

# Die Entwicklung im Flugzeughallenbau auf dem Flughafen Zürich-Kloten

Autor(en): **Huber, P.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **88 (1970)**

Heft 39

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-84627>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Die Entwicklung im Flugzeughallenbau auf dem Flughafen Zürich-Kloten

Von P. Huber, Zürich

DK 629.139.2:624

## Einleitung

Die allgemeine wirtschaftliche und technische Entwicklung der letzten dreiundzwanzig Jahre hat früher bekannte Masstäbe entwertet und überholt. Die andauernde dynamische Evolution im europäischen Raume erlaubt kaum mehr analysierende Rückblicke, sondern verlangt Schritt für Schritt neue Synthesen aus grundlegenden Einzelergebnissen von Wissenschaft und Forschung und dort sogar Extrapolationen, wo die Zeitspanne für die Verwirklichung eines Werkes verhältnismässig gross wird. In diesem Rahmen muss deshalb darauf verzichtet werden, sämtliche Einzelheiten zu analysieren und zu werten. Es sollen die Hauptlinien dargestellt werden, die im Flugzeughallenbau erkenntlich geworden sind.

## Die Ausrüstung der Hallenbauten

### Krananlagen

In den vierziger Jahren wurde noch die Ansicht vertreten, dass über Flugzeug-Wartungsstandplätzen keine Krane benötigt würden. Im Hangar, welcher als Einstellhalle gedacht war, fehlt deshalb jedes fest eingebaute Hebezeug, und die Dachkonstruktion kann nicht mit Ausrüstungsgegenständen belastet werden. In der Werft I des Flughafens Zürich wurde für die Bedienung der ganzen Hallenfläche von 5600 m<sup>2</sup> eine Kranbahn mit 5 t Nutzlast bewilligt.

Beim zweiten Ausbau des Flughafens in den fünfziger Jahren wurde die Werft II so ausgelegt, dass über den Tragflächen der Flugzeuge ein 5-t-Kran zum Ein- und Ausbau der Motoren und über deren Heckteilen ein 1-t-Kran zur Verfügung steht, der noch von einer Dockbrücke von 1 t Nutzlast begleitet wird. Installiert wurden zwei Krane zu 1 t, je einer zu 2,5 t und 5 t Nutzlast sowie eine leichte Dockbrücke. Diese Hebezeuge bedienen 40 % der 11 000 m<sup>2</sup> messenden Grundfläche.

Die Vergrößerung der Werft I in den Jahren 1968 und 1969 auf 12 000 m<sup>2</sup> Arbeitsfläche brachte eine wesent-

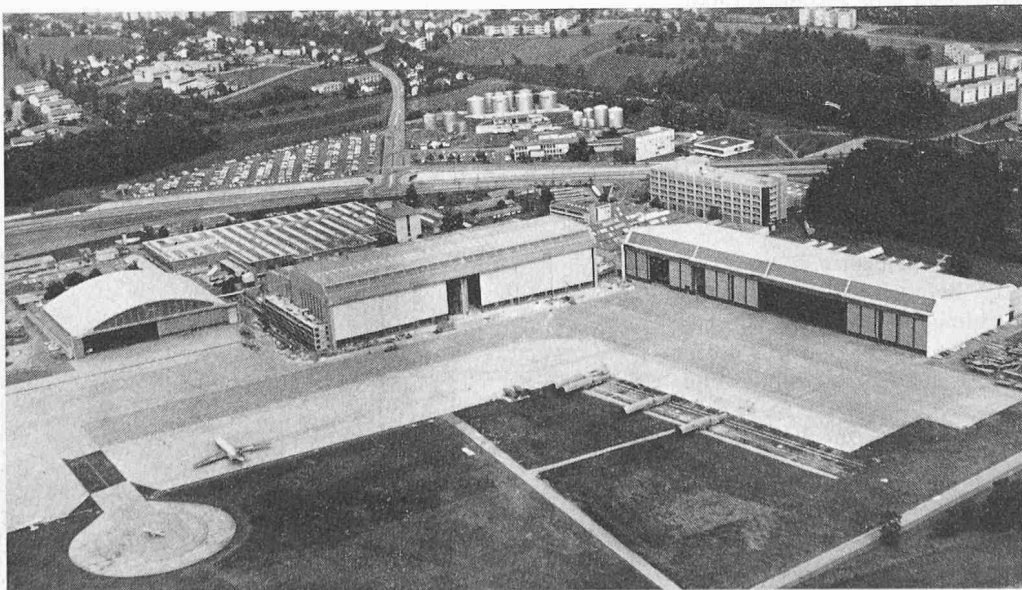
liche Ausweitung der Anforderungen. Im alten Hallenteil sind zwei neue Kranbrücken mit je 8 t Nutzlast und Brückenlängen von 33,2 m bzw. 37,5 m eingebaut. Im neuen Hallenteil hängen zweimal ein 5-t-Kran und ein 8-t-Kran in Linie; die 5-t-Krane sind beidseitig flankiert mit Dockbrücken für 12,5 t schwere Arbeitsgerüste. Somit kann die ganze Arbeitsfläche mit schweren Hebezeugen bedient werden. Im neuen Hallenteil wird die Dachkonstruktion dadurch in jeder Feldmitte mit 75 t belastet.

### Elektrische Energie, Druckluft, Wasser

Während bei vielen Flugzeughallen im Ausland beinahe alle Anschlüsse für elektrische Energie, Druckluft und Wasser an den Hallenwänden vorgesehen wurden, begann man in Zürich-Kloten von Anfang an, diese Installationen möglichst an den Verbraucherort, das heisst nahe an den Flugzeugeingängen und den Motorengondeln, im Boden zu verlegen. Der Hangar erhielt auf einem rein geometrischen Zuleitungsnetz aus Zementröhren einen Bodenanschluss je 320 m<sup>2</sup>. Die Mehrzahl der Anschlüsse jedoch werden direkt den offen montierten Ringleitungen an den Wänden entnommen. Die Werft I wurde 1947/48 mit einem Bodenanschluss pro 250 m<sup>2</sup> bestückt, die von einem abdeckbaren Kanalsystem auf geometrischer Grundlage gespiesen wurden. Die abdeckbaren Kanäle erlaubten, im Laufe der Jahre die erforderlichen Ergänzungen vorzunehmen. In der Werft II, wo die Standplätze auf die Flugzeuge der Grössenordnung des Baumusters Douglas DC 8 abgestimmt waren, sind abdeckbare Kanäle vorhanden, welche zu den Flugzeugen möglichst angepasste Zapfstellen führen und einen Anschluss auf 140 m<sup>2</sup> erreichen. In der vergrösserten Werft I wurde einem Universalsystem der Vorzug gegeben, welches über Zwei- und Vierstrangkanäle Anschlüsse für alle Flugzeugtypen gewährt, umstellbar ist und einen Anschluss auf 70 m<sup>2</sup> enthält. Bei diesem ausserordentlich dichten Installationsnetz war der Bau eines begehbaren Hauptkanals in der Längsachse der Halle unumgänglich.

Bild 1. Werftareal, Aufnahme von Westen. Links Hangar, 1949; Mitte vergrösserte Werft I, 1969; rechts Werft II, 1959. Im Vordergrund sind die Schalldämpfer für Standlaufversuche sichtbar

(Flugaufnahme Swissair Photo AG, Zürich)



### Brandschutzmassnahmen

Im Flugzeughallenbau konnte von Anfang an nicht mehr an einen absoluten Schutz der Gebäudekonstruktionen vor Feuereinwirkung gedacht werden, denn der Kostenaufwand würde in keinem tragbaren Verhältnis zum Nutzen stehen. Bis heute wurde deshalb folgendes Prinzip angewandt: Schutz der Hauptkonstruktionsteile, um einen totalen Einsturz der Hallen zu vermeiden, damit ausserhalb der Brandzone stehende Flugzeuge und Einrichtungen gerettet werden können. Daraus lässt sich leicht erkennen, dass der Aufwand an Schutzmassnahmen abhängig wird von der Wahl des Tragsystems. Bei der Werft I war deshalb nur der eine Hauptträger hinter der Torfront zu schützen, im Hangar mit 7 asymmetrischen Dreigelenkbogen wurden alle Untergurte verkleidet. Die Werft II mit ihren 8 asymmetrischen Kragträgern stellte für die Kantonale Gebäudeversicherung ein ausserordentlich gefährdetes Objekt dar, weshalb eine Deluge-Anlage gefordert wurde. Die von der öffentlichen Hand investierten Gelder für ein neues Leitungssystem und für neue Behälter stellen heute allerdings nur eine vorzeitige Investition für die Infrastruktur der Gemeinde Kloten dar; zusammen mit den Anlagekosten aber erreichten sie damals rund 15 % des Anlagewertes der Werft II. Im Zuge der Vergrösserung der Werft I musste gleich zu Beginn der Diskussion über Brandschutzmassnahmen festgestellt werden, dass zusätzliches Wasser für eine Deluge-Anlage nicht mehr geliefert werden kann. In neuen Hallenteil ist der Einsturz unter Feuereinwirkung mit konstruktiven Massnahmen abgesichert, während der Hauptträger des alten Hallenteils durch eine Berieselungsanlage geschützt wird. Zudem ist die Werfthalle I heute durch eine zweischalige Brandmauer in zwei Abschnitte von 6000 m<sup>2</sup> Grundfläche unterteilt.

### Die Foundationstechnik

Die Entwicklung der Foundationstechnik auf dem Werftareal des Flughafens Zürich lief praktisch parallel den Erkenntnissen der Bodenmechanik und den Fortschritten im Grossmaschinenbau. Für die Gebäudefundationen spielte der relativ günstige Gestehungspreis der Holzpfähle während des ersten und zweiten Ausbaues des technischen Areals noch eine Rolle. So wurden die Werft I und der Hangar nur mit schwimmenden Holzpfählen fundiert bei einer Tragkraft bis 20 t. Die erhebliche Lastzunahme pro Foundationseinheit in der Werft II erzwang aber die Anwendung von schwimmenden Ortsbetonpfählen, da Versuche mit Probepfählen noch keine eindeutig besseren Ergebnisse mit Bohrpfählen gebracht hatten. Immerhin konnten die Betonpfähle von rund 25 m Länge mit 50 t belastet werden. Als bis zum Jahre 1968 die Bohrrgeräte für Betonpfähle so weit entwickelt waren, dass Gründungstiefen bis 40 m erreicht werden konnten, durfte daran gedacht werden, die Gebäudelasten der Vergrösserung der Werft I mit solchen Pfählen aufzunehmen. Heute kann vom günstigen Ergebnis dieser Gründungsart Kenntnis genommen werden, denn die Kosten pro Belastungstonne sanken beim Beton-Bohrpfahl auf Fr. 41,90 gegenüber dem Beton-Ramppfahl mit Fr. 46,40. Ausserdem zeitigten die Bohrpfähle — als geotechnische Grossuntersuchungen betrachtet — diejenigen Aufschlüsse, die für weitere Fundationsprobleme gewichtig sind.

Ein weiteres Problem dieser Art stellen die Hallenböden über dem Untergrund eines eiszeitlichen Seebeckens dar. Schon für die Werft I und den Hangar wurden die damaligen Kenntnisse der Bodenmechanik verwendet, wobei in Zürich mit dem Einbau von Bodenkanälen an die zulässige Grösse der Setzungen andere Massstäbe anzulegen

waren als zum Beispiel in Schiphol, wo 10 cm innerhalb der ersten drei Jahre gemessen wurden. Andererseits kann die Entwicklung der Flugzeuggewichte nicht ausser acht gelassen werden. Werft I und Hangar wurden für die Gröszenordnung von 30 bis 50 t, Werft II für 100 bis 140 t und die Vergrösserung der Werft I für 360 t Flugzeuggewicht bemessen. Demzufolge besteht die Bodenkonstruktion für die ersten Bauten aus einem 40 cm starken, auf 350 kg/cm<sup>2</sup> verdichteten Koffer und einer armierten Betonplatte von 18 cm, für die zweiten Bauten ist der 60 cm bis 80 cm starke Koffer auf 1000 kg/cm<sup>2</sup> verdichtet und mit einer 25 cm bis 40 cm starken Platte belegt, für die dritte Baugeneration trägt die 60 cm starke Kofferung mit einem *M<sub>E</sub>*-Modul von 1100 kg/cm<sup>2</sup> einen 43 cm starken Betonbelag.

Wurden die kleinfeldrigen Böden der Werft II mit Strassenfertigern hergestellt, so mussten diejenigen der vergrösserten Werft I bei etwa 100 m<sup>2</sup> Grösse wieder von Hand eingebaut werden. Berechtigterweise könnte beim Platenproblem die Frage aufgeworfen werden, ob denn die Abmessungen, die im Pistenbau gelten, nicht auch für die Hallenböden genügen. Dies wäre der Fall, wenn die Flugzeuge zur Überholung nicht aufgebockt werden müssten. Beim stehenden oder rollenden Flugzeug des Typs Boeing 747 z. B. beträgt die den 16 Hauptfahrwerkkrädern umschriebene Fläche 34,5 m<sup>2</sup>, beim aufgebockten Flugzeug ruht die gleiche Last hingegen auf drei Stahltellern auf einem Kreisdurchmesser von 2,5 m oder auf einer Fläche von 3,6 m<sup>2</sup>.

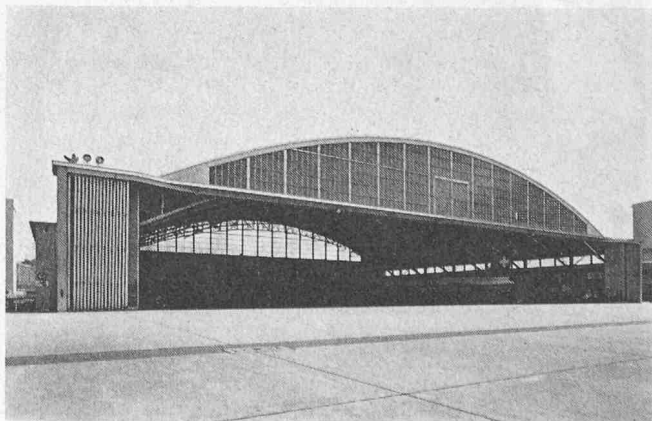
### Die Hallensysteme

Der Hallensysteme sind in den letzten dreissig Jahren Dutzende entwickelt und verwirklicht worden. Deren sinnvolle Anwendung hängt aber nicht allein vom kühnen Geiste findiger Ingenieure, sondern ebenso sehr von den örtlichen Orts- und Witterungsverhältnissen, von den Materialgestehungs- und Lohnkosten, vom Ausnützungsgrad des eingedeckten Raumes, vom Belastungs-Spannweitenverhältnis und vom Investitionsvermögen eines Unternehmens ab. Wenn in Kloten allen Anforderungen einigermaßen entsprechende Flugzeughallen gebaut wurden, dann darf wohl angenommen werden, dass die Investitionen wenigstens einen angemessenen Teil zum Erfolg der Fluggesellschaft beigetragen haben.

Über die Werft I und über den Hangar wurde hier bereits berichtet<sup>1)</sup>, die Werft II ist in der Broschüre «Der

<sup>1)</sup> Der erste Hangar des Zürcher Flughafens in Kloten. SBZ 68 (1950), H. 1, S. 1—6.

Bild 2. Hangar, Baujahr 1949. Dachkonstruktion: asymmetrische Dreigelenkbogen. Faltore geöffnet. Gelenkstelle im zweiten Rückwandfenster von rechts erkennbar (Aufnahme A. Rutishauser)





zweite Ausbau des Flughafens Zürich», GDZ 1961, beschrieben, so dass diese Bauten hier nur zusammenfassend behandelt werden. Die Werft I ist als zweischiffige Halle mit einem zurückgesetzten Hauptträger über  $2 \times 75$  m gebaut, mit auf der Rückwand abgestellten Bindern, stabilisiert mit drei Pendelwänden in Eisenbeton, Hallentiefe 38 m. Der Hangar ist mit einem leichten Bogendach, das von sieben asymmetrischen Dreigelenkbogen getragen wird, stützenfrei über  $75 \times 65$  m eingedeckt. Die Bogenkräfte werden von Eisenbetonscheiben in den Anbauten übernommen.

Die Werft II ist konstruktiv in vier Sektoren von  $48 \times 57$  m aufgeteilt. Zwei asymmetrische Kragbinder mit 38,07 m und 18,80 m Ausladung, durch Zugbänder für 440 t stabilisiert, übernehmen die Dachlasten der Querbinder in Abständen von 12 bzw. 14 m. Die Kragbinder wirken zudem als Stützen von Zweigelenkrahmen mit zwei Querbindern als Riegel. Zur Längsstabilität der Sektoren wurde auch die an die Pfetten abgestützte Rückwand beigezogen, während die beiden Endscheiben der ganzen Halle aus Eisenbeton keine weiteren Tragfunktionen übernehmen.

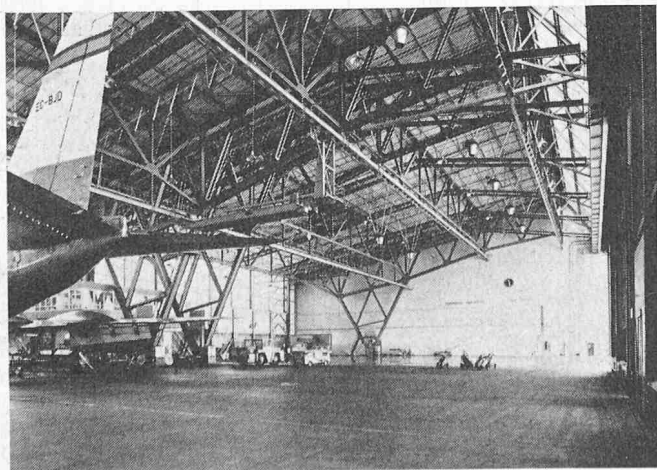
Der neue Teil der Werfthalle I ist in den Hauptelementen eigenstabil. Die ganze Konstruktion stützt sich auf sechs im Fundament eingespannte, vorgefertigte Spannbetonpfeiler ab. Zwei zweifeldrige Hauptträger über  $2 \times 75$  m, belastet und ausgesteift durch Binder mit beidseitigen Kragarmen und oben liegendem Windverband, übernehmen auch die Windlasten von Toren und Fassaden. Die alte Werfthalle I, deren Dach um 6,32 m mittels hydraulischen Pressen nach dem System *Waelli* gehoben wurde, ist neu stabilisiert worden, indem die drei Pendelwände im oberen Teil horizontal ausgesteift und mit je einem Stützpfiler versehen wurden. Das Dach erhielt einen zweiten Hauptträger über der Rückfassade und zusätzliche Windverbände. Die Wände wurden mit Stahlkonstruktionen verlängert<sup>2)</sup>. Neuer und alter Hallenteil zusammen ergeben zwei durch eine Brandmauer getrennte, stützenlose Räume von  $72,7 \times 78,6$  m.

### Die Stahlkonstruktionen

Stahl ist im Flugzeughallenbau ein wesentliches Konstruktionsmaterial, das in Zukunft mit den Aussichten auf Spannweiten über 100 m und bei künftigen Kranlasten in Hallenmitte von gegen 100 t nicht verdrängt werden kann. Stahl wurde in steigender Qualität für die Hallenbauten in

<sup>2)</sup> Einzelheiten im «Schweizer Baublatt» 79 (1968), Heft 101.

Bild 3. Werft II, Baujahr 1959. Blick in die westliche Boxe. Dachkonstruktion: asymmetrische Kragbinder mit vier Querbindern. Die breiten dunklen Bänder auf dem Bild sind Strahlungsheizungen (Aufnahme A. Rutishauser)



Zürich verwendet. Der Hauptträger der Werft I ist in St. 40 gefertigt und genietet, die Binder in St. 40 sind geschraubt, die Konstruktion ist durchsichtig und einfach gehalten, weshalb auch bei der Vergrößerung der Werft I nach 20 Jahren Verstärkungen und zusätzliche Tragelemente leicht einzubauen waren.

Die Dreigelenkbogen des Hangars aus St. 44 sind geschweisste Fachwerkelemente, wobei Stab um Stab dem Kräfteverlauf angepasst und mit sorgfältig bearbeiteten Übergangsstücken versehen wurde. Prof. Dr. F. Stüssi hatte dazu im Jahre 1950 geschrieben: «Das hier vorgeschlagene und ausgeführte System des unsymmetrischen Dreigelenkbogens ist keine Normlösung und sicher auch nicht für alle möglichen Anwendungsfälle die zweckmässigste Ausführungsform.» Wiederholt vorgenommene Nachkalkulationen haben ergeben, dass zusätzlich anzubringende Nutzlasten die Sicherheit der Konstruktion erheblich senken würden. Andererseits können aber die wirtschaftlichen Vorteile, welche die Konstruktion, die späteren Änderungen in den Installationen miteinbezogen, dem Unternehmen eingetragen hat, nicht übergangen werden.

Die Stahlkonstruktionen der Werfthalle II sind die durch die Randbedingungen der Bauherrschaft am stärksten belasteten. Das einem bestimmten Flugzeugtyp angepasste Kojensystem, wegen der Auslastbarkeit der Krane im Torsektor durchgehend geöffnet und stützenfrei, ergab ein auf den ersten Blick schwer erfassbares System von neun verschiedenen Tragelementen. Je nach dem Grad der Beanspruchung wurde St. 37 und St. 44 verwendet und ein grosser Teil der Konstruktion verschweisst, die Kragbinder sind mittels Passschrauben zusammengebaut und für die Zugstösse der Fachwerkpfetten wurden erstmals hochfeste Schrauben verwendet.

Die Stahlkonstruktionen für die Vergrößerung der Werft I haben wesentlich höhere Nutzlasten zu tragen als diejenigen der vorangegangenen Konstruktionen, weshalb für Binder und Hauptträger St. 52 verwendet werden musste. Sämtliche Anschlüsse sind mit hochfesten Passschrauben ausgeführt, wobei die Kontaktflächen nicht besonders behandelt, sondern aus fabrikationstechnischen Gründen mit Zinkstaubfarbe überstrichen sind. Beim Hauptträger mit 6,68 m Netzhöhe ist man an den konstruktiven Grenzen der einfachen I-Profile mit Lamellen auf den Gurtungen angelangt. Dank der HV-Passschrauben konnten jedoch die Knotenbleche für durchwegs einschnittige Anschlüsse kleiner gehalten werden als beim genieteten Hauptträger der alten Halle, was sich auf die Nebenspannungen günstig auswirkte. Die Torträgerkasten und der mittlere Kranbahnkastenträger sind voll geschweisst, sie liessen aber trotz Werkstatt-Anfertigung an Masshaltigkeit zu wünschen übrig. Für den neuen Hallenteil wurde das Konstruktionssystem des alten übernommen und damit auch formal an den vorhandenen Hallenteil gebunden.

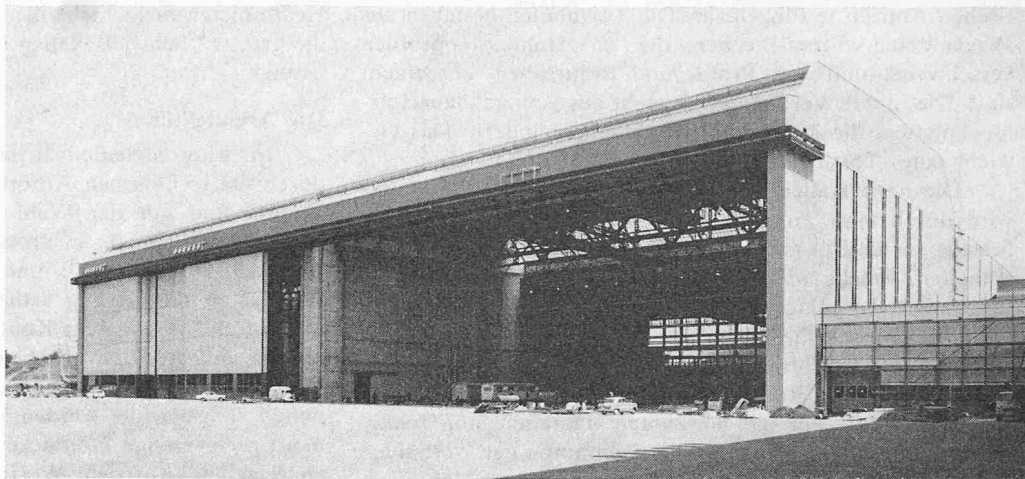
### Die Dacheindeckungen

Dacheindeckungen von Hallenbauten sind nicht nur vom Standpunkt des Ingenieurs aus gewichtsmässig, sondern auch von demjenigen des Architekten in ästhetischer und funktioneller Hinsicht schwer zu lösende Elemente. Auf dem Flughafen Kloten sind alle Hallendächer mit einer Wärmeisolation ausgerüstet, die ausserhalb der Stahlkonstruktionen aufgebracht ist.

In der Werfthalle I ist folgender Aufbau vorhanden: 2 cm starke, zementgebundene Holzspanplatten (Perfekta-platten); Holzsparrenlage belüftet, mit 2,5 cm Glaswolle-Matte; 27 mm starke Holzschalung in Nut und Kamm;

Bild 4. Vergrösserte Werft I, umgebaut im Jahre 1969. Ansicht von der Torfront. Der vordere Teil wurde neu erstellt

(Aufnahme A. Rutishauser)



Aluman-Doppelfalzdach. Gefälle 5,9%; max. Eindeckungs-länge 14,2 m. Die Eindeckung hat sich bewährt, der Unterhalt ist gering.

Die Dachhaut des Hangars zeigt folgenden Querschnitt: Holzsparrenlage; 5 cm starke Perfektaplatten; Contrelattung; Aluman-Wellband. Bogendach mit 53%-Traufangente; max. Eindeckungslänge 24 m. Die Eindeckung bringt jährlich grosse Unterhaltskosten, da die Art der Verschraubung der Wellbänder mit der Contrelattung den Wärmedehnungen zu wenig Spielraum lässt.

Die Werft II ist folgendermassen eingedeckt: Holz-sparrenlage; 7,5-cm-Perfektaplatten; Contrelattung; Aluman-Wellband. Gefälle 16%; max. Eindeckungslänge 14 m. Während den Tauperioden können kritische Phasen durch Schwellwasser auftreten, welches in die Längsfugen des Wellbandes eindringen kann, sonst ist die Dachhaut in Ordnung und der Unterhalt gering.

Die Dachhaut der Vergrösserung Werft I wurde aus montagetechischen und ästhetischen Gründen neu aufgebaut: 4 m weit gespanntes, selbsttragendes Blechunterdach aus Robertson-Profilen; Holzpfetten mit 5 cm starken Glaswolle-Matten, belüftet; 27-mm-Holzschalung in Nut und Kamm; Aluman-Doppelfalzdach. Gefälle 5%; max. Eindeckungslänge 12 m. Diese Eindeckung hat sich bei der alten Werfthalle I bewährt.

## Die Fassaden und Tore

### Fassaden

Beim Bau der Werft I boten die Fassaden keine unbekannt Probleme, da sie, voll oder aufgelöst, in Eisenbeton ausgeführt wurden und Teil der Tragkonstruktion des Daches bilden. Der Hangar wird in den Längsseiten durch Anbauten in Eisenbeton abgeschlossen, denen ein eigenständiges Oberlicht mit Betongurten und Pfeilern aufgesetzt ist. Die Stirnseite über dem Tor und die gegenüberliegende Wand sind auf einem Stahlträgerrost ganz verglast. Für den Entwurf der Werft II stellte sich die Frage, wie die Giebelwände auszuführen seien, da die Stahlkonstruktion für die Aufnahme der hier anfallenden Windkräfte ungeeignet ist. Zur Ausführung gelangten im Fundament eingespannte Kragplatten von 27,16 m Höhe aus Eisenbeton, die nur kleine seitliche Ausbiegungen aufweisen und deshalb für die Dachhautanschlüsse am geeignetsten erscheinen. Die ausgefachte Rückfassade aus Stahl ist oben auf die Fachwerkpfetten abgestützt, grösstenteils verglast und die Brüstung über dem Anbau ausgemauert.

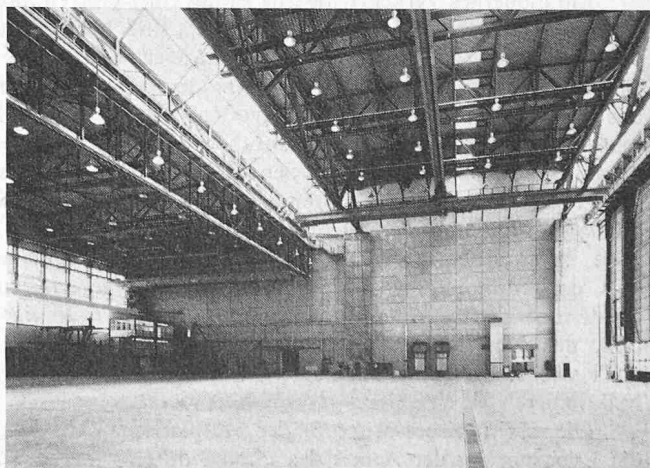
Die Vergrösserung der Werft I warf das Problem auf, wie die eine Höhe von 32 m erreichenden Flächen geschlossen werden könnten. Aus wirtschaftlichen Gründen wurde die Stahlblechwand angewendet: Auf den Windverband abgestützte Ständer sind Traversen in Abständen von rund 2,7 m montiert, auf welche eine glatte Blechinnenwand mit abkanteten Borden, dann eine Glaswolle-Matte und darüber profilierte Thyssenbleche angeschlagen werden; alle Verbindungen sind mit Parker-Kolonschrauben ausgeführt. Die für den Bau Verantwortlichen sind sich des Risikos bewusst, das besonders im Hinblick auf Alterung und Unterhalt eingegangen worden ist, es sollte jedoch im Rahmen der Einsparungen an Investitionsmitteln liegen.

### Tore

Werft I und Hangar sind mit 10,40 m hohen Toren ausgerüstet worden. Für die Werft I wurden Schiebetore, für den Hangar Falttore gewählt. Beide Anlagen sind mit Holz verkleidet und weisen ein durchgehendes Fensterband in Brüstungshöhe auf. Der motorische Antrieb der Schiebetore funktioniert einwandfrei, während das relativ leichte Falttor unter stärkerer Windbelastung nicht mehr bewegt werden kann.

Die Werft II wird mit 16,2 m hohen Schiebetoren, die Flügel paarweise gekoppelt, verschlossen. Auf 192,5 m Länge genügte eine zweibahnige Anlage mit einem moto-

Bild 5. Vergrösserte Werft I. Innenansicht gegen die Brandmauer in Gebäudemitte. Linke Seite: Alter Hallenteil mit dem um 6,32 m gehobenen Dach. Die frühere Unterkante der Binder verlief auf der Höhe des Versteifungsträgers der Rückfassade. Rechte Seite: Neuer Hallenteil mit zwei Hauptträgern. In Dachmitte der Kranbahn-Kasten-träger für zwei unabhängige Kranbrücken. Die Querbänder sind Strahlungsheizungen (Aufnahme A. Rutishauser)





rischen Antrieb je Flügelpaar. Die Torrahmen bestehen aus abgekanteten 5-mm-Blechen, die zu Hohlkastenprofilen verschweisst und mit Profil- und Rohrstäben ausgefacht sind. Die innere Verkleidung besteht aus isolierenden Holzblockplatten, die äussere aus Wellalumanbändern. Das Gewicht eines Torflügels beträgt 11 bis 13 t.

Die neue Hallenfront der Werft I von 148,2 m Länge wird durch zwei Toranlagen verschlossen. Jede Toranlage besteht aus drei in getrennter Ebene fahrenden Verschiebeeinheiten, welche wiederum aus drei Torflügeln gekuppelt sind<sup>3)</sup>. Die Toranlagen sind derart gesteuert, dass sich die drei Verschiebeeinheiten zuerst überdecken und dann gemeinsam weitergefahren werden können. Die 22,5 m hohen Torflügel weisen Rahmenstiele aus zwei verschweissten IHEA 550 auf, um die horizontale Durchbiegung relativ gering zu halten und um die Dichtung der vertikalen Fugen zwischen den Verschiebeeinheiten noch lösen zu können. Die Verkleidung ist ähnlich ausgeführt wie bei der Werft II, das Gewicht eines Torflügels von gleicher Breite erreicht aber 30 t.

### Die Montage

Die Erstellung der Hallenbauten hat in dem hier überblickbaren Zeitraum mit dem Angebot besserer und leistungsfähigerer Hebezeuge grosse Fortschritte gemacht. Für die ersten drei Flugzeughallen standen schienengebundene Portalkrane und schwer verschiebliche Derricks zur Verfügung, welche für die obersten Montagehöhen um 20 m noch ausreichten. Für die Vergrösserung der Werft I konnten jedoch grosse Mobilkrane eingesetzt werden, welche bis 90 t schwere Einbauelemente mühelos und genau auf über 30 m Höhe anheben konnten. Allerdings ist mit diesen Montagehilfen noch kein Kleinzeug, keine Dachendeckung und kein Ausrüstungsgegenstand an exponierter Stelle befestigt. Für die ersten drei Hallen mussten deshalb umfangreiche Gerüste für Arbeitsböden erstellt werden, die die Erstellungskosten der Werft II zum Beispiel mit 2 % der Bausumme belasteten. Bei der Vergrösserung der Werft I konnte dieser Kostenanteil trotz der um durchschnittlich 10 m höheren Halle auf 1 % gesenkt werden, da die schweren Kranbrücken, vorzeitig eingebaut, als Arbeitsböden die ganze Dachuntersicht bedienen konnten.

<sup>3)</sup> Einzelheiten hierüber in «Metallbau» 1969, H. 3, S. 19—31.

Heute bieten nicht mehr die Dächer, sondern die Fassaden die grössten Schwierigkeiten bei der Erstellung von Hallenbauten.

### Die Architektur

Im Flugzeughallenbau sind die Baukuben weitgehend durch die technischen Anforderungen an das Bauwerk bestimmt, und mit der Wahl des Tragsystems sind bereits die Strukturelemente in grossen Zügen vorgezeichnet. Der Architekt wird deshalb unter für ihn erschwerten Umständen an die Lösung ästhetischer Probleme herantreten müssen und in engerem Kontakt mit dem Ingenieur stehen als bei anderen Bauvorhaben. Immerhin sind viele Mittel vorhanden, die im Rahmen der erforderlichen Wirtschaftlichkeit angewendet werden können, um die moderne, sich meist gegen riesige Freiflächen öffnende Industrielandschaft zu gestalten. Auf dem Werftareal Zürich-Kloten haben es die beteiligten Architekten *K. Kündig*, *D. Casetti* und *E. Rohrer* verstanden, mit einfacher Sachlichkeit die massstäblich richtigen Akzente zu setzen und so die ansprechenden Bilder geschaffen, deren auch der Flughafen Zürich für die Werbung bedarf.

### Folgerungen und Ausblick

Wenn auch die Flugzeughallen auf dem Flughafen Zürich-Kloten nach verschiedenen Rezepten errichtet wurden, lässt sich doch feststellen, dass sie als Randüberbauungen – ohne die grosszügigen Landreserven ausländischer Standorte zu besitzen – nach und nach zu Werkstätten grosser Auslastung und Flexibilität entwickelt wurden. In zeitlicher Staffelung können auf engstem Raume alle im Verkehr stehenden Flugzeugtypen gewartet und überholt werden. Dadurch werden nicht nur Arbeitskräfte gespart, sondern die Kosten für die Infrastruktur und die internen Dienstleistungen können klein gehalten werden.

Mit den beschriebenen Bauten ist die Entwicklung in Zürich nicht abgeschlossen, im Gegenteil, mit der zu erwartenden Ausweitung des Flugverkehrs müssen die Verhältnisse nicht nur den einzelnen Flugzeugen, sondern auch der zahlenmässigen Zunahme der modernen Transportmittel angepasst werden.

Adresse des Verfassers: *P. Huber*, dipl. Ing., Teilhaber der Firma Huber-Winiger-Kränzlin, dipl. Bauingenieure ETH/SIA, Löwenstr. 1, 8001 Zürich.

## Eine rechner-gesteuerte Prüfeinrichtung für Flugzeuelektronik

Von *F. Hottinger*, Zürich

DK 629.138.5:629.1.05:681.3

### Einleitung

Ein modernes Verkehrsflugzeug ist mit einer grossen Zahl von Instrumenten aller Art ausgerüstet. Es sind Instrumente dabei, die einen Sachverhalt messen und anzeigen (wie etwa ein Thermometer), andere ermitteln einen anzuzeigenden Wert aus einem oder mehreren anderen Werten (z.B. ein Drehzahlmesser oder der künstliche Horizont), wieder andere führen komplizierte Rechnungsoperationen durch, deren Ergebnisse angezeigt werden (beispielsweise das Fluglageleitsystem), schliesslich dienen andere nicht nur der Berechnung und Anzeige, sondern betätigen auch Steuergeräte des Flugzeuges (z.B. der Autopilot). Es gibt Instrumente, die andere Instrumente überwachen und allfällige Funktionsfehler anzeigen (z.B. das Instrumenten-Vergleichs-Warngerät), und es gibt auch solche, die völlig unabhängig von äusseren Einflüssen funktionieren wie eine Uhr.

Die schrittweise Einführung der automatischen Landung, die Erleichterung der Arbeit des Piloten durch zunehmende

automatische Überwachung zahlreicher Bordsysteme sowie die mit der zunehmenden Flugverkehrsdichte aufwendigeren Navigationssysteme haben zur Folge, dass die Bordelektronik moderner Flugzeuge einen hohen Grad an Komplexität, Packungsdichte und Präzision erreicht hat (Bild 1). Die Ausfallrate bzw. die mittlere Zeit zwischen Ausfällen dieser elektronischen Geräte liegt ungefähr zwischen 200 und 5000 h. Zur Gewährung einer hochprozentigen Verfügbarkeit der Flugzeuge für den Flugbetrieb stellt sich dadurch den Unterhaltsstellen der Fluggesellschaften ein nicht zu unterschätzendes Problem bezüglich bereitzustellenden Arbeitsstunden, teuren Prüfeinrichtungen und teuren Ersatzgeräten. Für eine manuelle Funktionsprüfung an den Komponenten der oben erwähnten Systeme muss mit Prüfzeiten in der Grössenordnung von 8 h/Gerät gerechnet werden. Dabei hat die Erfahrung gezeigt, dass im Durchschnitt 50% aller zu prüfenden Geräte fehlerfrei sind oder zumindest der vom Piloten gemeldete Mangel in der