

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 89/90 (1927)
Heft: 13

Artikel: Rauigkeits-Koeffizienten von ausgeführten Kanälen, im besonderen von verkleideten und unverkleideten Stollen
Autor: Büchi, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-41768>

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: 09.07.2025

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

dem regulierten Rhein genügt, um unsere Ablehnung eines Vergleiches der Vor- und Nachteile der beiden für die Zufuhr nach Basel in Frage kommenden Wasserstrassen zu begründen.

Wenn wir zusammenfassend die Bedeutung der Kanalschiffahrt nach Basel für die Entwicklung des hiesigen Güterumschlagverkehrs zu würdigen versuchen, so müssen wir erklären, dass die Benützung des Rhein-Rhone-Kanals für die in Basel angesiedelten Reedereien und Umschlagsanlagen für die Zeit der geschlossenen Rheinschiffahrt geradezu eine Lebensfrage darstellt. Auch nach erfolgter Rheinregulierung wird der Kanal seine Bedeutung nicht verlieren, vielmehr werden im Laufe der Zeit durch Ausbau der betriebstechnischen und kommerziellen Organisation in gesteigertem Masse Güter vom französischen Wasserstrassenweg über den Hüniger Kanal nach Basel gelangen. Basel wird als Hafenstadt durch seine Doppelstellung als vorläufiger Endpunkt der Rheinschiffahrt und als Ausgangstor des französischen Kanalnetzes in seiner geradezu einzigartigen Verkehrsstellung wesentlich gefestigt.

Wir haben der Frage der Bedeutung der Kanalschiffahrt nach Basel etwas reichlich lange verweilt, weil wir glaubten, dies tun zu müssen, um diese in der Entwicklung des Schiffahrtsverkehrs für Basel völlig neue Erscheinung von vornherein ins richtige Licht rücken zu können.

In unserer Untersuchung der Ursachen für die Steigerung des Güterumschlages in Basel haben wir uns auf die wesentlichen Tatsachen beschränkt und haben wirtschaftliche Erscheinungen von vorübergehender Eigenart wie z. B. Veränderungen im Kohlenmarkte, Einflüsse der Valutaverhältnisse ausländischer Bahnen u dergl. absichtlich ausser Acht gelassen. Ein Umstand, der zur Steigerung des Güterverkehrs nach Basel erheblich beigetragen hat, muss der Vollständigkeit halber noch erwähnt werden: es ist dies die seitens der Schweizer Bundesbahnen vorgenommene *Anpassung der Bahnfrachten* im Weiterversand ab Basel an die Eigenart der Wasserverfrachtung; durch diese Tarifpolitik haben sich einmal die S. B. B. einen gewissen von ausländischen Konkurrenzlinien bedrohten Güterverkehr sichern können, andererseits haben sie den Anreiz für den Schifftransport bis Basel gefördert.

Suchen wir nunmehr die *Auswirkung des diesjährigen ganz bedeutenden Umschlagverkehrs auf die Entwicklung der ganzen Schiffahrtsbestrebungen nach Basel* zu erfassen, so können wir nur eines feststellen: Wenn die letztjährige grosse Basler Ausstellung den Schiffahrtsinteressenten aller Länder den festen Willen der Schweiz zum Anschluss an die grosse Wasserstrasse des Rheins bekundet hat, so hat das Jahr 1927 den Beweis erbracht, dass, wo der Wille vorhanden ist, auch der Weg gefunden wird. Wenn am Ende dieses Jahres Basel unter die Reihe der Rheinhäfen mit über einer halben Million Tonnen Jahresumschlag eintritt, so wird auch der letzte Pessimist sich damit abfinden müssen, dass die Schiffahrt nach Basel aus dem Stadium des Versuchs herausgetreten und zur Tatsache geworden ist. Der Umstand, dass die Schiffahrt auf dem unregulierten Oberrhein solche Leistungen zu erzielen in der Lage war, ist der treffendste Beweis, dass die durch die Rheinregulierung angestrebte dauernde Schiffbarmachung der Stromstrecke von Strassburg nach Basel nicht nur ihre volle wirtschaftliche Berechtigung hat, sondern geradezu zu einer Lebensfrage für die gesamte schweizerische Volkswirtschaft wird.

Wenn die erfreulichen Ergebnisse des diesjährigen Schiffsverkehrs nur das bewirken, dass die Bedeutung der Grossschiffahrt nach Basel nunmehr in der ganzen Schweiz voll erfasst wird, so sind wir dem angestrebten Ziel schon um ein wesentliches näher. Obwohl unsere massgebenden Behörden von der Notwendigkeit und von den Erfolgsaussichten der geplanten Rheinregulierung restlos überzeugt sind, müssen wir uns stets vergegenwärtigen, dass die Eidgenössischen Räte nur dann die von der Schweiz aufzubringenden Mittel zur Durchführung dieser Aufgabe werden bewilligen können, wenn im ganzen Lande die einmütige

Auffassung besteht, dass der Ausbau des Oberrheins bis Basel heute ein Werk von nationaler Bedeutung im besten Sinne des Wortes darstellt.

Es ginge über den Rahmen einer knappen Orientierung über den gegenwärtigen Stand der Schiffahrtsentwicklung hinaus, die Möglichkeit der Verkehrsentfaltung nach durchgeführter Rheinregulierung zu erörtern. Wichtiger scheint es uns, die *Aussichten für die allernächsten Jahre* zu beurteilen.

Es erübrigt sich dabei, näher auf den gegenwärtigen Stand der Schiffbarmachung der Strecke von Strassburg nach Basel im einzelnen einzugehen. Die nötigen Mittel für den *Bau des Kembser-Werkes* sind bewilligt und es ist zu erwarten, dass mit den Bauarbeiten im Laufe des nächsten Jahres begonnen werde. Die wider Erwarten rasch gefallene Entscheidung ist in den Schiffahrtskreisen lebhaft begrüsst worden, indem nunmehr die Gewähr vorhanden ist, dass wohl gleichzeitig mit der Fertigstellung der Rheinregulierung von Strassburg bis Kembs das Schlussglied zur Ueberwindung der Isteinerschwelle ebenfalls der Schiffahrt zur Verfügung stehen wird. Ueber die *Regulierung* des Stromabschnitts von Strassburg bis Kembs sind zur Zeit Unterhandlungen zwischen Deutschland und der Schweiz schwebend, die sich in erster Linie um die Kostenverteilung drehen. Ohne näher auf die Frage einzutreten, ist es vielleicht wertvoll hervorzuheben, dass gerade die Verkehrsentwicklung in diesem Sommer die ganz hervorragende Bedeutung der Schiffahrt nach Basel für das deutsche Wirtschaftsleben eindeutig erwiesen hat. Zum ersten Male haben in diesem Jahre ganz erhebliche Mengen Kohle und Koks von der Ruhr den Wasserweg bis nach Basel benützt und dadurch eine gesteigerte Absatzmöglichkeit erzielt. Der Umstand, dass die oberbadische Grossindustrie in gesteigertem Masse ihre Erzeugnisse über Basel zu Tal befördert hat, sowie die Aussichten, die süddeutsche Ausfuhr von Bergbauprodukten über Basel noch wesentlich zu steigern, beweist zur Genüge, dass die Weiterführung der Grossschiffahrt bis Basel in weitgehendem Masse auch deutschen Wirtschaftsinteressen dient. Wir erinnern in diesem Zusammenhange bloss an den Export von Kali aus den neu erschlossenen Gruben bei Buggingen, für die die Verschiffung ab Basel zum Export nach den Nordseehäfen den frachtgünstigsten Weg darstellt.

Angesichts dieser Verankerung von deutschen und schweizerischen Wirtschaftsinteressen zur Erschliessung einer beiden Ländern in gleicher Weise dienenden Verkehrsstrasse ist zu erwarten, dass die Verhandlungen über die Ausfuhr der Rheinregulierung bald zu einem befriedigenden Abschluss gelangen. Jedoch auch im günstigsten Falle können sich die Folgen des Regulierungswerkes in Verbindung mit dem Kembser Kanal erst in fünf bis sechs Jahren auswirken. (Schluss folgt.)

Rauhigkeits-Koeffizienten von ausgeführten Kanälen, im besondern von verkleideten und unverkleideten Stollen.

Von J. BÜCHI, beratender Ingenieur, Zürich.

Die hier mitgeteilten Rauhigkeits-Koeffizienten sind auf Grund von Beobachtungen an den Wasserkraftanlagen der Aluminium-Industrie-Aktien-Gesellschaft Neuhausen im Wallis bestimmt worden. In der Geschwindigkeitsformel von Chézy

$$v = c \sqrt{RJ}$$

ist der Koeffizient c nach Ganguillet & Kutter zu

$$c = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0,00155}{J}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{J}\right)^n \sqrt{R}}$$

angenommen und hieraus der Rauhigkeitskoeffizient n berechnet worden. In den Abbildungen 1 bis 12 sind die Querschnitte der einzelnen Messtrecken dargestellt und die gemessenen und berechneten Zahlen mit ergänzenden Bemerkungen über die Ausführung in übersichtlicher

Weise zusammengestellt, sodass im folgenden nur noch kurz auf die Beobachtungen und Ergebnisse bei den einzelnen Versuchen eingetreten wird.

1. *Rhonewerk Chippis: Offener Kanal* (Abb. 1). Die direkten Ablesungen des Wasserspiegels bei Wassermengen von 36 bis 53 m³/sek und Wassertiefen von 2,7 bis 3,5 m ($v =$ rund 1,7 m/sek) ergaben im Mittel ein $n = 0,017$ (Messungen der Jahre 1913/15). Entsprechend der stärkeren Reibung der Pflasterung an den Böschungen gegenüber jener der verputzten Betonsohle nimmt n mit zunehmender Wassertiefe etwas zu.

2. *Rhonewerk Chippis: Stollen Pfy-Chippis* (Abb. 2). Die Wasserspiegelbeobachtungen sind in diesem Freispiegelstollen an drei Stollenfenstern durchgeführt worden und ergaben für das Stollenprofil mit gepflasterter Sohle und verputztem Widerlager bei einer Wassermenge von 53 m³/sek ($v = 3,32$ m/sek) ein $n = 0,0134$ (Messungen vom Jahr 1913).

3. *Navizancewerk Chippis: Stollen* (Abb. 3 und 4). Infolge der Eigentümlichkeit des kontinuierlichen Betriebes des Navizancewerkes¹⁾ war der Wasserspiegelverlauf an den Widerlagern des Stollens in deutlichen Spuren sichtbar. Auf eine Länge von 5903 m sind diese Wasserspiegel-Spuren alle 100 m eingemessen worden; die Wassertiefe wechselte von 0,86 bis 1,66 m bei einer Wassergeschwindigkeit von $v = 3,8$ bis 1,9 m/sek. Die Berechnung ergab für die beiden in Abbildung 3 und 4 dargestellten Stollenprofile $n = 0,0140$ (Messungen vom Jahre 1914). Der verhältnismässig grosse Rauigkeits-Koeffizient für geglätteten Portlandzement-Verputz mag seine Ursache darin haben, dass in diesem Stollen die Sohle und die Widerlager-Abstände etwas unregelmässig ausgeführt sind; auch ist das Sohlgefälle in den einzelnen Teilstrecken etwas stark veränderlich, und es finden sich einzelne starke Krümmungen vor.

4. *Borgnewerk Bramois: Stollen Luetete-Sauterot* (Abb. 5 und 6). Wegen des Vorkommens von gipshaltigem Wasser im Casannaschiefer war der Stollen auf rund 1300 m Länge grösstenteils roh gelassen worden (Abb. 5). Nur in den etwas gebräuchten Strecken (in elf Teilstücken von zusammen 286 m oder 22% der Länge) war die Sohle betoniert und verputzt; gelegentlich sind gleichzeitig einige wenige Widerlagerstrecken betoniert worden. Die Beobachtungen des Wasserspiegels an mit Kalkmilch bestrichenen Brettern in Abständen von 100 m ergaben aus drei Mess-Serien einen Mittelwert von $n = 0,025$ (Messungen vom Jahre 1915). — In einer 300 m langen Strecke im Casannaschiefer, bei der Widerlager und Gewölbe ebenfalls roh gelassen wurden, wobei aber die Sohle durchgehend betoniert und verputzt war (Abb. 6), ergaben zwei Messungen mit verschiedenen Wassermengen einen Rauigkeits-Koeffizienten $n = 0,020$ (Messungen vom Jahre 1915). — Die Beobachtungen in diesen beiden Stollenstrecken zeigen, welchen günstigen Einfluss das Betonieren der Sohle in einem sonst roh gelassenen Felsstollen auf den Rauigkeitsgrad hat.

Rhonewerk Chippis der Aluminium-Industrie-Aktiengesellschaft Neuhausen, erstellt 1911.

Abb. 1. Offener Kanal, Masstab 1:200.

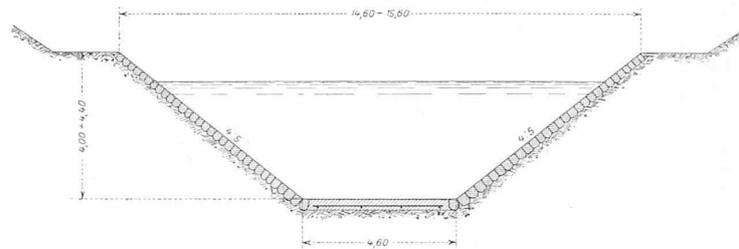
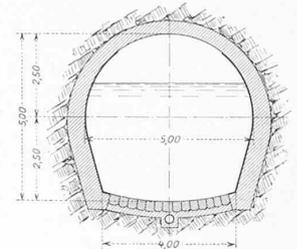


Abb. 2. Stollen Pfy-Chippis, 1:200.



Datum der Messungen			1913			1915
Wassermenge	m ³ /sek	Q	gemessen	3600	4050	5300
Länge der Beobachungsstrecke	m	L	"	731	731	731
Mittlere Wassertiefe	m	T	"	2,71	2,91	3,51
Mittlere eff. Wasserquerschnitt	m ²	F	"	2160	2360	3140
Profilradius	m	R	"	164	172	198
Wasserspiegelgefälle	‰	J	"	0,568	0,440	0,544
Fliessgeschwindigkeit	m/sek	v	berechnet	1,67	1,72	1,68
Rauhigkeitskoeffizient	n	"	"	0,0160	0,0174	0,0172
						0,0134

Böschungen mit Quarz-Pflasterung in hydr. Kalkmörtel verlegt, mit P.Z. Mörtel verfügt. Bössen auf ca 2 cm nachgespitzt. Sohle aus Beton mit P.Z. Verputz mit der Kelle und reinem Zementpulver geglättet.

Widerlager und Sohlenbänder bis über Wasserspiegel mit P.Z. Verputz mit der Kelle und reinem Zementpulver geglättet. Sohle mit Kalk-u. Gneiss-Spitzsteinen v. ca 0,1 m² Oberfläche geglättet. Bössen nach Verlegen auf 1/2-1 cm über Fugen nachgespitzt. Durchgehende Fugen quer zur Fliessrichtung.

5. *Borgnewerk Bramois: Stollen Sauterot-Vex* (Abb. 7 bis 9). Nach einer längeren Periode gleicher Belastung sind im Jahre 1919 im ganzen Stollen durchgehende Beobachtungen ausgeführt worden, indem alle 10 m an den Widerlagern die Wasserspuren eingemessen wurden. Die in Abbildungen 7 bis 9 dargestellten verkleideten Stollenprofile sind mit Portlandzement glatt verputzt; ihre, wenn auch nur wenig starke Verschiedenheit in Bezug auf den Rauigkeits-Koeffizienten lässt sich einigermaßen aus der Ausführungsart der einzelnen Stollenstrecken erklären: Eine 260 m lange Strecke des Stollenprofils nach Abbildung 7 und eine 2811 m lange Strecke nach Abbildung 8 besitzen ungefähr den selben prozentualen Anteil an Krümmungen (72 bzw. 82% der Längen) und beide sind durch eine Unternehmung in sorgfältiger Weise ausgeführt worden; ihr Rauigkeits-Koeffizient beträgt $n = 0,0120$. Eine 1106 m lange Strecke nach dem Profil der Abbildung 8, die bei ungefähr den selben Krümmungsverhältnissen mit besonderer Sorgfalt in Regie ausgeführt wurde, ergab ein $n = 0,0115$, d. h. der Stollen war etwa 5% glatter als der vorher erwähnte. Es ist auf grosse Regelmässigkeit in der Sohle und den Widerlagern besonderes Gewicht gelegt worden. — Eine 635 m lange Strecke nach dem Profil der Abb. 9 ist ebenfalls in Regie ausgeführt worden und ergab ein $n = 0,0123$, trotzdem volle 24% der Länge dieser Strecke in Krümmungen liegen und obwohl diese Krümmungen kleinere Radien aufweisen. Der Grund für diesen geringen Wert von n liegt vor allem in der besondern Sorgfalt, die man hier auf die Sohle und auf exakten Abbund der beiden Widerlager, sowie auf gute Flucht legte.

Die Beobachtungen zeigen, wie wichtig eine exakte Ausführung der Stollenbetonierung und deren gute Flucht sind, wenn ein möglichst günstiger, geringer Rauigkeits-Koeffizient erhalten werden soll. Ich vermute, dass durch eine noch bessere und exaktere Ausführung eines Stollens mit Profilen ähnlicher Art und geglättetem Portlandzement-Verputz der Wert von n bis auf die Grösse von 0,011 heruntergebracht werden kann. Der Gefällsgewinn, bei gegebenem Profil, bzw. die bessere Wasserführung, bei schon festgelegtem Sohlgefälle, dürften die grössere Mühe einer besonders exakten Ausführung lohnen.

6. *Turtmannwerk: Druckstollen*. (Abb. 10 bis 13.) Die im Druckstollen des Turtmannwerkes¹⁾ hauptsächlich verwendeten Stollenprofile sind aus Abbildungen 10 bis 12 ersichtlich. In Moräne und grobblockigem Material ist ein gemauertes Kreisprofil von 1,65 m lichtigem Durchmesser zur Verwendung gekommen, das mit einem innern, armierten

¹⁾ Beschreibung in Band 58, S. 98 u. ff. (Aug./Sept. 1911). Red.

¹⁾ Beschreibung in „S. B. Z.“, Bd. 84, S. 286 (13. Dez. 1924). Red.

BESTIMMUNG DER RAUHIGKEITS-KOEFFIZIENTEN AN AUSGEFÜHRTEN STOLLEN UND KANÄLEN.

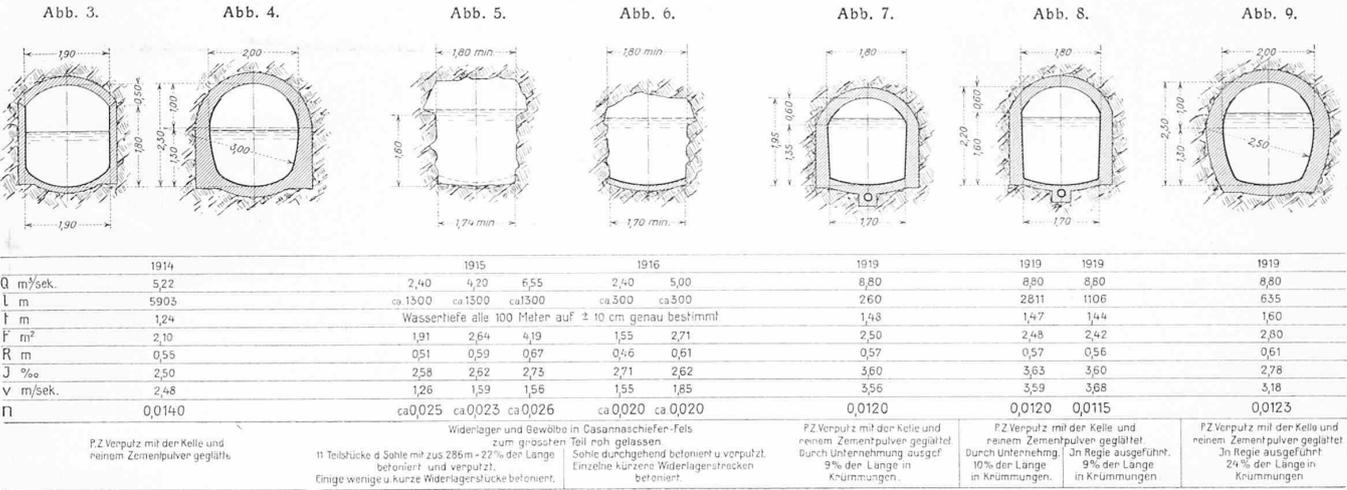
Navizancewerk Chippis, 1908.

Stollen 1:150.

Borgnewerk Bramois der Aluminium-Industrie-A.-G. Neuhausen, erstellt 1915.

Stollen Luette-Sauterot, 1:150.

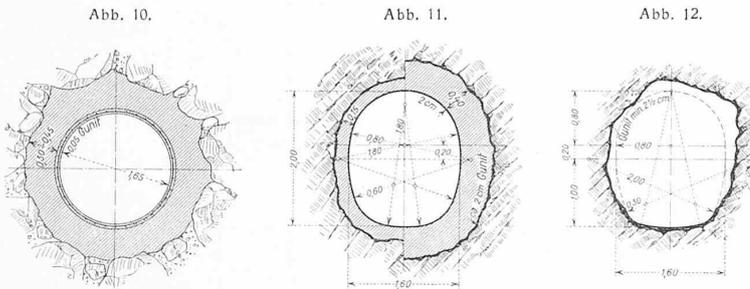
Stollen Sauterot-Vex, 1:120.



Turtmannwerk der Illsee-Turtmann-Aktiengesellschaft Oberems, erstellt 1924.

Hauptsächliche Stollenquerschnitte, Modell 1:100.

Zusammenstellung der Messungen, durchgeführt Mai/Juni 1926.



l m	Total 3182 m, davon Gunit 1505 m				
F m²	Kreis 2,18, Oval 2,79,		Gunit 3,32		
R m	Kreis 0,418, Oval 0,464,		Gunit 0,499		
Q m³/sek	1,658	2,137	2,738	2,785	2,825
J ‰	0,359	0,441	0,695	0,685	0,747
v m/sek	0,508	0,643	0,830	0,839	0,882
n _G bei n _M = 0,011	0,0270	0,0225	0,0219	0,0212	0,0224
= 0,013	0,0255	0,0203	0,0192	0,0185	0,0198
= 0,015	0,0225	0,0169	0,0158	0,0151	0,0146

Gunitring versehen wurde (Abb. 10). Im gebräuchlichen Casanna-Schiefer ist ein gemauertes Ovalprofil ausgeführt worden (Abb. 11), während im harten Casanna-Schiefer das ausgebrochene Felsprofil mit einer mindestens 2 1/2 cm dicken Gunit-schicht versehen und die Sohle betoniert und verputzt wurde (Abbildung 12).

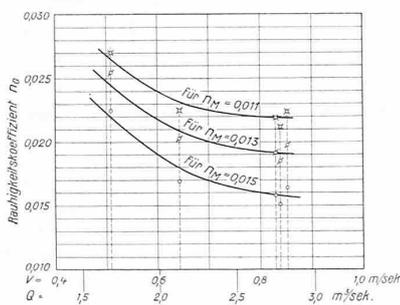


Abb. 13. Rauigkeits-Koeffizient n_G des Gunitprofils für verschiedene angenommene n_M des gemauerten Profils.

Für die Bestimmung des Rauigkeits-Koeffizienten wurde die gesamte Stollenstrecke von 3182 m Länge in Betracht gezogen. Das gunitierte Profil (Abb. 12) kam in vielen Teilstrecken mit insgesamt 1505 m = rund 47% der beobachteten Stollenstrecke zur Anwendung. Es hat eine wirkliche, lichte Querschnittsfläche von 2,70 bis 4,44 m², im Mittel von 3,32 m². Die Wassermengen sind im Zulaufkanal zum Stollen durch Abstiche an mit Flügelmessungen geeichten Messprofilen bestimmt worden. Die Wasserspiegel-Differenzen bestimmte man durch Abstiche am Anfang und Ende der 3182 m langen Beobachtungsstrecke. Für die Uebergänge vom grössern gunitierten Profil zum kleinern gemauerten Profil und wieder zum gunitierten Profil (insgesamt 50 Verengungen und 50 Erweiterungen) ist schätzungsweise ein Druckverlust pro Verengung und Erweiterung zusammen von $0,4 \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g}$ angenommen worden, worin v₁ die Geschwindigkeit im betonierten engern Profil

und v₂ die Geschwindigkeit im mittlern gunitierten Felsprofil bedeutet. Für die betonierten und verputzten Profile liegt der Rauigkeits-Koeffizient auf Grund meiner Erfahrungen vermutlich zwischen 0,012 und 0,013. Das Reibungsgefälle für die gunitierte Strecke wurde nun erhalten aus den beobachteten Gesamtgefällen abzüglich der Gefällverluste in den betonierten Profilstrecken und in den Profilübergängen. In Abbildung 13 sind die Rechnungsergebnisse der verschiedenen Beobachtungen zusammengestellt. Im Diagramm sind durch drei Kurven für die angenommenen Rauigkeitszahlen von n = 0,011, n = 0,013 und n = 0,015 des betonierten Profils die entsprechenden Werte für das gunitierte Profil aufgetragen. Es zeigte sich, dass mit dem Wachsen der Wassergeschwindigkeit von v = 0,5 auf v = 0,85 m/sek der Rauigkeits-Koeffizient für das Gunitprofil kleiner wurde, ohne dass ich diese Erscheinung erklären kann. Aus den Beobachtungen ergibt sich nun, dass der Rauigkeits-Koeffizient n_G für das ausgebrochene und hernach gunitierte lichte Profil des Felsstollens mit betonierter und verputzter Sohle, bei einer Wassergeschwindigkeit von 0,5 bis 0,85/sek (bezogen auf den mittlern tatsächlichen Querschnitt) etwa zwischen 0,025 und 0,019 liegt (Beobachtungen vom Jahre 1926). Obwohl die Messungen infolge der geringen Wassergeschwindigkeit, bzw. der dadurch bedingten geringen Gefällsunterschiede im Betrieb etwas schwierig vorzunehmen sind, und obwohl durch die schätzungsweise Annahme der Uebergangsverluste eine gewisse Unsicherheit in die Rechnung hineinkommt, dürfte die Grössenordnung des Rauigkeits-Koeffizienten doch einigermaßen richtig sein.

Es wäre zu wünschen, dass auch von anderer Seite Beobachtungen über den Rauigkeits-Koeffizienten dieser neuesten Ausführungsform von Druckstollen mitgeteilt würden.