# Anhang B

# Detailplan des Photomultiplierträgersystems

Inhalt dieses Anhangs :

--- B.1 Darstellung der Komponenten des Trägersystems
--- B.2 Berechnung der Radien, welche die szintillierenden Fasern bei der Zuführung auf die einzelnen Kanäle der 16-Kanal-Multiplier in Zone 3 beschreiben.

## B.1. Darstellung des Trägersystems und Bemaßung :

In Fig.B.1 ist die geometrische Situation, welche die Maße des Trägersystems bestimmte, schematisch dargestellt.

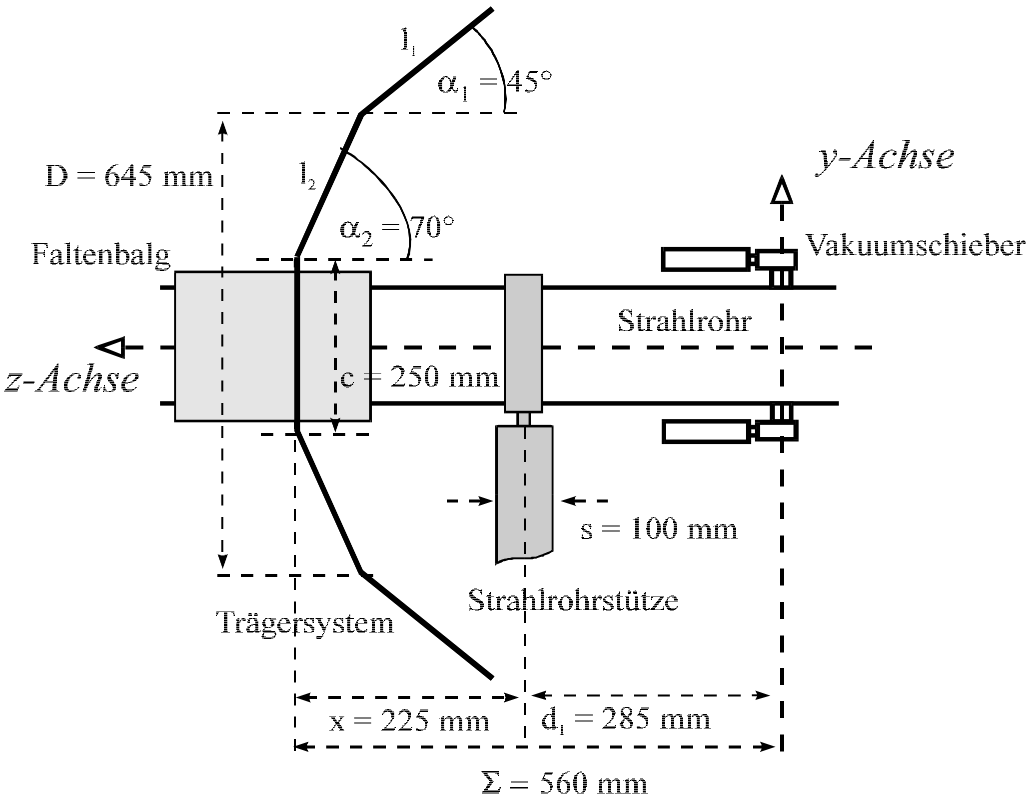


*Fig.B.1. Schematische Darstellung der Geometrie, welche die Bemaßung des Trägersystems beeinflußt.*

Die Positionierungsgrenze eines Trägersystems strahlaufwärts ist durch das Ende des Faltenbalgs gegeben, weil diesem Strahlrohrflantsche , ein T-Stück und Stützteile des EDDA-Strahlrohres folgen. Dadurch ist das Trägersystem über dem Faltenbalg positioniert. Die Position über dem Faltenbalg bei z = -560 mm wird dadurch bestimmt, daß die Multiplierhalterungen mit einer Länge von etwa 170 cm strahlaufwärts aus dem Trägersystem ragen. Durch eine Strahlrohrstütze bei z = -285 mm ist die Grenze des Trägersystems strahlabwärts gegeben. Die Höhe $l_i$ der

Segmente wurde so gewählt, daß je zwei Multiplier übereinander auf einem Segment Platz haben.

Daher die Wahl : $l_1 = l_2 = 210\text{mm} \equiv l$.

Man entnimmt Fig.A.1 : $x = \Sigma - d_1 - \frac{s}{2} = 225\,\text{mm} = l \cdot (\cos\alpha_1 + \cos\alpha_2)$.

Wählt man $\alpha_2 = 45°$, so folgt : $\alpha_1 = \arccos(\frac{x}{l} - \frac{1}{\sqrt{2}}) \approx 68° \Rightarrow$ Wähle $\alpha_1 = 70°$.

Alle Segmente haben die gleiche Form, was Herstellung und Montage erleichtert. Die Segmente umgeben Faltenbalg und Strahlrohr. Die kleine Basis der Innensegmente hat dazu eine Länge c = 250 mm (Fig.B.2). Aus Stabilitätsgründen berühren sich die Außenkanten der Innensegmente (Fig.B.2.). Für die größere, allen Segmenten gemeinsame Basis ist die Länge daher :

$$D = c + 2 \cdot l \cdot \sin\alpha_1 \approx 645\text{mm}.$$

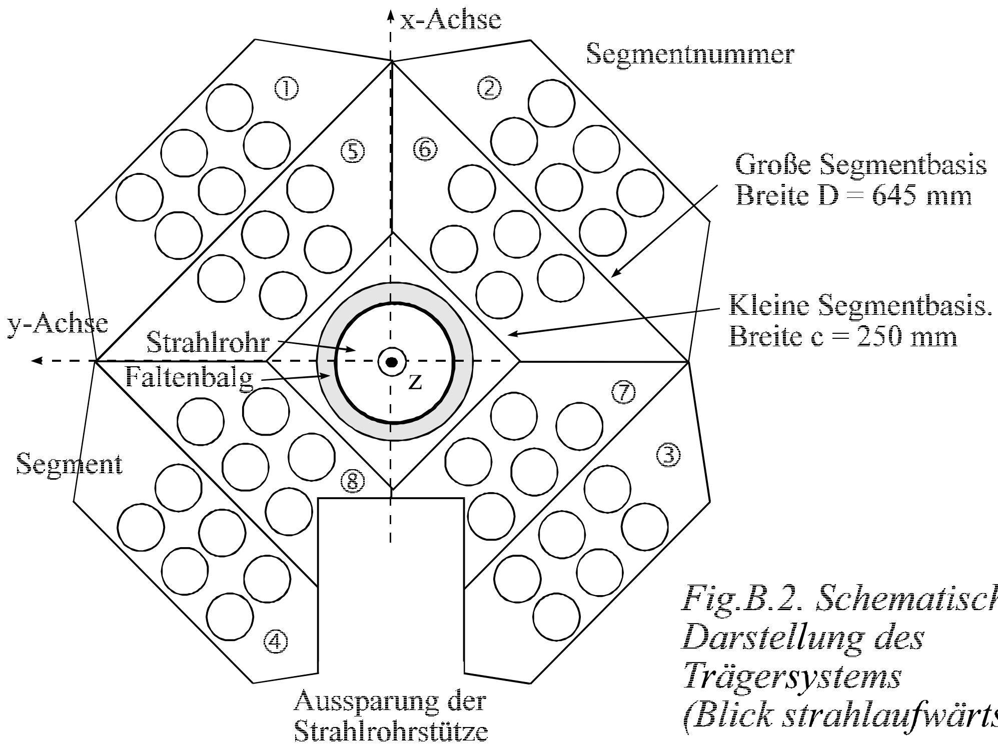


*Fig.B.2. Schematische Darstellung des Trägersystems (Blick strahlaufwärts)*

Auf den inneren Segmenten ist bei dieser Wahl für je 5 Röhren Platz, da man für Stützelemente des Trägersystems in der Nähe der Berührungskanten Raum lasssen muß. Die Außensegmente tragen jeweils 6 Röhren. Die 90°-Symmetrie der Anordnung wird dadurch reduziert, daß zwei der Innensegmente aufgrund der Strahlrohrstütze Aussparungen aufweisen und ihre Multiplier ein Stück nach außen verlagert sind.

## B.2. Berechnung der Pixelkoordinaten und Bögen in Zone 3

Zur Biegung der Fasern in Zone 3 müssen ihre Bögen bestimmt werden. Zur Berechnung der Bögen sind ihre Positionen bei z = 0 und die Pixelkoordinaten der Röhre zu berechnen.

**Berechnung der Planarenvektoren $\vec{m}$ und $\vec{n}$ der Segmente :**

Die Planarenvektoren eines Segmentes sind dabei die Normalenvektoren in der vom Segment definierten Ebene, wie in Fig.B.3.der Geometrie an den Segmenten ① und ⑤ dargestellt.

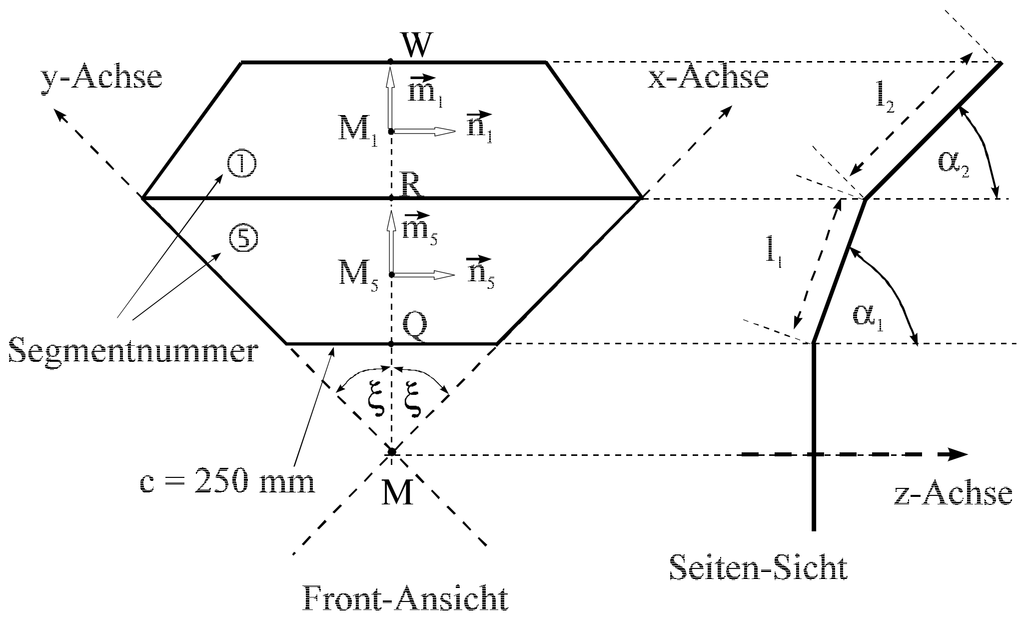


*Fig.B.3. Planarenvektoren und Mittelpunkte der Segmente am Beispiel der Segmente ① und ⑤*

Anhand der Geometrie erkennt man, daß sich $\vec{m}_1, \vec{m}_5, \vec{n}_1, \vec{n}_5$ wie folgt ergeben.

$$\vec{m}_5 = \begin{pmatrix} \sin\alpha_1 \cdot \cos\xi \\ \sin\alpha_1 \cdot \sin\xi \\ \cos\alpha_1 \end{pmatrix} \qquad \vec{m}_1 = \begin{pmatrix} \sin\alpha_2 \cdot \cos\xi \\ \sin\alpha_2 \cdot \sin\xi \\ \cos\alpha_2 \end{pmatrix} \qquad \vec{n}_1 = \begin{pmatrix} \sin\xi \\ -\cos\xi \\ 0 \end{pmatrix} = \vec{n}_5 .$$

Die Segmentmittelpunkte $M_1$ und $M_5$ ergeben sich wie folgt :

$$\vec{Q} = c/2 \cdot \begin{pmatrix} \cos\xi \\ \sin\xi \\ 0 \end{pmatrix} \quad \Rightarrow \quad \vec{M}_5 = \vec{Q} + \frac{1}{2} \cdot \vec{m}_5 \quad \text{und} \quad \vec{M}_1 = \vec{Q} + 1 \cdot \left( \vec{m}_5 + \frac{\vec{m}_1}{2} \right).$$

Die Planarenvektoren und Segmentmittelpunkte aller anderen Segmente ergeben sich durch Drehung der oben Angegebenen mit der Drehmatrix M(φ) :

$$M(\varphi) = \begin{pmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi & 0 \\ \sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{mit} \quad \varphi \in \{\pi/2; \pi; 3\pi/2\}.$$

**Berechnen der Röhrenzentrenkoordinaten auf den Segmenten:**

In Fig.B.4. sind die drei existierenden Segmenttypen abgebildet. Der Mittelpunkt jeder Röhre auf der Segmentebene läßt sich m.H. der Planarenvektoren berechnen. Aus diesen Mittelpunkten ergeben sich die Koordinaten eines jeden Pixels einer Röhre bzgl. der Segmentebene. Dabei ist w der Abstand der Röhrenzentren entlang einer der Planarenvektoren zueinnder; d1 und d2 sind die Versetzungen der Röhrenreihen der Segmente ⑦ und ⑧.

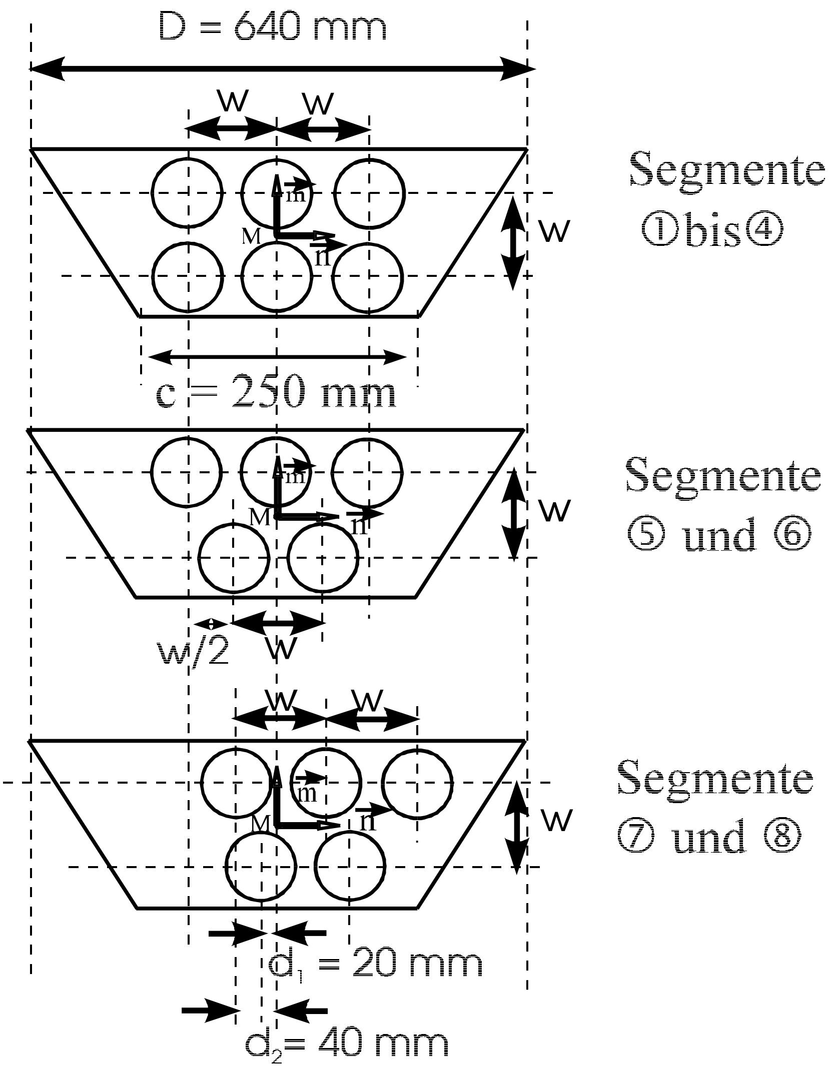


*Fig.B.4. Darstellung der verschiedenen Segmenttypen zur Berechnung der Röhrenzentrenkoordinaten.*

Als Röhrenzentrenkoordinaten auf ihren jeweiligen Segmenten ergeben sich nach Fig.B.4.:

Segmente i = ①,...,④ ; Röhren j = 1,...,6 : $\vec{P}_{ij} = \vec{M}_i + w \cdot \left( \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \end{pmatrix} \cdot \frac{\vec{m}_i}{2} + \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \cdot \vec{n}_i \right)$

Segmente i = ⑤ und ⑥ ; Röhren j = 1,...,5 : $\vec{P}_{ij} = \vec{M}_i + w \cdot \left( \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \end{pmatrix} \cdot \frac{\vec{m}_i}{2} + \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \\ -1/2 \\ 1/2 \end{pmatrix} \cdot \vec{n}_i \right)$

Segment ⑦ ; Röhren j = 1,...,5 : $\vec{P}_{7j} = \vec{M}_7 + w \cdot \left( \begin{pmatrix} -1 \\ -1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \cdot \frac{\vec{m}_7}{2} + \begin{pmatrix} 1-d_1 \\ -d_1 \\ 2-d_2 \\ 1-d_2 \\ -d_2 \end{pmatrix} \cdot \vec{n}_7 \right)$.

Die Pixelkoordinaten auf Segment ⑧ ergeben sich durch Spiegelung an der x-y-Ebene. In Fig.B.5 ist die Projektion eines Ausleseteils der Röhrenhalterung auf die Ebene seines Segmentes dargestellt. Mit den dort angegebenen Numerierungen und den Bezeichnungen wie bisher, ergeben sich die Koordinaten des k-ten Pixels, der j-ten Röhre auf dem i-ten Segment :

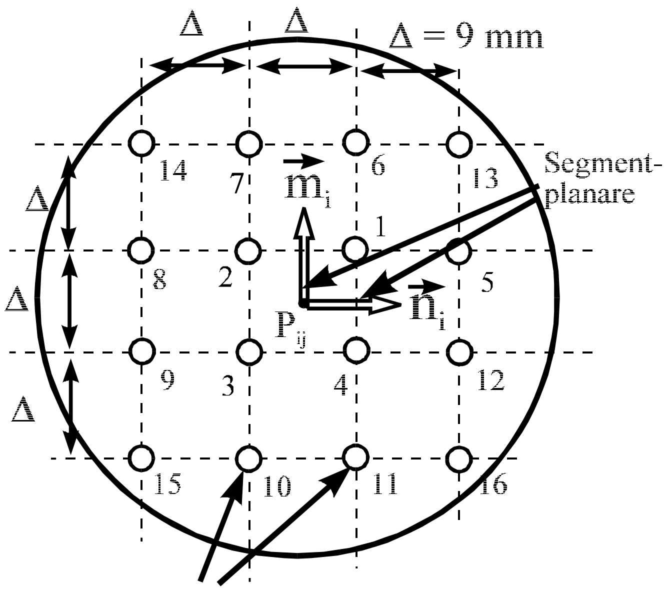


*Fig.B.5. Darstellung der Pixelpositionen eines Multipliers zur Berechnung der Pixelkoordinaten auf einer Segmentebene.*

$$\vec{P}_{ijk} = \vec{P}_{ij} + \Delta/2 \cdot \left(a_k \cdot \vec{m}_i + b_k \cdot \vec{n}_i\right)$$
$$\text{mit } a_k \in \{+1,+1,-1,-1,+1,+3,+3,+1,-1,-3,-3,-1,+3,+3,-3,-3\}$$
$$\text{und } b_k \in \{+1,-1,-1,+1,+3,+1,+3,-1,-3,-3,-1,+1,+3,+3,-3,-3\}$$

**Berechnen der Faserpositionen bei z = 0 :**

Zur Berechnung der Faserpositionen bei z = 0 werde zunächst davon ausgegangen, daß keine Vakuumstutzen existieren. Die Verhältnisse sind dann durch Fig.B.6. gegeben. Dabei ist $\varphi$ der vom Radius unabhängige Winkelabstand zweier Fasern einer Lage und $\Delta\varphi_i$ der Versatz der verschiedenen Lagen untereinander; $r_i$ ist der Radius einer Faserseele der i-ten Lage.

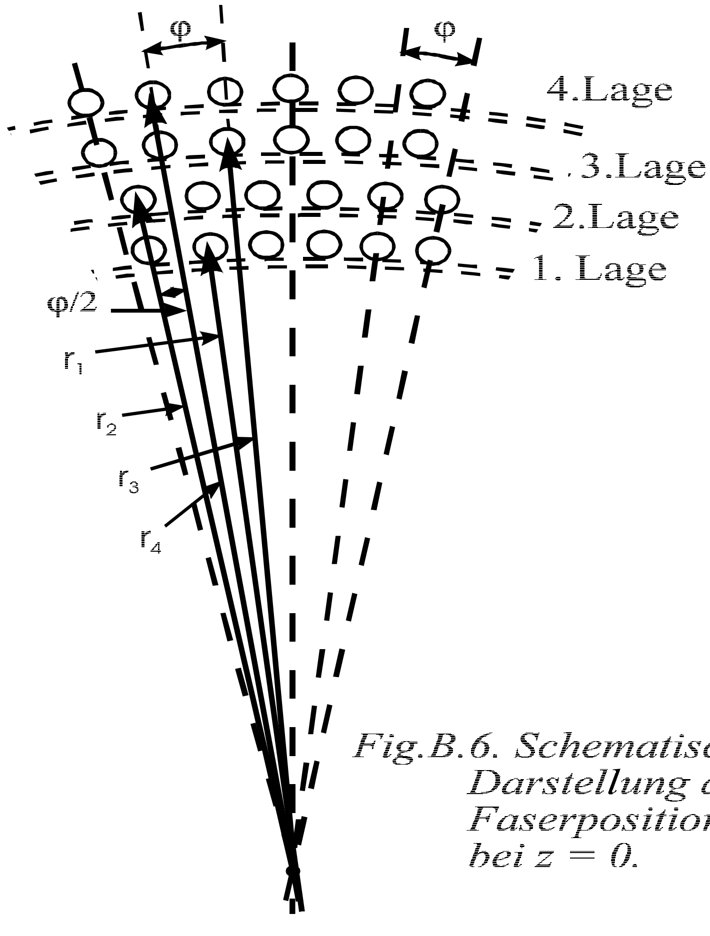


*Fig.B.6. Schematische Darstellung der Faserpositionen bei z = 0.*

Für die x-y-Koordinaten des j-ten Faserzentrums der i-ten Lage bei z = 0 gilt dann :

$$\vec{r}_{ij} = r_i \cdot \begin{pmatrix} \cos(\Delta\varphi + j\cdot\varphi) \\ \sin(\Delta\varphi + j\cdot\varphi) \end{pmatrix}; \qquad \text{mit} \qquad j = 1,\ldots,160;\ i = 1,\ldots,4\ ;\ \Delta\varphi_1 = \Delta\varphi_2 = 0;$$
$$\text{und} \qquad \Delta\varphi_3 = \Delta\varphi_4 = \varphi/2\ ;\ \varphi = 360°/160 = 9°/4\,.$$

Die Reihenfolege der Fasernummern verläuft dabei gegen den Uhrzeigersinn für einen in z-Richtung schauenden Betrachter.

Bei $\beta \in \{0, \pi/2, \pi, 3\pi/2\}$ in der x-y-Ebene (gemessen relativ zur x-Achse) befinden sich die Vakuumstutzen. Durch diese entstehen für Fasern nicht zugängliche bzw. "verbotenene" Winkelbereiche der Breite $2\omega$, zwischen $\beta+\omega$ und $\beta-\omega$. Fasern, deren Winkel innerhalb dieses Bereiches liegen, werden grob genähert neben den Strahlrohrstutzen übereinander angeordnet. Dies ist in Fig.B.7 dargestellt. Dabei ist d die Dicke einer Faser und t ein Toleranzabstand zwischen den übereinander liegenden Fasern. Der verbotene Bereich ist durch y + 2ε gegeben. Dabei ist y die Breite des Stutzens und ε ein zusätzlicher Sicherheitsabstand zum Stutzen. Als Koordinaten der Stutzenfasern ergibt sich :

$$\vec{r}_{ij} = a_1 \cdot \vec{r}_{i(j+1)} + a_2 \cdot \vec{r}_{i(j-1)} + (d+t) \cdot \begin{pmatrix} g \\ h \end{pmatrix}$$

Mit : $a_1 = \begin{cases} 0; [\beta, \beta+\omega] \\ 1; [\beta, \beta-\omega] \end{cases}$ $a_2 = \begin{cases} 1; [\beta, \beta+\omega] \\ 0; [\beta, \beta-\omega] \end{cases}$ $g = \begin{cases} 0; \beta = \pi/2, 3\pi/2 \\ 1; \beta = 0 \\ -1; \beta = \pi \end{cases}$ $h = \begin{cases} 0; \beta = \pi, 0 \\ 1; \beta = \pi/2 \\ -1; \beta = 3\pi/2 \end{cases}$

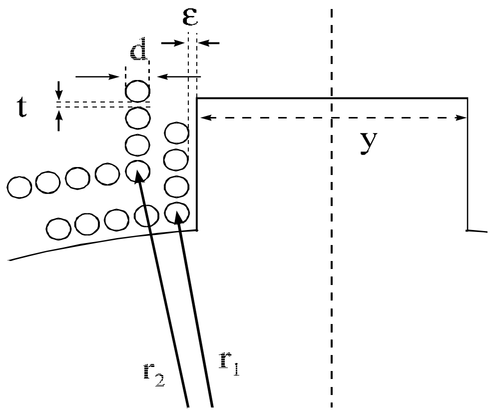


*Fig.B.7. Anordnung der Fasern übereinander im Stutzenbereich mit verschiedenen Tolleranzparametern t, d, ε und der Breite des Stutzens y.*

Bezeichne μ den Abstand der nach obiger Regel neben einem Stutzen übereinandergestapelten Fasern verschiedener Lagen, so ergibt sich der verbotene Winkelbereich für jeden Stutzen und jeweils links und rechts eines jeden Stutzens spiegelsymmetrisch durch $\beta \pm \omega_n$

mit : $$\omega_n = \arccos\left( \frac{1}{r_n} \left( (\frac{y}{2} + \varepsilon) + \mu \cdot (1 - \delta_{01}) \cdot (n-1) + \frac{2n+1}{2} d \right) \right).$$

Ab z = 0 verlaufen die Fasern strahlaufwärts parallel zur z-Achse verlaufen. Daher gelten für beliebige z < 0 die gleichen Formeln mit $\vec{r}_{ij}(z) = \begin{pmatrix} \vec{r}_{ij} \\ z \end{pmatrix}$

**Berechnung der in Zone 3 auftretenden Radien :**

Seien $\vec{A} = \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix}$ bzw. $\vec{B} = \begin{pmatrix} b_x \\ b_y \\ b_y \end{pmatrix}$ die Koordinaten einer "Faserseele" bei z = $a_z < 0$ bzw. die Koordinaten des dieser Faser zugeordneten Pixels, so berechnet sich (aus Fig.B.8) ersichtlich, der von der Faser beschriebene Radius :

$$r = \frac{u}{2 \cdot \sin(\gamma/2)}$$

Dabei ist $|\overline{AB}| = u$ der Abstand zwischen A und B, $\gamma/2 = \arccos(\vec{n}_{AB} \cdot \vec{n}_A)$ der halbe Bogenwinkel, $s = r \cdot \gamma$ die Bogenlänge, und es gilt : $\vec{n}_A = \vec{e}_z$.
Die wirklich benötigte Faserlänge ist : $\tilde{s} = s + 50\text{mm}$, weil die Faser in den Ausleseteil der Röhrenhalterung, bis zum Multiplier reichen muß.

♦ Die in diesem Kapitel gemachten Berechnungen übernimmt das im Rahmen der Arbeit erstellte Programm "Position". Es erfüllt folgende Aufgaben :

--- Berechnen der Bogenlänge jeder Faser
--- Berechnen des Biegeradius jeder Faser
--- Koordinaten jedes Röhrenkanals
--- Plotten der Röhrenbelegung ("bad Pixels, good Pixels")
--- Plotten der Geometrie des Trägersystems
--- 3D-Ansicht des Trägersystems auf dem Bildschirm.
--- Darstellung der Faserendflächen für z < 0.