

Die Drahtseile in der Praxis

Von

Dipl.-Ing. Richard Meebold

Oberingenieur. Leiter der Seilprüfstelle
der Saargruben. Saarbrücken

Mit 75 Abbildungen im Text



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1938

ISBN 978-3-662-05484-0 ISBN 978-3-662-05529-8 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-05529-8

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.
Copyright 1938 by Springer-Verlag Berlin Heidelberg
Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin in 1938

Vorwort.

Bei Durchsicht der verhältnismäßig umfangreichen Literatur über Drahtseile fällt auf, daß wohl wissenschaftliche Werke und Abhandlungen in größerer Zahl vorhanden sind, daß aber ein in sich abgeschlossenes Werk fehlt, das den Verbraucher der Seile über das für ihn Wichtigste auf diesem Gebiet unterrichtet. Die vorliegende Arbeit soll diese Lücke ausfüllen. Auf Grund meiner Tätigkeit glaube ich die Bedürfnisse des Verbrauchers zu kennen. Ich bin deshalb auf die Herstellung der Seile und die Theorie nur so weit eingegangen, als dies zu einem Verstehen des Gebietes nötig erschien. Ebenso habe ich mich nur auf die notwendigsten Literaturhinweise beschränkt. Hauptsächlicher Wert wurde vielmehr auf die Seilmacharten und ihre Eignung für die verschiedenen Betriebsarten sowie auf die Behandlung und Beurteilung der Seile im Betrieb gelegt.

Die Abbildungen wurden zum größten Teil in der Seilprüfstelle der Saargruben-Aktiengesellschaft hergestellt. Mehrere Abbildungen von Seilschäden wurden mir von der Seilprüfstelle der Westfälischen Berggewerkschaftskasse in Bochum zur Verfügung gestellt, deren Leiter, Herrn Dipl.-Ing. H. HERBST, ich für sein Entgegenkommen bestens danke. Weiter habe ich zu danken den Firmen „Drahtseilerei Georg Heckel“ in Saarbrücken, „Westfälische Drahtindustrie“ in Hamm, „Heuer-Hammer“ in Grüne, Kreis Iserlohn, „Westfalia-Dinnendahl-Gröppel AG.“ in Bochum, „Demag“ in Duisburg, „Ingenieurbüro Georg Schönfeld“ in Berlin und „Gutehoffnungshütte“ Werk Sterkrade, die mir freundlicherweise Abbildungen oder Musterstücke zur Verfügung gestellt haben.

Saarbrücken, September 1938.

R. Meebold.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Aufbau der Seile	1
1. Die hauptsächlichsten Verwendungsgebiete der Drahtseile und ihre Einteilung nach der Art der Seilbeanspruchung.	1
2. Auswahl der Seilgattung	2
3. Die Berechnung der Seile	18
4. Der Drahtwerkstoff	23
5. Aufteilung des Seilquerschnittes: Drahtdurchmesser und Drahtzahl, Anordnung der Drähte	28
II. Die Seile im Betrieb	36
6. Einfluß der Betriebseinrichtungen auf die Haltbarkeit der Seile	36
7. Die Befestigung der Seilenden, die Seileinbände	39
8. Verschleiß, Lockerung, Entdrallen, Entformungen	47
9. Drahtbrüche	54
10. Rostangriff und seine Verhütung	60
Sachverzeichnis	65

I. Aufbau der Seile.

1. Die hauptsächlichlichen Verwendungsgebiete der Drahtseile und ihre Einteilung nach der Art der Seilbeanspruchung.

So vielseitig wie die Anwendung der Drahtseile ist die Art ihrer Beanspruchung im Betrieb. Alle Seile unterliegen einer kleineren oder größeren Beanspruchung auf *Zug*. Ebenso deutlich tritt bei bestimmten Verwendungsgebieten eine Beanspruchung durch *Biegung* in Erscheinung. Weniger fallen dagegen Beanspruchungen durch Längs- und Querschwingungen, Verdrehung und seitlichen Druck ins Auge. Wie die einzelnen Drähte durch die auf das Seil wirkenden Kräfte beansprucht werden, ist bis heute trotz aller wissenschaftlichen Arbeiten auf diesem Gebiete noch nicht erforscht. Die Schwierigkeit liegt hauptsächlich darin, daß stets mehrere der genannten Beanspruchungsarten zusammenkommen und sich überdecken. So ist es zu erklären, daß man sich bis heute wohl in keinem Fall ein vollkommen klares Bild von der Art der *Beanspruchung eines Drahtes im Seil* machen kann.

Nach den hauptsächlichsten, ins Auge fallenden Beanspruchungsarten, die auch entscheidenden Einfluß auf die Auswahl der Seilmachart haben, lassen sich jedoch die Seile aller Verwendungsgebiete in *zwei große Gruppen* einteilen. Man kann unterscheiden:

1. Seile, die im Betrieb über Trommeln, Scheiben oder Rollen gebogen werden und bei denen die durch die Biegung hervorgerufenen Beanspruchungen eine wesentliche Rolle spielen.

2. Seile, an denen teils ruhende, teils bewegliche Lasten hängen oder auch nur geführt werden und bei denen die Biegungsbeanspruchungen, wenn solche überhaupt auftreten, nur eine untergeordnete Rolle spielen. Von diesen wiederum können die Fälle mit rein statischer Zugbelastung in der Beschreibung vernachlässigt werden, weil dabei die Machart ziemlich unwesentlich ist.

Zu der *ersten* Gruppe gehören die meisten im *Bergbau* verwendeten Seile, insbesondere

Schachtförderseile,
Bremsbergseile,
Streckenförderseile.

Auch die zum Ausgleich des Oberseilgewichtes bei Schachtförderungen dienenden

Unterseile,

sowie die beim Schachtabteufen verwendeten

Schwebebühnenseile und

Pumpenhängeseile

müssen dazu gerechnet werden.

Ein weiteres großes Gebiet ist das der

Kranseile,

Aufzugseile,

Zug- und Gegengewichtsseile von Seilbahnen,

Seile für Hubbrücken und Schleusenhubtore,

Seile für Schiffshebwerke.

Ferner sind noch zu erwähnen

Zugseile für Dampfplüge,

Baggerseile,

Seile für Tiefbohrungen,

Transmissionsseile,

Rangierseile im Eisenbahnbetrieb,

Schiffsseile,

Steuerseile für Luftfahrzeuge,

Spannseile für Trag- und Zugseile von Luftseilbahnen.

Zu der *zweiten* Gruppe müssen vor allem gerechnet werden die Tragseile von

Luftseilbahnen,

Kabelbaggern,

Schwebefähren,

Kabelkränen.

Weiter gehören dazu die

Tragseile von Hängebrücken,

Führungsseile für Aufzüge und Schachtförderungen,

Führungsseile für Fähren,

Verspannseile.

In den folgenden Abschnitten des I. Teils sollen die Gesichtspunkte besprochen werden, die bei der Auswahl der Seilmachart für die verschiedenen Verwendungsgebiete zu beachten sind. Die Einteilung nach den erwähnten beiden Hauptgruppen ist auch hier beibehalten.

2. Auswahl der Seilgattung.

Bei der Überlegung, welche Seilmachart für einen bestimmten Verwendungszweck in Frage kommt, muß man sich zunächst klar darüber werden, welche Seilgattung am geeignetsten ist, wobei unter Seilgattung die grundsätzliche Machart und die Schlagart verstanden wird.

Als erster Punkt ist zu entscheiden, ob ein *Rundseil* oder ein *Flachseil* verwendet werden soll. In den weitaus meisten Fällen werden Rundseile verwendet, unter denen wiederum *einfach*, *zweifach* und *dreifach* geschlagene Seile zu unterscheiden sind. Die drei Schlagarten sind in den

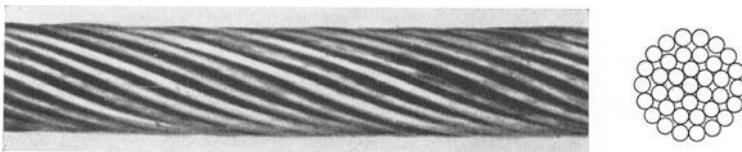


Abb. 1. Einfach geschlagenes Seil.

Abb. 1—3 in Ansicht und Querschnitt dargestellt. Die Anzahl der Drähte bzw. der Litzen ist in diesen Abbildungen beliebig gewählt. Sie ist für die grundsätzliche Machart unwesentlich, die Querschnittsaufteilung wird in Abschnitt 5 ausführlich behandelt. Bei einem *einfach* geschlagenen

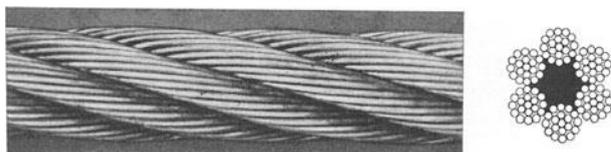


Abb. 2. Zweifach geschlagenes Seil.

Seil (Abb. 1) sind die Drähte in einer oder mehreren Lagen um einen Kern, meist um einen Draht verseilt. Stellt diese Machart ein fertiges Seil dar, so spricht man von einem *Spiralseil*, bildet sie dagegen nur ein Element eines *mehrfach* geschlagenen Seiles, so spricht man von einer

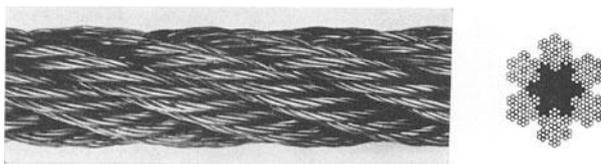


Abb. 3. Dreifach geschlagenes Seil.

Litze. Bei einem *zweifach* geschlagenen Seil (Abb. 2) sind mehrere solcher Litzen um eine Seele aus Faserstoff oder Draht verseilt, man spricht in diesem Falle von einem *Litzenseil*. Bei einem *dreifach* geschlagenen Seil, dem sog. *Kabelschlagseil* (Abb. 3), sind mehrere Litzenseile, die dann auch *Schenkel* genannt werden, um eine Seele geschlagen. Das *Flachseil*

oder *Bandseil* besteht aus mehreren, meist sechs bis acht Einzelseilen mit je vier Litzen. Die Einzelseile, die abwechselnd links- und rechtsgängig geschlagen sind, werden mit Nähdrähten oder Nählitzen nebeneinander genäht.

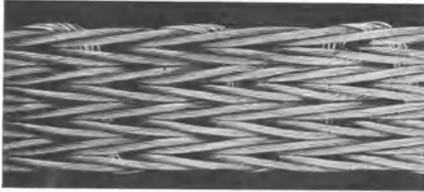


Abb. 4. Achtschenkliges Flachseil.

Die Seile können *einfach* oder *doppelt* genäht werden. Abb. 4 zeigt ein achtschenkliges Flachseil, Abb. 5 das Schema eines einfach genähten achtschenkliges, Abb. 6 eines doppelt genähten sechschenkliges Seiles.

Seile für Betriebsgruppe 1.

Für die unter *Gruppe 1* fallenden Verwendungszwecke, bei denen die Seile während des Betriebes dauernd über Trommeln oder Scheiben gebogen werden, wird man meist *Litzen-seile*, also *zweifach* geschlagene Seile, wählen. Spiralseile sind weniger geeignet, hauptsächlich weil sie bei gleicher Tragkraft erheblich steifer

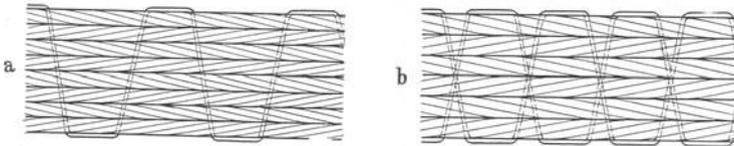


Abb. 5 u. 6. Schema eines einfach (a) und doppelt (b) genähten Flachseiles.

sind als Litzen-seile. Mitunter findet man als Förderseile bei Trommelförderungen einfach geschlagene Seile in sog. *verschlossener* Machart. Ein solches verschlossenes Förderseil ist in Abb. 7 dargestellt. Die Außenlage sowie eine oder zwei weitere Drahtlagen bestehen aus Formdrähten, die

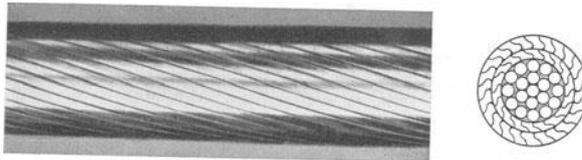


Abb. 7. Förderseil in verschlossener Machart.

so ineinander gefügt sind, daß ein Herauspringen gebrochener Drähte aus dem Seilverband möglichst weitgehend verhindert wird und die außerdem dem Seil eine vollkommen glatte Oberfläche geben. Auf den genaueren Aufbau und die Eigenschaften dieser verschlossenen Seile wird später bei den Seilen für die Beanspruchungsgruppe 2 näher eingegangen. An dieser Stelle kann darauf verzichtet werden, da die Seile

heute für die Verwendungsgebiete der Gruppe 1, wenigstens in Deutschland, kaum mehr in Frage kommen. In England, Frankreich und Belgien sind verschlossene Förderseile auch heute noch verbreitet. Im Saargebiet wurden sie durch die französische Verwaltung eingeführt und sind heute noch an mehreren Förderanlagen in Betrieb. Der hauptsächlichste Vorteil verschlossener Seile ist der durch die gute Ausnutzung des Querschnitts bedingte verhältnismäßig kleine Seildurchmesser, der eine ziemlich schmale Ausbildung der Trommeln erlaubt. Außerdem sind die Seile ziemlich drallfrei, was ihre Beliebtheit beim Betriebspersonal erklärt. Als weiterer Vorteil kann die gute Auflage in den Rillen der Seilscheiben und Trommeln gelten, die durch die glatte Oberfläche bedingt ist. Nachteilig ist die geringe Biegsamkeit und die Tatsache, daß das Seil oft schon wegen weniger Drahtbrüche abgelegt werden muß, weil gebrochene Drähte vielfach trotz des verschlossenen Gefüges beim Biegen über die Scheiben aus dem Seilverband herauspringen und dabei unter Umständen weitere Zerstörungen hervorrufen. Für Treibscheibenförderungen sind verschlossene Seile wegen der glatten Oberfläche und der damit verbundenen Gefahr des Rutschens nicht zu gebrauchen.

Im Gegensatz dazu sind die *Litzenseile* besonders bei Verwendung einer Faserseele außerordentlich biegsam und deshalb für Betriebe, die ein dauerndes Krümmen bedingen, sehr gut geeignet. Die Faserseele, die bei Seilen für untergeordnete Zwecke geteert, bei hochwertigen Seilen dagegen mit Vaseline oder Firnis getränkt wird, gibt während des Betriebs unter dem Druck der Litzen Tränkungsmitel ab, wodurch eine wirksame Schmierung des Seiles erreicht wird. Außerdem bildet sie eine weiche Auflage für die Litzen, deren gegenseitiger Druck auf diese Weise vermindert wird. Wenn man den metallischen Querschnitt des Seiles bei gleichem Durchmesser möglichst groß machen will, so kann man auch an Stelle der Faserseele eine Drahtseele oder ein Innenseil verwenden. Man muß dabei aber zum großen Teil auf die Schmierwirkung verzichten und hat außerdem ungünstige Berührungsverhältnisse im Innern des Seiles. Wie sich diese auswirken, wird aus dem Folgenden noch verständlich. Die Nachteile werden auch nur zum Teil behoben, wenn man das Innenseil mit Faserstoff umspinnt, da diese Zwischenlage vielfach rasch verschleißt.

Man unterscheidet bei den Litzenseilen zwei Hauptgruppen, nämlich *Kreuzschlagseile* und *Längs- oder Gleichschlagseile*, die in Abb. 8 und 9 dargestellt sind. Bei den Kreuzschlagseilen (Abb. 8) sind die Litzen zum Seil in der entgegengesetzten Richtung verflochten wie die Drähte zu den Litzen, bei den Längsschlagseilen dagegen sind sowohl Drähte als auch Litzen in derselben Richtung geschlagen. Innerhalb der Litzen werden bei beiden Schlagarten die Drähte aller Lagen in derselben Richtung verflochten. Noch vor einigen Jahren war es vielfach üblich, die erste

Lage, insbesondere wenn sie aus drei oder vier Drähten bestand, entgegengesetzt zu den übrigen Lagen zu schlagen, wodurch eine bessere Auflage der Drähte erreicht werden sollte. Diese Flechtart ist wegen der ungünstigen gegenseitigen Berührungsverhältnisse der Drähte im Innern der Litzen, die häufig zu inneren Drahtbrüchen führen, zu verwerfen und wird heute nur noch selten angewendet.

Die von dem Erfinder der Drahtseile, Oberbergrat ALBERT, im Jahre 1834 hergestellten ersten Seile waren im Gegensatz zu den bis dahin ausschließlich verwendeten Hanfseilen in Gleichschlag hergestellt, der deshalb auch als *Albertschlag* bezeichnet wurde. Später gelangten lange Zeit lediglich Kreuzschlagseile zur Anwendung. Der Gleichschlag wurde dann von dem Engländer LANG wieder zur Geltung gebracht und wurde

nach ihm in England „Lang-Lay“ genannt, was als „Längsschlag“ in den deutschen Sprachgebrauch übergegangen ist.

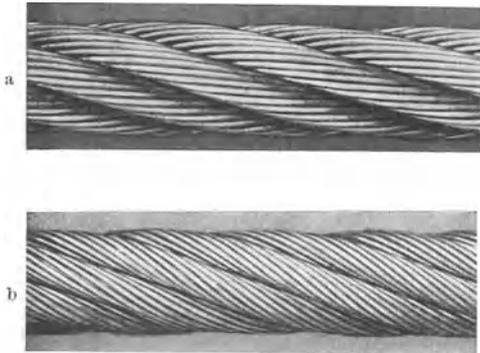


Abb. 8 u. 9. Litzenseil in Kreuzschlag (a) und Längsschlag (b).

Als Vorteil der Kreuzschlagseile gegenüber den Längsschlagseilen wird im allgemeinen der geringere „Drall“ der ersteren angesehen. Unter „Drall“ versteht man das Bestreben eines Seiles, sich aufzudrehen, wenn die Enden nicht befestigt oder geführt sind, bzw.

sich zu verwerfen und Schlingen zu bilden, wenn beide Enden festgehalten werden, das Seil aber entlastet ist. Beim Verseilen werden die Drähte und Litzen nicht so weit bleibend verformt, daß sie ohne Zwang in ihrer neuen Lage verharren. Sie haben deshalb das Bestreben, wieder so weit in ihre ursprüngliche, d. h. gerade Form zurückzufedern, wie es die bleibende Verformung zuläßt. Bei einem Längsschlagseil haben sowohl die Litzen als auch die Drähte das Bestreben, in der gleichen Richtung zurückzufedern, was zu einem Aufdrehen von Seil und Litzen führt. (Auf die schädlichen Folgen des Aufdrehens ist in Abschnitt 8 im II. Teil näher eingegangen.) Das Drehmoment, das einem solchen Seil durch die elastische Verformung von Drähten und Litzen innewohnt, ist also verhältnismäßig groß. Anders ist es beim Kreuzschlag. Hier wirken beide Kräfte entgegengesetzt, dem Zurückfedern der Litzen wirkt das Zurückfedern der Drähte entgegen, das Seil hat also ein bedeutend geringeres Drehmoment. Dies ist zunächst der Grund dafür, daß Längsschlagseile *nur* da verwendet werden können, wo die Seile an beiden Enden fest

geführt werden. Kreuzschlagseile dagegen können auch zum Anhängen oder Bewegen frei hängender Lasten verwendet werden, allerdings gibt es für diesen Zweck noch besser geeignete Macharten, auf welche später eingegangen werden soll.

Wenn ein Seil an beiden Enden geführt wird, wenn es sich also unter keinen Umständen aufdrehen kann, so ist der *Längsschlag* dem Kreuzschlag vorzuziehen. Unter sonst gleichen Bedingungen und bei gleicher Drahtzahl und Drahtdicke werden erfahrungsgemäß mit Gleichschlagseilen erheblich längere Betriebszeiten bzw. größere Förderarbeiten erzielt als mit Kreuzschlagseilen. In noch ausgesprochenerem Maße wurde diese in der Praxis auf allen Verwendungsgebieten gewonnene Erfahrung durch Dauerbiegeversuche mit Drahtseilen bestätigt. Diesbezügliche Dauerbiegeversuche wurden auf dem Versuchsstand der Seilprüfstelle der Westfälischen Berggewerkschaftskasse in Bochum¹ sowie im Institut für Fördertechnik an der Technischen Hochschule in Stuttgart² ausgeführt.

Die bessere Bewährung der Längsschlagseile gegenüber den Kreuzschlagseilen ist zunächst in der größeren Biegsamkeit der ersteren begründet. Dieser Unterschied in der Biegsamkeit beider Schlagarten wird aus folgenden Überlegungen verständlich. Bei einem Kreuzschlagseil tritt ein Außendraht auf einer Litzenganghöhe etwa dreimal, bei einem Gleichschlagseil sonst gleicher Machart dagegen nur einmal an den Seilumfang. Dies ist durch die entgegengesetzte Schlagrichtung von Drähten und Litzen bedingt und wird beim Vergleich der beiden Schlagarten in Abb. 8 und 9 ohne weiteres klar. Das häufigere Erscheinen eines Drahtes an der Oberfläche geht Hand in Hand damit, daß der Draht auch öfter zwischen zwei Litzen eingeklemmt wird. Beim Biegen eines Seiles tritt nun immer eine gewisse Verlagerung der Drähte ein, die auch mit einer gegenseitigen Verschiebung in der Längsrichtung verbunden ist. Je öfter aber die Drähte eingeklemmt sind, desto schwerer können sie sich verschieben, desto größeren Widerstand wird also das Seil einem Biegen entgegensetzen. Dieser Widerstand, der durch das häufigere Einklemmen bedingt ist, wird noch dadurch vergrößert, daß die Drähte beim Kreuzschlagseil schärfer eingeklemmt werden als beim Längsschlagseil. Die Drähte zweier Nachbarlitzen überkreuzen sich bei Längsschlag unter einem Winkel von nur etwa 10° , während der Überkreuzungswinkel bei Kreuzschlag etwa 30° beträgt. Der Unterschied in den Überkreuzungswinkeln geht aus Abb. 10 hervor. Die Abbildung zeigt an zwei Drähten die Druckstellen, die sich an den Berührungsstellen der Litzen beim Arbeiten des Seiles und in geringem Maße auch schon beim Verseilen

¹ Die Versuchsergebnisse sind nicht veröffentlicht.

² WOERNLE, R.: Ein Beitrag zur Klärung der Drahtseilfrage. Z. VDI Bd. 72 (1929) Nr. 13 S. 417.

bilden. Der obere Draht stammt aus einem Kreuzschlagseil, der untere aus einem Längsschlagseil. Durch diesen größeren Biege­widerstand der Kreuzschlagseile werden die Drähte stärker beansprucht und brechen deshalb auch früher als bei Längsschlagseilen.

Noch ein weiterer Punkt trägt zu einer stärkeren Beanspruchung der Drähte im Kreuzschlagseil bei. Wie aus Abb. 8 ersichtlich ist, liegen die Drähte eines Kreuzschlagseiles nur auf einer verhältnismäßig kurzen Strecke am Seilumfang, sie sind infolgedessen an der Oberfläche des Seiles ziemlich scharf gekrümmt. Dies hat zur Folge, daß die Drähte nur mit einer ganz geringen Länge, theoretisch nur mit Punktberührung, in den Scheibenrillen aufliegen. Der spezifische seitliche Druck, den die Außendrähte aufnehmen müssen, ist also beim Kreuzschlag sehr groß. Beim Längsschlag verhält sich die Sache anders. Hier liegen, wie

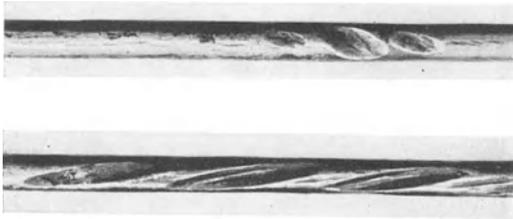


Abb. 10. Druckstellen in Außendrähten eines Kreuzschlag- und eines Längsschlagseiles.

aus Abb. 9 hervorgeht, die Außendrähte auf einer verhältnismäßig langen Strecke am Seilumfang, sie schmiegen sich gleichsam der Mantelfläche des Seiles an. Dies bedeutet, daß der Draht auf einer größeren Länge den seitlichen Druck aufnehmen kann,

daß also der spezifische seitliche Druck verhältnismäßig gering ist. Die Bedeutung dieses seitlichen Druckes für die Haltbarkeit der Seile ist nicht zu unterschätzen. Versuche, die in der Seilprüfstelle der Westfälischen Berggewerkschaftskasse in Bochum vorgenommen wurden, haben gezeigt, daß Drähte, welche Dauerbeanspruchungen unterliegen, sehr empfindlich gegen seitlichen Druck sind¹. Je größer dieser Druck ist, desto rascher tritt der Bruch ein. Eine offensichtliche Folge des größeren spezifischen Seitendruckes ist der bedeutend größere Verschleiß der Kreuzschlagseile gegenüber den Längsschlagseilen, der seinerseits wieder die Haltbarkeit beeinträchtigt.

Als ein wesentlicher Grund für die gute Bewährung der Längsschlagseile ist also nach dem eben Gesagten das schöne Anschmiegen der Außendrähte an die Seiloberfläche zu betrachten. Ein noch besseres Anschmiegen der Drähte an die Mantelfläche des Seiles, als dies bei normalen Gleichschlagseilen der Fall ist, wird bei *Flachlitzenseilen* und *Dreikantlitzenseilen* erzielt.

¹ HERBST, H.: Beurteilung von Förderseileinbänden (s. S. 1207, Sp. 1). Glückauf 64. Jahrg. (1928) Nr. 36, S. 1205. — Bemerkenswerte Brüche von Förderseilen (s. S. 1092). Glückauf 66. Jahrg. (1930) Nr. 33 S. 1089.

Abb. 11 zeigt ein Flachlitzenseil in Ansicht und Querschnitt. Die flache Form der Litzen wird in der Litzenschlagmaschine durch eine entsprechende Ausbildung des Preßlagers erzeugt. Eine besondere Litzen-einlage ist dabei nicht unbedingt erforderlich. Allerdings erhält man eine schönere Lage der Drähte und bessere Berührungsverhältnisse besonders bei dickeren Seilen, wenn man in den Kern der Litzen einen ovalen

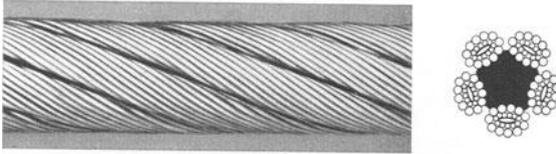


Abb. 11. Flachlitzenseil.

Formdraht legt, wie der Querschnitt in Abb. 11 zeigt. Bei Verwendung eines ovalen Kerndrahtes werden außerdem die Runddrähte der ersten Lage nicht so scharf verformt, was sich hauptsächlich bei dickeren Drähten vorteilhaft auswirkt.

Bei den Dreikantlitzenseilen hat der Litzenquerschnitt etwa die Form eines gleichseitigen Dreiecks. Ein solches Seil ist in Ansicht und Querschnitt in Abb. 12 wiedergegeben. Die Dreikantform der Litzen wird erreicht durch einen dreikantigen Litzenkern, der auf verschiedene Weise

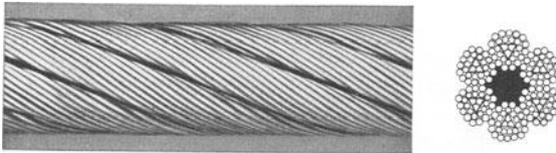


Abb. 12. Dreikantlitzenseil mit Formdrähten im Kern der Litzen.

hergestellt werden kann. Bei der ursprünglichen und lange Zeit ausschließlich verwendeten Bauart besteht der Kern aus drei vierkantigen Formdrähten, deren Querschnitt aus Abb. 12 zu ersehen ist und die entsprechend zusammengesetzt einen Dreikant bilden. Ungünstig ist dabei, daß die Formdrähte nicht annähernd in so hoher Festigkeit wie Runddrähte hergestellt werden können. Für Förderseile besteht sogar vielfach die bergpolizeiliche Vorschrift, daß Formdrähte nur eine Festigkeit von höchstens 100 kg/mm^2 haben dürfen, während für Runddrähte, auch wenn es sich um Kerndrähte handelt, Festigkeiten bis zu 190 kg/mm^2 zulässig sind. Da die Formdrähte aber meist einen ziemlich großen Anteil am tragenden Querschnitt des ganzen Seiles haben, müßte ein Seil mit Formdrähten erheblich dicker werden als ein Seil, das nur aus Rund-

drähten besteht. Die meisten Firmen sind deshalb heute dazu übergegangen, bei schwereren Seilen und insbesondere bei Förderseilen den Litzenkern nicht mehr aus Formdrähten herzustellen, sondern aus sechs Runddrähten, die in einem bestimmten Verhältnis verseilt ebenfalls eine Dreikantform annehmen. Das Aussehen eines solchen Dreikantkerns, der zuerst von der Firma Deichsel in Hindenburg O.-S. hergestellt

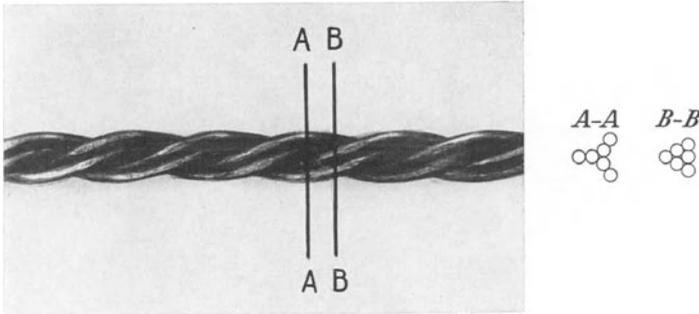


Abb. 13. Dreikantkern aus verseilten Runddrähten.

wurde, geht aus Abb. 13 hervor. Man kann diesen Kern als ein kleines Seil betrachten, das aus drei Litzen zu je zwei Drähten besteht, die in einem bestimmten Verhältnis verseilt sind. In neuester Zeit ist die „Westfälische Drahtindustrie“ in Hamm dazu übergegangen, den Dreikantkern einfach aus sechs unverseilten, parallel liegenden Runddrähten herzustellen. Die Drähte werden in dieser Lage nur durch die darüber verseilten Drähte der ersten Drahtlage gehalten, die ihre Dreikantform



Abb. 14. Dreikantkern aus unverseilten Runddrähten.

in dem Preßlager der Litzenschlagmaschine erhält. Abb. 14 zeigt einen solchen Litzenkern aus sechs unverseilten Runddrähten, bei dem die erste Lage bis auf zwei Drähte abgewickelt ist. Die Kerndrähte werden durch diese beiden restlichen Drähte, die in Dreikantform bleibend verformt sind, noch in ihrer Lage festgehalten.

Die glatte Oberfläche der Flachlitzen- und Dreikantlitzen-seile, die sich der Mantelfläche des Seiles und damit der Form der Scheibenrille gut anpaßt, vermindert also nach dem Vorstehenden den spezifischen seitlichen Druck auf das Seil, was sich auf die Haltbarkeit dieser Macharten gut auswirkt. Grundsätzlich können beide Macharten wiederum

in Kreuzschlag und in Längsschlag ausgeführt werden, wobei die Auswahl der Schlagart nach denselben Gesichtspunkten erfolgt, wie bei Rundlitzenseilen. Man wird also auch hier bei beiderseitiger Führung des Seiles Längsschlag wählen.

Ein weiterer Vorteil der Dreikantlitzenseile, der gerade diese Seile sehr beliebt gemacht und hauptsächlich zu ihrer guten Einführung beigetragen hat, ist der, daß die Seile beim gleichen Durchmesser einen um etwa 10 % größeren Querschnitt und damit auch eine um 10 % höhere Tragfähigkeit aufweisen als Rundlitzenseile. Dem höheren Preis, der in der schwierigeren Herstellung begründet ist, stehen aber für die verschiedensten Verwendungszwecke sehr gute Erfahrungen gegenüber, die den Mehrpreis auch in wirtschaftlicher Hinsicht gerechtfertigt erscheinen lassen. Die Seile sind für alle Betriebe, bei denen schwerere Seilbelastungen in Frage kommen, geeignet und haben sich besonders als Förderseile, Aufzugseile und Kranseile gut bewährt.

Als Nachteil der Längsschlagseile wird gewöhnlich der starke Drall angesehen. Da Längsschlagseile nach dem bisher Gesagten ohnehin nur dann verwendet werden können, wenn die Enden geführt sind, so ist der starke Drall lediglich insofern unangenehm, als er beim Arbeiten mit dem Seil im entlasteten Zustand, also z. B. beim Auflegen und Neueinbinden, leicht zu Klankenbildung (vgl. Abschnitt 8, II. Teil) führt, insbesondere wenn die mit diesen Arbeiten beschäftigten Leute nicht gewöhnt sind, mit Gleichschlagseilen umzugehen. Bei Förderseilen wird vielfach als Nachteil des Längsschlags auch angeführt, daß solche Seile infolge ihres starken Dralles einen größeren Spurlattenverschleiß verursachen als Kreuzschlagseile. Bis zu einem gewissen Grad mag dies der Fall sein, jedoch wird diese Wirkung meist weit überschätzt und ist wirtschaftlich ohne Bedeutung.

Aber auch der Nachteil des starken Dralles läßt sich heute weitgehend durch Verwendung *drallarmer* Längsschlagseile beheben, bei denen man zwei grundsätzliche Arten unterscheiden muß. Bei der *ersten* Art wird die Drallarmut dadurch hervorgerufen, daß die Drähte während des Verseilens eine Verwindvorspannung erhalten, welche dem Drall des Seiles entgegenwirkt. Wenn man von „drallarmen Längsschlagseilen“ spricht, so sind meist Seile gemeint, bei denen der Drall auf diese Weise vermindert ist. Bei der *zweiten* Art erhalten die Drähte und die Litzen eine bleibende Verformung in der Art, daß sie im geraden Seil vollkommen spannungsfrei liegen. Wenn sie aus dem Seilverband herausgenommen werden, so haben sie nicht mehr das Bestreben, zurückzufedern wie bei einem normalen Seil (vgl. S. 6), sondern sie behalten die Form bei, die sie im Seil einnehmen. Wenn am Ende eines solchen Seiles der Bindedraht gelöst wird oder das Seil nicht abgebunden wird, so bleiben im Gegensatz zu einem normalen Seil die einzelnen Elemente vollkommen

tot im Seil liegen. Abb. 15 zeigt oben ein normales Seil, unten ein solches mit spannungsfrei im Seil liegenden Drähten. Bei beiden Seilen ist am Ende der Bindedraht gelöst, bei dem normalen Seil federn Litzen und Drähte besenartig auseinander, bei dem anderen dagegen ist keinerlei Störung des Seilgefüges zu sehen. Eine Litze ist hier, um die Spannungsfreiheit zu zeigen, ein Stück weit aus dem Seil herausgewickelt. Solche Seile wurden zuerst in Amerika hergestellt, wo man die Flechtart mit *Tru-Lay*, d. h. „wahrer Schlag“ bezeichnet. Bei diesen Tru-Lay-Seilen wird der spannungsfreie Zustand dadurch erreicht, daß man die Litzen,

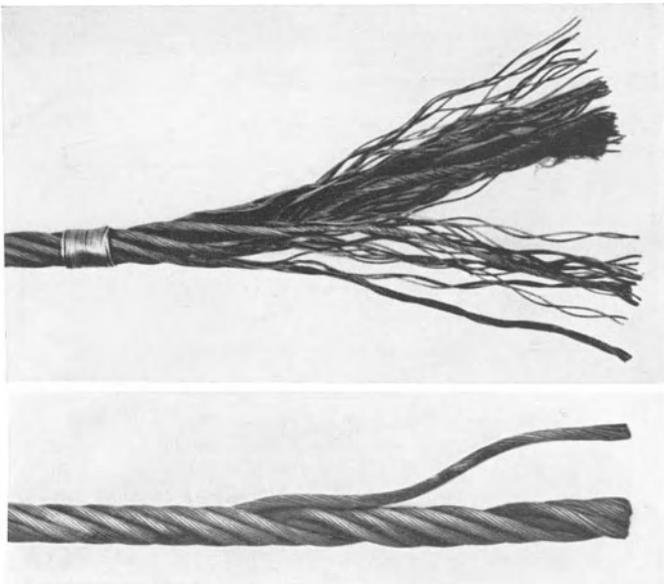


Abb. 15. Litzenseil in normaler und in drallschwacher (Tru-Lay-) Ausführung.

ehe sie zum Seil zusammengeschlagen werden, so vorformt wie sie nachher im Seil liegen. Diese eigentlichen Tru-Lay-Seile werden auch in Deutschland von mehreren Firmen hergestellt. Andere Seilereien erzeugen die Spannungsfreiheit nicht durch Vorformen der Litzen, sondern durch verschiedene andere, teilweise geschützte Verfahren und bringen sie unter verschiedenen Sondernamen in den Handel. Das Grundsätzliche, nämlich die Spannungsfreiheit der Drähte im geraden unbelasteten Seil, ist bei allen diesen Macharten gleich.

Entstehen bei einem solchen spannungsfreien Seil Drahtbrüche, so federn die Bruchenden meist nicht aus dem Seilverband heraus, wie dies bei gewöhnlichen Seilen der Fall ist, sondern sie verbleiben in ihrer alten

Lage. Dies kann insofern vorteilhaft sein, als ein Querlegen der Bruchenden und damit ein Beschädigen der Nachbardrähte vermieden wird. Andererseits bedingt diese Eigenschaft aber erhöhte Vorsicht beim Nachsehen der Seile, weil die Bruchenden nicht immer ohne weiteres sichtbar sind. Im übrigen bewähren sich die spannungsfreien Seile im Betrieb sehr gut und erzielen vielfach bedeutend bessere Laufzeiten als gewöhnliche Seile. Der Grund für die bessere Bewährung läßt sich nicht mit Sicherheit angeben, vermutlich ist er jedoch in der Spannungsfreiheit der Drähte im geraden Seil zu erblicken, durch welche diese weniger beansprucht werden als im normalen Seil. Die spannungsfreien Seile lassen sich natürlich sowohl in Längsschlag als auch in Kreuzschlag herstellen.

Die Tru-Lay-Seile und ihre Abarten werden vielfach auch als *drallfreie* Seile bezeichnet. Absichtlich wurden sie hier zu den drallarmen Seilen gezählt. Die Bezeichnung „drallfrei“ ist nur insofern richtig, als die Seile im *entspannten, unbelasteten* Zustand drallfrei sind und nicht die Neigung haben, sich aufzudrehen oder zu verklanken. Die Seile erlauben dadurch ein bequemes Arbeiten namentlich beim Auflegen. Unter Belastung hat jedes einfache Litzenseil, also auch das spannungsfrei hergestellte, das Bestreben, sich aufzudrehen. Die Kraft, die das Aufdrehen bewirkt, ist ja nicht nur durch die inneren Spannungen bedingt. Wie aus Abb. 16 hervorgeht, läßt sich die senkrecht wirkende Kraft P einer am Seil hängenden Last in zwei Teilkräfte A und B zerlegen. Die Kraft A wirkt in Richtung der Litzen und beansprucht diese auf Zug, die Kraft B dagegen wirkt horizontal und sucht das Seil aufzudrehen. Für frei, also ohne Führung, am Seil hängende Lasten ist demnach das spannungsfreie Längsschlagseil ebenso wenig zu gebrauchen, wie das normale.

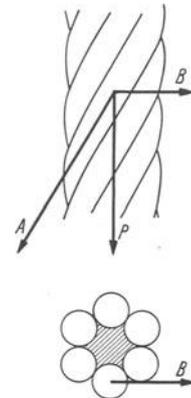


Abb. 16. Kräftewirkung beim Entdrallen.

Als drallschwach in belastetem Zustand kann das Kreuzschlagseil angesprochen werden. Hängt an einem Kreuzschlagseil eine Last, die nicht geführt ist, so dreht zunächst wieder die Teilkraft B (Abb. 16) das Seil auf. Die Folge dieses Aufdrehens ist aber, daß sich die Litzen zudrehen und sich infolgedessen einem weiteren Aufdrehen des Seiles widersetzen. Während das Seil durch das Aufdrehen länger wird, haben die Litzen das Bestreben, sich zu verkürzen, es wird also ein gewisser Gleichgewichtszustand eintreten. Dieses Längen des Seiles bei gleichzeitigem Bestreben der Litzen, kürzer zu werden, bedeutet nun natürlich eine starke zusätzliche Zugbeanspruchung der Drähte besonders bei höheren Belastungen. Kreuzschlagseile werden also mit Vorteil da verwendet, wo keine beiderseitige Führung möglich ist, aber auch keine

allzu großen Lasten am Seil hängen. Sie eignen sich vor allen Dingen als Kranseile, als Rangierseile im Eisenbahnbetrieb, als Schiffseile und für ähnliche Zwecke.

Auch als Unterseile bei Schachtförderungen, die frei unter den Körben hängen, sind Kreuzschlagseile zu gebrauchen. Um Klankenbildung zu vermeiden, müssen die Einbände jedoch an den Körben mittels Wirbeln drehbar befestigt sein. Von der Verwendung von Gleichschlagseilen als Unterseile ist unbedingt abzuraten, weil sich diese schon unter dem Eigengewicht stark aufdrehen.

Bei höheren Belastungen ohne Führung können unter Umständen Kreuzschlagseile, die in Tru-Lay hergestellt sind, verwendet werden. Als Förderseile im Abteufbetrieb sind namentlich bei geringeren Teufen solche Seile möglich.

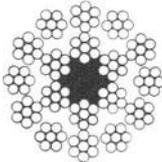


Abb. 17.
Zweilagiges
Rundlitzenseil.

Wenn man Wert auf Drallfreiheit auch unter Belastung legt, dann muß man zu anderen Macharten greifen. Sofern Rundseile verwendet werden müssen, kommt hier das *mehrlagige Litzenseil*, das auch *Spirallitzenseil* oder *Litzenspiralseil* genannt wird, in Frage. Ein solches mehrlagiges Litzenseil ist in Abb. 17 dargestellt. Die Litzen sind in zwei oder mehreren Lagen um eine Seele geschlagen, wobei jede Litzenlage in entgegengesetztem Sinn wie die vorhergehende verseilt ist. Die Seele kann entweder aus Faserstoff oder, wenn keine große Biegsamkeit gefordert wird, auch aus einer weiteren Litze bestehen. Bei Verwendung von Rundlitzen sind die Berührungsverhältnisse zwischen den einzelnen Litzenlagen ziemlich ungünstig.

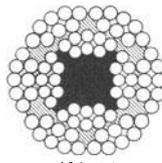


Abb. 18.
Zweilagiges
Flachlitzenseil.

Auch entstehen im Inneren ziemlich große Hohlräume, wodurch der Querschnitt ungenügend ausgenützt und der Seildurchmesser verhältnismäßig groß wird. Man führt deshalb diese Seile meist besser als *mehrlagige Flachlitzenseile* aus, deren Querschnitt aus Abb. 18 hervorgeht. Durch den verschiedenen Flechtsinn der einzelnen Litzenlagen wird der Drall auch unter Belastung weitgehend aufgehoben. Solche Seile eignen sich z. B. für Ladekrane in Seehäfen, bei denen die Lasten an einem langen Seil frei hängen. Weiter lassen sie sich verwenden als freihängende Spannseile für Trag- und Zugseile von Seilbahnen. Für Abteufförderseile wird diese Machart ebenfalls öfter verwendet. Die mehrlagigen Flachlitzenseile sind auch als Schachtförderseile für große Teufen in Gebrauch, wo sie wegen ihrer guten Querschnittsausnutzung gewisse Vorteile bieten. Eine nicht zu unterschätzende Gefahr liegt aber bei der Verwendung von Litzenspiralseilen als Förderseile in der Möglichkeit des Auftretens von Drahtbrüchen in den inneren Litzen, die äußerlich nicht erkennbar sind. Die Machart ist deshalb für Förderseile nicht zu empfehlen.

Als vollkommen drallfreies Seil kann das *Flachseil* oder *Bandseil* gelten, dessen Aufbau bereits besprochen wurde. Dadurch, daß die nebeneinandergenähten Einzelseile abwechselnd links und rechts geschlagen sind, hebt sich bei gerader Schenkelzahl der Drall vollkommen auf. Als Förderseile in Abteufschächten werden meist solche Bandseile verwendet. Außer ihrer Drallfreiheit haben sie hier noch den Vorteil eines guten Gewichtsausgleiches, der bei der Eigenart des Betriebes nicht durch ein Unterseil bewerkstelligt werden kann. Die Bandseile werden nicht wie Rundseile in nebeneinanderliegenden Windungen auf einer Trommel, sondern in Lagen übereinander auf sog. Bobinen aufgewickelt. Das aufgewickelte Seil, an dem der oben befindliche Kübel und somit nur ein geringes Seilgewicht hängt, greift an einem größeren Hebelarm an der Bobinenachse an, während das abgewickelte Seil mit dem großen Seilgewicht an einem kleineren Hebelarm angreift. Auch als Unterseile sind die Flachseile am weitesten verbreitet. Sie erübrigen durch ihre vollkommene Drallfreiheit den Einbau von Wirbeln und können ohne weiteres an den Körben befestigt werden.

Die *dreimal* geflochtenen Seile, also die *Kabelschlagseile*, haben eine erheblich geringere Bedeutung als die bisher besprochenen Macharten. Zum dauernden Laufen über Scheiben, also als Kranseile, Förderseile usw., eignen sie sich nicht, da sie sehr ungünstige Berührungsverhältnisse der Drähte in den Scheibenrillen und auch der Drähte untereinander im Inneren des Seiles ergeben. Meist wird bei dieser Machart durch Verwendung dünner Drähte eine große Biegsamkeit angestrebt. Die Seile sind da zu gebrauchen, wo sie über verhältnismäßig kleine Rollen gekrümmt, aber nur selten bewegt werden. Dies ist vor allen Dingen der Fall bei Schwebebühnenseilen und Pumpenhängeseilen im Abteufbetrieb, sowie bei Spannseilen. Sie sind für diese Zwecke auch besonders wegen ihres geringen Drallmomentes geeignet, das seinen Grund in der dreifachen, jeweils entgegengesetzten Flechtung hat.

Seile für Betriebsgruppe 2. Für die Verwendungszwecke der *Gruppe 2*, bei der die Seile nicht über Rollen oder Scheiben laufen, treten die einfach geschlagenen Seile in den Vordergrund. Zunächst ist hier das einfache, nur aus Runddrähten bestehende Spiralseil (Abb. 1) zu nennen. Solche Seile können verwendet werden als Führungsseile für Aufzüge und Schachtförderungen, sowie als Tragseile für kleinere Hängebrücken. Auch als Signalseile und Verspannseile lassen sich diese einfachen Litzen verwenden, oft werden hierfür jedoch mit Vorteil auch Litzenseile gebraucht.

Ihrer Verwendung als Tragseile für Luftseilbahnen, Kabelbagger und ähnliche Zwecke, bei denen Rollen über das Seil laufen, steht ein großer Nachteil entgegen. Wenn bei einem nur aus Runddrähten hergestellten Spiralseil ein Außendraht bricht, so bleibt er nicht im Seil liegen, sondern

wickelt sich auf einer größeren Strecke aus dem Seil heraus. Die Drahtbruchenden können nur durch Schellbänder aus Blech wieder im Seilverband festgehalten werden. Bis zum Anbringen eines solchen Schellbandes können aber schon die über das Seil laufenden Rollen sich in dem gebrochenen Draht verfangen und erhebliche Zerstörungen anrichten. Wenn dies an mehreren Stellen vorkommt, dann ist bald die ganze

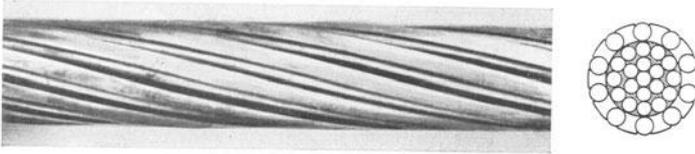


Abb. 19. Tragseil in halbverschlossener Machart.

Flechtung des Seiles zerstört, und es ist nicht mehr möglich, daß die Rollen ungehindert über das Seil laufen.

Um diesem Übelstand zu steuern, ging man zu den verschlossenen Macharten über. Zunächst ist hier die *halbverschlossene* Machart zu nennen, die in Abb. 19 dargestellt ist. Die Außenlage besteht abwechselnd aus Formdrähten und Runddrähten, die so ineinander gefügt sind, daß auch beim Entstehen von Drahtbrüchen ein Herausspringen der Drähte aus dem Seilverband verhindert wird. Heute wird hauptsächlich die *vollverschlossene* Machart verwendet. Wie Abb. 20 zeigt, liegt hier eine Lage Z-Drähte auf den Runddrähten auf. Diese Z-Drähte sind ebenfalls so ineinandergefügt, daß sie gegenseitig ein Herausspringen gebrochener Drähte verhindern.

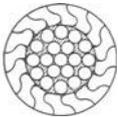


Abb. 20. Tragseil in vollverschlossener Machart.

Um eine bessere Auflage für die Z-Drähte zu erhalten, werden öfters auch eine oder mehrere Lagen Keildrähte zwischen Runddrähte und Decklage gelegt, auch mehrere Lagen Z-Drähte kommen zur Anwendung. Abb. 21 zeigt den Querschnitt eines Seiles mit einer Keildraht- und zwei Z-Drahtlagen. Die halbverschlossenen und insbesondere die vollverschlossenen Seile haben außer der Eigenschaft, ein Herausspringen der Drähte zu verhindern, noch den Vorteil einer glatten Oberfläche, die für das Darüberlaufen der Rollen günstig ist. Der Verschleiß von Seil und

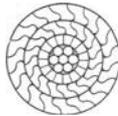


Abb. 21. Verschlossenes Tragseil mit Keildrähten.

Rollen wird dabei auf ein Kleinstmaß herabgesetzt. Auch schwerere Brückenseile werden heute in Europa meist in verschlossener Machart ausgeführt. Hier kommt ein Darüberlaufen von Rollen allerdings nicht in Frage, auch Drahtbrüche sind weniger zu befürchten. Dagegen liegt der Vorteil in einer guten Ausnutzung des Querschnitts und in einem dichten Verschluß der Seiloberfläche, der ein Eindringen von Wasser und damit ein inneres Rosten verhindert.

Die einzelnen Drahtlagen werden bei den einfach verflochtenen Seilen meist abwechselnd links und rechts geschlagen, um den Drall zu vermindern. Vielfach werden auch mehrere aufeinanderfolgende Lagen im gleichen Sinn und nur die Formdrahtlagen wechselseitig geschlagen. Der entgegengesetzte Flechtsinn, der bei den mehrfach geschlagenen Seilen als ungünstig bezeichnet wurde, ist hier notwendig, weil man bei gleichem Flechtsinn aller Lagen trotz sorgfältigen Abbindens an den Enden kein festes Gefüge erhalten würde. Ein besonders sorgfältiges Abbinden ist auch bei entgegengesetztem Flechtsinn der einzelnen Lagen noch notwendig. Im anderen Falle können sich die einzelnen Lagen infolge der ihnen innewohnenden Federkraft aufdrehen. Die Lagen würden sich dabei in der Längsrichtung übereinanderschieben, wodurch natürlich das ganze Seilgefüge gestört würde. Die durch die entgegengesetzte Flechtrichtung bedingten scharfen Überkreuzungen der Drähte wirken sich gerade bei lockerer Flechtung besonders ungünstig aus, weil dann die einzelnen Lagen sich leichter gegeneinander verschieben können und weil an den Überkreuzungsstellen außer dem Druck noch erhöhter Verschleiß entsteht. Auch verschlossene Seile können drallarm hergestellt werden.

Wenn bei der vorliegenden Gruppe gesagt wurde, daß die Biegebeanspruchungen eine geringere Rolle spielen als bei Seilen, die dauernd über Scheiben gekrümmt werden, so heißt das nicht, daß diese vollkommen vernachlässigt werden können. Sie sind vielmehr entsprechend der Beanspruchung im Betriebe bei den verschiedenen Verwendungsbereichen auch verschieden zu bewerten. Bei Brückenseilen z. B. spielen sie eine ganz untergeordnete Rolle, da hier nur kleinere Schwingungen, welche die Seile auf Biegung beanspruchen, auftreten und die Seile im übrigen in den Schuhen auf den Pylonen ruhig aufliegen. Anders liegt der Fall bei Tragseilen von Luftseilbahnen. Diese erleiden an den Stützen jedesmal beim Darüberlaufen der Wagen Biegungsbeanspruchungen, die um so größer sind, je größer der Durchhang des Seiles ist. Dadurch wurde die Entwicklung des Baues der Drahtseilbahnen bestimmt. Früher wurden die Spangewichte der Tragseile so gewählt, daß die Seile nur wenig auf Zug belastet waren. Man fuhr also mit hoher Sicherheit gegenüber dem Spangewicht. Die Folge war, daß die Seile stark durchhängen, was wiederum zahlreiche Stützen und damit zahlreiche Biegestellen nötig machte. Für Personenschwebbahnen erschienen deshalb verschlossene Seile zu steif und man griff zu der sog. *Herkules-Machart*. Ein solches Herkules-Seil ist in Ansicht und Querschnitt in Abb. 22 dargestellt. Es handelt sich dabei um ein mehrlagiges Litzenseil, ein sog. Litzenspiralseil, das aus zahlreichen Litzen mit wenigen Drähten in einer Litze besteht. Dieses Seil ist natürlich erheblich biegsamer, als ein verschlossenes Seil. Wenn ein Draht bricht, so werden die Bruchenden schon in kurzer Entfernung vom Bruch zwischen den Nachbarlitzen einge-

klemmt, sie können sich also nicht weiter herauslösen. Der Seilverband wird somit durch Drahtbrüche nicht gestört, wie dies bei einem gewöhnlichen Spiralseil der Fall ist. Ungünstig bei diesen Seilen ist allerdings die unebene Oberfläche, die zu einem verhältnismäßig starken Verschleiß der Drähte und der Laufrollen führt.

Der Schweizer Ingenieur ZUEGG ging nun zu einem anderen Grundsatz beim Bau von Drahtseilbahnen über. Er spannte die Seile stärker, verminderte also die Sicherheit auf Zug, hatte aber dafür geringere Biegebeanspruchungen und kam auch mit erheblich weniger Stützen aus. Dabei konnte man auch wieder zu verschlossenen Seilen übergehen, die auf der anderen Seite den Vorteil der guten Querschnittsausnutzung und der

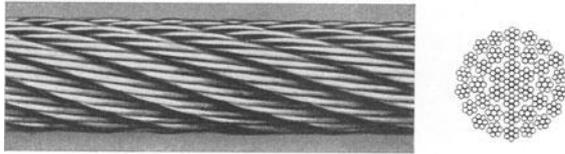


Abb. 22. Seil in Herkules-Machart.

glatten Oberfläche bieten. Heute werden sowohl Last- als auch Personen-Seilschwebbahnen fast durchweg nach diesem Grundsatz, in der sog. Bauart BLEICHERT-ZUEGG, gebaut.

Auch für Kabelbagger, Kabelkrane und ähnliche Zwecke werden heute meist verschlossene Seile verwendet.

3. Die Berechnung der Seile.

Die Berechnung der Seile wird heute lediglich auf Zug durchgeführt. Im ersten Abschnitt war erwähnt worden, daß bei den Seilen der ersten Gruppe die Biegebeanspruchungen eine erhebliche Rolle spielen. Dies scheint sich zunächst zu widersprechen. Der Widerspruch ist aber nur scheinbar, denn der wahre Grund dafür, daß die Biegebeanspruchungen nicht in die Berechnung eingesetzt werden, ist der, daß wir nicht in der Lage sind, auch nur annähernd ihre Größe anzugeben. An Versuchen einer Berechnung auf Biegung hat es nicht gefehlt. Eine solche Berechnung wurde zuerst durch REULEAUX im Jahre 1861 durchgeführt. Die von ihm aufgestellte Gleichung, die als Reuleauxsche Formel bekannt ist, lautet:

$$\sigma = \frac{\delta}{D} \cdot E .$$

Darin bedeutet σ die größte im Draht auftretende Biegespannung, bezogen auf 1 mm^2 des Drahtquerschnittes, δ den Drahtdurchmesser, D den Scheibendurchmesser, über welchen das Seil gekrümmt wird,

und E endlich den Steifheitsgrad des Drahtwerkstoffes. Bei dieser Berechnung ist also angenommen, daß der Draht im Seil dieselben Biegebeanspruchungen erfährt, wie wenn er im unverseilten Zustand über die Scheibe gebogen wird. Entgegen REULEAUX kam v. BACH¹ zu der Überzeugung, daß die von ersterem errechneten Beanspruchungen viel zu hoch seien. Er führte deshalb noch einen Berichtigungsfaktor ein, und zwar $3/8$. Die Reuleauxsche Gleichung wird damit abgeändert in

$$\sigma = 3/8 \frac{\delta}{D} \cdot E.$$

Auf die Begründung, die v. BACH für diesen Faktor gab, soll hier nicht näher eingegangen werden. Andere Wissenschaftler waren wiederum der Ansicht, daß die Beanspruchungen, die sich aus der Reuleauxschen Formel ergeben, noch viel zu günstig seien². Auf diese ganzen Erörterungen soll hier nicht weiter eingegangen werden, da sie nur mehr akademischen Wert haben.

In Wirklichkeit kann man beim Drahtseil von Biegungsbeanspruchungen im landläufigen Sinne gar nicht sprechen. Unter Biegebeanspruchungen im landläufigen Sinne sind dabei die Zug- und Druckbeanspruchungen verstanden, die beim Biegen eines Körpers in den einzelnen Fasern entstehen und die in den äußeren Fasern stets am größten sind. Wenn man nun Seile betrachtet, die auf einer Dauerbiegemaschine

gebogen wurden und die immer mit derselben Seite auf den Scheiben auflaufen, weil sie sich wegen ihrer verhältnismäßig geringen Länge nicht drehen können, so zeigt sich, daß nur auf einer Mantellinie des Seiles Drahtbrüche entstehen, und zwar auf der im gekrümmten Zu-

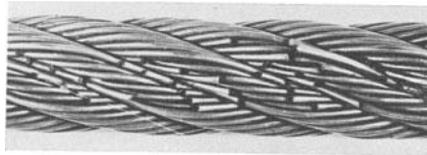


Abb. 23. Dauerbiegeprobe mit Drahtbrüchen an einer Mantellinie.

stand konkaven Seite, die ja auch auf den Scheiben aufläuft. Das Aussehen eines solchen Seilstückes ist in Abb. 23 wiedergegeben. Auch bei kürzeren Kranseilen und Aufzugseilen, die sich im Betriebe nicht merklich verdrehen, die also immer mit derselben Seite auf den Scheiben auflaufen, zeigt sich diese Erscheinung. Im allgemeinen wurde dies im praktischen Betriebe seltener beobachtet, weil hier, wie z. B. bei Förderseilen, die Seile sich meist noch drehen, so daß alle Stellen des Seilumfanges mit einer Scheibenrinne in Berührung kommen und weil außerdem das Seil über die einzelnen Scheiben in verschiedenen Richtungen gebogen wird. Man nahm also in der Regel rein gefühlsmäßig an, daß die Brüche in der äußersten, beim Biegen gestreckten Faser entstehen. Dadurch, daß dies nicht

¹ v. BACH: Maschinenelemente.

² BENOIT: Die Drahtseilfrage.

der Fall ist, wird das ganze Bild der Drahtbeanspruchung im gebogenen Seil ein anderes.

Offensichtlich ist, daß die Stellen, an denen die Drahtbrüche entstehen, am stärksten beansprucht sind. Reine Druckbeanspruchungen, die sonst an der Innenfaser eines gebogenen Körpers entstehen, kommen für den Draht als Zerstörungsursache nicht in Frage. Aus dem Aussehen der Bruchflächen, welche die Merkmale von Dauerbrüchen aufweisen, geht außerdem hervor, daß es sich um Brüche handelt, die durch Biegen des Drahtes entstanden sind. Tatsächlich sind es auch in gewissem Sinne Biegebeanspruchungen, welche die Drähte an der Innenfaser des Seiles erleiden. Diese Beanspruchungen werden durch Stauchungen hervorgerufen, die in dem auf Druck beanspruchten Teil des Seiles, also auf der im gebogenen Zustand konkaven Seite entstehen. Die Art der Beanspruchung eines Außen-

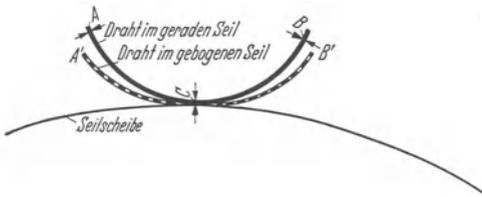


Abb. 24. Schematische Darstellung der Biegebeanspruchung eines Drahtes beim Biegen des Seiles.

beanspruchung eines Außen- drahtes an dieser Innenfaser des Seiles wird aus Abb. 24 deutlich. Der Draht ist an den Stellen *A* und *B* ziemlich fest zwischen den Nachbarlitzen und der Innenlage eingeklemmt. Beim Auflaufen in der Scheibenrinne ist er

außerdem noch am Seilumfang zwischen der Innenlage und dem Rillengrund der Scheibe bei *C* eingespannt. Wenn der Draht nun im geraden Zustand des Seiles die in der Abbildung ausgezogene Lage einnimmt, so erhält er beim gekrümmten Seil die gestrichelte Lage. Es tritt also beim Biegen des Seiles auch jedesmal ein Biegen des an der Seiloberfläche liegenden Drahtelementes ein. Im Betrieb erfolgt somit ein dauerndes Auf- und Zubiegen der Drähte. An der Lauffläche, also an der Stelle, an der der Draht im Rillengrund aufliegt, kommt zu der Biegebeanspruchung noch der Verschleiß und der seitliche Druck, wodurch verständlich wird, daß an diesen Stellen die Drahtbrüche entstehen.

Bei dieser Gelegenheit soll nochmals auf die geringere Haltbarkeit der Kreuzschlagseile gegenüber den Längsschlagseilen hingewiesen werden, die bereits auf S. 7 und 8 besprochen wurde und die hier noch besser verständlich wird. Die Einspannung des an der Oberfläche liegenden Außendrahtes zwischen den Nachbarlitzen ist beim Kreuzschlagseil starrer als beim Längsschlagseil. Außerdem ist die Entfernung dieser Einspannstellen beim Kreuzschlagseil geringer als beim Längsschlagseil. Infolgedessen sind auch die zusätzlichen Beanspruchungen, welche die Drähte beim Biegen des Seiles erhalten, beim Kreuzschlag größer als beim Längsschlag.

Aus der verwickelten Art der zusätzlichen Beanspruchungen heraus ist verständlich, daß es nahezu unmöglich und aussichtslos ist, diese durch eine einfache Formel zu erfassen, und man muß sich deshalb bei den Seilen beider Gruppen mit der Berechnung auf Zug begnügen. Heute ist die Berechnung auf Biegung auch aus den Handbüchern des Maschinenbaus gestrichen.

Bei der Berechnung auf Zug ist nun die Frage der einzuhaltenden Sicherheit ausschlaggebend. Unter Sicherheit versteht man hier genau wie im übrigen Maschinenbau den Quotienten $\frac{\text{Bruchbelastung}}{\text{Betriebsbelastung}}$. Bei einem Seil werden aber drei verschiedene Bruchbelastungen unterschieden, nämlich:

1. *Die rechnerische Bruchbelastung.* Darunter versteht man das Produkt des tragenden Querschnittes, also der Drahtzahl mal dem Drahtquerschnitt, einerseits und der Drahtfestigkeit andererseits.

2. *Die ermittelte Bruchbelastung,* womit man die Summe der an der Zerreißmaschine ermittelten Bruchbelastungen aller Drähte bezeichnet.

3. *Die wirkliche Bruchbelastung,* die durch Zerreißen einer Seilprobe im ganzen Strang festgestellt wird.

Die ermittelte Bruchbelastung liegt meist bis zu 8% über der rechnerischen. Dies kommt daher, daß es unmöglich ist, die Drähte genau auf eine vorher festgelegte Festigkeit zu ziehen. Da die ermittelte Bruchbelastung des Seiles nun keinesfalls geringer sein darf als die in der Bestellung angegebene, die sich wiederum mit der rechnerischen deckt, so legt das Drahtwerk von vornherein den Durchschnitt der Drahtfestigkeit etwas höher. Die wirkliche Bruchbelastung hängt, wie leicht verständlich ist, ebenfalls von der tatsächlichen Drahtfestigkeit und damit auch von der ermittelten Bruchbelastung ab. Sie liegt bei einem gesunden Seil immer *unter* der ermittelten Bruchbelastung. Dies ist der Fall einmal, weil die Drähte nicht parallel zur Seilachse liegen, sondern zu dieser geneigt sind und infolgedessen höher beansprucht werden. Sodann ist es unmöglich, alle Drähte genau unter der gleichen Spannung zu verseilen und so ein vollkommen gleichmäßiges Tragen herbeizuführen. Der Abfall der wirklichen Bruchbelastung gegenüber der ermittelten richtet sich hauptsächlich nach der Anzahl der Drähte im Seil und beträgt zwischen 7 und 15%¹.

Was nun die Größe der einzuhaltenden Mindestsicherheit betrifft, so haben sich hier im Laufe der Zeit Erfahrungswerte herausgebildet, die für die wichtigeren Betriebsarten in den behördlichen Vorschriften festgelegt sind. Die in Deutschland üblichen Werte sind in der nachstehenden Tabelle zusammengestellt.

¹ HERBST, H.: Ein Beitrag zur Frage der Sicherheitszahlen für Förderseile. Glückauf 60. Jahrg. (1924) Nr. 17 S. 323.

Betriebsart	Mindestsicherheit der Seile bei	
	Personenfahrt	Lastenförderung
Schachtförderseile	8	6
Krane	—	6—7
Aufzüge, Trommelbetrieb	12—16	8—12
„ Treibscheibenbetrieb	16—24	11—18
Seilbahnen, Zugseile	8	6—7
„ Tragseile	4	3—4

Der Berechnung der Sicherheitszahlen werden dabei die *ermittelte* Bruchbelastung des Seiles und die höchste *statische* Betriebsbelastung zugrunde gelegt. Die tatsächliche Sicherheit ist niedriger, und zwar einmal, weil die wirkliche Bruchbelastung niedriger ist als die ermittelte, und weiter, weil zu der statischen Beanspruchung noch die dynamische kommt. Die zusätzlichen dynamischen Beanspruchungen betragen teilweise, z. B. bei Schachtförderungen, bis zu 50 % der statischen Belastung. Dadurch, daß alle diese Umstände bei Festlegung der Mindestsicherheitszahlen berücksichtigt werden mußten, erklären sich die im Verhältnis zum übrigen Maschinenbau hohen Werte. Vielfach ist außerdem noch berücksichtigt, daß die Seile im Betrieb durch Rostangriff, Verschleiß oder Drahtbrüche gewisse Schwächungen erleiden und auch dann noch genügend stark sein müssen.

Für die Festlegung der Seilmachart wird also einfach aus der statischen Höchstbelastung im Betrieb, bei der übrigens auch das Seilgewicht zu berücksichtigen ist, und der gewünschten Sicherheitszahl die notwendige rechnerische Bruchbelastung bestimmt. Auf der anderen Seite ist die Seilbruchbelastung wiederum abhängig von dem metallischen Querschnitt und der Drahtfestigkeit. Wie der metallische Querschnitt zusammengesetzt ist, ob aus vielen dünnen oder aus wenigen dicken Drähten, und ob weiter die Drahtfestigkeit bei kleinerem Querschnitt hoch oder bei größerem Querschnitt niedrig ist, ist bei dieser Berechnung gleichgültig. Vom rein *sicherheitlichen* Standpunkt aus spielt dies auch, solange das Seil unbeschädigt ist, keine Rolle.

Nun haben natürlich Seile verschiedener Machart bei den gleichen Betriebsverhältnissen auch eine verschiedene Lebensdauer. Vom *wirtschaftlichen* Standpunkt aus ist es also außerordentlich wichtig, diejenige Machart zu kennen, die im einzelnen Fall die größte Haltbarkeit hat. Der einzige Weg, um die am besten geeignete Machart zu finden, ist aber nicht die Berechnung, sondern vielmehr die praktische Betriebserfahrung und die Prüfung der Seile auf dem Versuchsstand. Die Gesichtspunkte, die sich daraus für die Festlegung der Machart ergeben, sollen in den beiden folgenden Abschnitten besprochen werden.

4. Der Drahtwerkstoff.

Um aus der Seilbruchbelastung den notwendigen metallischen Querschnitt zu berechnen und die Art seiner Aufteilung in einzelne Drahtquerschnitte zu bestimmen, muß man zuerst die Eigenschaften des Drahtwerkstoffes und ihren Einfluß auf die Haltbarkeit der Seile kennen.

Abgesehen von ganz wenigen Sonderfällen, auf die einzugehen sich im Rahmen dieses Buches erübrigt, werden Drahtseile stets aus kalt gezogenen Stahldrähten, die aus unlegiertem Kohlenstoffstahl bestehen, hergestellt, und zwar werden heute fast ausschließlich Drähte von 80 bis 200 kg/mm² Zugfestigkeit verarbeitet. Seile aus weicheren Stahldrähten von 40 bis 80 kg/mm² Festigkeit kommen nur für untergeordnete Zwecke vor. Drähte über 200 kg/mm² Festigkeit lassen sich wohl ziehen, werden aber zur Seilherstellung wegen ihrer großen Sprödigkeit meist nicht verwendet.

Dickere Runddrähte sowie Formdrähte können nicht über eine gewisse, von der Größe und Form des Querschnitts abhängige Festigkeit gezogen werden, weil sonst keine genügend gleichmäßige Durcharbeitung des ganzen Querschnittes mehr gewährleistet ist. Die für jeden Durchmesser bzw. Querschnitt gebräuchlichen Festigkeitsbereiche sind aus dem Schaubild Abb. 25 zu entnehmen. Dabei ist unterschieden zwischen Runddrähten für mehrfach geschlagene Seile, Runddrähten für Spiralseile und Formdrähten, die ja hauptsächlich auch für Spiralseile in Frage kommen.

Für die Seile von Gruppe 1, also für die biegsamen Seile, werden heute Runddrähte bis zu 3,6 mm Ø verarbeitet. Wenn man also von den Formdrähten im Kern der Dreikantlitzen und Flachlitzen absieht, kommt nach Abb. 25 für diese Gruppe der Festigkeitsbereich von 120 bis 200 kg/mm² in Betracht.

Im praktischen Betrieb wurde schon lange beobachtet, daß sich Seile aus weichen Drähten besser bewähren als solche aus harten. Diese Beobachtung wurde in den letzten Jahren durch Dauerbiegeversuche¹ be-

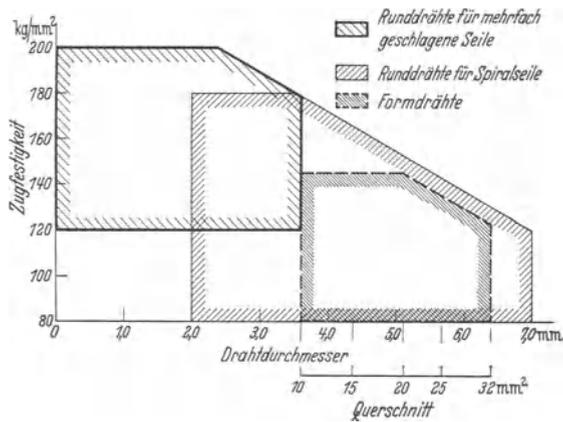


Abb. 25. Festigkeitsbereich von Seildrähten in Abhängigkeit vom Drahtdurchmesser bzw. Querschnitt.

¹ Mitt. a. d. Seilprüfstelle d. Westf. Berggewerkschaftskasse. Bochum 1933/34. — WOERNLE, R.: Ein Beitrag zur Klärung der Drahtseilfrage. Z. VDI Bd. 72 (1929) Nr. 13 S. 417.

stätigt. Die Versuche zeigten zunächst, daß die Haltbarkeit der Seile bei gleicher statischer Sicherheit auf Zug und bei sonst gleichen Versuchsbedingungen mit zunehmender Festigkeit abnimmt. Andererseits hält ein und dasselbe Seil um so besser, je geringer die Belastung, je höher also die Sicherheit ist. Keinesfalls empfiehlt es sich nun aber, eine höhere Sicherheit durch Erhöhung der Drahtfestigkeit zu erreichen, was an Hand des Schaubildes Abb. 26 verständlich wird. Das Schaubild zeigt die Ergebnisse von Dauerbiegeversuchen, die in der Seilprüfstelle in Bochum durchgeführt wurden. Die Machart der im vorliegenden Fall untersuchten Seile war folgende: 19 mm \varnothing , Kreuzschlag, 1 Faserseele und 6 Litzen zu je 7 blanken Drähten von 2,0 mm \varnothing .

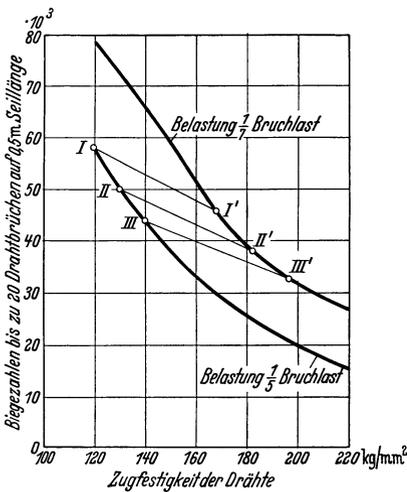


Abb. 26. Vergleich der Haltbarkeit von Seilen aus Drähten verschiedener Festigkeit unter verschiedener spezifischer Belastung (Dauerbiegeversuche der Seilprüfstelle der Westfälischen Berggewerkschaftskasse in Bochum).

Weiter zeigt die höhere Lage der Kurve mit 7facher Sicherheit gegenüber derjenigen mit 5facher Sicherheit die Zunahme der Haltbarkeit mit steigender Sicherheit. Die dünnen Linien verbinden nun solche Punkte beider Kurven, die der gleichen Zugbelastung entsprechen. Würde man also beispielsweise ein Seil mit einer Drahtfestigkeit von 120 kg/mm², das mit 5facher Sicherheit gefahren wird (Punkt I in Abb. 26), durch ein solches ersetzen, das bei gleicher Belastung und gleicher Machart eine 7fache Sicherheit aufweisen würde, so müßte die Drahtfestigkeit dieses Seiles $\frac{120 \cdot 7}{5} = 168$ kg/mm² betragen (Punkt I'). Ebenso entsprechen sich die Punkte II und II' und die Punkte III und III'. Durchweg weisen die Seile mit der höheren Festigkeit schon nach einer geringeren Biegezahl die gleiche Anzahl Drahtbrüche auf wie die entsprechenden mit einer geringeren Festigkeit. Die erwähnte Versuchsreihe ist nur als

einmal mit 5facher und einmal mit 7facher Sicherheit gefahren. Die beiden Kurven stellen die Mittelwerte aus zahlreichen Versuchen dar, wobei die Versuchsseile für dieselbe Festigkeit jeweils von vier verschiedenen Seilereien hergestellt waren. Auf der Abszisse ist jeweils die Drahtfestigkeit der geprüften Seile aufgetragen, auf der Ordinate die Anzahl der Biegungen, die ausgeführt wurden, bis das Seil auf 0,5 m Länge 20 Drahtbrüche zeigte. Man sieht zunächst bei beiden Kurven die starke Abnahme der Haltbarkeit mit zunehmender Drahtfestigkeit. Weiter zeigt die höhere Lage der Kurve mit 7facher Sicherheit gegenüber der-

Beispiel herausgegriffen. Bei Seilen anderer Machart liegen die Verhältnisse ebenso.

In jedem Falle ist also zu prüfen, mit welcher niedrigsten Festigkeit man auskommen kann. Am günstigsten würde man mit Drähten von 120 bis 130 kg/mm² fahren, die innerhalb des erwähnten Festigkeitsbereiches die untere Grenze bilden. Vielfach ist man jedoch gezwungen, härtere Drähte zu verwenden, und zwar dann, wenn bei weichen Drähten der metallische Querschnitt und damit der Seildurchmesser oder das Seilgewicht zu groß ausfallen würden. Das erstere ist vielfach der Fall bei Seilen für Krane, Aufzüge, Dampfpflüge und ähnliche Betriebe, wo einmal nur verhältnismäßig schmale Trommeln zur Verfügung stehen, die bei einem zu dicken Seil keine genügende Anzahl Umschläge und damit keine genügende Seillänge aufnehmen können, und wo andererseits die Trommeldurchmesser zu klein sind, um bei dicken Seilen die Biegebeanspruchungen in erträglichen Grenzen zu halten. Das letztere kommt hauptsächlich bei Hauptschachtförderungen in Frage, wo bei großen Teufen das Seilgewicht einen erheblichen Anteil an der Gesamtbelastung hat und so das Verhältnis der Nutzlast zur Totlast ungünstig beeinflußt. In solchen Fällen ist man deshalb oft gezwungen, bis zu einer mittleren Festigkeit von 180 kg/mm² zu gehen. Dieser Wert bildet auch die obere Grenze der für Förderseile bergbehördlich zugelassenen mittleren Drahtfestigkeit, wobei allerdings noch gewisse durch die Ungenauigkeit des Herstellungsverfahrens bedingte Abweichungen nach oben zulässig sind. Drähte von über 200 kg/mm² Zugfestigkeit dürfen jedoch in Deutschland nicht verwendet werden. Bei Förderseilen in Blindschächten, wo Teufe und Belastung geringer sind, kann man meist mit Festigkeiten von 120 bis 130 kg/mm² auskommen.

Bei gleichbleibendem Seildurchmesser kann man, wie bereits in Abschnitt 2 erwähnt wurde, den metallischen Querschnitt noch vergrößern, also die Drahtfestigkeit vermindern, durch Verwendung von Dreikantlitzenseilen und mehrlagigen Flachlitzenseilen. Eine weitere Möglichkeit, um dies zu erreichen, ist die Verwendung einer Drahtseele oder eines Innenseiles anstatt der Faserseele. Auf die Nachteile, die man dabei in Kauf nehmen muß, wurde bereits in Abschnitt 2 hingewiesen. Wo jedoch nicht der Seildurchmesser, sondern das Seilgewicht die ausschlaggebende Rolle spielt, bieten auch diese Maßnahmen keine Vorteile und man muß die Festigkeit höher nehmen.

Die Auswahl der Drahtfestigkeit für die Seile der *Betriebsgruppe 2* erfolgt nach ähnlichen Gesichtspunkten wie bei Gruppe 1. Auch hier wird man im Rahmen der für Spiralseile gebräuchlichen Festigkeiten (Abb. 25) möglichst weiche Drähte verwenden, sofern dabei Seildurchmesser und Seilgewicht in wirtschaftlichen Grenzen bleiben. Insbesondere ist eine niedrige Festigkeit bei solchen Seilen günstig, bei denen die Biegebean-

spruchungen nicht vernachlässigt werden können, also z. B. bei den Tragseilen für Seilschwebbahnen älterer Bauart, die einen starken Durchhang haben. Dies gilt folgerichtig auch für die bei diesen Bahnen häufiger verwendete Herkules-Machart (s. Abschnitt 2). Wie bereits in Abschnitt 2 dargelegt wurde, kommt aber beim Bau von Seilschwebbahnen immer mehr die Bauart BLEICHERT-ZUEGG in Anwendung, die mit einer starken Spannung der Tragseile und geringem Seildurchhang arbeitet. Hier ist also ein geringes Seilgewicht sehr wesentlich, und man greift zu den oberen in Abb. 25 angegebenen Festigkeiten, man geht also bei nicht zu dicken Runddrähten bis zu 180 kg/mm^2 , bei Formdrähten bis zu 145 kg/mm^2 . Ähnliche Überlegungen gelten für die Tragseile von Kabelbaggern, Kabelkranen usw. Bei Brückenseilen, bei denen die Biegebeanspruchungen keine wesentliche Rolle spielen, kann man ebenfalls härtere Drähte verwenden. Bei diesen Seilen sieht man allerdings auf eine möglichst gleichmäßige Festigkeit im ganzen Querschnitt, so daß bei verschlossenen Seilen auch die Festigkeit der Runddrähte meist nicht wesentlich höher gewählt wird als diejenige der Formdrähte. Wenn also die Formdrähte die Höchstfestigkeit von 145 kg/mm^2 haben, wird man auch bei den Runddrähten nicht über 155 kg/mm^2 gehen.

Weiter ist bei der Auswahl des Drahtwerkstoffes noch zu entscheiden, ob blanke oder verzinkte Drähte verwendet werden sollen. Wenn keine Korrosionsgefahr vorliegt, und wenn eine gute Fettschmierung möglich ist, wird man meist *blanke* Drähte nehmen. Bei Anlagen, bei denen die Seile einer nassen Atmosphäre oder saueren Wassern oder Gasen ausgesetzt sind, empfiehlt es sich dagegen *stets, verzinkte* Seile zu verwenden. Vielfach bestehen gegen die Verwendung dieser Seile Bedenken, weil bekanntlich durch die Feuerverzinkung die mechanischen Eigenschaften der Drähte, insbesondere die Biege- und Verwindfähigkeit, schlechter werden. Bei vergleichenden Dauerbiegeversuchen¹ mit blanken und verzinkten Seilen ergab sich aber überraschenderweise, daß die verzinkten Seile teilweise bessere Laufzeiten erzielten, als die blanken Seile gleicher Festigkeit. Bei dünnen Verzinkungen war dies immer der Fall, erst bei dicken Zinkauflagen wurde ein Abfallen der Haltbarkeit gegenüber den blanken Seilen beobachtet. Die Erklärung dieser zunächst merkwürdig klingenden Tatsache ist vermutlich die, daß das Zink als Schmiermittel wirkt und so die innere Reibung des Seiles verringert. In bezug auf die Widerstandsfähigkeit einer starken Verzinkung gegenüber der Korrosionswirkung wurden in den letzten Jahren mit Förderseilen und Unterseilen in nassen Schächten mit stark angriffsfähigem Wasser ganz ausgezeichnete Erfahrungen gemacht. Teilweise überdauerten dabei die verzinkten Seile die blanken um ein Vielfaches, auch wenn die letzteren

¹ Wie auf S. 23.

gut geschmiert und getränkt waren. Der starke Rostschutz, den gerade das Zink ausübt, beruht darauf, daß dieses Metall unedler ist als Eisen. Auch bei Verletzungen des Zinküberzuges, die ja an Druck- und Verschleißstellen unausbleiblich sind, wird durch die Bildung eines galvanischen Elementes zuerst das neben der Verletzung liegende Zink, nicht das Eisen, angegriffen.

Voraussetzung für einen guten Rostschutz ist allerdings, und das muß immer wieder betont werden, daß die Zinkdicke ausreichend ist, d. h. daß die Zinkauflage je nach der Drahtstärke mindestens 100—150 g auf 1 m² der Drahtoberfläche beträgt. Aus dem Ausland wurde öfter über Verfahren berichtet, bei denen die Zinkschicht eine bestimmte Oberflächenbehandlung, wie z. B. einen nochmaligen schwachen Zug, erfährt. Dadurch soll ein Schließen der Poren des Überzuges erzielt werden, so daß auch dünne Verzinkungen einen besonders guten Rostschutz gewähren. Solche Berichte sind mit Vorsicht zu behandeln; in Deutschland liegen jedenfalls diesbezügliche Erfahrungen bisher nicht vor.

Nach den Dauerbiegeversuchen und den Erfahrungen im praktischen Betrieb ist also die Angst vor den geringeren mechanischen Eigenschaften feuerverzinkter Drähte unberechtigt.

Ein Abfallen der mechanischen Eigenschaften der Drähte durch den Verzinkungsvorgang kann vermieden werden durch ein Verzinken auf galvanischem Wege. Dies ist technisch in einwandfreier Weise durchführbar, dürfte sich jedoch als zu teuer erweisen. Bei den guten Erfahrungen, die mit feuerverzinkten Drähten gemacht werden, ist auch die Notwendigkeit des galvanischen Verfahrens für Seildrähte in Frage gestellt.

Bei einer stark angriffsfähigen sauren Atmosphäre empfehlen sich, sofern der Zinküberzug keinen genügenden Schutz bietet, *verzinkt-verbleite* Drähte. Den Schutz bildet hier der Bleiüberzug, während das Zink nur als Bindemittel zwischen Eisen und Blei nötig ist.

Außer durch Verzinken wurde schon versucht, durch einen *Kupferzusatz* zum Stahl eine rostschützende Wirkung zu erreichen, wie dies bei Hochbaustählen mit Erfolg durchgeführt wurde. Einwandfreie Ergebnisse liegen bis heute bei Seilen noch nicht vor. Keinesfalls wird aber dadurch ein Rosten so unterbunden wie durch einen Zinküberzug.

Erwähnt soll noch werden, daß es heute auch technisch möglich ist, Seildrähte aus *nichtrostendem Stahl* in den gebräuchlichen Festigkeiten mit befriedigenden mechanischen Eigenschaften herzustellen. Der Preis beträgt jedoch ein Vielfaches von dem für verzinkte Drähte, so daß eine Verwendung für normale Seile nicht in Frage kommt.

5. Aufteilung des Seilquerschnittes: Drahtdurchmesser und Drahtzahl, Anordnung der Drähte.

Wichtig ist zunächst die Wahl des *Drahtdurchmessers*. Natürlich darf man insbesondere bei den Seilen der Betriebsgruppe 1 die Drähte nicht zu dick machen, weil ja sonst die im einzelnen Draht auftretenden Biegebeanspruchungen zu hoch würden. Ebenso verfehlt ist es aber andererseits, den Drahtdurchmesser zu klein zu machen. Die Erfahrung hat gezeigt, daß es im allgemeinen günstig ist, weniger dickere als viele dünne Drähte zu verwenden. Es sei bei dieser Gelegenheit darauf hingewiesen, daß diese Erfahrung der früher in Anwendung stehenden Berechnung der Seile auf Biegung, gegen die ja bereits in Abschnitt 3 Stellung genommen wurde, ebenfalls widerspricht.

Eine solche Berechnung würde ja unter allen Umständen dazu führen, die Seile aus möglichst dünnen Drähten herzustellen, um die Biegebeanspruchungen niedrig zu halten. Gewiß ist ein Seil, daß aus dünnen Drähten besteht, weniger auf Biegung beansprucht, als ein solches aus dicken Drähten. Maßgebend für die Haltbarkeit ist aber nicht allein eine geringe Biegebeanspruchung, sondern auch der Einfluß des Verschleißes und, sofern das Seil unter ungünstigen atmosphärischen Bedingungen arbeitet, derjenige des Rostes. Diesen beiden Einflüssen wird ein dicker Draht besser widerstehen als ein dünner. Aber noch eine andere Gefahr spricht gegen die Verwendung sehr vieler dünner Drähte. Diese müssen in entsprechend vielen Lagen verseilt werden. Je mehr Drahtlagen nun vorhanden sind, desto schwieriger ist es, eine gleichmäßige und feste Verseilung zu erzielen. Trotz des hohen Standes der Seilertechnik sind kleinere Unregelmäßigkeiten bei der Herstellung unvermeidlich. Diese summieren sich bei gleichzeitiger Anordnung übermäßig vieler Drähte und machen sich im Betrieb leicht dadurch unliebsam bemerkbar, daß sie den Anlaß zu ungleichmäßigen Beanspruchungen der einzelnen Drähte und zu Formänderungen des Seiles bilden.

Richtig ist es vielmehr, einen Mittelweg zu gehen und ein gewisses Verhältnis von Seildurchmesser und Drahtdurchmesser einzuhalten. Bei den Seilen der Betriebsgruppe 1 kann man, falls nicht die Betriebsverhältnisse eine außergewöhnlich große Biegsamkeit wünschenswert erscheinen lassen, für die Berechnung des größten im Seil vorkommenden Drahtdurchmessers die Faustformel anwenden

$$\delta = \frac{d}{30} + 1.$$

δ bedeutet dabei den Drahtdurchmesser, d den Seildurchmesser, beide Werte sind in mm einzusetzen. Beispielsweise würde die Formel für ein 40 mm starkes Seil eine Drahtstärke von 2,3 mm, für ein 60 mm starkes Seil eine solche von 3,0 mm ergeben. Bei dünneren Seilen, also vielleicht bis zu 30 mm Durchmesser, wird man allerdings die Drahtdicke besser

etwas geringer nehmen. Bei einem 30 mm starken Seil z. B. ist ein Drahtdurchmesser von 1,8 mm günstiger, als ein solcher von 2,0 mm, der sich aus der Formel ergeben würde. Ebenso wird man bei Kran- und Aufzugseilen wegen der verhältnismäßig kleinen Rollen- und Trommeldurchmesser in diesen Betrieben etwas dünnere Drähte nehmen.

Bei den Seilen für die Betriebsgruppe 2 kann, sofern es sich um einfach verflochtene Seile handelt, die Drahtdicke verhältnismäßig groß gewählt werden. Wie bereits bei der Besprechung des Drahtwerkstoffes in Abschnitt 4 gesagt wurde, werden hier Runddrähte bis zu 7 mm Durchmesser und Formdrähte bis zu 32 mm² Querschnitt verwendet. Diese großen Drahtquerschnitte sind natürlich nur in solchen Fällen möglich, wo die Seile sehr wenig auf Biegung beansprucht werden, also z. B. bei stark gespannten Tragseilen für Lastseilbahnen. Wo dagegen eine größere Biegsamkeit nötig ist, muß die Drahtdicke entsprechend geringer sein. Wenn ein möglichst geringes Seilgewicht angestrebt wird und infolgedessen eine höhere Drahtfestigkeit notwendig wird, ist man ohnehin gezwungen, dünnere Drähte zu verwenden. Bei Brückenseilen kann man ebenfalls ziemlich dicke Drähte nehmen; Voraussetzung ist dann allerdings, daß die Schuhe der Pilonen, auf denen die Seile aufliegen, einen genügend großen Krümmungshalbmesser haben. Verschiedentlich wurde bei großen Seilhängebrücken zur Bedingung gemacht, daß die Seile keine Lötstellen von Drähten enthalten dürfen. Dadurch ist man bei einer größeren Seillänge gezwungen, die Drähte dünner zu machen, als dies an sich nötig wäre. Das Gewicht der Knüppel, welche das Ausgangsprodukt für die Drahtherstellung bilden, kann nämlich nicht unbegrenzt hoch genommen werden, weil sonst kein handliches Arbeiten mit den Drahttringen mehr möglich ist. Wenn nun ein Draht von einer bestimmten Länge aus einem Knüppel hergestellt werden muß, so ist dadurch ein Höchstwert seines Querschnittes gegeben.

Was nun die Anordnung der Drähte anlangt, so wurde bereits in Abschnitt 2 gesagt, daß das einfach verflochtene Seil oder die Litze in jedem Fall das einfachste aus mehreren Drähten bestehende Element darstellt. Zuerst muß also der Aufbau der gewöhnlichen Spiralseile und der grundsätzlich gleichbedeutenden Rundlitzen besprochen werden. Am einfachsten gestaltet sich die Querschnittsaufteilung, wenn man ein Seil aus lauter gleich dicken Drähten herstellt. Bei den gebräuchlichsten Macharten wird um einen Einlagedraht, der ebenfalls den gleichen Durchmesser hat wie die übrigen Drähte, zunächst eine Lage von sechs Drähten verseilt. Würden nun diese sechs Drähte parallel zum Kerndraht, also zur Seil- bzw. Litzenachse liegen, so würden sie im Litzenquerschnitt als Kreise auftreten, der Seilquerschnitt würde also der linken Hälfte von Abb. 27 entsprechen. Nach den Grundzügen der Geometrie ist klar, daß in diesem Fall jeder Draht gleichzeitig seine

beiden Nachbardrähte und den Kerndraht berühren würde. Da die Drähte nun in einem Winkel zum Kerndraht liegen, bilden sie im Litzenquerschnitt keine Kreise, sondern Ellipsen. Der Kreis, den sie umschließen, ist also größer, als ihr eigener Durchmesser. Die Verhältnisse werden aus dem rechten Querschnitt von Abb. 27, der allerdings übertrieben gezeichnet ist, klar. Um ein gegenseitiges Quetschen der Drähte zu vermeiden, empfiehlt es sich deshalb stets, den Einlegedraht etwas stärker zu nehmen als die übrigen Drähte. Während man bei Litzenseilen im allgemeinen im Rahmen der Toleranzen einen etwas dickeren Draht als Kerndraht aussucht, nimmt man bei schwereren Spiralseilen

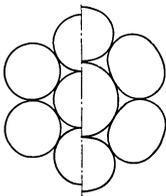


Abb. 27. Querschnitt eines parallelen Drahtbündels (links) und einer verseilten Litze (rechts).

den Kerndraht bis zu 20%, also einige Zehntel Millimeter dicker als die übrigen Drähte. Stets ist es günstiger, wenn die Unterlage, in diesem Falle der Kerndraht, den Druck aufnimmt, als wenn sich die Drähte einer Lage gegenseitig drücken. Im letzteren Falle treten leicht Verlagerungen von Drähten ein in der Art, daß diese durch ihre Nachbardrähte nach außen gedrückt werden.

Der Einlegedraht besteht meist aus demselben Stahl wie die übrigen Drähte und wird auch als volltragend mitgerechnet. Seltener stellt man ihn aus Eisen oder weich geglühtem Stahl her. Der Zweck, der damit verfolgt wird, soll außer einer weicheren Auflage für die verseilten Drähte eine größere Dehnbarkeit des Kerndrahtes sein, der ja auch bei Belastung tatsächlich mehr gedehnt und infolgedessen höher beansprucht wird als die verseilten Drähte. Die Erfahrung hat aber gezeigt, daß normalerweise auch dann keine Brüche im Kerndraht entstehen, wenn er gleich hart ist, wie die übrigen Drähte, und so verzichtet man nicht gern auf die Tragkraft dieses Drahtes.

Die zweite Lage besteht nun aus zwölf, die dritte aus 18 Drähten usw. In jeder Lage sind sechs Drähte mehr, als in der vorhergehenden. Genau genommen ist etwas mehr Platz, es ist aber auch hier wie bei der ersten Lage günstiger, wenn die Drähte gegenseitig etwas Spiel haben und sicher auf der Unterlage liegen, als wenn sie zu wenig Platz haben und sich gegenseitig quetschen. Dies ist auch der Grund dafür, daß viele Seilereien bei Spiralseilen mit zahlreichen Drahtlagen einige Lagen einschalten, die anstatt sechs nur fünf Drähte mehr aufweisen, als die jeweils vorhergehende Lage.

Während nun bei einfach geschlagenen Seilen oft bis zu fünf, bei schwereren Brückenseilen sogar bis zu neun Lagen verseilt werden, kommen für einfache Litzenseile, die in den weitaus meisten Fällen aus sechs um eine Faserseele geschlagenen Litzen bestehen, bis zu vier Lagen in einer Litze vor. Bei gleichstarken Drähten haben wir hier also 7, 19,

37 und 61 Drähte in der Litze, wobei der Kerndraht jeweils mitgerechnet ist. Diese vier sehr gebräuchlichen Macharten sind im Querschnitt in Abb. 28 dargestellt. Die Machart mit einer Faserseele und sechs Litzen zu je sieben Drähten, die auch einfach mit 6×7 bezeichnet wird, empfiehlt sich im allgemeinen nicht, da sie infolge der im Verhältnis zum Litzendurchmesser dicken Drähte verhältnismäßig breite Rillen zwischen den Drähten zur Folge hat und damit ungünstige Berührungsverhältnisse ergibt. Gut bewähren sich die Macharten 6×19 und 6×37 , und zwar sowohl für kleinere Seile, als auch für Förderseile. Die Machart 6×61 wird vielfach für Kranseile gewählt, sie muß aber als ungünstig angesehen werden. Aus den zu Beginn des vorliegenden Abschnitts näher erläuterten Gründen sind Seile mit vier Drahtlagen in einer Litze nicht zu empfehlen, besonders wenn, wie es bei dieser Machart stets der Fall ist, die Drähte im Verhältnis zum Seildurchmesser sehr dünn werden.

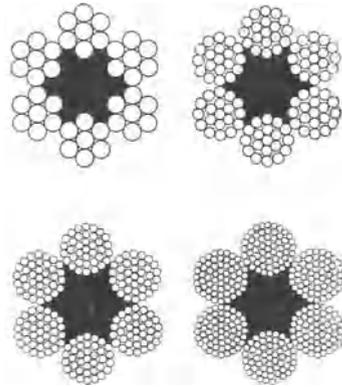


Abb. 28. Litzenseile aus gleichdicken Drähten mit einem Kerndraht und 1 bis 4 Drahtlagen in jeder Litze.

Wenn man mit diesen Macharten nicht auskommt, und noch mehr unterteilen will, so kommen noch Litzen in Frage, in denen die Innenlage aus drei, vier oder fünf Drähten besteht. Bei fünf Drähten muß ein dünnerer Einlegedraht in den Kern gelegt werden, besser auch schon bei vier Drähten. Auch hier geht man bei den nächsten Lagen immer um sechs Drähte weiter. Die Anordnung der Drähte ist in Abb. 29 zu erkennen. Solche Macharten kommen hauptsächlich für Förderseile in Frage, wo manchmal eine größere Unterteilung nötig ist, um den passenden metallischen Querschnitt zu erhalten.

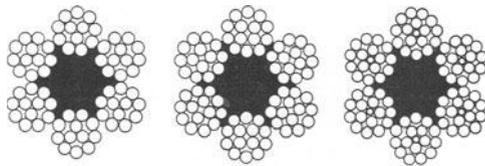


Abb. 29. Seile aus gleichdicken Drähten mit 3, 4 und 5 Drähten in der innersten Lage.

Auch hier gilt für die 4lagigen Litzen, was für die Machart 6×61 gesagt wurde. Ebenso kann man eine bessere Unterteilung erreichen, wenn man das Seil statt aus sechs Litzen aus fünf, sieben oder acht Litzen herstellt. Insbesondere 7litzige Seile bewähren sich gut als Förderseile, während die 5litzigen wegen ihrer ungünstigen Oberfläche einen starken spezifischen Seitendruck in den Scheibenrillen (s. Abschnitt 2) ergeben und deshalb nicht zu empfehlen sind.

Es ist nun durchaus nicht notwendig, daß alle Drähte eines Seiles

gleich dick sind. Um einerseits den Vorteil dünner Drähte für die Biegsamkeit und andererseits den dicker Drähte für die Widerstandsfähigkeit gegenüber Rost und Verschleiß zu vereinigen, kann man eine sog. *Verbundmachart* wählen. Dabei legt man ins Innere der Litzen dünne Drähte und um diese eine oder zwei Lagen dickere Drähte. Bei der ersten dickdrähtigen Lage nimmt die Drahtzahl gegenüber der vorhergehenden natürlich nicht um sechs zu, wie bei gleicher Drahtdicke, sondern um weniger. Die Anzahl läßt sich rechnerisch oder zeichnerisch nach rein geometrischen Grundsätzen ermitteln. Die Machart kommt bei einfach geschlagenen Seilen seltener vor, hauptsächlich wird sie bei einlagigen Litzenseilen verwendet. Abb. 30 zeigt den Querschnitt eines Seiles in Verbundmachart, bei dem die Litzen aus sechs dünnen und neun dickeren Drähten bestehen.

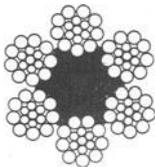


Abb. 30. Litzenseil in Verbundmachart.

Bei Flachlitzen- und Dreikantlitzenseilen (Abb. 11 und 12) wird auch meist die erste über der formgebenden Litzeneinlage verseilte Drahtlage aus dünneren Drähten hergestellt. Dies ist insofern günstig, als die scharfen Knicke, die an den Kanten des Kerns entstehen, dünne Drähte weniger beanspruchen als dickere. Zu erwähnen ist, daß Dreikantlitzenseile, der Litzenform entsprechend, immer aus sechs Litzen bestehen müssen.

Derartige Seile haben natürlich durch die dünneren Innendrähte auch eine größere Biegsamkeit, genau wie die Verbundmachart bei Rundlitzenseilen. Die Anzahl der Drähte, die in den einzelnen Lagen unterzubringen sind, läßt sich ebenfalls rechnerisch oder zeichnerisch ermitteln.

Bei den mehrlagigen Rundlitzenseilen ist die Anordnung der einzelnen Litzen im Seil genau so, wie diejenige der Drähte in einer Litze. Wenn alle Litzen gleich dick sind, liegen beispielsweise um eine Faserseele oder eine Kernlitze zunächst sechs Litzen, um diese zwölf usw. Am deutlichsten zeigen dies die Querschnitte des Spirallitzenseiles in Abb. 17, sowie des Herkulesseiles, das ja ebenfalls ein solches mehrlagiges Rundlitzenseil darstellt, in Abb. 22. Die Anzahl der Litzen kann auch eine andere sein, aber auch dann liegen in jeder Litzenlage wiederum sechs Litzen mehr als in der vorhergehenden. Wenn, was öfters der Fall ist, die Außenlitzen dicker sind als die Innenlitzen, so ist ihre Anzahl natürlich entsprechend geringer. Was über die mehrlagigen Rundlitzenseile gesagt wurde, gilt sinngemäß auch für die mehrlagigen Flachlitzenseile. Die Anzahl der Litzen in den einzelnen Litzenlagen richtet sich dabei nach Form und Abmessungen der ersteren. Es sei hier nochmals auf Abb. 18 verwiesen, die die Querschnittsaufteilung eines mehrlagigen Flachlitzenseiles zeigt.

Eine größere Biegsamkeit als bei den besprochenen Macharten erhält

man, wenn man ins Innere der Litzen ebenfalls eine Faserseele legt und die Drähte um diese herum verseilt. Der Querschnitt eines solchen Seiles ist in Abb. 31 wiedergegeben. Besonders geeignet sind solche Seile als Tauwerk für Schiffe. Für höher beanspruchte Seile, vor allen Dingen für Kran-, Aufzug- und Förderseile, ist diese Machart ungeeignet, weil die Fasereinlage keine sichere Auflage für die Drähte ergibt und so leicht Verlagerungen von Drähten zur Folge hat.

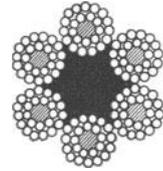


Abb. 31. Litzenseil mit Faserseele in den Litzen.

Bei allen bisher besprochenen Macharten verseilt man nun die einzelnen Drahtlagen im gleichen Winkel zur Litzenachse bzw. bei Spiralseilen zur Seilachse. Wie leicht verständlich ist, wird durch diese Maßnahme erreicht, daß die Zugbelastung von allen Drähten des Seiles gleichmäßig aufgenommen wird. Die Verhältnisse, die bei dieser Flechtart vorliegen, sollen an Hand der Abb. 32 unter Zugrundelegung eines einfach geschlagenen Seiles aus 19 Drähten erklärt werden. AB stellt dabei die Abwicklung der Schraubenlinie dar, in der ein Draht in einem Seilstück von der Länge L unter dem Winkel α verflochten ist. Da nun α für beide Lagen gleich groß ist, kann AB als Abwicklung sowohl eines Außendrahtes als auch eines Innendrahtes angesehen werden. Die Strecke AC ist eine Parallele zur Seilachse durch den Punkt A . In dem rechtwinkligen Dreieck ABC ist dann $AC = \text{Seillänge } L$ und $AB = \text{Drahtlänge } l$. Beide Seiten schließen den Flechtwinkel α ein. Die dritte Seite BC ist $= n \cdot \pi \cdot d_m$, wobei n die Anzahl der Windungen auf der Seillänge L und d_m der mittlere Windungsdurchmesser der jeweiligen Drahtlagen ist. Aus der Tatsache, daß L und α für alle Lagen gleich sind, folgt zunächst, daß auch die absolute Drahtlänge l in allen Lagen die gleiche ist. Dies ist dem praktischen Seiler bekannt, und es ist eine alte Handwerksregel, daß ein Seil dann richtig geschlagen ist, wenn alle Drähte gleich lang sind; in die Theorie übersetzt heißt das also, wenn der Flechtwinkel in allen Lagen gleich ist. Weiter folgt aber aus der Abbildung, daß auch das Produkt $n \cdot \pi \cdot d_m$ für alle Lagen gleich ist. Da nun der Windungsdurchmesser d_m in allen Lagen verschieden ist, — d_{m2} ist größer als — d_{m1} (s. Abb. 32), in jeder Lage ist d_m um den doppelten Drahtdurchmesser größer als in der vorhergehenden — so ist auch die Anzahl der Windungen und damit die Schlaglänge verschieden, und zwar sind die Drähte um so länger geschlagen, je weiter außen sie liegen. Bei gleichem



Abb. 32. Schematische Darstellung der Flechtverhältnisse bei normalen Litzen.

Flechtwinkel verlaufen also die Drähte der verschiedenen Lagen nicht parallel, sondern sie müssen sich überkreuzen.

In den letzten Jahren ist nun noch eine andere Flechtart aufgekomen, der sog. *Parallelschlag*, der verkörpert wird durch die *Seale*-, *Warrington*- und *Fülldraht*-Machart. Hier ist nicht der *Flechtwinkel* der einzelnen Drahtlagen gleich, sondern die *Schlaglänge*. Die absolute Drahtlänge ist also größer, je weiter außen die betreffende Drahtlage liegt. Am häufigsten von diesen Parallelschlag-Macharten wird wohl die

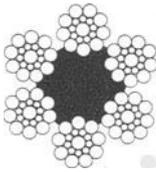


Abb. 33.
Seale-Machart.

Seale-Machart ausgeführt, den Querschnitt eines solchen Seiles zeigt Abb. 33. Bei oberflächlicher Betrachtung des Querschnitts könnte man dieses Seil wegen der dünnen Innendrähte und der dicken Außendrähte für eine normale Verbundmachart halten. Das Wesentliche ist aber, daß die neun dicken Außendrähte in den Rillen der neun Innendrähte liegen, die Drähte beider Lagen, deren Anzahl stets dieselbe sein muß, verlaufen also parallel.

Der Durchmesser der dicken Drähte ist dabei von dem Durchmesser der dünnen Drähte und der Drahtzahl abhängig. Einmal liegen ja die dicken Drähte in den Rillen zwischen den dünnen Drähten, andererseits müssen sie sich theoretisch gegenseitig berühren. Ein geringes Spiel zwischen den Außendrähten ist allerdings ratsam, denn wenn eine vollkommene Berührung angestrebt wird, kann leicht der Fall eintreten, daß die Außendrähte zu dick ausfallen und sich gegenseitig quetschen, wodurch dann keine gute Auflage auf den Innendrähten mehr gewährleistet wäre. Die Abhängigkeit des Außendrahtdurchmessers von der Drahtzahl ist nun so, daß das Verhältnis von Außendrahtdurchmesser zu Innendrahtdurchmesser um so größer ist, je kleiner die Anzahl der Drähte ist. Wenn d_1 der Durchmesser der Innendrähte und d_2 derjenige der Außendrähte ist, so ist z. B. bei 13 Drähten in einer Lage $d_2 = 1,5 \cdot d_1$, bei 9 Drähten dagegen ist $d_2 = 1,8 \cdot d_1$. Es leuchtet nun ein, daß bei noch weniger Drähten entweder die Innendrähte außerordentlich dünn oder aber die Außendrähte zu dick würden. Beides ist nicht wünschenswert. Man nimmt deshalb die Drahtzahl einer Lage gewöhnlich nicht kleiner als neun. Wenn man den dicken Kerndraht vermeiden will, kann man ihn durch drei oder vier entsprechend dünnere Drähte ersetzen, die dann normal, also mit kürzerer Schlaglänge als die darüber liegenden Drähte, verseilt werden. Ebenso wird man bei mehr als neun Drähten den Kern aus verseilten Drähten herstellen. Was den Drahtdurchmesser anlangt, so kann er für die dicken Außendrähte bei Seale-Seilen etwas größer gewählt werden, als sich nach den am Anfang dieses Abschnittes beschriebenen Grundsätzen ergeben würde. Dadurch werden zu geringe Abmessungen der Innendrähte vermieden.

Bei der Warrington-Machart, die durch den Querschnitt in Abb. 34

gekennzeichnet ist, liegen in den Rillen der Innendrähte gleichdicke Außendrähte. Die Zwischenräume zwischen den Außendrähten werden durch entsprechend dünnere Drähte ausgefüllt, so daß eine ziemlich glatte Litzenoberfläche entsteht. Bei der Fülldraht-Machart, deren Querschnitt in Abb. 35 wiedergegeben ist, werden ähnlich wie bei einer normalen Machart aus gleichstarken Drähten um sechs Innendrähte zwölf gleichstarke Außendrähte verseilt. Um für diese aber bei der gleichen Schlaglänge eine gute Auflage zu schaffen, werden in die Rillen zwischen den Innendrähten dünne Fülldrähte gelegt. Der Durchmesser dieser Fülldrähte ist so gewählt, daß die Außendrähte jeweils in den durch Innendrähte und Fülldrähte gebildeten Rillen liegen.

Die Parallelschlag-Macharten wurden zuerst in den Vereinigten Staaten hergestellt. Der ursprüngliche Zweck ihrer Einführung war ein vereinfachtes Herstellungsverfahren. Durch die gleiche Schlaglänge von zwei Lagen war die Möglichkeit gegeben, diese beiden Lagen gleichzeitig in einer Maschine aufzubringen, was bei verschiedenen Schlaglängen nicht möglich ist. Bei den Parallelschlagseilen werden nun die Innendrähte wegen ihres im Verhältnis zu den Außendrähten kleineren Flechtwinkels stärker auf Zug beansprucht, als diese. Trotz der ungleichen Zugbeanspruchung der Drähte in den verschiedenen Lagen zeitigten die Seile aber im Betriebe überraschenderweise recht gute Ergebnisse, so daß sie auch bei uns im Begriff stehen, weite Anwendungsgebiete zu erobern. Der Grund für diese gute Bewährung ist in dem Fehlen von Überkreuzungsstellen zu erblicken. Der seitliche Druck wird durch die Außendrähte gleichmäßig auch auf die Innendrähte übertragen, so daß punktförmige Berührungsstellen mit hohem spezifischem Druck vermieden werden. Der Vorteil, den dies für die Beanspruchung der Drähte bedeutet, wird aus den bereits in Abschnitt 2 erwähnten Gründen verständlich.

Als Verwendungsgebiete für die Parallelschlagseile kommen hauptsächlich Kran- und Aufzugseile in Frage. Besonders mit Seale-Seilen liegen auch als Blindschachtförderseile gute Erfahrungen vor. Allerdings ist bei starker Rostgefahr Vorsicht geboten. Durch die etwas klaffenden Außendrähte der Seale-Seile kann leicht das Schachtwasser bis zu den dünnen, gegen Rost weniger widerstandsfähigen Innendrähten vordringen und so im Innern Zerstörungen hervorrufen. Eine gute Verzinkung ist in solchen Fällen in erhöhtem Maße am Platz. In einigen Fällen wurden auch schon schwere Hauptschachtförderseile in Seale-

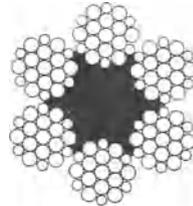


Abb. 34.
Warrington-Machart.

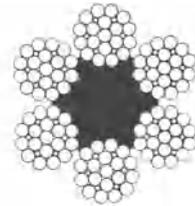


Abb. 35.
Fülldraht-Machart.

Machart ausgeführt, doch läßt sich hier über die Bewährung noch kein endgültiges Urteil fällen.

Die dreifach geschlagenen Seile, also die Kabelschlagseile, bestehen meistens aus sechs um eine Faserseele geschlagenen Schenkeln, die wiederum aus 4 bis 19 Litzen bestehen. Die Aufteilung des Querschnitts der einzelnen Litzen erfolgt nach den bei Litzenseilen besprochenen Gesichtspunkten. Die Drahtdicke nimmt man hier im Verhältnis zu Litzenseilen ziemlich gering, um eine möglichst große Biegsamkeit zu erreichen. Über 2,0 mm wird man auch bei schweren Seilen nicht gehen. Die Seile werden in der Regel aus lauter gleichdicken Drähten hergestellt.

Ähnliche Gesichtspunkte gelten für die Querschnittsaufteilung von Flachseilen. Wie bereits in Abschnitt 2 erwähnt wurde, wird man in den allermeisten Fällen sechs oder acht Schenkel wählen, seltener vier, sieben, neun oder zehn. Ein Schenkel besteht immer aus vier Litzen, die bis zu 19 Drähten enthalten. Der Drahtdurchmesser kann hier nach den gleichen Gesichtspunkten wie bei Litzenseilen bestimmt werden. Als Seildurchmesser ist dabei die Dicke des Flachseiles zu berücksichtigen, weil ja nur diese für die Biegsamkeit maßgebend ist, während die Breite keinen Einfluß hat.

II. Die Seile im Betrieb.

6. Einfluß der Betriebseinrichtungen auf die Haltbarkeit der Seile.

Ausschlaggebend für die Bewährung der Seile im Betrieb ist nicht nur deren Machart und Beschaffenheit, sondern auch vor allen Dingen die Beschaffenheit und der Zustand der Betriebseinrichtungen.

An erster Stelle sind hier die Trommeln, Scheiben und Rollen zu nennen als die Maschinenteile, mit denen das Seil dauernd in Berührung ist und durch die teilweise die Kräfte auf das Seil übertragen werden.

Je größer der Durchmesser ist, um den ein Seil gekrümmt wird, desto geringer werden die Drähte beansprucht, desto mehr Biegungen können demnach bis zur Zerstörung des Seiles ausgeführt werden. Man wird also bestrebt sein, die Durchmesser der Trommeln und Scheiben möglichst groß zu wählen. Bei größeren Anlagen, insbesondere bei Hauptschachtförderungen im Bergbau, ist dies weitgehend möglich. Hier betragen die Scheibendurchmesser bis zu 8 m. Das Verhältnis des Scheibendurchmessers D zum Seildurchmesser d wird dann beispielsweise bei einer Seildicke von 66 mm noch

$$D/d = 120,$$

was natürlich außerordentlich günstig ist.

Bei andern Anlagen ist man durch die beschränkten Raumverhältnisse vielfach gezwungen, den Scheibendurchmesser erheblich kleiner, das Verhältnis D/d also entsprechend ungünstiger zu wählen. Der Grenz-

wert, der dabei noch als wirtschaftlich anzusehen ist, bei dem also noch mit einer befriedigenden Haltbarkeit der Seile gerechnet werden kann, liegt etwa bei 40.

Um bei festliegendem Scheibendurchmesser das Verhältnis D/d günstiger zu gestalten, muß man den Seildurchmesser verringern. Dies ist ohne Änderung der Bruchbelastung des Seiles auf zwei Arten möglich: Erstens durch eine bessere Ausnutzung des Querschnitts, also beispielsweise durch Verwendung von Dreikantlitzenseilen oder von Seilen mit einer Drahtseele, und zweitens durch Erhöhung der Drahtfestigkeit.

Eine bessere Biegsamkeit und dadurch eine geringere Beanspruchung der Drähte erreicht man auch durch dünndrätige Macharten. Wie weit man hier gehen kann und welche Nachteile sich dabei ergeben können, wurde im I. Teil eingehend besprochen. Der beste Weg ist jedenfalls der, zu einer geeigneten Seilmachart eine genügend große Scheibe zu nehmen.

Maßgebend für die Beurteilung der Scheibengröße ist stets der Durchmesser der *kleinsten* Scheibe oder Rolle, über die das Seil läuft. Nicht nur die Trommeln, Treibscheiben und Seilscheiben sind dabei zu berücksichtigen, sondern auch etwa vorhandene Spannrollen und Ablenkscheiben. Vielfach findet man die Ansicht, daß deren Durchmesser für die Seilbeanspruchung unwesentlich ist, weil das Seil nur mit einem kleinen Umschlingungswinkel anliegt. Diese Annahme ist irrig. Ein Seilelement, das einmal die gekrümmte Form angenommen hat, wird erst wieder beim Ablaufen von der Scheibe, also beim Geradewerden, beansprucht. Solange es in der gekrümmten Lage auf der Scheibe ruht, tritt keine Biegungsbeanspruchung auf. Es ist demnach ziemlich gleichgültig, ob der Umschlingungswinkel des Seiles auf der Scheibe größer oder kleiner ist, ob es sich also um eine normale Seilscheibe oder um eine Ablenkscheibe handelt. Zu kleine Ablenkscheiben sind oft der Grund für eine schlechte Bewährung der Seile.

Von großer Bedeutung ist auch die Rillenform. Es gibt dabei folgende drei Möglichkeiten, die in Abb. 36 dargestellt sind:

1. der Rillengrundhalbmesser entspricht genau dem halben Seildurchmesser, die Rillenform ist also dem Seil angepaßt (Abb. 36 a);

2. der Rillengrundhalbmesser ist größer als der halbe Seildurchmesser, das Seil liegt nur mit einer Mantellinie im Grund der Rille auf (Abb. 36 b);

3. der Rillengrundhalbmesser ist kleiner als der halbe Seildurchmesser, das Seil liegt mit zwei Mantellinien an den Flanken der Rille an (Abb. 36 c).

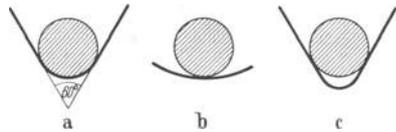


Abb. 36. Verschiedene Rillenformen.

Durch Dauerbiegeversuche¹ wurde festgestellt, daß ein Seil unter sonst gleichen Verhältnissen im ersten Fall die meisten Biegungen bis zur Zerstörung ausführen kann. Dies wird durch die Ausführungen in Abschnitt 2 über den Einfluß des seitlichen Druckes verständlich. Der spezifische seitliche Druck in der Rille ist natürlich am geringsten, wenn die Rille dem Seil angepaßt ist, weil sich dann die günstigsten Berührungsverhältnisse ergeben. Im zweiten Fall, bei einer erheblich größeren Rille, wird der seitliche Auflagedruck sehr hoch, was eine unbefriedigende Bewährung zur Folge hat. Ähnlich verhält es sich im dritten Fall einer zu engen Rille. Erschwerend tritt hier noch hinzu, daß das Seil unter Belastung in die Rille hineingequetscht wird.

Im praktischen Betrieb ist es nun natürlich nicht möglich, für jedes Seil die Scheiben entsprechend auszdrehen. Auch bei neuen Seilscheiben läßt sich der Rillengrund nicht genau dem Seildurchmesser anpassen, da der letztere ja bei ein und derselben Machart stets bis zu einem gewissen Grad schwankt. Ohne weiteres zulässig sind Abweichungen von $\pm 5\%$ vom Nennwert im belasteten Zustand. Man macht daher bei neuen Seilscheiben den Rillengrundhalbmesser je nach der Seildicke 1—2 mm größer als den halben Nenndurchmesser des Seiles. Die Flanken läßt man zweckmäßig unter einem Winkel von 60° verlaufen. Wenn der Rillengrund nicht allzusehr von dem Seildurchmesser abweicht, läuft sich im übrigen jedes Seil erfahrungsgemäß bald ein und stellt sich so die richtige Rillenform selbst her. Schädlich für ein Seil ist es auf alle Fälle, wenn die Rille so eng ist, daß ein Einlaufen nicht möglich ist. Das Seil wird dann von zwei Seiten gequetscht (Abb. 36 c) und hat einen außerordentlich starken seitlichen Druck aufzunehmen. Dieser Fall wird bei Treibscheiben vielfach absichtlich angewendet, um eine genügende Reibung zwischen Scheibe und Seil zu erzielen. Im Bergbau findet man dieses Verfahren noch öfters bei Blindschachtförderungen, wo die verhältnismäßig geringen toten Lasten nicht ausreichen, um bei einer mit Holz gefütterten Treibscheibe eine genügende Reibung herbeizuführen. Auch bei Aufzügen, wo die Totlasten meist nur gering sind, wird die Klemmrillenscheibe viel verwendet.

Wenn die Klemmrillenscheibe auch vielfach für einen sicheren Betrieb notwendig erscheint, so muß man sich doch stets über ihre schädliche Einwirkung auf das Seil im klaren sein. Bei dünneren Seilen bis zu etwa 30 mm \varnothing wird oft noch eine befriedigende Bewährung der Seile erreicht, so daß hier diese Scheibenform unter Umständen beibehalten werden kann. Bei dickeren Seilen, also insbesondere bei Blindschachtschnecken im Bergbaubetrieb, empfiehlt es sich, nach Möglichkeit die Frage

¹ WOERNLE, R.: Ein Beitrag zur Klärung der Drahtseilfrage. Z. VDI Bd. 72 (1929) Nr. 13. S. 417.

der genügenden Reibung zwischen Seil und Treibscheibe auf andere Weise zu lösen.

Die nächstliegende Lösung scheint eine mehrfache Umschlingung des Seiles um die Treibscheibe zu sein. Dies hat aber den Nachteil, daß das Seil seitlich wandert. Man muß daher entweder die Scheibe verbreitern und als Trommel ausbilden, was den hauptsächlichsten Vorteil der Treibscheibe, die leichte und schmale Bauart, ausschließt, oder man muß Treibscheiben in Sonderbauart anwenden, auf die hier jedoch nicht näher eingegangen werden soll. Eine Aufzählung und Beurteilung der nach verschiedenen Grundsätzen arbeitenden Bauarten findet sich in einer Arbeit der Versuchsgrube in Gelsenkirchen¹. Vielfach wird es aber schon genügen, Treibscheiben mit Rillenfuttern zu verwenden, die eine höhere Reibkraft haben als Holz. Diese Lösung hat sich bei Blindschachtförderungen weitgehend durchgesetzt und ist schon wegen der damit verbundenen außerordentlichen Schonung der Seile anderen Möglichkeiten vorzuziehen.

Wesentlich für die Haltbarkeit der Seile ist weiterhin, daß Scheiben und Trommeln gut ausgerichtet sind und rund laufen. Durch ein Schlagen werden SeilSchwingungen erzeugt, die zusätzliche Beanspruchungen bedingen.

Zur Vermeidung gefährlicher Schwingungen trägt auch weitgehend ein guter Zustand der Führungseinrichtungen bei, was besonders bei Schachtförderungen im Bergbau wichtig ist.

7. Die Befestigung der Seilenden, die Seileinbände.

Die Befestigung eines Seiles an einem anderen Seil, einer Seiltrommel, einem Fördergefäß, Bolzen oder Haken kann grundsätzlich erfolgen durch Spleißen, Verkeilen, Vergießen und Anklemmen.

Sollen zwei Seilenden miteinander verbunden werden, dann kommt in erster Linie das *Anspleißen* in Frage. Allerdings ist dies nur bei mehrfach geschlagenen Seilen möglich und eignet sich besonders für Litzenseile mit einer Litzenlage, sowie für Bandseile, die ja letzten Endes auch Litzenseile sind. Man verwendet hier normalerweise die sog. *lange Spleißung*. Das Verfahren soll kurz an einem Litzenseil aus einer Hanfseele und sechs Litzen erläutert werden. Zunächst werden beide Seile auf die Hälfte der beabsichtigten Spleißlänge aufgeflochten und nach Art der Abb. 37 so ineinandergefügt, daß jeweils zwischen zwei Litzen des einen Seiles eine Litze des anderen Seiles liegt. Nun wird aus dem einen Seil eine Litze weiter herausgewickelt und durch die danebenliegende des anderen Seiles ersetzt. Nach derselben Seite wird so mit

¹ HERBST, H.: Untersuchungen an Treibscheiben mit besonderer Reibkraft. Ber. Versuchsgrubengesellsch., Heft 6. Gelsenkirchen: Carl Bertenburg.

drei Litzen verfahren, wobei jeweils eine Litze übersprungen wird. Mit den übrigen Litzen wird dieselbe Arbeit nach der anderen Seite vorgenommen. Man läßt die Litzen jeweils so enden, daß die Schlußstücke gleichmäßig über die ganze Spleißlänge verteilt sind. Das Aussehen in diesem Zustand ist in Abb. 38 wiedergegeben, wobei allerdings die Spleißstelle verkürzt dargestellt ist. Nun werden die Enden ins Herz des Seiles, aus dem vorher die Faserseele entfernt wird, versteckt. Bei einem sorgfältig gespleißten Seil ist äußerlich nur bei genauer Beobachtung eine

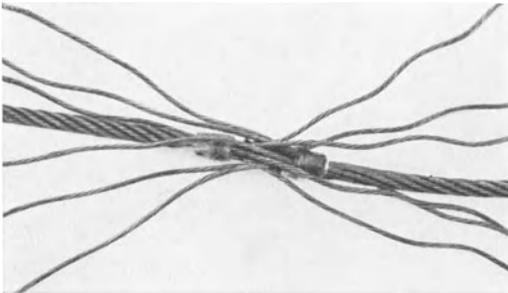


Abb. 37. Beginn der Langspleißung.

Unregelmäßigkeit in der Flechtung zu erkennen, und zwar an den Stellen, wo die Enden versteckt sind. Die gesamte Länge des Spleißes macht man etwa gleich dem 1000fachen Seildurchmesser. Zugversuche an solchen Spleißstellen ergeben gegenüber dem ursprünglichen Seil keine wesentliche Schwächung.

Das Anspleißen in der beschriebenen Art läßt sich auch bei endlos laufenden Seilen, beispielsweise bei Zugseilen von endlosen Last- und Personenseilbahnen und bei Transmissionsseilen, anwenden, weil die Spleißstelle nicht dicker ist als das übrige Seil.

Bei Förderseilen ist das Zusammenspleißen aus mehreren Seilen, das sog. Anstücken, nicht zulässig. Dagegen wird es bei Flachunterseilen

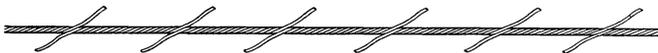


Abb. 38. Langspleißung vor dem Verstecken der Litzenenden.

häufig angewandt, einmal, wenn ein vorhandenes zu kurzes Seil ausgenutzt werden soll, und weiter, wenn ein Seil auf der Endstrecke schadhaf geworden, im übrigen Teil aber noch gut ist.

Bei Tragsseilen von längeren Lastseilbahnen ergibt sich meist die Notwendigkeit des Anstückens, weil die Seile bei großen Längen in einem Stück für Transport und Montage zu schwer würden. Andererseits muß man schadhafte Strecken auswechseln können, damit bei einer örtlichen Beschädigung nicht gleich das ganze Seil unbrauchbar wird. Ein Anspleißen kommt hier schon deshalb nicht in Frage, weil es sich um einfach geschlagene, meist verschlossene Seile oder um Spirallitzen-

seile handelt, die sich beide für das Spleißen nicht eignen. In diesem Falle werden die Seilenden in einer Kupplung verkeilt oder vergossen.

Das *Verkeilen* hat gegenüber dem Vergießen den Vorteil, daß dabei weniger Werkzeuge und Einrichtungen notwendig sind. Es ist an sich mühsamer als das Vergießen, die Befestigung hält aber bei sorgfältiger Ausführung ebenso wie beim Vergießen die volle Seilbruchlast aus. Abb. 39 zeigt die eine Hälfte einer derartigen Kupplung, deren Oberfläche einen so guten Übergang vom einen zum andern Seil bietet, daß ein leichtes Darüberlaufen der Wagen gewährleistet ist. Für das Verkeilen

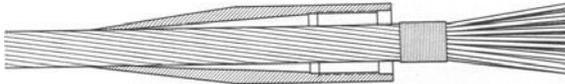


Abb. 39. Ende eines verschlossenen Tragseiles nach Vorbereitung zum Verkeilen oder Vergießen in einer konischen Kupplung.

werden die Drähte, nachdem das Seil gut abgebunden ist, nach Art der Abb. 39 am Ende zu einem Besen auseinandergebogen. Zwischen die einzelnen Drahtlagen werden mehrteilige Ringkeile eingelegt, die Zwischenräume zwischen den einzelnen Drähten einer Lage werden ebenfalls mit Keilen ausgefüllt, wie Abb. 40 erkennen läßt.

Das *Vergießen* wird zur Verbindung von zwei Seilenden in eben solchen Kupplungen vorgenommen. Meist findet es jedoch Anwendung für das Befestigen der Tragseile von Seilschwebbahnen und Brücken in konischen Endmuffen. Es erfordert außerordentliche Sorgfalt und Sachkenntnis, weil die Drähte keinesfalls zu warm werden dürfen. Das Seil wird im Abstand der Vergußlänge vom Ende gut abgebunden. Die Drähte werden, nachdem das Ende vorher durch die konische Vergußmuffe hindurchgesteckt ist, wiederum nach Art der Abb. 39 zu einem Besen auseinandergebogen.

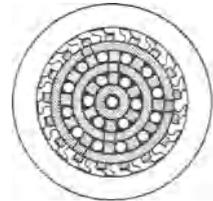


Abb. 40. In Kupplung verkeiltes Tragseilende.

Zunächst werden sie verzinkt, indem der ganze Besen in einen Tiegel mit flüssigem Zinn getaucht wird. Die Verwendung von Lötlwasser empfiehlt sich wegen der damit verbundenen Korrosionsgefahr nicht. Am besten streut man statt dessen auf das Zinnbad Salmiakpulver, das durch die Hitze des Bades verdampft. Vor dem Eintauchen des Seiles in das Bad hält man den Besen eine Zeitlang in die Dämpfe, bis die Drähte ganz mit Salmiak beschlagen sind. Dann taucht man das Seilende einige Sekunden in das Bad und überzeugt sich nach dem Herausziehen, daß die Drähte gut verzinkt sind. Ein gutes Verzinnen ist unter allen Umständen notwendig, denn nur so ist unbedingte Gewähr für eine einwandfreie Bindung mit dem Vergußmetall

gegeben. Als Vergußmasse kommt Hartblei mit etwa 10% Antimon, Lagermetall oder auch Zink in Frage. Um ein zu starkes Erwärmen der Drähte zu verhindern, muß sowohl beim Verzinnen als auch beim Vergießen die Badetemperatur möglichst niedrig gehalten werden und darf nur so hoch sein, daß eben noch ein gutes Fließen des Metalls gewährleistet ist. Ein in das Bad gehaltener Holzspan muß braun anlaufen, darf aber noch nicht entzündet werden.

Ein Umbiegen der Drähte am hinteren Ende, das vielfach angewendet wird und ein Durchrutschen durch den Verguß verhindern soll, ist zwecklos. Wenn die Drähte einwandfrei verzinkt sind, halten sie auch ohne Umbiegen unbedingt sicher. Wenn sie dagegen mit der Vergußmasse keine richtige Verbindung haben, wird sich unter Belastung das umgebogene Ende geradeziehen oder abbrechen. Es handelt sich also bei dem Umbiegen um eine falsche Sicherheitsmaßnahme, die höchstens die Arbeit erschwert.

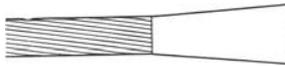


Abb. 41. Tragseilende mit konischem Vergußkopf.

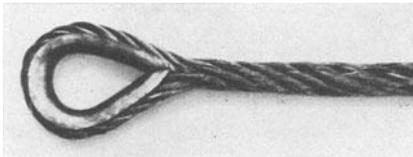


Abb. 42. Seilende mit eingespießter Kausche.

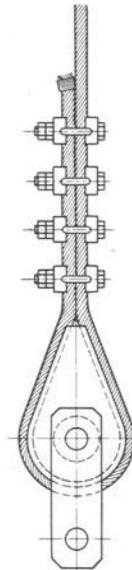


Abb. 43. Seileinband mit Kausche und Klemmbügeln.

Abb. 41 zeigt einen fertig vergossenen Kopf. Die Länge des Vergußkopfes richtet sich nach der Drahtoberfläche, die ja die Kräfte überträgt. Sie hängt also vom Drahtdurchmesser ab und müßte, gleiche Zugfestigkeit vorausgesetzt, bei dicken Drähten größer sein als bei dünnen. Man wird aber stets richtig gehen, wenn man die Vergußlänge mindestens gleich dem vierfachen Seildurchmesser nimmt.

Eine Schwächung des Seiles im Verguß findet bei richtigem Arbeiten nicht statt, wie durch zahlreiche Zugversuche mit Seilen, die an den Enden vergossen waren, bestätigt wurde. Die Tragseile aller Personenschwebbahnen in den Alpen, sowie die der meisten größeren Seilhänge-

brücken sind an den Enden vergossen. In England werden vielfach auch Förderseile vergossen.

Das Befestigen eines Seiles an einem andern Gegenstand, beispielsweise an einem Fördergefäß, geschieht meist mittels einer *Kausche*, durch die dann ein Bolzen gesteckt wird. Das Seil wird um die

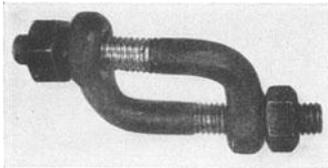


Abb. 44. Winkelklemme.

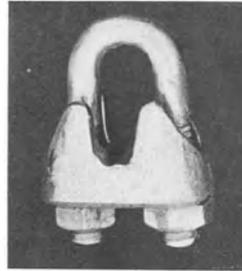


Abb. 45. Backenzahnklemme.

Kausche herumgelegt, das Schwanzende wird dann bei dünneren oder weniger hochwertigen Seilen durch die sog. *kurze Spleißung* mit dem tragenden Strang verbunden. Dabei werden die Litzenenden in der Art in dem tragenden Seilstrang versteckt, daß jeweils zwei Litzen unter- und eine überfahren werden. Die Kausche wird meist aus einfachem Blech hergestellt, Abb. 42 zeigt eine solche Verbindung. Man kann auch, wie in Abb. 43, das Schwanzende an das tragende Seil mit *Klemmbügeln* ankle-

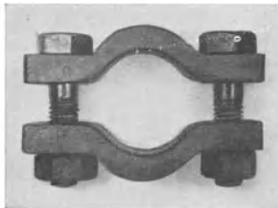


Abb. 46. Klemmbügel aus Flacheisen.

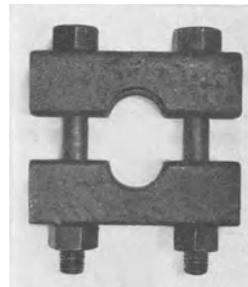


Abb. 47. Klemmbügel aus Vierkanteisen.

men. Dieses Verfahren wird bei stärkeren und hochwertigen Seilen, insbesondere bei Förderseilen, angewendet.

Die Ausführung der Klemmbügel ist verschieden. Die einfachste Form ist die Winkelklemme, die in Abb. 44 wiedergegeben ist. Sie hat den Nachteil, daß das Seil stark gequetscht wird. Bei der sog. Backenzahnklemme (Abb. 45) wird zwar der eine Seilstrang gut umfaßt, der andere wird jedoch durch den Rundeisenbügel ebenfalls stark gequetscht. Etwas besser und bei Förderseilen weit verbreitet sind die Klemmbügel

aus zwei Laschen aus Flach- oder Vierkanteisen, die mit Ausbuchtungen für das Einlegen des Seiles versehen sind (Abb. 46 und 47). Eine größere Vervollkommnung wurde erst erreicht durch Sonderausführungen verschiedener Firmen, bei denen beide Seil-

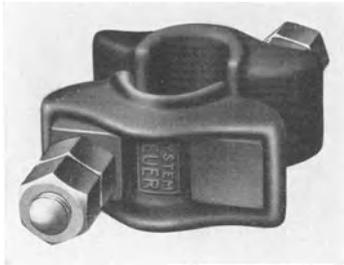


Abb. 48. Klemmbügel der Firma Heuer-Hammer. „Foto Heuer-Hammer.“

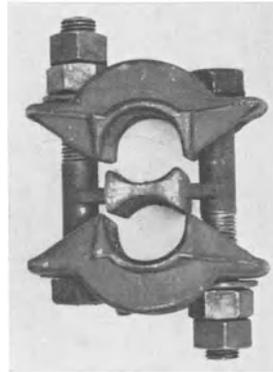


Abb. 49. Wedag-Klemmbügel.

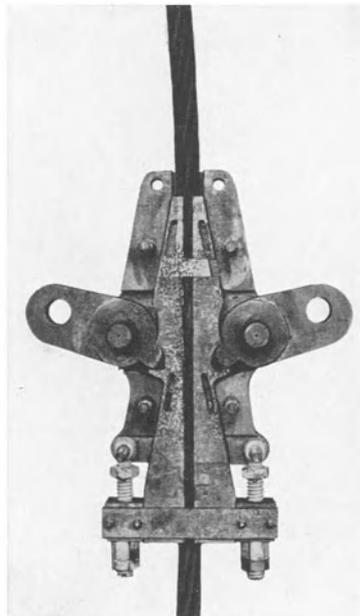
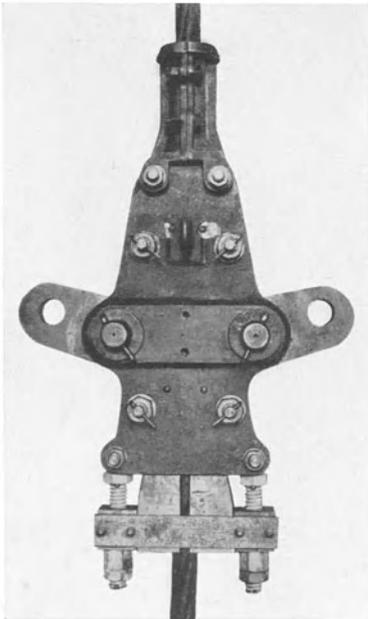


Abb. 50. Demag-Keilklemme. „Foto Demag“.

stränge möglichst weitgehend und gleichmäßig umfaßt werden und die durch geeignete Formgebung im Gewicht möglichst gering gehalten sind.

Als Beispiele mögen die Klemmbügel der Firmen „Heuer-Hammer“ in Grüne i. W. (Abb. 48) und „Westfalia-Dinnendahl-Gröppel AG.“ in Bochum (Abb. 49) dienen. Bei Flachseilen bestehen die Klemmbügel aus einfachen Flacheisenlaschen.

Wichtig ist in jedem Falle, daß die Kanten der Klemmbügel gut abgerundet sind, um eine Beschädigung des Seiles beim Anziehen der Schrauben zu verhindern. Die Schrauben sollen nicht zu fest angezogen werden. Mit zwei bis drei gut angezogenen Klemmbügeln hält der Einband bereits die Seilbruchlast aus. Meist wird man aber mehr Klemmen aufsetzen, bei Förderseilen beispielsweise sechs bis acht. Es ist also auch genügende Reserve vorhanden, wenn der einzelne Bügel schwächer angezogen wird. Beim Einbinden von Förderseilen empfiehlt es sich, den obersten und unter-

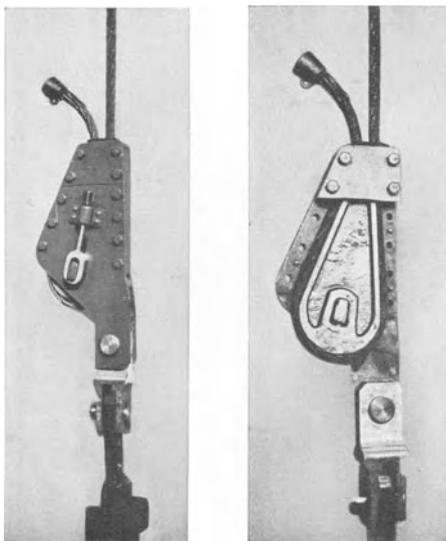


Abb. 51. Klemmkause, Bauart Droste. „Foto Heuer-Hammer“

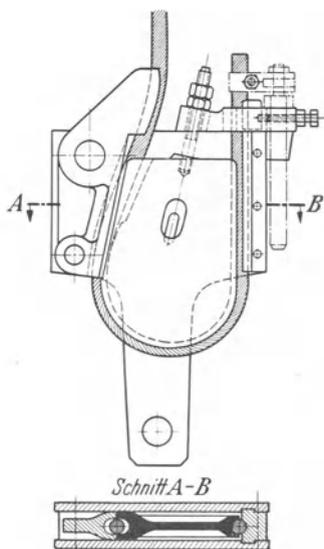


Abb. 52. Klemmkause. Bauart Schönfeld. „Foto Schönfeld“.

sten Bügel etwas schwächer als die übrigen anzuziehen, da gerade an diesen beiden Stellen sich die dynamischen Beanspruchungen besonders

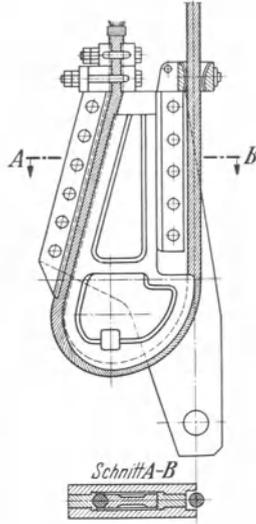


Abb. 53. Klemmkausche, Bauart GHH. „Foto GHH.“

stark auswirken. Gute Erfolge werden auch mit weichen Beilagen zwischen Seil und Klemmbügel erzielt, die eine weitgehende Schonung des Seiles bewirken. Als Stoff hierfür kommt in erster Linie kräftiges Leder in Frage. Um ein Aufnehmen von Feuchtigkeit und damit ein Korrodieren der Seildrähte zu verhindern, müssen diese Beilagen jedoch vorher einige Stunden in Fett, Tran oder Leinöl gelegt werden. Beilagen von Blei sind weniger geeignet, da sich das Metall durch

seine Plastizität leicht wegquetscht.

Die Entfernung der einzelnen Klemmbügel voneinander wird vielfach zu groß gewählt. Richtig ist ein Zwischenraum von der 1- bis $1\frac{1}{2}$ fachen Breite eines Klemmbügels. Zu große Entfernungen der Bügel haben ein Schrägstellen durch die großen Dehnungsunterschiede der beiden Seilstränge und ein ungenügendes Mittragen des Endstranges zur Folge.

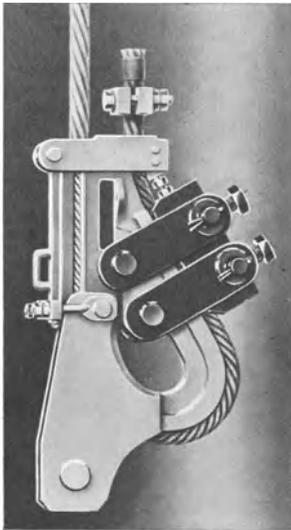


Abb. 54. Klemmkausche, Bauart Demag. „Foto Demag.“

Für Förderseile werden in zunehmendem Maße Sondereinbände verwendet, die ein rasches Kürzen und Erneuern des Seileinbandes erlauben. Von den heute gebräuchlichen Bauarten ist die *Demag-Keilklemme* (Abb. 50) schon lange eingeführt. In den letzten Jahren haben sich die *Klemmkauschen* Bauart „Droste“ (Abb. 51), „Schönfeld“ (Abb. 52) und „Gutehoffnungshütte“ (Abb. 53) gut eingeführt. Die Wir-

kungsweise geht jeweils aus der Darstellung rechts hervor, bei der das eine Seitenschild entfernt ist. Auch die neue Klemmkausehe der „Demag“ (Abb. 54) ist hier zu nennen. Näher soll auf diese Sondereinbände nicht eingegangen werden, da eine genaue Beschreibung und eine Kritik den Rahmen dieses Werkes übersteigt.

8. Verschleiß, Lockerung, Entdrallen, Entformungen.

Die natürlichste Art des Schadhafтверdens eines Seiles ist der Verschleiß. Normaler Verschleiß entsteht durch die Reibung des Seiles in den Scheibenrillen. Verstärkter Verschleiß entsteht, wenn die Rillen der Scheiben ungünstig, beispielsweise als Klemmrillen, ausgebildet sind oder das Seil während des Betriebes am Mauerwerk oder einem Träger vorbeigezogen wird oder wenn es über steinigem Boden geschleift wird.

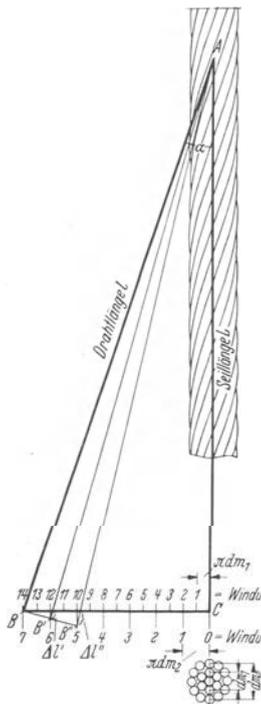
Der Verschleiß als solcher ist noch nicht schädlich und wird in den wenigsten Fällen ein Ablegen der Seile notwendig machen. Ein Seil wird vielmehr erst dann unbrauchbar, wenn als Folge des Verschleißes Drahtbrüche oder eine Lockerung des Gefüges entstehen.

Den Drahtbrüchen, die keinesfalls immer eine Folge des Verschleißes sind, ist ein besonderer Abschnitt gewidmet; hier soll deshalb nur auf die Lockerung eingegangen werden. Der Verschleiß wird zunächst nur an der Berührungsstelle des Seiles mit dem verschleißenden Mittel auftreten, also am Seilumfang. Die Außendrähte werden dadurch von außen her immer mehr abgeschliffen. Wenn nun die Außenlage nicht vollkommen fest auf der nächsten Lage aufliegt, so reiben sich die Außendrähte beim Arbeiten des Seiles auf den darunterliegenden Drähten, es wird also auch hier Verschleiß eintreten. Dieser Verschleiß, von dem die Außendrähte auf der Innenseite und die Innendrähte auf der Außenseite betroffen werden, führt nun zwangsweise zu einer Verstärkung der zunächst geringen Lockerung der Außenlage. Die Folge einer solchen Lockerung ist, daß die Außendrähte entlastet werden und daß die ganze Belastung von den inneren Drahtlagen aufgenommen wird. Dies ist besonders bei Seilen in Längsschlagflechtung der Fall, die infolge ihrer von Anfang an weniger innigen Verflechtung an sich leichter zur Lockerung neigen als Kreuzschlagseile. Wenn die Lockerung so stark geworden ist, daß man die Außendrähte mit einem Schraubenzieher gegeneinander verschieben kann, oder daß man, bei dickeren Seilen, beim Abklopfen mit einem leichten Hammer keinen festen Klang mehr hört, dann ist es meist an der Zeit, das Seil abzulegen, auch wenn es noch keine oder nur wenige Drahtbrüche aufweist. Bei einer solchen Stärke der Lockerung kann ein weiterer Verschleiß im Innern bis zur vollständigen Zerstörung und zum Bruch des Seiles vollends außerordentlich rasch vor sich gehen. Dies gilt insbesondere in solchen Fällen, wo die Seile in einer nassen Atmosphäre arbeiten und wo infolgedessen Rostangriff dazukommen kann. Das

Wasser kann hier durch die lockere Außenlage ungehindert eintreten und im Innern mit zu der Zerstörung beitragen. Auf die letztgenannte Erscheinung ist in Abschnitt 10 noch näher eingegangen.

Eine Lockerung der Flechtung kann nicht nur durch Verschleiß eintreten, sondern auch durch Entdrallen. Auch dies gilt hauptsächlich wieder für Längsschlagseile. Wie diese Lockerung der Flechtung durch Entdrallen zustande kommt, soll an dem folgenden Beispiel näher erläutert werden.

Bereits in Abschnitt 5 wurde an Hand der Abb. 32 auseinander-



gesetzt, daß bei normalen Seilen die Außendrähte länger geschlagen sind als die Innendrähte, daß ihre Windungszahl auf der ganzen Seillänge also kleiner ist. Es sei hier wieder ein einfach geschlagenes Seil angenommen, das aus einem Kerndraht und zwei Lagen von 6 und 12 Drähten besteht. Beide Lagen sollen in demselben Sinne verflochten sein. In Abb. 55 stellt, in Anlehnung an Abb. 32 in Abschnitt 5, die Strecke AB die Abwicklung eines Drahtes der ersten und zweiten Lage dar. AC ist gleich der Seillänge, während BC dem Produkt aus der Windungszahl n und dem mittleren Umfang der betreffenden Drahtlage $\pi \cdot d_m$ entspricht. Bei einem Seil aus $(1 + 6 + 12)$ Drähten ist

$$d_{m2} = 2 d_{m1}. \tag{1}$$

d_{m1} bedeutet den mittleren Durchmesser der Innenlage, d_{m2} den der Außenlage. Bei gleichem Flechtwinkel α für beide Lagen ist $n \cdot \pi \cdot d_m = BC$ für beide Lagen gleich, also ist

$$n_1 \cdot \pi \cdot d_{m1} = n_2 \cdot \pi \cdot d_{m2} \tag{2}$$

oder

$$n_1 = 2 n_2 \tag{3}$$

[aus Gl. (1) u. (2)].

Abb. 55. Schematische Darstellung der Lockerung beim Entdrallen.

Wenn die Außenlage auf der Länge des angenommenen Seilstückes $n_2 = 7$ Windungen hat, hat also die Innenlage $n_1 = 14$. Die Strecke BC in Abb. 55 ist in die Windungszahlen für beide Lagen eingeteilt.

Dreht man nun beispielsweise zwei Windungen aus dem Seil heraus, dann kommt unter der Annahme, daß sich die Lagen gegeneinander verschieben können, der Innendraht in die Lage AB' , der Außendraht in die Lage AB'' . Die Außenlage längt sich also im Seil stärker als die

Innenlage. Wenn, wie dies im praktischen Betrieb der Fall ist, die einzelnen Lagen sich nicht übereinander wegschieben können, entsteht gegenüber dem Kerndraht in beiden Lagen ein Längenüberschuß, also eine Lockerung. Der Längenüberschuß ist bei der Außenlage größer als bei der Innenlage ($\Delta l''$ gegenüber $\Delta l'$). Die Verteilung der Belastung auf die einzelnen Drähte ist nun so, daß der Kerndraht am stärksten belastet ist, dann kommt die Innenlage, während die Außenlage je nach dem Grad des Aufdrehens stark entlastet oder aber gar nicht mehr an der Aufnahme der Belastung beteiligt ist.

Genau wie bei dem geschilderten Beispiel der Litze wirkt sich das Aufdrehen bei Längsschlagseilen aus. Wenn ein solches Seil im Sinne des Litzenschlages aufgedreht wird, dann drehen sich auch die Litzen in sich auf, die Außendrähte lockern sich also. Besonders empfindlich gegen Aufdrehen sind Seile mit entgegengesetztem Flechtsinn der einzelnen Drahtlagen. Wenn sich hier die Außenlage aufdreht und länger wird, dreht sich die Innenlage zu, sie wird also kürzer.

Die Überbeanspruchung der Innendrähte, verbunden mit einer Entlastung der Außendrähte, fällt besonders schwer ins Gewicht, weil die letzteren durch ihre größere Anzahl den Hauptanteil am Querschnitt haben. Ein weiterer Nachteil einer gelockerten Flechtung wurde bereits bei der Lockerung durch Verschleiß besprochen. Beim Laufen des Seiles über die Scheiben reiben sich die Außendrähte auf den darunterliegenden Drähten und führen so einen starken inneren Verschleiß herbei. Der Vorgang der weiteren Zerstörung ist der gleiche wie bei der durch Verschleiß herbeigeführten Lockerung.

Auch noch auf andere Art kann sich die Lockerung auswirken, und zwar durch Auftreten von Schlingenbildungen

einzelner Drähte, wie sie Abb. 56 bei einem Längsschlagseil zeigt. Solche Entformungen entstehen dadurch, daß sich die Lockerung, die zuerst gleichmäßig über das ganze Seil verteilt ist, durch den Druck der Scheibenrillen nach einer Stelle hinschiebt und hier außerordentlich stark wird, während die Flechtung im übrigen Seil nicht merklich gelockert ist. Sie treten gewöhnlich an den Stellen auf, die in den Endstellungen des Seiles vor den Scheiben auf der Seite liegen, auf der das Seil nicht mehr gebogen wird. Auch bei Tragseilen von Seilbahnen und Kabelbaggern werden derartige Entformungen beobachtet. Ihr Aussehen an einem verschlossenen Tragseil ist in Abb. 57 dargestellt. Hier kann die verstärkte Lockerung zu einem Herausspringen einzelner Drähte und damit zu einer Zerstörung des ganzen Seilgefüges führen. In

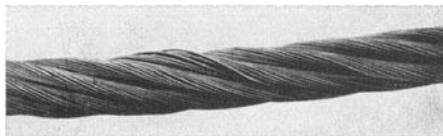


Abb. 56. Schlingenbildung bei entdralltem Längsschlagseil.

vielen Fällen, besonders bei Förderseilen in Längsschlag, kann man die Entformung, sofern sie noch nicht zu weit fortgeschritten ist, durch Zudrehen des Seiles wieder beseitigen.

Bei Litzenseilen kann eine Lockerung der Außenlage durch Aufdrehen nur dann eintreten, wenn diese in Längsschlag verflochten sind. Wenn sich hier das Seil im Sinne der Litzen aufdreht, dreht sich auch die

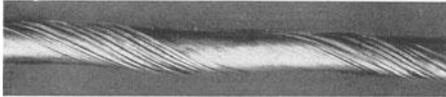


Abb. 57. Entformung bei verschlossenem Trageil.

einzelne Litze auf. Bei Kreuzschlag liegt der Fall umgekehrt. Wenn sich das Seil aufdreht, drehen sich die Litzen zu. Ihre Flechtung wird einerseits fester, andererseits werden aber die Außendrähte

stärker gespannt und setzen dem weiteren Zudrehen einen Widerstand entgegen. Es wird sich hier also letzten Endes ein Gleichgewicht einstellen, ein weiteres Zudrehen wird verhindert. Ein Kreuzschlagseil kann deshalb, wie verschiedentlich gesagt wurde, für freischwebende Lasten auch bei verhältnismäßig großer Länge, beispielsweise zum Schachtabteufen, verwendet werden. Wenn ein Längsschlagseil zum Abteufen genommen wird, dann ist in den meisten Fällen nach kurzer Zeit eine vollkommene

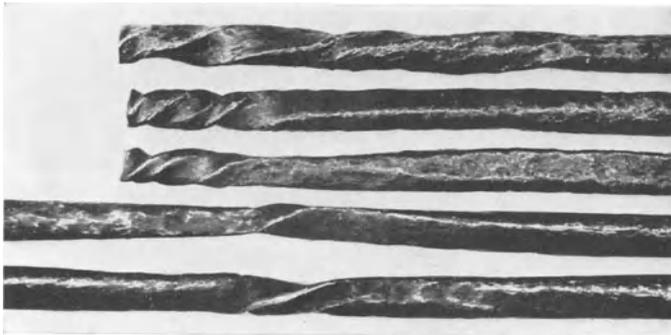


Abb. 58. Drähte aus einem gerissenen Abteufförderseil.

Zerstörung und der Bruch des Seiles die Folge. Abb. 58 zeigt ein Beispiel eines solchen Seiles, das nach einer Betriebszeit von etwa zwei Monaten riß¹. Die Ausbildung der Drähte an der Bruchstelle und in deren Nähe ist in der Abbildung zu erkennen. Die Drähte sind vollkommen kantig geschlissen, was auf ein gegenseitiges Arbeiten infolge der lockeren Flechtung zurückzuführen ist. Besonders bemerkenswert ist aber die Erscheinung, daß die Drähte jeweils am Bruchende und an anderen durch

¹ Verwaltungsbericht d. Westf. Berggewerkschaftskasse. Bochum 1929/30.

Verschleiß geschwächten Stellen regelrechte Verwindungen zeigen. Die Brüche sind durchweg reine Verwindebrüche, die ebenso aussehen, als ob der Draht in der Verwindemaschine geprüft worden wäre. Die Erscheinung erklärt sich dadurch, daß die Verwindespannungen, welche die Drähte durch das Aufdrehen des Seiles erlitten haben und die über das ganze Seil verteilt waren, sich auf den geschwächten Stellen zusammensoben, was durch die starke Lockerung möglich war, und auf diese Weise den Draht abdrehten.

Ein Aufdrehen wirkt sich naturgemäß besonders ungünstig bei Seilen mit sehr vielen Drähten aus, also bei den Macharten mit 61 und 91 Drähten in einer Litze. Hier ist selbstverständlich die durch das Aufdrehen bewirkte Unregelmäßigkeit der Flechtung bedeutend größer als bei einem Seil mit nur zwei Lagen.

Es braucht nun nicht immer absichtlich Drall aus einem Seil ausgelassen zu werden, vielmehr kann dies auch unabsichtlich durch fehlerhaftes Auflegen geschehen. Eine solche Möglichkeit ist gegeben, wenn die Windungen von einem Ring oder einem Haspel axial abgezogen werden, wie Abb. 59 zeigt. Hier kommt beim Abnehmen jeder Windung eine Umdrehung hinein oder heraus. Im ersten Fall wird der Drall verstärkt, das Seil wird also Neigung zum Verklanken zeigen, im zweiten Fall wird das Seil entdrallt. Richtig ist es, das Seil nach Abb. 60 tangential abzuführen, wie es auch bei der Herstellung aus der Schlagmaschine auf die Trommel auflief.

Beim Auflegen von Förderseilen wird öfters das neue Seil an das alte angespleißt, um es so über die Scheiben zu ziehen oder in den Schacht einzuhängen. Dabei kann Drall von dem drallreichen neuen Seil in das durch den langen Betrieb drallärmer gewordene alte Seil einlaufen. Wenn an einem Schacht dauernd so verfahren wird, so wird jedes folgende Seil stärker entdrallt. Hier muß, um diese Erscheinung zu verhindern, in der Nähe der Spleißstelle ein Schlitten befestigt werden, durch den das Seil geführt und der Drall festgehalten wird.

Auf alle derartigen Möglichkeiten ist also zu achten. Die beiden angeführten Beispiele sollen nur einen Hinweis geben, nach welchen Gesichtspunkten die Überlegungen beim Arbeiten mit Seilen gemacht werden müssen.

Wenn bei einem drallreichen Seil, besonders also bei einem Längschlagseil, Hängseil entsteht oder wenn es im entlasteten Zustand sich



Abb. 59. Axiales Abziehen vom Haspel (falsch).

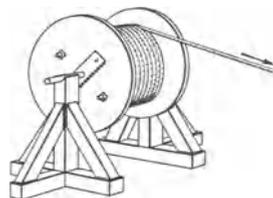


Abb. 60. Tangentiales Abziehen vom Haspel (richtig).

selbst überlassen wird, wirft es infolge des Dralles eine Schlinge. Wird diese rechtzeitig bemerkt, so läßt sie sich vorsichtig wieder aus dem Seil herausdrehen, eine bleibende Beschädigung oder Schwächung tritt nicht ein. Anders liegt der Fall, wenn die Schlinge nicht bemerkt oder nicht beachtet wird. Beim Belasten zieht sie sich dann fest und bildet eine *Klanke*. Eine solche festgezogene Klanke ist in Abb. 61 wiedergegeben. Die Litzen und Drähte sind verlagert, die Faserseele tritt teilweise zwischen zwei Litzen heraus. Wird an einer solchen Stelle mit dem Seil ein Zugversuch im ganzen Strang ausgeführt, so ergibt sich gegenüber dem gesunden Seil eine Schwächung bis zu 15%. Wenn das Seil eine

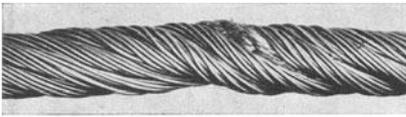


Abb. 61. Klankenbildung.

genügend hohe Anfangssicherheit hatte, ist diese Schwächung zunächst nicht weiter bedenklich. Wenn die Stelle allerdings über die Scheiben läuft, so wird durch den seitlichen Druck auf die verlagerten Drähte bald eine Zerstörung eintreten, die ein Ablegen notwendig macht. Bei Förderseilen wird eine Klanke meist durch Hängeseil kurz über dem Einband entstehen, also in dem Stück, das nicht über die Scheiben läuft. Wegen der oft starken Schwingungen, die sich auf dieser Strecke auswirken, ist es nicht empfehlenswert, die Beschädigungen hier allzulange zu belassen. Oft bietet sich aber die Möglichkeit, die Klanke an eine Stelle des Einbandes zu bringen, wo das Seil teilweise entlastet ist.



Abb. 62. Korkzieherbildung.

Andere Entformungen sind die sog. *Korkzieherbildung* (schraubenartige Entformung) und die *Knotenbildung*. Beide sind in den meisten Fällen auf ein Verschleiben der Faserseele zurückzuführen.

Bei der Korkzieherbildung (Abb. 62) ziehen sich eine oder mehrere Litzen in das Seil hinein, wodurch die schraubenartige Entformung zustande kommt. Beim statischen Zerreißversuch zeigen solche Seilstücke gegenüber nicht entformten erfahrungsgemäß keine Schwächung, im Gegenteil sogar meist eine geringe Zunahme der Festigkeit. Diese zunächst unwahrscheinlich klingende Tatsache kann dadurch erklärt werden, daß sich durch das Nachgeben der Faserseele eine etwa vorhandene ungleiche Spannung der verschiedenen Litzen ausgleichen kann. Natur-

lich werden bei derartigen Entformungen die außenliegenden Litzen im Verhältnis zu den übrigen rascher verschleiben, so daß dadurch die Lebensdauer vielleicht etwas beeinträchtigt werden kann. Im übrigen geben die Entformungen aber zu keiner Besorgnis Veranlassung. Besonders bei Längsschlagseilen sind sie unbedenklich. Bei Kreuzschlag sind sie wegen der dadurch hervorgerufenen stärkeren Druckstellen, namentlich bei Anwesenheit von Rost, mit etwas mehr Vorsicht zu beurteilen. Unter Umständen kann ein Korkenzieher auch durch Entdrallen oder Zudrehen eines Seiles entstehen.

Die zweite erwähnte Art der Entformungen, die Knotenbildung, tritt durch Reißen der Faserseele ein. Die Erscheinung wird heute seltener beobachtet und war hauptsächlich eine Folge des schlechten Faserstoffes, der in den Kriegsjahren und kurz nachher verwendet wurde.

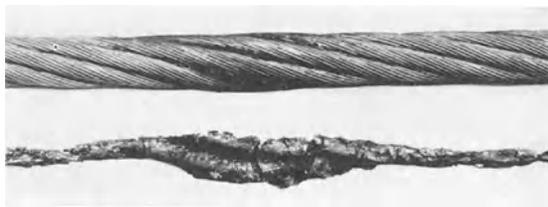


Abb. 63. Knotenbildung an einem Förderseil.

Abb. 63 zeigt ein Seil mit Knotenbildung, darunter ist die nach dem Entfernen der Litzen freigelegte eingeschnürte bzw. gerissene und verdickte Faserseele wiedergegeben. Diese Art der Entformung ist ebenfalls nicht gefährlich und führt auch lediglich zu einem stärkeren Verschleiß der an den dicken Stellen liegenden Drähte.

Flachseile, und zwar sowohl Unterseile als auch Bobinenförderseile, zeigen öfters Verwerfungen und Ausbuchtungen. Bei Unterseilen entstehen diese vielfach durch mechanische äußere Einwirkungen, beispielsweise Auftreffen eines in den Schacht stürzenden Gegenstandes oder Anschlagen des Seiles am Schachtausbau. Sofern dabei keine tragenden Litzen beschädigt werden, sind die Entformungen unbedenklich. Das Seil kann an diesen Stellen wieder gerichtet werden, falls dies überhaupt nötig ist. Wenn Nähdrähte gebrochen sind, werden die Stellen zweckmäßig neu genäht. Die Entformungen können aber auch durch ungleichmäßige Spannung der einzelnen Litzen hervorgerufen werden und von der Herstellung herrühren. In diesem Fall ist eine Ausbesserung meist zwecklos, da die Entformung sich erfahrungsgemäß immer wieder bemerkbar macht.

9. Drahtbrüche.

Bei den Schäden, die im Betrieb an den Seilen auftreten, nehmen die Drahtbrüche eine wichtige Stelle ein. Man muß je nach der Entstehung und der Ausbildung der Bruchenden verschiedene Arten von Drahtbrüchen unterscheiden. Wenn man einen Draht in der Zerreißmaschine

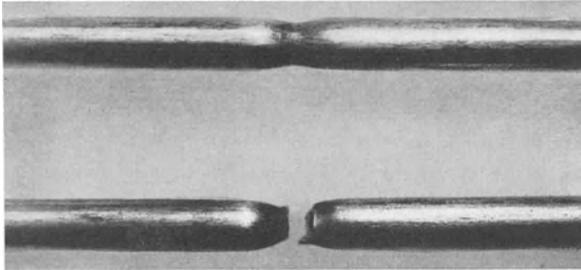


Abb. 64. Einschnürung eines Drahtes beim Zugversuch vor und nach dem Bruch.

reißt, bildet sich zuerst an der späteren Bruchstelle eine Einschnürung, deren Aussehen Abb. 64 vor und nach dem Bruch erkennen läßt. Das gleiche Bruchaussehen zeigen die Drahtenden nach einem Zugversuch mit dem Seil im ganzen Strang. Auch hier weist jeder Draht eine Einschnürung auf. In jedem Falle ist die Einschnürung ein Zeichen dafür,

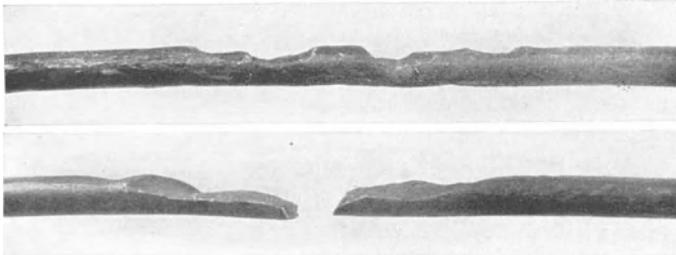


Abb. 65. Durchgeschlissener Draht.

daß der Bruch durch eine Überbeanspruchung auf Zug, also durch Überschreiten der Bruchlast, herbeigeführt wurde. Im Betriebe sind derartige Überlastungen ganzer Seile beispielsweise möglich, wenn sich ein Fördergefäß festsetzt und die Maschine weiterläuft. Das Seil kann dann durch die Maschinenkraft abgerissen werden. Eine andere Möglichkeit ist die, daß ein Fördergefäß in Hängeseil fällt und durch den Stoß das Seil abreißt. Einzelne Drahtbrüche mit Einschnürung in einem Seil kommen normalerweise nicht vor.

Nicht zu verwechseln mit einer Einschnürung ist die Bruchausbildung in Abb. 65. Die Enden verlaufen hier ganz spitz, der Draht ist vollkommen durchgeschliffen.

Die meisten Brüche, die im Betriebe entstehen, sind Dauer- oder Ermüdungsbrüche. Das Bruchaussehen geht aus Abb. 66 hervor, der Bruch verläuft hier stumpf. An irgendeiner Stelle der Drahtoberfläche entsteht

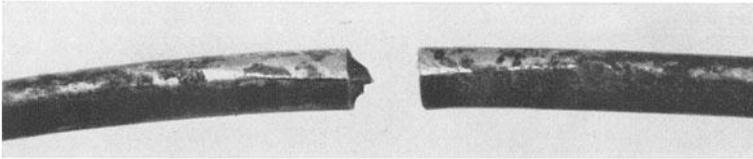


Abb. 66. Draht mit Dauerbruch.

ein feiner Haarriß, der dann infolge der Kerbwirkung immer tiefer wird, bis der endgültige Bruch eintritt. Abb. 67 zeigt einen derartigen Anriß als Vorstufe eines Dauerbruchs in dem Längsschliff eines Drahtes in 10facher Vergrößerung.

Oft wird nun die Frage gestellt, wie viele Drahtbrüche man zulassen kann, ohne einen Seilbruch befürchten zu müssen. Diese Frage ist keinesfalls allgemeingültig zu beantworten. Maßgebend ist einmal nicht die

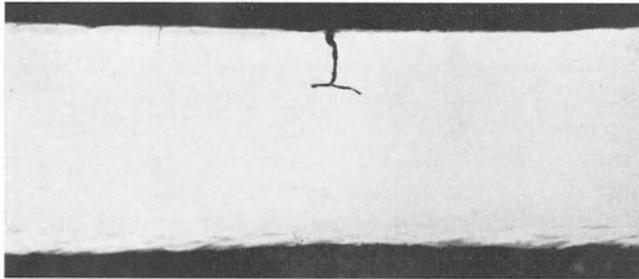


Abb. 67. Anriß in einem Draht (Längsschliff 10 × vergrößert).

Gesamtzahl, sondern vor allen Dingen die Verteilung der Drahtbrüche. Weiter spielt der Gesamtzustand des Seiles in bezug auf Rost, Verschleiß und Flechtung eine Rolle. Wenn dieser Allgemeinzustand gut ist, kann ein Seil meist sehr viele Drahtbrüche vertragen, bis eine Gefahr vorliegt. Besonders gilt dies von Kreuzschlagseilen. In Abschnitt 2 wurde bereits erwähnt, daß bei Kreuzschlagseilen der Draht öfter an die Seiloberfläche kommt, als bei Längsschlagseilen. Die Drähte sind hier also inniger und fester verflochten, was zur Folge hat, daß ein gebroche-

ner Draht schon eine ganz kurze Strecke von der Bruchstelle entfernt wieder voll trägt. Man kann demnach die Schwächung eines Seiles nicht danach beurteilen, wie viele Drahtbrüche im ganzen vorhanden sind, sondern nur danach, wie der Zustand an der Stelle ist, an der die Drahtbrüche am dichtesten liegen. Dies führt zu dem Begriff der kritischen Seillänge. Man versteht darunter die Strecke, auf der ein gebrochener Draht nicht als tragend angenommen werden kann. Die Schwächung des Seiles ergibt sich dann aus der Anzahl der Drahtbrüche auf der kritischen Strecke. Die kritische Seillänge beträgt bei Kreuzschlagseilen 1—2 Litzenganghöhen. Liegen also beispielsweise an der schadhaftesten Stelle bei einem Seil mit 6 Litzen zu 37 Drähten auf 2 Litzenganghöhen 10 Drahtbrüche, so ergibt sich die Schwächung zu $\frac{10 \cdot 100}{222} = 4,5\%$. Man

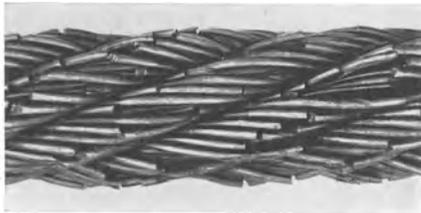


Abb. 63. Dauerbiegeprobe eines Seiles, Zustand kurz vor dem Bruch.

sieht schon daraus, daß man eine ganze Menge Drahtbrüche erreichen kann, ehe eine Bruchgefahr vorliegt. Wie ein Kreuzschlagseil etwa aussieht, das bei normaler Belastung kurz vor dem Bruch steht und bei dem eine gleichmäßige Verteilung der Drahtbrüche bei gutem Allgemeinzustand vorliegt, zeigt Abb. 68. Es handelt sich dabei um ein Seil, das auf einer Dauerbiegemaschine gebogen wurde. Um

zu verhindern, daß die Drahtbrüche nur auf einer Mantellinie entstehen, wurde das Seil während des Versuches mehrmals gedreht. Allerdings muß erwähnt werden, daß das Seil nur rein statisch auf Zug belastet war. Im praktischen Betrieb kommen immer noch dynamische Beanspruchungen dazu, so daß schon weniger Drahtbrüche zum Bruch genügen. Man erkennt aber aus dem bisher Gesagten, daß die Gefahr der Drahtbrüche, soweit sie äußerlich sichtbar sind, nicht ganz so groß ist, wie dies zunächst den Anschein hat. Immerhin ist die Beurteilung nicht ganz einfach, und es empfiehlt sich jedenfalls, Seile, bei denen ein Bruch erhebliche Gefahren oder wirtschaftliche Störungen mit sich bringt, in kritischen Fällen durch einen Fachmann beurteilen zu lassen.

Bei Längsschlagseilen kann man eine ähnlich dichte Lage der Drahtbrüche wie bei Kreuzschlagseilen nicht zulassen. Der einzelne Draht kommt hier seltener an die Oberfläche, das Seilgefüge ist an sich schon weniger fest. Wenn nun an einer Stelle mehrere Drahtbrüche entstehen, so wird bald eine Lockerung der Außendrähte eintreten. Auch ziehen sich die gebrochenen Drähte vielfach beim Arbeiten des Seiles an einer vom Bruch entfernten Stelle aus dem Seil heraus, legen sich quer und drücken

sich in den Scheiben in die Nachbardrähte ein, wodurch auch diese beschädigt werden. Wenn die Lockerung der Außendrähte stärker wird, erhält man den gleichen Zustand, der bereits in Abschnitt 8 besprochen wurde.

Bisher war angenommen worden, daß die Drahtbrüche nur in der Außenlage und am Seilumfang entstehen. Dies ist meist auch der Fall. Wie steht es nun mit den gefürchteten Drahtbrüchen im Innern?

Brüche in den inneren Lagen kommen verhältnismäßig selten vor. Bei Litzenseilen machen sie sich erfahrungsgemäß meist nach außen bemerkbar. Die Bruchenden federn beim Biegen des Seiles über die Scheiben nach außen, die darüberliegenden

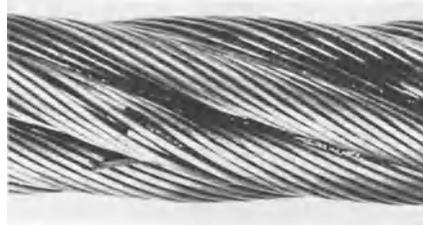


Abb. 69. Drahtbrüche in der mittleren Drahtlage eines Förderseiles.

Drähte werden dadurch gedrückt und brechen ebenfalls. Bei solchen Seilen ist dann jeweils unter einem gebrochenen Außendraht auch ein Bruch in der darunterliegenden Lage sichtbar, wie dies in Abb. 69 zu erkennen ist. Eine besondere Gefahr ist also in diesen Brüchen nicht zu erblicken.

Anders liegt der Fall bei mehrlagigen Litzenseilen. Hier ist besondere Vorsicht geboten, weil Brüche in den inneren Litzen von außen nicht bemerkt werden. Abb. 70 zeigt ein Kranseil dieser Machart. Die Drähte der Innenlitzen weisen scharfe Druckstellen auf, die durch die Außenlitzen hervorgerufen sind und die leicht Ausgangspunkte für Drahtbrüche werden können. Bei Förderseilen dieser Machart ist die Gefahr der Drahtbrüche in den inneren Lagen naturgemäß besonders groß.

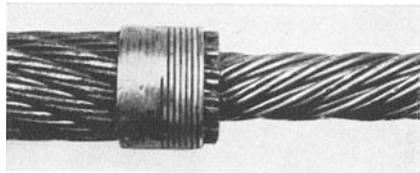


Abb. 70. Kranseil in Litzenspiralmachart mit Druckstellen der Drähte.

Eine weitere Art unerkannter Drahtbrüche, die hauptsächlich bei Förderseilen vorkommt und die der Seilfachmann am meisten fürchtet, bilden die Drahtbrüche in und über den Einbänden, also auf den Strecken, die nicht über die Seilscheiben gebogen werden, die aber andererseits oft außerordentlich starken dynamischen Beanspruchungen ausgesetzt sind. Die Drähte brechen auf diesen Strecken nicht am Seilumfang, da sie ja hier keine zusätzlichen seitlichen Druckbeanspruchungen bekommen, wie dies in den Scheibenrillen der Fall ist. Die Brüche entstehen vielmehr an den gegenseitigen Berührungsstellen der Litzen,

wo zu den statischen und dynamischen Zugbeanspruchungen auch noch der seitliche Druck der Nachbarlitze kommt. Die Bruchenden werden dann zwischen den Litzen eingeklemmt und können nicht oder nur zu einem kleinen Teil an die Seiloberfläche federn, sie sind also äußerlich nicht zu erkennen. In einem Fall wurden beispielsweise auf mehreren Metern Länge nur drei äußerlich sichtbare Drahtbrüche beobachtet. Tatsächlich waren aber auf der gleichen Strecke mehrere hundert Brüche vorhanden, wie beim Aufflechten des Seiles nach dem Ablegen festgestellt wurde. Diese Erscheinung war bei den meisten in den letzten Jahren vorgekommenen Förderseilbrüchen die Bruchursache. Abb. 71 gibt das Bruchende eines solchen Förderseiles wieder, das kurz über dem



Abb. 71. Unmittelbar über dem Einband gerissenes Förderseil.

Einband gerissen ist. Die zahlreichen in der Abbildung sichtbaren Drahtbrüche sind nicht etwa erst beim Bruch entstanden, sondern es sind, wie die Untersuchung der Bruchflächen ergab, alles schon vorher entstandene Dauerbrüche. Das Seil machte äußerlich vor dem Bruch einen vollkommen einwandfreien Eindruck.

Was ist nun gegen diese außerordentlich große Gefahr der äußerlich nicht erkennbaren Drahtbrüche zu machen? Die zuletzt erwähnten Brüche in den Einbandstücken von Förderseilen kommen hauptsächlich bei sehr lebhaften Förderungen mit Dampftrieb vor. Meist kennt man schon aus Erfahrung die Anlagen, wo mit solchen unerkannten Beschädigungen zu rechnen ist. Verdächtig ist dabei schon, wenn sich ein oder zwei Drahtbruchenden zeigen, die aus dem Inneren heraustreten, bei denen also der Bruch nicht am Seilumfang entstanden ist. Wenn irgendein Verdacht auf solche Drahtbrüche besteht, dann empfiehlt es sich, den

Einband vollkommen zu öffnen, das Seil einige Meter über dem Einband festzuklemmen und das freiliegende Seilende mittels eines aufgesetzten Schellbandes mit Hebelarmen aufzudrehen. Dadurch lockert sich die Flechtung, die Litzen heben sich von der Seele ab und die Drahtbruchenden federn nach außen. Bei dieser Prüfung wurden schon verschiedentlich Drahtbruchzahlen festgestellt, die bald zu dem Bruch des Seiles geführt hätten. Die Seile konnten so also noch rechtzeitig abgelegt werden.

Im mittleren Teil eines Seiles kann man sich mit diesem Verfahren natürlich nicht helfen und muß andere Wege gehen. Naheliegend ist der Gedanke, das Seil zu röntgen, und es wurden auch schon von verschiedenen Instituten diesbezügliche Versuche mit mehr oder weniger Erfolg gemacht. Das Verfahren wird in der Praxis zunächst an der dazu nötigen umfangreichen und empfindlichen Apparatur scheitern, vor allen Dingen aber daran, daß man kein fortlaufendes Bild des Seiles erhält und sich auf die Untersuchung einzelner Stellen, also auf Stichproben, beschränken muß.

Das Verfahren, das sich heute durchgesetzt hat, ist der Nachweis innerer Drahtbrüche auf elektromagnetischem Weg. Eine für Förderseile durchgebildete und unbedingt zuverlässig wirkende elektromagnetische Apparatur wurde in der Seilprüfstelle der Westfälischen Berggewerkschaftskasse¹ entwickelt. Die grundsätzliche Wirkungsweise des Verfahrens wird aus der schematischen Abb. 72 verständlich. Durch zwei um das Seil gewickelte und von Gleichstrom durchflossene Magnetisierungsspulen *A* wird das Seil auf der zwischen den Spulen liegenden Strecke magnetisiert. Zwischen beiden Spulen befindet sich eine Prüfspule *B*, die mit einem hochempfindlichen Galvanometer *C* verbunden ist. Wenn nun das Seil mit gleicher Geschwindigkeit durch die Spulen läuft, so wird das Instrument in Ruhe bleiben, sofern sich der metallische Querschnitt des Seiles nicht ändert. Wenn dagegen eine Störung, also ein Drahtbruch, in das Feld eintritt, dann entsteht in der Prüfspule ein Stromstoß, das Instrument gibt einen Ausschlag. Allerdings ist die Apparatur durchaus nicht so einfach, wie diese kurze Beschreibung vielleicht vermuten läßt. Es war vielmehr eine

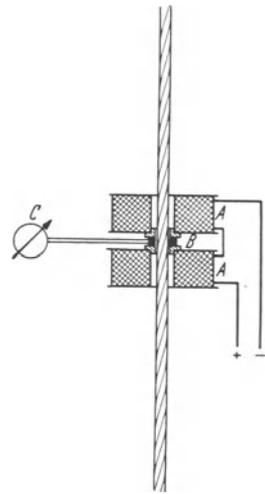


Abb. 72. Grundsätzliche Anordnung der elektromagnetischen Apparatur zur Untersuchung von Förderseilen auf innere Drahtbrüche.

¹ Drahtseilforschung (Bericht über die Tagung des Ausschusses für Drahtseilforschung des VDI). Z. VDI Bd. 76 (1932) S. 557; A. Otto: Elektromagnetisches Verfahren zur Prüfung von Drahtseilen „Glückauf“ Bd. 69 (1933) S. 471.

außerordentliche Kleinarbeit nötig, um alle Störungsquellen auszuschalten und die Drahtbrüche eindeutig nachzuweisen.

Die Ausschläge des Meßinstrumentes können auf einen Film aufgenommen werden, der dann ein Bild über den Zustand des Seiles in bezug auf die Drahtbrüche vermittelt. Abb. 73 zeigt ein solches Schaubild eines 62 mm starken Förderseiles in dreilagiger Flachlitzenschicht. Die Länge des abgebildeten Diagramms entspricht einer Seillänge von 5 m. Das Diagramm läßt deutlich vier Fehlstellen erkennen, die mit *A*, *B*, *C* und *D* bezeichnet sind. Die kleineren Ausschläge, die auf der ganzen Länge auch im unbeschädigten Seil auftreten, sind in der normalen Ungleichmäßigkeit des Querschnittes durch die Verseilung sowie in Verschleiß- und etwaigen Roststellen begründet.

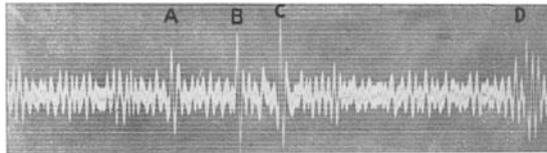


Abb. 73. Diagramm einer elektromagnetischen Förderseiluntersuchung.

Derartige Untersuchungen werden heute an Förderseilen, bei denen irgendein Verdacht auf innere Drahtbrüche besteht, durchgeführt. Besonders wichtig ist das Verfahren zur Beurteilung von mehrlagigen Litzenseilen, bei denen ein anderer Nachweis der Drahtbrüche in den inneren Litzen unmöglich ist.

Bei Kran- und Aufzugseilen wird die Untersuchung natürlich im Verhältnis zu dem Preis des Seiles zu umständlich und zu teuer sein. Hier ist die Frage der inneren Drahtbrüche auch nicht so brennend. Ein anderes Gebiet, für das das Verfahren sicherlich größere Bedeutung erlangen wird, sind die in verschlossener Schicht ausgeführten Tragseile von Kabelbaggern und Seilschwebbahnen. Teilweise sind hier schon erfolgreiche Untersuchungen durchgeführt worden. Die Versuchseinrichtung muß natürlich dem jeweiligen Verwendungszweck besonders angepaßt werden.

10. Rostangriff und seine Verhütung.

Neben den Drahtbrüchen ist der Rost der wesentlichste Zerstörungsfaktor der Drahtseile. Schwächere oder auch stärkere Rostnarben an den Drähten bedeuten dabei zunächst noch keine Gefahr und führen auch nicht unbedingt zu Drahtbrüchen. Ihre Kerbwirkung wird vielfach überschätzt. Auf der anderen Seite besteht die Gefahr, daß der Betriebsmann auch sehr starken Rostangriff nicht als gefährlich erkennt.

In dem vorigen Abschnitt über die Drahtbrüche wurde bereits darauf hingewiesen, daß für die Beurteilung nicht nur deren Anzahl und Verteilung, sondern vor allen Dingen der Allgemeinzustand des Seiles in bezug auf Rost und Verschleiß maßgebend ist. Der Betriebsmann ist nun erfahrungsgemäß oft geneigt, ein Seil, abgesehen von Formänderungen und anderen ins Auge fallenden Beschädigungen, nur nach den Drahtbrüchen zu beurteilen. Er geht dabei von dem Standpunkt aus, daß bei einer erheblichen Schwächung durch Rost auch Drahtbrüche auftreten müssen.

Bei Kreuzschlagseilen wird dies in den meisten Fällen zutreffen. Bei dieser Flechtart sind die Außendrähte an sich ziemlich stark beansprucht, wie bereits mehrfach dargelegt wurde. Stärker im Querschnitt geschwächte oder durch Rostnarben angekerbte Drähte werden also meist brechen. Anders liegt der Fall bei der Längsschlagflechtung, die ja an sich mehr zur Lockerung neigt. Wenn hier die Außendrähte rosten, dann wird durch die Querschnittsverminderung die Lockerung der Flechtung immer stärker. Das Bild des Zerstörungsvorgangs wird dann ähnlich wie in Abschnitt 8 geschildert wurde. Beim Arbeiten des Seiles reiben sich die äußeren Drähte auf den darunterliegenden und beschleunigen den Verschleiß. Außerdem kann von außen her Wasser durch die lockere Außenlage ungehindert eindringen. Die Schmierung im Innern der Litzen wird ausgelaugt, die inneren Drähte rosten ebenfalls und es kommt zu einem Zusammenwirken von Rost und Verschleiß, was eine immer rascher fortschreitende Zerstörung des Seiles im Innern bewirkt. Die lockeren Außendrähte befördern also die innere Zerstörung. Da sie selbst aber nicht mehr unter

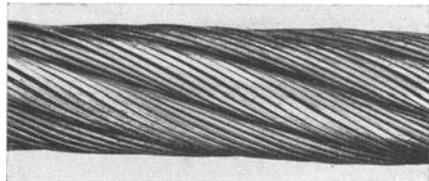


Abb. 74. Durch Rost und Verschleiß gelockertes Längsschlagseil.

Spannung sind, brechen sie auch nicht unbedingt. So kommt es vor, daß derartige innerlich stark geschwächte Seile plötzlich reißen, obwohl vorher keine oder nur wenige Drahtbrüche beobachtet wurden. Abb. 74 zeigt den äußeren Zustand eines solchen Förderseiles in Längsschlagflechtung, bei dem die Lockerung der Außendrähte ohne weiteres zu erkennen ist. Bei der Untersuchung von schweren Förderseilen stellt man die Stärke der Lockerung am besten durch Abklopfen mit einem leichten Hammer fest. Bei Rundlitzenseilen macht sich die Lockerung auch durch eine übermäßige Abflachung der Litzen bemerkbar.

Bei Seilen, mit denen wenig gefahren wird, kommt es vor, daß sich der Rost zwischen den einzelnen Drähten vollkommen festsetzt, eine Lockerung tritt also zunächst gar nicht ein. Erst wenn man eine Stelle des Seiles mit einem Hammer bearbeitet, fällt der Rost ab und

man erkennt den wahren Zustand. Bei einem derartigen Förderseil, das an einem stillgelegten Schacht auflag und auf den ersten Blick noch einen ganz guten Eindruck machte, zeigte sich nach dem Abklopfen des Rostes, daß die ursprünglich 3,0 mm dicken Drähte bis auf einen Durchmesser von 1,5 mm durchgerostet waren.

Besonderer Erwähnung bedarf die Zerstörung von Flachunterseilen bei Schachtförderungen. Bei diesen Seilen wirkt sich der Rostangriff hauptsächlich im Innern an den gegenseitigen Berührungsstellen der Litzen und Schenkel aus. Hier reiben sich die Drähte gegenseitig beim Arbeiten des Seiles, es entsteht wiederum eine Wechselwirkung von Rost und Verschleiß, wodurch die Drahtquerschnitte weitgehend geschwächt oder vollkommen aufgezehrt werden. Am meisten gefährdet sind erfahrungsgemäß die Strecken, die bei Endstellung der Förderkörbe die Seilbucht bilden. Abb. 75 läßt den Zustand eines derartigen Seiles

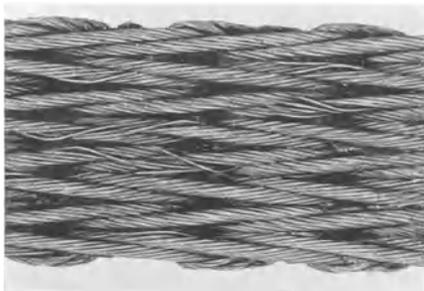


Abb. 75. Stark verrostetes Flachunterseil.

erkennen. Die hervorstehenden Drahtbruchenden sind nadelartig zugespitzt, die Drähte sind also vollständig durchgeschliffen. Bei dieser Art der Zerstörung kommen stets nur wenige Bruchenden an die Seiloberfläche, der größte Teil bleibt zwischen den Litzen eingeklemmt. Der wahre Zustand ist also bei einer oberflächlichen Besichtigung nicht zu erkennen. Bei der Untersuchung muß man deshalb an den Stellen, die

äußerlich etwas stärker verrostet erscheinen oder an denen einige zugespitzte Drahtbruchenden sichtbar sind, mit einem kräftigen Haken zwischen die Litzen und Schenkel fassen, um etwaige versteckte Drahtenden an die Oberfläche zu ziehen. Die Ursache für die meisten Unterseilbrüche, bei denen keine gewaltsame Zerstörung durch eine äußere Beschädigung vorliegt, ist eine solche Schwächung durch Rost und Verschleiß.

Aus den angeführten Beispielen ist zu ersehen, daß bei der Beurteilung und Prüfung rostiger Seile äußerste Vorsicht am Platze ist und daß die Beurteilung eine erhebliche Erfahrung erfordert.

Die Maßnahmen zur Verhütung des Rostangriffs sind einmal eine gute Schmierung, vor allen Dingen aber, namentlich in stark angriffsfähiger Atmosphäre, eine gute Verzinkung oder unter Umständen eine Verbleiung der Drähte. Auf die Verzinkung und Verbleiung wurde bereits im Abschnitt 4 über den Drahtwerkstoff näher eingegangen.

Ein weitgehender Rostschutz läßt sich durch sachgemäßes Schmieren

erreichen. Man unterscheidet dabei zwischen der Innen- und der Außenschmierung. Erstere erfolgt bereits bei der Herstellung des Seiles und erstreckt sich auf das Tränken der Faserseele und der einzelnen Drahtlagen. Alle Hohlräume im Innern des Seiles werden durch das Tränkungsmittel ausgefüllt. Neben dem Rostschutz hat diese Innenschmierung natürlich noch die Aufgabe, die innere Reibung zu vermindern, sie ist deshalb auch sehr wesentlich für die Bewährung des Seiles.

Eine Außenschmierung wird zunächst ebenfalls schon in der Seilerei aufgebracht, sie wird im Laufe der Betriebszeit aber abgeschleudert, abgerieben und ausgewaschen. Jedes blanke Seil muß deshalb in bestimmten Zeiträumen, die sich jeweils nach den örtlichen Verhältnissen richten, nachgeschmiert werden.

Bei Trommelseilen ist die Schmierung verhältnismäßig einfach, weil auf die Reibung zwischen Seil und Scheiben keine Rücksicht genommen zu werden braucht. Man verwendet eine steife, säurefreie Fettschmiere, die am besten auch etwas klebrig ist, um ein Abschleudern zu verhindern. Staufferfett ist nicht zu empfehlen, weil dieses nicht neutral ist und öfters seinerseits zu Korrosionen führt.

Schwieriger gestaltet sich der Rostschutz bei Treibscheibenseilen, besonders bei Koepf Förderseilen. Hier muß stets eine genügende Reibung zwischen Treibscheibe und Seil gewährleistet sein, um ein Rutschen zu verhindern. Eine Koepeseilschmiere muß deshalb unbedingt zähklebrig sein und darf nur in einer dünnen Schicht aufgetragen werden, da sie sich im anderen Falle nach den Seilenden hin zusammenschiebt und abgeschleudert wird oder trotzdem zum Rutschen des Seiles führt. Besser als Schmiere ist hier ein Seillack, von dem mehrere gute Sorten im Handel erhältlich sind. Zu erwähnen ist, daß bei Koepeseilen auch für die Innenschmierung keinesfalls Fett verwendet werden darf, weil dieses an die Oberfläche dringen und so eine starke Rutschgefahr bilden kann.

Bei Flachunterseilen, die auf den Endstrecken besonders starkem innerem Verschleiß ausgesetzt sind, empfiehlt es sich, die Schmierung auch auf verzinkte Seile auszudehnen und wenigstens die gefährdeten Strecken in gewissen Zeitabständen mit Fett nachzuschmieren. Dadurch wird der Zinküberzug vor einem Abscheuern geschützt und so seine rostschützende Wirkung verstärkt.

Zu beachten ist noch, daß sowohl Schmiere als auch Lack auf das trockene Seil aufgebracht werden müssen, weil der Überzug im andern Falle nicht fest haftet. Vollkommen zwecklos ist es auch, ein schon angerostetes Seil zu schmieren, ohne vorher den Rost zu entfernen. Eine richtige Pflege muß vielmehr schon einsetzen, ehe sich ein Rostansatz gebildet hat.

Ein wesentlicher Faktor zur Verhütung von Gefahren durch Rost-

angriff ist auch die richtige Auswahl der Machart. Wie in Abschnitt 5 erwähnt wurde, sind dickere Drähte weniger empfindlich gegen Rost und Verschleiß. In nassen Betrieben sollen deshalb allzu dünne Drähte vermieden werden.

Bei der Behandlung des Rostangriffs wurde der Hauptwert auf Förderseile gelegt. Bei anderen Seilen, die in dieser Hinsicht unter ungünstigen Bedingungen arbeiten, also beispielsweise bei Kran- und Aufzugseilen in Hüttenbetrieben oder chemischen Fabriken, ist der Fall natürlich ähnlich. Hier handelt es sich aber meist um geringere Werte, und es empfiehlt sich, die einer angriffsfähigen Atmosphäre ausgesetzten Seile nach einer bestimmten, nach den jeweiligen Erfahrungen festgelegten Zeit durch neue zu ersetzen.

Seile der Beanspruchungsgruppe 2, also hauptsächlich verschlossene Tragseile von Seilbahnen, Kabelbaggern, Kabelkränen usw., lassen sich leichter gegen Rost schützen. Wichtig ist hier eine gute Innenschmierung. Da die Seile nicht stark gebogen werden, wird diese Innenschmierung nicht wesentlich verbraucht und kann viele Jahre halten. Es ist nur notwendig, ständig für eine gute äußerliche Fettschmierung zu sorgen. Bei Brückenseilen imprägniert man die inneren Drahtlagen zweckmäßig mit Mennige und versieht die Seile äußerlich nach Fertigstellung der Brücke mit einem rostschtzenden Anstrich.

Sachverzeichnis.

- Ablenkscheiben 37.
Abteufseile 2.
— Machart 14, 15.
Albertschlag 6.
Anordnung der Drähte im Seil 28 ff.
Anspleißen 39 ff.
Anstücken 40.
Auflegen der Seile 51.
Aufteilung des Seilquerschnitts 28 ff.
Aufzugseile 2.
— Drahtdurchmesser 29.
— Drahtfestigkeit 25.
— Sicherheit 22.
Ausbuchtungen bei Flachseilen 53.
Außenschmierung 63.
- Backenzahnklemme 43.
Baggerseile 2.
Bandseile siehe Flachseile.
Beanspruchung, Arten der — 1.
— bei Biegung 20, 21.
— dynamische 22, 46, 57.
Befestigung der Seile 39 ff.
Belastung, Einfluß auf die Haltbarkeit 24.
Berechnung der Seile 18 ff.
— auf Biegung 18, 19.
— auf Zug 21.
Bergbauseile 1.
Betriebsbelastung, statische 22.
Betriebseinrichtungen, Einfluß auf die Haltbarkeit 36 ff.
Biegespannung 18.
Biegewiderstand von Längsschlag- und Kreuzschlageilen 7, 8.
Biegsamkeit bei verschiedenen Schlagarten 5, 7, 15, 32, 36.
— Einfluß des Drahtdurchmessers 28, 29, 37.
Biegung, Berechnung auf 18, 19.
Bieigungsbeanspruchung 1, 18, 19.
- Bieigungsbeanspruchung bei verschiedenen Betriebsarten 17, 18.
— der Drähte 20.
Blanke Drähte 26.
Blindschachtförderseile, Drahtfestigkeit 25.
— in Parallelschlag 35.
— Treibscheiben für 38, 39.
Bobinenförderseile 15.
— Entformungen bei 53.
Bremsbergseile 1.
Brückenseile 2.
— Befestigung 41.
— Bieigungsbeanspruchung 17.
— Drahtfestigkeit 26.
— Machart 15, 16, 29, 30.
— Rostschutz 64.
Bruchbelastung 21, 22.
Bruchlast siehe Bruchbelastung.
- Dampfplugsseile 2.
— Drahtfestigkeit 25.
Dauerbiegeversuche an Seilen verschiedener Drahtfestigkeit 23, 24.
— — — verschiedener Schlagart 7.
— — — Lage der Drahtbrüche 19.
— — — mit blanken und verzinkten Drähten 26.
— — — bei verschiedenen Scheibenrillen 38.
Dauerbrüche an Drähten 55.
Drahtbrüche 55 ff.
— an den Litzenberührungsstellen 57.
— Einfluß von Anzahl und Verteilung 55, 56.
— durch Biegebeanspruchung 19, 20;
— — dynamische Beanspruchungen 57, 58.
— in Herkules-Seilen 18.
— — Litzenspiralseilen 14.
— — spannungsfreien Seilen 12.

- Drahtbrüche in Spiralseilen 16.
 — — verschlossenen Seilen 16.
 — innere 57
 Drahtbruchenden, Ausbildung bei verschiedenen Brucharten 54, 55.
 Drahtdurchmesser 28, 29.
 — Abhängigkeit von der Festigkeit 23.
 — bei Seale-Seilen 34.
 Drahtfestigkeit siehe Zugfestigkeit.
 Drahtquerschnitt 23.
 Drahtseele 5.
 Drahtseilbahnen siehe Seilschwebbahnen.
 Drahtwerkstoff 23 ff.
 Drall 6.
 — bei Längsschlagseilen 11.
 Drallarme Seile 11 ff., 17.
 Drallauslassen 48 ff.
 Drallfreie Seile 5, 14, 15.
 Dreikantlitzenseile 8 ff.
 — Querschnittsaufteilung 32.
 Druck, seitlicher 1, 8.
 Druckstellen der Drähte bei Kreuz- und Längsschlag 7.
 — bei Litzenspiralseilen 57.
 Dynamische Beanspruchung siehe Beanspruchung.
- Einbände 39 ff.
 — für Rund-Unterseile 14.
 Einlagedraht siehe Kerndraht.
 Einschnürung von Drähten 54.
 Elektromagnetische Seiluntersuchung 59 ff.
 Entdrallen 48 ff.
 Entformungen 47 ff.
 — bei Flachseilen 53.
 — schraubenartige 52.
 Ermüdungsbrüche an Drähten 55.
- Faserseele 5.
 — in den Litzen 33.
 — Tränkung 63.
 Festigkeit siehe Zugfestigkeit.
 Feuerverzinkung 26.
 Flachlitzenseile 9.
 — mehrlagige 14.
 — Querschnittsaufteilung 32.
 Flachseile, Aufbau 4, 36.
 — Entformungen 53.
 — Verwendungsgebiete 15.
- Flachunterseile, Spleißung 40.
 — Rost und Rostschutz 62, 63.
 Flechtrichtung der Drähte in den Litzen 5.
 — bei mehrlagigen Litzenseilen 14.
 — bei Spiralseilen 17.
 Flechtwinkel 33 ff.
 Förderseile siehe Schachtförderseile.
 Formänderungen siehe Entformungen.
 Formdrähte bei Dreikantlitzens- und Flachseilen 9.
 — bei verschlossenen Seilen 4, 16.
 — Querschnitt und Festigkeit 23, 26.
 Führungseinrichtungen 39.
 Führungsseile 2, 15.
 Fülldraht-Machart 34, 35.
- Ganghöhe siehe Schlaglänge.
 Gegengewichtsseile 2.
 Gleichschlagseile siehe Längsschlagseile.
- Halbverschlossene Machart 16.
 Hanfseele siehe Faserseele.
 Hängebrücken, Tragseile siehe Brückenseile.
 Herkules-Machart 17, 26, 32.
 Hubbrücken, Seile für — 2.
- Innenseil 5, 25.
 Innenschmierung 61 ff.
- Kabelbaggerseile 2, 18.
 — Drahtwerkstoff 26.
 — Rostschutz 64.
 Kabelkranseile 2, 18
 — Drahtwerkstoff 26.
 — Rostschutz 64.
 Kabelschlagseile 3, 15, 36.
 Kausche 43.
 Keildrähte 16.
 Keilklemme Bauart „Demag“ 46.
 Kerbwirkung der Rostnarben 60.
 Kerndraht 29 ff.
 — von Flachlitzen 9.
 Klankenbildung 52.
 Klemmbügel 43 ff.
 Klemmkauschen 46, 47.
 Klemmrillenscheibe 38.
 Knotenbildung 53.
 Koepeförderseile, Schmierung 63.
 Koepeillack 63.
 Korkzieherbildung 52, 53.

- Korrosion siehe Rostangriff.
 Kranseile 2.
 — Drahtdurchmesser 29.
 — Drahtfestigkeit 25.
 — Sicherheit 22.
 Kreuzschlagseile 5 ff., 13 ff.
 Krümmungsdurchmesser 36.
 Kupferzusatz 27.
- Längsschlagseile 5 ff.
 — drallarme 11.
 — Verhalten beim Entdrallen 47 ff.
 Lastseilbahnen siehe Seilschwebbahnen.
 Litzen 3.
 — Aufbau 29 ff.
 Litzenkern siehe Kerndraht.
 — bei Dreikantlitzenseilen 9, 10.
 Litzenseile 3 ff.
 — Aufbau 30 ff.
 — mehrlagige 14, 17.
 — — Drahtbrüche 57.
 Litzenspiralseile siehe Litzenseile, mehrlagige.
 Lockerung der Flechtung 47 ff.
 — durch Drahtbrüche 56, 57.
 — durch Rostangriff 61.
 Luftseilbahnen siehe Seilschwebbahnen.
- Machart 2, 31 ff.
- Nähdrähte 4.
 Nählitzen 4.
 Nichtrostender Stahl für Seildrähte 27.
- Parallelschlag 34 ff.
 Patentverschlossene Seile siehe verschlossene Seile.
 Personenschwebbahnen siehe Seilschwebbahnen.
 Pflege der Seile 63.
 Pilonen 29.
 Pumpenhängeseile 2, 15.
- Querschnittsaufteilung 28 ff.
- Rangierseile 2, 14.
 Reibung, innere 63.
 Reuleaux'sche Formel 18, 19.
 Rillen siehe Scheibenrillen.
 Röntgenuntersuchung von Seilen 59.
- Rollendurchmesser siehe Seilscheibendurchmesser.
 Rostangriff 60 ff.
 Rostschutz 27, 62, 63.
 Rundlitzen siehe Litzen.
 Rundlitzenseile siehe Litzenseile.
 Runddrähte, Querschnitt und Festigkeit 23, 26.
 Rundseile 3.
 Rutschen von Koepeseilen 63.
- Schachtförderseile 1.
 — Drahtwerkstoff 25, 26.
 — Einbände 43 ff.
 — in Dreikantlitzen-Machart 10, 11.
 — in mehrlagiger Flachlitzen-Machart 14.
 — in Parallelschlag 35.
 — in verschlossener Machart 4.
 — Querschnittsaufteilung 31.
 — Sicherheit 22.
 Scheibendurchmesser siehe Seilscheibendurchmesser.
 Scheibenrillen 37 ff.
 Schenkel von Flach- und Kabelschlagseilen 3.
 Schiffshebewerke, Seile für — 2.
 Schiffsseile 2, 14, 33.
 Schlaglänge 33 ff.
 Schlagarten 3, 7.
 Schleusenhubtore, Seile für — 2.
 Schlingenbildung 49.
 Schmierung 61 ff.
 — der Faserseele 5.
 Schwächung durch Drahtbrüche 56.
 — durch Rost 62.
 Schwebbahnen siehe Seilschwebbahnen.
 Schwebebühnenseile 2, 15.
 Schwebefähren, Tragseile für — 2.
 Seale-Machart 34, 35.
 Seele 3; siehe auch Faserseele.
 Seilbahnseile 2; siehe auch Seilschwebbahnen.
 Seildurchhang 26.
 Seildurchmesser 28, 36 ff.
 Seileinbände siehe Einbände.
 Seilgattung 2.
 Seilgewicht 25, 26.
 Seilhängebrücken siehe Brückenseile.
 Seillack 63.
 Seillänge, kritische 56.

- Seilmachart siehe Machart.
 Seilquerschnitt siehe Querschnittsaufteilung.
 Seilrillen siehe Scheibenrillen.
 Seilrutsch 63.
 Seilscheibendurchmesser 36, 37.
 Seilscheibenrillen siehe Scheibenrillen.
 Seilschwebbahnen, Tragseile 2.
 — — Befestigen, Anstücken 40 ff.
 — — Drahtwerkstoff 26.
 — — Macharten 17, 18.
 — — Rostschutz 64.
 — — Sicherheit 22.
 — Zugseile 2.
 — — Sicherheit 22.
 SeilSchwingungen 1, 39.
 — siehe auch Beanspruchungen, dynamische.
 Seilseele siehe Seele.
 Seiltrommeldurchmesser siehe Seilscheibendurchmesser.
 Seitlicher Druck siehe Druck.
 Sicherheit 21, 22.
 — bei Tragseilen von Schwebbahnen 17, 18.
 Signalseile 15.
 Spannrollen 37.
 Spannseile 2.
 — Machart 14, 15.
 Spannung von Tragseilen 17.
 Spannungsfreie Seile 12, 13.
 Spirallitzenseile siehe Litzenseile, mehrlagige.
 Spiralseile 3, 4, 15.
 — Querschnittsaufteilung 29, 30.
 Spleißen 39 ff., 43.
 Steuerseile für Luftfahrzeuge 2.
 Streckenförderseile 1.
 Tiefbohrungen, Seile für — 2.
 Tragseile siehe Brückenseile und Seilschwebbahnen.
 Transmissionsseile 2, 40.
 Tränkung der Faserseele 5, 63.
 Tränkungsmittel 63.
 Treibscheiben 37 ff.
 Treibscheibenseile, Schmierung 63.
 Trommeldurchmesser siehe Seilscheibendurchmesser.
 Trommelseile, Schmierung 63.
 Tru-Lay-Seile 12 ff.
 Umschlingungswinkel 37.
 Unterseile 2, 14, 15.
 — siehe auch Flachunterseile.
 Verbleiung 27, 62.
 Verbundmachart 32.
 Verdrehung 1.
 Vergießen der Seilenden 39 ff.
 Vergußlänge 42.
 Vergußmasse 42.
 Vergußmetall siehe Vergußmasse.
 Verkeilen 41.
 Verschleiß 47 ff.
 — der Faserseele 52.
 Verschlossene Seile 16.
 — — Drahtwerkstoff 26.
 — Förderseile 4, 5.
 — Tragseile 18.
 — — Rostschutz 64.
 Verspannseile 2, 15.
 Verzinkt-verbleite Drähte 27.
 Verzinkung 26, 27, 62.
 — galvanische 27.
 Warrington-Machart 34.
 Windungszahl 33, 48.
 Z-Drähte 16.
 Zinkauflage 26, 27.
 Zug, Berechnung auf 21.
 Zugbeanspruchung 1, 18, 19.
 Zugfestigkeit 23 ff.
 — Abweichung vom Nennwert 21.
 — bei Dreikantlitzenseilen 9.
 Zugseile von Seilbahnen 2.
 — Sicherheit 22.
 — Spleißung 40.
 Zugversuch im ganzen Strang 21, 54.

Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau. Bearbeitet von zahlreichen Fachgelehrten. Herausgegeben von Professor Ing. H. Dubbel, Berlin. Sechste, völlig umgearbeitete Auflage. Mit etwa 3000 Textfiguren. Zwei Bände: X, 818 und 902 Seiten. 1935. Zusammen gebunden RM 22.50

Maschinenkunde. Von Professor H. Weihe †, Berlin. Zweite, völlig neu bearbeitete und ergänzte Auflage von Professor Dipl.-Ing. Josef Hanner, Berlin. (Handbibliothek für Bauingenieure, I. Teil, 3. Band.) Mit 634 Textabbildungen. VIII, 322 Seiten. 1935. Gebunden RM 17.50

Maschinentechnisches Versuchswesen. Von Professor Dr.-Ing. A. Gramberg, Oberingenieur und Direktor bei der IG-Farbenindustrie, Höchst. Erster Band: **Technische Messungen bei Maschinenuntersuchungen und zur Betriebskontrolle.** Zum Gebrauch an Maschinenlaboratorien und in der Praxis. Sechste, vielfach erneuerte und umgearbeitete Auflage. Mit 395 Abbildungen im Text. XV, 488 Seiten. 1933. Gebunden RM 24.—
Zweiter Band: **Maschinenuntersuchungen und das Verhalten der Maschinen im Betriebe.** Ein Handbuch für Betriebsleiter, ein Leitfaden zum Gebrauch bei Abnahmeversuchen und für den Unterricht an Maschinenlaboratorien. Dritte, verbesserte Auflage. Mit 327 Figuren im Text und auf 2 Tafeln. XVIII, 601 Seiten. 1924. Gebunden RM 18.—

Werkstoffe. Physikalische Eigenschaften und Korrosion. Von Dr. Erich Rabald. Band I: **Allgemeiner Teil. Metallische Werkstoffe.** Mit 415 Figuren und einer farbigen Tafel. XXI, 976 Seiten. 1931.
Band II: **Nichtmetallische Werkstoffe.** Mit 96 Figuren im Text und 3 Zahlentafeln. IX, 392 Seiten. 1931. Zusammen RM 115.20; gebunden RM 121.50

Deutsche Austausch-Werkstoffe. Von Professor Dipl.-Ing. H. Bürgel VDI, VAM, Chemnitz. (Schriftenreihe Ingenieurfortbildung, 2. Heft.) Mit 84 Abbildungen und 23 Zahlentafeln. VIII, 154 Seiten. 1937. RM 6.60

Die Wechselfestigkeit metallischer Werkstoffe. Ihre Bestimmung und Anwendung. Von Dr. techn. Wilfried Herold, Wien. Mit 165 Textabbildungen und 68 Tabellen. VII, 276 Seiten. 1934. Gebunden RM 24.— (Verlag von Julius Springer-Wien.)

Die praktische Werkstoffabnahme in der Metallindustrie. Von Dr. phil. Ernst Damerow, Berlin. Mit 280 Textabbildungen und 9 Tafeln. VI, 207 Seiten. 1935. RM 16.50; gebunden RM 18.—

Hilfsbuch für die praktische Werkstoffabnahme in der Metallindustrie. Von Dr. phil. E. Damerow und Dipl.-Ing. A. Herr, Berlin. Mit 38 Abbildungen und 42 Zahlentafeln. IV, 80 Seiten. 1936. RM 9.60
