

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 Zusammendrehen. Insbesondere werden aus den Drähten, deren Anzahl in einem Seile oft mehrere Hundert beträgt, immer zunächst Rigen, Fig. 453, gefertigt, und aus diesen wird das Seil gebildet. Niemals kann die Herstellung des Seiles ohne Weiteres durch directes Zusammendrehen aller Drähte geschehen. Es ist auch aus dem früher gelegentlich der Hanfseile Mitgetheilten ersichtlich, daß die Herstellung der Rigen 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 Rige zu verhindern, und würden daher diese im Inneren liegenden Drähte wegen ihrer viel steileren Windungen, also geringeren

Fig. 364.



*) 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 Anfertigung 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.

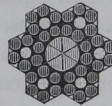
Durchschnitte mehrerer aus drei bis sechs Litzen bestehenden Seile zeigen die Figuren 454, 455, 456 und 457, und zwar stellt Fig. 454 den Quer-

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

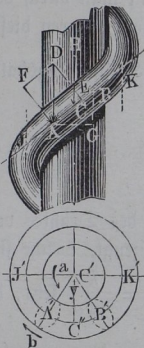
Wenngleich auch in der Bildung der Drahtseile und derjenigen der Hanfseile große Uebereinstimmung vorhanden ist, so bedingt doch die Verschiedenheit des Materials wesentliche Verschiedenheiten hinsichtlich der Inanspruchnahme desselben, worauf bei der Darstellung der Drahtseile zu achten ist. Insbesondere 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 Rize 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 Rize 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 Rizen, 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 congruenten 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.

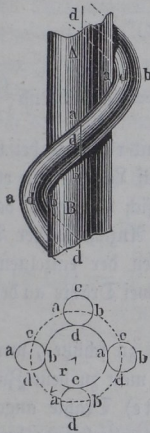
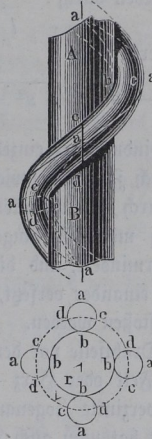


Fig. 460.



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 versetzt, 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: