

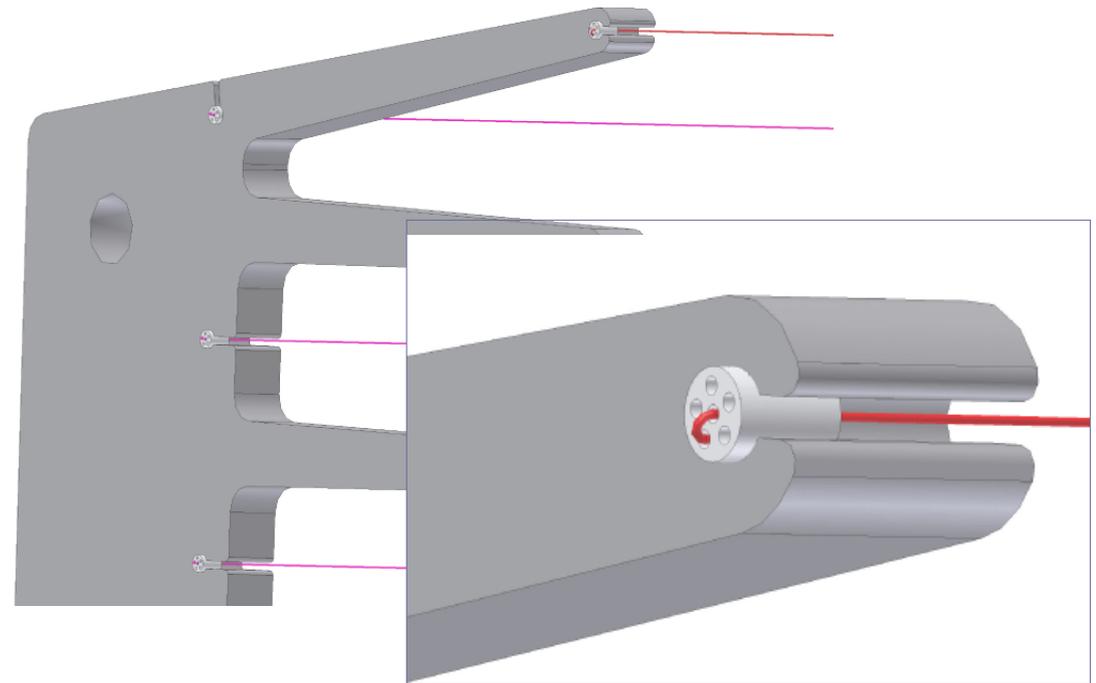
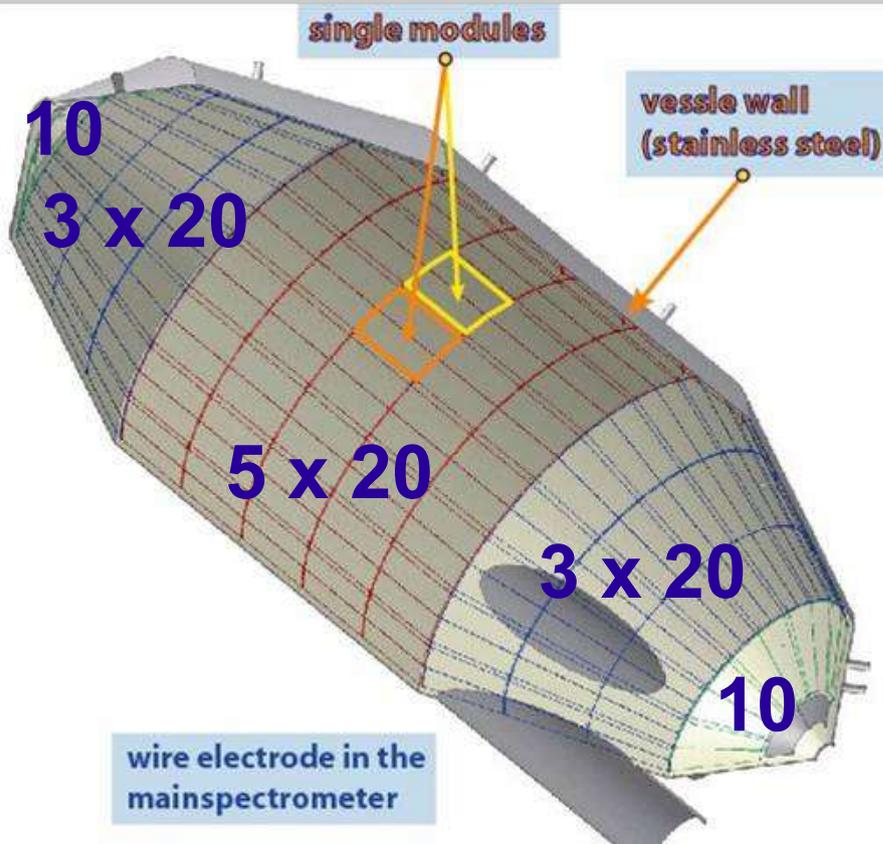
# *Automatisierte Qualitätskontrolle und Produktion der Drahtelektrode des KATRIN-Experimentes*

- **Eine Messmaschine für die Module der Drahtelektrode**
- **Bilderkennung mit LabVIEW**
- **Ein Lasersensor für Drahtspannung & Drahtposition**
- **Weitere Hardwareaktivitäten**
- **Zusammenfassung & Ausblick**

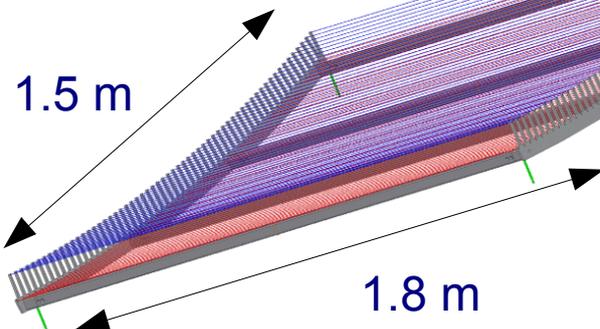
## **Astroteilchenschule Obertrubach-Bärnfels Oktober 2006**

**Matthias Prall**, Roland Berendes, Alexander Gebel, Volker Hannen,  
Karen Hugenberg, Raphael Jöhren, Hans-Werner Ortjohann,  
Martina Reinhardt, Kim Temming, Nikita Titov, Kathrin Valerius,  
Sebastian Vöcking, Christian Weinheimer

# Die Drahtelektrode im Hauptspektrometer



120 Drähte in zwei Lagen



- 240 Module
- 28.800 Drähte (42,8 km)
- **Nötige Genauigkeit: O(0.1 mm)**

**Halbautomatische Produktion &  
Qualitätskontrolle**

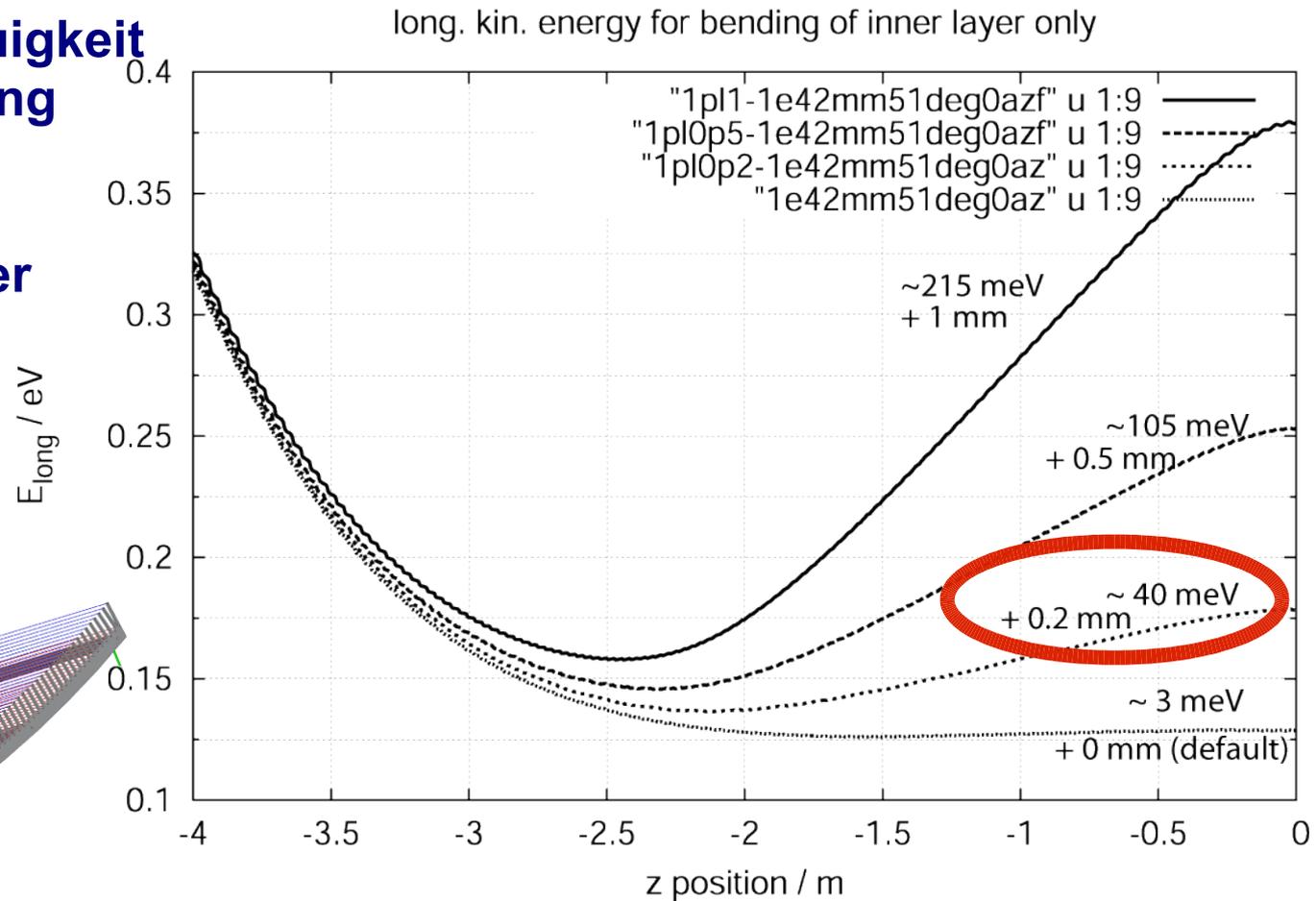
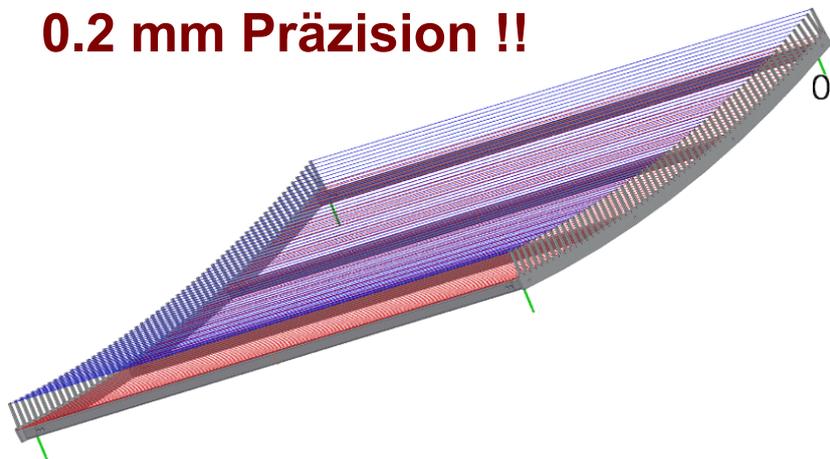
# Auswirkung einer ungenau gefertigten Elektrode

- Wir dürfen uns einen Unterschwinger von  $\sim 40$  meV der Longitudinalenergie erlauben, um unsere Sensitivität einzuhalten

- Dies ist etwa die Ungenauigkeit der Retardierungsspannung (ppm-Bereich !!)

- Dazu dürfen die Drähte der Elektrode nur um 0.2 mm durchhängen

- Herausforderung: **650 m<sup>2</sup> Elektrode mit 0.2 mm Präzision !!**



Simulationsdaten von Kathrin Valerius

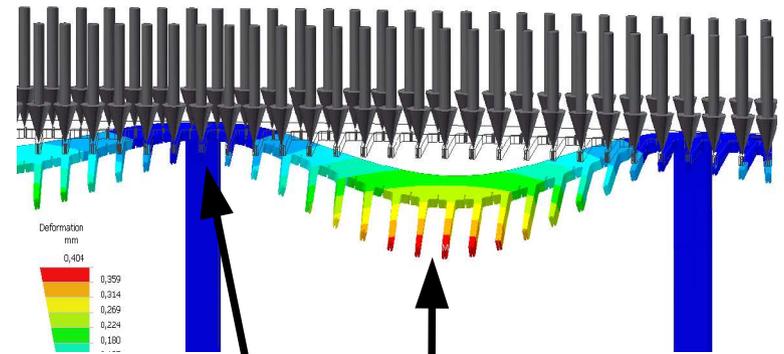
# Wo liegen die Probleme? Wozu die Qualitätskontrolle?

Rahmen ungenau gefertigt



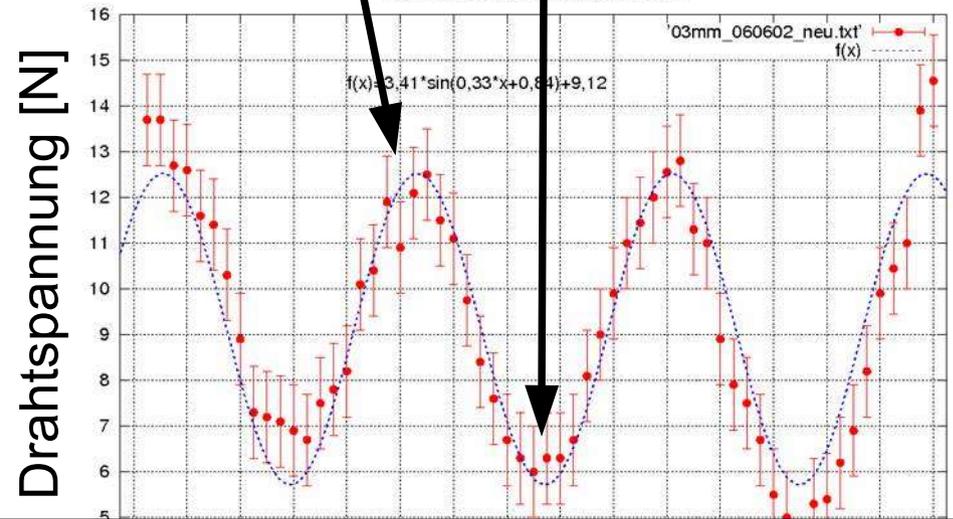
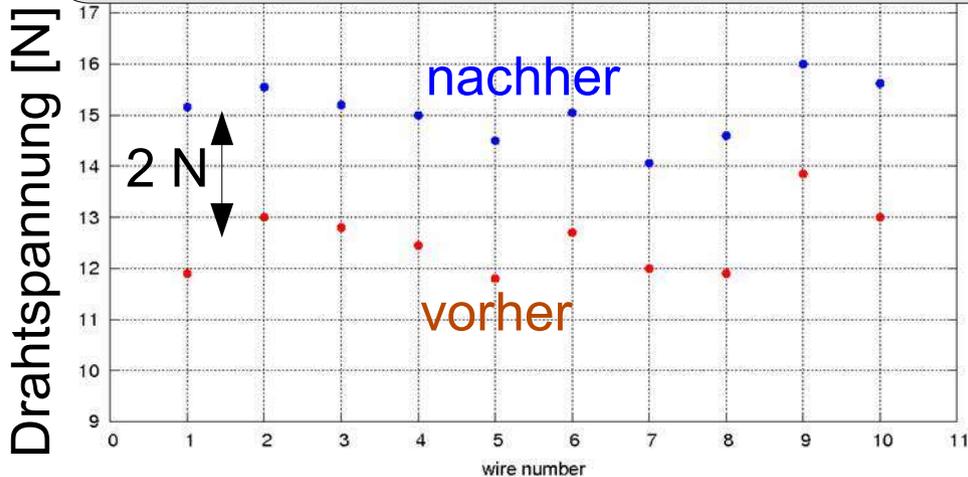
wire tension 0.3mm

Rahmen verzieht sich durch die  
Spannung der Drähte



wire tension of the first layer (0,3mm)

Drahtspannung erhöht (!!)  
sich nach dem Ausheizen der Module



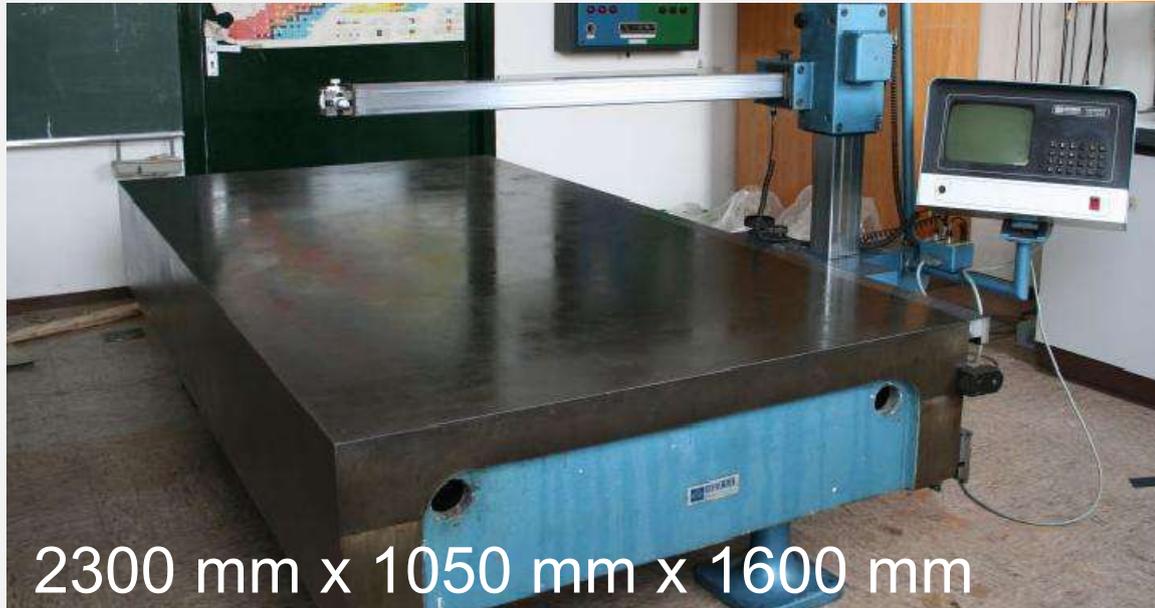
Rahmen biegt sich, Drähte hängen durch

# Anforderungen an die Qualitätskontrolle

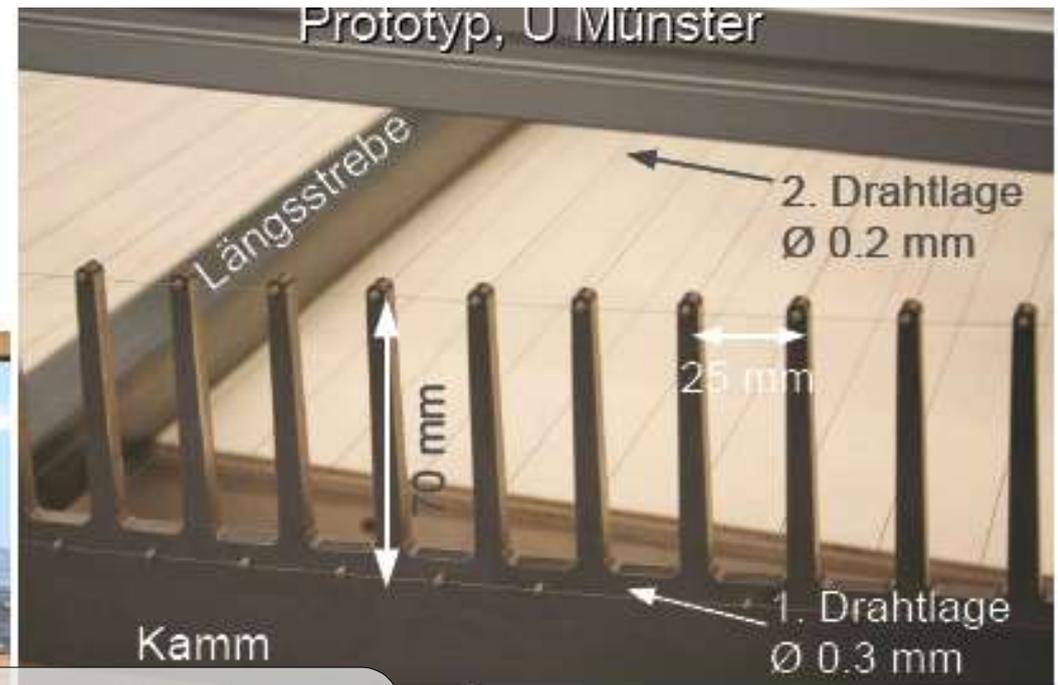
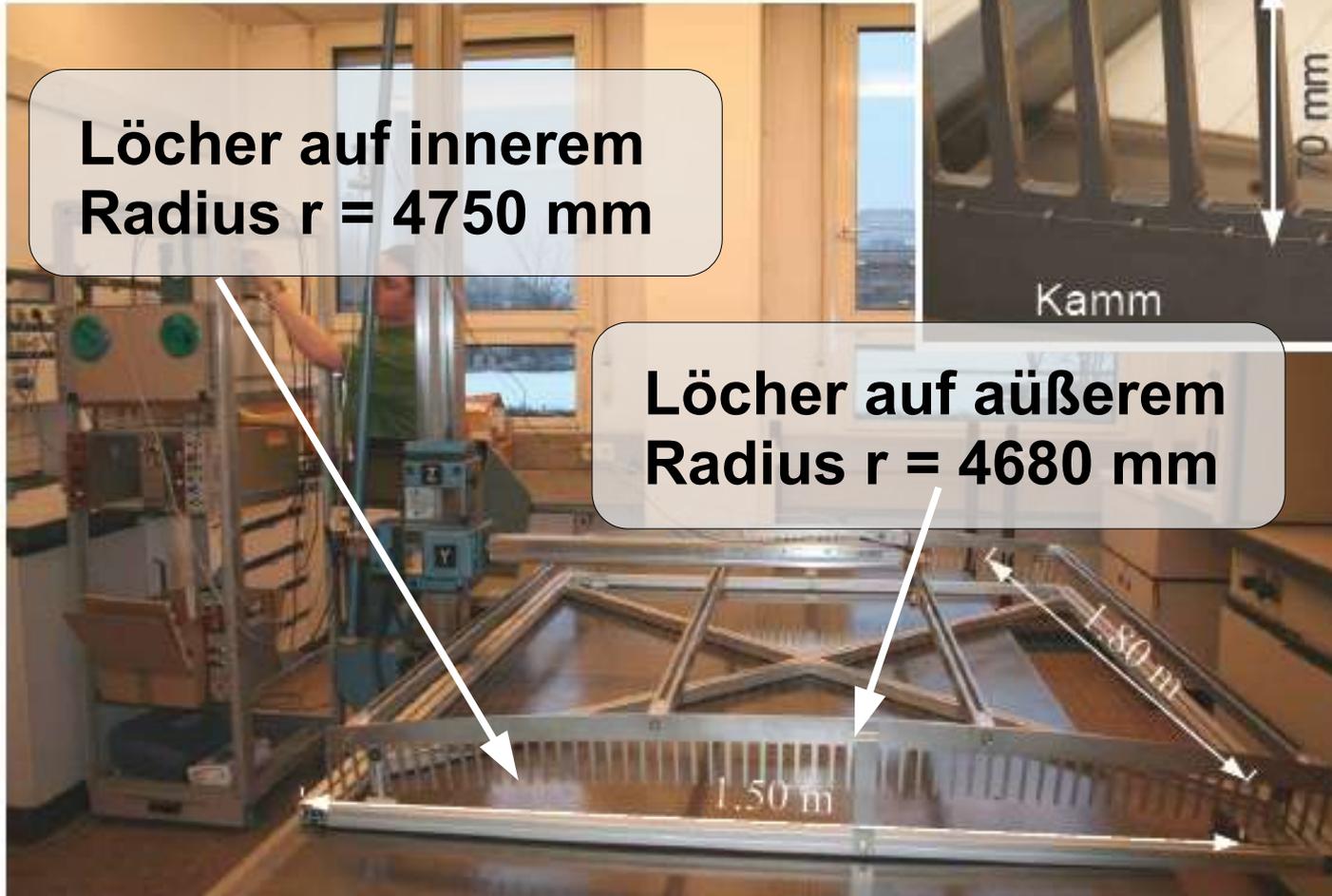
- **Position der Drähte / Genauigkeit  $O(0.1 \text{ mm})$**
- **Spannung der Drähte / Durchhang der Drähte**
- **Wir dürfen die Drähte nicht berühren**
- **Wir müssen die Form / Durchbiegung der Module kennen**
- **Handarbeit wäre zu aufwendig / zu unsicher**
- **Anpassbarkeit an neue Fragestellungen**

Daher haben wir eine relativ einfache aber  
genaue (0.01mm) Maschine gekauft  
die wir in eine **maßgeschneiderte Maschine** umbauen

**Ziel: Qualitätszertifikat für jedes Modul**



- Die mechanische Präzision der Module hat in der Größenordnung **O(0.1 mm)** zu sein (Simulationen von K.Valerius)
- Unsere Gruppe in Münster baut die Module
- Wir brauchen eine Methode die Qualität der Module zu testen
  - a) Durchhang der Drähte
  - b) Durchbiegung der Rahmen durch die Drahtspannung
  - c) Einfluss des Ausheizens



- Kamera: AVT Marlin, XGA, schw/weiß
- 8 Bit Auflösung
- 1032 x 778 Pixel (4.65  $\mu\text{m}$  x 4.65  $\mu\text{m}$ )
- **37 mm Macro-Objektiv**
- Selbstbau-Ringlicht, extrem leicht
- Blickfeld: ~ **3x4 mm**  
( **0,004 mm/px** )
- Kleinste Objektdistanz: ~60 mm
- Gewicht incl. Halter: **382 g**



- Kamera ermöglicht Kontrolle der Qualität & Position:  
Löcher, **Keramiken (klein!!)**, **Drähte**, etc ...
- Diese Schritte werden mit LabVIEW **automatisiert**
- Die Bilder der Kamera werden per Software in **Millimeter statt Pixel kalibriert**  
die Genauigkeit beträgt:  $\sigma = \mathbf{O(0.01\text{mm})}$
- **Verzeichnung des Objektivs wird per Software weggerechnet**

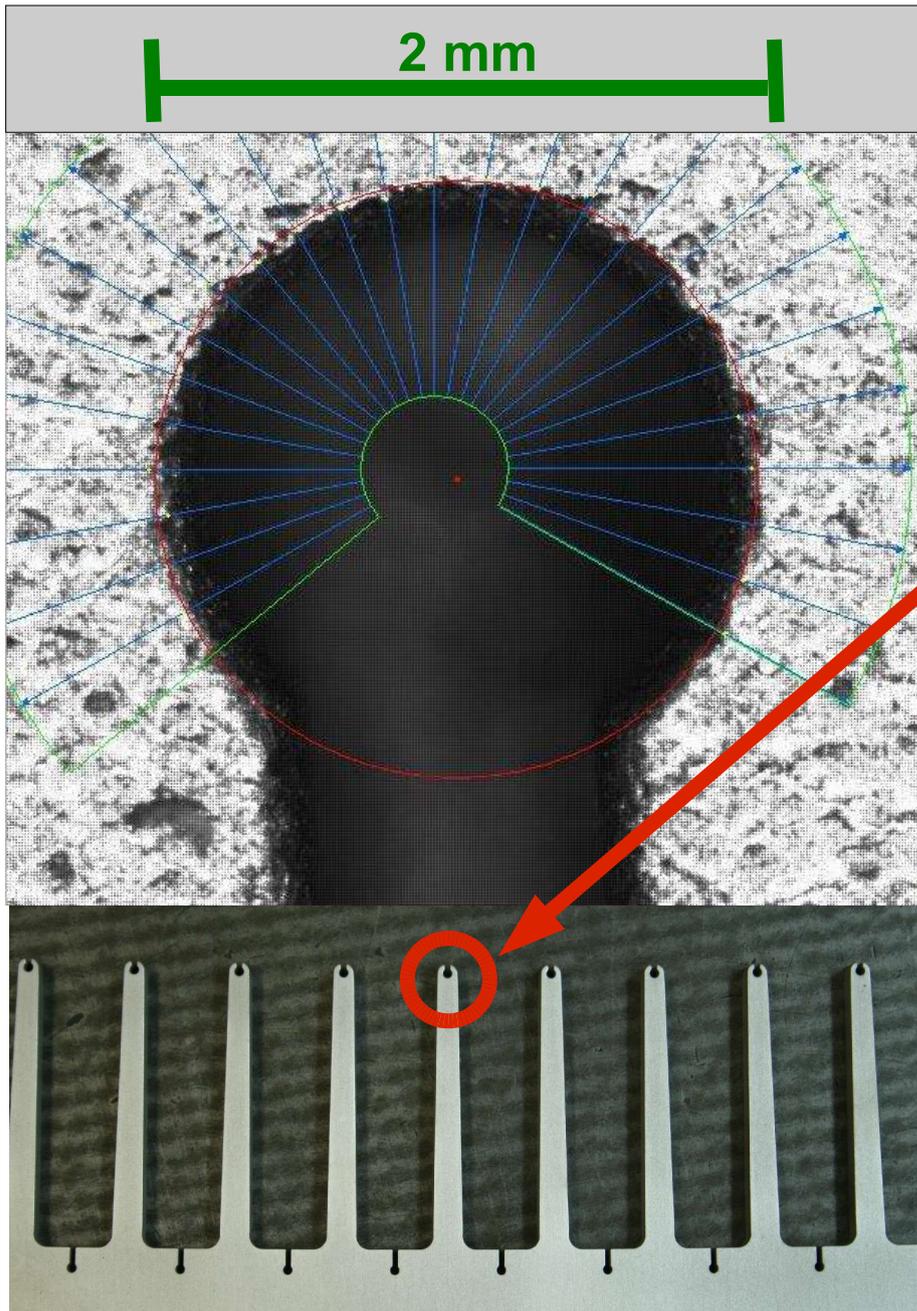


Bild eines Loches im Rahmen

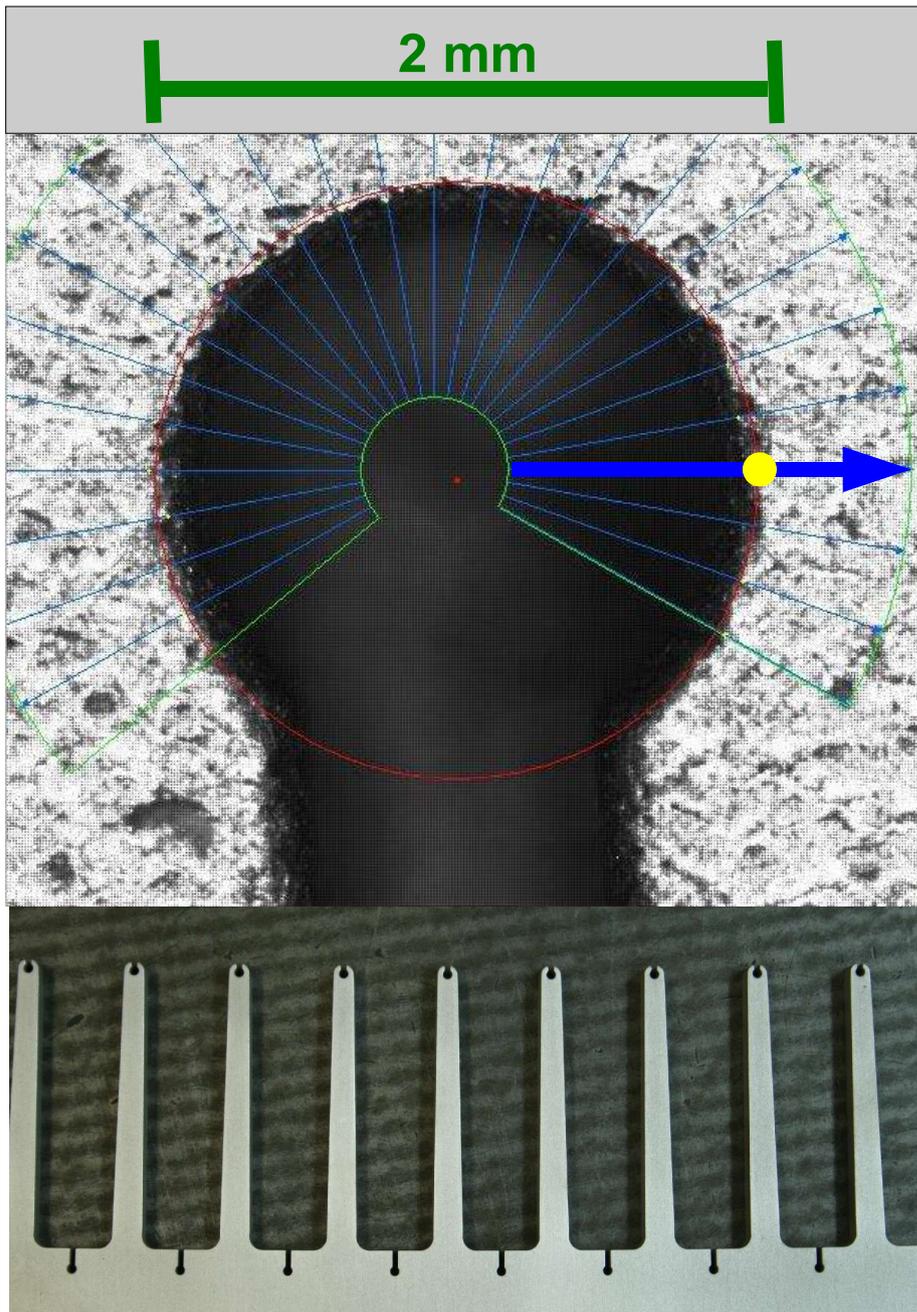
Frage:

Sind die Löcher in den Rahmen  
an der richtigen Stelle?

Sie sollten:

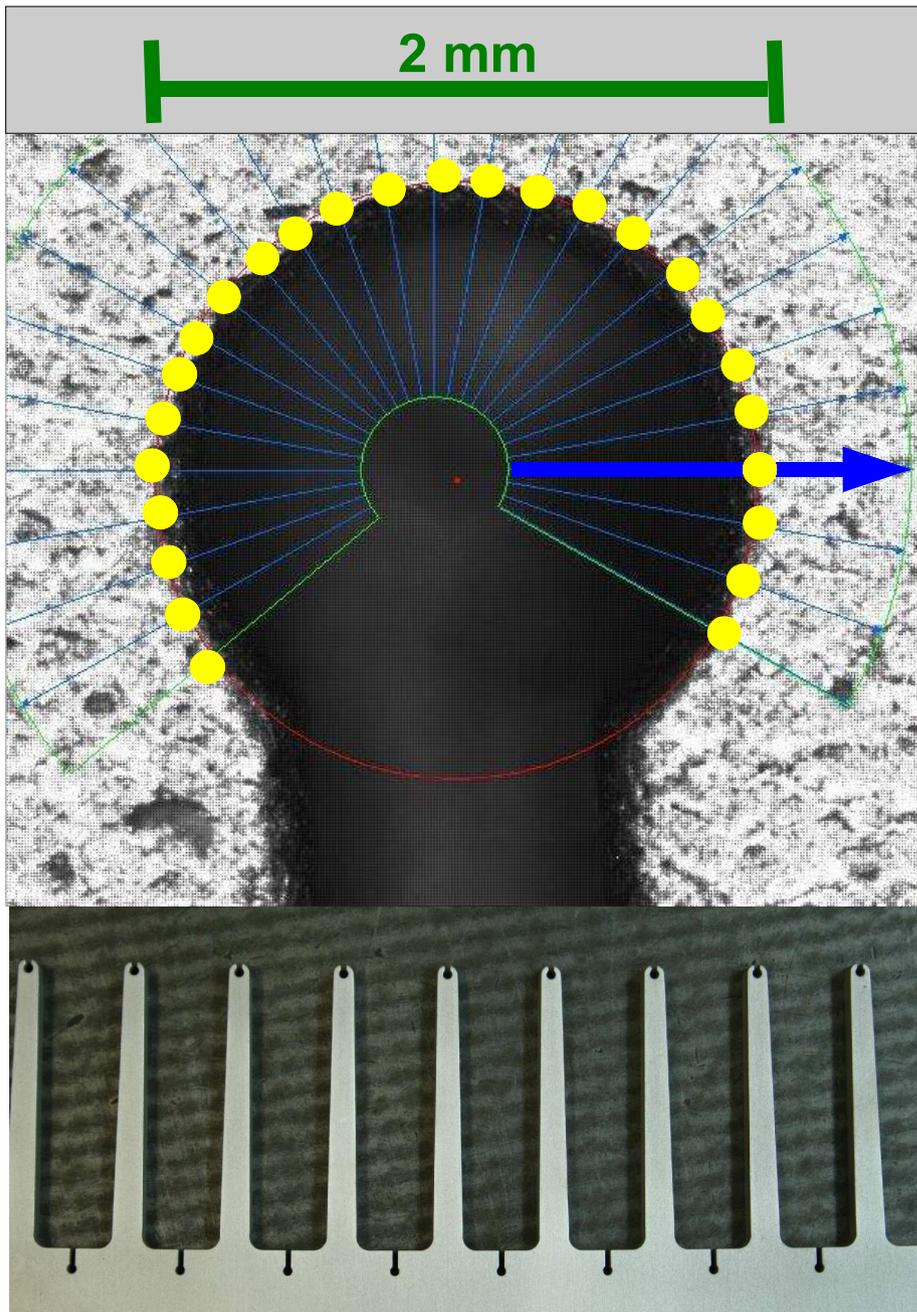
- Auf Kreisen mit 4750 mm  
bzw. 4680 mm Radius liegen
- Einen Abstand von  $0.3^\circ$  haben

# Bildererkennung mit LabVIEW

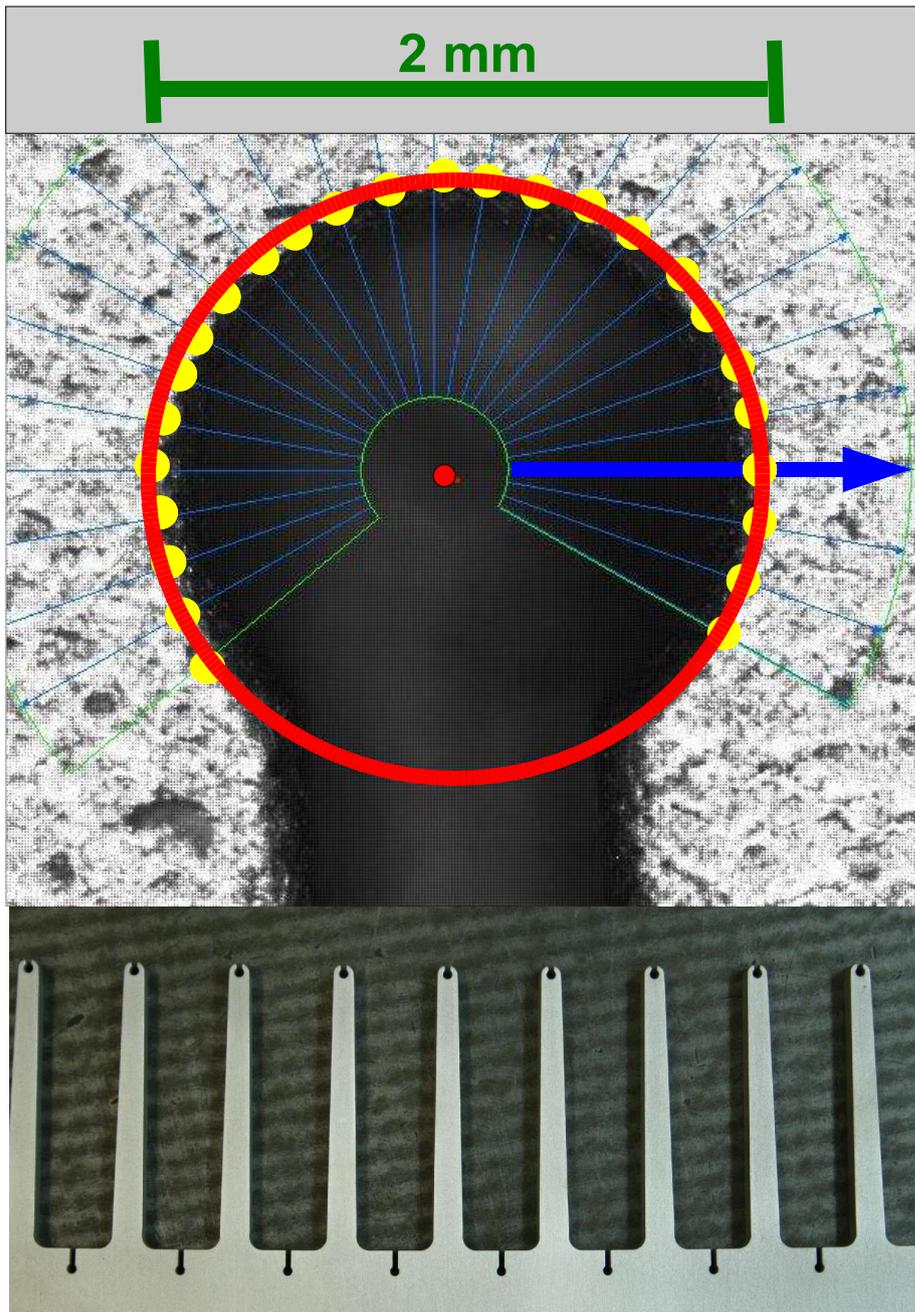


- Suche nach Kontrast entlang einer blauen Linie
- Markiere diese Stelle mit einem gelben Punkt

# Bildererkennung mit LabVIEW



- Suche nach Kontrast entlang einer blauen Linie
- Markiere diese Stelle mit einem gelben Punkt
- Passe einen Kreis an die gelben Punkte an



- Suche nach Kontrast entlang einer blauen Linie
- Markiere diese Stelle mit einem gelben Punkt
- Passe einen Kreis an die gelben Punkte an
- Das Bild ist in Millimetern kalibriert

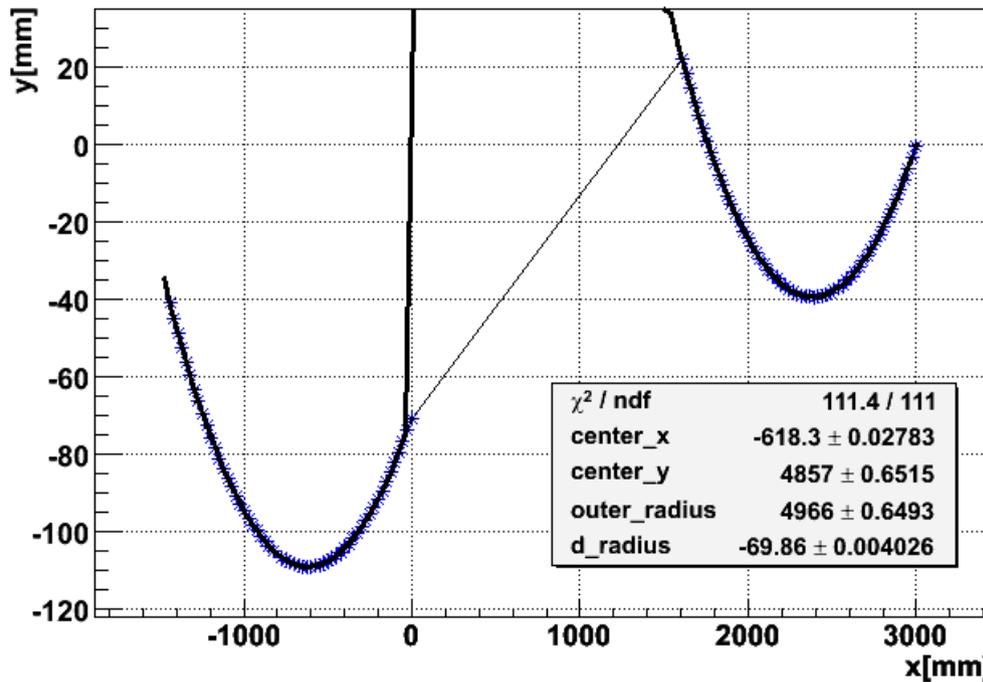
## Informationen aus dem Fit:

- Lochradius
- Zentrum
- „Roundness“ (Güte des Fits)

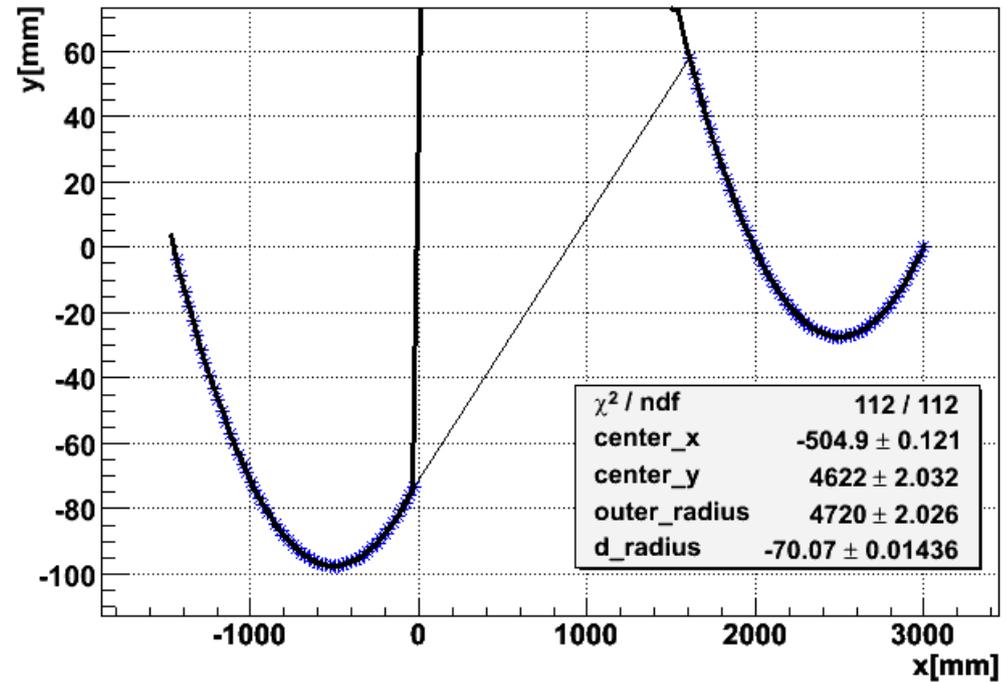
Dieser **Algorithmus** hat schon  
> 1000 Löcher **fehlerfrei** erkannt

# Erste Messungen von Proberahmen verschiedener Zulieferer

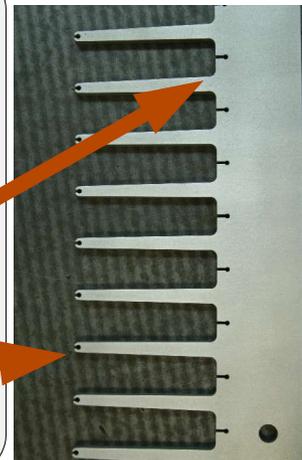
Lasercomb\_220806



Watercomb polished 30/08/06

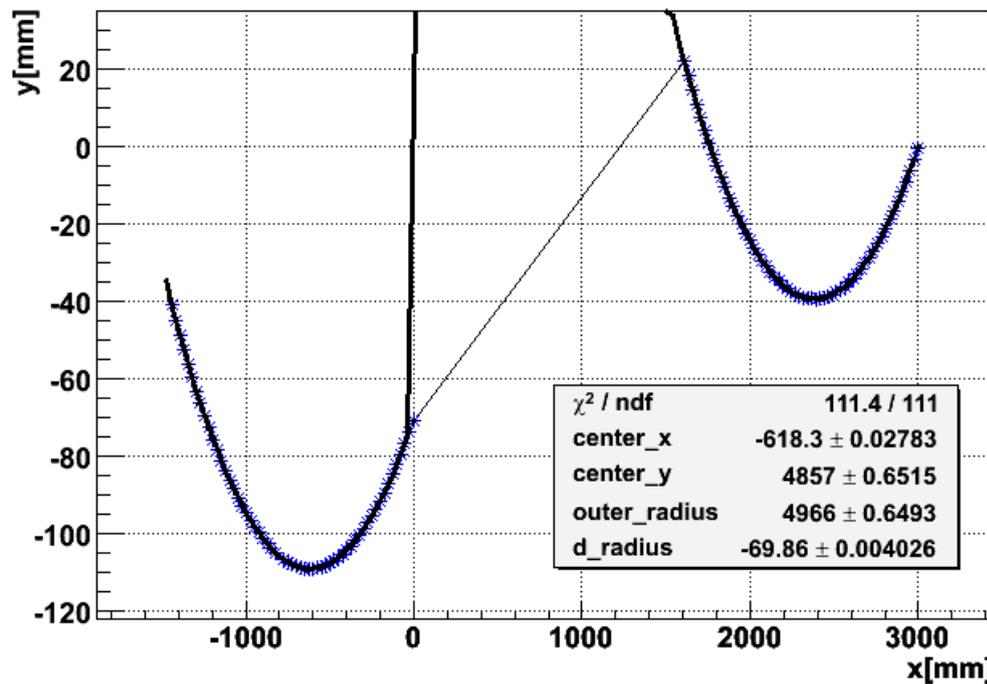


- Information der Kamera & Messmaschine zusammen ergibt Position
- Radien beider Lochreihen werden zusammen als *Funktion* gefittet
- Linker Teil in beiden Plots: äußere Lochreihe (großer Radius)
- Rechter Teil in beiden Plots: innere Lochreihe (kleiner Radius)



# Erste Messungen von Proberahmen verschiedener Zulieferer

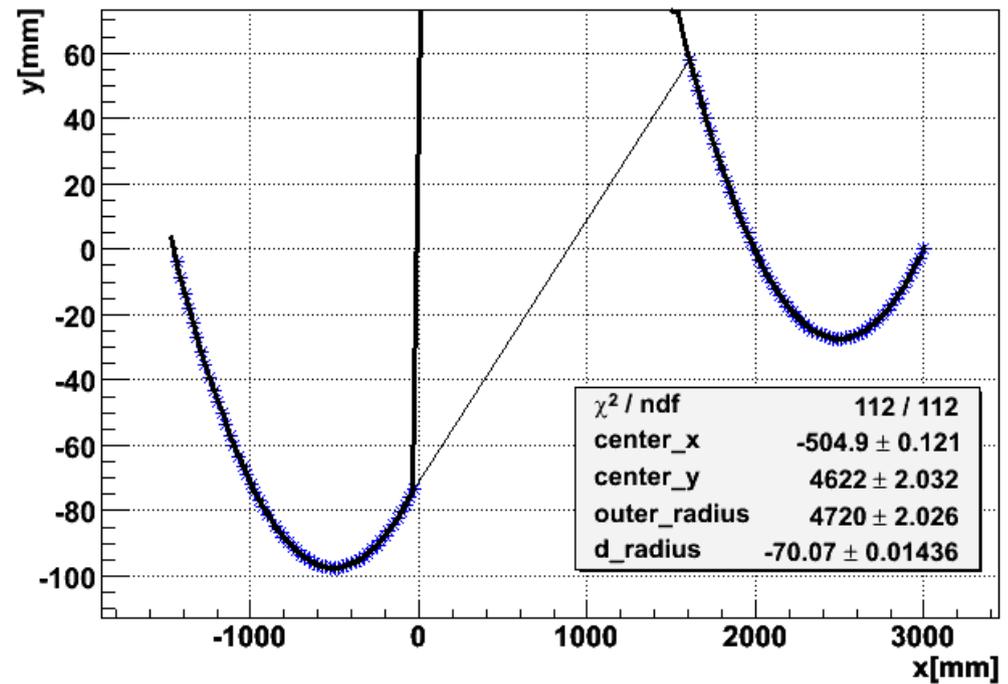
Lasercomb\_220806



## Lasergeschnittener Rahmen

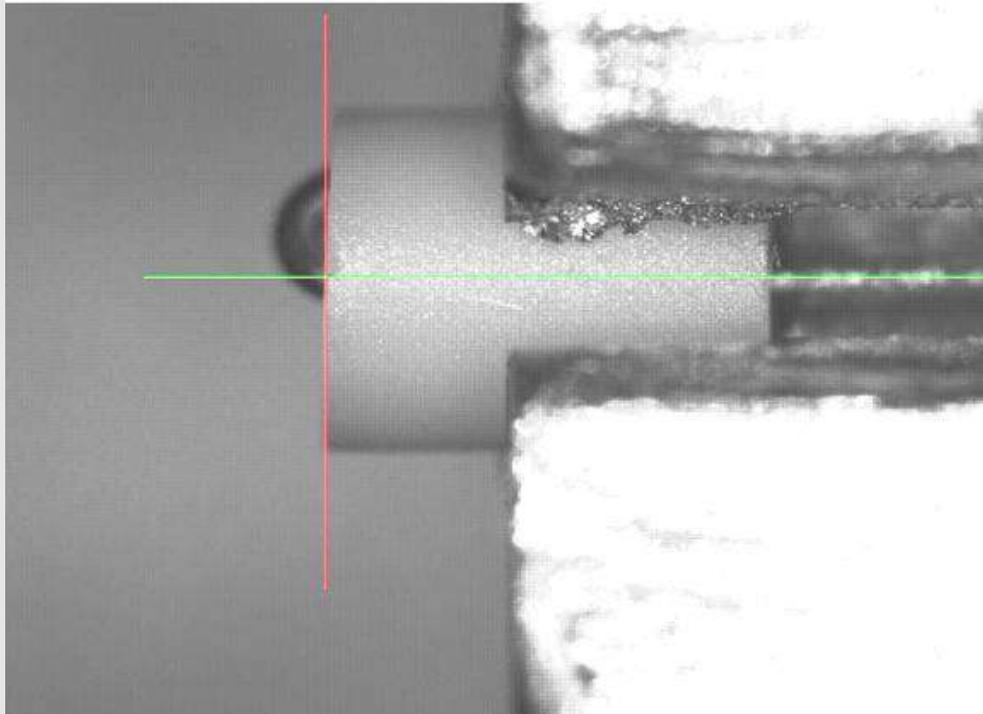
- Einzelfehler: **0.02 mm**
- Unsicherheit des Radius: **~ 0.65 mm**
- Radien um **213 mm zu groß**  
(**Thermischer Verzug** beim Schneiden)

Watercomb polished 30/08/06



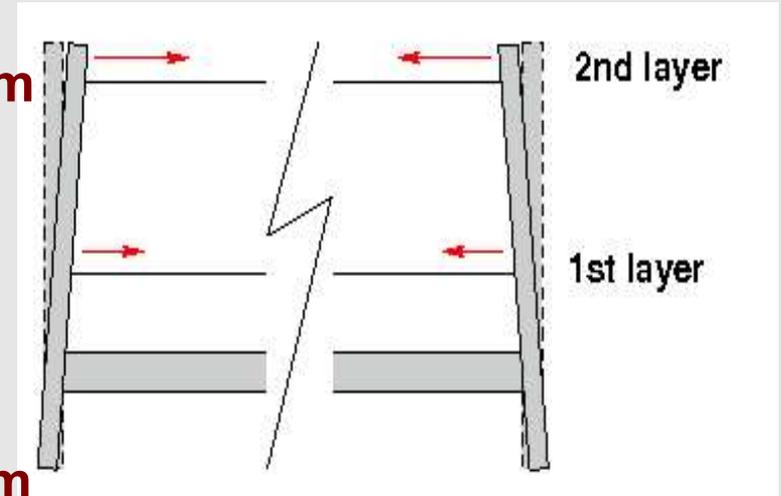
## Wassergeschnittener Rahmen

- Einzelfehler: **0.07 mm**
- Unsicherheit der Radien: **~ 2 mm**
- Radien um **30 mm zu klein**  
(**wahrsch. Programmierfehler**)



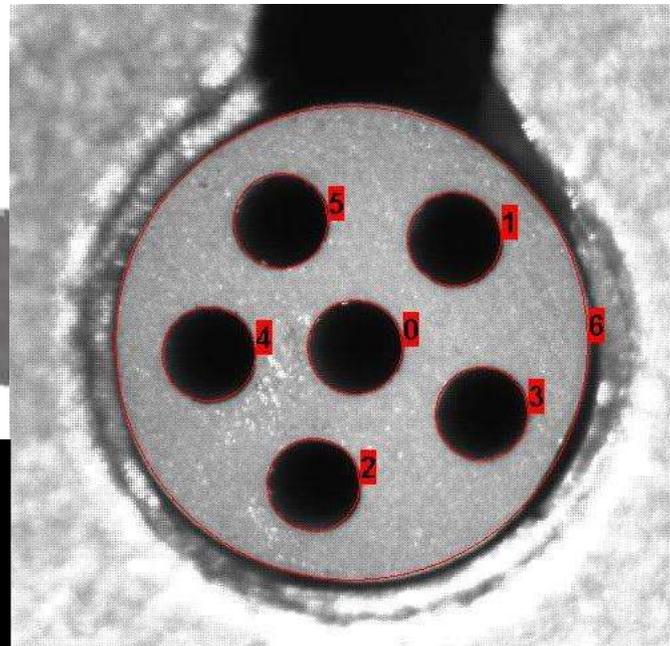
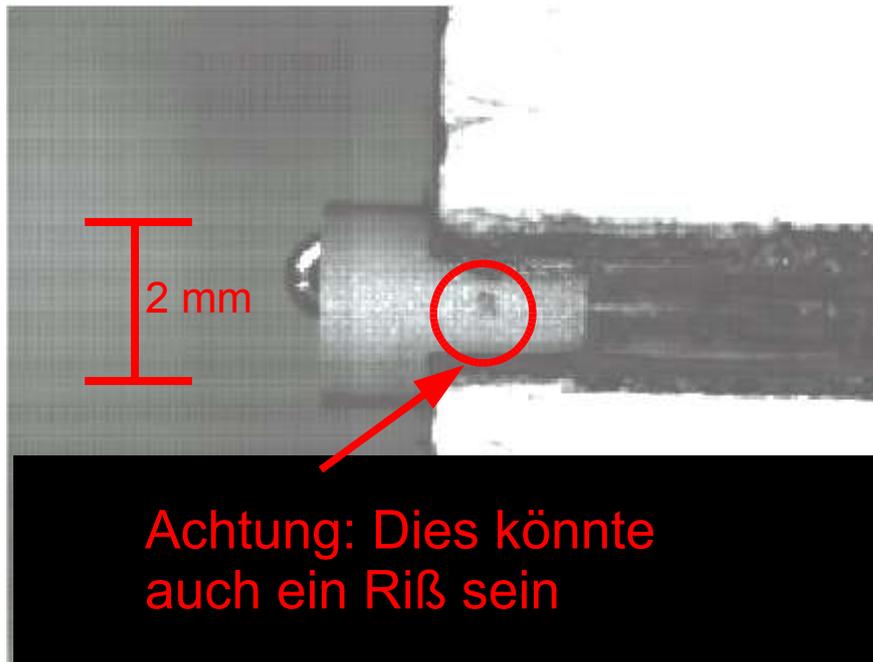
+1.5 N  
-0.18 mm

+2.6 N  
-0.38 mm



- **Durch das Ausheizen hat sich die Drahtspannung im 10%-Bereich erhöht**
- **Das Modul wird dadurch leicht zusammengezogen**
- **Was passiert bei wiederholtem Ausheizen?**

- Wo befinden sich die **Kapillaren** nach dem **Ausheizen**
- **Biegt sich der Rahmen** durch die **Drahtspannung** durch
- Diese **Zahlen** können mit  $\sigma = O(0.01 \text{ mm})$  bestimmt werden

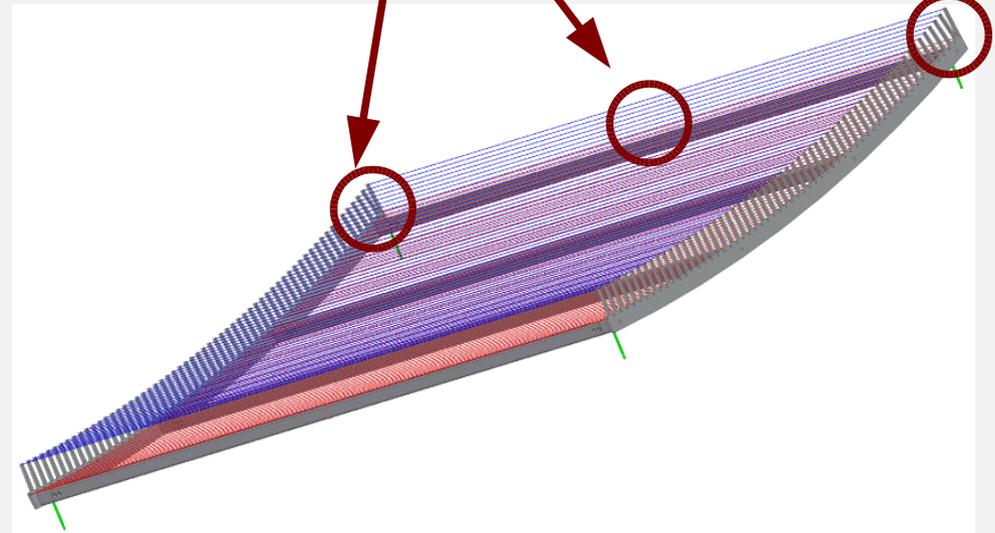
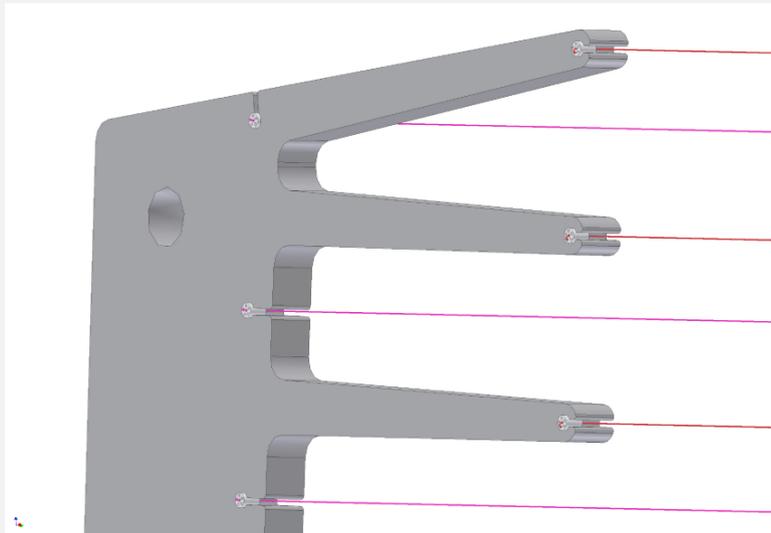


Eine  
Kapillare aus  
Sicht der  
Software:

Sieben  
Kreise

- **Durchhang  $< 0.2$  mm**      **$F = 10$  N ( $\varnothing = 0.3$  mm)**  
 **$F = 5$  N ( $\varnothing = 0.2$  mm)**  
(Inelastizität beginnt bei 21 N bzw. 10 N)

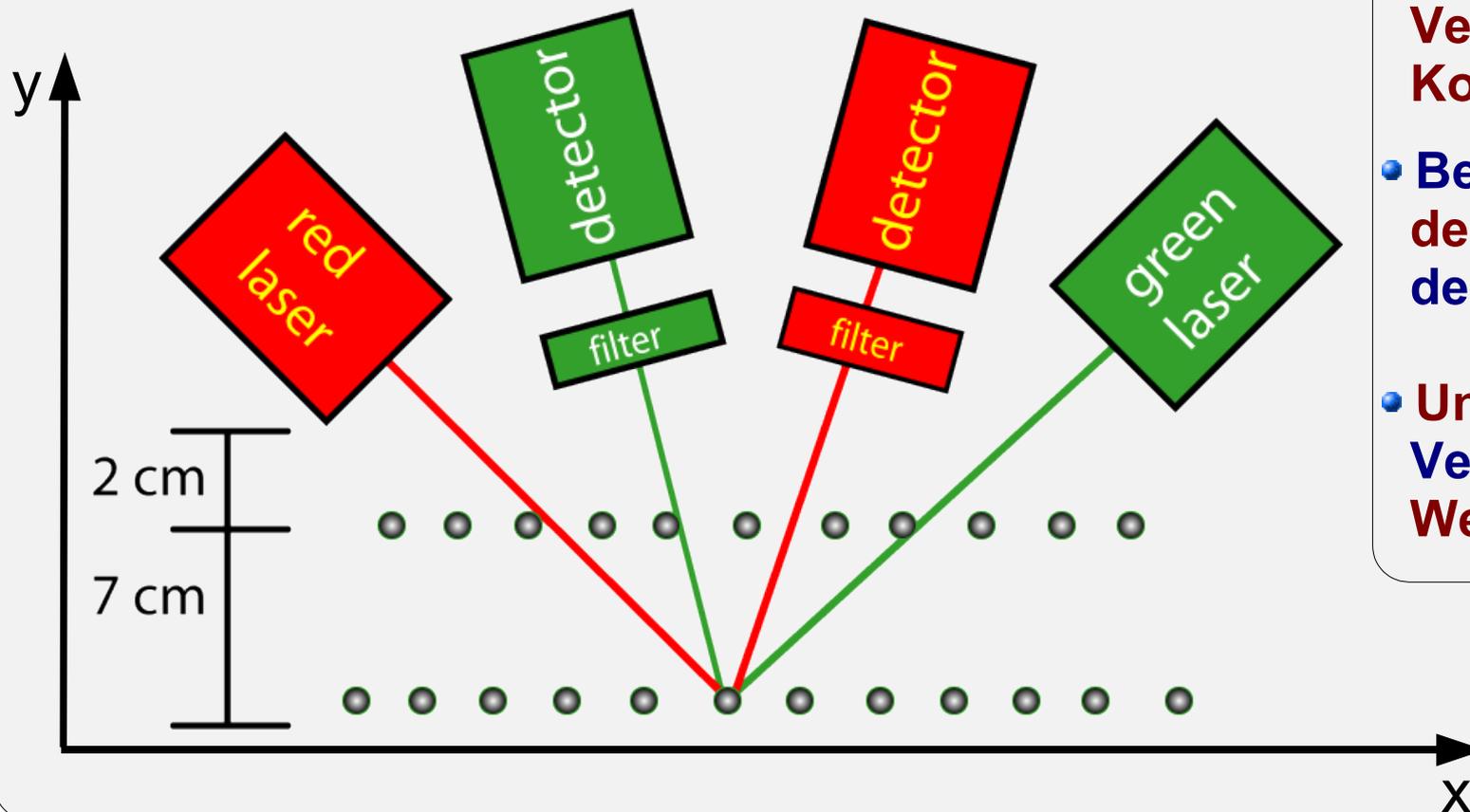
- **Kontrolle der Lochpositionen und der Ausrichtung der Drähte in zwei Dimensionen**



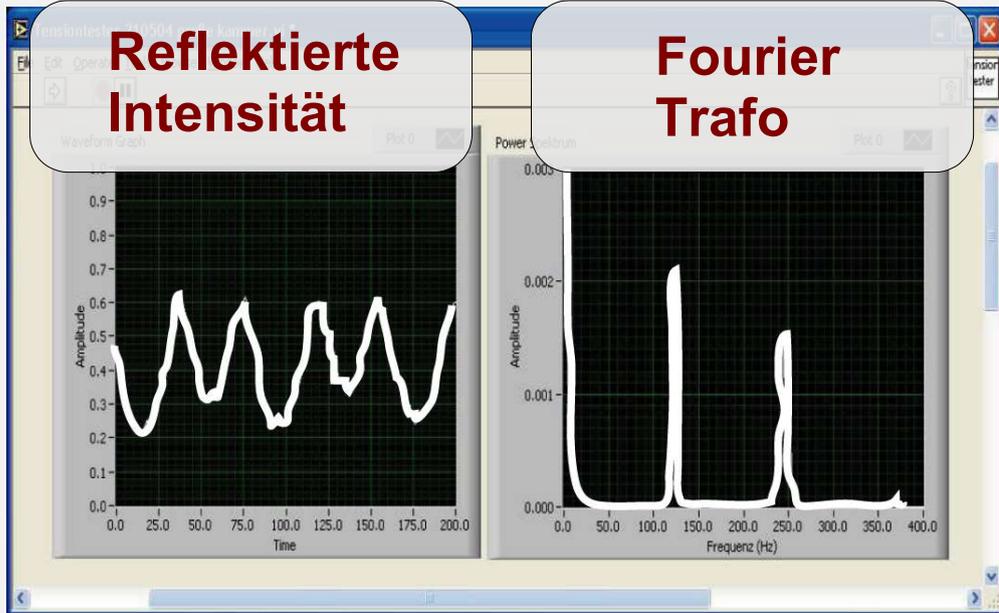
# Lasersensor für die Drähte

## Problem:

- Wir müssen die **Spannung & Position der Drähte vermessen**
- Ohne die Drähte zu berühren
- In einer Distanz von  $\sim 9$  cm



- **Zwei Laser zur Vermessung beider Koordinaten**
- **Beide Laser strahlen denselben Punkt auf dem Draht an**
- **Unterscheidung durch Verwendung zweier Wellenlängen**



- Lasse den Draht schwingen
- Messe das reflektierte Licht
- Berechne die **Fouriertrafo**
- **Kleinste Frequenz (Grundmode)** ergibt die Spannung
- Genauigkeit: +/- 0.1 Newton

$$f_0 = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F}{pA}}$$

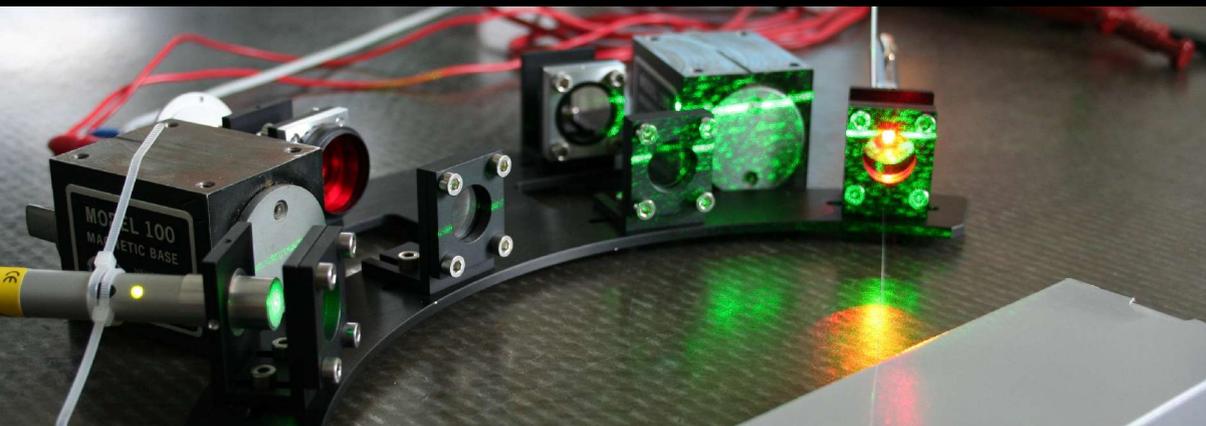
+/- 1.2 Newton entspricht theoretisch einer Änderung im Durchmesser von 0.002 mm !!

# Lasersensor für die Drähte

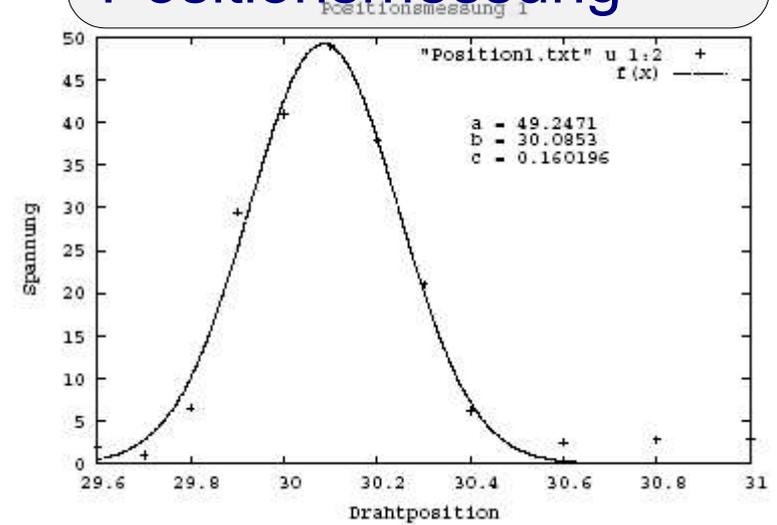


Testaufbau in Münster (>10 kg)

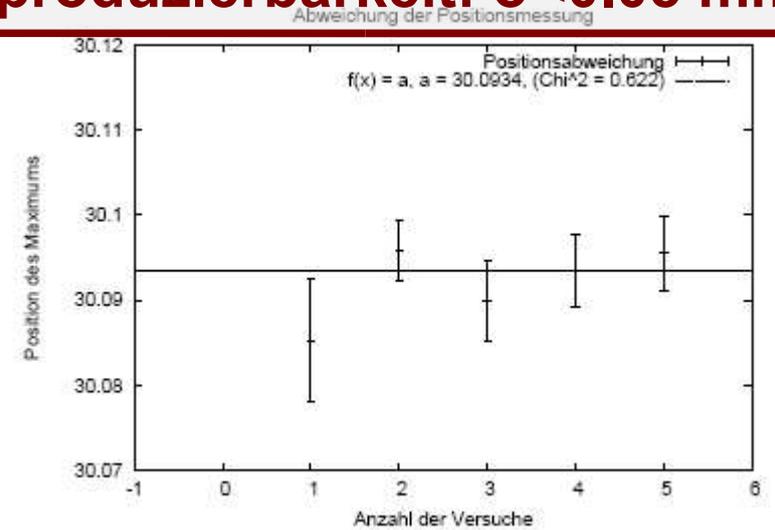
Prototyp eines  
Lasersensors (< 500 g)



## Positionsmessung



**Reproduzierbarkeit:  $\sigma < 0.05$  mm**





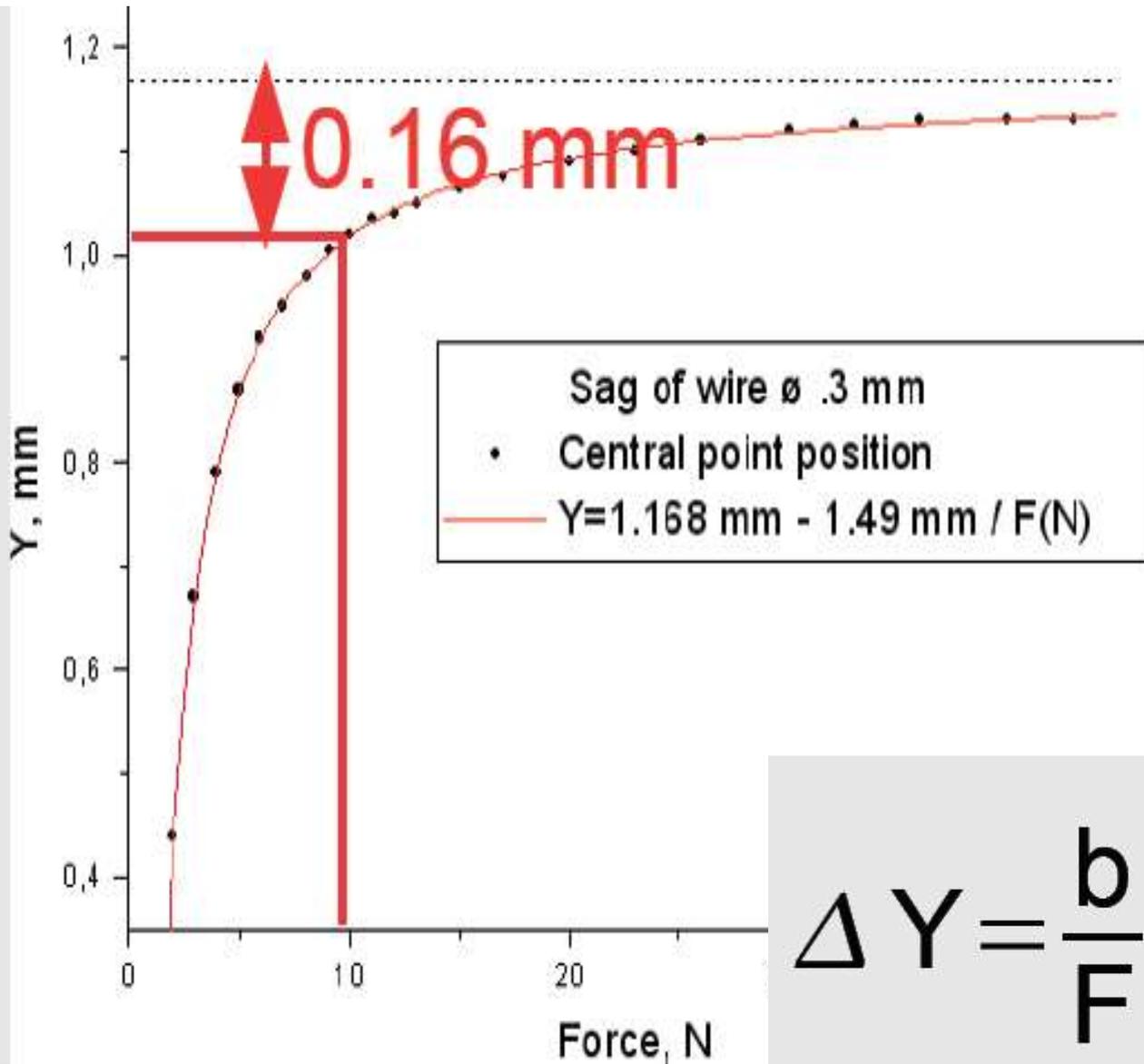
## Ausheizofen zur Kontrolle

- Der Ausgasrate der Module
- Der Verformung der Module beim Ausheizen (Tests bis 400 °C)
- **Vorläufiges Ergebnis für die Ausgasrate der Module:  $6 \cdot 10^{-13}$  mbar·l/s·cm<sup>2</sup> !!!**

## Vollautomatische UHV-Reinigungsanlage

- ASTEC-Vakuum-Reinigungs-Prozedur
- 480 Rahmen, 960 Streben, 23120 Drähte
- Mehrere 100 m<sup>2</sup> zu reinigende Oberfläche
- **KATRIN-Standard:  $1 \cdot 10^{-12}$  mbar·l/s·cm<sup>2</sup>**

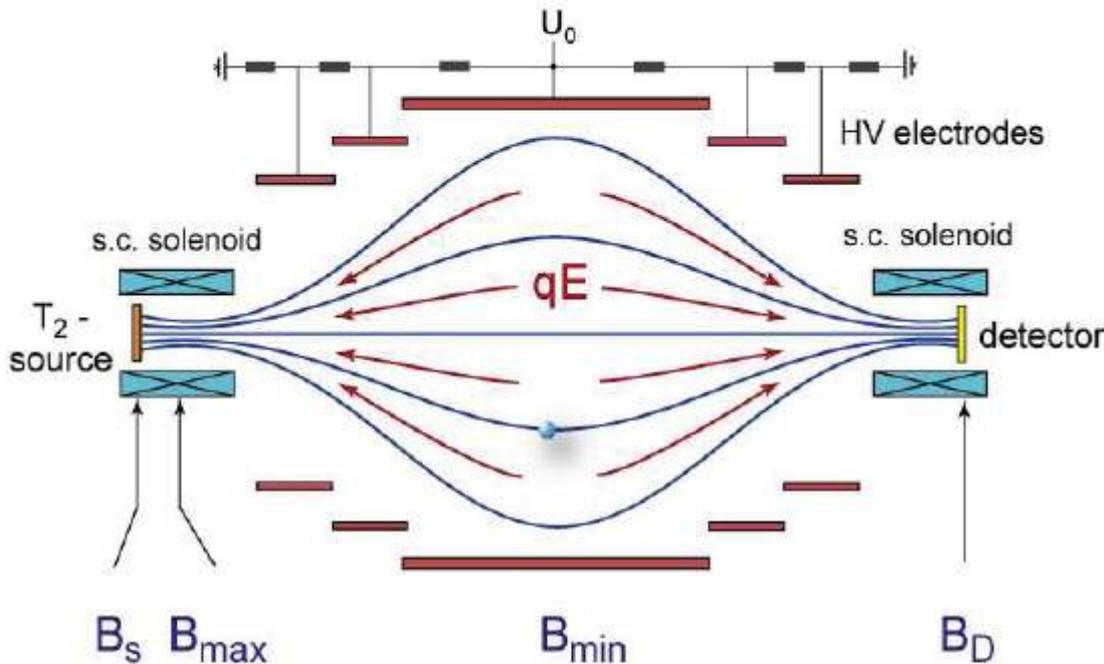
- Wir haben ein **Bilderkennungssystem in Betrieb** genommen
  - Unsere Messmaschine arbeitet **automatisch**
  - Die Maschine wird für **systematische Tests** benutzt
  - Wir besitzen das **'Know How'** für einen **Lasersensor** die Testversion funktioniert
- 
- **M. Reinhardt (Diplomandin)** entwickelt eine **ultraleichte Version eines Lasersensors**
  - Wir arbeiten daran, die Maschine **schneller & sicherer** zu machen ( Verkabelung, Kupplungen, ... )
  - **Ziel für dieses Jahr: Vollständige, automatische Vermessung eines Moduls**



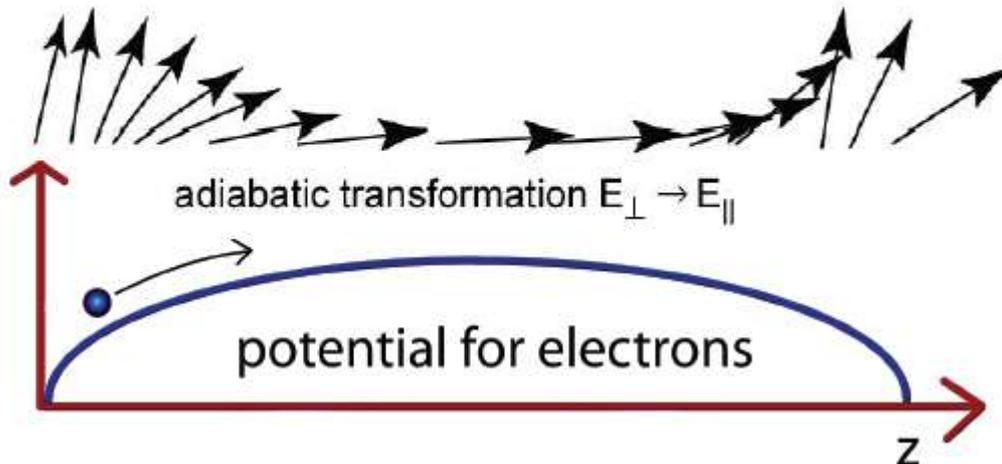
$$\Delta Y = \frac{b}{F} \cdot \frac{\Delta F}{F} \approx 0.002 \text{ mm}$$

## Magnetic Adiabatic Collimation with Electrostatic Filter

A. Picard et al., Nucl. Instr. Meth. B 63 (1992)



- e- gyrate around magnetic field lines
- $\mu = E_{\perp} / B = \text{const.}$
- B drops by factor 20.000
- $E_{\perp} \rightarrow E_{\parallel}$
- $E / \Delta E = B_{\text{max}} / B_{\text{min}} = 20.000$
- $\Delta E \approx 1 \text{ eV @ } 18.6 \text{ keV}$
- Sharp transmission fct. without long tails



# Zusatzfolien

# Zusatzfolien