Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 101/102 (1933)

Heft: 21

Artikel: Untersuchungen über die durch Kavitation hervorgerufenen Korrosionen

Autor: Haller, P. De

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-82996

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: 20.02.2026

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

Untersuchungen über die durch Kavitation hervorgerufenen Korrosionen.

Von Dipl. Ing. P. DE HALLER, Zürich.
Mitteilungen aus dem hydraulischen Laboratorium der Escher Wyss Maschinenfabriken Aktiengesellschaft.

Die ersten Beobachtungen über die Kavitation und die von ihr verursachten Korrosionen stammen ungefähr aus dem Jahr 1894. Sie sind zunächst bei den Schrauben von Schiffen, insbesondere von Torpedobootzerstörern, gemacht worden, wo sich die charakteristischen Erscheinungen: eine Verminderung des Wirkungsgrades und die typische äussere Gestalt der Korrosionen gezeigt haben. Da seither die Geschwindigkeiten der Schiffe immer mehr gewachsen sind und die Wasserturbinen und die Pumpen für immer grössere Gefälle bei gesteigerten spezifischen Drehzahlen gebaut werden, ist die Kavitation immer häufiger in Erscheinung getreten; sie bildet heute eines der Hauptprobleme, die der Ingenieur beherrschen muss, um ein sicheres Arbeiten der hydraulischen Maschinen zu erreichen.

Die Kavitation ist heutzutage eine in der Technik allgemein bekannte Erscheinung, sodass es sich erübrigt, auf ihre Natur und ihre noch wenig entwickelte Theorie, mit der sich die Arbeiten von Ackeret[1]) und Föttinger[2]) befassen, näher einzugehen. Es genügt hier, an die hauptsächlichsten Merkmale zu erinnern, wie man sie z. B. an den Schaufeln eines Propellers beobachtet. An der Stelle des tiefsten Druckes bilden sich mitten in der Flüssigkeit kleine Dampfblasen, die sich sehr rasch entwickeln und von der Strömung mitgerissen werden. Bei genügender Ausdehnung der Zone niederen Druckes findet eine vollständige Ablösung der Strömung unter Entstehung eines Hohlraumes statt. Unmittelbar dahinter legt sich unter sehr rascher Kondensation der Dampfblasen die Strömung plötzlich an die Oberfläche an und nimmt dann wieder ihren normalen Lauf. An dieser Stelle tritt nun ein plötzlicher Druckanstieg ein, und zwar ungefähr bis zu der Höhe des Druckes, der daselbst theoretisch bei Abwesenheit von Kavitation vorhanden sein sollte. Dieser Vorgang ist zuerst von Ackeret genau beobachtet und unter Aufstellung einer vollständigen Theorie beschrieben worden.[3]) Parallel mit diesen Erscheinungen beobachtet man eine rasch fortschreitende Zerstörung der Schaufel, deren Oberfläche das charakteristische schwammige Aussehen annimmt, das sich stark von dem jener Korrosionen unterscheidet, die durch chemische oder elektrolytische Aktion von gipshaltigem, salzigem oder saurem Wasser hervorgerufen werden. Die Raschheit des Angriffes vor allem ist erstaunlich. Unter gewissen, besonders ungünstigen Verhältnissen genügen einige Stunden, um die davon betroffenen Teile unbrauchbar zu machen. Es ist versucht worden, diese Zerstörungen auf die oxydierende Wirkung von im Wasser gelösten Gasen zurückzuführen, die sich mit Heftigkeit ausscheiden, sobald der Druck bis auf den Verdampfungsdruck des Wassers sinkt; es würde sich also hier um einen besondern Fall von chemischer Korrosion handeln. Man hat aber sehr bald eingesehen, dass diese Erklärung der beobachteten Erscheinungen nicht befriedigt. Ausserdem haben eingehende Versuche gezeigt, dass die chemischen Angriffe nur eine untergeordnete Rolle spielen. Eines der Hauptargumente bilden die Untersuchungen von Föttinger, der die typischen Korrosionen auf Glas erzeugt hat, also auf einem gegen die meisten Säuren unempfindlichen und von diesen nicht angegriffenen Material. Zudem vollzieht sich der Angriff weder an der Stelle des tiefsten Druckes, wo sich die Gase mit der grössten Intensität ausscheiden, noch in dem entstehenden Hohlraum, sondern vielmehr in der Kondensationszone der Dampfblasen. Man ist sich heute darüber klar, dass die Korrosionen rein mechanischen Einflüssen zuzuschreiben sind, die infolge der sehr raschen Kondensation der Dampfblasen entstehen und in der Form von Wasserschlägen ihre Wirkung ausüben. Parsons hat in dieser Beziehung einfache und überzeugende Versuche vorgenommen; es ist ihm gelungen, durch Einwirkung von Wasserschlägen Metallmembranen von solchen Abmessungen zu durchschlagen, dass der zum Bruch führende Druck mehr als 11 000 kg/cm² betragen musste. Drucke von dieser Grössenordnung erklären ohne weiteres die beschleunigte Zerstörung eines jeden Metalles, so widerstandsfähig es auch sein mag. Es ist lediglich schwierig, sich von dem Entstehen derartiger Kräfte im Fall der Kavitation eine Vorstellung zu machen. Zahlreiche Theorien sind bis jetzt ohne grossen Erfolg entwickelt worden. Die nachstehend beschriebenen Beobachtungen und Untersuchungen bringen eine befriedigendere Erklärung, indem sie zeigen, dass die zur Zerstörung des Materials erforderlichen Drucke bei Vorhandensein gewisser Voraussetzungen nicht so hoch zu sein brauchen. Die Arbeiten wurden in dem hydraulischen Laboratorium der Escher Wyss Maschinenfabriken A.-G. in Zürich und in einigen von dieser Firma ausgerüsteten Zentralen durchgeführt. Einige Teilergebnisse wurden bereits veröffentlicht.[4])

Schon lange sind an den Schaufeln von Pelton-Turbinen, die unter hohem Gefälle arbeiten, Abnutzungserscheinungen beobachtet worden, die den Korrosionen bei Francis-Turbinen zum Verwechseln ähnlich sind; sie wurden daher folgerichtig ebenfalls zu den Kavitationserscheinungen gerechnet. Diese Angriffe treten aber häufig auf der Innenseite der Schaufeln, also an einer konkaven Fläche auf, an der die Zentrifugalkraft das Entstehen jeglichen Unterdruckes verhindert, und da die Mittel, diese Abnutzung durch Unterdrückung der Kavitation zu bekämpfen, sämtlich ihren Zweck verfehlten, hat man diese Angriffe auf den unmittelbaren Schlag der Schaufel gegen die vereinzelten Wassertropfen in der Umgebung des Strahles zurückgeführt. Es ist in der Tat bekannt, dass der Strahl einer Pelton-Turbine nicht auf seiner ganzen Länge geschlossen verläuft, sondern in einer gewissen Entfernung von der Düse zu streuen anfängt, und zwar um so mehr, je grösser das Gefälle ist. Die zerstörende Wirkung der Wassertropfen ist zuerst bei Dampf-Turbinen beobachtet worden, wo die Schaufeln der letzten, mit gesättigtem Dampf arbeitenden Stufen oft stark angegriffen werden. Honegger hat eine interessante Studie veröffentlicht, in der er die in dieser Hinsicht unternommenen Versuche beschreibt.[5]) Die zu prüfenden Metallstäbe wurden am Umfang einer mit grosser Geschwindigkeit umlaufenden Scheibe befestigt und schlugen bei jeder Umdrehung gegen einen unter 40 m Druck stehenden Wasserstrahl von 1,5 mm ∅. Honegger hat gefunden, dass selbst die widerstandsfähigsten Metalle sehr rasch erodiert waren, wenn die Umfangsgeschwindigkeit 200 m/s erreichte. Kleinere Geschwindigkeiten hatten einen schwächern Einfluss und unterhalb 125 m/s wurde kein Angriff mehr festgestellt. Die Analogie der Versuchseinrichtung von Honegger mit der Arbeitsweise einer Pelton-Turbine ist offenbar. Bei dieser letzten können aber die Relativgeschwindigkeiten zwischen den Schaufeln und Wassertropfen nur bis zu 50 bis 60 m/s betragen, was nach den erwähnten Versuchen nicht ausreicht, die beobachteten rapiden Angriffe zu erklären. Der folgende Versuch hat nun gezeigt, dass Wassertropfen von 1 cm Grösse und mehr eine erheblich stärkere Wirkung haben können als der Strahl von 1,5 mm ∅ bei den Versuchen von Honegger, der schon selbst auf die Bedeutung der Strahldimension hingewiesen hat.

[1]) Siehe Literatur-Verzeichnis in nächster Nummer, Nr. 1 bis 4.

[2]) Literatur-Verzeichnis, Nr. 9 und 10.

[3]) Literatur-Verzeichnis, Nr. 1.

[4]) „Escher Wyss Mitteilungen" 1928, Nr. 2, — "S.B.Z." Bd. 98, S. 309. — „Die Forschung" Nr. 9, Seite 343 (vom Sept. 1931). — „Hydromechanische Probleme des Schiffsantriebs", Seite 227, Hamburg 1932.

[5]) Literatur-Verzeichnis, Nr. 11.

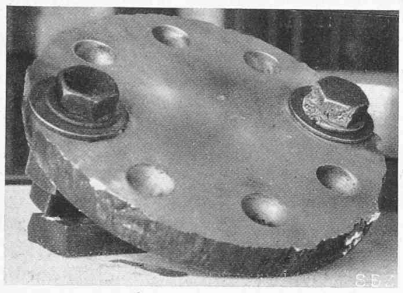


Abb. 1. Erosion an Schrauben durch Tropfenschlag.

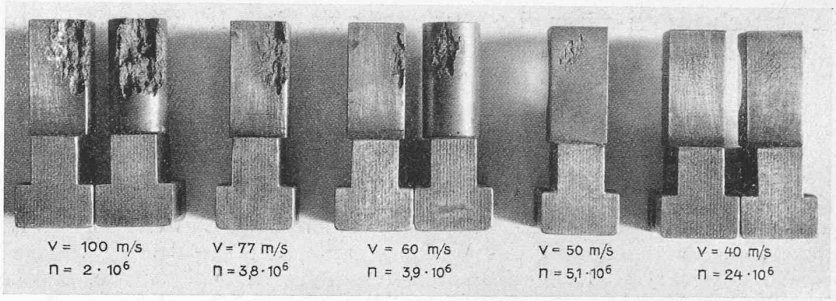


Abb. 3. Tropfenschlag-Erosion bei verschiedenen Geschwindigkeiten. n = Schlagzahl.

Eine Stahlplatte wurde der Einwirkung eines Wasserstrahles von 20 mm ∅ unter 690 m Gefälle ausgesetzt, der senkrecht auf die Mitte der Platte aufschlug. Nach einer Versuchsdauer von 24 h war die Platte selbst unversehrt, die Befestigungschrauben waren jedoch auf ihrer Innenseite stark angegriffen (Abb. 1). Da sich dieses verschiedenartige Verhalten nicht aus einer geringern Widerstandsfähigkeit des Schraubenmaterials erklären liess, musste eine grundsätzlich verschiedene Angriffsart angenommen werden. Tatsächlich ist die Mitte der Platte der dauernden Einwirkung eines geschlossenen Strahles ausgesetzt, der Druck kann also nicht grösser sein als der Staudruck $\gamma\, v^2/2\,g$, in diesem Fall 690 m. Durch das Aufprallen auf die Platte zerstäubt der Strahl nach allen Richtungen, die Schrauben werden von den unregelmässig wegspritzenden Wassertropfen getroffen und so einer heftigen Schlagwirkung unterworfen. Um die dabei auftretenden Kräfte zu ermitteln, muss die Elastizität des Wassers und des Metalles in Rechnung gezogen werden. Der im Augenblick des Aufschlagens entstehende Druck ist also gegeben durch:

$$p = \frac{v\,\varrho_1\,a_1}{1 + \frac{\varrho_1\,a_1}{\varrho_2\,a_2}}$$

wo ϱ_1 die Dichte des Wassers,
$a_1\,a_2$ die Schallgeschwindigkeit im Wasser bezw. im Metall,
v die Relativgeschwindigkeit im Moment des Schlages,
ϱ_2 die Dichte des Metalles;

In dem besonderen Fall war

$a_1 = 1400$ m/s $\quad a_2 = 5000$ m/s
$\varrho_1 = 102 \quad \varrho_2 = 800 \quad v = \sqrt{2gH} = 115$ m/s

Daraus ergibt sich $p = 1600$ kg/cm², ein Wert, der bereits oberhalb der Ermüdungsgrenze des für die Schrauben verwandten Stahles liegt. Immerhin ist zu bemerken, dass diese hohen Drucke nur dann entstehen können, wenn die mit dem Metall in Berührung kommenden Wassermassen eine bestimmte, gleichmässige Oberfläche haben, was bei dem Versuch sicherlich nicht der Fall war; die Drucke waren also jedenfalls kleiner als der Rechnungswert.

Dieser Versuch zeigt die Möglichkeit der Erosion selbst bei Geschwindigkeiten, die unterhalb der von Honegger angegebenen Grenzen liegen; es war daher gegeben, die Versuche auf dieser neuen Basis wieder aufzunehmen.

EROSION DURCH TROPFENSCHLAG.

Abb. 2 veranschaulicht die im hydraulischen Laboratorium von Escher Wyss geschaffene Versuchseinrichtung. Sie gleicht im Prinzip der von Honegger, der Wasserstrahl hat jedoch normalerweise einen Durchmesser von 8 mm und kann auf 15 mm gebracht werden. Später wurden zwei durch eine Pumpe gespeiste Strahlen benutzt.

Die erste Versuchsreihe von lediglich qualitativer Art sollte die Möglichkeit der Erosion selbst bei stark verminderten Geschwindigkeiten erweisen, unter Voraussetzung, dass der Strahl einen genügend grossen Durchmesser besitzt. Die Ergebnisse waren deutlich genug, wie Abb. 3 zeigt. Mit einem Strahl von 8 mm ∅ unter einem Druck von 2 m wird bei einer Umfangsgeschwindigkeit von 90 m/s ein sehr rascher Angriff hervorgerufen. Nach zwei Millionen Schlägen zeigt der Versuchstab Löcher von mehreren Millimetern Tiefe. Dabei handelt es sich um einen Siemens-Martin-Stahl von 61 kg/mm² Bruchfestigkeit. Die Intensität der Erosion vermindert sich naturgemäss mit der Geschwindigkeit, aber 40 m/s haben noch genügt, um das Metall deutlich anzugreifen, allerdings waren dazu 24 Millionen Schläge nötig. Wahrscheinlich ist damit die untere Grenze noch nicht erreicht, die Feststellung dieser Grenze hätte jedoch mit der angewendeten Versuchseinrichtung zuviel Zeit erfordert.

Die Gestaltung der vom Strahl getroffenen Oberfläche ist von grosser Wichtigkeit. Stäbe von kreisförmigem, quadratischem, länglichem Querschnitt usw., die gleichzeitig untersucht wurden, verhielten sich vollständig verschieden. Ganz allgemein ist die Widerstandsfähigkeit des Stabes um so grösser, je kleiner die vom Strahl getroffene Oberfläche ist (Abb. 4 und 5). Man muss diese Tatsache der Feststellung von Honegger bezüglich des Einflusses des Strahldurchmessers gegenüberhalten, denn eine Veränderung des Strahldurchmessers kommt einer Veränderung der getroffenen Oberfläche gleich. Bisher ist noch keine befriedigende Erklärung für diesen Einfluss gefunden worden. Wahrscheinlich besteht ein Zusammenhang in der einen oder anderen Weise zwischen den entstehenden Drücken und der Grösse der getroffenen Oberfläche. Möglicherweise hat auch die Dauer der Beanspruchung, die auch von den Abmessungen abhängig ist, einen wesentlichen Einfluss.

Der ungünstigste Fall ist der, dass die vom Strahl getroffene Oberfläche konkav ist oder Löcher aufweist, die gar nicht tief zu sein brauchen (Abb. 6). Der Angriff beginnt immer an den Wandungen der Vertiefungen und breitet sich von dort rasch aus. Vorspringende Teile sind weniger gefährdet. Kleine Stäbchen von 2 mm ∅, die 2 mm über die Oberfläche herausragten, haben gut standgehalten, fast so gut, wie wenn die Oberfläche eben gewesen wäre. Der Angriff begann an den äusseren Ecken der Stäbchen und breitete sich von dort weiter aus (Abb. 7).

Um sich darüber Rechenschaft zu geben, ob die Erosion nicht etwa von Spannungen herrührt, die durch die Schwingungen des Probestäbchens infolge der Stösse verursacht werden, wurden gleichzeitig zwei Proben untersucht (Form 3 u. 4 von Abb. 4), deren Angriffsfläche gleich, deren Trägheitsmomente jedoch sehr verschieden waren; es wurden keine merklichen Unterschiede beobachtet.

Wird der Gewichtsverlust, den der Versuchstab erleidet, in Abhängigkeit von der gesamten Zahl der Schläge

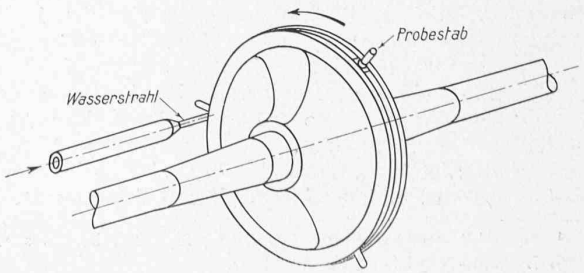


Abb. 2. Einrichtung zur Erzeugung von Tropfenschlag.

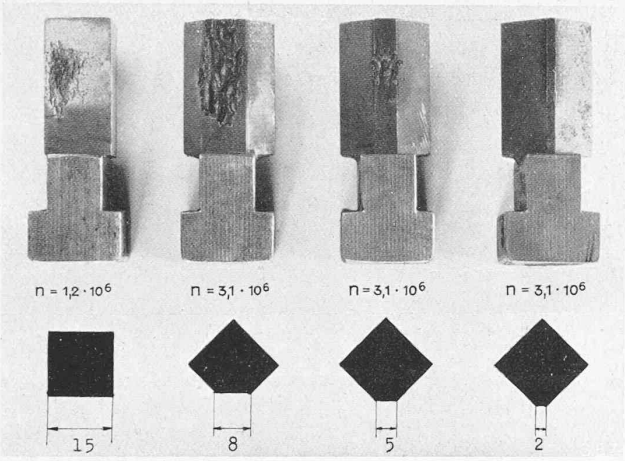


Abb. 5. Einfluss der Schlagflächen auf die Erosion. n = Schlagzahl.

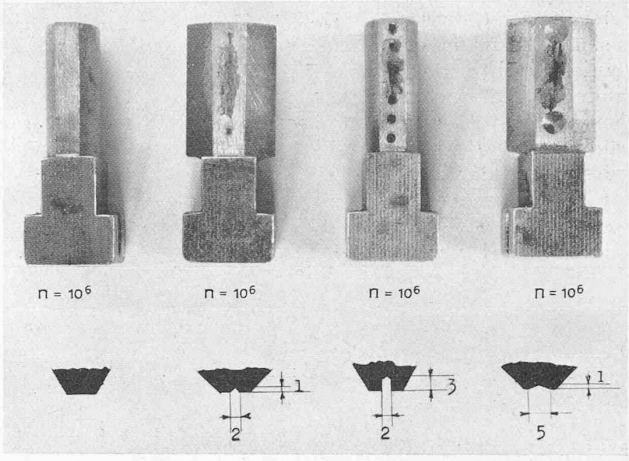


Abb. 6. Einfluss von Vertiefungen auf die Erosion. n = Schlagzahl.

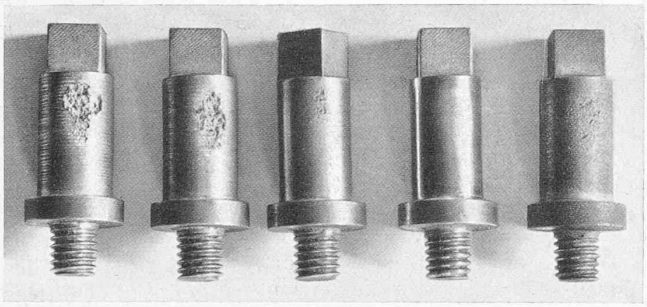


Abb. 9. Einfluss des Bearbeitungsgrades auf die Erosion nach 0,9 × 10⁶ Schlägen.

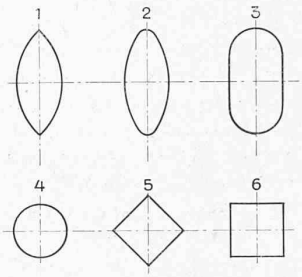


Abb. 4. Verschiedene Querschnitte der Probestäbe.

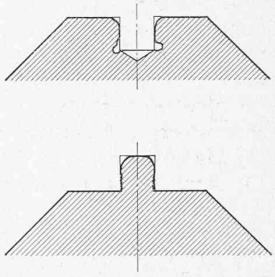


Abb. 7. Beginn des Angriffes an einer Vertiefung und an einem Vorsprung.

aufgetragen, so ergeben sich die Kurven der Abb. 8. Der Charakter ist für die verschiedensten Metalle der gleiche. Eine bestimmte Zahl von Schlägen ist erforderlich, um einen merkbaren Gewichtsverlust hervorzurufen. In der Folge steigt der Gewichtsverlust erst langsam, dann schneller, und die Kurven nehmen eine gewisse gleichmässige Neigung an, die je nach dem untersuchten Material und seinen charakteristischen Eigenschaften variiert.

Diese Versuchsmethode hat sich als ausserordentlich nützlich erwiesen, um rasch Unterlagen über die Widerstandsfähigkeit verschiedener Materialien gegen die Erosion und Kavitationskorrosion zu erhalten. Mehr als 60 Metalle bezw. Legierungen wurden unter den gleichen Bedingungen geprüft:

Umlaufzahl der Scheibe:	2600 Uml/min.
Umfangsgeschwindigkeit:	77 m/s
Strahldurchmesser:	8 mm
Wasserdruck:	2 m

Das Aussehen des Stabes verändert sich parallel damit. Die Oberfläche bleibt eine Zeit lang glatt und blank,

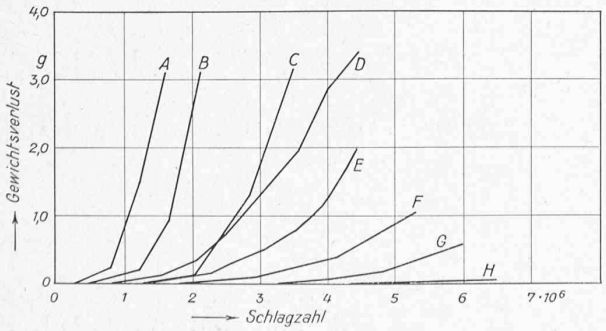


Abb. 8. Gewichtsverlust der Versuchstäbe in Abhängigkeit von der Schlagzahl, Umfangsgeschwindigkeit 77 m/s.

A. Bronze	$\sigma_b = 30$ kg/mm²	E. Rostfreier Stahlguss	$\sigma_b = 70{,}2$ kg/mm²
B. Stahlguss	$\sigma_b = 40$ kg/mm²	F. „ „	$\sigma_b = 81{,}0$ kg/mm²
C. Aluminiumbronze	$\sigma_b = 40$ kg/mm²	G. Chrom-Vanadium-Stahl	$\sigma_b = 97{,}5$ kg/mm²
D. S M-Stahl	$\sigma_b = 61{,}5$ kg/mm²	H. Nitrierter Stahl	

darauf entsteht eine leichte Aufrauhung, sodann bilden sich feine Risse und von diesem Augenblick an schreitet die Erosion stark vorwärts. Der Angriff erreicht seine grösste Stärke auf dem Grunde der Anfressungen, es bilden sich dort Löcher in allen Richtungen, bis sich schliesslich ein ganzes Materialstück ablöst. Die durch die Erosion abgespaltenen Stücke sind nicht etwa mikroskopisch klein, sondern erreichen oft die Grössenordnung eines Kubikmillimeters und darüber. Der Zeitpunkt, in dem die Erosion ihren Anfang nimmt, ist selbst für Stäbe, die dem gleichen Stück entnommen sind, sehr verschieden, als Folge der kleinen unvermeidlichen Verschiedenheiten der Oberfläche, deren Feinheit von wesentlichem Einfluss ist. Abb. 9 zeigt fünf Stäbe aus Stahlguss, die bis zu verschiedenem Grad bearbeitet waren, vom einfachen Ueberschroppen bis zur polierten oder im Sandstrahlgebläse aufgerauhten Oberfläche. Der Erosionsgrad ist sehr verschieden. Während der polierte Stab noch kaum angegriffen ist, zeigt der geschroppte Löcher von 1 bis 2 mm Tiefe. Sobald der Angriff einen gewissen Grad überschritten hat, verhalten sich alle fünf Probestäbe gleichartig. Die Politur bewirkt lediglich eine Verzögerung des Beginnes der Erosion, hat aber keinen Einfluss auf die Raschheit ihrer Weiterentwicklung.

Ganz allgemein ist der Widerstand gegenüber der Erosion eine Funktion der mechanischen Eigenschaften der Metalle, unabhängig von deren Widerstandsfähigkeit gegenüber der Korrosion. Der überwiegende Einfluss der Festigkeit geht klar aus Abb. 8 hervor; der Stahl F ist rostfrei, im Gegensatz zum Chrom-Vanadium-Stahl G. Gewisse Materialien machen eine Ausnahme: einige Spezialbronzen mit sehr hohem Gehalt an Chrom und Nickel werden durch Erosion viel weniger angegriffen, als nach ihren mechanischen Eigenschaften erwartet werden sollte. Sie verhalten sich ähnlich wie der hochwertige Wolfram- und Molybdän-Stahl, obwohl ihre Bruchfähigkeit nur 70 bis 80 kg/mm² beträgt statt 120 kg/mm². Wenn die Oberflächenhärte des Metalls durch geeignete Behandlung erhöht wird, lassen sich diese Resultate noch verbessern.

Die ganze Art des Versuchs zeigt, dass es sich hier um mechanische Erosion handelt. Um sich über die Grössenordnung der Beanpruchungen klar zu werden, lässt sich die bereits aufgestellte Formel verwenden. Für eine Umfangs-Geschwindigkeit von 40 m ergibt sich ein Druck von 570 kg/cm², ein Betrag, dem jedes gute Material auf die Dauer widerstehen sollte. Selbst bei einer Geschwindigkeit von 77 m/s übersteigt der momentane Druckanstieg 1100 kg/cm² nicht, zudem ist dieser Wert ein theoretisches Maximum, das in Wirklichkeit sicherlich nicht erreicht wird. Gleichwohl leisten bei dieser Geschwindigkeit nicht rostende, gehärtete Stähle, deren Ermüdungsgrenze gewöhnlich bei 40 bis 50 kg/cm² liegt, nur sehr kurze Zeit Widerstand. (Schluss folgt).

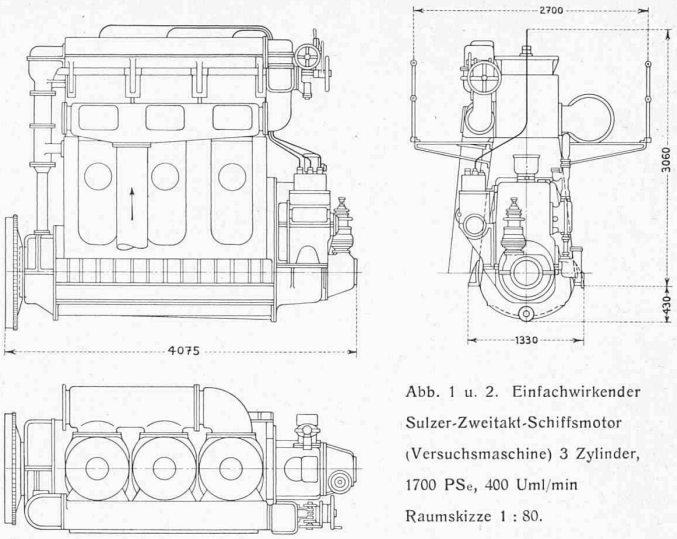
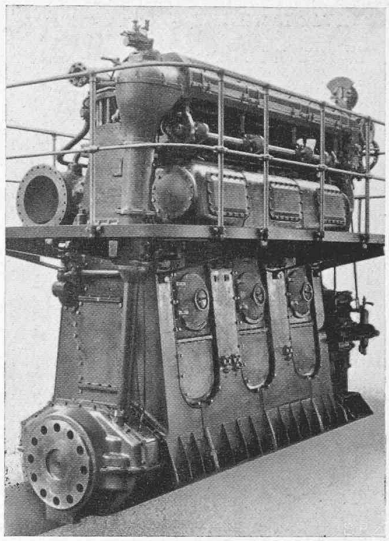


Abb. 1 u. 2. Einfachwirkender Sulzer-Zweitakt-Schiffsmotor (Versuchsmaschine) 3 Zylinder, 1700 PSe, 400 Uml/min Raumskizze 1 : 80.



Sulzer-Hochleistungs-Dieselmotoren.

Mitgeteilt von GEBRÜDER SULZER Aktiengesellschaft, Winterthur.

In den letzten Jahren sind die Konstrukteure von Dieselmotoren vor wichtige Aufgaben gestellt worden, die sich als Folge des sich weiter ausbreitenden Anwendungsgebietes des Dieselmotors und nicht zum kleinsten Teil auch als Folge der schwieriger werdenden Marktverhältnisse aufdrängten. Vor allem konzentrierte sich das Interesse der Motorenbauer auf die Erhöhung der spezifischen Leistung und die Verkleinerung des Gewichtes. Die Erreichung dieser Ziele brachte nicht nur die Erschliessung neuer Anwendungsgebiete mit sich, sondern sie bedeutete auch eine Herabsetzung des Preises pro Leistungseinheit.

Bei normalen Dieselmotoren lässt sich das Gewicht mit Rücksicht auf die Sicherheit des Betriebes und auf die Festigkeitseigenschaften der bei der Fabrikation zur Verwendung gelangenden normalen Baustoffe nur auf eine Grösse reduzieren, die noch ungefähr das drei- bis vierfache jener beträgt, die bei Spezialmotoren verlangt wird. Diese untere Gewichtsgrenze beläuft sich gegenwärtig für normale Dieselmotoren je nach Leistung und System auf 40 bis 60 kg/PSe. Soll sie unterschritten werden, so müssen vom Konstrukteur in weitem Umfang Spezialmaterialien herangezogen werden. Für nicht oder nur schwach beanspruchte Teile sind es Leichtmetall-Legierungen und für beanspruchte Elemente Stahlsorten mit hohen Festigkeits-Eigenschaften. Diese neuen Baustoffe ziehen wiederum neue Konstruktionsformen nach sich, da sie, wenn ihre Eigenschaften voll ausgenützt werden sollen, nur beschränkt den bisher gebräuchlichen Formen und Bearbeitungsmethoden angepasst werden können.

Gebrüder Sulzer bauen schon seit mehr als 20 Jahren leichte Zweitakt-Motoren für Unterseebote und andere Spezialzwecke und sind dabei auf Motorgewichte von 25 bis 30 kg/PSe gekommen. Die grössten Sulzer-Maschinen dieser Art, die schon vor einigen Jahren abgeliefert wurden, leisten in acht Zylindern bei 300 Uml/min 7000 PSe und arbeiten einfachwirkend im Zweitakt. In der neuesten Zeit sind jedoch die Anforderungen hinsichtlich Zylinderleistung und Raumbeanspruchung der Spezialmotoren bedeutend gestiegen. Anfangs 1931 entwickelten daher Gebrüder Sulzer neue Konstruktionen, die sich durch teilweise Abweichung von den frühern Auffassungen auszeichnen. Es sind Motoren, bei denen die Gewichte pro Leistungseinheit und die Raumbeanspruchung äusserst niedrig vorgeschrieben waren und von denen vorerst von verschiedenen Typen nur je eine Dreizylinder-Einheit gebaut wurde.

Als erste Ausführung ist ein dreizylindriger, einfachwirkender Zweitaktmotor in Arbeit genommen worden. Die Maschine (Abb. 1 und 2) ist hauptsächlich interessant durch ihre äusserst geringen Abmessungen. Von besonderer Bauart ist der Rahmen, der aus Stahlblechen besteht, die miteinander elektrisch verschweisst sind (Abb. 3). Die Konstruktion hat den Vorteil, dass das Material in seinem ganzen Querschnitt überall ausgenützt ist und die Bauart deshalb sehr leicht wird. Auffallend ist auch die der Firma geschützte U-Form der einzelnen Ständer, die sich am besten dem durch die Verbrennungs- und Massendrücke entstehenden Kräfteverlauf anschmiegt und bei der die horizontalen Schraubenverbindungen wegfallen (Abb. 4).

Die Konstruktion des Verbrennungszylinders mit der Anordnung der Spülung und der Kolbenkühlung ist vom bekannten einfachwirkenden Sulzer-Zweitaktmotor übernommen, nur wurde dabei durch besondere Wahl der Baustoffe und entsprechende Bemessung auf weitgehende Verringerung des Gewichts Bedacht genommen. Diese Dreizylinder-Maschine v. 510 mm

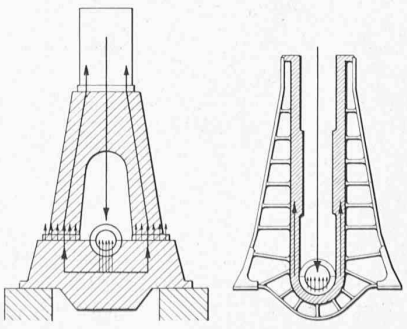


Abb. 4. Kräfteverteilung im üblichen A-Ständer und im neuen Sulzer-U-Rahmen.

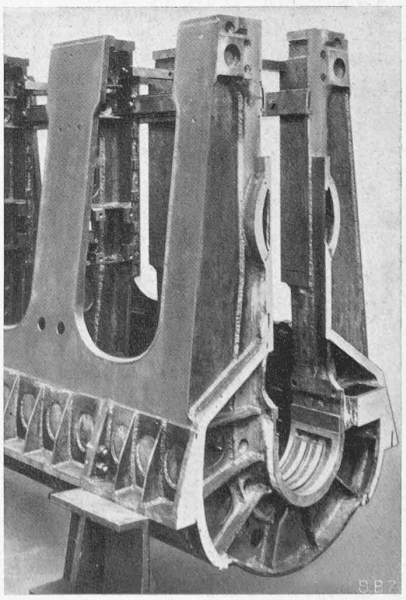


Abb. 3. Geschweisster Rahmen zum Motor Abb. 1.