Zeitschrift: Prisma : illustrierte Monatsschrift für Natur, Forschung und Technik
Band: 2 (1947)
Heft: 9

Artikel: Zerstörungsteste bei Flugzeugen
Autor: Lion, André
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-653990

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: 11.12.2025

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

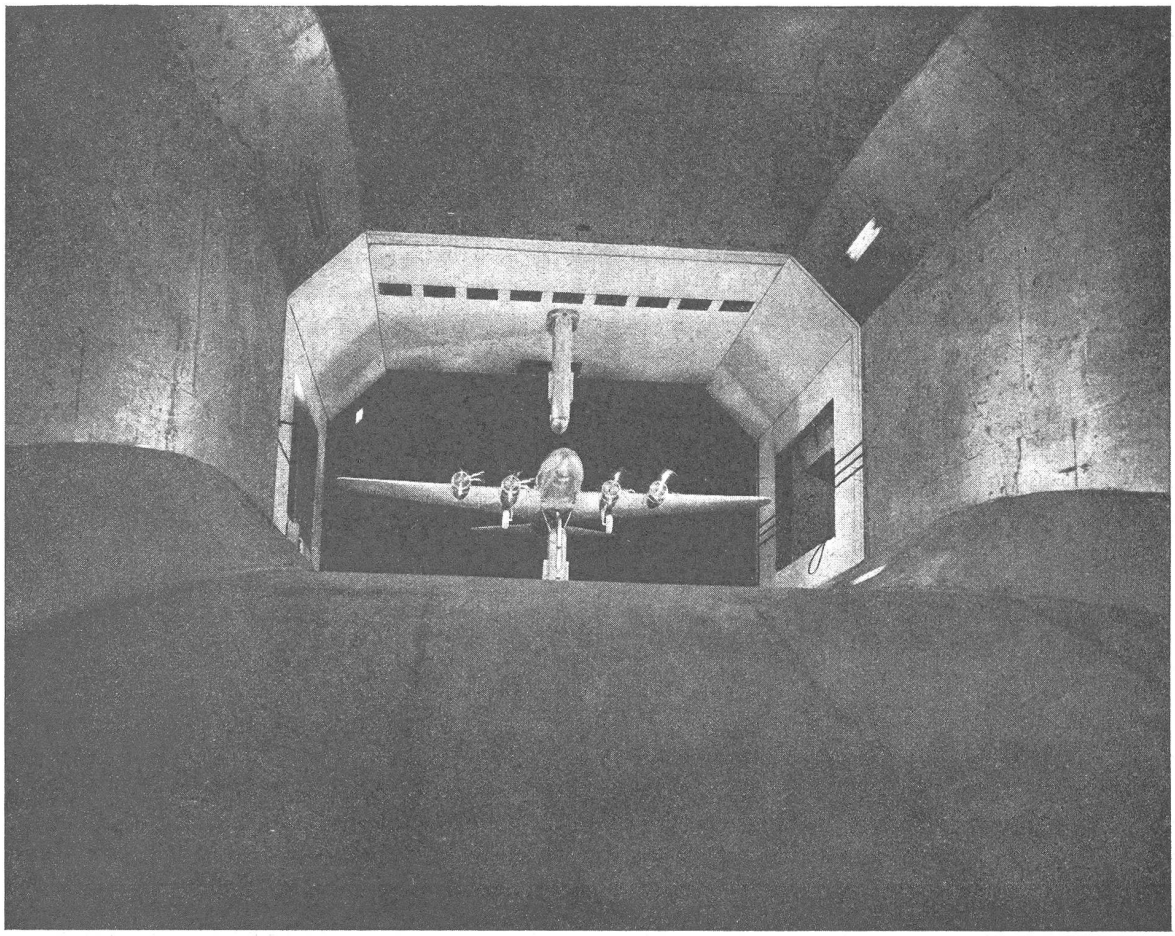


Bild 1: *Ein Flugzeugmodell, ein Zehntel der natürlichen Größe, im Windtunnel des Aeronautischen Laboratoriums der Universität des Staates Washington. Die Propeller laufen.*

Zerstörungsteste bei Flugzeugen

Von Ing. André Lion

Das Märchen vom Testpiloten

Keine Phase der Fliegerei ist für den Laien mit mehr Romantik verwoben als das *Test-Fliegen*, nicht zuletzt dank den Filmmanuskript-Schreibern in Hollywood, die aus den Testpiloten abenteuerliche Wagehalse gemacht haben, die nur eine Aufgabe haben: in ein neues Flugzeug zu steigen und so lange Sturzflüge und andere Manöver mit ihm auszuführen, bis es in der Luft in tausend Stücke zerbricht oder abstürzt und verbrennt. Das ist romantischer Unsinn. Kein Flugzeugfabrikant setzt das Leben seiner ausgezeichneten Testpiloten oder die in einen neuen Flugzeugtyp gesteckten Millionen aufs Spiel, um ein paar verstreute Bruchstücke oder einen Haufen geschmolzener und verborgener Metallteile zu erhalten, die für spätere Untersuchungen wertlos sind.

In einem behalten die Hollywood-Romantiker recht: das erste fertige Flugzeug eines neuen Typs wird zerbrochen, sowohl seine Einzelteile als auch sein ganzer Körper. Aber nicht in der Luft innerhalb weniger Sekunden, unter Lebensgefahr des Testpiloten und seiner Flugmannschaft, sondern in der Werkstatt, langsam und systematisch, sodaß die Ingenieure sehen können, was zerbricht, und lernen können, warum es nicht standhält. Selbst dann sind die Aufgaben des Testpiloten noch schwer und verantwortungsvoll, und der erste Aufstieg in einem neuen Typ bedeutet auch dann noch ein oft nicht ungefährliches Risiko, bei dem mancher Pilot sein Leben hat lassen müssen.

«Mock-up» und Windkanal

Der erste Schritt des Flugzeugfabrikanten, nachdem die Pläne für seinen neuen Typ fertig sind, ist der Bau eines Holzmodells in natürlicher Größe. Es kann nicht fliegen, aber abgesehen davon ist es ein richtiges Flugzeug. Alle Abmessungen sind genau, es hat ein Tragdeck mit Motoren, es hat Räder und Sitze und Instrumente – alles aus Holz. Amerikanische Ingenieure nennen das Ding ein «*Mock-up*», analog der mit «Mockturtle» bezeichneten «falschen» Schildkrötensuppe. Holz kann leichter bearbeitet und geformt werden als Metall, es ist billiger, und das «Mock-up» hilft den Ingenieuren, manche Fehler zu vermeiden. Eine neue Idee mag in der Blaupause einwandfrei aussehen, aber erst das dreidimensionale «Mock-up» beweist manchmal, ob das Vorstellungsvermögen des Erfinders und des Konstrukteurs ausgereicht hat.

Der *Windtunnel* ist ein anderes Mittel, durch das im Flugzeugbau viel Zeit und Geld gespart wird. Während das «Mock-up» gebaut wird, ist bereits ein kleines Modell des neuen Typs fertiggestellt, dessen Propeller durch winzige Elektromotoren in den Motorengondeln gedreht werden. Im Windtunnel kann ein Luftstrom aus allen Richtungen und mit jeder Geschwindigkeit gegen das Modell gerichtet werden, und die Ingenieure, Aerodynamiker und Testpiloten können, lange bevor das erste Testflugzeug in natürlicher Größe fertig ist, sich ein Bild davon machen, wie weit der neue Typ ihre Hoffnungen erfüllen wird (Bilder 1 und 2).

Bevor der neue Typ in größeren Mengen fabriziert wird, werden ein paar *Testflugzeuge* gebaut. Sie müssen sich in der Luft bewährt haben, bevor die Reihenfabrikation beginnt. Aber eins davon, ohne seine Motoren, dient einem anderen Zweck: *durch Teste soll es zerstört werden.* Dieser Zerstörungstest geht den Flugtesten voraus. Wenn auch die Tragdecks aller Metallflugzeuge grundsätzlich ähnlich sind, so erfordert doch jede durch eine Neukonstruktion bedingte Abänderung von Einzelteilen, daß jeder im Fluge einer Belastung unterliegende Teil des Flugzeugs auf seine Widerstandsfähigkeit geprüft wird, bevor er für den Einbau reif erklärt wird.

Die Testingenieure haben nicht nur die Möglichkeit, sondern auch die Pflicht, das Tragdeck zu zerbrechen, den Rumpf zu zerschmettern, das Fahrwerk zu zerdrücken. Dieses Zerstörungswerk muß getan werden, um die Gewißheit zu haben, daß das Flugzeug stark genug gebaut ist, um jeder Belastung zu widerstehen, denen es unter allen nur denkbaren Zuständen und Bewegungen in der Luft ausgesetzt sein wird. Lager und andere Einzelteile werden Dauerbeanspruchungen unterworfen, um festzustellen, ob sie ausreichend wärmebehandelt sind und nicht unter starker Belastung zerbrechen. Scharniere, Getriebe, Rohrleitungen müssen Abnützungs- und Vibrationsprüfungen überleben können. Die Motoren werden raffinierten Testen unterworfen, ohne daß sie das Versuchsgelände verlassen (Bild 3). Die Prüfingenieure lassen alle Elektromotoren laufen, die die vielen Hilfsanlagen im Innern eines modernen Flugzeugs betreiben, und studieren ihre Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit. Sie untersuchen jeden Glasteil unter starkem Druck; sie zerquetschen Bolzen und Schrauben; sie unterwerfen selbst einzelne Punktschweißungen stundenlangen Erschütterungs-Versuchen.

*

Als man noch Bleischrot verwendete

Der *Zerstörungstest* des Flugzeugs zerfällt in drei Abschnitte: die Prüfung der Einzelteile in besonderen Aufspann-Vorrichtungen, diejenige der gleichen Teile im Zusammenbau mit anderen, und schließlich diejenige des Flugzeugs als ganzes, im sogenannten statischen Test, der in der gewaltsamen Zerstörung des Tragdecks gipfelt.

Das traditionelle Zerstörungstest-Verfahren im Flugzeugbau – fast so alt wie das Flugzeug selbst – ist, das Tragdeck und die anderen zu untersuchenden Abschnitte des Körpers mit Säcken, die mit Bleischrot gefüllt sind, zu belasten (Bild 4). Eine Schicht Säcke wird auf die andere gepackt und derart verteilt, daß sie ein getreues Abbild der während des Fluges auftretenden Drücke ergeben – so lange, bis das Flugzeug unter ihrem Gewicht zerbricht. Trotz seiner Umständlichkeit, und obgleich Tausende von Kilogramm Blei hin- und hergeschleppt werden müssen, ist dieses bewährte Verfahren an vielen großen Flugzeugen angewandt worden.

Als vor ein paar Jahren die Prüfingenieure der Boeing Aircraft Company in Seattle vor die Aufgabe gestellt wurden, die erste «B-29 Superfortress» zu zerstören, erinnerten sie sich mit gemischten Gefühlen an ihre letzte Bleisack-Prüfung. Damals mußten, allein für den Zerstörungstest eines einzigen Flügelteils des Typs B-15, 30 Tonnen Blei verteilt werden, in einem ununterbrochenen Belastungsversuch von 22 Stunden Dauer. Sie beschlossen, für die B-29 ein moderneres Verfahren zu entwickeln. Denn sie hatten ausgerechnet, daß die Zerstörung des Tragdecks dieses großen Flugzeuges mindestens 135 Tonnen Blei erfordern würde. Und so bauten sie erstmal für den Zerstörungstest der B-29 und ihrer noch größeren Nachfolger ein besonderes Gebäude, das von vielen wegen seiner Größe und Bauweise die «Kathedrale» genannt wurde, von anderen die «Folterkammer».

Bild 2 rechts: *Das Flugzeugmodell im Windtunnel wird vor Beginn der Versuche nochmals geprüft. Es ähnelt in allen wesentlichen Einzelheiten dem zukünftigen fertigen Flugzeug. Die Nase des Modells ist abnehmbar. Auf diese Weise hat der Versuchsingenieur Zugang zu einem Teil der eingebauten Geräte. Derart vollkommene Modelle werden nicht für jeden neuen Typ gebaut. Dies ist ein Modell des vor einigen Jahren entwickelten Stratoliner-Passagier-Flugzeugs. Sein Bau kostete damals 16 000 Dollar.*

(Alle Photos aus den Versuchswerkstätten der Boeing Aircraft Co. in Seattle)

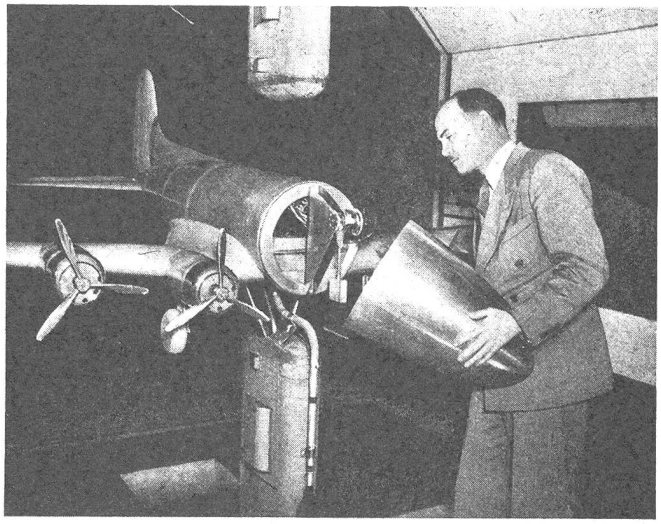
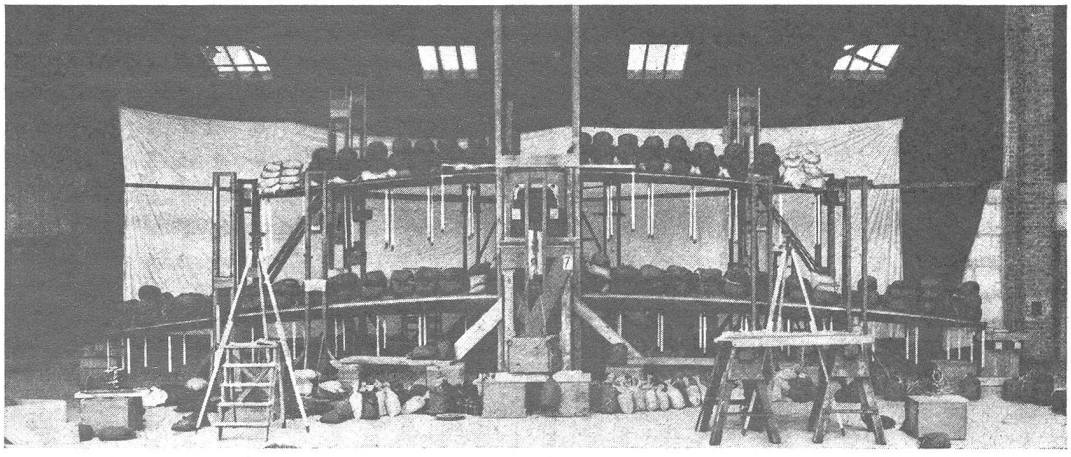


Bild 3 mitte: *Obgleich «Augen» und «Mund» unverkennbar sind, ist dies nicht der Kopf eines Tier-Robots, sondern das Motoren-Versuchslaboratorium der Boeing Aircraft Co. in Seattle. Hier werden Flugzeugmotoren einer strengen Prüfung unterzogen, ohne daß sie den Erdboden verlassen und mit dem Flugzeug aufsteigen müssen. Dieses eigenartige Laboratorium ist auf Rädern montiert, die auf kreisförmigen Schienen laufen, so daß es gedreht werden kann, um den Wind aus jeder Richtung auszunützen. Die gründliche Prüfung einer neuen Kraftanlage, bevor sie in ein Flugzeug eingebaut wird, erspart viel Geld und Zeit und erübrigt wochenlange Testflüge. Eine Seite der «Steuerkabine» ist rechts im Bilde gerade noch sichtbar. Hier sitzen die Versuchsingenieure, die den «Flug» beobachten und alle Beobachtungen laufend aufzeichnen.*

Bild 4 unten: *So wurden früher Flugzeug-Zerstörungsteste durchgeführt. Das Tragdeck wurde so lange mit Säcken, die mit Bleischrot gefüllt waren, belastet, bis es zerbrach. Ein Verfahren, das umständlich war und keine genauen Ergebnisse lieferte.*



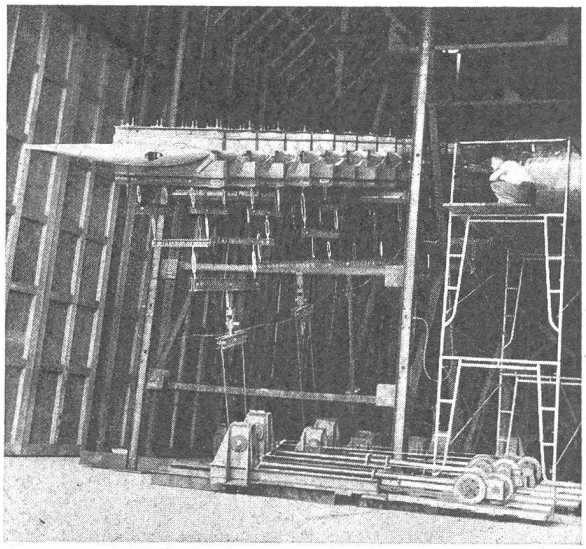


Bild 5: *Unter den Flügelspitzen zu beiden Seiten des Testflugzeuges sind die hydraulischen Pumpen angebracht, deren Kolben, über ein System von den Zug verteilenden Ausgleichschienen, die einzelnen Abschnitte des Tragdecks herunterziehen.*

In der «Folterkammer»

Ein großes Tragdeck verbiegt sich ganz beträchtlich, ehe sein elastischer Körper zerreißt. Bei der B-15 erfolgte die «Explosion» erst, nachdem die Flügelspitzen um 1,25 Meter heruntergebogen worden waren. Man schätzte, daß derselbe Erfolg bei dem größeren Flugzeug erst bei einer Verbiegung um etwa 2,5 Meter eintreten würde. Das allein schon schloß die Verwendung von Bleischrot aus; denn wie sollten die schweren Säcke auf den so tief heruntergebogenen Flügeln am Abrutschen verhindert werden? Die Testingenieure beschlossen, die Bleisäcke durch hydraulische Winden zu ersetzen, mit deren Hilfe der Test einfacher, schneller und ohne Gefährdung der Versuchsmannschaft durchgeführt werden konnte.

Im Fluge übt die Luft einen Druck von unten gegen das Tragdeck aus. Beim Zerstörungs-Test wird das Flugzeug auf den Kopf gestellt, und an die Stelle des Luftdrucks von unten tritt der Druck der Bleilast von oben. Oder, beim neuen Verfahren, ein Zug von unten: Von Hand betriebene hydraulische Pumpen bewegen in langen Zylindern geführte Kolben. Die Kolben üben auf Stahlkabel, die einerseits mit ihnen, andrerseits, über ein Verteilersystem von Ausgleichschienen, mit den verschiedenen Punkten des Tragdecks verbunden sind, einen immer stärkeren Zug aus (Bild 5), so lange, bis an irgendeiner Stelle der Bruch eintritt. Dies mag eine zu schwach gebaute Stelle des Tragdecks sein, oder aber der ausgeübte Zug ist so groß, daß er den, im ungünstigsten Fall im Fluge auftretenden Druck um ein Vielfaches übertrifft. Dann ist die Konstruktion des Tragdecks stark genug. Bei welcher Belastung ein bestimmter Abschnitt des Flugzeuges zerreißt, kann mit dem neuen Verfahren viel genauer bestimmt werden als mit dem alten.

Zuerst wurden Hunderte von Einzelteilen geprüft, vor allem die wichtigen Steuerorgane, einzeln und zusammengebaut. Dann kamen die Flügelklappen und deren Lager an die Reihe. Der nächste Schritt war die Druck-Prüfung des Rumpfes, der, abgesehen von Luftdruckunterschieden zwischen innen und außen, im Fluge beträchtlichen Drücken ausgesetzt ist. Unter einem Überdruck von $^{92}/_{100}$ einer Atmosphäre platzte die Flugzeugnase mit einem lauten Knall. Das entsprach dem doppelten, im Fluge zu erwartenden Höchstdruck, aber trotzdem wurde die Flugzeugnase teilweise verstärkt und dann nochmals geprüft und für gut befunden.

Der letzte Akt

Dann kam der letzte Akt, die *Zerstörung des Tragdecks*. Beim ersten Versuch versagte der Flügel bei $^{97}/_{100}$ der als Ziel gesetzten Höchst-Belastung, was besagte, daß er fast viermal die Belastung tragen konnte, der er im allerungünstigsten Fall im Fluge ausgesetzt sein würde. Die Verteilung der Tragdeckbelastung um den, für das Einziehen des Fahrwerks vorgesehenen Ausschnitt herum hatte beim Entwurf des neuen Typs nicht genau berechnet werden können. Der Zerstörungsversuch brachte die Lösung dieser mathematisch nicht erfaßbaren Aufgabe, und die Ingenieure verstärkten diesen schwächsten Abschnitt, bevor sie an den endgültigen Test gingen.

Der große statische Test, die Zerstörung des stählernen Tragdecks, ist der dramatischste, aufregendste Abschnitt der Geburt eines neuen Flugzeug-Typs. Dieser erste Zerstörungstest in der «Folterkammer», dessen Vorbereitung Monate gedauert hatte, beanspruchte nur vier Stunden, und die Ergebnisse standen 20 Minuten später bereits zur Verfügung. Die Ingenieure konnten, mit Hilfe von, für diesen Zweck gebauten Spannungsmessern, das Versagen eines bestimmten Gliedes eines Flügelabschnittes voraussehen, bevor der Bruch wirklich eintrat. Das wurde erreicht durch das Anlegen haarfeiner Drähte an über 300 Punkte des Flügels. Die Drähte maßen, mit Hilfe elektrischer Impulse, die auf jeden Teil ausgeübten Beanspruchungen und die Reaktion des Teils auf diese Kräfte. Dieser «Warndienst» erlaubte es den Ingenieuren, den Test jeweils lange genug zu unterbrechen, um einen gefährdeten Teil zu verstärken.

Vorrichtungen von der Größe und Stärke, wie sie für das Einspannen eines so großen, durch gewaltige Zugkräfte beanspruchten Tragdecks, viele Meter über dem Boden, erforderlich waren,

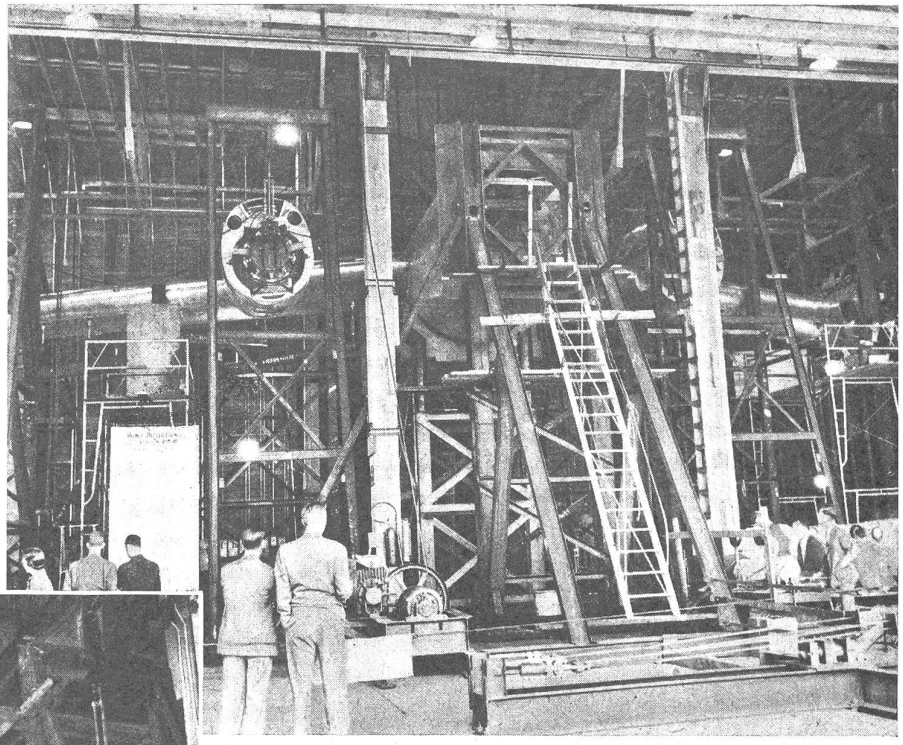


Bild 6: *Vor Beginn des Zerstörungstestes. Mit dem Kopf nach unten, hängen Tragdeck und Flugzeugkörper, ohne die Motoren, in der kräftigen Aufspannvorrichtung.*

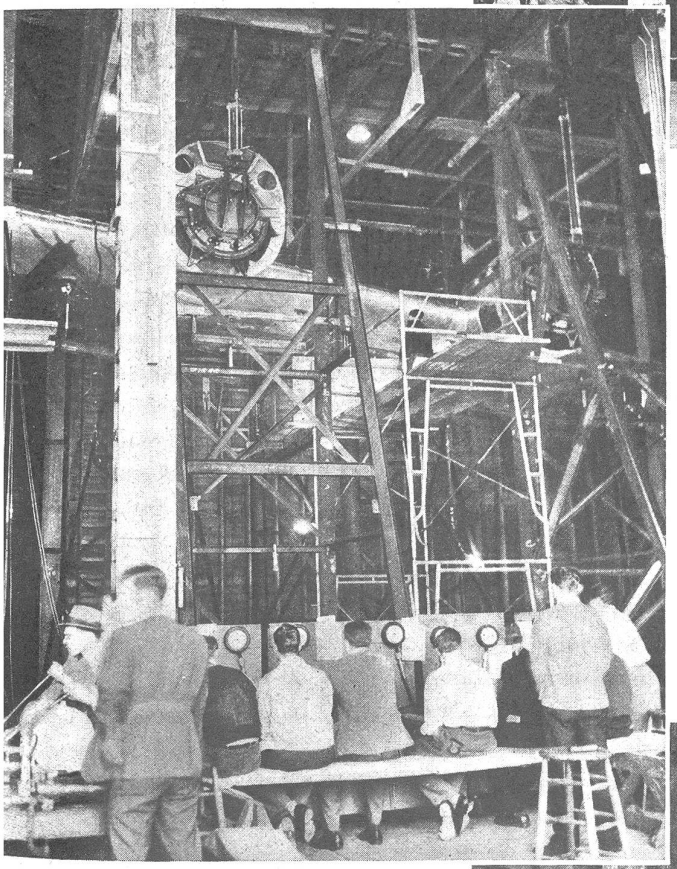


Bild 7: *Der Zerstörungstest hat begonnen. Vor einer Batterie von Meßgeräten, die automatisch die ausgeübten Zugkräfte und die Beanspruchung jedes Abschnitts des Flügels aufzeichnen, sitzen die Beobachtungs-Ingenieure in riesiger Spannung.*

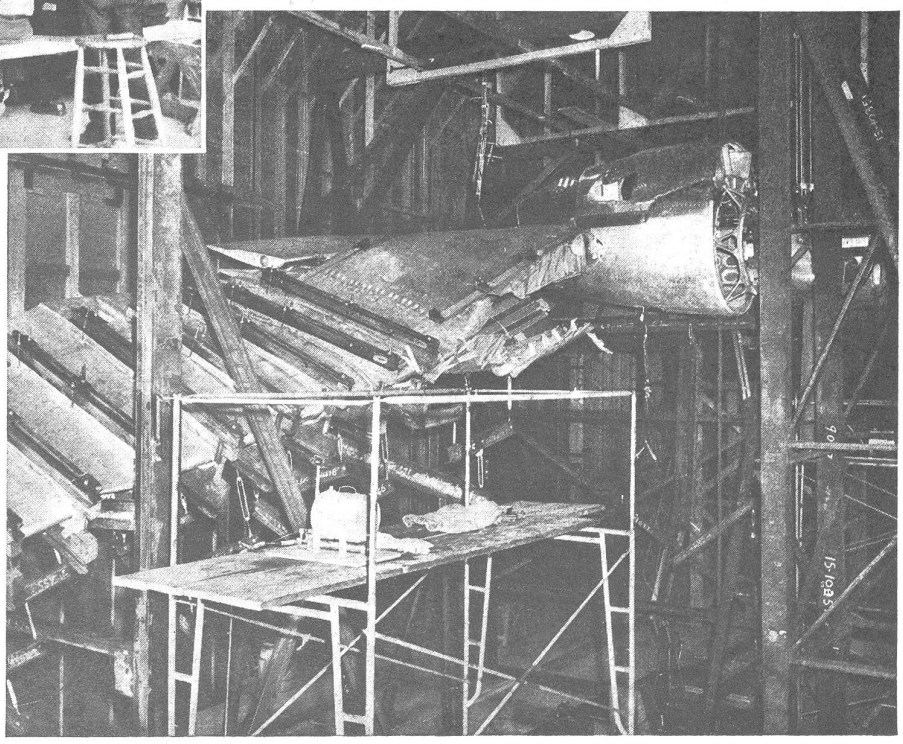


Bild 8: *Der stählerne Flügel ist zerrissen, bei einer Belastung von 109 Prozent, fast ein Zehntel mehr als die als Ziel gesetzte Höchstbelastung.*

waren nie vorher gebaut worden (Bild 6), und bis zum erfolgreichen Ende des Versuchs waren die Testingenieure in ständiger Furcht, daß diese Vorrichtungen nachgeben würden. Das hätte die Versuchsmannschaft gefährdet, abgesehen von 200 000 Dollar Bruchkosten und einem Verlust von Tausenden von Arbeitsstunden.

Nachdem festgestellt wurde, daß der Flügel mindestens das Vierfache der Höchstbelastung im Fluge aushalten konnte, ging man daran, ihn über diesen Punkt hinaus zu beanspruchen, bis er zerriß, um festzustellen, was er wirklich im Notfall aushalten konnte.

Die Zerstörung beginnt

Der den Test leitende Versuchs-Ingenieur nimmt das Mikrophon in die Hand und wartet einen Augenblick. Jedermann ist an seinem vorgeschriebenen Platz, die Pumpen-Mannschaft vor ihren langen Bänken, die Beobachter der Durchbiegungs-Messer vor den Flügeln; andre haben ihre Plätze vor den Spannungsmessern eingenommen (Bild 7).

Die Stimme des Versuchsleiters ertönt über den Lautsprecher: «Achtung, Pumpen-Mannschaft, prüft die Ventil-Verschlüsse!» – Dann wieder: «Sind alle Hilfsstützen gekürzt, um genügend Raum für die Verbiegung des Tragdecks zu schaffen?» Diese Stützen, die die Flügelspitzen tragen, müssen entfernt werden, damit der Flügel sich biegen kann.

Dann: «Pumpen-Mannschaft, legt 20 Prozent der Höchstbelastung an!» Der Vormann der Pumpen-Mannschaft ruft langsam die Belastungspunkte aus, einen nach dem anderen. Die Pumpenzylinder beginnen zu arbeiten, die Stahlkabel straffen sich, die «Ortscheite» des Ausgleichersystems beginnen, die Flügel herunter zu ziehen.

Schon ertönt der Lautsprecher: «Haltet 20 Prozent Belastung! Lest alle Spannungsmesser und Durchbiegungen ab!» Die Ingenieure lesen ihre ersten Zahlen ab, schreiben sie auf und bringen sie zum Tisch der Versuchsleitung.

Der Test geht weiter. Vom Lautsprecher kommt die Anweisung, und die Belastung wird erhöht: 30... 40... 50 Prozent. Allmählich zeigt der ursprünglich gerade Flügel die ersten Folgen der starken Zugkräfte. Deutlich erkennt man, wie er sich rundet. Der Druck wird erhöht, auf 60... 70... 80 Prozent der Höchstlast.

Bei 95 Prozent spürt man fast die Spannung, unter der sich nicht nur das Tragdeck, sondern das ganze Personal in der «Folterkammer» befindet. Die Last wird weiter gesteigert, die nervöse Spannung wird fast unerträglich. Bis jetzt hat man noch die halblaute Unterhaltung der Beobachter gehört, so oft der Versuch unterbrochen wurde, um die Ablesungen aufzuzeichnen. Jetzt, wenn die Instrumente 97, 98, 99, schließlich 100 Prozent der Höchstlast anzeigen, wagt kaum noch jemand zu flüstern. Der kritische Augenblick ist nahe. Wieviel mehr Zug werden die Flügel aushalten können? Vielleicht fünf oder zehn oder fünfzehn Prozent? Niemand kann es wissen. Irgendwo, und das sehr bald, wird irgendein Teil nachgeben. Vielleicht wird sich ein Hauptträger verbiegen, vermutlich einige der Rippen. Die Flügel sind jetzt zu einem Bogen gerundet, die Spitzen 2,5 oder 3 Meter aus ihrer Ursprungslage gewichen.

Und wieder die Stimme durch den Lautsprecher: «Achtung! Alles weg von den Flügeln!» Alle treten zurück, außer den wenigen Leuten, welche die Hilfsstützen zu bedienen haben. – Es geht weiter: «Steigert allmählich! Langsam, langsam!»

101 Prozent der Höchstlast. Irgendwo explodiert ein Kamerablitzlicht. Jedermann fährt zusammen, dann Gelächter. Eine Art nervöser Entspannung. Die Filmkamera-Männer hocken auf ihrem Gerüst über dem Tragdeck, bereit, den Moment der Zerstörung mit der Zeitlupe aufzunehmen.

102 Prozent. Alles geht seinen normalen Gang, alles ist Routine. Nur die Spannung wird immer unerträglicher. Aber jedermann bewahrt seine Ruhe. Gewiß, es kann etwas gänzlich Unerwartetes eintreten, aber alle nur denkbaren Vorsichtsmaßnahmen sind getroffen. Jeder weiß das und hat Vertrauen zur Versuchsleitung.

103... 104 Prozent. Ein scharfer Knall. Alle blicken etwas beunruhigt um sich. Ein paar Ingenieure beugen sich über ihren Flügelabschnitt. «Eine Niete ist abgeplatzt.» Jeder atmet erleichtert auf.

107... 108... 109 Prozent. Ganz plötzlich, ohne Warnung, setzt eine ohrenbetäubende Explosion ein. Die Flügel haben nachgegeben. Sie senken sich, hängen herunter, zerrissen und verbogen. (Bild 8).

Die nervöse Spannung hat sich plötzlich gelöst. Man wagt wieder zu sprechen; alle diskutieren den Test. Er ist ein großer Erfolg. Bei 100 Prozent Belastung war das Tragdeck imstande, viermal das Gewicht des beladenen Flugzeugs zu tragen – eine Bedingung, die im praktischen Flugbetrieb kaum jemals eintreten dürfte. Die weiteren neun Prozent, die die Flügel dann noch ausgehalten haben, bevor sie zerrissen, bedeuten einen zusätzlichen Sicherheitsfaktor von fast $^1/_{10}$ über das hinaus, was sich die Konstrukteure als Ziel gesetzt hatten.

*

Ein Flügel ist zerstört – und ein neues Flugzeug geboren.