

Die kritische Geschwindigkeit der Löttschberg-Lokomotive, Typ 1E1, analytisch und graphisch berechnet

Autor(en): **Müller, Karl E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **75/76 (1920)**

Heft 10

PDF erstellt am: **18.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-36429>

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: Die kritische Geschwindigkeit der Löttschberg-Lokomotive, Typ 1E1, analytisch und graphisch berechnet. — Die Wasserkraftanlage „Gösigen“ an der Aare. — Wettbewerb für eine Ländliche Siedlung im Zielgut bei St. Gallen. — Technische Kommission des Verbandes Schweizer Brückenbau- und Eisenhochbau-Fabriken. — Miscellanea: Elektrische Einrichtung eines amerikanischen Riesenhotels. Die Förderung des Wohnungsbaues durch die Lehmblauweise in Preussen. Eine kleine, schnellaufende

Verbrennungsmaschine für schwere Brennstoffe. Bund Deutscher Baumeister. Technische Messe und Baumesse in Leipzig. Ein Gedenktag in der Geschichte der Gotthardbahn. — Nekrologie: H. Sallenbach. F. Düring. — Konkurrenzen: Bebauungsplan Elfenau- und Mettlen-Gebiet in Bern. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Bernischer Ingenieur- und Architekten-Verein. Gesellschaft ehemaliger Studierender der Eidg. Technischen Hochschule: Stellenvermittlung.

Band 75.

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

Nr. 10.

Die kritische Geschwindigkeit der Löttschberg-Lokomotive, Typ 1E1, analytisch und graphisch berechnet.

Von Dr. Karl E. Müller, Ingenieur, Zürich.

Im September vorigen Jahres haben wir über theoretische und experimentelle Versuche, betreffend die Schüttelschwingungen des Kuppelstangentriebes, berichtet.¹⁾ Seither konnten die dort gewonnenen Ergebnisse am Beispiel der Löttschberglokomotive Typ 1E1 geprüft werden. Unter dessen wurden auch Untersuchungen von A. C. Couwenhoven, betitelt: „Ueber die Schüttelerscheinungen elektrischer Lokomotiven mit Kurbelantrieb“²⁾ bekannt; indem er die analytische Methode hier für ungeeignet hält, geht Couwenhoven mehr graphisch vor, wobei er als Beispiel ebenfalls die Löttschberglokomotive behandelt. An diesem gemeinsamen Beispiel sollen hier beide Verfahren gegenübergestellt und anschliessend eine einfache graphische Methode des Verfassers erläutert werden.

Das Problem.

Im Jahre 1913 wurden auf der Löttschberg-Linie 13 Lokomotiven der Bauart 1E1 in Betrieb genommen.³⁾ Zwei davon zeigten bei Beginn, zwei andere erst nach einigem Gebrauch Schüttelschwingungen im Geschwindigkeitsintervall 38 bis 42 km/h. Bevor es gelang, durch Einbau elastischer Zahnräder an Stelle der gewöhnlichen Zahnräder Z (Abbildung 1) die Störung vollständig zu beseitigen, wurden zum Studium der Erscheinung Versuche vorgenommen, von deren Ergebnissen wir die wesentlichsten wiedergeben. In einigen Leerfahrten und Schleppfahrten wurde gefunden, dass die einzelnen Wellen genügend ausbalanciert waren und dass Schwingungen nicht auftraten, sobald einer oder beide Motoren aus dem Zahn-eingriff herausgehoben wurden. Für das Auftreten der kritischen Geschwindigkeit war es unwesentlich, ob nur die mittlere, drei oder fünf Triebachsen mit der Dreieckstange gekuppelt waren. Auch im stromlosen Lauf traten Schüttelschwingungen auf; als bei einer Leerfahrt auf einer

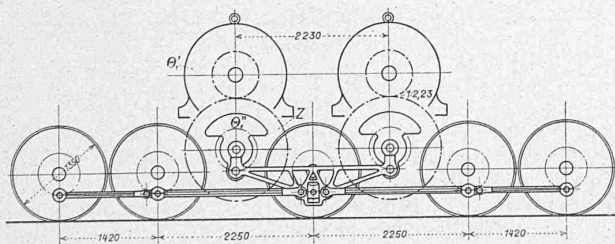


Abbildung 1.

geraden Gefällstrecke die Lokomotive stark vibrierte, trat ruhiger Lauf plötzlich ein, nachdem in eine Kurve von 500 m Radius eingebogen wurde. Als bei zwei Lokomotiven — von denen nur die eine die kritische Geschwindigkeit zeigte — die Blindwellen untereinander ausgetauscht wurden, schüttelten nachher beide Lokomotiven im angegebenen Geschwindigkeitsbereich. Aus diesem Tatbestand kann geschlossen werden, dass beim Schwingungs-

Vorgang beide Motormassen beteiligt sind; das Auftreten der kritischen Geschwindigkeit erscheint ausserdem an das Vorhandensein von Stichmassfehlern geknüpft, die sowohl in der Blindwelle allein, als auch gleichzeitig in den andern Triebwerkteilen vorhanden sein können.

Wir vertreten daher die Ansicht, dass die kritische Geschwindigkeit der Lokomotive von einem Gegeneinanderschwingen beider Motormassen herrührt. Die Schwingung entsteht durch Resonanz mit einer äussern Störung, die wir im Hinblick auf unsere früheren Veröffentlichungen teilweise in der variablen Elastizität, hauptsächlich aber in der besonders durch Stichmassfehler veränderten Form des Spielverlaufes während eines Umganges erblicken. Abbildung 2 zeigt das schwingende System schematisch; die zur Schwingung notwendigen Elastizitäten werden durch die Getriebeteile, d. h. durch Motorwelle, Zahnräder, Blindwelle, Kurbel und Dreieckstange gebildet.

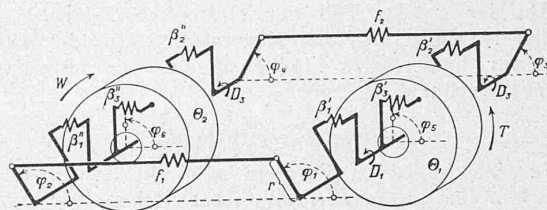


Abbildung 2.

Da sich die Schüttelschwingungen durch Verstärken der Verbindung von je zwei Motorlagern etwas dämpfen liessen, war man teils der Ansicht, dass der primäre Vorgang in einer Biegungsschwingung des Rahmens liege, die etwa durch die Schienenstösse erregt werde; diese Beobachtung betrachten wir lediglich als eine sekundäre Erscheinung, da eine solche Biegungsschwingung durch den Einbau elastischer Zahnräder nicht behoben worden wäre. Diese bewirken vor allem eine Erniedrigung der kritischen Geschwindigkeit und eine Verringerung der Amplitude der erregenden Störung, was zur Folge hatte, dass die Schüttelschwingung nicht mehr auftrat.

Um die kritische Geschwindigkeit zu berechnen, haben wir daher nur die Frequenz der Eigenschwingung zwischen beiden Massen zu berechnen und den Zusammenhang zwischen Störungsfrequenz und Geschwindigkeit der Lokomotive anzugeben.

Die Konstanten des Triebwerkes.

Bei jeder Berechnungsmethode, die auf der besprochenen Grundlage beruht, müssen nach dem Gesagten zunächst die Konstanten des Triebwerkes gefunden werden. Sind Blindwellen vorhanden, so ist zu beachten, dass sämtliche Konstanten auf die Kurbelwellen zu beziehen sind. Im Fall der Löttschberglokomotive sind also das Trägheitsmoment Θ' (das zur Beurteilung der Lauffähigkeit der Lokomotive gewöhnlich sowieso berechnet wird) und die Deformation der Motorwelle (ausgedrückt in Bogenverdrehung für ein übertragenes Drehmoment von 1 mkg an der Motorwelle) durch Multiplikation mit dem Quadrat des Uebersetzungsverhältnisses, hier mit $(2,23)^2$ auf die Blindwelle umzurechnen. Auch hat man zu unterscheiden zwischen den Deformationen γ , die der Stangenkraft, den Deformationen β_1 und β_2 , die dem Drehmoment einer Getriebeseite und jenen β_3 , die dem gesamten Drehmoment proportional sind (vergl. Abbildung 2). Die Deformationen der einen Getriebeseite werden für eine solche Stellung berechnet, dass dabei die Stange der andern Seite in Totpunkt-lage steht.

¹⁾ Schweiz. Bauzeitung, Bd. LXXIV, Seite 141, 155 und 169 (20. und 27. September, 4. Oktober 1919).

²⁾ Forschungsarbeiten des V. D. I. Nr. 218 und Dissertation E. T. H. Nr. 200.

³⁾ Vergl. in Schweiz. Bauzeitung 1914, Band LXIII, Seite 19 ff. (Januar 1914).

Die Zahlenwerte der Konstanten des Triebwerkes der Löttschberglokomotive haben wir aus den Konstruktions-Zeichnungen berechnet, dabei aber das Trägheitsmoment an den gewogenen Gewichten einzelner Rotorteile kontrolliert und verbessert, sodass dessen Wert als gesichert gelten kann. Wo eine genaue Berechnung unmöglich ist, haben wir so gut als möglich die Deformationen durch Vergleichsrechnungen abgeschätzt, damit man für die relativen Beiträge der einzelnen Konstruktionsteile ein Bild erhält. Die Deformationen hat Couwenhoven ebenfalls aus den Zeichnungen ermittelt, für den Wert des Trägheitsmomentes ist die Quelle nicht angegeben; seine Angaben sind in unserer Bezeichnungsweise in der Tabelle wieder gegeben.

Da der grösste Teil der elastischen Deformationen zwischen der Kurbel und dem Motoranker stattfindet, halten wir es für besser, das Trägheitsmoment der Blindwelle nicht mitzurechnen.

Die analytische Methode.

In den folgenden Formeln sind die Deformations-Konstanten für das ganze Triebwerk zwischen beiden Massen einzuführen. Die Theorie in unserem erwähnten Artikel ist nur für symmetrische Getriebe näher ausgeführt. Infolge der hier vorhandenen Unsymmetrie (β_1 verschieden von β_2) benutzen wir eine mittlere Konstante β_m

$$\beta_m = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}$$

Dann ist die Frequenz der elastischen Eigenschwingung angenähert

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\theta_1 + \theta_2}{\theta_1 \theta_2 \left(\gamma + \frac{\beta_m}{2} \beta_3 \right)}}$$

und die kritischen Geschwindigkeiten v_{krit} , wenn D den Triebraddurchmesser bezeichnet (hier $D = 1,35 \text{ m}$)

$$v_{krit} = \frac{3,6 \cdot \nu \cdot D \cdot \pi}{n} = \frac{1,8 \cdot D}{n} \cdot \sqrt{\frac{\theta_1 + \theta_2}{\theta_1 \theta_2 \left(\gamma + \frac{\beta_m}{2} \beta_3 \right)}} \text{ km/h}$$

Dabei hängt die Zahl n von der Art der Schüttelschwingung ab; sie ist nach unseren Versuchen gleich 2, 4, 3 oder 1 und wurde in nachfolgender Häufigkeit beobachtet¹⁾

2-fache Schwingung	$n = 2$	27 Mal
4- "	$n = 4$	15 "
3- "	$n = 3$	6 "
1- "	$n = 1$	3 "

Die beiden letzten Schwingungsformen dürfen somit als relativ selten gewertet werden. Setzt man nun die Konstanten ein, so ergibt die Formel als kritische Geschwindigkeiten bei

$$v_{krit} = \begin{matrix} n & = & 1 & 2 & 3 & 4 \\ & & 164 & 82 & 55 & 41 \text{ km/h} \end{matrix}$$

Im Geschwindigkeitsbereich 0 bis maximal 75 km/h der Löttschberglokomotive sind daher zwei kritische Geschwindigkeiten 41 und 55 km/h als möglich vorzusagen, von denen die letztere wenig Wahrscheinlichkeit hat und die zuerst genannte tatsächlich beobachtet wurde.

¹⁾ Siehe die Zahlentabelle in der erwähnten Arbeit des Verfassers Band LXXIV, S. 170 (4. Oktober 1919).

Zusammenstellung der Triebwerk-Konstanten der Löttschberg-Lokomotive.

	Nach Angaben von A. Couwenhoven umgerechnet				Nach Angaben des Verfassers			
A. Deformations-Konstanten								
in $m^{-1}kg^{-1}$, herrührend von:	γ $\times 10^{-8}$	β_1 $\times 10^{-8}$	β_2 $\times 10^{-8}$	β_3 $\times 10^{-8}$	γ $\times 10^{-8}$	β_1 $\times 10^{-8}$	β_2 $\times 10^{-8}$	β_3 $\times 10^{-8}$
Motorwelle	—	—	—	0,7	—	—	—	2,2
Zahnrad	—	—	—	—	—	—	—	0,6
Blindwelle rechts des Zahnrades	—	7,9	—	—	—	10,4	—	—
Blindwelle links des Zahnrades	—	—	42,6	—	—	—	44,1	—
Kurbel	—	—	—	—	0,7	2,8	2,8	—
Dreieckstange	14,4	—	—	—	14,0	—	—	—
Rahmen	—	—	—	—	4,1	—	—	—
Von Motor zu Motor	14,4	15,8	85,2	1,4	18,8	26,4	93,8	5,6
$\gamma + \frac{\beta_m}{2} + \beta_3$	$40 \times 10^{-8} m^{-1}kg^{-1}$				$54,4 \times 10^{-8} m^{-1}kg^{-1}$			
B. Trägheitsmomente								
Motorwelle θ_1'	700 $mkgs^2$				804 $mkgs^2$			
Blindwelle θ_1''	47 $mkgs^2$				(22) $mkgs^2$			
$\theta_1 = \theta_2$	747 $mkgs^2$				804 $mkgs^2$			

Das graphische Probiervverfahren von Couwenhoven.

Dieses beruht nicht auf einer andern Grundlage als die soeben besprochene analytische Methode, was schon daran zu erkennen ist, dass es der genau gleichen Triebwerk-Konstanten bedarf; die analytische Methode hat die Aufgabe, einen „mittlern Nachgiebigkeitsgrad“ anzugeben, für den wir den Ausdruck

$$\gamma + \frac{\beta_m}{2} + \beta_3$$

benützen. Eine graphische Methode bedarf dessen nicht, sondern kann direkt die mit der Drehung des Getriebes veränderliche Gesamtelastizität in Kurvenform (e -Kurve) darstellen und verwenden.

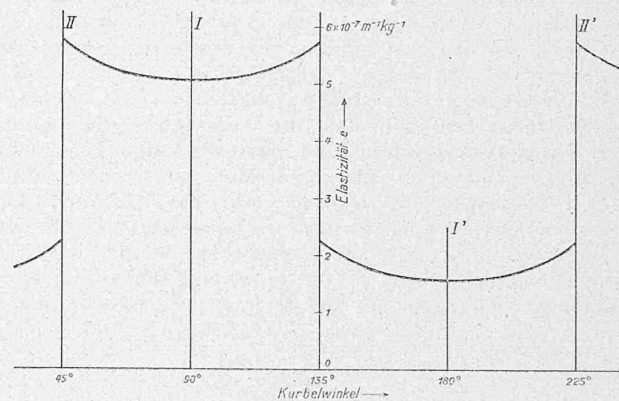


Abbildung 3.

Nimmt man mit Couwenhoven an, dass nie beide Getriebeseiten gleichzeitig Leistung übertragen (was allerdings gerade durch das Vorhandensein von elastischer Deformation nicht genau zutrifft¹⁾), so variiert die Gesamtelastizität e mit dem Drehwinkel α des Getriebes wie folgt:

$$\text{Eingriff einer Getriebeseite} \quad e = \frac{\gamma_1}{\cos^2 \alpha} + \beta_1 + \beta_3$$

$$\text{Eingriff der anderen Getriebeseite} \quad e = \frac{\gamma_2}{\sin^2 \alpha} + \beta_2 + \beta_3$$

Für ein Getriebe ohne Stichmassfehler ist der Gültigkeitsbereich der ersten Gleichung $\alpha = 315^\circ$ bis 45° ; 135° bis 225° ; und derjenige der zweiten Gleichung $\alpha = 45^\circ$ bis 135° ; 225° bis 315° . Sind Stichmassfehler vorhanden, so sind die Bereiche andere. Die Abbildungen 3 und 4 haben wir nun im Wesentlichen der Arbeit von Couwenhoven entnommen, von denen die erste die e -Kurve der Löttschberglokomotive, die zweite die endgültigen Weg-Zeit-Kurven für zwei durch ihre Phasenlage verschiedene Schwingungsformen darstellt (Diese Kurven wurden vom Verfasser

¹⁾ Couwenhoven selbst zeigt in einem Zahlenbeispiel, dass der vom Getriebe zurückgelegte Winkel, während welchem beide Getriebeseiten arbeiten, je nach Spiel- und Drehmoment 10° bis 68° beträgt.

$$F_m \cdot b \cdot x \text{ in } mkgsek = \int_a^b D \cdot dt = \Theta (\omega_B - \omega_A) = \Theta \cdot \omega_B$$

Die Winkelgeschwindigkeit ω_B entnimmt man der φ -Kurve

$$\omega_B = tg \psi \cdot \frac{a}{x}$$

somit

$$F_m \cdot b \cdot x = \Theta \cdot tg \psi \cdot \frac{a}{x}$$

und der gesuchte Zeitmasstab

$$x \text{ in } sekcm^{-1} = \sqrt{\frac{\Theta (mkgsek^2) \cdot tg \psi \cdot a (cm^{-1})}{F_m (cm^2) \cdot b (mkg m^{-1})}}$$

Unser Beispiel ergab $F_1 = 13,1 \text{ cm}^2$; $F_2 = 16,3 \text{ cm}^2$; $tg \psi = 1,0$; also

$$x = \sqrt{\frac{747 \cdot 1,0 \cdot 10^{-6}}{14,7 \cdot 2}} = 0,00504 \text{ sekcm}^{-1}$$

Die Periodendauer ist $L \cdot x = 0,0906 \text{ sek}$, woraus als erste Annäherung für die kritische Geschwindigkeit der Löttschberg-Lokomotive 43 km/h folgt.

An dieser Methode liessen sich gewiss noch Verbesserungen anbringen, wenn die Praxis sie erfordern sollte. Zum Beispiel erhält man durch Kombination mit irgend einem Verfahren (etwa dem erwähnten von Föppl), das mit dem nun bekannten Zeitmasstab eine verbesserte φ -Kurve zu finden gestattet, ein regelrechtes Näherungsverfahren.

Schlussbemerkungen.

Die Berechnung der kritischen Geschwindigkeiten der Löttschberglokomotiven dürfte gezeigt haben, dass die Theorie der Schüttelschwingungen von Triebwerken heute bis zur praktischen Brauchbarkeit entwickelt ist. Es ist bemerkenswert, zu sehen, wie schon zu Beginn dieser Entwicklung von Schwingungsmöglichkeiten die Rede war, und gleichwohl keine klaren Vorstellungen darüber bestanden haben. Die begriffliche Hauptarbeit hat *W. Kummer* durch Angabe der schwingenden Massen und Elastizitäten, und den dadurch ermöglichten ersten Versuch einer Vorausberechnung der kritischen Geschwindigkeit geleistet. Die weiteren Arbeiten von *Buchli*, *Wichert*, *Kummer*, *Meissner* und vom *Verfasser*¹⁾ haben durch Annäherung an praktische Verhältnisse (Lagerspiel und Stichmassfehler), durch die analytische Durcharbeitung und durch Modellversuche das Problem vertieft. Dabei waren zwei prinzipielle Einwände zu überwinden, die wir wie folgt formulieren können:

1. Die Schüttelschwingung ist keine elastische Schwingung und durch deren Betrachtung kann man daher die kritische Drehzahl nicht berechnen.

2. Die Elastizität des Getriebes ist während eines Umlaufes nicht konstant (e -Kurve!), was die analytische Behandlung als unzureichend erscheinen lässt.

In der genannten Arbeit des Verfassers sind beide Einwände besprochen; *Couwenhoven* berücksichtigt im Grunde den ersten nicht und überwindet den zweiten durch das erwähnte Probiervorgehen. Er steht daher prinzipiell auf demselben Boden wie *Kummer*, wenn er auch die Frequenz der die Resonanz erregenden Schwingung von anderer Annahme ausgehend gewinnt; *Kummer* nimmt dazu beide Wellen (vergl. Abbildung 2) als gleichförmig rotierend an, indem er eine Formel von *L'Hoest* benützt, *Couwenhoven* aber nimmt an, die Wellen seien masselos ($\Theta_1 = \Theta_2 = 0$). Streng genommen sind beide Annahmen unrichtig; welche die relativ richtigere sei, kann nur durch die Erfahrung erwiesen werden. *Kummer* findet die zwei-

¹⁾ Da die Arbeiten von *Kummer*, *Meissner* und vom Verfasser in der «Schweiz. Bauzeitung» entweder erschienen oder wie die übrigen Aufsätze darin zitiert und besprochen sind, verzichten wir auf die Aufstellung eines Literatur-Verzeichnisses.

und vierfache, *Couwenhoven* nur die vierfache Frequenz, sodass mit Rücksicht auf unsere Modellversuche ($n = 2$ und 4) *Kummer* mit seiner Annahme besseren Erfolg gehabt hat.¹⁾ Neben der Berechnung der kritischen Geschwindigkeit behandelt *Couwenhoven* noch Nebenprobleme unter Berücksichtigung praktisch vorkommender Verhältnisse, die für den ganzen Fragenkomplex von Interesse sind.

Alles in Allem dürfen wir sagen, dass durch die von verschiedenen Seiten und von verschiedenen Gesichtspunkten aus erfolgten Beiträge schon eine erfreuliche Abklärung in Bezug auf die Hauptpunkte stattgefunden hat. Andererseits hat sich gezeigt, dass durch den Einbau elastischer Zwischenglieder in die Triebwerke die Schüttelschwingungen verhindert werden können, wie dies bei der Löttschberg-Lokomotive geschah; gleichzeitig werden dadurch die vom wechselseitigen Arbeiten der beiden Getriebeseiten auftretenden Stösse gemildert und damit auch die Abnutzung verringert. Es steht daher zu erwarten, dass der elektrischen Vollbahntraktion zukünftig keine wesentlichen Schwierigkeiten durch Auftreten kritischer Geschwindigkeiten der Antriebsorgane von Lokomotiven mit Kuppelstangen erwachsen werden.

Die Wasserkraftanlage „Gösgen“ an der Aare der A.-G. „Elektrizitätswerk Olten-Aarburg“.

Mitgeteilt von der A.-G. «Motor» in Baden.

(Fortsetzung von Seite 96.)

An die Dampfpartei bei Km. 3,3 schliesst sich die Felsstrecke an. Die Felslinie verläuft im Durchschnitt 4 bis 5 m über Kanalsohle; bei Km. 3,8 taucht sie auf etwa 40 m Länge unter diese und reicht bei Km. 4,6 an die Terrainoberfläche oder etwa 11 m über Kanalsohle. Der Kalksteinfels gehört dem obren Sequan und zwar den Wangenerschichten an, dessen wellig-bucklige Oberfläche eine grosse Zahl von flachen, glatt geschliffenen Erosionskesseln aufwies. Es zeigten sich aber auch napfförmige Vertiefungen bis über 1,0 m Tiefe, die mit Bolus-Erde, untermischt mit Bohnerzkrönern, angefüllt waren. Der

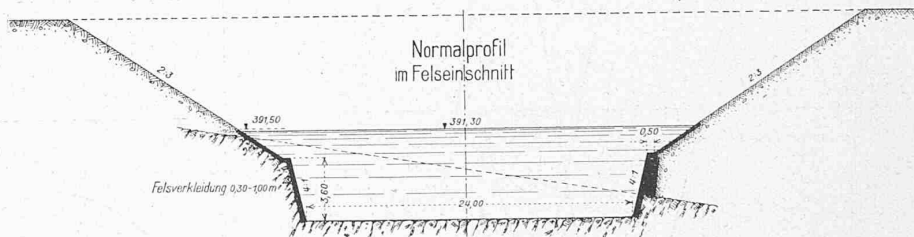


Abb. 58. Oberwasserkanal des Kraftwerkes „Gösgen“ an der Aare. Normalprofil im Felseinschnitt, Km. 3,3 bis 4,8. — Masstab 1:500.

Bolus trat ausserdem in grösseren Schlotten und Trichtern auf, die einige Meter Durchmesser erreichten und sich bis unter die Kanalsohle hinab erstreckten. Auf weite Strecken war der Kalkstein auf die ganze Einschnitthöhe mehr oder weniger stark zersetzt, und in den Spalten erschien oft wie ein bräunlicher oder grünlicher Lehm, in dem noch einige

¹⁾ Die Polemik *Couwenhovens* gegen *Kummer* erscheint daher nicht gerechtfertigt, besonders nicht, wenn sie u. a. in folgender widerspruchsvoller Art auftritt. *Couwenhoven* sagt im Hinblick darauf, dass er die kritische Geschwindigkeit der Löttschberg-Lokomotive berechnen konnte:

«Hieraus geht hervor, dass die Schüttelschwingungen der Löttschberg-Lokomotiven ohne weiteres bei dem stichmassfehlerfreien Antriebssystem nur durch das Vorhandensein von Lagerspiel begründet waren und nicht wie *Kummer* meint, weniger in allgemeinen Antriebsverhältnissen als vielmehr in vorhandenen Stichmassfehlern.»

Dagegen steht auf Seite 64 seiner Arbeit zu lesen:

«Die Erfahrungstatsache, dass bei einer Gruppe gleicher Lokomotiven manchmal irgend eine derselben eine bedeutend schwächere oder gar keine Schüttelerscheinung zeigt, scheint mir durch das Vorhandensein von Stichmassfehlern ohne weiteres erklärlich.»

Damit bestätigt er aber selbst die Ansicht von *Kummer*.