

# **Einfluss der sekundären Biegung und der inneren Pressungen auf die Lebensdauer von Stahldraht-Litzenseilen mit Hanfseele**

Autor(en): **Wyss, Th.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **67 (1949)**

Heft 14

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-84032>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Einfluss der sekundären Biegung und der inneren Pressungen auf die Lebensdauer von Stahldraht-Litzenseilen mit Hanfseele

Von Prof. Dr. TH. WYSS, EMPA, Zürich

DK 625.927

## Zusammenfassung

Für die Beanspruchung und die Lebensdauer von Stahldraht-Litzenseilen mit Hanfseele sind vor allem die sekundären Biegespannungen und die Pressungen zwischen Scheibe und Seil, sowie zwischen den sich berührenden Litzen massgebend. Zur Berechnung dieser Spannungen und Pressungen werden Formeln entwickelt und auch Angaben über ihre zulässige Höhe gemacht. Ausserdem wird die plastische Verformung untersucht. Die Anwendung der Formeln auf Aufzugseile, Typ B, wird gezeigt; die Formeln können jedoch ganz allgemein auf Bergbahnseile, Abspannseile, Seile im Bergbau, Zugseile von Schwebebahnen usw. angewendet werden. Der vorliegende Aufsatz bildet einen Abschnitt einer grösseren Arbeit, betitelt «Untersuchungen über die Beanspruchung und Berechnung von Stahldrahtseilen der Schwebe- und Standseilbahnen», der demnächst als EMPA-Bericht Nr. 166 erscheinen wird.

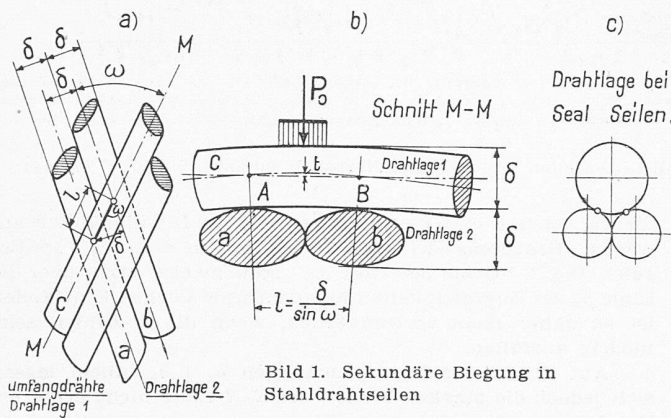


Bild 1. Sekundäre Biegung in Stahldrahtseilen

## A) Beanspruchungen aus sekundärer Biegung

Sekundäre Biegung tritt bei Stahldrahtseilen überall da auf, wo sich die einzelnen Drahtlagen kreuzen und die auf einen Aussendraht C wirkende Querlast  $P_0$  (Bild 1) z. B. in der Mitte eines solchen Feldes sich geltend macht. Die maximale Beanspruchung in einem Draht der äussersten Lage setzt sich wie folgt zusammen:

$$(1) \quad \sigma_{tot} = \sigma_z + \sigma_{b_1} + \sigma_{b_2} + f_1(\tau) + f_2(\tau)$$

Dabei ist

- $\sigma_z$  die Zugbeanspruchung aus der Seilkraft  $S$
- $\sigma_{b_1}$  die primäre Biegespannung nach Reuleaux od. Isaachsen
- $\sigma_{b_2}$  die sekundäre Biegespannung aus der Querbelastung  $P_0$
- $f_1(\tau)$  die Beanspruchung aus Drall
- $f_2(\tau)$  die Beanspruchung aus Reibung

Die nachfolgende Untersuchung befasst sich mit  $\sigma_{b_2}$ . Unter der Berücksichtigung, dass sich  $P_0$  über eine gewisse Strecke verteilt, dass die Stützweite  $l$  durch die Verformung des Drahtes etwas verringert wird und dass der Draht kontinuierlich verläuft, soll als maximales Biegemoment in Feldmitte

$$(2) \quad M_{max.} \sim \frac{P_0 l}{16} = \frac{P_0 \delta}{16 \sin \omega}$$

angenommen werden. Hierin bedeuten  $P_0$  die Querbelastung des Drahtes,  $\delta$  den Drahtdurchmesser,  $\omega$  den Schnittwinkel zweier Drahtlagen. Dieses Biegemoment wurde absichtlich niedrig gewählt. Durch Einführung des Widerstandsmomentes des Drahtes der äussersten Lage und unter der Voraussetzung, dass die Drähte der beiden Lagen den gleichen Durchmesser aufweisen, wird:

$$(3) \quad \sigma_{b_2} = 2 \frac{P_0}{\pi \delta^2 \sin \omega} = 0,636 \frac{P_0}{\delta^2 \sin \omega}$$

Wesentlich ist die Grösse der Kraft  $P_0$ , die von der Art der Querbelastung abhängt. Ferner ist der Aufbau des Seils von Einfluss, was im Schlagwinkel  $\omega$  und in der Drahtdicke  $\delta$  zum Ausdruck kommt.

### 1. Seil nach Reuleaux, an einer Scheibe voll aufliegend

In diesem Falle lassen sich die Kräfte  $P_0$  aus den Laufspuren nach Bild 2 näherungsweise ermitteln, wobei die Rillenweite I oder II der Scheibe und die Schlagart des Seils eine Rolle spielen.

Bezeichnet

- $P_0$  die Kraft, quer auf einen Einzeldraht wirkend
  - $S$  die Zugkraft im Seil
  - $z$  die Anzahl der Litzen des Seils
  - $m$  die Anzahl der Drähte des Seils, wenn alle einander gleich sind
  - $a$  den Abstand der Scheitelpunkte A, B, C usw. der Litzen ( $a = L/z$ )
  - $n$  die Anzahl Berührungspunkte innerhalb der Strecke  $a$
  - $L$  die Schlaglänge der Litzen
  - $D$  den Scheibendurchmesser
  - $d$  den Seildurchmesser
- so wird:

$$(4) \quad P_0 = \frac{2 S a}{n D} = \frac{2 L}{n z D} S$$

Bezüglich  $n$  wird angenommen, dass bei enger Scheibenrille  $P_{0max.}$  gleich einem Mittelwert aus einer gleichmässigen Druckverteilung über die Breite  $d/2$  sei. In diesem Falle wird für Kreuzschlagseile und näherungsweise auch für Gleichschlagseile

$$n \cong \frac{d}{2 \delta}$$

und somit als Mittelwert

$$(4a) \quad P_0 = \frac{4 L}{z d} \frac{\delta}{D} S$$

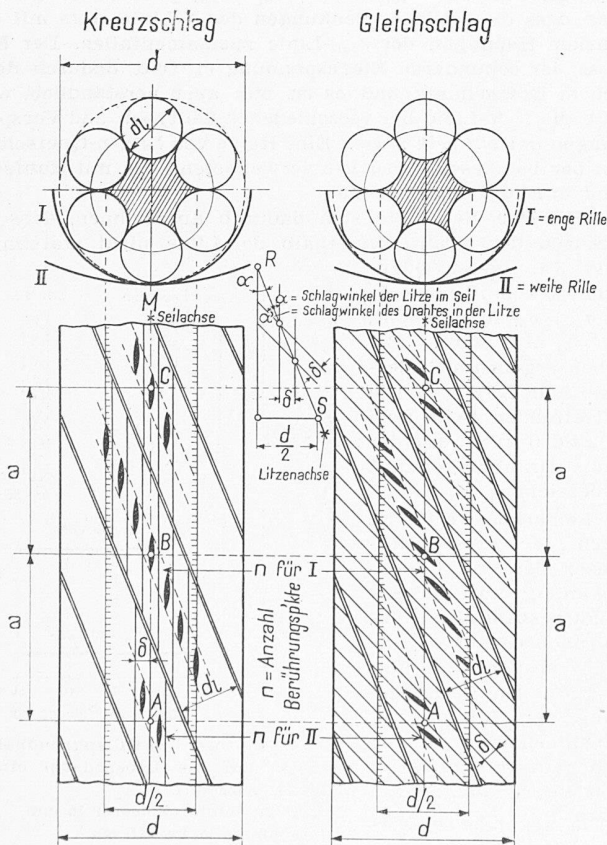


Bild 2. Laufspuren von Litzenseilen

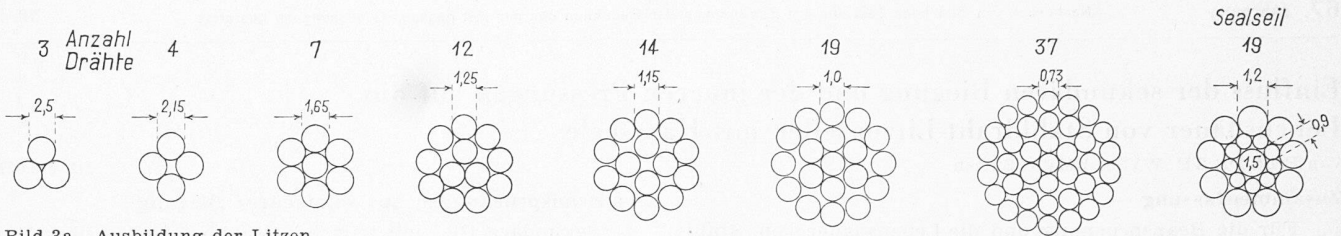


Bild 3a. Ausbildung der Litzen

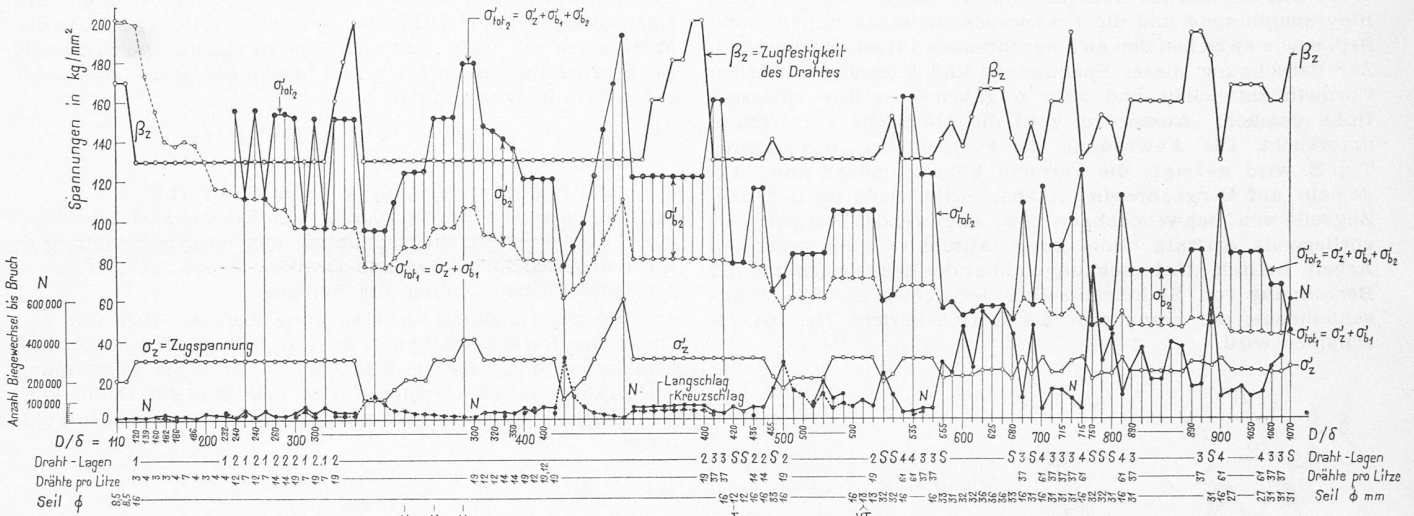


Bild 3. Zusammenstellung der Ergebnisse von Ermüdungsversuchen mit Litzenseilen (Woernle und Herbst, V verzinkt, S Seal, T Trulay)

woraus ferner nach Gl. (3) folgt

$$(5) \quad \sigma_{b_2} = \frac{2,544 L}{\delta \sin \omega d z D} S$$

Bei Drahtseilen aus lauter gleichen Drähten kann die Zugspannung eingeführt werden, so dass bei  $m$  Drähten

$$(6) \quad \sigma_{b_2} = \frac{2 L m}{\sin \omega d z} \frac{\delta}{D} \sigma_z$$

wird.

Daraus ist ersichtlich, dass die sekundäre Biegung  $\sigma_{b_2}$  abhängig ist vom Aufbau des Seils, von der Schlaglänge der Litzen und Drähte, ferner vom Wert  $\delta/D$  und von  $\sigma_z$ . Sie nimmt bei sich vermindender Schlaglänge ab.

Für normale Aufzugsseile wird, wenn z. B.  $L = 7,5 d$ ;  $z = 6$ ;  $\omega = 30^\circ$  gesetzt wird:

$$(6a) \quad m = 6 \times 19 = 114 \text{ Drähte, } \sigma_{b_2} = 570 \sigma_z \delta/D$$

$$(6b) \quad m = 6 \times 37 = 222 \text{ Drähte, } \sigma_{b_2} = 1110 \sigma_z \delta/D$$

$$(6c) \quad m = 6 \times 61 = 366 \text{ Drähte, } \sigma_{b_2} = 1830 \sigma_z \delta/D$$

Für  $L = 8,0 d$  fallen die Werte  $\sigma_{b_2}$  um rd. 6% grösser aus.

Aehnliche Werte können auch bei Bergbahnseilen normaler Schlagart festgestellt werden. Der Schnittwinkel  $\omega$  kann in Wirklichkeit noch bedeutend kleiner sein, so dass in einem solchen Fall die sekundären Spannungen  $\sigma_{b_2}$  eine bedeutende Steigerung erfahren können.

Dass die Spannungen  $\sigma_{b_2}$  eine wesentliche Rolle spielen, ergibt sich aus Bild 3. Darin wurden bei den Ermüdungsversuchen von Seilen verschiedener Ausbildung nach Woernle und Herbst<sup>1)</sup> die Anzahl der Biegewechsel  $N$  bis zur Zerstörung des Seils als Ordinate aufgetragen. Die Seile wurden entsprechend dem Verhältnis  $D/\delta$  angeordnet, wobei sich dieses Verhältnis zwischen 100 und 1070 verändert. Im weiteren wurde die Grösse der Zugspannung  $\sigma_z$  angegeben, sowie diejenige der Zugfestigkeit des Drahtmaterials  $\beta_z$  und die Summe  $\sigma_{tot1} = \sigma_z + \sigma_{b1}$  in  $kg/mm^2$ . Ferner zeigt Bild 3 die Art des Seils (Gleichschlag, Kreuzschlag oder Seal), sowie den Seildurchmesser und den Aufbau der Litzen, hingegen fehlen die Angaben über die Schlaglänge von Litzen und Draht.

Wie ersichtlich verläuft die  $N$ -Linie stark gewellt; ein allgemeiner Zusammenhang zwischen  $D/\delta$  und der Anzahl der Biegewechsel  $N$  bis zum Bruch besteht ohne Berücksichtigung des Seilaufbaues nur in grossen Linien. So ist sehr wohl erkennbar, dass die Zahl  $N$  bei  $D/\delta = 100$  bis 300 sehr

niedrig ist und erst bei grösseren Werten  $D/\delta$  allmählich anwächst. Beachtenswert ist auch der Verlauf von  $\sigma_{tot1}$ : Im Bereich  $D/\delta = 100$  bis 300 ragt  $\sigma_{tot1}$  stellenweise sogar über die Linie  $\beta_z$  der Zugfestigkeiten hinaus. Unter solchen Umständen ist es daher nicht verwunderlich, wenn die  $N$ -Zahlen sehr niedrig ausfallen.

Auf Grund der Beanspruchungen  $\sigma_z + \sigma_{b1}$  allein lassen sich jedoch die starken Wellen der  $N$ - $N$ -Linie nicht erklären. Werden aber die sekundären Biegespannungen  $\sigma_{b2}$  mitberücksichtigt, wird also  $\sigma_{tot2} = \sigma_z + \sigma_{b1} + \sigma_{b2}$  gebildet, so erkennt man, dass die örtlichen Senkungen der  $N$ -Linie stets mit den starken Hebungen der  $\sigma_{tot2}$ -Linie zusammenfallen. Der Einfluss der sekundären Biegespannung  $\sigma_{b2}$  tritt dadurch deutlich in Erscheinung und es ist nun auch verständlich, weshalb die  $N$ - $N$ -Linie bei verschiedenen Seiltypen und Vorspannungen gewellt sein muss. Eine Reihe von Litzen-Querschnitten der bei diesen Versuchen verwendeten Seile mit Hanfseile sind in Bild 3 eingezeichnet.

Für Seal-Seile, die sich dadurch auszeichnen, dass ein Kreuzen der Drähte innerhalb der Litze nicht stattfindet, Bild 3a, letzter Querschnitt, kommt nur  $\sigma_{tot1} = \sigma_z + \sigma_{b1}$  in Betracht, da  $\sigma_{b2} = 0$  wird. Bei ihnen ergeben sich deshalb hohe  $N$ -Werte. Die betreffenden Seile sind in Bild 3 unten auf der Linie «Draht-Lagen» mit  $S$  bezeichnet.

Bemerkenswert ist auch der grosse Einfluss, den die Längsspannung auf die Ermüdungszahl  $N$  ausübt, da nach Gl. (6)  $\sigma_{b2}$  direkt proportional mit  $\sigma_z$  geht. Die Verminderung der Zahl  $N$  mit zunehmendem  $\sigma_z$  findet daher auf einfache Weise ihre Begründung.

Die sekundären Biegespannungen  $\sigma_{b2}$  werden bei weiter Rille der

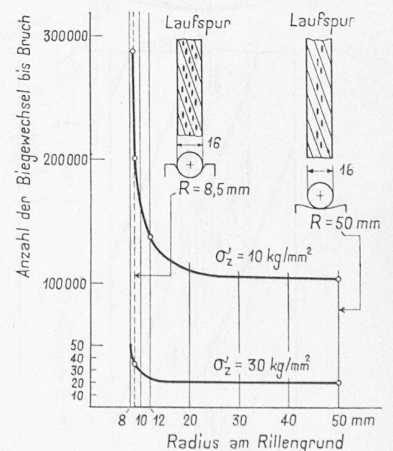


Bild 4. Einfluss des Rillengrundhalbmessers auf die Lebensdauer eines Kreuzschlageiles. Normaler Seildurchmesser 16 mm, Querschnittsfläche 89,5 mm², 114 Drähte,  $\phi$  1 mm,  $\beta_z = 130 kg/mm^2$ , Scheibendurchmesser 400 mm

<sup>1)</sup> Z. VDI 1929 bis 1934 und «Glückauf» 1938.

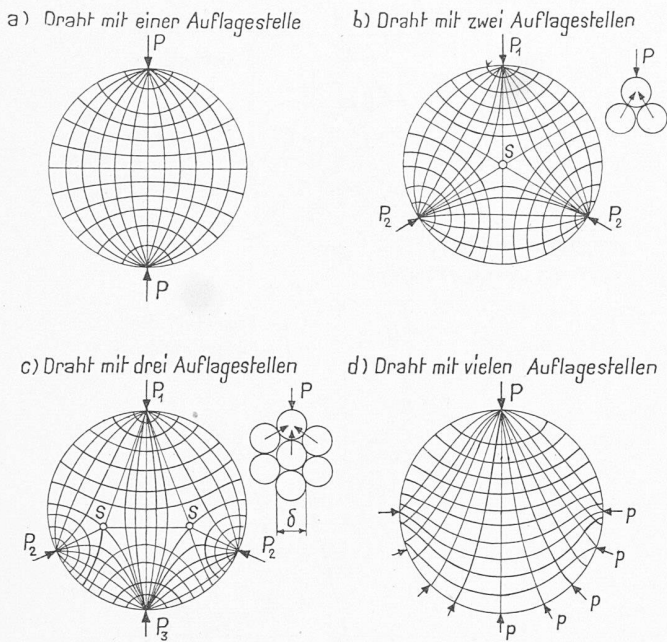


Bild 5. Kraftfelder im Drahtquerschnitt

Scheibe ganz wesentlich ungünstiger, weil dadurch die Zahl der Berührungspunkte stark herabgesetzt und demnach  $P_0$  vergrößert wird. Dies kommt z. B. in Bild 4 zum Ausdruck, wo die Resultate einiger Versuche von Woerle<sup>2)</sup> mit Kreuzschlagseilen von 16 mm Durchmesser und enger, sowie weiter Rille der Scheibe dargestellt sind. Auch der Einfluss der verstärkten Vorbelastung von  $\sigma_z = 30 \text{ kg/mm}^2$  auf die Anzahl der Biegewechsel bis zum Bruch geht aus der wesentlich tieferen Lage dieser Kurve im Vergleich zu derjenigen von  $\sigma_z = 10 \text{ kg/mm}^2$  deutlich hervor.

Aus Bild 3 ist ferner ersichtlich, dass auch bei den Seal-Seilen trotz  $\sigma_{b_2} = 0$  noch wesentliche Streuungen in den  $N$ -Werten auftreten können. Es liegt dies in erster Linie an den Pressungen längs den sich berührenden Litzen; hierauf soll im folgenden Abschnitt eingegangen werden. Im weiteren muss hervorgehoben werden, dass die vorgehend aufgeführten Werte  $\sigma_{b_2}$  nur als Näherung anzusehen sind; mit ihnen soll der Einfluss gezeigt werden, den sie auf die Lebensdauer normaler Stahldrahtseile ausüben können.

2. Seil nach Isaachsen, durch eine Rolle quer beansprucht

Diese Belastungsart kommt z. B. bei Standseilbahnen über den Rollen der Ausweichstellen vor. Hierbei verteilt sich der Querdruck  $Q$  an ungünstigster Stelle auf zwei, event. drei Drähte und es wird der Druck pro Draht  $P_0 \sim Q/2$ . Als sekundäre Biegung ergibt sich aus Gl. (3)

$$(7) \quad \sigma_{b_2} = 0,32 \frac{Q}{\delta^2 \sin \omega}$$

wobei  $Q$  den Rollendruck,  $\delta$  den Drahtdurchmesser und  $\omega$  den Schnittwinkel der zwei äussersten Drahtlagen bedeutet.

Für einen Querdruck von 100 kg,  $\omega = 30^\circ$  und Umfangdrähte von 3,5 mm Durchmesser wird z. B.  $\sigma_{b_2} = 5,25 \text{ kg}$  pro  $\text{mm}^2$ . Bei der Verwendung von Seal-Seilen wird  $\sigma_{b_2}$  auch hier gleich null.

<sup>2)</sup> Z. VDI 1930, S. 185.

$$V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = V_5 = V_6$$

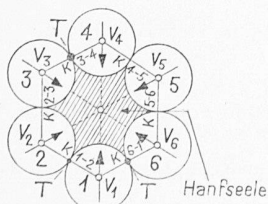


Bild 6a. An freier Stelle

Kraftfeld an einem gespannten Litzenseil

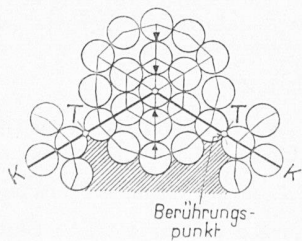


Bild 6b. Detail an einer Litze

B) Beanspruchung aus innerer Pressung

Das Problem der Pressungen im Innern des Stahldrahtseils soll auf zwei Sonderfälle beschränkt werden<sup>3)</sup>.

1. Kraftfelder im Drahtquerschnitt

Ueber die Hauptspannungsfelder in seitlich gepressten Drähten kann man sich an Hand von entsprechend belasteten Scheiben näherungsweise ein Bild machen. In Bild 5a ist das Hauptspannungsfeld einer kreisrunden Scheibe dargestellt, an der zwei gleich grosse, einander entgegenwirkende Kräfte  $P$  zur Wirkung kommen. Dieses Bild dürfte ähnlich sein dem Mittelschnitt durch das Feld eines Drahtes mit zwei einander gegenüber liegenden Belastungspunkten, charakterisiert dadurch, dass sämtliche Druckkraftlinien, die von einem Kraftangriffspunkt  $P$  ausgehen, in den Gegenpunkt einmünden.

Bild 5b kann näherungsweise als Mittelschnitt eines durch  $P_1$  belasteten Drahtes aufgefasst werden, der auf zwei und in Bild 5c auf drei benachbarten Drähten aufliegt. In Bild 5d würden es viele auf der Unterseite des Drahtes befindliche Auflagestellen sein. Man sieht daraus, wie jeder Einzelpunkt  $P$  ein bestimmtes lokales Feld zukommt, das sich durch Grenzlinien und singuläre Punkte abgrenzen lässt. Die Felder a, b und d wurden an Scheiben mit Hilfe photoelastischer Versuche ermittelt, das Feld 5c hingegen aus den Grenzfällen b und d vom Verfasser abgeleitet. Alle diese Bilder sind als Näherungen aufzufassen; die wirklichen räumlichen Hauptspannungsfelder der Drähte im Seilverband dürften noch wesentlich komplizierter sein.

2. Kraftfeld im gespannten Litzenseil aus Zug

a) Kraftfeld aus axialem Zug

Wird ein Litzenseil mit Hanfseele durch axialen Zug beansprucht, so haben sämtliche Litzen das Bestreben, sich gerade zu richten, was eine Bewegung in radialer Richtung nach dem Zentrum zu erzeugt. Infolge gegenseitiger Hinderung der Litzen entstehen die radialen Kräfte  $V$  und das Sechseck, bestehend aus den Druckkraftlinien  $K$  (Bilder 6 und 8). Da sich im Zentrum nur die Hanfseele befindet, so müssen die Kräfte  $V$  und  $K$  miteinander im Gleichgewicht sein.

Aehnliche Zusammenhänge zeigen sich auch bei der einzelnen Litze, wobei als Drucklinien Vielecke entstehen, die von der Anzahl der pro Lage vorkommenden Drähte abhängen. Von einzelnen Eckpunkten der Druckvielecke streben ferner radiale Drucklinien nach dem Zentrum zu. Beachtenswert sind die Punkte  $T$ , in denen sich die einzelnen Litzen berühren und wo die Drucklinie  $K$  hindurchgeht, Bild 6b. Ist die Druckkraft  $K$  zu gross, so entstehen an diesen Stellen unter Umständen starke Einpressungen (Bild 7). Es handelt sich hierbei um ein Abspannseil von 33 mm Durchmesser einer Schwebebahn, bestehend aus acht Litzen nach Seal-Konstruktion und einer Hanfseele. Die Aussendrähte weisen einen Durchmesser von 1,8 mm auf. Das Seil zeigt zahlreiche Drahtbrüche infolge zu starker Zugbeanspruchung und zu kleiner Scheibe an der Aussenseite. Bemerkenswert sind jedoch auch die ganz ausserordentlich tiefen Einpressungen an den Berührungstellen einzelner Litzen mit davon ausgehenden Brüchen (Punkte  $T$  in Bild 6b). Daraus geht hervor, dass bei Seal-Seilen Misserfolge unter Umständen auf diese Ursache zurückzuführen sind. Die nähere Betrachtung der Einpressungen zeigt, dass sie nach Bild 10c angeordnet sind, wobei die Stellen  $B, B'$  usw. deutlich hervortreten.

b) Ermittlung der Kräfte  $V, K$  und  $P_0$  an den Berührungstellen zweier Litzen aus axialer Zugkraft

Diese Kräfte sowie die Pressdrücke können näherungsweise graphisch, Bild 8, oder rechnerisch ermittelt werden, wobei ein Seil mit sechs Litzen nach Bild 8a als Beispiel gewählt wird; die nachfolgende Herleitung ist jedoch allgemein gehalten. Die Linie  $A-B-C-D-C'$  stellt die Projektion der Mittellinie einer Litze dar, Bild 8b. Daraus lässt sich  $V$  angenähert aus der Scheitelzone  $C-D-C'$  (Bild 8a und 8d) ermitteln, wenn die Mittellinie als Schraubenlinie mit einer bestimmten Ganghöhe aufgefasst wird. Ist

- $S$  die Zugkraft im Seil,
- $S'$  die Zugkraft der Litze,
- $L$  die Schlaglänge der Litze (z. B. 7,5 bis 8,0  $d$ ),
- $z$  die Anzahl der Litzen im Seil,

<sup>3)</sup> Weitere Fälle werden im eingangs erwähnten EMPA-Bericht Nr. 166 behandelt.

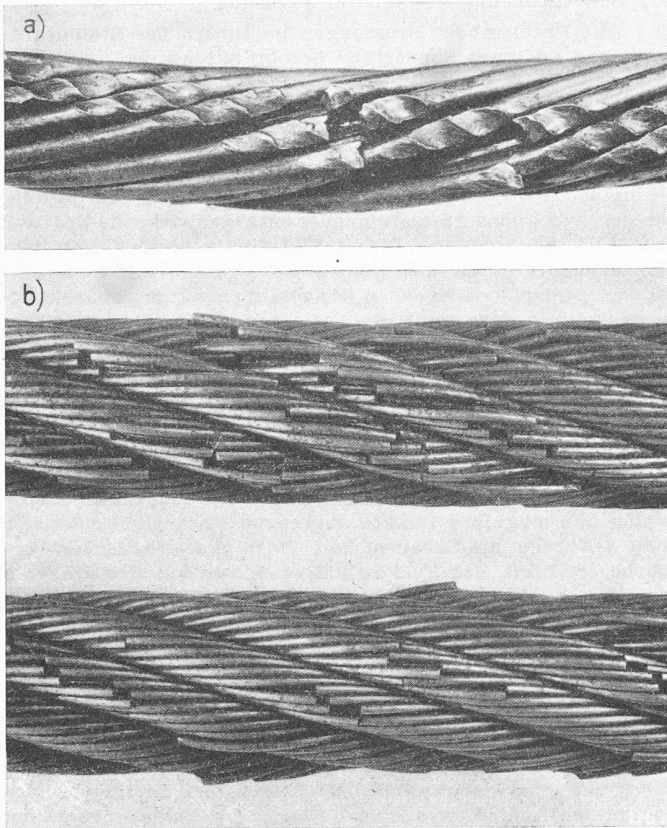


Bild 7. Starke lokale Einpressungen an den Litzen eines Abspannseiles von 33 mm Seildurchmesser, Sealkonstruktion. a) Innenseite einer Litze; b) Ansicht des ganzen Seils mit vielen Ermüdungsbrüchen

$d$  der Seil- und  $d_l$  der Litzendurchmesser,  
 $\alpha$  der Neigungswinkel der Litze zur Seilaxe (Schlagwinkel der Litze),  
 $r$  der Krümmungsradius in der Schmiegungeebene der Schraubenlinie der Litze bei D,  
 so wird nach Bild 8 c

$$S' = \frac{S}{z \cos \alpha}$$

und aus Bild 8 d folgt

$$dV^* = S' \cdot d\beta = \frac{S'}{r} \cdot ds$$

somit

$$V = \frac{dV^*}{ds} = \frac{S'}{r}$$

Aus der Schraubenlinie folgt ferner:

$$(8a) \quad r = \frac{(d - d_l)}{2 \sin^2 \alpha}$$

$$(8b) \quad \sin \alpha = \frac{\pi (d - d_l)}{\sqrt{L^2 + \pi^2 (d - d_l)^2}}$$

$$\cos \alpha = \frac{L}{\sqrt{L^2 + \pi^2 (d - d_l)^2}}$$

Demnach wird bezüglich Längeneinheit

$$(8c) \quad V = \frac{2 \sin \alpha \operatorname{tg} \alpha}{z (d - d_l)} S$$

oder, wenn  $\sin \alpha$  und  $\operatorname{tg} \alpha$  durch die Abmessungen des Seils ersetzt werden:

$$(8) \quad V = \frac{2 \pi^2 (d - d_l)}{z L \sqrt{L^2 + \pi^2 (d - d_l)^2}} S$$

Die Druckkraft im Berührungspunkt B oder B', Bild 10 c, zweier Litzen ist

$$(9) \quad P_0 = \frac{a'}{2} K, \text{ wobei}$$

$$(9a) \quad K = \frac{V}{2 \cos \gamma}; \quad \gamma = \frac{z-2}{z} 90^\circ \text{ und}$$

$$(9b) \quad a' = \frac{\delta}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{\delta}{\sin \alpha'}$$

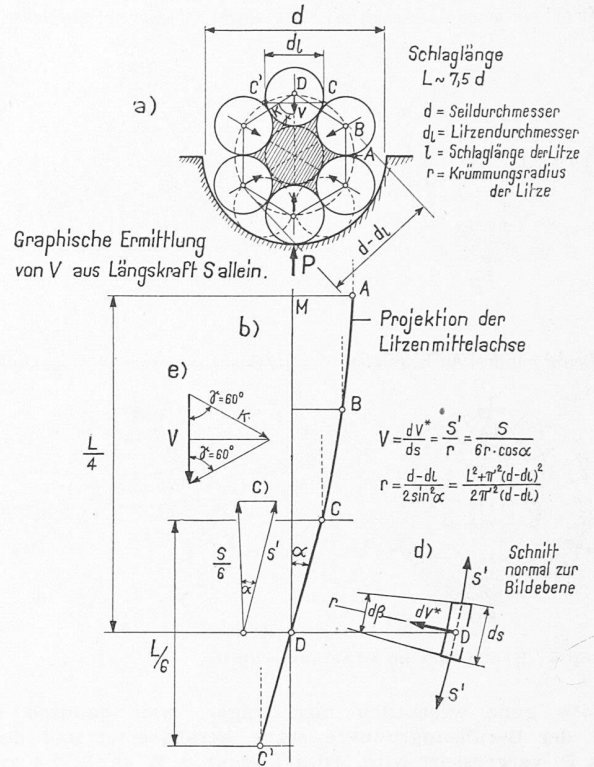


Bild 8. Litzenseil in Treibscheibe

Für die Punkte C und A' würde die Druckkraft nur halb so gross sein wie in B. Siehe auch Bild 7.

Zwischen Draht und Litze treten analoge Zusammenhänge auf, wie zwischen Litze und Seil. Demnach ist wie in Bild 8 für die Litze:

$L'$  die Schlaglänge der Umfangsdrahte,  
 $a'$  der Abstand der Scheitelpunkte der Einzeldrahte, Bild 10 c,  
 $\alpha'$  der Winkel zwischen Draht- und Litzennaxe, Bild 10 c,  
 $z'$  die Anzahl der Umfangsdrahte,  
 $r'$  der Krümmungsradius des Drahtes in der Schmiegungeebene,  
 $d_l$  der Litzendurchmesser,  
 $\delta$  der Drahtdurchmesser.

Daraus folgt nach Bild 10 c:

$$a' = \frac{L'}{z'} = \frac{\delta}{\sin \alpha'}$$

ferner ist

$$\sin \alpha' = \frac{\pi (d_l - \delta)}{\sqrt{L'^2 + \pi^2 (d_l - \delta)^2}}$$

$$\cos \alpha' = \frac{L'}{\sqrt{L'^2 + \pi^2 (d_l - \delta)^2}}$$

$$(9c) \quad r' = \frac{(d_l - \delta)}{2 \sin^2 \alpha'}$$

wobei die zusätzliche, von der gewundenen Litze herrührende Krümmung vernachlässigt wird.

Aus Gl. (9), (9a) und (9b) folgt

$$P_0 = \frac{\delta}{2 \sin \alpha'} \frac{V}{2 \cos \gamma}$$

und nach Gl. (8c) wird

$$(9d) \quad P_0 = \frac{\delta}{2 \sin \alpha'} \frac{\sin \alpha \operatorname{tg} \alpha}{z \cos \gamma (d - d_l)} S$$

Für  $\sin \alpha'$ ,  $\sin \alpha$ ,  $\operatorname{tg} \alpha$  und  $\cos \gamma$  können auch die Abmessungen des Seilaufbaues eingesetzt werden.

Im Falle, dass  $\alpha' \sim \alpha$ , vereinfacht sich Gl. (9d) zu

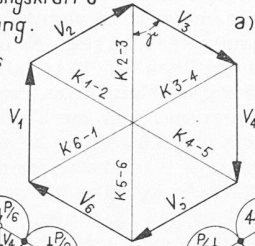
$$(9e) \quad P_0 = \frac{\pi \delta}{2 z \cos \gamma L} S$$

Für das Seil mit sechs Litzen und einer Schlaglänge der Litze  $L = 7,5 d$  wird  $z = 6$ ,  $\alpha = 15^\circ 40'$ ,  $\gamma = 60^\circ$ ,  $d - d_l = \frac{2}{3} d$ ; ferner ist unter Voraussetzung des entsprechenden Aufbaues der Litze  $\alpha' = \alpha$ . Dann folgt nach Gl. (8c) und (9a)

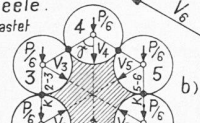
$$(10a) \quad V = K = \frac{1}{26,5 d} S$$

A. Kräfteplan aus Längskraft  $S$  ohne Querbelastung.

$$V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = V_5 = V_6$$



B. Litzenseil mit Hanfseele quer belastet

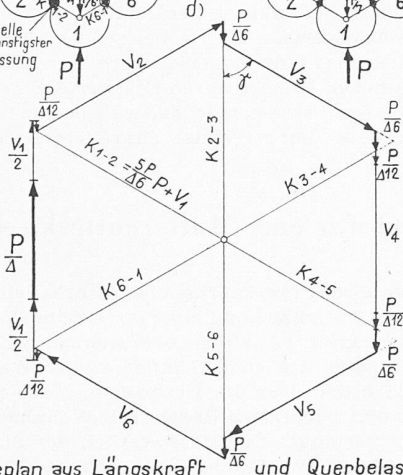


D. Litzenseil mit Stahlseele quer belastet



C. Kräfteplan aus Längskraft  $S$  und Querbelastung.

Bild 9. Kraftverhältnisse im querbelasteten Litzenseil



und die Druckkraft pro Draht an der Berührungsstelle zweier Litzen aus axialer Zugkraft  $S$  nach Gl. 9e:

$$(10) \quad P_0 = \frac{1}{14,3} \frac{\delta}{d} S$$

3. Kraftfeld im quer belasteten Litzenseil und Druckkräfte an den Berührungsstellen zwischen zwei Litzen

a) Wirkung einer Einzelkraft  $P$  nach Isaachsen

Kommt für den ungünstigsten Fall nach Bild 9 eine Querbelastung  $P$  zur Geltung, so kann angenommen werden, dass beim Seil mit  $z$  Litzen jeder Litze eine Belastung  $P/z$  zukommt, die im Mittelpunkt der Litze angreift. Ausserdem kommen auch noch die Kräfte  $V$  und  $K$  aus der Zugkraft  $S$  zur Geltung. Es entsteht ein  $z$ -Eck der  $K$ -Kräfte, Bild 9b, wie sich dies in vereinfachter Weise beim gespannten Seil ohne Querbelastung. Bild 9a, ergibt.

Ueber die Verteilung der seitlichen Pressungen längs der Litze aus der Kraft  $P$  muss eine Annahme gemacht werden. Sie werden im Bereich der Angriffstelle am grössten sein und in der Längsrichtung nach beiden Seiten abklingen. Zur Erfassung der Spitzenwerte wird angenommen, dass sich die Pressung aus  $P$  längs der Berührungslinie der in Betracht kommenden Litze gleichmässig über eine Länge  $\Delta$  verteilt, die gleich dem Litzendurchmesser  $d_l$  angenommen wird.

Die grössten Drücke im Punkt T (Bild 6b), kommen bei derjenigen Litze vor, die durch die Kraft  $P$  direkt belastet wird. Diese hat bei einem Seil mit  $z$ -Litzen eine Kraft  $P' = P(z-1)/z$  seitlich zu übertragen. Zur Kombination mit  $V$  aus der Seilkraft  $S$  muss  $P'$  auf die Längeneinheit umgerechnet werden, so dass sich ergibt:

$$(11) \quad K_{1-2} = \left\{ \frac{(z-1)P}{z\Delta} + V \right\} \frac{1}{2 \cos \gamma}$$

und nach Gl. (9, 9a und 9b) wird die Druckkraft an der Berührungsstelle zweier Litzen

$$(11a) \quad P_0 = K_{1-2} \frac{\delta}{2 \sin \alpha'}$$

Oder, wenn für  $V$  nach Gl. (8c) die Seilkraft  $S$  eingesetzt wird:

$$(12) \quad P_0 = \frac{\delta}{4 \sin \alpha' \cos \gamma} \left\{ \frac{(z-1)P}{z\Delta} + \frac{2 \sin \alpha \operatorname{tg} \alpha}{z(d-d_l)} S \right\}$$

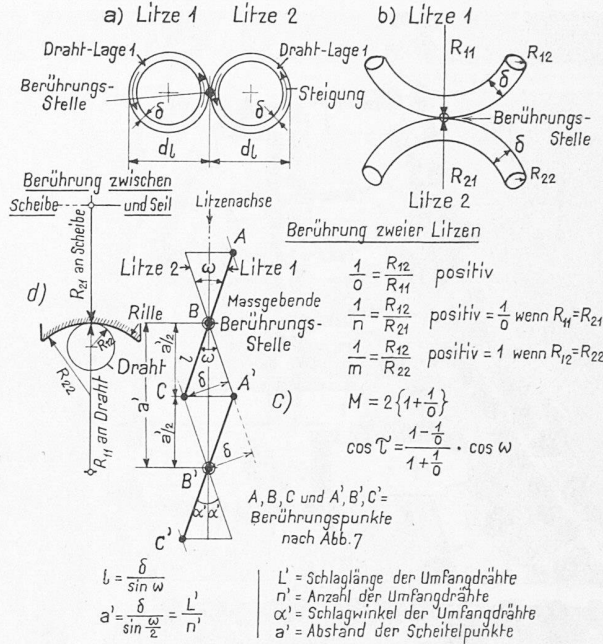


Bild 10. Krümmungsverhältnisse an einem Litzenseil

Für ein Seil mit sechs Litzen und einer Schlaglänge  $L = 7,5d$  wird  $z = 6$ ,  $\alpha = 15^\circ 40'$ ,  $\gamma = 60^\circ$  und  $\alpha' = \alpha$  unter Voraussetzung eines entsprechenden Aufbaues der Litze. Ferner ist  $(d-d_l) = 2d/3$  und  $\Delta = d_l = d/3$ . Damit wird

$$(13) \quad P_0 = \left\{ \frac{66P + S}{14,3} \right\} \frac{\delta}{d}$$

Wird angenommen,  $P_{0 \max}$  ergebe sich aus einer gleichmässigen Verteilung des Druckes längs einer Strecke  $\Delta = d$ , so wird

$$(14) \quad P_0 = \left\{ \frac{22P + S}{14,3} \right\} \frac{\delta}{d}$$

Hierbei ist

- $P_0$  = Druckkraft pro Draht zwischen zwei sich berührenden Litzen,
- $P$  = Rollendruck = Einzelkraft nach Isaachsen,
- $S$  = Zugkraft im Seil,
- $\delta$  = Drahtdurchmesser der Umfangsdrahte,
- $d$  = Seildurchmesser.

Wenn sich der Rollendruck  $P$  im Gegensatz zu Bild 9b auf zwei oder drei Litzen verteilt, tritt für  $P_0$  eine entsprechende Ermässigung ein.

b) Aufliegen auf der Treibscheibe nach Releaux

Nach Gl. (4) wirkt pro Scheitelpunkt der Litze die Kraft

$$(4b) \quad P = 2aS/D$$

Je nach Ausbildung der Rille der Scheibe kann die örtliche Verteilung der Pressung aus der Kraft  $P$  längs den sich berührenden Litzen verschieden sein. Bei genau passender Rille dürfte sich diese Pressung über die ganze Länge gleichmässig verteilen, d. h. auf die Länge  $\Delta = a = L/z$ ; bei stark offener Rille dagegen dürfte sich der grösste Seitendruck als Mittelwert aus einer gleichmässigen Verteilung über  $\Delta = d/3$  ergeben.

$\alpha$ . Im Falle genau passender Rille wird somit nach Gl. (11), (4b) und (8c)

$$K_{12} = \frac{1}{2 \cos \gamma} \left\{ \frac{(z-1) 2S}{z} \frac{1}{D} + \frac{2 \sin \alpha \operatorname{tg} \alpha}{z(d-d_l)} S \right\}$$

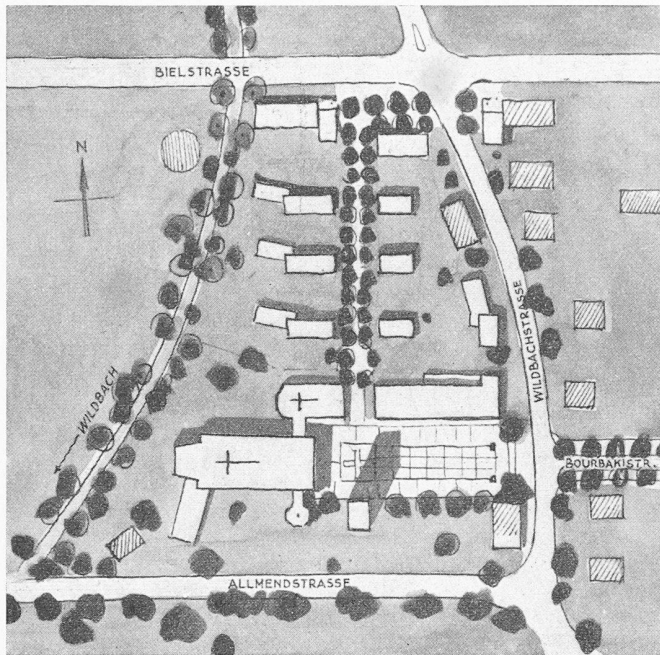
$$K_{12} = \frac{S}{z \cos \gamma} \left\{ \frac{z-1}{D} + \frac{\sin \alpha \operatorname{tg} \alpha}{(d-d_l)} \right\}$$

und nach Gl. (11a):

$$(15) \quad P_0 = \frac{S \delta}{z 2 \sin \alpha' \cos \gamma} \left\{ \frac{z-1}{D} + \frac{\sin \alpha \operatorname{tg} \alpha}{(d-d_l)} \right\}$$

Für das Seil mit sechs Litzen und der Schlaglänge  $L = 7,5d$  wird, wenn  $\alpha' = \alpha$  und  $z = 6$

$$(15a) \quad P_0 = S \delta \left\{ \frac{3,1}{D} + \frac{1}{14,3 d} \right\}$$



1. Preis, Lageplan 1 : 2500

β. Im Falle einer sehr weiten Rille wird

$$K_{12} = \frac{S}{z \cos \gamma} \left\{ \frac{3(z-1)a}{Dd} + \frac{\sin \alpha \operatorname{tg} \alpha}{(d-d_1)} \right\}$$

und nach Gl. (11 a):

$$(16) \quad P_0 = \frac{S \delta}{z^2 \sin \alpha' \cos \gamma} \left\{ \frac{3(z-1)a}{Dd} + \frac{\sin \alpha \operatorname{tg} \alpha}{(d-d_1)} \right\}$$

Für das Seil mit sechs Litzen und der Schlaglänge  $L = 7,5d$  wird in diesem Fall, wenn  $\alpha' = \alpha$ :

$$(16a) \quad P_0 = S \delta \left\{ \frac{11,5}{D} + \frac{1}{14,3d} \right\}$$

Hierbei ist

$P_0$  = Druckkraft pro Draht zwischen zwei sich berührenden Litzen,

$S$  = Zugkraft im Seil,

$D$  = Scheibendurchmesser,

$d$  = Seildurchmesser.

Die wesentliche Steigerung von  $P_0$  bei sehr weiter Rille der Scheibe geht aus dem Vergleich der Gl. (15a) mit Gl. (16a) deutlich hervor. (Fortsetzung folgt)

## Rentabilität thermisch isolierender Oberlichtgläser

DK 666.247

Von Dipl. Arch. E. WUHRMANN, S. I. A., Zürich

Im Hinblick auf die seit 1939 beträchtlich gestiegenen Heizmaterialpreise dürfte es von Interesse sein, die Wirtschaftlichkeit thermisch isolierender Oberlichtgläser zu untersuchen. Zum Vergleich seien einerseits das übliche Drahtglas und andererseits das thermisch isolierende Isolux-Verbundglas<sup>1)</sup> in teuerster Ausführung herangezogen. Die Durchschnittspreise betragen für das Drahtglas 16 Fr./m<sup>2</sup>, für das Isolux-Verbundglas 40 Fr./m<sup>2</sup>, frei Baustelle, die Wärmedurchgangszahlen des Drahtglases  $k = 4,93 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ \text{C}$ , die des Isolux-Verbundglases  $k = 2,12 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ \text{C}$ . Bei einer Heizperiode von 200 Tagen und einem durchschnittlichen Temperaturgefälle von 15° C (also 3000 Gradtagen, wie das in Zürich bei 18° Innentemperatur und 12° Heizgrenze der Fall ist), beträgt die jährliche Wärmeersparnis  $(4,93 - 2,12) \cdot 24 \cdot 3000 = 202\,320 \text{ kcal/m}^2$  Oberlichtverglasung. Bei einem Heizwert des Koks von 7000 kcal/kg und einem mittleren Wirkungsgrad von 65% ergibt sich eine Kokersparnis von  $202\,320/7000 \cdot 0,65 = 45,6 \text{ kg/m}^2$ . Bei einem Kokspreis (samt Zufuhr und Lagerung) von 150 Fr./t folgt daraus die jährliche Ersparnis an Heizmaterialkosten zu 6,84 Fr./m<sup>2</sup> Oberlichtverglasung.

<sup>1)</sup> Beschrieben in SBZ Bd. 125, S. 303\* (29. Dezember 1945).

Die Mehrkosten des thermisch isolierenden Isolux-Verbundglases von 24 Fr./m<sup>2</sup> werden somit in 3,5 Jahren durch die Heizkostensparnisse getilgt sein. Nimmt man statt eines mittleren Temperaturgefälles von 15° C ein solches von 20° C an, so steigen die jährlichen Heizkostensparnisse auf 9,12 Fr. pro m<sup>2</sup> Oberlichtverglasung, und die Tilgungszeit der Mehrkosten ermässigt sich auf 2,6 Jahre. Bei einem Temperaturgefälle von im Mittel nur 10° C betragen die jährlichen Heizkostensparnisse 4,56 Fr./m<sup>2</sup> Oberlichtverglasung und die Tilgungszeit der Mehrkosten rd. 5,2 Jahre. (Der Zinsverlust kann bei diesen Kalkulationen vernachlässigt werden.)

Berechnungen auf Grund anderer thermisch isolierender Gläser zeitigen ähnliche Ergebnisse. Für andere Heizmaterialien bleiben die prozentualen Ersparnisse die selben. Nur die Tilgungszeiten der Mehrkosten ändern im Verhältnis der Kosten des Heizmaterials. Man erkennt, dass sich die Mehrkosten thermisch isolierender Oberlichtgläser selbst bei verhältnismässig hohen Preisen durch Ersparnisse an Heizkosten in wenigen Jahren bezahlt machen, während die weiter laufenden Ersparnisse der folgenden Jahre einen Gewinn darstellen.

## Wettbewerb für eine Muttergotteskirche in Solothurn

DK 726.5(494.32)

Ausser der Kirche mit Taufkapelle, Altarkapelle und Turm gehört auch ein Pfarrhaus und ein Pfarreiheim (Vereinshaus) zum Raumprogramm. Aus dem obenstehenden Lageplan ist das zur Verfügung stehende Gelände in der Weststadt von Solothurn ersichtlich; für die Ueberbauung des für die Kirchzwecke nicht benötigten Bodens mit Wohnhäusern wurde ein Vorschlag verlangt. Das nordwestlich der Strassenkreuzung Allmendstrasse/Wildbachstrasse stehende Wohnhaus gehört der Kirchengemeinde und war beizubehalten. Als Baustapen wurden vorgeschrieben: Kirche mit oder ohne Turm, Pfarrhaus, Vereinshaus. Sechs eingeladene Teilnehmer.

### Aus dem Bericht des Preisgerichtes

Es sind sechs Projekte eingegangen. Die Vorprüfung hat einige Mängel gezeigt, die aber auf Grund einer einlässlichen Besprechung keinen Anlass zum Ausschluss eines Projektes ergeben. In einem ersten und einem zweiten Rundgang wird je ein Entwurf ausgeschieden. Die verbleibenden Projekte werden wie folgt besprochen:

#### Erster Preis, Josef Schütz, Zürich

Der durch die bestehende Bebauung längs der Bourbakistrasse geschaffene architektonische Raum wird von der neuen Kirchenanlage in überzeugender Weise aufgenommen und durch die Kirche selbst abgeschlossen. Die erstrebte Verbindung mit dem projektierten Schulhaus durch eine Grünanlage ist wohl überlegt, der monumentale Vorplatz aber etwas zu aufwendig.

Der Abstand zwischen Kapelle und Saalbau ist zu gering. Die unmotiviert Lage des Pflanzenraumes beeinträchtigt die gute Verbindung Sakristei — Chor. Die Anordnung des Ministrantenraumes im Erdgeschoss ist unzulässig. Die Trennung der Orgel in zwei Teile, die Glasfront der Eingangswand flankierend, ist nachteilig.

Die Mittelgänge im Pfarrhaus sind ohne Licht und Luft. Die winklige und schlauchartige Anordnung von Zugang und Garderobe des Pfarreisaales ist unbefriedigend. Es führen drei Eingangssachsen in den kleinen und nur eine in den grossen Saal.

Die Baukörper sind gut gegeneinander abgewogen. Die fein empfundene architektonische Behandlung der Fassaden erstreckt



1. Preis. Ostfassade von Turm, Kirche und Altarkapelle 1 : 600