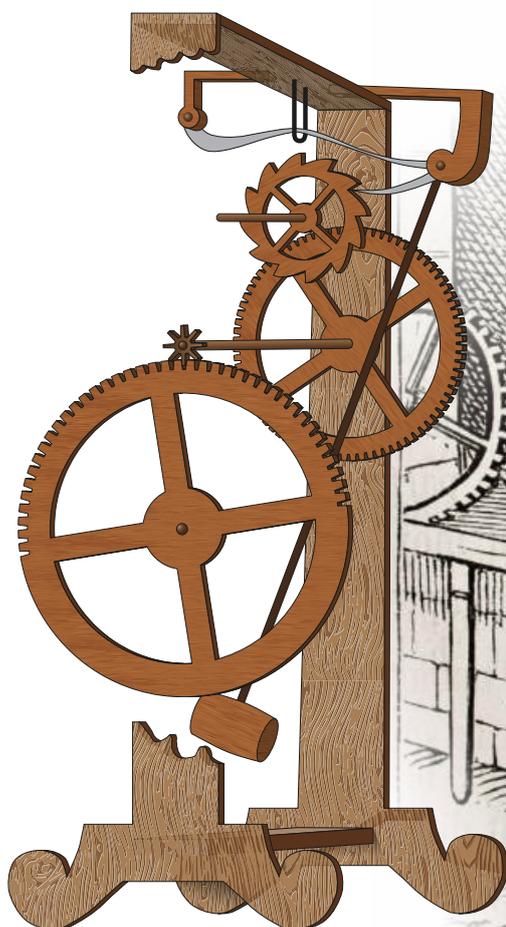
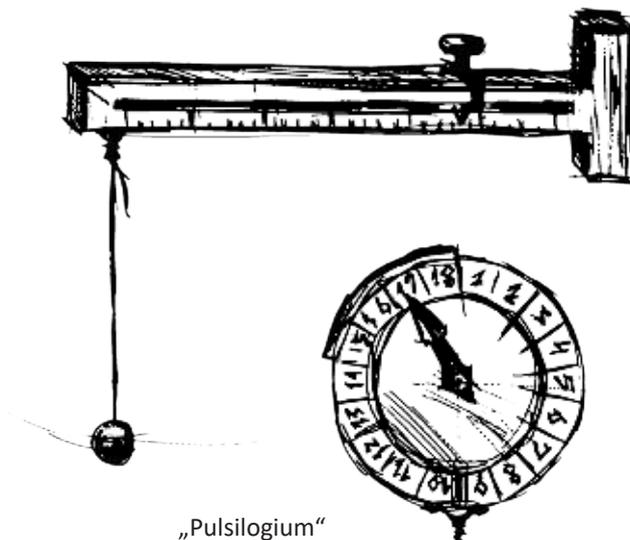
Galilei nahm an, dass diese Innovation Medizinern beim Messen des Pulses ihrer Patienten helfen konnte. Er schloss also ein Pendel an einen einfachen Zähler und schuf so eine Vorrichtung, die er als „Pulsilogium“ bezeichnete.

### Seine Zeitmessung basierte noch immer auf seinem eigenen Pulsschlag

Wir können nur vermuten, ob der geniale Wissenschaftler plante, ein Pendel für die Schaffung eines genauen Uhrwerks einzusetzen. Leider kam er erst darauf zurück, als er bereits über 70 Jahre alt war und sein Augenlicht verloren hatte.

Den Theorien seines Vaters folgend entwarf der Sohn von Galileo, Vincenzo, gemeinsam mit Viviani, einem Schüler des Genies, ein Uhrwerk. Es ist zwar unbekannt, ob sie den Mechanismus auch wirklich bauten, doch basiert das zu einem späteren Zeitraum geschaffene Uhrwerk auf diesem ursprünglichen Entwurf.

Als Hemmungsmechanismus verwendete Galileo ein Stiftrad und ein Paar gebogene Sperrklinken, die mit dem Pendel verbunden waren. Beim Schwingen des Pendels löst sich eine der Sperrklinken von den Stiften, so dass das Rad drehen kann, bis es von der anderen Sperrklinke „erfasst“ wird. In diesem Moment gibt es dem Pendel einen leichten Impuls, der es in Bewegung hält.



Die Zeichnung der Pendeluhr von Galileo mit dem Hemmungsmechanismus (um 1637).





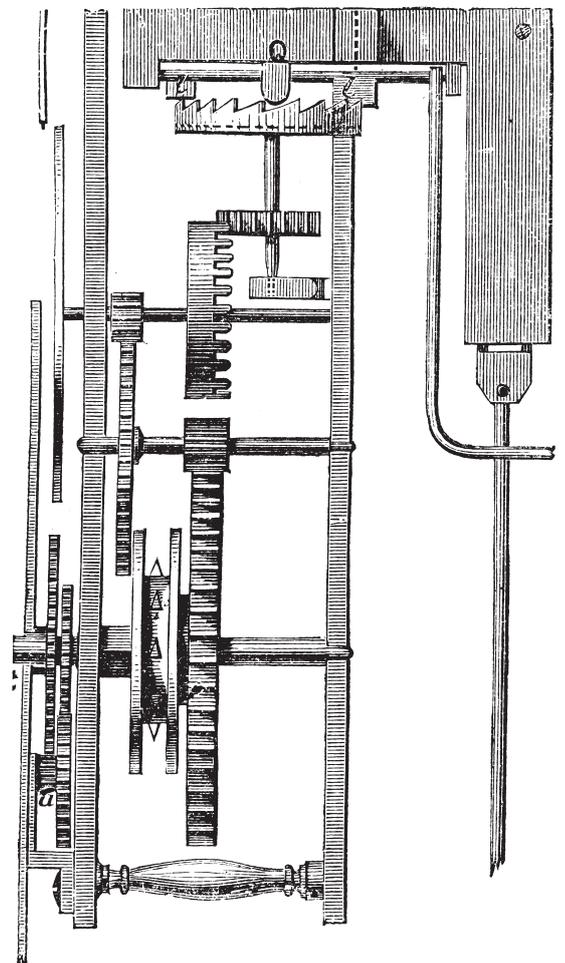
Eine alte Uhr mit Ankerhemmung

### Die großartige und sagenhafte mechanische Uhr!

1657 veröffentlichte Christiaan Huygens eine Abhandlung über seine kürzlich gemachte Erfindung - eine Uhr mit einem Pendel. Die Uhr von Huygens ging genau und während der nachfolgenden 40 Jahre kamen Wissenschaftler immer wieder auf diese Erfindung zurück, um sie weiter zu verbessern und mehr über die Eigenschaften des Pendels zu erfahren.

In seiner Uhr verwendete Huygens einen spindelförmigen Mechanismus, der nicht so universal einsetzbar war, wie der von Galileo vorgeschlagene. Insbesondere funktionierte er nur mit einem Pendel mit großer Schwingungsamplitude.

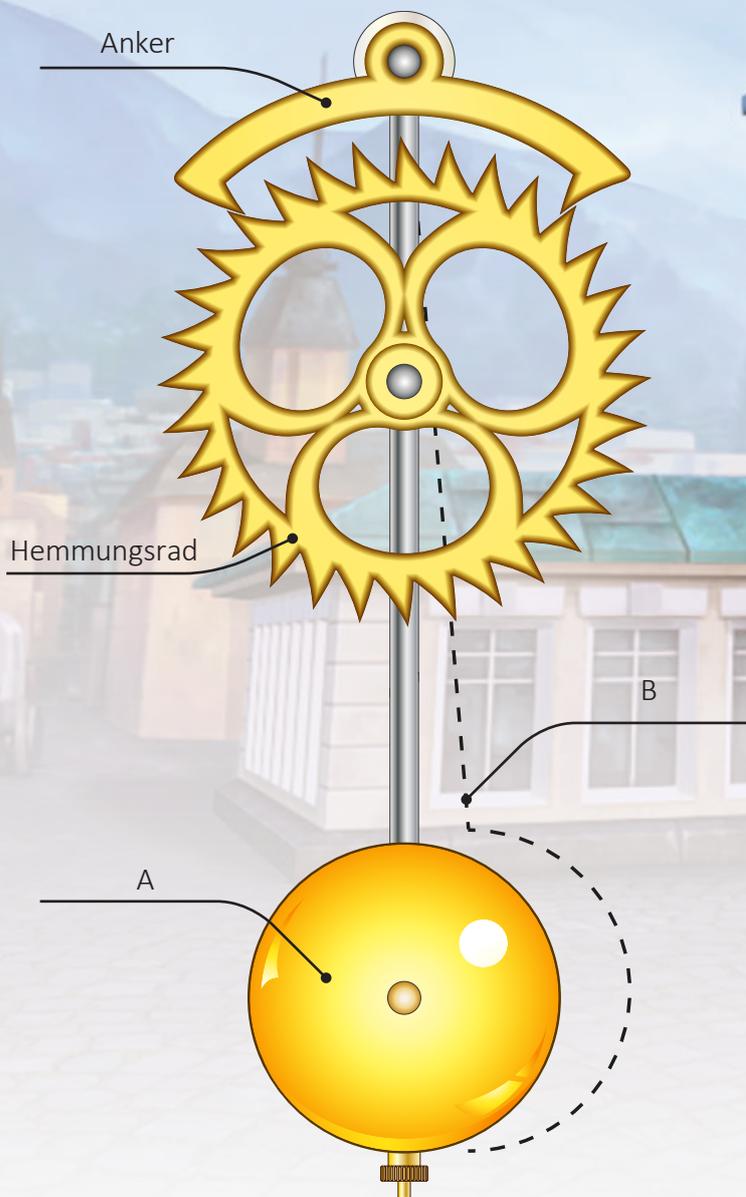
Ein stabiler Rhythmus der Uhr war mit einer so großen Schwingungsamplitude, wie ihn dieser Spindel-Mechanismus erforderte, praktisch nicht zu erreichen. Es musste also ein Weg gefunden werden, die Amplitude zu reduzieren. Dieser Weg war die Ankerhemmung.



Ankerhemmung (seitliche Ansicht)

## Hemmungsmechanismus

Das Hemmungsrad ist mit einem Zylinderrad verbunden, darüber liegt eine Kette. Der leicht gebogene Anker, der am oberen Teil des Pendels befestigt ist, verfügt an jedem seiner Arme über einen Zahn, die Palette genannt wird. Der Anker schwingt mit dem Pendel und greift und löst abwechselnd einen Zahn des Hemmungsrad mit den Paletten. Es heißt, dass der Verdienst der Erfindung einer Ankerhemmung Robert Hooke zukommt, der diese um 1670 erfunden haben soll.



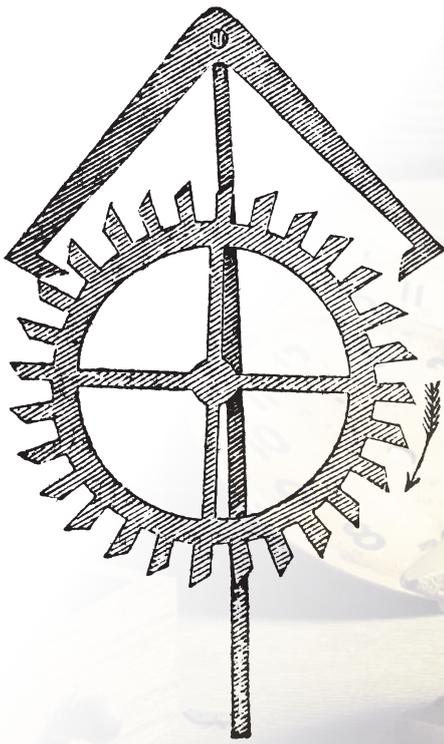
Ankerhemmung (Vorderansicht)



Der Anker sorgt dafür, dass sich das Hemmungsrad pro halbe Pendelperiode immer nur einen Zahn weiter dreht. A – Pendelanker, bevor das Hemmungsrad blockiert wird und einen Zahn weiter dreht. B – Pendelanker, nachdem das Hemmungsrad gelöst wurde und einen Zahn weiter dreht.

Im Jahr 1671 baute der englische Uhrmacher William Clement die erste Uhr mit einer Ankerhemmung und stellte damit den Vorrang der Erfindung von Hooke infrage.

Etwas später, im Jahr 1715, verbesserte George Graham, ein anderer englischer Erfinder, Uhrmacher und Geophysiker, den Ankerhemmungsmechanismus und machte ihn damit wesentlich genauer - bis zu 0,1 s. Der Mechanismus von Graham wurde bis 1890, also fast 200 Jahre lang verwendet.



Natürlich war George Graham nicht der letzte Erfinder, der sich Gedanken machte, wie man Uhren genauer und effizienter machen konnte. Es gab viele Uhrmacher, die ihren Beitrag zur Verbesserung des ursprünglichen Mechanismus lieferten. In der Geschichte der Uhrmacherei gibt es über 200 Erfindungen im Zusammenhang mit der Ankerhemmung.

Im 19. Jahrhundert kam dann zum ersten Mal die elektrische Uhr ins Spiel. In dieser Art Mechanismen wurde das Pendel elektrisch gesteuert. Mitte des 20. Jahrhunderts wurde die Quarzuhr erfunden. Sie verwendet eine elektronische Schwingvorrichtung, die ein Signal mit einer sehr genauen Frequenz erzeugt und über einen Quarzkristall gesteuert wird.



Heute können es die mechanischen Pendel-Uhren nicht mehr mit den elektronischen Zeitmessern aufnehmen. Sie sind jedoch weiterhin von großem ästhetischem Wert und ihre Geschichte stellt eine wichtige Phase des wissenschaftlichen Denkens dar, das zukünftige Generationen inspirieren wird.

# §3

## Der Mechanismus und seine Einsatzbereiche

Ein **Metronom** (griechisch: μέτρον «Maß» + νέμω «ich führe») ist eine Vorrichtung, die durch Ticken oder andere akustische Impulse regelmäßige Zeitintervalle vorgibt. Es wird hauptsächlich von Musikern verwendet, um zu üben, beim Spielen ein konstantes Tempo einzuhalten. Seit einigen Jahren wird es auch bei Konzerten eingesetzt, zum Beispiel zum Synchronisieren zuvor aufgenommener Background- und Elektronik-Instrumente.

Die Benutzung von „Musik-Chronometern“ begann gegen Ende des 17. Jahrhunderts. Das zweckmäßigste war das Anfang des 19. Jahrhunderts von dem deutschen Erfinder, Ingenieur und Unterhaltungskünstler Johann Nepomuk Mälzel geschaffene Metronom. Es heißt, der Zweite Satz der 8. Sinfonie Ludwig van Beethovens sei eine liebevolle Parodie auf Mälzels Metronom.

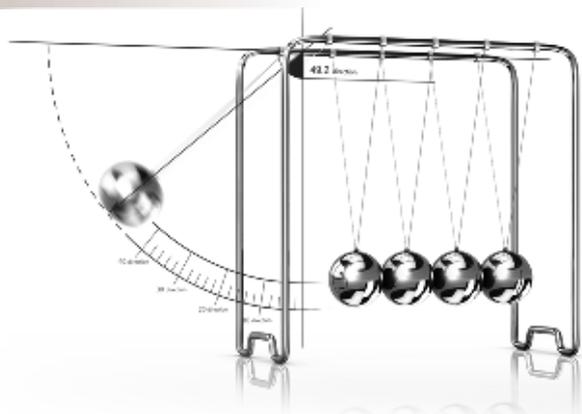
Ein Metronom hat typischerweise ein pyramidenförmiges Gehäuse. An einer Seite dieses Gehäuses befindet sich ein Pendel mit einem Schwingkörper. Die Position des Schwingkörpers an dem Pendel beeinflusst die Frequenz des Tickers des Metronoms. Je höher der Schwingkörper sitzt, desto geringer ist die Frequenz bzw. umgekehrt. Die Skala an der Vorderseite des Metronoms zeigt die Frequenz des Tickers an.

Heute werden neben mechanischen auch elektronische Metronome eingesetzt. Bei letzteren ist häufig zusätzlich ein Stimmgerät in das Gehäuse integriert.

Ein Metronom kann auch bei Sportübungen, wissenschaftlichen Experimenten oder sogar als eigenständiges Musikinstrument verwendet werden, wie zum Beispiel in Poème symphonique für 100 Metronome von György Ligeti oder Dead Souls Two Movements von Alfred Schnittke.

Mechanisches Metronom

Das nach Isaac Newton benannte **Newtonpendel** oder Kugelstoßpendel ist ein mechanisches System, das beweist, dass der Impuls und die Energie erhalten bleiben und die kinetische Energie in potenzielle Energie verwandelt wird und umgekehrt. Durch die fehlende Gegenkraft (Spannung) könnte das System im Prinzip unendlich lange funktionieren, was aber real unmöglich ist.



Das **Sekundenpendel** schwingt im 2-Sekunden-Takt: Es benötigt eine Sekunde für die Schwingung in einer Richtung und eine Sekunde für die Schwingung zurück. Die Schwingungsfrequenz beträgt also  $\frac{1}{2}$  Hertz\*.

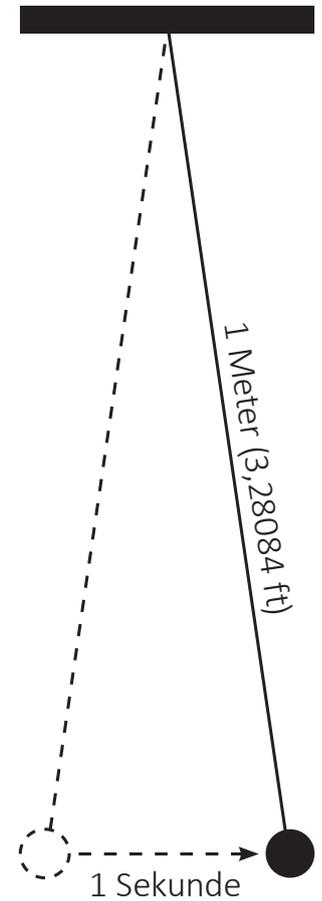
Das Gewicht hängt an einer Schwenkachse und schwingt frei. Wenn es seine Gleichgewichtsposition oder Ruhelage verlässt, unterliegt das Pendel der Schwerkraft, Spannung und Federkraft.

Wird es losgelassen, führt die Rückstellkraft gemeinsam mit der Pendelmass dazu, dass es über seine Gleichgewichtsposition hinaus zurück- und wieder vorschwingt.

Die Dauer eines kompletten Zyklus, eine Schwingung nach links und eine nach rechts, wird als Periode bezeichnet.

Die Periode hängt von der Länge des Pendels sowie in gewissem Maße von der Position des Gewichtes (das Trägheitsmoment im Verhältnis zum Schwerpunkt) und der Amplitude (Schwingung) ab.

**Mechanische Uhren** verwenden einen Pendelmechanismus zur Zeitmessung. Dieser wird von Gewichten, Federn oder einer elektrischen Energiequelle angetrieben. Für die Zeitmessung wird die Trägheit eines Schwingungssystem eingesetzt: das Pendel, ein normales oder federbasiertes, bei welchem eine Spiralfeder als Ausgleichsregler (+/-) eingesetzt wird.



\* Eine Frequenz von 1 Hz bedeutet eine Schwingung pro Sekunde.

# §4

## Physik und Mechanik, erläutert anhand des STEM-Modells „Pendel“

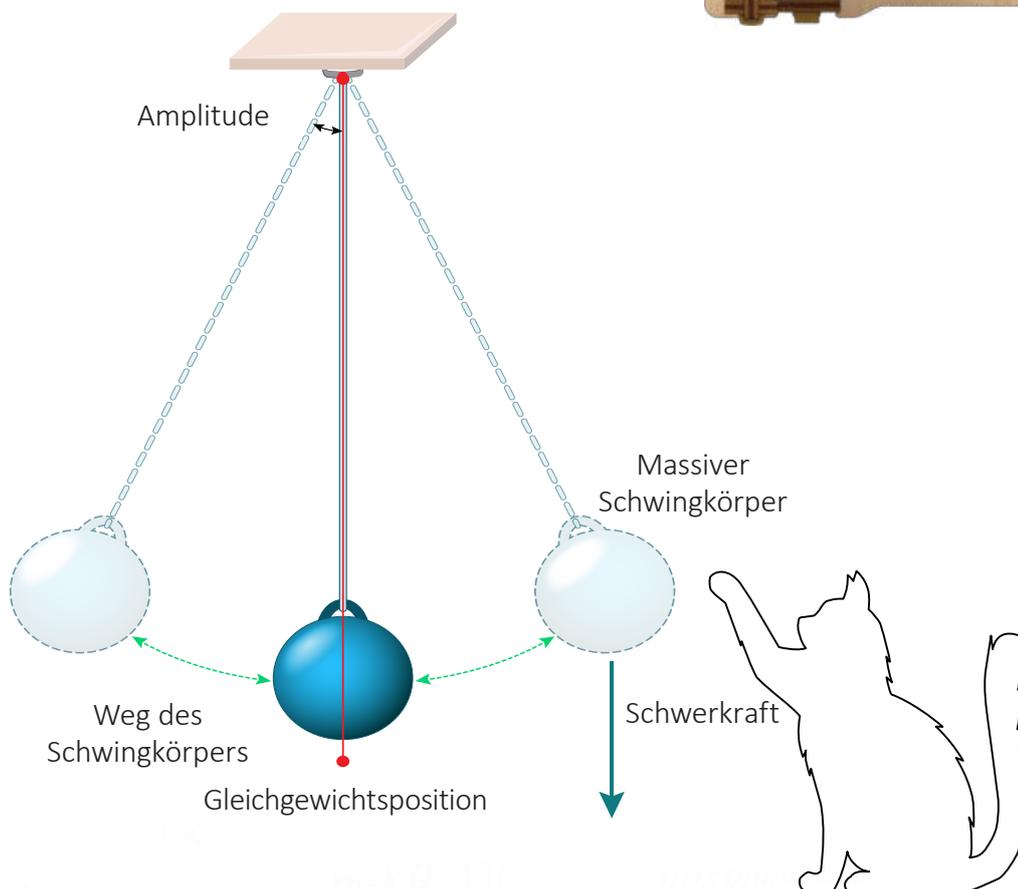
### Begriffe und Konzepte

**Schwingungen** sind eine Art der Bewegung, die in regelmäßigen Zeitabständen erfolgt.

Es gibt mechanische, elektromagnetische, chemische, thermodynamische, etc. Schwingungen. Man trifft sie in einer Vielzahl wissenschaftlicher Disziplinen an, sie haben viel gemein und werden durch dieselben Formeln beschrieben. Um ein Objekt zum Schwingen zu bringen, muss es aus seiner Gleichgewichtsposition bewegt werden.

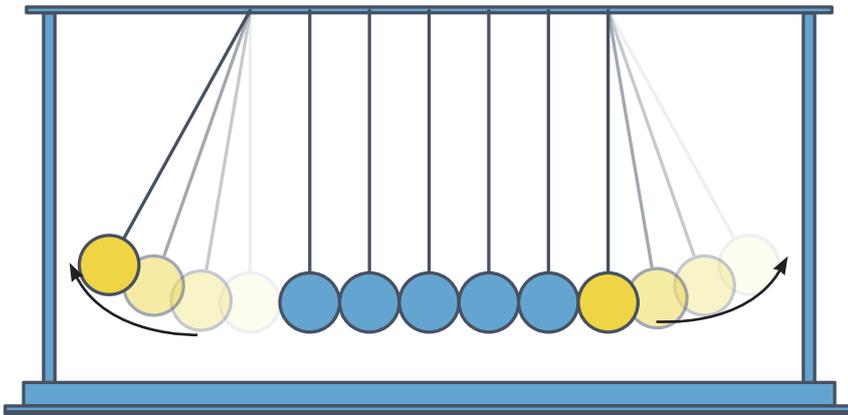
### Werfen wir einen Blick auf die wichtigsten Arten von Schwingungen:

**Erzwungene oder fremdbestimmte Schwingungen** werden durch eine externe periodische Kraft ausgelöst, die den aufgrund der Spannung entstehenden Energieverlust in dem System ausgleicht. Diese periodische externe Kraft wird als „Antriebskraft“ bezeichnet.

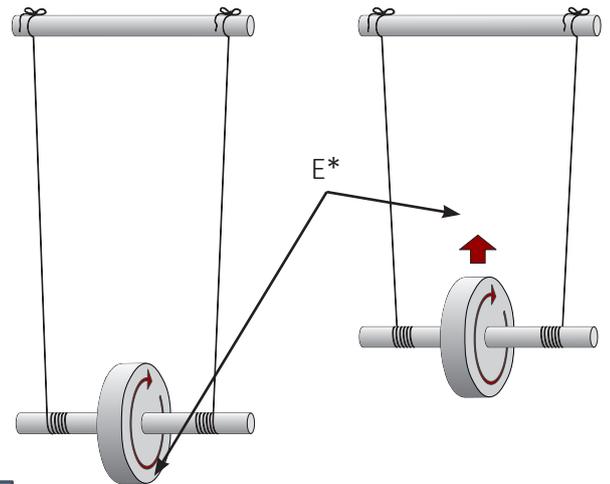


Die Katze bringt das Pendel zum „Schwingen“.

**Freie Schwingungen** sind die Schwingungen eines Körpers, die ohne einen anderen externen Einfluss erfolgen als dem Impuls, der die Bewegung in Gang setzt.

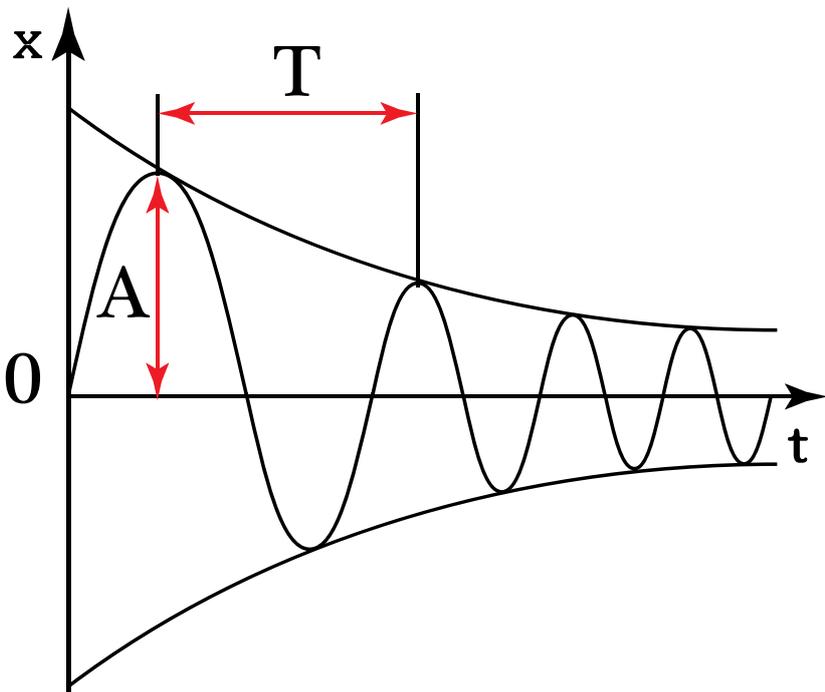
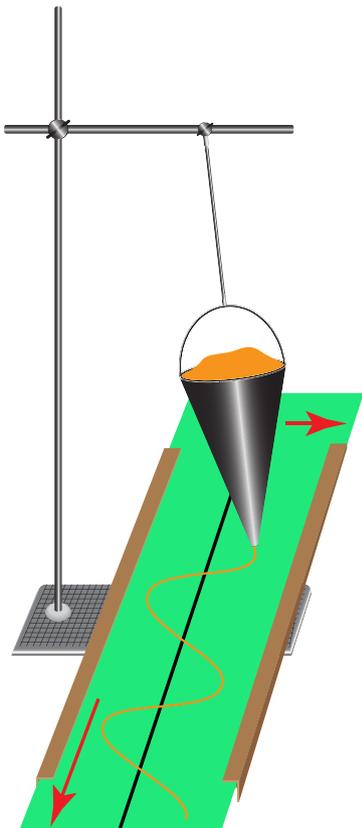


Beim Auslenken akkumuliert die Kugel Energie.



↓ Durch das Aufrollen des Seils akkumuliert die Pendelscheibe Energie.

**Gedämpfte Schwingungen** sind Schwingungen, die irgendwann Energie verlieren und deren Amplitude schrittweise geringer wird. Die Dämpfung freier mechanischer Schwingungen erfolgt durch Abnahme mechanischer Energie aufgrund von Widerstandskraft und Spannung.



**Dabei sind:**

A- Schwingungsamplitude.

T- Schwingungsperiode

t -Zeitspanne

x- Amplitudenwert

\*E – akkumulierte Energie

**Selbsterregte Schwingungen** treten ohne externe Kraft auf und sind durch die dem System eigene Fähigkeit zur Generierung und Regulierung der aus einer ständigen Quelle stammenden Energie bedingt.

Ein selbsterregtes schwingungsfähiges System umfasst drei wesentliche Elemente: Schwingkraft, Energiequelle und eine Rückkopplungsvorrichtung zwischen dem System und der Energiequelle. Jedes mechanische System, das in der Lage ist, gedämpfte selbsterregte Schwingungen zu erzeugen (z.B. das Pendel einer Wanduhr), kann ein selbsterregtes schwingungsfähiges System sein.

**Das Modell, das Sie zusammengesetzt haben, gehört zu den selbsterregten schwingungsfähigen Systemen.**

Diese Art Systeme können durch die Energie einer Feder oder die potenzielle Energie eines Gewichts unter Schwerkrafteinwirkung angetrieben werden.

**In unserem Fall handelt es sich um die Energie eines gespannten Gummibandes.**



### Die Schwingungen lassen sich folgendermaßen charakterisieren:

Eine komplette Schwingung gilt als ausgeführt, wenn der Schwingkörper an die Ausgangsposition zurückgekehrt ist und eine neue Schwingung in dieselbe Richtung beginnt. Schwingungen sind sich wiederholende Bewegungen mit folgenden Merkmalen:

1. Schwingungsperiode
2. Häufigkeit

**Die Schwingungsperiode ist der Zeitraum, in dem ein Objekt eine komplette Schwingung ausführt.**

Die Schwingungsperiode wird mit „T“ bezeichnet und in Sekunden gemessen.

Sie lässt sich folgendermaßen berechnen:  $T = t/n$

Dabei sind

t - die Dauer der Bewegung

n - die Anzahl der Schwingungen

**Die Schwingungsfrequenz ist die Anzahl kompletter Schwingungen in einer Sekunde.**

Die Frequenz wird in Hertz (Hz) gemessen und trägt den griechischen Buchstaben  $\nu$  als Formelzeichen.

Die Frequenz kann anhand folgender Gleichung berechnet werden:

$$\nu = nt$$

Dabei sind

n - die Anzahl der Schwingungen

t - die Dauer der Bewegung

Hz ist eine Schwingung pro Sekunde. Dies entspricht der durchschnittlichen menschlichen Herzschlagfrequenz.

Der Name Hertz erinnert an Herz.

Die Periode und die Frequenz einer Schwingung verhalten sich umgekehrt proportional zueinander:  $T = 1/\nu$ .

Die Einheit trägt den Namen des berühmten deutschen Physikers Heinrich Hertz (1857 - 1894).

## Die wesentlichen Energieformen bei Schwingungen:

**Amplitude - A** – die Schwingungsgröße, die größte Auslenkung eines schwingenden Objekts von seiner Gleichgewichtsposition. Vgl. dazu die Abbildung weiter unten - „Energieerhaltung bei einem Pendel“.

**Energie - E** – ist eines der wesentlichen Merkmale, sowohl als Maß der Bewegung als auch als Fähigkeit, Arbeit zu leisten.

Ein Körper kann in jedem Zustand unterschiedliche Energieformen aufweisen: thermische, mechanische, elektrische, chemische, nukleare oder die potenzielle Energie verschiedener physikalischer Felder (Erdschwere-, magnetische oder elektrische Felder). Die Summe aus allen diesen Energieformen, die ein Körper aufweist, wird als seine Gesamtenergie bezeichnet.

**Kinetische Energie – E(k)** – ist die **Energie** eines sich bewegenden Objekts. Im Ruhezustand ist die **kinetische Energie** eines Objekts gleich null.

Die **kinetische Energie E(k)** eines Objekts hängt von dessen Masse ( $m$ ) und Geschwindigkeit ( $v$ ) ab.

**Potenzielle Energie – E(p)** – ist die **Energie** eines Objektes, die auf seine Position im Verhältnis zu anderen Objekten oder die Konfiguration von Teilen des Objekts selbst zurückzuführen ist. Das bedeutet, dass z.B. ein Objekt, das von einem bestimmten Punkt auf den Boden fällt, in der Lage ist, Arbeit zu leisten.

Die potenzielle Energie hängt dabei von der Höhe ab, aus der das Objekt auf eine Ebene fällt.

**Mechanische Energie** ist die Summe aus potentieller und kinetischer Energie.

$$E = E_{(k)} + E_{(p)}$$

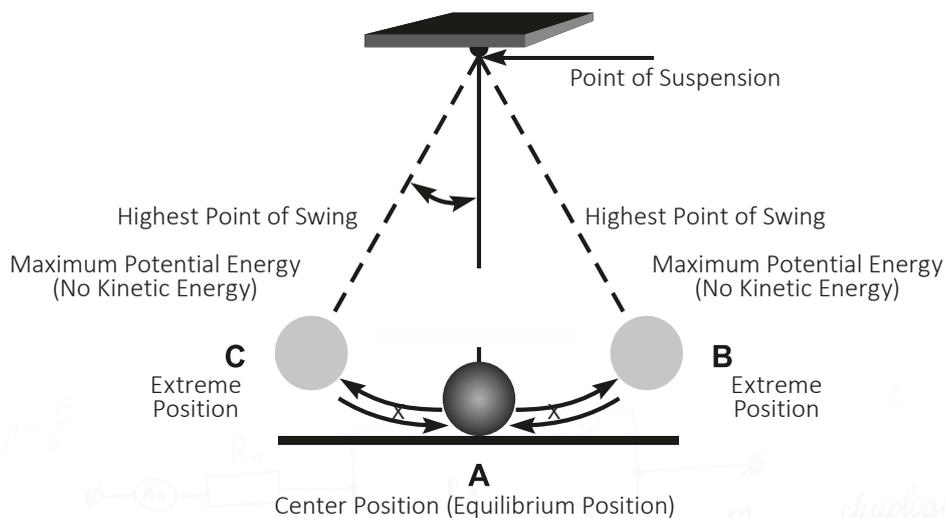
## Energieerhaltung bei einer schwingenden Bewegung

Die Schwingungen eines Pendels treten aufgrund eines Anfangsimpulses auf: der mechanischen Energie beim Wegbewegen des an der Schwenkachse hängenden Gewichtes aus seiner Gleichgewichtsposition.

### Während der Schwingungen

- treten die maximale Geschwindigkeit und die maximale kinetische Energie des Pendels an diesem Gleichgewichtspunkt auf.
- Seine potenzielle Energie ist dann am größten, wenn die kinetische Energie (Geschwindigkeit) gleich null ist.

Wenn sich das Gewicht aus der Gleichgewichtsposition zum Punkt der maximalen Auslenkung bewegt (Punkte C und B), wird kinetische Energie in potenzielle Energie umgewandelt. Wenn das Gewicht losgelassen wird und sich zurück auf die Gleichgewichtsposition bewegt, wird potenzielle Energie in kinetische Energie zurückverwandelt.



Energieerhaltung bei einem Pendel

**Auslenkung (x)** – die Fortbewegung eines schwingenden Objekts von seiner Gleichgewichtsposition innerhalb eines bestimmten Zeitraums [m].

# §5

## Technisches Design und Funktionsprinzipien

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

$$p = m \frac{dv}{dt}$$

### DAS FUNKTIONSPRINZIP

Ein gutes Beispiel für ein selbsterregtes schwingungsfähiges System ist eine Ankerhemmung (Abb. „Ankerhemmung mit Pendel“).

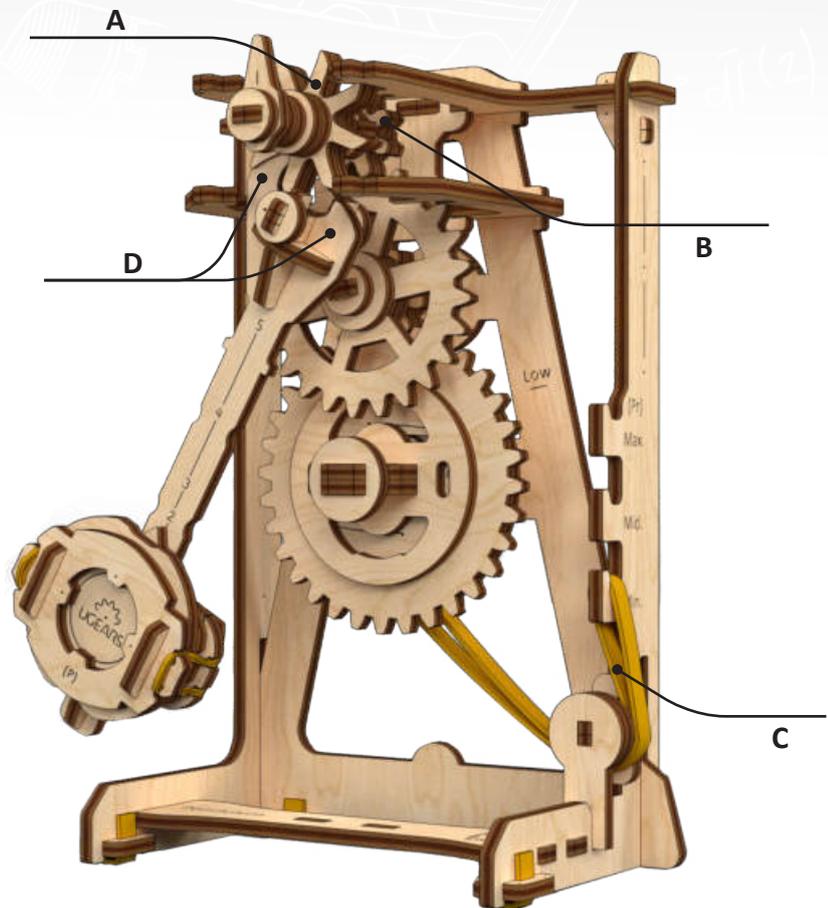
Das Hemmungsrad mit den schrägen Zähnen (A) ist mit dem Kettenrad (B) verbunden, das den Impuls von dem Gummiband (C) überträgt. Der obere Teil des Pendels ist in Ankerform (D) ausgeführt.

Wanduhren, Standuhren, Turmuhrn oder Armbanduhrn verwenden ein Gewicht als Energiequelle. In Hand- oder Taschenuhrn können für den Antrieb statt des Pendels auch eine Feder und eine mit einer Spiralfeder verbundene Unruh (E) verwendet werden. Die Unruh erzeugt um ihre eigene Radialachse drehende Schwingungen.

Das Schwingungssystem in einer Uhr oder Armbanduhr ist ein Pendel oder eine Unruh. Als Energiequelle wird ein Gewicht oder eine Feder eingesetzt. Als Rückkopplungsvorrichtung wird ein in ein Hemmungsrad eingreifender Anker verwendet. Dieser Anker sorgt dafür, dass sich das Rad pro halbe Periode um jeweils einen Zahn weiterbewegt.

Die Rückkopplung erfolgt, indem der Anker in die Hemmung eingreift. Dieser Anker sorgt dafür, dass sich das Rad pro halbe Periode um jeweils einen Zahn weiterbewegt. Jede Halbperiode der Pendelschwingung bewegt der Zahn des Hemmungsrades den Anker in dieselbe Richtung und überträgt dabei einen bestimmten Energieimpuls, der den Verlust der Spannungsenergie ausgleicht. So wird die potenzielle Energie eines Gewichts oder einer Feder graduell in kleinen Impulsen auf das Pendel übertragen.

Mechanische selbsterregende schwingungsfähige Systeme finden verbreitet Anwendung und sind praktisch überall in unserem Alltag anzutreffen. Dafür gibt es zahlreiche Beispiele: Dampfturbinen, Verbrennungsmotoren, elektrische Türklingeln, die Saiten von Musikinstrumenten, Blasinstrumente oder unsere Stimmbänder beim Sprechen oder Singen.



Ankerhemmung mit Pendel

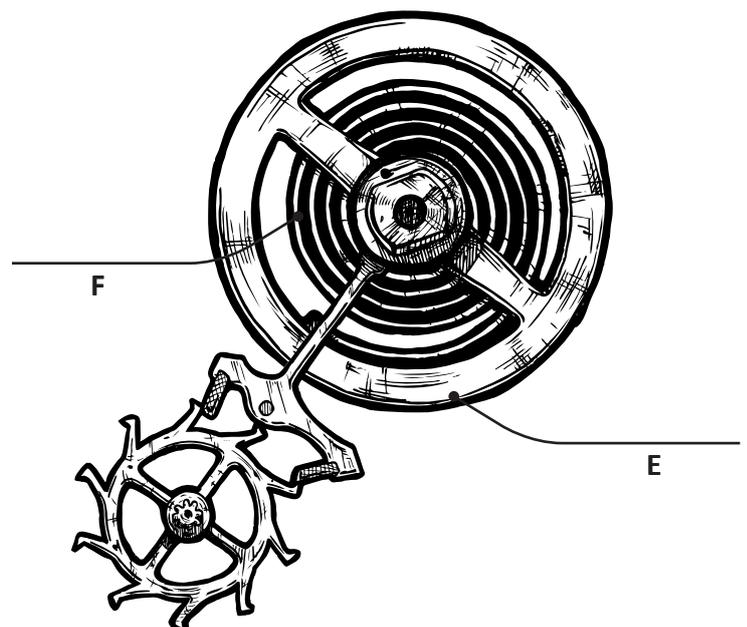


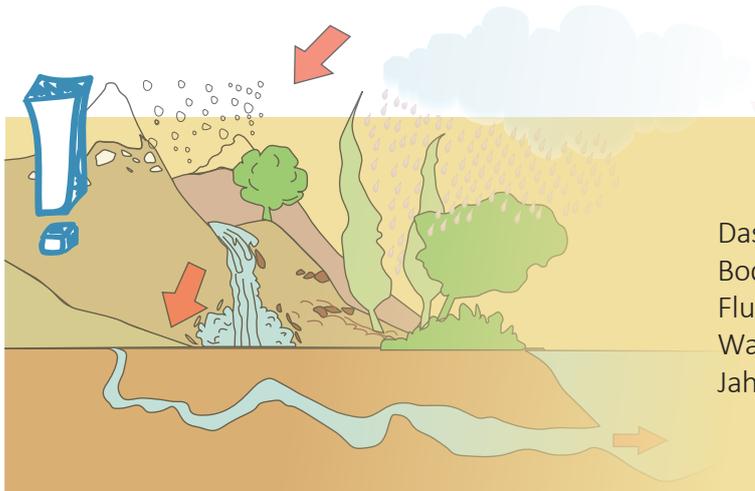
Abb. 4. Uhrwerk mit Pendel

## KURIOSITÄTEN



Schwingungen sind einer der gewöhnlichsten Prozesse in Natur und Technologie.

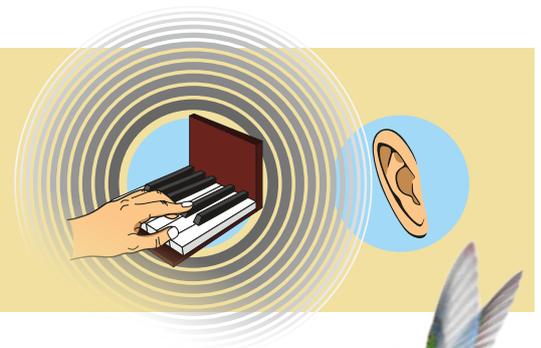
Sie finden sich in den Bewegungen von Schmetterlingen oder der Flügel von Vögeln, in den Bewegungen von hohen Gebäuden und Hochspannungskabeln im Wind, von Uhrpendeln und Federaufhängungen in Autos, dem Wasserstand von Flüssen und in der Temperatur des menschlichen Körpers, wenn dieser gegen Infektionen kämpft.



Dasselbe gilt für die Bewegung des Bodens bei Erdbeben, für Ebbe und Flut, den Herzschlag, Schlaf- und Wachrhythmen, den Wechsel der Jahreszeiten und vieles mehr.



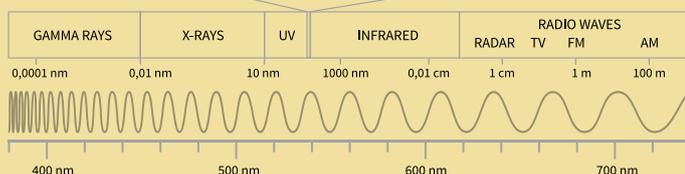
Schall ist die Vibration von Luftdichte und Druck, Funkwellen sind periodische Veränderungen elektrischer und magnetischer Feldstärke. Sichtbares Licht ist ebenfalls eine Art elektromagnetischer Schwingung, jedoch mit unterschiedlicher Wellenlänge und Frequenz.



## VISIBLE SPECTRUM



VISIBLE LIGHT



Sogar unser Pendeln zwischen Wohn- und Arbeitsort fällt unter die Definition von Schwingungen als einem Prozess, der sich in regelmäßigen Zeitabständen wiederholt.

Ein spezieller Bereich der Physik, die „Schwingungstheorie“, widmet sich der Untersuchung dieser Phänomene. Dieses Wissen ist von höchster Bedeutung für all jene, die im Flugzeug- oder Schiffsbau tätig sind, für Projektentwickler in Industrie und Transport, für Hersteller von Funk- und Akustikgeräten.



# §6

## Praktische Übungen und Aufgaben

Nehmen Sie Ihre eigenen Laborstudien vor und untersuchen Sie die Abhängigkeit der Periode und Frequenz von der Position des Gewichts. Lernen Sie, was eine Amplitude ist. Messen Sie Amplitude, Frequenz und Periode eines Pendels. Entdecken Sie den Einfluss der Position des Gewichts auf die Schwingungsperiode.

**Ziele:** Untersuchen, wie die Periode von der Position des Gewichts abhängt. Lernen, die Amplitude mithilfe verschiedener Formeln zu berechnen. Weiterentwicklung von Logik, wissenschaftlichen Fähigkeiten und räumlichem Denken.

**Geräte:** Das Pendel, eine Stoppuhr, einen Notizblock und einen Stift.

**Theoretischer Hintergrund des Experiments:**

Bauen Sie das Pendel zusammen und stellen Sie es auf eine ebene Fläche. Bewegen Sie das Pendel aus seiner Gleichgewichtsposition. Messen Sie die Zeit und zählen Sie die Anzahl der Schwingungen. Um die Genauigkeit des Experiments sicherzustellen, wiederholen Sie Ihre Berechnungen mehrere Male. Berechnen Sie die durchschnittliche Dauer  $t_c$ . Die Periode von Schwingungen kann mithilfe folgender Formel berechnet werden:

$$T_c = \frac{t_c}{N} \quad (1)$$

**Vorbereitung des Experiments:**

Stellen Sie das Pendel auf eine ebene Fläche. Fixieren Sie die Position des Gewichts. Bringen Sie das Gummiband auf die Position „min“ und das Pendelgewicht (Schwingkörper) auf die untere Position (wenn Sie möchten, können Sie eine Münze an dem Pendelgewicht anbringen).

**ABLAUF:**

**Aufgabe 1. Ermitteln Sie die Schwingungsperiode.**

1. Bewegen Sie das Pendel 2-3 cm aus seiner Gleichgewichtsposition. Notieren Sie, wie viel Zeit das Pendel benötigt, um 10 volle Schwingungen auszuführen.
2. Wiederholen Sie Ihr Experiment 2-3 Mal unter denselben Bedingungen.
3. Berechnen Sie die durchschnittliche Zeit, die das Pendel für 10 volle Schwingungen benötigt.

$$T_c = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}$$

4. Berechnen Sie anhand der Formel (1) die Periode des Pendels.

**Aufgabe 2. Feststellen, wie die Position des Gewichts die Frequenz beeinflusst.**

1. Wählen Sie eine der Positionen und bringen Sie das Gewicht entsprechend an. Zählen Sie die Anzahl der vollen Schwingungen in 10 Sekunden.
2. Berechnen Sie mit folgender Formel die Frequenz:

$$n = \frac{N}{t}$$

3. Wiederholen Sie das Experiment mehrere Male und ändern Sie jedes Mal die Position des Gewichts.
4. Vergleichen Sie die Ergebnisse.



Собранный маятник



**Aufgabe 3. Wiederholen Sie das Experiment aus Aufgabe 2 und ändern Sie das Gewicht des Schwingkörpers.**

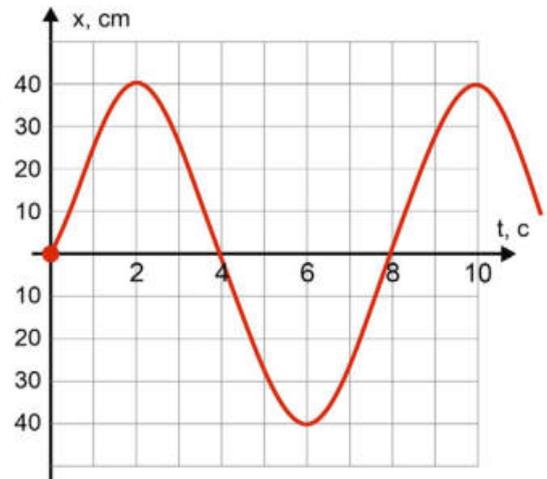


Das Pendel-Modell ist das Modell einer Ankerhemmung. Die Amplitude des Pendels ist stetig und hängt weder von der Spannung des Gummibandes noch von der Position des Gewichts ab. Es ändern sich lediglich die Frequenz und die Periode.

**Aufgabe 4. Ermitteln Sie die Amplitude und die Periode anhand der Kurve der Grafik.**

Wählen Sie die korrekte Antwort:

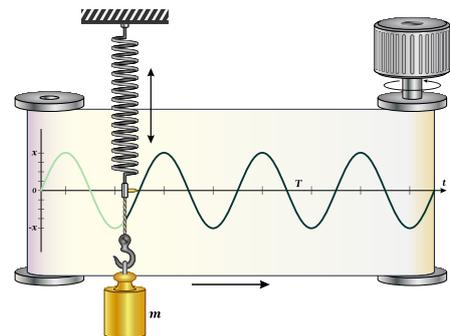
- 1. 10 cm
- 2. 20 cm
- 3. 40 cm
- 4. 2 s
- 5. 4 s
- 6. 6 s
- 7. 8 s
- 8. 10 s



**Aufgabe 5. Wie wird sich die Periode des federbetriebenen Pendels ändern, wenn man das Gewicht vervierfacht?**

Wählen Sie die korrekte Antwort:

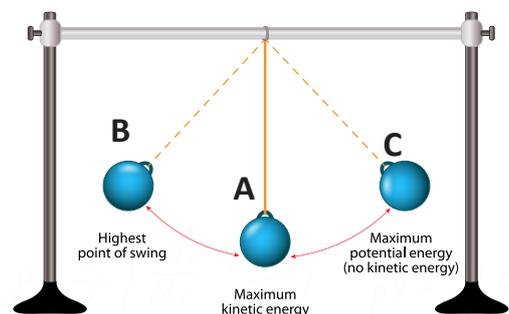
- 1. Sie wird sich um das Zweifache erhöhen
- 2. Sie wird sich um das Zweifache verringern
- 3. Sie wird sich um das Vierfache erhöhen
- 4. Sie wird sich um das Vierfache verringern
- 5. Sie wird sich um das Sechzehnfache erhöhen
- 6. Sie wird sich um das Sechzehnfache verringern



**Aufgabe 6. An welchem Punkt ist die potenzielle Energie eines Pendels am höchsten?**

Wählen Sie die korrekte Antwort:

- 1. A
- 2. B
- 3. C
- 4. An allen Punkten identisch



**SCHLUSSFOLGERUNG:**

Während des Experiments haben wir gelernt, die Amplitude, die Periode und die Frequenz der Pendelschwingungen zu messen.

**Dabei wurde folgendes festgestellt:**

- Periode und Frequenz hängen nicht von der Amplitude ab.
- Periode und Frequenz hängen nicht von dem Gewicht des Schwingkörpers ab.
- Periode und Frequenz hängen von der Position des Schwingkörpers ab.

## Lerntest

**1. Die Schwingungen eines Pendels werden ausgelöst durch...**

- a) Schwerkraft und Federkraft
- b) Spannung und Widerstandskräfte
- c) Schwerkraft und Spannung.

**2. Um die Schwingungen aufrechtzuerhalten, muss folgender Wert minimal sein:**

- a) Spannung
- b) Schwerkraft
- c) Federspannung

**3. Folgender Wert erreicht auf der Gleichgewichtsposition des Pendels sein Maximum:**

- a) Geschwindigkeit
- b) Amplitude
- c) Masse

**4. Der Grund für die Aufrechterhaltung der Schwingungen ist:**

- a) Spannung
- b) Schwerkraft
- c) Strom

**5. Die maximale Auslenkung von der Gleichgewichtsposition trägt die Bezeichnung...**

- a) Amplitude
- b) Periode
- c) Schwingungsfrequenz

**6. An welchem Punkt ist die potenzielle Energie eines Pendels am höchsten?**

- a) Am Punkt der maximalen Auslenkung
- b) An der Gleichgewichtsposition
- c) Sie ist überall identisch

**7. Die Zeitdauer, die ein Pendel für eine komplette Schwingung benötigt, heißt:**

- a) Periode
- b) Frequenz
- c) Amplitude

**8. Mechanische Wellen sind...**

- a) Schwingungen eines linearen Mediums
- b) Schwingungen eines Pendels
- c) ein sich wiederholender Prozess

**9. Die Schwingungsperiode eines Pendels hängt ab von...**

- a) der Länge des Pendels
- b) dem Gewicht
- c) der Schwingungsfrequenz

**10. Wer führte die ersten Experimente mit einem Pendel durch?**

- a) Galileo Galilei
- b) Christiaan Huygens
- c) Isaac Newton

**Herzlichen Glückwunsch!**

Sie haben es geschafft! Wir freuen uns, dass Sie uns auf diesem Abenteuer begleitet haben und hoffen, Sie hatten Spaß dabei und haben das eine oder andere gelernt!