

# Ueber den Genauigkeitsgrad der Messungen für Anlage und Bau von Tunneln

Autor(en): **Haller, F.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **41/42 (1903)**

Heft 19

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-24067>

## **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.

bahnwagen zu je 11 t und eine Menschenbelastung von 450 kg/m<sup>2</sup> zu Grunde gelegt.

Aus diesen Anforderungen hat sich die in den Abbildungen 4, 5, 6 und 7 dargestellte Konstruktion ergeben, die im wesentlichen aus wenigen aber starken, von einander rund 20 m abstehenden Jochen mit vier darüber gelegten Parallelträgern besteht.

Die Joche bestehen aus Gruppen von eingerammten Pfählen mit Eisenarmierung, die durch eine beidseitige Verschalung verbunden sind. Die Parallelträger setzen sich abwechselnd aus kragenden und eingehängten Teilen zusammen, worüber näheres aus den beigegebenen Abbildungen zu entnehmen ist. Die Wahl dieser Träger an Stelle der billigeren, kombinierten Spreng- und Hängewerke war einerseits durch die Rücksichtnahme auf die Dichtigkeit des zu bewältigenden Verkehrs bedingt, andererseits aber auch dadurch, dass die bauende Firma, der das Abbruchmaterial nach Vollendung der neuen gewölbten Brücke verbleibt, die spätere Verwendung dieser Parallelträger mit verhältnismässig geringen Abänderungen als definitive Strassenbrücke II. Grades in Aussicht nahm. Dem provisorischen Charakter der Brücke entsprechend sind die Fahrbahn sowie die Fussgängerwege mit Holz abgedeckt, in das die Geleise der Strassenbahn, wie in Abbildung 11 (S. 220) dargestellt, eingelassen wurden.

Um die Unterkante der Konstruktion über das grösste Rheinwasser zu heben, ist es nötig geworden, an beiden

Die provisorische Rheinbrücke in Basel.

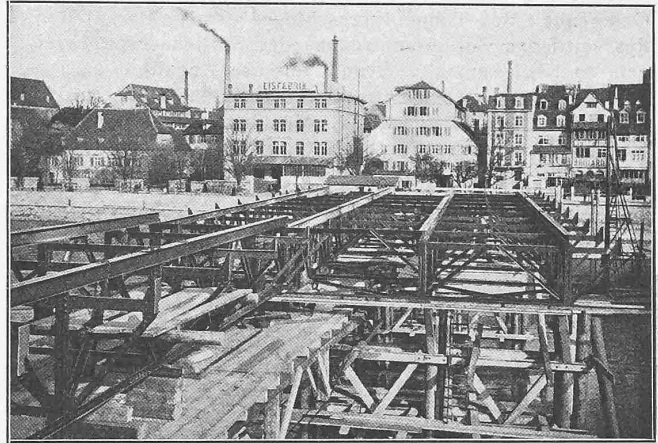


Abb. 8. Montierung des eisernen Oberbaues.

die Holzpfähle, noch in den unter dem Kies des Flussbettes anstehenden, zähern Untergrund eingetrieben, um den Jochen einen sichern Halt zu geben und sie vor Unterspülung zu sichern. Nachdem die Pfähle eingerammt und die Joche abgebunden waren, begann das Montieren der Kragträger und der eingehängten Träger, sowie die Fertigstellung der

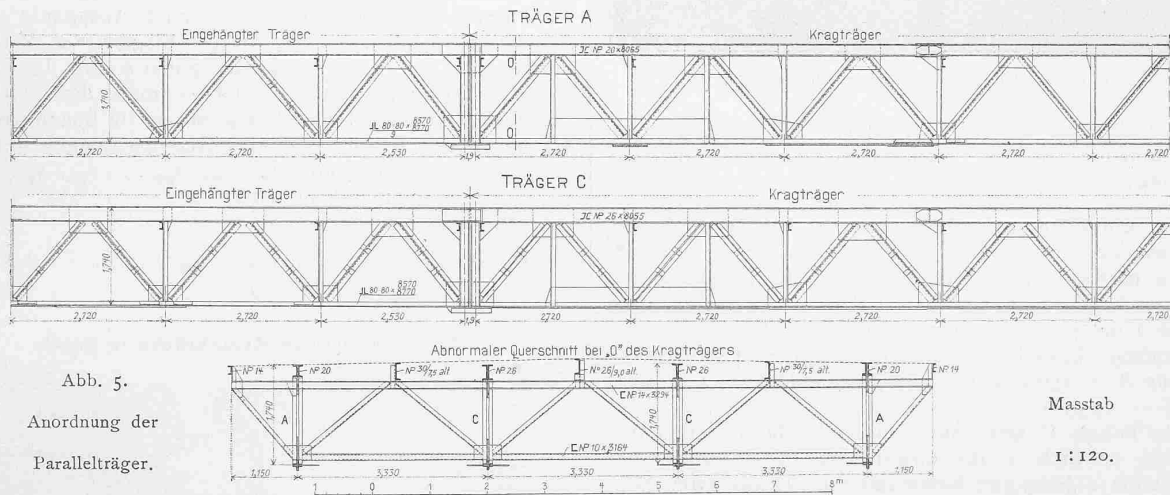


Abb. 5. Anordnung der Parallelträger.

Ufern schwach ansteigende Rampen anzulegen.

Hinsichtlich der Bauausführung sei erwähnt, dass zunächst sogenannte Hülfpfähle in der Mitte jeder Brückenöffnung geschlagen wurden, worauf man erst an das Rammen der runden Jochpfähle sowie der zwischen je zwei derselben eingestellten I-Eisen ging. Die letzteren wurden tiefer als

Fahrbahn mit den Geleisen von Grossbasel gegen die Kleinbasler Seite fortschreitend. Im November 1902 ist mit dem Bau begonnen worden und Mitte Mai 1903 konnte die Brücke dem Betrieb übergeben werden. Da diese Brücke Strassenbahngeleise aufnimmt, ist sie der Kontrolle des schweizer. Eisenbahndepartements unterstellt und es ist vor der Betriebseröffnung im Beisein der Vertreter des Eisenbahndepartements die vorschriftsmässige Belastungsprobe vorgenommen worden.

### Ueber den Genauigkeitsgrad der Messungen für Anlage und Bau von Tunneln.

Mit Bezug auf die Ausführung von geraden Eisenbahntunneln, deren Bau von beiden Seiten betrieben wird, soll untersucht werden, welcher Genauigkeitsgrad der Messungsergebnisse bei der Triangulation zur Bestimmung des Azimutes der Tunnelachse und beim Verifikations-Abstecken im Innern des Tunnels unter der Bedingung genügt, dass der Fehler des seitlichen Zusammentreffens der Stollen an der Durchschlagstelle — wenigstens beim Sohlenstollenbetrieb — keine Vermehrung der Bauarbeit erheischt, dass also jener Fehler den Betrag der Differenz zwischen der Breite B des Ausbruchprofils des Tunnels und der Breite B<sub>0</sub> des Stollenprofils nicht überschreitet.

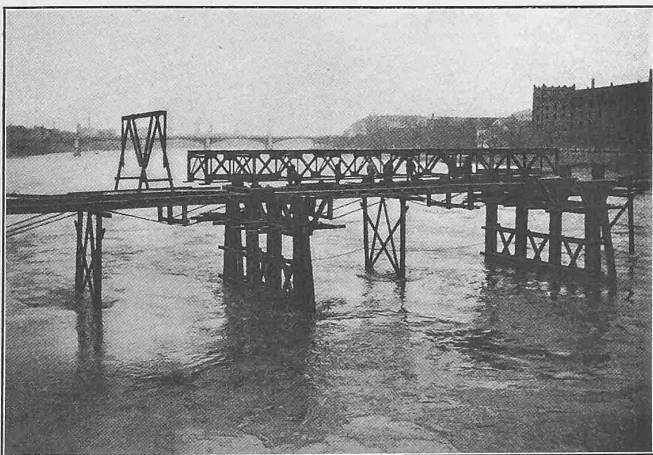


Abb. 9. Aufstellung eines Parallelträgers.

Wenn  $\pm \Delta$  (in Längenmass) den sogenannten wahrscheinlichen und  $F$  (in Längenmass) den wirklichen (bei Gelegenheit des Tunneldurchschlages ermittelbaren) Fehler des seitlichen Zusammentreffens der Stollenachsen bezeichnen, so liegt keinerlei Grund für die Annahme vor, dass der Wert von  $F$  eher unter dem absoluten Wert von  $\Delta$  als über demselben liegen werde. Man kann aber bei gleichen Gewinn- und Verlustchancen 10 gegen 1 oder 100 gegen 1 oder 1000 gegen 1 wetten, das  $F$  die beziehentlichen Werte 2,5065  $\Delta$ , oder 3,8241  $\Delta$ , oder 4,8792  $\Delta$

Die provisorische Rheinbrücke in Basel.



Abb. 10. Die hölzernen Brückenjoche im Bau.

nicht überschreiten werde. Der letztere Wahrscheinlichkeitsgrad kommt praktisch der Sicherheit gleich. Man kann daher die Bedingung  $\Delta$  (absolut)  $\leq \frac{B-B_0}{4,8792}$  aufstellen, um sicher zu gehen, dass  $F$  den Wert  $B-B_0$  nicht überschreiten wird.

Um mittelst zweier Gegenkurven vom Radius  $R$  und einer Zwischengeraden von der Länge  $G$  einen seitlichen Fehler von der Grösse  $F$  beim Zusammentreffen der Stollen auszugleichen, bedarf es einer Strecke  $S = \sqrt{G^2 + 4RF}$ .

(Für  $R = 2500\text{ m}$ ,  $G = 100\text{ m}$  und  $F = 2\text{ m}$  wird somit  $S = 173\text{ m}$ ).

Der Fehler  $F$  setzt sich aus drei Hauptsummanden zusammen, nämlich 1. aus einem von den Fehlern der Triangulation abhängigen Summand und 2. aus zwei Summanden, welche von den beim beidseitigen Verifikations-Abstecken der Richtung im Tunnel begangenen Fehlern abhängig sind. Der erste dieser Summanden ist gleich dem Produkt aus der Entfernung der beidseitigen sogenannten Achspunkte und aus der Abweichung (in Bogenmass) der aus der Triangulation berechneten Richtung der Tunnelachse von ihrer wirklichen (durch die gegenseitige Lage der Achspunkte gegebenen) Richtung. Der zweite und der dritte Summand, welche unter sich gleichartig sind, hängen von der Methode der Verifikations-Absteckung im Tunnel ab.

Es soll der weitem Betrachtung die folgende, denkbar einfachste Methode zu Grunde gelegt werden, der man unter gewissen Bedingungen a priori rechnerisch nahe treten kann und die von vornherein relativ grösste Werte für die beiden sub 2 erwähnten Summanden erwarten lässt:

Der erste Richtungspunkt wird durch Stationieren auf dem Achspunkt der zugehörigen Seite unter Zuhilfenahme einer sogenannten Marke, oder direkt mit Hilfe aller Richtungen der vom Achspunkt ausgehenden Dreieckseiten des Triangulationsnetzes bestimmt. Um den zweiten Richtungspunkt zu bestimmen, wird auf dem ersten stationiert, auf den Achspunkt rückwärts visiert und diese Richtung zum Ausgang für die Absteckung des zweiten Richtungspunktes genommen. Die Absteckung des dritten Richtungspunktes erfolgt durch Stationieren auf dem zweiten und Rückwärtsvisieren nach dem ersten behufs Gewinnung der erforderlichen Ausgangsrichtung,

u. s. w. Jeder neue Richtungspunkt wird abgesteckt durch Stationieren auf dem letzten und Gewinnung der erforderlichen Ausgangsrichtung mittels Rückwärtsvisierens nach dem vorletzten Richtungspunkt.

Bei diesem Verfahren setzen sich sowohl der zweite als auch der dritte Summand von  $F$  je zusammen aus zweifaktorigen Produkten, gebildet einerseits aus der Entfernung der Durchschlagsstelle vom Achspunkt, vom ersten Richtungspunkt, vom zweiten Richtungspunkt, . . . . ., vom letzten Richtungspunkt, und andererseits aus den je entsprechenden Richtungsabweichungen (in Bogenmass) von der berechneten Tunnelachsrichtung, der Richtung Achspunkt-erster Richtungspunkt, der Richtung erster-zweiter Richtungspunkt, . . . . ., der Richtung vorletzter-letzter Richtungspunkt.

In analoger Weise, wie sich  $F$  aus Produkten zusammensetzt, welche einerseits aus wirklichen Richtungsfehlern und andererseits aus Distanzen bestehen, setzt sich auch  $\Delta^2$  zusammen aus Quadraten von Produkten, welche aus wahrscheinlichen Richtungsfehlern und aus Distanzen gebildet sind. Dabei sind zu unterscheiden der aus den unvermeidlichen Fehlern der Triangulation resultierende wahrscheinliche Fehler der Tunnelachsenrichtung und die den Operationen der Verifikations-Absteckung im Tunnel zukommenden wahrscheinlichen Richtungsfehler, denen man der Einfachheit halber auch die wahrscheinlichen Fehler der Bestimmung der ersten Richtungspunkte von den beiderseitigen Achspunkten aus beordnen darf.

Denkt man sich der Reihe nach Achspunkt  $a$ , Richtungspunkte  $p_1, p_2, \dots, p_m$ , Durchschlagstelle  $d$ , Richtungspunkte  $q_n, \dots, q_2, q_1$  und Achspunkt  $b$  auf der Tunnelachse aufgetragen und bezeichnet man den wirklichen Fehler der Tunnelachsenrichtung mit  $x_0$  (in Bogenmass) und die wirklichen Fehler der einzelnen Richtungen der Verifikations-Absteckung mit  $x_a, x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{pm}, x_{qn}, \dots, x_{q2}, x_{q1}, x_b$  (in Bogenmass) so wird:

$$F = ab \times x_0 + \overline{ad} \times x_a + \overline{p_1d} \times x_{p1} + \overline{p_2d} \times x_{p2} + \dots + \overline{p_md} \times x_{pm} + \overline{bd} \times x_b + \overline{q_1d} \times x_{q1} + \overline{q_2d} \times x_{q2} + \dots + \overline{q_nd} \times x_{qn}.$$

Die provisorische Rheinbrücke in Basel.

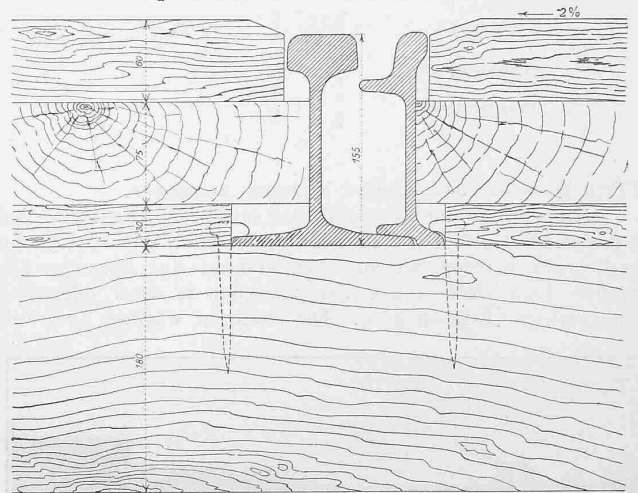


Abb. 11. Querschnitt durch Brückenbelag und Strassenbahngleise. — 1 : 5.

Ist andererseits  $v$  (in Sekunden) der wahrscheinliche Fehler der Tunnelachsenrichtung und sind  $w_a, w_{p1}, w_{p2}, \dots, w_{pm}, w_{qn}, \dots, w_{q2}, w_{q1}, w_b$  (in Sekunden) die wahrscheinlichen Fehler der Richtungen der Verifikations-Absteckung, so hat man analog:

$$\Delta^2 = ab^2 \times v^2 \sin^2 1'' + (\overline{ad}^2 \times w_a^2 + \overline{p_1d}^2 \times w_{p1}^2 + \overline{p_2d}^2 \times w_{p2}^2 + \dots + \overline{p_md}^2 \times w_{pm}^2) \times \sin^2 1'' + (\overline{bd}^2 \times w_b^2 + \overline{q_1d}^2 \times w_{q1}^2 + \overline{q_2d}^2 \times w_{q2}^2 + \dots + \overline{q_nd}^2 \times w_{qn}^2) \times \sin^2 1''.$$

Substituiert man hier den verschiedenen Werten  $w^2_{p_1}, w^2_{p_2}, \dots, w^2_{p_m}$  und  $w^2_b, w^2_{q_1}, w^2_{q_2}, \dots, w^2_{q_n}$  deren grössten zulässigen Wert  $w^2$ , so wird:

$$D^2 = ab^2 \times v^2 \sin^2 1'' + (\overline{ad^2} + \overline{p_1 d^2} + \overline{p_2 d^2} + \dots + \overline{p_m d^2}) w^2 \sin^2 1'' + (\overline{bd^2} + \overline{q_1 d^2} + \overline{q_2 d^2} + \dots + \overline{q_n d^2}) w^2 \sin^2 1''$$

und es ist  $D^2 > A^2$ . Setzt man nun nicht den kleinern Wert  $A^2$ , sondern den grösseren Wert  $D^2 = \left(\frac{B-B_0}{4,8792}\right)^2$ , so wird (mit Ausnahme des Grenzfalles, in welchem faktisch alle wahrscheinlichen Richtungsfehler der Verifikations-Absteckung den grössten zulässigen Wert  $\sqrt{w^2}$  haben würden) bei Werten von  $v$  und  $w$ , welche dieser Gleichung genügen, der wahrscheinliche Fehler im seitlichen Zusammentreffen der Stollenachsen an der Durchschlagstelle *kleiner* ausfallen als  $\sqrt{\left(\frac{B-B_0}{4,8792}\right)^2}$  und es wird folglich noch mehr als 1000 gegen 1 gewettet werden können, dass der wirkliche Seitenfehler des Zusammentreffens der Stollenachsen seinem absoluten Wert nach die Grösse  $B-B_0$  nicht überschreiten werde. Auf dieser Grundlage gelangt man daher zu folgender Hauptrelation:

$$\left(\frac{B-B_0}{4,8792}\right)^2 = \overline{ab^2} \times v^2 \sin^2 1'' + (\overline{ad^2} + \overline{p_1 d^2} + \overline{p_2 d^2} + \dots + \overline{p_m d^2}) w^2 \sin^2 1'' + (\overline{bd^2} + \overline{q_1 d^2} + \overline{q_2 d^2} + \dots + \overline{q_n d^2}) w^2 \sin^2 1''$$

Hiermit hat die Hauptuntersuchung ihren Abschluss gefunden, doch dürften gleichwohl die folgenden Ausführungen noch einigem Interesse begegnen:

Nimmt man an, dass alle Richtungspunkte jeder Seite in gleicher Entfernung  $l$  aufeinander folgen, und bezeichnet die Strecken  $\overline{ap_1}$  mit  $\alpha l$ ,  $\overline{p_m d}$  mit  $\gamma l$ ,  $\overline{bq_1}$  mit  $\beta l$  und  $\overline{q_n d}$  mit  $\delta l$ , so erhält man durch Summieren von Quadratreihen und geeignete Reduktionen:

$$\left(\frac{B-B_0}{4,8792 \sin 1''}\right)^2 = v^2 (\alpha + \beta + m + n + \gamma + \delta - 2)^2 l^2 + w^2 \left\{ \frac{m(m+1)(2m+1) + n(n+1)(2n+1)}{6} + (\alpha-1)^2 + (\beta-1)^2 + 2(\alpha-1)(m+\gamma) + 2(\beta-1)(n+\delta) + (m+1)(m+\gamma)\gamma + (n+1)(n+\delta)\delta \right\} l^2$$

Wird nun die Länge des Tunnels mit  $L$  bezeichnet und angenommen, dass die ersten Richtungspunkte beiderseits in den Tunnelportalen liegen, so kann man den Multiplikator von  $v^2$  in der letzten Gleichung durch  $(L + (\alpha + \beta)l)^2$  ersetzen. Bezeichnet man gleichzeitig zur Abkürzung den Multiplikator von  $w^2$  in derselben Gleichung mit  $Q^2$ , so kommt:

$$\left(\frac{B-B_0}{4,8792 \sin 1''}\right)^2 = v^2 (L + (\alpha + \beta)l)^2 + w^2 Q^2$$

Misst man  $B$  und  $B_0$  durch Meter,  $L$  und  $l$  durch Kilometer und nimmt für einen Spezialfall den Wert von  $B-B_0$  gleich  $2m$ , so erhält man die Spezialrelation

$7148,47 = v^2 (L + (\alpha + \beta)l)^2 + w^2 Q^2$  gemäss welcher  $v$  und  $w$  berechnet werden können, wenn zwischen beiden Grössen eine Bedingungsgleichung aufgestellt wird, oder gemäss welcher  $v$  oder  $w$  berechnet werden kann, wenn  $w$  oder  $v$  gegeben ist, sobald die Grössen  $L$  und  $l$  und die Zahlenwerte  $\alpha$  und  $\beta$  bekannt sind.

Wenn aus einer Triangulation, bei welcher jede Netzrichtung  $x$ -mal gemessen worden ist, für die Richtung der Tunnelachse ein wahrscheinlicher Fehler von  $s''$  resultiert, so darf man schliessen, dass es unter sonst gleichen Umständen einer  $4x$ -maligen, bzw.  $qx$ -maligen Messung jeder Netzrichtung bedürft haben würde, um jenen wahrscheinlichen Fehler auf  $\frac{s''}{2}$  bzw.  $\frac{s''}{3}$  herabzuziehen. Die Erzielung eines sehr kleinen wahrscheinlichen Fehlers der Richtung der Tunnelachse erfordert also eine sehr beträchtlich anwachsende Messarbeit bei der Triangulation.

Andererseits ergibt sich aus obiger Spezialrelation für  $L = 15 \text{ km}$ ,  $l = 1 \text{ km}$  und  $\alpha = \beta = 2$ , falls der Durchschlag in der Tunnelmitte erfolgt:

$$w_1 = 3,61'' \text{ für } v = 1'' \text{ und } w_3 = 2,74'' \text{ für } v = 3''$$

also  $\frac{w_3}{w_1} = 0,759$ ; erfolgt der Durchschlag bei  $\frac{1}{4}$  (beziehungsweise  $\frac{3}{4}$ ) der Tunnellänge, so wird

$$w_1 = 2,96'' \text{ für } v = 1'' \text{ und } w_3 = 2,24'' \text{ für } v = 3''$$

also  $\frac{w_3}{w_1} = 0,757$ . Je kürzer der Tunnel ist, um so mehr nähert sich das Verhältnis  $\frac{w_3}{w_1}$  dem Wert 1. — Hieraus geht hervor, dass man das Bestreben, für  $v$  einen sehr kleinen Wert zu erhalten, in der Regel nicht zu weit zu treiben braucht.

Man darf sicher sein, dass bei rationeller Anlage des Netzes einer Triangulation zur Bestimmung der Richtung der Achse von Tunneln bis zu 15 km Länge, selbst wenn dieses Netz nur aus einer Dreieckskette besteht, ein wahrscheinlicher Fehler der Achsenrichtung von 3'' nicht überschritten wird, insofern ein erprobter Triangulationsingenieur mit einem guten 8-zölligen Theodolit die Richtungs- bzw. Winkelmessungen auf jedem Netzpunkt in einem Umfang vornimmt, welcher 8 vollständigen Serien (4 in jeder Fernrohrlage) von Richtungsbeobachtungen äquivalent ist.

Legt man demnach der Berechnung von  $w$  mit Hülfe vorstehender Spezialrelation den Wert  $\pm v = 3''$  zu Grunde und macht die praktisch ungünstigen Annahmen, dass die Entfernung von Richtungspunkt zu Richtungspunkt nur 1 km beträgt und dass beide Achspunkte von den Tunnelportalen um je 2 km entfernt sind, und bezeichnet man mit  $w\left(\frac{1}{2}\right)$  den Wert von  $w$ , wenn der Durchschlag in Tunnelmitte erfolgt, und mit  $w\left(\frac{1}{4}\right)$  den Wert von  $w$  bei in  $\left(\frac{1}{4}\right)$  Tunnellänge stattfindendem Durchschlag, so erhält man folgende Resultate:

L	$\pm w\left(\frac{1}{2}\right)$	$\pm w\left(\frac{1}{4}\right)$
5 km	10,52''	9,54''
6 "	8,95''	7,97''
7 "	7,69''	6,75''
8 "	6,66''	5,77''
9 "	5,80''	4,97''
10 "	5,09''	4,31''
11 "	4,48''	3,77''
12 "	3,95''	3,30''
13 "	3,50''	2,90''
14 "	3,09''	2,55''
15 "	2,74''	2,24''

Wenn jeder neue Richtungspunkt bei der Verifikations-Absteckung im Tunnel dadurch gewonnen wird, dass man aus zwei von Kollimations- und Teilungsfehlern freien Bestimmungen, welche um die seitliche Distanz von  $i$  Millimeter differieren, das Mittel nimmt, so ist der zugehörige wahrscheinliche Richtungsfehler ( $w''$ ) =  $0,06956 \frac{i}{l}$ , was für  $i = 50 \text{ mm}$  bei  $l = 1 \text{ km}$  den Wert ( $w$ ) =  $\pm 3,48''$  ergibt.

Bei vorliegenden Voraussetzungen genügt also eine Genauigkeit der Absteckung, welche die relativ sehr beträchtliche Differenz zweier Bestimmungen von 50 mm auf 1 km gestattet, bis zu Tunnelnängen von 13 km, wenn der Durchschlag in Tunnelmitte erfolgt, und bis zu Tunnelnängen von 11,5 km, falls der Durchschlag in  $\frac{1}{4}$  Tunnellänge stattfindet.

F. Haller.

### Landkirchen.

Die alte Dorfkirche ist ein charakteristisches Merkmal ihrer Zeit. Sie wahrt die Eigentümlichkeiten der heimatischen Bauweise in Form und Material und bezeichnet gewissermassen den Höhepunkt, den die Baukunst auf dem Lande erreichen konnte. Sie enthält keine nachgeahmte, missverständene grosstädtische Kunst, sondern ist eine Schöpfung, die das Empfinden des Volkes rein und klar