anwenden und sicher voraussagen kann, was für Kräfte auftreten werden. Würde diese theoretische Forderung nicht praktisch erfüllt werden, so käme nicht nur eine gewisse Unsicherheit in die Konstruktion hinein, sondern es wäre auch erforderlich, für alle möglichen Fälle vorzusorgen und den Träger stärker zu machen, als er sonst zu sein brauchte, damit unter keinen Umständen eine Überlastung eintritt. Auf dem eingeschlagenen Wege gelangt man also zu der höchsten Ausnutzung des Materials oder, anders ausgedrückt, zu dem geringsten Verbrauch an Baustoffen, zu der vorteilhaftesten, billigsten Bauweise.

4. Technische Anwendungen des Gesetzes von der Erhaltung der Energie.

Berechnung von Schrauben- und Räderwinden.

Zu neuen Gesichtspunkten und Untersuchungsverfahren führt die in Abb. 44 skizzierte Aufgabe: ein Eisenbahnwagen von 15 t Gewicht soll durch ein Seil, das von einer Winde bewegt wird, eine schräge Strecke hinaufgezogen werden, die 100 m lang ist und auf diese Länge gleichmäßig um 12 m steigt. Wie groß muß die Kraft im Seile sein?

Die alte Methode der Kräftezerlegung gibt rasch eine Antwort. Der Körper, der die Steigung hinaufbewegt werden soll, wiegt 15000 kg. Das bedeutet dasselbe, wie wenn der Wagen an sich kein Gewicht hätte, aber statt dessen ein Gewicht von 15000 kg daran hinge, oder als ob, wie in Abb. 45 skizziert, eine lotrecht nach unten gerichtete Kraft von 15000 kg auf den Wagen wirkte. Denken wir uns nun, daß statt der lotrechten Kraft (des Gewichtes) nur solche Kräfte auf den Wagen wirkten, die entweder, wie in Abb. 46 die Kraft N, rechtwinklig zu der schrägen Fahrbahn stehen oder, wie die Kräfte P und Z, parallel dazu gerichtet sind. Dann ist es klar, daß die rechtwinkligen Kräfte nur den Wagen fester auf die Schienen drücken, auf denen er fährt, daß sie ihn aber die Steigung weder herauf- noch herunterziehen können. Die Kraft P dagegen, die parallel zu der schrägen Strecke gerichtet ist, ist bestrebt, den Wagen nach abwärts zu ziehen, und ihr muß der Zug Z im Seil das Gleichgewicht halten.

Die Lösung ergibt sich jetzt von selbst. Wir zerlegen nach der Methode des Kräfteparallelogramms, Abb. 47, die Gewichtskraft von 15000 kg in eine Kraft N, die senkrecht zur schiefen Ebene wirkt und deren Größe für die Aufgabe, die wir jetzt vorhaben, gleichgültig ist, und in eine Kraft P, die parallel zur schiefen Ebene läuft. Wird das Parallelogramm maßstäblich gezeichnet und ausgemessen, so stellt sich heraus, daß die Kraft $P = 1800$ kg ist. Ebenso groß, aber entgegengesetzt, schräg nach oben gerichtet, muß der Seilzug Z sein, den wir suchten, denn sonst würde kein Gleichgewicht herrschen. Hiernach läßt sich nun die Stärke des Seiles bemessen und die Antriebswinde entwerfen.

Es gibt aber noch ein viel einfacheres Verfahren, um die Aufgabe zu lösen. Denken wir uns einmal, daß der Wagen die ganze schiefe Ebene von unten bis oben heraufgezogen wird, so hat die Antriebsmaschine dabei eine gewisse Arbeit geleistet. Was das bedeutet, ist leicht zu erklären, wenn wir uns vorstellen, daß ein Mann eine Leiter heraufsteigt und dabei einen Sack von 30 kg Ge-

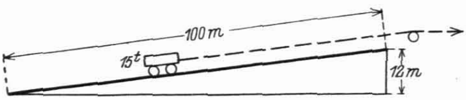

Abb. 44.

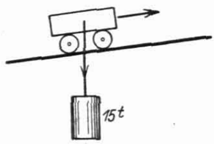

Abb. 45.

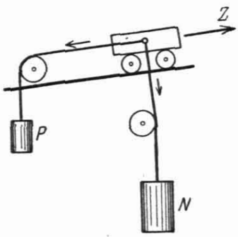

Abb. 46.

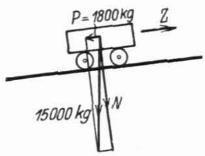

Abb. 47.

Abb. 44 bis 47. Skizzen zur Berechnung der Seilkraft beim Aufziehen eines Eisenbahnwagens.

wicht in ein 4 m höheres Stockwerk befördert. Die Arbeit, die hierbei geleistet wurde, beträgt $30 \text{ kg} \times 4 \text{ m} = 120$ mkg[1]). Da nun bei unserer Schrägstrecke auf dem ganzen Wege von 100 m eine Kraft von 1800 kg aufgewendet werden mußte, so beträgt die geleistete Arbeit $1800 \times 100 = 180000$ mkg. Was ist damit erreicht worden? Es ist gelungen, den 15000 kg schweren Wagen 12 m hochzuheben. Das bedeutet, daß eine Arbeitsleistung hervorgebracht ist, die 15000×12, also ebenfalls 180000 mkg beträgt. Mit anderen Worten: Es ist keine „Arbeit" verlorengegangen, sondern die

[1]) Daß die Arbeit mit demselben Maße gemessen wird, wie ein Drehmoment, nämlich in Meterkilogramm, ist ein Zufall, durch den man sich nicht irreführen lassen darf. In beiden Fällen werden Kräfte mit Längen oder Abständen multipliziert.

aufgewendete und die nutzbar gemachte Arbeit sind einander gleich.

Dieses Gesetz, das hier zum ersten Male auftritt, spielt in der ganzen Technik eine große Rolle. Allgemeiner gefaßt bezeichnet man es als das Gesetz von der Erhaltung der Energie oder des Arbeitsvermögens. Im ganzen Bereich der Physik und der Chemie und ihrer technischen Anwendungen gibt es keinen Vorgang, bei dem Arbeitsenergie einfach verschwände. Überall findet man, wenn man die Spuren verfolgt, daß das Arbeitsvermögen in der einen oder anderen Form, oft bei einem und demselben Vorgang sogar in den verschiedenartigsten Formen, zurückgewonnen ist.

Für die Maschinentechnik ist der Satz von der Erhaltung der Energie von allergrößter Bedeutung, weil es an Hand dieses Satzes möglich ist, den grundlegenden Entwurf und die Hauptabmessungen einer Maschine von vornherein festzulegen, ohne daß man sich um die Zwischenglieder und die Art und Weise, wie die Arbeit durch sie hindurchgeleitet wird, überhaupt zu kümmern braucht.

Wir können uns diese Zwischenglieder etwa wie eine Rohrleitung vorstellen. Ist die Leitung dicht, so muß am einen Ende genau so viel Wasser herauskommen, wie am anderen hineingepumpt wird, ganz gleichgültig, ob die Leitung gerade oder krumm verlegt ist, und ob die Rohre großen oder kleinen Durchmesser haben. In derselben Weise geht die Arbeit durch die Hebel- und Rädergetriebe einer Maschine hindurch, ohne daß etwas verloren ginge, das man nicht verfolgen und dessen Verbleib man nicht nachweisen könnte.

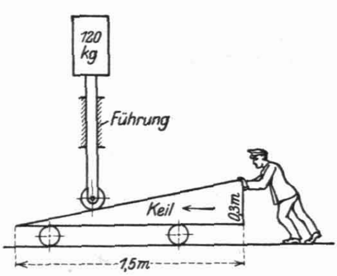

Abb. 48. Hebung eines Gewichtes durch einen Keil.

Bei der schiefen Ebene zeigte sich schon, wie einfach und übersichtlich die Aufgabe wird, wenn man das Verfahren der Gleichsetzung der aufgewendeten und der geleisteten Arbeit anwendet. Eine Kräftezerlegung mit Aufzeichnung des Parallelogramms ist nicht notwendig, sondern es genügt, zu sagen: Geleistet werden muß, um den Wagen zu heben, eine Arbeit von $15\,000 \times 12 = 180\,000$ mkg; der Weg, auf dem die Kraft Z wirkt, ist 100 m; also muß die Kraft Z selbst $\frac{180\,000}{100} = 1800$ kg sein. Ähnlich liegt der Fall beim Keil, Abb. 48. Denken wir uns, daß ein Mann den Keil, der sich auf Walzen bewegt, vor sich herschiebt und dabei ein Gewicht von

120 kg heben muß. Das Gewicht sitzt oben an einer Stange, die in einer Führung gleitet und sich mit einer Rolle auf die schräge Fläche des Keiles stützt. Auf dem ganzen Keilweg wird das Gewicht um 0,3 m gehoben, es muß also eine Arbeit von $120 \times 0{,}3 = 36$ mkg hervorgebracht werden. Der Mann schreitet um 1,5 m vorwärts, und er muß daher, um eben diese Arbeit zu leisten, einen Druck von 24 kg anwenden, weil $24 \text{ kg} \times 1{,}5 \text{ m} = 36$ mkg, also gleich dem erforderlichen Arbeitsaufwand, ist.

Noch viel besser aber zeigt sich der Vorteil des neuen Verfahrens, seine Einfachheit und „Eleganz“, bei der Berechnung einer Schraube. Wie in Abb. 49 skizziert, nehmen wir an, daß ein Schraubengang aus einem schräg abgeschnittenen Stück Blech hergestellt sei, das zylindrisch aufgewickelt und auf eine Scheibe gesetzt ist. Am Umfang der Scheibe greift eine Schnur an, die durch ein Gewicht P belastet ist. Wenn das Gewicht die Scheibe dreht, so gleitet die Stange mit der Last von 200 kg, die sich, genau wie in Abb. 48, mit einer Rolle auf die Schraubenwindung stützt, an dieser hinauf und wird bei einer Umdrehung um die Höhe einer Schraubenwindung, also um 15 cm, gehoben. Wie groß muß die Kraft P sein, um Gleichgewicht herzustellen?

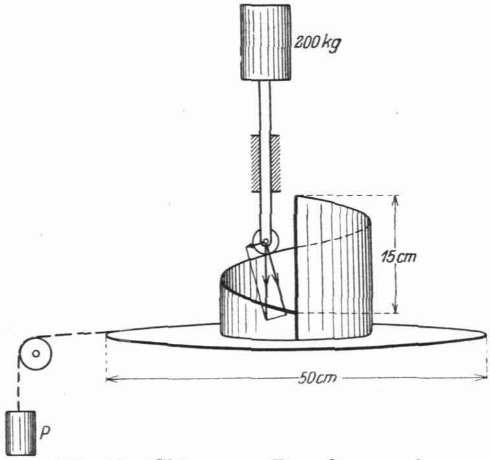

Abb. 49. Skizze zur Berechnung einer Schraube.

Die Kräfte wirken an der schräg aufsteigenden Schraubenbahn genau ebenso wie an einer schiefen Ebene oder an einem Keil; man könnte sie zerlegen und daraus schließlich auf die Kraft P kommen. Das ist aber ein umständliches Verfahren. Viel einfacher ist folgende Überlegung.

Fassen wir die volle Umdrehung der Schraube ins Auge! Dabei wird die Last von 200 kg um 15 cm senkrecht gehoben, indem sie auf dem Gewindegang gleitet; die geleistete Arbeit ist also $200 \times 15 = 3000$ cmkg[1]). Daß die Kraft P während dieser Umdrehung am

[1]) Die Arbeit ist hier in Zentimeter-Kilogramm statt in Meter-Kilogramm berechnet, weil es bei der geringen Höhe nicht so bequem wäre, mit Bruchteilen von Metern zu rechnen, wie mit Zentimetern.

Umfang der Scheibe zieht, hat dieselbe Wirkung, wie wenn ein Mann am Rande der Scheibe anfaßte und sie auf diese Weise drehte, indem er einmal vollständig herumgeht und dabei mit der Kraft P zieht oder drückt. Er legt dabei einen Weg zurück gleich dem Umfang der Scheibe, der bekanntlich das $3^1/_7$ fache des Durchmessers, also in unserem Falle 157 cm, beträgt, leistet also die Arbeit $P \times 157$ cmkg. Sollen die beiden Arbeitswerte gleich sein, so ist

$$P = \frac{3000}{157} = 19{,}1 \text{ kg.}$$

Das Auffallende bei dieser Rechnung ist, daß es gar keinen Unterschied macht, was für einen Durchmesser das Schraubengewinde hat. Der Durchmesser könnte 10, 20, 30 oder 40 cm sein, ohne daß die Kraft P sich änderte, wenn nur die Steigung von 15 cm und der Durchmesser der Scheibe dieselben bleiben.

Machen wir an dieser Stelle einmal einen Augenblick halt und erinnern wir uns an Abb. 26 bis 29 auf Seite 14 und 15. Um die Kraft im Stabe z zu ermitteln, waren wir durch allgemeine theoretische Überlegungen dahin gelangt, daß wir uns um die Zwischenglieder und dann auch um die anderen freien Kräfte, 30 t, P_x und P_y, überhaupt nicht kümmerten und schließlich in Abb. 29 nichts mehr vor uns hatten als einen ganz einfachen Winkelhebel, an dem die von vornherein bekannte Kraft 45 t und die gesuchte Kraft P_z sich das Gleichgewicht hielten. Hier liegt der Fall entsprechend! Eine rein abstrakte Überlegung, die auf die konstruktiv-körperliche Ausbildung der Schraube gar keine Rücksicht nimmt, führt zur Gleichsetzung zweier Arbeitswerte, zweier Größen, die in unserer Vorstellung gebildet sind. Wir unterwerfen nach diesem Verfahren die Maschine, die untersucht werden soll, einem Denkvorgang, der in schnellster und anschaulichster Weise über die Kraft, die aufgewendet werden muß, Klarheit schafft, und der so einfach ist, daß kaum die Möglichkeit besteht, einen Fehler in der Rechnung zu begehen.

Abb. 50. Schraubenwinde.

Abb. 50 zeigt eine Schraubenwinde, die nach dem Prinzip der Abb. 49 gebaut ist und in der angegebenen Weise berechnet werden kann.

Auch der Hebel kann noch einmal von diesem Gesichtspunkt aus betrachtet und nach dem neuen Verfahren behandelt werden. Greifen wir zurück auf Abb. 1 bis 3. An dem Hebel dort befanden sich die Kräfte 40 und 200 kg im Gleichgewicht, weil die zugehörigen Hebelarme 1,5 und 0,3 m waren. Nun lassen wir einmal, wie in Abb. 51 skizziert, den Hebel eine Bewegung bis in die gestrichelt gezeichnete Lage machen. Schon aus der Erfahrung ist uns bekannt, daß sich mit einem solchen Hebel, bei dem die Länge der Arme sehr verschieden ist, die Last nur ein klein wenig anheben läßt, auch wenn der Mann sein Hebelende tief herunterdrückt. Durch Messung oder durch eine einfache Verhältnisrechnung ist festzustellen, daß in dem vorliegenden Falle, wenn die Last 200 kg sich um 0,1 m nach oben bewegen soll, das freie Hebelende um 0,5 m heruntergedrückt werden muß, weil der Hebelarm 5 mal so lang ist. Also ist die Arbeit auf der einen Seite $200 \times 0{,}1 = 20$ mkg, auf der anderen Seite $40 \times 0{,}5 = 20$ mkg, d. h. wir finden Gleichheit der Arbeiten, wie zu erwarten war.

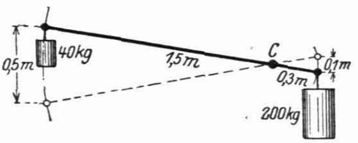

Abb. 51. Skizze zur Berechnung des Hebels nach dem Grundsatz von der Erhaltung der Energie.

Ein verwickelterer Hebelmechanismus, der schon mehr den Charakter einer Maschine trägt, ist in Abb. 52 skizziert. Ein langer Steinblock von 1200 kg Gewicht soll am einen Ende um 5 cm angehoben werden, und zwar mit zwei Hebeln I und III. Diese beiden Hebel sind durch die Stange II miteinander verbunden, während das Ende des Blockes in der Seilschlinge IV hängt. Es fragt sich, ob ein einzelner Mann die Hebung ausführen kann. Man könnte in der Weise vorgehen, daß man die Längen der Hebel I und II zunächst einmal probeweise annähme und dann durch Aufzeichnen oder Nachrechnen feststellte, ob der Mann keine zu große Kraft aufzuwenden hat und ob das Hebelende nicht zu weit schwingen muß, so daß die Bewegung, die der Mann auszuführen hat, zu groß wäre. Viel einfacher aber überspringen wir die Zwischenglieder ganz und sagen uns folgendes.

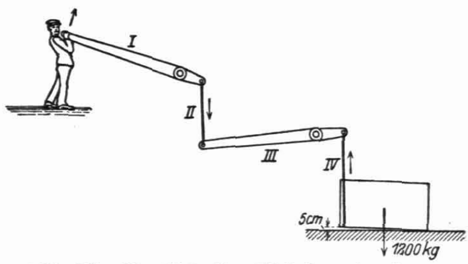

Abb. 52. Verwickelter Hebelmechanismus.

Wenn der Stein an einem Ende um 5 cm gehoben wird, während das andere liegen bleibt, so hebt sich die Mitte des Steines um 2,5 cm, es ist also eine Arbeit von $1200 \times 2{,}5 = 3000$ cmkg aufzuwenden. Nun kann ein Mann, wenn er sich etwas bückt, das Hebelende ganz gut um etwa 1 m oder 100 cm anheben. Um die Arbeit 3000 cmkg in den Mechanismus hineinzuschicken, müßte er also $\frac{3000}{100} = 30$ kg aufwenden. Das ist eine Kraft, die man ihm bei einer einmaligen Kraftäußerung wohl zumuten kann. Die gestellte Frage ist hiermit schon beantwortet: Es ist tatsächlich möglich, den Mechanismus in dieser Weise auszuführen. Die Abmessungen der Getriebeteile, d. h. in diesem Falle die Länge der Hebel und die Verhältnisse der Hebelarme festzustellen, ist eine zweite Aufgabe, und sie kann auf verschiedene Weise gelöst werden. Die Seilschlinge IV muß, da sie ganz am einen Ende des Steines angebracht ist, die Hälfte des Gewichtes, 600 kg, tragen. Wird beim Hebel II der eine Arm 4mal so lang als der andere gemacht, so kommen in die Zugstange II $\frac{600}{4} = 150$ kg. Will man von hier auf die vorher berechneten 30 kg kommen, so müssen die Längen der Arme sich beim Hebel I wie 1 : 5 verhalten.

Um den Übergang von der großen Kraft zur kleinen zu ermöglichen, könnte man natürlich auch andere Mittel als Hebel, z. B. einen Keil oder eine Schraube, anwenden, ohne daß die Grundrechnung sich änderte. Der Konstrukteur pflegt beim Entwurf einer derartigen Einrichtung so vorzugehen, daß er zunächst die notwendige gesamte „Übersetzung“ des Getriebes bestimmt — in diesem Falle $\frac{30 \text{ kg}}{600 \text{ kg}} = \frac{1}{20}$ (1 zu 20) — und dann überlegt, welches Getriebe am vorteilhaftesten anzuwenden ist, um diese Übersetzung hervorzubringen. In unserem Falle ist die Kraft zunächst auf $^1/_4 \times 600$ und dann auf $^1/_5$ davon, also auf $^1/_5 \times {}^1/_4 \times 600 = {}^1/_{20} \times 600 = 30$ kg vermindert worden.

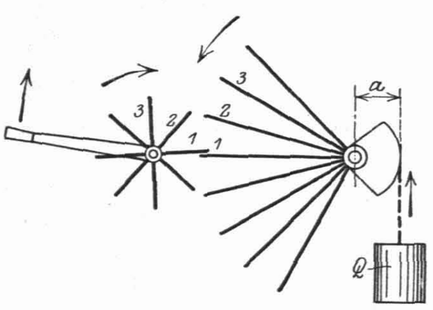

Abb. 53. Räder mit nacheinander zur Wirkung kommenden Hebeln.

Viel erreichen kann man mit einem Getriebe wie in Abb. 52 nicht. Wir müssen uns mit dem Anheben des Steines um 5 cm begnügen; denn erstens kann der Mann nicht weiter reichen, und zweitens würden, selbst wenn der Mann den Hebel noch weiter drehen könnte, die Hebelarme sich so weit schief stellen, daß keine richtige Übertragung der Kräfte mehr stattfände. Um beliebig weiter drehen zu können, müßte man an Stelle der Hebel I und III Hebelräder nach Abb. 53 haben, damit, wenn die beiden Hebelarme *1*, *1* sich nicht mehr berühren, dafür die Hebelarme *2*, *2* aufeinandertreffen und die Kraft übertragen, so daß eine fortlaufende, gleichmäßige Bewegung möglich ist. Die Last Q dürfte dann aber auch nicht an einem kurzen Hebelarm hängen, der sich sehr bald schief stellt, sondern das Seil, das die Last trägt, müßte auf ein kreisförmiges Hebelstück auflaufen, denn dabei bleibt der Abstand a vom Drehpunkt und somit der Hebelarm immer derselbe.

Damit kommen wir von selbst zu einer einfachen Zahnradwinde, wie sie in Abb. 54 und Abb. 55, S. 32, dargestellt ist. Die Hebelräder sind zu „Zahnrädern" geworden, die sich beliebig oft herumdrehen lassen, weil immer eine Angriffstelle auf die andere folgt; das Kurvenstück aus Abb. 53 bildet jetzt eine vollständig runde „Trommel",

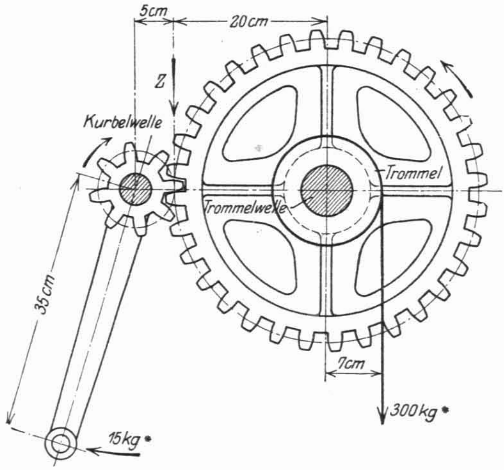

Abb. 54. Zahnradwinde.

und der Hebel, an dem der Mann angreift, ist eine „Kurbel" von 35 cm Länge, die mit der Hand bequem ununterbrochen im Kreise bewegt werden kann, ohne daß der Mann sich zu weit auszurecken braucht. Man darf ihm aber bei der andauernden Arbeit nicht mehr als höchstens etwa 15 kg Druck an der Kurbel zumuten.

Damit übt der Mann an der Kurbel ein Drehmoment $15 \times 35 = 525$ cmkg aus und bringt daher an der Stelle, wo die beiden Räder sich berühren, einen Zahndruck Z hervor. Da der Halbmesser des kleinen Rades oder, wenn wir so sagen wollen, der kurze Hebelarm 5 cm ist, so beträgt der Zahndruck $\frac{525}{5} = 105$ kg. Diese Kraft wirkt nun auf das große Zahnrad mit einem Hebelarm von 20 cm, das Drehmoment an der Trommelwelle ist also

$105 \times 20 = 2100$ cmkg. Ebenso groß ist auch das Drehmoment der Last: $300 \times 7 = 2100$ cmkg, so daß in der Winde Gleichgewicht herrscht.

Selbstverständlich muß auch hier wieder die Bedingung erfüllt sein, daß bei einem beliebigen Hub der Last, z. B. bei einer Umdrehung der Trommel, die Arbeit der Last gleich der Arbeit der treibenden Kraft ist. Bei einer Umdrehung ist so viel Seil aufgewickelt worden, wie auf den Umfang der Trommel geht, nämlich $2 \times 7 \times 3\,^1/_7 = 44$ cm, die Arbeit der Last ist also $300 \times 44 = 13\,200$ cmkg. Da nun weiterhin der Umfang des großen Rades

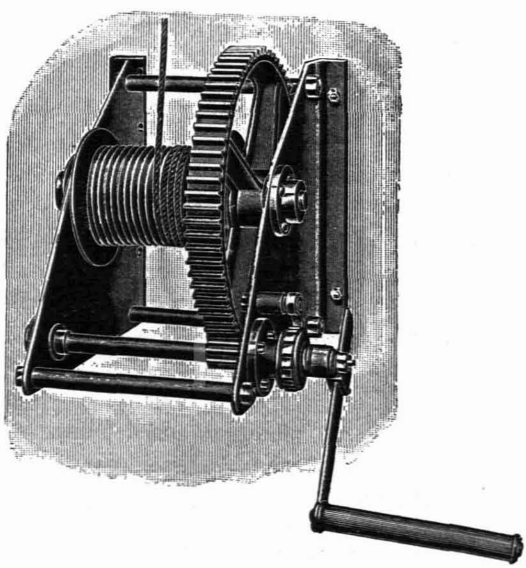

Abb. 55. Zahnradwinde.

4mal so groß ist, wie der des kleinen Rades, und das Rad auch um soviel mehr Zähne hat, so ist die Kurbelwelle 4mal zu drehen, bis die Trommelwelle sich einmal gedreht hat. Die Kraft 15 kg beschreibt bei einer Umdrehung an der Kurbel den Weg $2 \times 35 \times 3\,^1/_7 = 220$ cm, und ihre Arbeit ist also bei 4maliger Umdrehung der Kurbel, d. h. bei einer Umdrehung der Trommel, $4 \times 15 \times 220 = 13\,200$ cmkg, das ist dieselbe Zahl, wie für die Last ermittelt wurde.

Sehr wichtig ist es, zu wissen, wie rasch der Arbeiter die Last heben kann. Soll z. B. eine Kahnladung Säcke an einem Tage auf einen hochgelegenen Speicher befördert werden, so ist nachzurechnen, wieviel Zeit erforderlich ist, um jedesmal die Last nach oben zu schaffen, denn danach richtet es sich, wieviel Winden notwendig sind. Der Mann dreht bei normaler Arbeit die Kurbel etwa so rasch, daß der Kurbelgriff sich in jeder Sekunde um einen Weg von 0,8 m weiterbewegt; da eine Umdrehung einem Weg des Kurbelgriffes von $2 \times 3{,}14 \times 35 = 220$ cm oder 2,2 m entspricht, so dauert eine Umdrehung $\frac{2{,}2}{0{,}8} = 2{,}75$ Sekunden, und 4 Umdrehungen nehmen 11 Sekunden in Anspruch. Oben hatten wir aber gesehen, daß während dieser 4 Umdrehungen die Trommel sich einmal dreht und die Last sich dabei um 44 cm hebt. In 1 Sekunde findet also eine Hebung um $\frac{44}{11} = 4$ cm statt.

Das Ergebnis hätten wir noch schneller haben können. In 1 Sekunde leistet der Mann an der Kurbel, der mit 15 kg drückt und in der Sekunde 0,8 m Weg zurücklegt, die Arbeit $15 \times 80 = 1200$ cmkg. Diese Arbeit wird beim Heben der Last von 300 kg in jeder Sekunde wiedergewonnen, die Last muß also in der gleichen Zeit um eine Strecke von $\frac{1200}{300} = 4$ cm gehoben werden.

Wir überspringen also auch hier, wie schon so oft, in der Rechnung die konstruktiven Zwischenglieder, um auf Grund logischer Folgerungen und einfacher Verfahren, die sich auf die grundlegenden physikalischen Gesetze stützen, zu einem Ergebnis zu kommen, das praktisch nur mit Hilfe jener Zwischenglieder verwirklicht werden kann.

Nun ist bei der Berechnung aber noch ein Umstand nicht berücksichtigt worden, daß nämlich in der Winde, wie in jedem Triebwerk, Reibung auftritt. Wo macht sich diese Reibung geltend? Hauptsächlich in den Lagern der beiden Wellen — der Kurbelwelle und der Trommelwelle —, und dann auch zwischen den Zähnen der Räder und beim Aufwickeln des Seiles auf die Trommel. Die Folge der Reibung ist, daß die Kurbel sich schwerer drehen läßt. Oder wenn wir annehmen, daß der Mann nicht mehr Kraft aufwenden kann, als wir ihm schon zugemutet hatten, so muß darauf verzichtet werden, 300 kg zu heben, und wir müssen mit einer kleineren Last rechnen. Im einzelnen zu ermitteln, wie groß die Reibung an jeder Stelle ist, wäre mühsam und beim Vorentwurf auch gar nicht möglich, weil die Konstruktionseinzelheiten noch gar nicht festliegen. Darum wird auch hier wieder eine Vereinfachung eingeführt, indem man sagt: nach den Erfahrungen, die an solchen Winden vorliegen, werden, saubere Werkstattausführung vorausgesetzt, die Verluste ungefähr 15% betragen, d. h. es werden 15% der an der Kurbel in die Maschine hineingeschickten Arbeit zum Überwinden der Reibung verwandt und nur 85% zum Heben der Last nutzbar gemacht. In Wirklichkeit läßt sich also nur eine Last von $0{,}85 \times 300 = 255$ kg heben. Man bezeichnet das Verhältnis der nutzbar gemachten zur aufgewendeten Arbeit als „Wirkungsgrad“.

Sollen auf jeden Fall 300 kg an die Winde angehängt werden, so muß man eben darauf verzichten, die Geschwindigkeit von 4 cm in der Sekunde zu erreichen, und das Hebelarmverhältnis der Zahnräder größer machen. Die in der Sekunde aufgewendete Arbeit 15×80, mit dem Wirkungsgrad der Winde 0,85 multipliziert, ergibt als nutzbare Sekundenleistung nur noch $15 \times 80 \times 0{,}85 = 1020$ cmkg, und die Hubgeschwindigkeit der Last ist also jetzt $\frac{1020}{300} = 3{,}4$ cm in der Sekunde, d. h. natürlich auch nur 85 % der vorher berechneten Geschwindigkeit.

Mit allen diesen Vereinfachungen ist es ohne weiteres möglich, für irgendeine große, maschinell betriebene Winde (Abb. 56 und 57) die wichtigsten Rechnungsunterlagen, vor allem die notwendige **Stärke des Antriebmotors**, festzustellen. Angenommen, es sollen mit einem Kohlenentladekran bei jedem Hub oder jedem Kranspiel 1300 kg Kohle befördert werden, und das Fördergefäß wiege außerdem noch 450 kg, so daß der Kran 1750 kg zu heben hat. Die Hubhöhe sei 10 m, und damit der Kran eine genügende Menge Kohle schafft und das Schiff rasch genug entlädt, soll die Hubgeschwindigkeit 0,35 m in der Sekunde betragen. Dann ist die Nutzleistung $1750 \text{ kg} \times 0{,}35 = 610$ mkg in der Sekunde.

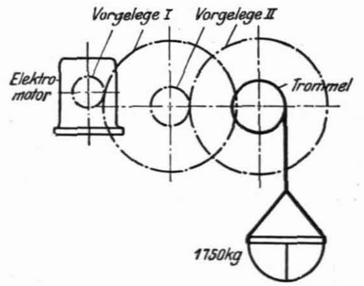

Abb. 56. Schema einer maschinell betriebenen Winde.

Die Leistung, die der Motor in die Winde hineinschickt, muß demgegenüber um die Reibungsverluste vergrößert werden. Voraussichtlich werden zwei Zahnradübersetzungen (Zahnradvorgelege) erforderlich sein, durch die ein Teil der aufgewendeten Kraft infolge Reibung verloren geht; außerdem muß das Seil über die Trommel und über mehrere Rollen gebogen werden. Nennen wir die Motorleistung, wie es in der Technik üblich ist, N, und nehmen wir an, daß im ersten Vorgelege 8 % davon verloren gehen, so erhält das zweite Vorgelege nur noch $0{,}92\,N$. Im zweiten Vorgelege zeigt sich derselbe Kraftverlust, auf die Trommel kommen also nur noch $0{,}92 \times 0{,}92\,N$. Durch die Trommel und die Rollen werden schließlich noch 12 % hiervon nutzlos verzehrt, so daß zum Heben des Fördergefäßes tatsächlich nur $0{,}88 \times 0{,}92 \times 0{,}92\,N = 0{,}74\,N$ verwendet werden. Die

Motorleistung N muß dementsprechend größer sein als die Nutzleistung; wir müssen sie zu 825 mkg in der Sekunde annehmen, da $0{,}74 \times 825$ gleich der oben berechneten Nutzleistung von 610 mkg ist. Nun pflegt man eine Leistung von 75 mkg in der Sekunde als Pferdestärke

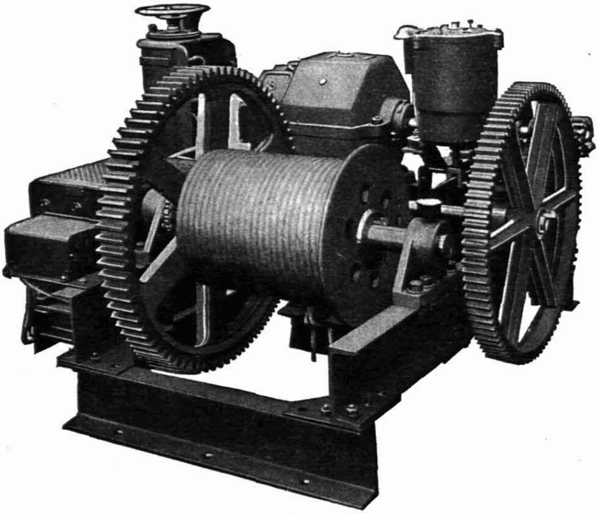

Abb. 57. Elektrisch betriebene Zahnradwinde

zu bezeichnen, der Motor muß also $\frac{825}{75} = 11$ Pferdestärken leisten können.

Man kann die Winde auf ganz verschiedenartige Weise antreiben, z. B. mit einem Elektromotor, einer Dampfmaschine, einem Benzinmotor oder durch einen hydraulischen Kolben. Grundsätzlich ist das gleichgültig, wenn nur der Motor die Leistung hergibt, die wir von ihm fordern müssen.

5. Berechnung der Arbeitsleistung einer Dampfmaschine.

Wie können wir jetzt beispielsweise bei einer Dampfmaschine berechnen, wieviel Pferdestärken sie leistet?

Diese Frage führt auf ein neues Gebiet, in dem sich andere Vorgänge abspielen und neue Gedankenreihen ergeben. Das Streben muß auch hier sein, die Erscheinungen in unserem Denken so zu verarbeiten und zu zergliedern, daß wir mit Hilfe der einfachen Grundgesetze und Denkverfahren, die nun schon in vielen Fällen mit Erfolg angewandt wurden, zu einer einfachen Betrachtungsweise und zu einfachen Regeln für die Berechnung kommen.