

5. Wirkungen der Schwerkraft auf feste Körper.

(Mechanik der festen Körper.)

Wegen der bedeutenden Kohäsion, die den festen Körpern eigen ist, brauchen sie nur in einzelnen Punkten unterstützt zu werden, um nicht zu fallen, da die Ablösung einzelner — nicht unterstützter — Theile entweder gar nicht oder (je nach der Kohäsion) doch nur in geringem Maasse zu befürchten ist. Auf Grund dessen zeigt die Einwirkung der Schwerkraft auf feste Körper gewisse Besonderheiten, die sich im Hebel, in der Erscheinung des Schwerpunktes und im Pendel offenbaren.

Hebel. Als Hebel bezeichnet man einen um einen festen Punkt oder eine feste Achse drehbaren Körper, auf welchen Kräfte einwirken. — Der feste Punkt heisst Unterstützungspunkt oder Drehpunkt, die Punkte, in denen die Kräfte auf den Hebel wirken, Angriffspunkte; die Entfernung eines Angriffspunktes vom Drehpunkt heisst ein Hebelarm.

Die gewöhnliche Form des Hebels ist die einer Stange. — Durchbohrt man eine solche in der Mitte und steckt sie auf einen Stift, so ist sie zunächst im Gleichgewicht, vorausgesetzt, dass sie in allen ihren Theilen gleich schwer ist. Hängt man dann an ihr eines Ende ein Gewicht, so neigt sich die Stange nach der schwereren Seite hin. Um das frühere Gleichgewicht wieder herzustellen, ist es nöthig, auch das andere, in die Höhe gegangene Ende der Stange durch ein Gewicht zu beschweren, und zwar muss dieses Gewicht dem ersteren gleich sein (sofern beide Gewichte genau in gleicher Entfernung vom Drehpunkt sich befinden).

Die Stange mit den beiden Gewichten stellt einen Hebel dar, den man als zweiarmigen, gleicharmigen Hebel bezeichnet.

Ein zweiarmiger Hebel überhaupt ist ein solcher, dessen Kräfte auf verschiedenen Seiten vom Drehpunkt aus angreifen, oder: dessen Drehpunkt sich zwischen den Angriffspunkten der Kräfte befindet.

Gleicharmig heisst ein zweiarmiger Hebel, wenn seine Hebelarme gleich lang sind, ungleicharmig, wenn seine Hebelarme verschieden lang sind.

Aus dem oben Gesagten ergiebt sich das Hebelgesetz:

Ein (zweiarmiger) gleicharmiger Hebel ist im Gleichgewicht, wenn die Kräfte einander gleich sind.

Unterscheidet man die Gewichte von einander als Kraft und Last, so lautet das Gesetz: Ein (zweiarmiger) gleicharmiger Hebel ist im Gleichgewicht, wenn Kraft und Last einander gleich sind.

Will man einen ungleicharmigen (zweiarmigen) Hebel ins Gleichgewicht bringen, so muss an dem kürzeren Hebelarm eine grössere Kraft wirken als an dem längeren Hebelarm, und zwar muss, wie Versuche lehren, das Verhältniss der Kräfte das umgekehrte sein wie das der Hebelarme. (Hebelgesetz des Archimedes.)

Nennt man die Hebelarme a und b (Fig. 18) und die Kräfte p und q , so ist der Hebel im Gleichgewicht, wenn $\frac{p}{q} = \frac{b}{a}$ oder:

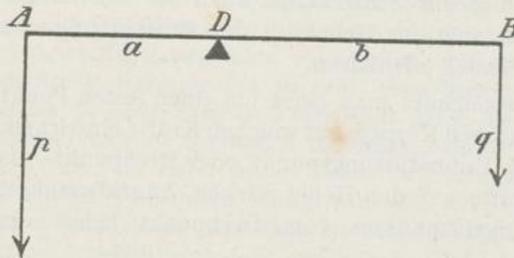


Fig. 18. Zweiarmiger, ungleicharmiger Hebel.

also im Gleichgewicht, wenn die statischen Momente der Kräfte einander gleich sind. Da diese Gleichheit auch beim gleicharmigen Hebel statthat, so gilt das allgemeine Hebelgesetz:

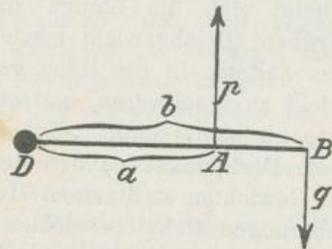


Fig. 19. Einarmiger Hebel.

Last unterscheidet: Ein Hebel ist im Gleichgewicht, wenn das Moment der Kraft gleich dem Moment der Last ist.

Derselbe Satz gilt nun auch für den einarmigen Hebel. Ein einarmiger Hebel ist ein Hebel, dessen Kräfte auf einer Seite vom Drehpunkt aus angreifen. Man nennt auch in diesem Falle die Entfernungen der Angriffspunkte vom Drehpunkte die Hebelarme; beide aber fallen zum Theil in einander (daher der Name „einarmiger“ Hebel).

Ein wichtiger Unterschied besteht zwischen der Wirkungsweise eines zweiarmigen und der eines einarmigen Hebels insofern, als

$pa = qb$. pa und qb sind die Produkte aus jeder der Kräfte und dem zugehörigen Hebelarm. Ein solches Produkt aus einer Kraft und dem zugehörigen Hebelarm heisst das statische Moment

der Kraft. Ein ungleicharmiger Hebel ist also im Gleichgewicht, wenn die statischen Momente der Kräfte einander gleich sind oder, wenn man wiederum Kraft und

Ein Hebel ist im Gleichgewicht, wenn die statischen Momente der Kräfte einander gleich

sind oder, wenn man wiederum Kraft und

Ende an sind fern die Br des Pra des Pra einarmi Der m liegt in Vorders dieser e

Um sich

die Kr
sonder
währen
entgeg
stehe.

An
Anwend
erst erö
Al
man ih
einer je
standes
stange
klinke
Hebel n
nutzt,

reicht,
diese Kr
Hebelar

Ein

es gesch

Ende an

sind fern

die Br

des Pra

des Pra

einarmi

Der m

liegt in

Vorders

dieser e

R

welche

Um sich

die Kräfte des zweiarmigen Hebels nicht nur parallel gerichtet sind, sondern auch in dem gleichen Sinne wirken, z. B. beide abwärts, während die Kräfte des einarmigen Hebels zwar parallel, aber in entgegengesetztem Sinne wirken müssen, damit Gleichgewicht bestehe. (Siehe Fig. 19.)

Anwendung der Hebelgesetze. Die Hebelgesetze finden mannichfache Anwendung. Die wichtigste Anwendung, welche die Wagen darstellen, kann erst erörtert werden, wenn vom Schwerpunkt die Rede gewesen sein wird.

Als zweiarmiger, ungleicharmiger Hebel wirkt der Hebebaum, wenn man ihn mit dem einen Ende unter die emporzuhebende Last schiebt, mit einer jenem Ende nahe befindlichen Stelle auf die Kante eines festen Gegenstandes legt und das andere Ende niederdrückt. Ebenso wirkt die Brechstange (Brecheisen); der Brunnenschwengel; der Spaten; die Thürklinke. Scheren und Zangen sind doppelte zweiarmige, ungleicharmige Hebel mit gemeinschaftlichem Drehpunkt. Alle diese Werkzeuge werden so benutzt, dass die Kraft an dem längeren Hebelarm wirkt; dadurch wird es er-

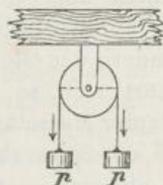


Fig. 20. Feste Rolle.

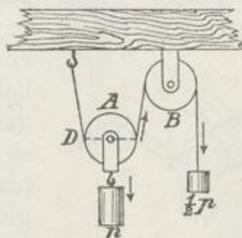


Fig. 21. Bewegliche Rolle (A) in Verbindung mit einer festen (B).

reicht, dass sie kleiner ist als die Last; man spart also an Kraft. Doch ist diese Kraftersparnis mit einem grösseren Zeitaufwand verbunden, da ein längerer Hebelarm an seinem Endpunkte grössere Wege zurückzulegen hat als ein kürzerer.

Ein Hebebaum kann auch als einarmiger Hebel Verwendung finden; es geschieht das, wenn man ihn etwa unter einen Wagen schiebt, sein eines Ende auf der Erde ruhen lässt und das andere emporhebt. Als einarmige Hebel sind ferner anzusehen: die Schubkarre, die Stroh- und Tabaksschneiden, die Brotmaschine, die Wurzelschneidemaschine (vergl. Fig. 47 a. S. 125 des Praktischen Theils), die Differentialhebelpresse (vergl. Fig. 106 a. S. 176 des Praktischen Theils), das Sicherheitsventil an Dampfmaschinen; doppelte einarmige Hebel stellen der Nussknacker und die Citronenpresse dar. Der menschliche Arm ist ebenfalls ein einarmiger Hebel; der Drehpunkt liegt im Ellbogengelenk, die Kraft liefert der zweiköpfige Armmuskel an der Vorderseite des Oberarms, die Last ist der Unterarm mit der Hand und den von dieser etwa getragenen Gegenständen.

Rolle. Als Hebel ist ferner die Rolle anzusehen, eine kreisrunde Scheibe, welche an ihrem Umfange eine zur Aufnahme einer Schnur bestimmte Rinne besitzt. Um sich die Hebelwirkung klar zu machen, denke man sich einen wagerechten

Durchmesser gezogen. Alsdann erkennt man, dass die feste Rolle (Fig. 20) ein gleicharmiger Hebel ist, dessen Drehpunkt der Mittelpunkt der Rolle ist. Sie befindet sich also im Gleichgewicht, wenn Kraft und Last einander gleich sind. Die bewegliche Rolle (Fig. 21, A) ist ein einarmiger Hebel, dessen Drehpunkt (*D*) im Umfang der Rolle liegt. Sie ist im Gleichgewicht, wenn die Kraft halb so gross ist wie die Last. Eine Verbindung mehrerer fester und beweglicher Rollen ist der Flaschenzug.

Wellrad. Das Wellrad (oder Rad an der Welle), welches aus einer Walze und einem an derselben concentrisch befestigten Rade besteht, wirkt als zweiarmiger, ungleicharmiger Hebel. Ein Wellrad, welches auf eine einzelne, mit Handgriff versehene Speiche beschränkt ist, heisst eine Kurbel. Sie findet sich z. B. an der Winde (Fig. 22, A; B ist die Welle), der Drehrolle, der Kaffeemühle u. s. w.

Als Wellrad wirken auch die Zahnräder, Scheiben, welche an ihrem Umfange Vorsprünge — die Zähne — tragen, mit denen sie in die Lücken zwischen den Zähnen anderer Zahnräder oder einer Zahnstange eingreifen.

Schwerpunkt. Wenn man einen Stab quer über einen Finger legt, so kann man ihn in einem Punkte so unterstützen, dass die eine Seite der andern das Gleichgewicht hält. Dies erklärt sich so, dass der ganze Stab aus lauter Massetheilchen besteht, auf welche die Schwerkraft wirkt (und zwar auf alle in — nahezu — gleicher Richtung — vergl. S. 28) und welche zu dem Unterstützungspunkte so liegen, dass die Summe der statischen Momente aller Massetheilchen auf

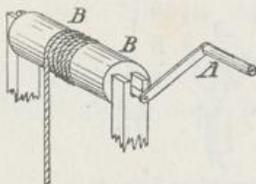


Fig. 22. Winde.

der einen Seite gleich der auf der andern Seite vom Unterstützungspunkte aus ist.

Wird eine Visitenkarte im Mittelpunkte, d. h. im Schnittpunkte der Diagonalen, durchbohrt und mit der Oeffnung auf eine Nadel gesteckt, so befindet sie sich in allen Lagen, die man ihr giebt, (nahezu) im Gleichgewicht. Der Grund hiervon ist der, dass, wie man die Karte auch stellen mag, ein durch den Unterstützungspunkt gehender senkrechter Schnitt sie stets in zwei gleiche Theile zerlegen würde, derart, dass wie im vorigen Beispiel die Summe der statischen Momente aller Massetheilchen links von diesem Schnitt gleich derjenigen rechts oder kürzer: dass das statische Moment der linken Hälfte der Karte gleich dem der rechten Hälfte sein würde.

Während sich in den beiden vorstehenden Beispielen nur die Massetheilchen links und rechts vom Unterstützungspunkt bzw. von einer durch denselben gehenden senkrechten Ebene das Gleich-

gewie
der
ihn
heisst
ihm
mehr
verhä
fragli
gleich
Inne
punk
zwise
oder

Körpe
Theile
allen
einer
lenden
liegen
fällt
schen
men. D
imme
Körpe
Fig. 2
besteh
einem
Kugel
Kegel

in sei
die S
abhän
Gesetz
vom g
schwe

Punk
welch
Uebe
Stelle

gewicht halten, besitzt jeder Körper auch einen Punkt von einer derartigen Beschaffenheit, dass alle Massetheilchen rings um ihn herum einander das Gleichgewicht halten. Ein solcher Punkt heisst der Schwerpunkt des Körpers, weil, wenn der Körper in ihm unterstützt wird, die Schwerkraft keine Bewegungswirkung mehr auf den Körper auszuüben vermag, sondern dieser sich so verhält, als wäre seine ganze Schwere (bezw. seine Masse) in dem fraglichen Punkte vereinigt.

Der Schwerpunkt eines geraden und seiner ganzen Länge nach gleich starken und gleich schweren Stabes liegt in der Mitte im Innern des Stabes; der Schwerpunkt einer Visitenkarte im Schnittpunkte der Diagonalen, aber ebenfalls in der Mitte zwischen beiden Kartenseiten (die Karte hat eine gewisse Dicke oder Stärke!).

Der Schwerpunkt eines Körpers, der in allen seinen Theilen (oder wenigstens in allen den Theilen, die zu einer ihn symmetrisch theilenden Ebene symmetrisch liegen) gleich schwer ist, fällt mit seinem geometrischen Mittelpunkt zusammen. Derselbe braucht nicht immer im Innern des Körpers zu liegen. Das in Fig. 23 dargestellte System, bestehend aus einem Kegel, einem durch denselben gehenden Bügel und zwei an dessen Enden befestigten Kugeln, hat seinen Schwerpunkt auf der punktierten Linie unterhalb der Kegelspitze, also in der freien Luft.

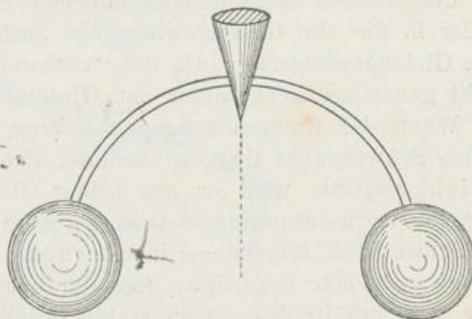


Fig. 23. Schwebender Kegel.

Der Schwerpunkt eines Körpers, der aus mehrerlei Stoff besteht und daher in seinen verschiedenen Theilen verschiedene Schwere besitzt (oder kürzer, da die Schwere von der mehr oder weniger dichten Anhäufung der Massetheilchen abhängt: der Schwerpunkt eines Körpers von ungleicher Dichtigkeit liegt (dem Gesetz vom Gleichgewicht des ungleicharmigen zweiarmigen Hebels entsprechend) vom geometrischen Mittelpunkte aus nach der Seite hin, wo der Körper am schwersten ist.

Arten des Gleichgewichts. Wird ein Körper in einem andern Punkte als seinem Schwerpunkt unterstützt, so hat die Seite, auf welcher der Schwerpunkt (vom Unterstützungspunkte aus) liegt, das Uebergewicht, und der Körper fällt, bis der Schwerpunkt die tiefste Stelle, die er einnehmen kann, erlangt hat.

Man kann von jedem Körper, insofern er ein Ganzes darstellt, annehmen, dass die Schwerkraft ihn nur in seinem Schwerpunkte angreift.

Je nach der Art der Unterstützung eines Körpers in einem Punkte unterscheidet man drei Arten des Gleichgewichts des Körpers.

Wird ein Körper in seinem Schwerpunkt unterstützt, so befindet er sich im indifferenten Gleichgewicht; er verharrt unverändert in allen Lagen, die man ihm giebt; jede Lage ist eine Gleichgewichtslage.

Wenn der Unterstützungspunkt eines Körpers senkrecht über seinem Schwerpunkt liegt, so befindet sich der Körper im stabilen Gleichgewicht; wird er aus seiner Gleichgewichtslage herausgebracht, so fällt er — der Schwerkraft folgend, die ihn in seinem aus der tiefsten Lage emporgehobenen Schwerpunkt angreift — wieder in die alte Gleichgewichtslage zurück; der Körper hat nur eine Gleichgewichtslage (die dann vorhanden ist, wenn der Schwerpunkt genau senkrecht unter dem Unterstützungspunkt liegt).

Wenn der Unterstützungspunkt eines Körpers senkrecht unter seinem Schwerpunkt liegt, so befindet sich der Körper im labilen Gleichgewicht; wird er aus seiner Gleichgewichtslage herausgebracht (wozu der geringste Anstoss genügt), so geht er — wiederum der Schwerkraft folgend — in eine neue Gleichgewichtslage über, und zwar in eine derartige, dass der Schwerpunkt die tiefst mögliche Lage erhält; dies ist die stabile Gleichgewichtslage; im labilen Gleichgewicht giebt es nach dem Gesagten auch nur eine Gleichgewichtslage (die dann vorhanden ist, wenn der Schwerpunkt genau senkrecht über dem Unterstützungspunkt liegt).

Wird ein Körper statt in einem Punkte durch eine Fläche unterstützt, so kann von den drei eben besprochenen Gleichgewichtsarten nicht die Rede sein; vielmehr steht in diesem Falle der Körper nur mehr oder weniger stabil (und dem entsprechend weniger oder mehr labil).

Jeder durch eine Fläche unterstützte Körper bleibt überhaupt so lange stehen, als sein Schwerpunkt senkrecht über seiner Unterstützungsfläche liegt; er fällt in dem Augenblicke, wo ein durch den Schwerpunkt gezogen gedachtes Loth, in dessen Richtung ja die Schwerkraft auf den Körper wirkt, nicht mehr durch die Unterstützungsfläche, sondern seitlich an ihr vorbei geht und somit der Schwerpunkt nicht mehr unterstützt ist.

Je grösser daher die Unterstützungsfläche eines Körpers ist und je näher sein Schwerpunkt der Mitte der Unterstützungsfläche

liegt
(d. h.

V
in der
gleich

E
Wage
Zung
Bügel
Zapfen

I
gleich
mit d
getrag
insbes

I
Handh
Wages
gewich
bar da
erkenn
rechtw

liegt (insbesondere: je tiefer er liegt), desto stabiler ist der Körper (d. h. desto fester und sicherer steht er).

Wagen. Ihre wichtigste Anwendung finden die Hebelgesetze in den Wagen (vergl. S. 43). Wir betrachten die gewöhnliche oder gleicharmige Wage, die Schnellwage und die Brückenwage.

Gewöhnliche Wage. Die gewöhnliche oder gleicharmige Wage (Fig. 24a) besteht aus dem Wagebalken (BB) mit der Zunge (Z), der Schneide (s) nebst den Pfannen (p) und den Bügeln (bei B) mit den Wageschalen (WW). Die Schneide (auch Zapfen genannt) und die Pfannen sind aus polirtem Stahl hergestellt.

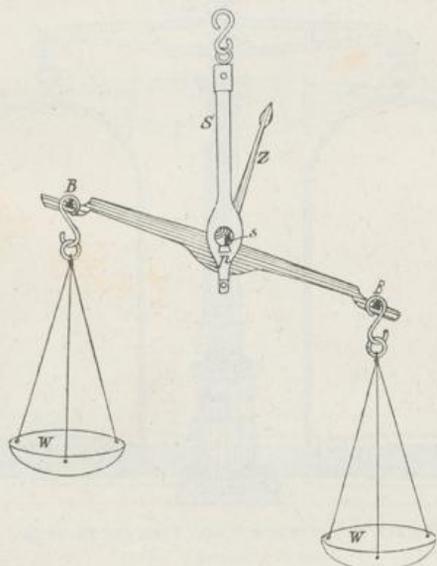


Fig. 24a. Gewöhnliche Wage; Form der Handwage.

Die Pfannen sind bei der in Fig. 24a abgebildeten Form der gleicharmigen Wage Theile der Schere (S), welche entweder mit der Hand gehalten oder von einem besonderen Gestell (Stativ) getragen wird. (Fig. 24b. Tarirwage.) Die Einrichtung der feineren, insbesondere der chemischen Wagen zeigt Fig. 25.

Die Wagen dienen zur Feststellung des Gewichtes eines Körpers. Ihre Handhabung geschieht in der Weise, dass der zu wägende Körper auf die eine Wageschale gelegt wird, die Gewichte auf die andere und dass nun Gleichgewicht hergestellt wird. Dann geben die Gewichte (Maassgewichte) unmittelbar das Gewicht (die Grösse der Schwere) des Körpers an. Das Gleichgewicht erkennt man daran, dass sich der Wagebalken wagerecht oder horizontal, die rechtwinklig an ihm befestigte Zunge senkrecht oder vertikal stellt.

Eine gute Wage muss richtig und empfindlich sein. Richtig ist sie, wenn: 1. beide Hebelarme des Wagebalkens gleiches Gewicht haben, 2. beide Arme gleich lang sind, 3. der Unterstützungspunkt (bei s in Fig. 24 a) und die beiden Aufhängepunkte (Fig. 24 a, BB) in gerader Linie liegen, 4. der Wagebalken die erforderliche Festigkeit besitzt, so dass keine Verbiegung stattfindet. Empfindlich ist die Wage, wenn: 1. der Schwerpunkt des Wagebalkens unter dem Unterstützungspunkte, aber in möglichster Nähe desselben liegt, 2. die Hebelarme möglichst lang sind, 3. ihr Gewicht ein geringes ist, 4. die Reibung zwischen Schneide und Pfannen sowie an der Aufhängevorrichtung der Bügel eine möglichst unbedeutende ist.

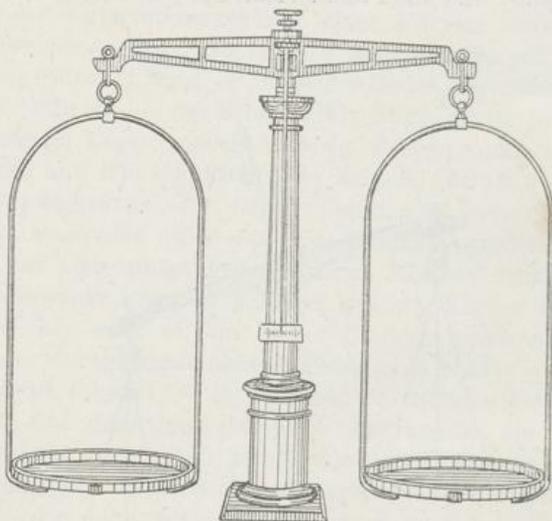


Fig. 24b. Gewöhnliche Wage; Form der Tarirwage.

Die für die Richtigkeit der Wage aufgestellten Bedingungen erklären sich insofern, als bei ihrer Vernachlässigung die Wage (bezw. der Wagebalken) keinen gleicharmigen Hebel vorstellt; was den 4. Punkt — die Festigkeit des Wagebalkens — anbetrifft, so ist zu bemerken, dass durch Verbiegung eines Hebelarmes eine Verkürzung desselben eintreten würde. Zu ermitteln sind die genannten Bedingungen auf folgende Weise: Das gleiche Gewicht der Hebelarme durch Abnahme der Wageschalen; ihre gleiche Länge, indem man sie beide gleich belastet, dann die Belastung vertauscht und zusieht, ob wieder Gleichgewicht herrscht; die gleich hohe Lage des Unterstützungs- und der Aufhängepunkte durch einen ausgespannten Faden.

Die Gründe für die Bedingungen, von denen die Empfindlichkeit der Wage abhängt, sind diese: 1. Das Gleichgewicht des Wagebalkens muss ein stabiles sein; läge der Schwerpunkt im Unterstützungspunkt, so würde sich der Wagebalken in allen Lagen im Gleichgewicht befinden, die man ihm giebt

(indiffe
Schwer
herrs
Seite u
arme
desto g
balken
4. Je u
balken
U
machen
liche G

auch A
des Sch
stützun
lichkeit
Vorrich
brauch
nicht b
D
kleinste
deutlich
seitige)
 $\frac{a}{2b}$ dar
Maxima
Schu

(indifferentes Gleichgewicht) — was natürlich nicht der Fall sein darf; läge der Schwerpunkt gar über dem Unterstützungspunkt, so würde labiles Gleichgewicht herrschen, der Wagebalken würde bei der kleinsten Mehrbelastung auf einer Seite umschlagen, die Wage wäre überempfindlich. 2. Je länger die Hebelarme sind, desto stärker wirkt ein Uebergewicht auf einer Seite der Wage, desto grösser ist also der Ausschlag, den es hervorruft. 3. Je leichter der Wagebalken ist, eine desto geringere Kraft genügt, ihn in Bewegung zu versetzen. 4. Je unbedeutender die Reibung ist, desto leichter kann ebenfalls der Wagebalken in Bewegung versetzt werden.

Um den Wagebalken gleichzeitig möglichst lang, leicht und fest zu machen, giebt man ihm (bei den feineren Wagen, Fig. 25) eine rhombenähnliche Gestalt und stellt ihn durchbrochen her. Herstellungsmaterial: Messing,

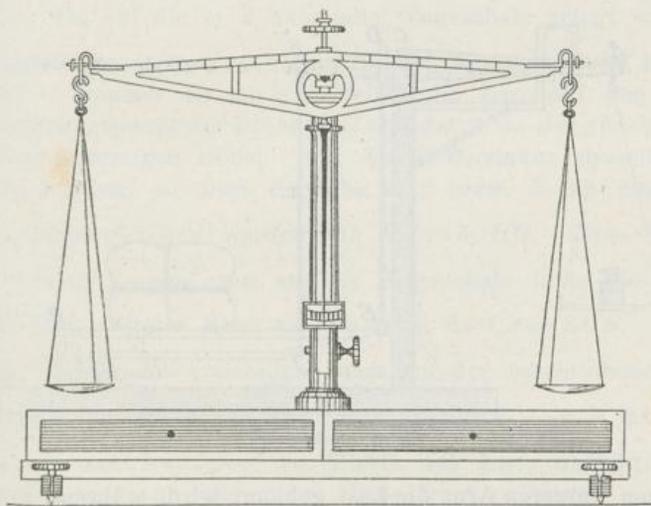


Fig. 25. Chemische Wage.

auch Aluminium. Eine verstellbare Schraube senkrecht ober- oder unterhalb des Schwerpunktes des Wagebalkens ermöglicht es, den Schwerpunkt dem Unterstützungspunkte zu nähern oder von ihm zu entfernen und dadurch die Empfindlichkeit der Wage zu reguliren. Die sogenannte „Arretirung“ ist eine Vorrichtung, durch welche der Wagebalken mit den Schalen beim Nichtgebrauch emporgehoben werden kann, so dass die Schneide und die Pfannen sich nicht berühren.

Den Grad der Empfindlichkeit einer Wage bestimmt man nach dem kleinsten Gewicht, welches bei grösster Belastung der Wage noch einen deutlichen Ausschlag bewirkt. Ist dies Gewicht = a , die grösste (einseitige) Belastung = b , so stellt den Grad der Empfindlichkeit der Bruch $\frac{a}{2b}$ dar; derselbe giebt an, den wievielten Theil das Minimalgewicht von der Maximalbelastung ausmacht.

Um Wägungen bis auf Milligramme genau vornehmen zu können, verwendet man, da sich kleinere Gewichte als 1 Centigramm nicht genau herstellen lassen, folgenden Kunstgriff. Man theilt die Arme des Wagebalkens in je 10 gleiche Theile ein (Fig. 25) und verwendet 1 Centigramm in Form eines gebogenen Drahtes (Reiter) so, dass man es auf den Wagebalken in beliebigen Abständen vom Unterstützungspunkte aufsetzt. Während es dann am Ende des Wagebalkens als 1 Centigramm wirkt, wirkt es in $\frac{1}{10}$ der Entfernung vom Unterstützungspunkte als $\frac{1}{10}$ cg = 1 mg, in $\frac{2}{10}$ der Entfernung als $\frac{2}{10}$ cg = 2 mg u. s. w.

Schnellwage. Zum raschen Wägen, namentlich grösserer Lasten, bei dem es nicht auf grosse Genauigkeit ankommt, bedient man sich der Schnellwage, welche einen ungleicharmigen Hebel darstellt,

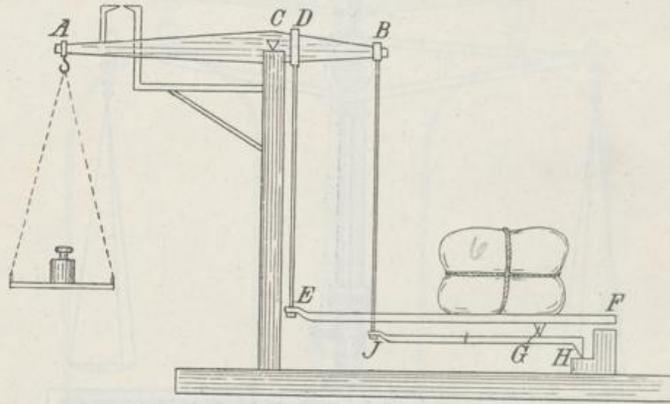


Fig. 26. Decimalwage.

an dessen kürzeren Arm die Last gehängt wird, während auf dem, mit einer Eintheilung versehenen, längeren Arm das sogenannte Laufgewicht in solche Entfernung vom Unterstützungspunkt gebracht werden kann, dass Gleichgewicht herrscht. Tritt dieses z. B. ein, wenn das — sagen wir: 500 g schwere — Laufgewicht sich dreimal so weit vom Unterstützungspunkte befindet als die Last, so wiegt die letztere $3 \cdot 500 = 1500$ g.

Brückenwage. Um sehr umfangreiche und schwere Lasten zu wägen, bedient man sich der Brückenwagen, die theils Decimalwagen, theils Centesimalwagen sind. Nur die ersteren, welche die häufiger vorkommenden sind, wollen wir betrachten.

In Fig. 26 ist AB der Wagebalken, der einen ungleicharmigen zweiarmigen Hebel darstellt, C der Unterstützungspunkt und EF die Brücke, auf welche die Last gebracht wird. Diese Brücke ist in zwei Punkten unterstützt: in E durch eine Stange, welche von

dem kürzeren Arm des Wagebalkens CB in D getragen wird, und in G durch den unter der Brücke befindlichen einarmigen Hebel JH , dessen Drehpunkt H ist, während sein Endpunkt J durch die feste Verbindung BJ von dem kürzeren Arm des Wagebalkens emporgehalten wird.

Die Wage ist derartig gebaut, dass $CB = \frac{1}{2} CA$; $CD = \frac{1}{10} CA = \frac{1}{5} CB$; $HG = \frac{1}{5} HJ$.

Die Last wirkt nun mit einem Theil ihres Gewichtes — nennen wir ihn p — niederziehend auf den einen Unterstützungspunkt der Brücke: E und damit auf D . Diesem Zuge wird durch ein Gewicht $= \frac{1}{10} p$, das auf die in A hängende Wageschale gelegt wird, das Gleichgewicht gehalten, da $CA = 10 CD$. Mit dem Reste ihres Gewichtes — nennen wir ihn q — wirkt die Last auf den andern Unterstützungspunkt der Brücke: G und damit an der gleichen Stelle auf den einarmigen Hebel. Soll ein Niedersinken desselben verhindert werden, so muss derselbe in J bzw. B mit einer Kraft $= \frac{1}{5} q$ emporgehalten werden, da $HJ = 5 \cdot HG$. Diese Wirkung wird erreicht, wenn man auf die Wageschale links ein Gewicht $=$ der Hälfte dieser Kraft $= \frac{1}{10} q$ setzt, da $CA = 2 CB$.

Es ist hiernach ersichtlich, dass auf der beschriebenen Wage eine Last $p + q$ mit einem Gewicht $= \frac{1}{10} (p + q)$ — d. h. mit einem Gewicht, das nur den 10. Theil der Last beträgt — gewogen werden kann; daher der Name Decimalwage.

Die Einrichtung der Centesimalwagen ist eine derartige, dass die Gewichte nur den 100. Theil der zu wiegenden Lasten betragen.

Pendel. Wenn man die Bleikugel eines Lothes, wie wir es auf S. 28 beschrieben haben, aus ihrer Lage senkrecht unter dem Aufhängepunkte des Lothes heraushebt und dann loslässt, so fällt sie — der Schwerkraft folgend — zunächst wieder in ihre frühere — tiefste — Lage zurück (vgl. stabiles Gleichgewicht!), geht aber — auf Grund des Beharrungsgesetzes — über diese Lage hinaus und erhebt sich nach der entgegengesetzten Seite hin bis zu einem Punkte, der in gleicher Höhe über der Horizontal-Ebene liegt wie derjenige, in welchem man zuvor die emporgehobene Kugel losgelassen hatte. Hierauf führt die Bleikugel die entgegengesetzte Bewegung aus und so fort, bis sie durch den Luftwiderstand und

die Reibung des Fadens am Aufhängepunkte nach kürzerer oder längerer Zeit in ihrer tiefsten Lage zur Ruhe gelangt.

Wie die Kugel, führt aber auch das ganze Loth hin- und hergehende Bewegungen aus, und zwar um seine ursprüngliche senkrechte Stellung als mittlere Gleichgewichtslage; derartige hin- und hergehende Bewegungen eines Körpers um eine mittlere Gleichgewichtslage nennt man Schwingungen, den schwingenden Körper ein Pendel. Das in der geschilderten Weise schwingende Loth ist die einfachste Art eines Pendels: ein sog. Fadenpendel.

Ist der schwere Körper (hier die Bleikugel) an einer starren Stange befestigt, so haben wir es mit einem Stangenpendel zu thun, wie es die Pendeluhrn besitzen. Der schwere Körper der Stangenpendel hat meist linsenförmige Gestalt, weil er dadurch besser in den Stand gesetzt ist, die Luft zu durchschneiden; er heisst Pendellinse.

Fadenpendel und Stangenpendel werden als physische oder zusammengesetzte Pendel bezeichnet. Unter einem mathematischen oder einfachen Pendel (das es nur in Gedanken giebt) versteht man ein Pendel, bei dem die Masse des schweren Körpers in einem Punkte vereinigt ist, der an einem unausdehnbaren und gewichtslosen Faden hängt.

Folgende Begriffe, die sich auf das Pendel und die Pendelbewegung beziehen, sind noch besonders zu merken.

Als Pendellänge bezeichnet man die Entfernung des Aufhängepunktes — oder Schwingungsmittelpunktes — vom Schwerpunkte des schweren Körpers.

Eine Schwingung ist die Bewegung dieses Schwerpunktes (bezw. des schweren Körpers oder des ganzen Pendels) von einer äussersten Lage bis zur entgegengesetzten; eine Doppelschwingung ist die Bewegung des Schwerpunktes von einer äussersten Lage bis zur entgegengesetzten und wieder zurück.

Der Weg — ein Kreisbogen —, den der Schwerpunkt des schwingenden Körpers bei einer Schwingung zurücklegt, heisst Schwingungsbogen, seine Grösse wird als Schwingungsweite (oder Amplitude der Oscillation) bezeichnet.

Die Zeit, in welcher der Schwerpunkt (bezw. der schwere Körper oder das Pendel) eine Schwingung zurücklegt, heisst Schwingungsdauer.

Die Anzahl der Schwingungen in einer Zeiteinheit (gewöhnlich 1 Minute, aber bei schnellen Schwingungen auch 1 Sekunde) wird Schwingungszahl genannt.

Pendelgesetze. Je grösser die Schwingungsdauer eines Pendels — oder allgemeiner: eines schwingenden Körpers überhaupt —, desto kleiner die Schwingungszahl. Schwingungsdauer und Schwingungszahl stehen im umgekehrten Verhältniss zu einander; ihr Produkt ist (unter der Voraussetzung derselben Zeiteinheit für beide) = 1.

Ein Pendel, dessen Schwingungsdauer 1 Sekunde ist, heisst ein **Sekundenpendel**; seine Länge ist (in Europa, in Höhe des Meeresspiegels) ungefähr 1 Meter.

Wird ein Pendel in mässige Bewegung versetzt, so ist, während die Schwingungsweite allmählich abnimmt, die Schwingungsdauer fortwährend dieselbe (und damit auch die Schwingungszahl). (Gesetz vom Isochronismus der Schwingungen.)

Die Schwingungsdauer des Pendels ist ferner von der Masse und Stoffart (oder Substanz) des schweren Körpers unabhängig. — Diese Thatsache entspricht dem Gesetz, dass alle Körper (im leeren Raume) gleich schnell fallen.

Wohl aber ändert sich die Schwingungsdauer (und damit die Schwingungszahl) mit der Pendellänge; und zwar verhalten sich die Schwingungsdauern ungleich langer Pendel wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen.

Da die Pendelbewegung in erster Linie durch die Schwerkraft hervorgerufen wird, so nimmt die Schwingungsdauer zu (die Schwingungszahl ab), wenn die Grösse der Schwerkraft abnimmt: z. B. auf hohen Bergen und mit wachsender Annäherung an den Aequator. (Abplattung der Erde an den Polen. — Vergl. S. 33.) —

Die Pendelgesetze wurden um 1600 von Galilei aufgefunden. —

6. Wirkungen der Schwerkraft auf flüssige Körper.

(Mechanik der flüssigen Körper.)

Flüssigkeitsoberfläche. Die Oberfläche einer in einem Gefässe befindlichen Flüssigkeit ist zufolge der Wirkung der Schwerkraft eine wagerechte Ebene. Würde nämlich die Flüssigkeit an einer Stelle der Oberfläche schräg begrenzt sein, so würden hier die höher gelegenen Theilchen wie auf einer schiefen Ebene sich abwärts bewegen (was wegen der geringen Kohäsion auf keinerlei Weise verhindert würde), bis alle Theilchen der Flüssigkeit gleich weit vom Erdmittelpunkte entfernt lägen.

Nach dem Letztgesagten ist — streng genommen — die Oberfläche einer Flüssigkeit keine Ebene, sondern ein Stück einer Kugelfläche; aber für die beschränkten Verhältnisse, wie sie sich in Gefässen darbieten, stimmt für jeden Grad menschlicher Genauigkeit ein solches Stück einer Kugelfläche (welches Kugelkappe oder -Calotte heisst) mit einer Ebene überein.

Libelle — eine Wasserwaage, mit Hilfe deren sich eine Fläche, auf die das Instrument gesetzt ist, wagerecht einstellen lässt. Sie ist ein mit Wasser gefülltes Rohr, bezw. eine ebensolche Dose, die eine Luftblase enthält. Befindet diese sich in der Mitte, so steht das Instrument horizontal.

Ausbreitung des Drucks in einer Flüssigkeit. Man durchlöchere einen Gummiball an verschiedenen Stellen seiner Oberfläche mit einer Nadel und fülle