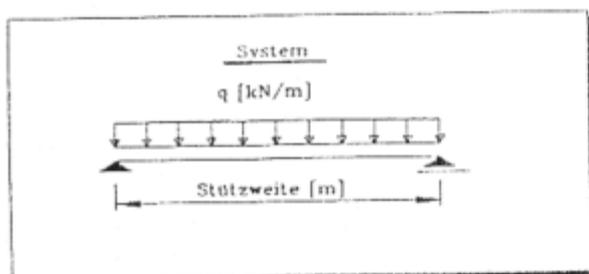
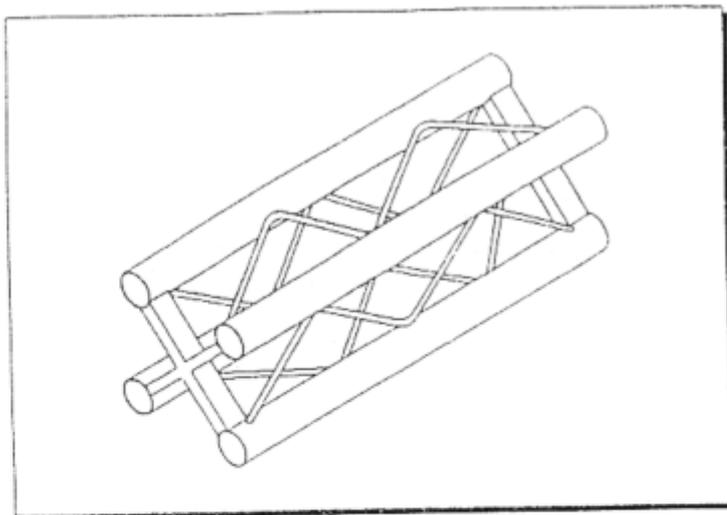


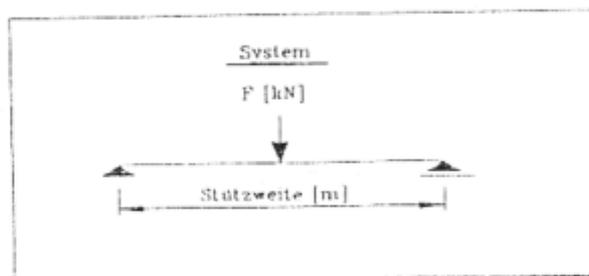
Statische Berechnungen

PENN TRUSS Profile



*Berechnung der maximal
zulässigen Streckenlasten
für verschiedene Profile.*

*Berechnung der maximal
zulässigen Einzellasten
für verschiedene Profile.*



Lightronic 
Showequipment

Statische Berechnung

Expo Engineering
Ingenieurbüro für Messebau und Bühnentechnik
Dipl.- Ing. Michael Lück
Grottkauerstraße 69 D- 59269 Beckum
Tel. 02521/16995 Fax. 02521/950796

Projekt: Traversen der Firma " Penn fabrication "

Truss DT	4 Gurte
Truss ST	4 Gurte
Truss TT	3 Gurte
Truss SST	2 Gurte

aufgestellt 13.02.97

EXPO

Dipl.-Ing. Michael Lück
Grottkauer Straße 69
59269 Beckum

M. Lück

1) Vorbemerkungen

1.1. Berechnungsgrundlagen

Die Berechnungen erfolgen nach amtlichen Baubestimmungen und Normen.

Besondere Berücksichtigung gilt DIN 4113.

Es liegen zu diesen Konstruktionen folgende Unterlagen vor:

- Profilskizzen
- Baustoffangaben mit Werkszeugnis des Lieferanten
- Eigenlastangaben aus Prospekten des Herstellers

Die Schnittkräfte werden durch das Rechnerprogramm-

" A2.05-0 ", der Firma " NordSoft ApS " aus Flensburg, überprüft.

Bei allen Traversen wird eine Lasteinleitung in den (die) Untergurt(e) angenommen.

1.2. Konstruktionsbeschreibung

Die Traversenkonstruktionen werden in England von der Firma " Penn fabrikation - Hastings " hergestellt.

Es handelt sich um Leichtbaukonstruktionen, die je nach Typ zu Träger- und Dekorationszwecken im Showgeschäft eingesetzt werden. Die Traversen werden aus Einzelelementen mit speziellen Anschlüssen zu den erforderlichen Längen verschraubt.

1.3. Baustoffe

Aluminium EN AW - 6082 (Al Si Mg Mn 1)
Zustand T6

nach DIN EN 755 - 2 entspricht der Zustand T6 einem Zustand F31 und $R_{p0,2} = > 260 \text{ N / mm}^2$.
Werkszeugnis des Lieferanten liegt vor.

Die Berechnung erfolgt für das adäquate Al Mg Si 1 F31 mit gleichen Festigkeitseigenschaften.

Verbindungsmittel Schrauben M10 8.8

1.4. Schweißverbindungen

Penn ist über das Deutsche Bauinstitut Berlin ein zugelassener Betrieb für tragende Bauteile aus Aluminium (DIN 4113 / 2) Der Betrieb ist geprüft und wird überwacht nach EN 287 - 2 / EN 288 - 4 / EN 719 / EN 729. TÜV Prüfungen sind für das Material somit nicht erforderlich. Siehe auch Hinweise Werks - katalog. Bei Statiken sind wir Ihnen gerne behilflich.

1.5. Verwendung der Traversen

Die Traversen können als Bauteile einer Überdachungskonstruktion dienen, sofern eine Ausführungsgenehmigung nach DIN 4112 von amtlicher Stelle vorliegt.

2) Berechnungen

2.1. Truss DT

2.1.1. Profildaten

Gurte	Rundrohr 50,2/1,63
Brace	Rundrohr 22,2/1,63
Vertikalstäbe	Rechteckrohr 50,2/25,1/1,63
Anschlußprofil	s. Skizze

$$A_{\text{Gurt}} = 248,7 \text{ mm}^2 = 2,5 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{ges}} = 4 * 2,5 = 10 \text{ cm}^2$$

$$I_{\text{Gurt}} = 73424 \text{ mm}^4 = 7,34 \text{ cm}^4$$

$$I_{y_{\text{ges}}} = 4 * (7,34 + 2,5 * 22,5^2) = 5091,9 \text{ cm}^4$$

$$W_{y_{\text{ges}}} = 5091,9 / 25 = 203,67 \text{ cm}^3$$

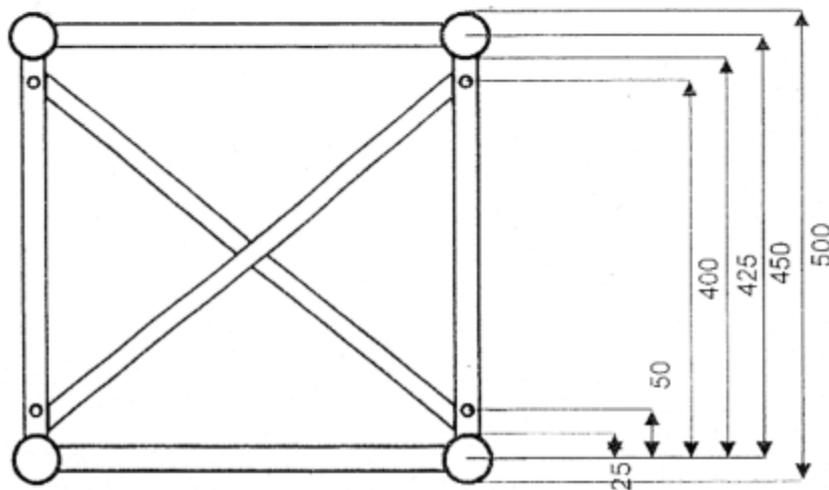
$$i_{\text{Gurt}} = 1,71 \text{ cm}$$

$$\lambda_{\text{Rohr}} = 90 / 1,71 = 52,6$$

mit 90 cm = sk, nach DIN 4114
Bild 4

$$\omega_{\text{Rohr}} = 1,4$$

nach DIN 4113, Tab 12b



2.1. Truss ST

2.1.1. Profildaten

Gurte	Rundrohr 50,2/1,63
Brace	Rundrohr 12,7/1,65
Anschluß	Rechteckrohr 50/25/3,5

$$A_{\text{Gurt}} = 248,7 \text{ mm}^2 = 2,5 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{ges}} = 4 * 2,5 = 10 \text{ cm}^2$$

$$I_{\text{Gurt}} = 73424 \text{ mm}^4 = 7,34 \text{ cm}^4$$

$$I_{y_{\text{ges}}} = 4 * (7,34 + 2,5 * 10^2) = 1029 \text{ cm}^4$$

$$W_{y_{\text{ges}}} = 1029 / 12,5 = 82,3 \text{ cm}^3$$

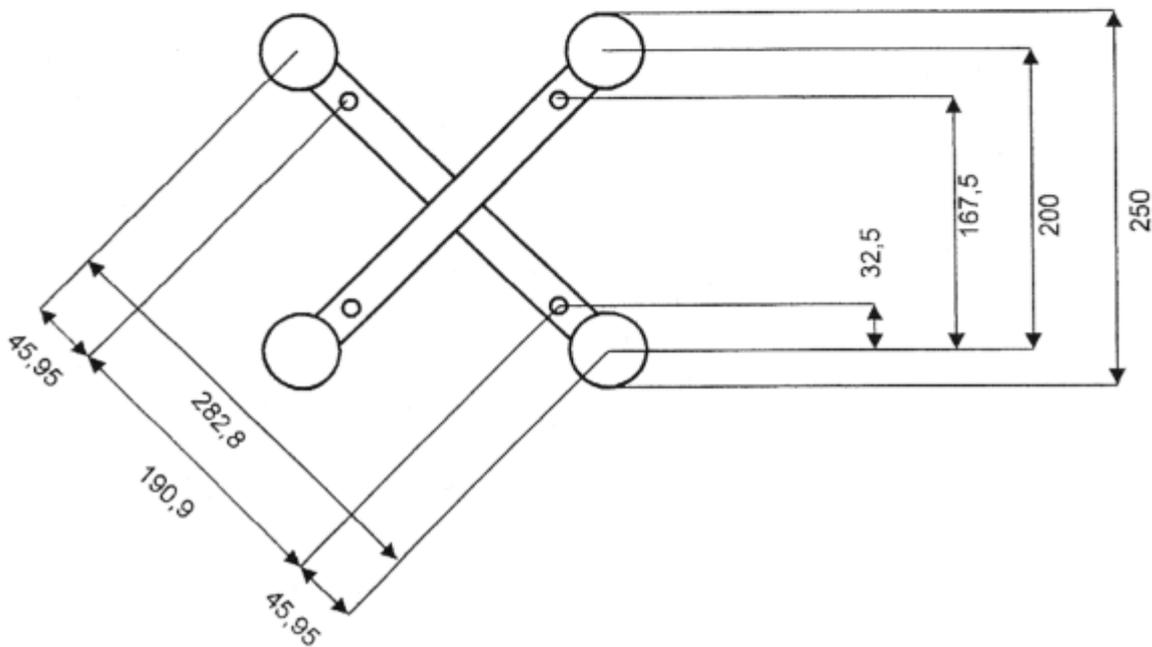
$$i_{\text{Gurt}} = 1,71 \text{ cm}$$

$$\lambda_{\text{Rohr}} = 50 / 1,71 = 29,2$$

mit 50 cm = sk, nach DIN 4114
Bild 4

$$\omega_{\text{Rohr}} = 1,03$$

nach DIN 4113, Tab 12b



2.1. Truss TT

2.1.1. Profildaten

Gurte	Rundrohr 50,2/1,63
Brace	Rundrohr 12,7/1,65
Anschluß	Rechteckrohr 50/25/3,5

$$A_{\text{Gurt}} = 248,7 \text{ mm}^2 = 2,5 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{ges}} = 3 * 2,5 = 7,5 \text{ cm}^2$$

$$I_{\text{Gurt}} = 73424 \text{ mm}^4 = 7,34 \text{ cm}^4$$

$$I_{y_{\text{ges}}} = (7,34 + 2,5 * 11,55^2) + 2 * (7,34 + 2,5 * 5,77^2) = 522 \text{ cm}^4$$

$$W_{y_{\text{ges}}} = 522 / 14,05 = 37,15 \text{ cm}^3$$

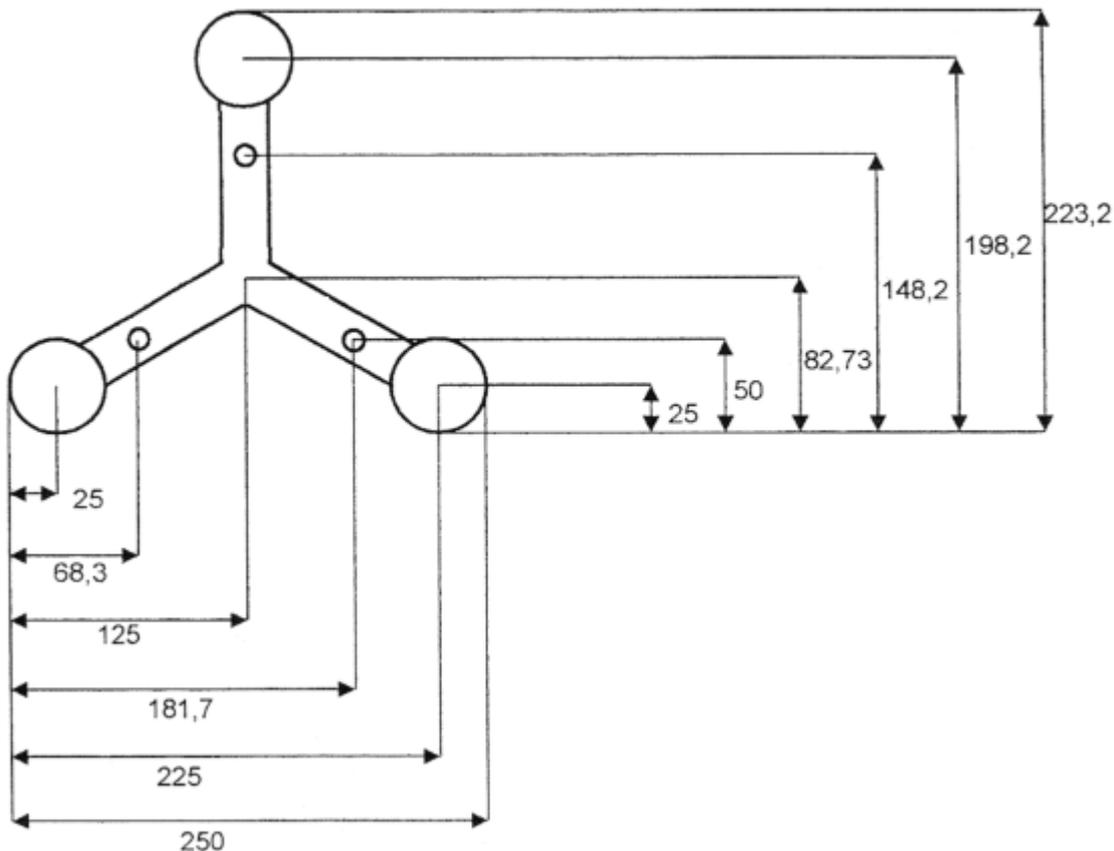
$$i_{\text{Gurt}} = 1,71 \text{ cm}$$

$$\lambda_{\text{Rohr}} = 50 / 1,71 = 29,2$$

mit 50 cm = sk, nach DIN 4114
Bild 4

$$\omega_{\text{Rohr}} = 1,03$$

nach DIN 4113, Tab 12b



2.1. Truss SST

2.1.1. Profildaten

Gurte	Rundrohr 50,2/1,63
Brace	Rundrohr 12,7/1,65
Anschluß	Rechteckrohr 50/25/3,5

$$A_{\text{Gurt}} = 248,7 \text{ mm}^2 = 2,5 \text{ cm}^2$$

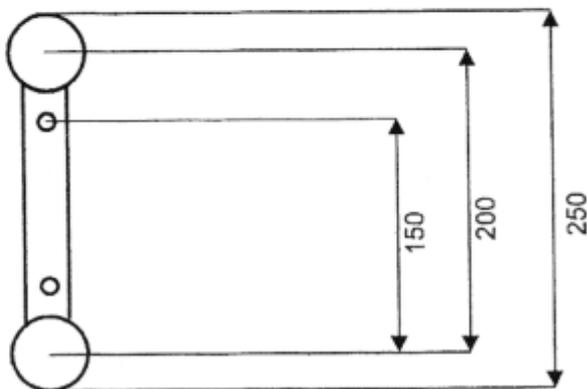
$$A_{\text{ges}} = 2 * 2,5 = 5 \text{ cm}^2$$

$$I_{\text{Gurt}} = 73424 \text{ mm}^4 = 7,34 \text{ cm}^4$$

$$I_{y_{\text{ges}}} = 2 * (7,34 + 2,5 * 10^2) = 514,7 \text{ cm}^4$$

$$W_{y_{\text{ges}}} = 514,7 / 12,5 = 41,2 \text{ cm}^3$$

$$i_{\text{Gurt}} = 1,71 \text{ cm}$$



2.1.2. Zulässige Belastungen der Bauteilgruppen

Für alle Bauteilgruppen werden zunächst die zul. Druck/Zugkräfte ermittelt, dann in ein zul. Moment der Traverse umgerechnet. Die schwächste Bauteilgruppe limitiert die Gesamtbelastbarkeit und wird zur Bestimmung der Belastbarkeit herangezogen.

Gurtbelastbarkeit

$$D_{zul} = < \sigma_{zul} \cdot A / \omega = 14,5 \cdot 2,5 / 1,4 = 25,9 \text{ KN für den Gurt}$$

$$M_{zul} = < D_{zul} \cdot 2 \cdot 0,45 = 25,9 \cdot 2 \cdot 0,45 = 23,31 \text{ KNm für das Gesamtprofil}$$

Bracingbelastbarkeit

Eine Profilhälfte von 4,8 m wird elektronisch untersucht.

Kürzere Systemlängen dürfen nicht verwendet werden, da sonst die Querkräfte zu hoch werden.

Die elektronische Berechnung ergibt für Gleichlast $q = 1,65 \text{ KN / m}$

$$\text{Stab 21} \quad N_x = - 4,36 \text{ KN}$$

$$i = 0,73$$

$$\lambda = 63,6 / 0,73 = 87 \quad \omega = 3,34$$

$$\sigma_k = 4,36 / 1,04 \cdot 3,34 = 14,0 < 14,5 \text{ o.k.}$$

Aus dieser Gleichlast resultiert ein für das Gesamtprofil zul. Moment $M_{zul} = 1,65 \cdot 4,8^2 / 8 \cdot 2 = 9,5 \text{ KNm}$, nur bei kurzen Längen (4,8m) relevant.

Schweißnaht der Braces

$$V = 4,36 \cdot \cos 45 = 3,08 \text{ KN}$$

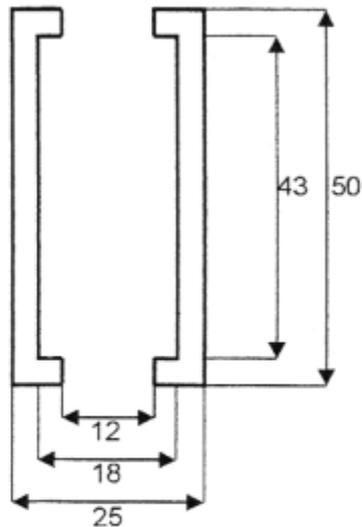
$$A_w \geq 2 \cdot 0,2 \cdot 4,0 = 1,6 \text{ cm}^2 \quad \text{für } a = 2\text{mm}, l = 40\text{mm}$$

$$\tau_w = 3,08 / 1,6 = 1,9 < 4$$

Anschlußprofil

Der Biegedruck wird durch Kontaktstoß des Druckflansches übertragen. Die Schrauben im Zugflansch verursachen Biegung im Rechteckrohr.

Profil Rechteckrohr 50/25/3,5 mit Lochschwächung durch Schraube
D = 12mm



$$I = 1/12 * (50^3 * 6,5 - 43^3 * 3) * 2 = 9,57 \text{ cm}^4$$

$$W = 9,57 / 2,5 = 3,83 \text{ cm}^3$$

$$M_{zul} = < \sigma_{zul} * W = 14,5 * 3,83 = 0,555 \text{ KNm} \quad \text{zul. Biegemoment des Kreuzes}$$

$$Z_{zul} = < M_{zul} * 0,45 / (0,4 * 0,05) = 12,5 \text{ KN} \quad \text{zul. Zugkraft Schraube}$$

Aus dieser Zugkraft resultiert ein für das Gesamtprofil zul. Moment

$$M_{zul} = 12,5 * 0,4 * 2 = 10 \text{ KNm}$$

Schweißnähte des Anschlußprofils

$A_w = 5,0 * 0,4 * 2 = 4 \text{ cm}^2$ an jedem Gurt

$V_{zul} = \tau_{wzul} * A_w = 4 * 4 = 16 \text{ KN}$

Aus dieser Zugkraft resultiert ein für das Gesamtprofil zul. Moment

$M_{zul} = 16 * 0,425 * 2 = 13,6 \text{ KNm}$

Schrauben M10 8.8

$Z_{R,d} = 33,75 \text{ KN}$

Aus dieser Zugkraft resultiert ein für das Gesamtprofil zul. Moment

$M_{zul} = 33,75 * 2 * 0,4 = 27 \text{ KNm}$

Beispielberechnung für eine zul. Anwenderlast

$q_{zul} (12 \text{ m}) = < M_{zul} * 8 / 12^2 - q_{\text{Eigenlast}}$
 $= 10,0 * 8 / 144 - 0,045 = 0,51 \text{ KN / m}$

2.1.3. Schlußworte zur Berechnung

Die errechneten Gurt und Streben Schnittgrößen wurden per FEM überprüft. Getestet wurde ein 4,8m Stück mit einer Gleichlast von 1,65 KN / m pro unterem Gurt. Diese Belastung simuliert ein Biegemoment von 9,5 KNm. Die Bracingbelastbarkeit ist durch diese Einwirkung ausgeschöpft. Längen unter 5m sind daher nicht höher belastbar.

Bei größeren Längen ist das Anschlußprofil die limitierende Bauteilgruppe und gibt für die Traverse ein zulässiges Moment von 10 KNm vor.

Die Belastbarkeit wird aus diesem zulässigen Moment errechnet, da das System in der Regel ab Stützweiten von 5m verwendet wird.

2.1.4. Belastbarkeitsdiagramm als Anlage

3) Belastbarkeitsdiagramme

3.1. Belastbarkeiten

Die im Diagramm dargestellten Belastbarkeiten sind aus zulässigen Spannungen nach DIN 4113 berechnet.

Die Werte sind maximale "Anwenderlasten", d.h. die Eigenlasten sind bei der Berechnung berücksichtigt worden.

Bei Einhaltung dieser maximalen Werte ist die Traverse tragsicher.

3.2. Formänderungen

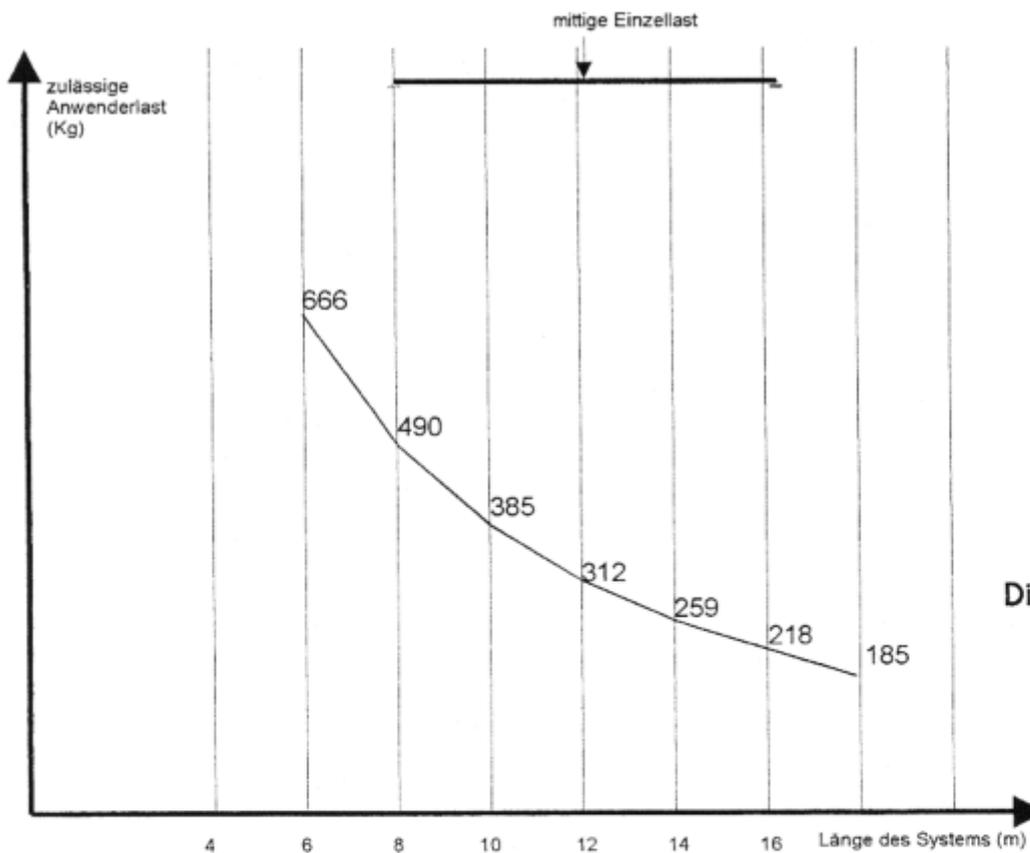
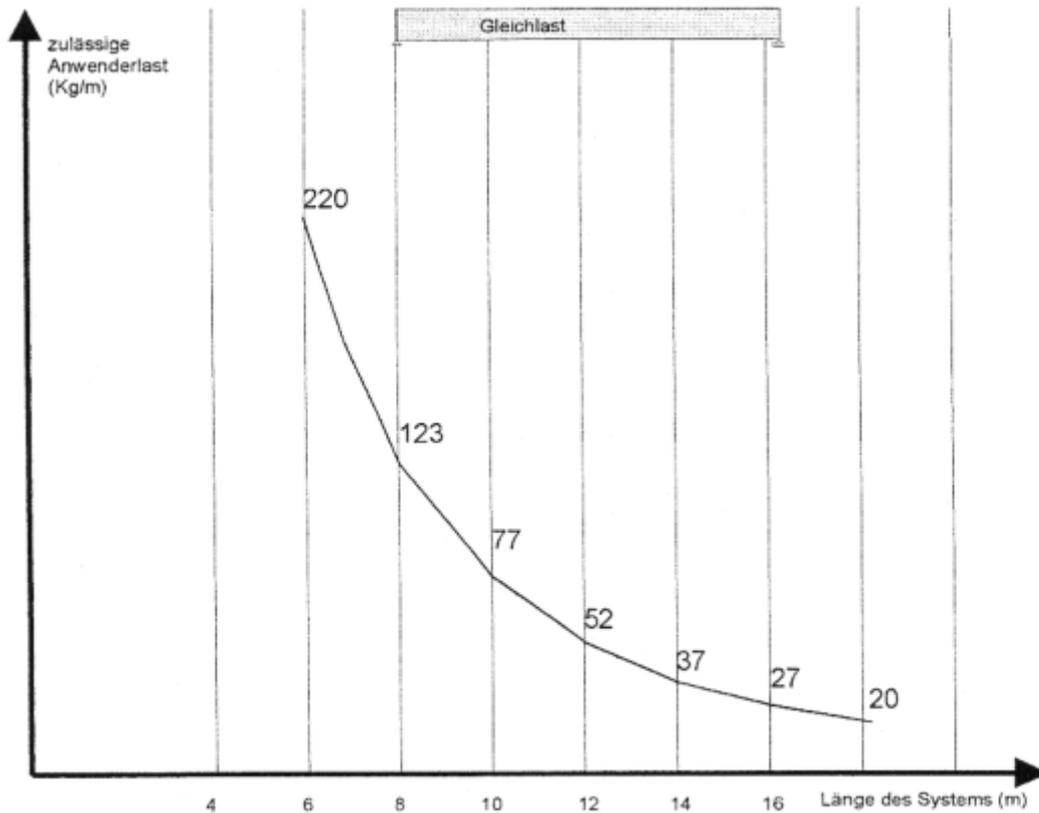
Die Traversen werden, soweit die Grenzwerte eingehalten werden im elastischen Bereich beansprucht und kehren nach Ende der Beanspruchung in ihre ursprüngliche Form zurück.

In DIN 4113 sind keine zulässigen Durchbiegungen vorgeschrieben. Jedoch kann zu große Durchbiegung die Gebrauchstauglichkeit beeinträchtigen.

Werden die Traversen als Bauteile für Überdachungen genutzt, so kann eine zu große Durchbiegung zum Entstehen von Wassersäcken o.ä. führen. Dies ist in der entsprechenden Statik zu berücksichtigen.

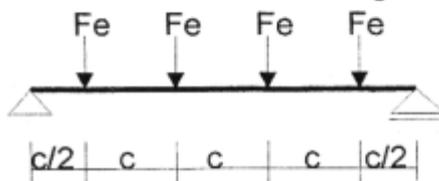
Als Träger im Showgeschäft sind die Traversen voll gebrauchstauglich, da die Durchbiegung lediglich optische Aspekte mit sich bringt.

Belastbarkeit Truss DT nach stat. Berechnung



EXPO
 Dipl.-Ing. Michael Lück
 Grottkauer Straße 6
 59269 Beckum

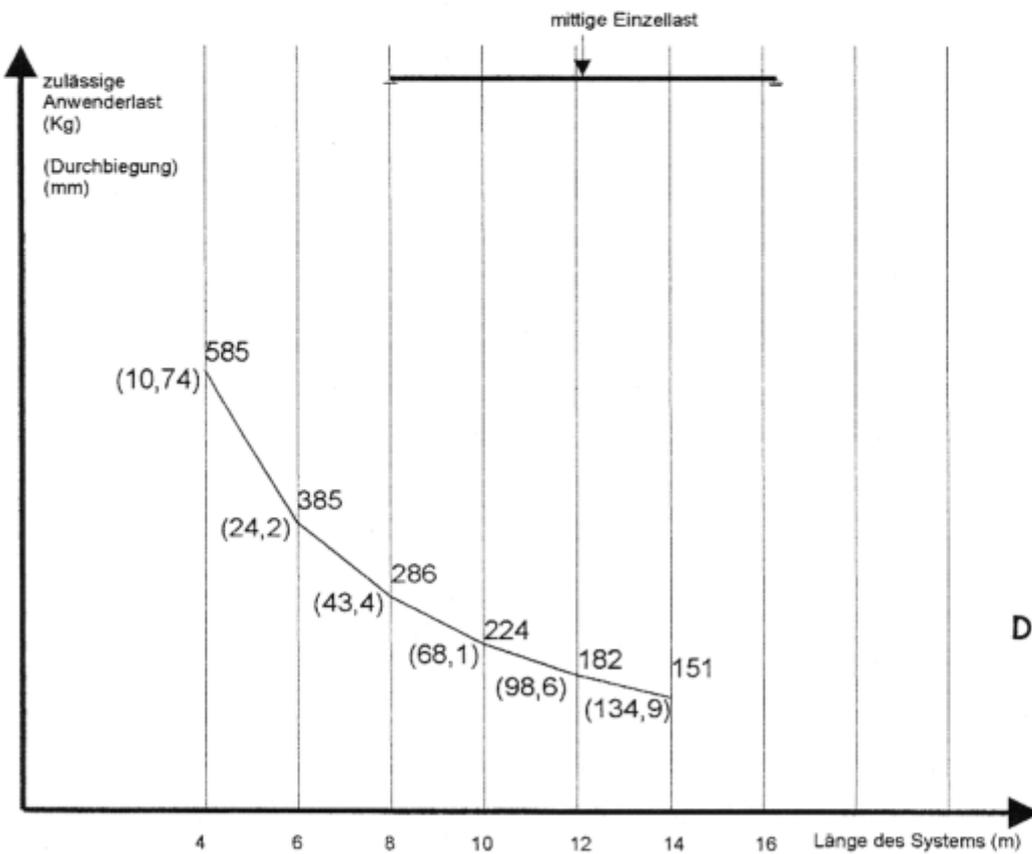
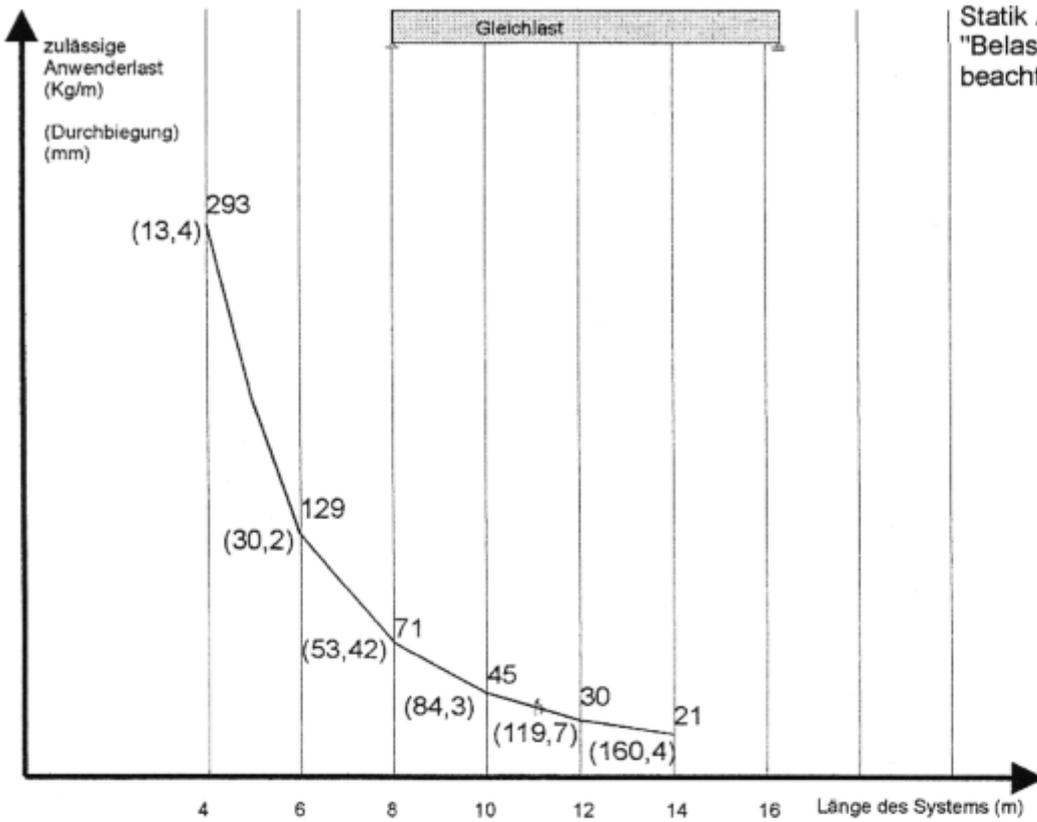
Berechnung für mehrfache Einzellasten



Anzahl d. Lasten	3	4	5	6
Faktor "K"	2,4	2,0	1,54	1,33

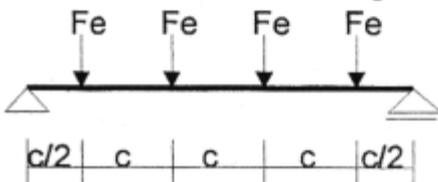
zulässig Fe = $(10 - 0,006 * l^2) * "K" * 100 / l$
 Ergebnis in Kg, l = Länge in m

Belastbarkeit Truss ST nach stat. Berechnung



EXPO
Dipl.-Ing. Michael Lück
Grottkauer Straße 69
59269 Beckum

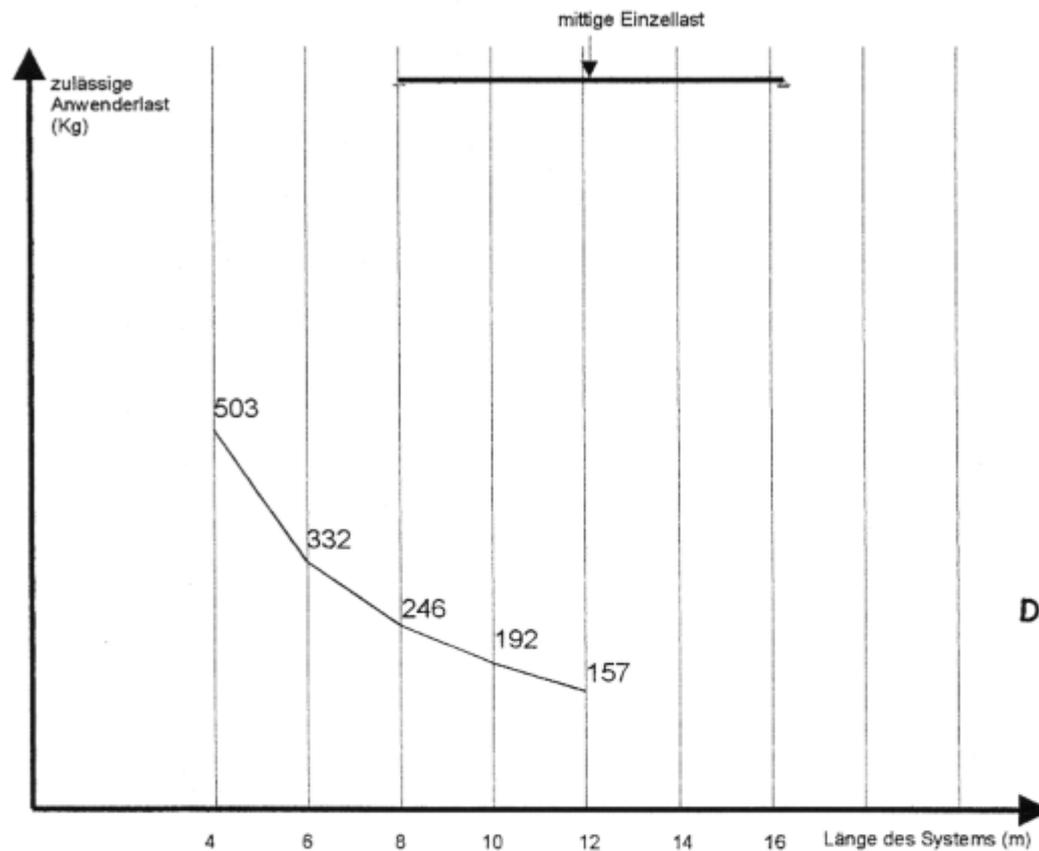
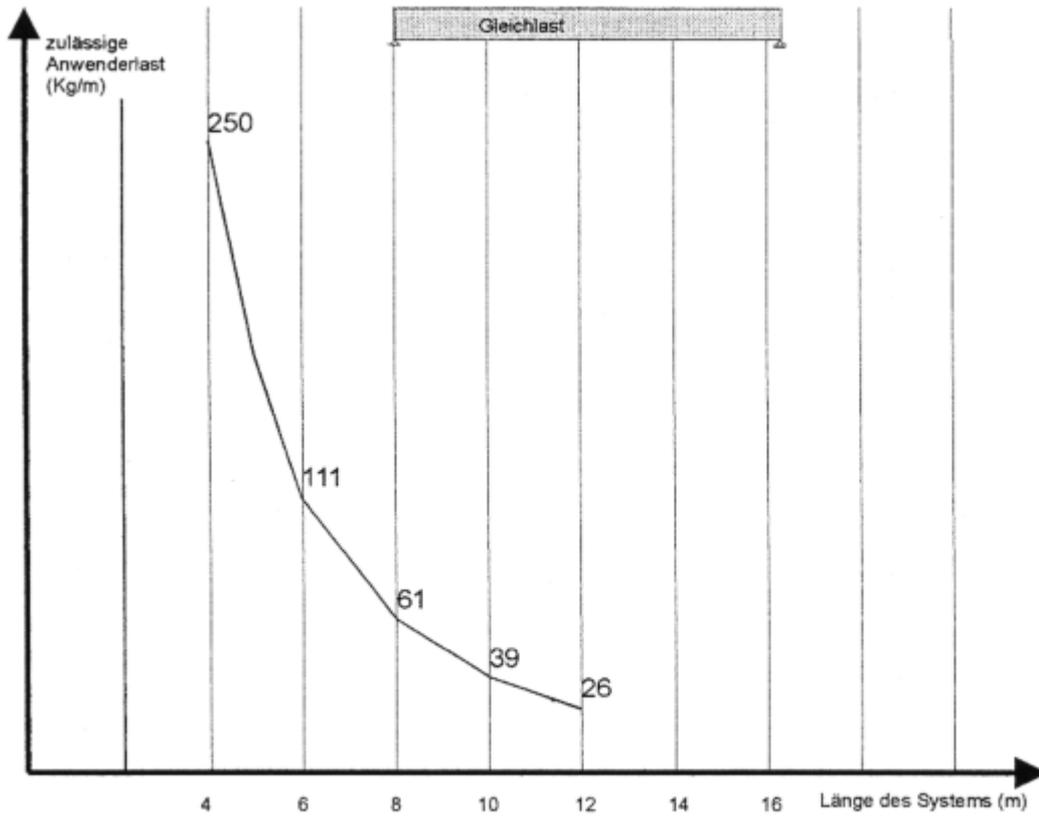
Berechnung für mehrfache Einzellasten



Anzahl d. Lasten	3	4	5	6
Faktor "K"	2,4	2,0	1,54	1,33

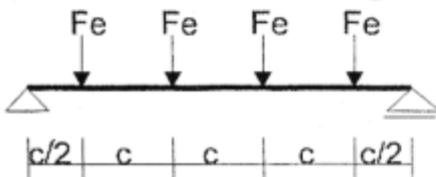
zulässig Fe = $(5,81 - 0,0031 \cdot l^2) \cdot "K" \cdot 100 / l$
Ergebnis in Kg, l = Länge in m

Belastbarkeit Truss TT nach stat. Berechnung



EXPO
 Dipl.-Ing. Michael Lück
 Grottkauer Straße 69
 59269 Beckum

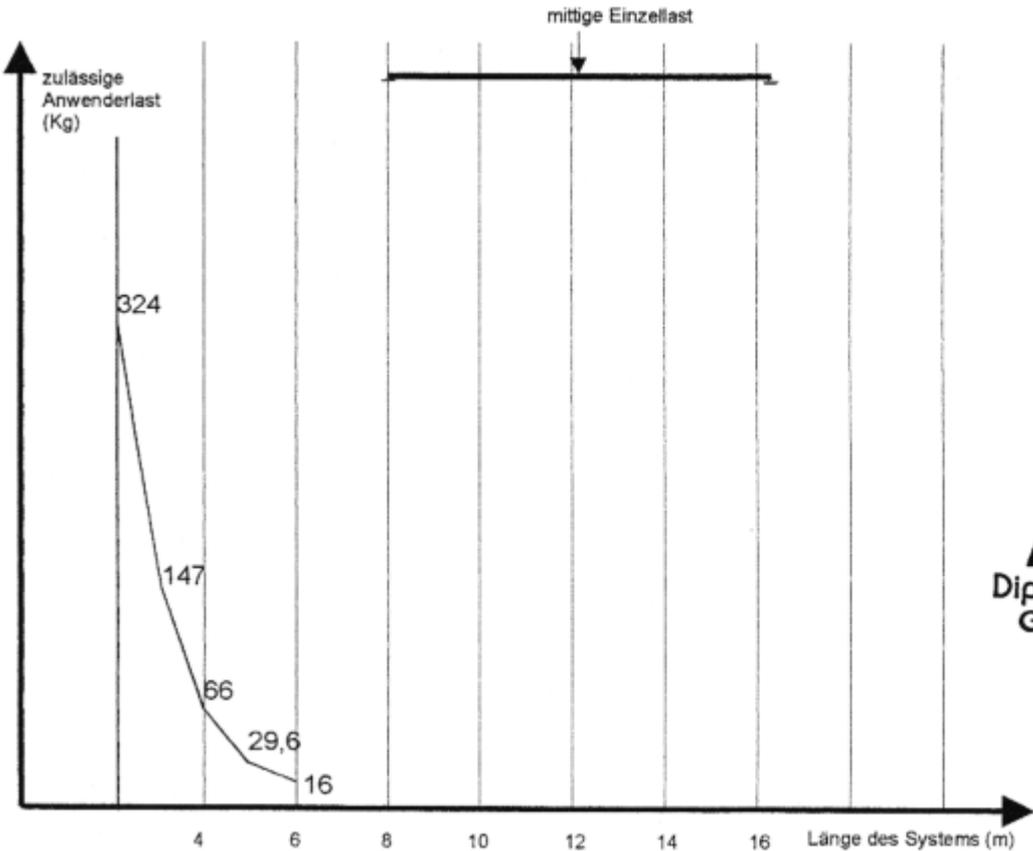
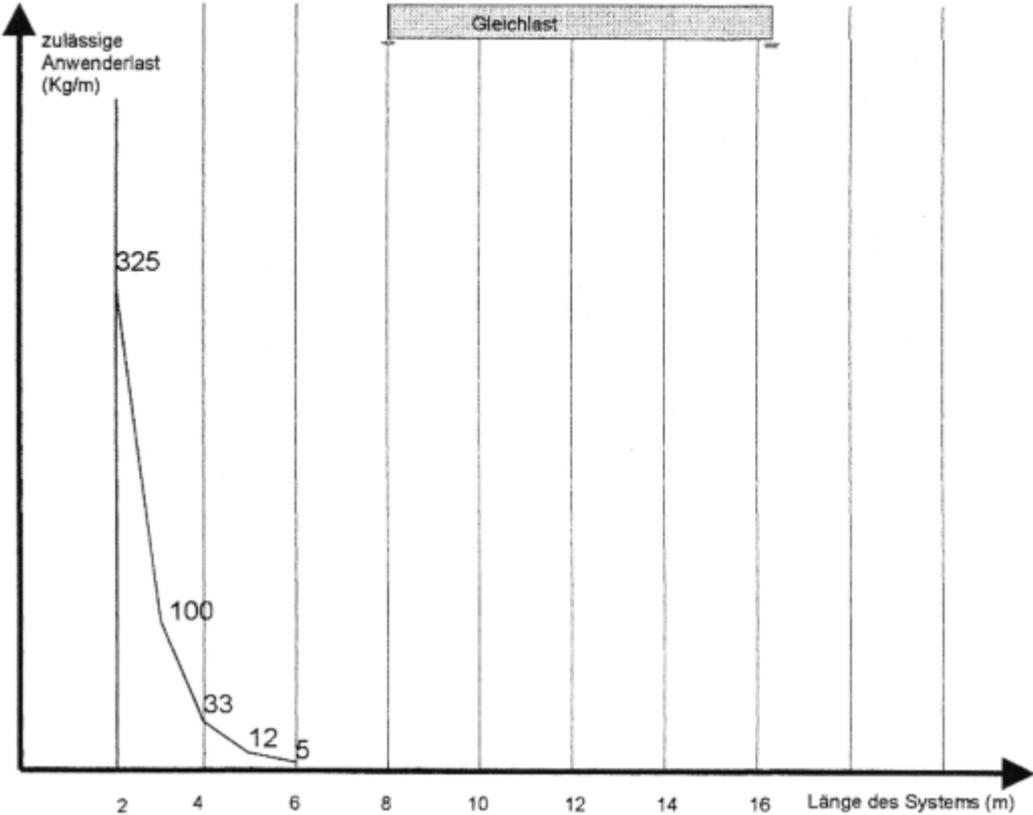
Berechnung für mehrfache Einzellasten



Anzahl d. Lasten	3	4	5	6
Faktor "K"	2,4	2,0	1,54	1,33

zulässig Fe = $(4,98 - 0,0025 \cdot l^2) \cdot "K" \cdot 100 / l$
 Ergebnis in Kg, l = Länge in m

Belastbarkeit Truss SST nach stat. Berechnung



EXPO
 Dipl.-Ing. Michael Lück
 Grottkauer Straße 69
 59269 Beckum