

Geometrische Simulation der Detektionseffizienz bei einem Vier-Quadranten-Röntgendetektor

Mag. Margit Schäfer

Diplomarbeit 2012/2013:

Institut für Geometrie und

Institut für Elektronenmikroskopie und Nanoanalytik

der TU Graz

Di. 4.11.2014

Inhalt

- Die Elektronenmikroskopie
 - Funktionsweisen
 - Der Vier-Quadranten-Röntgendetektor
- Das Abschattungsproblem
 - Die Drehparameter
 - Die Positionsparameter
- Der geometrische Lösungsansatz
 - Kalibrierung der Situation
 - Rasterung der Detektoren
 - Auswertung und Ergebnisse



Die Elektronenmikroskopie

Di. 4.11.2014

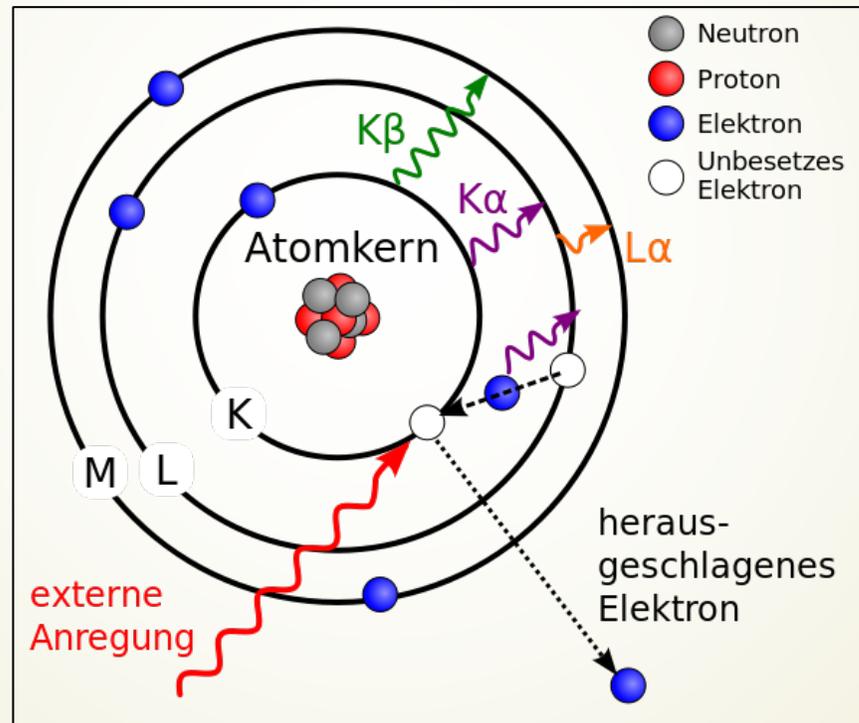
Funktionsweisen

- Rastertransmissionselektronenmikroskop STEM
- Bis zu 4 Pikometer = $4 \cdot 10^{-12}$ Meter vergrößern
- Sowohl Bilder als auch Energiespektren können erzeugt werden
- Mikrometer bis hundert Nanometer dicke Probenstücke



Funktionsweisen

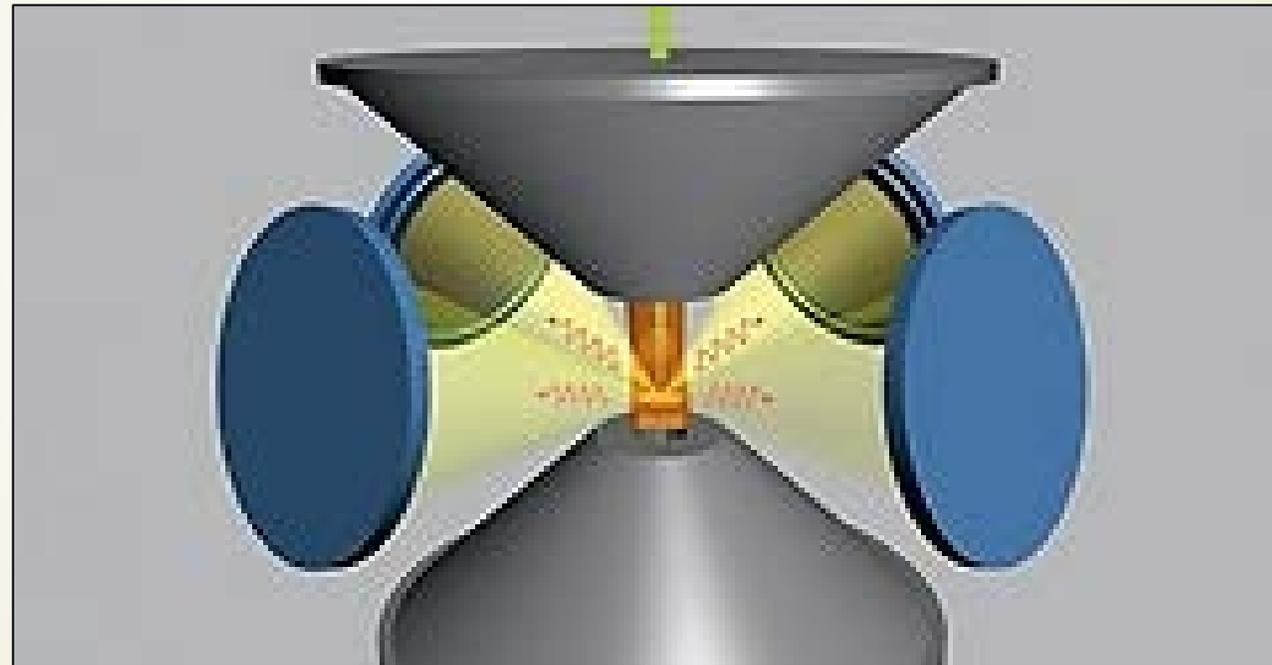
- Entstehung der charakteristischen Röntgenstrahlung



Von: Rainer Ziel/Cepheiden

Der Vier-Quadranten-Röntgendetektor

- Vier symmetrisch um das Probenzentrum angeordnete Detektorkreise



Von: FEI Company

Der Vier-Quadranten-Röntgendetektor

- Das ASTEM des *FELMI-ZFE Graz*



Von: DI Stefanie Fladischer

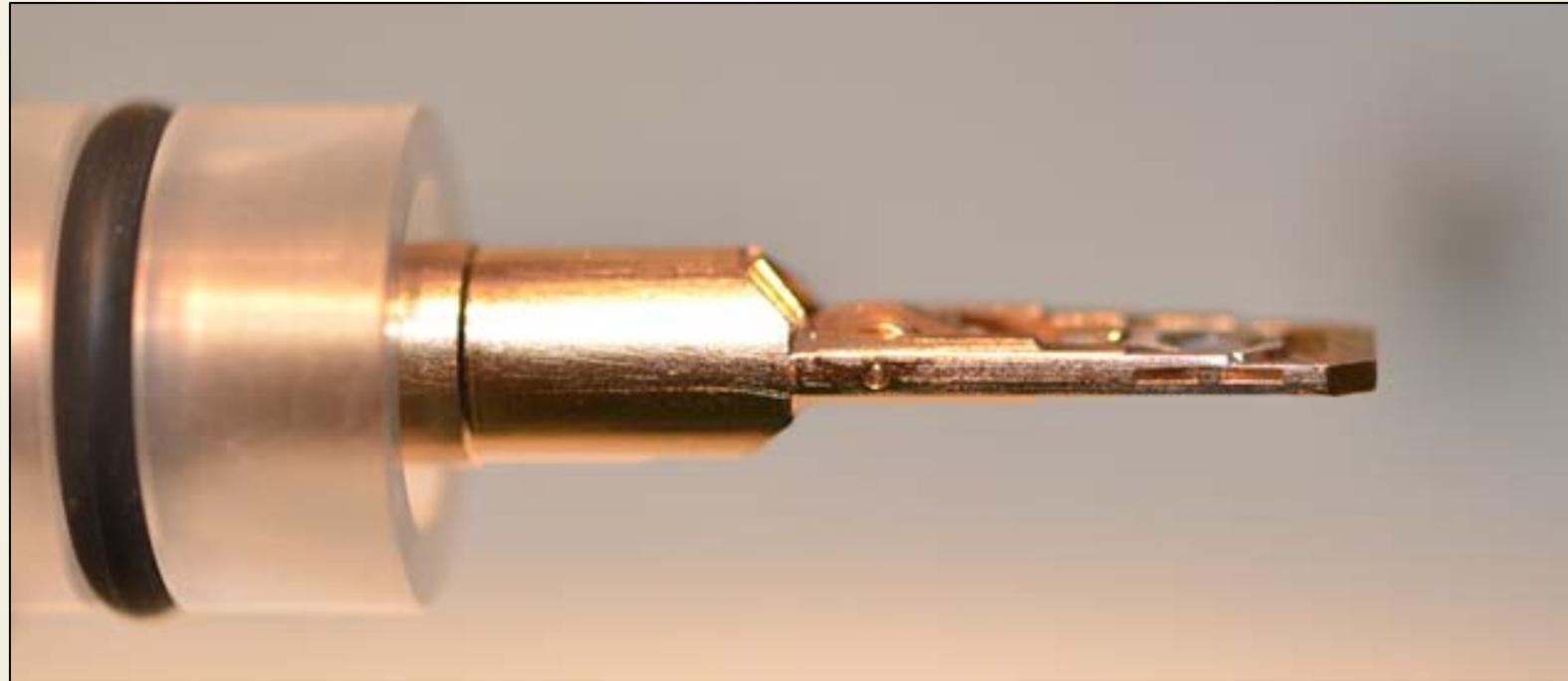


Das Abschattungsproblem

Di. 4.11.2014

Das Abschattungsproblem

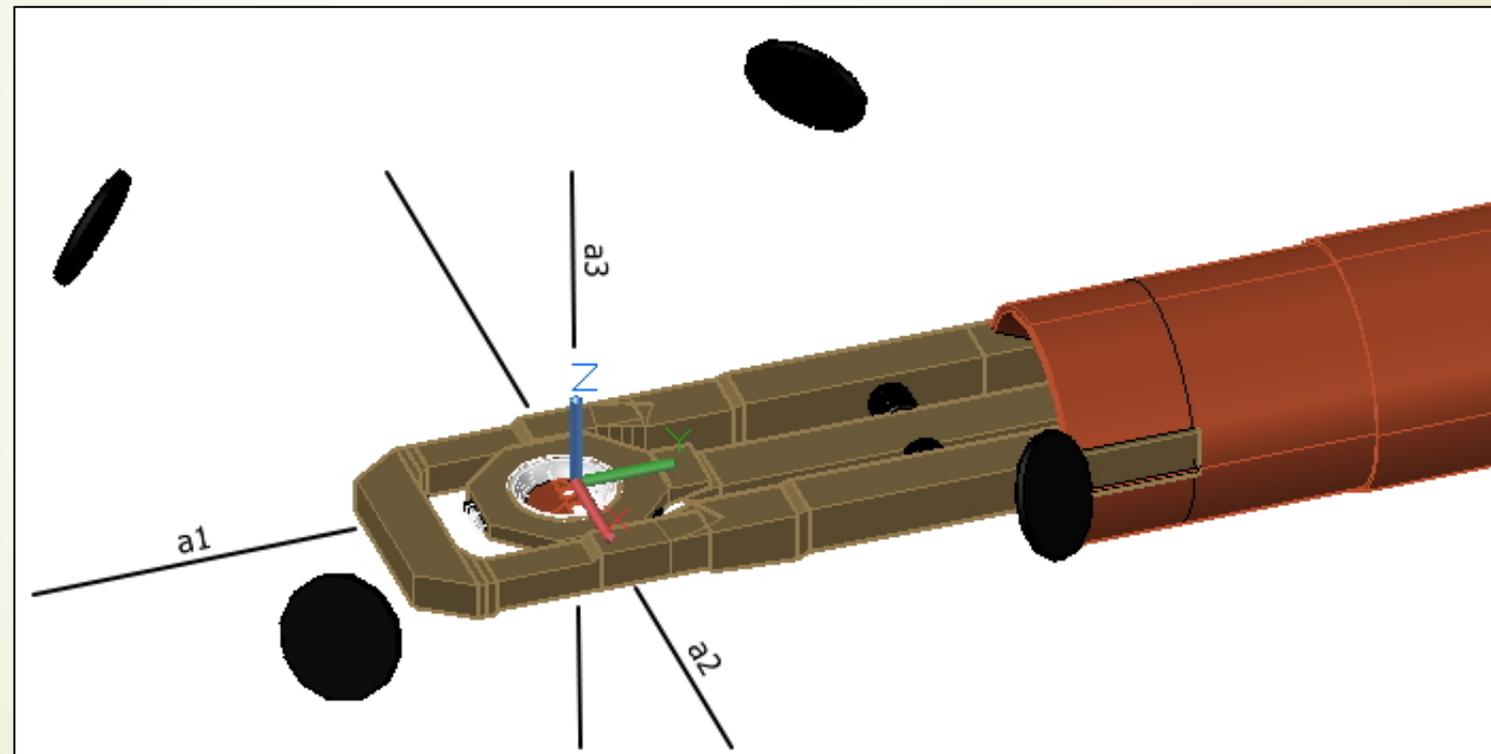
➤ Der Probenhalter



Von: DI Stefanie Fladischer

Das Abschattungsproblem

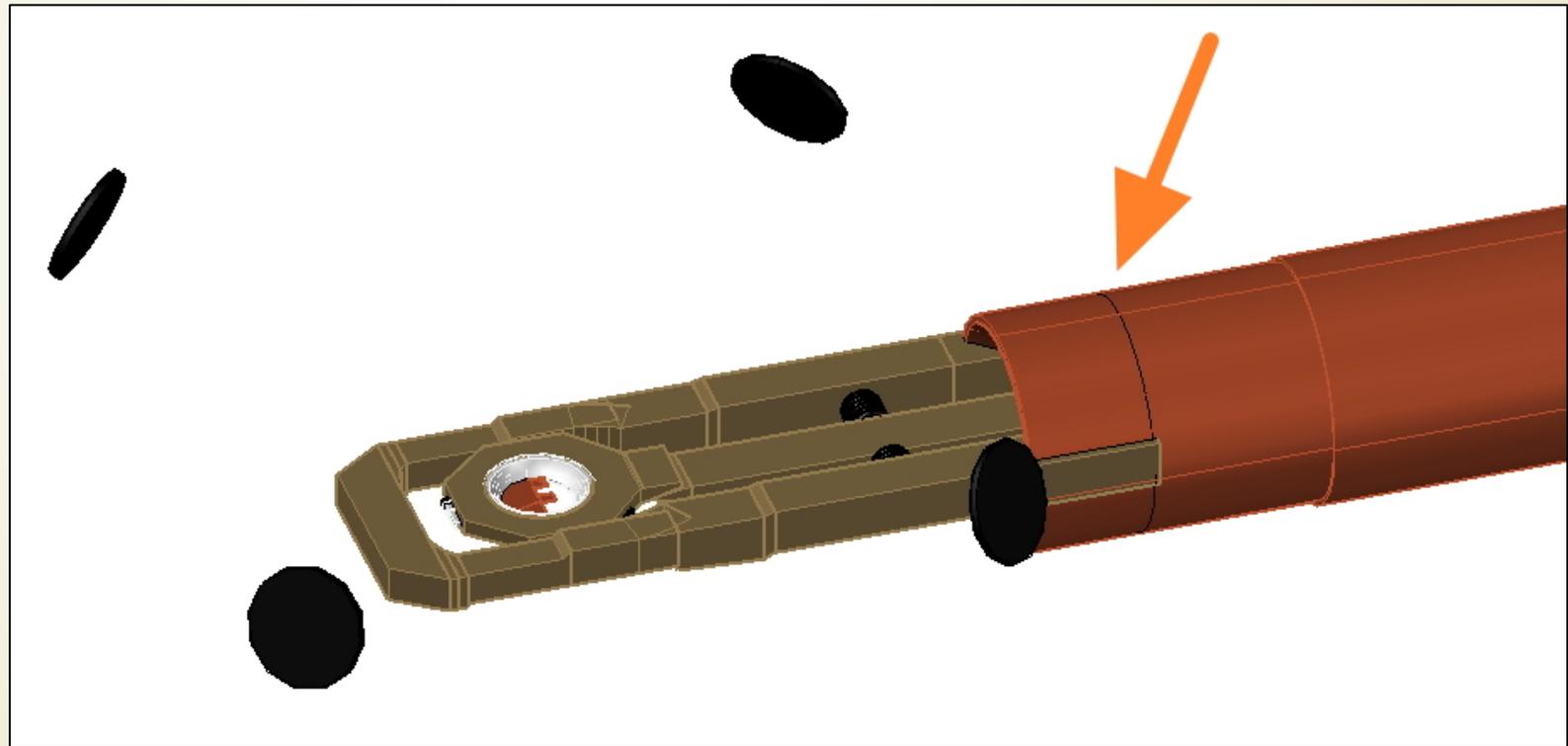
- Der Probenhalter und die Drehparameter



Im Folgenden: Eigene Darstellungen

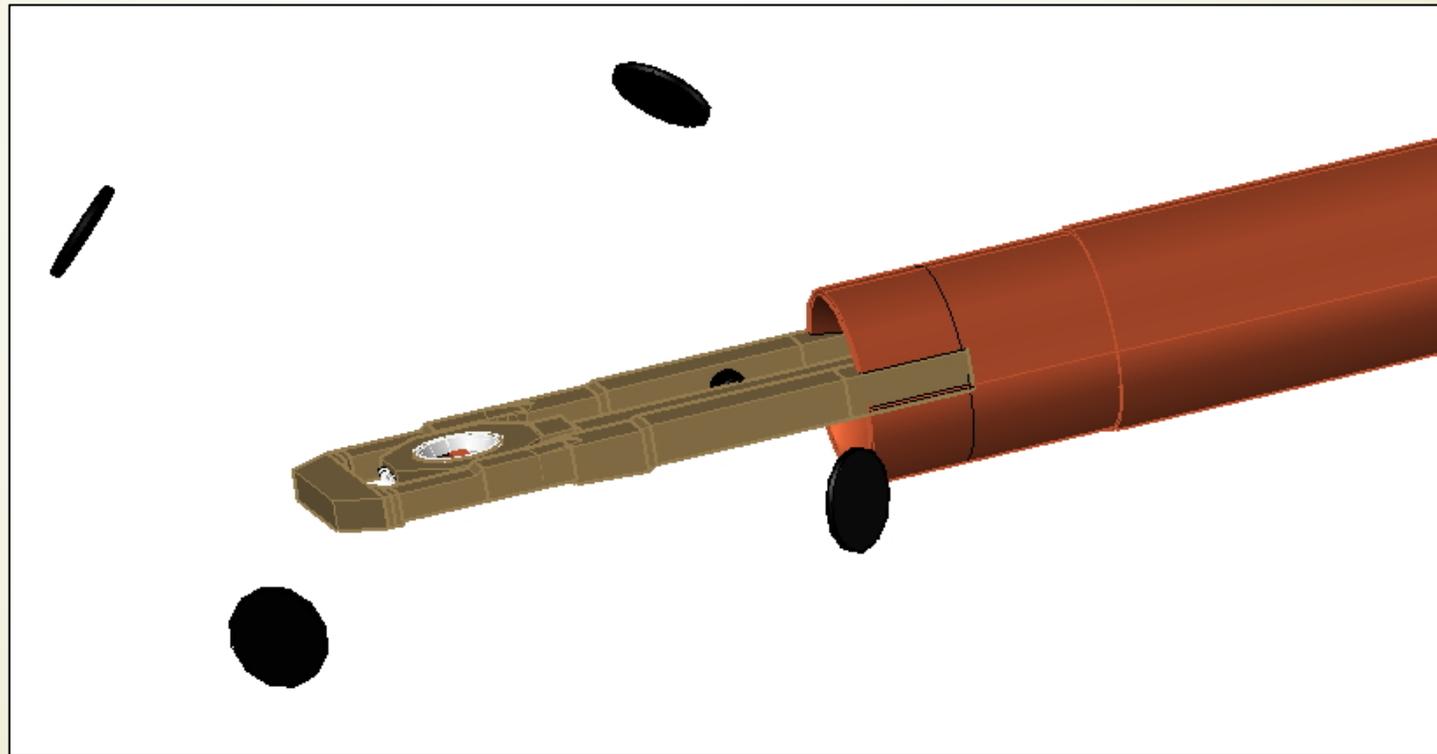
Die Drehparameter

- Drehung der äußeren Halterung um die Längsachse a_1



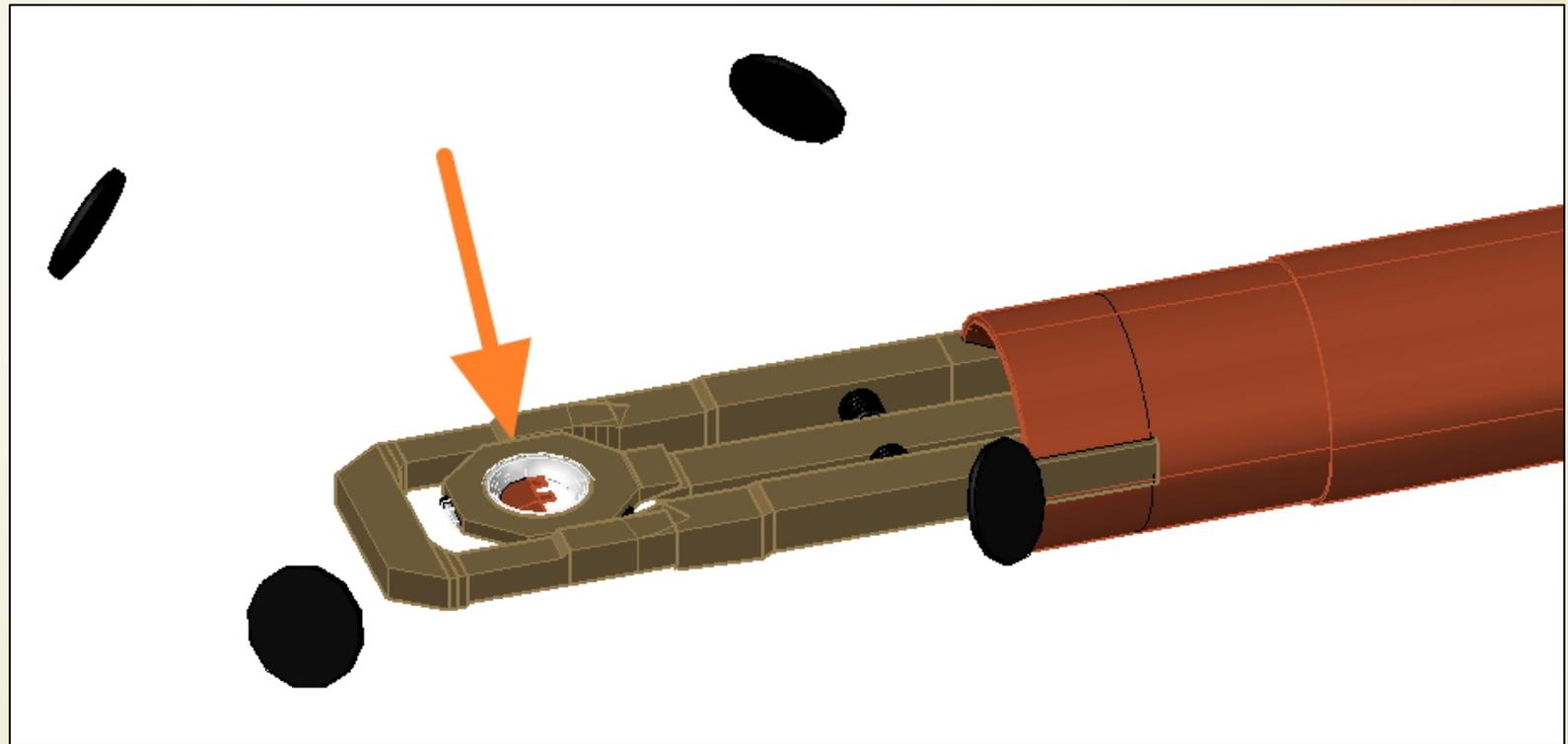
Die Drehparameter

- Drehung der äußeren Halterung um die Längsachse a_1



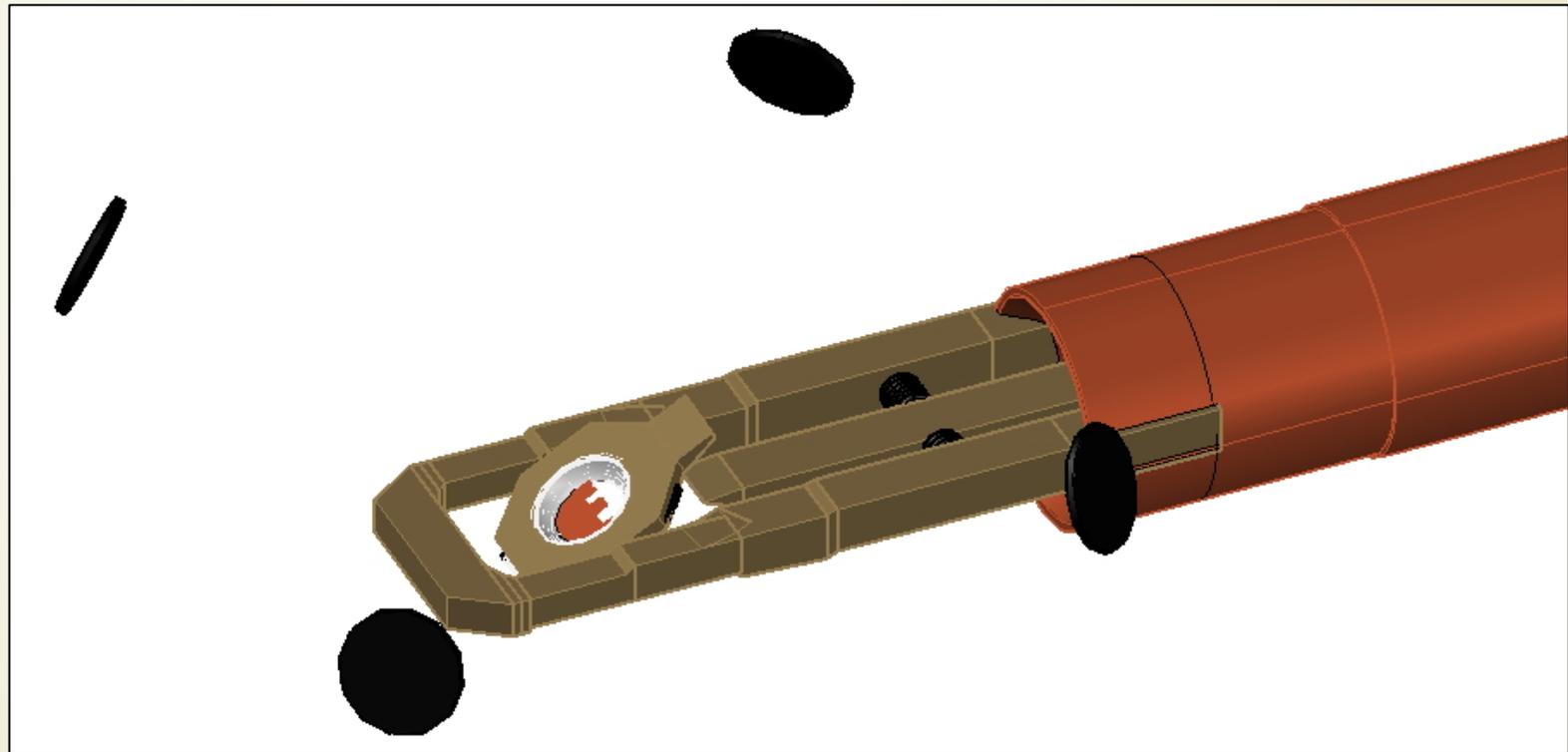
Die Drehparameter

- Drehung der inneren Halterung um die Drehachse \mathbf{a}_2



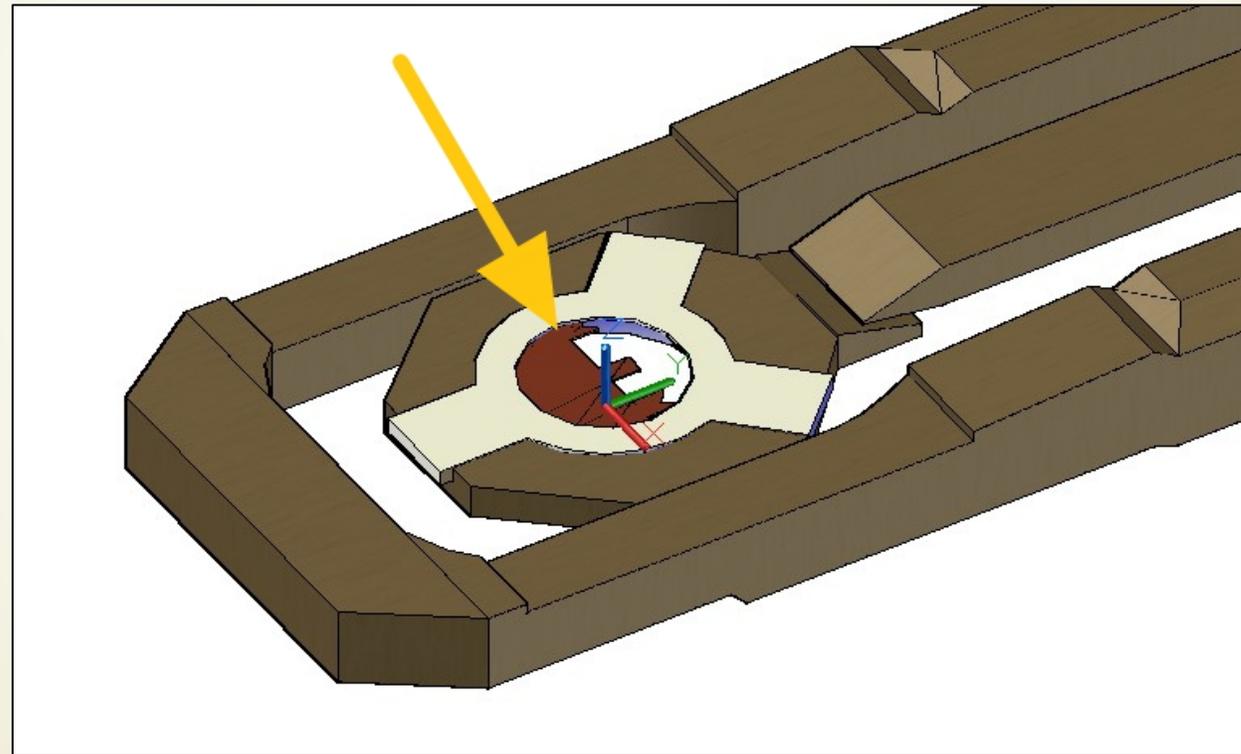
Die Drehparameter

- Drehung der inneren Halterung um die Drehachse \mathbf{a}_2



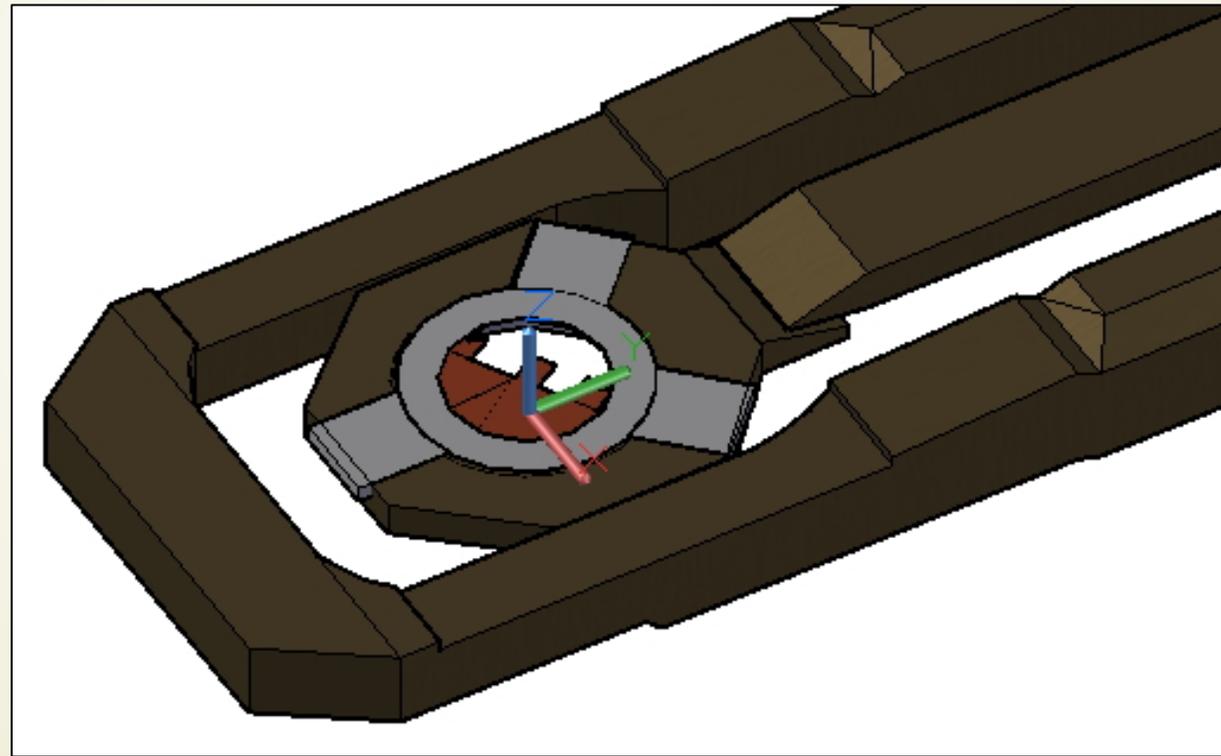
Die Drehparameter

- Drehung des *Netzchens* (*Grids*) um die Drehachse \mathbf{a}_3



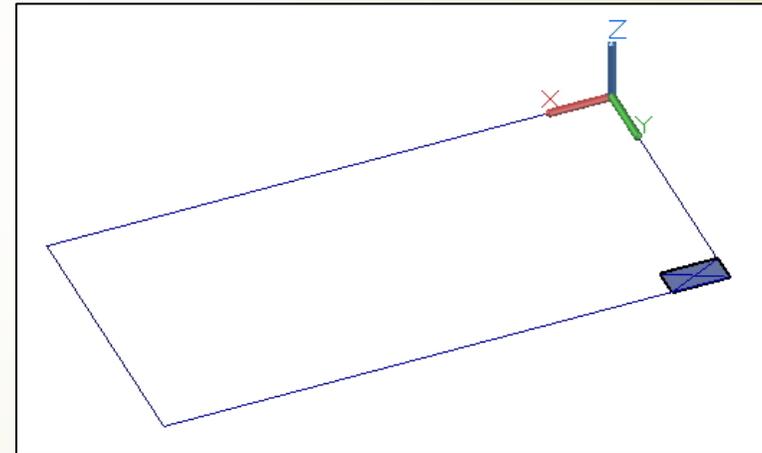
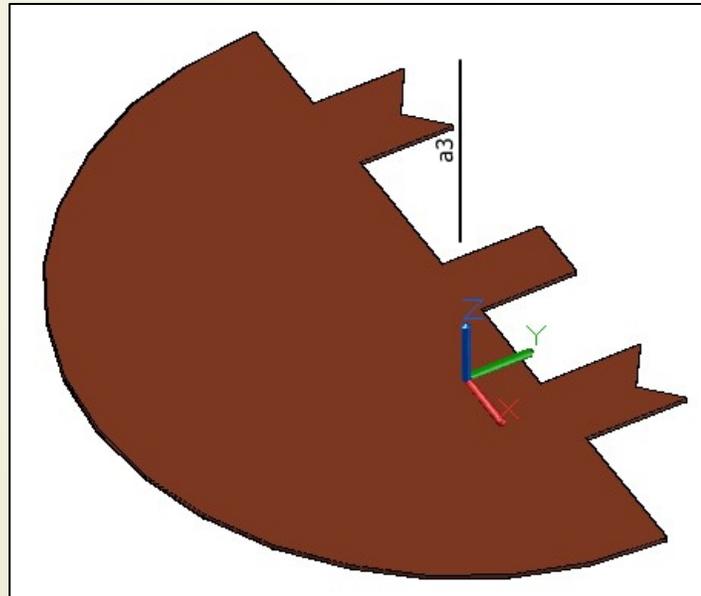
Die Drehparameter

- Drehung des *Netzchens* (*Grids*) um die Drehachse \mathbf{a}_3



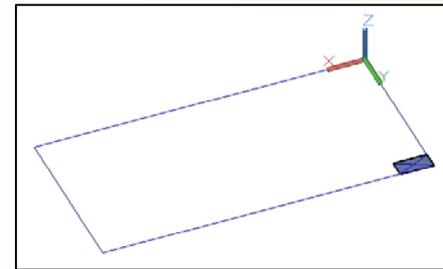
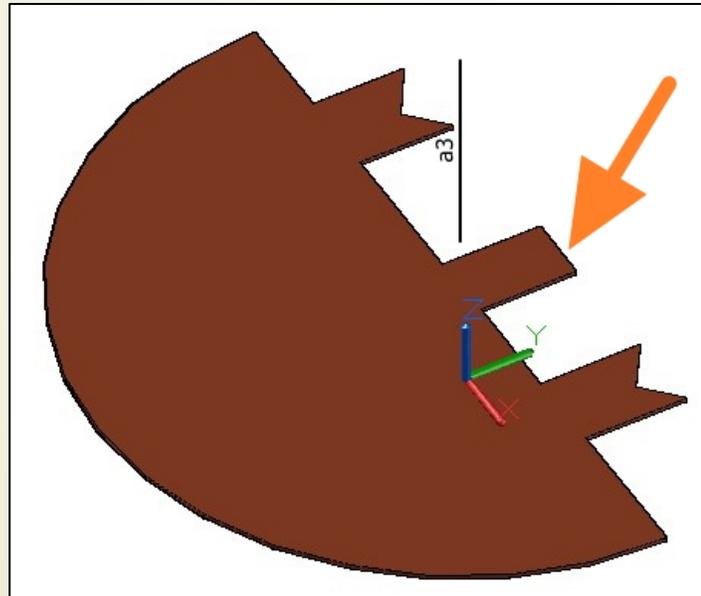
Die Positionsparameter

- An dem *Netzchen* (*Grid*) wird eine Lamelle mit der Probe angebracht



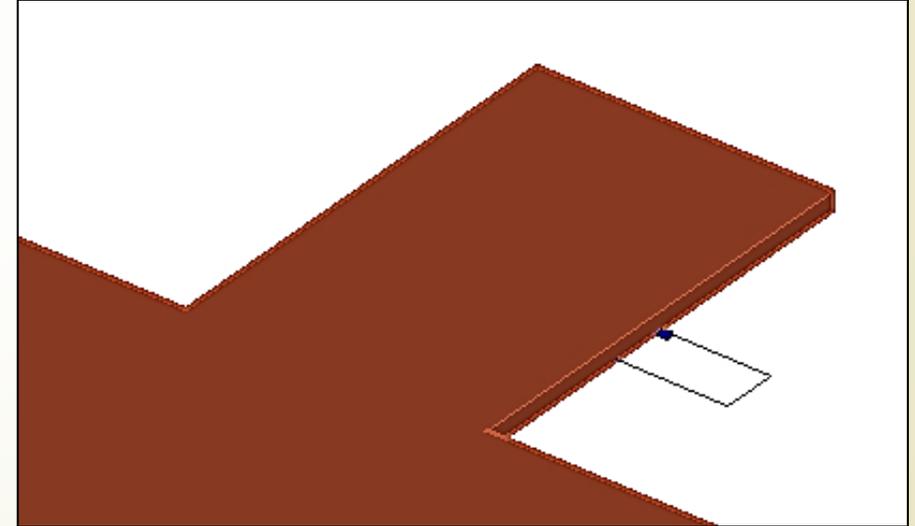
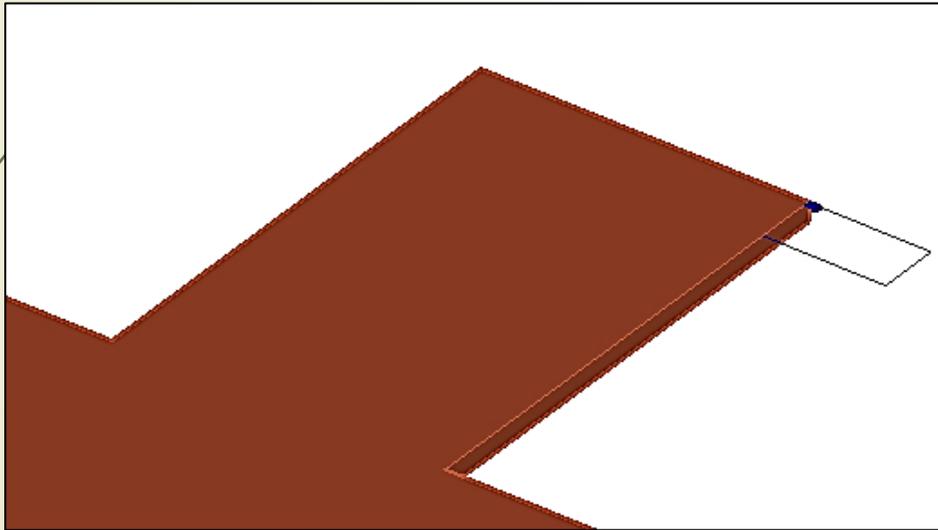
Die Positionsparameter

- An dem *Netzchen* (*Grid*) wird eine Lamelle mit der Probe angebracht



Die Positionsparameter

- An dem *Netzchen* (*Grid*) wird eine Lamelle mit der Probe angebracht



Mögliche Positionen der Lamelle am mittleren *Zäpfchen* des *Grids*



Das Abschattungsproblem in Parametern

- ▶ Bei welcher **Position** (x, y, z) der Lamelle am Netzchen und bei welcher Einstellung der **Drehwinkel** (α, β, γ) kann eine optimale Belichtung der Probe erzeugt werden?



Der geometrische Lösungsansatz

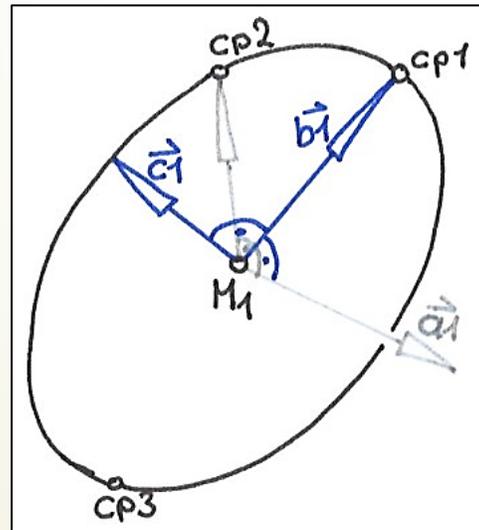
Di. 4.11.2014

Der geometrische Lösungsansatz

- ▶ Erstellen einer Simulation durch ein **AutoLISP-Programm in AutoCAD**
 - ▶ Kalibrierung der Situation
 - ▶ Positionierung der Halterung
 - ▶ Rasterung der Detektorkreise
 - ▶ Abtastung mit Drehkegeln
 - ▶ Prozentuelle Abschattung
 - ▶ Interpolationsflächen der Belichtung zur Visualisierung

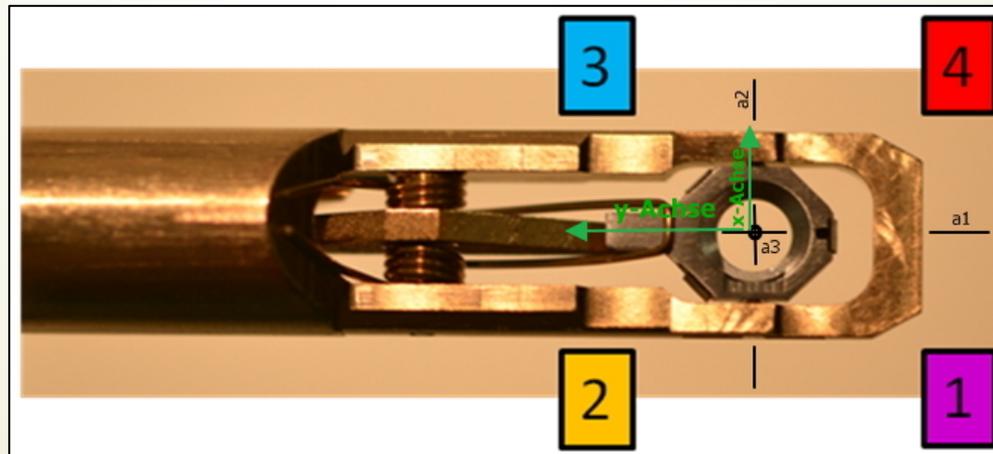
Kalibrierung der Situation

- Vermessen des AutoCAD-Modelles:
 - Bestimmung der Detektorkreise:
 - Radius, Mittelpunkte, orthogonale Richtungsvektoren



Kalibrierung der Situation

- Vermessen des AutoCAD-Modelles:
 - Bestimmung der Detektorkreise:
 - Radius, Mittelpunkte, orthogonale Richtungsvektoren
 - Nummerierung der Detektorkreise



Kalibrierung der Situation

- ▶ Vermessen des AutoCAD-Modelles:
 - ▶ Bestimmung der Detektorkreise:
 - ▶ Radius, Mittelpunkte, orthogonale Richtungsvektoren
 - ▶ Nummerierung der Detektorkreise
 - ▶ Bestimmung der Drehachsen:
 - ▶ Punkt, orientierter Richtungsvektor

Positionierung der Halterung

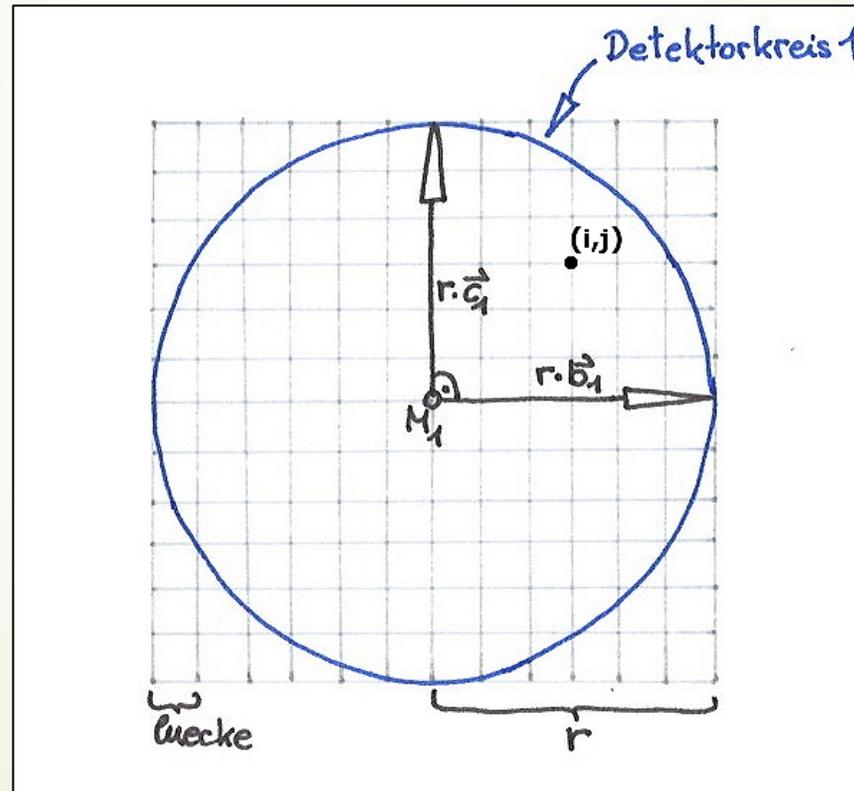
- Drehwinkel (α, β, γ) eingeben
- *Grid* drehen um Winkel γ
- Position der Lamelle am *Grid* durch Punktfang wählen
- Verbinden des Innenteil mit dem Grid
- Innenteil samt Grid drehen um Winkel β

Positionierung der Halterung

- Verbinden des Innenteils samt Grid mit dem Außenteil
- Außenteil samt Innerem drehen um Winkel α
- Gesamten Probenhalter um 180° um Drehachse \mathbf{a}_1 drehen und
- Verschieben in den Punkt des fokussierten Elektronenstrahls

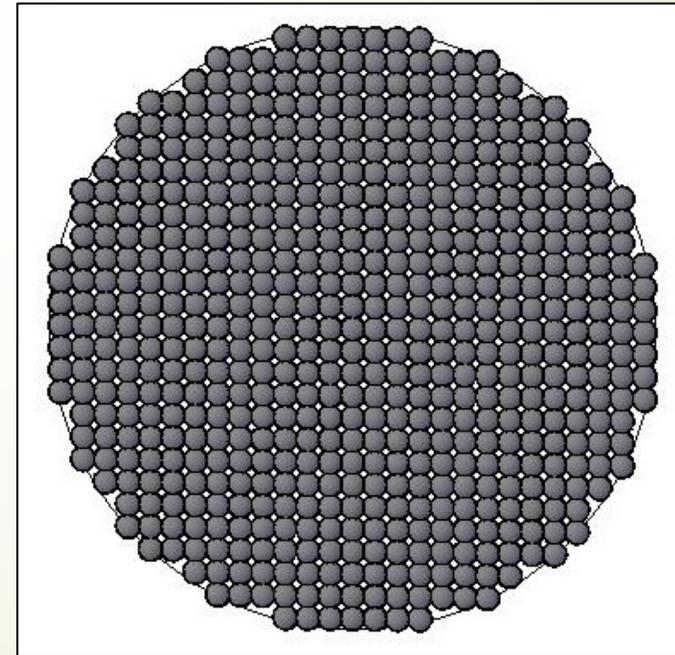
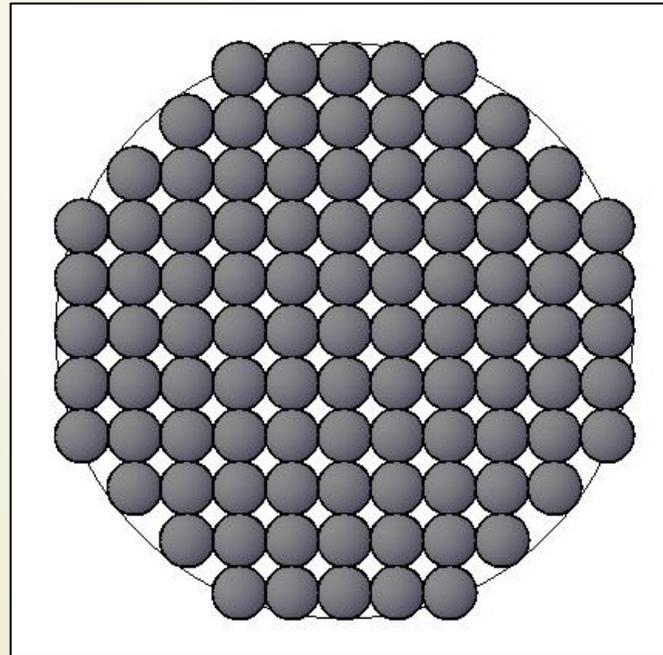
Rasterung der Detektorkreise

- Ein Raster mit n Unterteilungen wird über jeden Kreis gelegt



Rasterung der Detektorkreise

- ▶ Ein Raster mit n Unterteilungen wird über jeden Kreis gelegt.
- ▶ Beispiel für das Punktegitter für $n=11$ und $n=27$:



Auswertung und Ergebnisse

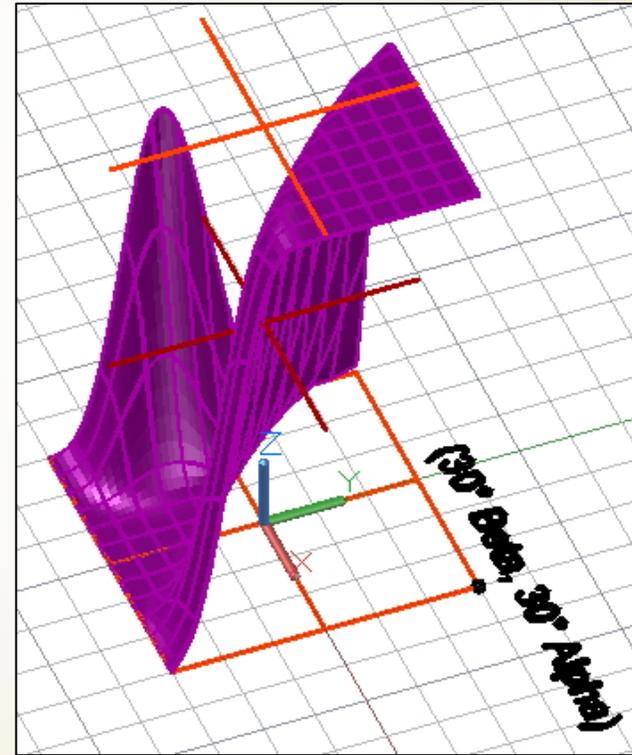
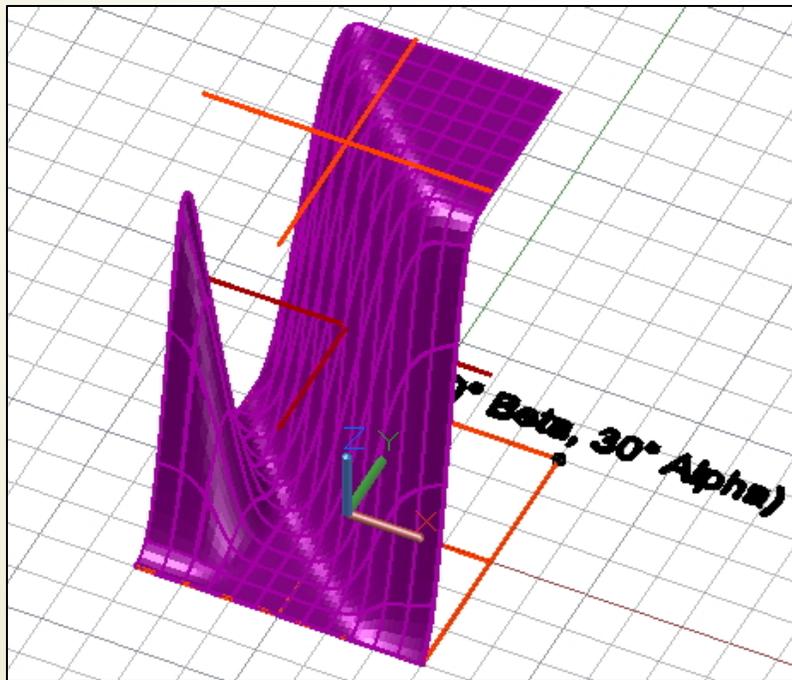
- Geeignet dünne Drehkegel als Sehstrahlen
- ‚Durchschnitt‘ Sehstrahl - Probenhalter
- Ist der Schnitt nicht leer, so wird eine Abschattung vermerkt.
- Anzahl aller vermerkten Abschattungen in Prozent

Auswertung und Ergebnisse

- Simulation mit **n=11** Gitterunterteilungen und **festen** Positionen der Detektorkreise und der Lamelle am Netzchen
- Interpolationsflächen mit Daten der prozentuellen Belichtung

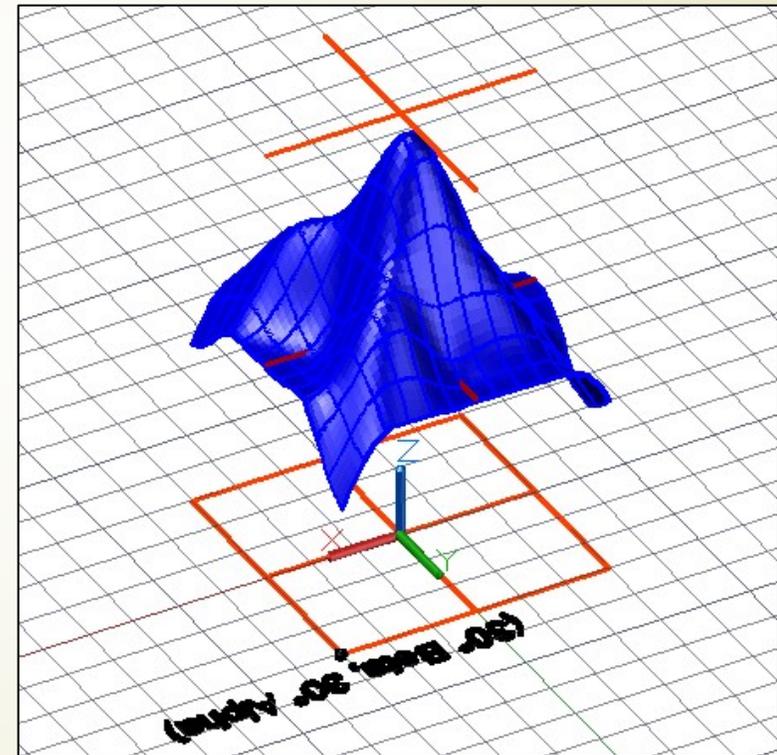
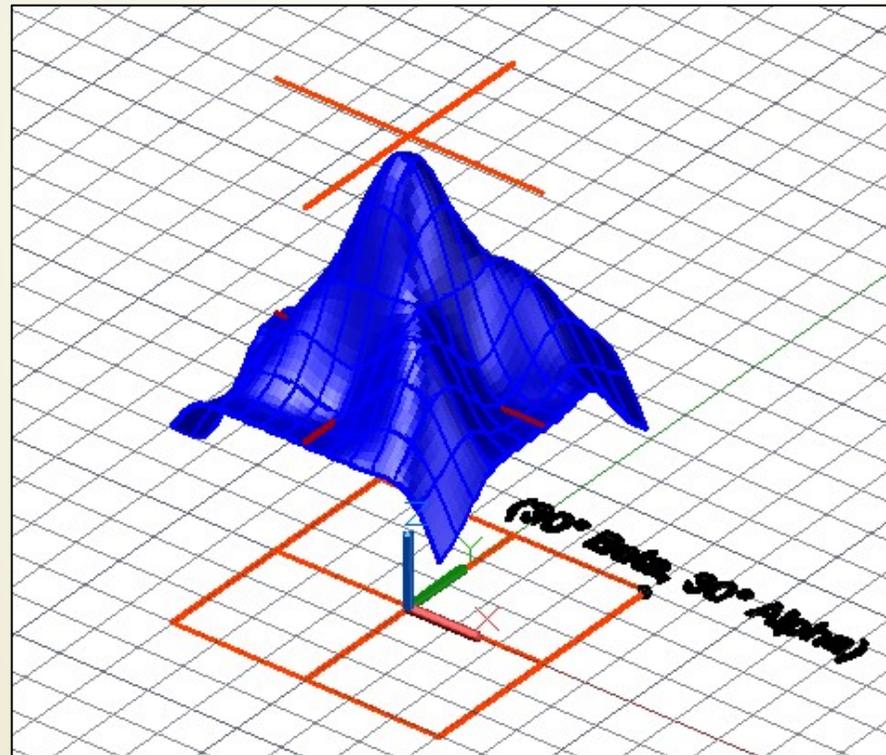
Auswertung und Ergebnisse

- Interpolationsflächen mit Daten der prozentuellen Belichtung von Detektorkreis 1:



Auswertung und Ergebnisse

- Interpolationsflächen mit Daten der durchschnittlichen prozentuellen Belichtung für alle vier Detektorkreise:

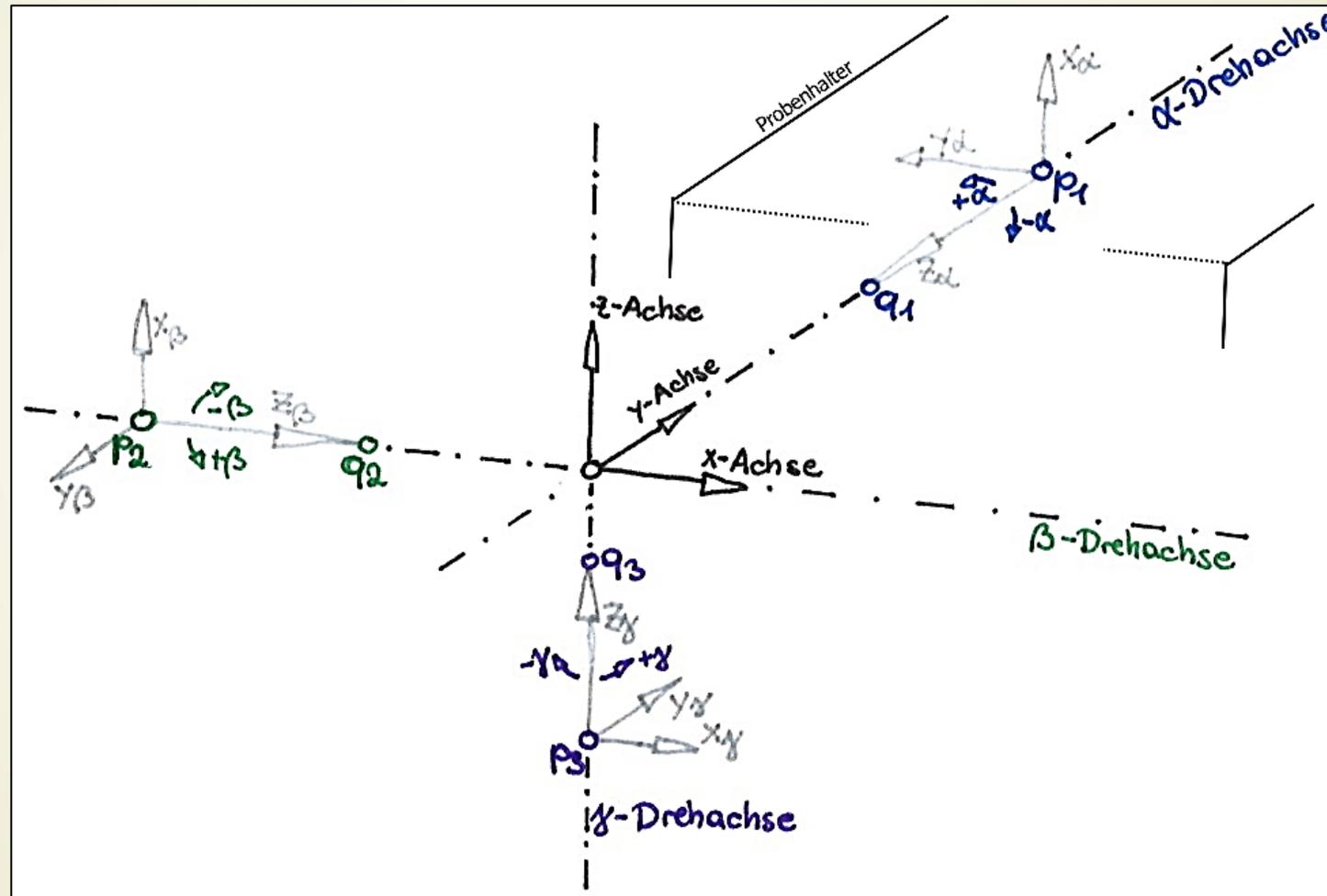




**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**

Di. 4.11.2014

Ergänzung: Bestimmung der Drehachsen





Ergänzung:

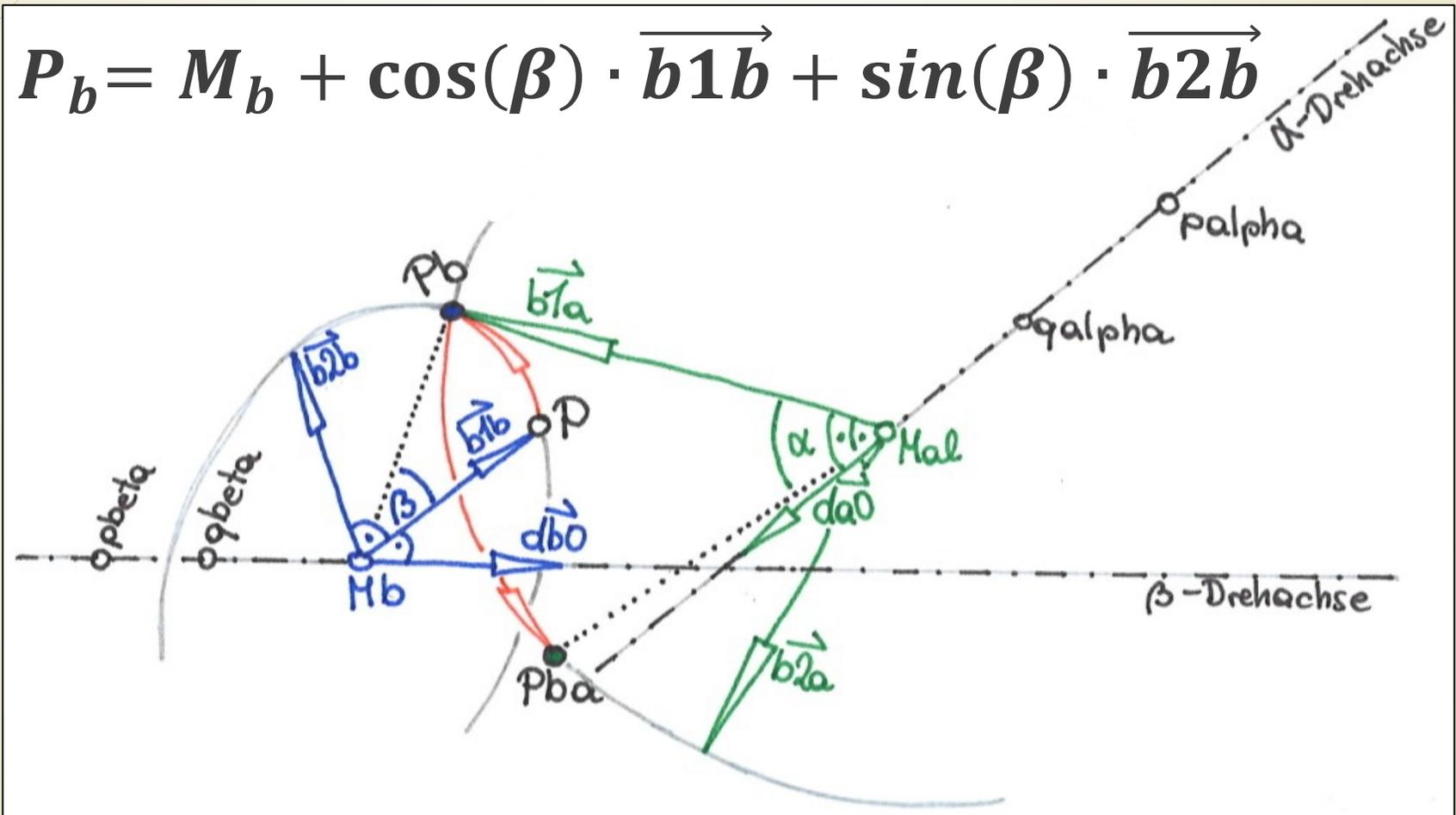
Positionierung der Halterung

- Drehung der Koordinaten der Strahlungsquelle

Ergänzung:

Drehung der Koordinaten der Strahlungsquelle

$$P_b = M_b + \cos(\beta) \cdot \overrightarrow{b1b} + \sin(\beta) \cdot \overrightarrow{b2b}$$





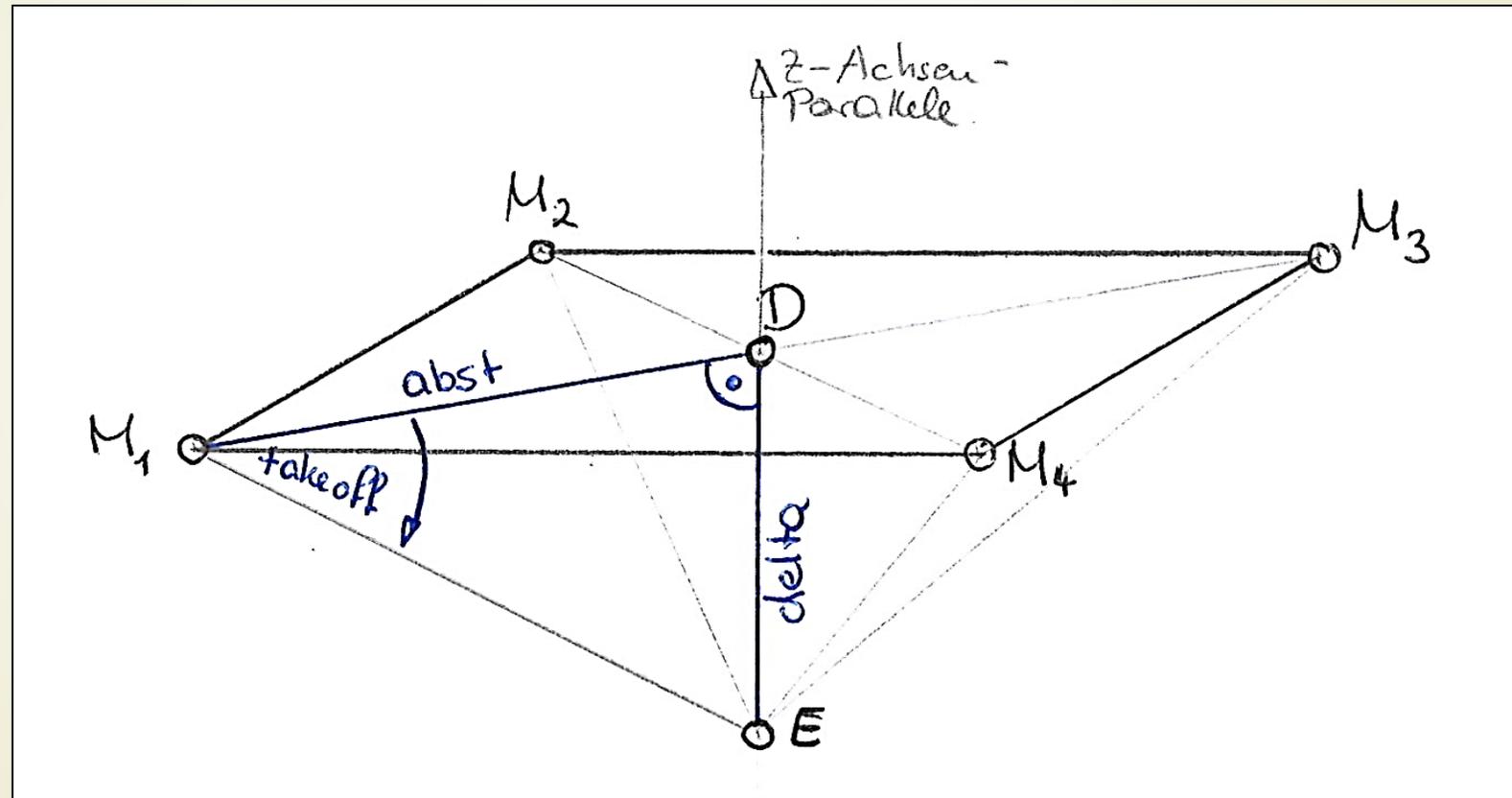
Ergänzung:

Positionierung der Halterung

- Verschieben der Halterung und der Strahlungsquelle in den **Punkt E** des fokussierten Elektronenstrahls
- abhängig vom Neigungswinkel ,*takeoff*' der Detektorkreise

Ergänzung:

Verschieben in den Punkt des fokussierten Elektronenstrahls



Ergänzung:

Rasterung der Detektorkreise

- Ein Raster mit **n** Unterteilungen wird über jeden Kreis gelegt.
- Abfrage, ob die Punkte im Kreis oder auf der Kreislinie liegen:

$$\begin{aligned} & (luecke^2 \cdot i^2 + luecke^2 \cdot j^2) - r^2 \\ & = luecke^2 \cdot (i^2 + j^2) - r^2 \leq 0 \end{aligned}$$



Ergänzung:

Auswertung und Ergebnisse

- Drehung der Probenhalterung um den Winkel α und β in Programmschleifen
- Winkel γ wird fest eingestellt
- Auswertung jedes Detektorkreises mittels Programmschleife
- Programmschleife für Rasterung der Detektorkreise