

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 103/104 (1934)
Heft: 2

Artikel: Die Dauerfestigkeit der Werkstoffe des Flugzeug- und Flugmotorenbaues
Autor: Wyss, Th.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-83241>

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: 06.02.2025

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

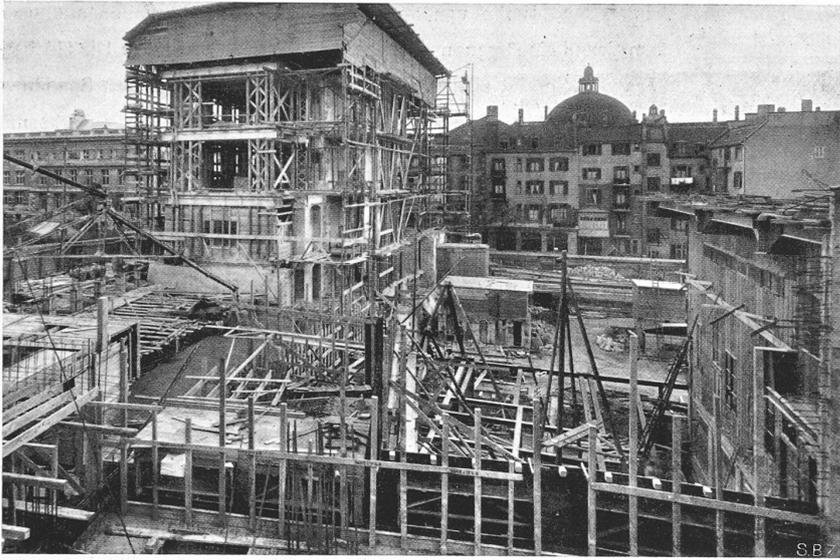


Abb. 38. Blick aus NW auf die Baustelle (8. 12. 1932). Hinten links Altbau mit Notdach, rechts davon die Holzverschalungen der drei erhalten gebliebenen alten Maschinen.

soweit vervollständigt, dass mit den gleichen Schalungsschrauben auch die Auflagerbolzen für ein „Profit“-Leichtgerüst kombiniert werden konnten. Die Stahlblechzargen für die Türen sind in die Schalungen eingebaut worden, um durch das Einbetonieren saubere Anschlüsse zu erreichen.

Vorgängig der II. und III. Bauetappe wurde der alte Turm abgebrochen. Der Abbruch der alten Halle, der Westwand und der Brandmauer des Lehrgebäudes erforderte grosse Sorgfalt auf die verbleibenden alten Bauteile, die mittels umfangreichen Spriessungen geschützt werden mussten (Abb. 38); ein Notdach schützte diesen Bauteil vor Verwitterung und Durchnässung. Der Granit-Rustika-sockel, sowie die Backsteinverblendung wurden auf die rohe Betonmauerflucht des Neubaus zurückgearbeitet, um dadurch eine einheitliche Fassadengestaltung zu ermöglichen; die Hauptfassaden des Lehrgebäudes erhielten eine Kunststeinplattenverkleidung mit wärmeisolierender Kork- und Luftschicht. Abgesehen von baugesetzlichen Vorteilen ergab der Umbau des alten Hauses gegenüber völligem Abbruch und Neubau immerhin eine Einsparung von rd. 120 000 Fr.

Der Neubau des Lehrgebäudes ist im Gegensatz zur Maschinenhalle als Eisenbetonskelettbau mit unterzuglosen Rohrzellendecken hochgeführt. Im Innenausbau fanden weitgehend neue einheimische Materialien Verwendung und schaffen dadurch einen engen Bezug zwischen Schule, Laboratorium und Industrie.

Die IV. Bauetappe, umfassend die Aerodynamische Abteilung und die Werkstätten neben dem Kesselhaus an der Clausiusstrasse, ist zur Zeit noch in Ausführung be-



Abb. 40. Begehbarer Leitungskanal des Fernheizkraftwerkes.

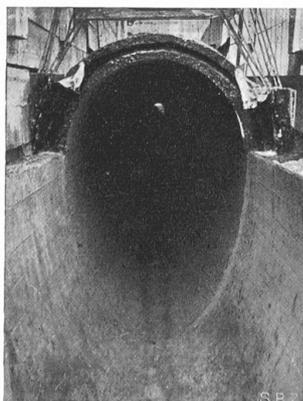


Abb. 39. Dilatationsfuge eines Heizkanals.

griffen; dieser Bauteil wird wegen der verschiedenartigen Zweckbestimmung der Räume als Stahlskelett mit ausbetonierten Feldern ausgeführt. Er bildet einen Annex der Maschinenhalle und lehnt sich aus diesem Grunde in seiner äusseren Erscheinung und im Material an diese an.

Der Gesamtkredit für Umbau und Erneuerung des Maschinenlaboratoriums ist in einen Baukredit von 6 337 500 Fr. und einen Maschinenkredit von 3 842 500 Fr. unterteilt worden. Die Bauausführung konnte ohne Ueberschreitung der Baukosten im Rahmen des Kredites durchgeführt werden. Die reinen Baukosten der einzelnen Bauetappen betragen:

| | |
|---|---------------------------|
| I. Fernheizkraftwerk | rd. 59 Fr./m ³ |
| II. Neubau Lehrgebäude und Halle | 73 Fr./m ³ |
| III. Umbau- mit Erweiterung Lehrgebäude und Halle | 68,85 Fr./m ³ |
| IV. Neubau Werkstattgeb. | rd. 41 Fr./m ³ |

Hierin sind Mobilium und Architektenhonorar enthalten. Max Meier, Arch.

Die Dauerfestigkeit der Werkstoffe des Flugzeug- und Flugmotorenbaues.

In der Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt vom 4. und 28. November 1933 gibt Kurt Matthaes Versuchsergebnisse der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt Berlin-Adlershof bekannt, die in ihrem Bericht 337 niedergelegt sind. Hauptresultate:

I. *Abhängigkeit der Dauerfestigkeit von der Anzahl der Lastwechsel.* Die Dauerfestigkeit, d. h. jene Schwingungsamplitude, der ein Stoff eben noch unterworfen werden kann, ohne dass es zum Bruch kommt, nimmt bekanntlich mit der Zahl der Lastwechsel ab. Je nach dem Verlauf der diese Abhängigkeit darstellenden Kurve lassen sich drei Werkstoffarten unterscheiden:

a) Stoffe mit eindeutig feststellbarer *Dauerfestigkeitsgrenze*, d. h. einem Knickpunkt der Kurve, von dem ab sie horizontal verläuft. Sie liegt bei Stählen zwischen 1 und 10 Millionen, bei Reinaluminium im Bereich von 5 Millionen und bei Holz zwischen 20 000 und 2 Millionen Lastwechseln.

b) Stoffe, deren Kurve sich einer Horizontalen asymptotisch nähert. Dieser Gruppe gehören die Leichtmetallegeringen an, bei denen Brüche auch nach 100 Mill. Wechseln noch eintreten können.

c) Stoffe ohne Dauerfestigkeitsgrenze, denen z. B. Nickel und seine Legierungen angehören. Brüche können noch nach mehreren 100 Millionen Wechseln erfolgen.

II. *Bruchform.* Ermüdungsbrüche sind kontraktionslos und weisen einerseits eine glatte, vielfach mit Schichtlinien durchsetzte Dauerbruchfläche und andererseits eine rauhe Restbruchfläche auf. Eine kleine Restbruchfläche deutet auf geringe normale Betriebsbeanspruchungen hin, während die Schichtlinien die Ruhepausen angeben. Da zwischen Anriss und Durchbruch, nicht zu hohe Betriebsbeanspruchung vorausgesetzt, bei Kurbelwellen bis zu 50 Betriebsstunden vergehen können, ist es möglich, durch Kontrolle Brüche im Betrieb zu vermeiden. — Die Dauerbruchflächen von Holz zeichnen sich durch gestufte, fast faserfreie Beschaffenheit aus.

III. *Beanspruchungsfrequenz und Verfestigung.* Der Einfluss der Frequenz auf die Schwingungsfestigkeit ist von Bedeutung bei höherer Temperatur und bei zusammengesetzter statischer und dynamischer Beanspruchung.

Durch eine grössere Anzahl Beanspruchungswechsel mit Amplituden von 3 ÷ 8 %, unterhalb der normalen Dauerfestigkeit kann durch das Hochtrainieren die Dauerfestigkeit bis um 30 % erhöht werden.

IV. *Einfluss statischer Vorspannung.* Bei Stahl wurde gefunden, dass die Zug-Ursprungsfestigkeit σ_v auf Biegung rd. 1,7 mal so gross ist wie die Biege-Schwingungsfestigkeit σ_w . Ebenso ist für Lantal (36 kg/mm² Zugfestigkeit) $\sigma_v = 23$ kg/mm², $\sigma_w = 13$ kg/mm². Bei Drehbeanspruchungen sind die entsprechenden Werte 24, 15 und 9,5 kg/mm². Für Elektron AZM (34 kg/mm² Zug- und 17 kg/mm² Schubfestigkeit) ist $\sigma_v = 19$ kg/mm², $\sigma_w = 15$ kg/mm², $\tau_w = 7,5$ kg/mm².

V. *Dauerfestigkeit und statische Festigkeit.* a) Für geschmiedeten oder gereckten Stahl und auch für Stahlguss wurde das Verhältnis zwischen Biegeschwungungsfestigkeit σ_w und stat. Zugfestigkeit zu rd. 0,5 ($\pm 20\%$) gefunden; bei Al-Legierungen zu rd. 0,35 ($\pm 20\%$); bei Mg-Legierungen zu rd. 0,38 ($\pm 20\%$); bei Cu-Legierungen zu rd. 0,33 ($\pm 25\%$). Bei Holz ist σ_w 0,59 mal so gross wie die stat. Druckfestigkeit.

b) Durch Vergütung von Stahl und durch Veredlung von Leichtmetallen lässt sich die Schwingungsfestigkeit nicht im gleichen Masse steigern wie die stat. Zugfestigkeit.

c) Die aus Zug-Druck-Versuchen gewonnene Schwingungsfestigkeit ist rd. 70 bis 100% der Biegeschwungungsfestigkeit σ_w .

d) Die Drehschwingungsfestigkeit ist, ausser bei Gusseisen, rd. 50 bis 70%, im Mittel 60% der Biegeschwungungsfestigkeit. Bei Magnesiumlegierungen ist sie rd. 50% und bei allen Gusslegierungen schwankt sie zwischen 70 bis 90%.

e) Das Verhältnis zwischen Drehschwingungsfestigkeit und statischer Schubfestigkeit ist näherungsweise gleich jenem zwischen Biegeschwungungsfestigkeit und statischer Zugfestigkeit.

VI. *Dauerfestigkeit von Halbzeugen.* Da Oberflächenbeschaffenheit und Verarbeitungseinflüsse sich geltend machen, ist die Dauerfestigkeit von Halbzeugen kleiner als jene normaler Probestäbe.

a) *Quer zur Axe gerichteter Faserverlauf* kann bei Konstruktionsteilen aus Stahl, Duralumin und Elektron infolge zu Tage tretender Gefügelage, Schlackeneinschlüssen und Saigerungen eine Verminderung der Dauerfestigkeit um 10–30% und mehr bewirken.

b) *Schleifriefen* senkrecht zur Beanspruchungsrichtung sowie Schichten der Oberfläche können einen Abfall um 10–15% und mehr erzeugen.

c) *Gedrehte und quergehobelte Stahlteile* mit 50–90 kg/mm² Zugfestigkeit weisen ein σ_w von 25–30 kg/mm² auf, gegenüber 25–45 kg/mm² bei längsgeschliffener Oberfläche. Bei harten Stählen ist daher unbedingt für eine gute Oberflächenbearbeitung zu sorgen.

d) Die Dauerfestigkeit von Leichtmetallen wird wesentlich erniedrigt durch Oberflächenschäden, Ziehriefen, eingewalzte Splitter, Zieh- und Walzfehler und durch hohe innere Spannungen. Diese Erscheinung tritt insbesondere bei schwierig herzustellenden Formen auf, wie z. B. Vierkantrohren, Holzprofilen usw. So ist für Duraluminblech σ_w 10 bis 12 kg/mm², für Rohre und Profile 9 bis 9,5 kg/mm². Noch ausgeprägter sind die Verhältnisse bei Hydronaliumprofilen. Elektronblech hat ein σ_w von rd. 8 kg/mm², Elektronrohre und Profile jedoch nur von 5 bis 7 kg/mm².

VII. *Halbzeuge aus Stahl.* Hier machen sich *Randentkohlung* und *Walzhaut* besonders bei höher vergüteten Stählen mit zunehmendem Kohlenstoffgehalt in ungünstiger Weise geltend. Ein legierter Federstahl von 120–140 kg/mm² stat. Zugfestigkeit weist bei dynamischer Beanspruchung mit Vorlast eine Dauerbiegefestigkeit von 40 ± 20 kg/mm² mit Walzhaut und von 40 ± 48 kg/mm² ohne Walzhaut auf. Infolge Randentkohlung durch Härten und Vergüten kann bei 1 mm Stahlblech von 160–170 kg/mm² Festigkeit σ_w auf 16 bis 25% abfallen. Bei vergütetem Federstahldraht wurde infolge nicht abgearbeiteter entkohlter Randzone ein um 25–40% tieferes σ_w und ein 20–30% tieferes σ_v festgestellt. — Wo hohe Dauerfestigkeiten verlangt werden, ist ein Abarbeiten der Oberfläche und Polieren unerlässlich.

Ein Härten der Oberfläche durch Einsatzhärtung, Prägepolieren, Walzen, Drücken, Nitrierung kann den Einfluss der Oberflächenbeschädigung wesentlich herabsetzen. Bei nitrierten Stählen beginnt der Dauerbruch stets unterhalb der Nitrierschicht, sofern die Oberflächenkerben die nitrierte Schicht nicht durchdringen.

VIII. *Korrosion.* Korrosionsnarben setzen die Dauerfestigkeit wesentlich herab. Durch Korrosion während eines Monats im Salzsprühnebel und nachfolgende dynamische Prüfung wurde bei einem CrNiW Stahl von 160 kg/mm² Zugfestigkeit σ_w auf 25 kg/mm² herabgesetzt. Ähnliche Erscheinungen wurden bei rostarmen V₃M Stählen festgestellt, während korrosionsbeständige Stähle hiervon nicht betroffen wurden. Bei Duralumin mit 12–14 kg/mm² Dauerbiegefestigkeit zeigte sich infolge Korrosion ein Abfall auf 8 kg/mm².

Korrosion mit *gleichzeitiger* Beanspruchung ergibt wesentlich stärkere Verminderungen der Dauerfestigkeit. So ist für alle Stähle von 30 bis 160 kg/mm² Zugfestigkeit σ_w nur rd. 12 kg/mm². Bei Duralumin 681 B und 681 LB ist sie 7–8 kg/mm² und bei Elektron AZM nur rd. 3,5 kg/mm². Alle diese Werte beziehen sich auf 10 Mill. Wechselbeanspruchungen während 55 Stunden.

IX. *Querschnittsübergänge.* a) Kerben. Nach Inglis wird durch eine Kerbe von der Tiefe d und dem Ausrundungsradius r am Grund eine Spannungserhöhung von $2\sqrt{\frac{d}{r}}$ erzeugt. Die Höchstspannung ergibt sich durch Multiplikation der mittleren Spannung mit $1 + 2\sqrt{\frac{d}{r}}$. Dauerversuche haben ergeben, dass die wirksame Spannungserhöhung nur rd. 0,45 $\sqrt{\frac{d}{r}}$ ist für Tiefen von 0,1 bis 0,7 mm und rd. 0,16 $\sqrt{\frac{d}{r}}$ für geringere Tiefen.

Die Kerbempfindlichkeit nimmt mit wachsender Zugfestigkeit zu. Bei Drehschwingungsbeanspruchungen ist die Kerbwirkung geringer als bei Biegeschwungungs- bzw. Zug-Druckbeanspruchungen. Die Biegeschwungungsfestigkeit von Stäben mit Bund und scharf ausgerundeten Uebergängen ist etwas kleiner als jene mit Kerben.

b) Bohrungen. Durch Querbohrungen erniedrigt sich σ_w von Stahlstäben auf 58–60% jener des unverletzten Stabes. Bei Stahlrohren ist sie 32–54%, bei Duralumin- und Elektronrohren 44%.

Drehschwingungsversuche mit Kurbelwellenmodellen mit Oelbohrungen ergaben eine Drehschwingungsfestigkeit von 22 kg/mm² gegenüber einer solchen von 37 kg/mm² bei glattem Stab, und zwar weil die Bohrung an der Innenseite nicht abgegratet war. Die Ursprungsfestigkeit des gebohrten Modelles war 30 kg/mm².

c) Keilverbindungen bewirken eine Verminderung der Dauerfestigkeit um rd. 35%.

X. *Verbindungselemente.* a) Schrauben- und Bolzenverbindungen. Die Kerbwirkung bei einem Gewinde ist geringer als bei einem Einzelkerb. Bei handelsüblichen blanken 14 mm Schrauben aus Automatenstahl, sowie geglühtem C Stahl mit Zugfestigkeiten von 55 bis 71 kg/mm² betrug σ_w 17 bis 22 kg/mm². Bei CrNiW Stahlschrauben mit 150 kg/mm² Festigkeit war $\sigma_w = 31$ kg/mm², wenn das Gewinde nach der Vergütung geschnitten wurde, gegen 15 kg/mm², wenn die Vergütung nach dem Schneiden des Gewindes erfolgte; siehe Randentkohlung. Schrauben aus Nitrierstahl von 72 kg/mm² Festigkeit wiesen ein σ_w von 42 kg/mm² im nitrierten und von nur 26 kg/mm² im unnitrierten Zustand auf.

b) Nietverbindungen (Blechmaterial). Die Brüche gehen von den Bohrungen aus. Die Ermüdungsfestigkeit ist rd. 30–60% des ungeschwächten, oder 70–100% des gelochten Stückes.

c) Schweißverbindungen. Bei C Stahl-Blechen und Rohren, wie sie im Flugzeugbau Verwendung finden, wurden Wechselfestigkeiten zwischen 14–18 kg/mm², bei CrMo Stahlrohren von etwa 21 kg/mm² ermittelt.

Die Abhandlung wird durch Zahlentafeln, graphische Darstellungen und Abbildungen ergänzt, die zum Teil Berichten anderer Forscher entnommen worden sind. Da die Ermüdung der Werkstoffe von Flugzeugen von grösster Wichtigkeit ist, sind weitgehende Untersuchungen in dieser Hinsicht sehr zu begrüssen. Th. Wy.

† Kantonsoberingenieur Joh. Solca.

Unser vor zwei Jahren von seinem Amt zurückgetretene Oberingenieur hat sich nicht mehr lange der freieren Betätigung für die Öffentlichkeit und die Familie erfreuen können. Mitten aus der Arbeit heraus — als Geniemajor und Chef der bündnerischen Minengruppe leitete er einen Instruktions- und Kontrolldienst in Wiesen — ist er durch einen Herzschlag vom Tod ereilt worden. Wer den ausserordentlich rüstigen und lebhaften Sechziger noch in den letzten Tagen gesprochen hat, ist ergriffen von seinem plötzlichen Hinschied. Und doch scheint uns in diesem Tod, mitten aus voller Tätigkeit für Gemeinwesen und Familie, etwas der Wesensart des Verstorbenen Angemessenes zu liegen. Wie schwer könnte man sich den immer körperlich und geistig beweglichen Mann als geruhlichen alten Herrn vorstellen.

Vierzig seiner Lebensjahre hat Oberingenieur Solca im Staatsdienst gearbeitet: vier Jahre als Strassen- und Brückeningenieur und zehn Jahre als Kreisingenieur I des Kantons Zürich und 26 Jahre als Oberingenieur unseres Kantons Graubünden.

Die technische und praktische Begabung hat Solca wohl von seinem Vater, der Bauunternehmer in Churwalden war, ererbt. Ausser der abgeschlossenen technischen Hochschulbildung, die er bis in die letzten Tage zu ergänzen bestrebt war, brachte er für sein Amt mit: eine rasche Auffassungsgabe, brillantes Gedächtnis, einen festen Willen, der sich wenn nötig zur Schroffheit steigern konnte, haus-