

# **Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

## **Theoretische Maschinenlehre**

in 4 Bänden

Theorie der Getriebe und der mechanischen Messinstrumente

**Grashof, Franz**

**Leipzig, 1883**

Einleitung

[urn:nbn:de:bsz:31-282938](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-282938)

## ZWEITER ABSCHNITT.

## Theorie der mechanischen Messinstrumente.

## §. 129. Einleitung.

Die Fortschritte exacter Wissenschaften beruhen grossentheils auf planmässig messender Beobachtung. Indem deshalb dieser Abschnitt von der principiellen Einrichtung, Gebrauchs- und Wirkungsweise der Instrumente handelt, die zur Messung der verschiedenen Grössen dienen, mit welchen sich die Mechanik und somit auch die Maschinenlehre als angewandte Mechanik beschäftigt, ist es nöthig, zunächst diese Grössen und die ihrer Messung zu Grunde liegenden Einheiten näher zu bezeichnen. Sie sind theils solche, die der Mechanik mit der Geometrie gemeinsam, theils solche, die ihr eigenthümlich sind.

Geometrische Grössen sind: Längen, Winkel, Flächen und Räume (Volumina). Während die Einheit der Winkel ein Verhältniss zweier Längen, nämlich das Verhältniss eines Kreisbogens zum Radius des Kreises ist, wobei es nur darauf ankommt, dass beide mit derselben übrigens willkürlichen Längeneinheit gemessen werden, sind die Flächen- und Raumeinheiten von der Längeneinheit als somit einziger fundamentaler geometrischen Einheit abgeleitet. Letztere ist in allen Culturstaaten gesetzlich festgestellt als die Länge eines gewissen unter Staatscontrole hergestellten und aufbewahrten materiellen Stabes bei einer gewissen Temperatur, insbesondere z. B. das Meter als die Länge eines im französischen Staatsarchiv aufbewahrten Platinstabes bei der Temperatur des schmelzenden Eises, mit welchem der als Längen-Urmaass für das deutsche Reich gesetzlich geltende Platinstab durch eine gemischte Commission verglichen und bei der Temperatur des schmelzenden Eises  $= 1,000003$  jenes Mètre des Archives gefunden worden ist.

Ausser Instrumenten zur Messung des von einem bewegten Körper zurückgelegten Weges fallen mechanische Vorrichtungen zur Längen- und Winkelmessung theils in das Gebiet der praktischen Geometrie, theils pflegen sie, wie z. B. Vorrichtungen zur Längenmessung von Gespinnsten und Geweben, so speciellen technischen Zwecken zu dienen, dass ihre Besprechung angemessener Weise der Technologie zu überlassen ist. Ebenso wenig kann es sich hier um die von der Geometrie gelehrteten rechnerischen Methoden zur Ausmessung von Flächen und Räumen handeln. Von vielseitigem Interesse für die messende Beobachtung auch im Gebiete des Maschinenwesens sind aber sogenannte Planimeter, nämlich Instrumente zur Inhaltsbestimmung ebener Flächen, wie sie namentlich von den Zeichenstiften gewisser anderer mechanischer Messinstrumente als graphische unmittelbare Beobachtungsergebnisse geliefert werden behufs ihrer namentlich auf Inhaltsbestimmung beruhenden Verwerthung zu weiteren Folgerungen. Instrumente zur Messung von Räumen endlich sind von Wichtigkeit behufs der Volumenbestimmung von Flüssigkeiten, die nicht in Gefässen von geometrisch einfacher Form enthalten sind, insbesondere derjenigen zweierlei besonderen Flüssigkeiten, des Wassers und des Leuchtgases, die zu häuslichen, gewerblichen und öffentlichen Zwecken in grossen Quantitäten vom Gewinnungsorte aus durch Röhren an verschiedene Verbrauchsstellen geleitet zu werden pflegen, sofern es sich darum handelt, die an diesen Stellen in gewissen Zeiten verbrauchten Quantitäten zu registriren. Von Instrumenten zur Messung geometrischer Grössen sollen hiernach nur Wegmesser, Planimeter, Wasser- und Gasmesser im Folgenden besprochen werden. —

Die der Mechanik eigenthümlichen Grössen sind: Zeiten, Massen und solche, die davon durch Combination mit geometrischen Grössen abgeleitet sind.

Die Zeiteinheit wird von den scheinbaren Bewegungen der Himmelskörper abgeleitet, und zwar ist die in der Mechanik ebenso wie im bürgerlichen Leben angenommene Zeiteinheit der mittlere Sonnentag, d. h. die mittlere Zeitdauer zwischen zwei auf einander folgenden Durchgängen des Sonnenmittelpunktes durch den Meridian eines Beobachtungsortes auf der Erde; er wird in 24 Stunden oder  $24 \cdot 60 = 1440$  Minuten oder  $24 \cdot 60 \cdot 60 = 86400$  Secunden eingetheilt. Instrumente zur Zeitmessung heissen Uhren. —

Die Vergleichung einer Länge mit der Zeit, während welcher sie als Weglänge von einem beweglichen Punkte durchlaufen wird, führt zu den Begriffen der Geschwindigkeit und der Beschleunigung als abge-

leiteter Grössen. Die Geschwindigkeit eines Punktes in einem gewissen Augenblicke ist  $= \frac{ds}{dt}$ , wenn im nächstfolgenden unendlich kleinen Zeitelement  $dt$  das Wegelement  $ds$  von ihm durchlaufen wird. Ist  $dx$  die Projection von  $ds$  auf eine gewisse Richtung  $OX$ , also das nach dieser Richtung vom Punkte während  $dt$  durchlaufene Wegelement, so heisst  $v = \frac{dx}{dt}$  die augenblickliche Geschwindigkeit des Punktes nach der Richtung  $OX$ . Seine Beschleunigung nach dieser Richtung ist  $= \frac{dv}{dt}$ , wenn  $dv$  die Aenderung von  $v$  im Zeitelemente  $dt$  bedeutet. — Ebenso wie die Vergleichung der Bahnlänge eines Punktes mit der entsprechenden Zeit zum Begriffe der Geschwindigkeit (Längen- oder Bahngeschwindigkeit) führt, ergeben sich durch Vergleichung der Fläche, die von einer beweglichen Linie, oder des Raumes, der von einer beweglichen Fläche in einer gewissen Zeit durchlaufen wird, mit letzterer die Begriffe der Flächengeschwindigkeit und Raumgeschwindigkeit. Wichtiger ist indessen der Begriff der Winkelgeschwindigkeit und der daraus abgeleitete der Winkelbeschleunigung. Für eine gewisse Axe ist erstere:  $\omega = \frac{d\psi}{dt}$ , wenn  $d\psi$  der Drehungswinkel um diese Axe im Zeitelemente  $dt$  ist; ändert sich während desselben  $\omega$  um  $d\omega$ , so ist  $\frac{d\omega}{dt}$  die betreffende Winkelbeschleunigung.

Die Einheiten zur Messung von Geschwindigkeiten und Beschleunigungen aller Art ergeben sich ihren Definitionen gemäss aus der Längen- und Zeiteinheit. Instrumente sind nur gebräuchlich zum Messen von schlechtweg sogenannten Geschwindigkeiten (Längen- oder Bahngeschwindigkeiten) und von Winkelgeschwindigkeiten; sie heissen Tachometer. —

Die Masseneinheit wird defnirt entweder als die Masse eines individuell bestimmten Körpers oder als die Masse eines bestimmten Volumens einer gewissen Substanz, in letzterem Sinne namentlich das Kilogramm als die Masse eines Cubikdecimeters destillirten Wassers bei der Temperatur von  $4^{\circ}$  C. Wenn indessen nach dieser letzteren Definition verschiedene Körper direct als Urkilogramme hergestellt würden, so liessen die damit verbundenen wahrscheinlichen Fehler bei nachträglicher Vergleichung solche Unterschiede erwarten, die sehr viel grösser, als die Fehler wären, welche bei der üblichen Methode der Massenvergleichung individuell bestimmter Körper, z. B. des Urkilogramms und einer Copie desselben, zu befürchten sind. Ebenso wie das Meter, obschon es der

ursprünglichen Absicht und Definition gemäss = 0,0000001 der Länge eines Meridianquadranten der Erde sein sollte, doch thatsächlich durch einen materiell hergestellten Stab fixirt werden musste, dessen Abweichung von jener Definition sich in der Folge als sehr merklich herausstellte, ist deshalb auch die Masseneinheit in allen Culturstaaten thatsächlich als die Masse eines unter Staatscontrole individuell hergestellten und aufbewahrten Körpers gesetzlich festgestellt, insbesondere z. B. das Kilogramm als ein im französischen Staatsarchiv aufbewahrter Körper aus Platin. Der für das deutsche Reich als Urkilogramm gesetzlich geltende Platinkörper ist mit jenem Kilogramme prototype durch eine gemischte Commission verglichen und um 0,16 Milligramm leichter gefunden worden.

Die zur Messung und Vergleichung von Massen dienenden Instrumente, die Waagen, beruhen darauf, dass zwei Massen gleich gross sind (durch Definition gleich gross genannt werden), wenn sie gleich schwer sind, d. h. an demselben Orte gleich stark von der Erde angezogen werden. Indem somit durch die Waage unmittelbar die Schwerkkräfte zweier Körper oder Körperaggregate verglichen werden, um aus ihrer Grössengleichheit auf diejenige ihrer Massen zu schliessen, heisst die Grösse der Schwerkraft eines Körpers sein Gewicht. Bei unveränderlicher Masse ist also das Gewicht eines Körpers veränderlich mit seinem relativen Orte gegen die Erde, mit der geographischen Breite dieses Ortes und seiner Höhe über dem Meere. Im uneigentlichen Sinne wird das Wort „Gewicht“ auch wohl als gleichbedeutend mit Masse gebraucht, nämlich zur Bezeichnung der substantiellen Quantität eines Dinges, insofern sie durch die Operation des Wägens bestimmt wird; die Körper, deren Massen = gewissen Vielfachen oder aliquoten Theilen der Masseneinheit gemacht worden sind (nach den Grössen dieser Massen z. B. als Centner, Kilogramme, Gramme, Milligramme etc. bezeichnet) und deren man sich bedient, um vermittels der Waage durch Vergleichung ihrer Gewichte mit dem Gewichte eines anderen Körpers oder Körperaggregats die Masse des letzteren zu bestimmen, heissen auch wohl selbst Gewichte (Normalgewichte) anstatt besser Gewichtstücke. Die mechanisch-wissenschaftliche Bedeutung des Wortes „Gewicht“ bleibt indessen stets die von Schwere oder Grösse einer Schwerkraft, sofern letztere ausser in Bezug auf ihre Grösse auch wie jede andere Kraft in Bezug auf Richtung und Angriffspunkt in Betracht kommt. Dass dieses eigentliche Gewicht eines zur Wägung benutzten sogenannten Gewichtsatzes (Sortiments von Gewichtstücken) an verschiedenen Orten verschieden ist, beeinträchtigt nicht die Correctheit solcher Benutzung, weil in demselben Verhältnisse, in welchem die Schwere eines Gewichtstückes

sich ändert, auch die Schwere aller anderen Körper für denselben Ortswechsel veränderlich ist und deshalb doch thatsächlich die mit Hilfe der Waage ausgeführte Vergleichung von Schwerkraften (Gewichten) auf eine correcte Vergleichung von Massen hinausläuft. —

Aus dem fundamentalen Begriffe einer Masse entspringen durch Verbindung mit den Begriffen von Volumen, Geschwindigkeit und Beschleunigung gewisse abgeleitete mechanische Grössenbegriffe.

Die Masse, welche bei einem gewissen inneren Zustande einer Substanz in der Volumeneinheit derselben enthalten ist, heisst ihre specifische Masse für diesen Zustand. Ihre betreffende Dichtigkeit ist das Verhältniss jener specifischen Masse zu derjenigen einer gewissen anderen conventionell zur Vergleichung gewählten Substanz, als welche zum Ausdrucke der Dichtigkeit eines festen oder flüssigen Körpers Wasser bei der Temperatur von  $4^{\circ}$  C., eines luftförmigen Körpers atmosphärische Luft bei gleicher Temperatur und Pressung mit dem betreffenden Körper benutzt zu werden pflegt. Die Dichtigkeit ist also keine Grösse, sondern ein Grössenverhältniss; ihre experimentelle Bestimmung und die dazu dienenden besonderen Arten von Waagen und sonstigen Hilfsmittel sind als dem Gebiete der Physik angehörig zu betrachten. Auch in Betreff dieses Begriffes ist übrigens der Mangel eines festen, allgemein anerkannten Sprachgebrauchs zu beklagen, nach welchem vielmehr die specifische Masse vielfach als Dichtigkeit, diese als specifisches Gewicht bezeichnet wird. —

Aus den Begriffen von Masse und Geschwindigkeit entspringen die von Bewegungsgrösse und Bewegungsenergie. Die Bewegungsgrösse eines materiellen Punktes oder Massenelementes ist das Product aus seiner Masse und Geschwindigkeit, die Bewegungsgrösse nach einer gewissen Richtung das Product aus Masse und Geschwindigkeit nach dieser Richtung. Durch Summation ergibt sich daraus die Bewegungsgrösse bezw. die auf eine gewisse Richtung bezogene Bewegungsgrösse eines Körpers oder Massensystems. Die Bewegungsenergie (freies Arbeitsvermögen, lebendige Kraft) eines materiellen Punktes oder Massenelementes ist das halbe Product aus seiner Masse und dem Quadrat seiner Geschwindigkeit, die Bewegungsenergie eines Körpers oder Massensystems ist die halbe Summe dieser Producte für alle seine Massenelemente zusammen. Zu besonderen Messungsinstrumenten dieser Grössen geben die Bedürfnisse des Maschinenwesens keinen Anlass. —

Die Aenderungen der Bewegungszustände von Körpern werden Kräften als ihren Ursachen zugeschrieben. Wenn insbesondere  $m$  die

Masse  
keit  
welch  
mater

lichen

ausge  
punkt

ist, k

Produ

schleu

sie na

entspr

Defini

gleich

(dureh

ist; d

Mass

Falles

und Z

sowoh

ist es

nur a

als K

also z

Maas

zu se

änder

ferner

Kraft

Deutl

sie th

pro C

Quadr

dem

Gröss

Masse eines materiellen Punktes und  $v$  seine augenblickliche Geschwindigkeit nach einer gewissen Richtung  $OX$  ist, so wird die Aenderung  $dv$ , welche  $v$  im Zeitelement  $dt$  erfährt, einer Kraft zugeschrieben, die auf den materiellen Punkt nach der Richtung  $OX$  und zwar mit der augenblicklichen Intensität oder Grösse  $m \frac{dv}{dt}$  wirkt; dasselbe gilt für den Fall eines ausgedehnten Körpers von der Masse  $m$ , wenn die Bewegungen aller Körperpunkte gleich sind. Indem

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{d(mv)}{dt}$$

ist, kann man sagen, es werde die Grösse einer Kraft gemessen durch das Product aus einer Masse und der ihr im Sinne der Kraft ertheilten Beschleunigung, oder auch sie sei = dem Zuwachs an Bewegungsgrösse, den sie nach ihrer Richtung in der Zeiteinheit verursacht. Dieser Kraftmessung entspricht die obige, dem Gebrauch einer Waage zu Grunde liegende Definition der Gleichheit zweier Massen als solcher, die an demselben Orte gleich schwer sind, insofern als an demselben Orte die Beschleunigung des (durch die Schwerkraft verursachten) freien Falles für alle Körper gleich ist; das Gewicht oder die Grösse der Schwerkraft eines Körpers von der Masse  $m$  ist =  $mg$  an einem Orte, wo die Beschleunigung des freien Falles =  $g$  ist.

Die Krafteinheit ist somit bestimmt durch die Massen-, Längen- und Zeiteinheit. Bei der grossen Bedeutung indessen, welche Schwerkraften sowohl an und für sich wie zur Vergleichung mit anderen Kräften haben, ist es ausserdem üblich geworden, das Gewicht der Masseneinheit nicht nur als Gewichtseinheit der Messung von Schwerkraften, sondern überhaupt als Krafteinheit der Messung von beliebigen Kräften zu Grunde zu legen, also z. B. die Grösse der Schwerkraft einer Masse  $m$ , die nach absolutem Maass =  $mg$  ist, nach diesem relativen oder Gravitationsmaass =  $m$  zu setzen, obschon dann die betreffende relative Krafteinheit einen veränderlichen, der Beschleunigung  $g$  proportionalen Werth hat. Indem dabei ferner ein einzelnes Wort zu möglichst kurzer Bezeichnung dieser relativen Krafteinheit erwünscht ist, bezeichnet man sie (nicht zum Vortheil der Deutlichkeit) mit demselben Worte wie die Masseneinheit, deren Gewicht sie thatsächlich ist, so dass z. B. die Pressung einer Flüssigkeit =  $p$  Kgr. pro Quadratmeter gesetzt wird, um auszudrücken, dass ihr Druck pro Quadratmeter ebenso gross ist wie das Gewicht einer Masse von  $p$  Kgr. an dem betreffenden Orte, bzw. gemäss der an diesem Orte stattfindenden Grösse der Beschleunigung des freien Falles. Bei technischen Unter-

suchungen kann von der Veränderlichkeit dieser Beschleunigung im Allgemeinen abgesehen, somit die relative Kräfteinheit = dem  $g$ fachen der absoluten Kräfteinheit, oder die Grösse einer gewissen Kraft in absolutem Maasse = dem  $g$ fachen ihrer Grösse in relativem Kraftmaasse (Gravitationsmaass) gesetzt werden, unter  $g$  eine Constante verstanden, etwa = 9,81 bei Voraussetzung des Meters als Längeneinheit und der Secunde als Zeiteinheit.

Mit Bezug auf die besprochene Gravitationsmessung von Kräften ist es übrigens wesentlich zu bemerken, dass sie natürlich auch eine entsprechend veränderte Wahl der Masseneinheit erfordert, damit die durch Definition festgestellte Beziehung zwischen Kräften, Massen und Beschleunigungen nicht dadurch beeinträchtigt werde, damit also, wenn allgemein  $P$  eine Kraft bedeutet, die nach ihrer Richtung der Masse  $m$  die Beschleunigung  $\varphi$  ertheilt, insbesondere z. B.  $G$  das Gewicht eines Körpers für die Beschleunigung  $g$  des freien Falles, nach wie vor die Gleichungen bestehen:

$$P = m\varphi, \quad G = mg;$$

denn indem jetzt als Einheit des Gewichtes  $G$  dasjenige eines gewissen Körpers, z. B. eines sogenannten Kilogrammstückes gewählt wird, muss die Masse dieses Gewichtstückes nicht mehr = 1, sondern =  $\frac{1}{g}$  gesetzt werden, entsprechend einer in gleichem Verhältnisse mit der Kräfteinheit vergrösserten, nämlich  $g$ mal so grossen Masseneinheit.

Instrumente zur Messung von Kräften heissen im Allgemeinen Dynamometer, insbesondere auch Manometer, wenn sie zur Messung des Druckes von Flüssigkeiten dienen. Besondere Arten von Manometern sind die zur Messung des Luftdruckes dienenden Barometer, deren Einrichtungen und Gebrauch indessen als in das Lehrgebiet der Physik gehörig zu betrachten und hier als bekannt vorauszusetzen sind. —

Der Begriff einer Kraft führt zu weiter zusammengesetzten mechanischen Grössenbegriffen, insbesondere zum Begriffe einer mechanischen Arbeit = dem Product aus der Grösse einer Kraft und dem nach ihrer Richtung genommenen (auf ihre Richtung projecirten) Wege ihres Angriffspunktes. Der im metrischen System üblichen Arbeitseinheit, dem Meterkilogramm, liegt die Gravitationsmessung der Kräfte zum Grunde, so dass aus der in Meterkilogrammen ausgedrückten Grösse einer Arbeit sich ihre Grösse in absolutem Maasse durch Multiplication mit  $g$  ergibt. Nach mechanischen Principien kann übrigens die Arbeit einer Kraft auch gemessen werden durch die ihr gleiche, von dieser Kraft während ihrer betreffenden Arbeitsleistung verursachte Aenderung einer Bewegungsenergie



oder sogenannten lebendigen Kraft. Die zur Messung mechanischer Arbeiten dienenden verschiedenartigen Instrumente pflegen je nach ihrer Art und besonderen Bestimmung mit verschiedenen Specialnamen bezeichnet zu werden (Prony'scher Zaun, Indikator u. s. w.).

Die Vergleichung einer Arbeit mit der Zeit, in welcher sie geleistet wird, führt zum Begriffe der Arbeitstärke = der in der Zeiteinheit geleisteten Arbeit, oder auch = einem in der Zeiteinheit dadurch verursachten Zuwachs an Bewegungsenergie. Ihre gewöhnliche Einheit ist das Secundenmeterkilogramm oder Meterkilogramm pro Secunde. Zur Vermeidung unbequem grosser Maasszahlen ist jedoch auch die Pferdestärke als eine 75 mal so grosse Einheit in Gebrauch. Die Messung einer Arbeitstärke ist das Ergebniss gleichzeitiger Arbeits- und Zeitmessung durch die dazu dienenden Instrumente. —

Die Benutzung der nach vorstehenden Bemerkungen im Folgenden zu besprechenden Instrumente zur Messung von geometrischen Grössen, Zeiten, Geschwindigkeiten, Massen, Kräften und mechanischen Arbeiten erfordert vielfach die Zählung und Registrirung der Umdrehungen einer Welle, Schwingungen oder Hübe eines hin- und hergehenden Körpers u. s. w. in einer gewissen Zeit, und ist es deshalb angemessen, die dazu dienenden Zählwerke vorab im Zusammenhange kurz zu besprechen. Instrumente zum Rechnen schliessen sich daran naturgemäss an, sofern das Rechnen als ein gesetzmässig combinirtes Zählen betrachtet werden kann, die betreffenden Instrumente aber in neuerer Zeit erhöhte Ausbildung und Verwendung gefunden haben und besonders dann von Nutzen sein können, wenn es sich um vielfach nach derselben Regel zu wiederholende Rechnungen handelt, wie sie u. A. durch die Verwerthung von Messungsergebnissen zu daraus abzuleitenden Mittelwerthen, Gesetzen und sonstigen Resultaten veranlasst werden können.

## A. Instrumente zum Zählen und Rechnen.

### §. 130. Zählwerke.

Durch diese Instrumente wird bezweckt, die Zahl von Umdrehungen, Schwingungen oder Schüben, welche ein rotirendes, bzw. schwingendes oder hin- und hergehendes Glied einer Maschine in einer gewissen Zeit macht, auf einfache und leicht übersichtliche Weise, nämlich im Allgemeinen so zu registriren, dass jene Zahl aus den Stellungen von Zeigern auf ent-