

Das Falzen endlich (fr. *replier*, *agrafer* — engl. *folding*) ist eine Befestigungsart, welche dem biegsamen Blech eigenthümlich ist, und in dem Umbiegen, ineinander Schieben und Zusammenhämmern der Blechränder besteht.

a) Zusammenbinden.

Verschiedene Arten von Seilen und Tauen.

§ 54. Das Zusammenbinden als Befestigungsmittel kommt meistens nur bei Schnüren, Seilen und Tauen vor. Es wird, bevor wir auf diese Befestigung selbst eingehen, angemessen sein, Einiges über die Beschaffenheit dieser Körper selbst zu sagen.

Die im Maschinenbau vorkommenden Seile sind entweder Hanfseile (fr. *cordes*, *cordages de chanvre* — engl. *cordes*, *ropes*, *cables of hemp*), welche von Hanf entweder aus der Hand, oder mit Maschinen gesponnen und gedreht sind, oder es sind Drahtseile (fr. *cordes en fils de fer* — engl. *cables of iron-wire*). Aehnliche Zwecke wie die Seile erfüllen die eisernen Ketten (fr. *chaines* — engl. *chains*, *iron-cables*), welche hier gleichzeitig besprochen werden sollen.

1) Hanfseile.

Konstruktion der Hanfseile.

§ 55. Die Hanfseile bestehen aus einzelnen Litzen oder Schäften (fr. *torons* — engl. *strands*), gewöhnlich drei bis vier (daher dreischäftiges, vierschäftiges Seil). Diese Litzen sind wiederum aus einzelnen Schnüren, Fäden oder Garnen (fr. *fils* — engl. *yarn*) zusammengesetzt; welche ihrerseits aus den gehörig gehechelten und vorbereiteten Hanffasern zusammengedreht sind. Die Zahl der einzelnen Garne, aus denen eine Litze besteht, ist nach der Stärke des Seils verschieden; es sind deren bei den schwächern Seilen acht, bei den stärksten sechzig. Die Fäden werden so stark ausgesponnen, daß eine Länge von 300 bis 400 Fufs etwa ein Pfund wiegt.

Starke Taue bestehen wieder aus drei bis vier einzelnen Seilen, welche in ähnlicher Weise, wie die Litzen zu einem Seil, durch Zusammendrehen zu einem Tau vereinigt (abgestückt) werden.

Es ist Regel, daß die Drehungsrichtungen der Seile und ihrer Litzen, und der Litzen und ihrer Fäden entgegengesetzt seien (Taf. 7. Fig. 6). Die Lage der Fasern in den Garnen bil-

det nämlich Schraubengänge, ebenso die Lage der Garne in den Litzen, und der Litzen in den Seilen. Ist nun die Drehung der Seile von links nach rechts, d. h. bilden die Litzen im Seil ein Rechts-Gewinde (§ 33 S. 58), so müssen die Fäden in der Litze als Links-Gewinde, die Fasern in den Fäden wieder als Rechts-Gewinde liegen.

Im Allgemeinen werden alle diese einzelnen Theile mehrfache Schrauben darstellen, aber nur der letzte Bestandtheil, also die Litzen werden, wenn das Seil ausgespannt ist, ein cylindrisches drei bis viergängiges Schraubengewinde bilden.

Die Spirale dieses Schraubengewindes, welche den größten Abstand von der Axe hat, wird auch eine größere Länge haben müssen, als diejenige, welche der Schraubenaxe zunächst liegt (§ 29 und 33); es folgt hieraus, daß bei dem Zusammendrehen der Litzen zu den Seilen die Theile der Litzen, welche an der äußern Peripherie des Seils liegen, stärker ausgereckt werden, als diejenigen, welche der Mitte näher sind, und daß der Unterschied zwischen den Dehnungen der einzelnen Theile der Litze um so beträchtlicher wird, je größer der Halbmesser der äußern Spirale im Verhältniß zu demjenigen der innern ist. Eine ähnliche Betrachtung gilt für die Herstellung der Litzen und der Garne.

Es ist denkbar, daß der Unterschied in der Länge der einzelnen Theile einer Litze etc. vermöge jener Dehnung so groß werden kann, daß die Spannung, welche erforderlich ist, um die Litze an dem einen Rande bis zu der beabsichtigten Länge auszurecken, größer ist, als die Festigkeit; daß also vermöge des bloßen Zusammendrehens ein Seil dadurch bricht, daß die äußersten Fasern zerreißen. In jedem Falle aber wird durch das Zusammendrehen, und durch das, hierdurch bewirkte Ausrecken der Litzen immer ein bestimmter Theil der Widerstandsfähigkeit der Fasern in Anspruch genommen, und um eben diesen Theil muß die Belastungsfähigkeit des Seils geringer werden. Dieser Theil ist demnach um so größer, die Tragfähigkeit des Seils also verhältnißmäßig um so geringer, je mehr die Fasern ausgereckt, d. h. je größer der Unterschied ist zwischen den Längen der einzelnen Spiralen, welche in einer Litze gedacht werden können.

Es wird also für die Haltbarkeit der Seile wesentlich darauf ankommen, den Unterschied in den Längen der einzelnen Faserschichten, welcher durch das Zusammendrehen herbeigeführt wird,

möglichst klein zu machen. Nennen wir den Durchmesser der innersten Spirale eines Seils, einer Litze oder eines Fadens d' , den Durchmesser der äussersten Spirale d , und die Steigung beider Spiralen für eine Umdrehung h , endlich den Unterschied beider Durchmesser, welcher gewöhnlich von der Dicke der Litze oder des Fadens abhängig ist, $d - d' = 2q$, so ergibt sich leicht der Unterschied in der Länge der äussersten und der innersten Faserschicht nach dem Zusammendrehen, wenn wir uns nach § 44 S. 85 die Spiralen abgewickelt denken:

$$\begin{aligned} & \sqrt{(\pi^2 d^2 + h^2)} - \sqrt{(\pi^2 d'^2 + h^2)} \\ & \sqrt{(\pi^2 d^2 + h^2)} - \sqrt{(\pi^2 (d - 2q)^2 + h^2)} \\ & \sqrt{(\pi^2 d^2 + h^2)} - \sqrt{[\pi^2 d^2 + h^2 + 4\pi^2 (q^2 - qd)].} \end{aligned}$$

Dier Unterschied wird hiernach um so kleiner, je gröfser $q^2 - qd$ ist; er wird am gröfsten, wenn $q^2 - qd$ ein Minimum, d. h. $q = \frac{1}{2}d$ ist. In diesem Falle ist $d' = d - 2q = 0$. Um nun den Unterschied in den Längen der Spiralen möglichst klein zu machen, mufs man $q^2 - qd$ möglichst grofs, d. h. q entweder gröfser oder kleiner als $\frac{1}{2}d$ machen. Da im erstern Falle d' negativ werden müfste, was nicht möglich ist, so bleibt nichts übrig, als q kleiner als $\frac{1}{2}d$, oder $\frac{q}{d}$ kleiner als $\frac{1}{2}$ und zwar möglichst klein zu machen. Da aber $\frac{q}{d} = \frac{\frac{1}{2}(d - d')}{d} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2}\frac{d'}{d}$ ist, so wird $\frac{q}{d}$ auch um so kleiner, je gröfser $\frac{d'}{d}$, d. h. je gröfser das Verhältnifs des innern Durchmessers des Seils zum äufsern ist.

Aus dieser Darstellung folgt unmittelbar in Bezug auf die Festigkeit der Seile, dafs man, um eine möglichst geringe Spannungs-Differenz in den einzelnen Seil-Elementen, also auch einen möglichst geringen Verlust an Festigkeit bei dem Zusammendrehen zu erlangen,

- 1) bei gegebenem äufsern Durchmesser (d), die Stärke (q) der einzelnen Litzen und Fäden möglichst gering, folglich ihre Anzahl möglichst grofs nehmen müsse;
- 2) bei gegebener Stärke der Litzen und Fäden (q) den innern Durchmesser des Seils (d') möglichst grofs zu nehmen habe.

Früher konstruirte man die Seile ausschliesslich in der Weise, dafs man die einzelnen Elemente unmittelbar so zusammendrehte, dafs sich die innern Spiralen berührten, dafs also der innere Durch-

messer des Seils (d') gleich Null wurde, oder dafs der Kern des Schraubengewindes, welches die einzelnen Seil-Elemente darstellten, eine Linie bildete. Dies ist, wie wir oben gesehen, der Fall, wo der Unterschied der Dehnungen der Seil-Elemente den grössten Werth ($q^2 - qd$ den kleinsten Werth) hat, also der ungünstigste Fall.

Es war daher ein wesentlicher Fortschritt in der Fabrikation der Seile, als man den innern Durchmesser der Seile vergrößerte, und die einzelnen Litzen um einen materiell dargestellten Kern als Schraubengewinde herumwand. Ein solcher Kern von dem Durchmesser d' heifst eine Seele, und besteht gewöhnlich aus einer Hanflitze oder aus einem Hanfseil, welches, ohne eine Drehung und Ausreckung zu erleiden, in seiner ursprünglichen Länge die innere Höhlung des Seiles ausfüllt. So konstruirte Seile sind bekannt unter dem Namen **Patentseile**.

Endlich hat man noch die Drehung der Litzen ganz aufgegeben, dieselben parallel neben einander gelegt, und durch Bänder oder durch Zusammenflechten aneinander befestigt (Bündelseile). Allein diese Anordnung hat den Nachtheil, dafs entweder die cylindrische Form der Seile verloren geht, oder dafs diese Seile sich nicht gut über Rollen legen lassen, insofern hierbei die äufsersten Litzen eine gröfsere Ausdehnung, als die innern erleiden; ein Uebelstand, welcher sich bei gedrehten Seilen besser ausgleicht.

Da stark gedrehte Seile, nach dem eben Gesagten, eine geringere Tragfähigkeit haben müssen, als solche, bei welchen die Fasern nicht so stark ausgereckt sind, so erklärt es sich auch leicht, weshalb nasse Seile, und getheerte Seile weniger stark sind, als trockne oder ungetheerte (weifse) Seile, wenn man erwägt, dafs die Hanffasern durch das Eindringen der Flüssigkeit anschwellen, dicker, aber kürzer werden. Man rechnet, dafs die Widerstandsfähigkeit nasser und getheerter Seile nur etwa 0,75 derjenigen trockner Seile betrage.

Die Litzen starker Seile sind gewöhnlich von gröfserm Durchmesser, als diejenigen schwacher Seile. Es ergibt sich daher aus der obigen Darstellung ferner, dafs, wenn bei stärkern Seilen q verhältnismäfsig gröfser ist als bei schwächern, auch die Festigkeit stärkerer Seile verhältnismäfsig, d. h. pro Quadratzoll Querschnitt, oder nach der Festigkeit der dazu verwendeten Hanffasern berechnet, geringer sein müsse, als diejenige schwächerer Seile. Gleichwohl läfst sich leicht übersehen, dafs, wenn man

ein starkes Seil mit verhältnißmäßig großer Seele, und geringer Litzenstärke konstruirt, die Festigkeit desselben verhältnißmäßig größer sein könne, als diejenige dünnerer Seile.

Berechnung der Hanfseile.

§ 56. Wenn die Konstruktion eines Seils vollständig gegeben ist, so würde man die Zunahme der Spannung von der Seele nach der äußern Peripherie hin, also die Abnahme der Tragfähigkeit in den einzelnen Elementen des Querschnitts ermitteln, und daraus durch Integration oder durch ein Näherungsverfahren die Tragfähigkeit des ganzen Seils bestimmen können.

Diese Rechnung, obwohl theoretisch die richtigere, ist jedoch für die Praxis zu umständlich; man begnügt sich mit Durchschnittswerthen, die auf praktischen Erfahrungen beruhen, und kann dies um so mehr, als man mit der Belastung, welche man dem Seil zu tragen giebt, immer noch weit innerhalb der Grenze seiner absoluten Festigkeit bleibt, und nur etwa bis zu $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{5}$ desjenigen Werthes geht, welcher ein Zerreißen des Seils bedingen würde.

Ueber die absolute Festigkeit der Seile und Taue von verschiedener Dicke, d. h. über die Belastung, unter welcher ein Zerreißen derselben eintritt, liegen mehrere Versuche vor*). Dieselbe ist abhängig:

- 1) von der Güte des Materials,
- 2) von der Sorgfalt, welche auf das Hecheln verwandt worden ist,
- 3) von der Feinheit des verwendeten Garns,
- 4) von der Größe des Drehungswinkels. Unter dem Drehungswinkel eines Seils versteht man den Komplementwinkel des Neigungswinkels der Spirale, welche das Seil bildet. Dieser Drehungswinkel beträgt:

in den Garnen . . .	41 bis 51 Grad,
„ „ Litzen . . .	52 bis 54 „
„ „ Seilen . . .	45 bis 52 „
„ „ Tauen . . .	52 bis 54 „
- 5) von der Verfertigungsart, ob es gewöhnliche oder Patent-Taue sind,
- 6) von der Theerung, ob das ganze Seil nach vollendeter Arbeit getheert ist (kalt registriert), oder ob die einzel-

*) Prechtl's technologische Encyklopädie Band XIV. S. 527 u. f.