

# Bauen für die grossen Flieger

Autor(en): **Schlaich, Jörg / Meese, Ludwig**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **129 (2003)**

Heft 40: **Leichte Konstruktionen**

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-108825>

## **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.

# Bauen für die grossen Flieger

**Im Jahre 2006 sollen die ersten Exemplare eines neuen Grossraumflugzeuges von Airbus mit einer Kapazität von über 600 Passagieren an die Fluggesellschaften ausgeliefert werden. An einem der über ganz Europa verteilten Produktionsstandorte, in Hamburg-Finkenwerder, wurde das bestehende Gelände durch eine Aufschüttung in der Elbe mehr als verdoppelt. Darauf werden im Moment mehrere sehr grosse Hallen errichtet.**

Der erste Airbus flog am 28. Oktober 1972 und startete 1974 in den Liniendienst. Heute verlassen jeden Monat rund 30 Flugzeuge die Produktion. Grösster (und mittlerweile einziger) Konkurrent von Airbus ist der im amerikanischen Seattle beheimatete Boeing-Konzern. Im Bereich der Grossraumflugzeuge besitzt dieser mit dem Typ B-747 ein lukratives Monopol, denn die nächstkleinere Maschine, der A340 von Airbus, hat bereits eine deutlich geringere Transportkapazität. Airbus evaluierte in einer Machbarkeitsstudie die Wirtschaftlichkeit und Rentabilität für ein noch grösseres Verkehrsflugzeug – und hat diese, ausgehend von einer prognostizierten Verdoppelung des Luftverkehrsaufkommens in den nächsten 15 Jahren, positiv beurteilt. Damit fiel der Startschuss für die Entwicklung eines Langstreckenflugzeuges in einer völlig neuen Grössenordnung, mit zwei Passagierdecks für bis zu 656 Passagiere (Bild 1). Länge und Spannweite werden je ungefähr 80 m betragen.

## Teile aus ganz Europa

In Deutschland wird rund ein Drittel der Airbus-Flugzeuge entwickelt und gebaut. Aus den deutschen Produktionsstätten Hamburg-Finkenwerder, Bremen, Buxtehude, Laupheim, Nordenham, Stade und Varel

stammen grosse Teile der Rümpfe und die Seitenleitwerke. Die Innenausstattung erfolgt für fast alle Typen im Werk Hamburg-Finkenwerder. Frankreich ist verantwortlich für die Cockpits, einige Rumpfsektionen und die Endmontage fast aller Typen in Toulouse. Die Flügel stammen aus England, Höhenleitwerke und kleinere Teile kommen aus Spanien.

Im Jahre 2000 wurde entschieden, Montage und Auslieferung des neuen Grossraumflugzeugs mit dem Kürzel A380 auf die Standorte Toulouse und Hamburg aufzuteilen. In Hamburg werden Bug-, Heck und ein Mittelstück des Airbus-Rumpfes in Abschnitten aus den per Schiff aus Nordenham (GB) angelieferten Rumpfschalen-Teilen zusammengesetzt (Bild 2). Die fertigen Rumpfsektionen werden anschliessend per Schiff nach Toulouse transportiert und dort im Rohbau zusammengebaut. Das so bereits flugfähige Flugzeug fliegt dann zurück nach Hamburg, wo es die komplette Innenausstattung erhält und lackiert wird.

Die Kundenauslieferung schliesslich findet für den europäischen und den asiatischen Markt in Hamburg und für den restlichen, vorwiegend amerikanischen Markt in Toulouse statt.

## Hamburg

In Hamburg wurde das bestehende Produktionsgelände für die oben genannten Zwecke erweitert (Bild 3): Das Erweiterungsgelände wird durch Einbringen von 11 Millionen m<sup>3</sup> Sand auf eine bebaubare Höhe von etwa 5 m ü. M. erhöht. Durch das Einbringen von Vertikaldrains im Raster von 1 mal 1 Meter wird die Konsolidierung des überschütteten Schlicks extrem beschleunigt, so dass grössere Setzungen des Geländes für die Betriebsphase unwahrscheinlich sind. Ausserdem entstanden eine Hafenanlage für den Schiffstransport der Rumpfsektionen sowie Hochwasserschutzanlagen um das Erweiterungsgelände.

Im November 2000 beauftragte Airbus fünf Architekturbüros mit einem Gestaltungsgutachten für die Infrastruktur der Produktion in Hamburg. In einer ersten Baustufe war für eine Monatsproduktion von







vier Flugzeugen folgendes Programm gefordert (Bild 4):

- Sektionsbauhalle für die Fertigung der Rumpfsektionen (Mittel- und Heckteil des Rumpfes)
- Ausstattungsmontagehalle mit vier Flugzeugbauplätzen
- Lackierhalle mit zwei Flugzeuglackierplätzen
- Pre-Flight-Hangars
- Fünf nicht überdachte Standplätze zur Flugzeugprüfung
- Verlängerung der Start- und Landebahn

Später soll in einer zweiten Baustufe auf dem erweiterten Werksgelände noch einmal dasselbe Gebäudevolumen errichtet und damit die Produktionsfläche verdoppelt werden.

### Aussen liegende Fachwerke

Das gestalterische Konzept des siegreichen Teams (vgl. «Am Projekt Beteiligte»): Der Entwurf der Hallenfassaden und des Tragwerks lehnt sich stark an der technisch-funktionalen Ästhetik der Industrielandschaft im Hamburger Hafen an. Ein effizientes und sichtbares Hallentragwerk aus hohen Fachwerkträgern soll sich tagsüber auch auf Distanz wirksam abzeichnen sowie zur Erzielung der gleichen Wirkung nachts illuminiert werden. Das aussen liegende Haupttragwerk reduziert das beheizte Bauvolumen, und die Trägerhöhe kann optimal gewählt werden. Der Korrosionsschutz ist mittels Mehrfachbeschichtungen langfristig auch ohne Wartungsarbeiten gesichert.

Die unterschiedlich gerichteten Sektionsbau-, Ausstattungsmontage- und Lackierhallen werden durch eine gleichartige Kubatur und ein gleichartiges Träger- und Fassadensystem vereinheitlicht. Sämtliche Fassaden einschliesslich der grossen Hangartore sind einfache Pfosten-Riegel-Konstruktionen mit einem gleichen Raster, das preisgünstige Zuschnitte der Glasfenster und der Sandwichplatten erlaubt. Durch die Transparenz der Ausstattungshangars mittels der verglasten Nordtore kann vor allem nachts die Produktion vom nördlichen Elbeufer und von den vorbeifahrenden Schiffen aus eingesehen werden.

### Vorgefertigt

Die Montage von Trägerstrukturen in vorgefertigten Abschnitten ist schnell und erfolgt hier in linearen Arbeitsschritten. Die Dacheindeckung mit Profilblechen und Folien sowie die Montage der Pfosten-Riegel-Fassaden folgt der Tragwerksmontage schrittweise. Der Anteil der transparent verglasten Hangartore beschränkt sich auf die Nordseite. Die übrigen Tore werden teilweise transluzent (Tageslicht), ansonsten opak beplankt.

Grundsätzlich haben alle Dachtragwerke ein aussen liegendes Haupttragwerk aus weitgespannten Fachwerkträgern mit 10 m Bauhöhe und ein innen liegendes, am Hauptfachwerk abgehängtes Nebentragwerk aus Fachwerkbindern, über 30 bis 40 m spannend. Die Dachhautunterkonstruktion wird gebildet von einer Pfettenlage aus I-Profilen mit aufgelegtem Trapezblech. Die Pfetten liegen in den Knoten des Nebenfachwerks auf

und bilden mit horizontalen Diagonalen im Dachverband eine steife Dachscheibe. Die Pfettenspannweite ergibt sich aus dem Systemraster des Hauptfachwerks bzw. aus dem Binderabstand der Nebenfachwerke. Ausgesteift werden die Hallen durch Vertikalverbände in der Mitte der Hallenseiten. Eine zwängungsfreie Ausdehnung der fugenlosen Dachscheibe ist gewährleistet.

### Platz für das Leitwerk

In der Ausstattungsmontagehalle (Bild 5) erhalten die aus Toulouse eingeflogenen Maschinen ihre Innenausstattung. Über jedem der vier Flugzeugbauplätze spannen in Hallenquerrichtung zwei 10 m hohe und 84 m lange aussen liegende Fachwerkbinder als Kragträger. Unterstützt werden die Kragträger in der Mitte durch einen über die gesamte Hallenlänge von 370 m durchlaufenden Längsfachwerkträger, der immer zwischen zwei Abstellplätzen gestützt wird (Bild 6). Die Kragträger kragen über 36 m frei aus, um im Torbereich eine volle Öffnungsbreite der Hallennordseite zu ermöglichen. Die innen liegenden Nebenfachwerkbinder sind von den Hauptfachwerkbindern unten abgehängt. Im Torbereich ist die Dachebene jeweils zwischen den zwei Kragträgern zur Aufnahme des Seitenleitwerks auf die Höhe des Obergurtes angehoben.

Für die Dachkonstruktion werden wie bei der Sektionsbauhalle überwiegend geschweisste Hohlkastenprofile aus Konstruktionsstahl S 355 verwendet. Die Profile des Hauptfachwerks haben bei Blechdicken von 20 bis 80 mm folgende Abmessungen:

- Ober- und Untergurt Längsträger: 1100 / 700 mm
- Pfosten und Diagonalen: 620 / 700 mm
- Ober- und Untergurt Kragträger: 500 / 400 mm
- Pfosten und Diagonalen: 300 / 400 mm

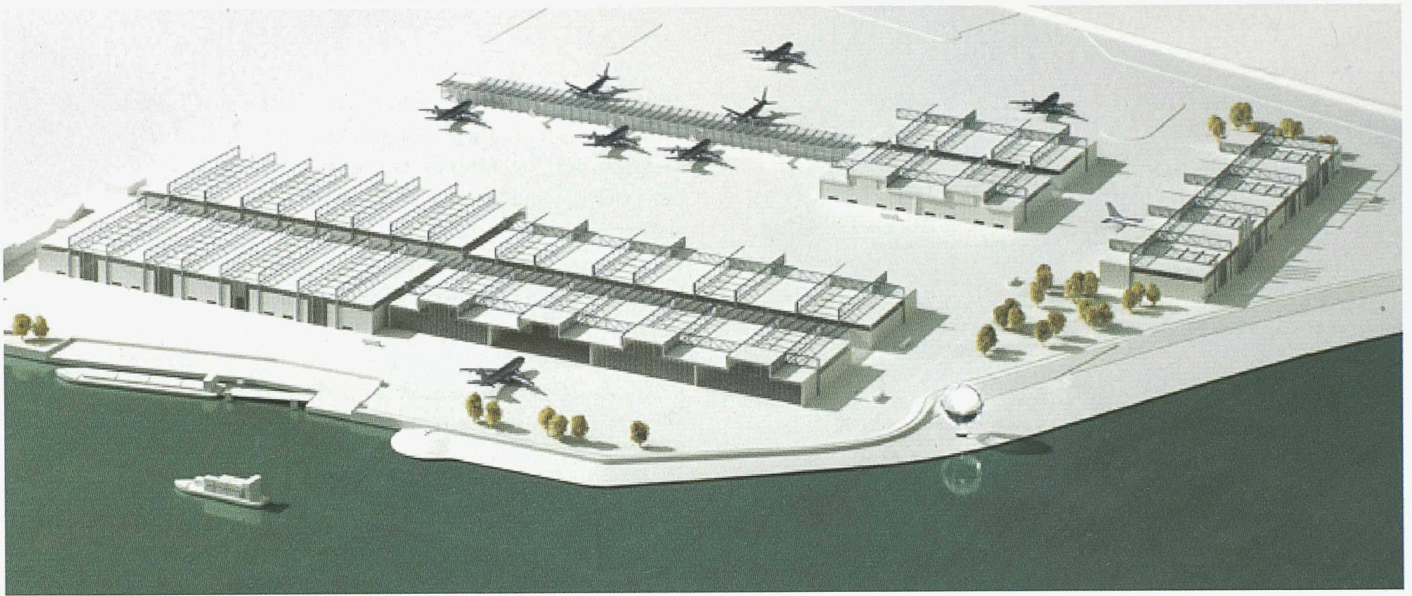
Das Tragwerk wird für Eigengewichtsverformungen überhöht gebaut. Die vertikalen Verformungen unter Verkehrslast betragen an der Kragträgerspitze maximal 30 cm und horizontal in Längsrichtung maximal 10 cm.

### Bemessung am Stabwerk

Nach einer Vorberechnung und Vorbemessung «von Hand» erfolgte die genaue, geometrisch nichtlineare Schnittgrössenermittlung für beide Dachtragwerke am räumlichen Stabtragwerk (Bild 6). Die Berechnung am Gesamtsystem ist bei diesen grossen Bauwerken zwingend notwendig, da die an einfachen, ebenen Teilsystemen berechneten Schnitt- und Verformungsgrössen zum Teil erheblich kleiner sind und damit unterbewertet würden. Insbesondere der Einfluss der Imperfektionen, der Temperaturlasten und der Zwänge in der statisch unbestimmten Dachscheibe auf die Schnittgrössen des Hauptfachwerks und die Dachverformungen in vertikaler Richtung (Kranbetrieb) sowie in horizontaler Richtung (Fassadenanschlüsse) ist von grosser Bedeutung.

Die an den Knotenpunkten der Fachwerkbinder zusammentreffenden Gurt- und Füllstäbe sind miteinander voll verschweisst. Dabei liegen die Übergänge der Knotenbleche zum ungestörten Stabquerschnitt ausserhalb des Knotens. Wegen des günstigen Kraftflusses und der einfacheren Herstellbarkeit wurden die Profil-





4

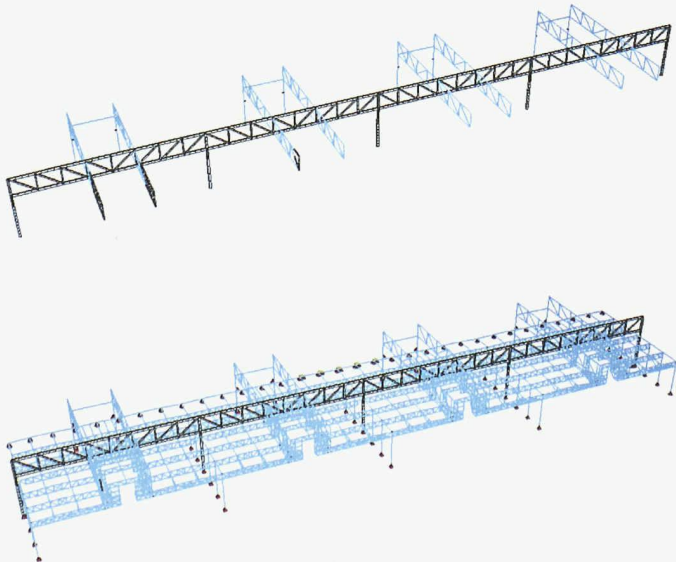
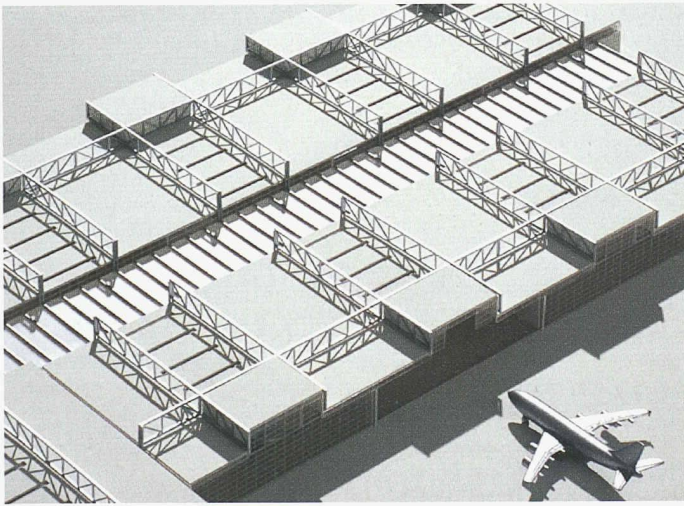
Modellbild des Erweiterungsgeländes mit den Hallenneubauten, 1. und 2. Baustufe. Gebaut wird vorläufig von allen Hallen jeweils etwa die Hälfte. Links: Sektionsbauhalle, Mitte: Ausstattungsmontagehalle, Rechts: Lackierhalle, Hinten: Pre-Flight-Hangar und Auslieferungszentrum

5

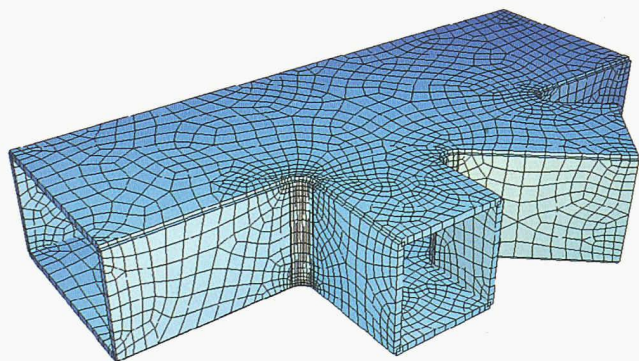
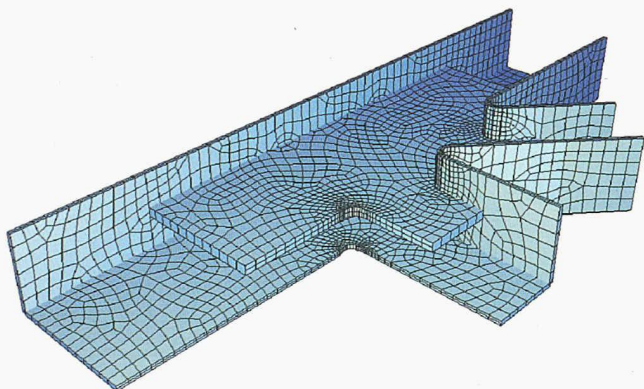
Tragstruktur der Ausstattungsmontagehalle, 1. und 2. Baustufe. Das Haupttragwerk besteht aus 10 m hohen, aussen liegenden Fachwerkträgern, die quer zur Halle 84 m lang sind, wovon 36 m frei auskragen. Die Aufbauten nehmen das rund 26 m hohe Seitenleitwerk der A 380 auf

6

Strukturmodell der Ausstattungsmontagehalle. Oben: Hauptfachwerk aus Längs- und Kragträgern, unten: Haupt- und Nebenfachwerk. Die für jeden Flugzeugmontageplatz frei überspannte Fläche beträgt rund 80 mal 100 m, wobei die Nordfassade zur Einfahrt der Flugzeuge ebenfalls stützenfrei bleiben musste







7

**FE-Modelle von Fachwerk-Knoten. Links unverstärkt mit dickwandigen Knotenblechen, rechts verstärkt mit einem Mittelblech. Für einen effizienten Kräftefluss im Knoten sowie aus ästhetischen Gründen wurde die Breite von Diagonalen und Gurten immer gleich gross (700 mm) gewählt**

breiten sämtlicher Stabquerschnitte eines Binders gleich gewählt. Somit ergeben sich keine seitlichen Versprünge der Stegbleche, was den Kraftfluss positiv beeinflusst. Die Knoten müssen im Strukturmodell wegen der grossen Querschnittsabmessungen (Gurthöhen 110 cm, Gurtbreiten 70 cm) als biegesteif betrachtet werden. Eine Modellierung der Fachwerkbinder mit gelenkigen Knoten ist nicht hinreichend.

Die Knoten­tragfähigkeit wurde über den Spannungsnachweis elastisch-plastisch am FE-Modell ermittelt (Bild 7). So konnten auch die Blechdicken der Knotenbleche optimiert und auf die Anordnung eines dritten, mittleren Knotenblechs weitgehend verzichtet werden.

### Baldiger Produktionsstart

Im Laufe des Jahres 2002 wurde der Rohbau der Sektionsbauhalle errichtet. Der Innenausbau sowie der Einbau der Fertigungseinrichtungen für die Produktion erfolgte bis zum Frühsommer 2003.

Mit dem Bau der Ausstattungsmontagehalle und der Lackierhalle wurde in diesem Jahr begonnen. In diesen beiden Hallen soll ab 2005 produziert werden.

---

Prof. Dr.-Ing. Drs. h. c. Jörg Schlaich, Dr.-Ing. Ludwig Meese, Schlaich Bergermann und Partner, Stuttgart.

Der vorliegende Artikel ist in einer längeren Fassung bereits in der Zeitschrift «Stahlbau» vom April 2003 erschienen. Abdruck mit freundlicher Genehmigung von Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin.

#### AM PROJEKT BETEILIGTE:

##### BAUHERRSCHAFT:

Airbus Deutschland GmbH, Hamburg

##### ARCHITEKTUR:

von Gerkan, Marg und Partner, Hamburg

##### INGENIEURE:

Schlaich Bergermann und Partner, Stuttgart (Dachtragwerk), Ingenieurbüro Dr. Binnewies, Hamburg (Gründung und Rohbau), Heinze Stockfisch Grabis und Partner, Hamburg (Haustechnik)

##### PRÜFINGENIEURE:

Dr.-Ing. Poll, Hamburg (Sektionsbauhalle), Dr.-Ing. Weber, Hamburg (Ausstattungsmontagebauhalle)

##### UNTERNEHMER:

Arge Strabag, NL Hamburg mit Donges Stahlbau, Darmstadt (Sektionsbauhalle), Donges Stahlbau, Darmstadt (Stahlbau Ausstattungsmontagehalle), Müller-Altwater, Stuttgart (Rohbau Ausstattungsmontagehalle)