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 $Ma : Md = Mq : CM$,

d. i. $p : P = Mq : r$, woraus $p = Mq\frac{P}{r}$ folgt. Die während des Fortschreitens der Warze M um den Elementarbogen $Mm = s$ entstehende unendlich kleine Arbeit der Kraft P ist

$$W' = ps = Mq\frac{P}{r}s = Cg\,.\frac{P}{r}.s \ldots (a.$$

Da nun diese Gerade Mq von Null (in A) bis r (in D) zu-, und von da wieder bis Null (in B) abnimmt, so wächst auch die Tangential- oder eigentliche Umdrehungskraft p (so wie auch die unendlich kleine Arbeit W der Kraft P) im ersten Quadranten von Null bis $p = P$, und nimmt im zweiten Quadranten wieder bis Null ab. Die beiden Puncte A und B, in welchen $p = o$ ist, heifsen die todten Puncte des Kurbelkreises.

Da man die veränderliche Kraft p während des Fortschreitens der Kurbelwarze um den unendlich kleinen Bogen $Mm = s$ als constant ansehen kann (§. 137), so ist ihre Arbeit, während sie diesen Weg zurücklegt (§. 172) $W' = ps = Mq\frac{P}{r}s$ nach der vorigen Gleich. (a, oder wegen (indem die Dreiecke Mmn und CMq ähnlich sind) $Mm : Mn = r : Mq$, oder $\frac{s\,.\,Mq}{r} = Mn$, auch $W' = P\,.\,Mn = P\,.\,pq$ (was auch in der That mit der Natur der Sache übereinstimmt, indem pq den unendlich kleinen Weg der constanten Kraft P nach ihrer Richtung bezeichnet). Während also der Punct M durch den Halbkreis ADB geht, besteht die Arbeit der Kraft P aus der Summe aller ähnlichen Producte $P.pq$, $P.p'q' \ldots$, wobei pq, $p'q' \ldots$, die Projectionen aller der kleinen Bögen, wie Mm auf den Durchmesser AB bezeichnen, und da ihre Summe $= AB$ ist, so ist die genannte Arbeit

$$W = P\,(pq + p'q' + \ldots) = P\,.\,AB, \text{ d.i. } W = P\,.\,2r.$$

Die gleichzeitige Arbeit des Widerstandes Q besteht in dem Heben des Gewichtes Q auf die Höhe $r\pi$ (weil sich nämlich die Schnur dabei um den halben Umfang des Kurbelkreises aufwindet) oder es ist $W' = Q\,.\,r\pi$. Ganz dasselbe findet auch bei der rückgängigen Bewegung der Stange MN, wobei die Warze M den untern Halbkreis BEA durchläuft, Statt.

Soll nun der Beharrungsstand, d. i. das dynamische Gleichgewicht zwischen P und Q bestehen, so mufs $W = W'$, d. i. $P\,.\,2\,r = Q\,.\,r\pi \ldots (b$, also das Verhältnifs $P : Q = 3{\cdot}14 : 2 \ldots (1$, oder die Relation $Q = {\cdot}637\,P \ldots (2$ Statt finden.

Anmerkung 1. Behielte die veränderliche Tangentialkraft p, welche von Null bis P zunimmt, und von da wieder bis Null abnimmt, durchaus den hier gefundenen Werth von $\cdot 637\,P = \frac{2}{\pi}\,P$ constant bei, so wäre ihre Arbeit während der Bewegung durch den Halbkreis, ebenfalls, wie es jetzt mit der constanten Kraft P der Fall ist,

$$= p\,.\,r\pi = \frac{2}{\pi}\,P\,.\,r\pi = P\,.\,2r,$$

und man kann daher in dieser Beziehung diese Kraft $\frac{2}{\pi}\,P$, wofür wir Kürze halber $\frac{2}{3}\,P$ nehmen wollen, die mittlere Kraft nennen (welche jedoch keineswegs das arithmetische Mittel zwischen 0 und P ist, welches $= \frac{1}{2}\,P$ wäre).

Die elementare Arbeit der Kraft P ist also im Minimum $= 0$, in ihrem mittlern Werth $= \frac{2}{3}\,P\,s$, und in ihrem gröfsten Werth $= P\,s$, zugleich geben diese 3 Werthe einen deutlichen Begriff von der Ungleichförmigkeit in der Wirkungsart der Kraft P bei der Kurbel.

Anmerkung 2. In der Wirklichkeit ist zwar die Bläuelstange NM mit dem horizontalen oder verticalen Durchmesser nicht vollkommen parallel, allein man kann diese Abweichung, selbst wenn die Stange nur 4 bis 5 Mal so lang, als der Halbmesser des Kurbelkreises ist, hierbei ohne Fehler vernachläfsigen. Auch wird in jenen Fällen, in welchen diese Schub oder Bläuelstange in verticaler Richtung auf und ab geht, die Arbeit der Kraft P während einer vollen Umdrehung der Kurbel durch das Gewicht dieser Stange, welches während der einen halben Umdrehung hindernd, während der andern aber eben so fördernd wirkt, da sich beide Wirkungen aufheben, in nichts geändert.

§. 190. Zweifache oder doppelte Kurbel.

Um in dem Augenblicke, in welchem die Kurbelwarze M im todten Puncte A oder B steht, dennoch eine Drehung um die Achse C hervorzubringen, wendet man öfter 2 oder auch 3 Kurbeln an, welche in verschiedenen, jedoch auf der Achse senkrechten Ebenen, liegen. Es seyen nun CM und CM' (Fig. 153) die Projectionen zweier solcher, auf derselben Achse C befindlichen Kurbeln, auf eine Ebene senkrecht auf diese Achse, und jede der beiden mit AB parallel bleibenden Schub- oder Bläuelstangen sey wieder doppelt wirkend, d. h. sowohl von A gegen B, als auch zurück von B gegen A, und zwar jede mit der Kraft P. Stehen die beiden Arme CM und CM', wie in der Zeichnung auf derselben Seite des verticalen Durchmessers DE, so ist die Elementararbeit der beiden Kräfte P nach der Gleichung (a des vorhergehenden Paragraphes:

$$Cg\,.\,\frac{P}{r}\,s + Cg'\,.\,\frac{P}{r}\,s = gg'\,.\,\frac{P}{r}\,s,$$

so, dafs also diese Arbeit am gröfsten wird, wenn gg' am gröfsten ist, und dieses findet Statt, wenn die Verbindungslinie MM' mit dem Durchmesser DE parallel wird, in welchem Falle dann $gg' = MM' = 2OM$, also die gröfste Arbeit $= 2\frac{P}{r}s \, . \, OM$ . . . (c ist, wenn nämlich CO auf MM' perpendikulär gezogen wird.

Stehen dagegen die beiden Kurbelarme Cm, Cm', wie die punctirten Linien darstellen, auf verschiedenen Seiten dieses Durchmessers DE, so erhält man für die totale Elementararbeit der beiden Kräfte P den Werth:

$$W = \frac{P}{r}s\,(Cn + Cn') = \frac{P}{r}s \, . \, 2\,Cx,$$

wenn man nämlich aus dem Halbirungspuncte o der Verbindungslinie mm' auf DE das Perpendikel ox fällt, wodurch $on = on'$, also

$$Cn + Cn' = 2\,Cx$$

wird. Diese Arbeit wird ein Maximum, wenn Cx am gröfsten, also $= Co = CO$, folglich mm' mit AB parallel wird, in diesem Falle ist diese Arbeit

$$W = 2\frac{P}{r}s \, . \, CO \; . \; . \; . \; (c'.$$

Wählt man aber den Winkel MCM' dergestalt, dafs OM, wie es das Maximum in der Relation (c fordert, grofs ausfällt, so wird dagegen CO, daher auch die in (c' ausgedrückte Arbeit um so kleiner; sollen sich daher diese beiden äufsern oder obern Grenzen von der mittlern Arbeit gleich weit entfernen, so mufs man $CO = MO$ nehmen, wofür der W. MCM' ein Rechter, und $CO = MO = \frac{r}{\sqrt{2}}$, folglich die gröfste Elementararbeit für jede der beiden Kräfte $P = 2\frac{P}{r}s \, . \, \frac{r}{\sqrt{2}} = Ps\sqrt{2}$, und für beide zusammen $= 2Ps\sqrt{2}$ wird.

Die innere oder untere Grenze der Elementararbeit der beiden Kräfte P tritt ein, wenn eine der beiden Kurbeln horizontal, die andere also vertical steht, was sich bei einer Umdrehung beider Kurbeln vier Mal ereignet; dafür ist die Elementararbeit für die eine Kraft (wofür die Warze M in D oder E steht) $= Ps$, und für die andere (deren Angriffspunct in A oder B liegt) $= o$, also für beide $= Ps$.

Um endlich auch die mittlere Elementararbeit zu bestimmen, hat man, da jetzt bei der doppelten Kraft P für den Beharrungsstand auch die Last Q doppelt so grofs seyn mufs (analog mit der Relat. (b im vorigen Paragraphe) $P.2r + P.2r = Qr\pi + Qr\pi$, oder (wie bei der einfachen Kurbel) $Q = \frac{2}{\pi} P = \cdot 637\, P$, wodurch sofort diese mittlere Arbeit für jede Kraft $P = \cdot 637\, Ps$, und für beide $= 2 \times \cdot 637\, Ps$ wird. Die drei Grenzen sind also hier $2 Ps \sqrt{2}$, $2 \times \cdot 637\, Ps$ und Ps oder die mittlere Arbeit $= 1$ gesetzt: $1 \cdot 11$, 1, $\cdot 785$, während sie bei der einfachen Kurbel die Werthe o, $\cdot 637\, Ps$ und Ps, oder 0, 1, $1 \cdot 57$ sind, woraus sofort folgt, dafs die Unregelmäfsigkeit bei der doppelten Kurbel schon bedeutend geringer, als bei der einfachen Kurbel ist.

§. 191. Dreifache Kurbel. Wendet man zu einer noch gröfsern Gleichförmigkeit (wie diefs u. A. bei Gebläsen geschieht) auf derselben Achse drei Kurbeln an, deren Projectionen auf eine Ebene, welche auf der durch C (Fig. 154) gehenden Achse senkrecht steht, CM, CM', CM'' sind, und wobei die drei Winkel am Mittelpuncte C einander gleich sind; so findet man durch ein ganz gleiches Verfahren, wie vorhin, für die mittlere Elementararbeit der drei Kräfte P den Werth $3P \times \cdot 637\, s$, für die obere Grenze derselben (welche immer dann eintritt, wenn eine von den drei Kurbeln vertical steht) $= 2Ps$, und für die untere Grenze (welche eintritt, so oft eine der Kurbeln horizontal steht) $= Ps\sqrt{3}$. Nimmt man wieder die mittlere Elementararbeit (so genannt, weil der Weg s ein Element des Bogens ist) zur Einheit, so erhält man hier für die drei Grenzen: $1 \cdot 045$, 1, $0 \cdot 906$, so, dafs also der Gang der dreifachen Kurbel schon ein sehr regelmäfsiger ist.

Anmerkung. Die practische Ausführung der dreifachen Kurbel wird durch die dabei nöthige Bedingung: vier Zapfenlager ein und derselben Achse genau in einer geraden Linie zu erhalten, wenn nicht unmöglich, doch äufserst schwierig; aus diesem Grunde wendet man lieber eine doppelte und eine einfache Kurbel, deren Stellungen gegen einander jedoch die vorhin für die dreifache Kurbel bezeichneten sind, von einander getrennt an, befestigt auf der Achse einer jeden der beiden Kurbeln ein kleines Stirnrad, und läfst diese in zwei ganz gleiche oder ähnliche Stirnräder, die man auf einer einzigen Achse (welche die Achse der dreifachen Kurbel vertritt oder ersetzt) befestigt hat, eingreifen.

§. 192. Theorie des Schwungrades. Da man sich gewöhnlich nur der einfachen Kurbel bedient, welche, wie oben gezeigt wurde, eine grofse Unregelmäfsigkeit in ihrem Gange darbietet, so wendet man zur Ausgleichung derselben mit der Kurbel zugleich ein Schwungrad an, welches aus einem schweren, gewöhnlich gufseisernen Radkranze besteht, der mittelst eiserner oder auch nur hölzerner Radarme mit einer, in der Regel horizontalen Welle verbunden ist.

Um nun die für eine vorhinein bestimmte Gleichförmigkeit im Gange der Kurbel nöthige Masse eines mit der Achse C (Fig. 152) der einfachen Kurbel verbundenen Schwungrades zu finden, wollen wir uns zuerst diese Masse auf den Umfang des Kurbelkreises reducirt denken, und diese durch M bezeichnen.

Es sey die Geschwindigkeit der Kurbelwarze in $A = v$, die gröfste Geschwindigkeit, welche sie im Halbkreise ADB annimmt $= V$, und die kleinste $= V'$; so ist, da nach Relat. (1, §. 189 für den Beharrungsstand (nach welchem die Warze M in B dieselbe Geschwindigkeit, wie in A haben, und die Arbeit der Kraft P durch den Weg $2r$ von der Arbeit der Last durch den gleichzeitigen Weg $r\pi$ erschöpft werden mufs, was auch immer die Zwischengeschwindigkeiten des Punctes M seyn mögen) $P = 1{\cdot}57 Q$ ist, und ferner die Tangentialkraft

$$p = Mq . \frac{P}{r} = 1{\cdot}5708\, Q . \frac{Mq}{r}$$

(Relat. a) von Null (in A) bis $P = 1{\cdot}57\, Q$ (in D) zunimmt; so gibt es eine Stelle im ersten Quadranten, z. B. in M, in welcher $p = Q$, d. i. $1{\cdot}57\, Q . \frac{Mq}{r} = Q$ ist, wofür sofort $Mq = Cg = \frac{r}{1{\cdot}57} = {\cdot}637\, r$ (W. $ACM = 39^{\circ}, 32', 25''$), und $Cq = {\cdot}77118\, r$, also

$$MF = 2\, Cq = 1{\cdot}54236\, r$$

wird. Dasselbe Verhältnifs von $p = Q$ tritt auch für den Punct F im zweiten, und für die Puncte F' und M' im dritten und vierten Quadranten ein, so, dafs also an diesen vier Puncten die Elementarwirkung der Kraft P jener der Last Q vollkommen gleich ist. Dagegen ist in der Periode von M' bis M, und jener von F bis F' jene der Kraft P kleiner als von der Last Q, und in den beiden Perioden von M bis F und von F' bis M' umgekehrt die Arbeit der Kraft P gröfser als von der Last Q; es findet daher in den beiden zuerst genannten Perioden Verzögerung, und in den beiden letztern Beschleunigung der Masse M Statt, folglich tritt die gröfste Geschwindigkeit V der Kurbel in den Puncten F und M', dagegen die kleinste V' in jenen M und F' ein. Die Arbeit aber, um die träge Masse M von der Geschwindigkeit V' auf jene V zu bringen, nach §. 186 $= \frac{M}{2g}(V^2 - V'^2) \ldots$ (m wird während der Perioden MF und $F'M'$ in der Masse M angesammelt, und während der beiden andern Perioden FF' und $M'M$ zur Ausgleichung der Bewegung wieder abgegeben.

Nun ist aber die Arbeit der Kraft P in den zuerst genannten Perioden $= P.MF = 1{\cdot}54236\,rP = 1{\cdot}54236\,r \times 1{\cdot}5708\,Q = 2{\cdot}4227\,rQ$, und die Arbeit der Last $= 1{\cdot}7614\,rQ$; da nun aber die Differenz aus diesen beiden Arbeiten oder Wirkungen, durch welche die Beschleunigung $V - V'$ in der Masse M erzeugt wird, dem vorigen Ausdrucke (m gleich seyn mufs, so hat man

$$a) \ldots \frac{M}{2g}(V^2 - V'^2) = {\cdot}6613\,Qr = {\cdot}421\,Pr,$$

und daraus die gesuchte Masse

$$M = \frac{1{\cdot}3226\,grQ}{V^2 - V'^2} = \frac{{\cdot}842\,Pr}{V^2 - V'^2}\,g \ldots (1.$$

Ist v die mittlere Geschwindigkeit, welche die Kurbelwarze je nach dem Zwecke der Maschine haben soll, und wird dabei die Bedingung gestellt, dafs V und V' nicht mehr als um den $n$ten Theil von v abweichen sollen; so ist $V = v + \frac{v}{n}$ und $V' = v - \frac{v}{n}$, daher $V + V' = 2v$ und $V - V' = \frac{2v}{n}$, folglich

$$V^2 - V'^2 = (V + V')(V - V') = \frac{4v^2}{n}.$$

Wird dieser Werth für $V^2 - V'^2$ in der vorigen Gleich. (1 substituirt und dann abgekürzt, so erhält man auch

$$M = \frac{{\cdot}2105\,Prgn}{v^2} \ldots (2,$$

wobei für die Breite von Wien g die Beschleunigung der Schwere $= 31$ Fufs ist.

Soll dieser Ausdruck durch die Anzahl der Umdrehungen, welche die Kurbel per Minute zu machen hat, und die Anzahl der Pferdekräfte ihrer Leistung ausgedrückt werden, so sey m die erstere und N die letztere Zahl; so ist die Arbeit der Kraft P in einer Minute $= 4mrP$, also per Secunde $= \frac{4mrP}{60}$; da ferner die Pferdekraft (§. 178) $= 430^{\text{F. Pf.}}$ ist, so ist $430\,N = \frac{4mrP}{60}$, also $rPg = \frac{199950\,N}{m}$, und wenn man diesen Werth in der vorigen Formel (2 setzt, auch

$$M = \frac{42090}{mv^2}\,nN \ldots (3,$$

in welcher Formel v in Fufsen zu setzen ist, und M in Pfunden erhalten wird.

Anmerkung. Aus der Formel (1 erkennt man am einfachsten, dafs bei der Kurbelbewegung eine vollständige Gleichförmigkeit unmöglich ist, weil dafür $V' = V$ seyn müfste, wofür der Nenner Null, also die Masse M

unendlich grofs ausfiele; zugleich sieht man, dafs diese Masse um so gröfser seyn mufs, je weniger V und V' von einander verschieden seyn sollen.

Führt man die Rechnung für eine Kraft P mit blofs einfacher Wirkung durch, so, dafs z. B. die Bläuelstange NM nur immer von A gegen B hin geschoben, zurück aber von B nach A durch die blofse Beschleunigung der Masse M gebracht wird; so findet man, dafs für dieselben Werthe von n, N und m, die Masse M beinahe 5 Mal gröfser als im obigen Falle ausfällt.

§. 193. Um nun die Gröfse des mittlern Radkranzhalbmessers R des Schwungrades zu bestimmen, so mufs man die eben gefundene Masse M, welche sich auf den Kurbelkreis vom Halbmesser r bezieht, von dieser Entfernung r auf jene R reduciren; heifst diese reducirte Masse M', so ist (§. 159) $M'R^2 = Mr^2$, woraus man eine der beiden Gröfsen M' oder R bestimmen kann, wenn man die andere im Voraus annimmt, für M' z. B. ist $M' = \frac{r^2}{R^2} M$ . . . (4, wenn man sich über den Durchmesser entschieden hat.

Hat der Radkranz die radiale Breite a, und bei einem rechteckigen Querschnitt die Dicke b, ist ferner S das specifische Gewicht der Materie, woraus der Radkranz besteht, und $\gamma = 56\frac{1}{2}$ Pfund das Gewicht eines Kubikfufses Wasser; so ist das Gewicht des Radkranzes $= 2 R \pi a b S \gamma$, und wenn man dieses Gewicht allein schon (ohne Rücksicht auf die Radarme) dem Gewichte der Masse M' gleich setzt, und daraus den Querschnitt ab bestimmt: $ab = \frac{M'}{2\pi R S \gamma}$. Besteht der Radkranz, wie gewöhnlich aus Gufseisen, so ist $S = 7{\cdot}2$, und wegen $\gamma = 56{\cdot}5$ und $\pi = 3{\cdot}1416$ sofort $ab = \frac{M'}{2556\, R}$, wobei man ab in Quadratfufsen erhält, und dann über die beiden Dimensionen a und b noch eine Bedingung hinzufügen kann. Will man dagegen diese beiden Gröfsen im Voraus festsetzen, und darnach R bestimmen, so darf man in diese letzte Gleichung nur für M' den Werth aus der Gleichung (4 setzen und R ausdrücken, so erhält man $R = \sqrt[3]{\frac{M r^2}{2556\, ab}}$.

Anmerkung. Durch das Auslassen der Radarme aus der Rechnung wird in der Wirklichkeit die Ausgleichung im Gange der Kurbel noch etwas vollständiger oder die Zahl n des Bruches $\frac{1}{n}$ noch etwas gröfser.

Was übrigens diese Zahl n betrifft, so darf man sie nicht gröfser annehmen, als unumgänglich nothwendig, weil man sonst nur die Kosten und die Reibung des Schwungrades in der Radachse unnützerweise vermehrt, wodurch allein mehrere Pferdekräfte absorbirt werden können.

Für einen gewöhnlichen mittleren Gang der Maschine setzt man $n = 10$, dagegen dort, wo eine grofse Regelmäfsigkeit erforderlich ist, $n = 15$ bis 20. Die Engländer nehmen sogar für Spinnereien $n = 30$.

Weil $\frac{r}{R} v$ die mittlere Geschwindigkeit eines Punctes im mittlern Kreise des Radkranzes ist, so hann man in den obigen Formeln (1 bis (3, M ohne weiters für M' gelten lassen, wenn man unter v, V und V' nicht die Geschwindigkeiten im Kurbel-, sondern in diesem Schwungradkreise versteht.

§. 194. Weitere Anwendung des Schwungrades. Es gibt in der ausübenden industriellen Mechanik sehr viele Fälle, in welchen nicht, wie vorhin bei der Kurbel, der Widerstand Q constant, und die bewegende Kraft P durch ihre eigenthümliche Wirkungsweise veränderlich, sondern wo umgekehrt die wirkende oder bewegende Kraft constant, dagegen der Widerstand Q veränderlich ist. So ist z. B. bei einem Walzwerke der Widerstand, welcher in dem Augenblicke, als das zu walzende Metall zwischen die Walzen gebracht wird, entsteht, nicht fortwährend, sondern nur periodenweise vorhanden, indem die auszuwalzende Schiene z. B. von der einen Seite des Walzwerkes auf die andere leer zurückgeht, um wieder ein neues Caliber der Walzen zu passiren, und überhaupt immer gewisse Zwischenpausen eintreten. Bei einer Bretsäge, mit auf und abgehendem Sägegatter ist der Hauptwiderstand nur immer während des Niedergehens desselben vorhanden. In den Spinnereien wird durch das zufällige gleichzeitige Abstellen vieler Maschinen der Widerstand für die Betriebskraft oft momentan bedeutend vermindert u. s. w.

Um nun auch für solche Fälle die gewünschte oder nöthige Gleichförmigkeit zu erreichen, wendet man, aufser den sogenannten Regulatoren, welche weiter unten besprochen werden, ebenfalls das Schwungrad an, dessen Gewichtsbestimmung auf eine der vorigen ganz ähnliche Weise vorgenommen wird.

§. 195. Ist z. B. beim Walzwerke die gröfste Geschwindigkeit des Schwungrades in dem Augenblicke eingetreten, in welchem das Eisen oder Metall zwischen die Walzen gebracht wird, und nimmt diese während des Durchgehens desselben allmälig ab, so, dafs diese Geschwindigkeit in dem Momente, als das Metall die Walzen verläfst, am kleinsten geworden ist; so hat man hier blofs, wenn V und V' die gröfste und kleinste Geschwindigkeit des Schwungrades, und S den Unterschied zwischen der nöthigen Arbeit, um die Schiene durch die Walzen zu bringen, und der in derselben Zeit vom Motor ausgeübten kleinern Kraft oder Arbeit bezeichnet, $\frac{M}{2g}(V^2 - V'^2) = S$ zu setzen, um daraus die nöthige Gröfse oder Masse des Schwungrades zu finden, wobei man, wie bei der Kurbel hinsichtlich der Abweichung der gröfsten- und kleinsten Geschwindigkeit von der mittlern, gewisse Grenzen festsetzen und für diese Geschwindigkeit einen bestimmten Werth annehmen kann.

Ist das Schwungrad unmittelbar an der Achse der einen Walze angebracht, so ist dessen Umdrehungszahl per Minute aus der Natur der Sache, also auch dadurch die mittlere Geschwindigkeit v im Radkranze gegeben; aber auch bei Anwendung eines Zwischengeleges, wodurch das Schwungrad viel schneller umläuft, kann diese Geschwindigkeit v als bekannt oder gegeben angesehen werden. Zu einer vollständigen Periode, innerhalb welcher die gröfste und kleinste Geschwindigkeit Statt findet, kann man übrigens auch nach Umständen die Zeit rechnen, während welcher das auszuwalzende Metall zwei oder mehrere Male durch die Walzen gegangen ist.

§. 196. Bei einer Bretsäge, bei welcher das Gatter mittelst eines Krummzapfens und einer Bläuelstange auf und ab bewegt wird, mufs man berücksichtigen, dafs beim Hinaufgehen das Gewicht des Gatters und der Bläuelstange zu überwinden ist, dieses Gewicht jedoch beim Herabgehen, wo eben der überwiegende Widerstand des Sägens eintritt, der bewegenden Kraft wieder zu Statten kommt. Man mufs also auf ähnliche Weise, wie im §. 189, die elementaren Wirkungen oder Arbeiten der bewegenden Kraft gegen jene der Last durch den ganzen Kurbelkreis untersuchen, wobei wieder an jenen Puncten, wo diese Elementararbeiten der Kraft und Last einander gleich sind, das Maximum und Minimum der Geschwindigkeit eintritt; der Ueberschufs der Arbeit der Kraft über jene des Widerstandes zwischen diesen beiden Puncten gibt wieder die Wirkung auf Beschleunigung der Masse des Schwungrades, aus welcher entstehenden Gleichung dann (analog mit jener (α in §. 192) sofort das Gewicht der Schwungmasse gefunden wird.

§. 197. Für Spinnereien kann die Rechnung auf folgende Weise, wenigstens näherungsweise geführt werden:

Gesetzt der gleichzeitige Betrieb aller Spinn- und Vorbereitungsmaschinen der Fabrik erfordere eine Kraft von 30 Pferden, welche etwa durch eine Dampfmaschine geliefert wird. Durch das gleichzeitige Abstellen mehrerer dieser Maschinen während t Secunden werde dieser Widerstand um vier Pferdekräfte vermindert, so wird diese gewonnene Kraft oder Arbeit $= 4 \times 430\,t = 1720\,t^{\text{F. Pf.}}$ sofort zur Beschleunigung des Schwungrades verwendet, wodurch dessen Geschwindigkeit von der vorgeschriebenen, dem regelmäſsigen Gange der Maschine angemessenen mittlern Geschwindigkeit v während dieser Zeit t bis auf jene V gesteigert werden mag. Da nun aber die nöthige Arbeit, um die Masse M des Schwungrades von der Geschwindigkeit v auf jene V zu bringen (§. 186) $= \frac{M}{2g}(V^2 - v^2)$ ist, so muſs dieser Ausdruck dem vorigen gleich seyn, wodurch

$$\frac{M}{2g}(V^2 - v^2) = 1720\,t \text{ wird.}$$

Soll nun die gröſste Geschwindigkeit V von der mittlern v um nicht mehr als den n ten Theil abweichen, nämlich $V = v + \frac{1}{n}v = \frac{n+1}{n}v$ seyn, so muſs

$$\frac{M}{2g}\left(\frac{2n+1}{n^2}\right)v^2 = 1720t, \text{ also (wegen } g = 31\text{) } M = \frac{53320\,t\,n^2}{(2n+1)\,v^2} \text{ seyn.}$$

Im Durchschnitt kann man hier $n = 15$ bis 20 setzen, obschon englische Ingenieure darin weiter gehen, und ohne erst eine solche Rechnung durchzuführen, für n den Werth 30 zu nehmen pflegen.

Daſs in dieser Formel v in Fuſsen auszudrücken ist, und M in Pfunden erhalten wird, erhellet von selbst.

Anmerkung. Sammelt man bei einem Schwungrade, wie es z. B. öfter bei Prägwerken geschieht, die Arbeit durch mehrere Secunden, und bringt dadurch die Masse desselben auf die Geschwindigkeit v; so wird, wenn die ganze Arbeit zur Überwindung eines momentanen Widerstandes benützt oder verwendet wird, dieser bedeutend gröſser als die vorhandene Kraft seyn können. Ist dieser z. B. bei einem Prägwerke $= Q$, und die Tiefe des Eindruckes $= s$, so ist $Qs = \frac{Mv^2}{2g}$, also $Q = \frac{Mv^2}{2gs}$. Für $M = 100$ Pfd., $v = 5$ Fuſs und $s = \frac{1}{2}$ Linie, könnte der Widerstand

$$Q = \frac{2500 \times 144}{31} = 11613 \text{ Pfund seyn.}$$

Auf ähnliche Weise läſst man oft bei Walzwerken das Schwungrad zuerst mehre Male leer herumlaufen, und darin die Arbeit $\frac{Mv^2}{2g}$ ansammeln, bevor man das auszuwalzende Metall zwischen die Walzen bringt, um es mit gehöriger Geschwindigkeit und bei dem nöthigen Hitzgrade durch zu bringen.

Siebentes Kapitel.

Vom Stofse der Körper.

§. 198. Erklärung. Bewegen sich zwei Körper, z. B. zwei Kugeln C und c (Fig. 155) nach derselben Richtung, und hat die nachfolgende C eine gröfsere Geschwindigkeit, als die vorausgehende c, so wird die letztere von der erstern eingeholt, und es entsteht im Augenblicke des Begegnens ein Stofs. Der Stofs heifst centrisch oder central, wenn sich die Körper in der geraden Linie bewegen, welche man durch ihre Schwerpuncte ziehen kann, sonst excentrisch; der Stofs wird gerad genannt, wenn im Augenblicke des Stofses die Berührungsflächen beider Körper auf der Richtung ihrer Bewegung senkrecht stehen, im Gegentheile heifst er schief. Die Wirkung des Stofses besteht aber darin, dafs die am und in der Nähe des Berührungspunctes liegenden materiellen Theilchen verschoben werden, und sich an den beiden Berührungsflächen kleine Eindrücke bilden. Durch den Widerstand aber, welchen die Körper einer solchen Verschiebung ihrer Theilchen entgegensetzen, ändern sich die Geschwindigkeiten beider Kugeln, so lange bis diese einander gleich geworden sind, wobei die vorausgehende Kugel c an Geschwindigkeit gewonnen, die nacheilende aber an dieser verloren hat, und in dem Augenblicke, in welchem diese Gleichheit der Geschwindigkeiten eintritt, haben auch die Eindrücke oder Formänderungen ihr Maximum erreicht.

Sind die Körper vollkommen unelastisch, in welchem Falle die durch den Stofs bewirkten Eindrücke an diesen haften bleiben, so üben die beiden Körper keine weitere Wirkung mehr gegen einander aus, und sie gehen gemeinschaftlich, wie ein einziger Körper, mit einerlei Geschwindigkeit fort. Sind dagegen die Körper elastisch, d. h. suchen die verdrängten materiellen Theilchen ihre ursprüngliche Lage wieder einzunehmen, oder die Körper nach dem Aufhören der pressenden oder stofsenden Kraft ihre ursprüngliche Form entweder ganz oder zum Theil wieder herzustellen (vollkommene oder unvollkommene Elasticität); so entsteht noch eine zweite gegenseitige Einwirkung, indem sich die Kugeln dabei so lange von einander entfernen, bis die