

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 103/104 (1934)
Heft: 8

Artikel: Der hydraulische oder Profil-Radius
Autor: Einstein, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-83166>

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: 06.02.2025

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

INHALT: Der hydraulische oder Profil-Radius. — Zum Ausbau der schweiz. Autoverkehrstrassen. — Der Ausbau der Wasserversorgung und das projektierte Grundwasserwerk für die Stadt Zürich. — Das Ortstockhaus auf der Braunwaldalp, Kanton Glarus. — S. A. C.-Skihaus Oberfeld bei Altdorf. — Dauerfestigkeit von Schweissverbindungen aus Stahl 37 und 52. — Mitteilungen: Altrömische Wasser-

messung und Wasserversorgung. Die „Syro“-Kleinspundwand. Zuglichtmaschine mit Kardan-Antrieb. Ueber die elektrische Erwärmung von Beton. Der Ausbau der Bahn Visp-Zermatt für Winterbetrieb. Luftpost Südamerika-Berlin. 42 000 m³ Pumpbeton. — Wettbewerbe: Ausstellungs- und Festhalle Luzern. Prof. Kirchengemeindehaus Affoltern-Zürich. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine. — Sitzungs- und Vortrags-Kalender.

Band 103

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. 8

Der hydraulische oder Profil-Radius.

Von A. EINSTEIN, Ingenieur an der Versuchsanstalt für Wasserbau, E. T. H., Zürich.

Jeder, der schon einmal hydraulische Berechnungen durchgeführt hat, kennt den Begriff des hydraulischen oder Profil-Radius. Es ist die Vergleichslänge, die man durch Division der Abflussfläche durch den benetzten Umfang erhält und die den Einfluss der Grössenausdehnung in den Abflussformeln in sich vereinigt.

Sehen wir nun einmal in einem neuern Nachschlagewerk, z. B. in dem von Weyhrauch-Strobel 1930 nach, so finden wir darin 40 Seiten lang Formeln und Rechnungsvorschriften zur Bestimmung des Reibungsverlustes bei Wasserabflüssen unter Verwendung des hydraulischen Radius, und zum Schlusse die Kritik: „Gegen die Verwendung des Profilradius speziell ist anzuführen, dass zwei Profile von ungleichen Massverhältnissen trotzdem sehr wohl den gleichen Profilradius haben können, dass dieser also eine Rinne nur ungenügend charakterisiert. Dies zeigt sich am deutlichsten bei der Berechnung zusammengesetzter Profile, wobei man je nach Anordnung der Rechnung verschiedene Durchflussmengen erhalten kann.“ —

Wenn man bedenkt, wie primitiv der hydraulische Radius gebildet ist und dass in der Tat die Form des Gerinnes darin gar nicht zum Ausdruck kommt, so glaubt man sich dieser Kritik voll anschliessen zu müssen. Immerhin sei hier schon darauf hingewiesen, dass wir in den meisten Untersuchungen auch mit der mittleren Geschwindigkeit rechnen, wohl wissend, dass die tatsächlichen Geschwindigkeiten von Ort zu Ort stark schwanken.

In einem Falle wäre der erhobene Einwand aber ungerechtfertigt, nämlich dann, wenn der Bildung des hydraulischen Radius ein innerer Sinn zu Grunde liegen würde, wie etwa der Reynold'schen Zahl. Ist eine solche innere Begründung möglich, so muss sie mit der Energievernichtung zusammenhängen, weshalb wir zunächst den Vorgang der Energievernichtung etwas analysieren wollen. Es soll sich um Abflüsse bei voll ausgebildeter Turbulenz handeln, die also mit der Reynold'schen Zahl weit über der kritischen liegen (was in fast allen praktischen Fällen von Wasserabflüssen erfüllt ist). Der Vorgang der Energievernichtung lässt sich leicht in zwei Teile zerlegen:

1. Aufrollen der Randschicht mit starkem Geschwindigkeitsgefälle in Einzelwirbel,
2. Vernichtung der Wirbelenergie im ganzen Abflussquerschnitt durch innere Reibung.

Betrachten wir zunächst den ganz einfachen Fall eines einheitlich wirkenden Abflussquerschnittes mit konstanter Rauigkeit längs der ganzen Oberfläche. In diesem Falle liegt es nahe, für die Berechnung der mittleren Geschwindigkeit anzunehmen, die sekundlich zwischen zwei Querschnitten im Abstände r in Wirbel umgesetzte Energie e verteile sich gleichmässig auf den benetzten Umfang p , sodass $e' = \frac{e}{p}$ den sekundlichen Energieumsatz auf der Oberfläche r bedeutet.

Andererseits liegt es nahe anzunehmen, die Vernichtung der Energie verteile sich gleichmässig über den ganzen Querschnitt (vollausbildete Turbulenz), sodass

$$e'' = \frac{e}{f}$$

die sekundlich in der Volumeneinheit vernichtete Energie bedeutet.

Bezeichnen wir mit V_1 das Wasservolumen (pro m Länge), in dem die Energie derjenigen Wirbel vernichtet

wird, die an der Oberfläche r gebildet worden sind, so können wir anschreiben, die an der Flächeneinheit umgesetzte Energie e' sei

$$\text{oder} \quad V_1 = \frac{e'}{e''} = \frac{e}{p} \frac{f}{e} = \frac{f}{p} = R$$

und das ist der hydraulische Radius.

Wir benützen diese Feststellung zu folgender *Definition*: „Der hydraulische Radius ist gleich dem Wasservolumen, in dem die Energie der an der Einheit der Oberfläche gebildeten Wirbel vernichtet wird.“ —

Betrachten wir unseren Querschnitt wieder, so können wir auf ihn irgend eine Geschwindigkeitsformel anwenden, z. B. die von Strickler $v_m = k J^{1/2} R^{2/3}$, worin v_m die mittlere Geschwindigkeit, k die Rauigkeitsziffer, J das Energie-liniengefälle und R den oben definierten hydraulischen Radius bedeuten. Nun wollen wir zeigen, wie auf Grund dieser Definition des hydraulischen Radius einheitliche Querschnitte mit veränderlichem Rauigkeitskoeffizienten behandelt werden können.

Denken wir uns einmal unseren Querschnitt (mit konstanter Rauigkeit) in n gleiche Teile zerlegt und zwar teilen wir zunächst den benetzten Umfang in n gleiche Teile. An jedem dieser n Teile wird ein n -tel der Energie e in Wirbelenergie umgesetzt, da wir ja oben angenommen haben, das Umsetzen der Energie in Wirbelenergie verteile sich gleichmässig über den ganzen benetzten Umfang. Da wir weiter für alle Flüssigkeitsteilchen gleiche Geschwindigkeit annehmen, liefern bei einem bestimmten Energie-liniengefälle für diesen Energieumsatz auch alle Flüssigkeitsteilchen gleichviel Energie, sodass die Energie, die das Oberflächenelement umsetzt, von einem n -tel des Wasservolumens stammt. Da die Turbulenz über den Querschnitt gleichmässig verteilt angenommen ist, wird dieses n -tel der Wirbelenergie auch in einem n -tel des Wasservolumens zerstört. Es liegt nun nahe, den Vorgang so aufzufassen, dass das energieliefernde Volumen für ein bestimmtes Oberflächenelement aus den gleichen Teilchen besteht, in denen nachher die Wirbelenergie vernichtet wird. Auf diese Weise können wir Einheiten, bestehend aus einem Oberflächenelement und dem zugehörigen Volumen bilden, die in energetischer Hinsicht selbständig sind. Diese Selbständigkeit drückt sich darin aus, dass der Energietransport durch die Abgrenzungsfläche gegen die benachbarten Elemente überall gleich Null ist. In dem einfachsten Falle des kreisrunden Rohres sieht man aus Symmetriegründen ohne weiteres, dass das zu einem Umfangselement gehörige Volumen durch die beiden Radien in den Endpunkten des Elementes begrenzt sein muss. Auf jeden Fall liegen diese Begrenzungslinien in der Richtung des Energietransportes, und es liegt nahe, sie in erster Näherung senkrecht zu den Isotachen anzunehmen, wie es auch für den Impulsaustausch üblich ist.

Wenden wir auf den ganzen Querschnitt irgend eine Geschwindigkeitsformel an, so gilt sie damit ohne weiteres auch für irgend so eine Einheit, für die die in der Formel vorkommenden Grössen (v_m , k , J und R) den nämlichen Wert besitzen wie im Gesamtquerschnitt.

Haben wir nun einen Querschnitt mit veränderlicher Rauigkeit, so liegt es nahe, wieder solche Einheiten zu bilden. Da es sich um einen einheitlichen Querschnitt handeln soll, ist somit die Geschwindigkeit in allen Wasserteilchen als gleich anzunehmen. Damit kann auch jedes Wasserteilchen bei dem betrachteten Energie-liniengefälle gleich viel Energie abgeben. Andererseits ist die Turbulenz in allen Wasserfäden gleich, sodass auch

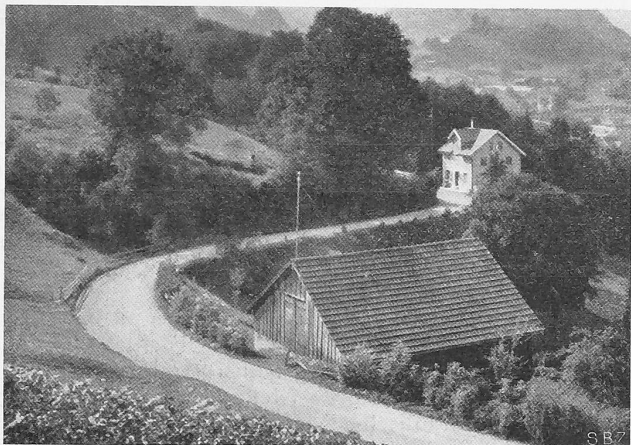
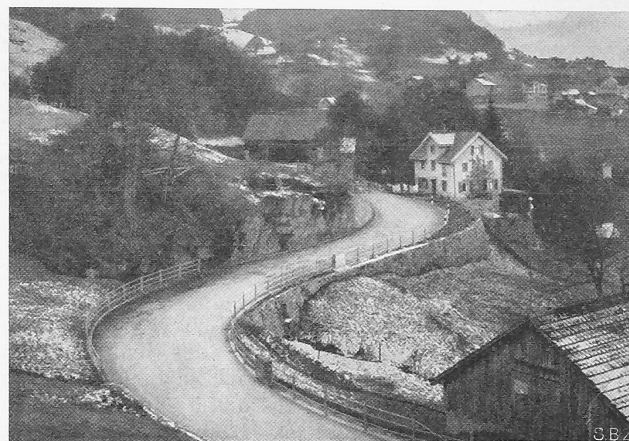


Abb. 7. Bei Filzbach, alte Strasse 4 1/2 bis 5 m breit, vorn R 25 m, hinten R 30 m.

Abb. 8. Ausgebaut auf 8,0 m breit, vorn R₁ 40, R_a 30 m; hinten R₁ 60, R_a 50 m.

in jedem Flüssigkeitsteilchen gleich viel Wirbelenergie zerstört wird. Wir können also wieder mit dem selben Rechte annehmen, dass die Energie, die ein Teilchen verliert, in Wirbel umgesetzt, in ihm selbst wieder vernichtet wird. Das einzige, was sich gegenüber dem Querschnitt mit konstanter Rauigkeit ändert, ist das, dass jetzt nicht mehr auf jedem Oberflächenelement gleich viel Energie in Wirbel umgesetzt wird. Wir können also offenbar auch in diesem Falle wieder energetische Einheiten bilden, bei denen aber, je nach der Rauigkeit, das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen, also der hydraulische Radius, ändert. Da diese Einheiten in energetischer Hinsicht von einander unabhängig sind, liegt es nahe, anzunehmen, sie verhalten sich genau so, wie wenn sie Teile eines Querschnitts mit konstanter Rauigkeit, gleicher Geschwindigkeit und gleichem Energieliniengefälle wären. Unter dieser Annahme können wir auf die Einheiten einzeln die Abflussgleichung anwenden und erhalten bei n Einheiten n Gleichungen, die bei Anwendung z. B. der Formel von Strickler lauten:

$$\frac{v_m}{J^{1/2}} = k_1 R_1^{2/3} = k_2 R_2^{2/3} = \dots = k_n R_n^{2/3}$$

Eine weitere Gleichung erhalten wir aus der Ueberlegung, dass für jeden Teil die Fläche sich als Produkt von hydraulischem Radius und Umfangselement ergibt:

$$f = \Delta p_1 R_1 + \Delta p_2 R_2 + \dots + \Delta p_n R_n$$

Sind also das J und die verschiedenen k nebst den zugehörigen Umfangselementen Δp , sowie die Fläche f bekannt, so lassen sich mit Hilfe der $n + 1$ Gleichungen die n R -Werte sowie v_m bestimmen; insbesondere dieses erhalten wir wie folgt:

$$f = \frac{v_m^{3/2}}{J^{3/4}} \sum \frac{\Delta p}{k^{3/2}}$$

oder

$$v_m^{3/2} = J^{3/4} \frac{f}{\sum \frac{\Delta p}{k^{3/2}}}$$

$$v_m = J^{1/2} \left(\frac{f}{\sum \frac{\Delta p}{k^{3/2}}} \right)^{2/3} = k_m J^{1/2} R_m^{2/3}$$

Hierin ist $R_m = \frac{f}{p}$ und $k_m = \left(\frac{p}{\sum \frac{\Delta p}{k^{3/2}}} \right)^{2/3}$

Interessehalber sei hier bemerkt, dass unter Zugrundelegung des Geschwindigkeitsgesetzes $v_m = k \sqrt{JR}$ die Werte sich ergeben zu

$$v_m = J^{1/2} \left(\frac{f}{\sum \frac{\Delta p}{k^2}} \right)^{1/2} \quad \text{und} \quad k_m = \left(\frac{p}{\sum \frac{\Delta p}{k^2}} \right)^{1/2}$$

welche Werte von Schocklitsch in seiner Veröffentlichung „Ueber Schleppkraft und Geschiebebewegung“ (1914) schon gebraucht, dort aber nur recht unübersichtlich abgeleitet worden sind.

Trifft indessen die Voraussetzung des einheitlichen Querschnittes nicht zu, dann wird die ganze Sachlage viel verwickelter, indem nur noch J für die verschiedenen Querschnittsteile konstant ist, v aber von Element zu Element ändert. Wir brauchen jetzt eine neue Regel für die Verteilung der Fläche auf die verschiedenen Umfangselemente, da jetzt bei verschiedenen Geschwindigkeiten auch die Turbulenz, und damit die in der Volumeneinheit zerstörte Energie in den verschiedenen Teilen nicht mehr gleich ist.

Da kommt uns aber die Natur zu Hilfe, indem Profile nur dann als uneinheitlich betrachtet werden müssen, wenn sie so breit und wenig tief sind, dass es für die praktische Berechnung gar keine Rolle spielt, ob wir die Trennungslinie etwas mehr links oder rechts ziehen. Es sind dies nämlich in der Hauptsache die aus Mittelrinne und Vorländern zusammengesetzten Flussprofile.

Jetzt stellt sich aber noch eine neue Frage. Bis jetzt herrschte in benachbarten Elementen immer die selbe Geschwindigkeit, sodass es gar nicht in Frage kam, bei der Berechnung des hydraulischen Radius die inneren Trennungsfächen als Umfangselemente mitzuzählen. Aendert sich aber die Geschwindigkeit von Element zu Element, so kann man auf den Gedanken kommen, diese mitzuzählen. Dabei muss man sich aber vor Augen halten, dass die *Differenz* der Geschwindigkeiten als Geschwindigkeitsgefälle in Frage kommt und nicht die Geschwindigkeiten selbst. Ausserdem tritt das Geschwindigkeitsgefälle an jeder Trennungsfäche nur einmal auf, dürfte also nur in einem der anstossenden Elemente Berücksichtigung finden. Da das oben für die Lage der Trennungslinie Gesagte auch hier gilt, fahren wir wahrscheinlich nicht schlecht, wenn wir die Trennungsfächen gar nicht einsetzen, besonders auch deshalb, weil wir für die Bestimmung der Grösse des einzusetzenden Rauigkeitskoeffizienten nicht den geringsten Anhaltspunkt haben. Dass in Wirklichkeit an den Stellen der gedachten Schnitte ein wesentliches Geschwindigkeitsgefälle nicht vorhanden sein kann, geht übrigens schon daraus hervor, dass wir die Trennungslinien senkrecht zu den Isotachen ziehen.

In diesem Zusammenhange sei auf die Veröffentlichung von V.-M. Hégly (in Metz) „Ueber die Verteilung der Geschwindigkeiten in zusammengesetzten Profilen“ hingewiesen, in der einige Geschwindigkeitsaufnahmen solcher Profile veröffentlicht sind (vgl. „Revue générale de l'électricité“, 23 sept. 1933). Diese zeigen deutlich, dass von einem plötzlichen Geschwindigkeitsgefälle zwischen den beiden Querschnittsteilen keine Rede ist. Der Verfasser konstatiert, dass er bei der Rechnung unter Verwendung einer vertikalen Trennungslinie in der Seitenöffnung zu kleine und in der Hauptöffnung zu grosse Geschwindigkeiten erhält. Hätte er, wie wir es hier vorgeschlagen haben, die Trennungslinie nicht vertikal, sondern senkrecht zu

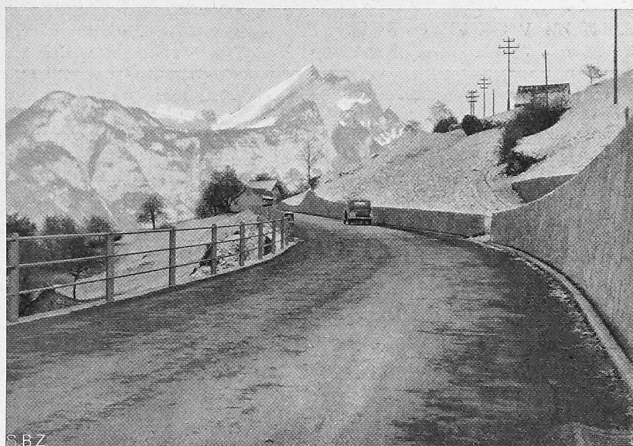


Abb. 9. Oberhalb Filzbach, gegen den Leistkamm (östlich) gesehen.



Abb. 10. Ende der Ausbaustrecke im Herbst 1933 bei Stocken, im Hintergrund die alte Strasse 4 1/2 m breit, vorn erweitert auf 6,5 m.

den Isotachen gewählt, so wäre wohl ein wesentlicher Grund für diese Unstimmigkeit beseitigt.

Ueberblicken wir jetzt unsere Ueberlegungen noch einmal, so müssen wir sagen, dass aus dem willkürlichen Hilfwert des hydraulischen Radius dank der neuen Definition ein so innig mit der Energievernichtung verbundener Begriff geworden ist, dass wir die eingangs zitierte „Kritik“ vielleicht nicht mehr anstandslos unterschreiben würden.

Zum Ausbau der schweiz. Autoverkehrstrassen
 Kerenzerberg- und Wallenseestrassen. (Forts. von Seite 10.)

Hatten wir bisher Beispiele des guten Ausbaues der Mittellandstrassen (Seite 279* letzten Bandes) und eines Juraüberganges (Passwangstrasse, Seite 8* dieses Bandes) gezeigt, so wenden wir uns im folgenden den *Alpenstrassen* zu, zunächst der Verbesserung der einzigen Zufahrt aus Nordwesten und Norden (von Basel bis Schaffhausen) nach dem südöstlichen Durchgangsland Graubünden und seinen Alpenübergängen. Der hier zunächst zu bezwingende Engpass ist der Wallensee, dessen einziger Längsstrasse am Südufer der „Kerenzerberg“ vorgelagert ist. Die über diesen von Mollis nach Mühlehorn führende Strasse bildete bisher für den Durchgangsverkehr eine lästige Erschwerung, weil sie mit nur etwa 4,5 m Breite etwa 300 m verlorene Steigung bedingt (Abb. 1 und 2, Seite 93). Zu deren Ausschaltung wurden längs beider Ufer führende Strassen projektiert, die südliche und die nördliche „Wallenseestrasse“, die erste hauptsächlich von Glarus, der zweite von St. Gallen propagiert.

Während der jahrelangen Verhandlungen darüber, welcher der Vorzug zu geben sei, hat der Kanton Glarus

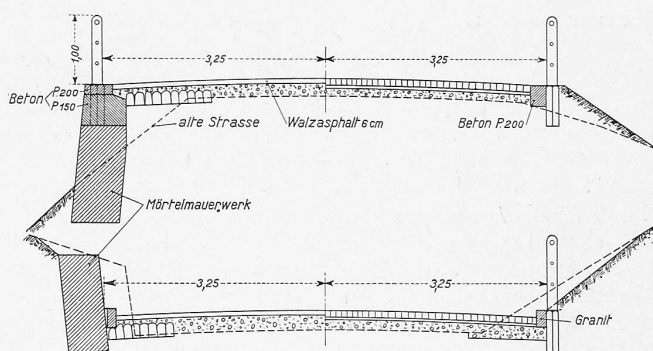


Abb. 5. Kerenzerbergstrasse, Ausbauprofile auf min. 6,5 m Breite. — 1 : 100.

den *Ausbau der Kerenzerstrasse* in Angriff genommen und grösstenteils bereits durchgeführt, wie den Abb. 5 bis 12 zu entnehmen mit bestem Erfolg. Während dabei das Tracé bis zum Dorf Mühlehorn im wesentlichen beibehalten wurde, hat man die Strassenbreite auf minimal 6,5 m erhöht, unter Abflachung zu enger Kurven Verbreiterung in den Kurven bis auf 9 m, und Befestigung der Fahrbahn. Wie den beigefügten Abbildungen (mit Ausnahme von Abb. 12) zu entnehmen, sind dabei die innern Radien grösser gewählt, die innern Fahrbahnränder abgeflacht worden, woraus sich die grössern Strassenbreiten in den Kurven ergeben; die Kleinsteinpflasterung ist in Normalbreite von 6,5 m durchgeführt, während die Verbreiterungstreifen einen bituminösen Walzbelag erhielten (vgl. Abb. 11 und 12). Die sichthemmenden Hecken der alten Strasse sind beseitigt, wodurch die ausgebaut Strasse in ihrer ganzen Breite nutzbar geworden ist, wie dies Abb. 10, das Ende der Ausbaustrecke im Herbst 1933, deutlich zeigt.

Eine wesentliche Verbesserung hat die Zufahrt auf Glarnerseite durch eine neue Linth-Brücke erfahren, einen von Bosshard & Cie. in Näfels erstellten Blechbalken von 46 m Stützweite und 7,5 lichter Breite (Abb. 6). Es sei hier beigefügt, dass die Zufahrtstrasse vom Zürichsee her über Niederurnen und Näfels nach Glarus bereits erstklassig ausgebaut ist (vgl. Bd. 102, S. 280*), sodass nach vollendetem Ausbau der Kerenzerberg allen billigen Anforderungen des Automobilverkehrs an eine Bergstrasse genügt, und zwar das ganze Jahr, indem die Strasse auch im Winter einwandfrei offen gehalten wird, wie die Abbildungen 13 und 14 zeigen. Ein motorisch (mit 100 PS) betätigter, je nach Schneehöhe auf 4,5 bis 7,5 m Räumungsbreite einstellbarer Schneepflug besorgt mühelos und rasch die Räumung. Es sei hierzu bemerkt, dass am Kerenzerberg (Kulmination 743 m ü. M.) verhältnismässig wenig Schnee fällt.

Zur Umfahrung des ziemlich eng bebauten Dorfes Mühlehorn und zur Ausschaltung der untersten kurzen Kehren der heutigen Strasse ist eine das dortige Bach-



Abb. 6. Neue Linthbrücke bei Mollis, lichte Breite 7,5 m. Stützweite des Blechbalkens 46,0 m; Trägerhöhe 2,4 bis 3,0 m.