

## Eilftes Kapitel.

### *Von den allgemeinen Eigenschaften der in Bewegung befindlichen Maschinen.*

§. 278. **Erklärungen.** Jede Maschine besteht mehr oder weniger aus Bestandtheilen, welche die von der Betriebskraft ausgehende Bewegung empfangen und einander mittheilen oder übertragen. Dabei kann bei einer einfach arbeitenden Maschine der erste oder derjenige Theil, welcher die bewegende Kraft gleichsam aufnimmt, der aufnehmende und der letzte, welcher die beabsichtigte Arbeit verrichtet, der arbeitende Theil genannt werden, während die übrigen, an der Bewegung Theil nehmenden Zwischenbestandtheile, die Communication bilden. So ist z. B. bei einer durch das Wasser betriebenen Schrotmühle (wo das Getreide nur geschrotet wird) das Wasserrad der aufnehmende oder empfangende, der obere Mühlstein oder Läufer dagegen der arbeitende Theil der Mühle, während die Zwischenräder die Communication ausmachen. Bei vielen Maschinen folgt eine ganze Reihe von Arbeiten auf einander, wie z. B. bei Mahlmühlen das geschrotene oder von den Steinen kommende Mahlgut noch, um es in Mehl zu verwandeln (oder eigentlich daraus abzusondern), gebeutelt und gesäubert werden; bei einer Papiermaschine die dargebotene Papiermasse von den Knoten befreit, auf dem Sieb oder Metalltuch in ein lockeres, zwischen den Nafswalzen in ein festeres, zwischen den Trockenwalzen in ein noch festeres Fliefs, durch die geheizten Trocken-cylinder in getrocknetes, durch die Glättwalzen in geglättetes, und endlich durch den Schneideapparat in kaufrechtes Papier verwandelt werden muß u. s. w. Es lassen sich indess die für ganz einfach wirkende Maschinen, wo nur eine einzige Arbeit verrichtet wird, geltenden Regeln und Bemerkungen auch leicht auf solche zusammengesetzt wirkende Maschinen übertragen oder ausdehnen.

Der aufnehmende Bestandtheil heist gewöhnlich der Motor (§. 176), obschon er dieß streng genommen nur im zweiten Grade oder secundär ist, indem diese Benennung blofs den thierischen Kräften, der Schwere, Wärme u. s. w. zukommt; so wird bei der Mahlmühle unter dem Motor das Wasserrad verstanden, obgleich es hier das Gewicht des Wassers, also zuletzt doch nur die Schwerkraft ist, welche die Bewegung erzeugt; allein dergleichen Rigorositäten sind hier weder

nothwendig noch nützlich, indem, wenn einmal die Begriffe festgestellt sind, passende Abkürzungen nur förderlich seyn können.

§. 279. **Arbeitsverlust der bewegenden Kraft.** Nicht genug, das schon der sogenannte Motor einer Maschine die bewegende Kraft nicht vollständig, sondern je nach seiner Beschaffenheit nur mehr oder weniger aufzunehmen im Stande ist, so kann er auch selbst diesen aufgenommenen Theil nicht ungeschmälert bis auf den letzten oder arbeitenden Bestandtheil fortpflanzen, indem ein Theil davon zur Überwindung der vorkommenden Hindernisse als Reibung, Steifheit der Seile (wo letztere vorkommen), des Widerstandes des Mittels, in welchem sich die Theile bewegen, der Trägheit der Massen, wenn sie plötzliche Geschwindigkeitsänderungen erleiden, so wie auch zur Formänderung, welche sie durch Stöße erfahren u. s. w. verwendet werden muß, welcher Theil sonach dem Nutzeffect entgeht; ist nämlich  $W$  die Wirkung oder Arbeit des Motors und  $E$  die Nutzleistung oder der Nutzeffect, so wie  $w$  die nöthige Arbeit zur Überwindung der vorkommenden Hindernisse, so ist

$$W = E + w \dots (1).$$

Da nun selbst bei der einfachsten Maschine Nebenhindernisse vorhanden sind, also  $w$  niemals Null seyn kann, so ist immer  $E < W$ , d. h. bei jeder Maschine ist der Nutzeffect oder die beabsichtigte Arbeit immer kleiner als der Aufwand oder die Arbeit der bewegenden Kraft.

Dieser zum Nachtheil des Nutzeffectes bestehende Unterschied wird um so größer, je complicirter die Maschine ist, so, das es Fälle gibt, in welchen durch unverständige Combinationen und Vervielfältigungen der Maschinentheile, namentlich von Rädern, welche auch noch dazu schlecht und regellos ausgeführt werden,  $E$  nur den 10ten oder 20sten Theil von  $W$  beträgt; von der alten zu Marly bei Paris bestandenen Wasserhebmachine, welche damals für ein halbes Wunder galt, wird sogar behauptet, das ihr Nutzeffect nur  $\frac{1}{50}$  oder 2 Procent von der Leistung der bewegenden Kraft betragen habe! Maschinen, deren Nutzeffect  $E$  50 bis 60 Procent beträgt, gelten schon für vortreffliche Constructionen.

Man darf also jedenfalls überzeugt seyn, das durchaus keine Combination von Rädern, Hebeln u. s. w. in einer Maschine möglich ist, wodurch, wie so oft geglaubt wird, die Arbeit der bewegenden, auf den aufnehmenden Theil wirkenden Kraft sogar kleiner seyn könnte, als die Arbeit, welche man von der Maschine erwartet, sondern, das dabei eben so gewis das Gegentheil Statt findet, als z. B. ein Steinklotz nicht von selbst auf ein Baugerüste hinaufsteigt.

§. 280. **Zweck der Maschinen.** Aus diesen Betrachtungen geht also hervor, daß der eigentliche Zweck einer Maschine unmöglich in der Vergrößerung der Arbeit des Motors oder der bewegenden Kraft, sondern nur darin bestehen kann, diese Arbeit mit Bezahlung von Agio in eine andere industrielle Leistung umzuwandeln. Um diese Umwandlung besser zu übersehen, sey  $P$  die bewegende Kraft des Motors,  $S$  der in einer Secunde zurückgelegte Weg des Angriffspunctes dieser Kraft, und zwar nach ihrer Richtung gemessen, so wie  $p$  und  $s$  dieselben Größen für die beabsichtigte industrielle Leistung oder Arbeit; so bieten uns die Maschinen die Mittel dar, um die Arbeit  $PS$  (§. 174) in jene  $ps$  zu verwandeln, wobei man sich jedoch, da, wie bereits hinreichend bemerkt, immer  $ps < PS$  ist, den Verlust  $PS - ps$  an Nutzeffect gefallen lassen muß. Ganz vorzüglich aber dienen die Maschinen dazu, in dem constanten Producte  $ps$  die beiden Factoren nach Belieben und Bedürfnis der zu verrichtenden Arbeit zu verändern, wobei aber immer (wie schon in §. 174 bemerkt) der eine Factor genau in demselben Verhältniß abnehmen muß, als der andere zunimmt. Innerhalb gewisser Grenzen ist dieß auch für die Factoren  $P$  und  $S$  der Arbeit  $PS$  des Motors der Fall, und man sollte diese immer so wählen, daß damit das Product  $PS$  am größten wird. Ist z. B. der Motor ein unterschlächtiges Wasserrad, welches von einem mit der Geschwindigkeit  $c$  an die Schaufeln anstoßendem Wasser betrieben oder in Bewegung gesetzt wird, so ist der Druck  $P$  auf die Schaufeln am größten, wenn das Rad stille steht; dann ist aber die Geschwindigkeit oder der Factor  $S$ , folglich auch die Arbeit des Motors oder  $PS = 0$ . In dem Maf, als die Geschwindigkeit der Radschaufeln zunimmt, nimmt der Druck  $P$  ab, und sobald die Schaufeln dieselbe Geschwindigkeit  $c$  wie das anstoßende Wasser haben (etwa durch eine anderweitige Kraft herbeigeführt) ist der andere Factor, nämlich  $P$ , mithin abermals  $PS = 0$ . Zwischen diesen beiden Grenzen der Geschwindigkeit von  $S = 0$  und  $S = c$  gibt es aber nothwendig einen Werth von  $S = S'$ , wofür, wenn der zugehörige Werth  $P = P'$  ist, das Product  $PS = P'S'$  ein Maximum wird, und diese Relation zwischen  $P$  und  $S$  ist es, welche man durch Rechnung, Beobachtung oder Erfahrung bestimmen muß, wenn man die vorhandene bewegende Kraft unter gleichen Umständen am vortheilhaftesten auf den Motor übertragen will, obschon man sich auch selbst in diesem günstigsten Falle einen bestimmten Verlust gefallen lassen muß (so werden z. B. selbst auf ein sehr gut construirtes unterschlächtiges Wasserrad

nur beiläufig 30 Procent der theoretischen Wirkung des fließenden, und als bewegende Kraft verwendeten Wassers übertragen, oder von diesem Motor zur weitem Mittheilung aufgenommen).

§. 281. Was die beiden Factoren  $p$  und  $s$  der Nutzarbeit  $ps$ , die also immer nur einen gewissen Theil der Arbeit  $PS$  des Motors ausmacht, betrifft, so ist der eine davon gewöhnlich durch die Natur der zu verrichtenden Arbeit bestimmt. Soll z. B. mittelst einer Aufzugmaschine eine Last von 500 Pfund auf eine gewisse Höhe, und zwar durch die Kraft eines Menschen gehoben werden, von dessen Arbeit (§. 180)  $PS = 25 \times 2\frac{1}{2} = 62\frac{1}{2}$  F. Pf. 30 Procent für die Nebenhindernisse der Maschine abgeschlagen werden sollen, so, daß nahe  $ps = 44$  F. Pf. bleibt; so muß die Maschine so eingerichtet werden, daß  $p = 500$  Pfund, also  $s = \frac{44}{500} = \frac{1}{12\frac{1}{2}}$  Fufs wird.

Sollen ferner bei einer Räderschneidmaschine für hölzerne Gußmodelle die Zahnschnitte rein ausfallen, so muß man dem Schneidzahn eine sehr große Rotationsgeschwindigkeit geben, während sich bei einer Bohrmaschine für große gußeiserne Cylinder (für Dampfmaschinen z. B.) die Bohrspindel mit dem Bohrkopf äußerst langsam, sowohl um ihre Achse, als auch nach ihrer Länge bewegen muß. Hat der Läufer einer Mahlmühle eine zu kleine Geschwindigkeit, so wird das Getreide nicht bis an den Umfang der Steine in der gehörigen Zeit hinausgetrieben, ist diese zu groß, so erhält man durch Erhitzung des Mahlgutes ein schlechtes Mehl u. s. w.; in allen diesen Fällen ist also der Factor  $s$  wenigstens innerhalb gewisser Grenzen gegeben.

Anmerkung. Nach allem bisher Gesagten muß man sich also begnügen, bei der Construction einer Maschine dahin zu wirken, daß das Product  $ps$  jenem  $PS$  so nahe als möglich gebracht werde, und es als etwas ganz Thörichtes und Absurdes ansehen,  $ps$  gleich oder gar noch größer als  $PS$  machen zu wollen. Hat man aber durch eine verständige Construction und exacte Ausführung der Maschine die Nutzleistung  $ps$  der Arbeit  $PS$  des Motors so nahe als möglich gebracht, so darf man, wenn man nicht in den groben Irrthum derjenigen verfallen will, welche sich von der künstlichen Zusammensetzung einer Maschine oft wunderbare Kraftentwicklungen versprechen, nicht vergessen, daß sich wohl von den beiden Factoren  $p$  und  $s$  einer auf Kosten des andern, keineswegs aber das ganze Product  $ps$  selbst vergrößern läßt.

Der Vortheil einer Maschine besteht also, wir wiederholen es, nicht in der Vergrößerung des Productes  $PS$  oder der Arbeit des Motors, was ganz unmöglich ist, sondern darin, daß man die bewegende Kraft je nach den besondern industriellen Bedürfnissen modificiren, und für einen

bestimmten Zweck brauchbar und anwendbar machen kann; so wäre in den vorhin gewählten Beispielen ein Mensch ohne Maschine nicht im Stande, die Last von 500 Pfund auch selbst nur mit der kleinsten Geschwindigkeit aufzuheben, oder das Schneidrad, auch wenn es keinen Widerstand zu überwinden hätte, mit der nöthigen Geschwindigkeit umzudrehen; niemals wird aber durch die Maschine, wenn auch im erstern Beispiele  $\nu$  und im letztern  $s$  noch so groß ist, das Product oder die Nutzleistung  $\nu s$  seiner Arbeit  $PS$  gleich kommen, oder diese gar noch übertreffen.

Durch Hilfe von Maschinen wird ferner auch die Aufmerksamkeit und Intelligenz der Menschen oft durch bloße mechanische oder Naturkräfte, welche weit weniger kostspielig sind, ersetzt, und dadurch dieselbe Arbeit nicht nur wohlfeiler, sondern in vielen Fällen auch weit schöner und regelmässiger, als durch Menschenhände geliefert.

**§. 282. Das Perpetuum Mobile!** So wenig in der obigen Gleichung (1, §. 279, der Nutzeffect  $E$  der Arbeit des Motors  $W$  gleich seyn kann, weil  $w$  nicht verschwindet, eben so wenig kann es eine Maschine geben, welche, einmal in Bewegung gesetzt, immer, d. h. wenigstens so lange fortgeht, als ihre Bestandtheile dauern, weil bei jeder, selbst der allereinfachsten Maschine, auch wenn sie sich im luftleeren Raume bewegen könnte, immer wenigstens an einem Punkte eine Reibung oder ein sonstiger Widerstand vorhanden ist, durch welchen die der Maschine mitgetheilte lebendige Kraft (§. 185) nach und nach vermindert, und endlich auf Null, folglich auch die Maschine zum Stillstande gebracht wird. Selbst wenn man eine solche immerfort gehende Maschine, über deren Erfindung sich schon Tausende um den Verstand oder an den Bettelstab gebracht haben, nur als ein Curiosum ansehen, und von ihr gar keine Leistung, also auch gar keinen Nutzen verlangen wollte, wodurch in der genannten Gleichung (1  $E = 0$ , also  $W = w$  würde; so könnte auch in diesem Falle dieser Bedingungsgleichung für eine immerwährende Bewegung nicht entsprochen werden, indem die Wirkung  $W$  der bewegenden Kraft, da sie keinen Ersatz erhält, durch die genannten Hindernisse allmählig abnimmt, während die Wirkung  $w$  dieser Hindernisse constant bleibt.

Das einfachste Mobile perpetuum wäre ohne Zweifel das im luftleeren Raume schwingende Pendel, bei welchem die Reibung, oder (wenn man es an einer Stahlfeder schwingen läßt) der Widerstand im Aufhängpunkte durch alle zu Gebote stehenden Mittel so weit als möglich herabgebracht worden. Allein da dieser Widerstand, so lange wir nicht in eine neue Welt versetzt werden und in den Besitz ganz anderer, z. B. vollkommen harter, glatter, elastischer Körper u. s. w. gelangen, niemals ganz weggebracht, oder absolut Null werden kann, so wird auch das Pendel schon

beim ersten Schwunge nicht vollkommen genau auf jene Höhe steigen, von welcher es herabgegangen ist, bei dem zweiten Schwunge wird es aus demselben Grunde gegen den ersten, beim dritten gegen den zweiten u. s. w. zurückbleiben, so, dafs wenn dieses Zurückbleiben auch noch so wenig, z. B. jedesmal nur den 100000sten Theil der anfänglichen Fallhöhe (des Sinusversus oder Pfeils des Schwingungsbogens) beträgt, diese Höhe nach 100000 Schwingungen schon gänzlich verschwunden seyn, und das Pendel stillstehen wird.

Fiele eine vollkommen elastische Kugel von irgend einer Höhe  $h$  frei auf eine harte Ebene herab, so würde die Arbeit der Schwere durch diese Höhe  $h$  auf die Zusammendrückung der Kugel im Berührungs- oder Stofspuncte verwendet; da aber die Kugel ihre ursprüngliche Form genau mit derselben Kraft wieder herstellen würde, so müfste die Kugel auch vollkommen genau wieder auf dieselbe Höhe  $h$ , ohne den geringsten Verlust an lebendiger Kraft erlitten zu haben (§. 204), zurückspringen, und da sich dieser Vorgang des Herabfallens und Zurückspringens ohne Ende wiederholen könnte, so hätte man ebenfalls ein Perpetuum Mobile. Allein da wir durchaus keinen vollkommen elastischen Körper kennen, so springt die Kugel auch niemals bis auf den Punct zurück, von welchem sie herabgefallen, und da diese Fallhöhen immerfort, und zwar sehr schnell kleiner werden, so hört auch diese Bewegung sehr bald auf.

Wenn aber schon in diesen allereinfachsten Fällen, wie im ersten Beispiele beim Pendel, keine immerwährende Bewegung möglich ist, wie soll sie erst dann, durch Vervielfältigung der beweglichen Bestandtheile einer Maschine, wie z. B. von Hebeln, Rädern, Gewichten u. s. w., wodurch man nur neue Widerstände und Hindernisse hinzufügt, möglich werden? Diejenigen, welche dieses in ihrem mechanischen Unverstande bewirken zu können glauben, könnten eben so gut einen zu schwer beladenen Wagen, welchen die Pferde nicht weiter bringen, dadurch in Gang und Bewegung zu bringen suchen, dafs sie zu dieser Last noch eine neue hinzufügen.

Einen Preis auf die Erfindung des Perpetuum Mobile ausschreiben, wie es einem traditionellen Aberglauben zu Folge eine gelehrte Academie gethan haben soll, hiefse im glümpflichsten Sinne genommen, einen Preis auf die Erfindung oder Entdeckung neuer Körper oder Urstoffe von der oben erwähnten Eigenschaft aussetzen; ob sich aber hierzu eine gelehrte Academie herbeilassen wird, ist wohl nicht schwer zu heurtheilen.

**§. 283. Beharrungsstand.** In dem Augenblicke, in welchem eine Maschine von der Ruhe aus in Bewegung gesetzt wird, ist die Kraft des Motors immer gröfser, und der Widerstand der Maschine kleiner, als wenn diese bereits mit ihrer normalen Geschwindigkeit arbeitet. Aus diesem Grunde mufs die Bewegung allmählig beschleunigt werden, gerade so, als ob eine constante oder beschleunigende

Kraft auf die Maschine einwirkte; allein diese Beschleunigung erreicht sehr bald ihr Maximum, worauf dann das dynamische Gleichgewicht der Maschine eintritt. Wäre dieß nicht der Fall, so würden gewisse Theile derselben, z. B. jene, worauf die bewegende Kraft wirkt, bald eine so große Geschwindigkeit annehmen, daß, wie bei dem oben (§. 280) beispielsweise erwähnten Wasserrade bemerkt wurde, die bewegende Kraft auf den Motor (zweiter Art) keine Wirkung mehr ausüben könnte, und da andererseits die Widerstände mit der Geschwindigkeit eher zu- als abnehmen, so setzt sich die bewegende Kraft, welche mit der Geschwindigkeit des Angriffspunctes des Motors allmähig abnimmt, mit den Widerständen, welche dabei successive zunehmen, bei einer gewissen Geschwindigkeit in's dynamische Gleichgewicht, so, daß wenn man der Kraft und Last gleich im Anfange der Bewegung diese Werthe, welche sie von dem Augenblicke an, in welchem das dynamische Gleichgewicht eintritt, besitzen, hätte geben können, sofort auch das statische Gleichgewicht zwischen diesen beiden Kräften würde Statt gefunden haben.

Es verhält sich mit diesem Anlassen oder in Bewegungsetzen einer Maschine so, wie mit einem frei fallenden Körper in einem stark widerstehenden Mittel, z. B. im Wasser; denn obschon die Bewegung anfangs beschleunigt ist, so erreicht, da der Widerstand mit der Geschwindigkeit sehr schnell (nämlich im quadratischen Verhältnisse) zunimmt, der fallende Körper bald eine solche Geschwindigkeit, bei welcher dieser Widerstand der Schwerkraft gleich ist, und sonach die Beschleunigung, welche sie in dem Körper erzeugen will, jeden Augenblick aufhebt, so, daß also von da an der Körper mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortgeht oder fällt.

Man muß also, um den Gang einer Maschine zu beobachten, so lange warten, bis diese ihre normale Geschwindigkeit erlangt, nämlich bis sie in den Beharrungsstand gekommen ist.

#### §. 284. Einfluß einer oscillirenden oder periodischen Bewegung auf den Nutzeffect.

Bei manchen Maschinen nehmen gewisse Bestandtheile, wie z. B. bei den gewöhnlichen Dampfmaschinen die Bläuelstange, bei einer Bretschneidmühle das Sägegatter u. s. w. eine vertical auf und abgehende Bewegung an. Beim Hinaufgehen wird von der bewegenden Kraft oder dem Motor die hierzu nöthige Arbeit, nämlich (§. 175) das Product aus dem Gewichte dieses betreffenden Bestandtheiles in den Weg desselben absorbirt, dagegen wird beim Niedergehen desselben diese Arbeit (§. 184) genau und vollständig wieder zurückerstattet; es ist also bei einer solchen regelmäßigen periodischen Bewegung, wenn man die Wirkung immer am Ende einer Periode betrachtet (mit Ausnahme

der herbeigeführten Reibung) gerade so, als ob der oscillirende oder auf und ab gehende Bestandtheil kein Gewicht hätte.

Dasselbe gilt auch (§. 187) hinsichtlich der blofs trägen Massen solcher Bestandtheile, wenn man dabei nur Sorge trägt, dafs der Übergang der positiven (z. B. aufwärts gehenden) in die negative (abwärts gehende) Bewegung (die immer durch Null geht) nur allmählig und nicht plötzlich geschieht, wie diefs auch in der That (§. 189) beim Krummzapfen oder der Kurbel der Fall ist.

### §. 285. Nachtheil der Stöße bei Maschinen.

Findet dagegen der Übergang von einer Bewegung in die entgegengesetzte oder die Geschwindigkeitsänderung plötzlich Statt, so ist diese mit Stößen verbunden, welche, da die Körper nicht vollkommen elastisch sind, immer (§§. 201 und 205) einen Verlust an lebendiger Kraft, folglich auch an Nutzeffect herbeiführen.

So würde z. B. auf diese Weise bei einem langen Gestänge, mittelst welchem eine Bewegung auf einen entfernten Punct fortgepflanzt werden soll, ein großer Theil des Nutzeffectes verloren gehen, wenn die einzelnen Verbindungsstücke in ihren durch Bolzen verbundenen Gelenken oder Gliedern zu viel Spielraum hätten. Bei einer schlecht ausgeführten Verzahnung der Räder, wobei die Zähne einen zu großen Spielraum haben, wird bei jeder Änderung in der Größe des Widerstandes, wodurch das geführte Rad plötzlich für eine kurze Zeit zum führenden wird, und dann wieder umgekehrt, jedesmal ein Stoß zwischen den Zähnen entstehen, der ebenfalls für den Nutzeffect nachtheilig ist. Auf gleiche Weise geht bei dem Betriebe eines Stampf- oder Hammerwerks durch den plötzlichen oder stoßweisen Angriff des ruhenden Stämpfers oder Hammers (§. 221, Anmerkung 2) ein Theil der Arbeit des Motors für den Nutzeffect verloren u. s. w. Aus diesem Grunde, und auch noch aus Rücksicht für die Dauerhaftigkeit der Maschine selbst, muß man alle Stöße bei der Mittheilung oder Fortpflanzung der Bewegung auf das Sorgfältigste zu vermeiden trachten. Diese Sorgfalt sollte sich selbst auf jene Maschinen erstrecken, welche gewöhnlich, wie Hammer-, Stampf- und Walkwerke durch den Stoß wirken; aus diesem Grunde substituirt man dort, wo der industrielle Zweck eben so gut erreicht wird, dafür lieber Walz- und Quetschwerke und Kurbelwalken, weil dabei kein solcher Verlust an Nutzeffect durch den Stoß, der dabei vermieden wird, eintritt.

### §. 286. Vorzüge der gleichförmigen Bewegung bei Maschinen.

Abgesehen davon, dafs bei einer gleichförmigen Bewegung, in welchem Falle die bewegende Kraft und die Widerstände oder die Last fortwährend denselben Werth beibehalten,

alle einzelnen Theile mit constanter Kraft auf einander wirken, also dabei keine Geschwindigkeitsänderungen oder Stöße eintreten, zugleich auch jede Berechnung hinsichtlich der Stärke und Festigkeit der einzelnen Bestandtheile der Maschine dadurch erleichtert wird; so besteht der Hauptvorteil der Gleichförmigkeit in der Bewegung eigentlich darin, daß sowohl der Angriffspunct der bewegenden Kraft, welche für das Maximum ihrer Leistung (§. 280) eine bestimmte Geschwindigkeit annehmen muß, als auch der letzte oder arbeitende Theil der Maschine, für welchen es ebenfalls eine gewisse vortheilhafteste Geschwindigkeit gibt (§. 281), diese beste oder zweckmäsigste Geschwindigkeit unverändert beibehalten können.

Diese genannten Vorzüge fallen für die veränderliche oder periodische Bewegung, selbst wenn diese nach dem Gesetze der Stetigkeit Statt findet, größtentheils weg; so haben wir schon bei der Theorie der einfachen Kurbel gesehen, daß die bewegende Kraft an gewissen Stellen, den sogenannten todtten Puncten, gar keine Bewegung erzeugen kann, und deshalb eine Schwungmasse oder eine mehrfache Kurbel zu Hilfe genommen werden muß. Gewisse Theile können dabei kleine Stöße oder wenigstens abwechselnd eine Ausdehnung und Compression erleiden, wozu bei unvollkommen elastischen Körpern immer ein eigener Kraftaufwand nöthig ist. Auch arbeitet eine Maschine, bei welcher die Geschwindigkeit zu- und abnimmt, nicht beständig unter den günstigsten Verhältnissen (die nur für eine bestimmte Geschwindigkeit vorhanden seyn können), und da man endlich die Stärke und Dimensionen der einzelnen beweglichen Bestandtheile nach der größten Kraftäufserung, die jedenfalls größer als die mittlere ist, welche bei einer gleichförmigen Bewegung eintreten könnte (vergl. §. 189, Anmerk. 1), berechnet, so bietet die massivere und schwerere Maschine, ohne Rücksicht auf ihre größern Kosten, auch größere Nebenhindernisse dar.

So sehr man sich aber auch aus den angeführten Gründen bemühen muß, bei Maschinen die veränderliche Bewegung durch die gleichförmige zu ersetzen, und sowohl dem aufnehmenden als arbeitenden Bestandtheil (§. 278) statt einer alternirenden eine rotirende Bewegung zu geben (so ist es z. B. vortheilhaft, eine Dampfmaschine mit hin und hergehenden Kolben in eine Rotirende, das auf und ab gehende Sägegatter bei einer Bretsäge in eine Kreissäge zu verwandeln u. s. w.); so läßt sich dieses gleichwohl nicht überall erreichen, was theils in der Natur des Motors und der zu verrichtenden Arbeit, theils aber in Localverhältnissen und ökonomischen Rücksichten seinen Grund hat.

**§. 287. Veränderliche Bewegung bei Maschinen.** Streng genommen gibt es nur drei verschiedene Fälle, in welchen bei Maschinen eine veränderliche oder periodische Bewegung Statt findet: erstens wenn die bewegende Kraft, zweitens der Widerstand der Nutzleistung, und drittens wenn beide irregulär wirken, oder innerhalb gewisser Grenzen veränderlich sind.

Soll der Motor eine hin und her gehende, der arbeitende Theil aber eine gleichförmige rotirende Bewegung erhalten, so verwandelt man durch die bekannten Mittel, wie z. B. durch die Kurbel und excentrische Scheibe die erstere unmittelbar in eine kreisförmige Bewegung, wie dieses bei Dampfmaschinen mit hin und her gehenden Kolben geschieht, so, daß dann die Communication (§. 278) oder die zwischen liegenden Theile nur aus verzahnten Rädern oder aus Scheiben, Trommeln und Riemen bestehen, welche eine rotirende Bewegung erhalten.

Eben so verfährt man auch, wenn der aufnehmende Theil oder der Motor eine gleichförmige, continuirliche, dagegen der arbeitende (wie bei einer gewöhnlichen, durch Wasser betriebenen Sägmühle) eine hin und her oder auf und ab gehende Bewegung annehmen soll.

Sollen dagegen, sowohl der aufnehmende als arbeitende Bestandtheil eine solche oscillirende Bewegung erhalten, so hat man zu überlegen, ob es nicht möglich ist, die erstere unmittelbar auf die letztere, ohne Communication zu übertragen, so daß die Schwingungen beider Bestandtheile zusammenfallen oder correspondiren, und dadurch ihre Geschwindigkeiten gleichzeitig und allmähig zu- und abnehmen, wodurch die Bewegung beinahe eben so vortheilhaft wird, als wenn diese gleichförmig und continuirlich wäre; eine solche Bewegungsart ist z. B. möglich, wenn durch eine Dampfmaschine eine Pumpe betrieben werden soll. Wäre dagegen ein solches Zusammenfallen der Oscillationen nicht ausführbar, so müßte man jede derselben für sich in eine kreisförmige Bewegung verwandeln. Bei der Wahl der Mittel zur Änderung oder Übertragung der einen Bewegung in die andere muß man jedenfalls jener den Vorzug geben, bei welcher diese Verwandlung am sanftesten und ohne Stöße vor sich geht.

**§. 288. Regulirung der Bewegung.** Aber selbst dort, wo alle Theile einer Maschine eine continuirliche Rotationsbewegung besitzen, kann sowohl die bewegende Kraft, durch die Art, wie sie wirkt (wie z. B. bei der Kurbel), als auch der Widerstand der Nutzarbeit innerhalb gewisser Grenzen veränderlich seyn; sollen aber dem-

ohngeachtet gewisse arbeitende Theile der Maschine, deren Leistung in Beziehung auf Schönheit und Vollkommenheit der Arbeit wesentlich davon abhängen kann, eine möglichst gleichförmige Bewegung erhalten, und hat man bereits alle in einem solchen Falle vorgezeichneten Mittel, als erstens die rotirende Bewegung durch Riemen, genau ausgeführte Ketten oder verzahnte Räder fortzupflanzen, zweitens alle Räder und Scheiben genau zu centriren, und drittens die auf die Bewegung Einfluss habenden Theile hinsichtlich ihrer Gewichte durch Gegengewicht in's Gleichgewicht zu bringen, und wo es angeht, diese Gewichte selbst zur Ausgleichung der Ungleichheiten in der bewegenden Kraft oder in dem Nutzwiderstande zu benützen, angewendet; so bleibt immer noch das Schwungrad, dessen Theorie wir bereits in §. 192 entwickelt haben, das vorzüglichste Mittel zur Regulirung der Bewegung. Bei der Anwendung desselben gibt man demselben, um es nicht übermächtig groß und schwer machen zu müssen, eine bedeutende Rotationsgeschwindigkeit, und bringt es so nahe als möglich an die zu regulirende Kraft oder an den auszugleichenden Widerstand. Im Falle sowohl die bewegende Kraft als auch der Nutzwiderstand sehr veränderlich sind, bringt man wohl auch zwei solche Schwungräder, das eine in die Nähe des aufnehmenden, das andere in die des arbeitenden Theiles der Maschine an.

Wie aus den betreffenden §§. 192 — 197 hervorgeht, so dient das Schwungrad gleichsam als Magazin zur Aufnahme eines Theiles der Arbeit der bewegenden Kraft oder des Motors in den günstigen oder jenen Perioden, in welchen die Kraft die Widerstände übersteigt, um ihn in den ungünstigen, d. i. jenen Perioden, in welchen die Widerstände überwiegend sind, wieder abzugeben. Da sonach ein Schwungrad unmöglich, wie doch so Viele, denen die Gesetze der Mechanik unbekannt sind, zu glauben scheinen, eine Kraft abgeben kann, die man nicht zuvor hineingelegt hat, ja im Gegentheile durch die dadurch verursachte grössere Reibung von der vorhandenen bewegenden Kraft noch ein Theil absorbiert wird; so muß man dort, wo die nöthige Gleichförmigkeit im Gange der Maschine durch die ohnehin schon damit in Verbindung stehenden, und in Bewegung befindlichen Massen, wie es z. B. bei Mahlmühlen der Fall, vorhanden ist, so wie auch in Fällen, wo eine Maschine oft und schnell angehalten werden muß, kein Schwungrad anbringen, und wo ein solches durchaus erforderlich ist, dieses nicht schwerer, als unumgänglich nöthig, ausführen.

§. 289. Wenn nun auch das Schwungrad in jenen Fällen, in welchen die Widerstände in kurzen Perioden veränderlich sind, oder wenn diese beständig, und der Motor zwar an und für sich mit glei-

cher Kraft arbeitet, dennoch aber durch die eigenthümliche Wirkungsart, wie es z. B. bei der Kurbel (§. 189) der Fall ist, innerhalb gewisser Perioden als eine veränderliche Kraft wirkt, zur Ausgleichung oder Regulirung der Bewegung ganz besonders geeignet ist, so würde dasselbe gleichwohl in jenen Fällen nichts nützen, in welchen der Motor, nachdem seine Wirkung jene des Widerstandes bereits überstiegen hat, noch immer mit derselben Stärke zu wirken fortfährt, weil dann auch das Schwungrad selbst eben so gut, wie die ganze Maschine immer mehr beschleunigt, und so auch im umgekehrten Falle, zuletzt sammt der Maschine stehen bleiben würde.

In Fällen nun, wie der zuerst genannte, wendet man sogenannte *Moderatoren*, welche die Geschwindigkeit der Bewegung durch den vermehrten Widerstand, welchen sie dann darbieten, mäfsigen, in beiden Fällen aber die *Regulatoren* an, durch welche unmittelbar die bewegende Kraft selbst, wie z. B. die Dampfzuströmung bei Dampfmaschinen, der Zuflufs des Wassers bei Wasserwerken u. s. w. gemäfsigt oder vermehrt, also überhaupt regulirt wird.

§. 290. **Moderatoren.** Am häufigsten bedient man sich zur Mäfsigung der Geschwindigkeit, wie z. B. bei Fuhrwerken, wenn sie über einen nicht sehr steilen Abhang hinabfahren, bei Aufzugmaschinen und Kranichen, wenn die Last herabgelassen wird u. s. w., der sogenannten *Bremsvorrichtungen*, wovon die allereinfachste, aber auch am wenigsten wirksame, und wegen des Druckes gegen die Achsen eben nicht die zweckmäfsigste, wie sie bei Fuhrwerken üblich, aus einem horizontalen Querbalken besteht, welcher mittelst Schrauben oder einer Hebelvorrichtung gegen den Umfang der Hinterräder angepresst, und dadurch eine Reibung erzeugt wird, wodurch der Wagen in seinem Laufe in etwas gehemmt und aufgehalten werden kann.

Wirksamer, weil ein gröfserer Theil des Rades umfasst, und zweckmäfsiger, weil das Rad von beiden Seiten geklemmt wird, also kein Druck auf die Achse entsteht, ist die bei Eisenbahnwägen und dem Tender bestehende *Bremsvorrichtung*. Am allerwirksamsten jedoch ist der in Fig. 195 dargestellte *Bremsring* *BD*, welcher aus einem dünnen, nicht völlig geschlossenen eisernen Reif besteht, in welchem hölzerne Backen *n*, die sich jedoch nicht berühren, sondern immer einen kleinen Zwischenraum lassend, eingelegt, und an dem Reife leicht befestigt werden und so gleichsam ein gegliedertes Band um das Rad an die Welle *C* bilden, welche gebremst werden soll. Die beiden sich nicht

unmittelbar vereinigenden Enden des Reifens sind gelenkartig, mittelst Bolzen  $a$  und  $b$  an den um  $c$  drehbaren Hebel  $AB$  befestigt, wodurch, wenn dieser Hebel bei  $A$  herabgedrückt wird, diese Punkte  $a$  und  $b$  nach den Richtungen der Pfeile gezogen werden, und dadurch der Bremsring fast ringsherum gegen den Umfang der Welle um so stärker geprefst wird, je gröfser die auf den Hebel wirkende Kraft ist; dafs aber diese Bremsvorrichtung, welche bei Aufzugmaschinen, Kranichen u. s. w. benützt wird, äufserst wirksam seyn mufs, geht aus §. 240 über die Reibung eines Seiles über einen Cylinder, womit diese Bremse verglichen werden kann, hinlänglich hervor.

Dort, wo schon ein geringer Widerstand zur Mäfsigung der Geschwindigkeit hinreicht, benützt man als Moderator den bekannten Windflügel (wie bei Spieluhren, Lampen-Pumpwerken, Bratenwendern u. s. w.), welcher sobald die bestimmte oder normale Geschwindigkeit jenes Bestandtheiles der Maschine, an welchen dieser Flügel angebracht ist, überschritten wird, in der Luft einen sehr schnell (im quadratischen Verhältnifs) wachsenden Widerstand findet, und dadurch die Geschwindigkeit moderirt und möglichst gleichförmig macht.

§. 291. **Regulatoren.** Nimmt die bewegende Kraft, wie z. B. bei Taschenuhren, wo im Anfange die Feder, wenn sie ganz aufgewunden, oder die Uhr aufgezogen ist, am stärksten, und dann allmählig schwächer wirkt, ab, oder der Widerstand, wie z. B. bei Öhlpressen, allmählig zu, oder wie bei Erzförderungsmaschinen, wo das sehr gewichtige Seil, woran der Kübel mit der Hauptlast befestigt ist, beim Aufwinden immer kürzer, und dadurch leichter wird, allmählig ab; so kann man sich zur Regulirung der Kraft oder des Widerstandes eines abgekürzten, auf der Mantelfläche mit spiralförmigen Windungen versehenen Kegels bedienen, auf welchen, wie es bei Uhren mit der Schnecke der Fall ist, die vom Federhaus sich abwickelnde Kette von der kleinern gegen die gröfsere Basis zu, oder bei den erwähnten Förderungsmaschinen das Seil auf den Spiralkorb in derselben Weise (bei Öhlpressen in der entgegengesetzten Richtung) aufgewickelt wird, so dafs dadurch in demselben Verhältnifs als die Kraft schwächer wird oder die Last abnimmt, im erstern Falle die Kraft, im letztern die Last auf immer längere Hebelarme wirkt, und dadurch das statische Moment ungeändert bleibt.

Obschon sich ferner für jede besondere Bewegungs- und Betriebsart fast ein eigener Regulator erfinden läfst, so ist doch der auf der

Theorie des Centrifugalpendels beruhende Regulator der am allermeisten verbreitete und angewendete, weshalb wir auch nur diesen noch in Kürze untersuchen wollen.

§. 292. **Centrifugal-Regulator.** Dieser Regulator beruht auf der im §. 158 entwickelten Theorie des Centrifugalpendels, und besteht in Folgendem:

An einer verticalen cylinderischen Spindel  $AD$  (Fig. 196) werden am obern Ende  $A$  zwei Stangen  $AB, AB'$ , an deren untern Enden sich zwei gleich schwere Kugeln  $Q$  befinden, um einen horizontalen Bolzen drehbar angebracht, und in  $B, B'$ , ebenfalls um solche runde Bolzen drehbar, durch die Arme  $BC, B'C$  mit einer Hülse  $N$ , welche sich auf der verticalen Spindel  $AD$  auf- und abschieben läßt, gelenkartig verbunden, so, daß das Viereck  $ABCB'$  ein articulirtes, d. i. in den vier Winkelpuncten bewegliches Parallelogramm bildet.

Wird nun dieser Apparat mit der zu regulirenden Maschine so in Verbindung gebracht, daß der Spindel  $AD$  durch diese Verbindung eine rotirende Bewegung mitgetheilt wird, so nehmen die beiden Kugeln  $Q$  an dieser Bewegung um die verticale Achse  $AD$  Theil, und entfernen sich von dieser bei der normalen Geschwindigkeit der Maschine bis auf eine gewisse, im voraus bestimmte Distanz. Nimmt dagegen die Geschwindigkeit der Maschine über diese normale zu oder ab, so erhalten auch die Kugeln  $Q$  eine gröfsere oder kleinere Geschwindigkeit, sie entfernen sich also im erstern Falle (§. 154) von dieser Achse, und nähern sich ihr im zweiten, und zwar um so mehr, je gröfsere die Abweichung von der normalen Geschwindigkeit ist; da aber dadurch die mit den Kugeln auf die angegebene Weise in Verbindung stehende Hülse  $N$  beziehungsweise auf der Spindel  $AD$  auf und ab geschoben wird, so wird der um  $O$  drehbare, in  $E$  gabelförmig gebildete, und in die in die Hülse eingedrehte Keble  $a$  eingreifende Hebel ebenfalls so in Bewegung gesetzt, daß der Endpunct  $F$ , welcher z. B. bei Dampfmaschinen mit dem Dampfzuleitungshahn (Drosselventil) in Verbindung steht, im erstern Falle ab- im letztern aufwärts geht, und dadurch die beabsichtigte Regulirung in der Zuströmung des Dampfes oder Wassers bewirkt.

§. 293. Macht die Spindel  $AD$  bei der normalen Geschwindigkeit der Maschine eine bestimmte Anzahl von Umdrehungen, so wird sich auch die Hülse  $N$  dabei an einer bestimmten Stelle unbeweglich

erhalten; sobald aber die Geschwindigkeit um einen gewissen, über die gestattete Grenze der Gleichförmigkeit des Ganges der Maschine hinausgehenden Theil zu- oder abnimmt, so soll die Centrifugalkraft der Kugeln im Stande seyn, die mit dem Drosselventil der Dampfmaschine oder der Schütze des Wasserrades u. s. w. in Verbindung stehende Leitung, oder die Communication sogleich in Bewegung zu setzen, und die gewünschte Regulirung zu bewirken.

Ist  $Q$  das Gewicht,  $v$  die Geschwindigkeit des Schwerpunktes und  $F$  die Fliehkraft einer jeden der beiden Kugeln für den normalen Gang der Maschine, und haben dabei die Kugeln den in Fig. 197 angedeuteten Stand; so ist nach §. 158 (Relat.  $\alpha$ )

$$m) \frac{F}{Q} = \frac{CF}{AC} \text{ und } F = \frac{Qv^2}{g \cdot CF},$$

so wie (Gleich. 1 desselben Paragraphes)

$$AC = \frac{g \cdot CF^2}{v^2} \dots (n).$$

Ist  $p$  der Widerstand, welchen die Hülse  $N$  (Fig. 196) bei ihrer aufwärts gehenden Bewegung und der zu bewirkenden Regulirung zu überwinden hat, so kommt dieser als eine von  $C$  nach  $d$  (Fig. 197) abwärts wirkende Kraft  $p$  vor; macht man daher  $CD = p$ , zerlegt diese Kraft in zwei Kräfte nach den Richtungen  $CE$ ,  $CE'$ , und schneidet  $B'a = Ba = CE = CE'$  ab, so bringt dieser Widerstand  $p$  auf jeden Arm  $AO$ ,  $A'O'$  in  $B$  und  $B'$  einen Zug  $Ba = B'a$  hervor, welcher neuerdings in  $Bb$  und  $Bc$  an dem einen, und  $B'b'$  und  $B'c'$  an dem andern Arm zerlegt, 4 Kräfte gibt, wovon  $Bb$  und  $B'b'$  von dem Bolzen oder festen Punkte  $A$  aufgehoben, die beiden andern  $Bc$  und  $B'c'$  aber, jede gleich dem Widerstande  $p$  werden (indem z. B. die beiden Dreiecke  $Bac$  und  $CE'D$  einander gleich sind). Reducirt man endlich diese beiden lothrecht wirkenden Kräfte  $p$  von den Punkten  $B$  und  $B'$  auf jene  $O$  und  $O'$ , so hat man nach den statischen Gesetzen auf den Drehungspunct  $A$  bezogen, als

reducirte Kräfte  $p' = \frac{AB}{AF} p$ , und es ist daher gerade so, als ob jede

Kugel durch den Widerstand  $p$  um diesen Theil  $p'$  schwerer geworden wäre, und dadurch das Gewicht  $Q + \frac{AB}{AF} p$  hätte. Es verwandelt sich also

auch die vorige Relation ( $m$ ), wenn man auch gleich für  $F$  seinen Werth setzt, in

$$\frac{Qv^2}{g \cdot CF \left( Q + \frac{AB}{AF} p \right)} = \frac{CF}{AC}.$$

Da aber nicht bei der kleinsten Vergrößerung der normalen oder mittlern Geschwindigkeit  $v$  auch schon eine Bewegung in der Hülse  $N$  eintritt, sondern diese Zunahme an Geschwindigkeit erst einen gewissen Werth erreicht haben muß, bevor die Kugeln wirklich aus einander gehen, so muß man,

wenn man als Grenze dieser Zunahme  $\frac{1}{10} v$  setzt, mithin annimmt, daß  $v$  erst in  $\frac{11}{10} v$  übergehen muß, bevor sich der Regulirungsapparat in Bewegung setzt, und den genannten Widerstand  $p$  überwindet, in der vorigen Gleichung  $\frac{11}{10} v$  statt  $v$  setzen, wodurch man, wenn auch gleich für  $AC$  sein Werth aus Gleich. ( $n$  gesetzt wird,

$$\frac{Q \left(\frac{11}{10} v\right)^2}{g \cdot CF \left(Q + \frac{AB}{AF} p\right)} = \frac{CF \cdot v^2}{g \cdot CF^2},$$

und daraus durch Reduction  $\frac{121}{100} Q = Q + \frac{AB}{AF} p$ , also für das gesuchte Gewicht der Kugeln

$$Q = \frac{100}{21} \frac{AB}{AF} p = 4.76 \frac{AB}{AF} p \dots (1)$$

erhält.

Da man bei Dampfmaschinen gewöhnlich  $\frac{AB}{AF} = \frac{2}{3}$  nimmt, so ist für dieses Verhältniß das Gewicht jeder der beiden Kugeln  $Q = 3.17 p$ .

Wäre z. B.  $p = 5$  Pfund, so würde jede Kugel das Gewicht von 15.9, d. i. von 16 Pfund erhalten müssen.

Die Relation (1 zeigt, daß, wenn das Gewicht  $Q$  eine gewisse Größe nicht übersteigen soll, bei der Zunahme des Widerstandes  $p$  das Verhältniß  $\frac{AB}{AF}$  abnehmen, also  $AF$  gegen  $AB$  zunehmen muß. Aus diesem Grunde ändert man, wenn  $p$  schon etwas bedeutend wird, den Apparat dahin ab, daß man die bewegliche Hülse  $N$ , wie in Fig. 198, an das obere Ende der Spindel und den Drehungspunct  $C$  nach abwärts legt; damit aber der Arm  $CO$  nicht gebogen werde, nimmt man  $CO$  nicht leicht über 3 bis 4  $CB$ .

Was ferner die Stellung oder den Punct  $C$  (Fig. 197) der Hülse  $N$  für die normale Geschwindigkeit  $v$  anbelangt, so läßt sich diese leicht nach dem Satze (§. 158), daß ein einfaches Kreispendel von der Länge  $AC$  doppelt so schnell, d. h. in der halben Zeit schwingt, als das Centrifugalpendel einen Umlauf vollendet, auffinden. Was aber endlich den Widerstand  $p$ , den man im Voraus durch Versuche bestimmen kann, betrifft; so läßt man beim Reguliren einer Schütze den oben erwähnten Hebel  $EF$  nicht unmittelbar auf die Schütze selbst wirken (weil dadurch  $p$  viel zu groß würde), sondern man benützt denselben dann nur zur Ein- und Ausrückung eines Rades, welches in ein zweites, eingreift, und durch dessen Umdrehung die Schütze regulirt wird.

Unter mehreren Anordnungen, welche hierbei möglich sind, ist eine in Fig. 199 angedeutet, deren Wirksamkeit auf Folgendem beruht: Durch die von der regulirenden Maschine kommende Communicationswelle  $N$  wird dem Pendel, und zugleich auch den auf der Spindel  $AD$  befindlichen beiden conischen Rädern  $a$  und  $b$  die rotirende Bewegung auf folgende Weise mitgetheilt: Die mit der Spindel mit umlaufende Klaue  $s$ , welche sich auf

der erstern der Länge nach entweder auf einem vierkantigen Theil der Spindel, oder besser auf einem rund gedrehten, und mit einer Feder (Clavette) und Nuth versehenen Theile auf und ab schieben, aber nicht ohne die Spindel umdrehen, und sich mit jedem dieser beiden Räder  $a$  und  $b$  durch eine der bekannten Kupplungen verbinden, und wieder losmachen läßt, bringt in der gezeichneten Stellung, in welcher das Pendel seine normale Geschwindigkeit haben soll, keines der beiden genannten Kegelräder, da sie auf der runden Spindel nur lose aufgesteckt sind, in Bewegung. Gehen aber die Kugeln durch eine Beschleunigung der Maschine aus einander, hebt sich also die Hülse  $n$ , so zieht sie durch den doppelten Winkelhaken  $x$ , von dessen beiden horizontalen, gabelförmig auslaufenden Armen der eine in die Kehle der Hülse  $n$ , der andere in jene der Klaue  $s$  eingreift, und welcher in dem Kloben eine Führung besitzt, die Klaue  $s$  mit hinauf, diese verbindet sich dadurch mit dem obern Kegelrade  $a$ , und zwingt es, an ihrer rotirenden Bewegung Theil zu nehmen, wodurch dann auch das Kegelrad  $n$  sammt der horizontalen Spindel  $d$  und der darauf angebrachten Schraube ohne Ende  $h$ , welche auf die Schütze wirkt, nach einer solchen Richtung umgedreht wird, dafs sich die Schützenöffnung verkleinert.

Gehen dagegen im entgegengesetzten Falle die Kugeln zurück, so löst sich die Klaue  $s$  aus dem Kegelrade  $a$  aus, welches dadurch stehen bleibt; gehen die Kugeln noch weiter, nämlich unter ihrem Normalstande zusammen, so ergreift die Klaue jetzt das untere Kegelrad  $b$ , welches sofort die Spindel  $D$  mit der Schraube ohne Ende  $h$  in entgegengesetzter Richtung dreht, und dadurch die Schützenöffnung vergrößert.

Anstatt der beiden Kegelräder  $a$  und  $b$  kann man sich auch zweier Riemenscheiben bedienen, welche mit einer dritten, mit der Schütze in Verbindung gebrachten Scheibe durch Riemen ohne Ende, wovon der eine (um die dritte Scheibe nach entgegengesetzten Richtungen drehen zu können) gekreuzt, der andere nicht gekreuzt wird, in Verbindung stehen.

(Eine hieher gehörige Anmerkung siehe in den Zusätzen.)

## Umwandlung oder Transformation der Bewegung.

§. 294. Bei allen in Thätigkeit befindlichen zusammengesetzten Maschinen haben einzelne Bestandtheile die empfangene Bewegung auf die nächstfolgenden entweder ohne, oder mit Änderung ihrer Natur fortzupflanzen oder zu übertragen. Je nach der verschiedenen Art, nach welcher dabei eine Bewegung in die andere verwandelt wird, lassen sich diese einzelnen Bestandtheile oder einfachen Maschinen (welche zusammen die zusammengesetzte ausmachen) systematisch ordnen und zusammenstellen; hier soll nur von jenen Umwandlungen in Kürze die Rede seyn, welche am meisten vorkommen, und in dieser Beziehung

lassen sich vier Hauptbewegungen: erstens die geradlinige continuirliche, zweitens die kreisförmige continuirliche, drittens die hin und her gehende geradlinige, und viertens die hin und her gehende kreisförmige oder oscillirende unterscheiden. Es gibt zwar zur Verwandlung der einen dieser Bewegungen in die andere oft vielerlei Maschinen, wir werden jedoch nur immer eine oder ein paar der vorzüglichsten davon anführen.

**§. 295. Umwandlung der geradlinigen continuirlichen Bewegung in eine ähnliche.** Die Umwandlung oder Transformation dieser Bewegung wird am einfachsten durch Rollen (wie bei Mangen) bewirkt, welche wir bereits im §. 242 erwähnt haben.

**§. 296. Umwandlung der geradlinigen continuirlichen in eine continuirliche Kreisbewegung, und umgekehrt.** Von dieser Transformation der Bewegung bietet uns das Rad an der Welle (§. 99), bei welchem die continuirliche Kreisbewegung der Kurbel (durch Menschenhände umgedreht) in die geradlinige Bewegung der zu hebenden Last verwandelt wird, ein Beispiel dar. Eben so kann umgekehrt das hinabgehende Gewicht als bewegende Kraft dienen, und das Rad oder die Kurbel in drehende Bewegung setzen.

Ein in eine verzahnte Stange oder einen Kammbaum (§. 220) eingreifendes verzahntes Rad bietet ein zweites Beispiel von der Transformation dieser beiden Bewegungen eine in die andere dar; eben so auch die Schraube u. s. w.

**§. 297. Verwandlung der continuirlichen Kreisbewegung in eine ähnliche.** Hierzu bedient man sich der Riemen oder Seile ohne Ende, welche über Scheiben oder Trommeln gelegt werden; um dabei das Gleiten zu verhindern, gibt man den Trommeln und Riemen eine gröfsere Berührungsfläche, wozu auch das Kreuzen der Riemen oder Stricke gehört; die letztern kann man sogar (§. 240) einige Male um die Rollen oder Scheiben herumschlagen. Ist die fortzupflanzende Kraft oder der Widerstand zu bedeutend, so wählt man das allgemeine Auskunftsmittel, die verzahnten Räder (§. 207).

§. 298. **Umwandlung der continuirlichen Kreisbewegung in eine hin und her gehende geradlinige.** In diesem Falle bedient man sich vorzugsweise der Kurbel oder des Krummzapfens  $AC$  (Fig. 200), in dessen Warze  $A$  (§. 188) die Bläuelstange  $AB$ , welche in  $B$  mit dem zwischen Frictionsrollen  $a, a'$  hin und her gehenden Bestandtheil  $BD$  gelenkartig verbunden ist, eingehängt wird, so, daß bei jeder ganzen Umdrehung der Kurbel das Stück  $BD$  eine hin und her gehende Bewegung von der Länge des Durchmessers  $EF$  des Kurbelkreises vollendet.

Der Hauptvorteil dieser Verbindungs- und Bewegungsart besteht wesentlich in dem Umstande, daß der Theil  $BD$  nur allmählig von der Ruhe oder der Geschwindigkeit Null aus auf die größte Geschwindigkeit, und von da an wieder eben so nur allmählig zur Wechslung der Bewegung (wobei die Geschwindigkeit von  $+$  in  $-$  durch Null gehen muß) vermindert und auf Null gebracht wird, folglich (§. 284) weder durch das Gewicht noch durch die Masse des Theiles  $BD$  (so wie auch der Verbindungsstange  $AB$  selbst) ein Verlust an Nutzeffect der Maschine eintritt.

Öfter benützt man, anstatt eine Kurbel anzubringen, ein schon vorhandenes Rad, und befestigt in einer Speiche oder einem Arme desselben, welcher an dieser Stelle etwas verstärkt wird, einen runden Zapfen, welcher als Kurbelwarze zum Einhängen der Bläuelstange dient.

§. 299. Da es bei der im vorigen Paragraphen genannten Bewegungsart auf die Dicke, d. i. die Größe des Durchmessers  $i i'$  der Kurbelwarze nicht ankömmt, so könnte man diesen auch bedeutend, wie z. B. bis  $mm'$  vergrößern, ohne daß das Stück  $BD$  aufhören würde, auf jede halbe Umdrehung der Kurbel einen geradlinigen Weg von der Größe des Durchmessers  $EF$  des Kurbelkreises zurückzulegen.

Wird nun dabei der Durchmesser  $mm'$ , oder wie in Fig. 201,  $ab$  so groß, daß der Kreis über den Mittelpunkt  $C$  des Kurbelkreises hinausgeht, so erhält man die excentrische Scheibe (Excentric); die Bläuelstange besteht in diesem Falle in einem Schubrecken  $BDB'$ , welcher sich mit seinem (aus zwei Hälften zusammen zu schraubenden) Ringe  $DD'$  in einer im Umfange dieser Scheibe eingedrehten Kehle leicht, jedoch ohne zu schlottern, herum drehen läßt. Da die kreisrunde Scheibe  $DD'$  excentrisch auf der Achse  $C$  befestigt ist, so wird bei jeder ganzen Umdrehung dieser Scheibe der Schubrecken eben so, wie vorhin (in Fig. 200) die Bläuelstange eine auf und ab,

oder (wie bei Dampfmaschinen zur Steuerung der Dampfschieber) hin und her gehende Bewegung erhalten, und sowohl für den Hin- als für den Hergang einen Weg  $= 2AC$  zurücklegen.

Anmerkung. Obschon die GröÙe der hin und her gehenden Bewegung bei der excentrischen Scheibe lediglich von dem Abstände ihres Mittelpunctes  $A$  von der Umdrehungsachse  $C$ , womit diese fest verbunden ist, und keineswegs von der GröÙe der Scheibe selbst abhängt; so hat diese letztere gleichwohl auf die GröÙe der durch die am Umfange derselben entstehende Reibung absorbirten Arbeit oder des verlorenen Nutzeffectes einen wesentlichen Einfluß. Denn ist  $P$  die durch die Schubstange ausgeübte Kraft, also der dadurch zu überwindende Widerstand eben so groß, der Abstand  $AC = r$ , folglich der ganze bei einem Hin- und Hergang zurückgelegte geradlinige Weg der Stange oder des Rechens, während einer Umdrehung der Scheibe  $= 4r$ , so ist sofort die Arbeit dieser Schubstange während dieser Umdrehung  $= 4rP$ . Der Betrag der am Umfange der Scheibe Statt findenden Reibung ist  $= fP$ , wenn  $f$  den Reibungscoefficienten bezeichnet, und da dieser während einer Umdrehung der Scheibe, deren Halbmesser (bis zur Kehle)  $= R$  seyn soll, auf die Länge des Weges  $2R\pi$  Statt findet (indem man annimmt, daß sich die Stange ziemlich nahe mit sich selbst parallel hin und her bewegt), so ist die Arbeit der Reibung während einer Umdrehung  $= 2R\pi fP$ , so, daß also der Bruch  $\frac{2R\pi fP}{4rP} = 1.57f \frac{R}{r}$  das Verhältniß zwischen dem Nutzeffect

und der gleichzeitig von der Reibung absorbirten Arbeit angibt; ist z. B.  $f = \frac{1}{8}$  und  $R = 6r$ , so wird dieses Verhältniß wie  $1 : 1.18$ , so, daß also die Arbeit der Reibung schon größer als der Nutzeffect ist, und bei einer Zunahme von  $R$  noch weiter zunehmen muß. Aus diesem Grunde soll man sich der excentrischen Scheibe nur bedienen, wenn der zu überwindende Widerstand  $P$  nicht sehr bedeutend ist.

Übrigens können die Excentrica, besonders wenn sie als WellfüÙe oder Hebeköpfe benützt werden, auch von andern Curven als dem Kreise begrenzt seyn, was besonders von der Bedingung abhängt, welche man an die Bewegungsart des Stückes  $BD$  (Fig. 200) knüpft; so benützt man in manchen Fällen die Herzlinie, in andern, wie wir bereits bei den Hebköpfen der Stampfwerke (§. 221) gesehen haben, die Kreisevolvente, noch in andern Fällen, wie bei der Bewegung von Blasbälgen, Blehscheren, Nietmaschinen u. s. w. wieder andere eigens hierzu construirte und mit einander combinirte krumme Linien.

§. 300. **Umwandlung der continuirlichen in die oscillirende Kreisbewegung.** Auch in diesem Falle verdient unter allen Anordnungen die Kurbel den Vorzug. Um nämlich den um  $O$  (Fig. 202) drehbaren oder oscillirenden Wagbaum (Balancier)  $BD$  durch die rotirende oder continuirliche Kreisbewegung der Welle

oder Achse  $C$  in Bewegung zu setzen, befestigt man auf dieser Achse  $C$  eine Kurbel  $CA$ , und verbindet ihre Warze mit dem Endpunkte  $B$  des Balanciers gelenkartig durch eine Bläuelstange  $AB$ ; dadurch wird bei jeder ganzen Umdrehung der Welle  $C$  der Balancier  $BD$  zwei Schwingungen machen.

Dieselbe Combination der Kurbel, Bläuelstange und des Wagbaumes kommt z. B. auch bei dem mit einem Fußtritte versehenen Schleifsteine, dem Spinnrade, der Drehbank u. s. w. vor, wobei der Tritt (das Pedal) den Balancier ersetzt, und wobei also gerade die umgekehrte Verwandlung, nämlich die oscillirende in die rotirende Bewegung Statt findet.

**§. 301. Verwandlung der kreisförmig oscillirenden in eine kreisförmig continuirliche Bewegung.** Außer der vorigen Combination des Balanciers, der Bläuelstange und der Kurbel, dient in diesem Falle auch noch besonders ein in einem um  $O$  (Fig. 203) drehbaren Hebel  $AB$  bei  $c$  eingehängter Schiebhaaken  $ra$ , welcher in die sägartig gebildeten Zähne eines eisernen, um die Achse  $C$  drehbaren Rades eingreift, und so bei jeder Oscillation oder Auf- und Abbewegung des Hebels, das Rad um einen Zahn fortschiebt; um zu verhindern, daß beim Zurückgehen oder Aufheben des Schiebhaakens nicht auch das Rad  $CA$  zurückgehe, bringt man noch einen sogenannten Sperrkegel  $N$  an.

Da aber bei dieser Anordnung die Bewegung nur ruckweise Statt findet, so bringt man, um diese continuirlicher zu machen, öfter auch zwei solche Schiebhaaken, und zwar (Fig. 204) in der Art an, daß immer der eine wirksam ist, während der andere leer zurückgeht.

Anmerkung. Man sieht von selbst, daß durch dieses System keine continuirliche, sondern nur eine intermittirende und (wodurch es eben fehlerhaft ist) stoßweise Kreisbewegung erzeugt wird. Die Anwendung desselben kann daher nur dort, wo eine ähnliche Bewegung, wie z. B. bei den Sägemühlen, wo man sich eines solchen Schieb- oder Stoßrades zur Fortführung des mit den zu sägenden Holzblöcken versehenen Wagens bedient, gerechtfertigt werden, wo diese ruckweise Bewegung gerade nothwendig und gleichsam vorgezeichnet, und außerdem der dadurch zu überwindende Widerstand nicht sehr bedeutend ist.

**§. 302. Verwandlung der geradlinigen hin und her gehenden Bewegung in eine oscillirende Kreisbewegung und umgekehrt.** Das beste in diesen beiden Fällen anzuwendende System ist das von Watt angegebene, welcher sich desselben bei seiner Dampfmaschine bediente, um die auf und ab

gehende geradlinige Bewegung des Kolbens in eine continuirliche rotirende zu verwandeln, wodurch er eben seine Maschine für alle möglichen industriellen Zwecke anwendbar machte.

Ist  $DB$  (Fig. 202) der um  $O$  oscillirende Balancier, und sollte dieser seine Bewegung durch die in  $D$  eingehängte Kolbenstange  $DE$  erhalten, so würde, da der Punct  $D$  bei diesen Oscillationen einen Kreisbogen vom Halbmesser  $OD$  beschreibt, die Kolbenstange  $DE$  von der verticalen Richtung abgelenket, und die bei Dampfmaschinen (bei welchen die Kolbenstange durch eine dicht schließende Stopfbüchse gehen muß) so nothwendige genaue Bewegung in einer geraden Linie unmöglich werden. Watt erfand nun zur Beseitigung dieser Unzukömmlichkeit das sogenannte articulirte Parallelogramm, welches daher auch das Watt'sche heißt, und im Wesentlichen in Folgendem besteht.

**§. 303. Watt'sches Parallelogramm.** Ist  $AO$  (Fig. 205) die halbe Länge des um  $O$  schwingenden Balanciers, und sind  $AO$ ,  $A'O$ ,  $A''O$  die höchste, mittlere und tiefste Stellung desselben, wobei die mittlere  $A'O$  horizontal genommen wird, so verbindet man damit das articulirte Parallelogramm  $ac$ , dessen Seiten in den Winkelpuncten  $A$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$  drehbar oder beweglich sind, ferner verbindet man mit dem Puncte  $a$  die Kolbenstange, welche in der verticalen Linie  $DE$  auf und ab gehen soll. Damit nun dieser Punct  $a$  auch in den beiden andern der genannten Stellungen  $A'O$  und  $A''O$  des Balanciers in dieser Geraden  $DE$  bleiben, und die Lage  $a'$  und  $a''$  annehmen kann, so muß der Punct  $b$ , welcher in den beiden eben genannten Stellungen nach  $b'$  und  $b''$  kommt, einen Kreisbogen beschreiben, dessen Mittelpunct  $C$  gefunden wird, wenn man nach der bekannten Methode durch die drei Puncte  $b$ ,  $b'$ ,  $b''$  (die man erhält, indem man in den drei genannten Lagen des Balanciers das Parallelogramm  $ac$  construirt, und dabei die Puncte  $a$ ,  $a'$ ,  $a''$  in der Geraden  $DE$  annimmt) einen Kreis zieht, wovon der Mittelpunct  $C$  sofort in der durch  $b'$  mit  $A'O$  geführten Parallelen liegt, und mit dem gesuchten zusammenfällt.

Wird also der Punct  $b$  des Parallelogramms mit einer um  $C$  drehbaren Stange  $Cb$  verbunden, so beschreibt der Punct  $a$  bei der oscillirenden Bewegung des Balanciers ziemlich genau die gerade Linie  $DE$ , und es findet nur in den Zwischenpuncten oder Intervallen  $aa'$  und  $a'a''$ , wie es die Fig. 205,  $a$  zeigt, eine kleine Abweichung nach rechts und links Statt, welche jedoch bei einer zweckmäßigen Construction im

Maximum so gering ist, dafs  $mn$  nicht mehr als  $\frac{1}{10}$  bis  $\frac{1.5}{100}$  Zoll beträgt.

Um aber diese Abweichung wirklich so klein zu machen, hat man bei dieser angegebenen Construction noch Folgendes zu beobachten: erstens soll die gerade Linie  $DE$ , in welcher sich die Kolbenstange bewegen soll, den Abstand  $A'B$  (Fig. 205, *b*) des Punctes  $A'$  von der Sehne  $AA''$  halbiren, also  $A'c = cB$  seyn; zweitens soll  $AO$  wenigstens  $1\frac{1}{2}$  Mal so lang als diese Sehne  $AA''$ , welche sehr nahe dem Kolbenhub gleich ist, seyn; drittens wählt man die Seite  $Aa$  des Parallelogrammes so, dafs der Befestigungspunct  $a$  mit der Kolbenstange bei der höchsten Stellung  $AO$  des Balanciers in die horizontale  $A'O$ , nämlich nach  $r$  fällt (was in der Zeichnung Fig. 205 absichtlich nicht beobachtet ist), und endlich viertens soll die mittlere Stellung des Balanciers in dieser eben genannten horizontalen Linie liegen, durch diese also der Winkel  $AOA''$  der höchsten und niedrigsten Stellung halbirt werden.

Was die Länge der Seite  $AC$  betrifft, so ist diese willkürlich, und hängt davon ab, ob man den Punct  $C$  weiter oder näher gegen  $DE$  erhalten will, denn die Gegenlenkstange  $Cb$  wird um so kürzer, je näher die Seite  $bc$  gegen den Mittelpunkt  $O$  liegt, was oft dort, wo man an Raum sparen mufs, zu berücksichtigen kommt.

Übrigens ist der Punct  $a$  des Parallelogramms nicht der einzige Punct, welcher eine gerade Linie beschreibt, sondern es geht dabei auch der Durchschnitt  $d$  der Horizontalen  $A'O$  mit der Seite  $Cb$  (Fig. 206), (welcher bei der höchsten Stellung des Balanciers entsteht) in einer geraden Linie auf und ab, die mit der vorigen  $DE$  parallel ist, so, dafs man auch in den Punct  $d$  eine Kolbenstange einhängen kann, wenn sich diese ebenfalls in gerader Linie bewegen soll.

Den Drehungspunct  $C$  (Fig. 207) für die Lenkstange  $Cb$  findet man einfach durch folgende Construction. Sind  $AO$ ,  $A'O$ ,  $A''O$  wieder die drei Stellungen des um  $O$  oscillirenden Balanciers, ist  $DE$  die Gerade, nach welcher sich die Kolbenstange bewegen soll, und ist  $Ab$  die beizubehaltende Seite des Parallelogrammes, die man beliebig wählen kann, und  $a$  der Einhängpunct der Kolbenstange; so durchschneide man die Gerade  $DE$  aus den Puncten  $A'$  und  $A''$  mit dem Halbmesser  $Ad$ , wodurch man die Puncte  $d'$ ,  $d''$  erhält, in welchen sich der Punct  $d$  in den beiden übrigen Stellungen des Balanciers befindet; zieht man ferner die Geraden  $A'a'$  und  $A''a''$ , und macht die Verlängerungen  $a'd' = a''d'' = db$ , so erhält man die Puncte  $b'$  und  $b''$ , in welchen sich in diesen beiden letztgenannten Lagen des Balanciers der Punct  $b$  befindet; legt man endlich durch diese drei Puncte  $b$ ,  $b'$ ,  $b''$  einen Kreisbogen, so fällt dessen Mittelpunkt mit dem gesuchten Puncte  $C$  zusammen.

Man läfst auch öfter die drei Seiten  $ab$ ,  $ae$ ,  $ec$  (Fig. 208) des Parallelogrammes weg, und behält davon blofs die eine Seite  $bc$  mit einem Gegenlenker  $Cb$  bei. Um in diesem Falle den Mittelpunkt oder die Achse  $C$  dieser Lenkstange zu finden, wird man, wenn  $AO$ ,  $A'O$ ,  $A''O$  (Fig. 208, *a*)

wieder die drei genannten Stellungen des um  $O$  schwingenden Balanciers sind, und die Länge  $Ab$  ( $= cb$  in Fig. 208), so wie der Einhängpunkt  $d$  der Kolbenstange gegeben sind, um zuerst die beiden andern (den Stellungen  $A'O$ ,  $A''O$  entsprechenden) Positionen  $b'$ ,  $b''$  des Punctes  $b$  zu finden, aus  $A'$  und  $A''$  mit dem Halbmesser  $Ad$  die durch  $d$  gehende Verticallinie  $de$  in den Puncten  $d'$  und  $d''$  (die zwei übrigen Lagen des Punctes  $d$ ) durchschneiden, die Geraden  $A'd'$ ,  $A''d''$  ziehen, und ihre Verlängerungen  $d's' = d''b'' = db$  machen, und dann, nachdem diese Puncte gefunden sind, durch die drei Puncte  $b$ ,  $b'$ ,  $b''$  einen Kreisbogen ziehen, dessen Mittelpunct  $C$  sofort der gesuchte Schwingungspunct für den Gegenlenker  $Cb$  ist.

§. 304. In manchen Fällen benützt man eine um eine Achse  $C$  drehbare Stütze  $OC$  (Fig. 209), auf welcher das Lager für die Achse  $O$  des Balanciers  $AB$  liegt, hängt, wenn  $AO$  die höchste,  $A'O$  die mittlere (horizontale) und  $A''O$  die niedrigste Stellung des Balanciers und  $DE$  wieder die Gerade ist, in welcher die Kolbenstange auf und ab gehen soll, diese letztere in den Punct  $A$  ein, und bringt eine Lenkstange  $cb$  (die natürlich wieder doppelt seyn muß, damit der Balancier davon gabelförmig umfaßt werde) an, welche sich in den Puncten  $c$  und  $b$ , wobei  $Ab = bc$  ist, drehen kann.

Zur Bestimmung des Drehungspunctes  $C$  der Stütze darf man nur auf der horizontalen  $A'O$  mit dem Halbmesser  $AO$  aus  $A'$  den Punct  $a$  abschneiden, d. i.  $A'a = AO$  machen, und aus den beiden Puncten  $O$  und  $a$  mit einer beliebigen Entfernung (die übrigens durch andere Umstände bedingt seyn kann)  $OC = aC$  Kreisbögen beschreiben, wodurch sich dieser Punct  $C$  ergibt; je größer man dabei diese Entfernung  $OC$  machen kann, desto genauer wird die Kolbenstange, welche jedenfalls mit dieser Geraden die drei Puncte  $A$ ,  $A'$ ,  $A''$  gemein hat, in der Geraden  $DE$  auf und ab gehen. Kann man  $OC$  nicht lang genug machen, so muß man wenigstens  $AO$  vergrößern, um die Winkel  $AOA' = A'OA''$  zu verkleinern.

Endlich bringt man bei kleinen Druckpumpen, wie sie z. B. bei hydraulischen Pressen vorkommen, und wobei der Kolbenhub nur gering ist, den um  $O$  oscillirenden Druckhebel  $AO$  (Fig. 210) mittelst eines gabelförmigen Gelenkes  $ac$ , wovon der Drehungspunct  $a$  in dem Bügel des Kolbens liegt, und  $c$  den Einhängpunct des Hebels bildet, mit der Kolbenstange, welche oben durch eine cylinderische Fortsetzung in einer Hülse geführt wird, in Verbindung, und bewirkt dadurch mit hinlänglicher Genauigkeit die geradlinige Bewegung des Kolbens.