

Statische Berechnung/ *Structural Report*

**Objekt/
Subject:** Indoor PA – Tower P6 und P6+
Indoor PA – Tower P6 und P6+

**Entwicklung/
Developer:** SHOWEM Veranstaltungstechnik GmbH
Gutenbergstraße 12
85098 Großmehring

**Hersteller/
Manufacturer:** H.O.F.-Alutec GmbH & Co. KG
Brookstr. 8
49497 Mettingen

**Aufsteller/
Structural Engineer:** Dipl.- Ing. T. Brandt
Brookstr. 8
49497 Mettingen
Tel. 05452/ 935082 Fax. - / 935083

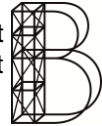
Aufgestellt: im Dezember 2017
created in: December 2017

Statik Baukonstruktion
Dipl. Ing. Thomas Brandt
Brookstr. 8 49497 Mettingen
Tel. 05452/935082 Fax / 935083



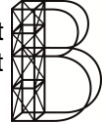
Der Nachweis umfasst 10 Seiten.
This report includes 10 pages.

Auftrags-Nr.: 17199
job numer: 17199
Bearbeiter/ case handler: Br



Inhaltsverzeichnis/ table of contents

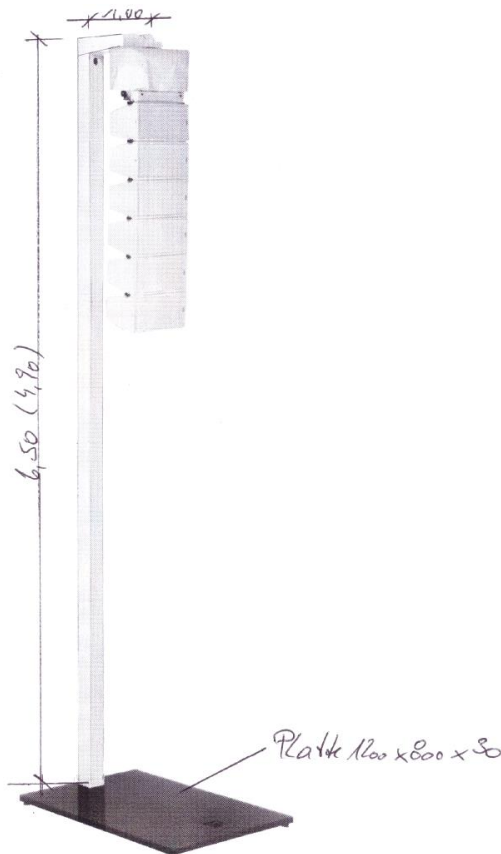
Inhaltsverzeichnis/ <i>table of contents</i>	2
1. Vorbemerkungen/ <i>preliminary remark</i>	3
2. Berechnungsgrundlagen/ <i>calculation basis</i>	4
3. Baustoffe/ <i>materials</i>	4
4. Belastungsannahmen/ <i>load assumptions</i>	5
4.1. Eigengewichte/ <i>dead weights</i>	5
4.2. vertikale Verkehrslast/ <i>vertical user loads</i>	5
4.3. horizontale Stabilisierungslast/ <i>horizontal stabilisation load</i>	5
5. Bauteilnachweise/ <i>component analysis</i>	5
5.1. Auslegerkopf/ <i>cantilever head</i>	6
5.2. Mast/ <i>pole</i>	7
5.3. Fußaufnahme/ <i>base socket</i>	8
5.4. Bodenplatte/ <i>base plate</i>	9
6. Verankerungsnachweis/ <i>anchoring</i>	9
6.1. Erläuterungen/ <i>explanations</i>	9
6.2. Kippen der Konstruktion/ <i>tilting of the construction</i>	10
6.3. Gleiten der Konstruktion/ <i>sliding of the construction</i>	10
7. Schlußbemerkung/ <i>final remark</i>	10



1. Vorbemerkungen/ preliminary remark

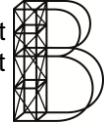
Gegenstand der vorliegenden Berechnung ist der Nachweis einer Mastkonstruktion (Stele) zur Aufnahme von Lautsprecherboxen. Die Konstruktion wird durch eine Bodenplatte mit entsprechendem Ballast stabilisiert. Es werden 2 Varianten $H = 4,90$ m sowie $H = 6,50$ m untersucht. Abmessungen sind der nachfolgenden Zeichnung zu entnehmen.

Subject of this structural report is a pole construction (stele), which is meant to carry loads like loudspeakers. The construction is stabilized with ground plates and required ballast. Two options ($H = 4,90$ m and $6,50$ m) are analysed in this report. See the following drawings for dimensions.



Aufbauhinweise:

- Die Konstruktion darf nur in geschlossenen Räumen aufgestellt werden.
- Die Konstruktion ist durch technische/organisatorische Maßnahmen hinreichend vor horizontalen Einwirkungen (Anprall) zu schützen.
- Für die korrekte Verankerung der Konstruktion sind die Angaben im Kapitel „Verankerung“ zu beachten.
- Der Untergrund muß eben und ausreichend tragfähig sein. Der Mast muss absolut senkrecht errichtet werden.
- Je Mast wurde hinsichtlich Verbindungsstiels max. 4 Stöße berücksichtigt. Die Anzahl ist nach Möglichkeit durch Wahl der entsprechenden Längenelemente nicht zu überschreiten.



assembly instructions:

- *The construction may only be used indoors*
- *The construction has to be sufficiently protected against horizontal impacts (collision) by appropriate technical and or organisational measures.*
- *For correct anchoring of the construction the instructions in chapter "anchoring" have to be observed.*
- *The ground underneath has to be even and sufficiently solid. The pole has to be built absolutely perpendicular.*
- *A maximum of 4 pole segment connections per pole have been analysed. In order to not exceed this number, pole segments should be selected in the appropriate lengths.*

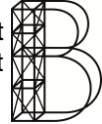
2. Berechnungsgrundlagen/ calculation basis

DIN – Normen/ norms:

DIN EN 1991	Einwirkungen auf Tragwerke <i>actions on structures</i>
DIN EN 13814	Fliegende Bauten <i>temporary structures, fair-ground amusements</i>
DIN EN 1993-1-1	Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten <i>steel structures, design and construction</i>
DIN EN 1999	Berechnung und Bemessung von Aluminiumkonstruktionen <i>aluminium constructions</i>

3. Baustoffe/ materials

Stahl/ steel:	S235JR
Aluminium/ aluminium:	EN AW- 6082 (Al Mg Si 1,0 F31)



4. Belastungsannahmen/ load assumptions

4.1. Eigengewichte/ dead weights

Mast/ pole: QR 100x5 → $g = 0,07 \text{ KN/m}$
Kopfteil/ head section: FI 100x35 → $g = 0,095 \text{ KN/m}$
Bodenplatte/ base: 1200x800x30 → $G = 0,77 \text{ KN}$

4.2. vertikale Verkehrslast/ vertical user loads

$P \leq 1,50 \text{ KN}$ (150 kg)

Zur Berücksichtigung von dynamischen Lastanteilen aus dem Verfahren des Arrays mittels Kettenzug wird die Anhängelast für die Bemessung mit einem Zuschlag von 30% beaufschlagt.

To consider the dynamic load components resulting from moving the array with a chain hoist, the vertical user loads are calculated with a factor of 1.3.

$P = 1,3 \times 1,5 = 1,95 \text{ KN}$

4.3. horizontale Stabilisierungslast/ horizontal stabilisation load

Zur Erzielung einer ausreichenden Längs- und Querstabilität wird für die Dimensionierung eine fiktive, destabilisierende Horizontallast am Mast berücksichtigt

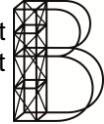
To reach a sufficient longitudinal and transverse stability, a fictual destabilising horizontal load is included in the analysis.

$F = 0,25 \text{ KN}$ Lastangriff bei: $H = 1,0 \text{ m}$

5. Bauteilnachweise/ component analysis

Die Verbindung der einzelnen Elemente erfolgt mittels Einstecklingen und entsprechend genauer Passung.
Maximales Spiel: 1 mm (umlaufend)

*The connection of the different components is realized by plug-in connections with tight fitting.
Max. margin: 1 mm (circumferential)*



5.1. Auslegerkopf/ cantilever head



Bohrungen: Ø60 mm für Kabeldurchlass in Mast
M16-Ringöse für Anschlagpunkt
FI 650x100x35 mm – ENAW 6082 T651 / T 6151
Einsteckling/ *plug-in connector* QR 90x5 mm L = 190 mm

Schnittgrößen/ internal forces:

PA → F = 1,95 KN

Eigengewicht Auslegerplatte/ *dead weight cantilever plate* → g = 0,095 KN/m

$$M_{Ed} = 1,35 \times 0,095 \times 0,55^2 / 2 + 1,5 \times 1,95 \times 0,50 = 1,482 \text{ KNm}$$

Biegung Platte/ bending of plate:

$$W_{el} = W_{net} = 10,0 \times 3,5^2 / 6 = 20,417 \text{ cm}^3$$

$$M_{O,Rd} = 20,417 \times 0,8 \times 12,5 / 1,25 = 163,34 \text{ KNcm}$$

$$\eta = 148,2 / 163,34 = 0,907 < 1,0$$

Schweißnaht Platte-Einsteckling/ weld seam between plate and plug-in connector

HV-Naht, a = t_{min}, an zwei gegenüberliegenden Seiten (voll durchgeschweißt)/

HV-seam, a= t_{min}, at two opposing sides (fully welded)

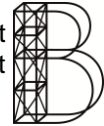
$$W_{Naht} = W_{Profil} = 45,7 \text{ cm}^2$$

f_w = 15,0 KN/cm² Schweißzusatzwerkstoff/ *welding material: 4043A o.glw. / or equivalent*

$$\sigma_{w,Ed} = 222,3 / 45,7 = 4,864 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Rd} = 15,0 / 1,25 = 12,0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\eta = 0,405 < 1,0$$



5.2. Mast/ pole



Material: EN AW 6082 T6
 Profil QHP 100x5 mm – L = 100 cm
 Einsteckling QHP 90x5 mm $L_{\text{Einbind}} = 19 \text{ cm}$ konstruktiv verschweißt

$A_{\text{Profil}} = 19,0 \text{ cm}^2$ $W_{\text{Profil}} = 57,3 \text{ cm}^3$ $i_{\text{Profil}} = 3,88 \text{ cm}$
 $A_{\text{Einsteckling}} = 17,0 \text{ cm}^2$ $W_{\text{Einsteckling}} = 45,7 \text{ cm}^3$ $i_{\text{Einsteckling}} = 3,48 \text{ cm}$

Zur Berücksichtigung von Schiefstellung und Verformung erfolgt die Bemessung am verformten System mit adäquaten Ersatzlasten.

To consider tilting and deformation, a deformed system with adequate equivalent loads is used for the calculation.

Ansatz von vier Stoßfugen (Verbindungsspiel)
four butt joints are used in the calculation (clearing gap)

Vorverdrehung/ *pre-torsion:*

Vorkrümmung/ *precamber:*

Verbindungsspiel/ *clearing gap:*

Kopfauslenkung/ *head deflection:*

$$\varphi_0 = 1 / 200 = 0,5 \text{ cm/m}$$

$$e_0 = L / 200 = 650 / 200 = 3,25 \text{ cm}$$

$$\alpha = \arctan (2 / 300) = 0,38^\circ$$

$$e_1 = 8,2 \text{ cm} \quad (\text{aus geom. Herleitung})$$

$$\varphi = (0,5 \times 6,5 + 3,25 + 8,2) / 650 = 0,0226$$

Eigengewicht Mast/ *dead weight of pole*

Nutzlast/ *payload:*

$$N_{\text{Ed},1} = 1,35 \times 0,07 \times 6,50 = 0,61 \text{ KN}$$

$$N_{\text{Ed},2} = 1,5 \times 1,95 = 2,925 \text{ KN}$$

$$\sum N_{\text{Ed}} = 3,535 \text{ KN}$$

Schiefstellung des Mastes/ *pole tilting:*

Kopfmoment von Auslegerkopf/ *torque of cantilever head:*

Horizontale Ersatzlast/ *horizontal equivalent load:*

$$M_{\text{Ed},1} = \varphi \times \sum N_{\text{Ed}} \times 650 = 51,93 \text{ KNcm}$$

$$M_{\text{Ed},2} = 148,2 \text{ KNcm}$$

$$M_{\text{Ed},3} = 1,5 \times 0,25 \times 100 = 37,50 \text{ KNcm}$$

$$\sum M_{\text{Ed}} = 237,6 \text{ KNcm}$$

Biegeknicken Gesamtstab/ *flexural buckling on complete beam:*

Aufgrund der Schnittgrößenermittlung am verformten System wird eine Beanspruchung aus Biegung und Normalkraft nachgewiesen.

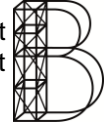
Following the internal force calculation of the deformed system, the resulting stress from bending and normal force is analysed.

$$N_{\text{Rd}} = 19,0 \times 0,8 \times 18,5 / 1,25 = 225,0 \text{ KN}$$

$$M_{\text{u,Rd}} = 57,3 \times 0,8 \times 18,5 / 1,25 = 678,4 \text{ KNcm}$$

$$M_{\text{o,Rd}} = 57,3 \times 0,8 \times 12,5 / 1,1 = 520,9 \text{ KNcm}$$

$$\eta = (N_{\text{Ed}} / N_{\text{Rd}})^{1,3} + ((M_{\text{Ed}} / M_{\text{Rd}})^{1,7})^{0,6} = 0,347 < 1,0$$



Lokale Biegung Einsteckling/ local flexure of plug-in connector

Normalkraftübertragung mittels Kontakt der Hauptrohre – Einsteckling überträgt nur Biegung.
normal force transmission through contact with main pipes – plug-in connector transmits bending only

$$M_{u,Rd} = 45,7 \times 0,8 \times 18,5 / 1,25 = 541,1 \text{ KNcm}$$

$$M_{o,Rd} = 45,7 \times 0,8 \times 12,5 / 1,1 = 415,5 \text{ KNcm}$$

$$\eta = M_{Ed} / M_{Rd} = 0,572 < 1,0$$

Durchstanzen – Einsteckling/ punching shear – plug-in connector

Einstecktiefe/ *plug-in depth*: $e = 19,0 \text{ cm}$ je Seite/ *on each side*

$$W_{\text{Profil}} = 45,7 \text{ cm}^2$$

$$V_{ED} = F(M_{Ed}) = 237,6 / 19,0 = 12,50 \text{ KN}$$

Ansatz: 1/3 der Einstecklänge als Schubfläche

approach: 1/3 of plug-in depth as shear areas

$$L' = 19,0 / 3 = 6,33 \text{ cm}$$

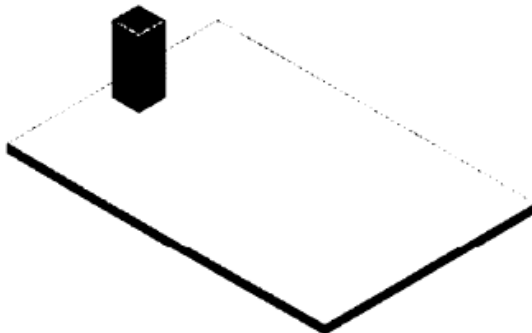
Profilwandung/ *profile walls*:

$$A_V = 0,8 \times 2 \times 6,33 \times 0,5 = 5,06 \text{ cm}^2$$

$$V_{Rd} = 5,06 \times 0,8 \times 12,5 / \sqrt{3} / 1,1 = 26,56 \text{ KN}$$

$$\eta = V_{Ed} / V_{Rd} = 0,471 < 1,0$$

5.3. Fußaufnahme/ base socket



QHP 100x5 mm – EN AW 6060 L = 25 cm
Bodenplatte t = 30 mm - EN AW 6082 T651 / T6151

Die Fußaufnahme wird fest mit der Bodenplatte verschweißt. Das Längenelement wird eingesteckt.
The base socket is firmly welded with the base plate. The pole segment is plugged in.

Schnittgrößen/ internal forces:

$$N_{Ed} = 3,535 \text{ KN}$$

$$M_{Ed} = 237,6 \text{ KNcm}$$

Schweißnaht/ weld seam:

umlaufend Kehlnaht/ *circumferential fillet weld* $a = 3 \text{ mm} \rightarrow a' = a / \sqrt{2} = 1,73 \text{ mm}$

$f_w = 15,0 \text{ KN/cm}^2$ Schweißzusatzwerkstoff/ *welding material*: 4043A o.glw./ *or equivalent*

$$A = 10,17^2 - 9,83^2 = 6,8 \text{ cm}^2$$

$$W = (10,17^4 - 9,83^4) / 12 / 5,135 = 22,1 \text{ cm}^3$$

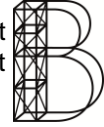
$$\sigma_{w,Ed} = 3,535 / 6,8 + 237,6 / 22,1 = 11,27 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Rd} = 15,0 / 1,25 = 12,0 \text{ KN/cm}^2$$

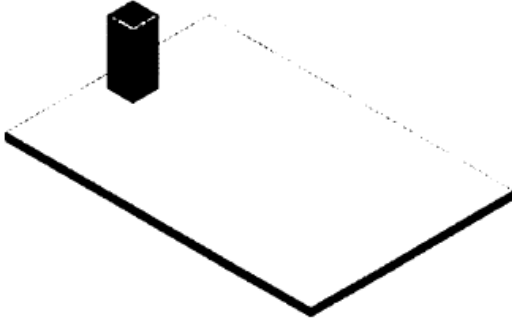
$$\eta = \sigma_{w,Ed} / \sigma_{w,Rd} = 0,939 < 1,0$$

Wärmeeinflußzone/ heat affected zone:

Bereits im Rahmen des Profilmachweises berücksichtigt/ *already included in the profile analysis*



5.4. Bodenplatte/ base plate



1200x800x40 mm – ENAW 6082 T651 / T6151

Schnittgrößen/ internal forces:

$$N_{Ed} = 3,535 \text{ KN}$$

$$M_{Ed} = 237,6 \text{ KNcm}$$

Plattenbiegung/ plate bending:

$$M_{Ed,x} = 3.535 \times 70,0 / 4 = 61,86 \text{ KNcm} \quad \text{mit/ with } a = 70\text{cm}$$

$$M_{Ed,y} = M_{Ed} = 237,6 \text{ KNcm}$$

Konservativer Ansatz: 1:1-Überlagerung beider Richtungen
conservative approach: one-to-one overlap in both directions

$$M_{ED} = 61,86 + 237,6 = 299,5 \text{ KNcm}$$

$$B_{eff} = 16 \text{ cm}$$

$$W_{eff} = 16 \times 4,0^2 / 6 = 42,67 \text{ cm}^3$$

$$M_{0,Rd} = 42,67 \times 0,8 \times 12,5 / 1,1 = 387,9 \text{ cm}$$

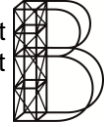
$$\eta = M_{Ed} / M_{Rd} = 0,772 < 1,0$$

6. Verankerungsnachweis/ anchoring

6.1. Erläuterungen/ explanations

Horizontale Ersatzlasten werden wie Windlasten behandelt. Gemäß DIN 13814 werden die günstig wirkenden Eigenlasten mit $\gamma_f = 1,0$ und ungünstig wirkende horizontale Ersatzlasten mit $\gamma_f = 1,2$ berücksichtigt. Die Konstruktion wird durch Ballastgewichte gesichert. Alle Ballastgewichte müssen deart an die Fußpunkte der Konstruktion angeschlagen werden, daß alle Gewichte gleichzeitig für alle denkbaren Lastrichtungen aktiviert werden.

Horizontal equivalent loads are treated like wind loads. According to DIN 13814 the favourable effects of the dead weights are factored with $\gamma_f = 1,0$ while the unfavourable effects of the equivalent loads are factored with $\gamma_f = 1,2$. The construction is secured by ballast weights. All ballast weights needs to be attached to the base of the construction in a way that all weights are activated at the same time for every possible load direction.



6.2. Kippen der Konstruktion/ tilting of the construction

Es werden keine Horizontallasten berücksichtigt, die ein Kippen der Konstruktion verursachen würden.
Die horizontale Ersatzlast wird durch das Eigengewicht kompensiert.

*No horizontal loads which would cause the construction to tilt are considered.
The horizontal equivalent load is compensated by the dead weight.*

$$M_{\text{Kipp}} = 1,2 \times 0,25 \times 1,0 = 0,30 \text{ KNm}$$

$$M_{\text{Stand}} = 1,04 \times 0,4 = 0,416 \text{ KNm}$$

$$G_{\text{Bodenplatte}} = 104 \text{ kg}$$

Der Schwerpunkt des exzentrischen Lastangriffes am Mast liegt innerhalb der Bodenplatte.
The center of the eccentric load impact at the pole lies within the base plate.

Kein Kippen der Konstruktion
No tilting of the construction

6.3. Gleiten der Konstruktion/ sliding of the construction

aus horizontaler Ersatzlast folgt:
from horizontal equivalent load:

$$\text{vorh. } F_H / \text{existing } F_H = 1,2 \times 0,25 = 0,30 \text{ KN}$$

$$\text{zul. } F_H / \text{allowed } F_H = 1,04 \times 0,4 = 0,416 \text{ KN}$$

$$\text{mit } G_{\text{Bodenplatte/ baseplate}} = 104 \text{ kg; } \mu = 0,4$$

7. Schlußbemerkung/ final remark

Die Konstruktion wurde hinsichtlich DIN 13814, DIN 1999, DIN 1991, DIN 1993, sowie aller mitgeltenden Normen untersucht. Sie ist hinreichend tragfähig und standsicher.

The construction has been analyzed according to DIN 13814, DIN 1999, DIN 1991, DIN 1993, including other applicable norms. It is dimensioned sufficiently stable.