Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 121/122 (1943)

Heft: 4

Artikel: Allgemeiner Leichtbau und Leichtmetalle: Kurs des S.I.A. am 6. und 7. Nov. 1942 in der E.T.H., Zürich: Berichterstattung

Autor: Wyss, Th.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-53033

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: 15.07.2025

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

rungen die bestehende Sohle hätte entfernt werden müssen. Wie sodann die Bohlen, Platten oder Schienen bei den auftretenden Beanspruchungen, auch im Hinblick auf spätere Auswechslungen, zu befestigen und zu verankern gewesen wären, erschien nicht befriedigend lösbar. Endlich hätte wegen der grössern Glätte von Holz oder Eisen mit einer grössern Geschwindigkeit gerechnet werden müssen, womit die Angriffskräfte noch weiter (im Quadrat der Geschwindigkeit) angestiegen wären.

So wurden alle diese Lösungen fallen gelassen, was umso eher gerechtfertigt erschien, als die Aufwendungen für die bestehende Tunnelsohle, wie im Aufsatz dargelegt, in durchaus erträglichen Grenzen liegen. Wie Ing. Gruner zutreffend bemerkt, kam aus dem selben Grunde die ebenfalls erwogene Erstellung eines zweiten Tunnels nicht in Frage.»

*

Prof. Dr. E. Meyer-Peter übermittelte dem Verfasser die folgenden Bemerkungen seines Mitarbeiters Dipl. Ing. *R. Müller*, Chef der Hydraulischen Abteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau an der E. T. H.:

«Die Erfahrungen sind hydraulisch vor allem wertvoll in bezug auf die Abnützung der Granitverkleidung infolge des Geschiebetransportes. Die Anordnung des Stollens mit 3 % Gefälle, das bei Hochwasser Geschwindigkeiten bis 13 m/s zur Folge hat (Rauhigkeitsbeiwert nach Strickler $k \cong 60$), muss nach den gemachten Erfahrungen als unzweckmässig bezeichnet werden. Anderseits kann die untere Grenzgeschwindigkeit für den Transport von nach Korngrösse und Menge gegebenem Geschiebe auf glatter Sohle durch Modellversuche bestimmt werden. Als Beispiel ist zu nennen die Geschieberinne des Kraftwerks Wäggital bei der Zentrale Siebnen mit einem Gefälle von 1 % und mittleren Geschwindigkeiten bis 6,5 m/s. Diese offene Rinne ist mit einem Holzbohlenlängsbelag versehen, der auf Stoss und Schlag durch das Geschiebe infolge seiner Elastizität weniger empfindlich ist als Granit.

Für den beobachteten Verlauf des Abnützungsbandes an Sohle und Wandung längs des Amsteger Stollens ist nicht der schiessende Abfluss als Ursache zu betrachten, sondern die doppelte Krümmung. Die nach links gerichtete Krümmung vor dem Einlauf treibt das schwere Geschiebe infolge der Spiralbewegung des Wassers in der Krümmung (Rechtsdrehung, entstehend aus dem durch die Fliehkraft erhöhten Wasserspiegel auf der Aussenseite der Krümmung, Abb. 1) nach innen, also nach links. In

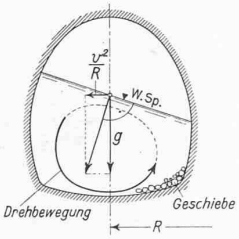

Abb. 1

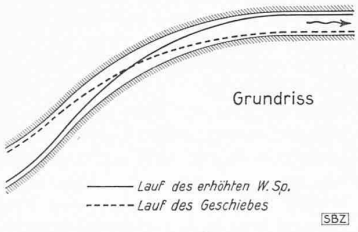

Abb. 2

der im Tunnel anschliessenden Krümmung nach rechts wird die durch die Einlaufkrümmung erzeugte sekundäre Spiralbewegung vorerst abgebremst und es bildet sich allmählich die entgegengesetzt drehende Spiralbewegung aus. Für diesen Wechsel der Bewegung wird, laut Beobachtung, die ganze Länge der Rechtskrümmung benötigt. Deshalb folgt das Geschiebe zunächst infolge der Einlaufkrümmung, entgegen der normalen Bewegungsart, der Aussenseite der Rechtskrümmung, um erst am Ende derselben auf die rechte Stollenseite zu wechseln (Abb. 2). Die durch die Rechtskrümmung erzeugte Spiralbewegung des Wassers ist bis zum Stollenende noch nicht ganz abgeklungen, sodass sich das Geschiebe bis zur Mündung auf der rechten Stollenseite bewegt. Die Bemerkung, der Wasserspiegel stehe beim Auslauf rechts 10 cm höher als links, ist wohl mit der Blickrichtung gegen die Wasserbewegung zu verstehen. In Fliessrichtung dürfte er links 10 cm höher stehen als rechts und damit die abklingende Spiegelüberhöhung der Rechtskrümmung andeuten.»

*

Hierzu schreibt uns Ing. Seidel:

«Die von Ing. Müller geäusserte Vermutung, dass der Wasserspiegel beim Auslauf in der *Flussrichtung links* 10 cm höher stehe als rechts, ist zutreffend. Weiter oben muss demnach der Wasserspiegel links erheblich höher stehen: unter der Annahme, dass sich der Einfluss der Linkskrümmung vor dem Einlauf am Ende des grossen Rechtsbogens im Tunnel nicht mehr geltend mache, ergibt die Rechnung hier eine Ueberhöhung von 0,46 m. Ein entsprechend höher reichender Abschliff an der linken Tunnelwand ist aber nicht eindeutig erkennbar. Im nächsten Sommer soll die Ueberhöhung vermittelst eines abwaschbaren Kalkmilch- oder Farbbandes festgestellt werden.»

*

Damit sei dieser anregende Gedanken- und Erfahrungsaustausch abgeschlossen. Wir danken Kollege Seidel nochmals für die *rückhaltlose Veröffentlichung der ungünstigen Erfahrungen*, die sich einmal mehr in den Dienst des technischen Fortschritts gestellt hat. Red.

Allgemeiner Leichtbau und Leichtmetalle

Kurs des S. I. A. am 6. und 7. Nov. 1942 in der E. T. H., Zürich

Berichterstattung von Ing. Dr. TH. WYSS, EMPA, Zürich

5. Leichtbau im Transportwesen

(Schluss von Seite 34)

Dr. sc. techn. MAX KOENIG, Zürich

Der Leichtbau hat sich auch im Transportwesen durchgesetzt, man braucht z. B. nur an die Leichtstahlwagen der SBB [1]) zu denken. Es betrifft dies sämtliche Transportmittel zu Wasser, zu Land und in der Luft. Hierbei handelt es sich nicht allein nur um das Sparen an Konstruktionsmaterial, sondern in erster Linie um die Verringerung der Totlast, die ständig mitgeschleppt werden muss. Der dadurch verminderte Kraftaufwand bewirkt eine wesentliche Senkung der Betriebs- und Unterhaltskosten. Diese kommen insbesondere auch an der verminderten Abnützung der Reifen, Bandagen und Schienen zum Ausdruck.

Der Leichtbau beruht vor allem auf der richtigen und exakten Erfassung der auftretenden Kräfte und Momente und auf der richtigen Berechnung der Konstruktionen. Nur in diesem Falle ist es möglich, an die äussersten Grenzen des Zulässigen zu gehen, wobei noch die Erkenntnisse der modernen Material-Prüfung, insbesondere die Ergebnisse der Ermüdungsversuche mitberücksichtigt werden müssen. In engem Zusammenhang damit steht die konstruktive Ausbildung, durch die die nötige Stabilität und Steifigkeit gewährleistet werden muss. Hierbei kommen zwei Konstruktionsarten zur Anwendung, einerseits der *Gerippebau* mit seinen verschieden ausgebildeten Tragelementen und der *Schalenbau*, bei dem die Hülle mit den zugehörigen Aussteifungen den Tragkörper bildet.

Beim Gerippebau kommt die bewusste Verwendung von Hohl-Trägern und verschiedenartigster Profile zum Ausdruck. Einzelne Tragelemente können auch als Gitterträger ausgebildet sein. Im weiteren zeigt sich daran das Bestreben nach möglichst gleichmässiger Arbeitsfähigkeit. Als wesentlicher Teil ist der Schubblechträger anzusehen, bei dem die Gurtungen aus Längs-Profilen der Kastenwand und der Steg vom Verschalungsblech gebildet werden. Bei sehr dünnen Stahlblechen, wie dies hier der Fall ist, muss die kritische Beanspruchung in Betracht gezogen werden. Dies gilt auch für die verhältnismässig dünnen Winkel-Schenkel. Auch beim *Schalenbau* handelt es sich um dünne Bleche, sodass für genügende Aussteifung zu sorgen ist. Solche Bleche können durch Wellung auf eine einfache Weise versteift werden.

In materialtechnischer Hinsicht können in Betracht kommen: Stahl, Leichtmetalle, Holz und Kunststoffe. Bei ihrer Anwendung muss insbesondere das Verhalten gegen statische und dynamische Einflüsse, sowie gegen Temperatur und Korrosion berücksichtigt werden, dies vor allem bei Blechstärken von nur 0,5 mm Dicke. Die Verwendung der Stoffe kann einheitlich oder gemischt sein. Bei den Leichtmetallen kommen vor allem die vielgestaltigsten Pressprofile zur Anwendung, die mit verhältnismässig geringen Kosten hergestellt werden können. Die durchgehende Verwendung von Leichtmetallen unter Ausnützung aller konstruktiven Erfahrungen brachte eine ganz bedeutende Gewichtsverminderung mit sich.

Von besonderer Wichtigkeit sind bei den verschiedenen Konstruktionen die Verbindungsmöglichkeiten, wie das Schweissen beim Stahl und das Nieten beim Leichtmetall. Bezüglich Verarbeitung, wie Tiefziehen, Bördeln, Spanbearbeitung, Abkanten usw. ist auf die baustofflichen Eigenschaften Rücksicht zu nehmen. Massgebend ist, dass diese Verarbeitung mit den beschränktesten Kosten ausgeführt werden kann. Qualitätsbaustoffe und Qualitätsarbeit sollen die Richtlinien sein.

In den letzten Jahren hat die qualitative Verbesserung der Werkstoffe, insbesondere dank der Fortschritte der Legierungs-Technik, eine bemerkenswerte Entwicklung genommen. Infolge der erzielten erhöhten Festigkeitswerte besteht die Möglichkeit, Profile und Bleche mit sehr dünnen Wanddicken zu verwenden. Wesentlich ist hierbei die richtige Durchbildung gegen Biegung und Verwindung. Auch dem verminderten Elastizitätsmodul ist bei den Leichtmetallen Rechnung zu tragen.

[1]) Vgl. SBZ, Bd. 110, S. 13* und 116* (1937)

An Hand von vielen Lichtbildern wird die Entwicklung des inneren Aufbaues von Autobussen, Lastwagen, Tramwagen, Trolleybussen, Eisenbahnwagen und Flugzeugen gezeigt. Hierbei nimmt beim Transportwesen zu Lande der Gerippebau mit Längs-Trägern, Querspanten und Tragwänden den ersten Platz ein. Es können Fahrgestell und Aufbau von einander getrennt, oder miteinander vereinigt sein. Die elegante Formgebung bei den neuen Fahrzeugen stellt ausserordentliche Anforderungen an die Genauigkeit und die Bearbeitung. Um möglichst an Gewicht zu sparen, wird auch einer leichten Bodenkonstruktion volle Beachtung geschenkt. Zu einem grossen Teil sind die Strassenfahrzeuge in ihrem Oberbau voll aus Leichtmetall hergestellt, während bei den Eisenbahnwagen die Anwendung der Leichtmetalle sich in der Schweiz vorherrschend auf Teile beschränkt, die keinen starken Beanspruchungen unterworfen sind, wie Türen, Fensterrahmen, Verschalungen, Gepäckträger, Trennwände usw. Es sind auch schon Anzeichen zur Verwendung von Puffern und Scheibenrädern vorhanden, auch die Leichtmetall-Schweissung hat vereinzelt Eingang gefunden. Eine Reihe von Sonderausführungen, wie Tankwagen, Kehrichtwagen, Lieferwagen aller Art geben einen deutlichen Einblick in die mannigfaltige Anwendung der Leichtmetalle im Fahrzeugbau.

Im Flugzeugbau kommt neben dem Gerippebau in neuester Zeit der Schalenbau zur Anwendung (vgl. S. 14 ff.). Im Schiffbau wird u. a. auch noch die Verwendung von Leichtmetall für die neuen Pontons der Armee erwähnt.

In der *Diskussion* berichtet Oberst *R. Endtner*, Abt.-Chef bei der Gen.-Dir. der PTT, über die Erfahrungen, die die Post mit der Verwendung von Personenautomobilen aus Leichtmetall machte, wobei zu einem wesentlichen Teil Anticorodal verwendet worden ist. In erster Linie konnte gegenüber Stahl eine ganz wesentliche Gewichtsverminderung festgestellt werden. Dies machte sich in den stark verminderten Betriebsausgaben, sowie in geringerer Abnützung der Reifen und der damit verbundenen längeren Lebensdauer geltend. Der Vorteil kommt gerade in der heutigen Zeit zum Ausdruck, wo sich die Personenautomobile trotz der starken Ueberlastung und den vermehrten Anforderungen gut bewähren.

Bemerkenswert waren auch einige Objekte in der LA, so der Oberbau eines Güterwagens aus Leichtmetall, von dem die ganze Dachhaut aus *einem* Stück besteht und die Seitenwände vermittelst Punktschweissung an den Pfosten befestigt sind. Die Schalenbauweise ist an einem Flugzeugrumpf gezeigt worden.

Angesichts der günstigen Erfahrungen, die mit einwandfrei hergestellten Leichtfahrzeugen gemacht worden sind, wird zukünftig auf diesem Gebiet noch eine grosse Entwicklung bevorstehen.

6. Schlussbetrachtungen des Berichterstatters

Der Leichtbau ist als Ergebnis der Zusammenarbeit von Wissenschaft und Praxis anzusehen. Entsprechend den durch die Praxis gestellten Anforderungen haben Metallurgen und Hütteningenieure dem Stahl- und Maschinenbauer die erforderlichen Stähle und dem Fahrzeug- und Flugzeugbauer die notwendigen Leichtmetallegierungen gegeben. Bei den Kunststoffen sind es die Chemiker, die auf Grund der Erkenntnisse über den innern Aufbau der Materie Werkstoffe schufen, die sogar diejenigen der lebenden Natur an Güte übertreffen. Ueberall ist die Erkenntnis durchgedrungen, dass mit den zur Verfügung stehenden Rohstoffen sparsam gehaushaltet und mit ihrer Ausnützung bis zum Aeussersten gegangen werden muss. Es ist nicht ausgeschlossen, dass durch verbesserte und verfeinerte Verfahren sich noch weitere Werkstoffe herstellen lassen, die das bisher Erreichte noch wesentlich übertreffen. Durchweg hat sich die *Achtung vor dem Werkstoff* Bahn gebrochen.

Aber auch die theoretischen Erkenntnisse haben einen rapiden Aufschwung genommen, besonders nachdem sie in den verschiedensten Laboratorien der Hochschulen und der Industrien in die Wirklichkeit umgesetzt und der Praxis zum weitern Ausbau zur Verfügung gestellt werden konnten. Es ist nicht mehr ein rein empirisches Arbeiten, wo man auf Grund wahlloser Versuche gewisse Gesetzmässigkeiten zu ergründen sucht, es ist heute ein Arbeiten nach ganz bestimmten Richtlinien und mit systematischem Aufbau.

Auch die Fabrikationstechnik hat einen wesentlichen Teil zur Entwicklung des Leichtbaues beigetragen, man denke nur an die Vervollkommnung der modernen Werkzeugmaschinen, an die Verbesserung der Schweissverfahren, an die modernen Verfahren der Formgebung und des Schutzes vor der Zerstörung infolge äusserer Einflüsse. Je mehr der Werkstoff ausgenützt werden soll, um so grösser sind die Anforderungen an Präzision und Gewissenhaftigkeit in Konstruktion und Ausführung und umsomehr tritt die Frage der Wirtschaftlichkeit in den Vordergrund.

Eine stürmische Entwicklung hat stets die Gefahr der Rückschläge in sich. Um solche zu vermeiden, ist eine eingehende Kontrolle von Material und konstruktiver, wie fertigungstechnischer Ausführung notwendig. Diese Aufgabe fällt der modernen Materialprüfung zu, die sich nicht mehr nur darauf beschränken kann, ein paar Stäbe zu zerreissen, sondern die in das eigentliche Wesen und in das Leben der Materie hineindringen muss, damit in jeder Hinsicht qualitativ hochwertige Erzeugnisse entstehen. Die Aufgabe und Bedeutung der Materialprüfung ist daher ausserordentlich gewachsen, da sie nicht nur kontrollierend, sondern auch Richtung gebend sein soll.

Der Leichtbau ist nicht ein Erzeugnis, das von heute auf morgen entstanden ist, sondern er hat eine grosse Tradition hinter sich. Er ist die Frucht einer unablässigen Kleinarbeit und einer Entwicklung, die von Stufe zu Stufe gestiegen ist. Er ist das Ergebnis, an dem Tausende mitgeholfen und ihre Erfahrungen ausgetauscht haben. Nur so ist es möglich geworden, dass man heute Maschinen bauen kann, die bei gleicher, oder sogar höherer Leistung nur noch einen Bruchteil an Grösse und Materialaufwand der vor einigen Jahrzehnten erstellten benötigen, nur so ist es möglich geworden, dass wir heute Flugzeuge von Leistungen und von einer Grösse bauen können, wie sie früher kaum für möglich gehalten worden sind.

Schon heute kann man die Richtlinien erkennen, die die Zukunft bringen wird. Es wäre müssig zu glauben, dass man sich mit dem heute erreichten Ergebnis zufrieden geben wird. Man wird im Gegenteil mit gesteigertem Aufwand an die Verfeinerung und Verbesserung der Verfahren zur Erzeugung der Werkstoffe und zu ihrer rationellen Verwertung herangehen. Neue Ideen werden in die Tat umgesetzt werden und die Wissenschaft wird sich in noch vermehrtem Masse mit den Geheimnissen der Materie und ihren Gesetzmässigkeiten befassen. Die Anforderungen an die Forschungslaboratorien und an die Prüfanstalten werden sich noch wesentlich steigern. In der Schweiz wird man auch versuchen müssen, sich in vergrössertem Mass der rationellen Erschliessung und der Ausnützung der einheimischen Rohstoffe anzunehmen.

Wir sind nur ein Glied im Entwicklungswerk der Technik, an dem bereits Generationen gewirkt haben und der neu einsetzende Konkurrenzkampf wird uns zeigen, dass nur Weitblick und gewissenhafte Zusammenarbeit uns helfen können, die kommenden Nöte zu überwinden.

*

Dieser Berichterstattung von Dr. Wyss lassen wir abschliessend noch jene folgen, die die maschinenbauliche Seite des Problems behandelt, und zwar in Form einer

Berichterstattung von Masch.-Ing. Dr. W. DUBS, Zürich, über den Vortrag

Der Leichtbau im Maschinenbau

von Dipl. Ing. TH. BREMI, SLM, Winterthur.

Mannigfaltig sind die heutigen Hilfsmittel, die dem Konstrukteur im Maschinenleichtbau zur Verfügung stehen. In zunehmendem Masse richtet sich ein wesentlicher Teil der technischen Forschung direkt oder indirekt nach dieser Forderung. Im Rahmen der zur Verfügung stehenden Zeit musste sich der Referent damit begnügen, aus dem grossen Gebiet einige wenige Gedanken herauszugreifen.

1. Materialforschung und Fabrikation

Eines der wichtigsten Hilfsmittel des Leichtbaues ist zweifellos die Materialforschung. Ihre Ergebnisse der letzten Jahre sind bemerkenswert, denken wir z. B. an die Entwicklung der legierten Stähle, die bei thermischer Nachbehandlung Festigkeitswerte bis über 180 kg/mm² erreichen, oder an die Erzeugung von Berylliumbronzen mit Festigkeitszahlen wie bei guten Stahlsorten. Als weiteres Beispiel sei die Oberflächenbehandlung wie das Hochnitrieren bis zu Härten von 75 Rockwelleinheiten angeführt. Warmfestigkeit, Dauerstandfestigkeit sind Begriffe, die ebenfalls zu ganzen Arbeitsgebieten angewachsen sind und den vollen Einsatz vieler Spezialisten erfordern. Die Tabelle (S. 45) gibt eine kleine Auswahl interessanter Gegenüberstellungen.

So ist es z. B. möglich, perlitischen Grauguss ohne Einbusse guter Laufeigenschaften mit Stahlhärten herzustellen. Ferner zeigt die Zusammenstellung Stahlguss mit Dehnungszahlen wie irgend ein schmiedbares Material und schliesslich Aluminium-Siliziumguss mit Zugfestigkeiten wie Perlitguss bei Dehnungen bis rd. 12 % in ausgehärtetem Zustand. Eng verbunden mit der Materialforschung sind die Fortschritte in der Giessereitechnik. So erlaubt z. B. die gute Giessbarkeit des Silumins dünnwandige, gleichzeitig aber noch stark verrippte Modelle zu bauen, wodurch kastenförmige und damit biegungssteife Konstruktionen ermög-

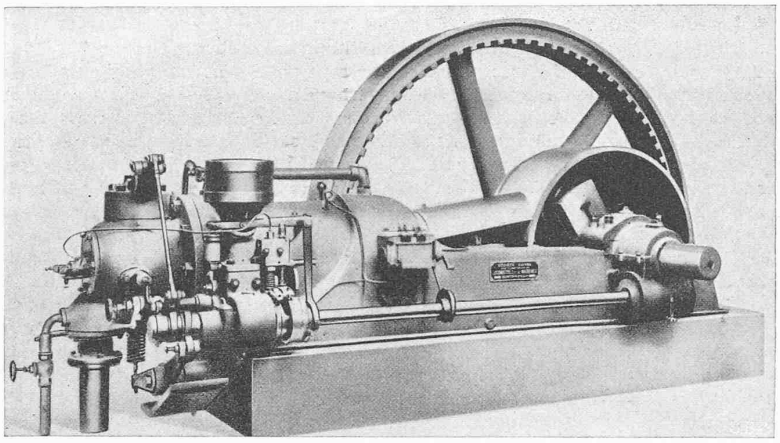

Abb. 2a. Horizontaler Viertakt-Dieselmotor von 60 PS, Konstruktion bis anfangs des vergangenen Jahrzehnts: Gewicht rd. 9 t, $n = 220$ U/min

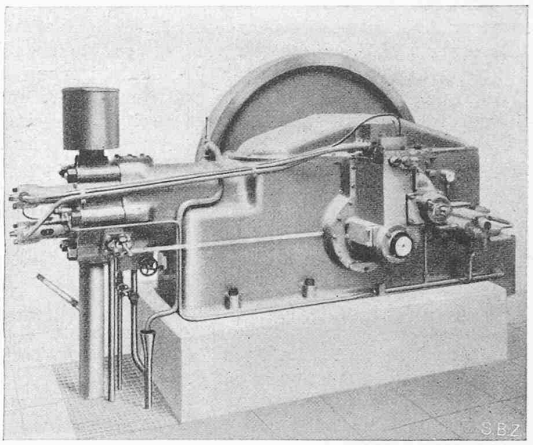

Abb. 2b. Desgl. in heutiger Ausführung: Gewicht rd. $3^1/_2$ t, $n = 500$ U/min

licht werden (z. B. Kurbelgehäuse eines Vierzylinder-Benzinmotors). Eine günstige Eigenschaft des Silumins ist ferner seine gute Durchlässigkeit für Röntgenstrahlen. Es ergibt sich damit eine ausgezeichnete Kontrollmöglichkeit auf allfällige Einschlüsse.

In der Stahlgusstechnik sind ebenfalls bedeutende Fortschritte im Sinne eines Leichtbaues zu verzeichnen. Die hohe Schmelztemperatur verlangt Giesstemperaturen bis rd. 1600° C, womit die Hauptschwierigkeiten in das Gebiet der Wahl eines geeigneten Formmaterials fallen. An Hand einiger Beispiele (Rohrwiege einer Schnellfeuerkanone) wurde gezeigt, dass es trotzdem heute gelungen ist, dünnwandige und feinrippige Erzeugnisse herzustellen. Stahlgusstücke lassen sich leicht mit Flusseisenkonstruktionen verschweissen.

Die Schweisstechnik selbst hat in vielen Fällen zu einer weiteren starken Materialersparnis geführt. Je grösser die Dimensionen, desto markanter treten die Vorteile der geschweissten Konstruktion in Erscheinung. Aus der Reihe der gezeigten Beispiele sei eine grosse Drosselklappe angeführt, bei der durch eine zweckmässige Formgebung auf Grund von Strömungsuntersuchungen eine wesentliche Materialeinsparung erzielt werden konnte (vgl. Bd. 119, S. 32*).

Im Zusammenhang mit der Materialforschung ist noch auf die eminente Wichtigkeit der Oberflächenbeschaffenheit von Teilen, die einer Wechselbeanspruchung ausgesetzt sind, hinzuweisen. Hochglanz-polierte Flächen, sorgsam geglättete Rundungsradien erlauben mit den Biegungsbeanspruchungen höher zu gehen und entsprechend leichter zu bauen. Als charakteristisches Element dieser Art sei die Pleuelstange eines Flugmotors erwähnt. Alle Teile fliessen in glatten Linien ineinander, wobei jede Rundung bis auf einzelne Gramm nachgearbeitet und poliert wird.

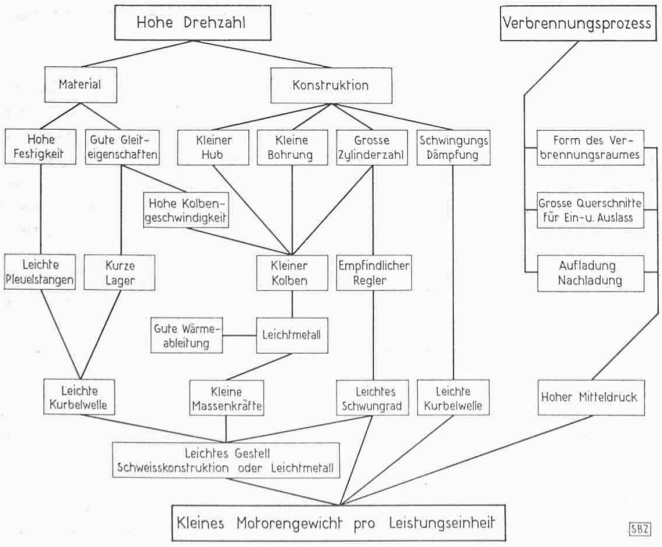

Abb. 1. Schema der für den Leichtbau des Verbrennungsmotors massgebenden Zusammenhänge

2. Analytische Forschung

In der analytischen Forschung laufen rechnerische Studien und Modell- wie auch Grossversuche parallel. Am Beispiel einer Propellernabe wurde gezeigt, wie auch auf dem Festigkeitsgebiet Modellversuche zu originellen Lösungen führen können. Die Analogie der Differentialgleichungen ermöglichte hier Versuche mit einem Seifenhautmodell (vgl. Bd. 114, S. 199*).

Bei rotierenden Maschinenelementen ist es im Hinblick auf einen raschen Drehzahlwechsel besonders wichtig, kleine Massen anzustreben. Als interessantes Beispiel wurde in diesem Zusammenhang ein mit 21000 U/min rotierendes Gebläserad (Anticorodal-Presstück von nur 2,3 kg Gewicht) eines Flugmotorenaufladers gezeigt. Auf Grund ähnlicher Ueberlegungen hat sich im Fahrzeug- und Flugmotorenbau schon längst der Leichtmetallkolben eingeführt. Die Gewichtsersparnis von rd. 60 % im Vergleich zum Gusseisenkolben tritt jedoch gegenüber der Möglichkeit der Drehzahlsteigerung und damit einer gedrängten Bauart durchaus in den Hintergrund.

An Hand eines Schemas für den Leichtbau des Verbrennungsmotors lässt sich das Ineinandergreifen der Einzelprobleme in den wichtigsten Zügen überblicken (Abb. 1): Die Drehzahlsteigerung wird als zentraler Ausgangspunkt angenommen, zugeordnet sind einerseits Materialprobleme und anderseits Konstruktionsfragen. Parallel dazu gehen die Probleme des thermischen Prozesses.

Zusammenfassend kann in einigen Zahlen folgendes Bild festgehalten werden: Die Kolbengeschwindigkeiten, die früher in der Gegend von 4 bis 6 m/s lagen, erreichen heute bei stationären Motoren schon Werte von 8 bis 10 m/s und bei den relativ kurzlebigen Flugmotoren sogar 14 m/s und mehr. Ortsfeste Motoren, früher mit 200 ÷ 500 U/min betrieben, laufen heute mit Drehzahlen, die eine direkte Kupplung mit Drehstromgeneratoren gestatten, während Fahrzeug- und Flugmotoren bis auf 4000 U/min konstruiert werden. Die Materialeinsparungen sind dabei schon so weit gediehen, dass z. B. bei einem 1000 PS-Flugmotor ein Leistungsgewicht von rd. 0,5 kg/PS erreicht wird. Die Gewichtsverminderungen durch Schnelläufigkeit und die daraus resultierenden Folgerungen, die beim Flugmotor am weitesten gediehen sind, haben auch bei ortsfesten Motoren zu interessanten Ergebnissen geführt, wie am Beispiel eines 60 PS-Viertakt-Dieselmotors gezeigt wird (Drehzahlsteigerung von 220 auf 500 U/min, Gewichtsersparnis rd. 60 %, Abb. 2). Ein ähnliches Bild zeigt die Entwicklung der Rotationskompressoren.

3. Konstruktive Entwicklung

Wird von einer Grauguss-Konstruktion auf Silumin übergegangen, so würde sich auf Grund der in der Tabelle zusammengestellten Festigkeitszahlen sofort eine dem Verhältnis der spezifischen Gewichte (1 : 0,36) entsprechende Gewichtsverminderung ergeben. Die nur halb so grosse Dauerwechselfestigkeit, die kleinere Härte und die geringere Kerbzähigkeit des Silumins setzen jedoch der allgemeinen Anwendung des Leichtmetallgusses gewisse Grenzen. So sind z. B. für Gewinde längere Führungen nötig. Nachteile ergeben sich auch für Auflagestellen im Silumin bei Kugellagern oder ähnlichen Teilen. Leicht tritt ein langsam fortschreitendes Ausschlagen der Bohrungen im Silumin auf. Diesen verschiedenen Nachteilen sind aber die Vorteile der guten Giessbarkeit und der guten Wärmeleitfähigkeit gegenüberzustellen, die sich ganz besonders bei luftgekühlten Maschinen und Apparaten auswirken. Engere Rippenstellungen, sei es zur Ver-

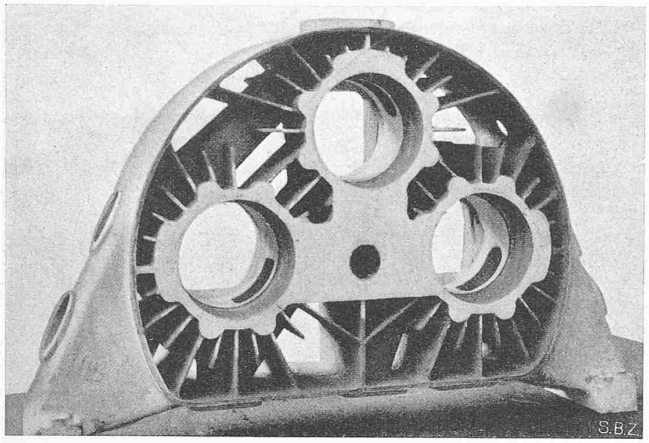

Abb. 3. Silumin-Guss-Gehäuse eines dreizylindrigen luftgekühlten Rotations-Kompressors

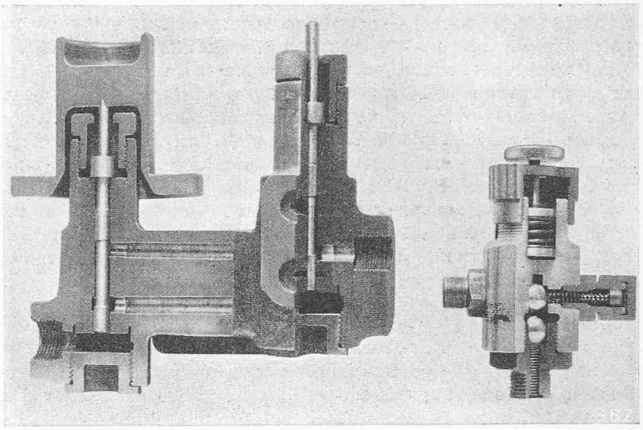

Abb. 4. Pneumatische Differentialdruck-Steuervorrichtung. Links frühere Ausführung mit zwei gewichtsbelasteten Kolben, rechts heutige Ausführung mit Doppelkugel. Gewichtsverminderung auf $^1/_4$

steifung oder zur Wärmeabfuhr, ermöglichen im gleichen umbauten Raume grössere Leistungen unterzubringen. Als Beispiel sei das Gehäuse (Silumin-Guss) eines dreizylindrigen luftgekühlten Rotations-Kompressors angeführt (Abb. 3).

Beim Stahl-Leichtbau ist gegenüber der Gussausführung auf den Unterschied der Elastizitätsmoduln hinzuweisen, die etwa im Verhältnis 2,1 : 0,85 stehen. Für gleiche Durchbiegung ergibt sich daher bei Stahl eine 2,5 fach geringere Materialstärke. Zweckmässige Formgebung vorausgesetzt (Schweissnähte nicht auf Biegung beansprucht) wäre somit bei Stahl mit rd. 50 % des Gussgewichtes zu rechnen. Eine so rigorose Gewichtsverminderung verlangt jedoch eine sorgfältige Berücksichtigung der Schwingungssteifheit. Es ist notwendig, das ganze Bauelement in dieser Hinsicht zu kontrollieren.

Im Leichtbau kann man sich jedoch nicht nur darauf beschränken, gegebene Konstruktionen durch Einführung leichterer Materialien oder durch Wahl geringerer Wandstärken in weniger beanspruchten Teilen leichter zu gestalten. Es müssen vielmehr neue Lösungen gesucht werden. Die Wichtigkeit einer Umstellung auf neue Konstruktionsprinzipien wurde durch einige Beispiele, wie Anordnung von kleinen Schwingungsdämpfern bei Flugmotor-Kurbelwellen, Tragkonstruktion des Oberbaues eines «Roten Pfeils», usw. belegt. Durch Neukonstruktion einer pneumatischen Differentialdruck-Steuervorrichtung für Kompressoren konnte bei diesem Organ eine Gewichtsverminderung auf den vierten Teil erreicht werden (Abb. 4).

4. Leistungsdichte

Die Frage nach der grössten Leistungserzeugung mit dem geringsten Aufwand führt zu dem hauptsächlich im Turbo-Maschinenbau üblichen Begriff der Grenzleistung. Diese ist bei Dampfturbinen in erster Linie durch die konstruktiven Grenzen der letzten Auslassquerschnitte und der damit verbundenen Verluste bestimmt. Der Uebergang zur mehrflutigen Maschine brachte eine wesentliche Steigerung der Gesamtleistung und damit eine entsprechend grössere Leistungsdichte. Die Fortschritte in der Warmfestigkeit der Konstruktionsstähle ermöglichten den Uebergang auf höhere Drücke und Temperaturen. Gleichermassen hatte der Kesselbau Schritt zu halten, wobei der Hauptakzent auf der Steigerung des Wärmeüberganges liegt. Als Beispiel mag der Velox-Kessel dienen, bei dem die durch Gasdruck-Erhöhung auf 3 bis 4 ata und Geschwindigkeitssteigerung bis gegen die Schallgeschwindigkeit erzielbare hohe Wärmebelastung von rd. 8 Mio kcal/m²h zu verhältnismässig kleinen Abmessungen führt.

Der Steigerung der Leistungsdichte im Dampfbau sind die analogen Bestrebungen im Verbrennungsmotorenbau an die Seite zu stellen. Die Drucksteigerung durch zusätzliche Gebläse, sei es durch mechanisch angetriebene Aggregate, sei es durch Abgasturbogruppen, erlaubt heute Leistungserhöhungen bis 50 %. Da das Zusatzgewicht der Ladegruppen im Verhältnis zum Motorengewicht praktisch verschwindet, ergibt sich, bezogen auf die erhöhte Leistung, eine Gewichtsverminderung auf rd. 70 %. Noch ist aber das Ausmass der Drucksteigerung nicht abgegrenzt, sodass vermutlich bald noch günstigere Zahlen zu erwarten sind. Durch eine solche Leistungskonzentration wurde es überhaupt erst möglich, die entsprechenden Leistungen im Raumprofil und in der Fahrzeuglänge von Grosslokomotiven unterzubringen.

Die Entwicklung im Sinne einer fortschreitenden Materialersparnis kann z. B. am Dieselmotor sehr schön überblickt werden, wie folgende Zusammenstellung zeigt: Motor mit Lufteinblasung rd. 100 kg/PS, Motor mit direkter Einspritzung und höherer Drehzahl rd. 20 bis 30 kg/PS, Traktionsmotor mit Aufladung rd. 6 bis 10 kg/PS.

Hand in Hand mit den Bestrebungen zur Steigerung des Wirkungsgrades einzelner Maschinen oder ganzer Systeme laufen die Bemühungen um Materialeinsparung. Dabei sind die Resultate der letzten Jahrzehnte sehr mannigfaltig, aber durchaus nicht abschliessend. Wir stehen vielmehr mitten in dieser Entwicklung. Diese weiter zu fördern, ist unsere Aufgabe für morgen.

In der *Diskussion* wurden von Obering. P. Faber (BBC) noch einige ergänzende Ausführungen über Schnelläufigkeit bei Turbomaschinen und über Gewichtsabnahme pro Leistungseinheit bei Dampfturbinen gemacht.

Aerodynamische Wärmekraftanlage

Die Grundzüge der Ackeret-Keller'schen Luftturbine mit geschlossenem Kreislauf sind hier, in Bd. 113 (1939), Nr. 19, S. 229*, von ihren beiden Urhebern dargelegt worden. Eine eingehende Diskussion des ebenso einfachen wie weitreichenden konstruktiven Prinzips geben sie in «Z.VDI», Bd. 95 (1941), Nr. 22.

Bei einem grossen Vorzug der Gas- gegenüber der Dampfturbine, dem Wegfall des Speisewassers (und der Wasserreinigungsanlage), brauchen wir uns nicht aufzuhalten. An die offenkundigsten Vorteile der in Rede stehenden Bauweise mit geschlossenem Kreislauf, also mit Aussenfeuerung — die Freiheit aller bewegten Teile von Verbrennungsprodukten, die prin-

Tabelle der Materialqualitäten

Material	Streckgrenze kg/mm²	Zugfestigkeit kg/mm²	Dehnung % L = 10 D	Härte kg/mm²	Dauerbiegefestigkeit kg/mm²	Elastizitätsmodul kg/mm²
S. M.-Sonderstahl geglüht	min. 40	70 ÷ 80	min. 13	195 ÷ 220	rd. 35	20 700
Cr Ni-Stahl vergütet, VCN 35 . .	min. 65	85 ÷ 100	min. 10	250 ÷ 290	rd. 50	20 400
Cr Ni W-Ventilstahl geglüht . . .	min. 65	90 ÷ 100	min. 20	230 ÷ 280		20 000
Cr Si-Federstahl vergütet	min. 100	130 ÷ 160		470 ÷ 530	rd. 80	20 800
Perlitguss		25 ÷ 30		200 ÷ 230	rd. 25	8 500
Stahlguss geglüht, St. 52.81 . . .	22 ÷ 28	min. 52	min. 16	140 ÷ 180	rd. 20	20 000
Silumin-Gamma vergütet, Sandguss	min. 18	25 ÷ 32	4 ÷ 12	75 ÷ 100	8 ÷ 12	7 850