

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 91 (1973)
Heft: 41: SIA-Heft, Nr. 9/1973: Brücken

Artikel: Versuche an Schraubenverbindungen mit vergrössertem Lochspiel und rohen Stahlbauschrauben
Autor: Bona, M. / Morf, U.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-72019>

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: 14.01.2026

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

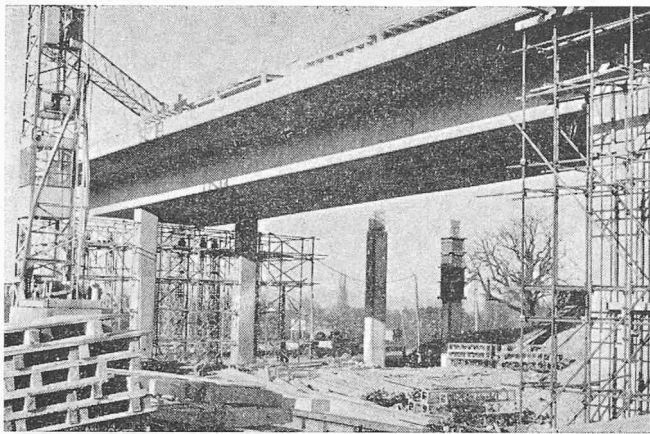


Bild 5. Ansicht einer fertigen Etappe von 33 m Länge, 5 m über die Stützen auskragend

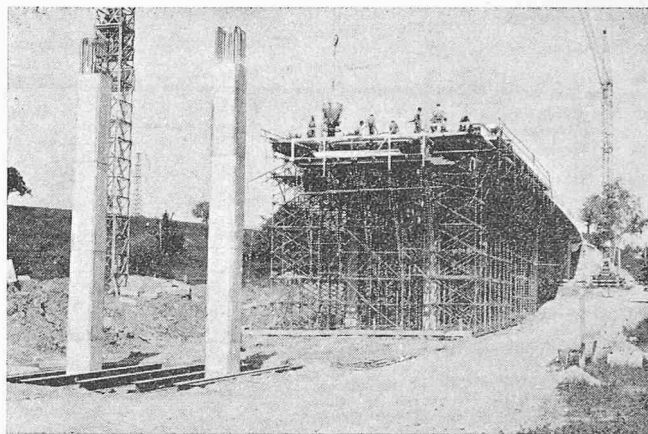


Bild 6. Bauzustand mit dem 18mal wiederverwendeten Stahlrohrgerüst

Die Herstellung des Überbaues erfolgte in Abschnitten von je 33 m Länge auf längsverschieblichen Gerüsten mit folgenden Arbeitstakten (Bild 5 und 6):

- Verschieben des Gerüsts, Richten und Fixieren am Kragarm des vorangegangenen Abschnittes
- Schalen und Armieren des Trog, Einbau der Kabel, wobei alle Kabel gekuppelt wurden
- Betonieren des Trog
- Schalen, Armieren und Betonieren der Fahrbahnplatte
- Vorspannen von je 2 Kabeln pro Steg – das 3. wurde beweglich gekuppelt – mit kurzzeitigem Überspannen sowie anschliessend injizieren
- Absenken und Verschieben des Gerüsts.

Die Baukosten der Brücke einschliesslich Pfählungsarbeiten, bauseitige Lieferungen wie Leitplanken, Belags- und Isolationsarbeiten sowie Honorare für Projektierung und Bauleitung belaufen sich auf rund 4,8 Mio Fr. oder 650 Fr./m² Brückenfläche (Preisbasis 1972).

6. Baustoffaufwand

Bezogen auf die Brückenfläche von 7376 m² wurde je m² folgendes Material für den Brückenüberbau verwendet: Beton 0,46 m³, Schalung 2,05 m², schlaffe Armierung 83 kg, Spannstahl 7,7 kg.

Beteiligte Firmen

Bauherr und Oberbauleitung: Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Tiefbau

Projekt und örtliche Bauleitung: Rothpletz, Lienhard & Cie. AG, projektierende Bauingenieure, Aarau, Olten, Bern

Bauunternehmung: Ad. Schäfer & Cie. AG, Aarau

Bohrpfähle: Brunner & Co., Zürich

Vorspannung: System BBRV, Stahlton AG, Zürich

Lager und Fahrbahnübergänge: Proceq SA, Zürich

Adresse der Verfasser: W. Hanak und W. Kaufmann, dipl. Bauingenieure SIA, in Ingenieurbüro Rothpletz, Lienhard & Cie. AG, Schiffpländstrasse 35, 5000 Aarau.

Versuche an Schraubenverbindungen mit vergrössertem Lochspiel und rohen Stahlbauschrauben

DK 624.078.2

Von M. Bona, Winterthur und U. Morf, Dübendorf

Der Bericht über die Versuche an Schraubenverbindungen mit vergrössertem Lochspiel und rohen Stahlbauschrauben ist im Auftrag der Schweizerischen Zentralstelle für Stahlbau (SZS) ausgeführt worden. Die SZS dankt der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Versuchsanstalt in Dübendorf für die gewährte personelle und finanzielle Unterstützung.

1. Einleitung

Im Stahlhochbau wird zwischen Werkstattfertigung und Montage unterschieden. Während sich die Fertigung verhältnismässig leicht rationalisieren lässt, bleibt die Montage weitgehend «Handarbeit». Einsparungen in dieser Phase lassen sich erzielen, indem die Bedürfnisse der Baustelle bereits während der Vorfabrikation erkannt und berücksichtigt werden. Dazu zählt vor allem eine realistische Erfassung der Ungenauigkeiten, die während der Fertigung und bei der Montage auftreten. Entsprechende Ausgleichsmöglichkeiten müssen bereits auf dem Zeichentisch vorgesehen werden.

Die wichtigste Montageverbindung ist die Schraubenverbindung. Üblich und in den DIN-Normen vorgeschrieben ist

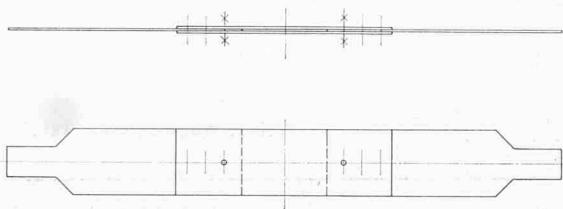
ein maximales Lochspiel von + 1 mm gegenüber dem Schraubendurchmesser. Es hat sich gezeigt, dass diese kleine Toleranz zu Schwierigkeiten bei der Montage führt, da bereits beim Bohren oder Stanzen des Lochbildes in der Werkstatt Abweichungen in der gleichen Grössenordnung entstehen. Um Passschwierigkeiten auf der Montage auszuschalten, wird heute vielerorts mit einem Lochspiel von + 2 mm gearbeitet.

Wie hoch sind nun aber die zulässigen Spannungen in Schraubenverbindungen mit vergrössertem Lochspiel und rohen Stahlbauschrauben? Ziel der Versuche war der Nachweis, dass unter gewissen Bedingungen eine Vergrösserung des Spiels zwischen Schraubenschaft und Lochwand auf 2 bis 4 mm die Tragfähigkeit der zu verbindenden Bauteile nur unbedeutend vermindert.

2. Versuche

Für vorgespannte Reibungsverbindungen sind bereits in Deutschland [2] und in den USA [1] Nachweise erbracht worden, dass bei Reibungs- und Scherverbindungen mit

Tabelle 1. Ergebnisse der Versuche an Verbindungen mit 1 Schraube M 16 bzw. M 24



Grundmaterial: St 24/36
 Schrauben M 16: Stahlbauschrauben Güte 5.8
 Schrauben M 24: Stahlbauschrauben Güte 4.6

$\sigma_s \min = 2,4 \text{ t/cm}^2$
 $\sigma_s \min = 4,0 \text{ t/cm}^2$
 $\sigma_s \min = 2,4 \text{ t/cm}^2$

$\tau_a \text{ zul} = 0,6 \sigma_s / 1,5$ Fall H nach SIA 161/1956¹⁾
 $\sigma_l \text{ zul} = 1,7 \sigma_s / 1,5$ Fall H nach SIA 161/1956¹⁾

a bedeutet Abscheren
 l bedeutet Lochleibung

¹⁾ Im Entwurf 1972 der SIA-Norm Nr. 161 werden die zulässigen Beanspruchungen zum Teil erhöht.

Schrauben	Loch- durchmesser	Lochspiel	Blechedicke	Probenver- längerung bei P_{zul} , Fall H		Versagen		P_{max}	Laschen	Lochleibung	Abscheren	$\sigma_l\text{ zul}$	$\tau_a\text{ zul}$	Sicherheits- grad	Sicherheits- grad nach Korrektur ²⁾
				elastisch	plastisch	Art	plastische Verlängerung								
	mm	mm	mm	mm	mm			t	t/cm ²	t/cm ²	t/cm ²	t/cm ²	t/cm ²	$\sigma_l / \sigma_l\text{ zul}$ bzw. $\tau_a / \tau_a\text{ zul}$	$\sigma_l / \sigma_l^*\text{ zul}$ bzw. $\tau_a / \tau_a^*\text{ zul}$
1 × M 16	18	2	15	— 0,2 0,2	— 0 0	a a a	— — —	13,3 13,3 13,5	— 2,55 —	— — —	3,31 3,31 3,36	— — —	— 1,60 —	2,1 2,1 2,1	1,7 1,7 1,8
1 × M 16	20	4	15	0,3 0,3 0,6	0 0,1 0,4	a a a	— — —	13,3 13,3 13,3	— 2,55 —	— — —	3,31 3,31 3,31	— — —	— 1,60 —	2,1 2,1 2,1	1,7 1,7 1,7
1 × M 16	18	2	7	0,3 0,2 0,3	0 0,1 0,3	l l l	14 14 14	13,6 15,0 14,2	— 2,76 —	12,14 13,39 12,68	— — —	— 2,72 —	— — —	4,5 4,9 4,7	3,9 4,3 4,1
1 × M 16	20	4	7	0,2 0,3 0,3	0,1 0,1 0	l l l	14 14 14	13,8 13,2 14,5	— 2,76 —	12,32 11,79 12,95	— — —	— 2,72 —	— — —	4,5 4,3 4,8	3,9 3,8 4,1
1 × M 24	26	2	15	0,3 — 0,3	0,3 — 0,5	a a a	— — —	32,2 32,1 31,8	— 2,36 —	— — —	3,56 3,55 3,52	— — —	— 0,96 —	3,7 3,7 3,7	2,4 2,4 2,3
1 × M 24	28	4	15	— 0,2 0,3	— 1,2 1,7	a a a	— — —	32,1 32,2 31,2	— 2,36 —	— — —	3,55 3,56 3,45	— — —	— 0,96 —	3,7 3,7 3,6	2,4 2,4 2,3
1 × M 24	26	2	10	0,3 — 0,2	1,3 — 0,6	l l l	14 14 14	21,3 19,4 23,4	— 2,66 —	8,87 8,08 9,75	— — —	— 2,72 —	— — —	3,3 3,0 3,6	2,9 2,7 3,2
1 × M 24	28	4	10	— 0,3 0,3	— 1,7 1,5	l l l	14 14 14	20,7 18,4 19,6	— 2,66 —	8,62 7,67 8,17	— — —	— 2,72 —	— — —	3,2 2,8 3,0	2,9 2,5 2,7

²⁾ Entsprechend der Festigkeit der Probekörper

hochfesten Schrauben ein Lochspiel von 3 bis 4,8 mm noch keine wesentliche Einbusse der Tragfähigkeit bringt.

In einer durch die Schweizerische Zentralstelle für Stahlbau (SZS) gemeinsam mit der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Versuchsanstalt (EMPA) durchgeführten Untersuchung wurden Verbindungen mit Stahlbauschrauben und mit vergrößertem Lochspiel bis zu 4 mm geprüft und ausgewertet.

Die praxisorientierte Fragestellung verlangte aussagefähige Versuchsparameter, welche im Versuch wie folgt berücksichtigt wurden:

1. zwei Schraubendurchmesser M 16 und M 24
2. zwei Stabquerschnittsabmessungen pro Schraubendurchmesser, so dass in einem Fall Abscheren, im andern Lochleibungspressung massgebend wurde
3. Lochspiel 2 mm und 4 mm
4. Schraubenzahl zweimal 1 Schraube und zweimal 5 Schrauben je Anschluss.

Bild 1. Anordnung des induktiven Weggebers auf den Prüfkörper

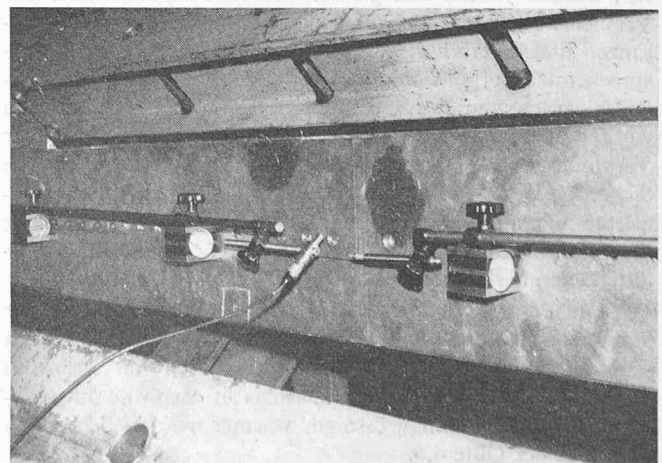
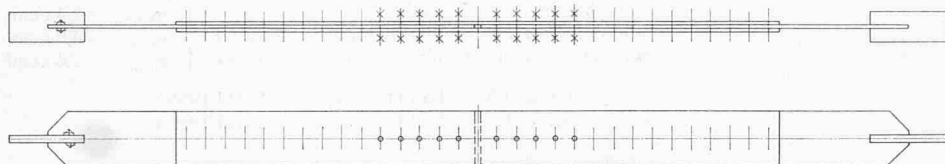


Tabelle 2. Ergebnisse der Versuche an Verbindungen mit 5 Schrauben M 16 bzw. M 24



Weitere Angaben siehe Tabelle 1

Schrauben	Loch- durchmesser	Lochspiel	Blechdicke	Probenver- längerung bei		Versagen		P_{\max}	Laschen	Lochleibung	Abscheren	σ_l zul	τ_a zul	Sicherheits- grad	Sicherheits- grad nach Korrektur ¹⁾
				P_{zul} , Fall H		Art	plastische Verlängerung								
				elastisch	plastisch										
	mm	mm	mm	mm	mm			t	t/cm ²	t/cm ²	t/cm ²	t/cm ²	t/cm ²	σ_l / σ_l zul bzw. τ_a / τ_a zul	σ_l / σ_l^* zul bzw. τ_a / τ_a^* zul
5 × M 16	18	2	15	0,3 0,3 0,3	0,1 0,1 0,6	a a a	— — —	69,4 69,5 66,9	2,29	— — —	3,45 3,46 3,33	— — —	1,60	2,2 2,2 2,1	1,8 1,8 1,7
5 × M 16	20	4	15	0,3 0,4 0,4	0,7 0,7 1,1	a a a	— — —	67,3 67,2 69,9	2,29	— — —	3,35 3,34 3,48	— — —	1,60	2,1 2,1 2,2	1,8 1,8 1,8
5 × M 16	18	2	7	— 0,3 0,2	— 0,1 0,1	1 1 1	12 8 10	65,5 (57,0) 63,0	3,06	11,70 (10,18) 11,25	— — —	— 2,72 —	— — —	4,3 (3,7) 4,1	3,4 (2,9) 3,2
5 × M 16	20	4	7	0,5 0,6 0,5	0,2 0,1 0,2	1 1 1	13 13 13	61,5 57,4 60,0	3,06	10,98 10,25 10,71	— — —	— 2,72 —	— — —	4,0 3,8 3,9	3,2 3,0 3,1
5 × M 24	26	2	20	1,4 1,0 1,2	1,0 3,6 4,0	a a a	— — —	(127,0) 140,7 142,5	2,32	— — —	(2,81) 3,11 3,15	— — —	0,96	(2,9) 3,2 3,3	(1,9) 2,1 2,1
5 × M 24	28	4	20	0,5 0,6 0,7	2,7 0,3 0,3	a a a	— — —	148,0 151,0 153,5	2,78	— — —	3,27 3,34 3,40	— — —	0,96	3,4 3,5 3,5	2,2 2,2 2,3
5 × M 24	26	2	10	0,4 0,4 0,5	1,2 1,2 2,1	1 1 1	12 12 12	77,6 72,8 73,1	2,56	6,47 6,07 6,09	— — —	— 2,72 —	— — —	2,4 2,2 2,2	2,2 2,1 2,1
5 × M 24	28	4	10	1,0 1,1 1,3	0 0,7 0,3	1 1 1	13 12 12	80,8 74,1 76,6	2,56	6,73 6,18 6,38	— — —	— 2,72 —	— — —	2,5 2,3 2,3	2,3 2,1 2,2

¹⁾ Entsprechend der Festigkeit der Baukörper

2.1. Versuchskörper

Als zweischmittige Stösse ausgeführte Flachstabverbindungen mit Blechen und Schrauben in handelsüblicher Qualität wurden im Zugversuch geprüft, die kennzeichnenden Laststufen und das zugehörige Verformungsverhalten aufgezeichnet. Um einigermaßen zuverlässige Mittelwerte zu erhalten, wurden jeweils drei gleiche Versuche durchgeführt. Die Versuchskörper wurden mit den im Stahlbau üblichen Toleranzen und Querschnittsabweichungen gefertigt und mit entsprechender Sorgfalt montiert und eingerichtet. Die Festigkeitseigenschaften des Blechwerkstoffes und der Schrauben wurden überprüft, um deren Einfluss auf die Tragfähigkeit der Verbindungen abschätzen zu können. Beim Vergleich sind die Sicherheitswerte (Versagenslast/«zulässige» Last) mit korrigierten «zulässigen» Spannungen berechnet worden, welche die am Probenmaterial festgestellten Streckgrenzen und Scherfestigkeiten berücksichtigen.

Die Festigkeitseigenschaften (Härte, Scherfestigkeit) der Schrauben streuen nur wenig. Ein deutlicher Unterschied zeigt sich zwischen den kaltgepressten Schrauben mit kleineren Abmessungen (M 16), welche meistens in der Güte 5.8 geliefert werden, und den grösseren, warmgepressten Schrauben (M 24) in der Güte 4.6.

Die Streckgrenzen des Blechwerkstoffes schwankten zwischen 2,29 und 3,06 t/cm² und lagen damit zum grössten Teil über dem vorgeschriebenen Mindestwert von 2,4 t/cm².

2.2 Versuchsergebnisse

Die Versuchsergebnisse sind in den Tabellen 1 und 2 zusammengestellt.

2.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Die Versuchsparameter Schraubendurchmesser bzw. Güte (Güte 5.8 für M 16 und Güte 4.6 für M 24) bewirkten grosse Unterschiede in der Tragfähigkeit der Verbindungen, entsprechend dem Verhältnis der Streckgrenzen des Schraubenmaterials.

Die niedrigen Sicherheitswerte τ_a/τ_a zul. bei den Schrauben Güte 5.8/M 16 ergeben sich nur, falls die höhere Streckgrenze ($\sigma_s = 4,0$ t/cm²) tatsächlich ausgenützt wird. Diese höhere Beanspruchung ist nach SIA-Norm Nr. 161, Art. 24, möglich, wird aber üblicherweise im Falle der Schrauben noch nicht ausgenützt.

Die Versuchsparameter Abscheren und Lochleibung zeigen vor allem das grosse Verformungsvermögen der Schrauben und Lochrandzonen. Bei Abbruch der Versuche war die grösstmögliche Lochleibungspressung noch nicht erreicht.

Der Versuchsparameter *Schraubenanzahl* bestätigte die ungleichmässige Lastverteilung auf 5 Schrauben; die Sicherheitswerte lagen aber nur geringfügig tiefer als im Versuch mit einer Schraube.

Der Hauptparameter *Lochspiel* führte (wie auf Grund praktischer Erfahrungen im Stahlbau erwartet) zu keinen feststellbaren Unterschieden in den Versuchsergebnissen.

Aus diesen Ergebnissen darf geschlossen werden, dass unter nachstehenden Bedingungen Lochspiele bis 4 mm die Tragfähigkeit der Schraubenverbindungen nicht einschränken.

3. Anwendungsbereich

Die Anwendung soll sich auf vorwiegend statisch belastete Stösse mit Lasten im Ursprungs-, besser Schwellbereich (ohne Vorzeichenwechsel) beschränken, da jeder Richtungswechsel der Last grosse Formänderungen lokal im Pressungsbereich und global im Tragwerk, entsprechend dem Lochspiel und plastischer Anpassung, hervorruft. Aus diesem Grunde ist z.B. die Anwendung von Lochspielen grösser als 2 mm bei Windverbandstäben nicht zu empfehlen. Bei üblichen Verbindungen des Stahlhochbaues wird mit einem Lochspiel von ± 2 mm gearbeitet, da dadurch erfahrungsgemäss noch keine unerwünschten Formänderungen im Tragwerk auftreten.

Falls aus Toleranzgründen Lochspiele von ± 4 mm gewählt werden, sind konstruktiv folgende Massnahmen zu treffen: Die Schrauben sollen satt angezogen sein, einschnittige Verbindungen sind zu vermeiden, und die Anzahl der Schnitte ist zu begrenzen. Das Tragvermögen von Schrauben kleiner als M 16 und vergrössertem Lochspiel wurde nicht überprüft. Lochspiele von ± 2 mm mit Schrauben M 10 und M 12 haben sich aber in der Praxis ebenfalls bewährt.

Den Werkstoffeigenschaften der höherfesten Schrauben Güte 5.8, wie sie heute für die Dimensionen bis M 16 üblich sind, ist Rechnung getragen, indem die vorgeschlagenen konstruktiven Massnahmen die lokalen Deformationen und Pressungen begrenzen und so die verminderte Bruchdehnung berücksichtigen.

4. Kontrollen

Durch Kontrollen an den Tragwerken müssen die Auswirkungen der vergrösserten Lochspiele überprüft werden.

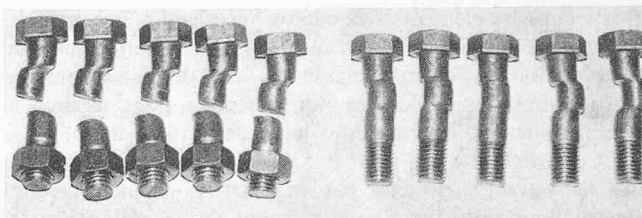


Bild 2. Versagen der Verbindung mit 2×5 Schrauben M 24 auf Abscheren

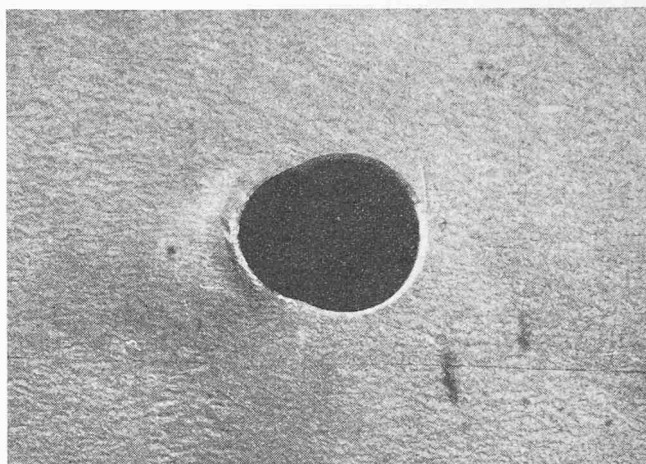


Bild 3. Charakteristisches Lochbild bei externer Lochleibungspressung

Literatur

- [1] Proceed. ASCE Struct. div. ST 6, Juni 1970
- [2] Ergänzungen zu den vorläufigen Richtlinien für HV-Verbindungen im Anwendungsgebiet des Stahlbaus mit vorläufig ruhender Belastung, Ausgabe März 1967.

Adressen der Verfasser: *M. Bona*, dipl. Bauing. ETH, Ingenieurbüro, Wülflingerstrasse 2, 8400 Winterthur, und *U. Morf*, dipl. Bauing. ETH, Abt. Vorsteher, Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, 8600 Dübendorf.

La création de Robert Maillart dans le domaine du béton armé

DK 92

Par **Pierre Tremblet**, Genève

Le 6 février 1872, Robert Maillart naissait à Berne. Ingénieur diplômé de l'école polytechnique fédérale de Zurich en 1894, il a eu une activité créatrice très importante qui le place, parmi les grands noms de la découverte et de l'emploi du béton armé, aux côtés de Monnier, Hennebique, Wayss, Emperger, Ritter, Considère, Freyssinet, Nervi.

La ligne directrice de sa carrière technique a été une recherche permanente de l'adaptation de formes nouvelles et les mieux adaptées à ce nouveau matériau de l'époque: le béton armé.

Au début de sa carrière, il a travaillé dans plusieurs entreprises dont Maillart et Cie à Zurich dès 1902. Cette activité pratique et dynamique, convenait à son tempérament énergique, audacieux et pragmatique. La dure loi de l'exécution du travail lui a évité de tomber dans le travers de subordonner la réalisation à la théorie.

Son imagination créatrice, son expérience pratique et ses connaissances théoriques synthétisées dans son esprit inventif et optimiste, lui permirent de créer des formes nouvelles de

dalles champignons, de ponts à trois articulations et d'arcs raidis.

Il mit au point des formules empiriques pour le calcul de ces types d'ouvrages, grâce à des essais sur des modèles grandeur nature, en particulier pour les dalles champignons. Avant 1930, les théories pour le calcul de ces dalles étaient peu exactes. Les formules expérimentales de Robert Maillart donnaient un dimensionnement du béton et de l'acier de ces dalles qui représentait une solution économique et acceptable pour l'époque.

Dans le même esprit, R. Maillart créa une forme nouvelle de ponts en tenant compte du monolithisme du béton qui répartit les charges sur l'ensemble de l'ouvrage. Pour diminuer le poids mort des constructions, il affina les formes en les adaptant aux efforts principaux et secondaires. Bien avant que la photoélasticité et les essais sur maquette viennent confirmer l'exactitude de ses conceptions, il projetait les ouvrages en béton armé avec des sections progressivement variables pour éviter les concentrations de tensions. Les