

# Foucaultsches Pendel

Es waren die Morgenstunden des 3. Januar 1851, als Jean Bernard Léon Foucault als erster Mensch – ohne in den Himmel zu schauen – beobachtete, dass die Erde sich dreht. Der 32-jährige französische Experimentalphysiker beobachtete im Keller seines Pariser Hauses die Schwingungen eines zwei Meter langen Fadenpendels. Viele Monate hatte er experimentiert, um dieses Pendel so aufzuhängen, dass es sich nahezu reibungsfrei bewegen konnte. Und so stellte er fest, dass sich die Schwingungsebene des Pendels (also die Ebene, in der das Pendel schwingt) gegenüber dem Boden des Kellers scheinbar drehte, um 11 Bogengrad pro Stunde. Es war die Geburtsstunde des ersten terrestrischen Experiments, das die Drehung der Erde nachwies ohne „einen Blick an den Himmel“. Da eine äußere auf das Pendel wirkende Kraft auszuschließen war, war es also nicht das Pendel, sondern der Boden des Kellers (also die Erde), der seine Richtung änderte.

Später führte Foucault den Versuch in der Pariser Sternwarte mit einem 12 Meter langen Pendel vor und anschließend (ab 31. März 1851 jeden Donnerstag) im Pariser Panthéon, der französischen Ruhmeshalle mit den Gräbern berühmter Wissenschaftler, Künstler und Staatsmänner, mit einem 67 Meter langen Pendel und einem 29 kg schweren Pendelkörper. Den berühmten italienischen Schriftsteller Umberto Eco inspirierte dieses Pendel zu seinem weltberühmten Roman „Das Foucaultsche Pendel“.

Es ist also klar: Die Schwingungsebene des Foucaultschen Pendels dreht sich nur scheinbar. Tatsächlich hält sie ihre Richtung bei, während man auf der Erdkugel das Pendel umkreist. Dieses Phänomen ist z.B. durch folgendes gedankliches Experiment nachvollziehbar, wenn man sich das Pendel am Nordpol aufgehängt vorstellt. Hier schwingt das Pendel stets in die gleiche Richtung, während ein Beobachter auf der rotierenden Erde sich an einem Tage unter ihm einmal im Kreis bewegt. Die Schwingungsrichtung verändert sich folglich um 15 Grad pro Stunde. In Richtung Äquator verringert sich die stündliche Abweichung (hier in Dresden – etwa auf dem 51. Breitengrad 11,7 Grad pro Stunde). Am Äquator dreht sich die Schwingungsachse des Foucaultschen Pendels überhaupt nicht!

Technische Daten und Details des Foucaultschen Pendels im Erlebnisland Mathematik:

- Geographische Breite:  $51^{\circ} 2' 31,5240''$  ( $51,04209^{\circ}$ )
- Aufgestellt sind 71 Steine, um die Drehung zu veranschaulichen.
- Pendelkörper: Kugellagerkugel 100 Cr6, Durchmesser  $D = 15$  cm, Masse ca. 13,8kg
- Pendelseil: Dyneema  $d = 4$  mm
- Seillänge  $l$ : ca. 18 m

- Schwingungsdauer des Pendels:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{18\text{m}}{9.81\text{m/s}^2}} \approx 8.5\text{s}, \quad (\text{Erdbeschleunigung } g = 9.81\text{m/s}^2)$$

- Lagerung: Nadellager, kardanisch

Aufgebaut wurde das Foucaultsche Pendel im ERLEBNISLAND MATHEMATIK mit freundlicher Unterstützung des Dresdners Max-Planck-Instituts für chemische Physik fester Stoffe in einem alten Fahrstuhlschacht von der 3. Etage der Technischen Sammlungen bis in die 9. Etage im 48 m hohen Ernemannturm.

## Und nun...

### ...die Mathematik dazu:

Nur an den geographischen Polen – durch die die Drehachse der Erde hindurchgeht – dreht sich die Schwingungsebene des Pendels genau um  $360^\circ$  in 24 Stunden. Genau genommen handelt es sich um 23 Stunden 56 Minuten und 4 Sekunden (23,93 h). So lang ist nämlich ein Sterntag der Erde. Die Winkelgeschwindigkeit der Drehung der Pendelebene verringert sich nun bis zum Äquator auf Null. Der mathematische Zusammenhang wird mit dem Sinus des Breitengrades beschrieben:

$$w = w_0 \cdot \sin \phi$$

$w$  : Winkelgeschwindigkeit in  $\frac{\circ}{\text{h}}$

$w_0$  : Winkelgeschwindigkeit am Pol

$$w_0 = \frac{360^\circ}{23,93\text{h}} \approx 15 \frac{\circ}{\text{h}}$$

$\phi$  : Breitengrad

Wie sieht es nun damit an einem Pol aus? Der Breitengrad der Pole beträgt  $90^\circ$ .

$$\begin{aligned} w &= w_0 \cdot \sin 90^\circ \\ &= w_0 \cdot 1 \\ &= w_0 \approx 15 \frac{\circ}{\text{h}} \end{aligned}$$

Der Äquator hat den Breitengrad Null.

$$\begin{aligned} w &= w_0 \cdot \sin 0^\circ \\ &= w_0 \cdot 0 \\ &= 0, \end{aligned}$$

also gibt es keine Drehung der Schwingungsebene am Äquator.

Der Standort des Foucaultschen Pendels im ERLEBNISLAND MATHEMATIK der Technischen Sammlungen Dresden in der Junghansstraße befindet sich an der Position  $51,04209^\circ$  nördlicher Breite. Wie schnell dreht sich hier unser Pendel in einer Stunde?

$$w_{\text{erlebnisland}} = w_0 \cdot \sin 51,04209^\circ \\ \approx 11,7 \frac{\circ}{\text{h}}$$

Die 71 Steine im Vollkreis unseres Experiments mit dem Foucaultschen Pendels sind in einem Abstand von ca.  $5,1^\circ$  zueinander aufgestellt (vgl. Abbildung) und werden durch das schwingende Pendel umgestoßen.

**Wie lange muss man jeweils warten, bis der nächste der Steine durch das Pendel umgestoßen wird?**

In einer Stunde dreht sich das Pendel um  $11,7^\circ$ . Also sollte in 26 Minuten der nächste Stein fallen. – Das stimmt aber nicht, denn die Steine stehen auf Lücke. Stößt das Pendel einen Stein auf der einen Seite um, so fällt der nächste auf der gegenüberliegenden Seite. Also muss sich die Pendelebene nur um ca.  $2,55^\circ$  drehen, um den nächsten Stein zu treffen. Das dauert etwa 13 Minuten.



Das Foucaultsche Pendel „bei seiner Arbeit“ im ERLEBNISLAND MATHEMATIK