

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 19/20 (1892)
Heft: 19

Artikel: Mittheilungen aus dem Laboratorium für theoretische Maschinenlehre am eidgenössischen Polytechnikum
Autor: Fliegner, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-17462>

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: 01.04.2025

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

INHALT: Mittheilungen aus dem Laboratorium für theoretische Maschinenlehre am eidg. Polytechnikum. — Explosion auf dem Dampfboot „Mont-Blanc“ bei Ouchy. III. (Schluss.) — Electriche Schnellbahnen. — Zur Mont-Blanc-Katastrophe. — Miscellanea: Rheinregulierung. Die Dampfschiffahrtsgesellschaft für den Genfersee. Neue Tonhalle in

Zürich. Bauverwaltung von Zürich. Das fünfzigjährige Jubiläum des Vereins für Eisenbahnkunde. — Concurrenzen: Pfarrkirche in Zug, Bahnhof in Bucarest, Empfangsgebäude für den Bahnhof Dresden Altstadt. Markuskirche in Chemnitz. — Vereinsnachrichten: Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Verein.

Mittheilungen aus dem Laboratorium für theoretische Maschinenlehre am eidgenössischen Polytechnikum.

5. Versuche mit konisch-divergenten Locomotiv-Essen.

In dieser Zeitschrift, 1887, Band X, Seite 27 und f. habe ich in einer Untersuchung „Ueber den Einfluss der Zwischen-Düsen beim Locomotiven-Blaserohr“ nachgewiesen, dass die günstigste Erweiterung der Esse in hohem Grade von den Widerständen abhängt, die der Dampf und die Rauchgase bei ihrer Bewegung durch die Esse zu überwinden haben. Vernachlässigt man diese Widerstände, so findet man bekanntlich, dass die Esse möglichst stark erweitert werden sollte; berücksichtigt man sie dagegen, so erhält man eine ganz bestimmte endliche Erweiterung als die günstigste. Da aber die Widerstände allmählicher Erweiterungen noch nicht genügend experimentell untersucht sind, so konnte ich den Zahlenwerth der günstigsten Erweiterung nicht berechnen.

Ich habe nun unlängst eine kleine Versuchsreihe in dieser Richtung angestellt. Die Verwendung von Dampf als saugender Flüssigkeit wäre aber zu unständlich gewesen. Und da ich in der Sammlung der mech.-techn. Abtheilung einen zu Versuchen über das Ausströmen von Luft bestimmten Kessel zur Verfügung habe, so habe ich mich damit begnügt, nur mit comprimierter atmosphärischer Luft zu arbeiten. Es ist zu erwarten, dass diese Versuche keine wesentlich andern Ergebnisse liefern werden, als solche mit Dampf.

Für die Versuche liess ich am Luftkessel eine blasrohrartige Vorrichtung anbringen, deren wesentliche Anordnung aus Fig. 1 ersichtlich ist.

Vom Kessel zweigt ein Rohr 1 ab, das zunächst zu einem Druckminderungs-Ventil 2 führt. Dieses Ventil besteht aus einem in einem Cylinder verschiebbaren Kolben 3, der durch die feine Schraube 4 mit dem Handrädchen 5 nach Bedürfniss eingestellt werden kann. Der Ventilcylinder steht durch die Seitenöffnung 6 mit dem längeren und weiteren Rohre 7 in Verbindung, das hier die Rolle des Abdampfrohres übernimmt. Die Öffnung 6 läuft, wie die Nebenfigur 6' zeigt, auf der zuerst frei werdenden Seite ganz spitz zu, um die scharfe Einstellung des Durchflussquerschnittes zu erleichtern. Von der seitlichen Bohrung 8 in der Wand des Rohres 7 führte ein Gummischlauch zu einem Wasser-Heber-Manometer, an dem man also unmittelbar den Druck p ablesen konnte, der in der Theorie des Blasrohres als *Blasrohr-Ueberdruck* bezeichnet wird.

Am äusseren Ende des Rohres 7 befindet sich eine Verengung 9 eingelöthet, in die verschiedene Mündungen 10

als Blasrohrmündungen eingeschraubt werden können. Ich habe mit drei solchen Mündungen gearbeitet, die weiterhin mit den Buchstaben *A*, *B* und *C* bezeichnet sind. Sie hatten folgende Durchmesser:

A: 5,03 mm, *B*: 6,12 mm, *C*: 7,08 mm.

Ueber die Verengung 9 und die Blasrohrmündung 10 ist ein T-Stück geschraubt, an dessen gegenüberliegender Öffnung Essen 12 befestigt werden können. Als Essen habe ich drei aus Weissblech angefertigte divergente Röhren *a*, *b* und *c* benutzt, deren Divergenzwinkel rund betragen:

• bei *a*: 4°, bei *b*: 8°, bei *c*: 12°.

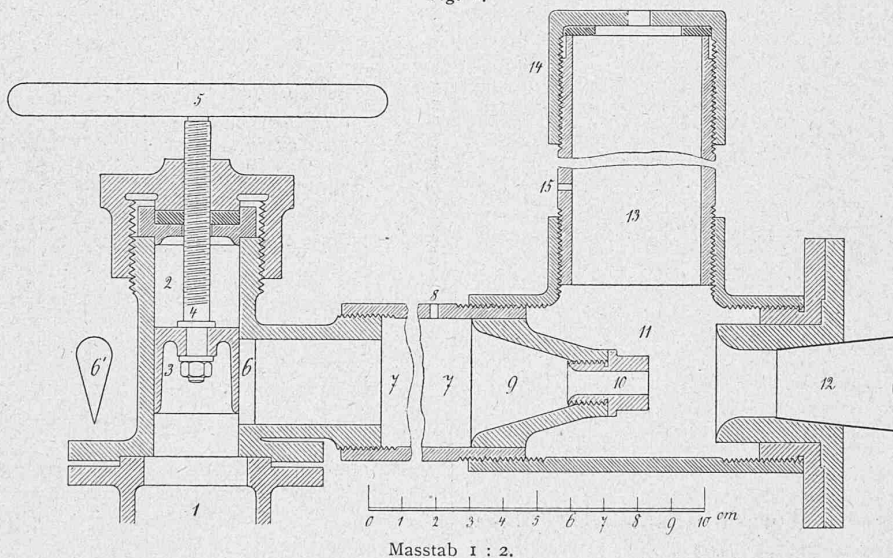
Die Blechrohre sind in Messingstutzen eingelöthet die ein Stück weit den constanten Durchmesser von 20 mm besitzen.

Die divergenten Essenrohre hatten ursprünglich eine Länge von rund 0,5 m. Sie wurden nach jeder Versuchsreihe um je etwa 0,08 m abgeschnitten, so dass bei jedem

Divergenzwinkel 6 verschiedene Rohrlängen untersucht werden konnten. Diese Längen sind weiterhin im Sinne ihrer Zunahme durch den Index 1 bis 6 an den das Rohr bezeichnenden Buchstaben *a* bis *c* unterschieden.

An der Seitenöffnung des T-Stückes ist ein Rohr 13 angeschraubt, welches mit vier verschieden durchbohrten Kappen 14 geschlossen wird. Die Öffnungen in diesen

Fig. 1.



Kappen, nämlich

in α von 2,32, in β von 4,10, in γ von 7,12, in δ von 9,88 mm

Durchmesser, entsprechen der Summe der Querschnitte der Rauchröhren, während der Hohlraum des T-Stückes und des Rohres 13 die Rauchkammer vorstellt. Der Unterdruck p_r in der Rauchkammer ging durch die Seitenbohrung 15 des Rohres 13 zu messen, von der aus ein Gummischlauch zu einem offenen Gefäss-Wasser-Vacuometer führte.

Die Versuche wurden nun in folgender Art angestellt:

An dem Manometer, welches zur Bestimmung des Blasrohrüberdruckes diente, waren von vornherein drei Einstellungen fest bezeichnet worden, entsprechend einem Ueberdruck p von 453,3, 905,2, 1343,0 mm Wassersäule. Nachdem der Luftkessel durch eine besondere dazu vorhandene Pumpe auf bedeutend höheren Druck gefüllt worden war, wurde das Regulirventil 2 vorsichtig geöffnet und zunächst der kleinste Blasrohrüberdruck möglichst genau eingestellt. Waren dieser Druck und gleichzeitig der Rauchkammer-Unterdruck hinreichend unveränderlich geworden, so wurde der Stand des Vacuummeters aufgezeichnet. Dann wurden die beiden höheren Einstellungen des Blasrohrüberdruckes ebenso behandelt. Hierauf wurde der Blasrohrüberdruck noch etwas weiter gesteigert und dann für die drei bezeichneten Pressungen der Rauchkammer-Unterdruck noch einmal in umgekehrter Reihenfolge beobachtet. Die zweiten

Einstellungen ergaben gewöhnlich einen etwas höheren Stand des Vacuummeters. Aus den beiden zusammengehörigen Beobachtungen wurde dann das arithmetische Mittel genommen und dieses als der richtige Werth des Rauchkammer-Unterdruckes angesehen.

Der Luftkessel, den ich zu diesen Versuchen benutzen musste, ist sehr klein, so dass der Druck in ihm, namentlich bei den grösseren Blasrohrmündungen, rasch gesunken wäre, was die Erhaltung eines bestimmten Blasrohrüberdruckes bedeutend erschwert hätte. Ich habe daher während der Versuche die Luftpumpe ununterbrochen arbeiten lassen, bald mehr, bald weniger, wie es die gerade untersuchten Mündungen erforderten. Ein längere Zeit anhaltendes stationäres Ausströmen war aber auch so nicht erreichbar. Ich musste mich damit begnügen, während einiger Secunden unveränderliche oder nur wenig schwankende Pressungen zu erhalten.

Aus den beobachteten Pressungen habe ich dann den für die Beurtheilung der Blasrohrvorrichtung nöthigen Quotienten p/p_r , Blasrohr-Ueberdruck durch Rauchkammer-Unterdruck, berechnet. Je kleiner dieser Quotient ausfällt, desto günstiger arbeitet das Blasrohr, weil es dann die erforderliche Luftmenge mit um so kleinerem Gegendruck am Maschinenkolben ansaugt.

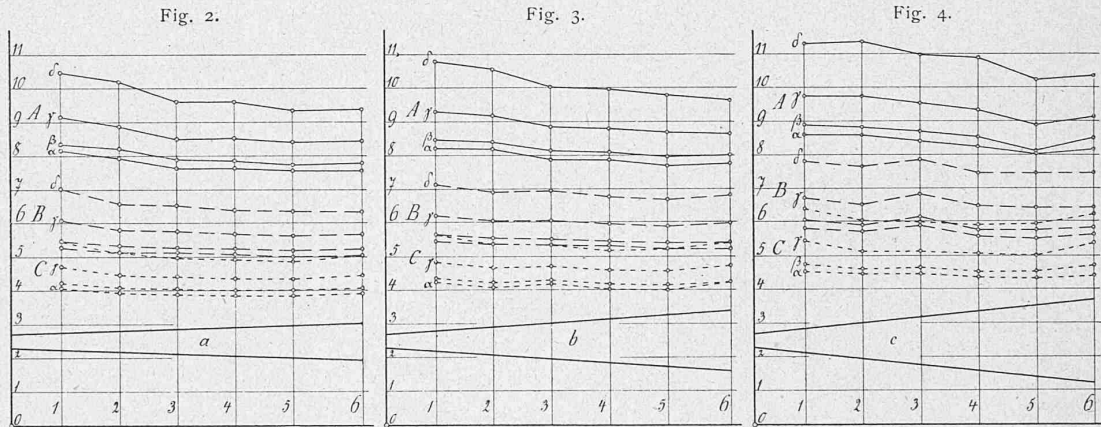
einen einzigen Punkt vereinigt. Betraf die Vereinigung zwei benachbarte Punktepaare, so habe ich sie durch eine halb lang, halb kurz gestrichelte Linie verbunden. Im Uebrigen habe ich die zur Unterscheidung der verschiedenen Anordnungen eingeführten Buchstaben und Zahlen in die Figuren eingetragen, soweit der Platz dazu ausreichte.

Die Figuren gestatten nun sofort folgende Schlüsse über den Einfluss der einzelnen Dimensionen einer Blasrohrvorrichtung:

Die Blasrohrmündungen *A* und *B* hatten jedenfalls einen zu kleinen Querschnitt. Ob *C* auch noch zu klein, oder schon etwas zu gross ist, lässt sich nicht entscheiden, dazu hätten noch mehr verschiedene Blasrohrmündungen untersucht werden müssen. Für Dampf würde auch vielleicht ein anderer günstigster Werth gelten, als ausführlichere Versuche mit Luft ergeben hätten.

Dass ferner der Quotient p/p_r mit der Grösse der Rauchrohrmündung wächst, ist selbstverständlich. Je mehr Luft unter sonst gleichen Umständen in die Rauchkammer einströmen kann, desto kleiner muss der Rauchkammer-Unterdruck bleiben. Einen eigentlichen günstigsten Werth für die Grösse der Rauchrohrmündung gibt es nicht, und Constructionsregeln lassen sich hieraus nicht herleiten.

Der eigentliche Zweck der ganzen Versuchsreihe war



Der Quotient p/p_r zeigte sich nun zunächst bei jeder Zusammenstellung des Apparates abhängig von der Höhe des Blasrohrüberdruckes: p/p_r wuchs stets mit dem Drucke, wenn auch in den verschiedenen Fällen in verschiedenem Betrage. Da es aber zu weit führen würde, alle 648 gefundenen Werthe dieses Quotienten hier anzugeben, und da ich auch eine gewisse Ausgleichung der unvermeidlichen Beobachtungsfehler wünschte, so habe ich mich damit begnügt, je aus den drei für dieselbe Zusammenstellung gefundenen Werthen das Mittel zu nehmen und nur diese 216 Mittelwerthe in den Figuren 2 bis 4 zusammenzustellen.

In diesen Figuren sind in dem zwischen der Abscissenachse und der übrigen Darstellung frei gebliebenen Raume die drei benutzten Essen im Längenschnitt in verkleinertem Masstabe, aber sonst ähnlich, eingezeichnet, und zwar in Fig. 2 Esse *a*, in Fig. 3 Esse *b* und in Fig. 4 Esse *c*. Ueber den benutzten Essenlängen als Abscissen sind dann als Ordinaten die berechneten Werthe der Quotienten p/p_r aufgetragen und die derselben Zusammenstellung angehörenden Punkte je durch einen Linienzug verbunden. Dabei gelten für die Blasrohrmündung

- A* die voll ausgezogenen,
- B* die lang gestrichelten,
- C* die kurz gestrichelten

Linien. Die vier gleichartigen Linienzüge jeder Figur entsprechen in der Reihenfolge von unten nach oben den Rauchrohrmündungen *a* bis *d*. Bei dieser Darstellung wären allerdings einige Male je zwei Punkte der beiden Blasrohrmündungen *B* und *C* undeutlich nahe zusammengefallen. Solche Punkte habe ich unter möglichster Wahrung des Charakters des Linienzuges etwas weiter auseinander gesetzt oder auch in

auch nicht der, günstigste Verhältnisse für die Querschnitte des Blasrohres und der Rauchröhren zu finden, sondern der, den Einfluss der Verhältnisse der Esse auf die Wirkung der Blasrohrvorrichtung zu untersuchen.

In dieser Richtung zeigen nun die Figuren zunächst, dass die gleichartigen Linienzüge um so höher hinaufrücken, je grösser der Divergenzwinkel der Esse wird. Zu rasche Erweiterungen der Esse wirken also ungünstig. Allerdings ist es nicht ausgeschlossen, dass vielleicht zwischen den Essen *a* und *b* oder bei einer noch schlankeren Esse als *a*, ein günstigster Divergenzwinkel vorhanden sein könnte. Die Versuche sind zur Entscheidung dieser Frage nicht genügend umfangreich.

Mit grösserer Sicherheit lässt sich der Einfluss der Länge der Esse feststellen. Dabei ist aber folgendes zu beachten. Die meisten Linienzüge verlaufen ziemlich regelmässig, doch sind namentlich einzelne auffallend hoch liegende Punkte vorhanden, z. B. die vier zu *B*, *c*₃ gehörenden. Ein zu grosser Werth des Quotienten p/p_r lässt sich leicht aus einer Undichtheit der Rauchkammer erklären, und eine solche gelegentliche Undichtheit ist nicht ausgeschlossen, da nach jedem Versuch mindestens eine der Mündungen durch eine andere ersetzt werden musste. Die ausnahmsweise Lage der vier eben als Beispiel hervorgehobenen Punkte würde auf eine ungenügend dichte Befestigung der Esse *c*₃ hindeuten. Denkt man sich unter Berücksichtigung dieses Umstandes die verschiedenen Linienzüge durch continuirlich gekrümmte Curven ersetzt, so zeigen diese mit nur vereinzelten Ausnahmen deutlich ausgeprägte Minima. Für die Blasrohrmündung *C*, die kurz gestrichelten Linienzüge, würde ich dieses Minimum bei etwa $\frac{2}{3}$ der

ursprünglichen Länge der Esse annehmen. Für die Blasrohrmündungen B und A scheint die günstigste Länge grösser zu sein. Einzelne dieser Curven haben überhaupt kein ausgeprägtes Minimum, so B , a , δ und A , b , δ . Bei ihnen würde man annehmen müssen, dass die günstigste Rohrlänge grösser ist, als die grösste noch untersuchte Länge. Dieser ausnahmsweise Verlauf zeigt sich beide Male bei der grössten Rauchrohrmündung δ . Das führt auf die Vermuthung, dass die günstigste Essenlänge vielleicht auch mit der Grösse der Rauchrohrmündung etwas zunimmt. Der gegenseitige Verlauf der übrigen Linienzüge steht mit dieser Annahme durchaus nicht im Widerspruch, wenn sich auch aus ihm kein sicherer Beweis dafür herleiten lässt.

Auffallend ist, dass die günstigste Länge der Esse gar nicht von ihrem Divergenzwinkel abhängig zu sein scheint. Die Figuren lassen wenigstens keinerlei Einfluss in dieser Richtung erkennen.

Denkt man sich alle Essen bei je gleichem äusserem Durchmesser abgeschnitten und vergleicht die zugehörigen Werthe des Quotienten p/p_r , so findet man keine Uebereinstimmung. Die Wirkung der Esse hängt also nicht allein von der eigentlichen Querschnittszunahme ab, sondern auch in hohem Grade vom Divergenzwinkel.

Der durch diese Versuche nachgewiesene Einfluss der Erweiterung der Esse stimmt im Wesentlichen durchaus mit dem überein, den ich in meiner früheren Untersuchung über den Einfluss der Zwischendüsen als wahrscheinlich nachgewiesen hatte. Man darf die Esse nicht beliebig stark erweitern. Vielmehr gibt es eine ganz bestimmte günstigste Länge, die von dem gegenseitigen Grössenverhältniss der Blasrohrmündung, der Rauchrohrmündung und des engsten Essenquerschnittes abhängt, während sie von dem Divergenzwinkel der Esse ziemlich unabhängig zu sein scheint. Der Divergenzwinkel selbst darf aber nicht zu gross genommen werden, wenn nicht der Quotient p/p_r auch zu grosse Werthe annehmen soll. Günstigste Verhältnisse müssten an einem eigentlichen Blasrohr ausprobiert werden.

Ursprünglich war es meine Absicht gewesen, aus diesen Versuchen die *Widerstände* selbst zu berechnen, welche die Divergenz der Esse hervorruft. In meiner frühern, schon mehrfach erwähnten Untersuchung, Schweiz. Bauztg. 1887, Bd. X, habe ich auf S. 33 links oben diese Widerstände in der Art berücksichtigt, dass ich sie als Bruchtheil, $\epsilon < 1$, der Widerstände eingeführt habe, die eine gleich grosse plötzliche Zunahme des Rohrquerschnittes verursachen würde. Ich habe daher aus den Versuchen auch den Werth von ϵ berechnet und dabei noch eine mathematische Annäherung der dortigen Entwicklungen vermieden, indem ich zur Herleitung des Zusammenhanges zwischen ϵ und p/p_r von der dortigen genaueren Gleichung (18) ausgegangen bin, anstatt von (19). Dadurch ändert sich auch die Schlussgleichung (21).

Die so berechneten Werthe von ϵ werden aber nicht nur von den Widerständen in der Esse abhängig sein, sondern es ist ihnen auch noch die Ausgleichung sämtlicher Annäherungen aufgebürdet, die der ganzen Formelentwicklung zu Grunde liegen. Dazu kommen dann selbstverständlich noch Schwankungen in Folge von unvermeidlichen Beobachtungsfehlern. Es ist daher von vornherein zu erwarten, dass sie, wenigstens theilweise, nicht zwischen die Grenzen Null und Eins fallen werden, wie es eigentlich sein sollte.

In der That schwanken die gefundenen Werthe von ϵ zwischen den sehr weiten Grenzen von rund -2 bis $+12$. Sie verlaufen dabei aber im Grossen und Ganzen durchaus stetig, so dass man diese Schwankungen unmöglich als eine Folge der Beobachtungsfehler ansehen darf. Sie haben vielmehr ihren Grund in den verschiedenen Annäherungen bei der Formelentwicklung und in der Unsicherheit der Zahlencoefficienten bei der Berechnung.

Die negativen Werthe von ϵ sind wahrscheinlich dem letztgenannten Umstande zuzuschreiben. Sie ergeben sich wenigstens nur dann, wenn in einer bei der Berechnung auftretenden Differenz Minuend und Subtrahend sehr gross werden, rund 750, während die Differenz selbst nur etwa

10 bis 20 betragen sollte. Dabei enthält der Minuend als Factor einen Coefficienten, der von den Widerständen der Blasrohrmündung abhängt. Eine geringe Aenderung dieses Coefficienten beeinflusst den Werth der Differenz verhältnissmässig stark und ändert bald das Vorzeichen von ϵ . Uebrigens finden sich unter allen 648 Werthen von ϵ nur 25 negative.

Dass umgekehrt der weitaus grösste Theil aller ϵ , nämlich 550, grösser als die Einheit ausgefallen ist, halte ich für die Folge einer unrichtigen angenäherten Annahme bei der Entwicklung der Formeln, und zwar der Annahme, dass die saugende und die angesaugte Luft im engsten Essenquerschnitt schon ein ganz gleichförmiges Gemenge bilden. Nimmt man nämlich an, die vollständige Mischung komme erst in einem späteren, grösseren Essenquerschnitt zu Stande, so erhält man für ϵ kleinere Werthe.

Da aber jede andere Annahme über Lage und Grösse dieses Querschnittes vollkommen willkürlich wäre, so habe ich auf eine weitere Verfolgung dieser Frage verzichtet und unterlasse auch jede genauere Mittheilung der gefundenen Werthe von ϵ .

Zürich, October 1892.

Prof. A. Fliegner.

Explosion auf dem Dampfboot „Mont-Blanc“ bei Ouchy.

III. (Schluss.)

Wir kehren nun zu den schwurgerichtlichen Verhandlungen zurück, wobei wir, um nicht zu ausführlich zu werden, nur die rein technischen Fragen berühren wollen. Die Leser dieser Zeitschrift, welche sich näher für den vorliegenden Fall interessiren, müssen wir bitten, Nr. 4 d. B., in welcher der Vorgang der Explosion beschrieben, Nr. 6, in welcher die Abbildungen des Dampfers und des explodirten Dampfsammlers gegeben und endlich Nr. 17, in welcher die Anklageschrift mit den Schlussfolgerungen der Expertengutachten veröffentlicht sind, nachzuschlagen.

Unseres Erachtens haben die schwurgerichtlichen Verhandlungen über die Hauptfrage: welches war die Ursache der Explosion? nicht viel neues Licht verbreitet. Neu und unerwartet war bloss die Wendung, welche der Process gegen das Ende hin nahm, wobei versucht wurde, das verwendete Kesselblech als ungenügend darzustellen. Einer der nachträglich noch zu Gunsten des Angeklagten Rochat zugezogenen Experten, Herr de Molin, verstieg sich sogar zu der Behauptung, das verwendete Kesselblech sei von sehr geringer Qualität, zu 20 Fr. per 100 kg, gewesen, während man solches zu 40 Fr. per 100 kg hätte verwenden sollen. Wie leichtfertig diese Behauptung des Experten ist, der doch vor Allem verpflichtet war, nur die Wahrheit zu sagen, geht aus dem an anderer Stelle dieser Nummer abgedruckten Schreiben der Firma Escher Wyss & Co. hervor, welche nachweist, dass für das Blech sogar mehr als 44 Fr. bezahlt wurde.

Das Herumstreiten der Experten über die Qualität des Bleches ist uns nicht recht erklärlich. Viel besser als alle Worte wäre *der Versuch* gewesen, und wir können nicht begreifen, dass nicht schon während der Untersuchung Proben in der eidg. Festigkeitsanstalt angeordnet worden sind. Es hätte sich dabei weniger darum gehandelt, die Festigkeit des Materials in der Nähe der gerissenen Stelle zu erproben, als um eine genaue, wissenschaftliche *Qualitäts-Untersuchung* des verwendeten Bleches. Aber freilich, wenn einer der Experten (Prof. Grenier) erklärt, solche Proben in der eidg. Anstalt würden nur ein zu bestreitendes Resultat (des renseignements assez discutables) ergeben, so kann die Untersuchungsbehörde keinen Vorwurf treffen, dass sie nicht rechtzeitig Proben veranlasst hat.

Für uns scheint die Blechqualität, auch für den Fall, dass nachgewiesen werden könnte, sie sei eine geringe gewesen, in secundärer Linie zu stehen. Aus den Verhandlungen hat sich ergeben, dass der Ingenieur des Kessel-