Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

Band: 2 (1936)

Artikel: Le développement des constructions de charpentes métalliques

Autor: Worch, G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-2989

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: 02.10.2025

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

VIIa 9

Le développement des constructions de charpentes métalliques.

Entwicklungslinien im Stahlhochbau.

Development of Structural Steel-Work.

Dr. Ing. G. Worch,
Professor an der Technischen Hochschule München.

On peut choisir différents chemins pour l'étude des constructions de charpentes métalliques. La division adoptée dans la littérature professionnelle — et avant tout dans les manuels — groupe les ouvrages suivant le mode d'action statique de leurs éléments.

Dans le présent rapport nous voulons au contraire grouper les ouvrages suivant leur but. Le développement historique est facile à établir ainsi.

Nous traiterons en général d'ouvrages exécutés en Allemagne et ce n'est qu'exceptionnellement, à titre de comparaison, que nous parlerons d'ouvrages construits à l'étranger.

Notre étude se base principalement sur les articles parus dans les revues techniques. Nous indiquerons toujours la source de nos descriptions et s'il existe sur le même ouvrage plusieurs publications, nous n'indiquerons que la plus importante.

Halls de gares.

Au cours de l'année dernière les Chemins de fer allemands ont pu fêter leur centième anniversaire. Durant cet intervalle de temps les dimensions, les poids et les vitesses des véhicules ont crû dans des proportions importantes. Ce n'est qu'au début que les halls métalliques de gares ont suivi ce développement dans le sens d'un agrandissement permanent.

Dimensions.

Les plus anciens halls de gares sont constitués en général de fermes simples reposant sur des colonnes encastrées. Les fermes sont soit des poutres réticulées en forme de faucille — Munich,[1] construit en 1876—84, — soit des arcs à âme pleine avec tirant destiné à supporter la poussée horizontale — Münster i. W.;[1] Hannovre[2] construits 1878—80 —. Les colonnes de ces halls sont constituées soit par des murs, soit par de l'acier fondu. Les portées restent dans des limites restreintes (20—40 m).

---

[1] *Jordan-Michel:* Die künstlerische Gestaltung von Eisenkonstruktionen 1913, 2e vol., p. 44.
[2] *Jordan-Michel:* p. 48.

On construisit bientôt les premiers halls de gares à grande portée (fig. 1) dont les arcs en treillis franchissent plusieurs quais. Quelques-uns de ces halls sont rassemblés dans le tableau suivant et disposés suivant l'année de construction:

Tableau 1: Halls à grande portée.

Gare	Construit en	Longueur	Portée	Hauteur	Littérature
Berlin, Schles. Bhf.	1881—82	207	54.4	19.0	Foerster[3] p. 662
Francfort s/M.	1886—87	186	56.0	28.6	„ p. 759
Brême	1888—89	131	59.3	28.4	Jordan-Michel[1] p. 58
Cologne	1890—92	254	63.5	24.0	Foerster p. 770
Dresde	1895—98	174	59.0	30.0	„ p. 764
Hambourg	1902—04	173	73.0	35.0	„ p. 794

A côté des ces grands halls se trouvent souvent de petits halls voisins, par ex. dans les gares de Cologne et Dresde. On a érigé souvent plusieurs grands halls l'un à côté de l'autre; la Gare principale de Francfort s/M possède trois grands halls identiques.

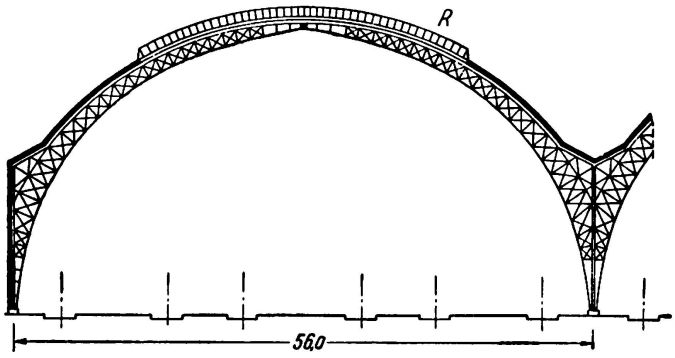


Fig. 1.
Gare principale de Francfort s/M.
R lanterneau en chenille

Les fermes en treillis de ces halls sont en général disposées par pairs; les entretoisements qui relient deux de ces fermes en font ainsi des systèmes spatiaux. Les distances de deux fermes assemblées se montent de 0,80—1,20 m.

Ces halls de gares présentent sans doute un aspect monumental. Ils donnent au voyageur une première impression de la ville dans laquelle il débarque. Au point de vue pratique ces halls présentent cependant de gros inconvénients qui se sont fait sentir de plus en plus au cours des années. Outre le coût de construction relativement très élevé l'entretien permanent qui est exigé par les grandes dimensions de ces halls et par le fait même les échafaudages nécessaires sont compliqués et coûteux et par conséquent ne peuvent être exécutés que dans une mesure réduite.

Les administrations des compagnies de chemins de fer en sont venues depuis de nombreuses années à la construction de halls de portées moyennes et petites même pour les gares importantes.

[3] *Förster:* Die Eisenkonstruktionen des Ingenieur-Hochbaues, 5e édition 1924.

Avec le temps deux types de halls se sont imposés:

a) Les petits halls qui traversent un quai et deux voies avec une portée d'env. 20 m.

b) Les halls de moyenne grandeur qui franchissent deux quais et quatre voies avec une portée d'env. 40 m.

Dans les deux tableaux suivants nous donnons un aperçu de quelques halls de petites et moyennes grandeurs, suivant l'année de construction.

Tableau 2: Petits halls.

Gare	Construit en	Longueur	Portée	Hauteur	Littérature
Bâle, G. badoise	1911/12	305	24.0 et 20.0	11.5 et 11.0	Foerster p. 749
Karlsruhe	1912/13	—	21.5	13.0	„ p. 753
Oldenburg	1916	153	21.0	8.0	„ p. 754
Francfort s/O.	1926	178	19.35 et 20.75	9.47 et 9.76	Bautechn. 1926, p. 668
Halle s/S.	1934	103	22.75	8.8	„ 1935, p. 67
Düsseldorf	1934	—	20.5	8.3	„ 1931, p. 279 „ 1935, p. 68
Duisburg	1934	—	19.7		„ 1935, p. 68

Tableau 3: Halls moyens.

Gare	Construit en	Longueur	Portée	Hauteur	Littérature
Metz	1907—09	165	32.6 et 42,6	18,0 et 22,0	Foerster p. 785
Leipzig	1911—14	204	42.5 et 41,0	19,7	„ p. 777
Königsberg en Pr.	1928—29	178	37.0 et 42,55	13,67 et 15,62	Bautechn. 1928, p. 659
Liegnitz	1929	120	35,5	19.3	Bauing. 1930, p. 445
Beuthen O/S.	1829—30	141	39.2	13.1	„ 1930, p. 846

Les deux halls de grandeur moyenne de Metz et Leipzig ont encore des fermes en treillis: Le hall de Metz possède des fermes simples tandis que le hall de Leipzig possède encore des fermes doubles. Tous les autres halls de grandeur moyenne, de même que tous les petits halls indiqués ci-dessus sont exécutés à âme pleine.

Evidemment il peut se présenter dans la même gare des halls de petites et moyennes grandeurs. Ainsi par ex. la gare de la Friedrichstrasse[4] à Berlin a deux halls juxtaposés dont le petit — pour le trafic des trams — à une portée de 19 m tandis que celui pour le trafic interurbain est de grandeur moyenne avec une portée de 38,7 m.

Exceptionnellement on exécute encore à l'heure actuelle de grands halls à grande portée, spécialement lorsqu'il s'agit de remplacer d'anciens halls déjà existant par de nouvaux. Comme exemple nous citerons le nouveau hall de la Gare de Silésie[5] à Berlin, qui possède les mêmes dimensions que l'ancien hall, à savoir une portée de 54,35 m et une hauteur de 18,41 m. Les fermes simples à âme pleine remplacent actuellement les anciennes fermes doubles en treillis.

[4] Bauingenieur 1925, p. 321.

[5] Stahlbau 1931, p. 292.

Formes de halls.

La plupart des anciens halls à grande portée — Frankfurt s/M, Brême, Cologne, Dresde — ont une forme en arc (fig. 1); les halls de la Gare principale de Leipzig présentent la même forme.

La forme en arc ne paraît pas appropriée aux nouveaux halls de petite portée, car cette forme ne permet pas une utilisation complète du gabarit. La forme des fermes évolue donc de l'arc au cadre. Au début, on avait conservé pour la traverse du cadre la forme en arc. C'est ainsi que sont les halls des gares de Bâle, gare badoise, et Karlsruhe qui ont une traverse en arc de cercle tandis que la traverse des halls de la gare de Oldenburg est disposée suivant une ellipse.

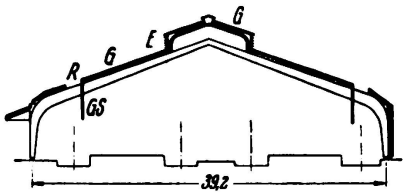


Fig. 2.
Gare de Beuthen O. S.
G verre, GS rideau de verre, E ventilation, R fente à fumée.

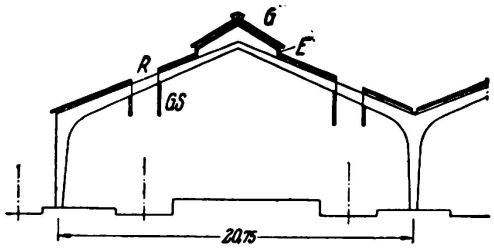


Fig. 3.
Gare de Francfort s/O.
G verre, GS rideau de verre, E ventilation, R fente à fumée.

Ces formes de la traverse exigent un toit incurvé ou présentant plusieurs brisures. Depuis longtemps déjà on a introduit une allure en forme de toit pour la traverse des cadres. Le même développement de la forme arrondie à la forme à angle aigu se présente aussi pour l'exécution des angles de cadre (cf. fig. 2—4). L'introduction de la soudure a fortement influencé ce nouveau mode de construction (par ex. gare de Halle s/S).

Il est intéressant de constater que la forme en cadre, avec traverse en forme de toit, se présente aussi dans quelques halls exécutés autrefois en treillis; comme exemple nous citerons la gare principale de Hambourg.

Les nouveaux halls soudés des gares de Düsseldorf (fig. 5) et Duisburg ont également une forme en cadre mais avec traverse à plusieurs angles.

Eclairage et ventilation.

Les anciens halls à grande portée ont tous des lanterneaux transversaux (fig. 1). En relevant la couverture de ces lanterneaux, ainsi qu'en élevant le toit au-dessus des fermes doubles, on réalisait la ventilation des halls.

Au lieu des lanternaux transversaux on a construit plus tard des verrières longitudinales. Les halls de la gare de Leipzig sont un exemple de ce genre de construction; les lanterneaux sont disposés en escalier pour permettre la ventilation.

Ainsi qu'il est facile de le voir et ainsi que l'expérience le confirme, les lanterneaux se salissent relativement vite directement au-dessous des ouvertures de ventilation. On a disposé à ces endroits une couverture opaque, ainsi par exemple au hall de Beuthen (fig. 2). Les gares que nous avons indiquées jusqu'à présent ont des halls de grandes ou moyennes dimensions. Dans les petits halls,

la question de l'éclairage et de la ventilation fut d'abord résolue de la même façon. Nous citerons comme exemple la gare badoise de Bâle. Un peu plus tard, à l'exemple des halls des gares Gand et Ostende[6], on a laissé ouvert une fente continue au-dessus des voies afin que la fumée puisse être évacuée aussitôt, sans stationner à l'intérieur des halls. Du côté des quais, ces fentes sont fermées par des carreaux de verres suspendus qui protègent les voyageurs contre une pluie tombant obliquement. Une des premières exécutions de ce genre en Allemagne est la gare de Oldenburg.

Alors qu'en général on n'a disposé que d'un rideau de verre au-dessus de chaque voie les fentes du hall de Francfort s/O (fig. 3) sont fermées par un double rideau de verre.

La gare de Beuthen (fig. 2) est une combinaison des deux exécutions. Les deux voies extrêmes sont aérées par des fentes à fumée, tandis que les voies centrales sont aérées par une superstructure en forme de lanterneau.

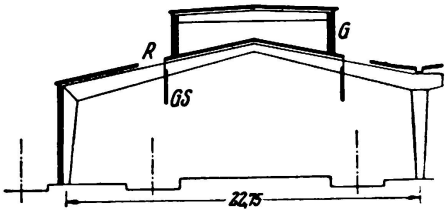


Fig. 4.
Gare de Halle s/S.
G verre, GS rideau de verre, R fente à fumée

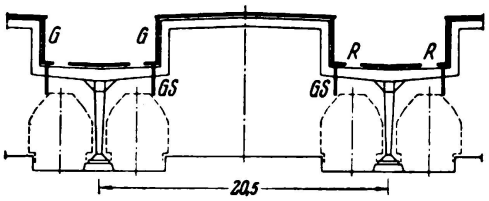


Fig. 5.
Gare principale de Düsseldorf
G verre, GS rideau de verre, R fente à fumée.

Les verrières obliques présentent l'inconvénient d'être rendues obscures par les fortes chutes de neige et d'être exposées au bris des verres; elles se salissent plus rapidement que les verrières verticales. Dans tous les domaines de la construction des charpentes on en vient à l'emploi exclusif des verrières verticales. Les nouveaux halls de la gare de Halle s/S (fig. 4), Düsseldorf (fig. 5) et Duisburg n'ont que des verrières verticales. Il est aussi intéressant de citer le projet qui fut établi en son temps pour la gare de Berlin-Friedrichstrasse[4] (fig. 6). La forme des fermes est semblable à celle des halls de Düsseldorf et Duisburg. Cependant la position des fermes par rapport aux quais, ainsi que la résolution des questions de l'éclairage et de la ventilation, sont fortement différentes. Cette seule comparaison permet de voir le développement des halls de gare.

Halls pour les gares électrifiées.

Avec l'introduction de la traction électrique, les points de vues concernant la disposition des halls de gares se sont modifiés en ce sens que la question de la ventilation est ramenée à l'arrière-plan.

Les nouveaux halls des trams et du chemin de fer de ceinture de Berlin, qui ne possèdent que la traction électrique, recouvrent deux voies avec quai médian; ils appartiennent donc au groupe des halls de petites grandeurs.

---

[6] *Förster:* p. 734.

Tableau 4: Halls des trams et du chemin de fer de ceinture de Berlin.

Gare	Construit en	Longeur	Portée	Hauteur	Littérature
Westkreuz[7]	1928	158	21,6	—	Stahlbau 1930, p. 150
Jannowitzbrücke	1932	142	14,0 à 18,0	5,35 et 8,25	P-Träger 1932, p. 77
Schöneberg	1933	160	19,1 à 23,6	9,1	Stahlbau 1933, p. 105

Les fig. 7 à 9 donnent les sections de ces trois halls.

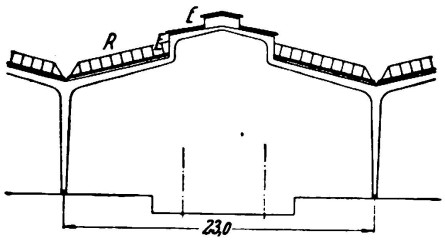


Fig. 6.
Gare de la Friedrichstrasse, Berlin (projet non exécuté)
E ventilation, R fente à fumée.

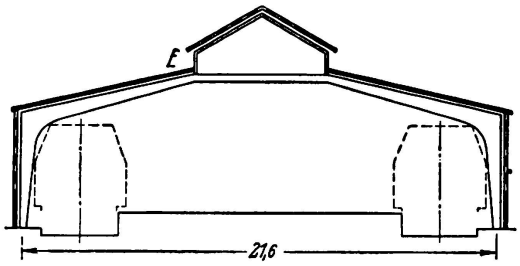


Fig. 7.
Gare de Westkreuz, Berlin.
E ventilation.

La conformation normale des halls de ce genre est un cadre à âme pleine avec traverse légèrement surélevée au milieu, ainsi que sont les gares Westkreuz et Schöneberg. L'application de la section des halls de Düsseldorf dans la construction de la gare de Jannowitzbrücke devait rester une exception, car l'angle tourné vers le bas n'est basé que sur l'évacuation rapide de la fumée lorsqu'il ne s'agit pas de plusieurs halls placés l'un à côté de l'autre.

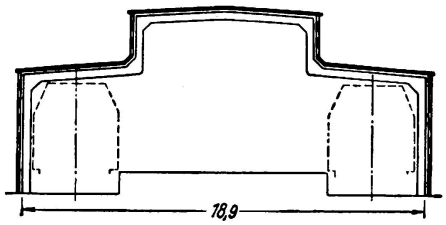


Fig. 8.
Gare de Jannowitzbrücke, Berlin.

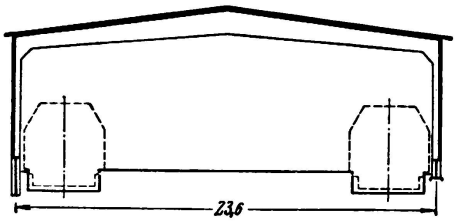


Fig. 9.
Gare de Schöneberg, Berlin (coup).

L'éclairage du hall de la gare de Westkreuz se fait au moyen des parois longitudinales vitrées et au moyen d'une verrière continue longitudinale placée au faîte du toit parce que le chénau n'est que peu au-dessus du gabarit. Les halls

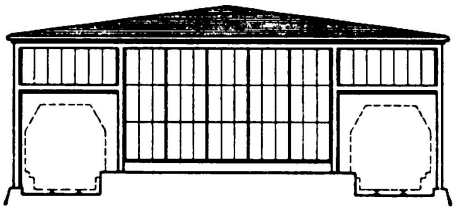


Fig. 10.
Gare de Schöneberg, Berlin (paroi frontale)

de Jannowitzbrücke et Schöneberg ont des verrières verticales. A la gare de Schöneberg les parois longitudinales sont si hautes que, même lorsque les trains sont en gare, l'éclairage du hall est suffisamment assuré.

[7] Dans la littérature cette gare est aussi désignée par „Ausstellung".

Pour l'aération il suffit de disposer des fentes dans les parois ou au-dessus du toit ou des vantaux placés dans les verrières.

Les halls peuvent être fermés jusqu'au gabarit des trains sur leur face avant, lorsque cela est nécessaire. Comme exemple nous montrons à la fig. 10 la paroi frontale de la gare de Schöneberg, qui est complètement vitrée.

Halls de foire et d'exposition.

Le développement des halls d'exposition a beaucoup varié. Ceci est facile à comprendre si l'on se rappelle que les buts des halls de foire et d'exposition peuvent être fortement variables. Une série d'autres considérations entrent aussi en ligne de compte, comme par ex. la grandeur du terrain mis à dispositon, l'argent dont on dispose etc., qui en soi n'ont rien à faire avec la construction des halls, mais qui influencent fortement la construction.

Dimensions.

A l'époque des halls de gares à grande portée de Francfort s/M, Brême, etc. on a exécuté le grand hall des machines[8] de l'Exposition universelle de Paris 1889, qui dépasse de beaucoup, avec ses arcs métalliques à trois articulations de 111 m de portée, tous les anciens halls construits jusqu'alors. On a erigé de même en arc à trois articulation — de même portée à peu près mais de hauteur plus grande — le hall central de l'Exposition universelle de Chicago en 1892.

De même que pour les halls de gares, a succédé à cette période de construction géantes un certain désenchantement. Pour ces expositions temporaires on a souvent choisi les dimensions des ouvrages en partant du point de vue que ces halls pouvaient trouver, après la fin de l'exposition, un autre emploi. Un bel exemple de ce genre est le hall des machines[9] de l'exposition internationale de Leipzig en 1913 qui, après que l'exposition fut terminée fut démoli et reconstruit à Kiel comme hall de construction.

Au nombre des ouvrages permanents il faut ranger la coupole du hall d'exposition[10] érigé en 1908 à Francfort s/M. A la partie centrale de base elliptique de 67×54 m s'adjoignent deux halls rectangulaires de 49×29 m. Le hall est tout-à-fait libre, sans colonnes intermédiaires. Il faut citer ici le hall des machines de l'Allemagne de l'Exposition internationale de Bruxelles en 1910[11]. Quoique la portée de ce hall à trois nefs, de 40 m de largeur totale, paraisse insignifiante par rapport aux halls géants cités au début, ce hall est intéressant par suite du rapport de la portée à la très grande hauteur de l'ouvrage — au milieu du hall cette hauteur est de 22 m.

Les halls de foire et d'exposition permanents, érigés en Allemagne depuis la guerre, peuvent étre décomposés en deux groupes principaux:

a) Les grands halls sans aucune colonne intérieure. Il faut aussi ranger dans ce groupe les halls à plusieurs nefs dont la portée centrale est un multiple de la portée des nefs latérales.

---

8 *Jordan-Michel:* Die künstlerische Gestaltung von Eisenkonstruktionen 1913, 2e vol., p. 61.
9 Bauing. 1924, p. 745.
10 Stahlbau 1928, p. 221.
11 *Jordan-Michel:* 2e vol., p. 66.

Dans le tableau 5 nous indiquons les dimensions de quelques ouvrages de ce groupe.

Tableau 5: Grands halls.

Hall	Construit en	Portée	Longueur	Hauteur	Littérature
Hall d'Exposition I au Kaiserdamm Berlin	1914	49,8	225	20,4	ZdVDI 1915, p. 15
Hall d'Exposition II au Kaiserdamm Berlin	1924/25	47,0	146	20,45	Deutsche Bauzeitg. 1925, constr. et exéc. p. 137
Hall de foire 7, Leipzig	1928	97,8	139	21,0	Stahlbau 1928, p. 5
Hall de foire 19, Leipzig	1928	60,0	140	19,5	Stahlbau 1928, p. 151
Hall de foire 20, Leipzig	1929	50,0	80	18,3	Bautechn. 1930, p, 347
Deutschlandhalle, Berlin	1935	58,2	95	28,5	Deutsche Bauztg. 1935, p. 1003
Halls de foire Masurenallee, Berlin	1936	23,3 41,15	45 97	35,0 18,0	pas encore publié

Dans les halls de foire de la Masurenallee à Berlin, les premiers chiffres indiqués se rapportent à la nef centrale tandis que les chiffres de la deuxième ligne donnent les dimensions des halls latéraux d'exposition.

b) Au deuxième groupe se rattachent les halls dont la portée est relativement petite par suite de la construction d'un pont roulant. Dans la règle ces halls possèdent trois nefs; à la nef centrale sont ajoutées, de chaque côté, des nefs latérales plus basses est souvent aussi plus étroites.

Tableau 6: Petits halls.

Halls	Construit en	nef centrale		nefs latérales		Longueur	Littérature
		Portée	hauteur	Portée	hauteur		
Hall de foire 8, Leipzig	1924	21,88	15,6	11,06	8,0	195	Bautechnik 1925, p. 4
Hall de foire 9, Leipzig	1924	19,5	19,59	19,5	13,1	173	Bautechnik 1924, p. 490
Foire du Nord, Kiel	1925	28,0	15,6	7,0	5,2	171	Bautechnik 1926, p. 33
Hall de foire 21, Leipzig	1925/26	24,0	18,1	10,0	8,0	155	Bauingenieur 1927, p. 1

Forme des fermes et éclairage.

Un éclairage bon et régulier a une valeur tout-à-fait spéciale dans tous les halls d'exposition et de foire, beaucoup plus que dans les autres halls. La disposition de l'éclairage est souvent déterminante pour la conformation des fermes.

Dans le hall des machines de la IBA 1913, on a prévu pour l'éclairage du vaisseau central, au passage des montants à la traverse, des vitres incurvés. Il en est de même dans la forme et dans les dimensions pour le hall de foire 21, Leipzig (fig. 11). L'éclairage de la nef centrale est aussi assuré par des verrières longitudinales placées dans les parois au-dessus des nefs latérales; cependant toutes les verrières sont ici absolument verticales. Le hall d'exposition 9 de Leipzig présente aussi des verrières verticales au-dessous des chénaux de la nef centrale.

Le hall principal pour la Foire du Nord à Kiel (fig. 12) possède un toit en escalier avec séries de fenêtres verticales dans les différents escaliers. Au contraire de cette construction dans laquelle la construction du toit en bois repose sur les cadres métalliques à trois articulations, on a attribué une grosse importance

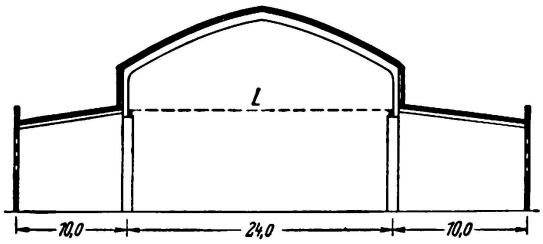


Fig. 11.
Hall de foire 21, Leipzig
L pont roulant de 20 t.

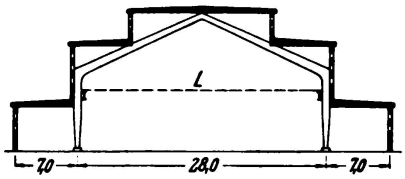


Fig. 12.
Hall principal de la Foire du Nord à Kiel
L pont roulant.

lors de la construction du hall de foire 8 à Leipzig (fig. 13) à ce que la vue intérieure du hall soit libre et que la construction portante et la couverture s'accordent bien. Entre les parties portantes et les parties portées il ne devait exister aucun espace.

Tandis que les petits halls dont nous venons de parler étaient tous exécutés en construction à âme pleine, la poutre réticulée prend le dessus dans les ouvrages à grande portée.

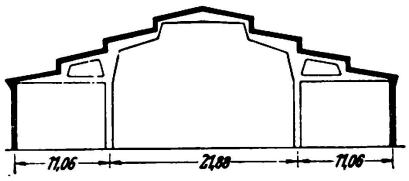


Fig. 13.
Hall de foire 8, Leipzig
On a prévu la disposition éventuelle d'un pont roulant.

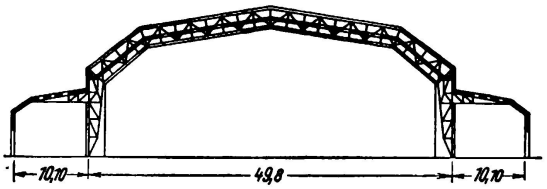


Fig. 14,
Hall d'exposition I au Kaiserdamm, Berlin.

Sur le désir du jury, la construction en treillis du hall d'exposition 1 au Kaiserdamm à Berlin (fig. 14) fut complètement recouverte. Le toit se trouve à la demi-hauteur des fermes (ceci afin d'éviter une double couverture). La partie des fermes en treillis qui ressort du toit est recouverte par un coffrage de bois avec carton bitumé; la partie intérieure des fermes fut recouverte d'une couche de rabitz. Les lanterneaux sont disposés dans la partie médiane des fermes.

Le hall 2 au Kaiserdamm à Berlin (fig. 15) est une construction assez semblable, tant au point de vue des dimensions qu'au point de vue de la forme des fermes, cependant ces dernières sont exécutées à âme pleine. La traverse des fermes en cadre à trois articulations est régulièrement incurvée et on la voit complètement de l'intérieur du hall. Les lanterneaux se trouvent dans la partie extérieure la plus inclinée du toit du hall central. La surface utilisable d'exposition a été fortement agrandie par la galerie placée sur le pourtour des nefs latérales.

Le hall 20 (fig. 16) de la Foire de Leipzig est aussi exécuté en construction à âme pleine. Les fermes sont des poutres à âme pleine rivées et reposent sur des colonnes encastrées et en forme de treillis dans la partie inférieure. L'éclairage se fait au moyen de verrières verticales de 12 m de hauteur placées dans les parois latérales.

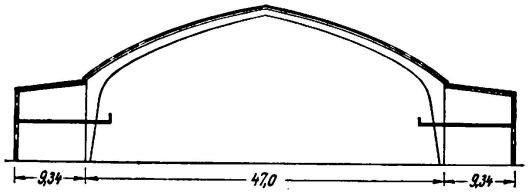


Fig. 15.
Hall d'exposition II au Kaiserdamm, Berlin.

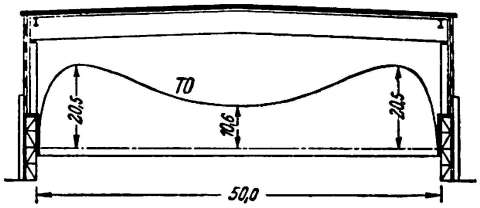


Fig. 16.
Hall de foire 20, Leipzig
TO courbe de l'éclairage journalieur.

Ainsi que le montrent les courbes de l'éclairage journalier[12], la clarté au milieu du hall est un peu plus grande que dans les parties situées près des fenêtres dans des halls de ce genre avec fenêtres placées seulement dans les parois latérales. Afin de rendre régulière la répartition de l'éclairage dans le hall 19 de 10 m plus large environ (fig. 17) et de pouvoir s'en tirer cependant avec des verrières verticales, on a prévu une disposition des fenêtres suivant la fig. 18 qui ne demande aucune explication complémentaire.

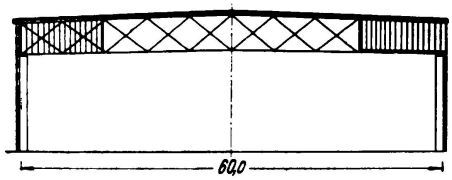


Fig. 17.
Hall de foire 19, Leipzig (coupe).

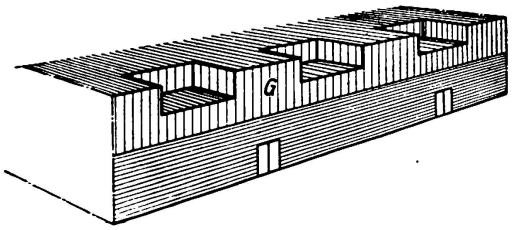


Fig. 18.
Hall de foire 19, Leipzig (vue latérale)
G verre.

Le hall d'exposition N° 7 de Leipzig, qui a une portée d'env. 98 m (fig. 19), possède des fermes en treillis en cadre à deux articulations avec lanterneau en chenille. Les membrures supérieures des fermes forment, ainsi que le montre la fig. 20a, le faîte de ce lanterneau en chenille et les membrures inférieures forment le joint des deux verrières inclinées assurant la protection contre la poussière. Evidemment on peut aussi dans ce cas employer des verrières verticales, ainsi que le montre la fig. 20b; une telle disposition fut proposée entre autres pour le hall d'exposition et de congrès de Hambourg[13].

Dans la Deutschlandhalle à Berlin on n'a exécuté en construction métallique que le toit de la partie centrale de 95×58,2 m; l'infrastructure y compris, les galeries sont exécutées en béton armé. Ainsi que le montre la fig. 21 les fermes disposées en poutres simples en treillis, de 58,2 m de portée, s'appuient latérale-

[12] Déterminée d'aprés le procédé de *Burchhard*. cf. *Maier-Leibnitz:* Der Industriebau 1932, p. 77 et ss.

[13] Stahlbau 1935, p. 40.

ment sur les poutres du toit qui sont des poutres en treillis du système *Gerber* d'une longueur totale de 95 m. Perpendiculairement aux fermes se trouvent les pannes (également exécutées en poutres *Gerber*), qui supportent les chevrons du toit supérieur à double revêtement de carton bitumé ainsi que le plafond de protection suspendu, en plaques d'éternit.

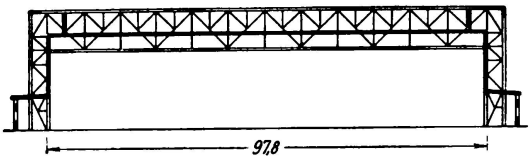


Fig. 19.
Hall de foire 7, Leipzig

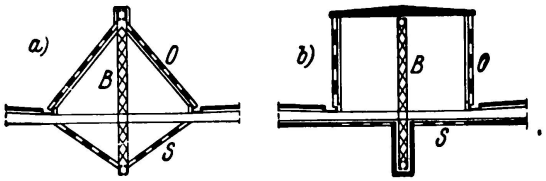


Fig. 20.
Disposition du lanterneau
B ferme, O lanterneau, S plafond contre la poussière.

Dans de telles grandes constructions de toits il faut tenir compte de l'allongement, spécialement lorsque l'infrastructure est constituée d'un autre matériau. La façon simple dont on peut résoudre ce problème est schématiquement représentée à la fig. 22.

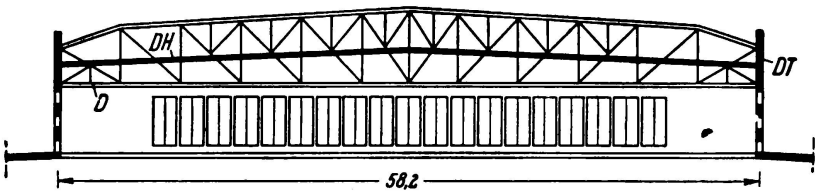


Fig. 21.
Construction du toit de la Deutschlandhalle, Berlin
DH couverture, DT chevrons, D plafond suspendu.

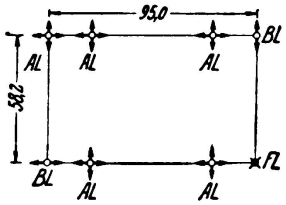


Fig. 22.
Appui du toit
de la Deutschlandhalle, Berlin
FL appui fixe, BL appui mobile dans la direction de la flèche, AL appui mobile dans tous les sens

La Deutschlandhalle ne sert pas seulement de hall d'exposition, elle est aussi utilisée pour de grands rassemblements, des manifestations sportives, etc. Pour l'éclairage il était par conséquent suffisant de prévoir au-dessous de la construction métallique une paroi vitrée sur tout le pourtour.

Les halls de foire de la Masurenallee à Berlin sont constitués, ainsi que nous l'avons déjà dit, de deux halls d'exposition latéraux et d'un hall d'honneur central.

Les halls latéraux (fig. 23) ont des fermes en treillis avec plafond suspendu. Les colonnes à âme pleine sont encastrées aux pieds. L'éclairage est réalisé par des fenêtres de 10 m de hauteur situées dans les parois latérales.

Le hall d'honneur (fig. 24) se distingue des autres ouvrages par sa grande hauteur (35 m). Les fermes sont aussi des fermes normales en treillis qui sont dérobées à la vue par un plafond suspendu. Les parois ont aussi de grandes surfaces vitrées. La transmission de la pression du vent est évidemment rendue

difficile par ce fait. On a prévu un cadre horizontal rectangulaire fermé de tous les côtés à la hauteur de la membrure inférieure des fermes. Ce cadre est appuyé par des cadres encastrés en bas qui se trouvent dans les quatre parois.

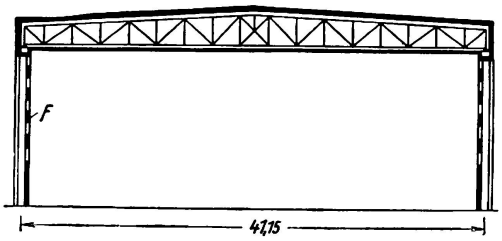


Fig. 23.
Hall de foire à la Masurenallee, Berlin
(hall latéral)
F fenêtre.

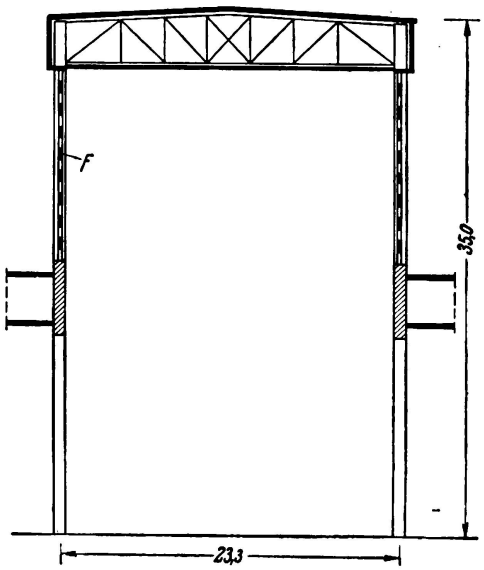


Fig. 24.
Hall de foire à la Masurenallee, Berlin
(hall d'honneur)
F fenêtre.

Hangars pour dirigeables.

Le développement des hangars pour dirigeables est conditionné par le développement des dirigeables eux-mêmes. Nous donnons dans le tableau suivant les dimensions de quelques dirigeables.

Tableau 7: Dimensions des dirigeables.

Système	Matriculation	première sortie	longeur	diamètre	Littérature
Zeppelin	LZ 1	1900	128	11,7	Moedebeck[14] p. 732
	LZ 11	1912	148	14,0	
	LZ 62	1916	198	23,9	
	LZ 120	1919	120,8	18,7	
	LZ 126 (Los Angeles)	1924	200	27,64	Engberding[15] p. 160
	LZ 127 (Graf Zeppelin)	1928	235	30,5	Engberding[15] p. 272
	LZ 129 (Hindenburg)	1936	245	41,2	ZdVDI 1936, p. 379
Schütte-Lanz	SL 1	1911	131	18,4	Moedebeck[14] p. 755
	SL 15	1916	174	20,1	
	SL 24	1918	232	25,4	
Parseval	PL 1	1909	60	9,4	Moedebeck[14] p. 786
	PL 25	1915	110	16,4	
	PL 27	1916	160	19,6	

[14] *Moedebeck:* Taschenbuch für Flugtechniker und Luftschiffer. 4e édition 1923.
[15] *Engberding:* Luftschiff und Luftschiffahrt 1928.

Forme et dimensions des hangars.

La projection horizontale des hangars pour dirigeables est exclusivement un rectangle allongé. Les hangars avec projection horizontale circulaire ou en étoile[16] ne sont restés jusqu'à présent que des projets, pour des raisons économiques.

Parmi les hangars exécutés, il faut distinguer ceux qui étaient déterminés à un seul dirigeable et ceux qui devaient contenir deux dirigeables. Autrefois, lorsque les dimensions des dirigeables étaient relativement petites, on a choisi souvent des hangars doubles, principalement pour des raisons économiques. Comme critique à ce genre d'exécution on a souvent dit que lors de l'entrée et de la sortie, spécialement par fort vent, les dirigeables se gênaient mutuellement et que, dans les cas d'explosion ou autres, les deux dirigeables étaient en même temps endommagés ou détruits. Avec les dimensions actuelles des dirigeables il n'est plus question en général que de hangars pour un seul dirigeable.

Tableau 8: Hangars pour un dirigeable.

Hangars à dirigeable	Construit en	Longueur	Largeur libre	Hauteur libre	Littérature
Tegel		100	25	25	Eisenbau 1910, p. 229
Francfort	1911	160	30	24	Stahlbau 1930, p. 61
Seddin		184	35	28	Engberding, p. 212
Friedrichshafen	1929	250	50	46	Stahlbau 1930, p. 61
Rhin-Main	1935	281	52	51	P-Träger 1936, p. 2
Rio de Janeiro	1935	270	50	50	Stahlbau 1936, p. 88

Tableau 9: Hangars pour deux dirigeables.

Hangars à dirigeable	Construit en	Longueur	Largeur libre	Hauteur libre	Littérature
Hambourg	1912	160	45	26	ZdVDI 1912, p. 1299
Potsdam	1912	172	50	25	ZdVDI 1913, p. 681
Leipzig	1913	184	60	25	Eisenbau 1913, p. 369
Seddin	1915/16	242	60	35	Stahlbau 1930, p. 61
Nordholz	1916	260	75	38	Stahlbau 1929, p. 251
Ahlhorn	1916/17	260	75	36	Stahlbau 1930, p. 61

Ainsi qu'il ressort du tableau 10, les deux nouveaux hangars de l'Amérique du Nord présentent de très grandes dimensions.

Tableau 10: Nouveaux hangars américains.

Hangars à dirigeable	Construit en	Longueur	Largeur libre	Hateur libre	Littérature
Akron	1929	358	99	55	Stahlbau 1930, p. 68
Sunnyvale	1932	341	94	59	Stahlbau 1933, p. 7

Les fermes des hangars à dirigeables ont toujours été exécutées jusqu'à maintenant en treillis. La préférence que l'on constate dans tous les autres domaines de la construction métallique pour les constructions à âme pleine ne s'est pas introduite jusqu'à présent dans la construction des hangars à dirigeables.

[16] Eisenbau 1910, p. 228.

La fig. 25 donne la section du hangar de Tegel: Au point de vue statique, nous avons affaire ici à un arc à deux articulations avec articulations de base surélevées. Les tout nouveaux hangars sont en général conformés en arc à trois articulations, statiquement déterminés; pour réduire les efforts dans les barres, on surélève généralement les articulations des naissances. A la fig. 26 nous avons représenté la section du hangar de Friedrichshafen; les hangars de Rhin-Main et de Rio de Janeiro sont constitués de la même façon.

Pour les deux hangars américains cités au tableau 10, on a choisi une section en forme de parabole qui s'est montrée favorable dans les essais sur modéles effectués au canal aérodynamique.

Au point de vue constructif, les hangars à dirigeables tournants sont très intéressants[17]; ils peuvent être tournés suivant la direction du vent afin de faciliter l'entrée et la sortie des dirigeables. Par suite du coût très élevé et par suite aussi des possibilité meilleures d'atterrissage des dirigeables (mâts d'ancagre[18], etc.) on a plus ou moins abandonné cette forme de construction.

Eclairage et ventilation.

Le hangar de construction exécuté en 1909 à Friedrichshafen[19] possède encore transversalement, au-dessus de tout le hangar, des lanterneaux à chenille continus. Les hangars construits dans la suite ont tous dans la direction longitudinale des verrières continues dans le toit ainsi que de grandes fenêtres dans les parois.

Les surfaces d'éclairage des nouveaux hangars américains sont petites, car, d'après la conception américaine, tout le travail doit être exécuté à la lumière artificielle parce que les énormes dirigeables arrêtent de toute façon la lumière extérieure.

Il faut attribuer une grosse importance à la ventilation, à cause du remplissage de gaz des dirigeables. Le plus souvent on dispose les fenêtres de telle sorte qu'on puisse en ouvrir une partie; à côté de cela on prévoit encore des ouvertures de ventilation ainsi que des ventilateurs spéciaux dans le toit.

Portes.

Les portes des hangars à dirigeables posent un problème spécial. Lorsqu'elles sont ouvertes, elles doivent libérer complètement le gabarit; malgré leurs grandes dimensions il faut pouvoir les ouvrir et les fermer facilement, et sans emploi d'une trop grande force, même lorsque la poussée du vent a une certaine importance.

Le premier genre d'exécution est la porte tournante simple suivant la fig. 27a (hangar de Francfort, 1911; Baden Oos[20]). On a très souvent exécuté des portes à glissière en deux parties, suivant la fig. 27b. Dans ce cas, il faut distinguer deux dispositions. D'une part on peut exécuter latéralement aussi bien des rails supérieurs que les rails inférieurs (par ex. les hangars de Tegel, Ahlhorn et Nordholz); ceci exige évidemment une construction spéciale pour la glissière

[17] Deutsche Bauzeitung 1914, p. 146; Bauing. 1922, p. 584.
[18] cf. par ex. Z.d.V.D.I. 1936, p. 400.
[19] Eisenbau 1910, p. 99.
[20] Z.d.V.D.I. 1913, p. 681.

supérieure. D'autre part on peut ne prolonger à l'extérieur que la glissière inférieure tandis que la glissière supérieure ne s'étend que sur la largeur du hangar: les portes doivent être exécutées comme portes à trois points d'appui.

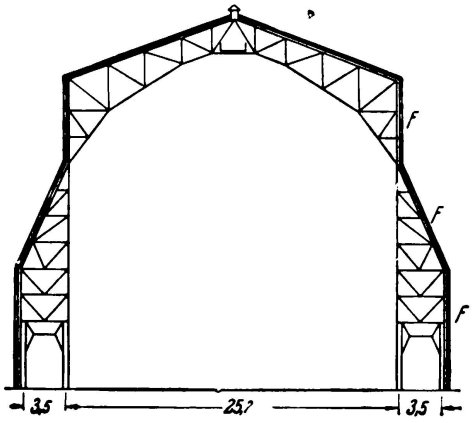


Fig. 25.
Hangar à dirigeable Tegel
F fenêtre.

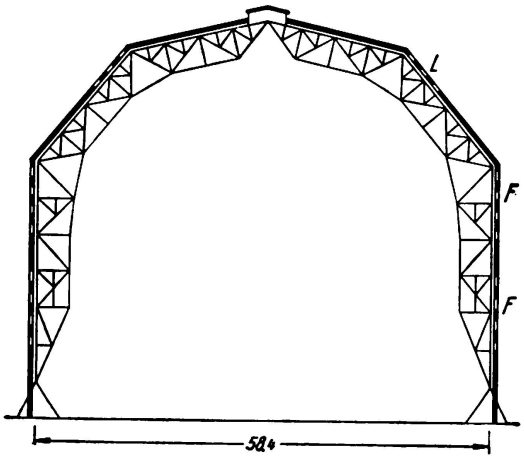


Fig. 26.
Hangar à dirigeable Friedrichshafen
L verrière, F fenêtre.

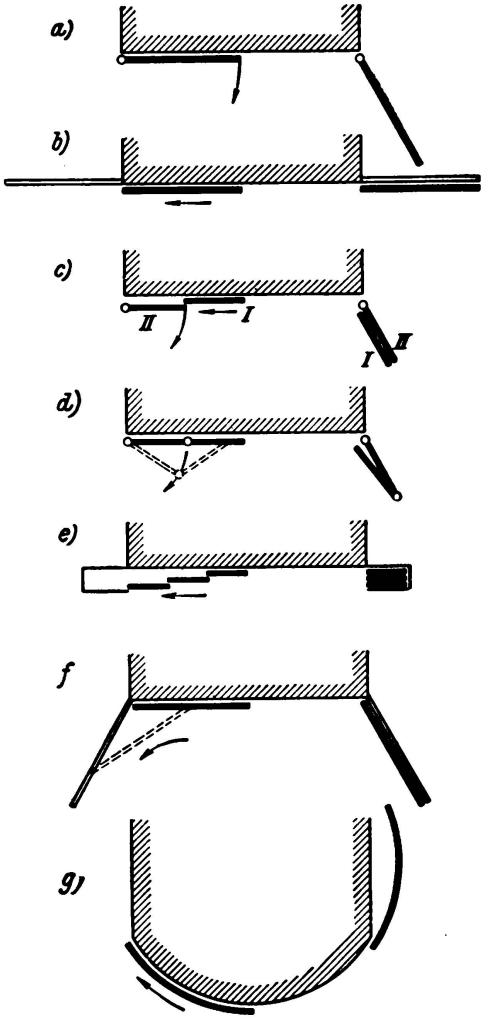


Fig. 27.
Dispositions des portes des hangars à dirigeable, (schématiquement)
A gauche: porte fermée,
à droite: porte ouverte.

Une combinaison des portes tournantes et des portes à glissière a été exécutée lors de la construction, en 1909, du hangar de Friedrichshafen.[19] Comme la largeur du hangar d'env. 50 m exigeait des dimensions trop grandes des portes tournantes, chaque battant fut décomposé. Ainsi que nous l'avons représenté schématiquement à la fig. 27c on déplace d'abord le battant (I) derrière le battant extérieur (II) et les deux battants sont alors tournés en même temps.

La disposition représentée aux fig. 27d et e n'exige aucune explication. Elle a été proposée pour le hangar de Friedrichshafen, mais n'a pas été exécutée.

Les portes tournantes (fig. 27a) représentent, lorsqu'elles sont ouvertes, un allongement en forme d'entonnoir du hangar. Cet allongement forme en même temps une protection contre le vent, lors de l'entrée et de la sortie des dirigeables.

On peut obtenir aussi une telle disposition avec les portes à glissière (fig. 27f), en disposant les glissières obliquement par rapport aux directions principales du hangar (système *Barkhausen*). Il est évident que dans ce cas aussi on peut placer les glissières en haut et en bas; mais on peut aussi ne placer que la glissière inférieure latéralement (par ex. les hangars à dirigeables de Potsdam et Leipzig).

Dans la pratique on a cependant constaté qu'il se produit facilement des tourbillons qui compliquent notablement, dans certaines circonstances, l'entrée et la sortie des dirigeables[21]. Actuellement on fait en sorte que les portes ouvertes soient appliquées aussi bien que possible à la paroi longitudinale du hangar (fig. 27g), afin d'obtenir une moins grande résistance au vent et par le fait même aussi une moins grande prédisposition à la formation de tourbillons. Pour les hangars de Friedrichshafen 1929, Rhin-Main et Rio de Janeiro on a utilisé des portes à segment cylindrique. Les hangars américains (tableau 10) possèdent par contre des portes à segment demi-sphérique.

La plupart des hangars à dirigeables construits jusqu'à ce jour possèdent une porte à chaque front. Il n'y a que quelques hangars qui n'aient qu'une porte. Une telle exécution de date récente est le hangar de Rio de Janeiro dans lequel la paroi frontale arrière ne possède qu'une petite porte à glissière qui sert à l'entrée et à la sortie du mât d'ancrage, ainsi qu'à la ventilation.

Hangars pour avions.

Le développement des hangars à avions ne présente en général aucune modification fondamentale, mais seulement une adaptation de la disposition constructive aux dimensions toujours croissantes des avions. Nous donnons au tableau 11 quelques dimensions d'avions.

Tableau 11: Dimensions des avions.

Avion	Construit en	Envergure	Longueur	Hauteur	Littérature	
		Avions militaires à un moteur				
Roland C II	1915	10,3	7,7	2,9	Moedebeck[14]	p. 586
Junkers Cl I	1918	12,3	7,9	2,7	„	„
		Avions militaires à plusieurs moteurs				
AEG G IV	1917	18,4	9,7	3,9	„	p. 595
Staaken R VI	1917	42,2	22,5	6,5	„	„
		Avions de marine				
Brandenburg CC	1917	9,3	8,5	3,3	„	p. 602
Staaken L	1917/18	42,2	22,2	7,4	„	„
		Avions civils à un moteur				
Junkers	1919	14,8	9,5	3,4	„	p. 612
Dornier C III	1920/21	17,0	9,5	2,5	„	„
		Avions civils à plusieurs moteurs.				
Junkers Ju 52	Actuellement en service	29,25	18,9	4,5	Shell-Flugzeugführer[22]	p. 78 et 75
Heinkel He 70		14,8	11,5	4,15		

[21] Z.d.V.D.I. 1915, p. 762.

[22] En édition privée de la Rhenania-Ossag Mineralölwerke A.-G., Hambourg, édition 1935.

On peut voir au tableau suivant les dimensions les plus importantes d'une série de hangars d'avions.

Tableau 12: Dimensions de quelques hangars à avions.

Hangar	Construit en	Profondeur	Ouverture Largeur	Ouverture Hauteur	Système de porte	Littérature
Hangar militaire normalisé	1914/18	22,2	22,08	4,7	Portes à rabattement	Stahlbau 1928, p. 86
Berlin-Tempelhof	1925	30,0	4 × 40,0	8,0	porte pliante	Bauing. 1925, p. 839
Nietleben près de Halle	1925	22,0	39,7	6,3	porte à glissière	Stahlbau 1929, p. 28
Hambourg-Fuhlsbüttel	1925	30,0	2 × 30,0	6,0	idem	Bautechn. 1927, p. 311
	1926	40,0	80,0	8,0		
Brême		30,0	80,0	8,0	idem	Bautechn. 1927, p. 443
Stettin	1927	35,2	52,6	9,0	idam	Stahlbau 1928, p. 88
Schkeuditz près de Halle	1927	30,0	2 × 60,48	10,0	porte pliante	Stahlbau 1929, p. 28
Dortmund	1927	25,0	41,0	7,2	idem	Stahlbau 1228, p. 194
Travemünde	1927/28	61,0	60,6	12,0	porte à glissière	Bautechn. 1928, p. 294
Kiel-Vossbrok		28,0	35,0	8,0	porte pliante	Stahlbau 1929, p. 22
Munich	1928	70,0	2 × 31,0 et 60,0	10,0	idem	Bautechn. 1930, p. 251
Braunschweig	1928/29	30,0	2 × 50,0	9,5	porte à glissière	Stahlbau 1930, p. 124
		30,0	3 × 30,3	6,5		
Breslau	1931/32	30,15	54,0	8,0	porte pliante	Bautechn. 1933, p. 96

Avec les petites dimensions des premiers avions, les hangars étaient constitués d'une série de petits hangars placés l'un à côté de l'autre de 20 à 22 m au carré; toutefois la paroi avant de chaque unité était constituée en porte.

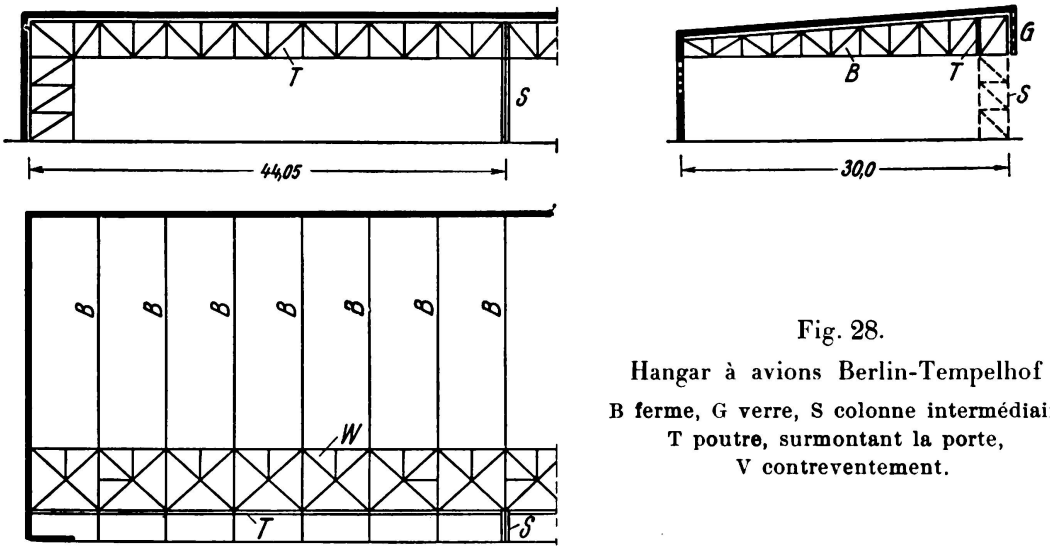


Fig. 28.
Hangar à avions Berlin-Tempelhof
B ferme, G verre, S colonne intermédiaire, T poutre, surmontant la porte, V contreventement.

Les envergures croissantes des ailes ont exigé bientôt de plus larges portes. Ainsi qu'on peut le voir d'après le tableau 12, les ouvertures des portes varient de 30 à 80 m dans les nouveaux hangars; pour la plupart des constructions cette

valeur se trouve entre 40 et 60 m. La hauteur libre des ouvertures de porte se monte à 6 m jusqu'à 10 m au maximum; ce n'est que pour le hangar de Travemünde que l'on a prévu une hauteur plus grande, en tenant compte de l'entrée des hydroavions amenés sur chariots.

Une exécution normale de hangars à avions est représentée à la fig. 28. La poutre surmontant la porte (avec ou sans appuis intermédiaires) est tendue sur toute la largeur du hangar. Perpendiculairement à cette poutre se trouvent les fermes qui reposent à l'avant sur la poutre surmontant la porte et à l'arrière sur une paroi en treillis métalliques. Souvent ces fermes dépassent la poutre surmontant la porte et supportent les glissières supérieures de la porte.

La construction portante de tous les hangars que nous avons décrits ci-dessus est exécutée en treillis. La poutre surmontant la porte est dans la règle une poutre à membrures parallèles; ce n'est que dans quelques poutres à grande portée (par ex. les hangars de Hambourg, Brême) que la hauteur de la poutre est croissante vers le milieu.

Par suite de la grande hauteur de la poutre surmontant la porte, par rapport à la hauteur des fermes qui lui sont perpendiculaires, on exécute le toit sous forme inclinée vers l'arrière. L'idée d'enlever aux hangars le caractère de dépôts a conduit les constructeurs, vers la fin de la guerre, à donner à ces hangars une section avec forme en toit pointu[23]. Par suite de la grande hauteur de la poutre à grande portée surmontant la porte, une telle construction ne peut pas entrer en ligne de compte.

Une des exécutions s'éloignant des formes usuelles de hangar est donnée par le hangar à avions de Munich-Oberwiesenfeld. Ainsi que le montre la fig. 29, ce hangar ne possède qu'une seule paroi fixe tandis que des portes sont disposées sur tous les autres côtés. Cette disposition exige évidemment une autre disposition de la construction portante.

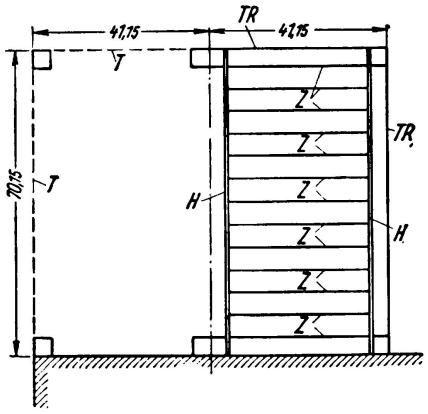


Fig. 29.
Hangar à avions Munich-Oberwiesenfeld (plan)
A gauche: dispositions des portes, à droite: construction du toit, T porte, TR poutre surmontant la porte, H ferme principal, Z ferme intermédiaire.

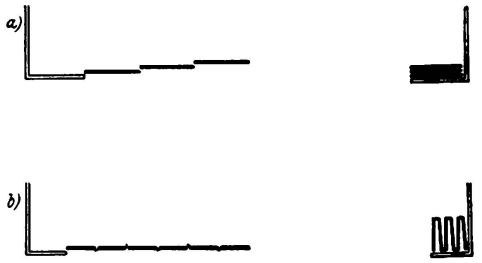


Fig. 30.
Construction des portes des hangars à avions
A gauche: porte fermée, à droite: porte ouverte.

L'éclairage des hangars se fait actuellement — contrairement aux lanterneaux en chenille d'autrefois — en général par des verrières placées au-dessus de la porte ainsi que dans la paroi arrière. La verrière au-dessus de la porte peut par

[23] Stahlbau 1928, p. 86.

conséquent être oblique, mais on applique souvent le principe des verrières verticales (fig. 28).

Les portes doivent attirer tout spécialement l'attention. Parmi les nombreux systèmes proposés, les portes à glissière (fig. 30a) et les portes pliantes (fig. 30b) se sont montrées préférables et sont les seules à être appliquées dans les nouveaux hangars. Afin de ne pas surcharger la poutre surmontant la porte qui est déjà fortement sollicitée par les fermes, les portes sont en général appuyées sur des galets et ne dépendent pas ainsi du fléchissement de la poutre. Cette poutre ne donne à la porte qu'un guidage dans le sens horizontal.

Dépôts de tramways et d'autobus.

La grande place nécessaire à l'entretien, à la réparation et au nettoyage des voitures de tramways et d'autobus exige, spécialement dans les grandes villes, la couverture de très grands espaces. Les dépôts de dimensions réduites qui existaient autrefois — principalement à la période d'après-guerre — se sont transformés en dépôts de grandes dimensions.

Dépôts de tramways.

Dans les dépôts de tramways, la disposition constructive est relativement simple pour autant que l'on a un appui de la construction du toit par des séries de colonnes placées entre les voies. Afin de perdre le moins de place possible et afin de ne pas gâter l'aspect général on ne choisit pas cependant une distance trop faible des colonnes. Les nouveaux dépôts ont tous des portées de plus de 20 m pour les fermes. Le nouveau dépôt des tramways de Dortmund[24], construit en 1926, possède encore des fermes en treillis. Par contre le dépôt construit peu de temps après à Bochum[25] (fig. 31a) est exécuté en construction à âme pleine; ainsi que le montre la coupe longitudinale (fig. 31b) la distance des appuis dans le sens des voies est assez grande. C'est pourquoi on a disposé d'abord dans le sens longitudinal du dépôt des poutres reposant sur les colonnes, poutres sur lesquelles reposent les fermes.

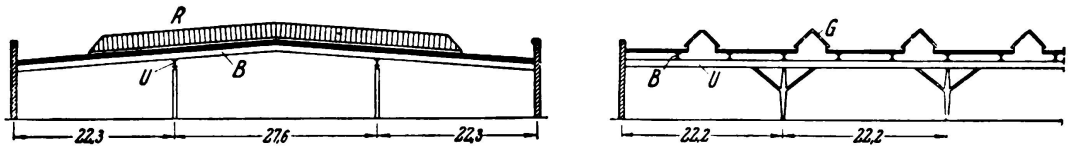


Fig. 31 a. Fig. 31 b.

Fig. 31.
Dépôt de tramways Bochum. a section, b coupe longitudinale;
B ferme, R lanterneau, U sommier, G verre.

Dans lanterneaux en chenille servent à l'éclairage de ces deux dépôts. Nous citerons comme exemple d'exécution avec verrières continues la gare des tramways de Berlin, Müllerstrasse[26]. La forme des arcs à âme pleine à trois articulations est adaptée aux lanterneaux.

---

[24] Stahlbau 1928, p. 208.
[25] Bautechn. 1931, p. 691.
[26] Bauingenieur 1928, p. 383.

Une exécution très intéressante au point de vue constructif est le hall de la gare des tramways 16[27] à Charlottenburg (fig. 32a). Ainsi qu'on peut le voir sur la projection horizontale (fig. 32b), ce hall a trois fermes transversales et deux fermes longitudinales rigidement assemblées à leurs points d'intersection.

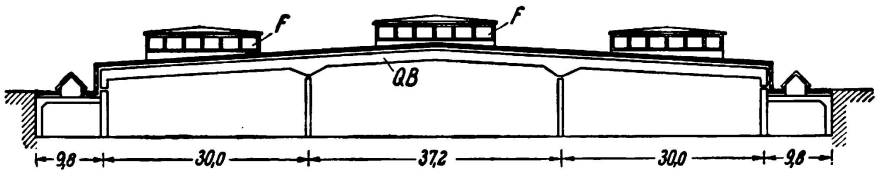


Fig. 32 a.

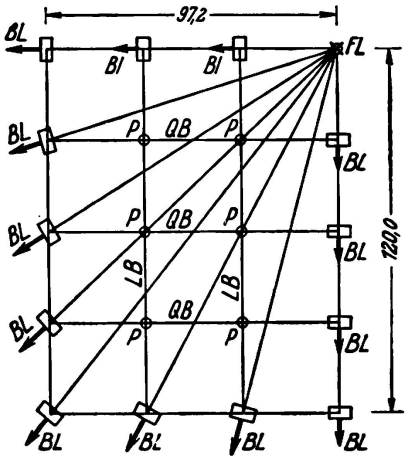


Fig. 32 b.

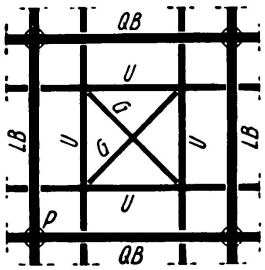


Fig. 32 c.

Fig. 32. Gare de tramways 16, Charlottenburg.
a section, b plan et appui du hall, c plan partiel;
F fenêtre, G poutre de faîte. LB ferme longitudinale, QB ferme transversale, U sommier, FL appui fixe, BL appui mobile dans la direction de la flèche, P colonne articulée.

A l'intérieur de chacun des panneaux ainsi formés on a introduit un système de poutres (cf. fig. 32c) qui supporte le toit en forme de coupole. La construction du toit s'appuie de trois côtés sur les petits cadres et sur le côté avant sur la paroi frontale encastrée. Aux noeuds du système de fermes on a disposé des appuis articulés. Afin d'éviter des contraintes coercitives, un seul appui est fixe; tous les autres appuis, ainsi que le montre la fig. 32b, sont mobiles radialement. Toute la surface du toit, grande de 97×120 m peut donc se déformer librement sous l'effet des variations de température. Ainsi que des mesures exécutées au cours de plusieurs années l'ont montré, les déplacements de l'ouvrage suivent assez exactement les variations de température.

L'éclairage se fait exclusivement par des verrières verticales, si l'on exclut les petits cadres latéraux.

Dépôts d'autobus.

Lors de la détermination de la portée des fermes et de la distance des colonnes de la gare des tramways 16 à Charlottenburg on a aussi envisagé la possibilité que cette construction soit éventuellement employée comme dépôt d'autobus. Dans les dépôts d'autobus les conditions sont différentes en ce sens que la surface utile du dépôt n'est pas seulement réduite de la place utilisée par les colonnes mais l'espace que l'on doit maintenir libre entre les véhicules et les colonnes engendre une perte de place beaucoup plus grande. Il faut encore tenir compte des grands

[27] Stahlbau 1935, p. 1.

dommages que peuvent produire tant pour les véhicules que pour l'ouvrage lui-même des tamponnements des véhicules contre les colonnes.

Les dépôts réservés aux seuls autobus n'ont par conséquent que très peu de colonnes intermédiaires ou n'en ont même pas du tout. Le coût relativement élevé de telles installations sera couvert par la surface utile gagnée et avant tout par l'accélération du service[28].

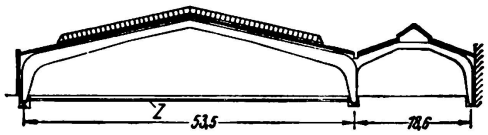


Fig. 33.
Dépôt de la ABOAG Berlin, Morsestrasse-Helmholtzstrasse
Z tirant.

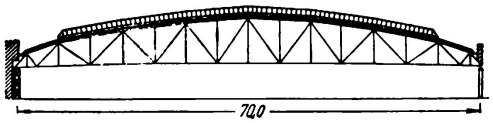


Fig. 34.
Dépôt d'autobus Treptow de la ABOAG Berlin.

A la fig. 33 nous avons représenté le nouveau dépôt construit en 1925/26 de la ABOAG à Berlin, Morsestrasse-Helmholtzstrasse[29] dont les fermes à âme pleine ont des tirants placés dans le sol. La grande nef seule sert à la remise des autobus. La plus petite nef n'est utilisée que pour le lavage et pour les petites réparations du matériel. Le dépôt d'autobus de Hambourg, construit en 1927, a la même construction mais ne possède qu'une seule nef[30].

Le dépôt Berlin-Treptow[31] (fig. 34) possède des poutres en treillis de forme parabolique à cause de la portée importante de 70 m. Dans le dépôt de Berlin, Wattstrasse, construit une année plus tard (1929/30)[32], on est revenu à des constructions à âme pleine, quoique la portée de 63 m ne soit pas beaucoup plus faible et quoiqu'une exécution en treillis aurait été meilleur marché. Des raisons d'esthétique et de protection contre l'incendie ont déterminé ce genre de construction.

Tous les dépôts d'autobus dont nous avons parlé ont des lanterneaux en chenille.

L'ossature métallique.

La patrie de l'ossature métallique est l'Amérique. C'est en 1885 que l'on a construit à Chicago le premier gratte-ciel. Le développement rapide de ces constructions — avant tout en hauteur — peut être caractérisé par le fait qu'il existait en 1929 environ 4800 bâtiments de plus de 9 étages aux Etats Unis[33]. L'ossature métallique la plus haute du monde est le bâtiment de Empire State[34], terminé en 1931, qui a 86 étages et une hauteur totale de 381 m. De tels bâtiment ne sont cependant plus économiques, même pour les conditions qui règnent en Amérique. Ainsi que de nouvelles études[35] l'ont montré, le rendement

[28] Bautechn. 1928, p. 315.
[29] Bauing. 1926, p. 959.
[30] Stahlbau 1928, p. 25.
[31] Deutsche Bauzeitung 1931, K. et A., p. 53.
[32] Deutsche Bauzeitung 1931, K. et A., p. 53.
[33] Stahlbau-Vorträge, édité par le Deutscher Stahlbauverband, Berlin 1931, p. 29.
[34] Stahlbau 1932, p. 39.
[35] Bauing. 1935, p. 386.

des gratte-ciel est le plus favorables pour 60 étages environ. Les nouvelles constructions américaines, comme par ex. le Rockefeller Center à Newyork[36], ne visent plus à atteindre un reccord de hauteur mais des proportions raisonnables de l'ouvrage.

En Europe on a commencé très tôt déjà la construction des ossatures métalliques. Comme exemple nous citerons la fabrique de chocolat Menier à Paris[37] construite en 1871 ainsi que les dépôts de l'Elbe à Magdebourg[38] qui datent de 1890. De telles constructions sont restées très longtemps chez nous des exceptions. L'ossature métallique normale est restée jusqu'aux environs de la guerre la construction à poutres: sommiers, planchers et colonnes furent exécutés en acier; les parois extérieures massives supportaient leur propre poids ainsi qu'une partie des planchers. Une étude à la pression du vent n'était en général pas exécutée car les bâtiments étaient suffisamment raidis par les parois intermédiaires et les planchers. Avec ce type de construction simple il n'est plus possible — principalement depuis la guerre — d'exécuter des bâtiments toujours plus hauts et de bâtir sur des espaces de grande étendue, sans parois intermédiaires. C'est ainsi que l'ossature métallique s'est implantée chez nous.

Dans les ossatures métalliques la carcasse d'acier supporte toute la surcharge, les parois ne servent qu'à diviser l'espace existant. Le matériau des parois doit avant tout être mauvais conducteur du bruit et de la chaleur; sa résistance ne joue par contre qu'un rôle de second ordre.

Ceci n'exclut pas la possibilité, dans les cas où une paroi normale en briques — souvent en tant que mur de protection contre l'incendie — est nécessaire, de faire participer cette paroi à la transmission des forces. Une sollicitation des murs se produit aussi par exemple lorsqu'un contreventement, qui peut être disposé en portique étagé ou en treillis, est muré. Par suite de leur grande rigidité, les murs empêchent la déformation de la construction métallique; ce n'est que lorsque cette rigidité est dépassée, c'est-à-dire lorsque le mur est fissuré, que la construction métallique supporte la totalité de la charge.

Plan des bâtiments.

Dans la disposition du plan d'une ossature métallique, l'Ingénieur n'a que rarement les mains libres. D'abord il doit se diriger d'après la forme du terrain mis à sa disposition; il doit se demander si sa construction doit couvrir tout le terrain ou si — en tenant compte de l'introduction de l'air et de la lumière — il doit laisser libre une cour intérieure. Les ossatures métalliques exécutées présentent par conséquent une très grande diversité.

La disposition constructive la plus simple est celle des ouvrages dont le plan est rectangulaire et qui sont composés de différents rectangles. Le plan dont les différents côtés ne sont pas à angle droit ou sont limités par des lignes courbes, engendre en général une complication de la construction.

---

[36] Bauingenieur 1933, p. 275 et Stahlbau 1933, p. 198.

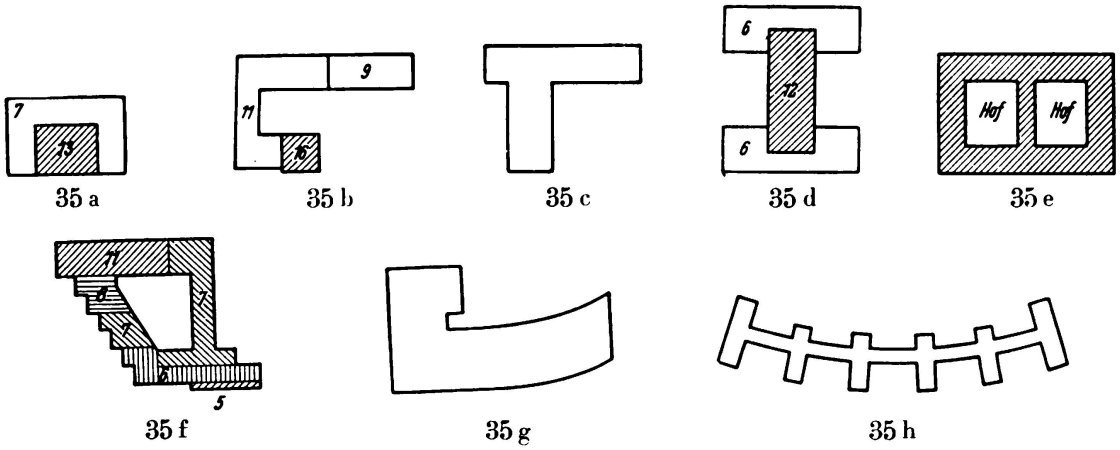
[37] Deutsche Bauzeitung 1932, p. 362.

[38] Stahlbau 1931, p. 186.

Dans le tableau suivant nous avons indiqué quelques formes de plan, données par des exemples.

Tableau 13: Formes de plan de quelques ossatures métalliques.

Plan	Exemple	Fig.	Littérature
Rectangulaire	Europahaus Leipzig	35 a	Stahlbau 1930, p. 181
Angle	Bâtiment administratif de la DHV, Hambourg	35 b	P-Träger 1930, p. 4
T	Fabrique de la Société de Consommation, Berlin	35 c	Stahlbau 1929, p. 241
I	Kathreiner Hochhaus, Berlin	35 d	Deutsche Bauzeitung 1930, K. et A., p. 85
Rectangle avec cour intérieur	Musée allemand Munich Bâtiment de la Bibliothèque	35 e	Stahlbau 1930, p. 109
Délimitation en lignes droites quelconques	Rhenania-Ossag-Haus, Berlin	35 f	Stahlbau 1931, p. 43
Délimitation en courbes	Columbus-Haus, Berlin	35 g	Stahlbau 1931, p. 253
	Bâtiment administratif de la I. G. Farben, Francfort s/M	35 h	Stahlbau 1931, p. 1



35 a 35 b 35 c 35 d 35 e

35 f 35 g 35 h

Fig. 35.
Formes de plan des constructions à ossature métallique.

Elévation des bâtiments.

La plus grande hauteur de bâtiment admissible est en général déterminée officiellement; dans les cas spéciaux des exceptions sont cependant possibles.

La section la plus simple est le rectangle. Dans les bâtiments situés dans des rues étroites ou dans des cours, les étages supérieurs doivent être construits en retrait pour permettre l'accès de la lumière. Comme exemple la fig. 36 donne la section du bâtiment commercial «Samt und Seide», Mannheim[39]. L'angle d'inclinaison de cette graduation ne doit en général pas dépasser 67°.

La disposition constructive n'est pas simple lorsque, dans la section, les colonnes du rez-de-chaussée doivent être en retrait, à cause des trottoirs ou de la disposition des vitrines. A la fig. 37 nous avons donné comme exemple la section de la „Columbus-Haus" à Berlin.

[39] Stahlbau 1928, p. 45.

Lorsqu'une partie de la surface couverte est exécutée sous forme de tour, on parle alors de gratte-ciel. C'est le cas par exemple de la „Europa-Haus" à Leipzig dont la tour est indiquée au plan de la fig. 35a par des hachures; cette tour est composée de 12 étages au-dessus du sol, tandis que le reste du

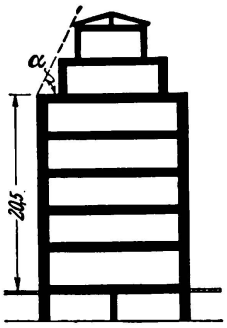


Fig. 36.
Bâtiment commercial »Samt und Seide«, Mannheim (section).

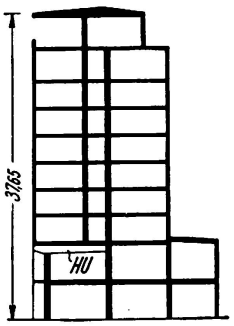


Fig. 37.
Columbus-Haus, Berlin (section)
HU sommier principal.

bâtiment n'a que 7 étages. Il en est de même pour les bâtiments représentés aux fig. 35b et d; la partie hachurée représente de nouveau la tour et les chiffres inscrits indiquent le nombre des étages au-dessus du sol.

La fig. 35b nous conduit aux ouvrages dont la hauteur est plusieurs fois variable. Citons encore comme exemple la „Renania-Ossag-Haus" à Berlin qui, ainsi qu'on peut le voir par les chiffres indiqués à la fig. 35f, a un nombre d'étages variable au-dessus du sol.

Un ouvrage original est la maison sphérique[40] de Dresde qui jusqu'à ce jour est la seule construction de ce genre.

A part la section et le nombre des étages, la hauteur de ces derniers est aussi intéressante. Nous donnons au tableau suivant les hauteurs pour une série de bâtiments à ossature métallique, exécutés au cours de ces dernières années. On remarque que le développement s'est effectué dans le sens d'une réduction de la hauteur des étages.

Tableau 14: Hauteurs des étages de bâtiments commerciaux.

Ouvrage	Construit en	Rez-de chaussée	1er étage	autres étages	Dernier étage	Littérature
I. G. Farben, Francfort s/M	1929	4,48	4,64	4,48—3,84	3,83	Stahlbau 1931, p. 1
Volksfürsorge, Hambourg	1929	4,2	4,2	4,2 —3,3	2,78	Stahlbau 1931, p. 129
Europahaus, Leipzig	1929	4,45	3,55	3,55—3,4	—	Stahlbau 1930, p. 181
DHV. Hambourg	1929	3,35	3,5	3,45	2,55	P-Träger 1930, p. 4
Kathreiner Hochhaus, Berlin	1929	4,55	3,6	3,4	2,8	Deutsche Bauzeitg. 1930 K. et A., p. 85
Columbus-Haus, Berlin	1931	4,8	4,96	3,42	3,83	Stahlbau 1931, p. 253
Rhenania-Ossag-Haus, Berlin	1930—32	4,0	3,6	3,3	—	Stahlbau 1931, p. 43

[40] Stahlbau 1928, p. 130.

L'éclairage des constructions en ossature métallique se fait au moyen de fenêtres ou de verrières; leur disposition est la même que celle des autres bâtiments de ce genre[41].

Contreventements.

Ainsi que nous venons de le dire on n'étudiait généralement pas autrefois l'influence du vent sur les bâtiments, car ces derniers étaient suffisamment raidis par les planchers et les parois intermédiaires. Dans les nouveaux ouvrages qui n'ont pas ou presque pas de parois intermédiaires on ne peut plus admettre une simplification de ce genre. Il est nécessaire de remplacer les parois intermédiaires par des cadres; c'est ainsi que se sont introduits les bâtiments en porti-

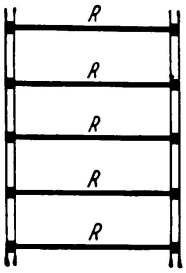


Fig. 38.
Bâtiment commercial »Samt und Seide«, Mannheim (plan).
R cadre.

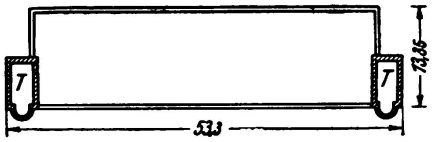


Fig. 39.
Bâtiment de la poste à la Hochmeisterplatz, Berlin (plan)
T cage d'escaliers.

ques étagés juxtaposés. La fig. 38 qui représente le plan du bâtiment commercial „Samt und Seide", Mannheim[39], indique en traits épais la position des cadres.

Au lieu de répartir les forces horizontales sur une grande série de cadres on peut les rassembler en quelques points qui supporteront toute la pression

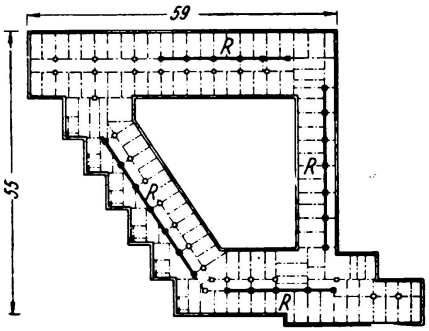


Fig. 40.
Rhenania-Ossag-Haus, Berlin (plan)
R cadre.

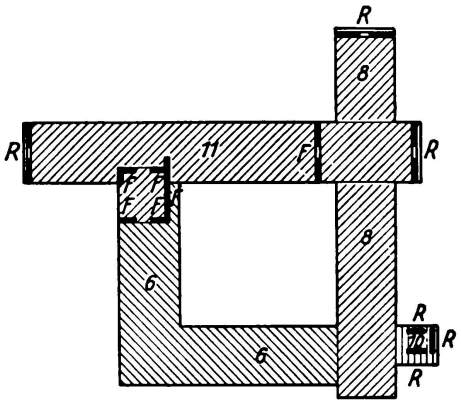


Fig. 41.
Wernerwerk, Berlin-Siemensstadt, (plan)
F contreventement en treillis, R cadre.

du vent. Ces contreventements seront placés de préférence dans la paroi frontale ou dans la cage d'escaliers. La construction peut être prévue en paroi pleine, treillis ou cadre. Comme exemple la fig. 39 donne le plan du bâtiment des postes de la Hochmeisterplatz[42] à Berlin, dans lequel les planchers massifs transmettent

[41] cf. par ex. *W. Büning* et *W. Arndt:* Tageslicht im Hochbau, Berlin 1935.
[42] Stahlbau 1933, p. 68.

les efforts du vent dans la cage d'escaliers murée. Dans les constructions à plan compliqué, une telle disposition n'est souvent pas suffisante. Ainsi que le montre la fig. 40, qui représente le plan de la Rhenania-Ossag-Haus à Berlin, une série de colonnes et de poutres est assemblée en forme de portique étagé.

Evidemment les planchers doivent être capables de transmettre au contreventement les efforts produits par le vent. Si l'on prévoit une couche de béton comprimé, il est facile de disposer les fers ronds spéciaux (par ex. Rhenania-Ossag-Haus, Berlin). Dans certains cas spéciaux il peut être nécessaire de disposer des entretoisements horizontaux spéciaux (exemple: bâtiment administratif de la D.H.V. Hambourg).

En tant qu'assemblage de construction à poutre et d'ossature métallique, on peut concevoir des exécutions dans lesquelles des contreventements ne sont prévus que dans les parties supérieures de l'ouvrage; la pression du vent sur les parties inférieures du bâtiment sera supportée par les parois massives du pourtour. Comme exemple, la fig. 41 donne le plan de la «Wernerwerke» à Berlin-Siemensstadt[43]; les cadres et les treillis ne supportent les efforts du vent que au-dessus du 6ème étage.

A ce groupe appartiennent encore les ouvrages — comme par exemple le bâtiment de la Bibliothèque du Musée allemand à Munich — dans lesquels les contreventements ne sont destinés à supporter la pression du vent que durant la période de construction. A l'état définitif les parois massives remplaceront ces contreventement.

Disposition constructive.

L'exécution normale des ouvrages en ossature métallique est la construction à paroi pleine; on utilise les profilés en I, en IP et en U. Exceptionnellement on utilise aussi les cornières, comme par ex. dans le bâtiment des Archives d'Etat à Königsberg en Prusse[44], ouvrage dans lequel les séparations des casiers sont en même temps les colonnes de l'ossature métallique.

Les contreventements sont très souvent disposés en treillis, afin d'obtenir une plus grande rigidité. Une construction en ossature métallique complètement exécutée en treillis est la Pressa-Turm[45] à Cologne. La carcasse de la Europa-Haus à Leipzig est — à l'exception de la cave et du rez-de-chaussée — complètement exécutée en treillis; on utilisa des profils spéciaux en queue d'arronde.

Finalement il est aussi possible d'avoir une exécution partiellement à âme pleine et partiellement en treillis, ainsi que c'est le cas pour le bâtiment administratif de la D. H. V. à Hambourg. Les montants sont à âme pleine tandis que les traverses sont en treillis.

Le développement des différentes constructions est représenté aux fig. 42 et 43; les fig. 42a à e représentent la disposition des angles de cadres. Des constructions avec tôles d'angles, comme elles se présentent par ex. dans les cadres à deux articulations du nouveau bâtiment «Samt und Seide» à Mannheim (fig. 42a) ou dans les portiques étagés de la Lochnerhaus[46] à Aix (fig. 42b), ne sont actuelle-

[43] Stahlbau 1931, p. 39.
[44] Stahlbau 1933, p. 207.
[45] Stahlbau 1928, p. 73.
[46] Deutsche Bauzeitung 1926, K. et A., p. 41.

ment que rarement employées. A leur place s'est introduit la construction avec coins. La fig. 42c représente un angle de cadre souvent exécuté, avec coins plats et fourrures (par ex. dans le bâtiment de la Bibliothèque du Musée allemand à Munich, dans la Wernerwerk à Berlin, dans le bâtiment administratif de l'assistance publique à Hambourg, etc.). Dans le bâtiment de la Rhenania-Ossag-Haus à Berlin on a utilisé des coins doubles suivant la fig. 42d; par la disposition de couvre-joints, les assemblages pouvaient être relativement petits. La fig. 42e représente un angle de cadre complètement soudé, ainsi qu'on en a exécuté par ex. dans la «Haus der Deutschen Erziehung»[47] à Bayreuth.

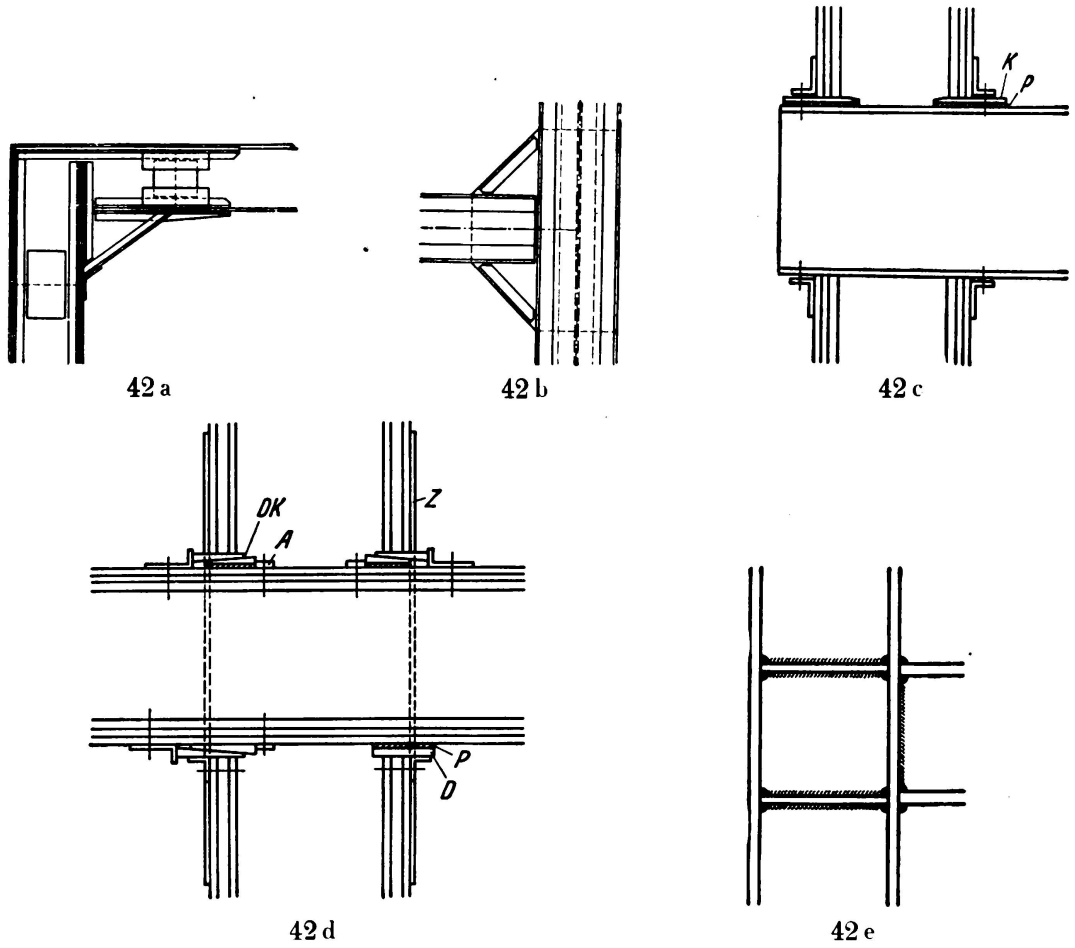


Fig. 42.
Disposition constructive des angles de cadres
A arrêt, D pièce de compression, DK coin double, K coin, P cale d'ajustage, Z couvre-joint de traction.

On constate aussi un grand développement dans la disposition des assemblages de poutres. La disposition avec cornières d'âme et tôles d'appui est utilisée depuis longtemps. Par contre, la liaison par contact suivant la fig. 43a est de date relativement plus récente; des couvre-joints de traction et des pièces de compression transmettent les moments d'encastrement. Une exécution semblable mais cependant avec couvre-joints soudés est représentée à la fig. 43b[48]. Afin de limiter

[47] Stahlbau 1936, p. 58.
[48] P-Träger, 1935, p. 7.

autant que possible le soudage sur le chantier, le couvre-joint est divisé; ce n'est que la soudure en V, désignée par la lettre B, qui doit être exécutée sur le chantier, toutes les autres soudures sont effectuées à l'atelier. Une exécution complètement soudée — une patente de la «Gutehoffnungshütte», Oberhausen — est représentée pour finir à la fig. 43c.

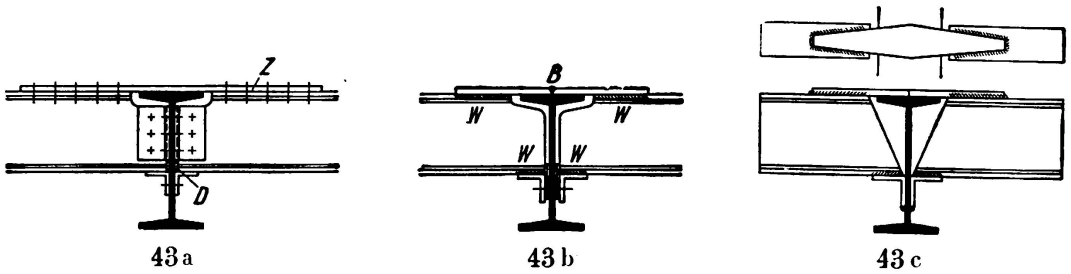


Fig. 43.

Disposition constructive des assemblages de poutres

D pièce de compression, Z couvre-joint de traction, B soudure de chantier, W soudure d'atelier.

Enrobage.

Les poutres des planchers, les sommiers et les traverses de cadres sont en général noyés dans les planchers et sont ainsi protégés contre la corrosion et contre le feu. L'enrobage des colonnes a le même but. Si les colonnes sont constituées de plusieurs profilés, l'espace intermédiaire est aussi rempli de béton. Il faut faire participer ce noyau de béton à la transmission des forces. Au Congrès de Paris 1932, ce problème fut très largement discuté[49]; nous citons ci-dessous quelques nouveaux travaux présentés en Allemagne dans ce domaine[50].

Résumé.

Le présent rapport expose dans ses grandes lignes le développement de la construction des halls et des ossatures métalliques.

Parmi les constructions de halls, nous avons parlé des halls de gares, des halls de foire et d'exposition, des hangars à dirigeables et à avions ainsi que des dépôts de tramways et d'autobus. A côté des dimensions et des formes des halls, nous avons parlé de l'éclairage et de la ventilation. Nous exposons pour les hangars à dirigeables et à avions le développement de la construction des portes.

Dans les constructions en ossature métallique, la disposition de la carcasse en plan et en élévation est spécialement intéressante. La question de la transmission des efforts engendrés par le vent est étroitement liée à ce genre de construction. Nous parlons ensuite des détails de construction et de leur développement. Pour terminer nous donnons un petit aperçu des problèmes d'enrobage.

---

[49] Association intern. des Ponts et Charpentes, 1er Congrés, Paris 1932. Publication préliminaire, p. 587 et ss. Rapport final, p. 516 et ss.

[50] Stahlbau 1934, p. 49 et ss.; 1935 p. 81 et ss.; Zentralblatt der Bauverwaltung 1935, p. 536.