erspart man schon den Rost und die massiven Fundamente. Bei der Anlage einer Radstube muß besonders darauf gesehen werden, daß sie so geräumig sei, um in ihr alle Arbeiten und Reparaturen vornehmen und nöthigen Falls auch das an den Rädern und Wänden festsitzende Eis abeisen und herauswerfen zu können, weshalb die Wände mit Thüren und Oeffnungen versehen sein müssen, damit auch für die Helligkeit und Bequemlichkeit möglichst gesorgt sei. Ganz besonders ist dies an denjenigen Stellen der Wand nothwendig, wo das Angewelle der Wasserradswelle liegt, um die Zapfen gehörig in Schmiere zu erhalten und, im Falle sie lose werden, gehörig festkeilen zu können. Eben so muß auf die nöthigen Oeffnungen Rücksicht genommen werden, um andere Reparaturen vornehmen zu können, oder auch Räder und Wellen hinein und heraus zu bringen.

Von den Kräften.

44. Die Kräfte, durch welche bei Maschinen die Bewegung hervorgebracht wird, sind entweder lebende oder leblose. Zu den ersteren gehören Menschen und Thiere, zu den anderen zählt man das Gewicht, die Feder, das Wasser, den Dampf und den Wind. Menschen und Thiere können entweder durch ihre eigene, angeborene Kraft, oder durch ihre Schwere wirken.

45. Ein Mensch kann durch seine Schwere und Kraft in einer senkrechten Richtung mit einem Seile, welches über eine Rolle läuft, eine Last von 80 bis 100 Pfunden einige Zeit im Gleichgewicht erhalten. Sollte hingegen ein Mensch eine Last an einem Seile in einer waagerechten Richtung fortziehen, so wird er nur 25 Pfund in Bewegung setzen können, wenn diese Bewegung einige Stunden dauern und eine Geschwindigkeit von 100 Fuß in der Minute haben soll. Wird nun diese Geschwindigkeit mit der obigen Kraft von 25 Pfunden multiplicirt, so erhält man $25 \cdot 100 = 2500$ zum Moment der Kraft für den Menschen. Da sich Kraft und Last das Gleichgewicht halten sollen, so muß auch das Moment der Last 2500 betragen. Setzt

man die Last $= L$, die Geschwindigkeit $= G$, so hat man $G . L = 2500$; aus dieser Gleichung kann man die Geschwindigkeit sowohl als auch die Last mit Leichtigkeit finden, wenn nur eines von den beiden bekannt ist. — Hätte man z. B. eine Last von 50 Pfund, und man wollte wissen, mit welcher Geschwindigkeit ein Mensch sie überwältigen würde, so hat man $G . 50 = 2500$, und $G = \frac{2500}{50} = 50$ Fuß in einer Minute.

46. Die Thiere hingegen haben eine größere Stärke und auch eine längere Ausdauer als der Mensch, daher sind sie auch zur Fortsetzung einer stärkeren Bewegung brauchbarer. Die Kraft eines Pferdes, welches eine Last in horizontaler Richtung zieht, schätzt man 7 bis 8 Mal größer als die eines Menschen, also $25 . 7 = 175$, bis $25 . 8 = 200$ Pfund, welche ein Pferd mit einer Geschwindigkeit von 3 bis 4 Fuß in einer Sekunde überwältigen kann; woraus

$175 . 3 = 525$ oder
$200 . 3 = 600$ oder
$175 . 4 = 700$ oder auch
$200 . 4 = 800$

als das Moment der Kraft oder Last für ein Pferd entsteht.

Man hat also hier wieder: $G . L = 525$ u. s. w., woraus sowohl die Geschwindigkeit als auch die Last gefunden werden kann, sobald eines von beiden gegeben ist.

Soll ein Pferd eine kreisförmige Bewegung machen, wie dies z. B. bei Roßmühlen der Fall ist, so verliert es auch einen Theil seiner Kraft, und dann um so mehr, wenn der Kreis etwas klein angenommen wird. Der Durchmesser eines solchen Kreises soll daher nach der Erfahrung nie kleiner als 36 Fuß sein, damit sich das Pferd nicht so schnell wenden muß und seine Kraft um so besser gebrauchen kann.

47. Die Kräfte von Federn und Gewichten kommen bei solchen Maschinen vor, die keine starke Bewegung, sondern nur eine bestimmte Geschwindigkeit bedingen, wie z. B. bei Uhren, die durch die Schwere der Gewichte getrieben werden. Wo aber der Raum beschränkt ist, bedient man sich der Federn, die eine ähnliche Wirkung hervorbringen, aber einen viel kleineren Raum

einnehmen. Die Schwere der Gewichte sowohl als auch die Kraft der Federn richtet sich nach der Maschine, welche damit im Gange erhalten werden soll.

48. Das vorzüglichste Bewegungsmittel für Maschinen ist das Wasser, welches entweder durch seine Schwere, oder durch den Stoß auf die Schaufeln der Wasserräder wirkt. Der Nachdruck ist desto größer, je größer die Masse und je größer die Geschwindigkeit ist, mit welcher dasselbe wirkt. Dieses letztere hängt von der Höhe ab, von welcher das Wasser auf die Schaufeln des Rades fällt. Ist die Masse des einströmenden Wassers gering, so muß das Gefälle desto größer sein, damit durch die Geschwindigkeit die Kraft ersetzt werde, welche dem Gewichte des Wassers mangelt. Die größte Wirkung bringt das Wasser hervor, wenn es senkrecht auf eine Fläche fällt; daher müssen die Schaufeln der Wasserräder so viel als möglich nach diesem Einfallswinkel gerichtet werden (§. 117. Thl. II.).

Der Nachdruck oder die Kräfte zweier Wasser, welche in zwei gleichen Gerinnen mit einer ungleichen Geschwindigkeit auf gleich große Räder fließen, verhalten sich wie die Quadrate ihrer Geschwindigkeiten. Ist daher die Geschwindigkeit des zweiten Wassers dreimal größer als die des ersten, so ist der Nachdruck desselben neunmal stärker als der des ersten, weil in der nämlichen Zeit 3 Kubikfuß Wasser auffallen, in welcher sonst nur einer auffallen würde, und weil jeder dieser 3 Kubikfuße mit einer dreimal größeren Geschwindigkeit wirkt, wodurch $3 \times 3 = 9$ entsteht. Wäre die Geschwindigkeit viermal größer, so würde der Nachdruck sechszehnmal stärker sein, weil das Quadrat von $4 = 4^2 = 16$ ist.

49. Die Geschwindigkeit eines unterschlächtigen Wasserrades hängt von dem Gefälle ab, welches man dem Wasser, als der bewegenden Kraft, geben kann. Aus der Mechanik ist bekannt, daß man die Geschwindigkeit eines von einer Höhe frei herabfallenden Körpers erhalte, wenn man die Höhe mit der Zahl 60 multiplicirt, und aus diesem Produkte die Quadratwurzel auszieht. Setzt man für die Höhe $= H$ und für die Geschwinkeit $= G$, so erhält man die Formel $G = \sqrt{H \cdot 60}$.

Hat man z. B. ein Gefälle von 4 Fuß und man will die

Geschwindigkeit des Rades wissen, so erhält man $G = \sqrt{4 . 60} = \sqrt{240} = 15,_3$ Fuß Geschwindigkeit, welches die Geschwindigkeit des Wassers oder auch des Rades ist, wenn dasselbe leer geht. Wird aber eine Maschine wirklich durch dasselbe betrieben, so erhält auch das Rad nur die Hälfte der Geschwindigkeit des Wassers, mit welcher dasselbe der Maschine auch den größten Nachdruck giebt. Geht das Rad geschwinder, so fehlt es der Maschine an Arbeit, und geht es langsamer, so hat es eine zu große Last zu überwältigen, aus welchem Grunde der Nachdruck in beiden Fällen geringer wird. Es ist aber schwer, den Grad der Last zu wählen, welchen man einer Maschine geben soll, um dem Rade die gehörige Geschwindigkeit mittheilen zu können, weshalb in der Ausübung die meisten Räder schneller als mit der halben Geschwindigkeit des Wassers gehen.

50. Um das mechanische Moment eines unterschlächtigen Rades zu finden, müssen wir außer der Geschwindigkeit auch noch die auf die Schaufeln des Wasserrades wirkende Kraft, so wie die Länge des Halbmessers des Rades wissen, weil die Wirkung eines solchen Rades desto größer ist, je größer die Kraft an den Schaufeln, und je länger der Halbmesser des Rades ist. Nach vielen Versuchen hat man gefunden, daß der Stoß auf die Schaufeln eines unterschlächtigen Wasserrades in Pfunden erhalten wird, wenn man die Fläche einer Schaufel, insoweit dieselbe in das Wasser eingetaucht ist, mit der Höhe des Gefälles und mit der Zahl 44 multiplicirt, welche Zahl die Schwere eines Kubikfußes Wasser anzeigt. Bei diesem Ansatze kommt nur eine schiefe Fläche in Rechnung, weil man gefunden hat, daß die Kraft die nämliche bleibt, ob das Wasser auf mehrere, oder nur auf eine Schaufel wirkt. Diese Rechnung zeigt also die Kraft des in einer Sekunde auf die Schaufelfläche stoßenden Wassers an. Nennt man die Schaufelfläche F und die Höhe des Gefälles H, so hat man $F . H . 44 = St$, wo St den Stoß des Wassers auf die Schaufelfläche des Rades in Pfunden anzeigt. Sind die Schaufeln eines Wasserrades in ihrer Länge = 2 Fuß und ist ihre Höhe 1 Fuß, folglich 2 Quadratfuß, und beträgt ferner das Gefälle 4 Fuß, so hat man $2 \times 4 \times 44 = 352$ Pfund, die auf die Schaufeln des Rades wirken.

51. Dieser Stoß ist jedoch nur von denjenigen Rädern zu verstehen, welche sich in offenen Gerinnen befinden; sind die Gerinne auf beiden Seiten des Rades begrenzt, wie bei den verschiedenen Arten von Mühlen, und die Schaufeln werden um die Hälfte höher als der Durchschnitt des einströmenden Wassers gemacht, so daß alles Wasser zum Stoß kommt und sich auf der Schaufelfläche gehörig ausbreiten kann, so ist der Stoß doppelt so groß als im vorigen Falle; es muß daher das obige Produkt noch mit 2 multiplicirt werden.

52. Da wir sowohl die Geschwindigkeit, als auch die Kraft eines unterschlächtigen Rades finden können, so dürfen wir nur noch einen Halbmesser annehmen, der hier 8 Fuß betragen soll, um auch das mechanische Moment eines solchen Rades anzugeben. Behalten wir das obige Gefälle von 4 Fuß bei, so haben wir $15,_3$ Fuß Geschwindigkeit und 240 Pfund Kraft, die auf den Halbmesser von 8 Fuß wirken, folglich $15,_3 \cdot 240 \cdot 8 = 29376,_0$ gleich dem mechanischen Momente des Rades in einer Sekunde. Da die Geschwindigkeit aus der Höhe des Gefälles entsteht (nach Nr. 49.), so kann man hier auch die Höhe des Gefälles statt der Geschwindigkeit nehmen, wo dann $4 \cdot 240 \cdot 8 = 7680$ als Moment entsteht. Nennt man die Höhe des Gefälles H, die Kraft des Stoßes K und den Halbmesser oder Radius des Rades R, so hat man im Allgemeinen $K \cdot H \cdot R = 7680$, aus welcher Formel sich, da zwei Größen bekannt sind, die dritte durch Rechnung finden läßt. Hat man z. B. ein Gefälle von 3 Fuß und einen Halbmesser von 8 Fuß, und man will die Kraft des Rades wissen, so ist $K \cdot 3 \cdot 8 = 7680$ und $K = \frac{7680}{3 \cdot 8} = 320$ gleich der Kraft, die man dem Rade geben muß. Da aber diese Kraft aus der Multiplication der Schaufelfläche mit dem Gefälle von 3 Fuß und der Zahl 44 bestehen muß, und da die letzten zwei Zahlen bekannt sind, so darf man nur die Zahl 320 durch $3 \cdot 44$ dividiren, um den Quadratinhalt der Schaufelfläche zu erhalten, der also $\frac{320}{3 \cdot 44} = \frac{320}{132} = 2\frac{14}{33}$ Quadratfuß ist, daher man den Schaufeln 14

Zoll Höhe und 2 Fuß Länge geben kann, wodurch dieses Rad eine eben so große Wirkung als das vorhergehende hervorbringt.

Daß durch dieses Verfahren auch die Höhe des Gefälles und die Länge des Halbmessers des Rades gefunden werden könne, wird man sehr leicht einsehen. Ist daher das Moment eines Rades, welches wirklich eine Maschine treibt, aufgezeichnet, so kann man nach diesem ein anderes von der nämlichen Wirkung angeben, wenngleich das Gefälle, oder der Halbmesser, oder auch die Schaufelflächen andere Größen haben, indem man nur ihre Momente mit einander vergleichen darf, wonach bei ihrer Gleichheit auch ihre Wirkungen gleich sein werden.

53. Will man das mechanische Moment einer ganzen Maschine wissen, so muß die Geschwindigkeit des Getriebes mit der Kraft, die auf dasselbe wirkt, multiplicirt werden. Behalten wir den Halbmesser des oben berechneten Rades von 8 Fuß und 2 Quadratfuß Schaufelfläche, ebenso das Gefälle von 4 Fuß bei, so ist die Geschwindigkeit $= 15,_3 \ldots$ Fuß in einer Sekunde und in einer Minute $15,_3 \,.\, 60 = 918,_0$ Fuß, welchen Weg der Umkreis des Wasserrades durchlaufen muß, wonach die obigen 918 Fuß durch den Umkreis dividirt werden müssen. Diesen Umkreis erhält man, wenn man den Halbmesser des Rades von 8 Fuß mit der Zahl $6,_{28}$ multiplicirt, wodurch $8 \,.\, 6,_{28} = 50,_{24}$ Fuß entstehen, welche, in 918 dividirt, $= 18,_2 ..$ Umläufe des Rades für eine Minute geben. Nimmt man nun an, daß das Kammrad 72 Kämme und das Getriebe 6 Stöcke hat, so kommen 12 Umgänge des Getriebes auf einen Umgang des Rades, daher das Getriebe in einer Minute $12 \,.\, 18 \,.\, 2 .. = 218,_4$ Umgänge machen wird, wenn das Rad ganz leer geht, und halb so viel, nämlich $= 109,_2$, wenn das Rad die richtige Kraft an einer Maschine äußert, welche Zahl wir hier auch als Moment beibehalten wollen.

54. Da wir aus der vorhergehenden Rechnung die Kraft gefunden haben, welche auf die Schaufeln des Rades wirkt, so können wir auch die Kraft finden, die auf das Getriebe wirkt. Ist nämlich der Halbmesser des Wasserrades 8 Fuß, der Halbmesser des Kammrades 4 Fuß, die Kraft an den Schaufeln

$= 320$ Pfund, so ist $320 \cdot 8 = 4 \cdot L$ und $L = \frac{2560}{4} = 640$, d. h. gleich der Last, die am Getriebe überwunden werden kann, wozu also die Kraft eben so groß sein muß. Wird diese Kraft mit der obigen Geschwindigkeit von $109,_2$ Fuß multiplicirt, so entsteht das mechanische Moment dieser Verrichtung, welches also $640 \cdot 109,_2 = 69888,_0$ ist.

Ist dieses Moment nach einem wirklich gebauten und gut befundenen Werke berechnet, so kann man ein anderes neu zu erbauendes damit vergleichen, und daraus ersehen, in wie weit die Wirkung des neuen Werkes mit der des alten übereinstimme. Weil aber die wirklich bestehenden Werke, z. B. die Mahlmühlen, in ihren Momenten sehr verschieden, und doch nach den obwaltenden Umständen brauchbar sein können, so kann man sich zweierlei Momente, eines von einem sehr wirksamen, das andere von einem schwachen, aber doch noch brauchbaren Momente aufzeichnen, und nach diesen die neue Anlage vergleichen, worauf man den Grad der Wirkung leicht wird beurtheilen können.

55. Bei der Aufnahme dieser Momente nach wirklich bestehenden Werken muß jedoch die Geschwindigkeit nicht so, wie sie eben bei einer Maschine, die wirklich im Gange ist, vorkommt, genommen, sondern nach den vorhandenen Gefällen berechnet werden, weil die meisten im Gange befindlichen Maschinen selten die halbe Geschwindigkeit des Wassers, sondern fast immer eine größere haben, indem z. B. die Mahlmühlen bei geringerer Aufschüttung des Mahlgutes schneller gehen und sich mehr der natürlichen Geschwindigkeit des Wassers nähern, bei schwereren aber auch einen langsameren Gang annehmen, welche Verschiedenheit daher zur Bestimmung der Momente nicht verwendet werden kann.

56. Aus der oben gefundenen Geschwindigkeit des Wassers von $15,_3$ Fuß in einer Sekunde läßt sich auch die Masse des zum Betriebe eines solchen Rades nöthigen Wassers finden, indem man nur die Geschwindigkeit mit der Durchschnittsfläche des ausströmenden Wassers multipliciren darf, wodurch man den Verbrauch desselben für eine Sekunde erhält, woraus man denselben auch für eine Minute finden kann. Da aber die Masse

dieses Wassers doch nicht so groß ist, als sie durch freien Fall von der Höhe des Gefälles sein würde, indem jenes an den Wänden und auf dem Boden der Gerinne immer Hindernisse antrifft, so kann man, statt der Durchschnittsfläche des Wassers, die eingetauchte Fläche der Schaufeln in Rechnung bringen, wonach man diese Masse hinreichend genau erhalten wird. Ist nun die Schaufelfläche 2 Quadratfuß und die Geschwindigkeit $15,_3$ Fuß, so hat man $2 \,.\, 15,_3 = 30,_6$ Kubikfuß Wasser für eine Sekunde, und für eine Minute $30,_6 \,.\, 60 = 1836,_0$ Kubikfuß, wonach man auch den Bedarf für mehrere Räder berechnen kann.

57. Die oberschlächtigen Räder werden weniger durch den Stoß, als vielmehr durch das Gewicht des in den Zellen befindlichen Wassers getrieben. Betrachtet man ein solches oberschlächtiges Wasserrad näher, so findet man, daß nur der halbe Theil der Zellen des wasserhaltenden Bogens AEB (Fig. 92. Thl. II.) wirklich mit Wasser gefüllt ist, wodurch man also auch nur eine Wassersäule von der Durchschnittsfläche der Zelle a, multiplicirt mit dem Halbmesser c a, für den Druck des Wassers annehmen kann, welche noch mit der Schwere eines Kubikfußes Wasser, nämlich mit der Zahl 44 multiplicirt werden muß.

Bezeichnet man die Durchschnittsfläche der Zelle a (Fig. 92. Theil II.) mit F und den Halbmesser a c mit R, so hat man $F \,.\, R \,.\, 44 =$ Schw., welches letztere die Schwere oder Kraft der auf den Halbmesser drückenden Wassersäule anzeigt. Wäre die Durchschnittsfläche 2 Quadratfuß und der Halbmesser 8 Fuß, so hätte man $2 \,.\, 8 \,.\, 44 = 704$ Pfund als wirkende Kraft. Wäre die Durchschnittsfläche in Quadratzollen gegeben, so müßte auch der Halbmesser in Zollen genommen und dieses Produkt mit 44 multiplicirt, dann aber bei'm zwölftheiligen Maße durch 1728 dividirt, beim zehntheiligen aber die letzten zwei Ziffern wegen der Division mit 1000 abgeschnitten werden. Ist z. B. die Länge der Schaufeln 18 Zoll zwölftheilig Maß, und die Breite 12 Zoll, der Halbmesser aber 8 Fuß = 96 Zoll, so hat man $\frac{18 \,.\, 12 \,.\, 96 \,.\, 44}{1728} = 528$ Pfund. Diese Rechnungsart kann man auch, bei Berechnungen in Zollmaßen, bei den unterschlächtigen Wasserrädern anwenden.

58. Was die Geschwindigkeit der oberschlächtigen Räder betrifft, so hat man sie bis jetzt noch nicht ausmitteln können; gewöhnlich aber nimmt man für dieselbe die Geschwindigkeit des einstürzenden Wassers in die Zellen der Räder an, welche selten mehr als $1\frac{1}{2}$ bis 2 Fuß Fall hat, und also nur eine Geschwindigkeit von 8 bis 10 Fuß in einer Sekunde erhalten kann, wonach sich demnach das Moment eines solchen Rades nicht ganz bestimmt angeben läßt.