

# En neues Kriterium für die Berechnung von Drahtseilen

Autor(en): **Bosch, M. ten**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **127/128 (1946)**

Heft 19

PDF erstellt am: **20.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-83931>

## **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.

# Ein neues Kriterium für die Berechnung von Drahtseilen

Von Prof. M. ten BOSCH, E. T. H., Zürich

## Zusammenfassung:

Es ist interessant, aus den nach längerer Unterbrechung wieder eintreffenden amerikanischen Zeitschriften zu lesen, welche Probleme dort behandelt und welche Fortschritte inzwischen erreicht wurden. Das neue Kriterium für die Berechnung der Lebensdauer von Drahtseilen zeigt neue Wege mit einem bemerkenswerten Ergebnis, die eine Lockerung der veralteten Vorschriften nahe legen.

\*

Für die Berechnung eines Seiles sind die ungünstigsten Betriebsbedingungen massgebend, die je nach dem Verwendungszweck (laufende oder stehende Seile) und je nach den atmosphärischen Verhältnissen (Rost- oder Vereisungsgefahr) sehr verschieden sein können. Die Betriebsbedingungen fordern im allgemeinen, dass der Seilbruch mit genügender Sicherheit vermieden wird. Vereinzelt, wie z. B. bei Fernleitungen für die Elektrizitäts-Versorgung, muss die viel strengere Bedingung erfüllt werden, dass die Formänderungen elastisch bleiben.

Ueberblickt man seine Lebensgeschichte, so erkennt man im Seil einen Maschinenteil, der schon bei der Herstellung erheblich beansprucht wird. Betriebsmässig kommen Zug- und Biegebeanspruchungen hinzu, die im Verhältnis zu denen, die man normalerweise den meisten andern Maschinenteilen zumutet, viel grösser sind. Gleichzeitig mit den Zug- und Biegespannungen treten an den Berührungsstellen der Drähte bedeutende Druckspannungen auf, verbunden mit einer gleitenden Bewegung. Drahtbrüche in der Nähe der Befestigung von Förder-, Trag- und Zugseilen, also an Stellen, die nicht über eine Scheibe laufen, weisen auf Seilschwingungen hin, die beim Anlauf, Bremsen oder durch Wind entstehen. Die so verursachten, sehr grossen Zugspannungen im Seil machen sich besonders schädlich bemerkbar bei den Flächenpressungen zwischen Draht und Unterlage und zwischen den Drähten. Durch Klemmwirkung in den keilförmigen Rillen der Treibscheiben wird die Flächenpressung erheblich gesteigert. Die wellige Form der Litzenseile hat zur Folge, dass die Tragwirkung zwischen Draht und Unterlage eines Tragseiles plötzlich von einem Draht auf einen folgenden übergeht, wodurch das Seil Schlagwirkungen von hoher Frequenz erleidet.

Bei dieser Vielseitigkeit der möglichen Betriebsbelastungen kann nicht immer mit Sicherheit gesagt werden, welche Belastungen die eigentlichen Bruchursachen sind. Bei den genormten Kranseilen mit gleichdicken Drähten (Kreuz- und Gleichschlag) wird der Drahtbruch durch die Flächenpressung und Einkerbung an den Gleitstellen der Drähte eingeleitet, und durch Wechselbiegung beschleunigt. Die Parallelschlagseile gehen hauptsächlich durch Wechselbiegung zugrunde. In den keilförmigen Rillen der Treibscheiben sind die Flächenpressungen am gefährlichsten. Bei den langen Förderseilen scheinen die Schwingungen die Hauptursachen der ersten Drahtbrüche zu sein. Herbst [1]<sup>1)</sup> berichtet über Drahtbrüche, die in der Mitte zwischen zwei gegenüberliegenden Berührungsstellen liegen und aus deren Lage man auf das Auftreten einer andern Art Biegebeanspruchung schliessen muss.

<sup>1)</sup> Die Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf das Schrifttumverzeichnis am Schluss.

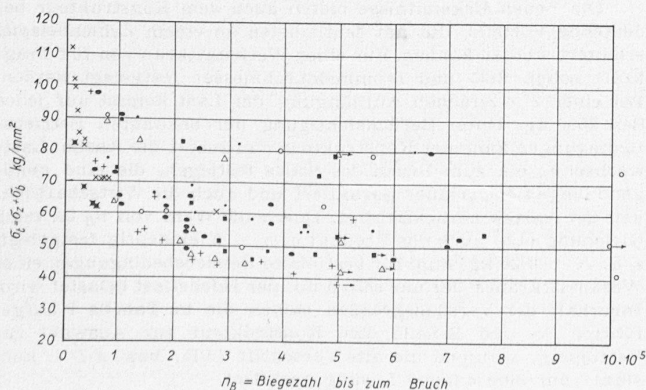


Bild 1. Zwischen der grössten Betriebsbeanspruchung  $\sigma_t$  und der Biegezahl bis zum Bruch  $n_B$  (Lebensdauer) besteht kein gesetzmässiger Zusammenhang (nach Drucker und Tachau [6])

Aus der Vielseitigkeit der Betriebsbeanspruchungen geht klar hervor, dass ein Seil nicht durch die statische Zugbelastung allein, sondern durch das Zusammenwirken von Zug, Biegung, Flächenpressung, Reibung, usw. zerstört wird. Dennoch ist es fast allgemein gebräuchlich geworden, die Seile *nur auf Zug* [2] zu berechnen, was natürlich nie zu einer zuverlässigen Beurteilung der Bruchgefahr führen kann. Dieses Vorgehen muss umso mehr befremden, als allgemein bekannt und durch Versuche wiederholt nachgewiesen ist, dass die statische Bruchlast  $K_z$  keinen Anhalt bietet für die Brauchbarkeit eines Seiles im Dauerbetrieb.

Aber auch die zusätzliche Berücksichtigung der Biegespannung ( $\sigma_b = \delta E/D$ , worin  $\delta$  den Draht- und  $D$  den Rollendurchmesser bezeichnen) gibt kein brauchbares Kriterium für die Lebensdauer eines Seiles. Bild 1 zeigt, dass zwischen der Lebensdauer und der grössten Betriebsbeanspruchung ( $\sigma_t = \sigma_z + \sigma_b$ ) eines Seiles kein gesetzmässiger Zusammenhang vorhanden ist.

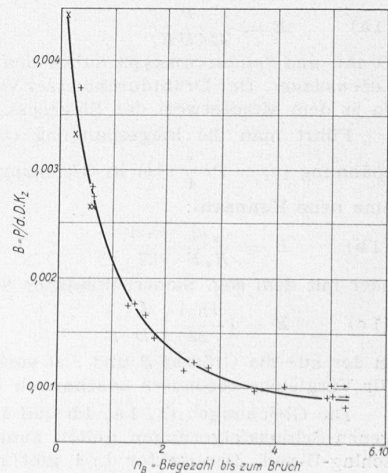
Die Berechnung der Flächenpressung an den Berührungsstellen ist mit Hilfe der allgemeinen Hertzschen Gleichungen [3] möglich, wenn der Aufbau des Seiles (der Schlagwinkel) bekannt ist. Aber auch ihre zusätzliche Berücksichtigung führt nicht zum gewünschten Ziel. Die Berechnung der Drahtseile scheitert an der Tatsache, dass es zur Zeit nicht möglich ist, zahlenmässig festzulegen, wie ihre Lebensdauer durch das Zusammenwirken von Flächenpressung, Biegung, Zug und Gleiten beeinflusst wird.

Der Ingenieur steht oft vor solchen, scheinbar unlösbaren Aufgaben und greift dann zu Versuchen. Heute verfügen wir über die Ergebnisse einer 20-jährigen, systematischen Drahtseil-Forschung (Scoble [4] und Woernle [5]), die uns beim Aufsuchen der verschiedenen Faktoren, die erfahrungsgemäss die Lebensdauer der Drahtseile wesentlich beeinflussen, wertvolle Dienste geleistet hat. Diese Versuche führten aber auch noch nicht zum eigentlichen Ziel, d. i. zur zuverlässigen Vorausberechnung der Lebensdauer bei den verschiedenen Betriebsbedingungen.

Bei der systematischen Auswertung der Versuchsreihen erweist sich das Prinzip der Ähnlichkeit als sehr zweckmässig. Hierbei geht man von der selbstverständlichen Tatsache aus, dass alle physikalischen Vorgänge unabhängig vom Masssystem sein müssen, also durch Gleichungen formuliert werden können, deren Glieder dimensionslose Grössen (sog. Kennzahlen) sind. Auch die Lebensdauer ähnlicher Drahtseile ist durch solche Zahlen gekennzeichnet. Man findet sie in folgender Weise: Stellt man alle Faktoren zusammen, die erfahrungsgemäss einen erheblichen Einfluss auf die Lebensdauer der Seile haben, so besteht eine erste Gruppe, die gekennzeichnet ist durch: die Bauart des Seiles (ein-, zwei- oder dreifach geschlagen, bzw. Litze, Seil, Kabel), die Schlagart (Kreuz-, Gleich- oder Parallelschlag, Tru-lay oder ähnlicher Schlagart), die Anzahl Lagen (2, 3 oder 4), die Konstruktion der Litze (normal, d. h. alle Drähte gleich dick, Seale, Warrington, usw.), die Anschmiegeverhältnisse zwischen Seil und Rolle, die Schmierung, und andere konstruktive Merkmale, die an sich schon durch dimensionslose Grössen charakterisiert werden und nichts zur Bildung neuer Kennzahlen beitragen können.

Die zweite Gruppe umfasst die Zugkraft  $P$  im Seil, den Seildurchmesser  $d$  (eventuell den Drahtdurchmesser  $\delta$ ), den Rollen-

Bild 2. Die Lebensdauer der Kreuzschlag-Kranseile ( $6 \times 37$ ) ist durch die Zahl  $B$  eindeutig gekennzeichnet



Die verschiedenen Punktbezeichnungen auf Bild 1 entsprechen verschiedenen Versuchsreihen von Scoble [4] und Woernle [5]

durchmesser  $D$ , den Werkstoff (gekennzeichnet durch  $K_z$ ,  $H_B$  oder  $\sigma_{wb}$ ) und andere Daten, die teilweise oder gesamthaft in einer dimensionslosen Grösse zusammengefasst, neue Kennzahlen bilden.

Drucker und Tachau [6] haben als erste diesen Weg eingeschlagen. Sie wählen (mehr oder weniger willkürlich) die Grössen  $P$ ,  $d$ ,  $D$  und  $K_z$ , die zusammen die neue (dimensionslose) Kennzahl

$$(1) \quad B = \frac{P}{d D K_z}$$

geben. Ob die Zahl  $B$  nun tatsächlich die Lebensdauer eines Seiles eindeutig kennzeichnet, entscheidet ausschliesslich die Erfahrung. Zunächst fällt es auf, dass Drucker und Tachau die Zugfestigkeit  $K_z$  des Seiles wählen, die für Dauerbeanspruchung eigentlich gar nicht in Frage kommen kann; doch auch darüber muss die Erfahrung, d. i. die 20-jährige Drahtseilforschung, entscheiden, die über Versuchsergebnisse in einem ausgedehnten Gebiet von  $d$ ,  $D$  und  $P$  verfügt. Diese Versuche müssen nun (vorausgesetzt, dass alle Faktoren der ersten Gruppe dabei unverändert bleiben) durch eine Kurve oder Kurvenschar eindeutig darstellbar sein (Bild 2).

Die Versuche von Scoble und von Woernle befassen sich mehrheitlich mit den genormten Seilen, die dadurch gekennzeichnet sind, dass alle Drähte im Seil die gleiche Dicke haben. Die Normen [7] umfassen folgende drei Ausführungsformen (Kreuz- und Gleichschlag):

A-Seil mit  $6(1 + 6 + 12) = 6 \times 19$  Drähten von 0,4 bis 1 mm  $\varnothing$   
B-Seil mit  $6(1 + 6 + 12 + 18) = 6 \times 37 = 222$  Drähten von 0,4 bis 1,3 mm  $\varnothing$  und

C-Seil mit  $6(1 + 6 + 12 + 18 + 24) = 6 \times 61 = 366$  Drähten von 0,7 bis 1,5 mm  $\varnothing$

Aus den Versuchen (Bild 2) weisen Drucker und Tachau nun nach, dass die Zahl  $B$  tatsächlich und mit grosser Genauigkeit die Kreuzschlag-B-Seile kennzeichnet. Innerhalb den Versuchsgrenzen (Kreuzschlag-B-Seile, Draht- $\varnothing$   $\delta = 0,7$  bis 1 mm, Seil- $\varnothing$  16 bis 22 mm) besteht also zwischen der Anzahl Biegungen bis zum Bruch  $n_B$  (bzw. Lebensdauer) und der Kennzahl  $B$  (Bild 2) eine einfache Beziehung:

$$(2) \quad n_B = \text{Funktion}(B)$$

Die Lebensdauer eines Seiles hängt bei gegebener Belastung  $P$  kg, nur vom Produkt  $Dd$  ab, vorausgesetzt natürlich, dass der Werkstoff und alle Kennzahlen der ersten Gruppe unverändert bleiben. Trägt man die Versuchswerte im logarithmischen Masstab auf (Bild 3), so findet man leicht die Gleichung dieser Funktion, nämlich

$$(3) \quad n_B = 6,2/B^2$$

Die obenstehende Schlussfolgerung weicht so stark von unseren bisherigen Anschauungen und Vorschriften ab, dass man vielleicht geneigt wäre, an der Brauchbarkeit des Aehnlichkeits-Prinzips bei Drahtseilen zu zweifeln, wenn in Bild 2 nicht die Erfahrung von über 20 Jahren systematischer Drahtseilforschung zusammengefasst wäre. Gleichung (3) kann als unbestreitbare Erfahrungstatsache und innerhalb den Versuchsgrenzen niemals in Widerspruch mit der Erfahrung stehen, sodass wir unsere Anschauungen ergänzen und umformen müssen.

Die Aufsichtsbehörden mögen aus den Gleichungen (2) und (3) erkennen, wie wertlos es für die Sicherheit (Lebensdauer) eines Seiles ist, ein bestimmtes Verhältnis  $d/D$  vorzuschreiben.

Der Drahtdurchmesser kommt in der Kennzahl  $B$  überhaupt nicht vor. Da aber für die genormten B-Seile [7] das Verhältnis  $\delta/d = 1/22$  konstant ist, kann eine neue Kennzahl gebildet werden

$$(1a) \quad B = \frac{P}{22 \delta D K_z}$$

Draht- und Seildurchmesser haben den gleichen Einfluss auf die Lebensdauer. Der Drahtdurchmesser verdient sicher den Vorzug, da er dem Mindestwert der Biegespannung proportional ist.

Führt man die Biegespannung ( $\sigma_b = \delta E/D$ ) und die Zugspannung ( $\sigma_z = P/\frac{\pi}{4} \delta^2 i$ ) in Gleichung (1a) ein, so erhält man eine neue Kennzahl:

$$(1b) \quad B = \frac{\sigma_z \sigma_b}{K_z E} \frac{i \pi/4}{22}$$

oder mit dem sog. Sicherheitsfaktor  $S = K_z/\sigma_z$ :

$$(1c) \quad B = \left( \frac{i \pi/4}{22} \right) \frac{\delta}{D} \frac{1}{S}$$

in der nur die Grössen  $S$  und  $\delta/D$  vorkommen, und die deshalb für Vergleiche besonders anschaulich ist.

Die Gleichungen (1, 1a, 1b und 1c) und die daraus gezogenen Schlussfolgerungen gelten zunächst nur für das Kreuzschlag-B-Seil. Der Faktor  $i \pi/4$  gibt nur zum Teil Aufschluss

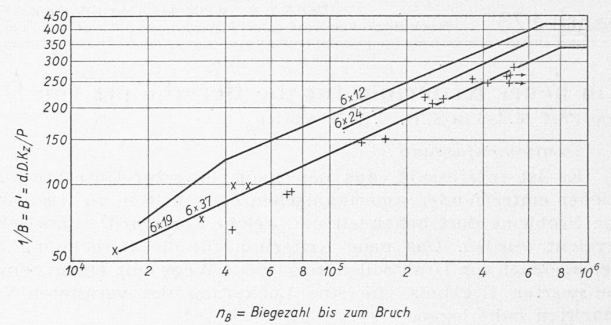


Bild 3. Die Zahl  $B'$  kennzeichnet auch die Lebensdauer anderer Kreuzschlag-Seile

über den Aufbau der Litze; er kann durch Einführung der Anzahl Lagen  $a$  erweitert werden:

|                                                | A-            | B-            | C-Seil        |
|------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Anzahl Drähte $i$                              | $6 \times 19$ | $6 \times 37$ | $6 \times 61$ |
| $d/\delta =$                                   | 16            | 22            | 28            |
| Anzahl der Lagen                               | 2             | 3             | 4             |
| $\frac{i}{b} \cdot \frac{\delta}{d \cdot a} =$ | 0,6           | 0,55          | 0,55 = konst. |

Aus der obenstehenden Zusammenstellung folgt, dass der Aufbau der Litze (A-, B- oder C-Seil) nur einen geringen Einfluss auf die Lebensdauer haben kann. Diese Schlussfolgerung des Aehnlichkeits-Prinzips steht (soweit Versuche vorliegen) in guter Uebereinstimmung mit der Erfahrung. Die Versuchspunkte der A-Seile ( $d = 8$  bis 16 mm) fallen mit der Versuchskurve der B-Seile gut zusammen; Versuche mit C-Seilen liegen nicht vor.

Aus den Versuchen ist bekannt, dass Gleichschlagseile unter sonst gleichen Betriebsbedingungen eine längere Lebensdauer haben als Kreuzschlagseile gleicher Bauart. Die Streuung der Versuchspunkte in der Lebensdauer-Kurve  $n_B = F(B)$  ist aber bedeutend grösser. Wahrscheinlich sind Gleichschlagseile besonders empfindlich gegen kleine Unterschiede im (nicht genormten) Schlagwinkel, der als neue Kenngrösse zu der ersten Gruppe zu zählen ist.

An Stelle der Kennzahl  $B$  kann auch der reziproke Wert

$$(2a) \quad 1/B = B' = d D K_z / P$$

als Kennziffer eingeführt werden, der den Vorteil bietet, mit der Lebensdauer zuzunehmen:

$$(3a) \quad n_B = 6,2 (B')^2$$

Dass die Zugfestigkeit  $K_z$  des Werkstoffes in der Kennzahl vorkommt und durch die Erfahrung bestätigt wird, mag zunächst befremden. Erfahrungsgemäss stehen aber Zugfestigkeit und Brinellhärte  $H_B$  miteinander in einem festen Verhältnis. Für Kohlenstoffstähle ist

$$(4) \quad K_z = 0,36 H_B,$$

sodass eine neue, gleichwertige Kennzahl

$$(5) \quad B_1 = B'/0,36 = d D H_B / P$$

gebildet werden kann, mit der Lebensdauerkurve

$$(6) \quad n_B = 6,2 \times 0,36^2 B_1^2 = 0,8 B_1^2$$

Der Vorteil der Kennziffer bei der experimentellen Forschung liegt nun darin, dass nicht mehr der Einfluss der vier Faktoren  $P$ ,  $d$ ,  $D$  und  $K_z$  einzeln untersucht werden muss, sondern nur der des einzigen Faktors  $B$  oder  $B_1$ . Mit wenigen Versuchswerten  $B$  lässt sich ein ausgedehntes Gebiet der einzelnen Faktoren überblicken.

Die neuen Erkenntnisse bieten auch dem Konstrukteur bedeutende Vorteile, die am deutlichsten an einem Zahlenbeispiel erläutert werden können. Für einen Werkstattkran von 10 t Tragkraft sollen Seil- und Trommeldurchmesser festgelegt werden. Bei einer  $2 \times 2$ -fachen Aufhängung der Last kommt auf jedes Seil 2500 kg. Unter Berücksichtigung der bekannten Betriebsbedingungen kann der Konstrukteur nun zuerst die Anzahl Lastwechsel  $n_B$  bis zum Bruch des Seiles festlegen, die eine genügend lange Lebensdauer garantiert und auch die Wirtschaftlichkeit der Anlage berücksichtigt. Durch die Wahl von  $n_B$  ist nach Gleichung (1b) auch das Produkt  $\sigma_z \sigma_b = K$  eindeutig festgelegt, z. B.  $K = 1320 \text{ kg}^2/\text{mm}^4$  für bestimmte Betriebsbedingungen eines Werkstattkranes, der nur selten mit der Höchstlast belastet wird. Innerhalb der Versuchsgrenzen stehen die in Tabelle 1 aufgeführten A- und B-Seile dem Konstrukteur zur Auswahl zur Verfügung, während die alte Vorschrift ( $\delta/D$ , bzw.  $d/D = \text{konst.}$ ) nur eine einzige Lösung gestattet.

Bei der Anwendung des Aehnlichkeits-Prinzips muss man wohl beachten, dass die rein empirisch gefundene Gleichung (3) nur für ähnliche Seile und ähnliche Betriebsbedingungen gilt,



Tabelle 1

|         | $d$ | $\delta$ | $f$             | $2500/f = \sigma_2$ | $1320/\sigma_z = \sigma_b$ | $E/\sigma_b = D/\delta$ | $D$ |
|---------|-----|----------|-----------------|---------------------|----------------------------|-------------------------|-----|
|         | mm  | mm       | mm <sup>2</sup> | kg/mm <sup>2</sup>  | kg/mm <sup>2</sup>         |                         | mm  |
| A-Seile | 8   | 0,5      | 22,4            | 110                 | 12                         | 1670                    | 835 |
|         | 9,5 | 0,6      | 32,2            | 78                  | 17                         | 1170                    | 700 |
|         | 11  | 0,7      | 44              | 57                  | 23                         | 920                     | 640 |
|         | 13  | 0,8      | 57              | 44                  | 30                         | 670                     | 530 |
|         | 14  | 0,9      | 72,5            | 34,5                | 38                         | 525                     | 475 |
|         | 16  | 1,0      | 89,5            | 27                  | 49                         | 410                     | 410 |
| B-Seile | 15  | 0,7      | 85,4            | 29                  | 46                         | 430                     | 300 |
|         | 18  | 0,8      | 111,6           | 22,5                | 59                         | 340                     | 270 |
|         | 20  | 0,9      | 141,2           | 17,8                | 74                         | 270                     | 240 |
|         | 22  | 1,0      | 174,4           | 14,3                | 92                         | 220                     | 220 |

also nur für Kreuzschlagseile mit A-, B- und C-Litzen, und für Betriebsbeanspruchungen, die bei laufenden Seilen vorkommen und hauptsächlich aus Zug und Biegung bestehen. Wie Bild 3 zeigt, gilt Gleichung (3) (mit einer andern Konstante) auch für ähnlich aufgebaute Seile.

Für andere Seilkonstruktionen (Seale, Warrington) und andere Betriebsbeanspruchungen (Tragseile, Schwingungen) müssen neue Gleichungen (event. mit neuen Kennziffern) aus den Versuchen abgeleitet werden.

#### Literaturverzeichnis

- [1] Herbst, H.: Bedeutung und Ursache innerer Drahtbrüche bei Drahtseilen, insbesondere bei Förderseilen. «Glückauf» 74 (1938), S. 849/56 und 878/84.
- [2] Hütte, Taschenbuch, Bd. 2, S. 811/812 für Aufzüge. DIN Entwurf 3, E 120. Deutscher Kran- und Fördermittel-Verband, Berlin 1933, Seite 22 für Kranseile.
- [3] ten Bosch: Die Betriebssicherheit der Drahtseile. SBZ Bd. 118, S. 73\* (16. August 1941).
- [4] Scoble, W. A.: Reports of the wire ropes research Committee, London. «Proc. Inst. Mech. Engrs.» 1920, S. 835/66; 1924, S. 1193/1290; 1928, S. 353/404; 1930, S. 553/602; 1935, S. 373/478.
- [5] Woernle, R.: Ausschuss für Drahtseilforschung des VDI. «Z. VDI» 73 (1929), S. 1623/24; 74 (1930), S. 185/86 und S. 1417/19; 75 (1931), S. 1485/89; 76 (1932), S. 557/60; 77 (1933), S. 779/803; 78 (1934), S. 1492/98.
- [6] Drucker D. C. und Tachau, H.: A new design criterion for wire rope. «Journal of applied mechanics», März 1945, A. 33/38.
- [7] Hütte, Taschenbuch, 26. Aufl., Bd. II, S. 807/808.

## Der San Gabriel Damm Nr. 2

Von Dipl. Ing. PAUL BAUMANN, Ing. E. T. H., Los Angeles, Kalifornien

Anlässlich der Berichterstattung über den San Gabriel Damm Nr. 1<sup>1)</sup> wurde der San Gabriel Damm Nr. 2 als Glied des San Gabriel-Projektes des Los Angeles-Amtes für Hochwasserschutz erwähnt und ein besonderer Bericht darüber angekündigt, der hiemit vorgelegt wird. Der San Gabriel Damm Nr. 2 liegt an der Westgabel des San Gabriel-Flusses ungefähr 13 km oberhalb des Dammes Nr. 1. Mit seinem Bau wurde im Frühjahr 1931 begonnen, also ungefähr zwei Jahre vor Baubeginn des Dammes Nr. 1.

Zuerst wurde der auf der rechten Talseite angeordnete Umleitstollen vorgetrieben (Bild 1). Dieser hat ein Kreisprofil von 4,27 m lichte Durchmesser; sein Einlauf liegt auf Kote 2165 Fuss ü. M., d. h. etwa 1,5 m unter dem damaligen Flussbett, und sein Gefälle beträgt 1,5 ‰. Die Tieflegung des Einlaufs war der möglichst vollständigen Entwässerung wegen wünschbar. Sie war dadurch begünstigt, dass das unter dem Damm liegende Flussbettmaterial bis auf den Fels ausgehoben werden konnte, wobei die bergseitige Böschung der Grube bis oberhalb des Einlaufs reichte. Nach Vollendung des Dammes wurde der Umleitstollen der Entnahmeanlage einverleibt.

Der Bau des Dammes Nr. 2 ist deshalb von besonderem Interesse, weil er mit 80 m Höhe der höchste Damm seiner Art ist und weil sich kurz nach Vollendung der Steinschüttung Setzungen von kritischem Ausmass ereigneten, die einen Einblick

<sup>1)</sup> SBZ Bd. 111, S. 193\* (9. April 1938).

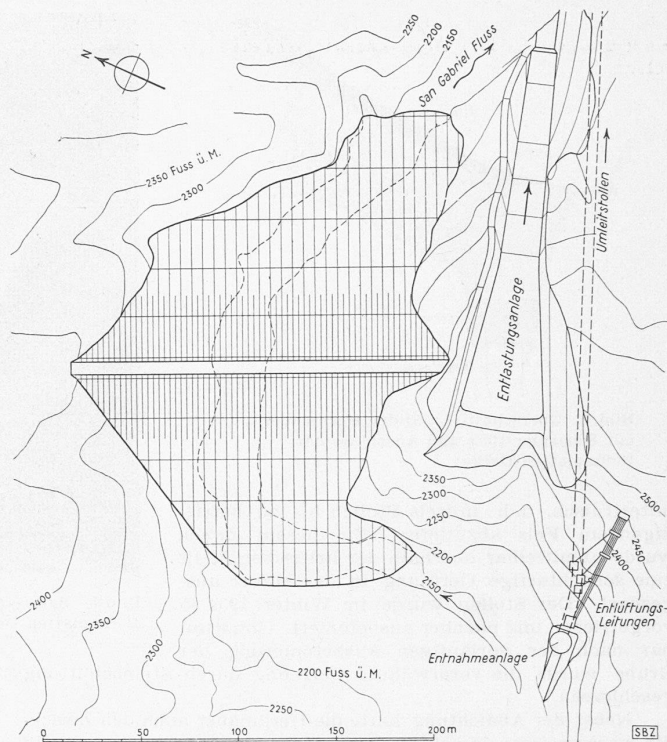


Bild 1. San Gabriel Damm Nr. 2, Lageplan 1:3500

in die Struktur derartiger Steingemische gestatten, und damit wertvolle, wenn auch kostspielige Erfahrung vermitteln.

Wie aus Bild 2 ersichtlich ist, setzt sich die Steinschüttung des Dammes vornehmlich aus verhältnismässig grossen Blöcken mit wenig Feinmaterial zusammen. Dadurch blieben die Zwischenräume offen und die einzelnen Steine ruhten grösstenteils infolge gegenseitiger Spitzen- und Kantenberührung aufeinander. Allerdings wurden beim Zunehmen der Last diese Spitzen und Kanten teilweise zerdrückt, sodass einerseits eine Verkleinerung der Zwischenräume und andererseits deren teilweise Füllung durch das zerdrückte und damit an Volumen grösser gewordene Material stattfand. Bei der Schüttung der Steine, die in Stufen von rd. 7,50 m stattfand, wurde kein Spülwasser verwendet.

Zudem ereignete sich auf der rechten Talseite ungefähr 25 m unterhalb der Krone eine Verzögerung in der normalen Einfüllung des Materials, da beim Aushub für die der bergseitigen Kontaktlinie folgende Herdmauer unbefriedigende Felsverhältnisse gefunden wurden, was eine beträchtliche Vertiefung des Aushubs erforderte. Diese Herdmauer wurde im Durchschnitt etwa 6 m tief, d. h. bis in den gesunden Fels hinein eingelassen, zwecks Abdichtung des Dammes gegen Sickerfluss. Um diese Wirkung zu erhöhen, wurden ferner der Mauer entlang Einspritzungen von Zementmilch bis zu rd. 50 m Tiefe vorgenommen. Um den Fortschritt des Baues nicht zu beeinträchtigen, hatte man an dieser Stelle die Steinschüttung gegen das Widerlager abgeböscht, wodurch vorübergehend eine V-förmige Öffnung, wie sie in Bild 3 angedeutet ist, entstand. Nach erheblicher Abtiefung der Herdmauergrube wurde aber festgestellt, dass befriedigender Fels noch nicht erreicht und dass weiterer Aushub notwendig war. Da aber inzwischen die Steinfüllung bis nahe an die 25 m höher gelegene Dammkrone fortgeschritten und damit eine weitere Verzögerung des Einfüllens der Öffnung nicht wünschbar war, wurde die Herdmauergrube vorläufig ausbetoniert mit der Absicht, nach Vollendung des Dammes diese

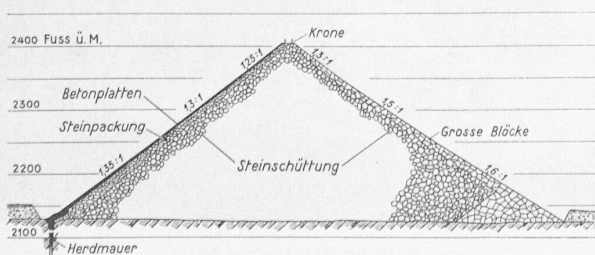


Bild 2. Querschnitt des Dammes, 1:3500

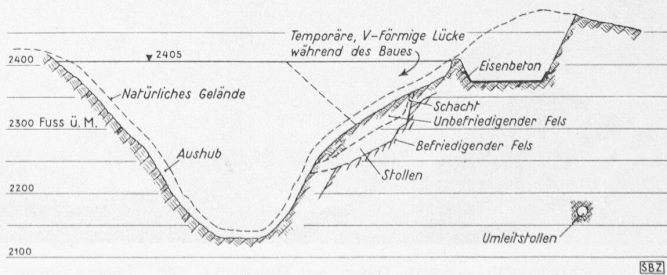


Bild 3. Längsschnitt durch die Dammkrone, 1:3500