



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

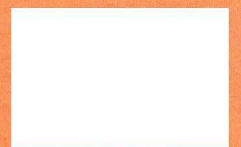
Zentralabteilung Allgemeine Technologie
Association EURATOM-KFA

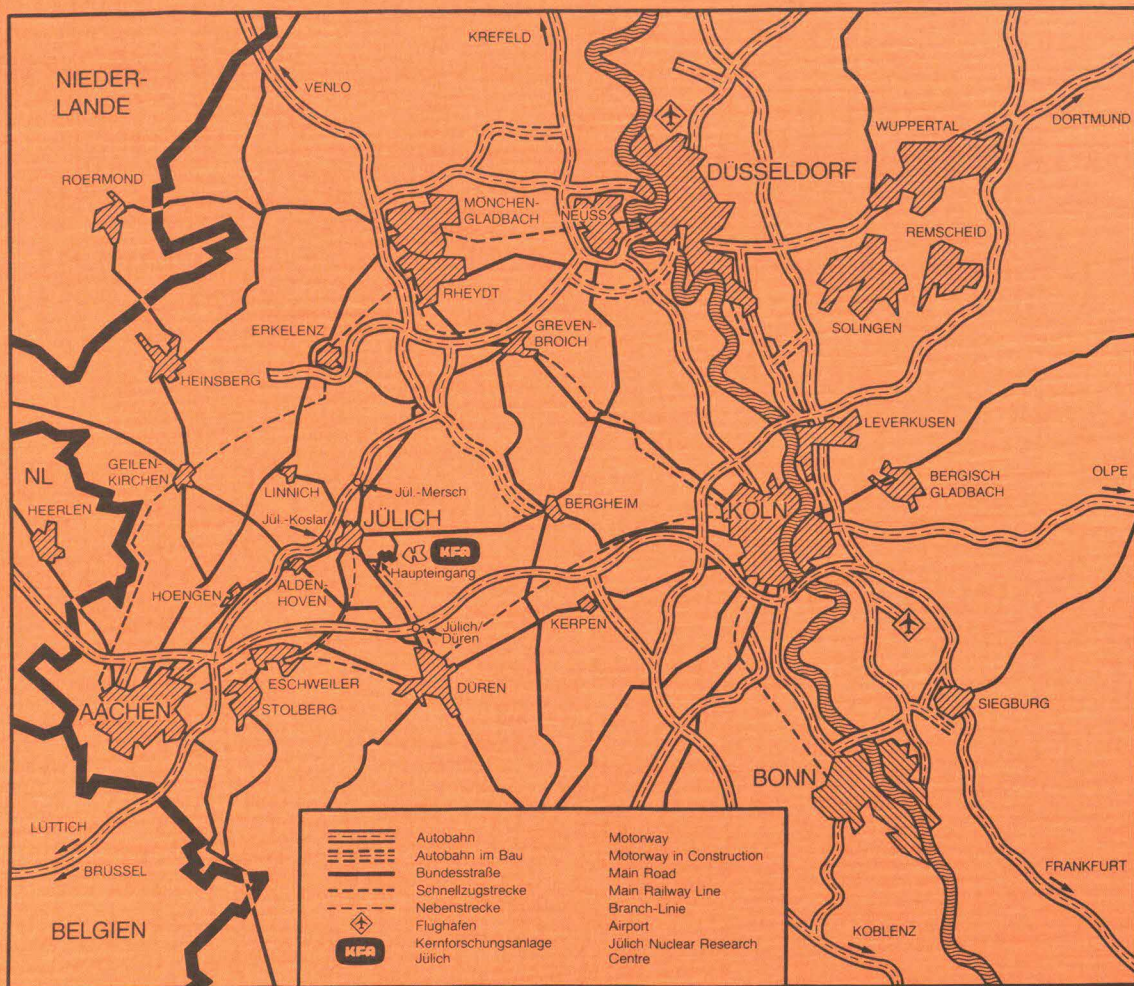
FESTIGKEITSANALYSE DES TEXTOR – NEUTRALTEILCHEN – INJEKTORTANKS

von

D.A. Butzek
E. Graudus
A. Sievers

Jül-Spez-337
Dezember 1985
ISSN 0343-7639





Als Manuskript gedruckt

Spezielle Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 337

Zentralabteilung Allgemeine Technologie, Association EURATOM-KFA Jül-Spez-337

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH

Postfach 1913 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)

Telefon: 02461/610 · Telex: 833556-0 kf d

**FESTIGKEITSANALYSE DES
TEXTOR – NEUTRALTEILCHEN – INJEKTORTANKS**

von

D.A. Butzek
E. Graudus
A. Sievers

Kurzfassung

Für den Vakuumtank des TEXTOR-Neutralteilcheninjektors mit den Abmessungen von ca. 3,7 m x 1,6 m x 3,5 m wurde eine Festigkeitsanalyse durchgeführt. Die Beanspruchungen des Tanks werden hauptsächlich verursacht durch Metaldichtungskräfte an den Flanschen und durch den äußeren Überdruck von 1 bar. Neben der konventionellen Berechnung der Tankflächen und der Flansche nach DIN 2505 erfolgte eine ausführliche Analyse des am meisten beanspruchten großen Teiltanks nach der Methode der Finiten Elemente (FEM) mit Hilfe des FEM-Code FEMFAM-F.

Zum Einsatz kamen HP-Tischrechner und der zentrale Großrechner der KFA, die über das Datenübertragungssystem JOKER miteinander verkoppelt waren. Die maximale Vergleichsspannung betrug 191 N/mm^2 , die maximale Deformation 4,15 mm.

Abstract

A stress analysis of the vacuum vessel of the TEXTOR-Neutral-Injector has been carried out.

The loads on the vessel are caused by atmospheric pressure on the outer surfaces and metal sealing forces on the flanges. Besides classical methods (e.g. flange calculations with the DIN-rules) comprehensive calculations with the finite element code FEMFAM-F were executed.

HP-desktop computers and the IBM-computer of the KFA were used interconnected by the data transfer system JOKER.

The maximum reference stresses are 191 N/mm^2 , the maximum deflection is $4,15 \text{ mm}$.

Inhaltsverzeichnis

| | <u>Seite</u> |
|---|--------------|
| 1. Einleitung | 1 |
| 2. Konventionelle Berechnung | 2 |
| 2.1 Flanschberechnung nach DIN 2505 | 2 |
| 2.2 Konventionelle Abschätzung der maximalen Spannungen und Deformationen | 4 |
| 3. FEM-Analyse | 6 |
| 3.1 Aufgabenstellung | 6 |
| 3.2 Lösungsweg und mathematisches Modell | 6 |
| 3.3 Stoffwerte | 8 |
| 3.4 Randbedingungen | 8 |
| 3.5 Lasten | 9 |
| 3.6 Ergebnisse | 10 |
| 3.6.1 Deformationen | 10 |
| 3.6.2 Spannungen und Spannungsbeurteilung | 11 |
| 4. Literaturverzeichnis | 12 |
| 5. Abbildungen | 13 |

1. Einleitung

Die Neutralteilcheninjektion stellt eine der Möglichkeiten zur Erhöhung der Plasmatemperatur bei Fusionsexperimenten dar. Der Vakuumtank des TEXTOR-Neutralteilcheninjektors besteht aus einem kleinen Teiltank und einem großen Teiltank. Eine vereinfachte Darstellung des Injektortanks zeigt Abb. 1.

Die ausführliche Konstruktion ist aus den Zeichnungen (sowie den dazugehörigen Detail-Zeichnungen) des Projektes TEXTOR-Neutralteilchen-Injektion ersichtlich:

Zeichnung Nr. 901.00.00.00-0

Zeichnung Nr. 901.01.00.00.1-0

Zeichnung Nr. 901.02.00.00.1-0

Die beiden Teiltanks sind unter Verwendung eines rechteckigen Flanschquerschnittes und einer Metalledichtung miteinander verschraubt. Eine Anzahl von Flanschen mit kreisförmigem Querschnitt bis zu Nennweiten von 820 mm Durchmesser ist ebenfalls mit Metalledichtungen ausgerüstet. Die Metalledichtungen benötigen Linienkräfte von ca. 300 - 400 N pro mm Dichtlinie.

Im Betriebszustand herrschen außerhalb des Tankes Atmosphärendruck und innerhalb Vakuum. Die auf die Tankflächen wirkenden Druckkräfte werden durch Rippen und Profile aufgenommen.

2. Konventionelle Berechnung

2.1 Flanschberechnung nach DIN 2505

Die Flansche mit kreisförmigem Öffnungsquerschnitt können nach DIN 2505 bzw. AD-B8-Merkblatt berechnet werden, was zu einer Vereinfachung bei der später durchzuführenden FEM-Analyse führt. Wegen der geringen Druckdifferenz zwischen Außen- und Innendruck und der relativ großen Metalldichtungskräfte können alle anderen Kräfte außer Dichtungskraft P_D und Schraubenkraft P_S vernachlässigt werden. Ferner ist keine Unterscheidung der Kräfte zwischen Einbau- und Betriebszustand notwendig. Die Flanschabmessungen, die wirkenden Kräfte sowie die gefährdeten Querschnitte zeigt Abb. 2.

Die unterschiedlichen Flanschgeometrien, die am Vakuumtank vorkommen, lassen sich in drei Flanschtypen zusammenfassen, die in Tabelle 1 aufgeführt sind. Flansche mit kleineren Nenndurchmessern d als Flanschtyp III bei sonst gleichen charakteristischen Abmessungen weisen auch kleinere Spannungen auf. Bei der vorgegebenen Linienkraft P_D/l der Metalldichtung von 300 N pro mm Dichtungslinie ergeben sich die in Tab. 1 gezeigten Spannungen.

Tabelle 1

Flanschberechnung nach DIN 2505

| | Flanschttyp | | |
|-------------------------------------|-------------|-------|-------|
| | I | II | III |
| d in mm | 820 | 500 | 440 |
| d ₂ in mm | 850 | 520 | 460 |
| S _R in mm | 15 | 10 | 10 |
| d _a in mm | 920 | 610 | 520 |
| d _t in mm | 895 | 580 | 495 |
| d _d in mm | 850 | 531 | 460 |
| d _L in mm | 14 | 14 | 14 |
| h _F in mm | 40 | 35 | 35 |
| P _D /l in N/mm | 300 | 300 | 300 |
| σ _A in N/mm ² | 91,9 | 120,4 | 108,1 |
| σ _C in N/mm ² | 15,8 | 26,2 | 15,6 |

(Bezeichnungen siehe Abb. 2)

Streckgrenzen $\tilde{\sigma}_{0,2}$ bei 20°C nach DIN 17440:

Werkstoff-Nr. 1.4541

$$\tilde{\sigma}_{0,2} = 205 \text{ N/mm}^2$$

Werkstoff-Nr. 1.4311

$$\tilde{\sigma}_{0,2} = 270 \text{ N/mm}^2$$

2.2 Konventionelle Abschätzung der maximalen Spannungen und Deformationen

Konventionelle Näherungsberechnungen sind in vielen Fällen möglich und bieten auch für die später durchzuführende FEM-Analyse eine Reihe von Vorteilen:

- Zu schwach dimensionierte Bereiche können lokalisiert werden, eventuelle Doppelarbeit bei der Netzwerkerstellung kann vermieden werden.
- Man erhält Entscheidungshilfen, ob nur ein Teil einer Struktur einer FEM-Analyse unterzogen werden muß.
- Die Kenntnis der Größenordnung und des Ortes der zu erwartenden maximalen Spannungen gibt Hinweise auf eine feinere Netzwerkeinteilung und erleichtert die Ergebnisinterpretation.

Aus der Vielzahl der Berechnungen werden in der Folge nur die wichtigsten Ergebnisse und deren Konsequenzen dargestellt.

Am Flanschblatt des Rechteckflansches (Pos. 3, Abb. 1) wirkt infolge der Metalldichtungskräfte und des Hebelarmes zwischen Schraubenlinie und Dichtungslinie ein großes Moment. Die an das Flanschblatt angrenzende Profilwand (Pos. 12, Abb. 1) mit der Dicke 10 mm mußte zur Aufnahme des dort ebenfalls herrschenden Momentes mit Rippen (Pos. 4, Abb. 1) verstärkt werden. Die Abmessungen Rippendicke 10 mm, Rippenhöhe 65 mm und Rippenabstand ca. 150 mm wurden gewählt, damit die maximalen Spannungen unterhalb 140 N/mm^2 in der Rippe liegen.

Die Stütze (Pos. 14, Abb. 1) des Rechteckflansches weist mit einem Querschnitt von 300 mm x 50 mm und einer überschläglich ermittelten Kraft von $2,5 \times 10^5$ N eine 10-fache Sicherheit gegen Knickung auf.

Die Wände der beiden Teiltanks können als druckbelastete Rechteckplatten mit ringsum eingespannten Rand betrachtet werden /1/, /2/. Da die Wände jeweils mit einem Profilquerschnitt versehen sind, mußte mit einer "Ersatzplatte" der Dicke h^* gerechnet werden, die das gleiche Widerstandsmoment wie die Platte mit Profilquerschnitt aufwies.

Die Ergebnisse der Berechnung der Tankwände führten zu folgenden Aussagen:

- Die Wände des kleinen Teiltanks sind relativ gering beansprucht, die max. Biegespannungen liegen bei ca. 100 N/mm^2 , die max. Durchbiegungen bei ca. 0,8 mm.
- Beim großen Teiltank ist die vordere Profilwand (Pos. 12, Abb.1) am meisten beansprucht. Der Wert der maximalen Biegespannung ist bei 150 N/mm^2 zu erwarten, die maximale Durchbiegung beträgt ca. 3 mm.
- Für die FEM-Analyse genügt es, den großen Teiltank zu betrachten. An den Verbindungsstellen der vorderen Profilwand (Pos. 12, Abb. 1) mit Oberdeckel (Pos. 9, Abb. 1) und Boden (Pos. 10, Abb. 1) sind die größten Spannungen zu erwarten, dort ist auf entsprechend feine Netzunterteilung zu achten.

3. FEM-Analyse

3.1 Aufgabenstellung

Ziel der FEM-Analyse ist es, Größe und Ort der maximalen Spannungen und Deformationen festzustellen. Aufgrund der unter 2.2 dargestellten Überlegungen wurde diese Analyse nur für den großen Teiltank durchgeführt. Wegen der vorhandenen Symmetrie genügte es, nur eine Hälfte des großen Teiltanks (charakterisiert durch Schnittebene A-A in Abb. 1) zu betrachten.

3.2 Lösungsweg und mathematisches Modell

Die Berechnung wurde mit dem FEM-Code FEMFAM-F /3/, /4/ durchgeführt. Als Rechner kamen HP-Rechner und die Großrechenanlage der KFA zum Einsatz, die mittels des Datenübertragungssystems JOKER miteinander verbunden waren /5/.

Die Nachbildung des unter 3.1 genannten halben großen Teiltanks erfolgte mit 687 Elementen und 2064 Knoten, unter Verwendung eines 8-Knoten-Schalenlementtyps. Zur Erstellung des Netzwerkes konnte teilweise der Netzgenerator GENFAM /4/ verwendet werden. Teilmodelle des Netzwerkes wurden zu einem Gesamtmodell zusammengefügt, Abb. 3.

Das Gesamtmodell des großen Teiltanks setzt sich aus verschiedenen charakteristischen Materialgruppen, die mit Matno 1 bis Matno 8 bezeichnet werden, zusammen. Die folgenden Abbildungen zeigen die nach Materialgruppen geordneten Elemente des Gesamtmodells: (vgl. Abb. 1)

Abb. 4 Matno 1:
 Boden mit Rippen,
 Wanddicke 10 mm

- Abb. 5 Matno 2:
Rippen mit Wanddicke 20 mm
- Abb. 6 Matno 3 - teilweise:
Vordere Profilwand, linker Teil,
Wanddicke 10 mm
- Abb. 7 Matno 3 - teilweise:
vordere Profilwand, rechter Teil,
Wanddicke 10 mm
- Abb. 8 Matno 3 - teilweise:
Rechte Wand mit Rippen, Wanddicke 10 mm
- Abb. 9 Matno 4:
Profilträger und Dome des Oberdeckels,
Wanddicke 10 mm
- Abb. 10 Matno 5:
Rechteckflansch, Wanddicke 45 mm
- Abb. 11 Matno 6 (und Matno 3 - teilweise):
Flansch für Ionenquelle,
Wanddicke 40 mm
- Abb. 12 Matno 7:
Oberdeckel, Wanddicke 20 mm

Die in Abb. 6 und 7 gezeigten Durchbrüche im unteren Bereich der vorderen Profilwand, erkennbar unterhalb der Elementnummern 518, 525 und 533, sind im Modell die Elemente der Materialgruppe Matno 8. Die Durchbrüche wurden simuliert, indem die dazugehörigen Elemente (Matno 8) mit einem kleinen E-Modul versehen wurden.

3.3 Stoffwerte

Der Injektortank soll als Schweißkonstruktion ausgeführt werden, als Werkstoff ist Edelstahl vorgesehen. Der Tank arbeitet bei Raumtemperatur. Für die einzelnen Materialgruppen sind folgende Stoffwerte verwendet worden, wobei wegen des hier verwendeten Plattenelementes die Wanddicke der Platte ebenfalls aufgeführt ist.

| Mat.No. | E-Modul N/mm ² | Poissonzahl - | Dichte g/cm ³ | Lin.th.Ausd. K ⁻¹ | Dicke mm |
|---------|------------------------------|------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------|
| 1 | 2,0 x 10 ⁵ | 0,3 | 7,85 | 1,6 x 10 ⁻⁵ | 10 |
| 2 | 2,0 x 10 ⁵ | 0,3 | 7,85 | 1,6 x 10 ⁻⁵ | 20 |
| 3 | 2,0 x 10 ⁵ | 0,3 | 7,85 | 1,6 x 10 ⁻⁵ | 10 |
| 4 | 2,0 x 10 ⁵ | 0,3 | 7,85 | 1,6 x 10 ⁻⁵ | 10 |
| 5 | 2,0 x 10 ⁵ | 0,3 | 7,85 | 1,6 x 10 ⁻⁵ | 45 |
| 6 | 2,0 x 10 ⁵ | 0,3 | 7,85 | 1,6 x 10 ⁻⁵ | 40 |
| 7 | 2,0 x 10 ⁵ | 0,3 | 7,85 | 1,6 x 10 ⁻⁵ | 20 |
| 8 | 1,0 | 0,3 | 7,85 | 1,6 x 10 ⁻⁵ | 10 |

3.4 Randbedingungen

Zur Einhaltung der Symmetriebedingungen müssen in der Symmetrieebene A-A (vgl. Abb. 1) bestimmte Randbedingungen gelten. Die Knoten des Bodens (Abb. 13), des Oberdeckels und der rechten Wand (Abb. 14), des Flansches für die Ionenquelle (Abb. 15) sowie des Rechteckflansches (Abb. 16) müssen in der Symmetrieebene für Bewegungen in y-Richtung gesperrt sein, in den anderen beiden Richtungen herrscht jedoch Bewegungsfreiheit. Dieser Sachverhalt

wird in den Abb. 14 bis 16 durch das Rollenlager-Symbol ausgedrückt. Weiterhin sind in der Symmetrieebene bestimmte Drehungen der Elementflächen zu sperren. So dürfen z.B. die in der x-y-Ebene liegenden Elementflächen des Bodens (Abb. 13) ihre Neigung zur z-Achse nicht verändern. Sinngemäß ist bei den anderen Elementflächen zu verfahren.

Die Verhältnisse am Rechteckflansch wurden nachgebildet, indem die Knoten, die auf der Dichtungslinie der Metalldichtung liegen, gegen eine Verschiebung in x-Richtung gesperrt wurden (Abb. 16).

Die letzte Randbedingung, die aus statischen Gründen erfüllt sein muß, ist, daß eine Verschiebung des gesamten Körpers in z-Richtung unterbleibt. Dies wurde erreicht durch entsprechende Sperrung von zwei Knoten der Rippen des Bodens (Abb. 13).

3.5 Lasten

Die äußeren Flächen des Tanks (Positionen 9, 12, 10, 11 in Abb. 1) werden im Betriebszustand mit dem Luftdruck p_L belastet:

$$p_L = 10^5 \text{ N/m}^2 = 0,1 \text{ N/mm}^2$$

Diese Belastung wurde im FEM-Code elementweise als Flächenlast eingegeben. Die Belastungsrichtung orientiert sich dabei an der Zählrichtung der Elementknoten.

Die Schraubenkräfte, die am Rechteckflansch wirken, wurden nachgebildet, indem die Elemente, die zwischen Dichtungslinie (dicke durchgezogene Linie in Abb. 17) und Flanschrand liegen, mit einer entsprechend berechneten Flächenlast $p_S = 5,7 \text{ N/mm}^2$ beaufschlagt wurden. Diese Flächenlast entspricht einer Linienkraft an der Dichtung von 400 N/mm. Die belasteten Elemente sind in Abb. 17

schraffiert eingezeichnet. Diese Annahme bezüglich der Schraubenkräfte ist zulässig, da die Schraubenlinie etwa in der halben Elementbreite verläuft und der Abstand der Schrauben untereinander bei Verwendung von Metaldichtungen klein sein soll.

Eigengewicht und andere Lasten konnten vernachlässigt werden.

3.6 Ergebnisse

3.6.1 Deformationen

Die Deformationen des Injektortanks (großer Teiltank) infolge der unter 3.5 genannten Lasten sind in Abb. 18 zu erkennen. Erwartungsgemäß tritt die größte Verformung von 4,15 mm an der vorderen Profilwand auf. In Abb. 19 wurde ein Blickwinkel gewählt, der diese Verformungen besonders verdeutlicht. Die Verformungen des Bodens, Abb. 20, sind wegen der dort zahlreich vorhandenen Rippen relativ klein (0,287 mm), größere Verformungen (0,569 mm) weist hingegen der Oberdeckel mit seinen Profilträgern, Abb. 21, auf.

Von besonderer Bedeutung waren bei der Analyse die Deformationen des Ionenquellenflansches. Hier waren aus Funktionsgründen möglichst kleine Verformungen erwünscht. Abb. 22 ist zu entnehmen, daß am Ionenquellenflansch nur geringe Deformationen (max. 0,147 mm) auftreten.

Die großen Metaldichtungskräfte, die den Rechteckflansch belasten, führen ebenfalls nur zu geringen Verformungen (max. 0,255 mm), Abb. 23.

3.6.2 Spannungen und Spannungsbewertung

Zur Spannungsbeurteilung wurden die Vergleichsspannungen nach der Gestaltänderungs-Energie-Hypothese herangezogen, für die Spannungsverteilung wurde eine Farbdarstellung gewählt /6/.

Abb. 24 und 25 zeigen die Spannungsverteilung für den gesamten Tank (großer Teiltank). Die größte auftretende Vergleichsspannung beträgt 191 N/mm^2 .

Die folgenden Abbildungen geben die Verhältnisse im einzelnen wieder:

Der Rechteckflansch, Abb. 26, liegt mit einer Vergleichsspannung von 123 N/mm^2 deutlich niedriger als die größte Spannung am Tank.

Niedrige Werte sind mit $82,5 \text{ N/mm}^2$ am Boden, Abb. 27, anzutreffen.

Der Ort der größten Spannung liegt an der Verbindungsstelle der vorderen Profilwand mit den Profilträgern des Oberdeckels, Abb. 28 bis Abb. 30. Es handelt sich hierbei um lokal begrenzte Spannungsspitzen.

Der für die Fertigung vorgesehene Werkstoff Nr. 1.4311 besitzt nach DIN 17440 eine Streckgrenze (bis 20°C) von 270 N/mm^2 .

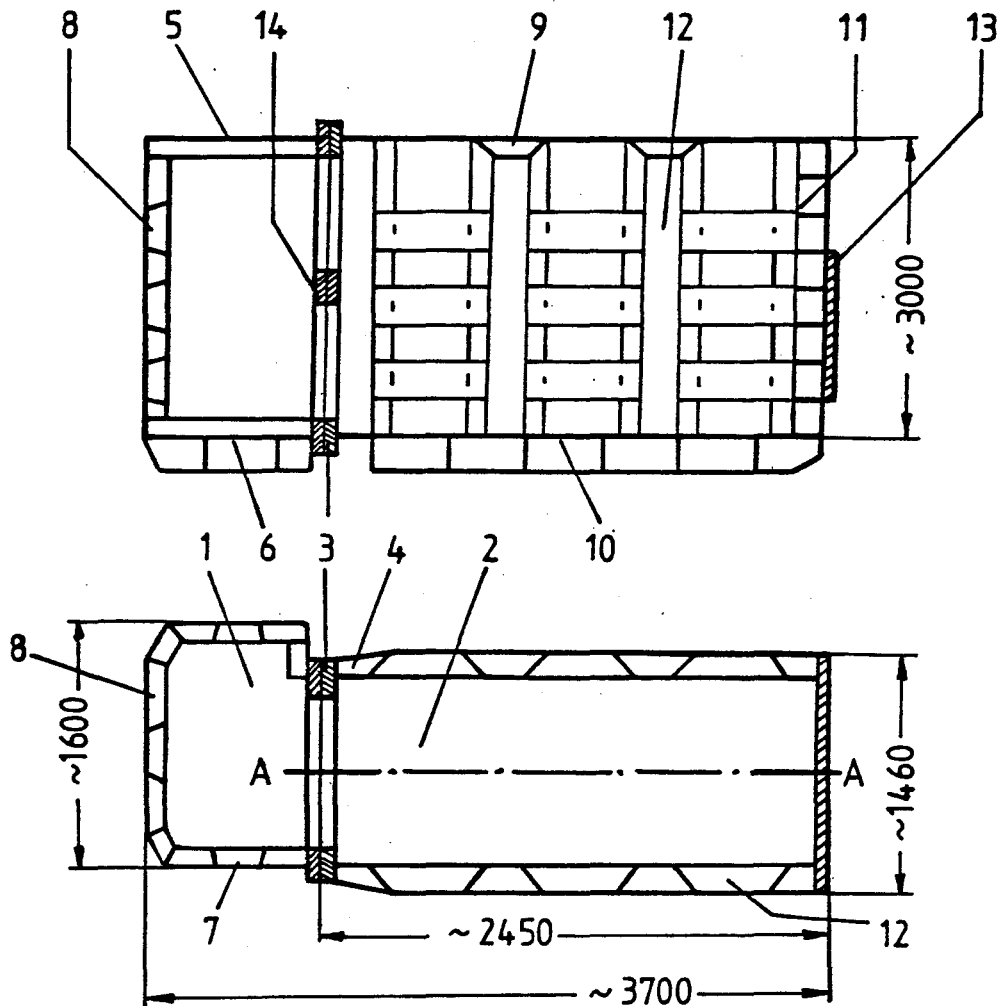
4. Literaturverzeichnis

- /1/ Dubbel, 14. Auflage, Springer Verlag
- /2/ Hütte I, 29. Auflage, Verlag W. Ernst u. Sohn
- /3/ J.F. Stelzer; Considerations and strategies in developing finite element software for desktop computers; Engineering Computations, 1984, Vol. 1, June
- /4/ J.F. Stelzer; Bedienungsanleitung und Programmbeschreibung für das Finite-Element-Programm FEMFAM-F und den Netzgenerator GENFAM; 1983; KFA-Jülich, ZAT
- /5/ H.B. Müller; Bedienungsanleitung zur Großrechnerversion des FEM-Codes FEMFAM-F; KFA-Jülich; ZAT-Bericht 169-11-38, Juli 1985
- /6/ J.F. Stelzer; A simple but effective method to produce colour FEM result presentations; Engineering Computations, Vol. 1, Number 3, Sept. 1984

5. Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1 Injektortank
- Abb. 2 Flanschberechnung nach DIN 2505
- Abb. 3 Gesamtmodell Injektortank
- Abb. 4 Matno 1 Boden mit Rippen
- Abb. 5 Matno 2 Rippen, Wanddicke 20 mm
- Abb. 6 Matno 3 - teilweise, vordere Profilwand, linker Teil
- Abb. 7 Matno 3 - teilweise, vordere Profilwand, rechter Teil
- Abb. 8 Matno 3 - teilweise, rechte Wand mit Rippen
- Abb. 9 Matno 4 Profilträger und Dome des Oberdeckels
- Abb. 10 Matno 5 Rechteckflansch
- Abb. 11 Matno 6 (u. Matno 3 - teilweise), Flansch für
Ionenquelle
- Abb. 12 Matno 7 Oberdeckel
- Abb. 13 Randbedingungen, Boden mit Rippen
- Abb. 14 Randbedingungen, Oberdeckel mit Profilträgern und
rechte Wand
- Abb. 15 Randbedingungen, Flansch für Ionenquelle

- Abb. 16 Randbedingungen, Rechteckflansch
- Abb. 17 Lasten am Rechteckflansch
- Abb. 18 Verformungen des Injektortanks
- Abb. 19 Verformungen der vorderen Profilwand
- Abb. 20 Verformungen des Bodens mit Rippen
- Abb. 21 Verformungen des Oberdeckels mit Profilträgern
- Abb. 22 Verformungen des Flansches für die Ionenquelle
- Abb. 23 Verformungen des Rechteckflansches
- Abb. 24 Vergleichsspannungsverteilung am Injektortank
(Blick auf Ionenquellenflansch)
- Abb. 25 Vergleichsspannungsverteilung am Injektortank
(Blick auf Rechteckflansch)
- Abb. 26 Vergleichsspannungsverteilung am Rechteckflansch
- Abb. 27 Vergleichsspannungsverteilung am Boden
- Abb. 28 Vergleichsspannungsverteilung an der vorderen
Profilwand
- Abb. 29 Vergleichsspannungsverteilung am Oberdeckel mit
Profilträgern
- Abb. 30 Vergleichsspannungsverteilung am Profilträger des
Oberdeckels



- 1 Kleiner Teiltank
- 2 Großer Teiltank
- 3 Rechteckflansch, metallgedichtet
- 4 Rippen am Rechteckflansch
- 5 Oberdeckel, kleiner Teiltank
- 6 Boden mit Rippen, kleiner Teiltank
- 7 Vordere Profilwand, kleiner Teiltank
- 8 Linke Profilwand, kleiner Teiltank
- 9 Oberdeckel mit Profilträgern, großer Teiltank
- 10 Boden mit Rippen, großer Teiltank
- 11 Rechte Wand mit Rippen, großer Teiltank
- 12 Vordere Profilwand, großer Teiltank
- 13 Flansch für Ionenquelle
- 14 Stütze des Rechteckflansch

Abb. 1 Injektortank

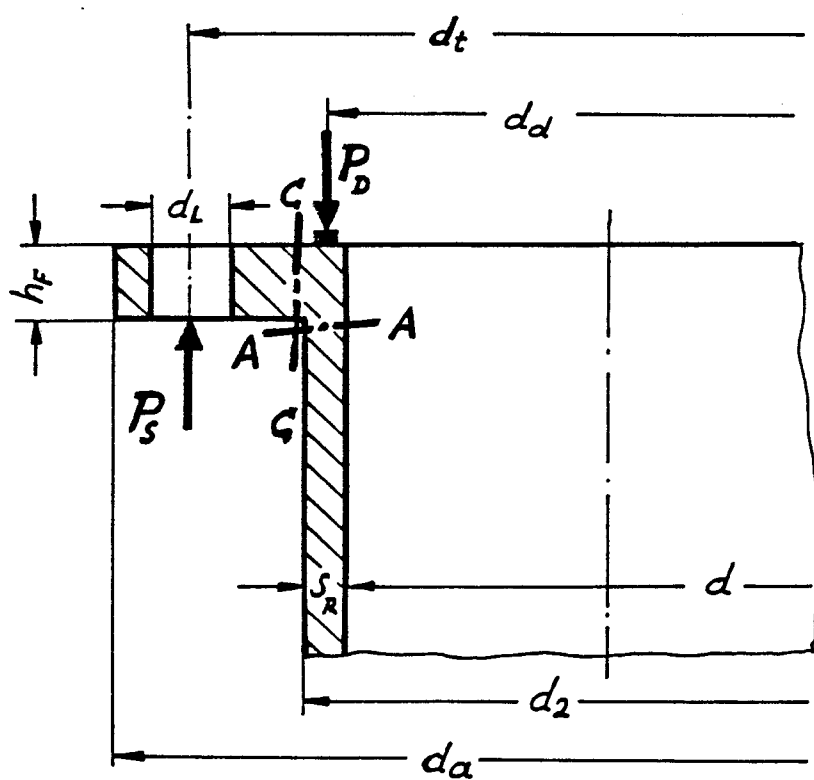


Abb.2 Flanschberechnung nach DIN 2505

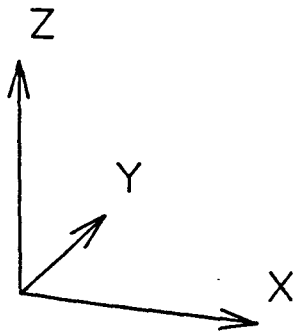
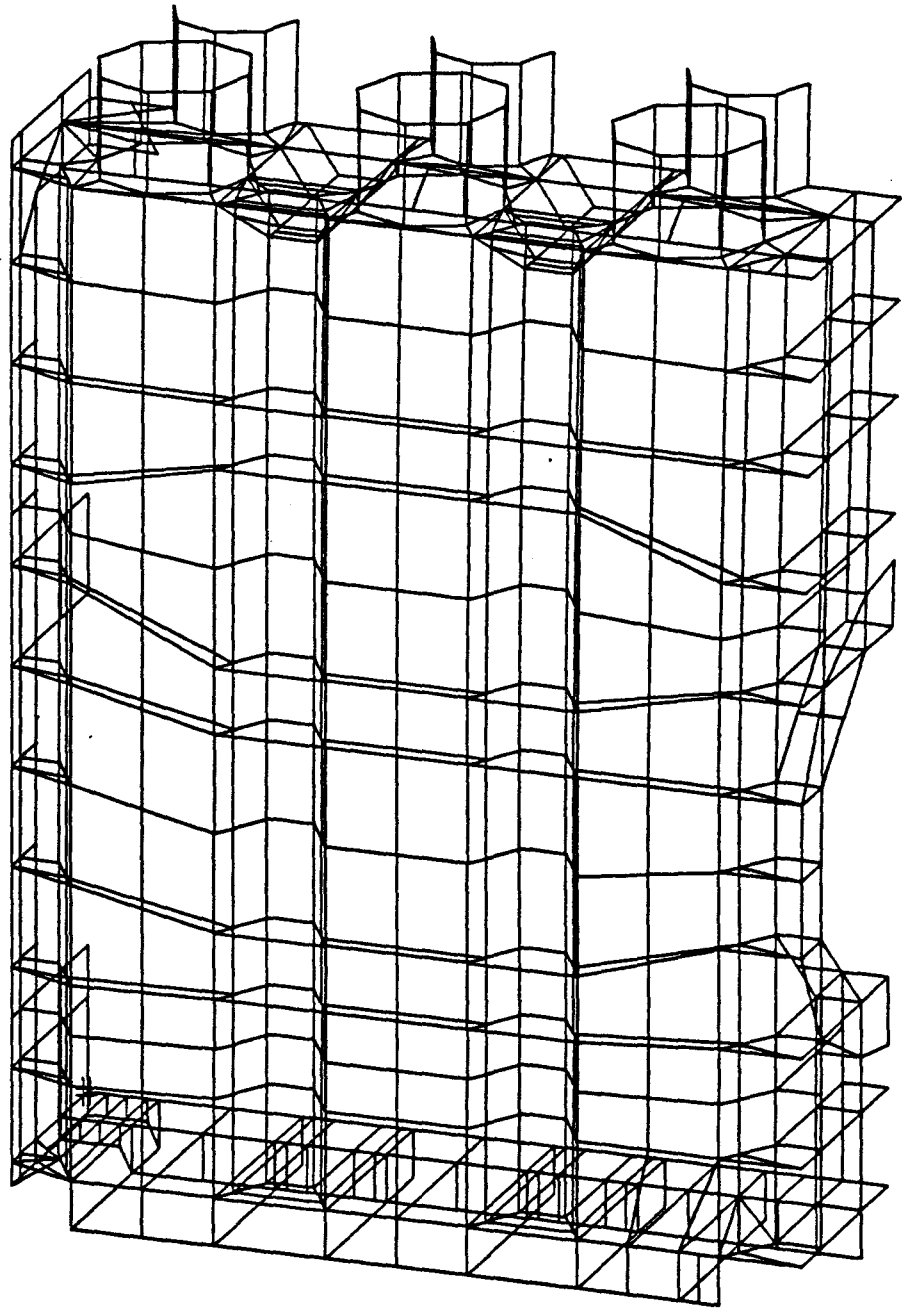
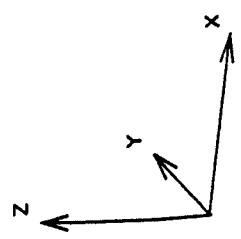
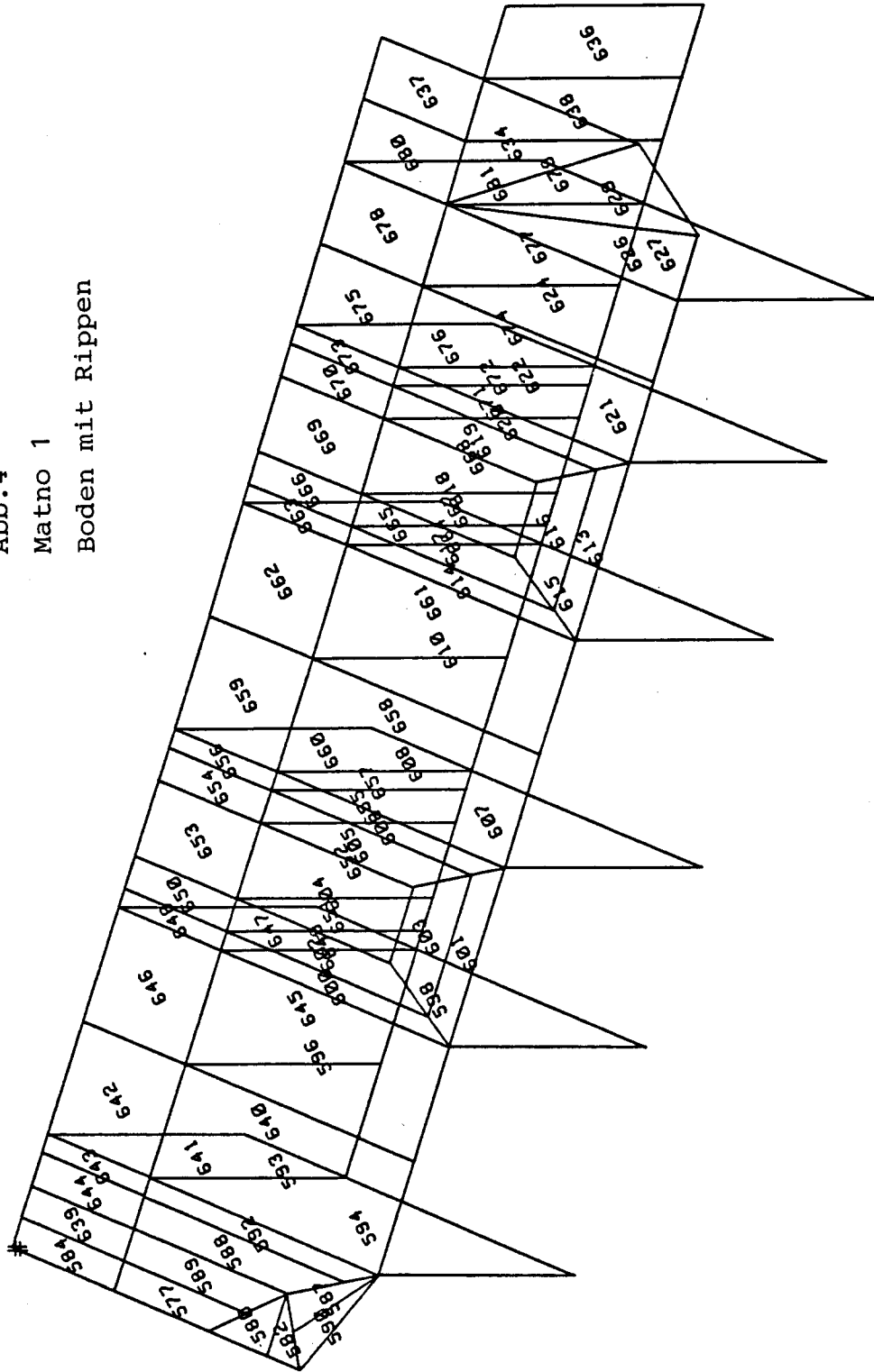


Abb.3
Gesamtmodell Injektortank

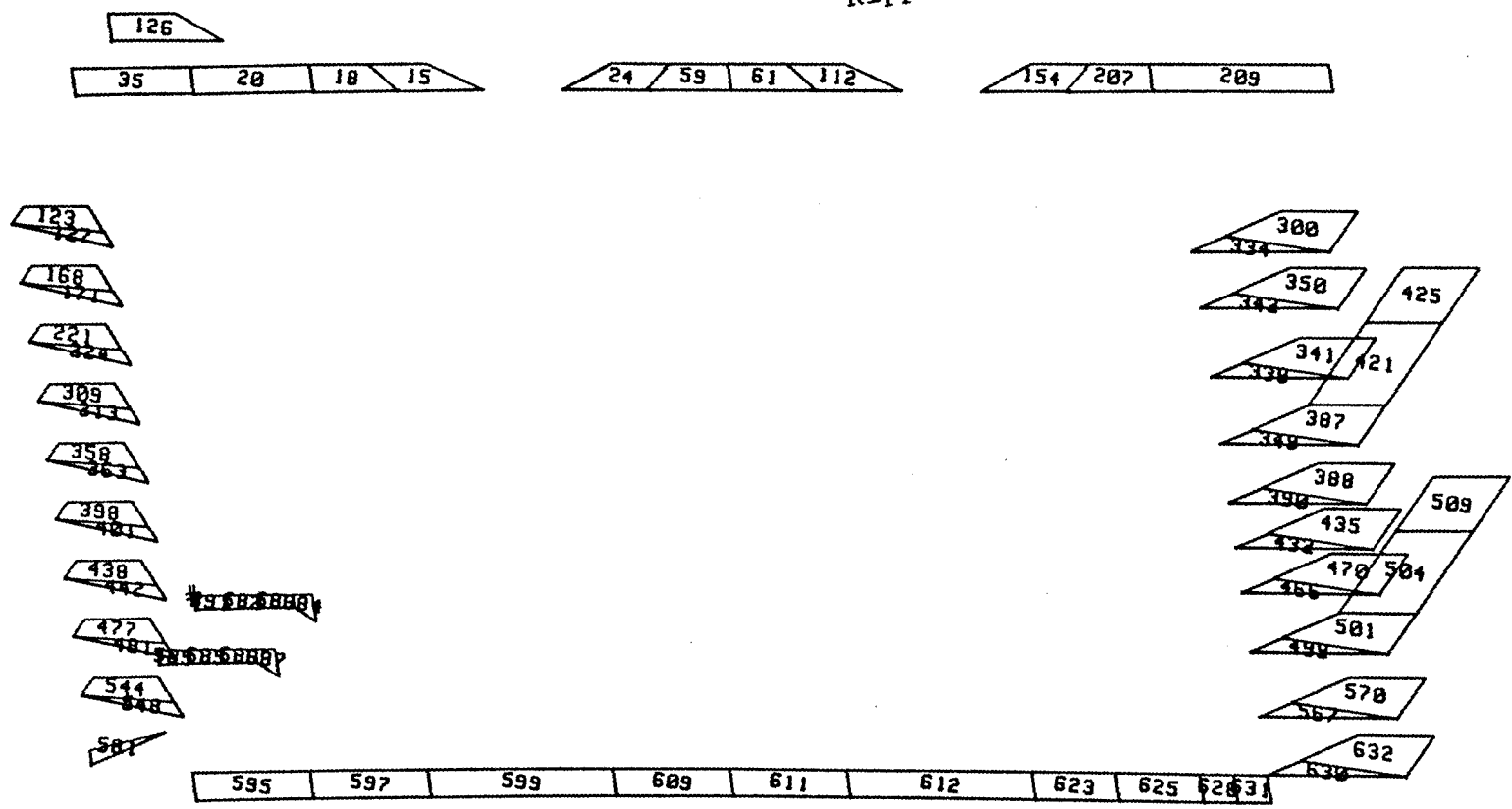
Abb. 4
Matno 1
Boden mit Rippen



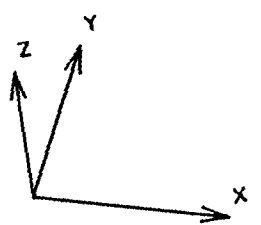
Elementnr.

Hoehenw. 20.0
Azimutw. 20.0

Abb. 5
 Matno 2
 Rippen, Wanddicke 20 mm



- 19 -



Elementnr.
 Höhenw. 50.0
 Azimutw. 20.0

Matno 3 - teilweise
Vordere Profilwand, linker Teil

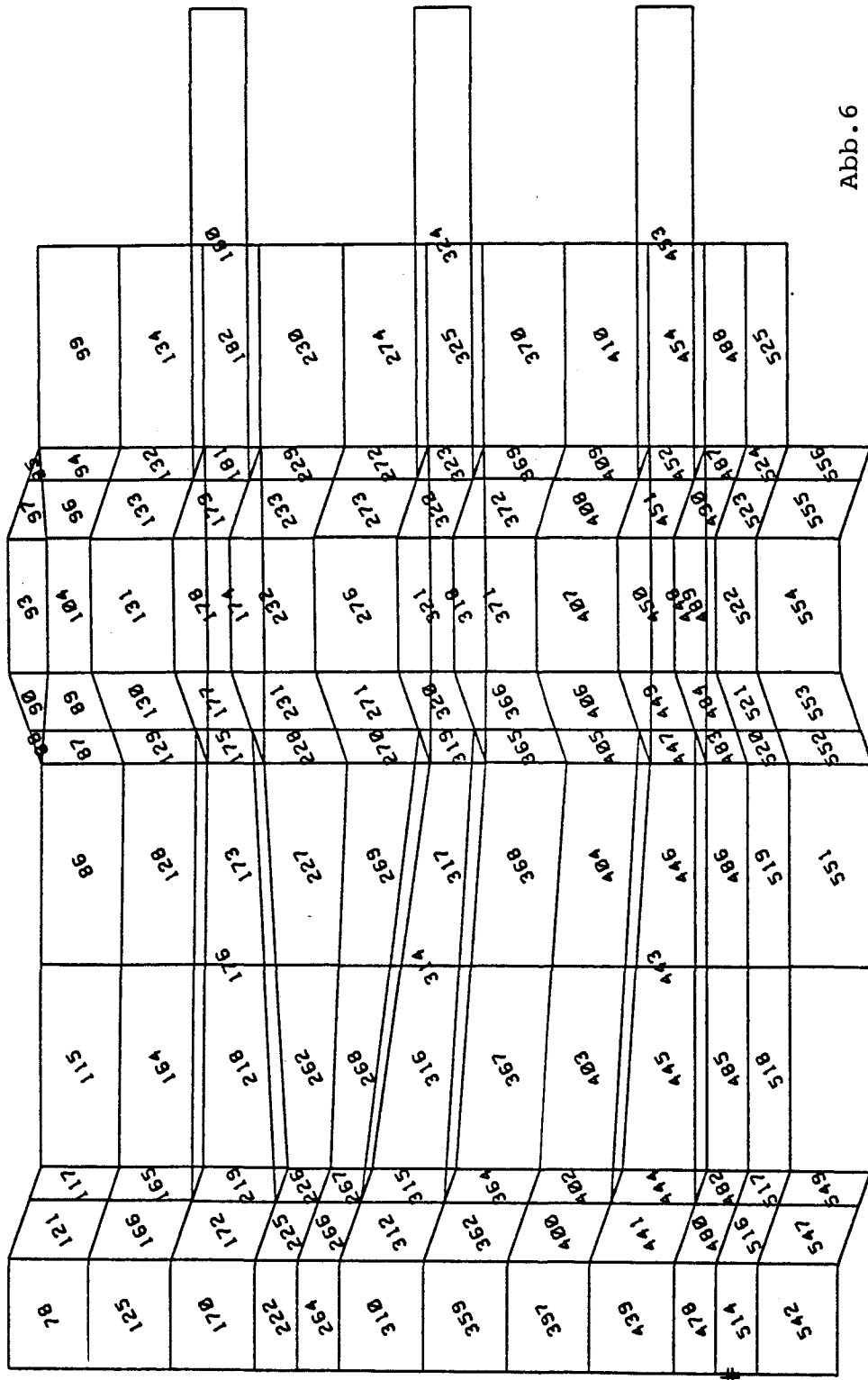


Abb. 6

Elementnr.

Hoehenw. 35.0
Azimutw. 0.0

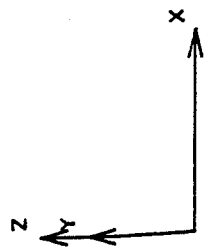
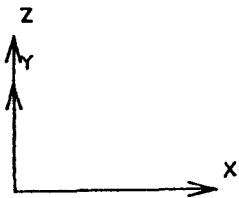
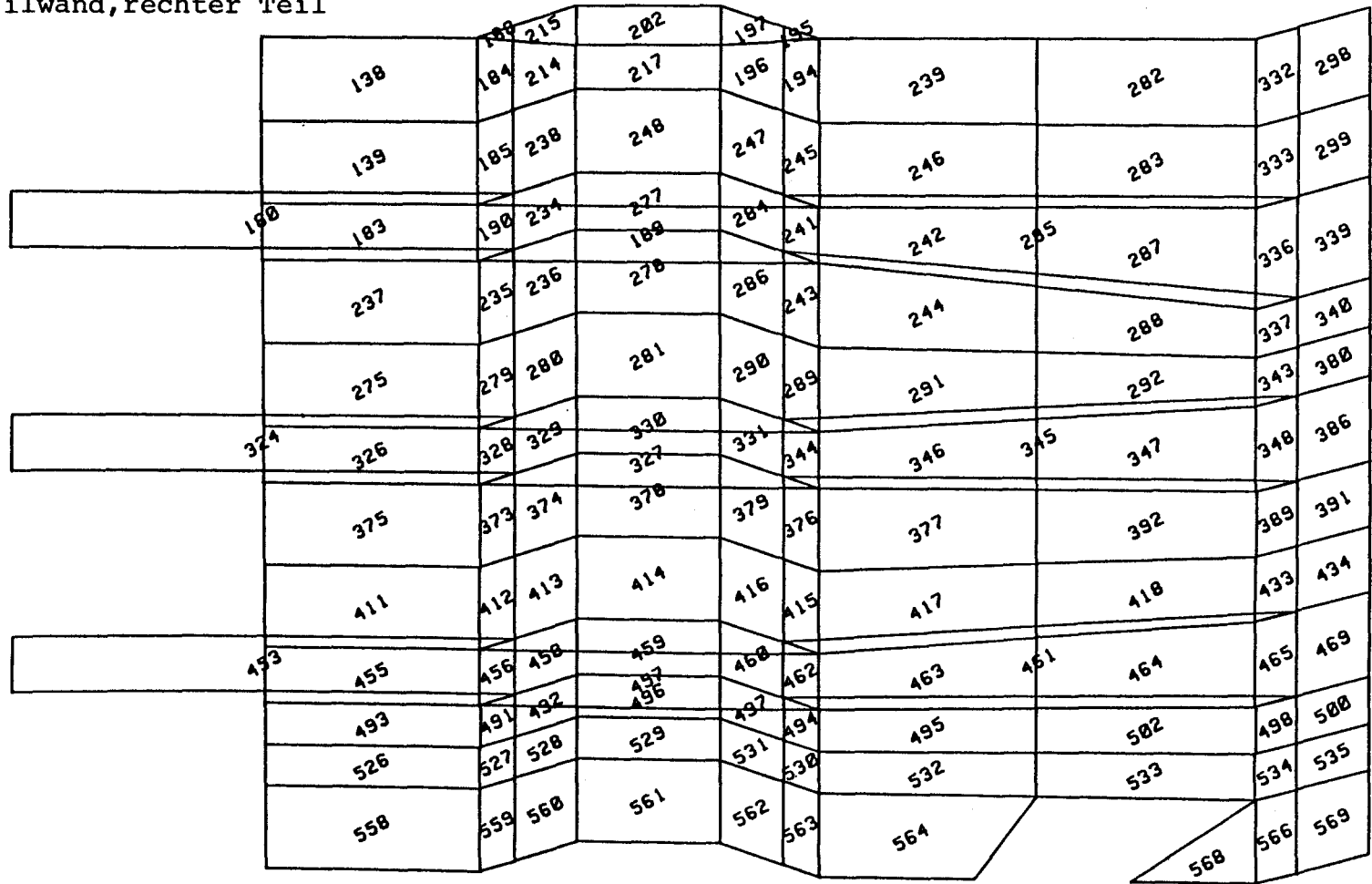
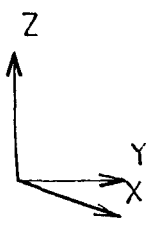
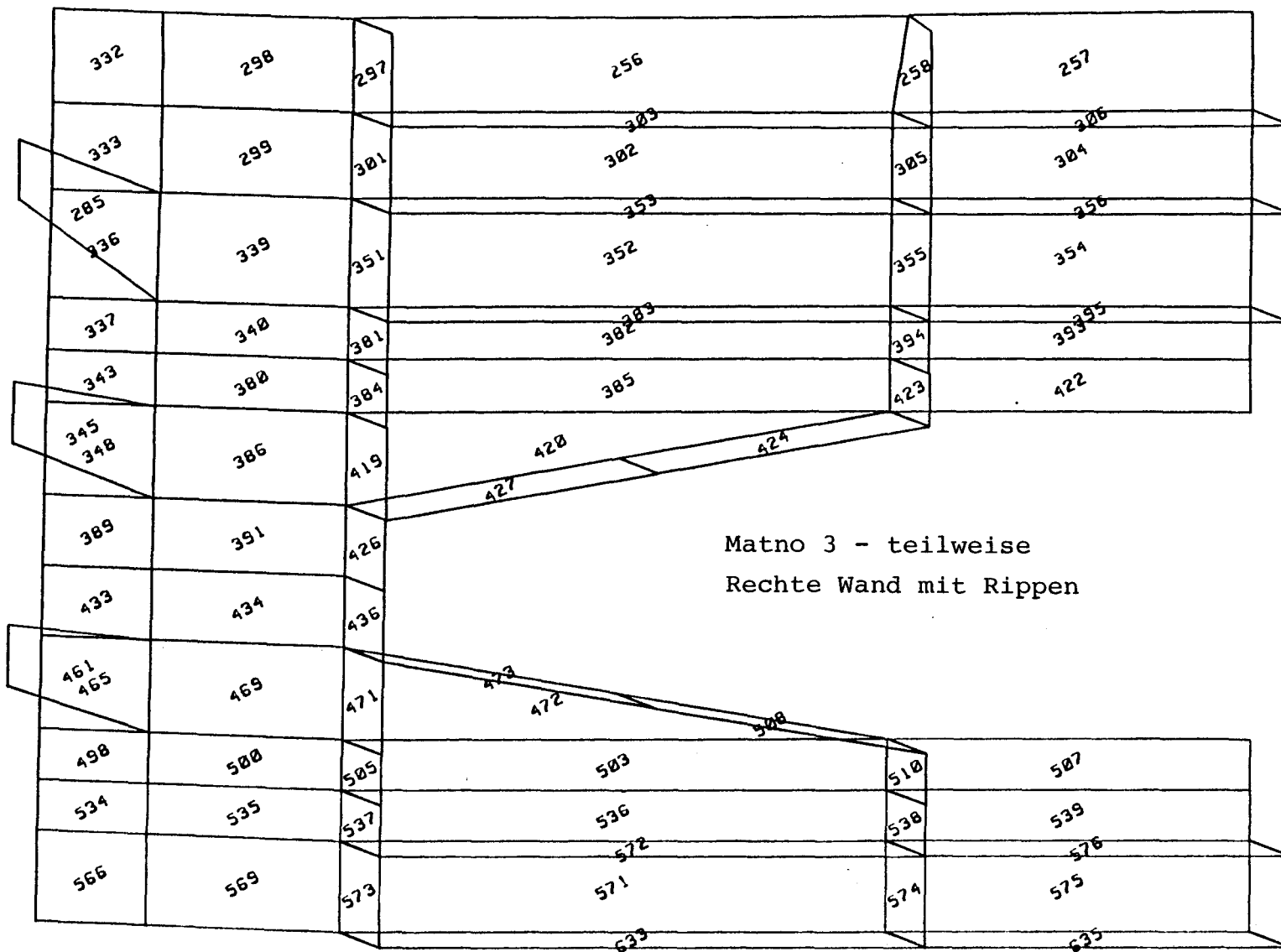


Abb.7 Matno 3 - teilweise
Vordere Profilwand, rechter Teil



Hoehenw. 35.0
Azimutw. 0.0

Elementnr.



Hoehenw. 20.0
 Azimutw. 80.0

Elementnr.

Abb.8

Abb. 9

Matno 4

Profilträger und Dome des Oberdeckels

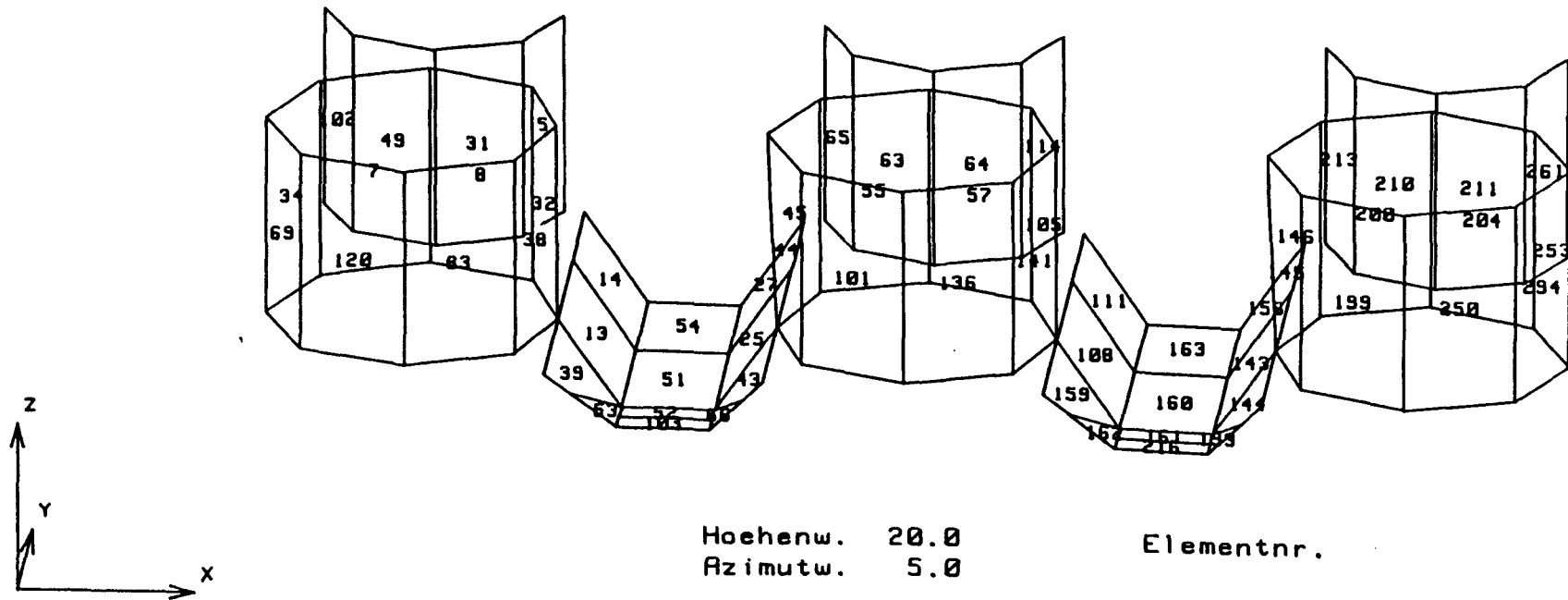
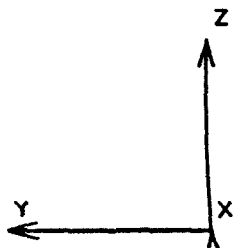


Abb.10

Matno 5

Rechteckflansch

| | | |
|-----|-------|---------|
| 76 | 73 | 80 |
| 74 | 72 71 | 79 |
| | 122 | 124 |
| | 167 | 169 |
| | 220 | 223 |
| | 263 | 265 |
| 361 | 308 | 307 311 |
| | 357 | 360 |
| | 396 | 399 |
| | 437 | 440 |
| | 476 | 479 |
| 546 | 513 | 512 515 |
| 545 | 541 | 540 543 |
| 586 | 579 | 578 583 |



Hoehenw. 0.0
 Azimutw. -90.0

Elementnr.

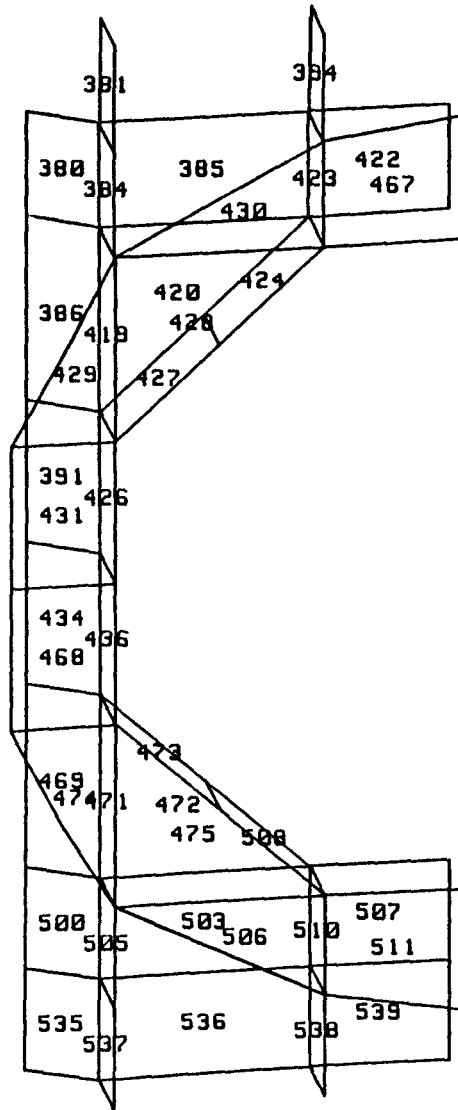


Abb. 11
 Matno 6 (u. Matno 3-teilweise)
 Flansch für Ionenquelle

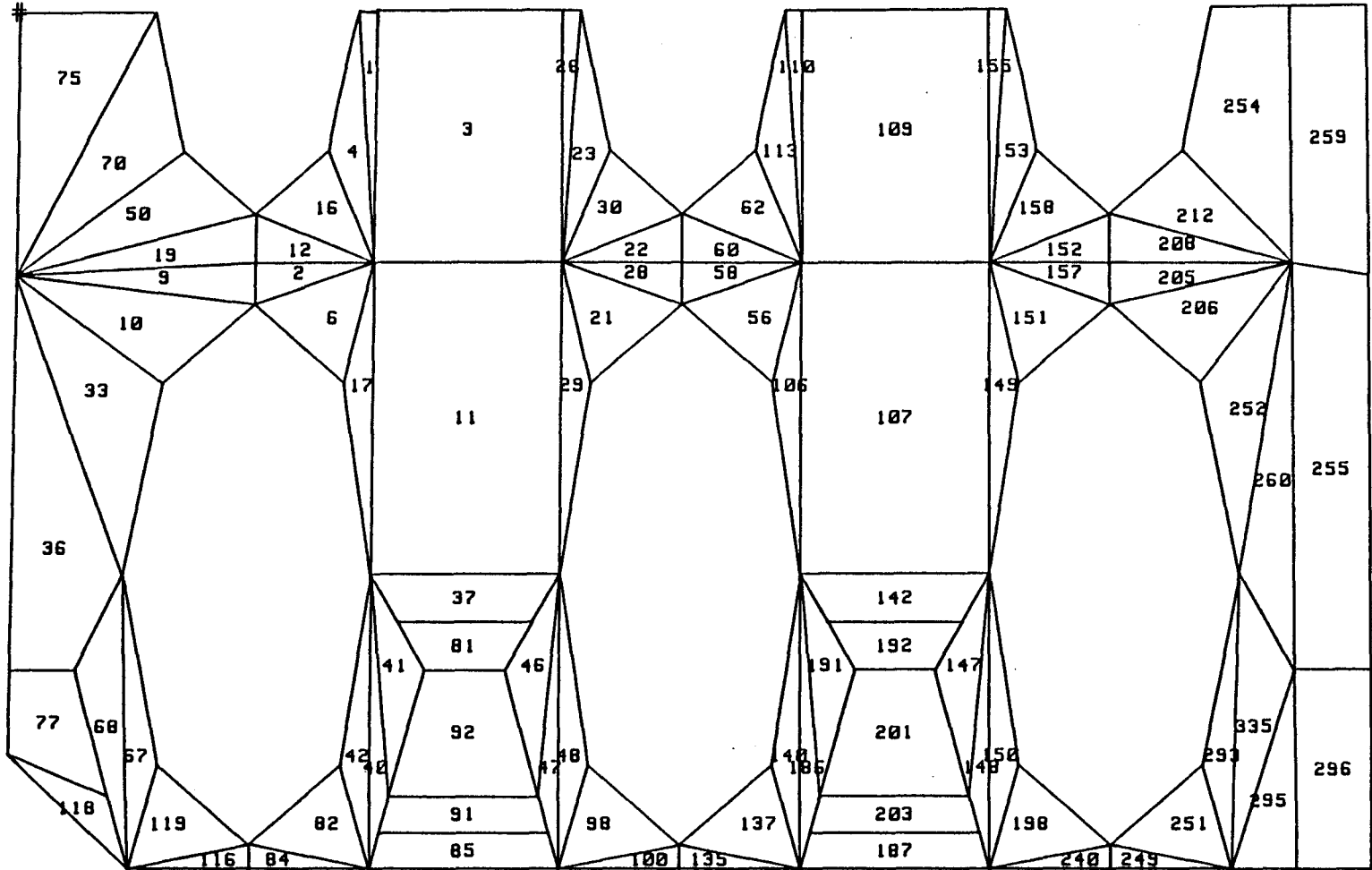
Hoehenw. 20.0
 Azimutw. 80.0

Elementnr.

Abb.12

Matno 7

Oberdeckel



Hoehenw. 90.0
Azimutw. 0.0

Elementnr.

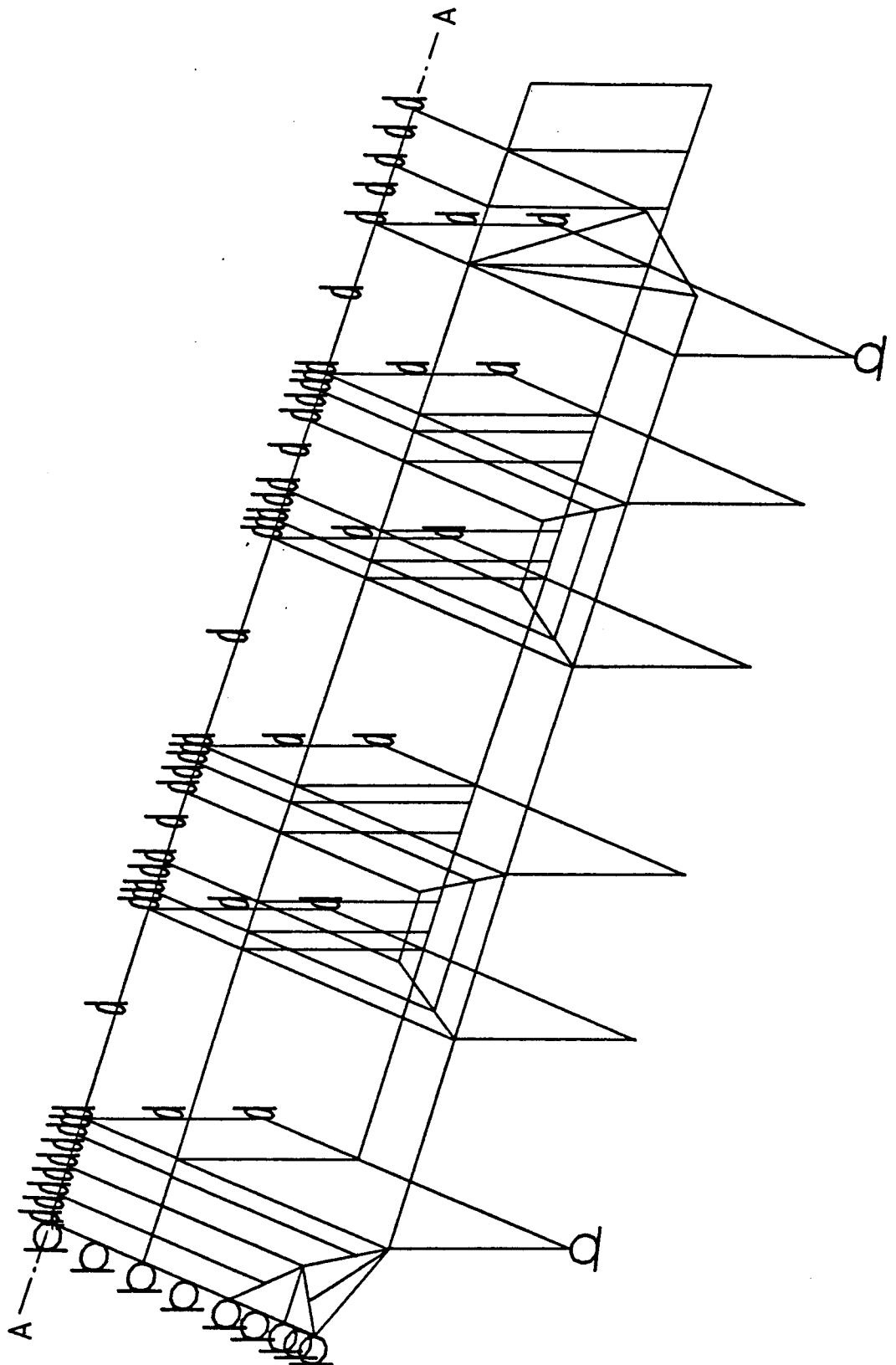


Abb. 13 Randbedingungen, Boden mit Rippen

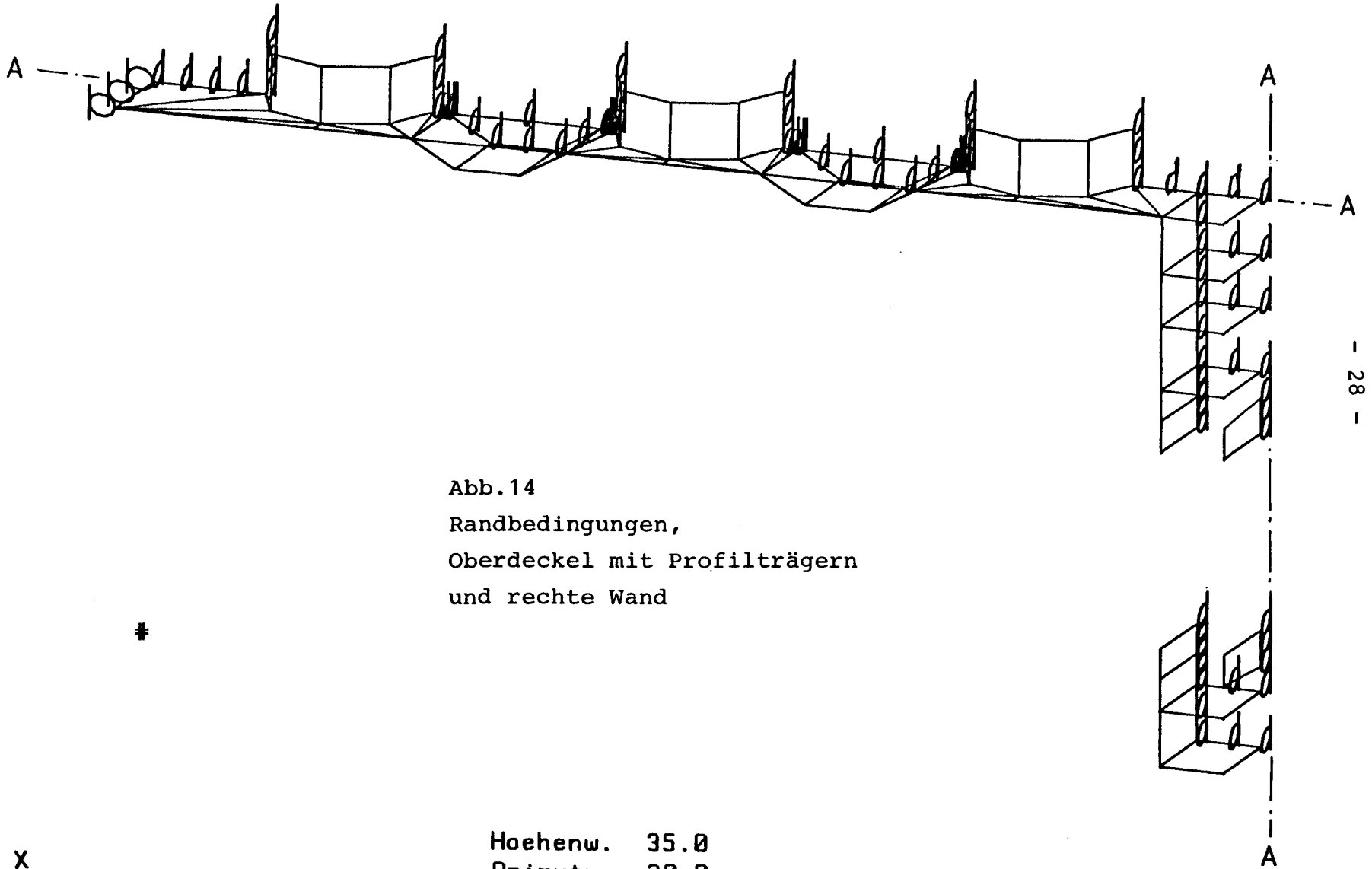
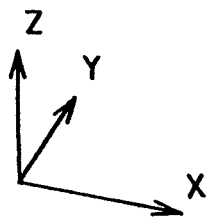


Abb. 14
 Randbedingungen,
 Oberdeckel mit Profilträgern
 und rechte Wand

#



Hoehenw. 35.0
 Azimutw. 20.0

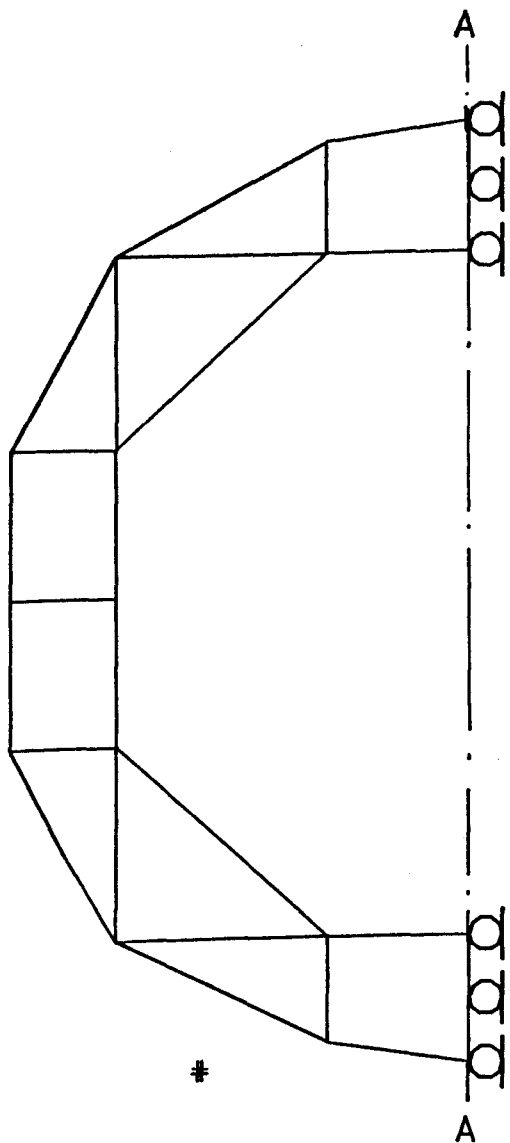
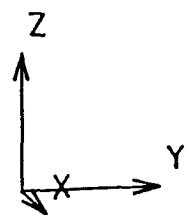
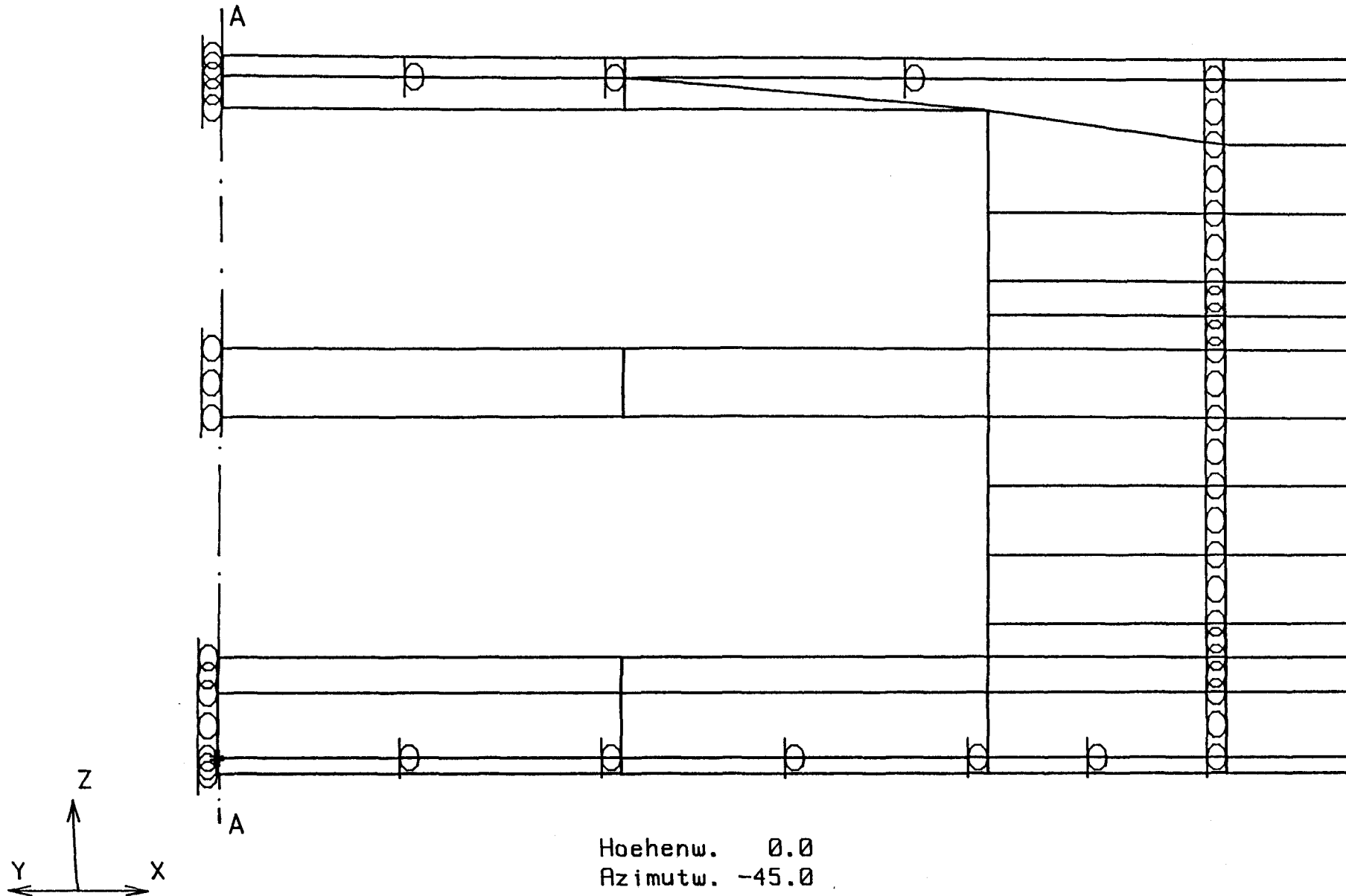


Abb.15
Randbedingungen,
Flansch für Ionenquelle

Hoehenw. 10.0
Azimutw. 80.0

Abb. 16 Randbedingungen, Rechteckflansch



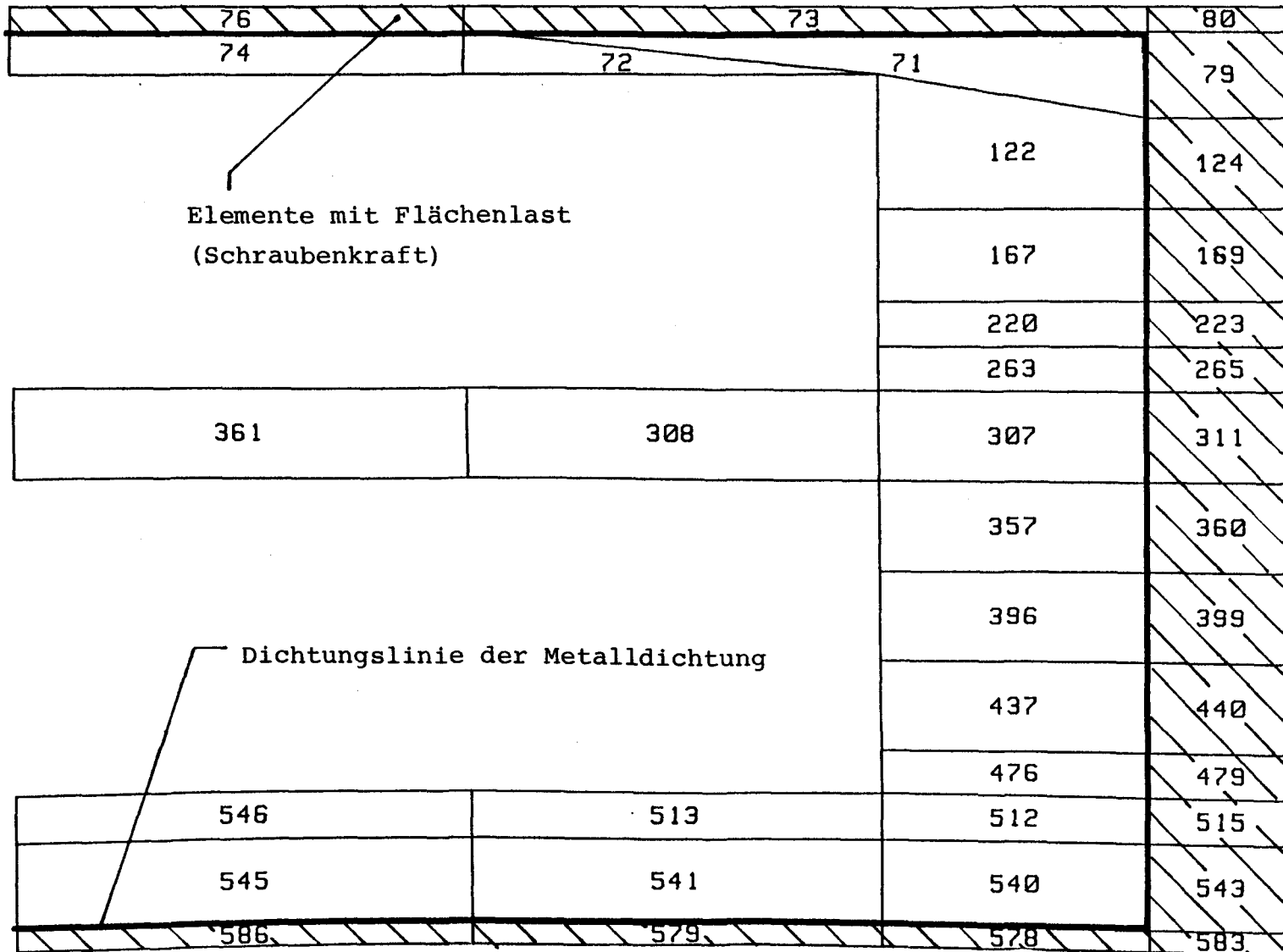


Abb.17 Lasten am Rechteckflansch

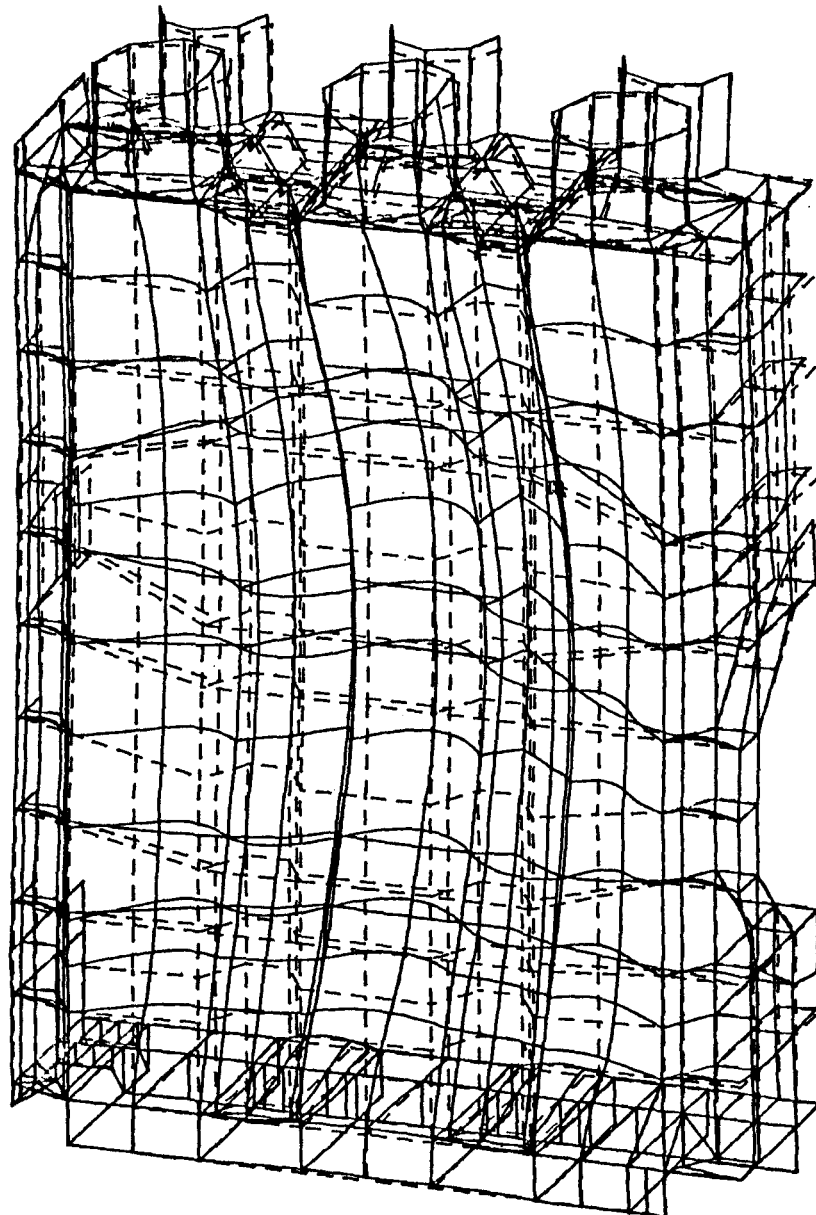
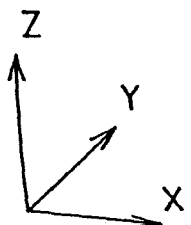


Abb.18

Verformungen des Injektortanks
(Großer Teiltank)

Maximale Verformung 4,15 mm

Unverformte Struktur gestrichelt
gezeichnet



| | | | | |
|----------|---|----------|----------|------|
| ABS(Max) | = | 4.15E+00 | Hoehenw. | 20.0 |
| Faktor | = | 1.50E+02 | Azimutw. | 20.0 |

Verschiebungen

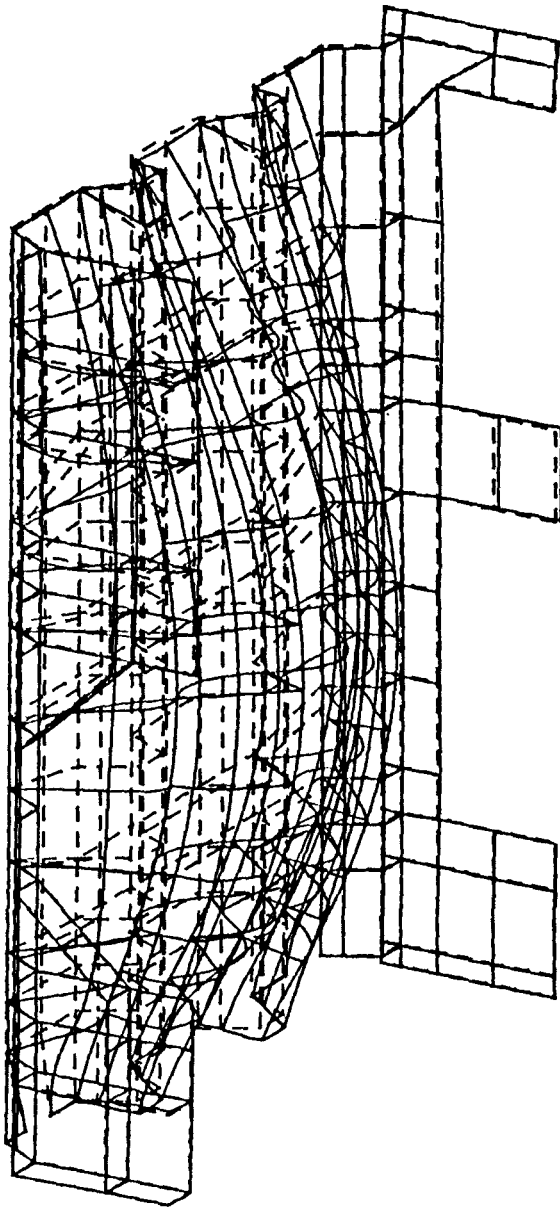
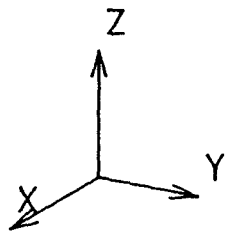


Abb.19

Verformungen der vorderen Profilwand

Maximale Verformung 4,15 mm

Unverformte Struktur gestrichelt
gezeichnet

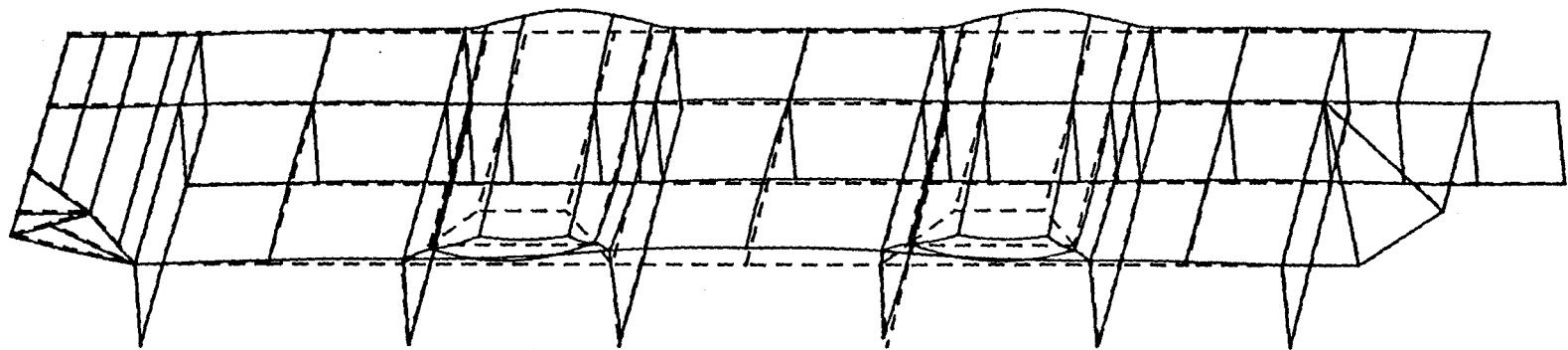


ABS(Max) = 4.15E+00
Faktor = 1.50E+02

Hoehenw. 20.0
Azimutw. 120.0

Verschiebungen

Abb.20 Verformungen des Bodens mit Rippen
Maximale Verformung 0,287 mm
Unverformte Struktur gestrichelt gezeichnet



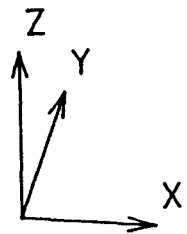
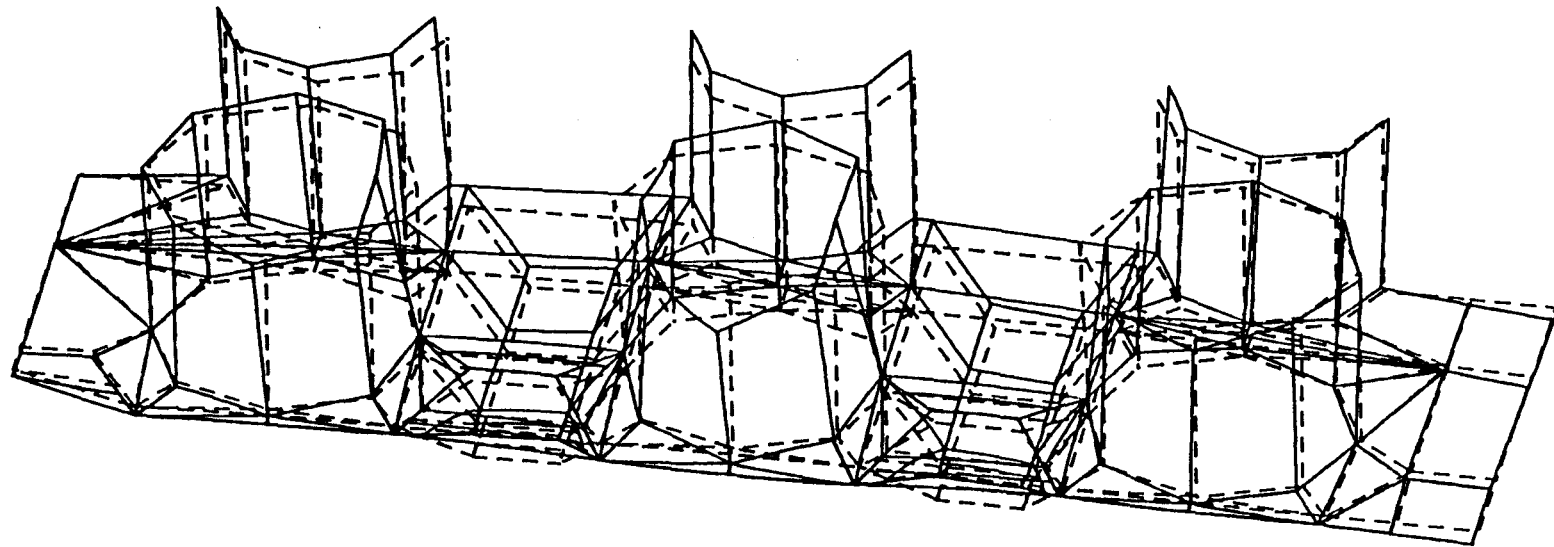
X

ABS(Max) = 2.87E-01
Faktor = 2.00E+02

Hoehenw. 30.0
Azimutw. 10.0

Verschiebungen

Abb.21 Verformungen des Oberdeckels mit Profilträgern
Maximale Verformung 0,569 mm
Unverformte Struktur gestrichelt gezeichnet



| | | | | | |
|----------|---|----------|----------|------|----------------|
| ABS(Max) | = | 5.69E-01 | Hoehenw. | 30.0 | |
| Faktor | = | 2.00E+02 | Azimutw. | 10.0 | Verschiebungen |

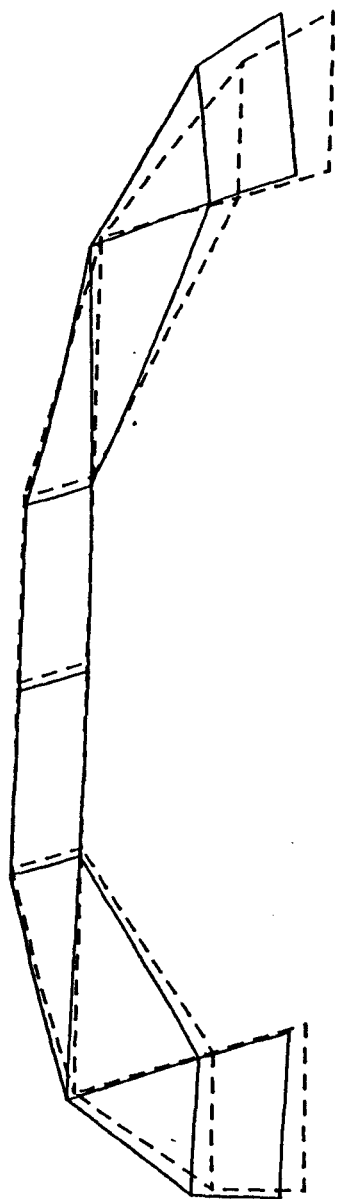


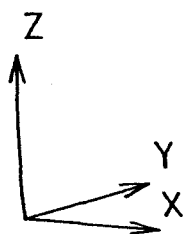
Abb.22

Verformungen des Flansches
für die Ionenquelle

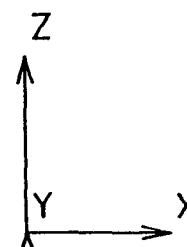
Maximale Verformung 0,147 mm

Unverformte Struktur gestrichelt
gezeichnet

Verschiebungen



ABS(Max) = 1.47E-01 Höhenw. 10.0
 Faktor = 5.00E+02 Azimutw. 30.0



ABS(Max) = 1.47E-01
 Faktor = 5.00E+02

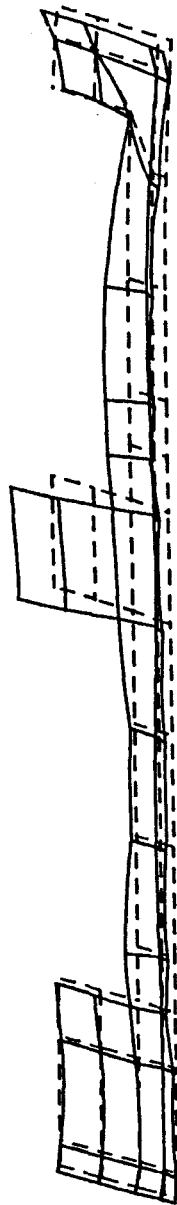
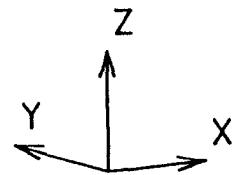


Abb. 23

Verformungen des Rechteckflansches

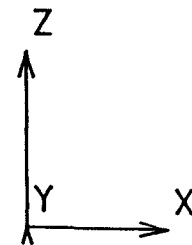
Maximale Verformung 0,255 mm

Unverformte Struktur gestrichelt
gezeichnet



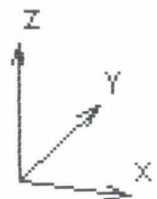
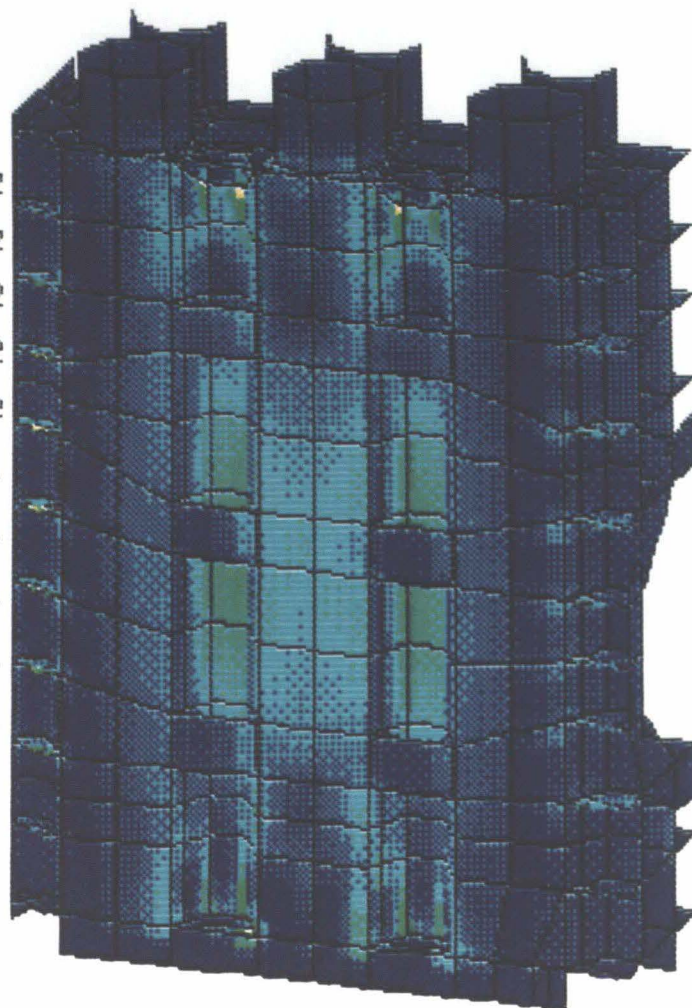
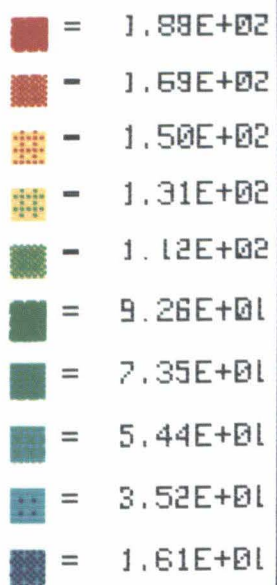
ABS(Max) = 2.55E-01 Höhenw. 10.0
 Faktor = 5.00E+02 Azimutw. -30.0

Verschiebungen



ABS(Max) = 2.55E-01
 Faktor = 5.00E+02

Vgl.-Spann.
in N/mm^2



Min = 0.00E+00
Max = 1.91E+02

Höhenw. 20.0
Azimutw. 20.0

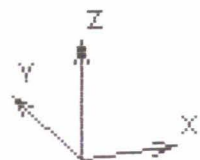
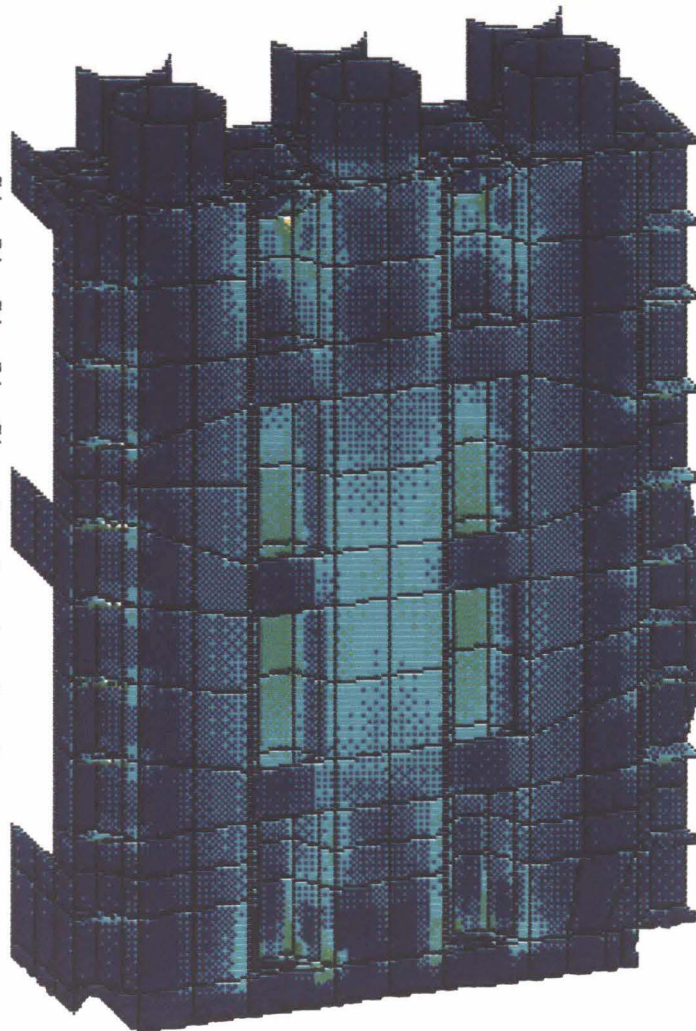
Abb.24

Vergleichsspannungsverteilung am Injektortank
(Blick auf den Ionenquellenflansch)

Maximale Vergleichsspannung 191 N/mm^2

Vgl.-Spann.
in N/mm^2

- = $1.89\text{E}+02$
- = $1.69\text{E}+02$
- = $1.50\text{E}+02$
- = $1.31\text{E}+02$
- = $1.12\text{E}+02$
- = $9.26\text{E}+01$
- = $7.35\text{E}+01$
- = $5.44\text{E}+01$
- = $3.52\text{E}+01$
- = $1.61\text{E}+01$



Min = $0.00\text{E}+00$
Max = $1.91\text{E}+02$

Höhenw. 20.0
Azimutw. -20.0

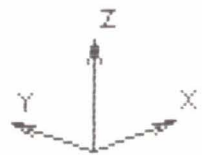
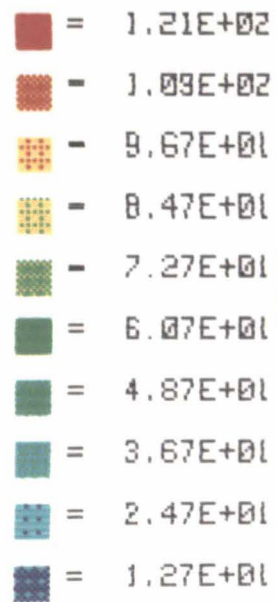
Abb.25

Vergleichsspannungsverteilung am Injektortank
(Blick auf Rechteckflansch)

Maximale Vergleichsspannung
 $191 \text{ N}/\text{mm}^2$

Vgl- Spannung

Vgl.-Spann.
in N/mm^2



Min = 2.61E+00
Max = 1.23E+02

Höhenw. 20.0
Azimutw. -45.0

Vgl- Spannung

Abb.26

Vergleichsspannungsverteilung
am Rechteckflansch

Maximale Vergleichsspannung 123 N/mm^2

Vgl.-Spann.
in N/mm^2











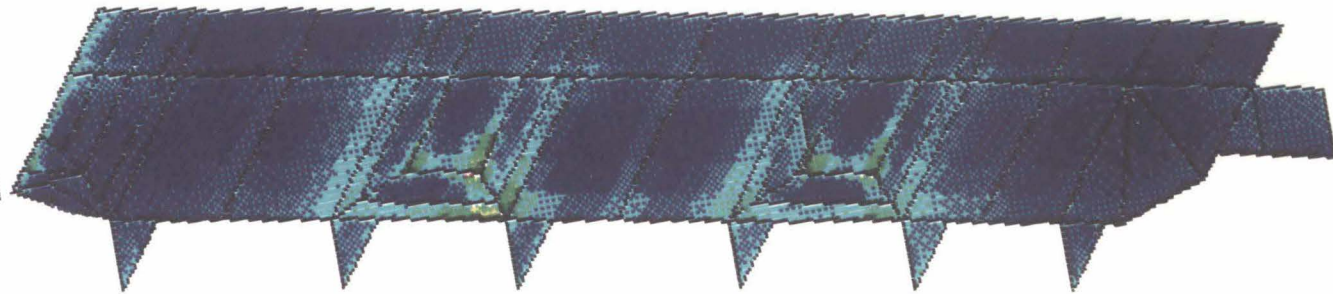
-  = $8.12\text{E}+01$
-  = $7.31\text{E}+01$
-  = $6.50\text{E}+01$
-  = $5.69\text{E}+01$
-  = $4.88\text{E}+01$
-  = $4.07\text{E}+01$
-  = $3.26\text{E}+01$
-  = $2.45\text{E}+01$
-  = $1.64\text{E}+01$
-  = $8.36\text{E}+00$

Abb.27

Vergleichsspannungsverteilung
am Boden mit Rippen

Maximale Vergleichsspannung $82,5 \text{ N/mm}^2$

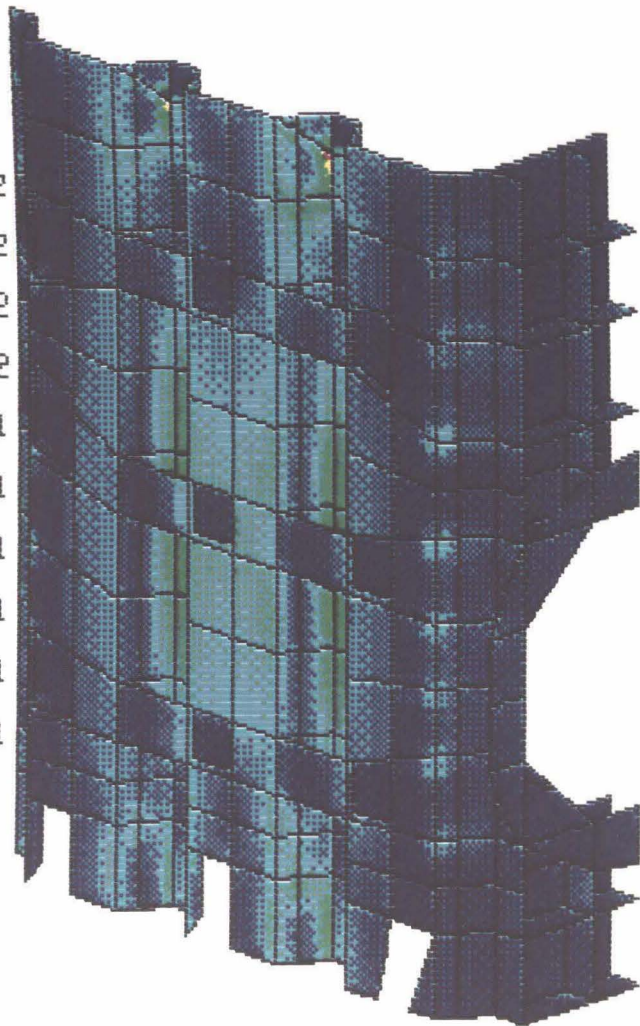
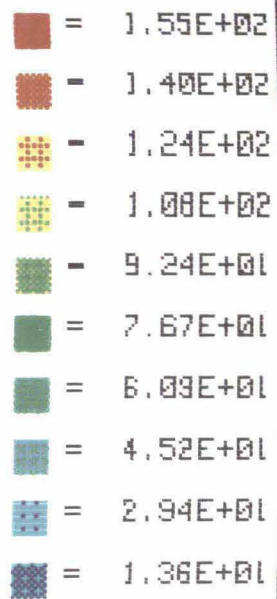


Min = $1.55\text{E}+00$
Max = $8.25\text{E}+01$

Hoehenw. 30.0
Azimutw. 20.0

Vgl-Spannung

Vgl.-Spann.
in N/mm^2



Min = 3.91E-01
Max = 1.58E+02

Höhenw. 20.0
Azimutw. 45.0

Vgl- Spannung

Abb.28

Vergleichsspannungsverteilung
an der vorderen Profilwand

Maximale Vergleichsspannung
 158 N/mm^2

Vgl.-Spann.
in N/mm^2

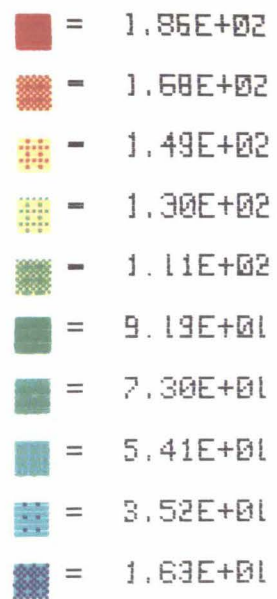
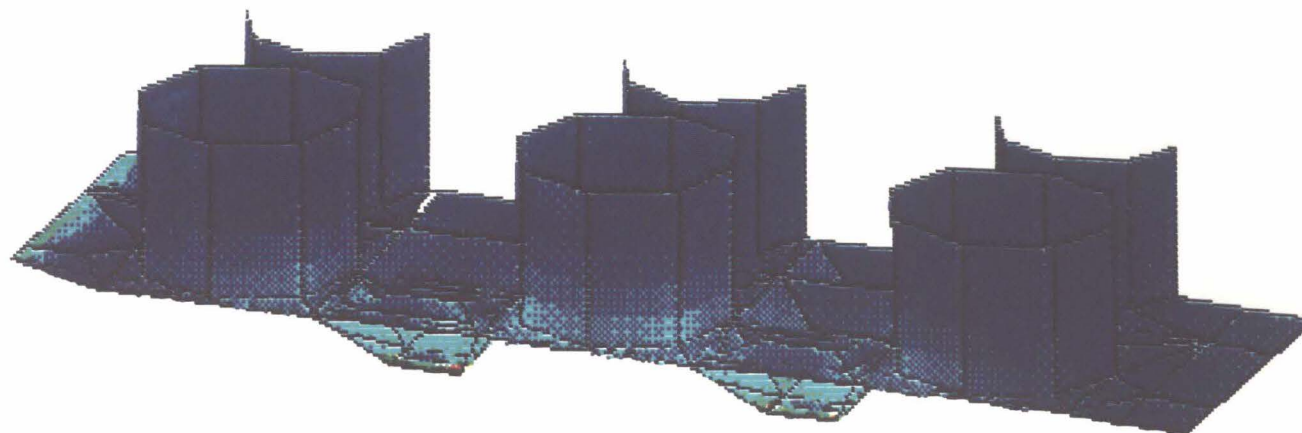


Abb.29

Vergleichsspannungsverteilung am
Oberdeckel mit Profilträgern

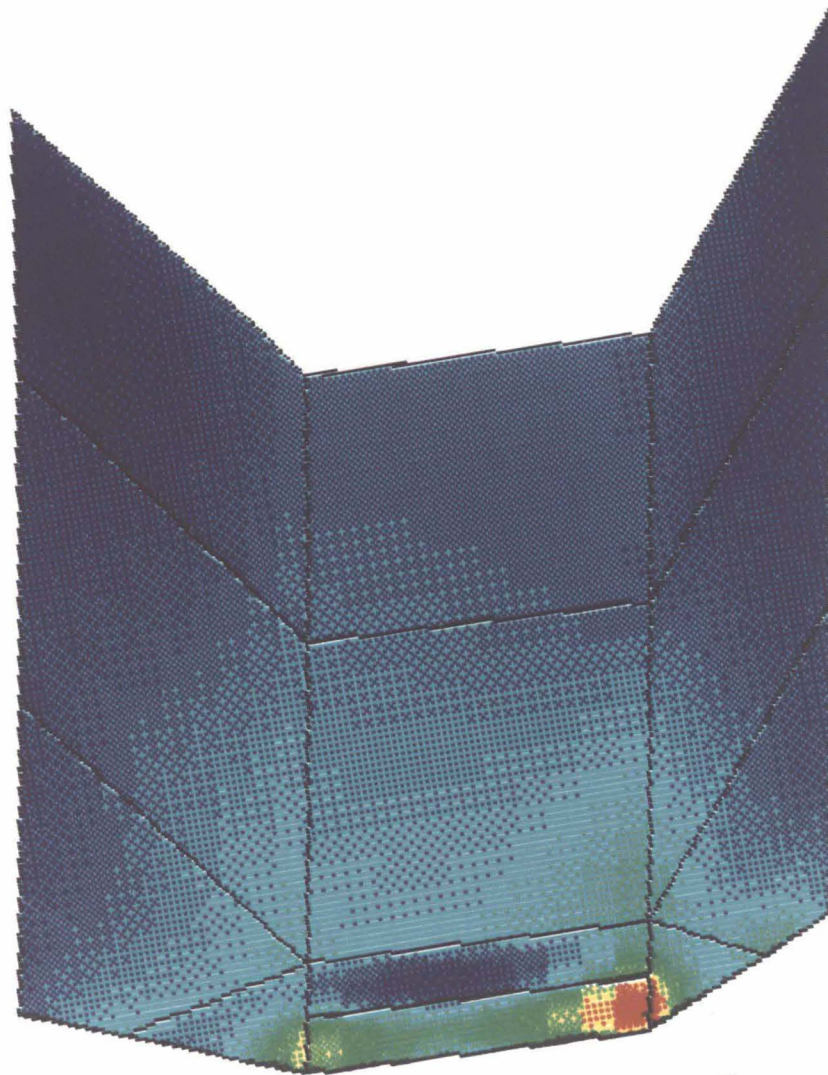
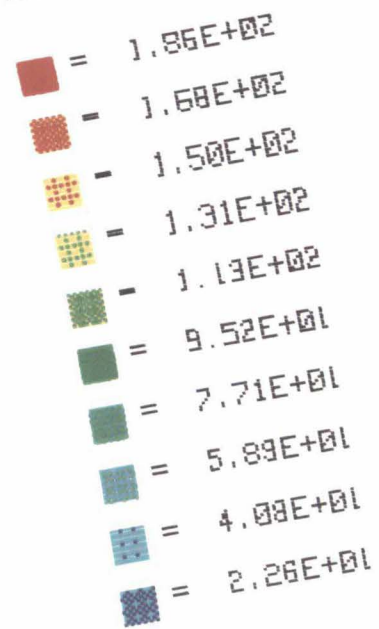
Maximale Vergleichsspannung 191 N/mm^2



Hoehenw. 20.0
Azimutw. 20.0

Vgl- Spannung

Vgl.-Spann.
in N/mm^2



Höhenw. 30.0
Azimutw. 5.0

Vgl-Spannung

Abb.30
Vergleichsspannungs-
verteilung am Profil-
träger des Oberdeckels
Maximale Vergleichs-
spannung 191 N/mm^2

