

Viertes Capitel.

Seile und Ketten.

Biigsame Fortpflanzungsmittel. Zur Uebertragung geradliniger §. 114.
Bewegungen werden vielfach Seile und Ketten in Anwendung gebracht, natürlich aber nur, so lange diese Uebertragungsmittel lediglich durch ziehende Kräfte auf ihre absolute Festigkeit in Anspruch genommen werden, da diese biegsamen Theile nicht zur Uebermittlung von Druckkräften dienen können. Allgemein wendet man die Seile und Ketten an, wenn die zu übertragende Bewegung von beträchtlicher Größe ist, da in solchen Fällen die Biigsamkeit ein Aufwickeln des Uebertragsorgans auf Trommeln oder Rollen gestattet, wodurch die Ausführung wesentlich erleichtert wird, während die Anwendung starrer Mittel, wie der Gestänge, große Schwierigkeiten veranlassen würde. Es möge in dieser Hinsicht nur auf die große Erleichterung hingewiesen werden, welche die Verwendung der Seile bei der Herstellung tiefer Bohrlöcher gegenüber der Anwendung steifer Bohrgestänge gewährt. Daher finden Seile und Ketten ihre verbreitetste und naturgemäße Verwendung bei allen Vorrichtungen zum Heben von Lasten auf größere Höhen, also bei Winden, Kranehen, Aufzügen, Fördervorrichtungen, schiefen Ebenen zc. Auch zum horizontalen Transport auf größere Entfernungen werden Seile und Ketten vielfach angewendet, in welcher Hinsicht nur auf die Seil- und Ketteneschleppschiffahrt verwiesen sein möge. Endlich kann man auch Gestänge, welche bei ihrer Hin- und Herbewegung abwechselnd ziehend und drückend wirken, wie sie z. B. zur Bewegung von Pumpen mittelst der Kunstkreuze Verwendung finden, in manchen Fällen durch Seile ersetzen, wenn man dieselben doppelt ausführt, und derartig an den Enden gleicharmiger Hebel angreifen läßt, daß die Seile abwechselnd zur Wirkung kommen und dadurch die beabsichtigte

schwingende Bewegung des Kunstkreuzes hervorrufen. Auch für diese Anordnungen spricht die leichtere Ausführbarkeit, namentlich die Möglichkeit, den Seilen bequem durch Leitrollen beliebige Richtungsänderungen ertheilen und die schwerfällige Construction der Bruchschwingen zc. umgehen zu können. Die Verwendung der Seile und Ketten zur Uebertragung rotirender Bewegungen ist bereits im zweiten Capitel bei den Seil- und Kettenrädern erörtert worden.

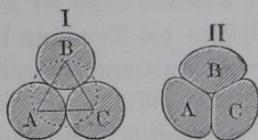
Die bedeutendste Verwendung zu den genannten Zwecken finden die Seile, nur in gewissen Fällen, namentlich für sehr große zu übertragende Kräfte bei schweren Crahren benutzt man die Ketten. Die Seile werden entweder aus Hanf oder Draht gefertigt und haben namentlich in neuer Zeit die Drahtseile große Verbreitung gefunden.

§. 115. **Hanfseile.** Ehe man Drahtseile anfertigen konnte, bildete der Hanf das ausschließliche Material für Seile, jetzt wendet man Hanfseile fast nur noch für die geringeren Kräfte und da an, wo die Trommeln oder Rollen einen nur geringen Durchmesser haben können, wie bei Flaschenzügen, indem die Drahtseile wegen ihrer größeren Steifigkeit sich nicht ohne beträchtliche Schwächung in scharfen Krümmungen biegen lassen. Das Material zu den Hanfseilen bilden Garnfäden, welche aus dem besten russischen oder elsäffischen Hanf gesponnen sind. Zuweilen verwendet man auch Manillahanf zu Tauwerk, wegen des geringen Gewichtes und der bei abwechselndem Naß- und Trockenwerden desselben größeren Dauerhaftigkeit dieses Materials. Mit Rücksicht auf möglichste Festigkeit sollte man immer nur gut ausgeheckelten Hanf verwenden, aus welchem durch das Hecheln alle kurzen Fasern sowie alle Schäbetheile, die zur Festigkeit des Seiles wenig oder nichts beitragen, auch alle kraftlosen Fasern entfernt sind. Aus den Garnfäden, welche immer nur in geringer Stärke gesponnen werden, erzeugt man durch Zusammendrehen vieler derselben die Seile; doch ist diese Herstellung durch directes Zusammendrehen der Fäden nur für die schwächsten Schnüre, wie Bindfaden zc. möglich, zu deren Darstellung zwei bis drei Garnfäden genügen. Bei allen stärkeren Seilen, die aus vielen Fäden (oft aus mehreren Hundert) hergestellt werden, bildet man immer erst aus einer geringeren Fädenzahl durch Zusammendrehen dünnere Schnüre oder Lizen, von welchen mehrere, meist drei oder vier, durch abermaliges Zusammendrehen erst zu dem Seile vereinigt werden, ja die stärksten Seile, wie z. B. Ankertane, von 0,2 bis 0,5 Meter Umfang*) werden aus drei oder vier solchen Seilen oder Strängen zusammengedreht und führen den Namen abgestücktes Tauwerk.

*) Die Stärke der Seile bestimmt man häufig durch Angabe des Umfanges anstatt des Durchmessers.

Von der Nothwendigkeit dieser stufenweisen Herstellung der Seile überzeugt man sich leicht. Seien A, B, C , Fig. 449 I, die kreisförmigen Querschnitte dreier parallel neben einander liegenden Fäden von gleicher Länge, so wird beim Zusammendrehen derselben jede Fadenaxe sich in

Fig. 449.



Schraubenwindungen anordnen, die man sich auf einem Cylinder liegend denken kann, welcher durch die Schwerpunkte A, B, C der drei Querschnitte geht. Die Steigung einer solchen

Schraubenlinie ist durch $\frac{L}{n} = s$ gegeben, unter L die Länge des Stückes nach der Drehung und unter n die Anzahl der dem Stücke mitgetheilten Drehungen verstanden. Die Länge einer solchen Schraubenwindung beträgt nun

$$l = \sqrt{(\pi d)^2 + s^2},$$

wenn d den Durchmesser des Kreises ABC bedeutet. Wenn man nun voraussetzt, daß die beiden Enden des betrachteten Schnurstückes während der Drehung in gleichbleibendem Abstände von einander festgehalten wurden, so daß also die Garnstücke vor der Drehung dieselbe Länge L hatten, welche die Schnur nach der Drehung auch besitzt, so ist es klar, daß während der Drehung den einzelnen Garnfäden eine solche Verlängerung mitgetheilt worden ist, daß jedes ursprünglich gerade Garnstück von der Länge $\frac{L}{n} = s$ durch die Drehung zu einer Länge der Schraubenwindung

$$l = \sqrt{(\pi d)^2 + s^2},$$

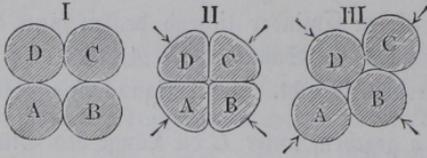
also um

$$l - s = \sqrt{(\pi d)^2 + s^2} - s$$

ausgereckt worden ist. In Folge dessen muß in jedem Garnstücke eine gewisse Spannung eintreten, woraus wiederum folgt, daß die einzelnen Garne sämmtlich nach innen auf einander pressen. Die Folge davon wird bei den weichen Garnfäden sein, daß die gedrehte Schnur einen durch Fig. 449 II dargestellten Querschnitt annehmen wird. Daß die einzelnen Garnfäden auf einander nach innen pressen, erklärt sich in derselben Weise, wie das Bestreben einer gespannten und aus ihrer geraden Richtung herausgebrachten Saite, sich wieder ihrer Gleichgewichtslage zu nähern. Wenn nun auch bei dem Zusammendrehen der Fäden zu einer Schnur die beiden Endpunkte nicht, wie hier vorausgesetzt wurde, ihren Abstand von einander unverwandelbar behalten, sondern wenn man dieselben in gewissem Grade sich nähern läßt, wodurch also eine Verfürzung des Seiles eintritt, so wird doch immer eine Spannung in den Fadenstücken verbleiben, welche die angegebene Pressung

der Fäden gegen einander erzeugt. Hierauf beruht die verdichtende Wirkung der Zusammendrehung bei allen Spinnprocessen sowohl, wie auch beim Auswringen von Wäsche &c. Denkt man nun statt dreier Fäden vier solche neben einander gelegt, wie Fig. 450 I zeigt, so werden dieselben wegen der Nach-

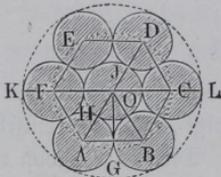
Fig. 450.



giebigkeit des Materials beim Zusammendrehen vermöge ihrer Pressung auf einander die in II angedeutete Querschnittsgestalt annehmen können. Hierzu ist aber erforderlich, daß diese Pressung für alle Fäden gleich stark sei, denn stellt man sich z. B. vor, die Fäden A und C wären weniger stark gespannt als diejenigen B und D, so wird der Querschnitt etwa eine Gestalt, wie III zeigt, annehmen, indem die schwächer gespannten Fäden durch die anderen nach außen gedrückt werden. Eine solche Ungleichheit der Spannung tritt aber ein, sobald die Längen der einzelnen Fäden nicht genau übereinstimmen, und selbst bei gleichen Längen kann die verschiedene Beschaffenheit der Fäden diesen Fehler veranlassen. Abgesehen von der unrunden Form der Schnur würde in solchem Falle auch das Material sehr ungleichmäßig, daher sehr unvortheilhaft zur Wirkung kommen.

Es ist nun leicht ersichtlich, daß bei einer größeren Anzahl von Fäden dieser gedachte Fehler noch viel leichter sich einstellen muß, denn wenn man sich beispielsweise sechs Fäden *ABCDEF*, Fig. 451, vorstellt, so würden die-

Fig. 451.



selben im idealen Zustande, d. h. bei genauer Gleichheit der Länge und sonstigen Beschaffenheit die durch das reguläre Sechseck *ABCDEF* angedeutete Stellung zu einander wohl einnehmen können, doch würde bei der geringsten Verschiedenheit der mehr gespannte Fäden in den inneren Raum hineinschlüpfen und von den anderen umspinnen werden.

Aus diesem Grunde pflegt man daher bei Hanfseilen meistens nur drei und höchstens vier Lizen mit einander zu einem Seile zusammenzudrehen, und bei ganz dicken Tauen daher die oben erwähnte Methode des Abstützens, d. h. des Zusammendrehens von drei oder vier Seilen anzuwenden. Was dagegen die Herstellung der Lizen anbetrifft, so bildet man dieselben meist aus einer größeren Anzahl von Fäden (bis 100 Fäden und mehr) und vermeidet den oben erwähnten Uebelstand dadurch, daß man den mittleren Theil der Lize durch einen besonderen Faden resp. durch eine besondere Schnur oder Lize ausfüllt. Diesen mittleren Theil nennt man Seele. Bei den Hanfseilen wendet man derartige Seelen nur

für die Litzen an, indem man, wie bemerkt, nur drei oder vier Litzen zum Seile vereinigt, bei welcher Zahl die Seele unnöthig ist. Bei Drahtseilen hingegen, bei welchen meist sechs Litzen zusammengedreht werden, bringt man außer in den Litzen auch noch zwischen denselben für das Seil eine Hauptseele an, die oft aus einer besonderen Litze besteht.

Die Stärke der Seele richtet sich nach der Anzahl n und der Dicke d der Fäden, sie darf nicht zu dick sein, um die Fäden nicht von einander getrennt zu halten und auch nicht zu dünn, weil sonst der angegebene Nachtheil der Ungleichmäßigkeit der Litze immer noch, wenn auch in geringerem Grade, eintreten würde. Bezeichnet d_0 den Durchmesser HJ des die sämmtlichen Fädenquerschnitte innerlich berührenden Kreises und $\alpha = AOB = \frac{360^\circ}{n}$ den Mittelpunktswinkel jeden Fadens, so hat man

$$d_0 = 2 OH = 2 (OA - AH) = \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) d.$$

Der Durchmesser $AD = d_1$ des Kreises, in welchem die Schwerpunkte der Fadenquerschnitte liegen, bestimmt sich zu

$$d_1 = d + d_0 = \frac{d}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

und der Durchmesser $KL = d_2$ des äußeren Berührungskreises zu

$$d = d + d_1 = \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right) d.$$

Hieraus folgen für verschiedene Größen von n die Werthe:

$n =$	4	5	6	8	12
$\alpha =$	90°	72°	60°	45°	30°
$d_0 =$	$0,414 d$	$0,702 d$	d	$1,613 d$	$2,863 d$

Die Nothwendigkeit der Drehung bei Hanfseilen ist leicht erklärt. Dächte man sich einen Faden durch einfaches Nebeneinanderlegen von parallelen Hanffasern gebildet, so würde derselbe gar keine Festigkeit haben, da bei der geringen Länge (höchstens von 1 Meter) der Fasern dieselben bei einem Zuge, welchem ein längeres Fadenstück ausgesetzt ist, sich lediglich an einander fortschieben würden, ohne daß ihre Zerreißungsfestigkeit in Anspruch genommen würde. Durch die Drehung, welche diesem Fadenstücke indeß beim Spinnen mitgetheilt wird, ordnen sich die Fasern in Schraubenwindungen an, und

üben, wie oben gezeigt, gewisse Pressungen auf einander aus. In Folge dieser Pressungen treten dann Reibungswiderstände zwischen den Fasern auf, welche einem Gleiten der letzteren an einander sich widersetzen. In dem Falle nun, daß die Summe dieser Reibungswiderstände zwischen den Fasern größer ist als deren absolute Festigkeit, findet eher ein Zerreißen der Fasern als ein Fortgleiten derselben an einander statt. Daher ist es für jedes Spinnen die erste Hauptregel, die Fasern so stark zu drehen, daß die gedachte Reibung den Betrag der Festigkeit übersteigt. Es ist natürlich, daß die Größe dieser Drehung, d. h. der Neigungswinkel der besagten Schraubenlinien gegen die Ase des Fadens um so kleiner sein darf, je länger die einzelnen Fasern sind und je größer die Rauigkeit des Materials an sich ist. Die Anzahl n der Drehungen, welche auf ein gewisses Fadenstück von der Länge L kommen, hängt bei einem gewissen Neigungswinkel δ der äußersten schraubenförmigen Faserlagen gegen die Fadenaxe offenbar von dem Durchmesser d des Fadens ab, indem man, unter $s = \frac{L}{n}$ die Steigung dieser Schraube verstanden, die Gleichung

$$\text{tang } \delta = \frac{\pi d}{s}$$

hat. Die für Seile gebräuchlichen Fäden sind meist so stark, daß auf ein Kilogramm eine Länge von 200 bis 250 Meter geht, was einem Durchmesser von etwa 2,2 Millimeter entspricht. Nimmt man nach Karmarsch für derartige Garne etwa 12 Drehungen pro einen hannoverschen Fuß oder 40 Drehungen pro einen Meter an, also eine Steigung $s = 0,025$ Meter, so ergibt sich für die äußerste Faserschicht eine Neigung der Schraubenlinien gegen die Ase aus $\text{tang } \delta = \frac{3,14 \cdot 2,2}{25} = 0,276$ zu ungefähr 15° .

Dieselben Betrachtungen, welche hier für das Zusammendrehen von Fasern zu einem Faden beim Spinnen angestellt sind, gelten auch hinsichtlich der Vereinigung der Fäden zu Lizen und der Lizen zu Seilen, da diese Operationen im Wesentlichen übereinstimmen. Dabei ist die richtige Größe der Drehung, welche man den Fäden und Lizen ertheilt, von großer Wichtigkeit für die Festigkeit und Dauer der Seile. Bei zu geringer Drehung hat das Seil nicht die genügende Dichtigkeit, Rundung und Glätte, und es würde namentlich die Feuchtigkeit zu leicht in ein zu lose gedrehtes Seil eindringen, und die Dauer desselben dadurch wesentlich beeinträchtigt werden. Mit Rücksicht auf letzteren Punkt pflegt man daher die Seile mit einer klebenden im Wasser unlöslichen Substanz, gewöhnlich Holztheer, zu imprägniren. Neben muß diese Substanz sein, um die Reibung zwischen den Fasern nicht zu verringern und dadurch dieselben zum Gleiten geneigt zu machen. Dabei wird das Seil entweder im fertigen Zustande oder besser schon in den Fäden und

Litzen getheert, und nennt man das Seil warm oder kalt registrirt, je nachdem man die Fäden im warmen Zustande unmittelbar nach dem Durchziehen durch den heißen Theer oder nachdem sie kalt geworden sind, zusammendrehet. In ersterem Falle werden die Seile dichter und steifer als beim Zusammendrehen im kalten Zustande. Durch das Theeren werden die Seile zwar im Allgemeinen in ihrer Festigkeit geschwächt, doch pflegt man nicht nur der Dauerhaftigkeit wegen das Theeren allgemein anzuwenden, sondern auch weil ungetheerte Seile durch Einwirkung der Nässe ebenfalls in hohem Grade an Festigkeit verlieren. So trägt nach Muschenbroek's Versuchen ein ungetheertes Seil, wenn es ganz durchnäßt ist, nur sieben Zehntel der Last, welche es im trocknen Zustande aushält. Durch das Theeren wird das Gewicht der Seile um 10 bis 20 Procent, je nach der Art des Theerens, vergrößert.

Andererseits darf die Drehung der Litzen und des Seiles auch nicht zu groß angenommen werden, weil letzteres sonst zu steif wird und an Biegsamkeit verliert, und weil die Drehung selbst immer mit einer Verminderung der Festigkeit verbunden ist. Erfahrungsmäßig trägt eine Litze oder ein Seil niemals eine so große Last, wie seine einzelnen Fäden zusammen tragen könnten, wenn sie ungedreht parallel neben einander liegen würden. Die Ursachen dieser Erscheinung sind in Folgendem zu suchen. Ist eine Litze aus einer gewissen Anzahl Fäden so zusammendreht, daß auf eine Länge der Litze gleich s eine volle Umdrehung kommt, so liegen sämtliche Fäden in Schraubenlinien von der Steigung s . Der Neigungswinkel δ dieser Schraubenlinien gegen die gerade Ase ist von dem Abstände derselben von der Ase abhängig, und bestimmt sich, wie schon oben bemerkt, durch $\tan \delta = \frac{\pi d}{s}$, wenn d den Durchmesser der Cylinderschicht bedeutet, in welcher der Faden gelegen ist. Die Länge l einer solchen Fadenwindung berechnet sich dabei offenbar durch

$$s = l \cos \delta.$$

Wenn bei dem Zusammendrehen der Fäden die letzteren einer Spannung und in Folge dessen einer Ausdehnung nicht unterworfen sein würden, so müßte durch die Drehung in der Litze eine Verkürzung von l auf s , also um $l - s = l(1 - \cos \delta)$ hervorgebracht werden. Da nun aber die einzelnen Fäden während des Zusammendrehens vermöge ihrer gegenseitigen Pressung einer gewissen Anspannung und Dehnung ausgesetzt sind, so beträgt die Verkürzung in Wirklichkeit weniger als der obige Ausdruck ergibt. So z. B. ergaben die 142 Klaster langen Litzen*) eines Seiles bei einem Zusammendrehen bis zum Winkel $\delta = 40^\circ$ eine nachherige Seillänge von

*) S. Prechtl, Technolog. Encyclopädie. Bd. 14, S. 480.

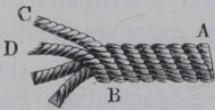
118 Klasten, oder eine Verkürzung um $\frac{24}{142} = 16,9$ Procent, während der Ausdruck

$$l (1 - \cos 40^\circ) = 0,234 l$$

über 23 Procent ergibt. Diese geringere Verkürzung ist der Ausdehnung zuzuschreiben, welche die Fasern beim Zusammendrehen annehmen. In Folge davon muß natürlich die Festigkeit des Seiles verringert werden, da die Fasern schon von vornherein ohne Belastung einer bestimmten Anspannung ausgesetzt sind, welche um so größer sein muß, je größer der Drehungswinkel δ ist. Aus obigen Gründen pflegt man den Drehungswinkel der Litzen und Seile in der Praxis meist zwischen 30 und 40° anzunehmen.

Hieraus erklärt sich auch die bei der Herstellung der Seile allgemein beobachtete Regel, bei den auf einander erfolgenden Zusammendrehungen der Fasern zu Fäden, der Fäden zu Litzen und der Litzen zu Seilen stets jede folgende Drehung in der der vorhergehenden Drehung entgegengesetzten Richtung vorzunehmen. So giebt man fast allgemein den Fasern in den Fäden rechtsgängige, den Fäden in den Litzen *BC*, Fig. 452, linksgängige und den

Fig. 452.



Litzen in den Seilen *AB* wieder rechtsgängige Schraubenwindungen. Wollte man z. B. die Litzen eben so wie die Fäden rechts drehen, so würden sich die Wirkungen beider Operationen in den Fäden summieren, wodurch die letzteren nicht nur sehr drall und steif, daher die Litzen sehr wenig biegsam ausfallen

müßten, sondern wobei auch das Material wesentlich an Festigkeit verlieren würde. In Folge dieser entgegengesetzten Drehungsrichtungen wird allerdings bei jeder Operation die Wirkung der vorherigen zum Theil wieder aufgehoben. Denkt man z. B. einem gewissen Fadenstücke n_1 Drehungen nach rechts beim Spinnen ertheilt, und erhält dasselbe nachher bei der Litzenbildung n_2 linke Drehungen, so verbleiben in ihm nur noch $n_2 - n_1$ rechte Windungen. Vielfach begnügt man sich hiermit, da die Anzahl von Drehungen, die auf eine gewisse Länge entfallen, bei jeder folgenden Operation doch immer kleiner ist, als bei der vorhergehenden, also $n_2 < n_1$ ist. Zuweilen aber, wenn die mit der erwähnten Zurückdrehung der Fäden unvermeidliche Auflockerung derselben mit der beabsichtigten Dichtigkeit des Tauwerkes unträglich ist, bedient man sich des Mittels, während der Zusammendrehung der Fäden zu Litzen nach links gleichzeitig den Fäden eine nachträgliche rechte Drehung, Draht, zu ertheilen, um jene aufdrehende Wirkung bei Bildung der Litzen ganz oder theilweise aufzuheben. Ein ähnlicher Vorgang findet, wie unten gezeigt werden wird, bei der Herstellung der Drahtseile, wenn auch aus anderen Gründen, immer statt. Die Nothwendigkeit, jede folgende Zusammendrehung in der der vorhergehenden entgegengesetzten Richtung vorzu-

nehmen, ergibt sich auch schon aus der Rücksicht auf eine haltbare Vereinigung der einzelnen Bestandtheile, welche letzteren bei stets nach derselben Richtung erfolgendem Zusammendrehen ein starkes Bestreben zeigen müßten, sich wieder aufzuwinden.

Es ist noch ein anderer Umstand hier anzuführen, welcher eine wesentliche Verschwächung der Seile in Folge des Zusammendrehens derselben veranlaßt. Die oben erwähnte Spannung findet natürlich nicht bei allen Fäden in gleicher Art statt, da sie mit dem Neigungswinkel der schraubenförmigen Windungen der Fäden im Zusammenhange steht. Während die im Umfange einer Ritz liegenden Fäden bei der Drehung Schraubenlinien von großem Neigungswinkel bilden, also dadurch einer wesentlichen Anspannung unterworfen sind, wird der Neigungswinkel der Fadenwindungen nach dem Innern der Ritz kleiner und kleiner werden, wie aus dem Werthe für $\delta \text{ tang } \delta = \frac{\pi d}{s}$ hervorgeht. In Folge dessen werden die Fäden um so weniger ange-spannt werden, je mehr sie nach dem Innern der Ritz hin gelegen sind; die mittleren Fäden werden sogar in gewissem Grade schlaff liegen, wie daraus hervorgeht, daß die Fäden sämmtlich vor dem Zusammendrehen für jede Windung die gleiche Länge l hatten, welche sich auf die Länge der Ritz s zusammenzieht. Denkt man nun das Seil einer gewissen Belastung ausgesetzt, so tragen die mittleren schlaff liegenden Fäden zuvörderst nicht mit und die Belastung vertheilt sich daher nur auf die schon gespannten Fäden, wobei es denn eintreten kann, daß die äußersten Fäden schon zum Bruche kommen, während die inneren nur wenig oder gar nicht angestrengt sind. An diesem Fehler leiden alle nach der älteren Art durch Handarbeit hergestellten Seile, bei welchen alle einzelnen Fäden von derselben Länge genommen werden. Wollte man diesem Uebelstande dadurch abhelfen, daß man die inneren Fäden von vornherein um so viel kürzer machen wollte, daß alle einzelnen Fäden gleichmäßig straff gespannt sind, also auch alle Fäden von vornherein am Tragen der Last sich theilhaben müßten, so würde man in den entgegengesetzten Fehler verfallen, daß nämlich die inneren Fasern zuerst brechen müßten, ohne daß die äußeren zu entsprechender Wirksamkeit gelangten. Es ist nämlich ebenso ersichtlich, daß bei einer durch die angehängte Last hervorgerufenen Ausdehnung des Seiles die inneren, ganz oder fast ganz gerade liegenden Fäden nur vermöge einer elastischen Ausdehnung folgen können. Dagegen können die äußeren in Schraubenlinien gelegenen Fäden vermöge dieser Gestalt sich verlängern, ohne daß sie in sich gereckt werden, denn wenn in Folge des Zuges das Seil sich ein wenig verdünnt, werden die Schraubenlinien schlanker, und erfordert eine Umwindung nicht mehr dieselbe Länge wie vorher. Die Folge einer solcher Anordnung würde daher sein, daß die inneren Fäden zuerst zum Bruche gelangen müßten; ein Uebelstand, welcher darum noch bedenklicher

wäre, als der erstgedachte, weil sich das Reißen der inneren Fasern der Beobachtung gänzlich entzieht.

Seitdem man zur Herstellung des Tauwerkes sich der Maschinen bedient, hat man diesen hier erörterten Umständen sorgfältig Rechnung getragen und dem entsprechend die nachstehenden Grundsätze befolgt*). Die Fäden einer Lige werden in concentrischen Schichten angeordnet, und zwar wird für jede derselben genau diejenige Fadenzahl angewendet, welche ihrem Umfange entspricht. Die Längen der den einzelnen Schichten entsprechenden Fäden sind verschieden, und zwar von außen nach innen allmählig abnehmend. Die Längen der Fäden in den einzelnen Schichten sind aber nicht so bestimmt, daß alle Fäden von vornherein gleiche Spannung haben, sondern so, daß die den Fäden eigene Spannung von außen nach innen abnimmt. Wenn daher in Folge einer Belastung eine Verlängerung des Seiles eintritt, so wird die Spannung in den nach innen gelegenen Fäden in dem Maße mehr zunehmen, als ihrer schlankeren Schraubengestalt die Fügigkeit abgeht, durch Verkleinerung des Neigungswinkels die Verlängerung zu ermöglichen. Auf solche Art ist es erreichbar, daß bei der größten noch zulässigen Belastung des Seils sämtliche Fasern nahezu gleichmäßig angestrengt werden. Erreicht wird dieser Zweck dadurch, daß man die Fadenzahlen aller einzelnen Schichten entsprechend einem gewissen Drehungswinkel δ_1 der äußersten Schicht berechnet, welcher kleiner ist als der Drehungswinkel δ der äußersten Schicht in dem fertigen Seile. Wird nun das Zusammendrehen bis zu diesem Winkel δ_1 , für welchen man etwa 27° annehmen kann, vorgenommen, so haben sämtliche Fäden die gleiche Spannung, da jeder in der seiner speciellen Schraubelinie zukommenden Länge verbraucht worden ist. Wenn man alsdann dem Seile noch eine Nachdrehung ertheilt, so daß die äußersten Fäden den schließlichen Neigungswinkel δ von etwa 36° mit der Ase bilden, so werden hierdurch die Fäden sämtlich eine Spannungszunahme erhalten, die um so größer ist, je weiter dieselben nach außen gelegen sind. Die Versuche, welche man mit diesen sogenannten patentgeschlagenen Tauen gemacht hat, haben eine beträchtlich größere Festigkeit ergeben, als die durch Handarbeit nach der früheren Manier hergestellten sie zeigten.

§. 116. **Tragkraft der Hanfseile.** Die Tragkraft eines Hanfseiles hängt nicht allein von der materiellen Beschaffenheit und dem Querschnitte desselben, sondern nach dem Vorhergehenden von der Art der Herstellung und von der Stärke der Drehung ab. Wie sehr ein Seil durch eine starke Drehung an Festigkeit verliert, zeigt folgender Versuch von Muschenbroek: Ein Seil,

*) S. Prechtl, Technolog. Encyclopädie. Bd. 14, S. 582.

welches bis zu ein Fünftel Verkürzung gedreht war, zerriß bei 6205 Pfund Belastung, als es aber eine Drehung bis ein Viertel Verkürzung erhielt, bei 4850 Pfund, und als die Drehung bis zu ein Drittel Verkürzung verstärkt wurde, bei 4098 Pfund.

Uebrigens ist leicht zu ermessen, daß stärkere, aus einer größeren Anzahl Fäden bestehende Seile verhältnißmäßig weniger Tragkraft besitzen, als schwächere. Es findet bei jenen nicht allein an sich eine größere Ungleichheit in der Spannung der Fäden statt, sondern es wird auch dieselbe beim Umbiegen um Rollen und Trommeln noch besonders erhöht. Durch diese Ungleichheit wird natürlich die Tragkraft herabgezogen, weil dabei die stärker gespannten Fäden eher zerreißen, als wenn die Spannung eine gleichförmige wäre.

Die Stärke eines Hanfseiles für eine gegebene Tragkraft P läßt sich mittelst der in Th. I, §. 218 mitgetheilten Festigkeitscoefficienten berechnen, nur ist hierbei zu berücksichtigen, daß man etwa eine dreifache Sicherheit bei stehendem Seilwerke zu geben hat, d. h. solchem, welches nur zur Befestigung dient und eine Bewegung nicht empfängt, während bei sogenannten laufenden Seilen, solchen, die über Rollen und Trommeln sich wickeln, passend eine fünffache Sicherheit zu wählen ist.

Nimmt man daher den Festigkeitsmodul zu 5 Kilogramm für das Quadratmillimeter an, so erhält man bei fünffacher Sicherheit den Durchmesser eines laufenden Seiles durch

$$P = 1 \frac{\pi d^2}{4} = 0,785 d^2 \text{ zu } d = 1,13 \sqrt{P} \text{ Millimeter.}$$

Bei nassen und getheerten Seilen kann man den Durchmesser um 10 Proc. stärker, $d = 1,24 \sqrt{P}$, bei stehenden Seilen um 20 Procent schwächer, $d = 0,9 \sqrt{P}$ annehmen. Nach den in der Seilfabrik von Felten & Guillaume in Cöln angestellten Versuchen ist für die daselbst angefertigten Seile der Festigkeitscoefficient im Mittel gleich

$$K = 17971 \text{ Pfund pro Quadrat Zoll,}$$

oder

$$K = 13,13 \text{ Kilogramm pro Quadratmillimeter,}$$

also über doppelt so groß, als gewöhnlich angenommen wird.

Noch hat man das Gewicht eines laufenden Meters Rundseil bei einer Stärke von d Millimeter

$$G = 0,0009 d^2,$$

oder wenn darin $d = 1,13 \sqrt{P}$ gesetzt wird,

$$G = 0,00115 P \text{ und } P = 870 G.$$

Getheerte Seile wiegen durchschnittlich 20 Procent mehr, folglich hat man dafür

$$G = 0,00108 d^2,$$

oder $d = 1,24 \sqrt{P}$ gesetzt, erhält man

$$G = 0,00166 P \text{ und } P = 602 G.$$

Ein ungetheertes Seil von 870 Meter wird daher schon durch sein Eigengewicht auf seine ganze Tragkraft beansprucht. Man nennt diese Länge wohl die Traglänge. Dieselbe ist bei getheerten laufenden Seilen durch 602 ausgedrückt. Für stehendes Seilwerk kann man dem Obigen zu Folge die Traglängen im Verhältniß 5 : 3 größer annehmen.

Nach den Angaben von Felten & Guillaume hat man die Seile mit losem Schlag für Flaschenzüge und Winden von denen mit festem Schlag, wie Förderseile und Schiffsleinen, zu unterscheiden. Letztere sollen bei gleicher Stärke und Länge 1,8 mal so schwer ausfallen als erstere, dagegen nur 1,5 mal so viel Tragkraft besitzen als diese. Die Versuche mit Seilen aus rheinischem Hanf mit drei Lizen, wovon jede aus 25 bis 80 Fäden besteht, welche durchschnittlich bei 123 Kilogramm zerrissen, haben die genannte Seilfabrik auf die in der folgenden Tabelle verzeichneten Resultate geführt.

Seile, welche großen Belastungen ausgesetzt sind, und welche sich auf Trommeln wickeln sollen, werden häufig in Bandform derart hergestellt, daß man mehrere (4 bis 6) Rundseile von etwa 30 Millimeter Stärke parallel neben einander legt und durch schräg in Zickzacklinien eingeflochtene Hanfschnüre resp. Messingdrähte zusammennäht oder auch mittelst quer hindurchgehender Messingdrähte vernietet. Man umgeht auf diese Weise die großen Durchmesser, welche man Rundseilen für die gleiche Tragfähigkeit geben müßte und erreicht daher ein leichteres Umbiegen um die Trommeln. Auch können sich die Windungen dieser Bandseile auf dem Förderkorbe auf einander, statt neben einander legen, wodurch man in ähnlicher Weise wie bei den bekannten Spiralkörben eine allmälige Vergrößerung des Trommelhalbmessers erreicht. Jedenfalls ist es gut, die zur Herstellung eines Bandseiles dienenden Rundseile zur Hälfte rechts gedreht, zur anderen Hälfte links gedreht anzuwenden, und sie so abwechselnd auf einander folgen zu lassen, wodurch das Bandseil nicht nur seine flache Form besser behält, ohne sich nach der Breite zu wölben, sondern wodurch auch dem Streben des Seiles, sich beim Aufziehen um seine Ase zu drehen, wesentlich entgegengewirkt wird. Letzterer Umstand neben der großen Biegsamkeit macht die Bandseile besonders vortheilhaft zum Gebrauche beim Seilbohren und in Fördererschächten.

Besteht ein solches Seil aus m Strängen von der Dicke d_1 , so hat man

$$P = 0,785 m d_1^2 \text{ und daher } m = 1,27 \frac{P}{d_1^2}.$$

Tabelle*)
 der Zugfestigkeit von mittelsfecht geschlagenen Hanfseilen nach Felten & Guillaume.
 Zahl der Litzen 3.

Nr.	Umfang des Seiles. Millimeter.		Zahl der Fäden in der Litze.	Inhalt des Seiles. Cm.-Millim.	Spannung von 5264 Kilogr. des 0,628 Meter langen Seilstückes.		Gewicht eines Seilstückes von 1 Meter Länge. Kilogramm.	Spannung beim Zerreißen auf		Anmerkungen.
	Millimeter.	Millimeter.			Verlänge- rung. Millimeter.	Umfang des Seiles. Millimeter.		das ganze Seil. Kilogramm.	den Cm.-Mm. Kilogramm.	
1	82,7	42,5	25	424	—	—	0,571	5500	12,95	Zerriß am Anfange des Stücks.
2	95,8	47,9	34	547	35,9	—	0,746	7395	13,50	Desgleichen.
3	104,6	55,6	34	739	—	—	0,746	8743	11,83	Desgleichen.
4	104,6	54,4	40	712	71,8	95,8	0,970	7975	11,20	Desgleichen.
5	104,6	54,4	40	712	65,4	95,8	0,970	8881	12,48	War außen naß, innen trocken, zerriß am Ende des Stücks.
6	122	62,1	51	924	91,5	109	1,17	13238	14,34	Zerriß am Anfange des Stücks.
7	131	65,4	63	1026	65,4	120	1,41	15065	14,66	Desgleichen.
8	157	78,5	82	1477	71,8	139,4	1,75	20724	14,05	Desgleichen.

NB. Die mittlere Tragfähigkeit beträgt also 13,13 Kilogramm pro 1 Quadratmillimeter Querschnitt.

*) S. Kunst- und Gewerbedlatt des polytechn. Vereins für das Königreich Bayern 1856, sowie Polytechn. Centralblatt 1856.

Bei gleichem Querschnitte mit einem Rundseile von der Stärke d ist $m = \left(\frac{d}{d_1}\right)^2$, doch kann man bemerken, daß von einem Bandseile eine größere Tragkraft erwartet werden darf als von einem Rundseile gleichen Querschnitts, da bei letzterem wie überhaupt bei den dickeren Seilen die Ungleichförmigkeit der einzelnen Faserspannungen eine größere sein wird. Das Gewicht des Bandseiles ist wegen der Nähfäden etwas größer als die Gewichte der Rundseile zusammen.

§. 117. **Drahtseile.** Die Seile aus Metalldrähten sind erst seit den dreißiger Jahren*) in Anwendung gekommen. Die Vortheile derselben beruhen in der größeren Festigkeit des Materials, als welches in der Regel Eisen- oder Stahldraht verwendet wird. In Folge der größeren Festigkeit fällt zwar ein Drahtseil dünner aus als ein Hanfseil für gleiche Belastung, doch erfordert die geringere Biegsamkeit der Drahtseile dennoch immer größere Rollen- oder Trommeldurchmesser, aus welchem Grunde Drahtseile nicht für Flaschenzüge und kleinere Haspel Verwendung finden können.

Die Herstellung der Drahtseile geschieht aus dünnen Metalldrähten in ähnlicher Weise, wie diejenige der Hanfseile aus den einzelnen Fäden durch Zusammen-drehen. Insbesondere werden aus den Drähten,

Fig. 364.



deren Anzahl in einem Seile oft mehrere Hundert beträgt, immer zunächst Lizen, Fig. 453, gefertigt, und aus diesen wird das Seil gebildet. Niemals kann die Herstellung des Seiles ohne Weiteres durch directes Zusammen-drehen aller Drähte geschehen. Es ist auch aus dem früher gelegentlich der Hanfseile Mitgetheilten ersichtlich, daß die Herstellung der Lizen aus mehr als vier Drähten an die Anwendung einer Seele gebunden ist, welche man meist aus Hanfgarn bildet, denn ohne einen solchen mittleren Kern würde es unmöglich sein, einzelne Drähte an dem Eintreten in den inneren Theil der Lize zu verhindern, und würden daher diese im Inneren liegenden Drähte wegen ihrer viel steileren Windungen, also geringeren

*) Wenn man auch früher schon Seile für Hängebrücken u. aus einzelnen parallelen geraden Drähten bildete, welche durch einen dünnen Draht dicht bewickelt wurden, so ist doch die Anwendung gedrehter, nach Art der Hanfseile gefertigter Drahtseile zuerst von dem Oberberggrath Albert in Clausthal im Jahre 1834 gemacht worden. S. darüber: Karsten's Archiv für Hüttenkunde. Jahrg. 1837, S. 215.

Länge, vorzugsweise durch die Belastung angestrengt werden, während die äußeren Drähte wegen der flacheren Neigung leichter nachgeben würden. Aus demselben Grunde wendet man auch bei der Zusammendrehung der Litzen zum Seile zwischen den ersteren eine stärkere Unterlage oder eine Hauptseele an, weil die Anzahl der Litzen fast immer größer als vier ist, in der Regel sechs, zuweilen auch noch mehr beträgt. Bei den Hanfseilen wird eine solche Hauptseele zwischen den Litzen niemals angewandt, da hierbei die Zahl der letzteren meist nur drei, selten vier beträgt, indem man für die stärksten Ankertaue sich des Anstückens bedient, welches bei Drahtseilen niemals vorkommt. Die Dicke der Seele ist nach dem vorstehend über die Hanfseile Gesagten nach der Anzahl und Stärke der Drähte in der Litze, bezw. der Litzen im Seil zu bestimmen. Auch bei den Drahtseilen wird die Regel allgemein befolgt, die Zusammendrehung des Seiles entgegengesetzt derjenigen Drehungsrichtung vorzunehmen, in welcher die Vereinigung der Drähte zu Litzen bewirkt ist.

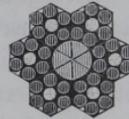
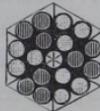
Durchschnitte mehrerer aus drei bis sechs Litzen bestehenden Seile zeigen die Figuren 454, 455, 456 und 457, und zwar stellt Fig. 454 den Quer-

Fig. 454.

Fig. 455.

Fig. 456.

Fig. 457.



schnitt eines Seiles aus drei sechsdrahtigen Litzen und Fig. 455 denjenigen eines solchen aus sechs dreidrahtigen Litzen vor. Aus dem Vorstehenden ergibt sich, daß das erstere ohne Hauptseele, das letztere ohne Seelen in den Litzen zu machen ist. Ebenso können die Seelen bei dem aus vier Litzen von je vier Drähten bestehenden Seile, Fig. 456, weggelassen werden, während bei allen mehrdrahtigen Seilen, wie bei dem 36 drahtigen, Fig. 457, die Anwendung von Seelen unerlässlich ist. Für die Stärke der Seelen in den Litzen gilt die schon oben angeführte Beziehung

$$d_0 = \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) d,$$

wenn α den Mittelpunktswinkel und d die Drahtstärke bedeutet. Durch die Drehung der Litzen nähert sich die Form des Seiles um so mehr der cylindrischen, je größer die Anzahl der Litzen ist. Bei dieser Drehung kommen die Axen der Litzen in einen Cylindermantel zu liegen, dessen Durchmesser D_1 in jedem einzelnen Falle durch einfache geometrische Beziehungen zu ermitteln ist. So ist offenbar für die Querschnitte Fig. 454 und 455:

$$D_1 = 2d + \frac{d}{\sin 60^\circ} = 3,155 d,$$

für den Querschnitt Fig. 456:

$$D_1 = \frac{2d}{\sin 45^\circ} = 2,828 d$$

und für den Querschnitt Fig. 457:

$$D_1 = 2d \sin 60^\circ + d \cotang 15^\circ = 5,464 d.$$

Der äußere Durchmesser D des Seiles hängt wesentlich von der mehr oder minder festen Zusammendrehung ab, und giebt Keuleaux für das Verhältniß $\nu = \frac{D}{d}$ der Seilstärke zur Drahtdicke, wenn i die Anzahl der Drähte bezeichnet, die Tabelle*):

$i =$	36	48	54	60	66	72
$\nu = \frac{D}{d} =$	8	10,25	11,33	12,80	13,25	14,20

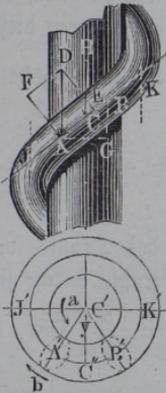
Wenngleich auch in der Bildung der Drahtseile und derjenigen der Hanfseile große Uebereinstimmung vorhanden ist, so bedingt doch die Verschiedenheit des Materials wesentliche Verschiedenheiten hinsichtlich der Inanspruchnahme desselben, worauf bei der Darstellung der Drahtseile zu achten ist. Insbesondere muß hervorgehoben werden, daß bei der Steifheit des Drahtes, welcher neuerdings meist im hartgezogenen, nicht ausgeglühten Zustande Verwendung findet, die Zusammendrehung der Litzen nicht so ohne Weiteres wie die der Garnfäden geschehen kann, indem hierbei der Draht einer beträchtlichen Verwindung in sich ausgesetzt sein würde, durch welche seine Torsionsfestigkeit bedenklich in Anspruch genommen werden müßte. Um eine solche Anstrengung der Drähte, mit welcher natürlich eine wesentliche Verschwächung derselben verbunden sein würde, zu umgehen, hat man bei der Fabrikation der Drahtseile in geeigneter Weise die durch das Zusammendrehen der Drähte in denselben angestrebten Verwindungen durch entgegengesetzte Drehung im Entstehen zu beseitigen.

Von der Art der Anstrengungen, welchen die schraubenförmig gewundenen Drähte in einer Litze schon von vornherein durch die Herstellung ausgesetzt sind, kann man sich in folgender Weise Rechenschaft geben.

*) Niehn folgert aus Vergleichen von Seilmustern $\nu = \frac{i}{4}$ für alle Drahtzahlen unter 48 und für größere Zahlen $\nu = 9,4 + \frac{i}{19}$. S. Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen im preußischen Staate. Jahrgang 1873.

Sei AB , Fig. 458, ein kleines, als gerade anzusehendes Stück eines schraubenförmig gewundenen Drahtes, dessen Mittellinie den Abstand r von der Axe der Witz habe und den Neigungswinkel δ mit derselben bilde. Bei der Herstellung der Witz entsteht dieses Stück AB dadurch, daß der von A

Fig. 458.



ausgehende gerade Draht unter Beibehaltung des Abstandes $C'A' = r$ von der Axe um die letztere im Betrage des Winkels $A'C'B' = \gamma$ gedreht wird, während die Witz selbst in ihrer Richtung um die Länge $BG = l \cos \delta$ sich bewegt, unter l die Länge AB verstanden. Der Winkel γ bestimmt sich dabei offenbar, wenn $L = \frac{2\pi r}{\sin \delta}$ die Länge einer ganzen Schraubenwindung bedeutet, durch

$$\gamma = 2\pi \frac{l}{L} = \frac{l}{r} \sin \delta.$$

Es möge diese Drehung ihrer Größe und Richtung nach durch die Axe HC in der bekannten Art vorgestellt werden. Nun verlege man diese Drehaxe parallel zu sich selbst von C nach A , indem man nach §. 4 Einleitung eine dem entsprechende Verschiebung im Betrage $r\gamma = A'B'$ hinzufügt, und zerlege die nunmehrige Drehaxe DA in ihre beiden Componenten EA nach der Richtung des Stückes AB und FA senkrecht darauf und in der Berührungsebene des Cylinders gelegen, welcher die Schraubenlinie AB in sich aufnimmt. Hieraus erkennt man sofort, daß das Drahtstück bei der Bildung der Witz folgenden zwei verschiedenen Wirkungen ausgesetzt wird:

1) einer verdrehenden Wirkung durch die Drehung, deren Axe $EA = DA \cos \delta = \gamma \cos \delta$ ist, und durch welche das Drahtstück einer Torsion wie eine Welle ausgesetzt ist und

2) einer biegenden Wirkung durch eine Drehung, deren Axe $FA = \gamma \sin \delta$ ist, wodurch das Material in Hinsicht seiner Biegefestigkeit beansprucht wird.

Bezeichnet man mit γ_t und γ_b bezw. die Drehungswinkel, welche der Längeneinheit des Drahtstückes entsprechen, so hat man den Torsionswinkel

$$\gamma_t = \frac{\gamma \cos \delta}{l} = \frac{1}{r} \sin \delta \cos \delta = \frac{1}{2r} \sin 2\delta,$$

und den Winkel, welcher der Biegung entspricht

$$\gamma_b = \frac{\gamma \sin \delta}{l} = \frac{1}{r} \sin^2 \delta.$$

Was zunächst die Biegung anbetrifft, so bedeutet $\gamma_b = \frac{1}{r} \sin^2 \delta$ offenbar

den Contingenzwinkel der schraubenförmigen Aze des Drahtes, und man hat daher den Krümmungshalbmesser dieser Curve $\varrho = \frac{1}{\gamma_t} = \frac{r}{\sin^2 \delta}$, wie sich auch daraus folgern läßt, daß der Krümmungshalbmesser der Schraubenlinie in irgend einem Punkte mit demjenigen der elliptischen Schnittcurve JK des Cylinders übereinstimmt, welche man erhält, wenn man durch das Element AB eine zur Aze FA senkrechte Ebene legt. Die Halbachsen dieser Ellipse sind $C'C'' = r$ und $CK = \frac{r}{\sin \delta}$, folglich der Krümmungshalbmesser im Scheitel C'' gleich

$$\varrho = \frac{CK^2}{C'C''} = \frac{r}{\sin^2 \delta}.$$

In Folge dieser Biegung wird in den äußersten Fasern des Drahtes von der Dicke d eine absolute oder rückwirkende Spannung k erzeugt, welche sich nach Th. I, §. 220 leicht dadurch bestimmt, daß man $\frac{E}{\varrho} = \frac{k}{\frac{1}{2}d}$ setzt, da $\frac{k}{\frac{1}{2}d}$ die Spannung bedeutet, welche im Abstände Eins von der neutralen Faserschicht sich einstellt. Aus obiger Formel, welche sich auch

$$k = \frac{d}{2\varrho} E = \frac{d}{2r} E \sin^2 \delta$$

schreiben läßt, erkennt man, daß bei bestimmter Drahtdicke d und Seilstärke ($2r$) die Biegungsspannung mit dem Winkel δ und zwar im quadratischen Verhältnisse des Sinus zunimmt. Hieraus ergibt sich schon, wie sehr es gerathen ist, den Winkel δ möglichst klein zu wählen. Man pflegt denselben häufig zu 10° und mehr anzunehmen, und mag dieser Winkel bei den weichen ausgeglichenen Drähten wohl zulässig erscheinen, bei hartgezogenen indessen wird, wie eine nähere Rechnung leicht ergibt, bei Annahme eines Winkels $\delta = 10^\circ$ in den meisten Fällen die Spannung der äußersten Fasern schon die bei der Elasticitätsgrenze zulässige überschreiten.

Durch die zweite Drehung γ_t um eine in die Drahtrichtung hineinfallende Aze EA wird der Draht auf Torsion beansprucht. Es beträgt, wie oben gezeigt worden, dabei der Torsionswinkel, d. h. die auf die Längeneinheit des Drahts entfallende Verdrehung

$$\gamma_t = \frac{\sin 2\delta}{2r}.$$

Dieser Werth erreicht sein Maximum für $\delta = 45^\circ$ gleich $\gamma_t = \frac{1}{2r}$, und wird also sowohl mit zunehmendem wie abnehmendem Neigungswinkel δ klei-

ner, so daß er zu Null wird für $\delta = 0$ und $\delta = 90$, d. h. wenn aus dem Schraubengange ein ebener Ring geworden, wie auch, wenn der Schraubengang mit der geraden Aze zusammenfällt. Die Spannung, welche in Folge dieser Verwindung in die äußersten Drahtfasern kommen würde, berechnet sich nach Th. I, §. 269 und 271 durch

$$\gamma_i = \frac{\sin 2\delta}{2r} = \frac{S}{\frac{1}{2}dC} \quad \text{zu} \quad S = \frac{d \sin 2\delta}{4r} C,$$

wenn C den Elasticitätsmodul der Schubfestigkeit und S die größte Torsionsspannung, also die im Abstände $\frac{1}{2}d$ von der Aze des Drahtes bedeutet.

Einer so bedeutenden Verdrehung würden die Drähte, mit Ausnahme etwa der allerdünnsten, nicht widerstehen können, und man sieht sich daher veranlaßt, die Zusammendrehung der Drähte zu den Lizen so vorzunehmen, daß den Drähten selbst eine Drehung in sich gar nicht mitgetheilt wird. Um dies zu erreichen, hat man nur nöthig, den einzelnen Drähten, d. h. also den Spulen, worauf sie gewickelt sind, außer derjenigen Drehung, welche ihnen zum Zwecke ihrer Vereinigung um die Aze der Lize gegeben wird, noch eine eben so große entgegengesetzte Drehung um die eigene Aze zu ertheilen. Denkt man sich etwa in Fig. 458 die Spule des betreffenden Drahtes auf einem um C' drehbaren Arme $C'A'$ sitzend, und dreht diesen Arm aus $C'A'$ um den Winkel γ links um in der Richtung des Pfeiles a nach $C'B'$, gleichzeitig jedoch auch die Spule selbst um die Aze A' des Drahtes um einen eben so großen Winkel rechts um in der Pfeilrichtung b , so hat man es hier mit einem Drehungspaar zu thun, welches bekanntlich auf eine einfache Verschiebung im Betrage $r\gamma$, d. h. im vorliegenden Falle von A' nach B' hinauskommt. Man erreicht diesen Zweck bei den Maschinen, welche zur Fabrication von Drahtseilen dienen, dadurch, daß man die Spulen sämmtlicher eine Lize bildenden Drähte so auf einer Scheibe anbringt, deren Aze in die Aze der zu

*) Nach Th. I, §. 269 hat man nämlich das Torsionsmoment

$$Pa = \frac{\alpha}{l} CW$$

und nach §. 271:

$$Pa = \frac{SW}{e},$$

daraus folgt

$$\frac{\alpha}{l} = \frac{S}{eC}$$

oder für die hier gewählte Bezeichnung

$$\gamma_i = \frac{S}{\frac{1}{2}dC}.$$

erzeugenden Ritz hineinfällt, daß sie auf dieser Scheibe um Bolzen sich drehen können, die parallel zu der Aze derselben sind. Wird nun diese die Spulen tragende Scheibe um die Seele der Ritz herumgedreht, so ist durch einen passenden Mechanismus dafür zu sorgen, daß bei jeder Umdrehung der Spulenscheibe jede Spule einmal in entgegengesetzter Richtung um die gedachten Drehbolzen bewegt wird. Für kleinere Drahtstärken, wie sie beim Umspinnen von Posamentirarbeiten mit Gold- oder Silberdraht vorkommen, genügt dabei ein Bewegungsmechanismus, wie er z. B. in §. 47, Fig. 150 angegeben ist, bei der Herstellung stärkerer Drahtseile indeß bedient man sich einer Einrichtung, wie sie bei dem Buchanan'schen Ruder- und zur Parallelführung der Schaufeln zur Anwendung kommt, und wie sie in dem über das Kurbelgetriebe handelnden Capitel näher beschrieben werden soll. Bei der ursprünglichen Darstellung der Drahtseile aus freier Hand, wie sie von Albert*) beschrieben ist, war eine derartige Vorsicht überhaupt nicht nöthig, da hierbei die Drähte ihrer ganzen Länge nach gerade ausgestreckt und an dem einen Ende frei waren, daher bei der Drehung, welche ihnen an der Vereinigungsstelle mitgetheilt wurde, eine Torsion nicht in ihnen hervorgerufen werden konnte, aus dem Grunde, weil das andere Ende ganz frei war.

Es erhellt übrigens, daß zwei Drahtseile oder Ritzen, welche in der einen oder anderen Weise, d. h. mit oder ohne Verwindung der Drähte in sich dargestellt sind, hinsichtlich ihrer Form sich nicht unterscheiden, wenigstens so lange nicht, als die Drähte den kreisförmigen Querschnitt haben. Man kann sich indeß den vorhandenen Unterschied mit Hilfe der Figuren 459 und 460 deutlich machen. Fig. 459 zeigt einen Draht *abc*, welcher ohne innere Verwindung um eine Seele *AB* geschlungen ist, und hierbei sind die sämtlichen ursprünglich geraden Längsfasern des Drahtes in unter sich congruente Schraubenlinien von demselben Halbmesser *r* und gleicher Steigung gewunden, wie dies durch *aaa*, *bbb*, *ddd*... angedeutet ist. Dagegen bilden diese Fasern bei einem Drahte, Fig. 460, bei welchem die innere Verwindung nicht durch Rückdrehung der Spule aufgehoben ist, Schraubenlinien, welche zwar sämtlich gleiche Steigung, aber verschiedene Halbmesser haben. So ist z. B. die innerste Faser *bbb* um einen Cylinder vom Halbmesser $r - \frac{1}{2} d$ und die äußerste Faser *aaa* um einen Cylinder vom Halbmesser $r + \frac{d}{2}$ gewunden. Würden die einzelnen Drähte einen scharfkantigen etwa quadratischen Querschnitt haben, so würden auch die beiden Formenunterschiede dem Auge sofort wahrnehmbar sein.

*) Karsten's Archiv für Mineralogie, Geognosie, Bergbau- und Hüttenkunde 1837, Bd. X, S. 215.

Was hier von der Bildung der Litzen in Bezug auf die Nothwendigkeit gesagt worden ist, die innere Verwindung der Drähte durch eine entsprechende

Fig. 459.

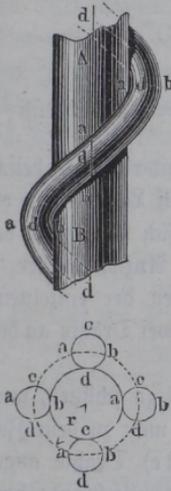
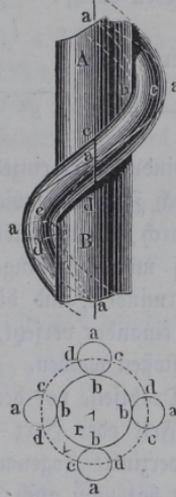


Fig. 460.



Rückdrehung derselben zu vermeiden, gilt in gleicher Art von der Zusammendrehung der Litzen zu Seilen, da ohne eine derartige Vorsicht sonst durch das Zusammendrehen der Litzen die letzteren wegen der entgegengesetzten Richtung der beiden Drehungen zum Theil oder gänzlich wieder aufgewunden werden würden. Bei der Vereinigung der Litzen zum Seile pflegt man den Neigungswinkel der Schraubenwindungen gegen die Ase meist zwischen 10 und 30° anzunehmen, doch erscheint es auch hier gerathen, denselben so klein wie möglich zu nehmen.

Wenn man auch zuweilen Drahtseile aus einzelnen parallel liegenden Drähten (sogenannte Bündelseile) gefertigt hat, so ist doch leicht zu erkennen, daß eine derartige Anordnung nur für stehendes Seilwerk, z. B. für Schiffswanten, verwendbar ist, keinesfalls aber geeignet erscheint, wenn die Seile um Rollen oder Trommeln sich biegen sollen. In letzterem Falle würden bei paralleler Lage der Drähte nur die äußeren Drähte gedehnt werden, wodurch eine ungleichmäßige Anstrengung derselben, folglich eine geringere Tragkraft herbeigeführt werden müßte. Wenn dagegen das Seil geschlagen, d. h. gedreht ist, so kommt derselbe Draht bei der Umbiegung bald nach außen, bald nach innen zu liegen, wodurch viel eher die Möglichkeit einer gleichmäßigen Spannung aller Drähte zu erreichen ist.

Was die Verfürzung der Drahtseile durch die Drehung anbetrißt, so erzieht sich dieselbe aus dem Drehungswinkel oder der Steigung s der einzel-

nen Schraubengänge. Ist r der Abstand des Mittelpunktes eines Drahtes von der Aze der Wige, resp. einer Wige von der Aze des Seiles, so ist die zu einer vollständigen Schraubenwindung erforderliche Länge des Drahtes bzw. der Wige gegeben durch

$$l = \sqrt{s^2 + (2r\pi)^2},$$

daher die Verkürzung

$$\lambda = l - s = \sqrt{s^2 + (2\pi r)^2} - s = \text{annähernd } \frac{(2\pi r)^2}{2s}.$$

Die Verbindung der einzelnen Drahtenden mit einander bei langen Seilen geschieht durch Zusammenwickeln der Enden auf Längen von etwa 1 Meter oder auch durch Zusammenlöthen. Es versteht sich von selbst, daß man durch Verwendung möglichst langer Drahtadern die Anzahl solcher Verbindungen thunlichst vermindert, und die Verbindungsstellen der einzelnen Drähte gehörig gegen einander versezt, so daß niemals zwei Drähte an derselben Stelle zusammengestoßen werden.

Um die Drahtseile vor dem Rosten möglichst zu schützen, werden dieselben wohl durch Fett oder Harz gezogen, auch hat man zu dem Zwecke seit längerer Zeit verzinkte (sogenannte galvanisirte) Drähte angewendet. In neuerer Zeit hat man auch Drahtseile aus Phosphorbronze dargestellt, über deren Verhalten es indessen noch an Erfahrungen mangelt. Es scheint nicht, als ob der höhere Preis solcher Seile durch entsprechend größere Festigkeit oder Dauerhaftigkeit aufgewogen werde.

§. 118. **Stärke der Drahtseile.** Die Tragfähigkeit der Drahtseile bestimmt sich aus dem Festigkeitsmodul des Eisendrahts $K = 62,1$ Kilogramm, wobei man etwa dreifache Sicherheit bei stehendem und fünffache Sicherheit bei laufendem Seilwerke annehmen kann. Daher beträgt die zulässige Spannung des Materials:

$$k = 20 \text{ für stehendes,}$$

$$k = 12 \text{ für laufendes Seilwerk.}$$

Ein Seil aus n Drähten von der Dicke d hat daher eine Tragfähigkeit:

$$P = \frac{\pi d^2}{4} nk = 0,785 nd^2k$$

und ebenso hat man die Drahtstärke

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{P}{nk}},$$

oder die Zahl der Drähte:

$$n = 1,27 \frac{P}{d^2k}.$$

Setzt man für Eisendrahtseile $k = 12$ Kilogramm, so wird:

$$P = 9,42 \, n d^2; \quad d = 0,326 \sqrt{\frac{P}{n}}; \quad n = 0,106 \frac{P}{d^2}.$$

Der äußere Durchmesser D des Drahtseils ergibt sich dann aus den im vorhergehenden Paragraphen gemachten Angaben.

Für ein Bandsseil aus m Rundseilen von je n Drähten gelten dieselben Formeln, wenn man darin $m \cdot n$ anstatt n einführt.

Das Gewicht der Drahtseile zu bestimmen, hat man auf die Verkürzung derselben durch das Zusammendrehen zu rücksichtigen. Nimmt man dieselbe im Durchschnitt zu 10 Proc. an*), so folgt bei einem specifischen Gewichte des Eisens $\gamma = 7,7$ das Gewicht des laufenden Meters Drahtseil zu:

$$G = \frac{10}{9} 7,7 \cdot 0,785 \frac{n d^2}{1000} = 0,00672 \, n d^2$$

oder wenn $9,42 \, n d^2 = P$ gesetzt wird (entsprechend $k = 12$):

$$G = \frac{0,00672}{9,42} P = 0,000714 P,$$

oder

$$P = 1400 G.$$

Da für ungetheerte Hanfseile $P = 870 G$ und für getheerte Hanfseile nur $P = 602 G$ gefunden wurde, so folgt hieraus, daß Drahtseile für dieselbe Tragfähigkeit im Verhältniß $\frac{870}{1400} = 0,623$ leichter als ungetheerte

und im Verhältniß $\frac{602}{1400} = 0,429$ leichter als getheerte Hanfseile ausfallen.

Hierin liegt ein besonderer Vortheil der Drahtseile bei Förderungen aus sehr tiefen Schächten, wobei das Eigengewicht des Förderseils einen wesentlichen Theil der Last ausmacht. Während bei Verwendung von Hanfseilen hier nach die höchstens zulässige Fördertiefe durch 870 resp. 602 Meter gegeben ist, kann dieselbe bei Anwendung von Drahtseilen auf 1400 Meter steigen.

In welcher Weise die Drahtseile zu beurtheilen sind, welche zur Uebertragung schneller rotirender Bewegungen zwischen weit entfernten Axen gebraucht werden, ist schon in §. 59 gezeigt worden.

Ueber die Tragkraft, Bruchbelastung und das Gewicht von Drahtseilen sind u. A. die Tabellen von Felten & Guilleaume im polytechn. Centralblatt, Jahrg. 1856, und daraus in den betreffenden Handbüchern, wie des „Ingenieurs Taschenbuch“ vom Verein Hütte zc. nachzusehen. Die folgende

*) Beträgt der Neigungswinkel der Drähte in den Lizen $\delta_1 = 10^\circ$, und der Neigungswinkel der Lizen gegen die Ase des Seils $\delta_2 = 20^\circ$, so hat man eine Verkürzung von $\lambda = 1 - \cos 10^\circ \cos 20^\circ = 0,074 = 7,4$ Proc. und wenn $\delta_2 = 25^\circ$ ist: $\lambda = 1 - \cos 10^\circ \cdot \cos 25^\circ = 0,102 = 10,2$ Proc.

Tabelle enthält einige englische Angaben über die Tragfähigkeit der Seile aus Stahl, Eisen und Hanf, welche der Zeitschrift: „Der Berggeist, Jahrgang V, 1860, Nr. 97“ entnommen und für metrisches Maß umgerechnet sind.

Tabelle der Tragfähigkeit von Seilen

aus der Fabrik von R. S. Newall & Co. zu Birkenhead.

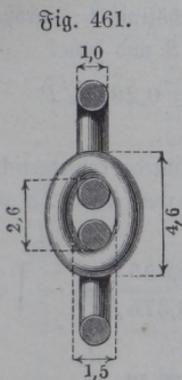
a) Rundseile.

Stahl.		Eisen.		Hanf.		Belastungs- gew.	Zerrei- ßungs- gew.
Umfang	1 Meter wiegt	Umfang	1 Meter wiegt	Umfang	1 Meter wiegt		
Millim.	Kilogr.	Millim.	Kilogr.	Millim.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
88,7	2,48	114,3	4,47	—	—	5486	36576
82,4	1,98	98,3	3,23	241	5,96	3962	27432
63,4	1,37	85,5	2,23	203	3,97	2743	18288
50,8	0,852	66,6	1,49	165	2,48	1829	12192
44,4	0,620	53,9	0,982	140	1,74	1219	8128
38,1	0,372	44,4	0,620	—	—	762	5080
25,4	0,248	38,1	0,372	—	—	457	3048
—	—	25,4	0,248	69,8	0,496	305	2032

b) Bandseile.

Stahl.			Eisen.			Hanf.			Belastungs- gew.	Zerrei- ßungs- gew.
Breite	Dicke	1 Meter wiegt	Breite	Dicke	1 Meter wiegt	Breite	Dicke	1 Meter wiegt		
Millimeter.	Millimeter.	Kilogr.	Millimeter.	Millimeter.	Kilogr.	Millimeter.	Millimeter.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
82,4	9,52	4,47	114	19	7,95	241	60,2	13,67	6502	56896
76,2	9,52	3,97	108	19	6,96	229	63,4	12,45	5690	50800
69,7	9,52	3,72	102	17,5	6,22	216	57,0	11,20	5080	45720
63,4	12,7	3,23	95,2	17,5	5,96	210	53,9	9,94	4470	40640
57,0	12,7	2,73	82,5	15,9	4,47	152	38,1	7,45	3658	32512
50,8	12,7	2,48	76,2	15,9	3,97	146	38,1	6,95	3251	28448

Ketten. Von den Ketten, welche zur Uebertragung der rotirenden Bewegung zwischen entfernten Axen dienen, ist bereits in dem von den Kettenrädern handelnden Abschnitte gesprochen, hier handelt es sich daher hauptsächlich um die eine geradlinige Bewegung vermittelnden eigentlichen Lastketten für Winden und Hebevorrichtungen. Dieselben werden fast allgemein als einfache Gliederketten in der aus Fig. 461 ersichtlichen Weise ausgeführt,



und nur ausnahmsweise hat man die Galle'schen Laschenketten (Fig. 316 bis 318 auf S. 439) für den gleichen Zweck angewendet. Die ovalen Glieder der Ketten haben gewöhnlich lichte Weiten von $1,5 d$ und $2,6 d$, wenn d die Stärke des Ketteneisens bedeutet. Da bei dem Abreißen eines Kettengliedes der Bruch an zwei Stellen erfolgen muß, so hat man für die Festigkeit eines Gliedes die Formel

$$P = 2 \frac{\pi d^2}{4} k,$$

worin man die zulässige Spannung k erfahrungsmäßig zu 6 Kilogramm annehmen darf, wenn die Ketten wie in Fig. 461 mit offenen Gliedern, d. h. ohne Querstege, versehen sind.

Demnach folgt für $k = 6$:

$$P = 9,42 d^2 \quad \text{und} \quad d = 0,326 \sqrt{P}.$$

Das Gewicht eines Kettengliedes zu bestimmen, hat man zunächst die Länge l der mittleren Faser von der Form einer Ellipse, deren Halbachsen $a = 1,8 d$ und $b = 1,25 d$ sind, nach der bekannten Formel:

$$l = \pi(a + b) \left[1 + \frac{1}{4} \left(\frac{a - b}{a + b} \right)^2 + \dots \right] = 3,05 \cdot 1,008 \pi d = 9,66 d.$$

Hieraus folgt das Gewicht eines Kettengliedes zu

$$G_0 = \frac{\pi d^2 l \gamma}{4} = 0,785 \cdot 9,66 \cdot 0,0000077 d^3 = 0,0000584 d^3 \text{ Kilogr.}$$

Da jedes Glied ein Kettenstück von der Länge $2,6 d$ liefert, so hat man das Gewicht eines laufenden Meters Kette

$$G = 1000 \frac{G_0}{2,6 d} = 0,0225 d^2 \text{ Kilogramm,}$$

oder $d = 0,326 \sqrt{P}$ eingesetzt:

$$G = 0,0225 \cdot 0,106 P = 0,00239 P \text{ Kilogramm,}$$

also $P = 418 G$.

Starke Kettentaue, wie sie namentlich beim Schiffswesen in Anwendung kommen, erhalten in der Regel nach Fig. 462 noch gußeiserne Stege, welche in der Mitte einen quadratischen Querschnitt von $\frac{2}{3} d$ Seitenlänge und an den Enden einen solchen von $\frac{2}{3} d$ Breite und d Höhe haben. Hierdurch erreicht man neben dem Vortheile, daß die Kette sich nicht verwirren kann, eine im Verhältniß 4 : 3 größere Tragfähigkeit, so daß man $k = 8$ und daher

$$P = 12,56 d^2 \text{ und } d = 0,282 \sqrt{P}$$

setzen kann.

Die Länge l des zu einem Gliede erforderlichen Eisens beträgt hier, da die Halbaxen $a = 2 d$ und $b = 1,375 d$ betragen:

$$l = 3,14 \cdot 3,375 \left[1 + \frac{1}{4} \left(\frac{0,625}{3,375} \right)^2 + \dots \right] d \\ = 10,694 d.$$

Daraus folgt das Gewicht des Kettengliedes ohne Steg zu

$$0,785 \cdot 10,694 \cdot 0,0000077 d^3 = 0,0000647 d^3 \text{ Kilogramm.}$$

Fügt man hierzu das Gewicht des Stegs annähernd mit

$$2,25 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{5}{6} \cdot 0,0000073 d^3 = 0,0000091 d^3,$$

so erhält man das Gewicht des ganzen Gliedes zu $G_0 = 0,0000738 d^3$, also per laufenden Meter

$$G = 1000 \frac{G_0}{3 d} = 0,0246 d^2 = 0,00195 P$$

und $P = 512 G$.

Diese Kette fällt daher für die gleiche Zugkraft etwas leichter aus, als die offene Ringkette.

Anmerkung. Ueber die Anfertigung der Ketten und über die Kettentaue ist nachzusehen: Pechtl's Encyclopädie, Bd. VIII, Artikel „Ketten“, ferner in Karmarsch und Heeren's technischem Wörterbuche und in den Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes in Preußen, Jahrgänge 1824 und 1835. Theoretische Bestimmungen der Stärke von Kettengliedern u. s. w. enthält die Festigkeitslehre von Dr. F. Grasshof, Berlin 1866, sowie die Lehre von der Elasticität und Festigkeit von Dr. E. Winkler, 1. Theil, Prag 1867. Tabellen über die Tragfähigkeit und das Eigengewicht von Ketten findet man in den meisten Handbüchern der Maschinenconstructionslehre.

§. 120. Vergleichung der Seile und Ketten. Die in dem Vorhergehenden ermittelten theoretischen Verhältnisse der Seile und Ketten sind in der folgenden Tabelle I zusammengestellt, worin d den Durchmesser der Hanf-

Tabelle I
über die Tragkraft, Stärke und das Gewicht von Seilen und Ketten.

	Hanfseile.		Drahtseile.	Offene Ringketten.	Stegketten.
	Trocken und ungetheert.	Naß oder getheert.			
$k^{gr} =$	1	0,82	12	6	8
$d^{mn} =$	$1,13 \sqrt{P}$	$1,24 \sqrt{P}$	$0,326 \sqrt{\frac{P}{n}}$	$0,326 \sqrt{P}$	$0,282 \sqrt{P}$
$P^{gr} =$	$0,785 d^2 = 870 G$	$0,652 d^2 = 600 G$	$9,42 n d^2 = 1400 G$	$9,42 d^2 = 420 G$	$12,56 d^2 = 512 G$
$G^{gr} =$	$0,0009 d^2 = 0,00115 P$	$0,00108 d^2 = 0,00166 P$	$0,00672 n d^2 = 0,000714 P$	$0,0225 d^2 = 0,00239 P$	$0,0246 d^2 = 0,00195 P$

seile, resp. des einzelnen Drahtes und des Kettenreißens bezeichnet. Eine vergleichende Zusammenstellung jener Organe, in Hinsicht auf Festigkeit, Gewicht und Preis, wie sie aus den Versuchen sich ergeben hat, welche auf Befehl der englischen Admiralität angestellt worden sind, ist dagegen in Tabelle II (S. 588) enthalten. Sind auch die Preise natürlich mit der Zeit sehr veränderlich, so dürften die Angaben doch in Bezug auf das gegenseitige Verhältniß der Kosten von Seilen und Ketten einen gewissen Anhaltspunkt gewähren.

Man ersieht daraus, daß bei gleicher Tragkraft das Drahtseil stets das leichtere und wohlfeilere und das Kettenau stets das schwerere und meist auch das theurere Ueberragsmittel abgibt. Es läßt sich im Mittel annehmen, daß bei gleicher Tragkraft das Gewicht des Drahtseils nur halb so groß und das des Kettenraues zwei bis drei mal so groß ist wie das des Draht-

Tabelle II

über die Festigkeit, das Gewicht und den Preis von Drahtseilen, Hanfseilen
und Kettentauen.

Belastung in Tonnen = 2240 engl. Pfunden, bei welcher ein Zerreißen eintritt.	Gattung der Tae.	Umfang der Hanf- und Drahtseile; Dicke d. Ketteneisens in Millimetern.	Gewicht von 1 Meter in Kilogrammen.	Preis von 1 Faden = 6 engl. Fuß in Sh. u. Pc. 1 Sh. = 12 Pc. = 1 Mark.		
				Sh.	Pence.	
1 Tonne = 2240 engl. Pfd. = 1016 Kilogr.	{	Drahtseil	25,4	0,186	—	5
		Hanfseil	50,8	0,264	—	5½
		Kette	6,35	0,744	1	6
8 Tonnen = 17920 engl. Pfd. = 8128 Kilogr.	{	Drahtseil	50,8	0,652	1	6
		Hanfseil	127,0	1,49	2	7½
		Kette	12,7	3,97	4	—
12 Tonnen = 26880 engl. Pfd. = 12192 Kilogr.	{	Drahtseil	63,5	1,12	2	5½
		Hanfseil	178,0	3,03	5	4
		Kette	17,5	6,70	6	—
16 Tonnen = 35840 engl. Pfd. = 16256 Kilogr.	{	Drahtseil	76,2	1,69	3	7½
		Hanfseil	203,2	3,52	6	2½
		Kette	20,6	9,18	8	—
20 Tonnen = 44800 engl. Pfd. = 20320 Kilogr.	{	Drahtseil	88,9	2,30	5	—
		Hanfseil	228,6	4,80	8	3¾
		Kette	23,0	11,42	9	7
24 Tonnen = 53760 engl. Pfd. = 24384 Kilogr.	{	Drahtseil	101,6	3,04	6	7½
		Hanfseil	254,0	6,20	10	11¼
		Kette	24,6	13,15	10	10½
30 Tonnen = 67200 engl. Pfd. = 30480 Kilogr.	{	Drahtseil	114,0	4,05	8	10
		Hanfseil	279,0	7,44	13	1¼
		Kette	27,0	15,38	12	11
36 Tonnen = 80640 engl. Pfd. = 36576 Kilogr.	{	Drahtseil	127,0	5,54	12	1
		Hanfseil	318,0	8,84	15	7¾
		Kette	30,2	19,36	16	3
44 Tonnen = 98560 engl. Pfd. = 44704 Kilogr.	{	Drahtseil	140,0	6,70	14	11
		Hanfseil	356,0	10,32	18	3½
		Kette	33,4	23,81	20	—
54 Tonnen = 120960 engl. Pfd. = 54864 Kilogr.	{	Drahtseil	152,0	8,43	18	6
		Hanfseil	381,0	11,78	20	9½
		Kette	36,6	28,52	24	—

feiles, daß ferner die Stärke des Drahtseiles nur etwa 0,4 und die Stärke des Runderisens, aus welchem die Kettenglieder bestehen, etwa 0,3 von der eines Hanfseiles beträgt.

Bezeichnet man diejenige Länge eines Taues, bei welcher dessen eigenes Gewicht eine Faserspannung erzeugt, welche den höchstens zulässigen Betrag von k erreicht, wie schon oben bemerkt, mit dem Namen der Traglänge, so sieht man aus Tabelle I, daß diese Traglängen für Hanfseile durch 870 resp. 600 Meter, für Ketten durch 420 resp. 512 Meter, dagegen für Drahtseile durch 1400 Meter dargestellt sind. Man erkennt aus der bedeutenden Größe des letzteren Werthes, welchen Vortheil die Drahtseile insbesondere bei Förderungen aus sehr tiefen Schächten gewähren, und daß man mit Drahtseilen Fördertiefen überwinden kann, bei welchen die Hanfseile und Ketten nicht mehr ausreichen.

Bei sehr bedeutenden Tiefen pflegt man daher auch wohl die Seile annähernd als Körper gleicher absoluter Festigkeit zu bilden (s. Th. I, §. 214), indem man sie aus einzelnen Stücken von nach unten hin abnehmender Stärke zusammensetzt, und es ist klar, daß hierdurch die durch das Eigengewicht des Seils hervorgerufene Spannung der Fasern erheblich vermindert werden kann. Es bedarf nur der Erwähnung, daß bei völliger Eintauchung in Wasser die durch das Eigengewicht des Seils oder der Kette in dem Materiale hervorgerufene Spannung in dem Verhältnisse $\frac{\gamma - 1}{\gamma}$ vermindert wird, wenn γ

das spezifische Gewicht des Materials bedeutet. Dies ist besonders wichtig für die Schnüre von Senkbleien, deren Traglänge durch den Auftrieb des Wassers mehr als verdoppelt wird, während bei Drahtseilen, wie sie etwa in Bohrlöchern, welche meist mit Wasser gefüllt sind, sowie zu Telegraphentabellen zur Anwendung kommen, die Traglänge durch das Eintauchen nur etwa um 12 bis 15 Procent vergrößert wird.

Einen besonderen Vortheil gewähren im Allgemeinen die Seile den Ketten gegenüber noch in der verhältnißmäßig größeren Sicherheit der ersteren in Bezug auf etwaige Fehlstellen. Abgesehen davon, daß ein mangelhafter Zustand des Materials in irgend einem Kettengliede von außen meistens nicht zu erkennen ist, liegt auch in der Art der Fabrikation der Seile eine größere Gewähr für das Vorhandensein durchaus tadellosen Materials, indem bei der Darstellung der Hanfseile die Fasern während des Hechels einer gründlichen Beobachtung des Arbeiters sich nicht entziehen können, und bei den Drähten die geringe Dicke, zu welcher das Eisen, ohne abzureißen, überhaupt ausgezogen werden konnte, schon ein sicherer Beweis für die Vorzüglichkeit des Materials ist. Hierzu kommt noch, daß Ketten durch die unvermeidlichen kleinen Erschütterungen, denen sie ausgesetzt sind, leicht ihre sehnige Textur in eine krystallinische verändern. Daher sollte man in allen solchen Fällen, in denen durch

den Bruch des betreffenden Organs Menschenleben gefährdet sind, die Ketten wenn möglich vermeiden, und, wo dies nicht angängig ist, durch von Zeit zu Zeit wiederholte Probelastungen sich von der unveränderten Tragfähigkeit der Ketten überzeugen.

Was den Widerstand anbetrifft, welchen die Seile und Ketten bei ihrer Umbiegung um Rollen oder Trommeln darbieten, so besteht derselbe bei den Ketten lediglich in der Reibung der Kettenglieder an einander, welche, wie bereits in §. 90 gezeigt, wie Zapfen- oder Bolzenreibung zu beurtheilen und der Spannung des auflaufenden Kettenendes proportional ist. Bei den Seilen dagegen äußert sich dieser Widerstand in einer zweifachen Weise, und zwar resultirt derselbe theils aus der Reibung der einzelnen Fasern oder Drähte an einander und theils aus einer natürlichen Steifigkeit derselben. Beim Abwickeln der Seile und Ketten von den Trommeln stellt sich ebenfalls der Reibungswiderstand wie beim Aufwickeln ein, nur ist hier die Spannung des ablaufenden Endes in Rechnung zu stellen. Was dagegen den eigentlichen Steifigkeitswiderstand der Seile betrifft, so ist bei den Drahtseilen die Elasticität so groß, daß sie sich meist ohne besondere Kraftanstrengung wieder gerade biegen, ein besonderer Arbeitsverlust daher beim Ablausen durch die Steifigkeit nicht herbeigeführt wird, vorausgesetzt, daß die Elasticitätsgrenze des Materials beim Aufwickeln nicht etwa wegen des zu geringen Rollenhalbmessers überschritten worden ist. Anders verhalten sich die Hanfseile, deren Elasticität so gering ist, daß sie nur ein sehr schwaches oder nach Befinden gar kein Bestreben haben, sich, nachdem sie gebogen sind, wieder gerade zu strecken, so daß bei ihnen auch beim Ablausen ein gewisser Steifigkeitswiderstand auftritt. Ueber die Größe dieser Widerstände sind in Thl. I, §. 201 f. die näheren Angaben enthalten. Den von der Reibung abhängigen Theil des Biegungswiderstandes bei Ketten und Drahtseilen möglichst klein zu machen, ist ein zeitweises Delen oder Schmieren derselben mit einer weichen Schmiere empfehlenswerth und gebräuchlich. Sinegen macht das Theeren die Hanfseile sowie das Ritten die Drahtseile steifer, und wendet man diese Mittel nur nothgedrungen als Mittel gegen die Feuchtigkeit und zur Erlangung größerer Dauer an. Als gute Drahtseilschmiere wird Steinkohlentheer empfohlen, welchem, nachdem er durch Kochen vom Wasser befreit wurde, 15 bis 20 Procent Talg zugesetzt ist. (S. Oesterr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen, 1859.)

Beispiele: 1) Wie stark ist das Hanfseil für eine Bodenwinde zu machen, welche Lasten bis zu 1000 Kilogramm heben soll?

Man hat hier für ein ungetheertes Seil:

$$d = 1,13 \sqrt{1000} = 35,7 = \text{rot. } 36 \text{ Millimeter,}$$

und für ein getheertes Seil:

$$d = 1,24 \sqrt{1000} = 39,2 = \text{rot. } 40 \text{ Millimeter.}$$

2) Der Kettenzug an einem Krahn betrage 5000 Kilogramm, wie stark muß das Ketteneisen genommen werden?

Bei Anwendung einer offenen Ringkette ist die Eisenstärke zu wählen:

$$d = 0,326 \sqrt{5000} = 23,05 = \text{rot. } 24 \text{ Millimeter,}$$

während für eine Stegkette:

$$d = 0,282 \sqrt{5000} = 19,9 = \text{rot. } 20 \text{ Millimeter}$$

zu nehmen ist. Das Gewicht pro laufenden Meter Kette beträgt in diesen Fällen

$$G = 0,0225 \cdot 24^2 = 12,96 \text{ Kilogramm}$$

und beziehungsweise

$$G = 0,0246 \cdot 20^2 = 9,84 \text{ Kilogramm.}$$

3) Wenn durch ein Drahtseil aus einem 400 Meter tiefen Schachte eine Last von 3000 Kilogramm gefördert werden soll, welche Stärke hat man den Drähten zu geben, wenn deren Anzahl 72 betragen soll?

Da das Gewicht des Drahtseils $G = 0,00672 \cdot 72 \cdot 400 d^2 = 193,6 d^2$ beträgt, so findet man die Drahtstärke aus:

$$d = 0,326 \sqrt{\frac{3000 + 193,6 d^2}{72}}$$

zu

$$d = \sqrt{\frac{4,420}{0,715}} = 2,49 = \text{rot. } 2,5 \text{ Millimeter.}$$

Der Durchmesser des Drahtseils beträgt dann nach Reuleaux, s. §. 116,

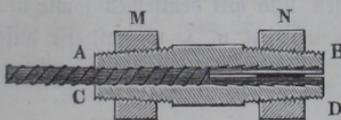
$$D = 14,2 \cdot 2,5 = 35,5 \text{ Millimeter,}$$

nach Riehn:

$$D = \left(9,4 + \frac{72}{19}\right) 2,5 = 33,0 \text{ Millimeter.}$$

Verbindung der Seile und Ketten. Um die Enden zweier Drahtseile zu vereinigen, kann man einen aus zwei Schalen AB und CD bestehenden Muff AD , Fig. 463, anwenden, dessen Enden schwach conisch abgedreht und mit Schraubengewinde versehen sind, derartig, daß durch festes Anziehen der beiden gleichfalls wenig conisch geschnittenen Schraubenmuttern

Fig. 463.



M und N die Drahtseilenden fest zwischen die Backen gepreßt werden.

Anstatt aus zwei Schalen kann man übrigens den Muff AD auch aus einem Stücke bilden, und die Enden durch Sägenschnitte kreuzweise auf-

spalten. Zuweilen werden zwei Seilenden behufs ihrer Verbindung einfach zusammengeschweißt. Eine solche Verbindung, sowie die Anwendung des oben erwähnten Muffs ist natürlich nicht angängig, wenn die Verbindungsstelle sich über eine Rolle oder Trommel biegen muß, in solchem Falle bleibt nichts übrig, als die beiden Drahtseilenden auf eine gewisse Länge von

0,5 bis 1 Meter aufzudrehen und die einzelnen Drähte mit einander dergestalt regelmäßig zu verschlechten, daß die Reibung zwischen ihnen ein Lösen der Verbindung verhindert.

Die Verbindung eines Drahtseils mit einer Kette, wodurch z. B. das Fördergefäß oder die Förderschale angeschlossen wird, ist aus Fig. 464 zu ersehen. Das Seilende *ABCD* ist um ein ringförmiges Blechauge gelegt,

Fig. 464.



welches gleichsam das Dehr für das hindurchgehende Kettenglied *G* bildet. Die Drähte des zurückgebogenen Seilendes *CD* verlaufen sich in dem Seilstücke *AB*, und der dadurch gebildete Seilbund von etwa 1 Meter Länge wird durch eine schraubenförmige Umwicklung von Draht fest zusammengehalten. Um das Seilende nach Bedürfnis ein- und auszuhängen zu können, wird das hufeisenförmige Kettenschloß *HK* eingeschaltet, dessen Bolzen *K* in den Bügel geschraubt ist.

Eine vorzügliche Verbindung eines Drahtseils mit einer Kette zeigt Fig. 465*). Hier ist eine conische Büchse *CC* über das Seil *AB* gesteckt, und das vorstehende Endstück des letzteren in die einzelnen Drähte aufgelöst, welche über den äußeren Umfang dieser Büchse zurückgebogen sind, um mittelst der Drahtumwindung *EE* befestigt zu werden. Eine zweite conische Büchse *FF* umgiebt das umgebogene Drahtbündel *CBC* und preßt dasselbe beim Anziehen mittelst des Bügels *GG* fest auf den äußeren Umfang der ersten Büchse, so daß dadurch eine feste Verbindung des Seils mit dem Bügel *FG* und der Kette *H* hergestellt wird.

Die Verbindung eines Bandsseils mit einer Kette führt Fig. 466 in zwei Ansichten vor Augen. Hier läuft der Ring *EE*, in welchem das erste Kettenglied hängt, in zwei Laschen *DE* aus, welche das Ende des Bandsseils *AB* zwischen sich fassen und mit demselben sowie unter sich durch Nieten wie *ab*, *cd* u. s. w. mittelst aufgeschobener Ringe oder schmaler Querlaschen verbunden werden.

Zur Verbindung der Ketten mit einander wendet man verschiedenartig gestaltete Ketteneschlöffer an. Ein solches von einfacher Einrichtung zeigt Fig. 467 (S. 594).

*) S. Zeitschrift f. d. Berg-, Hütten- und Salinenwesen in dem preussischen Staate, 1869, Bd. VII, S. 77.

Hierbei ist ein Kettenglied AB an der einen Seite mit einem Schlitze versehen, weit genug, um das folgende Kettenglied EF durch den Schlitz einzuführen zu können. Der Schluß des Schlitzes geschieht durch das Einsatzstück C , welches durch den Schraubbolzen D festgehalten wird. Das in Fig. 468 (a. f. S.) dargestellte Kettenstück, welches zur Verbindung des Seiles mit dem Gestelle oder Gefäße einer Schachtfördermaschine (s. auch Fig. 464) dient, enthält zwei Kettenschlösser AB und CD mit lösbaren Bolzen A und C , sowie eine geschlossene Dese EF , welche um den Zapfen L des öhrförmigen Gliedes KL drehbar ist.

Fig. 465.

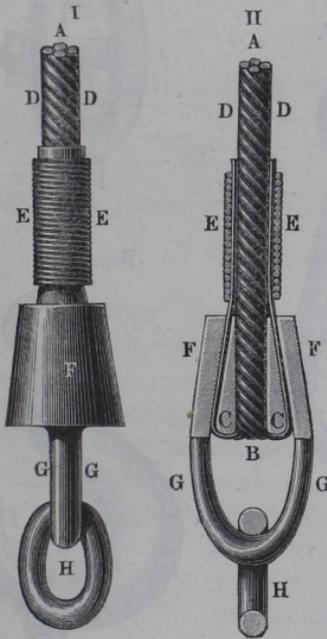
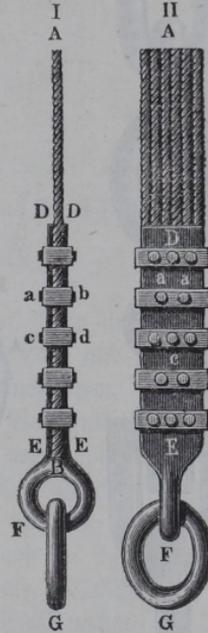


Fig. 466.



Der sogenannte Carabinerhaken ABC , Fig. 469 (a. f. S.), läßt sich ebenfalls als Kettenschloß anwenden. Zum Ein- und Aushängen des Kettengliedes BG hat man nur die Hülse H auf dem um D drehbaren Schenkel DA zurückzuschieben, und letzteren durch einen Druck nach innen in die punktirte Lage DA_1 zu bringen, wobei die Feder F in die Lage F_1 gelangt. Bei der Anwendung eines Kettenhakens ABC , Fig. 470 (a. f. S.), hat man die Lösung des im Haken hängenden Theils durch einfaches Heben und Aushängen zu bewirken. Bei dem Kettenhaken ist annäherungsweise der Querschnitt AD nach den Regeln der Biegungs- und der Querschnitt BE nach denen der Schubfestigkeit zu bestimmen, während der Querschnitt HK auf seinen Widerstand gegen Abreißen zu berechnen ist. Bezeichnet wieder d die

Stärke BM des Ketten eisens, so hat man nach dem Obigen bei einer offenen Gliederkette ohne Stege

$$d = 0,326 \sqrt{P}.$$

Nimmt man die Schubspannung in BE ebenso wie die Zugspannung in HK gleich derjenigen in den Kettengliedern zu $k = 6$ Kilogramm an, so

Fig. 468.



Fig. 467.

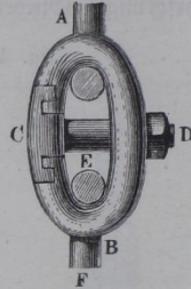


Fig. 469.

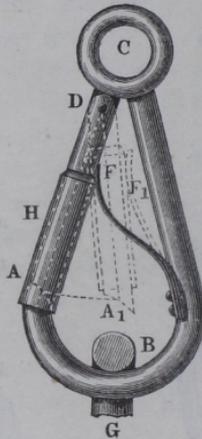
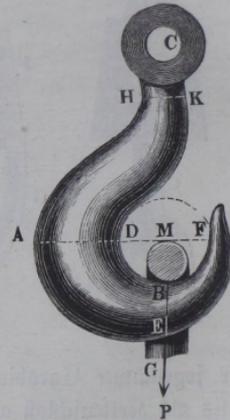


Fig. 470.



erhält man für einen Haken von durchweg kreisförmigem Querschnitte die Stärke an diesen Stellen zu

$$d_1 = \sqrt{\frac{4P}{k\pi}} = 0,461 \sqrt{P} = d \sqrt{2}.$$

Bezeichnet man den Halbmesser DM der Hakenöffnung DF mit r und die größte Stärke des Hakens AD mit D , so hat man für die Biegefestigkeit des Hakens an letzterer Stelle die Gleichung:

$$P \left(r + \frac{D}{2} \right) = \frac{\pi D^3}{32} k,$$

oder

$$D^3 = \frac{32 P}{\pi k} \left(r + \frac{D}{2} \right).$$

Setzt man hierin für P seinen Werth $P = \frac{\pi d^2}{2} k$ ein und nimmt passend $r = d$ an, so erhält man

$$D^3 = 8 d^2 (D + 2d)$$

oder

$$\left(\frac{D}{d} \right)^3 = 8 \frac{D}{d} + 16.$$

Die Auflösung dieser cubischen Gleichung ergibt

$$\frac{D}{d} = 3,54,$$

daher erhält man für die größte Stärke des Hafens in AD

$$D = 3,54 d = 1,15 \sqrt{P}.$$

Führungsrollen. Seile und Ketten bedürfen, wenn sie vertical herab- §. 122.
hängen, keiner besonderen Führung; bei horizontaler Lage und größerer Länge kann man sie in ähnlicher Art durch Tragrollen unterstützen, wie bereits gelegentlich der Drahtseiltransmission für rotirende Bewegungen gezeigt worden. Dagegen bedarf man immer der Leitrollen, wenn die Richtung eines Seiles oder einer Kette abgeändert werden soll. Der Durchmesser einer solchen Leitrolle richtet sich wesentlich nach der Stärke und dem Grade der Biegsamkeit des Seiles, und erhalten die Drahtseile sowie die starken und wenig biegsamen Hanfseile wohl Leitrollen oder sogenannte Seilscheiben von 2 bis 3 Meter Durchmesser, während die Rollen in Flaschenzügen für schwache Hanfseile zuweilen nicht größer als 0,12 Meter im Durchmesser ausgeführt werden. Im Allgemeinen werden der Steifigkeitswiderstand des Seiles und die Reibung der Rolle mit zunehmendem Rollendurchmesser vermindert, und steht damit eine geringere Abnutzung des Seiles sowie der Zapfen und ihrer Lager im Zusammenhange. Da aber mit dem Durchmesser auch das Gewicht der Seilscheibe und deshalb auch die Zapfenreibung wächst, so giebt es allerdings eine Grenze in der Auswahl der vortheilhaftesten Seilscheibenhöhe. Kleine Leitrollen bestehen in einer einfachen Holz- oder Metallscheibe, wie ABC , Fig. 471 und 472 (a. f. S.), größere aber bilden ein Rad, wie ABC , Fig. 473 (a. f. S.), aus Holz oder Eisen. Damit das Seil von der Rolle nicht herabgleiten könne, ist eine Spur oder Rinne am Umfange der letzteren ausgenommen; und besteht die Scheibe aus Gußeisen, so

füttert man diese Spur mit Holz oder Guttapercha aus, um das Abführen des Seiles zu vermindern und den Scheibenkranz zu schonen.

Fig. 471.

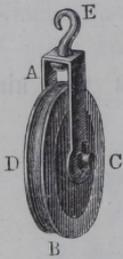
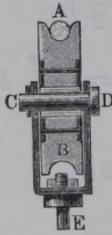
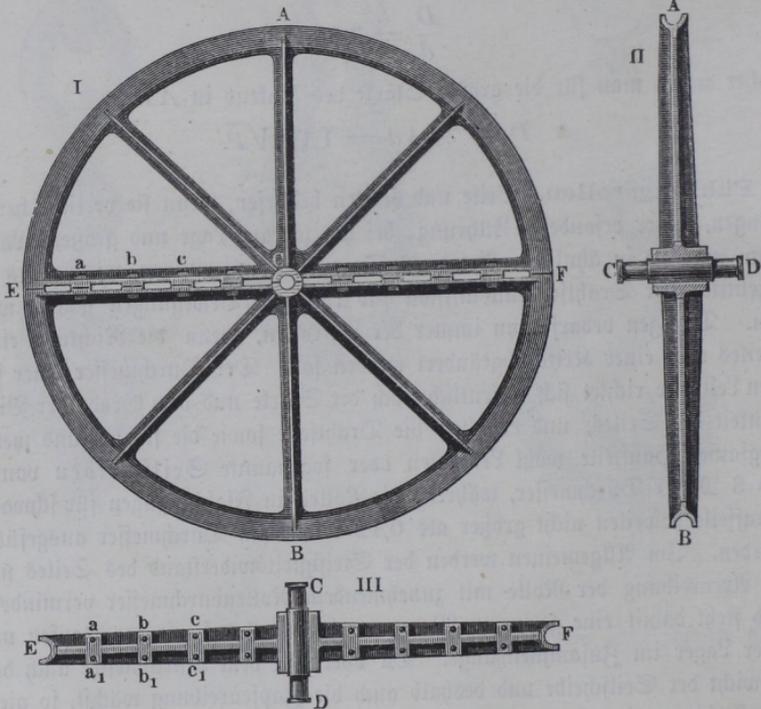


Fig. 472.



Die schmiedeeiserne Ase oder das Walzeisen *CD*, um welche sich die Leitrolle dreht, ist entweder mit dieser fest verbunden und dreht sich mit ihren Endzapfen in festen Lagern, oder die Rolle dreht sich mit ihrer genau auszubohrenden Nabe lose auf dem mittleren Theile der festliegenden Ase. Jedenfalls ist die erstere Anordnung die solidere, und daher bei größeren und stationären Seilscheiben stets anzuwenden, die

Fig. 473.



zweite dagegen nur bei kleinen und transportablen Leitrollen, wo es darauf ankommt, die Zapfenlager zu ersparen. Wenn mehrere mit verschiedenen Geschwindigkeiten umlaufende Rollen auf einer Ase zugleich sitzen, so müssen die Rollen lose auf der Ase laufen. Bei der festen Verbindung der Ase und Rolle findet die Ase-Reibung an den Enden, bei der losen dagegen in der

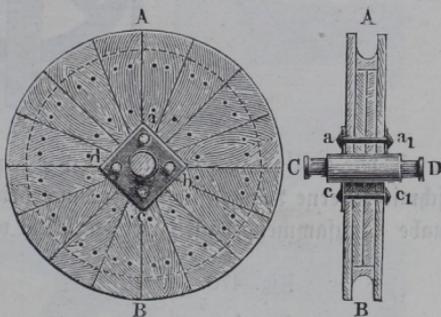
Mitte der Ase statt; da aber, ohne die Festigkeit zu beeinträchtigen, die Ase an den Enden schwächer sein kann als in der Mitte, und da die Arbeit der Reibung mit der Asestärke zunimmt, so läßt sich bei der festen Verbindung eine kleinere Asereibung erzielen als bei der losen. Der Hauptnachtheil der letzteren Verbindung besteht aber in unsicherer und schwankender Bewegung, welche die Rolle annimmt, wenn die Nabe und Ase abgeführt sind, wobei die Weite der ersteren größer wird als die Dicke der letzteren.

Bei den transportablen Leitrollen für schwache Hanfseile sitzt die mit einem Kopfe und einem Vorstecker versehene Ase oder der Bolzen *CD* in einem sogenannten Kloben *CED* (Fig. 471 und 472) und bildet bei der Anwendung auf Schiffen ein Gehäuse *CDE*, Fig. 474, welches die (hier unsichtbare) Rolle umgiebt, und mittelst eines Hakens *E* aufgehängt wird. Wie eine größere hölzerne Leitrolle *AB* aus sectorenförmigen Stücken zusammengesetzt wird, ist aus Fig. 475 zu ersehen. Hier wird die Rolle durch

Fig. 474.



Fig. 475.



Nägeln sowie durch Bolzen *a*, *b*, *c* und *d* und mittelst zweier Eisenplatten *ac* und *a₁c₁*, durch welche die Ase *CD* hindurchgeht, zusammengehalten.

Eine einfache Leitrolle *ACB*, aus Eisen oder Messing, führt Fig. 476 (a. f. S.) vor Augen. Eine solche Rolle *AB* sitzt, wie aus Fig. 477 I u. II (a. f. S.) zu ersehen ist, mittelst einer durch eine Schraubenmutter *D* festgehaltenen Ase *CD* in einem rahmenförmigen Kloben *EF*, welcher in eine Schraube *E* ausläuft, die sich in einen festliegenden Balken oder in ein anderes Holzstück einbohren läßt.

Die großen Seilscheiben für Drahtseile bei der Schachtförderung oder Seiltransmission werden entweder, wie Fig. 473 I, II und III darstellt, aus zwei Theilen zusammengeschraubt, oder, wie aus Fig. 478 zu ersehen ist, mit

krummen Armen gegossen. Bei der Seilscheibe in Fig. 473 sind die beiden Radhälften EAF und EBF durch acht Paar Schrauben aa_1, bb_1, cc_1 α . längs eines Durchmessers EF fest mit einander verbunden; es lassen sich

Fig. 476.

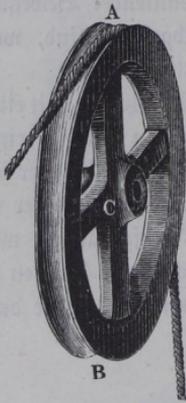
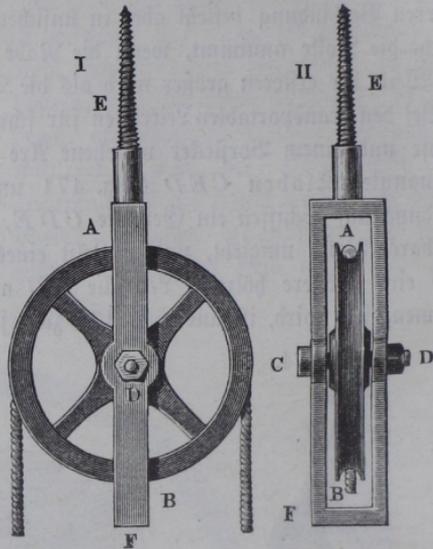
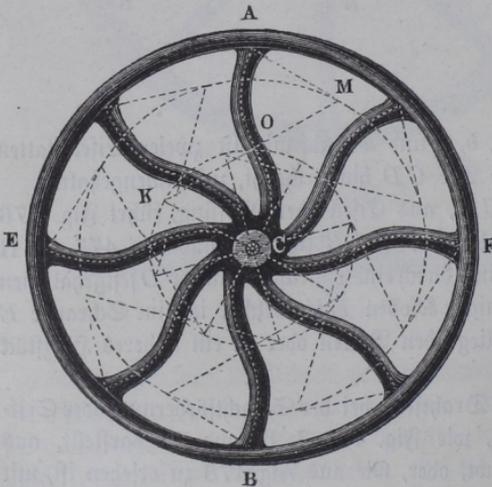


Fig. 477.



aber auch, wie z. B. bei Schwungrädern α ., andere Verbindungen, namentlich schmiedeeiserne Ringe in Anwendung bringen, wodurch die Theile der Radnabe C zusammengehalten werden. Die vollständig abgedrehte schmiedeeiserne Aze CD sitzt mit dem stärkeren Mittelstück in einer Hülse und ruht mit ihren schwächeren Endstücken oder Zapfen in gewöhnlichen Zapfenlagern. Schnell umlaufende Rollen, wie z. B. bei der Seiltransmission vorkommen, erhalten zur Verminderung des Luftwiderstandes statt der gerippten Arme, wie Fig. 473 darstellt, Arme mit elliptischen Querschnitten, wie Fig. 478. Damit sich die Arme bei der Abkühlung nach dem Gusse ohne

Fig. 478.

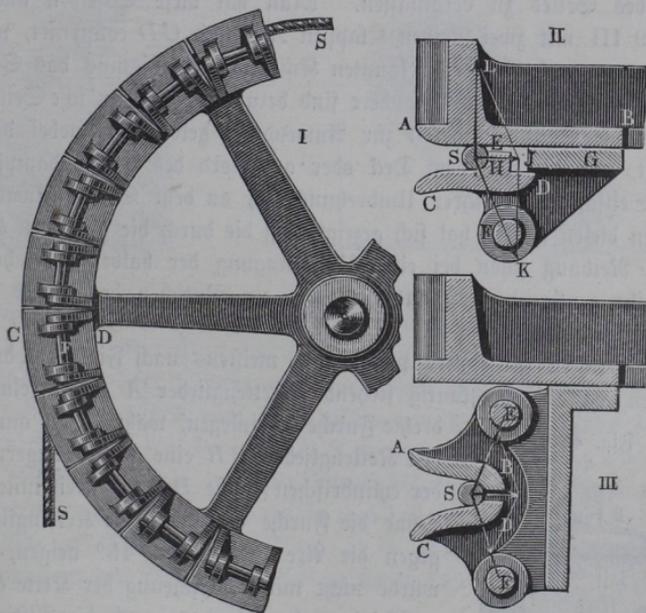


dem stärkeren Mittelstück in einer Hülse und ruht mit ihren schwächeren Endstücken oder Zapfen in gewöhnlichen Zapfenlagern. Schnell umlaufende Rollen, wie z. B. bei der Seiltransmission vorkommen, erhalten zur Verminderung des Luftwiderstandes statt der gerippten Arme, wie Fig. 473 darstellt, Arme mit elliptischen Querschnitten, wie Fig. 478. Damit sich die Arme bei der Abkühlung nach dem Gusse ohne

Nachtheil zusammenziehen können und sich vom stärkeren und langsamer abführenden Radreifen nicht trennen, setzt man die Axen derselben aus zwei Kreisbogen AO und CO so zusammen, daß die Mittelpunkte K und M derselben mit dem Vereinigungspunkte O in eine gerade Linie fallen.

Wenn das betreffende Seil nicht, wie bei Windwerken gewöhnlich der Fall ist, in einzelnen neben einander liegenden Windungen auf eine Trommel gewickelt wird, sondern als Seil ohne Ende nur einmal in etwa einer halben Umwindung den Umfang der treibenden Scheibe umschlingt, wie dies z. B. bei der Anordnung der Dampfpflüge geschieht, so wendet man, um ein Gleiten des Seiles zu verhüten, wohl Seilscheiben an, bei denen durch eigenthümliche zangen- oder klammerähnliche Organe das Seil am Umfange der Scheibe festgehalten wird. Die bekannteste Scheibe dieser Art ist die von Fowler für dessen Dampfpflüge angegebene Klappenscheibe*). Eine

Fig. 479.



solche Scheibe ist in Fig. 479 dargestellt. Bei ihr ist der ganze Scheibenumfang mit drehbaren Klappen CD , Fig. 479 II, versehen, deren

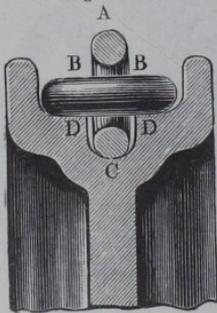
*) Vergl. u. A. Perels, Die Dampfbodencultur. Verhandlungen des Gewerbevereins. Jahrg. 1862, sowie Rühlmann, Allgemeine Maschinenlehre, II, S. 593.

Drehzapfen F durch kleine Consolarne GF getragen werden, welche an dem Kranze AB der Seilscheibe durch Schrauben befestigt sind. Das Seil S legt sich dabei, indem es zwischen den Kranz A und die Lippen C der Klappen eintritt, in dem Punkte H gegen die Brust E der Klappen und bewirkt durch seine Spannung ein selbstthätiges Schließen der Zangen. Hierbei erzeugt ein gewisser Druck $P = SJ$ des Seils gegen die Brust der Klappe eine durch den Zapfen F aufzunehmende Reaction SK und eine senkrecht gegen

den Scheibenrand wirkende Pressung $SL = \frac{P}{\tan SKJ}$, welche reibungserzeugend wirkt. Es ist leicht ersichtlich, daß an der Stelle, wo das Seil den Scheibenumfang verläßt, die Zangen sich von selbst durch Einwirkung des Eigengewichtes der Lippen C wieder öffnen und das Seil frei lassen, was offenbar nicht erreicht werden würde, wenn man die Seilscheibe einfach mit einer trapezförmig profilirten Rinne versehen wollte, um ein keilartiges Einpressen des Seiles zu veranlassen. Man hat diese Scheiben auch nach Fig. 479 III mit zwei Reihen Klappen AB und CD construiert, wobei je zwei Klappen nach Art des bekannten Kniehebelsmechanismus das Seil zwischen sich einklemmen. Insbesondere sind derartige Fowler'sche Seilscheiben auch für die Seilschiffahrt*) zur Anwendung gekommen, wobei das Seil fest liegt, und die auf dem Deck oder am Bord des Schlepddampfers gelegene Seilscheibe bei ihrer Umdrehung sich an dem Seile fortwält. In fast allen diesen Fällen hat sich gezeigt, daß die durch die gedachten Klappen erzeugte Reibung schon bei einer Umschlingung der halben Peripherie der Seilscheibe genügend groß ausfällt, um ein Rutschen des Seiles zu verhüten.

Die Leitrollen für Ketten pflegt man meistens nach Fig. 480 derart zu profiliren, daß die hochkantig stehenden Kettenglieder A sich in eine eingedrehte Furche C einlegen, während die querstehenden Kettenglieder BB eine sichere Lagerung auf der cylindrischen Fläche DD der Seilrinne finden.

Fig. 480.



Dhne die Furche C würden die Kettenglieder sich gegen die Ase unter etwa 45° neigen, und es würde nicht nur die Führung der Kette eine sehr unsichere werden, sondern auch die Festigkeit der Kettenglieder durch ungünstig wirkende Klemmungen derselben vermindert werden. Dagegen soll die in Fig. 481**) angedeutete Form der Scheiberrinne eine sehr sichere Führung der Ketten erreichen lassen.

*) S. Zeitschr. deutsch. Ingenieure, Jahrgänge 1867 u. 1869.

**) S. Reuleaux, Der Constructeur.

Die Lage, welche man den Leitrollen der Seile oder Ketten zu geben hat, ist in jedem Falle durch die Richtungen der letzteren unzweifelhaft festgestellt, da hierbei die mittlere Ebene der Seilscheibe stets sowohl das auslaufende wie auch das ablaufende Seil- oder Kettenstück in sich aufnehmen muß. Eine Ablenkung des ablaufenden Seils von der Ebene der Scheibe, wie sie bei dem Riemenbetriebe bis zu einem Betrage von 25° gegeben werden darf, ist hier nicht zulässig, da die Ränder der Rollen sich dem widersetzen würden. Höchstens kommen in einzelnen Fällen ganz geringe Abweichungen der Seilrichtungen von den Ebenen der Scheiben vor, wenn es sich, wie z. B. bei den Flaschenzügen, darum handelt, ein Seil wiederholt um Rollen zu führen, die neben einander auf derselben Ase sitzen. Ein anderes hierher gehöriges Beispiel bietet die Seilführung bei der Seilschiffahrt dar, wo, Fig. 482, das

Fig. 481.

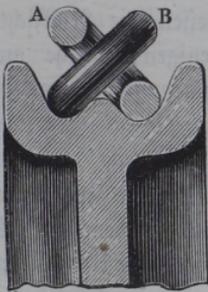
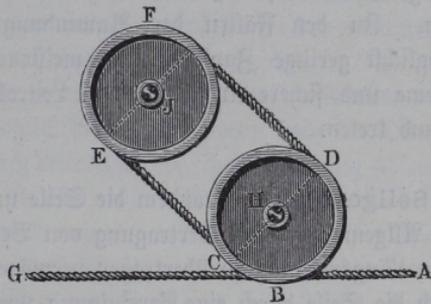


Fig. 482.



in der Schiffsrichtung liegende Seil AG , um auf die Fowler'sche Treibscheibe J geführt werden zu können, zunächst eine besondere doppelspurige Rolle H in der oberen Spur auf dem Bogen BC umschlingt, um dann auf dem Wege über EF nach D zu gelangen und hier die Rolle H in der unteren Spur auf dem Umfange DB zu umfassen und weiter nach G zu gehen. Hierbei giebt man wohl der Leitrolle H eine geringe Neigung in solchem Betrage und Sinne, daß die in den beiden verschiedenen Spuren liegenden Ab- und Anlaufspunkte C und D in gleiche Höhe und zwar in die Horizontalebene der Treibscheibe EF zu liegen kommen.

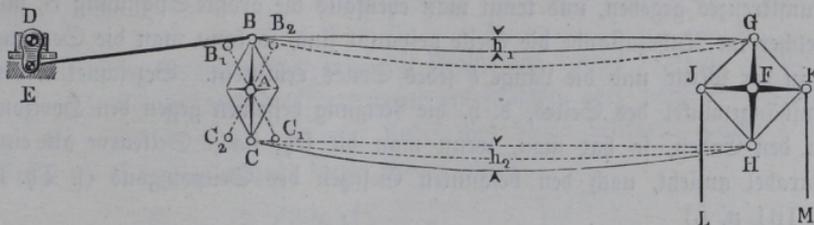
Im Allgemeinen aber liegen das auf- und ablaufende Seilende in der Ebene der Seilscheibe, und es folgt daher, daß zur Richtungsänderung eines Seiles eine einzige Leitrolle genügt, sobald die beiden Seilrichtungen in einer Ebene liegen. Ist letzteres aber nicht der Fall, soll vielmehr ein Seil aus einer bestimmten Richtung L_1 in eine andere Richtung L_2 übergeführt werden, welche zu jener ersteren windschief im Raume ist, so kann man hierzu nur durch Verwendung von zwei Leitrollen gelangen. Um deren Lage zu finden, hat man sich eine dritte Richtung L zu denken, welche sowohl L_1 wie

L_2 schneidet, sonst aber beliebig angenommen werden kann und dann die beiden Rollen in den Ebenen von L und L_1 , sowie von L und L_2 anzuordnen. Die Willkürlichkeit in der Annahme von L gestattet dabei eine unendliche Verschiedenheit der Anordnungen. Wählt man dabei die Richtung L so, daß sie mit dem kürzesten Abstände zwischen L_1 und L_2 zusammenfällt, so nimmt zwar das Seilstück zwischen den beiden Leitrollen die geringste Länge an, doch ist damit nicht gesagt, daß diese Anordnung die beste sei. Da nämlich hierbei an jeder Rolle das Seil gerade um einen rechten Winkel abgelenkt wird und der Zapfendruck $R = 2P \sin \frac{\alpha}{2}$ beträgt, wenn α den Ablenkungswinkel und P die in beiden Seilenden annähernd gleiche Spannung bedeutet, so erkennt man, daß der Zapfendruck, daher die Zapfenreibung bei dieser Anordnung größer ausfällt, als wenn die Richtung L so gewählt wird, daß die Rollen nur in spitzen Winkeln umspannt werden. In den Fällen der Anwendung wird indessen die Rücksicht auf möglichst geringe Zapfenreibung meistens vor derjenigen, welche auf bequeme und sichere Aufstellung der Leitrollen zu nehmen ist, in den Hintergrund treten.

§. 123. **Seilgestänge.** Trotzdem die Seile und Ketten als reine Zugkraftorgane im Allgemeinen die Uebertragung von Bewegungen nur in dem einen Sinne ihrer Längsrichtung zu übertragen vermögen, kann man unter Umständen dennoch die Seile durch eine Vereinigung zweier derselben geeignet machen, auch hin- und hergehende Bewegungen zu vermitteln, sie also als Ersatz der Stangen verwenden. Man nennt derartige Einrichtungen wohl Seilgestänge, und es gewähren dieselben in manchen Fällen gewisse Vortheile vor den Stangen und steifen Uebertragungsmitteln. Als wesentlicher Vortheil ist besonders die Möglichkeit anzuführen, Seile auf größere Längen freihängend anzuordnen, während lange Feldgestänge häufige Unterstüzungen in Zwischenpunkten durch Schwingen zc. bedürfen, und lange Transmissionswellen noch häufigere Stüzung durch Lager erfordern. In Fällen, wo eine derartige Unterstüzung nur schwierig oder gar nicht ausführbar ist, wie z. B. bei Bewegung von Kolbenpumpen in den Baugruben von Brückenpfeilern von einer am Lande aufgestellten Dampfmaschine aus, verwendet man daher wohl Seilgestänge, welche neben dem Vortheile verhältnißmäßig geringer Nebenhindernisse auch die Füglichkeit gewähren, Richtungsänderungen mit Hilfe von Leitrollen bequemer auszuführen, als dies bei Feldgestängen durch die schwerfälligen Bruchschwingen oder bei Wellenleitungen durch conische Räder möglich ist. Bei größeren Wasserbauten, in weitläufigen Ziegeleien zc. hat man daher das Seilgestänge mehrfach zur Uebertragung hin- und hergehender Bewegungen in Anwendung gebracht.

Die Anordnung eines solchen Seilgestänges ist aus Fig. 483 ersichtlich. Denkt man sich in A einen doppelarmigen Hebel BAC drehbar gelagert, welchem in irgend einer Weise, etwa von der Kurbelwelle D aus, mittelst der Stange EB eine schwingende Bewegung in die Lagen $B_1 C_1$ und $B_2 C_2$ er-

Fig. 483.



theilt wird, so wird das Kunstkreuz F , an welchem in J und K etwa die Pumpenstangen JL und KM hängen mögen, ebenfalls in die gewünschte alternierende Bewegung versetzt, indem abwechselnd die Drahtseile BG und CH durch ihren Zug die Bewegung vermitteln. Es ist auch ersichtlich, daß die Bewegungsübertragung noch möglich bleibt, auch wenn man die Drahtseile in irgend einer Weise, etwa durch Leitrollen, von ihrer Richtung ablenkt. Mit dieser Bewegungsübertragung ist aber, wie leicht zu erkennen, stets ein gewisser Hubverlust verbunden, indem bei einer gewissen Bewegung des Endpunktes B der Schwinge, etwa um das Stück BB_1 , der Punkt G des Kunstkreuzes jedenfalls einen kleineren Weg zurücklegt als der Punkt B der Schwinge. Diese Wirkung erklärt sich daraus, daß im Zustande der Ruhe die beiden Seile BG und CH gleichen Spannungen S ausgesetzt sind, daher bei einer Bewegung des Punktes B in der Richtung nach B_1 zuvörderst die Spannung S sich in S_1 vergrößern und die Spannung in CH in S_2 vermindern wird, derart, daß der Ueberschuß $S_1 - S_2$ der Spannung im oberen Seile über diejenige im unteren gerade genügend ist, um den an der Ase F auftretenden Nutzwiderstand des Kunstkreuzes zu überwinden. Diese Veränderung der Spannungen S wird dadurch herbeigeführt, daß das Seil BG bei erfolgtem Anzuge straffer wird, oder daß seine vorherige Einsenkung in der Mitte h in eine kleinere Einsenkung h_1 übergeht, während das untere Seil schlaffer wird, d. h. in einer größeren Einsenkung h_2 nach unten durchhängt. Die Bewegung, welche die Schwinge BC vom Zustande der Ruhe aus machen muß, um jene Veränderungen von S in S_1 und S_2 herbeizuführen, ist als ein todter Gang zu betrachten, insofern durch diese Bewegung eine Bewegung des Kunstkreuzes nicht veranlaßt wird, letzteres vielmehr erst von demjenigen Augenblicke an zu folgen beginnt, in welchem $H_1 - H_2 = Q$ ist, unter Q den besagten Widerstand des Kunstkreuzes am Hebelsarme FG und unter H_1 und H_2 die horizontalen Componenten der Seilspannungen S_1

und S_2 verstanden. Dieser Hubverlust wird um so größer sein, je geringer die Anspannung S des ruhenden Seiles im Verhältniß zu derjenigen S_1 im treibenden Seile ist, d. h. je schlaffer die Seile von vornherein angeordnet sind. Die Ermittlung des todten Ganges kann näherungsweise in folgender Art geschehen. Ist die Entfernung b der Axen A der Schwinge und F des Kunstkreuzes gegeben, und kennt man ebenfalls die größte Spannung S , mit welcher im Ruhezustande die Seile gespannt sind, so kann man die Senkung h in der Mitte und die Länge l jedes Seiles ermitteln. Bezeichnet α den Aufhängewinkel des Seiles, d. h. die Neigung desselben gegen den Horizont an den Enden, so hat man, wenn man die sehr flache Seilcurve als eine Parabel ansieht, nach den bekannten Gesetzen des Seilpolygons (s. Th. I, §. 161 u. f.)

$$\sin \alpha = \frac{G}{2S},$$

worin $G = lq\gamma$ das Gewicht des Seiles und $S = qk$ die Spannung am Aufhängepunkte bedeutet. Hier ist mit q der Querschnitt, γ das specifische Gewicht und k die Spannung pro Querschnittseinheit bezeichnet. Man kann auch das Gewicht $G = lq\gamma = bq\gamma$ setzen, da b und l nur sehr wenig verschieden sind, und erhält dann

$$\sin \alpha = \frac{bq\gamma}{2qk} = \frac{b\gamma}{2k}.$$

Dann findet man aus α die Durchsenkung in der Mitte h durch

$$\tan \alpha = \frac{2h}{\frac{1}{2}b} = \frac{4h}{b} \text{ zu } h = \frac{b}{4} \tan \alpha,$$

und die Seillänge genau genug zu

$$l = b \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{2h}{b} \right)^2 \right].$$

Diese Länge muß jedes der beiden Seile erhalten. Bei der Bewegung der Schwinge wird nun das eine Seil straffer gespannt, das andere looser gelassen, und es möge in dem Augenblicke, in welchem das Kunstkreuz seine Bewegung beginnt, der bis dahin zurückgelegte Weg jedes Endpunktes der Schwinge durch e bezeichnet werden. Die beiden Seile haben dann in diesem Augenblicke die Spannweiten $b_1 = b + e$ und $b_2 = b - e$. Gesezt nun, es solle die größte Spannung in dem straffen Seile einen gewissen Werth k_1 pro Querschnittseinheit erreichen, so hat man wieder für den Aufhängewinkel des treibenden Seiles

$$\sin \alpha_1 = \frac{G}{2S_1} = \frac{l\gamma}{2k_1},$$

und folgt ebenso aus α_1 die Durchsenkung h_1 durch

$$\operatorname{tang} \alpha_1 = \frac{4h_1}{b_1}.$$

Die Spannweite b_1 selbst aber ergibt sich aus der bekannten Länge l durch den Ausdruck:

$$l = b_1 \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{2h_1}{b_1} \right)^2 \right] = b_1 \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{\operatorname{tang} \alpha_1}{2} \right)^2 \right]$$

und mit dieser Spannweite b_1 auch die Größe des Weges $e = b_1 - b$.

Hiermit ist also auch die Spannweite des schlaffen oder getriebenen Seiles $b_2 = b - e$ gegeben, und man findet aus dessen bekannter Länge l die Größe der Durchsenkung h_2 dieses Seiles durch

$$l = b_2 \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{2h_2}{b_2} \right)^2 \right] \text{ zu } h_2 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{2} (l - b_2) b_2}.$$

Aus h_2 und b_2 ermittelt sich weiter der Aufhängewinkel α_2 durch

$$\operatorname{tang} \alpha_2 = \frac{4h_2}{b_2}$$

und hieraus die Spannung $S_2 = qk_2$ durch

$$\sin \alpha_2 = \frac{G}{2S_2} = \frac{l\gamma}{2k_2}.$$

Ist nun der zu überwindende Widerstand des Kunstkreuzes durch Q gegeben, so hat man zu setzen:

$$Q = H_1 - H_2 = \frac{G}{2} (\cotg \alpha_1 - \cotg \alpha_2) = \frac{lq\gamma}{8} \left(\frac{b_1}{h_1} - \frac{b_2}{h_2} \right),$$

woraus der erforderliche Querschnitt q des Seiles sich ergibt.

Der Hubverlust hat die Größe $b_1 - b_2 = 2e$, denn um so viel muß sich bei jedem Hubwechsel die Spannweite b_2 des vorher gezogenen oder schlaffen Seiles vergrößern, bevor dasselbe als ziehendes Seil mit der Spannweite b_1 den Widerstand Q bewältigen kann.

Es dürfte leicht ersichtlich sein, daß die Größe $e = b_1 - b$, also auch der Hubverlust um so kleiner ausfallen wird, je kleiner die Verschiedenheit der Werthe k und k_1 ist. Will man daher den Hubverlust möglichst herabziehen, so wird man das Seil von vornherein mit einer großen Spannung k anspannen müssen. Allerdings wird hierdurch die Zapfenreibung vergrößert und auch der erforderliche Querschnitt des Seiles beträchtlich werden, da der Widerstand Q nur vermöge der Differenz der Spannungen k_1 und k_2 überwunden wird, welche ebenfalls um so kleiner ausfällt, je geringer man den Unterschied zwischen k_1 und k wählt. Bei einer sehr geringen Spannung k der ruhenden Seile könnte offenbar der Fall eintreten, daß trotz der Bewegung der Schwinge das Kunstkreuz gar nicht bewegt wird,

wie dieser Fall natürlich immer eintreten müßte, wenn die Bewegung eines Endpunktes der Schwinge kleiner als $2e$ wäre.

Ebenso wie durch schärferes Anspannen oder Verkürzen der Seile der Hubverlust verringert und durch Nachlassen oder Verlängern derselben der todte Gang vergrößert wird, ebenso wird natürlich jede Veränderung der Temperatur von wesentlichem Einflusse darauf sein, derart, daß dasselbe Seilgestänge im Sommer, wenn die Seillänge eine größere ist, auch mit einem größeren todtten Gange verbunden ist als im Winter. Dieser Einfluß der Temperaturveränderungen ist trotz der an sich geringen Längenänderungen durchaus nicht zu unterschätzen, und es ergibt sich daraus die Zweckmäßigkeit einer Längenregulirbarkeit durch entsprechende Spannvorrichtungen der Seile.

Man kann übrigens bemerken, daß mit dem Hubverluste der Seilgestänge direct Verluste an mechanischer Arbeit nicht, oder doch nur insofern verbunden sind, als mit dem todtten Gange auch unvermeidlich Reibungen und Nebenhindernisse verknüpft sind. Es ist nämlich die zum jedesmaligen Anspannen des schlaffen Seiles erforderliche mechanische Arbeit nicht verloren, da eine genau gleiche Arbeit bei dem darauf folgenden Nachlassen des Seiles durch dessen Elasticität wieder gewonnen wird. Wohl aber können durch den todtten Gang der Schwinge leicht nachtheilige Stosswirkungen hervorgerufen werden.

Beispiel. Die Agentenfernung zwischen einem Kunstkreuze und einer Schwinge beträgt 60 Meter; es soll zwischen beiden der Betrieb durch Drahtseile so vermittelt werden, daß die größte Spannung im Draht während des Ruhezustandes 6 Kilogramm beträgt, und während der Bewegung 12 Kilogramm nicht übersteigt. Welchen Querschnitt haben die Seile bei einem Widerstande $Q = 800$ Kilogramm zu erhalten, und wie groß ist unter diesen Verhältnissen der Hubverlust?

Nimmt man das specifische Gewicht des Drahtseiles wegen der Verkürzung bei der Herstellung (10 Proc.) zu 8,5 an, so hat man zunächst den Aufhängewinkel α des ruhenden Seiles durch

$$\sin \alpha = \frac{b\gamma}{2k} = \frac{60 \cdot 8500}{2 \cdot 6 \cdot 1000000} = 0,0425;$$

$\alpha = 2^\circ 26'$ und daher $\tan \alpha = 0,0426$, folglich die Durchsenkung in der Mitte:

$$h = \frac{b}{4} \tan \alpha = 15 \cdot 0,0426 = 0,638 \text{ Meter.}$$

Hieraus folgt die Seillänge

$$l = 60 \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{0,0426}{2} \right)^2 \right] = 60,018 \text{ Meter.}$$

Ebenso ist für das ziehende Seil:

$$\sin \alpha_1 = \frac{l\gamma}{2k_1} = \frac{60,018 \cdot 8500}{2 \cdot 12 \cdot 1000000} = 0,02125; \alpha_1 = 1^\circ 13'$$

und

$$\operatorname{tang} \alpha_1 = 0,02125 = 4 \frac{h_1}{b_1}.$$

Ferner hat man die Spannweite

$$b_1 = \frac{l}{1 + \frac{2}{3} \left(\frac{2h_1}{b_1} \right)^2} = \frac{60,018}{1 + \frac{2}{3} 0,010625^2} = 60,0136 \text{ Meter,}$$

folglich

$$e = b_1 - b = 0,0136 \text{ Meter,}$$

woraus ein Hubverlust von $2e = 27$ Millimeter sich ergibt.

Die Spannweite des gezogenen Seiles ist daher

$$b_2 = b - e = 59,9864 \text{ Meter}$$

und berechnet sich daraus die Pfeilhöhe in der Mitte zu

$$h_2 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{2} (l - b_2) b_2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{2} 0,0316 \cdot 59,986} = 0,8444 \text{ Meter.}$$

Hieraus folgt ferner der Aufhängewinkel α_2 aus

$$\operatorname{tang} \alpha_2 = \frac{4h_2}{b_2} = \frac{3,3776}{59,986} = 0,056306; \alpha_2 = 3^\circ 13'.$$

Man hat daher die Horizontalspannungen

$$H_1 = \frac{G}{2 \operatorname{tang} \alpha_1} = \frac{60,018 \cdot 8500}{2 \cdot 21250} q = 12 q,$$

und

$$H_2 = \frac{G}{2 \operatorname{tang} \alpha_2} = \frac{60,018 \cdot 8500}{2 \cdot 56306} q = 4,53 q.$$

Hieraus findet sich der Seilquerschnitt zu

$$q = \frac{Q}{12 - 4,53} = \frac{800}{7,47} = 107,1 \text{ Quadratmillimeter.}$$

Bei 36 Drähten wäre also die Drahtstärke zu 1,95 Millimeter, entsprechend einem Querschnitte von $\frac{107,1}{36} = \text{ca. } 3$ Quadratmillimeter anzunehmen.

Wenn die Drahtseile die berechnete Länge $l = 60,018$ Meter bei einer Temperatur von 5° C. hätten, so würde bei einer Temperatur von 30° C. die Verlängerung

$$(30 - 5) 0,0000123 l = 0,0186 \text{ Meter,}$$

daher die Länge (l) = 60,0366 Meter betragen. Setzt man diesen Werth in obige Formeln ein, so erhält man für den Ruhezustand:

$$(h) = 0,909 \text{ Meter; } (\operatorname{tang} \alpha) = 0,06060; (\alpha) = 3^\circ 28';$$

für das straffe Seil von der Spannweite $b_1 = 60,0136$:

$$(h_1) = 0,723 \text{ Meter; } (\operatorname{tang} \alpha_1) = 0,0481; (\alpha_1) = 2^\circ 45',$$

und für das gezogene Seil von der Spannweite $b_2 = 59,9864$:

$$(h_2) = 1,068 \text{ Meter; } (\operatorname{tang} \alpha_2) = 0,07105; (\alpha_2) = 4^\circ 4'.$$

Demgemäß würden die Horizontalspannungen der beiden Seile für den Fall, daß die Spannweiten derselben $b_1 = 60,0136$ Meter und $b_2 = 59,9864$ Meter betragen, sich zu

$$H_1 = \frac{G}{2 (\operatorname{tang} \alpha_1)} = 5,72 q$$

und

$$H_2 = \frac{G}{2 (\text{tang } \alpha_2)} = 3,59 q$$

berechnen.

Es ist daraus ersichtlich, daß in dieser Stellung der Ueberchuß $H_1 - H_2 = 2,13 q$ erst $0,285 Q$ beträgt ($\frac{2,13}{7,47} = 0,285$), daher in diesem Falle der Hubverlust noch beträchtlich größer werden muß, als er bei $5^\circ C.$ berechnet worden.