



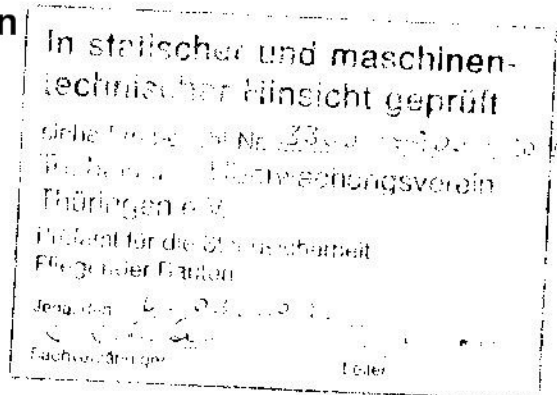
Ingenieurbüro für
Messebau
Bühnentechnik
Fliegende Bauten

Statische Berechnung

Auftraggeber: Kiddyfun-Event-Module
Uli Wiesemann
Hauptstr. 52
59469 Ense

Projekt: 4 - er Bungee-Trampolin

Erstaufstellung: 29.07.2008



Projektnummer: 2011-0070

Nur gültig mit Original Stempel und Unterschrift - Kopien verletzen das Urheberrecht.
Only valid with original signature - Copies are illegal.

Aufgestellt:	18.01.2011
Bearbeiter:	
Leiter:	
 Dipl.-Ing. Michael Lück Suerkamp 14, D - 59302 Oelde Fon: 02520 - 912 921 1 Fax: 02520 - 912 921 3	

Post- und Hausadresse:

Expo Engineering
Suerkamp 14
D - 59302 Oelde
Fon: 02520 - 912 921 1
Fax: 02520 - 912 921 3
E-Mail: info@expo-engineering.de

1. Vorbemerkungen

1.1. Berechnungsgrundlagen

Die Berechnungen erfolgen nach aktuellem Stand der Technik. Besondere Berücksichtigung gilt:

- DIN 4112 - Fliegende Bauten
- DIN 4113 - Aluminiumkonstruktionen
- DIN 18800 - Stahlbauten, März 1981
- DIN 15018 - Krane
- DIN EN 1999-2 - Aluminiumkonstruktion - ermüdungsanfällige Bauw.

Die Schnittkräfte einiger Positionen werden durch das Rechnerprogramm "A2.05-0" der Firma "NordSoft ApS" aus Flensburg, ermittelt.

1.2. Konstruktionsbeschreibung

Bei der Konstruktion handelt es sich um eine Trampolinanlage.

Im Wesentlichen besteht die Konstruktion aus vier Auslegerarmen, die am Chassis befestigt sind und durch Stützen abgefangen werden.

1.3 Baustoffe

Stahl

S235: $\sigma_{zul} = 16,0 \text{ kN / cm}^2$ DIN 18800 Teil 1, März 1981
 $\tau_{zul} = 9,2 \text{ kN / cm}^2$ DIN 18800 Teil 1, März 1981
zulässige Spannungen für Betriebsfestigkeit nach DIN 15018

S355: $\sigma_{zul} = 24,0 \text{ kN / cm}^2$ DIN 18800 Teil 1, März 1981
 $\tau_{zul} = 13,9 \text{ kN / cm}^2$ DIN 18800 Teil 1, März 1981
zulässige Spannungen für Betriebsfestigkeit nach DIN 15018

Aluminium adäquat alte Norm	EN-AW 6082 T6 AlMgSi 1 F31
Grundwerkstoff:	
σ_{zul}	LF H = 14,5 kN / cm ² LF Hz = 16,5 kN / cm ²
τ_{zul}	LF H = 8,4 kN / cm ² LF Hz = 9,4 kN / cm ²
$zul \sigma_L$	LF H = 17,0 kN / cm ² LF Hz = 19,5 kN / cm ² Für $\Delta d < 0,3\text{mm}$
$zul \sigma_L$	LF H = 21,5 kN / cm ² LF Hz = 24,5 kN / cm ² Für $\Delta d < 0,3\text{mm}$

Aluminium adäquat alte Norm	EN-AW 6060 T6 AlMgSi 0,5 F22
Grundwerkstoff:	
σ_{zul}	LF H = 8,0 kN / cm ² LF Hz = 9,2 kN / cm ²
τ_{zul}	LF H = 4,6 kN / cm ² LF Hz = 5,2 kN / cm ²
$zul \sigma_L$	LF H = 10,0 kN / cm ² LF Hz = 11,5 kN / cm ² Für $\Delta d < 1,0\text{mm}$
$zul \sigma_L$	LF H = 13,5 kN / cm ² LF Hz = 15,0 kN / cm ² Für $\Delta d < 0,3\text{mm}$

In einige Positionen wird der Knicknachweis derart geführt, dass mit dem ω - Wert der härten Legierung gegen die zulässige Spannung der weicheren Legierung bemessen wird.
Dies hat zur Folge, dass beide Werkstoffe zum Einsatz kommen können.



1.4 Lastannahmen:

1.4.1 Schnee:

entfällt

1.4.2 Wind

Gemäß DIN 4112 4.5.3:

innerhalb des Betriebs: $q = 0,15 \text{ kN / m}^2$ $h < 5\text{m}$

innerhalb des Betriebs: $q = 0,25 \text{ kN / m}^2$ $h > 5\text{m}$

Gemäß DIN 1055 T4 (Aug 1986)

Außer Betrieb $q = 0,5 \text{ kN / cm}^2$ $h < 8\text{m}$

Außer Betrieb $q = 0,8 \text{ kN / cm}^2$ $8\text{m} < h < 20\text{m}$

Rohre:

Ø100/□100: $d * (q)^{0,5} = 0,1 * (0,5)^{0,5} = 0,071$

$cf = 1,2$

$w = 1,2 * 0,5 * 0,1 = 0,06 \text{ kN / m}$

Ø50/ □50: $d * (q)^{0,5} = 0,05 * (0,5)^{0,5} = 0,035$

$cf = 1,2$

$w = 1,2 * 0,5 * 0,05 = 0,03 \text{ kN / m}$

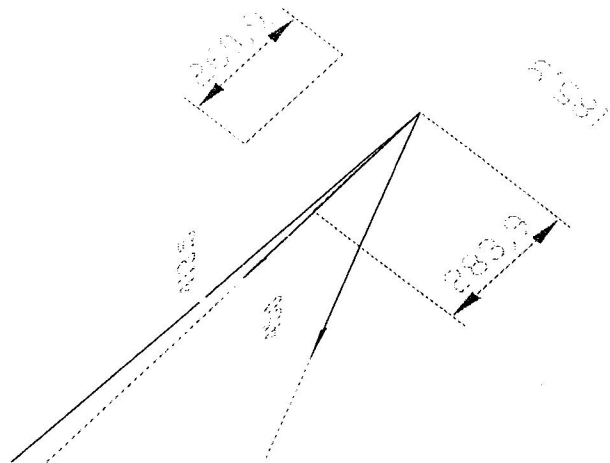
1.4.3 Nutzlast lotrecht

Die Nutzlast wird mit einem Schwingbeiwert von $v = 1,2$

Mannlast: $P = 0,9 \text{ kN}$

Die Last wird zunächst für 0,9 kN ermittelt und später im Programm fakturiert.

Grafische Lastermittlung:



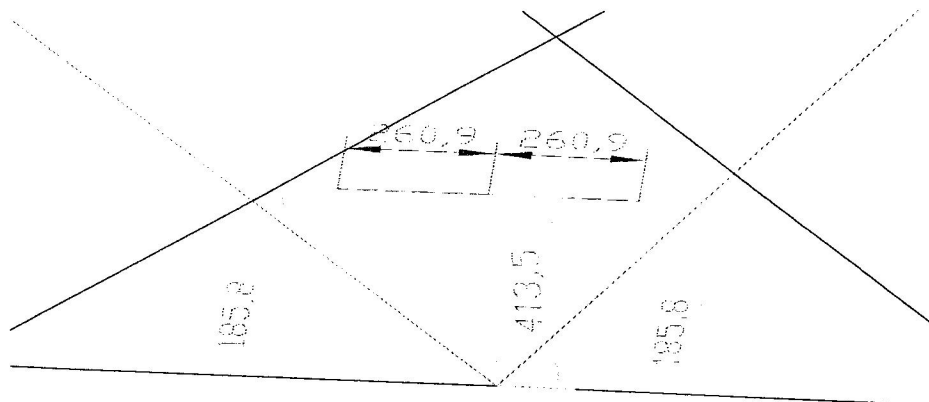
Kräfte am Ende des Auslegers:

$$F_z = 0,45 + 0,4135 = 0,864 \text{ kN}$$

$$F_x = 0,261 + 0,284 = 0,545 \text{ kN}$$

$$F_y = 0,186 \text{ kN}$$

Die Kräfte werden für jeden Benutzer separat eingegeben.



Kräfte am Fußpunkt/ Seilanschlag:

$$F_x = 0$$

$$F_y = 2 * 0,186 = 0,372 \text{ kN}$$

$$F_z = 2 * 0,414 = 0,828 \text{ kN}$$

1.4.4 Grundlage der Betriebsfestigkeitsanalyse

Stahlteile gemäß DIN 15018:

Spannungsspielbereich N3:	Regelmäßige Benutzung im Dauerbetrieb
Spannungskollektiv S2:	mittel

Beanspruchungsgruppe B5

Aluminiumteile gemäß DIN EN 1999-2

2 Berechnungen

2.1 Nachweis Tragrohr/ Ausleger

Profil □ 100x5 ENAW 6060 T6

$$A = 19,0 \text{ cm}^2$$

$$W = 57,32 \text{ cm}^3$$

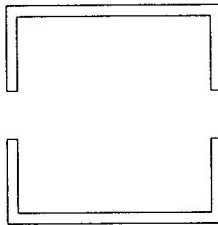
$$i = 3,88 \text{ cm}$$

Nachweis am Profil:

s. Lochung

Nachweis an der Lochung/ mittlerer Anschluss:

Der Bereich des Loches wird maximal durch das wechselnd auftretende M_z beansprucht.



REGIONEN	
Fläche	16,88.0000
Umfang	692,8600
Begrenzungsrahmen	X: -50,0000 Y: -50,0000 X: 50,0000 Y: 50,0000
Schwerpunkt	X: 0,0000 Y: 0,0000
Trägheitsmomente	X: 28256,950000 Y: 236,90000000
Deviationen	X: 0,0000 Y: 0,0000
Trägheitsradien	X: 41,2389 Y: 37,3316
Hauptträgheitsmomente	und X-Y-Richtung um Schwerpunkt: J: 28256,950000 entlang (1,0000 0,0000) J: 236,900000 entlang (0,0000 1,0000)

$$\max M_z = 1,424 \text{ kNm} \quad \text{zug } N = -1,29 \text{ kN} \quad \text{zug } M_y = -0,698 \text{ kNm}$$

$$\max M_z = 1,726 \text{ kNm} \quad \text{zug } N = -1,31 \text{ kN} \quad \text{zug } M_y = -0,902 \text{ kNm}$$

$$W_{z_{\text{red}}} = 236,9 / 5,0 = 47,4 \text{ cm}^3 \quad A_{\text{red}} = 16,8 \text{ cm}^2$$

$$W_{y_{\text{red}}} = 285,7 / 5,0 = 57,1 \text{ cm}^3$$

$$\sigma (M_z) = 172,6 / 47,4 = 3,64 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$\sigma (N) = -1,31 / 16,8 = -0,1 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$\Delta \sigma_D = 8,42 \text{ kN} / \text{cm}^2 \quad \text{Kerbfall 1.4 / 69-7}$$

$$\Delta \sigma = 2 * 3,64 = 7,28 \text{ kN} / \text{cm}^2 < 8,42 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

Obere Faser:

$$\max \sigma = -1,31 / 16,8 + 90,2 / 57,1 + 172,6 / 47,4 = 5,14 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$\min \sigma = -1,31 / 16,8 + 90,2 / 57,1 - 172,6 / 47,4 = -2,14 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$\Delta \sigma_D = 8,42 \text{ kN} / \text{cm}^2 \quad \text{Kerbfall 1.4 / 69-7}$$

$$\Delta \sigma = 5,14 + 2,14 = 7,28 \text{ kN} / \text{cm}^2 < 8,42 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

Nachweis am unteren Anschluss (6,39m):

Kerbfall 3.8/ 18-3,2

$$\Delta\sigma_D = 1,35 \text{ kN / cm}^2 \quad \text{Kerbfall 4.3 / 55-4}$$

$$V_z = 0,484 \text{ kN}$$

$$N = 1,091 \text{ kN}$$

Übertragung mittels 4x Schraube M10 auf Gelenkstück und Bolzen Ø20 im Gelenk.

Schraube M10 - 10.9:

$$\text{zul } N = 20,9 \text{ kN}$$

$$\text{zul } Q = 18,9 \text{ kN}$$

Kein weiterer Nachweis.

Nachweis am oberen Anschluss (0m):

Kerbfall 3.8/ 18-3,2

$$\Delta\sigma_D = 0,14 \text{ kN / cm}^2 \quad \text{Kerbfall 4.3 / 55-4}$$

$$V_z = 0,18 \text{ kN}$$

$$N = 2,41 \text{ kN}$$

$$2 \times \text{Hy Naht } a = 2\text{mm}$$

$$A_w = 2 \times 0,2 \times \pi \times 2,0 = 2,51 \text{ cm}^2$$

$$\tau = \sigma < (0,2 + 2,4) / 2,51 = 1,04 \text{ kN / cm}^2 < 1,35 \text{ kN / cm}^2$$

Nachweis am Einsteckling

s. Lochung/ Mittelanschluss

Knicken

Bei einer springenden Person:

$$N = -1,29 \text{ kN}$$

$$M_y = 0,698 \text{ kNm}$$

$$M_z = 1,424 \text{ kNm}$$

$$s_k = 2 \times L = 2 \times 485 = 970 \text{ cm}$$

$$\lambda = 970 / 3,88 = 250$$

$$\omega = 16,93$$

$$\sigma_k = 16,93 \times 1,31 / 19,0 + 0,9 \times (90,2 + 172,6) / 57,32$$

$$\sigma_k = 5,3 \text{ kN / cm}^2 < 8,0 \text{ kN / cm}^2$$

Bei zwei springenden Personen:

$$N = -2,55 \text{ kN}$$

$$M_y = 1,391 \text{ kNm}$$

$$M_z = 0,249 \text{ kNm}$$

$$s_k = 2 * L = 2 * 485 = 970 \text{ cm}$$

$$\lambda = 970 / 3,88 = 250$$

$$\omega = 16,93$$

$$\sigma_k = 16,93 * 2,55 / 19,0 + 0,9 * (24,9 + 139,1) / 57,32$$

$$\sigma_k = 4,85 \text{ kN / cm}^2 < 8,0 \text{ kN / cm}^2$$

2.2 Nachweis Strebe

$$\square 50 \times 50 \times 4 \quad \text{ENAW 6082 T6}$$

$$A = 7,36 \text{ cm}^2$$

$$i = 1,89 \text{ cm}$$

Last:

$$\min N = -3,144 \text{ kN}$$

$$L = 2,52 \text{ m} = 252 \text{ cm}$$

Knicken:

$$\lambda = 252 / 1,89 = 133$$

$$\omega = 7,90$$

$$\sigma_k = 7,90 * 3,144 / 5,37 = 4,63 \text{ kN / cm}^2 < 8,0 \text{ kN / cm}^2$$

Auch ENAW 6060 möglich.

Schraube: M12 - 4.6 - Einschnittig

$$\text{zul } F = 0,88 * 12,7 \text{ kN} = 11,2 \text{ kN}$$

Lochleibung

$$A_L = 1,2 * 0,4 = 0,48 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_L = 3,144 / 0,48 = 6,6 \text{ kN / cm}^2 < 10,0 \text{ kN / cm}^2$$

2.3 Nachweis Stahlunterbau

Beanspruchungsgruppe B5: $\kappa > -1$
zul $\sigma = 3,82 \text{ kN / cm}^2$

Die Eistecklinge sind konstruktiv ausgesteift und mit Rippen gegen Durchstanzen gesichert.

Aufgrund der unterschiedlichen Spannungsverhältnissen und zugehörigen Spannungen, bzw. Schwingbreiten wird eine Auswertung mittels Tabellenkalkulator angewendet (s. Anhang). Im Bereich des Chassis wird in Stabmitte mit eingeschweißtem Schott der Korbfall K3 angesetzt. Das Spannungsverhältnis κ wird für die Tabelle immer auf den nächst niedrigeren Wert gerundet.

maximaler Ausnutzungsgrad: $\max \eta = 0,94 < 1,0$

Im Bereich der Stütze an Stab B12 Schnitt: 0m (Übergang zum Chassis)

Schweißnähte

Die Chassisrahmen werden in sich mittels HV- Nähten verschweißt.

Die Chassisrahmen werden untereinander mittels umlaufender Kehlnaht (oben und unten) mittels Kehlnaht $a = 3\text{mm}$ verschweißt.

Steifen und Anschlaglaschen werden mit umlaufender Doppelkehlnaht $a=3$ verschweißt.

Die Aufnahmeplatte mit Gewinde wird mit umlaufender Kehlnaht $a = 3\text{mm}$ verschweißt.

2.4 Lasteinleitungspunkte

Die Lasteinleitungspunkte werden über RUD - VRM - M12 Ringmuttern und Gewindestange M12 - 8.8 realisiert. Die Ringmuttern sind im eingebauten Zustand frei drehbar und werden somit immer in richtiger Richtung belastet. Vor Inbetriebnahme ist darauf zu achten, dass die Lastein- und ausleitungspunkte nicht verdreht sind.

Die Belastbarkeit der Schraube wird herstellerseits mit 0,75 t angegeben.

Gewindestange M12 - 8.8

Zul V = 19,23 kN

Kein weiterer Nachweis.

Die Lastausleitungspunkte sind über Laschen am Chassis realisiert.

Platte t = 10mm S235 JR

Lochleibung:

Aufgrund der geringen Belastungen und großen Wandstärke wird die Lochleibung nach neuer Norm nachgewiesen.

$$F_k = [0,484^2 + 1,091^2]^{0,5} = 1,19 \text{ kN}$$

$$\text{grenz } a = 1,5 * 1,19 / [2 * 1,0 * 24,0 / 1,1] + 2/3 * 2,2 = 1,5 \text{ cm} < 1,9 \text{ cm}$$

2.5 Anschlüsse/ Verbindungen

2.5.1 Verbindung Ausleger - Stütze

$$N = -2,81 \text{ kN}$$

$$M = 0$$

$$V_y = 1,186 \text{ kN} \quad - \text{ wird über Lasche mittels Kontakt übertragen}$$

$$V_z = 0,893 \text{ kN}$$

$$F_{res} = [2,81^2 + 0,893^2]^{0,5} = 2,95 \text{ kN}$$

Bolzen $\varnothing$ 20mm

$$A = 3,14 \text{ cm}^2$$

$$W = 0,785 \text{ cm}^3$$

$$M = 2,95 / 2 * 1,0 = 1,47 \text{ kNcm}$$

$$V = 2,95 / 2 = 1,47 \text{ kN}$$

$$\sigma = 1,47 / 0,785 = 1,87 \text{ kN / cm}^2 < 16,0 \text{ kN / cm}^2$$

Der Bolzen greift auch in den Einsteckling (Stahl) ein.

Der Einsteckling ($\square$ 90x3 S235 JR) besitzt eine höhere Biegetragfähigkeit als das Profil selbst. Kräfte werden über Kontaktstoß übertragen.

Kein weiterer Nachweis.

2.5.2 Verbindung Stütze - Stützausleger

Verschweißt mittels Kehlnaht, umlaufend $a = 0,7 * t_{min}$

Kein weiterer Nachweis.

2.5.3 Verbindung Stützausleger - Teleskopstütze

Einsteckling mittels Rundrohr Ø 80x5mm S235 JR

Die Kräfte der Stütze werden maßgeblich über Kontaktstoß im Bereich der aufgeschweißten Stütze, sowie über einen Ø 20mm Bolzen übertragen.

$$\begin{aligned} \text{maximale Stützkraft: } R_z &= 4,2 \text{ kN} & a &= 0,125\text{m} & L &= 0,2\text{m} \\ F &= 4,2 * 0,2 / 0,125 = 6,72 \text{ kN} \end{aligned}$$

Bolzen Ø 20mm

$$A = 3,14 \text{ cm}^2$$

$$W = 0,785 \text{ cm}^3$$

$$M = 6,72 / 2 * 0,6 = 2,02 \text{ kNcm}$$

$$V = 6,72 / 2 = 3,36 \text{ kN}$$

$$\sigma = 2,02 / 0,785 = 2,6 \text{ kN / cm}^2 < 16,0 \text{ kN / cm}^2$$

2.5.4 Verbindung Stützausleger Chassis

Einsteckling über Kontaktstoß. Die Kontaktflächen sind ausgesteift.
Kein weiterer Nachweis.

2.6 Unterpallung

$$\text{max } R_z = 4,2 \text{ kN}$$

$$\text{min } A = 4,2 / 100 = 0,042 \text{ m}^2$$

$$\text{min } D = [4 * 0,042 / \pi]^{0,5} = 0,23 \text{ m}$$

$$\text{gewählt: } D = 0,25\text{m}$$

3 Windstabilität

Eigenlasten:	Eigenlast Metallprofile:	$G = 4,5 \text{ kN}$	- mittig
	Eigenlast Achse:	$G = 2,0 \text{ kN}$	- mittig

		$G = 6,5 \text{ kN}$	

Es werden zwei Lastfälle untersucht:

1. Wind im Betrieb mit einem Leewärtig angeordneten Benutzer (COS1)
2. Wind außer Betrieb (COS2)

3.1 Betrieb

Die Windlast wurde für einen Staudruck von $0,5 \text{ kN} / \text{m}^2$ eingegeben.

Der Faktor für die Windstabilität im Betrieb beträgt:

$$v = 0,5 * 1,2 = 0,6$$

Die destabilisierend wirkende Nutzlast wird gemäß DIN 4112 - 6.1 mit $v = 1,3$ faktorisiert.

Umkippen/ Abheben

Keine abhebenden Auflager vorhanden.

Gleiten

$$H' = 0,6 * 2,741 = 1,65 \text{ kN} \quad - \text{ Aus Wind} \quad \text{s. S. 37 Ausgabedatei}$$

$$\text{erf } \mu = 1,65 / 6,5 = 0,25$$

3.2 Außer Betrieb

Die Windlast wurde für einen Staudruck von $0,5 \text{ kN} / \text{m}^2$ eingegeben.

Der Faktor für die Windstabilität im Betrieb beträgt:

$$v = 1,0 * 1,2 = 1,2$$

Umkippen/ Abheben

Keine abhebenden Auflager vorhanden.

Gleiten

$$H' = 1,2 * 2,741 = 3,29 \text{ kN} \quad - \text{ Aus Wind s. S. 37 Ausgabedatei}$$

$$\text{erf } \mu = 3,26 / 6,5 = 0,50 < 0,6$$

Ausreichend für Werkstoffpaarungen:

Holz / Beton

Holz / Sand

Holz / Kies

Für eine Aufstellung auf Ton und Lehm ist das Gewicht zu erhöhen oder ein gleiten anderweitig zu verhindern.

Die Auflager werden derart ausgeführt, dass die Stütze fest mit einem Schuh aus Holz verbunden ist.

3. Schlussfolgerungen/Anforderungen

Die Konstruktion wurde hinsichtlich DIN 4112, DIN 4113, DIN 15018 und DIN 18800, sowie DIN EN 1999 T2 und mit geltenden Normen untersucht. Die Konstruktion ist hinreichend tragfähig, bis Windstärke 8 Bft. im Betrieb und ohne Windbegrenzung im Zustand Außer Betrieb standsicher und betriebsfest.

Die Konstruktion muss folgende Anforderungen erfüllen:

- Bei Windgeschwindigkeiten größer 70 km/h ist der Betrieb einzustellen.
- Die Konstruktion darf mit maximal einem Fahrgast pro Seilebene betrieben werden.
- Die Füße der Stützen sind mit einer Holzauflage zu versehen.