

**Zeitschrift:** Die Eisenbahn = Le chemin de fer  
**Herausgeber:** A. Waldner  
**Band:** 16/17 (1882)  
**Heft:** 23

**Artikel:** Ueber das räumliche Fachwerk  
**Autor:** Foepl, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-10326>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 15.03.2025

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

Wasserdämpfe, nach unten gezogen wird. Das Oel passirt also erst das Sieb *L*, dann die Oeffnungen *ee*, gelangt schliesslich, wie eben erwähnt, in den Afluscanal und von da in den Cylinder. Dieser erhält also eine vollständig gleichmässige und sehr öconomische Schmierung, was bei den wohl am meisten verbreiteten Doppelhahn-Apparaten, welche gleich nach der Füllung alles Oel abgeben und dann den Kolben ohne Schmiere laufen lassen, keineswegs der Fall ist.

Die Grösse der Apparate sollte natürlich im richtigen Verhältniss zur Grösse der Maschinen stehen, damit eine Füllung pro Tag genügt. Apparate auf Niederdruckmaschinen können auch während des Betriebes auf folgende Art nachgefüllt werden: Man lockert den Kopf *H*, damit die im Innern enthaltene Spannung entweichen kann; siedet dabei Oel heraus, so enthält der Apparat noch Oel genug und kann wieder zugeschraubt werden. Im anderen Falle nimmt man den Kopf *H* ganz ab und füllt Oel nach. — Apparate auf Hochdruckmaschinen müssen mit einem Abstellhahn versehen sein, wenn sie während des Betriebes nachgefüllt werden sollen.

Ein Einfrieren des Apparates ist unmöglich, weil, sowie der Dampf angelassen wird, derselbe durch das Bohrloch des Gewindezapfens in den zwischen den beiden Töpfen *A* und *B* befindlichen freien Raum eintritt und den ganzen Apparat warm hält. Für Locomotiven und Maschinen, welche der Witterung ausgesetzt sind, ist dies von Wichtigkeit.

Der Erfinder gibt als Hauptvortheile seines Apparates die folgenden an:

1. Die Wirkung desselben beruht auf einem unbedingt feststehenden Naturgesetz (nämlich der in abweichendem Maasse erfolgenden Ausdehnung zweier verschiedenen Metalle bei gleicher Erwärmung); der Apparat kann deshalb nie versagen.
2. Er besitzt weder bewegliche, noch sonst empfindliche Theile; er bedarf deshalb keiner Reparaturen und verursacht keine Betriebsstörungen.
3. Die Schmierung ist eine sehr gute und doch sehr öconomische, weil der Apparat nur so lange schmiert, als die Maschine geht.

Der Patrick'sche Apparat ist bei allen Arten Dampfmaschinen, Locomotiven, Dampfhammern, Dampfstanzen etc. anwendbar und für jede Art von Schmiermittel, ob consistent, dick- oder dünnflüssig, geeignet.

## Ueber das räumliche Fachwerk.

(Vide unsere Zeitschrift Bd. XV Nr. 4 und Bd. XVI Nr. 2.)

(Mit einer Tafel.)

### VI.

Nachdem in dem vorigen Aufsätze die allgemeine Methode der Berechnung eines räumlichen Fachwerkträgers auseinandergesetzt wurde, soll heute deren specielle Anwendung auf die Berechnung Schwedler'schen Kuppeldächer besprochen werden.

Als Schwedler'sche Kuppelconstruction bezeichnen wir nach deren Erfinder, Geh. Oberbaurath Schwedler in Berlin, das in unserem ersten Aufsätze bereits besprochene und dort durch Fig. 4 (Seite 22 des XV. Bandes) dargestellte räumliche Trägersystem. Die Schwedler'schen Kuppeln werden so häufig, namentlich über Gasbehälter-Gebäuden, ausgeführt, dass eine besondere Betrachtung derselben gerechtfertigt erscheint.

Da den bisherigen Ausführungen wohl ausnahmslos die Schwedler'sche Berechnungsart zu Grunde liegt, so scheint es angezeigt, zunächst an diese anzuknüpfen. Herr Schwedler sagt darüber\*):

„Bei den bisherigen Betrachtungen ist die ungleichförmige Belastung nicht berücksichtigt worden, da durch diese die Berechnungen sehr complicirt werden, indem die elastischen Verschiebungen der einzelnen Punkte in dieselben eintreten müssen. Für die Praxis kann man indessen die Kenntniss der Grenzen der Aenderung der Spannungen nicht entbehren und sind dieselben deshalb durch die nachfolgenden einfachen Anschauungen, wenn auch vielleicht etwas zu weit, bestimmt worden.“

\*) Schwedler, Construction der Kuppeldächer. Zweite vermehrte Auflage. Berlin 1877. Seite 4.

Und dann weiter:

„Für die Grenzen der Spannungen sind folgende Annahmen gemacht:

„1. Die Sparren (oder Gurtstäbe) sind im Maximo des Drucks, wenn die ganze Kuppel im Maximo belastet ist.

„2. Ein Ring ist im Maximo des Zugs oder Minimo des Drucks, wenn der innerhalb desselben befindliche Kuppeltheil im Maximo belastet ist, der Ring selbst mit seiner Zone dagegen unbelastet bleibt. Bei entgegengesetzter Belastungsweise treten die entgegengesetzten Grenzen ein.

„3. Die Diagonalen zwischen zwei Sparren sind im Maximo des Zuges, wenn die halbe Kuppel auf einer Seite des durch die Mitte der Diagonalen gehenden Durchmessers im Maximo belastet, die andere leer ist.“

Wie hierauf die den angegebenen Belastungsfällen entsprechenden Spannungen, wiederum unter Zugrundelegung vereinfachender Annahmen, weiter bestimmt worden ist in der angegebenen Quelle nachzulesen. Wir können schon aus dem Grunde auf eine weitere Reproduktion verzichten, weil es sich zeigen wird, dass die soeben angeführten Voraussetzungen hinsichtlich der ungünstigsten Belastungsart keineswegs genau zutreffend sind. Die genauere Untersuchung wird uns vielmehr zeigen, dass die ungünstigste Belastung, welche die Grenzspannung eines Stabes hervorruft, in einer Weise zusammengesetzt ist, die sich kaum erwarten und keinenfalls voraussagen liess, so lange eine genaue Berechnungsmethode nicht bekannt war oder nicht angewendet wurde. Eine solche war aber erst möglich, als man sich darüber klar war, dass die Schwedler'sche Kuppel mit schlaffen Diagonalen sich als ein statisch bestimmtes Fachwerk berechnen lässt.

Man wird es deshalb dem um die Ingenieurwissenschaften hoch verdienten Herrn Schwedler gewiss nicht als Fehler anrechnen können, dass er sich in Ermangelung einer strengeren Theorie geholfen hat, so gut als es ohne eine solche möglich war.

### VII.

Wir gehen nun zum Beweise unserer Behauptungen über und kommen damit zum Kerne des heutigen Aufsatzes. Diesen Beweis liefern wir durch die Behandlung eines Beispiels, durch die Erklärung der auf der beiliegenden Tafel ausgeführten Construction. Behandelt man eine andere als die auf der Tafel angenommene Kuppel, so werden sich zwar die Resultate etwas anders gestalten, man wird aber leicht bemerken, dass dadurch unsere oben aufgestellten Behauptungen nicht erschüttert werden können.

Da es uns nicht darauf ankommt, dem Leser durch eine vollständig durchgeführte Berechnung, durch eine Arbeit im grossen Stile zu imponiren, so suchten wir auf möglichst einfachem Wege den Zweck zu erreichen, das bei der Berechnung einer Kuppel nach unserer Methode einzuschlagende Verfahren so klar und deutlich als möglich auseinander zu setzen. Wir hoffen dadurch zugleich den Vortheil zu erreichen, dass die nachfolgenden Erörterungen auch wirklich gelesen, dass die Tafel auch wirklich studirt und nicht bloss flüchtig betrachtet wird, — ein Vortheil, der um so wichtiger sein würde, weil er so selten ist.

Fig. 1 und 2 der Tafel zeigen Aufriss und Grundriss der zur Berechnung gelangten Kuppel. Die Bezeichnung der Stäbe und Knotenpunkte entspricht der bereits in dem vorigen Aufsatz angewendeten und bedarf wohl keiner weiteren Erklärung.

Es wurde angenommen, dass nur eine einzige, senkrecht gerichtete Last *P* an dem Knotenpunkte *II*<sup>b</sup> angreift, während die ganze übrige Kuppel unbelastet ist. Man wird begreifen, wie wichtig es ist, gerade diesen einfachen Belastungsfall in's Auge zu fassen, wenn man sich an die Vortheile erinnert, die der Berechnung ebener Fachwerke durch derartige Betrachtungen erwachsen.

Es zeigt sich, dass bei diesem Belastungsfall die Mehrzahl der Stäbe ganz ohne Spannung ist. Der besseren Uebersicht wegen sind die nicht gespannten Stäbe im Grundrisse durch doppelseitig punktirt Linien ausgezeichnet. Die in Zugspannung versetzten Stäbe sind durch einseitig punktirt Linien und die gedrückten Stäbe durch beigesetzte Schattenstriche gekennzeichnet. Von den 72 Stäben des Trägers sind 7\*) gezogen, 9 gedrückt und die übrigen 56 ohne Spannung.

\*) Stab 8<sub>b</sub>, welcher gezogen ist, wurde auf der Tafel nicht als in Zugspannung befindlich angegeben.

Um zunächst zu erkennen, welche Stäbe bei dem vorausgesetzten Belastungsfälle spannungslos sind, verfahren wir wie folgt: Am Knotenpunkte I<sup>b</sup> wirken vier Kräfte, nämlich die Spannungen der Stäbe 1<sup>a</sup>, 2<sup>b</sup>, 3<sup>a</sup> und 1<sup>b</sup>, von denen drei in einer Ebene liegen, nämlich die drei zuerst genannten. Daraus folgt, dass die vierte Kraft 1<sup>b</sup> gleich Null sein muss. Dasselbe gilt von allen Knotenpunkten I und daher von allen Stäben 1. Kehren wir nun zum Knotenpunkt I<sup>b</sup> zurück, so wissen wir jetzt, dass nicht nur 1<sup>b</sup>, sondern auch 1<sup>a</sup> gleich Null ist, woraus folgt, dass auch 3<sup>a</sup> und 2<sup>b</sup> gleich Null sein müssen. Dasselbe gilt offenbar auch für alle übrigen Stäbe 2 und 3.

Gehen wir nun zum Knotenpunkte II<sup>a</sup> über. An diesem wirken sechs Stabspannungen, von denen aber zwei, nämlich 2<sup>a</sup> und 3<sup>a</sup>, bereits gleich Null bekannt sind. Von den übrigen liegen drei, nämlich 5<sup>a</sup>, 6<sup>b</sup>, 4<sup>b</sup> in einer Ebene. Die vierte Spannung 4<sup>a</sup> muss also wiederum gleich Null sein. Derselbe Schluss gilt für alle Knotenpunkte II mit alleiniger Ausnahme des durch P belasteten Knotenpunktes II<sup>b</sup>. Alle Stabspannungen 4, mit alleiniger Ausnahme von 4<sup>b</sup>, sind also Null. Daraus folgt, wenn wir wieder den Knoten II<sup>a</sup> in's Auge fassen, dass auch 5<sup>a</sup> und 6<sup>b</sup> Null sind. Dasselbe gilt für alle Spannungen 5 und 6 mit Ausnahme von 6<sup>a</sup>, 5<sup>b</sup>, 6<sup>b</sup> und 5<sup>c</sup>.

Dass sich dieselben Schlüsse auch noch für die Knotenpunkte III<sup>c</sup>, III<sup>f</sup> u. s. w. wiederholen lassen und dass man dadurch zu den auf der Tafel angegebenen Ergebnissen gelangt, sieht man nun leicht ein.

Es handelt sich jetzt noch um die Ermittlung der Spannungen der übrigen 16 Stäbe. Diese erfolgte durch Verzeichnen der beiden Kräfteplanprojectionen Fig. 3 und 4, von denen erstere wieder den Aufriss, letztere den Grundriss des räumlichen Kräfteplanes darstellt.

Zunächst wurde das Polygon für den Knotenpunkt II<sup>b</sup> gezeichnet, an dem ausser der Belastung P noch drei unbekannte Kräfte 6<sup>a</sup>, 5<sup>b</sup>, 4<sup>b</sup> angreifen. In früher bereits ausführlich beschriebener Weise wurde durch P und 4<sup>b</sup> einerseits und durch 6<sup>a</sup> und 5<sup>b</sup> andererseits eine Ebene gelegt und die Schnittlinien beider Ebenen bestimmt, deren Projectionen in Fig. 1 und 2 durch —.—.—irte Linien angegeben sind. Mit deren Hilfe konnten in Fig. 3 und 4 die beiden Projectionen des Polygons P, 4<sup>b</sup>, 6<sup>a</sup>, 5<sup>b</sup> gezeichnet werden.

Von da ging es zum Knotenpunkte II<sup>c</sup>, für den die Vorzeichnung eines einfachen Kräfte Dreiecks genügte. Hierauf zum Knotenpunkt III<sup>a</sup>, für den sich das vorige Verfahren wiederholte. Die Projectionen der Schnittlinie der Ebene 6<sup>a</sup>, 7<sup>a</sup> mit 8<sup>a</sup>, 9<sup>b</sup> sind wiederum durch —.—.—irte Linien in Fig. 1 und 2 mit angegeben.

Von III<sup>a</sup> gingen wir zu III<sup>b</sup> über. Dort waren zunächst die drei bekannten Spannungen 7<sup>a</sup>, 5<sup>b</sup>, 6<sup>b</sup> zu einer Resultirenden zu vereinigen, deren Projectionen in Fig. 1 und 2 durch —.—.—irte Linien angegeben sind. Durch diese Resultirende und 7<sup>b</sup> einerseits und 8<sup>b</sup> und 9<sup>a</sup> andererseits waren Ebenen zu legen, deren Schnittlinie die in den Fig. 1 und 2 —.—.—irten Projectionen hat, worauf sich das Polygon in Fig. 3 und 4 verzeichnen liess.

In gleicher Weise war beim Knotenpunkte III<sup>c</sup> zu verfahren, während für III<sup>d</sup> nur ein einfaches Dreieck zu construieren war.

Aus dem Kräfteplane ergibt sich leicht, welche Stäbe gezogen, welche gedrückt sind und ebenso findet man die Grösse dieser Spannungen leicht durch Ermittlung der wahren Längen der betreffenden Strecken des Kräfteplanes unter Berücksichtigung des angewendeten Kräfte massstabes.

### VIII.

Nach Durchführung der oben beschriebenen Constructionen lässt sich leicht angeben, wie gross die Spannung ist, die in irgend einem beliebigen Stabe durch eine senkrechte Belastung hervorgerufen wird, die an irgend einem der Knotenpunkte II angreift. Wegen der vorausgesetzten Symmetrie des Trägers lassen sich nämlich die gefundenen Resultate ohne Weiteres auf den Fall übertragen, dass irgend ein anderer der Knotenpunkte II durch eine senkrechte Last beschwert ist. Es ist also nur erforderlich, die auf der Tafel ausgeführte Construction für die beiden Fälle zu wiederholen, dass der Knotenpunkt I<sup>b</sup> resp. III<sup>b</sup> belastet ist, um daraus sämtliche Stabspannungen für irgend ein beliebiges System senkrechter Lasten ableiten zu können. Es bedarf dann zu diesem Zwecke nur einfacher Multiplicationen und Additionen. Ebenso lässt sich daraus sehr leicht erkennen, welches die möglichst ungünstige Zusammensetzung der

Belastung ist, die in irgend einem Stabe die Grenzspannungen hervorruft.

Da die weitere Durchführung der Behandlung nach dieser Richtung hin für die Darlegung der zu erklärenden Methode der Berechnung durchaus entbehrlich erschien, dagegen der Uebersichtlichkeit und leichteren Verständlichkeit entschieden Abbruch gethan hätte, so sind wir darauf nicht weiter eingegangen.

Gehen wir nun zu den Folgerungen über, die sich aus dem auf der Tafel Festgestellten über die ungünstigste Art der Belastung ziehen lassen. Dabei müssen wir uns freilich auf die Betrachtung der Belastung des Ringes II beschränken. Die einschlagenden Verhältnisse werden sich aber dabei deutlich genug erkennen lassen.

Auf die innerhalb des Ringes II liegenden Stäbe hat die Art der Belastung dieses Ringes gar keinen Einfluss. Die Spannungen dieser Stäbe hängen nur von der Belastung des Ringes I (des Laternenringes) ab. Auch die Spannungen der Stäbe des Ringes II sind nur wenig von der Art der Belastung dieses Ringes abhängig. Auf jeden Stab hat immer nur die Belastung eines seiner Endknotenpunkte Einfluss, während alle übrigen Knotenpunkte dieses Ringes wie der unterhalb liegenden beliebig belastet sein können.

Um die grösste Druckspannung des Stabes 7<sup>b</sup> zu erhalten, muss man den Knotenpunkt II<sup>b</sup> möglichst viel, den Knotenpunkt II<sup>c</sup> möglichst wenig belasten, während es ganz gleichgültig ist, wie die übrigen Knotenpunkte des Ringes II belastet sind.

Die grösste Zugspannung resp. kleinste Druckspannung des Stabes 8<sup>b</sup> tritt ein, wenn II<sup>b</sup> und II<sup>c</sup> möglichst viel, II<sup>a</sup> und II<sup>e</sup> möglichst wenig belastet sind. Die übrigen Knotenpunkte des Ringes II können beliebig belastet sein; die Belastungen der übrigen Ringe sind besonderer Untersuchung gemäss zu wählen.

Man erkennt daraus, dass unsere Resultate von den Schwedler'schen Annahmen in der That bedeutend abweichen. Hinsichtlich der practischen Anwendung der dargelegten Berechnungsweise bemerken wir noch das Folgende:

Es wird in den meisten Fällen genügen, wenn man nur verticale Lasten, also auch nur die verticalen Componenten des Winddrucks berücksichtigt, weil diese Kuppeln meistens ziemlich flach ausgeführt werden. Anderen Falles lassen sich die horizontalen (in die Meridianebene fallenden) Componenten des Winddruckes ebenfalls berücksichtigen. Die Arbeit wird dadurch allerdings verdoppelt, indem noch der Einfluss einer horizontalen Kraft an denselben Knotenpunkten ebenso gut untersucht werden muss, wie es für die verticale Belastung geschehen ist.

Nach Fertigstellen des Kräfteplanes kann man noch die folgende Probe anstellen. Es muss offenbar 6<sup>a</sup> ebenso gross werden als 6<sup>b</sup> und ebenso muss 9<sup>b</sup> + 9<sup>c</sup> = 9<sup>a</sup> + 9<sup>c</sup> sein, weil sich für jeden Stab 6 resp. 9 die betreffenden Spannungen addiren, wenn der Ring II in jedem Knotenpunkte mit P belastet ist und weil für diesen symmetrischen Belastungsfall die Spannung aller Diagonalen gleich Null sein muss. Diesen Umstand bemerkten wir erst, als die Tafel bereits ganz fertig gezeichnet war, konnten ihn also nicht zur Correctur während des Zeichnens benützen. Trotzdem trifft, wie man sich überzeugen kann (wenn nicht durch den Lithographen einige Ungenauigkeiten hereingetragen werden sollten), die Probe mit aller wünschenswerthen Genauigkeit zu. Daraus geht hervor, dass sich trotz der etwas complicirteren Construction der Kräftepläne wegen der vielen sich während des Zeichnens darbietenden Proben und Controllen dieselbe Genauigkeit erzielen lässt, die man von den Kräfteplänen ebener Fachwerke verlangt.

A. Foepl.

### Revue.

Les découvertes archéologiques du Louvre à Paris. — En exécutant des fouilles, dans le but d'assainir le corps de bâtiment de droite, faisant suite au pavillon de Sully, au Louvre, les ouvriers employés à ces travaux avaient découvert, à une profondeur d'environ 2 m au-dessous du sol de la salle du Musée des antiques, une série de murs parallèles, semblant provenir d'anciennes constructions. Voici quelques détails sur cette découverte qui présente un grand intérêt. Et d'abord, en creusant à une distance d'environ 2 m de l'entrée de la galerie des antiques, on a mis à jour, à une profondeur de 4 m, une

### Graphische Berechnung eines Kuppeldaches.

Fig. 1

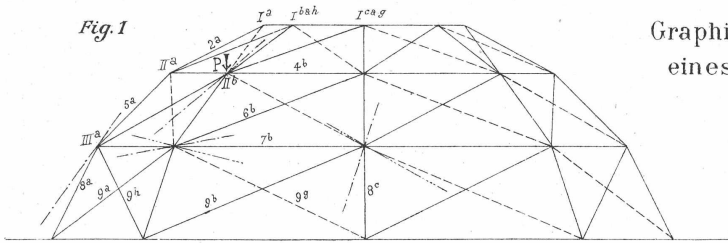


Fig. 2

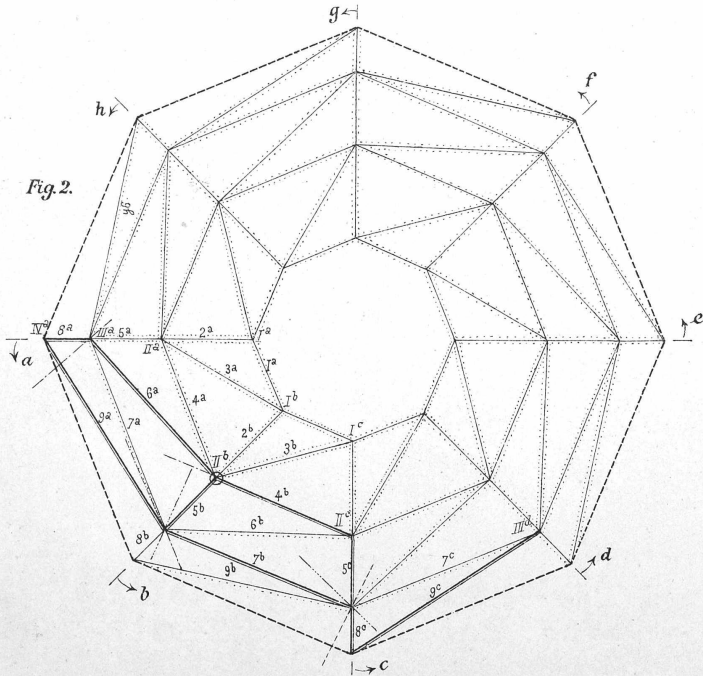


Fig. 3

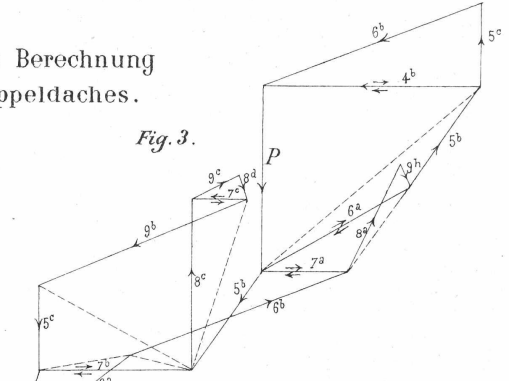
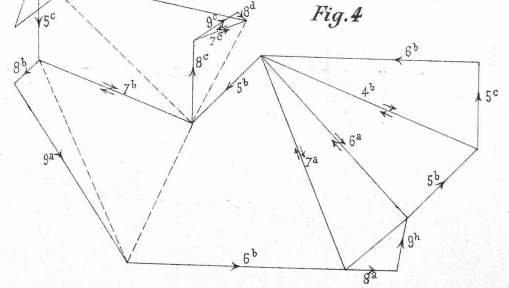


Fig. 4



- nicht gespannt.
- In Zugspannung befindlich.
- Gedrückt.

gez. von A. Fossgl.

Aut. J. J. Hofner Zürich.