

Ueber die Bewegung des Wassers in offenen Gerinnen

Autor(en): **Schoklitsch, Armin**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **79/80 (1922)**

Heft 5

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-38124>

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.

INHALT: Ueber die Bewegung des Wassers in offenen Gerinnen. — Holz-Architektur von Alfons Rocco in Arosa. — Abwärme-Verwertung. — Die schweizerischen Eisenbahnen im Jahre 1921. — Miscellanea: Verein Deutscher Ingenieure. Eine neue Riemenspannvorrichtung. Die Wiederherstellung der Fugger-Kapelle bei Sankt-Anna in Augsburg. Eidgenössische Technische Hochschule. Drahtlose Bildtelegraphie. Ecole

centrale des Arts et Manufactures, Paris. — Nekrologie: Theodor Vetter. — Konkurrenzen: Bebauungsplan für das Genfer Vorortgebiet Lancy-Onex. Neues Kantonschul-Gebäude Winterthur. Verwaltungsgebäude für die städtischen Betriebe in Lausanne. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Schweiz. Ing.- u. Arch.-Verein. Stellenvermittlung. Tafeln 6 und 7: Holzarchitektur von Alfons Rocco in Arosa.

Band 80.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 5.

Ueber die Bewegung des Wassers in offenen Gerinnen.

Von Dr. techn. *Armin Schoklitsch*, Zivilingenieur,
Privatdozent an der Technischen Hochschule in Graz.

Die Pulsationen.

Bei Erörterungen über die Bewegung des Wassers wird meist über eine bestimmte Geschwindigkeit in jedem Punkte eines Querschnittes gesprochen, so, als ob die Bewegung des Wassers eine unveränderliche, stets gleichgerichtete wäre. Allgemein bekannt ist aber auch, dass diese stillschweigend gemachte Voraussetzung tatsächlich nicht zutrifft, dass die Geschwindigkeit vielmehr um einen Mittelwert mehr oder weniger unregelmässig zuckt, pulsiert. Schon *Baumgarten*¹⁾ erwähnt gelegentlich eines Berichtes über Geschwindigkeitsmessungen an der Garonne, dass die Umlaufzeiten eines Woltmannflügels an ein und derselben Stelle bei unverändertem Wasserstande nicht gleich bleiben; diese Beobachtungen hat seither wohl jedermann machen müssen, der mit Geschwindigkeitsmessungen beschäftigt war.

*D. F. Henry*²⁾ will in verschiedenen Flüssen kleine Schwankungen der Geschwindigkeit mit einer Periode von 30 bis 60 Sekunden und grössere mit einer Periode von 5 bis 10 Minuten beobachtet haben. Gelegentlich von Messungen an der Elbe und an der Donau nahm *Harlacher*³⁾ Pulsationen mit Hilfe eines Woltmannflügels und eines Morschreibers auf und erhielt so auf dem den Apparat durchlaufenden Papierstreifen entsprechend der Dauer der einzelnen Flügelumläufe näher und weiter beieinander liegende Striche, deren Entfernung voneinander sofort die Dauer eines Umlaufes gibt. Die Auftragung der aus den Umlaufzeiten errechneten Geschwindigkeiten als Ordinaten und der Zeit als Abszissen lässt die Zuckungen der Geschwindigkeit deutlich erkennen. *Harlacher* stellte fest, dass die Geschwindigkeit innerhalb weniger Sekunden an der Oberfläche bis zu 20%, an der Sohle bis zu 50% schwanke. Durch systematische Beobachtungen über die Schwankungen des Wasserspiegels in einer Pitot'schen Röhre, die ja zum Teil auf Pulsstösse zurückzuführen sind, stellte *H. Bazin*⁴⁾ fest, dass die Rauigkeit des benetzten Umfanges die Pulsation steigert. Messungen, die *Unwin*⁵⁾ in der Themse, *Marr*⁶⁾ im Mississippi bei Burlington und *L. C. Sabin*⁷⁾ am St-Clair-Flusse anstellten, bestätigten im wesentlichen die Ergebnisse früherer Versuche; *Sabin* hebt besonders hervor, dass die Pulsstösse noch in einiger Entfernung stromab jener Stelle merkbar sind, an der die Strömung gestört wird, dass sie aber seitlich der betreffenden Stelle nur in engem Umkreis wahrnehmbar sind. Seine Bemerkung, dass sich die Pulsstösse stromab der Störung über die ganze Wassertiefe bemerkbar machten, fand indessen der Verfasser dieser Mitteilung durch eigene Versuche nicht bestätigt.

Umfangreiche Erhebungen, die das *k. k. Hydrographische Zentralbüro*⁸⁾ in Wien am Donaukanal durchführte, ergaben, dass in einer Lotrechten die Pulsstärke an der

Oberfläche am geringsten, an der Sohle am stärksten ist, dass sie bei gleicher Tiefe vom Stromstrich gegen die Ufer hin wächst und im selben Querschnitte mit zunehmender Geschwindigkeit abnimmt. *Th. Rümelin*¹⁾ endlich sind ausser unregelmässigen Zuckungen des Spiegels in einer Pitot'schen Röhre in so regelmässigen Zeitintervallen wiederkehrende grössere Ausschläge aufgefallen, dass er von einer Gesetzmässigkeit der Pulsation spricht und die Formel aufstellt, nach der Pulsationszeit mal mittlerer Geschwindigkeit ungefähr gleich der Wassertiefe ist. Die Versuche des Verfassers haben auch diese Regel nicht bestätigt.

Der Verfasser hat eine grössere Anzahl von Messungen und Versuchen durchgeführt, die den Verlauf der Pulsationen veranschaulichen sollen. Von den für solche Messungen zur Verfügung stehenden Geräten musste die Pitot'schen Röhre mit ihren Abarten ausgeschieden werden, da die in der Röhre aufsteigende Wassersäule eine Eigenschwingung besitzt, die sich den Pulsschwankungen überlagert und sie dadurch verzerrt. Bei der Verwendung des Woltmannschen Flügels erhält man die Pulsationen zu gering, da das Flügelrad, ähnlich einem Schwungrade, infolge seiner Trägheit ausgleichend wirkt. Beobachtungen, bei denen der Zeitaufwand für je 50 Umdrehungen aufgezeichnet wird, wie dies z. B. bei den Messungen am Donaukanal geschehen ist, gestatten keine richtige Beurteilung der Pulsationen, da ja innerhalb der Dauer von 50 Umläufen beträchtliche Schwankungen vor sich gehen, die aber in solchen Erhebungen nicht zum Ausdruck kommen. Um veranschaulichen zu können, wie unzulänglich diese Messungen sind, wenn es sich um die Ermittlung der Stärke der Pulsationen handelt, wurden eigens Messungen in der Wanderlinie von Wirbeln 0,12 m unter dem Spiegel durchgeführt, indem das eine mal jede 50. Umdrehung, das andere mal jeder einzelne Umlauf des Flügels mit Hilfe eines Chronographen registriert wurden; das Ergeb-

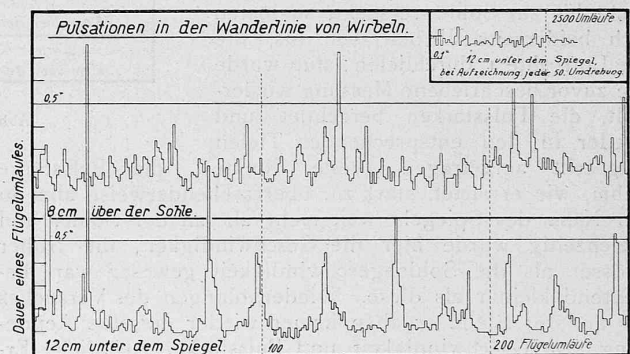


Abbildung 1.

nis der Messungen ist in Abbildung 1 graphisch dargestellt, indem die Dauer von je 50 bzw. von je einer Umdrehung nebeneinander aufgetragen sind. Deutlich ist der Durchgang jedes einzelnen Wirbels (mittleres Intervall 4,36 Sek.) zu erkennen, wenn jeder Umlauf aufgenommen wird, während die von den Wirbeln herrührenden Pulsstösse bei Aufnahme nur jedes fünfzigsten Umlaufes nicht zum Ausdruck kommen. Die von *Th. Rümelin* bemerkte regelmässige Wiederkehr der Pulsstösse dürfte auf den mit mehr oder weniger Pünktlichkeit erfolgenden Durchgang von Wirbeln zurückzuführen sein.

¹⁾ *Th. Rümelin*. Wie bewegt sich fließendes Wasser? Dresden 1913 S. 21, sowie in «Schweiz. Bauzeitung» LXVIII, S. 21 (15. Juli 1916).

¹⁾ Annales des ponts et chaussées (2) 14 (1847).

²⁾ Journal Franklin Inst. (62), S. 323.

³⁾ A. R. Harlacher. «Die Messungen in der Elbe und in der Donau». Leipzig, 1881. S. 14.

⁴⁾ Annales des ponts et chaussées (6) 14 (1887) S. 195.

⁵⁾ Trans. Am. Soc. Civ. Eng. Bd. 7, S. 117.

⁶⁾ A. Mc. Kenzie, Report on Currentmeter Observations, Burlington, Iowa, 1884.

⁷⁾ Watersupply and Irrigation Papers No. 95, E. Ch. Murphy, Accuracy of Streammeasurements S. 31.

⁸⁾ Beiträge zur Hydrographie Oesterreichs, 3. Heft (1897) U. 68.

Wand- oder Sohlennähe. Auf Grund der Versuche von E. Duclaux¹⁾ und S. S. Hele-Shaw²⁾ kam Ph. Forchheimer³⁾ zum Schlusse, dass sie laminar, d. h. in Schichten erfolge und zwar in sehr dünner Lage. Aus der von ihm aufgestellten Formel folgt z. B., dass in einem 1 m tiefen

rieten mehr oder weniger in Drehung. Es lag die Vermutung nahe, dass es die von irgend einem Hindernis verursachten Wirbel sind, die die Geschwindigkeit in der Oberflächzone verringern. War diese Annahme zutreffend, so musste in einer Lotrechten, in der die Maximal-

Ueber die Bewegung des Wassers in offenen Gerinnen.

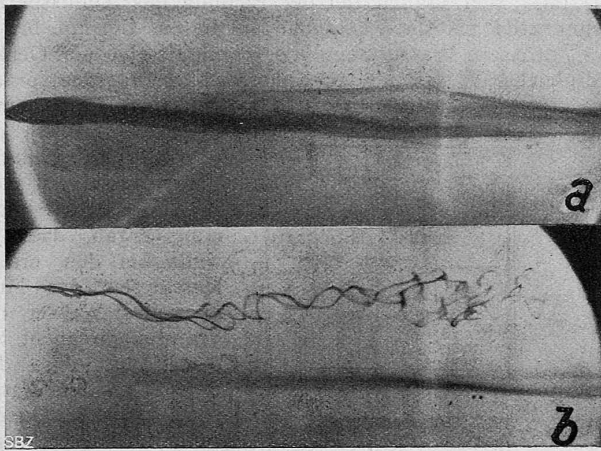


Abbildung 5.

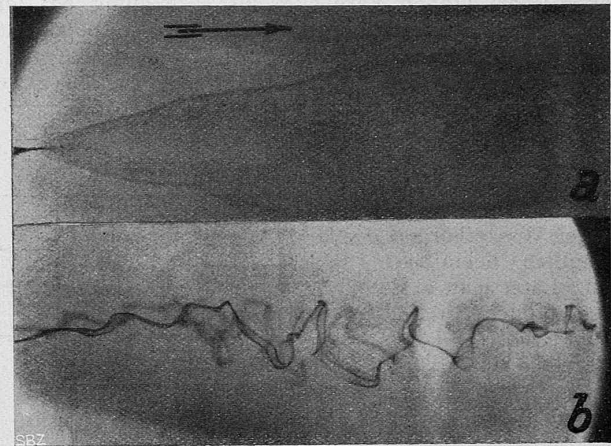


Abbildung 6.

Gerinne bei einer scheinbaren Sohlengeschwindigkeit von 1 m/sek die laminare Bewegung schon in einer Entfernung von 0,22 mm von der Sohle in die wirbelnde (turbulente) Strömung übergeht.

Eigene Versuche bestätigten, dass sich das Wasser in Wandnähe in sehr dünner Schicht laminar bewegt. Es wurde in einem Gerinne, dessen 0,25 m breite Sohle aus geschliffenem Beinglas bestand, durch eine Kapillare gefärbtes Wasser ins turbulent fließende Wasser in Bodennähe eingeführt. Das Farbwasser fließt, wie aus der Abbildung 5a leicht zu erkennen ist, als glatter Streifen ab. Wird die Kapillare höher gezogen, so bewegt sich das Farbband turbulent fort und an der Sohle ist der vom ersten Versuch herrührende, allmählich verblassende Farbwasserstreifen noch geraume Zeit, oft einige Stunden später zu erkennen (Abbildung 5b). Dieser Farbstreifen ist aber ziemlich schwierig zu beobachten, weil die Farbe, wenn die Kapillare entfernt wird, rasch verblasst, eine Erscheinung, die sich dadurch erklären lässt, dass mit der Zeit immer mehr und mehr gefärbte Schichten abfließen und durch ungefärbte ersetzt werden, bis endlich nur die letzte, festhaftende, aber sehr dünne gefärbte Schicht noch erhalten bleibt.

Genauer als in Wandnähe ist die Verteilung der Geschwindigkeit in Spiegelnähe bekannt⁴⁾; man weiss aber heute noch nicht, warum die grösste Geschwindigkeit im Spiegel, zuweilen etwas darunter, herrscht. Vom Verfasser wurde der Versuch unternommen, durch eigene Messungen zur Klärung dieser Frage beizutragen. In offenen Gerinnen konnte er oft die zahlreichen kleinen Wirbel mit lotrechter Axe verfolgen, die an der Oberfläche abwärts wanderten und viel langsamer als das dazwischenfließende Wasser vorwärts kamen. Es war nun auffallend, dass sich treibendes Laub unter solchen Wirbeln viel rascher bewegte als an der Oberfläche; schon bei einer Tiefenlage von etwa 0,2 m unter dem Spiegel wurde die Bewegung der Blätter von den kleinen Wirbeln kaum mehr beeinflusst, das heisst, die Blätter liefen unter den Wirbeln ohne jegliche Drehung rasch durch; die Wirbel reichten also nicht tief hinab. Nur Blätter, die knapp unter der Oberfläche trieben, ge-

geschwindigkeit ursprünglich im Spiegel lag, diese unter den Spiegel herabsinken, sobald stromaufwärts Wirbel erzeugt wurden. Der Versuch geschah in der Weise, dass an der in Abbildung 2 dargestellten Versuchsstelle in den Lotrechten 1, 2, 3 und 4 die Vertikalgeschwindigkeits-Kurven durch Flügelmessung erhoben wurden und hierauf oberhalb der Lotrechten ein Brett an der aus der Abbildung 2 ersichtlichen Stelle lotrecht bis zur Sohle ins Wasser gesenkt wurde, von dem sich beiderseits Wirbelreihen lösten, die sich nach den angedeuteten Bahnen abwärts bewegten. Die Lotrechte 1 lag in der Wirbelbahn; 2 und 3 lagen innerhalb der beiden Bahnen, wo das Wasser auch von Wirbeln durchzogen wurde und überdies heftig wallte; die Lotrechte 4 endlich lag in einer Zone, die nur ab und zu von einem abirrenden Wirbel durchzogen wurde. Nun wurden wieder die Vertikalgeschwindigkeits-Kurven ermittelt und ebenfalls in Abbildung 2 graphisch dargestellt. Deutlich ist zu erkennen, dass in jeder Lotrechten die Maximalgeschwindigkeit bei Vorhandensein von Wirbeln tief unter die Oberfläche hinab rückt. Dass in den Lotrechten 1, 2 und 4 schon früher die grösste Geschwindigkeit etwas unter dem Spiegel lag, rührt daher, dass sich etwa 40 m

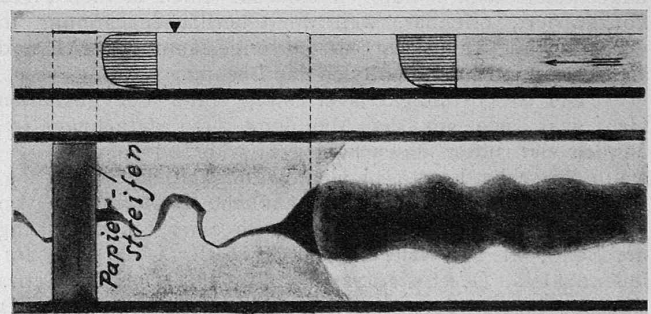


Abbildung 7.

oberhalb der Versuchsstelle von einem kleinen Brückenjoch Wirbel ablösten, die sich bis zur Messtelle noch nicht gänzlich geschlichtet hatten.

Nicht uninteressant sind Beobachtungen über das Verhalten der Oberflächenhaut selbst, die natürlich nur im Versuchsgerinne durchführbar sind (Abb. 6 und 7). Die Bewegung geht hier, wie die eigens angestellten Versuche

¹⁾ Annales de chimie et de physique (4) 25 (1872) 472.

²⁾ Inst Naval Archit. Trans. (39) 1897, S. 145; Comptes-rendus des séances de l'Académie des Sciences 132 (1901) S. 1306.

³⁾ Ph. Forchheimer, Hydraulik, Leipzig 1914, S. 119.

⁴⁾ Ph. Forchheimer, Hydraulik, Leipzig, 1914, S. 108.

gezeigt haben (wenigstens innerhalb der Versuchsgrenzen, d. h. bis zu Tiefen 0,1 m und Geschwindigkeiten bis zu etwa 1 m/sek) in der Oberflächenshaut stets laminar vor sich, gleichgültig, wie sie im übrigen Querschnitt verläuft. Wird z. B. durch eine Kapillare eine wässrige Lösung von Methylenblau auf die Oberflächenshaut aufgebracht, so breitet sich das Farbwasser sofort wegen der durch das Methylenblau verringerten Oberflächenspannung zu einem breiten sehr dünnen Farbband aus (Abbildung 6a), das auch bei turbulenter Bewegung laminar, also mit scharf begrenzten Rändern abwärts zieht, während darunter das Wasser turbulent fließt (Abb. 6b auf vorstehender Seite).

In fließendem Wasser kann die Oberflächenshaut leicht festgehalten werden, ohne dass der Abfluss des übrigen Wasserkörpers wesentlich beeinflusst wird. Lässt man z. B. einen dünnen Streifen Papier (Abb. 7) auf dem Spiegel schwimmen und hindert ihn am Abtreiben, so bewegt sich von diesem Papier stromauf ein wandernder Stau, dessen kaum merkbare Höhe mit Rücksicht auf die in offenen Gerinnen stets vorhandenen kleinen Schwankungen nicht messbar ist, sicher aber nur einen kleinen Bruchteil eines Millimeters ausmacht und bei klarem Wasser überhaupt nur an einer kleinen Verzerrung der Spiegelbilder gerader Linien erkannt werden kann. Stromab von diesem kleinen Spiegelsprung steht das Wasser der Oberflächenshaut still oder die Haut bewegt sich sogar stromaufwärts. Wird in die Oberflächenshaut eine Methylenblau-Lösung eingeführt, so breitet sie sich, wie früher erwähnt, in der ungestauten Oberfläche weit aus; an der Stelle des wandernden Staus dagegen taucht die ungestaute Oberflächenshaut unter und das Farbwasser zieht sich wieder zu einem Faden zusammen, der sich ähnlich, wie in der Abbildung 7 dargestellt, im Wasserkörper fortbewegt. Wird auf die gestaute Oberfläche Farbwasser aufgebracht, so breitet sie sich nicht wie auf der ungestauten aus, sondern bleibt auf einen kleinen Fleck konzentriert, offenbar, weil die Oberflächenspannung in der Stauzone kleiner ist als im ungestauten Bereich und kleiner als jene der Methylenblau-Lösung.

Die Geschwindigkeitsverteilung unter der gestauten Haut war, wie aus der Abbildung 7 zu entnehmen ist, ähnlich der unter einer Eisedecke, während in der ungestauten Strecke die grösste Geschwindigkeit im Spiegel lag.

Im Grossen wurde eine ähnliche Beobachtung von W. Reitz¹⁾ gemacht, der gelegentlich einer Flügelmessung am Sann, in der Nähe des Ufers in der Oberfläche auffallend kleine Geschwindigkeiten erhielt. Er gewahrte etwa 100 m flussab der Messtelle einen grösseren am Ufer hängenden Ast, der auf dem Wasser schwamm und liess ihn, da er ihn als die Ursache der abnormalen Geschwindigkeitsverteilung vermutete, entfernen. Die neuerliche Messung ergab sodann in der Tat die grösste Geschwindigkeit im Spiegel. Diese Tatsache zeigt, wie weit flussaufwärts sich solche schwimmende Hindernisse bemerkbar machen können, und sie beweist zugleich, dass die zuvor

¹⁾ Nach einer freundlichen Mitteilung von W. Reitz, Leiter der hydrographischen Landesabteilung für Steiermark in Graz. Bisher nicht veröffentlicht.

beschriebene, im Versuchsgerinne bemerkte Erscheinung selbst in grossen natürlichen Gewässern mit heftig turbulenter Bewegung wahrnehmbar ist.

Unter Umständen wird die Bewegung des Wassers durch die Oberflächenspannung des Wassers wesentlich beeinflusst. So fiel es dem Verfasser gelegentlich von Messungen in einem etwa 0,1 m breiten Gerinne aus Lärchenholz, das vor vielen Jahren gefirnist worden war, auf, dass sich täglich bei der Eichung des Abflusses die ersten zwei bis drei Versuche in diesem Gerinne bis zu 30% grössere Wassermengen ergaben, als gleichem Gefälle und gleicher Wassertiefe aus späteren Messungen entsprach,

und zwar ergab immer die erste Messung die grösste Abweichung. Eine genaue Untersuchung dieser Erscheinung ergab, dass jeweils bei den ersten Messungen des Morgens das Wasser die Wandungen nicht benetzte, und dass der Spiegel an der Wand, ähnlich wie bei Quecksilber, abwärts gekrümmt war; das Wasser schien sich unter der Oberflächenshaut unter Druck zu bewegen. Durch kleine Wellen an der Oberfläche wurde im Laufe von etwa zehn Minuten die Wandung auch höher oben nass und der Spiegel schloss sich nun an sie in der bekannten Weise, auf-

wärts gekrümmt und mit höherer Lage an; von da an waren die Messungsergebnisse wieder normal. Wurden die Wandungen vor Beginn der Versuche befeuchtet, etwa mit einem feuchten Lappen überwischt, so blieb jedwede Störung durch die Oberflächenspannung aus. Diese Wirkung der Oberflächenspannung macht es nötig, bei Uebertragung von Modellversuchen kleinen Masstabes auf die Vorgänge im Grossen mit Vorsicht vorzugehen.

Graz, im Juli 1921.

Holzarchitektur von Alfons Rocco in Arosa.

(Mit Tafeln 6 und 7.)

Seitdem das Bauen so teuer geworden ist, beginnen die findigen Architektur-Spekulanten, die günstige Marktlage erkennend, wieder in vermehrter Masse in „Chalets“ zu machen und selbst die Ufer des Zürichsees mit diesen hier ganz unangebrachten Gebilden zu verunzieren, dazu noch in Formen und Verhältnissen, die gelegentlich schon an sich geradezu Karikaturen auf die alpinen Vorbilder darstellen. Es mag daher nützlich sein, durch einige Beispiele daran zu erinnern, dass auch gute Neuschöpfungen in jener alten Bauweise möglich sind, selbstverständlich an dem für sie geeigneten Orte.

Schon vor sieben Jahren war hier, anlässlich der Beschreibung der Chur-Arosa-Bahn, das schmucke kleine Stationsgebäude Langwies von Arch. Alfons Rocco abgebildet worden. Seither hat Felix Moeschlin im „Werk“ zu zwei Malen (im September 1916 und Juli 1921) auf die Holzarchitektur dieses in Arosa ansässigen Engadiner Architekten hingewiesen.¹⁾ Zu den kleinen Bauten der Chur-Arosa-Bahn sagt dort Moeschlin u. a.:

¹⁾ Die photographischen Clichés zum Stationsgebäude Langwies und zum Hause Stoffel entstammen dem «Werk».

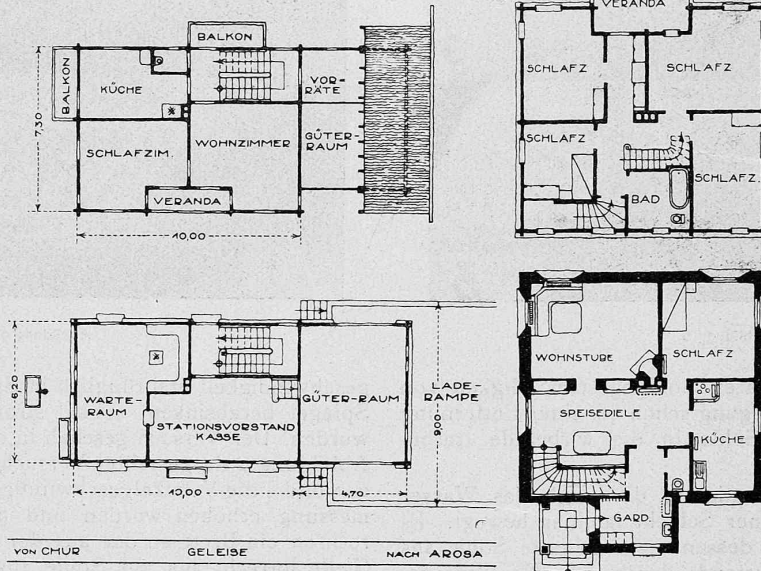


Abb. 1 u. 2. Stationsgebäude Langwies. — 1:400. — Abb. 3 u. 4. „Heimeli“ in Arosa.