

§. 188. **Schwungräder.** Die Maschinen können sich entweder in einem gleichförmigen oder in einem ungleichförmigen Beharrungszustande befinden. Der gleichförmige Beharrungszustand einer Maschine kann nur bei einer stetigen, und insbesondere bei der stetig kreisförmigen Bewegung vorkommen, und zwar nur dann, wenn sowohl das Moment der Kraft als auch das der Last während der Bewegung unveränderlich ist. Es kommt daher auch dieser Bewegungszustand vorzüglich bei den Radmaschinen und zwar bei den Wasserrädern vor. Ein ungleichförmiger Beharrungszustand tritt dagegen bei allen Maschinen mit absetzender Bewegung ein, weil diese innerhalb kurzer Zeitabschnitte aus der Ruhe in Bewegung und aus der Bewegung in Ruhe übergehen, und daher bald verzögert, bald beschleunigt werden müssen. In diesem Bewegungszustande befinden sich alle Kolbenmaschinen, seien es Wasserfäulenmaschinen oder Dampfmaschinen, wegen der geradlinig absetzenden Bewegung des Treibkolbens. Ist die Kolbenkraft überdies noch variabel, wie z. B. bei den Expansionsdampfmaschinen, so fällt natürlich die Bewegung um so ungleichförmiger aus. Es hängt aber der Bewegungszustand nicht allein von der Kraft- oder Umtriebsmaschine, sondern ebenso gut auch von der Last- oder Arbeitsmaschine ab. Ist die Arbeitsverrichtung einer Maschine mit einer absetzenden, z. B. auf- und niedergehenden, Bewegung verbunden, so hat natürlich auch die ganze Maschine einen ungleichförmigen Beharrungszustand. Ein Pumpwerk oder ein gewöhnliches Sägegatter z. B. befindet sich, selbst wenn es durch ein Wasserrad in Bewegung gesetzt wird, aus diesem Grunde stets in einem ungleichförmigen Bewegungszustande. Auch dann, wenn die Arbeitsmaschine eine stetige Bewegung besitzt, ist der Beharrungszustand derselben ein ungleichförmiger, sobald das Lastmoment derselben veränderlich ist oder wohl gar intermittirend wirkt. In diesem Falle kann natürlich kein statisches Gleichgewicht zwischen der Kraft und Last stattfinden, sondern es muß bald die Kraft bald die Last überwiegen, und daher auch die Maschine bald beschleunigt bald verzögert umlaufen. Es kann deshalb bei den Poch-, Hammer- und Walzwerken nur von einem ungleichförmigen Bewegungszustande die Rede sein. Ein Walzwerk nimmt z. B. während des Walzens eine verzögerte Bewegung an, und wird dagegen wieder beschleunigt, sobald das Metall durch die Walzen gelaufen ist und diese leer umgehen.

Dem Vorstehenden gemäß lassen sich folgende Fälle, in welchen eine Maschine einen ungleichförmigen Bewegungszustand annimmt, angeben:

- 1) Die Kraftmaschine wirkt stets kreisförmig und die Lastmaschine oder der Arbeitsmechanismus hat eine absetzende Bewegung, und zwar meist in der geraden Linie (Radkunst).

- 2) Die Kraftmaschine wirkt absehend in der geraden Linie und die Arbeitsmaschine hat eine stetige Bewegung, und zwar meist im Kreise (Dampfgöpel).
- 3) Beide Maschinen bewegen sich stetig kreisförmig, es ist aber das Moment der Kraft oder Last, und zwar in der Regel das der letzteren, veränderlich (Radwalzwerk).
- 4) Sowohl die Kraft- als auch die Arbeitsmaschine bewegen sich absehend, und zwar in der Regel geradlinig absehend (Dampfkunst).

Auf welche Weise auch eine Maschine in Bewegung gesetzt werde und ihre Arbeit verrichten möge, immer ist doch zu verlangen, daß

- 1) diejenigen Mechanismen, welche eine stetige (Kreis-) Bewegung haben, möglichst gleichförmig umlaufen, und daß
- 2) diejenigen Mechanismen, welche sich absehend (geradlinig) bewegen, bei jedem Spiele allmählig und ohne Stöße aus der Ruhe in Bewegung und ebenso mit stetig abnehmender Geschwindigkeit aus der Bewegung in Ruhe übergehen.

Da eine rotirende Umtriebsmaschine nur bei einer gewissen Umdrehungsgeschwindigkeit vortheilhaft arbeitet, so würde sie folglich weniger leisten, wenn sie bald langsamer, bald schneller umliefe. Hätten wir es z. B. mit einem oberflächlichen Wasserrade zu thun, so würden sich hierbei manche Zellen nur wenig und andere übermäßig mit Wasser anfüllen, und sich daher auch zu zeitig ausgießen, wodurch dem Rade Arbeit entzogen werden würde. Ebenso ist es auch bei den rotirenden Arbeitsmaschinen; auch diese arbeiten nur bei einer gewissen Geschwindigkeit mit Vortheil, und verlieren daher an Leistung oder liefern wohl gar ein schlechtes Arbeitsproduct, wenn die Umdrehungsgeschwindigkeit in einem hohen Grade veränderlich ist. Nicht minder nöthig ist es ferner, daß eine auf- und nieder- oder hin- und hergehende Maschine, und zwar sowohl Kraft- als Arbeitsmaschine, bei jedem Spiele mit allmählig wachsender Geschwindigkeit aus der Ruhe in Bewegung und mit allmählig abnehmender Geschwindigkeit aus der Bewegung in Ruhe übergehe, außerdem aber keinen größeren Geschwindigkeitsveränderungen unterworfen sei. Die mit plötzlichen Geschwindigkeitsveränderungen verbundenen Stöße verursachen nicht allein Verluste in der Leistung der Maschinen, sondern führen auch ein starkes Abnutzen und baldiges Zerstoren der Maschine herbei, und wenn die Geschwindigkeit der Maschine innerhalb eines Spieles großen Veränderungen unterworfen ist, so fallen auch die Nebenhindernisse, und insbesondere die hydraulischen Widerstände und andere Verluste, größer aus, als wenn sich die Geschwindigkeit von ihrem mittleren Werthe nicht sehr entfernt.

Das vorzüglichste Mittel zur Erzielung eines möglichst gleichförmigen Ganges besteht in der Vermehrung der Massen und zwar insbesondere der

rotirenden Masse. Da die Beschleunigung  $p = \frac{P}{M}$  einer Bewegung, direct wie die Kraft  $P$  und umgekehrt wie die Masse  $M$  wächst, so muß natürlich ein gewisser Ueberschuß an Kraft oder Last in einer gewissen Zeit einen um so größeren Geschwindigkeitszuwachs oder eine um so größere Geschwindigkeitsabnahme hervorbringen, je kleiner die Masse  $M$  der Maschine ist. Wäre die Masse einer Maschine sehr klein, so würde sie vielleicht gar keinen Beharrungszustand annehmen können; eine vielleicht nur mäßige Ueberwucht würde ihr schon in einer kurzen Zeit eine übermäßige Geschwindigkeit beibringen und ein mäßiger Ueberschuß des Lastmomentes über das Kraftmoment würde der Maschine vielleicht in wenigen Augenblicken ihre lebendige Kraft vollständig entziehen, d. h. sie ganz in Ruhe versetzen. Es ist also nöthig, daß eine Maschine eine gewisse Masse besitze, und daß dieselbe um so größer sei, je regelmäßiger und gleichförmiger sich dieselbe bewegen soll.

Schon die Theorie der Krummzapfenbewegung ergab, daß sich die Umdrehung eines Krummzapfens der Gleichförmigkeit um so mehr nähert, je größer die Massen und zumal die rotirenden Massen desselben sind.

In manchen Fällen besitzt eine Maschine schon an und für sich eine so große Masse oder ein so großes Trägheitsmoment, daß die Umdrehungsgeschwindigkeit derselben nur innerhalb enger Grenzen variiert, also der Grad der Ungleichförmigkeit (s. §. 145), wie erwünscht, nur sehr klein ist, in anderen Fällen ist es hingegen nöthig, die Umdrehungsmasse einer Maschine zu vergrößern, um die Ungleichförmigkeit derselben bis auf einen gewissen Grad herabzuziehen. Solche bloß zum Herabziehen der Ungleichförmigkeit des Bewegungszustandes einer Maschine dienenden rotirenden Massen erhalten die Form eines Rades und heißen deshalb Schwungräder. Schwungräder sind also sehr wichtige Theile der Maschinen mit ungleichförmigem Beharrungszustande, ohne welche diese Maschinen die ihnen zukommenden Arbeiten vielleicht gar nicht oder wenigstens sehr unvollkommen verrichten würden. Hohe und schnell umlaufende Wasserräder, sowie große Trommeln und Zahnräder, schnell umlaufende Mühl- und Schleifsteine zc. wirken natürlich ganz wie Schwungräder und vertreten daher auch sehr oft die Stelle derselben. So würden z. B. Sägemühlen, Pumpenwerke zc. zu ihrer regelmäßigen Arbeitsverrichtung ein Schwungrad nöthig haben, wenn sie nicht durch Wasserräder in Bewegung gesetzt würden, die durch ihre Trägheit ebenso wie die Schwungräder, trotz der hier vorkommenden großen Veränderlichkeit des Lastmomentes, die Geschwindigkeitsveränderungen in engen Grenzen erhalten.

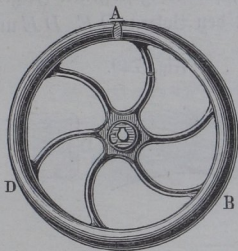
§. 189. Die Schwungräder sind in der Regel aus Gußeisen und bestehen:

- 1) aus dem Schwungringe oder der eigentlichen Schwungrmasse,
- 2) aus den Radarmen und

3) aus der Nabe oder dem Wellkranze, womit das Schwungrad auf der Welle festsetzt.

Ein kleines aus dem Ganzen gegossenes Schwungrad ist in Fig. 746 abgebildet. *ABD* ist der Schwungring, *C* die Radhülse oder Nabe und *BC*, *DC* zc. sind die Radarme. Man giebt diesen

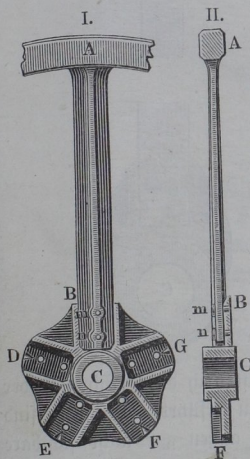
Fig. 746.



Rädern gern gekrümmte Arme, damit sich dieselben beim Erkalten nach dem Gusse nicht von dem Ringe lostrennen oder eine nachtheilige Spannung erhalten. Um den Luftwiderstand möglichst herabzuziehen, rundet man nicht allein die Arme, sondern auch den Kranz ab, oder giebt beiden Stücken elliptische Querschnitte. Größere Schwungräder gießt man, um die Nachtheile des ungleichen Erkalten nach dem Gusse zu umgehen, in zwei Stücken, nämlich

die Rosette getrennt von dem Schwungringe mit seinen Armen. In Fig. 747 ist ein Theil eines solchen Schwungrades, und zwar in der vorderen Ansicht (I) und im Querschnitte (II) abgebildet. *A* ist ein Stück des Schwungringes, *AB* ein Radarm und *BDEFG* die Rosette mit ihrem Auge *C*.

Fig. 747.



Es ist der Armkranz oder die Rosette zur Aufnahme von fünf Armenden eingerichtet, und die Befestigung dieser Theile mit der Rosette durch je zwei Schraubenbolzen *m*, *n* bewerkstelligt. Man kann aber auch den Wellkranz mit den Armen aus dem Ganzen machen und den Schwungring besonders gießen.

Große Schwungringe von 5 Meter Höhe werden fast immer aus mehreren Stücken zusammengesetzt. Man kann hierbei jede Felge oder jedes Ringstück mit einem Arme aus dem Ganzen gießen, oder man kann die Arme mit dem Wellkranze ein Ganzes bilden lassen, oder endlich, und dies ist besonders bei sehr hohen Rädern nöthig, auch die Radarme einzeln gießen und dieselben durch Bolzen, Splinte zc. sowohl mit dem Rad- als auch mit dem Wellkranze verbinden. Die Verbindung der Felgen

eines Schwungringes unter einander läßt sich durch Ueberplattung und mittelst Schraubenbolzen bewerkstelligen; man kann aber auch die Felgenenden stumpf an einander anstoßen, und auf dieselben schwalbenschwanzförmige Platten aus Schmiedeeisen aufbolzen, oder die zu diesem Zwecke hohlgegoßenen

Enden der Felgen mit Stücken aus Schmiedeeisen ausfüllen, und dieselben durch Splinte mit den Felgen fest verbinden. Eine Felgenverbindung der ersten Art zeigt Fig. 748. *A* und *B* sind übereinandergeplattete Felgenenden, *DD* und *EE* die durchgezogenen Schraubenbolzen und *FF* und *GG* die eingelegten Federn. Die zweite Verbindungsweise ist aus Fig. 749 zu ersehen; *A* und *B* sind die beiden stumpf zusammengestoßenen Felgenenden, *DD* und *EE* die eingelegten Platten mit den Bolzen *DE*, *DE* und

Fig. 748.

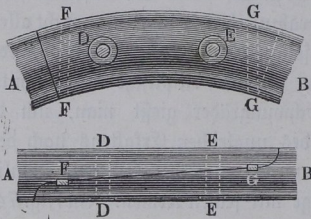


Fig. 749.

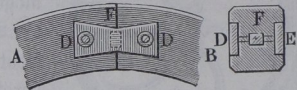


Fig. 750.

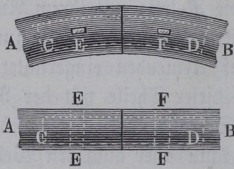


Fig. 752.

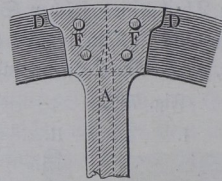
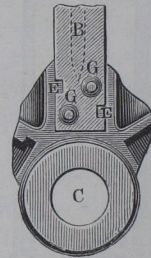
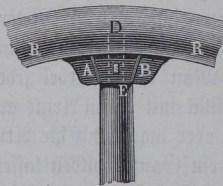


Fig. 751.



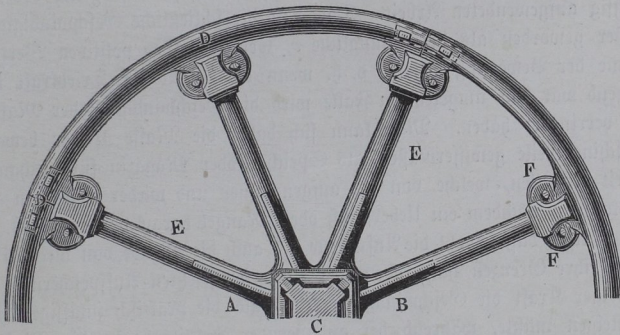
einer zwischenliegenden Feder *F*. In Fig. 750 ist noch die Verbindung der Kranzfelgen durch eingefeste Schienen vor Augen geführt; *A* und *B* sind die Felgenenden, *CD* ist die eingefeste Schiene, und von außen gar nicht sichtbare Schiene, *E* und *F* sind eingeschobene Keile, wodurch die Endflächen der Felgen fest an einander getrieben werden können.

Die Verbindung des Radkranzes mit den Armen erfolgt am einfachsten durch Schwalbenschwänze, in welche man die Armenden auslaufen läßt, und welche man in entsprechenden Ausschnitten am inneren Radumfang verkeilt.

Setzt man überdies noch einen radiallaufenden Splint *DE*, Fig. 751, ein, so wird die Verbindung des Schwalbenschwanzes *AB* mit dem Radkranze *R* noch besonders verstärkt. Statt der Schwalbenschwänze wendet man auch wohl bloße Nasen oder Vorsprünge an, wie z. B. aus der Fig. 752 zu ersehen ist, welche überdies noch die Verbindung der Arme mit dem Wellkranze zeigt. Es ist *AB* der abgebrochen gezeichnete Arm, und es sind *DD* die Nasen im Radkranze und *EE* in der Rosette, *FF* ... und *GG* ... Bolzen, wodurch die Armenden gegen ihre Lagerungsflächen gedrückt werden.

Die Verbindungsstellen der Radfelgen liegen entweder zwischen den Verbindungsstellen mit den Radarmen, oder sie fallen mit diesen zusammen. Die letztere Anordnung zeigt Fig. 753. Die Arme des hier abgebildeten Rades bilden mit dem auf der Welle *C* aufgefickten Wellkranze *AB* ein

Fig. 753.



Ganzen; und sind dagegen mit dem Radkranze durch Schwalbenschwänze *D* und Schraubenbolzen *FF* verbunden.

Wenn die Welle, worauf das Schwungrad sitzt, zur Ausgleichung der Gewichte ein Gegengewicht erfordert, so wird dieses mit dem Schwungrade verbunden, indem man an der dem Schwerpunkte des auszugleichenden Gewichtes gegenüber liegenden Stelle ein Stück Blei anbringt, wozu man gleich beim Gusse des Ringes eine Höhlung am inneren Umfange desselben aussparen kann.

**Wirkung der Schwungräder.** Die Wirkung von Schwungrädern §. 190. hat man sich folgenderart vorzustellen. Wenn in einer Maschine irgend welcher Art die von der treibenden Kraft in einem gewissen kleinen Zeittheile verrichtete mechanische Arbeit genau denselben Betrag hat, wie die gleichzeitige Arbeit aller nutzbaren und schädlichen Widerstände zusammen, so wird in dieser Zeit die Geschwindigkeit der Maschine unverändert bleiben. Ist