punctes, wenn man das Pendel um die Achse C schwingen läfst $l = \frac{\mathfrak{M}'}{M\,l} = \frac{\mathfrak{M}}{M\,d} + d \ldots (n$ (wenn man für $\mathfrak{M}'$ seinen Werth setzt), woraus $l - d = \frac{\mathfrak{M}}{M\,d}$ folgt; ferner, wenn man das Pendel um die durch den Schwingungsmittelpunct F gehende Achse schwingen läfst, und den Abstand des Mittelpunctes des Schwunges dafür von F gleich l' setzt; $l' = \frac{\mathfrak{M}''}{M\,(l-d)} = \frac{\mathfrak{M}}{M\,(\;-d)} + l - d$, oder, wenn man für $l - d$ den vorhin gefundenen Werth setzt, auch $l' = d + \frac{\mathfrak{M}}{M\,d}$, so, dafs also (Gl. n) $l' = l$ (d. h. der vorige Aufhängpunct C zum Mittelpuncte des Schwunges wird, wodurch sofort die in §. 153 (Anmerk.) erwähnte Eigenschaft des **Reversionspendels** erwiesen ist.

Fünftes Kapitel.

Von der Wirkung oder Leistung der Kräfte.

§. 171. Leistung oder Arbeit einer Kraft.

Wir haben bisher die Kräfte in ihrem gegenseitigen Verhalten, sowohl im Zustande des Gleichgewichtes als der Bewegung behandelt, allein da es sich in der industriellen Mechanik um eine wirkliche Leistung, um irgend eine Arbeit oder einen Nutzeffect derselben handelt, so müssen wir dieselbe auch noch von diesem Gesichtspuncte aus betrachten.

So wie man in der Statik die Kräfte durch blofse Pressungen, z. B. in Pfunden, und in der Dynamik durch ihre, allenfalls in Fufsen ausgedrückten zurückgelegten Wege darstellt; so verbindet man hier beide Methoden, um den Effect oder die Wirkung der Kräfte, in so ferne sie Bewegung erzeugen, auszudrücken. Die Arbeit oder Leistung einer Kraft wird immer mehr oder weniger in der Überwindung gewisser Hindernisse bestehen, wie z. B. beim Heben einer Last in der Schwere, beim Zermahlen des Getreides in der Cohäsionskraft desselben, beim Fortziehen eines Fuhrwerkes in der Reibung u. s. w. In allen diesen Fällen bringt aber eine Kraft, welche blofs mit dem Hindernifs im Gleichgewichte steht, noch durchaus keine Wirkung oder Arbeit hervor, sondern dieser Widerstand oder dieses Hindernifs mufs auch durch einen gewissen Weg bewegt oder fortgeschafft, d. h. es mufs das während der Bewegung des Punctes, auf welchen der Widerstand wirkt, sich fortwährend wiederholende Hindernifs, von der bewegenden Kraft überwunden werden. So mufs beim Heben einer Last von z. B. 100 Pfund auf die Höhe von 10 Fufs, die Kraft von 100 Pfund zugleich bei derselben Kraftäufserung einen Weg von 10 Fufs zurücklegen, oder diesen Widerstand von 100 Pfund durch den ganzen Weg von 10 Fufs überwinden. Man sieht leicht ein, dafs die Leistung oder Arbeit einer Kraft um so gröfser ist, je gröfser der überwundene Widerstand oder die Last, und je gröfser der Weg ist, durch welchen dieselbe bewegt wird.

Unter der Wirkung, Leistung oder Arbeit einer Kraft, während einer bestimmten Zeit, versteht man sonach alle, die längs des in dieser Zeit von dem Angriffspuncte der Kraft zurückgelegten Weges überwundenen Widerstände; dabei wird die Kraft oder der ihr gleiche Widerstand, welchen sie überwindet, in Pfunden, der dabei zurückgelegte Weg in Fufsen, und die Zeit entweder in Secunden oder in Minuten, öfter auch in Stunden ausgedrückt. Zur Einheit der Wirkung oder Leistung einer Kraft nehmen wir durchaus den Widerstand von 1 Pfund, welcher auf die Länge oder den Weg von 1 Fufs während einer Secunde überwunden wird, und nennen diese Einheit ein Fufspfund, welches wir kurz durch das Darübersetzen von F. Pf. über die betreffende Zahl bezeichnen werden.

Anmerkung. Wirkt eine Kraft K (Fig. 148) in Beziehung auf den Weg AB, welchen ihr Angriffspunct A zurücklegt, schief, so kommt natürlich nur die aus $AD = K$ abgeleitete Seitenkraft $AC = k$ dabei in Rechnung, und ihre Leistung ist das Product aus dieser Kraft k in den nach der Richtung AB zurückgelegten Weg.

§. 172. Ausdruck für die Wirkung oder Leistung einer constanten Kraft. Ist die Kraft, also auch der Widerstand, welchen sie überwindet, constant, so ist ihre Leistung dem zurückgelegten Wege proportional, weil z. B. bei einem doppelten Wege dieser Widerstand oder dieses Hindernifs zwei Mal überwunden oder zerstört wird. Wird von der andern Seite auf dem nämlichen Weg ein 2, 3..n Mal so grofser Widerstand überwunden, so ist es eben so, als ob der einfache Widerstand 2, 3..n Mal überwunden worden, und die Leistung ist in diesem Falle dem Widerstande, folglich, wenn beides veränderlich ist, dem Producte aus dem Widerstande in den zurückgelegten Weg proportional. Ist K die in Pfunden ausgedrückte constante Kraft, welche einen ihr gleichen Widerstand überwindet, und S der in einer Secunde dabei zurückgelegte Weg ihres Angriffspunctes nach ihrer Richtung gemessen, in Fufsen ausgedrückt; so ist ihre Wirkung oder

Leistung während einer Secunde $W = KS^{\text{F. Pf.}}$, wobei man sich das Product KS in zwei beliebige Factoren aufgelöst denken kann.

Ist S der von der Kraft K während der Zeit t zurückgelegte Weg, so bezeichnet der Ausdruck $W = KS \ldots$ (*m* überhaupt die Leistung oder Arbeit dieser constanten Kraft K während der Zeit t.

So ist z. B. die Arbeit oder Leistung, um 10 Pfund Widerstand auf 2 Fufs Länge binnen einer Secunde zu überwinden, jener ganz gleich, welche 2 Pf. Widerstand auf 10 Fufs oder 1 Pf. auf die Länge von 20 Fufs u. s. w. überwindet; denn in allen diesen Fällen ist der Widerstand von 1 Pfund auf die Länge von 1 Fufs in einer Secunde 20 Mal zu überwinden, und sofort $W = 20^{\text{F. Pf.}}$

Die Leistung oder Arbeit eines Menschen, welcher in einer bestimmten Zeit einen Metzen Getreide zwei Stockwerke hoch, oder 2 Metzen ein Stockwerk hoch trägt, ist doppelt so grofs, als wenn er nur 1 Metzen ein Stockwerk hoch trägt, wobei die beiden ersten Leistungen offenbar einander gleich sind. Wiegt 1 Metzen Getreide 80 Pfund, und ist jedes Stockwerk 12 Fufs hoch, so ist die Leistung oder Arbeit im ersten Falle $W = 80 . 24 = 1920^{\text{F. Pf.}}$, im zweiten eben so $W = 160 . 12 = 1920^{\text{F. Pf.}}$, dagegen im dritten Falle $W = 80 . 12 = 960^{\text{F. Pf.}}$, also nur halb so grofs.

Eine ähnliche Argumentation ist bei allen industriellen Leistungen anwendbar.

§. 173. Wirkung einer veränderlichen Kraft; mittlere Anstrengung. Ist eine Kraft veränderlich, so theilt man den zurückgelegten Weg ihres Angriffspunctes in so viele kleine Theile, dafs man ohne Fehler die Kraft oder den Widerstand während jedes einzelnen Intervalles als constant ansehen kann; die Summe aus den Producten der einzelnen Gröfsen der Kraft in die zugehörigen kleinen Wege gibt dann die Gesammtwirkung oder Leistung der variablen Kraft.

So wie man die Leistung einer constanten Kraft durch das Product KS, oder geometrisch durch die Fläche eines Rechteckes darstellen kann, dessen Grundlinie $= S$ und Höhe $= K$ ist; so kann man die Leistung einer veränderlichen Kraft, wenn das Gesetz ihrer Veränderlichkeit bekannt ist, wenigstens näherungsweise durch die Fläche $ABCD$ (Fig. 149) darstellen, wenn man die Gerade $AB = S$ nimmt, diese in viele gleiche Theile theilt, und in den Theilungspuncten $A, a, b \ldots B$ auf AB Perpendikel errichtet, darauf die Gröfsen der Widerstände aufträgt, und die sich ergebenden Puncte $C, a', b' \ldots D$ durch eine Linie verbindet, welche im Allgemeinen eine krumme seyn wird. Nimmt man an, dafs die Kräfte $k, k' \ldots$ für die Wege $s = Aa$, $s' = ab \ldots$ constant sind, so gibt die Summe der Rechtecke $k.s = Aa'$, $k'.s' = ab' \ldots$ die gesammte Leistung der Kraft $K = k + k' + \ldots$ auf den Weg $AB = s + s' + \ldots$

Je kleiner man nun diese Wege nimmt, desto mehr nähert sich die Summe aus diesen Rechtecken der Fläche $ACBD$, welche von der Curve CD begrenzt wird.

Theilt man die Linie $AB = S$ (Fig. 150) in eine gerade Anzahl gleicher Theile, bezeichnet die beiden äufsern Ordinaten oder Perpendikel mit a, b, die den ungeraden Theilungspuncten entsprechenden mit v_1, v_3 . . . und die den geraden entsprechenden mit v_2, v_4 . . .; so ist, wenn die Anzahl der Theile $= n$ ist, die Fläche AD, also die Leistung der Kraft näherungsweise:

$$F = W = \tfrac{1}{3}[a + b + 2(v_1 + v_3 + ..) + 4(v_2 + v_4 + ..)]\,\frac{S}{n}.$$

Hat z. B. eine Kraft die Werthe 20, 22, 23, 26, 27, 28, 30 und ist der jedem dieser Werthe entsprechende Weg (die Intervalle $A1$, 12...) $= 2$ Zoll oder $\frac{1}{6}$ Fufs; so ist $a = 20$, $b = 30$, $v_1 = 23$, $v_3 = 27$, $v_2 = 22$,

$$v_4 = 26,\ v_6 = 28,\ S = 6 \,.\, \tfrac{1}{6} = 1 \text{ und } n = 6,$$

folglich $W = \frac{1}{3}(50 + 2.50 + 4.76)\frac{1}{6} = \frac{454}{18} = 25{\cdot}2^{\text{F. Pf.}}$

Nach einer ähnlichen Näherungsformel $F = \frac{S}{n}\left(\frac{a+b}{2} + v_1 + v_2 + v_3 + ..\right)$ wäre $W = 25{\cdot}1^{\text{F. Pf.}}$

Dieselbe Leistung würde aber auch durch eine constante Kraft von $\frac{25{\cdot}2^{\text{F. Pf.}}}{1^{\text{F.}}} = 25{\cdot}2^{\text{Pf.}}$ hervorgebracht werden; man nennt sie defshalb die mittlere Kraft oder Anstrengung für dieses Beispiel.

§. 174. Leistungen der Kräfte bei Maschinen. Wir haben bei allen im fünften Kapitel des ersten Abschnittes behandelten, sowohl einfachen als zusammengesetzten Maschinen darauf aufmerksam gemacht (und es gilt dieses als ein Grundgesetz der ganzen Mechanik und Maschinenlehre), dafs wohl im Gleichgewichtszustande die Kraft gegen die Last bedeutend kleiner oder im Vortheile seyn kann, dafs aber, sobald es sich um Bewegung handelt, an dem Weg oder an der Zeit genau so viel verloren geht, als an Kraft gewonnen wird. So kann z. B. am Hebel ein Mensch sehr wohl eine Last heben, die unmittelbar, ohne diese einfache Maschine, nur zehn Menschen heben könnten; allein er wird auch dazu, um diese auf eine bestimmte Höhe zu bewegen, 10 Mal so viel Zeit brauchen, oder in derselben Zeit die Last nur auf den zehnten Theil jener Höhe heben, auf welche die zehn Menschen diese Last unmittelbar bringen, und so ist also seine Leistung um nichts gröfser als die eines einzelnen Menschen ohne Hebel. Der Vortheil dieser Maschine liegt nur darin, dafs er überhaupt damit im Stande ist die Last zu bewegen, was er sonst, ohne Theilung derselben, nicht bewirken könnte.

Auf dieselbe Art zeigt es sich bei allen Maschinen, und es ist dieses ein höchst wichtiges und wohl zu beherzigendes Grundgesetz der ganzen Mechanik, dafs der Angriffspunct der Kraft in derselben Zeit einen 2, 3...n Mal gröfsern Weg als die Last zurücklegen mufs, wenn die Kraft eine Last übrwinden soll, die 2, 3...n Mal gröfser als diese Kraft ist. Ist also die an einer wie immer gearteten und zusammengesetzten Maschine wirkende Kraft K n Mal kleiner als die Last oder der Widerstand Q, welcher damit überwunden wird, so ist auch der gleichzeitig von der Last zurückgelegte Weg s n Mal kleiner als der Weg S der Kraft, d. i. für $K = \frac{1}{n} Q$ ist auch $s = \frac{1}{n} S$, und wenn man die Leistung oder Wirkung der Kraft $= W$ und die verrichtete Arbeit $= W'$ (oder die Leistung einer die Last ohne Maschine unmittelbar gewältigenden Kraft) bestimmt, so ist

$$W = KS = \frac{1}{n} QS \quad \text{und} \quad W' = Qs = Q . \frac{1}{n} S, \quad \text{also} \quad W' = W.$$

Bei diesen Betrachtungen ist jedoch auf jene Hindernisse und Widerstände, welche in der Maschine selbst liegen, noch keine Rücksicht genommen, und es bleibt, weit gefehlt, dafs die Leistung gröfser werden könnte, wie so oft geglaubt wird, durch Anwendung, selbst der einfachsten Maschinen, die wirkliche Nutzleistung noch hinter der Arbeit der Kraft zurück.

§. 175. Gröfse der Wirkung oder Leistung beim Heben einer Last nach verticaler Richtung. Die einfachste Arbeit, welche man betrachten kann, besteht in dem verticalen Heben einer Last, weil der zurückgelegte Weg in die Richtung der Kraft fällt. Ist Q die zu hebende Last und h die Höhe, auf welche sie gehoben wird, so kann die Leistung oder Arbeit durch das Product $Q\,h$ ausgedrückt werden. Wegen der Einfachheit dieses Ausdruckes wählt man denselben zur Vergleichung aller, selbst der verschiedenartigsten Leistungen der Kräfte, und führt jede auf das Heben einer Last auf eine gewisse Höhe in einer bestimmten Zeit zurück.

Kommt z. B. die Leistung eines Wasserrades bei einer Mahlmühle mit jener, welche durch das Heben von 100 Pfund auf die Höhe von 10 Fufs in einer Secunde, dagegen die Leistung einer Dampfmaschine in einer Spinnfabrik mit jener überein, welche erfordert wird, um 1000 Pf. auf 20 Fufs in einer Secunde zu heben; so verhalten sich diese beide Wirkungen oder Leistungen wie die Zahlen 1000 zu 20000 oder wie 1 : 20.

§. 176. Motoren. Sowohl die Menschen und Thiere, wenn sie durch ihre Muskelkraft wirken, als auch gewisse mechanische Vorrichtungen, wie Wasserräder, Dampfmaschinen, Windflügel u. s. w., welche durch natürliche Kräfte, wie Wasser, Dampf, Luft u. s. w. in Bewegung gesetzt, diese Kräfte gleichsam in sich aufnehmen und auf andere Maschinen oder Werkzeuge, womit was immer für industrielle oder mechanische Arbeiten verrichtet werden, übertragen, heifsen Motoren. Diese kann man, sie mögen durch was immer für Kräfte in Bewegung gesetzt werden, als die unmittelbaren bewegenden Kräfte ansehen, welche irgend eine Arbeit oder Leistung verrichten, die sich nach der im vorigen Paragraphe angegebenen Weise bestimmen oder ausdrücken lassen.

Wirkt z. B. das Wasser auf ein Wasserrad und hebt dieses mittelst eines Seils, welches um seine Welle aufgewickelt wird, ein Gewicht von 500 Pfund in einer Secunde auf die Höhe von 8 Fufs, so ist die Leistung, Wirkung oder Arbeit dieses Wasserrades oder Motors $W = 4000^{\text{F. Pf.}}$ gerade so, als ob dieses Rad die bewegende oder dynamische Kraft selbst wäre.

§. 177. Nutzeffect. Man darf die Arbeit eines Motors mit der wirklichen Leistung oder Arbeit, die man eigentlich beabsichtigt und die bei Anwendung von Maschinen immer kleiner als die des Motors ausfällt, keinesweges verwechseln. Wird z. B. eine Aufzugmaschine durch das vorhin beispielsweise erwähnte Wasserrad in Bewegung gesetzt, und fördert diese jede Secunde eine Last von 1000 Pfund auf eine Höhe von 3 Fufs, so ist die verrichtete Arbeit, oder der sogenannte Nutzeffect $E = 3000^{\text{F. Pf.}}$, mithin, da die Arbeit des Motors nach obiger Annahme $W = 4000^{\text{F. Pf.}}$ ist, im Verhältnifs von $4:3$ oder um 25 Procent kleiner als die Arbeit des Motors, und diese 25 Procent werden rein nur von den Nebenhindernissen der Aufzugmaschine (wenn nämlich die gemachte Voraussetzung richtig ist) absorbirt und gehen für den eigentlichen Zweck verloren. Ja man kann sich sogar eine Maschine denken, deren Nutzeffect Null ist, wenn die Arbeit des Motors allein schon zu ihrer eigenen Bewegung im leeren oder unbelasteten Zustande ganz in Anspruch genommen wird.

§. 178. Pferdekraft. Seit Watt, dem berühmten Verbesserer oder so zu sagen Erfinder der Dampfmaschine, wendet man zur Vergleichung der Leistungen der Motoren oder auch zur Bestimmung ihrer Gröfse für gewisse gegebene Leistungen, die Pferdekraft (öfter auch Kraft des Maschinen- oder idealen Pferdes genannt) an und versteht jetzt ziemlich allgemein darunter die Leistung oder Arbeit, welche in dem Heben einer Last von 33000 englischen Pfunden auf die Höhe von einem englischen Fufs binnen einer Minute besteht, welches mit dem Heben von 75 Kilogramme auf einen Meter in einer Secunde, oder in einer Last von 430 Wien. Pfund auf einen W. Fufs binnen einer Secunde übereinkommt, so, dafs also diese sogenannte Pferdekraft keine simple Kraft mehr, sondern eine Wirkung von $\mathfrak{K} = 430^{\text{F. Pf.}}$ bedeutet.

Theilt man also die Wirkung oder Leistung W irgend eines Motors durch $\mathfrak{K}$, so erhält man die Anzahl der Pferdekräfte, die derselbe besitzt; so ist für das im obigen Beispiel (§. 176) angenommene Wasserrad $\frac{4000}{430} = 9\frac{3}{10}$ die Anzahl der Pferdekräfte, die es enthält.

§. 179. Unterschied zwischen lebendigen und leblosen Motoren. Es ist bekannt, dafs Menschen und Thiere auf kurze Zeit bedeutendere Anstrengungen aushalten können, als wenn ihre Leistungen durch längere Zeit dauern sollen, weil sie dann ermüden und ihre Muskelkraft abnimmt. Es kommt also bei der Schätzung der Leistungen der Menschen und Thiere noch ein Element, nämlich die Arbeitsdauer hinzu; man versteht darunter die Anzahl der Stunden, während welcher die Muskelkraft wirklich in Anspruch genommen war, und da immer eine oder mehrere Ruhezeiten dazwischen fallen, so beträgt diese Arbeitsdauer nur einen Theil des Tages oder auch von 24 Stunden, obschon die in diesem Theile der Zeit geleistete Arbeit die tägliche Arbeit genannt wird.

Aufserdem ist es auch bekannt, dafs die Gröfse der Anstrengung, um äufsere Widerstände zu überwinden, von der Geschwindigkeit abhängt, mit welcher Menschen oder Thiere dieselben überwinden sollen, indem bei einer gröfsern Geschwindigkeit ihre Muskelkraft von der nöthigen Anstrengung, um ihren eigenen Körper fort- oder auch nur einen Theil desselben zu bewegen, schon ganz erschöpft werden kann, so, dafs also davon nichts mehr zur Überwältigung eines weitern, aufserhalb ihres Körpers liegenden Widerstandes übrig bleibt.

§. 180, Kraftformel. Obschon es sehr schwierig ist, die mechanischen Leistungen der Menschen und Thiere, da man sie in dieser Hinsicht nur als sehr veränderliche Motoren ansehen kann, welche nach der Art ihrer Verwendung nach aufsen hin bald einen gröfsern, bald einen kleinern Nutzeffect hervorbringen, im Voraus zu bestimmen, indem das Gesetz, nach welchem die Muskelkraft von der Arbeitsdauer und der Geschwindigkeit der Bewegung abhängt (wenn ja ein solches existirt) so gut wie nicht bekannt ist; so hat man gleichwohl gesucht, dafür gewisse Mittelwerthe aus der Erfahrung abzuleiten, die für die Anwendung als Anhaltspuncte dienen können. Eine mit der Wahrheit ziemlich gut übereinstimmende derartige Formel für die Kraft der Menschen und Thiere ist die Gerstner'sche, nämlich:

$$K = k\left(2 - \frac{v}{c}\right)\left(2 - \frac{z}{t}\right) \ldots (1,$$

wobei k die mittlere Kraft, c die mittlere und v die wirkliche Geschwindigkeit, t die mittlere und z die wirkliche tägliche Arbeitsdauer bezeichnet.

Um die Anwendung dieser Kraftformel zu zeigen, so sey für einen mittelstarken Menschen $k = 25$ Pfund, $c = 2\frac{1}{2}$ Fufs und $t = 8$ Stunden (welche Werthe in der Erfahrung wirklich gegründet sind). Soll nun derselbe Mensch mit 3 Fufs Geschwindigkeit und täglich (d. i. binnen 24 Stunden) durch 10 Stunden arbeiten; so findet man seine Kraft K, die er dabei ausüben kann, wenn man in dieser Formel noch $v = 3$ und $z = 10$ setzt: $K = 25\left(2 - \frac{3}{2\frac{1}{2}}\right)\left(2 - \frac{10}{8}\right) = 15$ Pfund, so, dafs er also unter diesen Umständen bei gleicher Ermüdung nur einen Widerstand von 15 Pf. überwinden könnte.

Sollte er sich mit 5 Fufs Geschwindigkeit fortbewegen, so würde nach dieser Formel $K = 0$, d. h. er könnte nach aufsen hin keinen Widerstand mehr überwinden, indem bei dieser Geschwindigkeit seine Kraft durch die Fortbewegung seines eigenen Körpers erschöpft wird.

Da bei dieser mittlern Arbeitsdauer von täglichen 8 Stunden die Arbeit des Menschen in einer Secunde (öfter auch das mechanische Moment genannt) durch Kv ausgedrückt und nach dieser Kraftformel am gröfsten wird für $v = c = 2^1/_2$ Fufs; so ist die Leistung eines mittelstarken Menschen in dieser Zeit von einer Secunde $E = 25 \times 2^1/_2 = 62^1/_2{}^{\text{F. Pf.}}$, wofür man, um noch sicherer zu gehen, die runde Zahl 60 nehmen kann, so, dafs also diese Leistung mit dem Heben eines Gewichtes von 60 Pfund auf die Höhe von einem Fufs per Secunde, oder auch auf das Forttragen einer Last auf horizontalem Wege von 60 Pfund mit einem Fufs Geschwindigkeit übereinkommt. Für einen schwächern Arbeiter kann man $k = 20$ Pfund und $c = 2$ Fufs, für einen stärkern $k = 30$ Pf. und $c = 3$ F. setzen.

Für schwache, mittel- und sehr starke Pferde kann man in dieser Formel beziehungsweise $k = 80$, 100, 130 Pfund und $c = 3^1/_2$, 4 und $4^1/_2$ Fufs, eben so für Ochsen $k = 80$, 100, 120 Pfund und $c = 2$, $2^1/_2$ und 3 Fufs setzen.

Übrigens zeigt die im §. 183 angegebene Tafel, wenn sie auch noch hinsichtlich der Übereinstimmung der Daten vieles zu wünschen übrig läfst, wie sehr ungleich die Nutzleistungen der Menschen und Thiere ausfallen, wenn ihre Kräfte auf verschiedene Art und bei verschiedenen Geschwindigkeiten, bei und ohne Maschinen in Anspruch genommen werden.

§. 181. Kraftmesser oder Dynanometer. Zur Bestimmung der Zug- und Druckkräfte, besonders der Menschen und Thiere, bedient man sich eines, auf dem Principe der Elasticität, und zwar einer Stahlfeder beruhenden Instrumentes, welches im Wesentlichen in Fig. 151 dargestellt ist. Durch das Zusammendrücken der sehr gestreckten ovalen Stahlfeder *AB* in der Richtung *cb*, oder durch das Ausdehnen derselben nach der darauf senkrechten Richtung *AB*, wird der um *a* drehbare Winkelhebel *dac*, und zwar mittelst des in Gelenken *d* und *c* gehenden Kniestückes *dc* in Bewegung gesetzt, und dadurch der um *C* drehbare Zeiger *CD*, dessen Spitze auf eine Kreistheilung *MDN* zeigt, mehr oder weniger fortgeschoben. Ist die Eintheilung der Scala (am sichersten blofs empirisch) so gemacht worden, dafs man auf die Feder, während ihre Ebene vertical und die grofse Achse *AB* horizontal liegt und der Punct *b* unterstützt ist, im Puncte *c* nach und nach immer gröfsere Gewichte aufgelegt, und den jedesmaligen Stand des fortgeschobenen Zeigers auf dem Kreisbogen *MDN* markirt hat; so wird, wenn beim Gebrauche dieses Instrumentes die Feder durch die Muskelkraft eines Menschen so stark zusammengedrückt würde, dafs der Zeiger z. B. bis auf den mit 60 Pfund bezeichneten Theilstrich der so erhaltenen Scala geschoben wird, seine ausgeübte Kraft offenbar dem Drucke von 60 Pfund gleich seyn, und so auch in allen übrigen Fällen.

Da durch das Ausdehnen der Feder nach der Richtung *AB* eine weit gröfsere, jedenfalls aber eine von der vorigen verschiedene Kraft nöthig ist, um den Zeiger wieder eben so weit fortzuschieben, so mufs man für die Zugkräfte eine zweite Eintheilung oder Scala anbringen, welche in der Figur mit *mdn* bezeichnet ist und wieder empirisch auf eine ganz ähnliche Weise, wie die vorige gefunden wird. Gewöhnlich wird die erste Scala nach Pfunden und die letztere nur nach Centnern getheilt.

Anmerkung. Die Verbesserungen, welche wir an diesem von Regnier herrührenden Kraftmesser angebracht haben, damit er nicht blofs das Maximum der Kraftanstrengung, welche während eines Versuches vielleicht nur einen Augenblick lang Statt gefunden und dabei gar keinen Werth hat, folglich nur zu falschen Resultaten und Irrthümern führt, sondern vielmehr die mittlere Kraft angebe, wodurch er zugleich zu einem genauen Dynamographen umgeschaffen wurde, haben wir im achten Hefte der Verhandlungen des n. ö. Gewerb-Vereins (Wien 1843) deutlich beschrieben und dargestellt.

§. 182. Anwendung des Kraftmessers zur Bestimmung der Arbeit oder Leistung der Men-

schen und Thiere. Wirken z. B. mehrere Menschen an einem Tummelbaume (Fig. 85), um Lasten aufzuziehen, und findet man durch den Kraftmesser, dafs sie im Durchschnitt (einer in den andern gerechnet) dabei einen Druck von k Pfunden gegen die Arme $a\,a$ ausüben und per Secunde einen Weg von v Fufs zurücklegen; so ist, wenn n Arbeiter dabei angestellt sind, ihre Arbeit oder Leistung per Secunde $E = nkv^{\text{F. Pf.}}$

Findet man ferner, dafs durch diese Aufzugmaschine per Secunde eine Last von Q Pfunden auf die Höhe von h Fufs gehoben wird, so ist die Nutzleistung $e = Qh^{\text{F. Pf.}}$

Sind z. B. sechs Menschen an den Armen der Welle angestellt, welche im Durchschnitt mit 30 Pfund in der Richtung der Bewegung der Angriffspuncte drücken, und haben sie dabei eine Geschwindigkeit von zwei Fufs, so ist $E = 6 \times 30 \times 2 = 360^{\text{F. Pf.}}$

Wird aber bei dieser Anstrengung oder Arbeit jedesmal eine Last von 500 Pfund binnen einer Minute auf die Höhe von 30 Fufs aufgezogen (worauf wieder eine kleine Ruhezeit von selbst eintritt), so beträgt der Nutzeffect $e = 500 \times \frac{30}{60} = 250^{\text{F. Pf.}}$ nur $69\frac{1}{2}$ Procent von dieser Arbeit, so, dafs also $30\frac{1}{2}$ Procent davon durch die Maschine selbst, nämlich durch die dabei Statt findenden Reibungen und sonstigen Hindernisse, wie namentlich die Steifheit des Seils, verschlungen oder absorbirt werden.

Wäre also die Leistung eines Menschen beim Tragen einer Last auf horizontalem Wege, nach §. 180, $60^{\text{F. Pf.}}$, so würde diese bei seiner Verwendung bei einem solchen Tummelbaume auf $41\frac{2}{3}^{\text{F. Pf.}}$ herabsinken.

Um die tägliche Arbeit oder die Nutzleistung für diese Zeit zu finden, darf man den Ausdruck von e nur mit der Anzahl der Secunden der wirklichen Arbeitszeit multipliciren; ist diese z. B. im vorigen Beispiel = 8 Stunden, so ist die tägliche Leistung eines Menschen bei dieser genannten Maschine $= \frac{1}{6} \times 250 \times 8 \times 3600 = 1200000^{\text{F. Pf.}}$ Dabei werden die 8 Stunden so genommen, als ob das Aufziehen ununterbrochen durch diese Zeit Statt fände, und diefs wäre der Fall, wenn von den 12 Stunden (von 6 bis 12 Uhr Mittags und von 1 bis 7 Uhr Abends), als die Arbeiter am Platze sind, 4 Stunden durch das Befestigen und Losmachen des Seils und durch das leere Zurückgehen desselben verloren gingen.

§. 183. Durch vielseitige Beobachtungen hat man die Leistungen der Menschen und Thiere bei ihrer verschiedenen Verwendung in Tabellen zusammengetragen, da man jedoch dabei durchaus auf keine, nur halbwegs genaue Übereinstimmung rechnen darf, wie diefs wohl auch in der Natur der Sache liegt; so müssen alle derlei Zahlen nur als beiläufige Mittelwerthe angesehen werden. Wir geben im Nachstehenden hierüber folgende zwei Tabellen:

Tabelle I

für die Gröſse der Leistung oder Arbeit der Menschen und Thiere unter verschiedenen Umständen.

Gattung der Arbeit.	Gehobenes Gewicht oder mittl. Anstreng.	Geschwindigkeit per Secunde.	Arbeit per Secunde.	Tägliche Arbeitsdauer.	Tägliche Arbeit oder Leistung.
1. Verticales Heben von Lasten.	Pfd.	Fuſs.	F. Pf.	Stunden.	F. Pf.
Ein Mensch, welcher über eine sanfte Anhöhe oder über eine Stiege ohne Last hinaufgeht, wobei seine Arbeit bloſs im Erheben seines eigenen Gewichtes besteht	120	·5	60	8	1728000
Ein Taglöhner oder Handlanger, welcher mittelst einer Rolle und eines Seiles, welches er immer wieder leer hinabläſst, Lasten oder Baumaterialien aufzieht	32	·63	20·24	6	437184
Ein Handlanger, welcher Lasten bloſs mit den Händen hinaufreicht oder aufhebt , ...	36	·54	19·44	6	419904
Ein Handlanger, welcher Lasten auf seinem Rükken über eine sanfte Anhöhe oder Stiege trägt und jedesmal wieder, um neue Lasten zu holen, leer zurückgeht	100	·13	13	6	380800
Ein Handlanger, welcher Materialien auf eine schiefe Ebene von $^1/_{12}$ Steigung in einer Scheibtruhe oder auf einem Schubkarren hinaufführt und immer wieder leer zurückfährt	110	·06	6·6	10	237600
Ein Arbeiter, welcher mittelst einer Schaufel Erde auf eine mittlere Höhe von 5 Fuſs wirft	5	1·25	6·25	10	225000
2. Wirkung mittelst Maschinen.					
Ein Arbeiter, welcher an einem Spillenrad oder Rad an der Welle arbeitet, und zwar					
1. im Niveau der Radachse	100	·5	50	8	1440000
2. unter diesem Niveau um 24 Grad . . .	20	2·2	44	8	1267200
Ein Arbeiter, welcher auf horizontalem Wege eine Last zieht oder fortschiebt	20	2	40	8	1152000
Ein Arbeiter an einer Kurbel	14	2·5	35	8	1008000
Ein geübter Arbeiter, welcher wie bei einem Pumpbrunnen in verticaler Richtung auf- und abwärts schiebt und zieht	9	3·5	31·5	8	907200
Ein Mensch beim Schiffziehen	18	1	18	10	648000
Ein Pferd an einen Wagen gespannt und im Schritte gehend	125	2·8	350	10	12600000
Ein Pferd im Göpel im Schritte gehend . . .	80	2·8	224	8	6451200
Ein Pferd im Göpel im Trabe gehend	54	6	324	4·5	5248800
Ein Ochs im Göpel	116	1·9	220	8	6336000
Ein Maulthier im Göpel	55	2·8	154	8	4435200
Ein Esel im Göpel	25	2·5	62·5	8	1800000

Anmerkung. Bei dem Fortschaffen von Lasten auf horizontalem Wege darf man nicht etwa die Arbeit des Motors ebenfalls durch das Product aus der Last (indem diese nicht in der Richtung des Weges, sondern darauf senkrecht widersteht) in den Weg ausdrücken; denn diese Arbeit besteht in nichts Anderem, als in der Überwindung der Reibung, und diese kann nach Beschaffenheit der Strafse sehr verschieden seyn, so, dafs also dieses Product für dieselbe Last und denselben Weg, wie es doch nach dieser Art seyn würde, keinesweges constant seyn kann. Übrigens liefert die folgende Tabelle einige Mittelwerthe für die Leistungen der Menschen und Pferde beim horizontalen Fortbewegen von Lasten.

Tabelle II
über die Leistungen der Menschen und Pferde beim Fortbewegen von Lasten auf horizontalem Wege.

Art der Bewegung.	Transportirtes Gew.	Geschwindigkeit per Secunde.	Nutzeffect per Secunde.	Tägliche Arbeitszeit.	Nutzleistung per Tag.
	Pfd.	Fufs.	F. Pf.	Stunden.	F. Pf.
Ein Mensch, welcher auf ebenem Weg ohne Last fortgeht, dessen Leistung also blofs im Fortbewegen seines eigenen Gewichtes besteht .	120	4.6	552	10	19872000
Ein Handlanger, welcher Materialien in einem kleinen zweirädrigen Karren fortschafft und leer zurückkehrt	180	1·6	288	10	10368000
Ein Handlanger, welcher Materialien in einer Scheibtruhe oder auf einem Schubkarren fortschafft und immer leer zurückkommt, um neue Lasten zu holen	100	1·7	170	10	6120000
Ein Mensch, welcher eine Last auf seinem Rücken trägt	70	2·4	168	7	4233600
Ein Handlanger, welcher Materialien auf dem Rücken forträgt und immer wieder leer zurückgeht, um neue Lasten zu holen	115	1·6	184	6	3974400
Ein Handlanger, welcher Lasten auf einer Trage forträgt und immer wieder, um neue Trachten zu holen, leer zurückgeht	90	1	90	10	3240000
Ein Pferd, welches Lasten auf einem Karren auf weite Strecken fortführt und dabei im Schritte geht	1250	3·5	4375	10	157500000
Ein an einen Wagen gespanntes Pferd, welches beständig beladen im Trabe läuft	625	7	4375	4·5	70880000
Ein Pferd, welches auf einem Karren Lasten fortschafft und immer wieder leer zurückgeht, um neue zu holen	1250	2	2500	10	90000000
Ein Packpferd, welches im Schritte geht . . .	215	3·5	752·5	10	27090000
Ein Packpferd, welches im Trabe geht . . .	140	7	980	7	24696000

§. 184. Wirkung oder Leistung der Schwerkraft. Die Arbeit, welche nöthig ist, um ein Gewicht Q auf die verticale Höhe h zu heben, ist zugleich auch die Arbeit oder Leistung, welche durch das Herabsinken oder den freien Fall desselben Gewichtes Q durch die nämliche Höhe h entsteht; denn in beiden Fällen wird dieselbe Kraftanstrengung, im erstern durch den Motor, im letztern durch die Schwere auf dieselbe Länge des Weges ausgeübt oder thätig. Aus diesem Grunde läfst sich in einem Gewichte, welches auf eine gewisse Höhe gehoben wird, gewisser Mafsen die hiezu nöthige Arbeit ansammeln, welche man dann zu einer beliebigen Zeit, indem es durch sein allmäliges Herabsinken (wie diefs z. B. bei Uhren, Bratenwendern u. s. w. der Fall) gewisse Widerstände überwindet, wieder zurück erhält.

Bezeichnet man aber die durch das freie Fallen des Gewichtes Q durch die Höhe h entstehende Wirkung oder Arbeit mit W, so ist $W = Qh$, oder wenn man für das Gewicht Q dessen Masse M und für die Höhe h den Werth (§. 142, Gl. 4) $\frac{v^2}{2g}$, wo v die erlangte Endgeschwindigkeit bezeichnet, setzt, so ist auch

$$W = \frac{Mv^2}{2g} \ldots (1.$$

Anmerkung. Nach der Art, wie die französischen Schriftsteller die Masse ausdrücken, wäre (§. 35) $Q = Mg$, also $W = \frac{1}{2} Mv^2$, d. i. der halben lebendigen Kraft gleich, wenn man Mv^2 die lebendige Kraft der Masse M nennt. Da aber dieses Product, wie man sieht, keinesweges eine blofse Kraft, sondern schon eine Leistung oder Arbeit einer Kraft ist, so geschieht es nur, um schon gang und gäbe Benennungen beizubehalten, wenn wir das Product aus der Masse in das Quadrat ihrer Geschwindigkeit die lebendige Kraft der Masse nennen. Wir kämen bei unserer Art die Massen auszudrücken oder zu bezeichnen zu demselben Resultate, wenn wir $\frac{Mv^2}{g}$ oder noch einfacher, den Quotienten $\frac{Mv^2}{2g}$, d. h. das Product aus der Masse in die Höhe, durch welche dieselbe fallen mufs, um die Geschwindigkeit v zu erlangen, was man kürzer die zu v gehörige Geschwindigkeitshöhe nennt, mit der Benennung lebendige Kraft belegen würden.

Hat ein Körper, dessen Gewicht $= M$ ist, die Geschwindigkeit v, so kann er, indem er auf einen andern einwirkt, bis zum gänzlichen Verlust seiner Geschwindigkeit v in diesem eine Wirkung oder Arbeit von $Mh = \frac{Mv^2}{2g}$ erzeugen, so dafs dieser letztere Ausdruck sofort eine gleichsam zu Gebote stehende oder disponible Arbeit (die man früher geradezu Kraft genannt hat) darstellt, welche man in einem Körper, dessen Gewicht M und Geschwindigkeit v ist, besitzt, und wodurch der Ausdruck von lebendiger Kraft entstanden ist. Wird z. B. das Gewicht M mit der Geschwindigkeit v vertical aufwärts geworfen, so erreicht es (§. 143) die Höhe $h = \frac{v^2}{2g}$ und es ist dabei die verrichtete Arbeit in der That $= Mh = \frac{Mv^2}{2g}$.

Übrigens kann noch bemerkt werden, dafs die Arbeit, welche nöthig ist, um das Gewicht Q auf die Höhe h zu heben, nur dann genau $= Qh$ ist, wenn das Gewicht Q sowohl im Anfang als am Ende der Bewegung ein und dieselbe Geschwindigkeit besitzt; weil, wie wir weiter unten sehen werden, jede Geschwindigkeitsänderung in der Masse Q eine neue Wirkung oder Arbeit erfordert.

§. 185. Die Wirkung oder Leistung durch die sogenannte lebendige Kraft ausgedrückt.

Wirkt in die blofs träge Masse M eine constante Kraft P während des von der Masse zurückgelegten Weges S, so erzeugt diese Kraft in M eine Geschwindigkeit v, wofür (§§. 142 und 146)

$$\frac{v^2}{2G} = S, \quad \text{d. i.} \quad \frac{v^2}{2g\frac{P}{M}} = S \quad \text{oder} \quad PS = M\frac{v^2}{2g} = Mh$$

ist, wenn h die zu v gehörige Geschwindigkeitshöhe bezeichnet. Da aber P eine constant bewegende Kraft und S der dabei zurückgelegte Weg ist, so stellt das Product PS die Arbeit oder Leistung dieser Kraft vor, und diese ist sonach, um nämlich in der vorigen Masse M die Geschwindigkeit v zu erzeugen, der lebendigen Kraft gleich, welche die mit der Geschwindigkeit v behaftete Masse M besitzt, getheilt durch die doppelte Beschleunigung der Schwere oder kürzer, diese Arbeit ist dem Producte aus der Masse in die Geschwindigkeitshöhe gleich, welche der Geschwindigkeit v entspricht.

Soll umgekehrt die Geschwindigkeit v, welche die Masse M besitzt, durch eine Kraft P zerstört werden; so wirkt die letztere als eigentlicher Widerstand, und ihre Wirkung oder Leistung dabei ist genau wieder wie vorhin $\frac{Mv^2}{2g} = Mh$. So wirkt z. B. beim freien Falle einer Masse durch die Höhe h die Schwere als bewegende, die Geschwindigkeit v erzeugende Kraft und beim Aufwärtssteigen derselben Masse als ein Hindernifs oder als eine die Geschwindigkeit v zerstörende Kraft, ihre Wirkung oder Arbeit auf diese Masse ist aber für einerlei Höhe in beiden Fällen genau die nämliche.

Anmerkung. Das Product Mv aus der Masse in die einfache Geschwindigkeit, welches (§. 132) als Maſs der bewegenden Kraft dient und auch Gröſse der Bewegung genannt wird, ist von jenem Mv^2, der sogenannten lebendigen Kraft, welche eine Leistung oder Arbeit darstellt, wesentlich verschieden. Nur nach der bereits veralteten Eintheilung von todten und lebendigen Kräften, nach welcher die erstern bloſs Drücke, die letztern aber wirkliche Bewegung erzeugen, wäre auch Mv eine lebendige Kraft.

Diese beiden Gattungen von Kräften sind von ganz verschiedener Natur und können nicht, oder doch nur in so ferne mit einander verglichen werden, als man einen Druck als eine bewegende Kraft ansieht, bei welcher die unendlich kleine Geschwindigkeit, welche diese fortwährend zu erzeugen strebt, jeden Augenblick durch die feste Unter- oder Widerlage auch wieder aufgehoben oder zerstört wird, während sich diese bei der bewegenden Kraft in dem beweglichen Körper so anhäufen, daſs sie in einer gröſsern oder kleinern Zeit einen endlichen Werth annehmen.

Um die Wirkung zweier solcher Kräfte in der Anwendung mit einander zu vergleichen, muſs man die Tiefe des Eindruckes in Rechnung bringen, welchen ein bloſser Druck auf der Unter- oder Widerlage hervorbringt. Fällt z. B. ein Körper, dessen Gewicht $= Q$ ist, von der Höhe h auf einen andern Körper oder eine weiche Unterlage frei herab und bringt in dieser eine Vertiefung oder einen Eindruck $= s$ hervor, so ist die von dem Gewichte Q erzeugte Arbeit oder Wirkung $W = Q(h+s)$. Soll dagegen dieselbe Wirkung durch einen bloſsen Druck $= x$ hervorgebracht werden, so muſs, da dessen Leistung $= xs$ ist, sofort $xs = Q(h+s)$ seyn, woraus

$$x = \frac{Q(h+s)}{s} \quad \text{oder auch} \quad \frac{x}{Q} = \frac{h+s}{s} \ldots (\text{a}$$

folgt, so, daſs also x bedeutend gröſser als Q ausfällt.

Ist z. B. $h = 10$ Fuſs, $s = 1$ Zoll und $Q = 100$ Pfund, so ist $x = \frac{100 \times 121}{1}$ $= 12100$ Pfund, oder das drückende Gewicht muſs hier 121 Mal gröſser als das von der angegebenen Höhe fallende Gewicht seyn, um dieselbe Wirkung hervorzubringen.

Hieraus erklärt sich, warum ein Nagel mit einem mäſsigen Schlag eines Hammers weiter, als durch das bloſse Auflegen, selbst eines sehr bedeutenden Gewichtes auf den Kopf des Nagels, eingetrieben werden kann.

§. 186. Wirkung oder Arbeit, um in einer bloſs trägen Masse eine Geschwindigkeitsänderung hervorzubringen. Princip der lebendigen Kräfte. Um eine Masse M, welche bereits die Geschwindigkeit v besitzt, auf die Geschwindigkeit v' zu bringen, wenn $v' > v$ ist, hat man für die nöthige Arbeit, um die Masse M von der Geschwindigkeit Null auf jene v und v' zu bringen, beziehungsweise (vorigen Paragraph)

$W' = \frac{M v^2}{2g}$ und $W'' = \frac{M v'^2}{2g}$, folglich, da die gesuchte Arbeit $W = W'' - W'$ ist, sofort:

$$W = \frac{M v'^2 - M v^2}{2g} = Mh' - Mh = M(h' - h) \; . \; . \; . \; (1,$$

wobei h und h' die zu v und v' gehörigen Geschwindigkeitshöhen sind. Wäre umgekehrt $v' < v$, so wäre die Wirkung oder Arbeit, welche nöthig ist, um der Masse den Theil der Geschwindigkeit $v - v'$ zu benehmen, $W = M(h - h') \; . \; . \; . \; (2$, welches dem vorigen Ausdruck, nur mit den entgegengesetzten Zeichen (weil dort eine Beschleunigung, hier eine Verzögerung der Masse M eintritt), gleich ist; zugleich ist zu ersehen, dafs die im obigen Ausdrucke enthaltene Differenz $Mv'^2 - Mv^2$ die Zunahme an lebendiger Kraft bezeichnet, welche die Masse M erlangt, und darin liegt das sogenannte Princip der lebendigen Kräfte, welches sich im Allgemeinen so aussprechen läfst, dafs die nöthige Arbeit, um ein Massensystem zu beschleunigen oder zu verzögern, immer gleich ist der erlangten oder zerstörten lebendigen Kraft, dividirt durch $2g$ (oder nach der französischen Bezeichnung der Massen blofs durch 2).

Anmerkung. Ist also eine Maschine in Bewegung und bereits in den sogenannten Beharrungsstand (§. 283) gekommen, so, dafs alle Theile ihre normale Geschwindigkeit erlangt haben; so mufs die Wirkung der Kraft oder überhaupt der Kräfte der Wirkung der Last oder der Widerstände vollkommen gleich seyn, weil ein Überschufs von der einen oder andern nothwendig im ganzen Systeme eine Beschleunigung oder Verzögerung der Massen herbeiführen würde und der Beharrungsstand nicht bestehen könnte. Ist aber die Arbeit der Kräfte gleich jener der Widerstände, so würden sich (nach dem Principe der virtuellen Geschwindigkeiten §. 119) alle diese Kräfte im Gleichgewichte erhalten, wenn die Bewegung nicht schon eingeleitet wäre (wozu immer noch eine besondere Kraft nöthig ist) und durch die Trägheit der Massen oder ihres Beharrungsvermögens darin erhalten würde.

Weil nun bei einer in Bewegung und bereits im Beharrungsstande befindlichen Maschine die Kräfte und Widerstände sich das Gleichgewicht halten würden, wenn diese in der Ruhe wären, so sagt man, dafs in der Maschine ein dynamisches Gleichgewicht bestehe, um es von dem statischen zu unterscheiden.

§. 187. Aufsammlung von Arbeit in einer trägen Masse. Wird in einer Masse M die Geschwindigkeit v oder auch nur jene $v - v'$ erzeugt, wozu also eine Leistung von

$$W = \frac{M v^2}{2g} \quad \text{oder} \quad W' = \frac{M(v^2 - v'^2)}{2g}$$

nothwendig ist; so ist diese Arbeit W oder W' in dieser Masse gleichsam angesammelt und kann für gewisse Zwecke, wie z. B. zur Überwindung von Widerständen, wobei die Masse diese Arbeit wieder erstattet, beliebig verwendet werden.

Fährt ein Wagen über einen sanften Abhang herab, so kann ihn die erlangte Beschleunigung noch eine Strecke auf der horizontalen Strafse, oder auch auf der darauf folgenden Steigung fortbewegen.

Geht ein beladener Wagen auf horizontaler Strafse mit der Geschwindigkeit v, so müssen die Pferde zuerst, um diesen in Bewegung zu setzen, die Trägheit seiner Masse überwinden; die hiezu verwendete Arbeit $= \frac{Mv^2}{2g}$ ist dann aber in dieser Masse M des Wagens aufbewahrt und wird in jenen Momenten, wo der Widerstand auf der Strafse zunimmt oder die Zugkraft abnimmt, wieder zurückgegeben, so, dafs wenn der Wagen allmälig und ohne Stöfse zur Ruhe gekommen ist, sofort auch die gesammte Leistung, welche durch die Trägheit consumirt wurde, wieder zurück erstattet ist und sonach kein Verlust an Arbeit oder Wirkung Statt findet. Wie grofs übrigens dieser Effect seyn kann, geht aus den traurigen Wirkungen hervor, welche beim Zusammenstofs grofser Eisenbahntraine, wenn auch schon die bewegende Kraft abgesperrt oder unwirksam gemacht worden, durch die in den grofsen Massen gesammelte und enthaltene Arbeit plötzlich wirksam wird.

Auf diese Weise wird die Anwendung eines Schwungrades bei Maschinen, welche einen ungleichförmigen oder intermittirenden Widerstand, wie z. B. bei Hammer und Stampfwerken zu überwinden haben, oder auch dort, wo auf kurze Zeit ein gröfserer Widerstand überwunden werden soll, als diefs die zu Gebote stehende Kraft in dieser nämlichen Zeit thun kann, wie es z. B. öfter bei Walzwerken vorkömmt, von grofsem Nutzen und oft unentbehrlich.

Bei allen durch die Einwirkung einer constanten bewegenden Kraft entstehenden successiven, abwechselnd beschleunigenden und verzögernden, also bei den sogenannten periodischen und oscillirenden Bewegungen, wie bei einem Pendel, Balancier, Pumpenkolben u. s. w., dient die träge Masse als eine Art Magazin für die Arbeit, in welches während der Beschleunigung der Masse ein Theil der Arbeit des Motors aufgenommen und in der nächsten Periode der Verzögerung wieder abgegeben wird, so, dafs von dem Augenblick an, wo die Beschleunigung anfängt, bis zu jenem, wo die Verzögerung aufhört, die verwendete Kraft so angesehen werden kann, als wäre sie blofs zur Überwindung der übrigen von der Trägheit der Massen unabhängigen Widerstände benützt worden.

Wird durch irgend einen Motor eine Last M vertical gehoben, so wird diese zuerst von der Ruhe aus auf eine gewisse Geschwindigkeit v gebracht, und es wird durch die Trägheit der Masse die Arbeit $W = \frac{Mv^2}{2g}$ consumirt; ist die Last oben angekommen, so wird die Bewegung des Motors verzögert, um die Last oder Masse M wieder zur Ruhe zu bringen; da aber durch die in der Masse gesammelte Arbeit W ein Theil der Schwere dieser Last überwunden und dieser Theil dem Motor abgenommen wird (wenn die Verzögerung allmälig Statt hat), so wird eigentlich von der Arbeit des Motors für die Trägheit nichts absorbirt oder keine Arbeit verloren.

Etwas ähnliches gilt von der Arbeit des Feilens, Sägens u. s. w., wenn dabei nur keine plötzlichen Geschwindigkeitsänderungen oder gar Stöfse Statt finden.

Sechstes Kapitel.

Theorie der Kurbel und des Schwungrades.

§. **188. Erklärung.** Ein um C (Fig. 152) drehbarer Hebel MC, welcher in M einen kleinen winkelrechten Ansatz (senkrecht auf die Ebene der Bewegung) oder eine sogenannte Warze zur Aufnahme einer Stange NM, welche sich um diese Warze drehen kann, besitzt, heifst gewöhnlich Krummzapfen; ist dieser winkelrechte Ansatz in M etwas länger und dient derselbe als Handgriff, so wird diese Vorrichtung eine einfache Kurbel genannt, und man bedient sich derselben im erstern Falle, um eine hin- und hergehende Bewegung in eine kreisförmige oder umgekehrt diese in die erstere zu verwandeln, und im zweiten Falle, um ein Rad, einen Schleifstein u. s. w. um seine durch C auf der Kreisebene $CMBE$ senkrechte Achse in drehende Bewegung zu setzen. Die von der Kurbelwarze M beschriebene Kreisperipherie wird Kurbelkreis, der Halbmesser oder Hebel CM das Kurbelknie und die in die Warze bei M eingehängte Stange die Kurbel- oder auch Bläuelstange genannt.

§. **189.** Es wirke nun zur Umdrehung der Kurbel oder des Krummzapfens, wodurch zugleich ein gewisser Widerstand überwunden werden soll, dessen Arbeit oder Wirkung ganz einfach dem Aufwinden einer Last Q auf den Kurbelkreis ADB gleich gesetzt werden kann, in der Richtung der Stange NM, welche fortwährend mit dem Durchmesser AB parallel bleiben soll, eine constante Kraft P abwechselnd von A gegen B und von B gegen A. Zerlegt man P in zwei Kräfte, wovon die eine nach der Tangente $Ma = p$ und die andere darauf senkrecht nach dem Mittelpuncte C wirkt, so ist für $Md = P$, sofort $Ma = p$ und wegen der Ähnlichkeit der Dreiecke Mad und CMq, wenn man den Halbmesser $CA = CM = r$ setzt, ist $Ma : Md = Mq : CM$,