**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
**Band:** 113/114 (1939)
**Heft:** 7

**Artikel:** Die Zürichsee-Schwebebahn der Schweizer. Landesausstellung
**Autor:** Becker, R.
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-50553

**Nutzungsbedingungen**
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 10.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

INHALT: Die Zürichsee-Schwebebahn der Schweizer. Landesausstellung. — Haus Dr. E. Laur-Graf in Thalwil (Zürich). — Der Triebwagentyp «Jurapfeil» der SBB. — Mitteilungen: Escher-Wyss-Verstellpropeller für Flugzeuge. Nebelsondierungen durch Dezimeterwellen. Erneuerung der Friedensvereinbarung in der Metall- und Maschinenindustrie. Eidg. Technische Hochschule. Bohrlochpumpwerk Dunton der Wasserversorgung Biggleswade (Bedford). III. Internat. Kongress für Landwirtschafts-Technik. Arbeitsunfälle in Deutschland 1936. — Nekrologe: H. Demierre. O. Halter. Ed. Tissot. Joh. Metzger. W. Lattmann. F. Kaelin. C. Gruber. F. Sessely. — Wettbewerbe: Schlachthaus der Stadt Lausanne. — Literatur.

Band 114 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet Nr. 7

# Die Zürichsee-Schwebebahn der Schweizer. Landesausstellung

## Die Stahltürme

(Fortsetzung von Seite 72)

Von Dipl. Ing. R. BECKER, Buss A.G., Basel

Von wo aus immer man seinen Blick dem Ausstellungsgelände zuwendet, trifft er auf das schlichte Fachwerk der beiden Abspanntürme der Schwebebahn. Sie sind die auffälligsten Bauwerke der LA, die Zeugnis ablegen vom Stande der schweizerischen Stahlbaukunst. Für den Stahlbauer stellten sie auch eine sehr interessante Ingenieuraufgabe dar, die auf verschiedenen Wegen gelöst werden konnte. Davon zeugen die Entwürfe, die bei dem unter einigen Ingenieuren und Stahlbaufirmen veranstalteten Wettbewerb eingereicht wurden. In Heft 10 des Bandes 112 der «SBZ» (3. Sept. 1938) wurde kurz darüber berichtet. Unverkennbar ist das Streben nach schlichten, einfachen Formen. Der Vergleich der für die internationale Wasserbau-Ausstellung 1939 in Lüttich und der für die Schweiz. Landesausstellung 1939 in Zürich errichteten Türme mit den 1900 für die Weltausstellung in Paris entworfenen Stahlkonstruktionen zeigt klar die Entwicklung der Stahlbauweise in den letzten Jahrzehnten. Hier ein weitmaschiges einfaches, statisch klares Fachwerk mit geschlossenen Stabquerschnitten, einfachen Anschlüssen und einem Minimum an Aufwand von Material und Arbeit, dort ein engmaschiges Gitterwerk, das eine genaue Berechnung ausschloss und viel Werkarbeit erforderte.

Die Türme haben in einer Höhe von 75 m über Boden die Zugkraft der Trag- und Zugseile aufzunehmen. Am Turmkopf sind die Aussichtsplattform und die Umsteigstation, sowie die Antriebe für Seilbahn und Lift und die Hilfskabine so unterzubringen, dass sie das Gesamtbild nicht stören. Die Liftführungen müssen sich in die Architektur des Turmes harmonisch einfügen. Nach Durchrechnung verschiedener Vergleichsentwürfe entschloss man sich auf Anregung von Chefarchitekt H. Hofmann zur Ausführung der in Abb. 16 (S. 79) dargestellten Bockkonstruktion. Auf den ersten Blick fallen an den Türmen der vertikale Turmschaft, die seeseitige Strebe und die seitlichen Abspannungen auf, die alle ihre klar ersichtliche Aufgabe zur Uebernahme der Kräfte zu erfüllen haben.

**Belastungen**

Am Turmkopfe wirken die Seilzüge in einem gegenseitigen Abstand von 14 m. Jeder Strang der Seilbahn besitzt zwei Tragseile, ein Zugseil, an dem die Kabinen befestigt sind, und ein Hilfseil, das beim Versagen des Fahrseiles zur Anwendung kommt. Die Tragseile haben ein Gewicht von etwa 4,3 kg/m und in unbelastetem Zustande einen Durchhang von 27,4 m bei 906,1 m Spannweite (Abb. 3, S. 66). Sowohl die Tragseile, als auch die Zug- und Hilfseile werden auf dem linken Ufer mit Gegengewichten gespannt. Dadurch wird erreicht, dass die Horizontalzüge der Seile praktisch konstant bleiben. Fährt die voll belastete Kabine im Gewicht von 3,03 t von der Station am Turmkopf zur Mitte der Spannweite, dann vergrössert sich der Durchhang des Tragseiles um 21,6 m auf rd. 49 m.

Die Zugkraft eines Tragseiles beträgt 16 t, diejenige des Fahrseiles und des Hilfsseiles je 3,8 t, sodass an jedem Ende des Querbalkens am Turmkopf je eine Kraft von 39,6 t wirkt, also am Turm 79,2 t. Die Neigung dieser Kräfte gegen die Horizontale ändert zwischen 6° und 12°. Das Zug- und das Hilfsseil sind Seile ohne Enden. Am Kopf des Turmes rechts läuft das eine durch den Antriebmechanismus, das andere durch den Hilfsantrieb, während sie am Turm links wie die Tragseile durch Gegengewichte gespannt werden. Der Turm links hat also neben der horizontalen Belastung durch den Seilzug auch noch die ebenso grosse vertikale Last der Gegengewichte aufzunehmen. Durch den Antrieb müssen die Kabinen von der Mitte der Spannweite zu den Einsteigstationen an den Turmköpfen hinaufgezogen werden. Dafür ist eine Zugkraft von rd. 1 t erforderlich, die am Ende des Querbalkens am Turmkopf in einem Abstand von 7 m von der Turmaxe angreift, also ein Torsionsmoment von 7 mt erzeugt. Dieses Torsionsmoment wird zu rd. 75% durch den steifen rechteckigen Turmschaft und zu 25% durch die elastische seeseitige Strebe aufgenommen.

Bei der Montage der Seile wurde so vorgegangen, dass abwechslungsweise eines der einen und dann der anderen Seite montiert wurde und zwar zuerst mit dem doppelten Durchhang, also der halben Zugkraft. So bestand zwischen den Kräften an den Enden des Querbalkens am Turmkopf ein Unterschied von 8 t; das Torsionsmoment am Turmkopf war mithin achtmal grösser als im normalen Betrieb. Dieses Verdrehen des Turmschaftes beansprucht in der Hauptsache die Füllungsglieder des Fachwerks; deshalb wurden diese Teile bei der Seilmontage wesentlich ungünstiger belastet als beim normalen Betrieb, trotzdem die Seilzüge pro Turm nur $32 + 24 = 56$ t statt 80 t betrugen.

Als dritter Belastungsfall war noch der Bruch eines Tragseiles zu untersuchen, der allerdings sehr unwahrscheinlich ist, da ein Bruch eines Tragseiles praktisch nie vorkommt. Das Gegengewicht der Tragseile ist in drei Teile von $12 + 8 + 12$ t unterteilt und es ist so konstruiert, dass beim Bruch eines Tragseiles das unversehrt gebliebene Seil mit 20 statt mit 16 t gespannt wird, d. h. von den 32 t Zug an den Tragseilen fallen 12 t aus und damit ist das Drehmoment am Turmkopf 12 mal grösser als im normalen Betrieb. Für diesen ausserordentlichen Belastungsfall wurden geringere Sicherheiten zugelassen.

Die Verkehrslast für die Plattform und das Restaurant ist zu 400 kg/m² angenommen worden. Eine zusätzliche Schneelast war nicht zu berücksichtigen. Im Verhältnis zu den übrigen Lasten ist auch der Einfluss der Schneelast auf die Stabkräfte gering. Mit Rücksicht auf die event. Verwendung der Türme an anderem Ort sind die einzelnen Teile des Restaurants, auf deren Dimensionierung die Schneelast einen wesentlichen Einfluss hat, unter Berücksichtigung der Schneelast von 80 kg/m² bemessen worden.

Der in die Berechnung eingeführte Winddruck (Druck und Sog zusammen) beträgt im Nichtbetriebszustand 150 kg/m², im Betriebszustand 30 kg/m². Die Rechnung zeigte, dass für die Bemessung der meisten Stäbe der Winddruck von 150 kg/m² massgebend ist. Die Windflächen wurden wie folgt eingesetzt: a) Bei Winddruck parallel zu einer Turmfläche die volle Ansichtsfläche aller quer zur Windrichtung liegenden Wände ohne Abminderung für die hinteren Wände. b) Bei Winddruck über Eck (unter 45°) die Ansichtsfläche aller Pfosten und 70% der Ansichtsflächen aller Streben und Horizontalen. Eine einfache Ueberlegung zeigt, dass für die meisten Stäbe des Turmes Wind unter 45° massgebend ist. Bei Wind nach a) parallel oder senkrecht zur Bahnaxe entspricht der Winddruck auf einen Eckpfosten der Profilbreite $a$, bei Wind unter 45° entspricht er $a\sqrt{2}$ und die Komponenten parallel und senkrecht zur Bahnaxe entsprechen je $a$.

Die Belastung der Türme und Fundamente durch die Lifts erreicht beim Turm rechts 18 t, einschl. 9 t Fangbelastung, und beim Turm links, wo der Schnellift eingebaut ist, 25,5 t, einschliesslich 17 t Fangbelastung.

Bei der Berechnung der Türme wurden daher die folgenden Belastungszustände untersucht:

*A. Betriebszustand:* 1. Ständige Last: Eigengewicht von Turm, Station, Restaurant, Lift, 80 t Seilzug, Vorspannung der seitlichen Verankerung. 2. Einseitiger Zug am Fahrseil von 1 t. 3. Verkehrslast von 400 kg/m² auf Station und Restaurant. 4. Winddruck von 30 kg/m².

*B. Ausser Betrieb:* 1. St. Last wie oben. 2. Winddruck 150 kg/m².

*C. Montagezustand:* 1. Ständige Last wie oben, aber die Seilzüge wie sie bei der Seilmontage auftreten. 2. Winddruck 30 kg/m².

*D. Bruch eines Tragseiles:* Belastung wie unter Betriebszustand, aber auf einer Seite der um 12 t verminderte Seilzug.

Die zulässige Beanspruchung des Stahles wurde nach Art. 64 der Verordnung vom 14. Mai 1935 zu $\sigma_{zul} = 1{,}2\left(1 + 0{,}3\,\frac{A}{B}\right)$ für den Belastungszustand $A$ und zu $\sigma_{zul} = 1{,}4\left(1 + 0{,}3\,\frac{A}{B}\right)$ für die zwei Belastungszustände $B$ und $C$ festgelegt. Beim Belastungszustand $D$ sind die zul. Beanspruchungen noch eingehalten. Die Knicksicherheit einzelner Diagonalen beträgt in diesem Falle noch 1,6 bis 1,8. Sie ist also ungefähr gleich der Sicherheit gegen Ueberschreitung der Streckgrenze im Falle $B$ (ausser Betrieb), nämlich $n = \frac{\text{Fliessgrenze}}{\sigma_{zul}} = \frac{2{,}4}{1{,}4} = 1{,}7$.

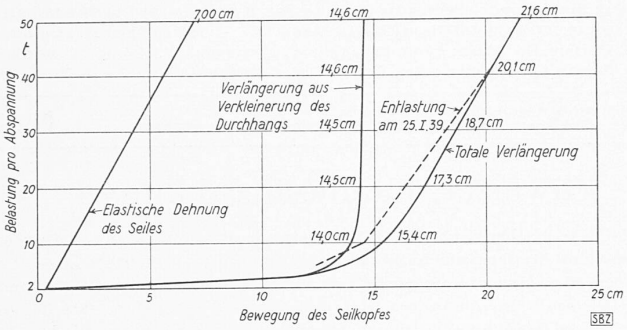



Abb. 17. Bewegung des Seilkopfes beim Spannen der Abspannseile

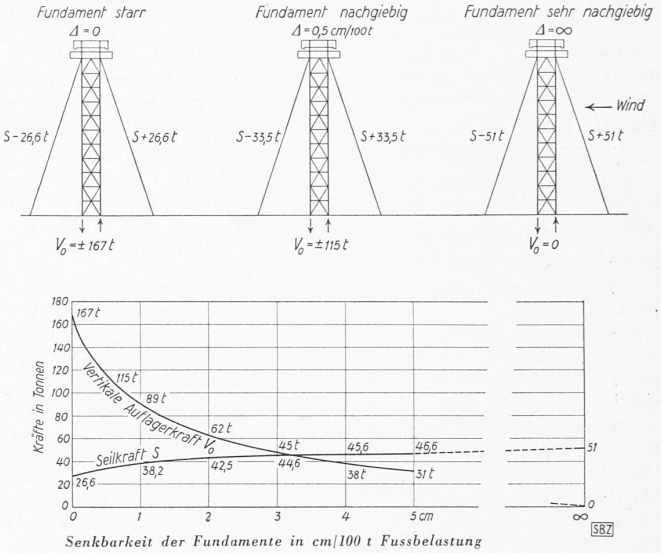



Abb. 18. Veränderung der Kräfte in den Abspannseilen und in den Turmfundamenten bei verschiedener Nachgiebigkeit der Fundation. Belastung durch Wind quer

### Gesamtdisposition und statisches System

Bei der Benützung der Schwebebahn muss der Passagier den Eindruck absoluter Sicherheit haben. Bekanntlich ist man aber gegen Schwingungen sehr empfindlich, weshalb beim Entwurf der Türme darauf gesehen werden musste, dass sie möglichst steif sind. Die Drehmomente am Turmkopf werden zum grössten Teil durch den steifen, rechteckigen Turmschaft (4,7 × 8,00 m) aufgenommen. Die Basislänge des Bockes beträgt 26,5 m und der Abstand zwischen den Ankerpunkten der seitlichen Abspannungen rd. 54 m, sodass der Turm in jeder Richtung sehr steif ist. Die Versuchsfahrten haben gezeigt, dass keine unangenehmen Schwingungen auftreten. Selbst der starke einseitige Zug, der bei Betätigung der Notbremse entsteht, erzeugt eine Torsionsschwingung des Turmes, die sehr rasch abklingt. Der seeseitigen Strebe wurde eine Breite von 2,7 m gegeben, damit sie in horizontaler Richtung genügend steif ist. Die waagrechten Verbindungsriegel in 12,34 m Abstand halten die Hauptstrebe nur in Richtung der Bahnaxe gegen Ausknicken, senkrecht dazu muss sie auf eine Länge von 65,45 m knicksicher sein. Durch die seitliche Ausbiegung der Strebe unter dem Winddruck entstehen in den Füllungsgliedern Zusatzkräfte, die von der Axialkraft abhängen. Sind $f$, $l$ und $P$ Ausbiegung, Länge und Axialkraft der Strebe, dann beträgt die zusätzliche Querkraft:

$$Q = P \frac{\pi}{l} f$$

Die horizontalen Verbindungsriegel zwischen Strebe und Turm erhalten aus dem Eigengewicht der Strebe und aus der Belastung durch das Restaurant Druckkräfte, die den in den Fundamenten und an der Spitze gelagerten Turmschaft in horizontaler Richtung gegen das Land zu ausbiegen. Bei der Montage machte sich diese Tendenz stark bemerkbar, indem die Rückhaltseile auf der Seeseite vor dem Zusammenschluss von Strebe und Turmschaft stets sehr stark angespannt waren (Abb. 26, S. 81).

Es sind im Ganzen acht unbekannte Auflagerkräfte vorhanden, nämlich fünf in den zwei gelenkigen Fusspunkten des Turmschaftes, zwei im Fusspunkt der Strebe und eine in der seitlichen Seilabspannung. Der Turm ist also zweifach statisch unbestimmt gelagert, da nur sechs Gleichgewichtsbedingungen vorhanden sind. Als statisch unbestimmte Grössen wurden in die Berechnung die Horizontalkomponente der seitlichen Seilabspannung und das Einspannungsmoment zwischen Strebe und Turmschaft eingeführt. Die Strebe ist quer zur Bahnaxe sehr elastisch, weshalb die Einspannungsmomente am oberen Ende der Strebe bei Torsion des Turmes nicht gross sind; Verschiebungen des seeseitigen Fundamentes vertikal oder quer sind also von geringem Einfluss auf die Stabkräfte. Die gegenseitige Verschiebung der See- und Landfundamente in horizontaler Richtung wird durch die eingebauten Zugbänder verhindert. Wesentlich anders verhalten sich die seitlichen Abspannseile. Der Turm erweist sich im Verhältnis zur Seilabspannung als sehr steif. Von einer in Höhe der Seilbefestigung angreifenden Kraft übernimmt die Seilabspannung nur 71 %, während die übrigen 29 % durch den Turmschaft auf dessen Fundamente übertragen werden. Um ein Schlaffwerden der leeseitigen Seile zu vermeiden, wurden die Seile mit der halben maximalen Belastung vorgespannt. Die grösste Belastung der Abspannungen des Turmes rechts beträgt 90 t, die des Turmes links 100 t. Das Kraft-Weg-Diagramm der Seilabspannung (vgl. Abb. 17) zeigt, dass bei verhältnismässig geringer Vorspannung der Seile der Durchhang so klein wird, dass dessen Veränderung ohne wesentlichen Einfluss auf die Bewegung an der Abspannstelle bleibt. Steigt die Belastung über 20 t, so verhalten sich die Seile wie gerade Stäbe mit angenähert konstantem Elastizitätsmass. Bei der Montage wurden die Seilkräfte mit hydraulischen Pressen und die Verlängerungen mit dem Masstab gemessen. Gegenüber den Litzenseilen mit Hanfseele recken sich die verwendeten Spiralseile mit ihren starken Drähten nur sehr wenig. Nach der Montage der Abspannseile wurden die Seilkräfte wiederholt gemessen und es zeigte sich, dass sie sich mit der Zeit nur unwesentlich vermindert hatten. Bei der Montage der Seile der Schwebebahn erhielten die hinteren Eckpfosten des Turmes Zugkräfte, die die Seilkräfte der Abspannung so veränderten, dass die Seile bei Eröffnung des Betriebes nicht mehr nachgespannt werden mussten. Aus den Messungen beim Anspannen der Seile liess sich ein Elastizitätsmodul von rd. 1700 bis 1800 t/cm² für die Spiralseile ableiten, während in die Berechnung ein Wert von 1850 t/cm² eingesetzt worden war. In Abb. 17 sind die bei der Abspannung der Seile gemessenen Kräfte und Dehnungen eingetragen.

Mit Rücksicht auf die ungünstige Beschaffenheit des Baugrundes musste der Einfluss von Fundamentbewegungen auf die Stahlkonstruktion eingehend untersucht werden. Nimmt man für die Baugrundziffer verschiedene Werte an, so lässt sich für Wind quer die Zugkraft in den seitlichen Abspannseilen als Funktion der Baugrundziffer berechnen. In Abb. 18 ist die Kraft in der Abspannung als Funktion der Nachgiebigkeit der Turm-

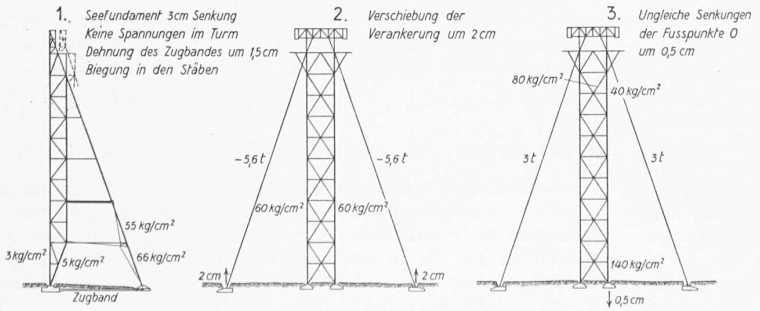



Abb. 19. Einfluss der Fundamentsenkungen auf die Beanspruchungen

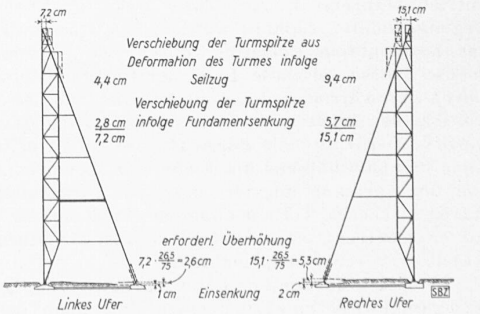



Abb. 20. Ueberhöhung des Strebenfusses bei der Montage

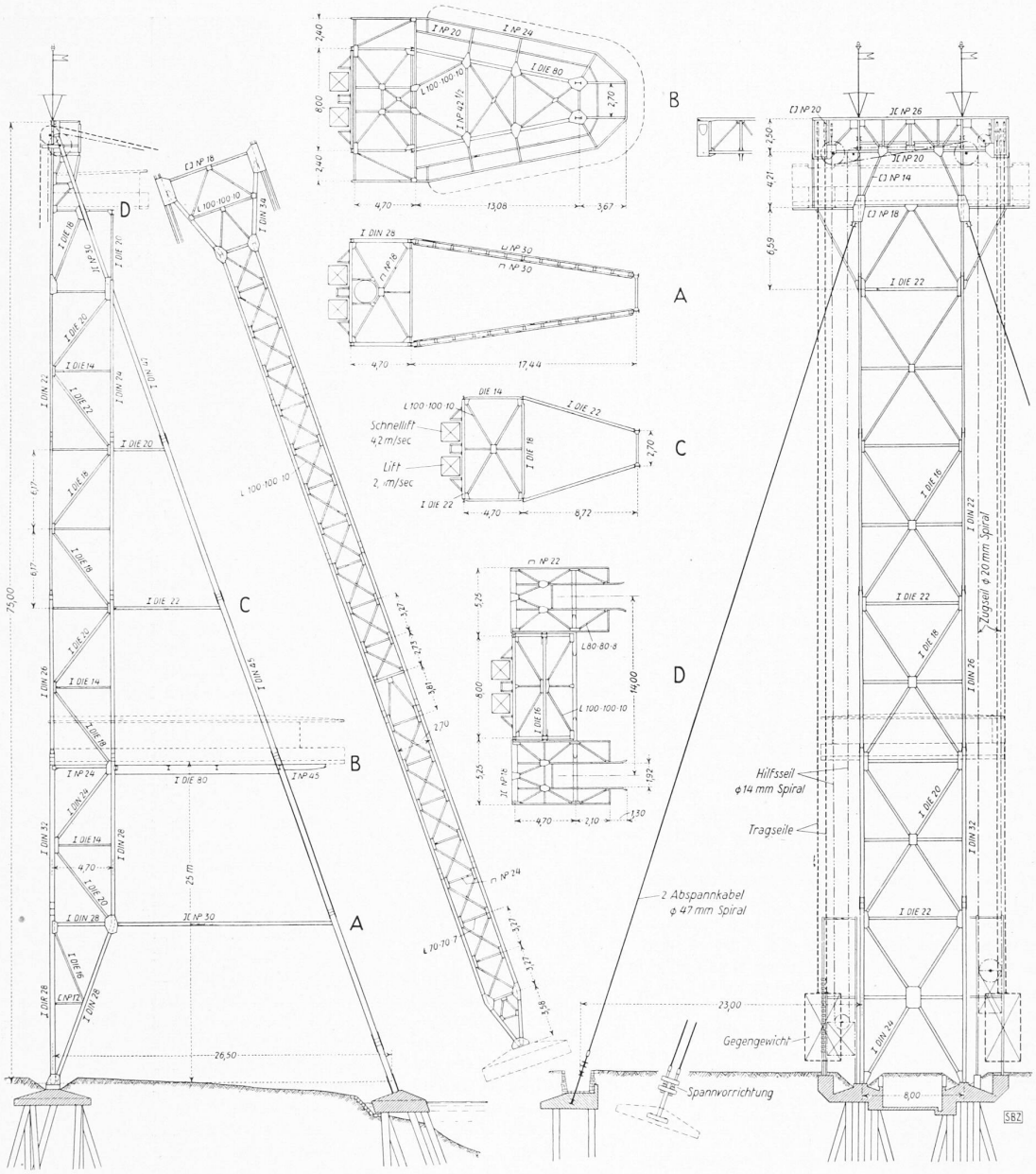



Abb. 16. Stahlkonstruktion des linksufrigen Turmes. Seitenansicht mit umgeklappter Strebe, die wichtigsten Horizontalverbände, Rückansicht der hinteren Turmwand. — Masstab 1 : 500

fundamente aufgetragen. Für die Seilkraft ergeben sich die zwei Grenzfälle vollkommen starrer Fundamente und gelenkiger Lagerung. Die seitliche Abspannung wurde für den ungünstigen Fall sehr nachgiebiger Fundamente bemessen. Die Montage der seitlichen Verankerungen zeigte, dass die Abspannungen die seitlichen Turm-Schwankungen ganz wesentlich vermindern.

Auf Grund der Probebelastungen der Pfähle wurden die maximal zu erwartenden Bewegungen für den Turm rechts von der Firma Züblin wie folgt angegeben:

| | elastisch | dauernd |
|---|---|---|
| Turmfundamente vertikal | 0,1 bis 0,5 cm/100 t | 1 bis 3 cm |
| Strebenfundament vertikal | 0,1 bis 0,5 cm/100 t | 1 bis 3 cm |
| horizont. längs | 0,9 bis 1,5 cm | — |
| Seitliche Fundamente vertikal | 0,5 bis 1,5 cm/100 t | 0,5 bis 2 cm |
| horizontal | 0,3 cm/10 t | 1 cm |

Die sich aus diesen Verschiebungen ergebenden Beanspruchungen in einzelnen Teilen des Turmes sind gering und erreichen kaum die Grösse von Nebenspannungen in normalen Fachwerken.

In Abb. 19 sind die durch die Senkungen entstehenden Beanspruchungen zusammengestellt. Gleichmässige Setzungen haben einen wesentlich geringeren Einfluss auf die Spannungen als ungleichmässige, besonders bei den Turmfundamenten. Um grösseren Fundamentbewegungen begegnen zu können, wurden die allfällig notwendigen Anhebevorrichtungen entworfen und bei der Ausbildung der Fusskonstruktionen darauf gesehen, dass diese Traversen leicht montiert werden können. Sollte wider Erwarten ein Anheben einzelner Fusspunkte doch notwendig sein, dann müssten die Ankerschrauben gelokkert, der Fusspunkt angehoben und neu untergossen werden.

**Konstruktion der Türme**

Nach Beendigung der Landesausstellung wird die Bahn abgebrochen. Das Konstruktionsmaterial der Türme soll nach dem Abbruch für andere Zwecke wieder verwendet werden können. So war also bei der Wahl der Stabquerschnitte des Fachwerkes die Wiederverwendbarkeit der Profilstäbe entscheidend. Diese Bedingung schloss die weitgehende Verwendung von zusammengesetzten Stabquerschnitten aus, denn die erforderlichen Bohrungen und Schweissungen für den Anschluss der Bindungen hätten den Altwert des Materials stark herabgemindert. Wesentlichen Einfluss auf die Bemessung der Stäbe hatte noch die Bedingung, dass das Schlankheitsverhältnis $\frac{l_k}{i}$ nicht grösser sein darf als 150 für die Eckpfosten und 200 für die Füllungsglieder. Diese Bedingung wurde eingehalten, um ein Schlottern der Stäbe während des Betriebes zu verhindern. Zur Aufnahme der grossen Druckkräfte in den Eckpfosten dienen I DIN- und I DIR-Profile. Die Diagonalen haben demgegenüber geringe Kräfte und grosse Knicklängen; für diese Stäbe erwiesen sich die I DIE-Profile als sehr zweckmässig, denn sie ergeben für die grosse Knicklänge ein leichtes, geschlossenes Profil. Durch die Anordnung der Liftführungen an der landseitigen Wand des Turmes konnte der unschön wirkende Liftturm vermieden werden. Die Führungsschienen sind nur durch waagrechte Konsolen mit den Riegeln des Turmes verbunden. Diese Riegel aus liegenden DIE-Trägern haben die Liftführungsschienen in horizontaler Richtung gegen Schwankungen zu halten. Die Führungsschienen stehen auf den Fundamenten auf und leiten so neben dem Eigengewicht auch die Fangkräfte der Lifts direkt in die Fundationen. Die zwischen den Liftführungen angeordnete Aufstiegleiter ist ohne Rückenschutz, da sie nur vom Montagepersonal und im Notfalle auch von der Bedienungsmannschaft der Bahn benützt wird. Sitzbretter zwischen den Liftkonsolen gestatten ein Ausruhen während dem Aufstieg. Die Führungsschienen sind mit Langlöchern an den Konsolen befestigt und können so genau ausgerichtet werden. Für die Querriegel der seeseitigen Wand wurden teilweise ungleichschenklige Winkeleisen verwendet. Die Gurtungen der seeseitigen Strebe sind I DIN 42 ½ und 45, teilweise mit Lamellen verstärkt. Die Verbands-Diagonalen der Strebe aus Winkeleisen liegen in der Ebene des oberen Flansches und sie sind an die, an die Gurte angeschweissten Knotenbleche angeschlossen. Beim Anschluss der horizontalen Riegel an die Streben halten Querverbände aus [-Eisen den Untergurt gegen

Ausknicken. Die langen Verbindungsriegel zwischen dem Turm und der Strebe erhalten nur sehr geringe Kräfte und wurden deshalb nach konstruktiven Gesichtspunkten aus ⊐-Eisen und I DIE-Profilen ausgeführt.

In den Fusspunkten des Turmes sind nicht nur Druckkräfte bis zu 310 t, sondern auch Zugkräfte bis zu 154 t aufzunehmen. 16 starke Ankerschrauben verbinden den Fuss mit dem in die Fundamente einbetonierten Profileisenrost. Mit Rücksicht auf die geringen Ausbiegungen der Türme konnte auf die Ausbildung eigentlicher Gelenkpunkte in den Turmfüssen verzichtet werden. Die auf dem Gebiete der elektrischen Schweissung erzielten Fortschritte erlaubten weitgehend deren Anordnung bei der konstruktiven Durchbildung der Türme. Die meisten Knotenbleche wurden an die Eckpfosten angeschweisst. Abb. 21 zeigt die konstruktive Ausbildung eines normalen Knotenpunktes des Turmschaftes. Um die Knotenbleche auch in horizontaler Richtung auszusteifen, sind Eckbleche zwischen die Riegel eingelegt worden. Die Schweissungen zwischen den Knotenblechen und den Pfosten sind nach den kürzlich von Prof. Roš veröffentlichten Grundsätzen bemessen worden[1]). Bei der Bestellung des Walzstahles wurde besonders die gute Schweissbarkeit des Materials verlangt. Die Flanschen der Diagonalen wurden beim Anschluss an die Knotenbleche abgeklinkt (vgl. Abb. 21/22). Bei diesem Anschluss entsteht eine Exzentrizität zwischen der Mitte des Knotenbleches und der Stabaxe, die bei der Knickberechnung berücksichtigt werden muss. Im unteren Teil des Turmes sind die Diagonalkräfte so gross, dass man vorteilhaft mit zweischnittigen Schrauben und Beiwinkeln anschloss. Sind keine Beiwinkel vorhanden, dann treten im Stab unmittelbar vor dem Knotenblech Biegungsspannungen auf analog dem Anschluss eines einfachen ⊏-Eisens. Diese Zusatzbeanspruchung beträgt 110 % der mittleren Spannung, weshalb sich die gewählte Lösung nur für schlanke Stäbe mit geringer Belastung eignet.

Die Verankerung der seitlichen Abspannung (vgl. Abb. 23) wurde so konstruiert, dass die Seile mittels hydraulischer Pressen angespannt werden können. Die obere Traverse ist durch einen Bolzen mit den Ankerflacheisen verbunden, die untere Traverse ist lose. Die Ankerspindeln sind in die Seilköpfe eingeschraubt. Zwischen die obere Traverse und die obere Mutter ist ein Gelenk aus drei Kipplatten eingeschaltet, das die Seile allseitig beweglich lagert. Mit der untern Traverse werden die Seile angespannt und die oberen Muttern so entlastet, dass sie nachgestellt werden können. Zur Befestigung der oberen Enden der Seile ist eine Traverse an die Knotenbleche des Turmes angeschlossen, auf der die oberen Seilköpfe aufruhen (Abb. 24). Beim Turm links stehen unten auf den Fundamenten die Gegengewichtsführungen aus I DIN-Profilen. Oben sind diese Führungen mit dem Turm verbunden. Vor Benützung des Hilfsseiles muss dessen Gegengewicht verringert werden. Zur Unterbringung der aus dem Gegengewichtskasten entfernten Gussmasseln dienen die an der oberwasserseitigen Gegengewichtsführung angebrachten ⊏-Eisen-Konsolen.

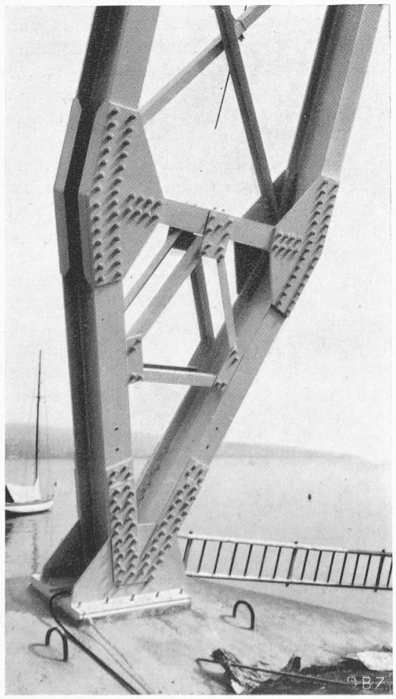
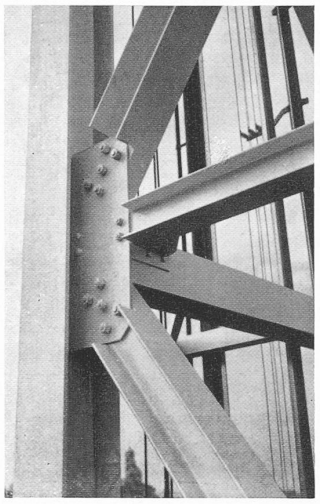


Abb. 25. Strebenfuss, linkes Ufer

Zur Unterstützung des Stationsbodens am Turmkopf dienen der Hauptunterzug in der Ebene der seeseitigen Turmwand und der Unterzug in der landseitigen Wand aus zwei ⊐-Eisen; der letztgenannte ist gegen den Turm abgestützt. Quer zu diesen Unterzügen läuft die Balkenlage aus ⊏-Eisen und Holzbalken. Auf dem Rost des Stationsbodens des Turmes rechts liegen die Rahmen des Hauptantriebes und des Hilfsantriebes. An der Turmspitze, am Ende eines Fachwerk-Querbalkens, sind die Seilbefestigung und die Umlenkräder für das Zug- und das Hilfsseil an-

[1]) Vergl. «SBZ» Bd. 112, S. 171* (1. Okt. 1938).



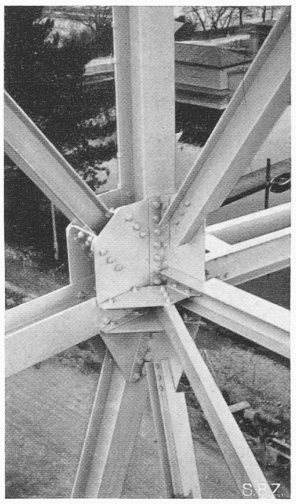


Abb. 21 und 22. Typische Knotenpunkt-Ausbildungen

gebracht. Diese Kräfte laufen nicht durch einen Punkt und können innert gewisser Grenzen ihre Richtung ändern. Damit diese Kräfte gleichmässig auf die vier Tragwände des Querbalkens übertragen werden, sind die Seilbefestigung und die Umlenkrollen in einem Blechkasten untergebracht. Dieser Blechkasten konnte in der Werkstätte zum Bohren der Achslöcher fertig zusammengebaut werden. Die vertikalen Fachwerkwände sind soweit auseinandergerückt, dass zwischen ihnen die Liftmechanismen untergebracht werden können. Einzig die Seilrollen der Lifts liegen unmittelbar über den Liftführungen ausserhalb des Liftmaschinenraumes. Sie werden durch auskragende ⊏-Eisen getragen.

Der Restaurantboden besteht aus Bohlen auf Holzbalken, die von einem I-Trägerrost (Abb. 16) unterstützt werden. Anstelle der normalen Riegel verbinden zwei schwere Unterzüge I DIE 80 den Turmschaft mit der Strebe. Quer zu diesen Unterzügen laufen die Riegel I 42 1/2 mit Oberkante Unterzug bündig. Die Konsolen, ebenfalls aus I NP 42 1/2, sind an den Enden abgeschrägt und mit angeschweissten Platten an die Unterzüge angeschlossen. Das Restaurant-Dach erhielt in der Mitte eine durchgehende Firstpfette, die am Turme aufgehängt ist, und eine Traufpfette aus einem Winkeleisen, unterstützt durch einzelne I-Sparren. In der Firstpfette und auf dem oberen Riegel der Wände ruhen die Holzsparren des Daches auf. Der Montageverband dieses Daches konnte wieder ausgebaut werden, da die Dachschalung die Windkräfte aufnimmt.

Um die Türme leicht demontieren zu können, sind sämtliche Verbindungen, wo sie nicht geschweisst waren, mit besonderen schwarzen Schrauben hergestellt. Im Stahlbau werden allgemein Schrauben nach dem Zoll-System verwendet, mit Withworth-Gewinde, deren Schaftdurchmesser von 1/8" zu 1/8" abgestuft sind, während die Lochdurchmesser von 3 zu 3 mm abgestuft werden. Dieses führt dazu, dass die dicken Schrauben im Loch ein kleineres Spiel haben als die dünnen. Für die Türme der Schwebebahn konnten solche Schrauben nicht verwendet werden. Man entschloss sich deshalb Spezialschrauben zu verwenden, die im Loch nur ein Spiel von 0,5 mm besitzen. Für die Durchmesser betrug die Toleranz + 0,3 mm und — 0,2 mm. Da rd. 20 000 Schrauben benötigt wurden, bereitete deren Beschaffung keine Schwierigkeiten. Beim Pressen der Schrauben muss der Matrize der gewünschte Durchmesser gegeben werden und es ist darauf zu achten, dass sie rechtzeitig erneuert wird. Ferner dürfen die Stahlbau-Schrauben kein zu langes Gewinde besitzen, damit es nicht zu tief in die Bohrung hinein reicht. Aus diesem Grunde sind die nach den VSM-Normalien hergestellten Schrauben mit ihrem langen Gewinde für den Stahlbau nicht verwendbar. Gesichert wurden sämtliche Schrauben durch einfache Federringe. Um das Stahlgerüst leichter erscheinen zu lassen, erhielt es einen weissen Anstrich. Das Gewicht der Grobeisenkonstruktion des Turmes ohne Restaurant beträgt 145 t, dasjenige des Turmes mit Restaurant 181 t.

**Montage**

Zur Montage der unteren 50 m des Turmes diente ein rd. 50 m hoher Turmdrehkran der Firma Stirnimann in Olten (Abb. 26). Die Fahrschienen des Kranes waren auf Betonschwellen parallel zur Bahnaxe neben dem Turm verlegt. Mit diesem Kran konnten gleichzeitig der Turmschaft, die Verbindungs-

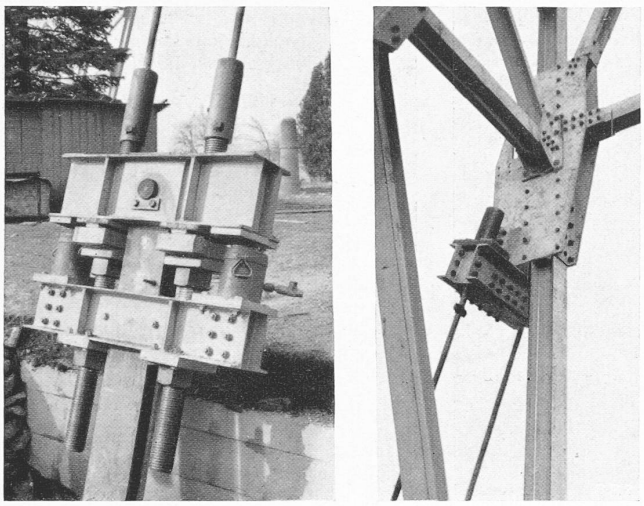


Abb. 23 und 24. Abspannkabel, Verankerung und oberer Anschluss

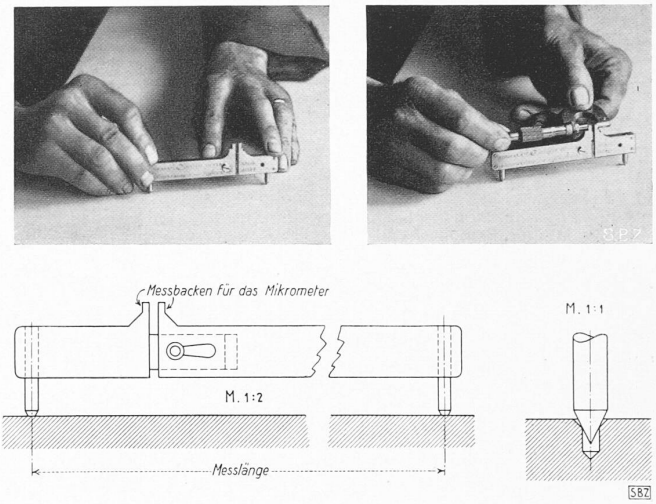



Abb. 27 bis 29. Mikrokomparator System Ing. A. Meyer, SBB, Bern

riegel zur Strebe und die Strebe selbst montiert werden; der Turmdrehkran hatte 15 m Ausladung und 3 t Tragkraft. Der zuerst montierte untere Teil des Turmes musste gegen den See hin durch zwei Hilfsstützen abgefangen werden, dann baute man den ersten Schuss der Strebe und den ersten Querriegel ein. In gleicher Weise wurde weitergearbeitet bis auf eine Höhe von rd. 50 m. Je weiter der Turm aufgebaut wurde, umso stärker machte sich der Druck der Strebe auf den Turm bemerkbar, weshalb die Abspannseile zwischen dem seeseitigen Fundament und dem ersten und zweiten Riegelanschluss stets stark angespannt waren. Um die Strebe seitlich zu halten, sind Windverbände zwischen die Querriegel eingezogen worden. Provisorische Kreuzverbände zwischen dem zweiten und dritten Riegel entlasteten die oben genannten Abspannseile und machten den Bock in Richtung der Bahnaxe stabil. Erst als die Strebe an der Turmspitze angeschlossen war, konnten diese Hilfsverbände ausgebaut werden. Auf einer Höhe von rd. 43 m über Boden errichtete man einen Hilfsboden, auf den mit Hilfe des Turmdrehkranes der Leichtbaukran und die schweren Montagestücke hochgehoben wurden. Von diesem Hilfsboden aus erstellte man 6,2 m höher den ersten Montageboden mit den Laufschienen für den elektrischen Leichtbaukran, der bei 2,5 bis 4 m Ausladung 0,8 bis 1,5 t Tragkraft hatte. Von diesem ersten Montageboden aus wurde der nächste Schuss des Turmes und der Strebe montiert und der zweite Montageboden 12,3 m höher erstellt. Vom zweiten Boden aus konnten dann die landseitige Turmwand, die Turmspitze und der Stationsboden und zuletzt das noch fehlende Stück der seeseitigen Strebe aufgebaut werden. Bis zu einer Höhe von rd. 50 m war der Turm quer zur Bahnaxe ohne seitliche Seilabspannung standsicher; von dieser Höhe an musste eine Hilfsabspannung angebracht werden, die in den Abspannfundamenten befestigt war. Die Montage der definitiven seitlichen Seilabspannung ging rasch vonstatten: Die Seile kamen auf Trommeln mit den fertig angegossenen Seilköpfen auf den Platz, das obere Seilende wurde mit dem Leichtbaukran hochgezogen, während das Seil von der Trommel abrollte. Nach der Montage aller vier Abspannseile erfolgte das Einschrauben der Spindeln in die Seilköpfe und das Anspannen der Seile in den Verankerungen. Damit der Turm beim Anspannen der Ankerseile nicht schief gezogen wurde, hatte die Aufbringung der Seilkraft auf beiden Seiten gleichzeitig zu erfolgen. Nach beendigter Montage der seitlichen Abspannungen konnte die Hilfsabspannung entfernt werden und auf die Fertigstellung des Turmes erfolgte der Abbau der Montageverbände (die für die Demontage der Türme wieder zur Verwendung kommen).

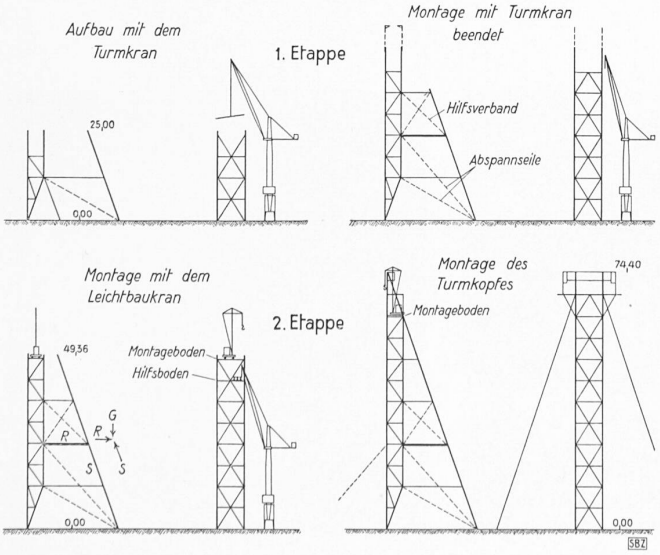



Abb. 26. Schema der Montage

Die Konstruktionsteile wurden im Bahnhof Zürich auf Lastwagen verladen und bis zu den Baustellen auf den beiden Ufern des Sees geführt. Man begann die Montage beim Turme rechts; nachdem der Leichtbaukran dort aufgestellt war, wurde der Turmdrehkran auf dem Turme rechts frei und konnte für die Montage des Turmes links verwendet werden. Mit der Montage der Stahlkonstruktion für den Turm rechts wurde am 21. Nov. 1938 begonnen, mit derjenigen des Turmes links am 5. Jan. 1939. Am 25. Febr. 1939 war die Montage der Grobeisenkonstruktion beider Türme beendet. Trotz der für die Montage ungünstigen Jahreszeit und der teilweise schlechten Witterung im Monat Dezember konnten die Türme in der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit aufgebaut werden.

Das Ausführungsprojekt der Stahltürme, umfassend die stat. Berechnungen, die konstruktive Durchbildung und die Detailpläne, wurde bearbeitet von der Buss A. G. Basel im Benehmen mit Arch. J. Schütz in Zürich. An der Lieferung der Grobeisenkonstruktion der Türme beteiligten sich die Firmen Buss A. G. Basel, Eisenbaugesellschaft Zürich und Wartmann & Cie. Brugg mit je 30 %, die Firmen Geilinger & Cie., Winterthur und Gebr. Tuchschmid, Frauenfeld mit je 5 %. Die Montage der beiden Türme wurde von den drei erstgenannten Firmen gemeinsam ausgeführt unter Leitung der Eisenbaugesellschaft Zürich.

Die Ausführung der Türme stand unter der Kontrolle von Brückeninspektor Prof. F. Hübner vom Eidg. Amt für Verkehr.

## Die Kontrollmessungen am Stahlbau

Von Prof. FR. HÜBNER, Bern

In Anbetracht oben geschilderter Untergrund-Verhältnisse, ferner auch wegen der Besonderheit einer starken Veränderlichkeit in den Grenz-Belastungen der nicht alltäglichen Turm-Fundamente, namentlich aber wegen zu geringer Anhaltspunkte über die Dauer-Wirkung der Belastungen in dem bekanntlich schlechten Seegrund, schien es ratsam eine Einrichtung zu treffen, die eine zugleich einfache und unauffällige, dauernde Ueberprüfung des Verhaltens der Fundamente gestattet.

Hiezu bedienen wir uns nun der periodischen Messung von Spannungs-*Aenderungen* in bestimmten Querschnitten zweckdienlicher und möglichst leicht zugänglicher Stäbe der Turmgebilde. Zwei solcher Messtellen sind auf Abb. 25 an den je 2 schwarzen Punkten über den untersten Stosslaschen zu erkennen. Für diese Messungen sind im ganzen 14 Messorte, an