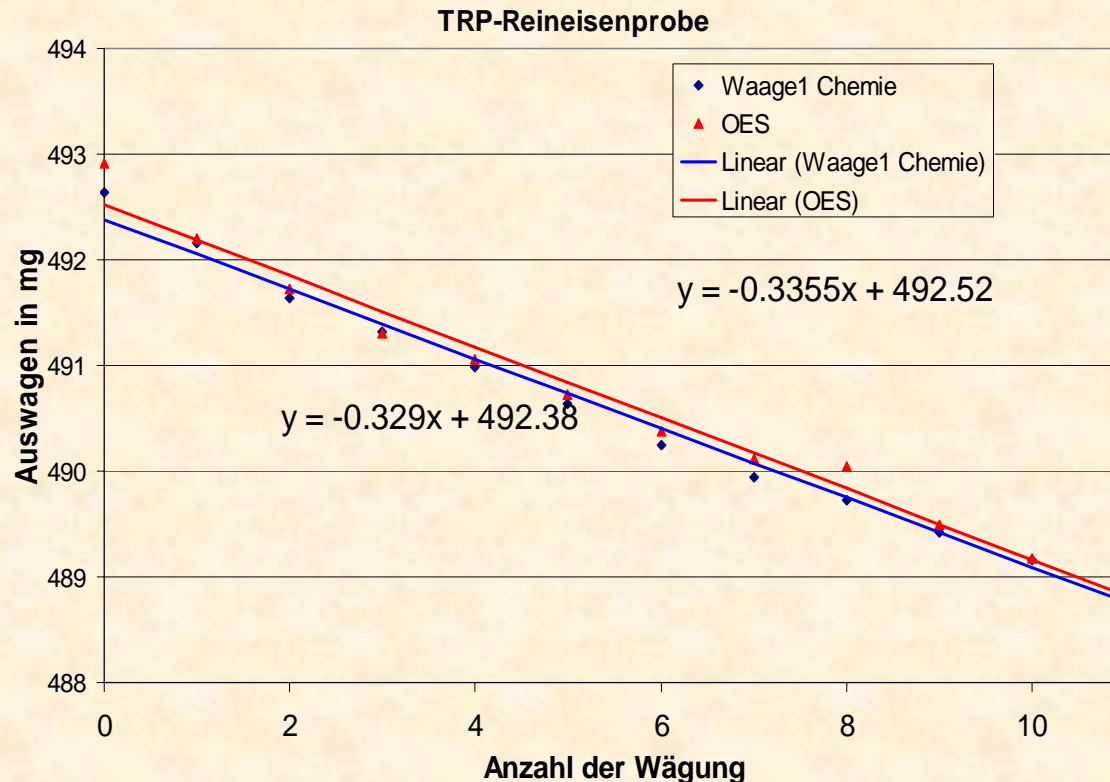


Auswertung wichtiger Parameter aus 3D-Tiefenprofilmessungen an GD-OES Sputterkratern

M. Hermenau, L. Wilken, V. Hoffmann

- Einleitung
Bestimmung der Sputterrate durch Wägung
- 3D-Tiefenprofilometer
- Auswerten der 3D-Tiefenprofile: Bestimmung von
 - Mittelpunkt
 - Kratervolumen und Sputterrate
 - gemitteltem 2D-Kraterprofil

Wägung vor und nach der Messung



Sputterrate

$$S_R = \frac{\Delta m}{\Delta t_s}$$

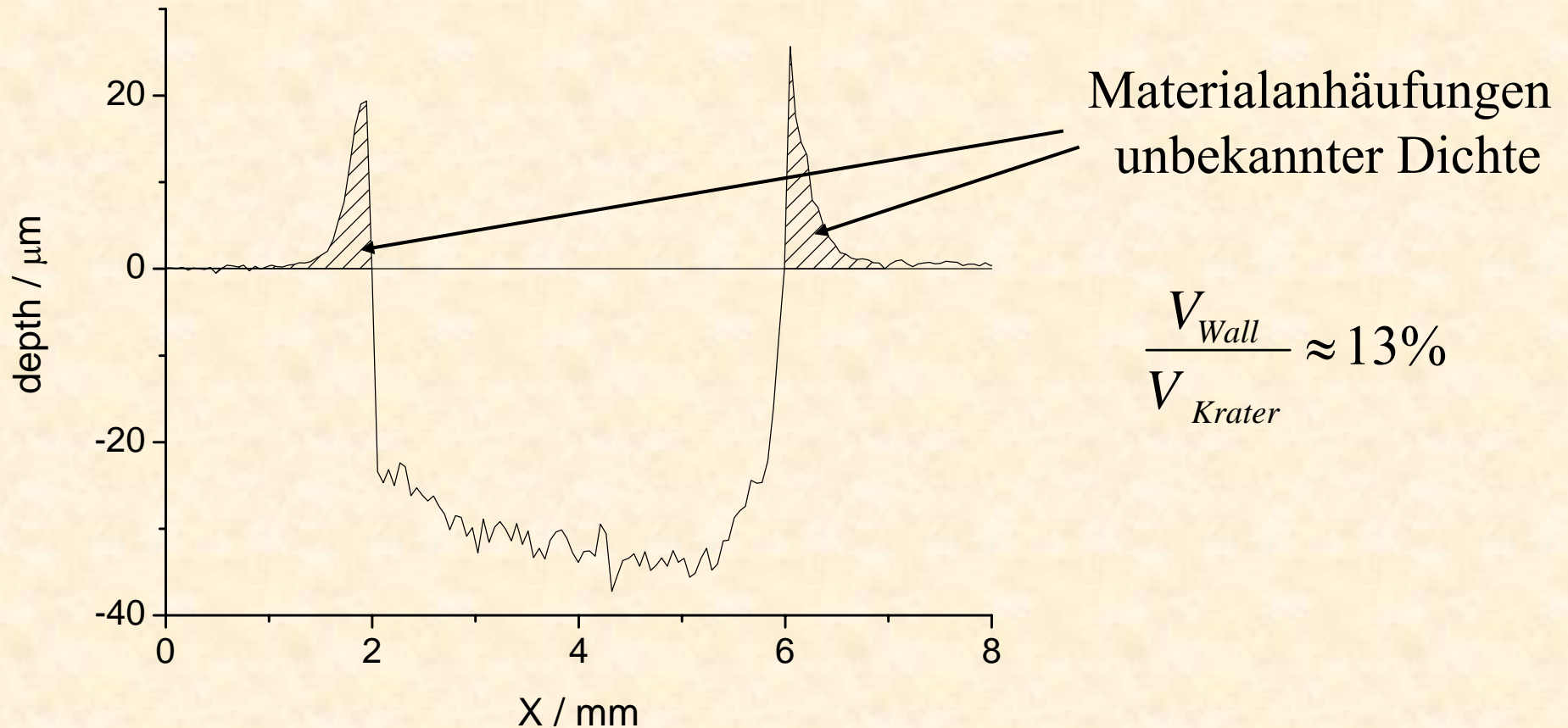
$$\Delta m = 0.33 \text{ mg}$$

$$\Delta t_s = 120 \text{ s}$$

$$S_R = 2.75 \text{ } \mu\text{g/s}$$

- mehrere GD-Messungen und Wägungen liefern Massendifferenz
- größere Streuungen zwischen verschiedenen Messungen
- Anstieg bei vielen Messungen gut reproduzierbar

Fehler beim Wägen durch Kraterwall



⇒ Fehler bei Sputterratenbestimmung mittels Wägung

Prinzip: chromatische Aberration

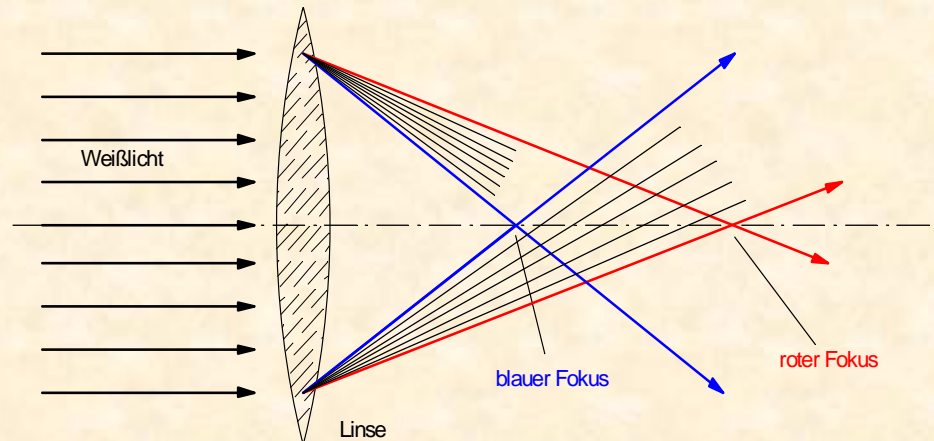
- Z Meßbereich: 600 μm
- Z Auflösung: 20 nm
- Z Genauigkeit: +/- 100 nm bei 600 μm
- XY Meßbereich: 100 x 100 mm
- XY Auflösung: 2 μm
- hohe Meßgeschwindigkeit

Meßbedingungen:

- 8 x 8 mm, 200 x 200 Punkte;
- 5 min Messzeit

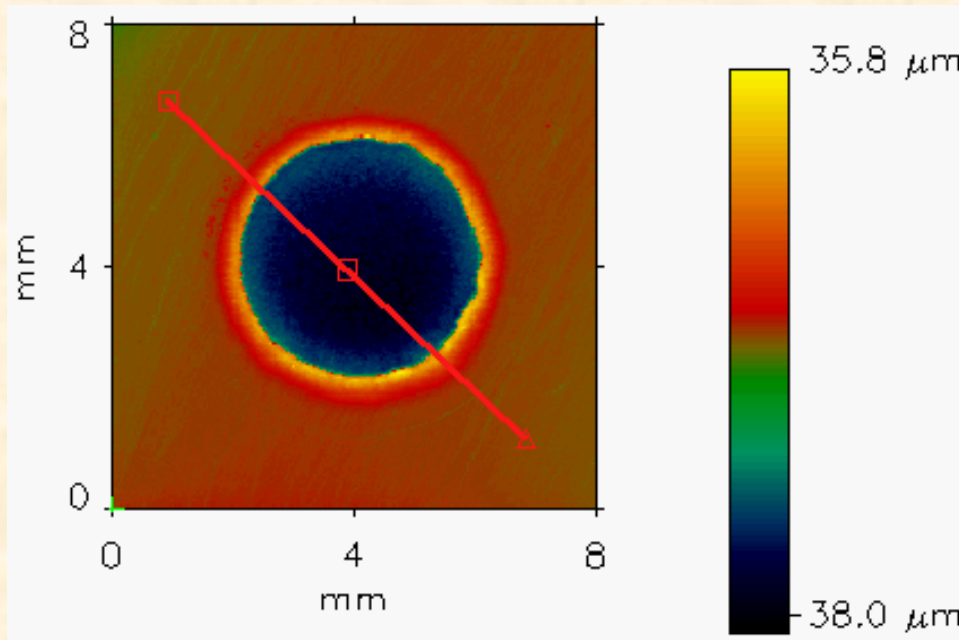


chromatischer Sensor

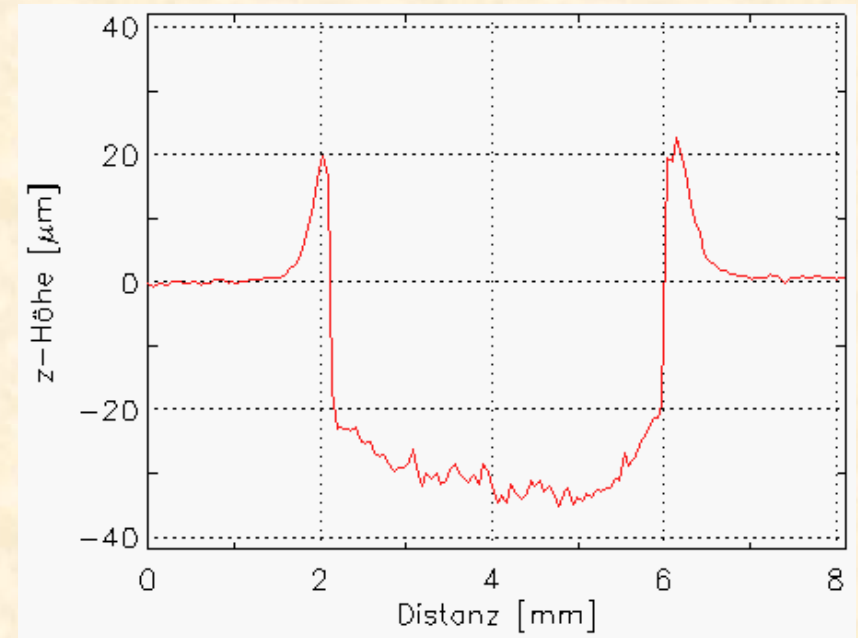


Bearbeitungsmöglichkeiten mit FRT Mark III:

- horizontale Ausrichtung geneigter Ebenen
- Festsetzung der Kraterumgebung auf „Null“



3D-Kontur-Diagramm



Ausgewähltes 2D-Profil

Auswerten der 3D-Kratertiefenprofile

Programm Tiefe-auswerten.vee:

Voraussetzungen

- wenige Störungen auf Probenoberfläche
- horizontal eingeebnet (FRT Mark III)

Verfahrensschritte

- Einlesen der Daten
- Bestimmung des Kratermittelpunktes
- Berechnung der ursprünglichen Probenoberfläche
- Berechnung von Kratervolumen und Sputterrate
- Berechnung des mittleren Kraterprofils

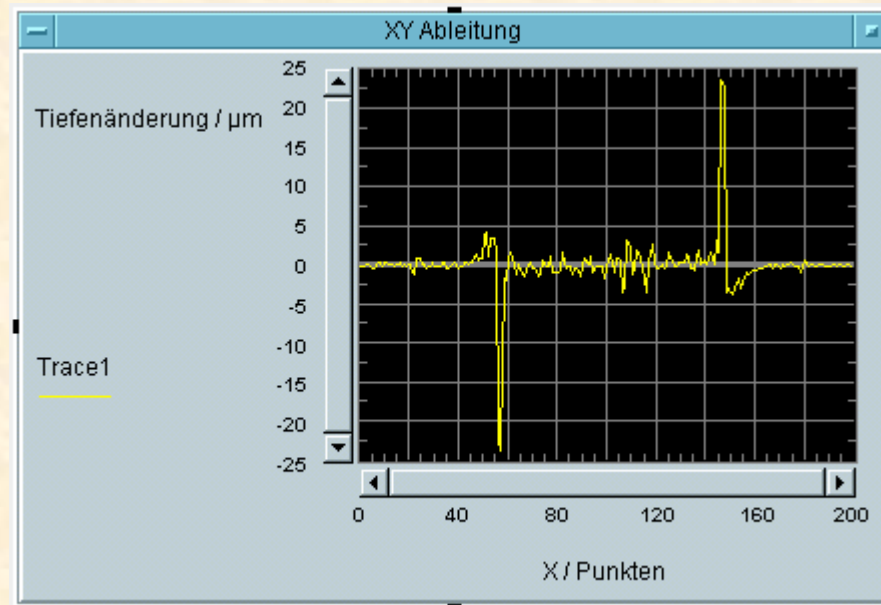
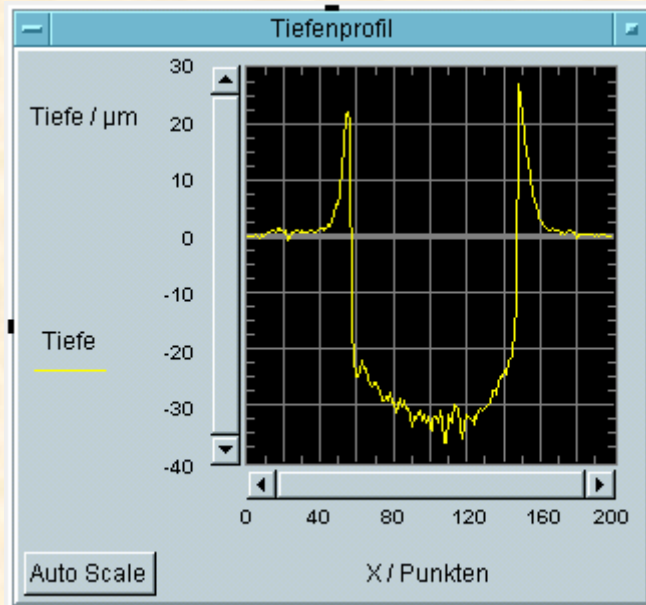
Motivation:

- Volumenauswertung benötigt Definition der Bereiche Krater und Kraterumgebung
- rotationssymmetrisches Kraterprofil

Über Ortsableitung (3D-Profil) Position des Kraterrandes bestimmen:

$$\frac{\partial z}{\partial x_i} = \frac{z(x_{i+1}, y_k) - z(x_i, y_k)}{x_{i+1} - x_i}$$

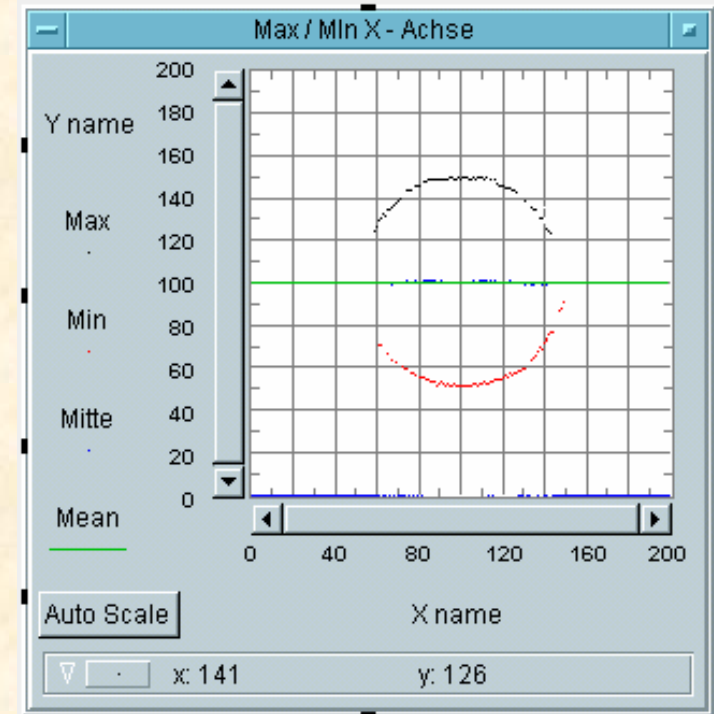
$$\frac{\partial z}{\partial y_k} = \frac{z(x_i, y_{k+1}) - z(x_i, y_k)}{y_{k+1} - y_k}$$



- Koordinaten der Extrema jeder Zeile bestimmen
(schwarze und rote Linie)
- Mittelwert der Extrema liefert mittlere Linie (grün)

$$\bar{y}_i = \frac{y_{i,Max} + y_{i,Min}}{2} \quad \bar{x}_i = \frac{x_{i,Max} + x_{i,Min}}{2}$$

- analog für alle Spalten



Bestimmung des Mittelpunkts für X-Achse:

Schwarz: Maxima

Rot: Minima

Grün: Mittelwerte zwischen
Maxima und Minima

Blau: Mittelwerte innerhalb des Kraters

- Ziel: Durchmesser der Anode bestimmen
- Nutzen:
 - für die Volumenauswertung können die Bereiche Krater bzw. Kraterrand definiert werden (s. Abb. 1)
 - Berechnung eines gemittelten Kraterprofils des rotationssymm. Kraters
- Bestimmung des Kraterradius um den Mittelpunkt

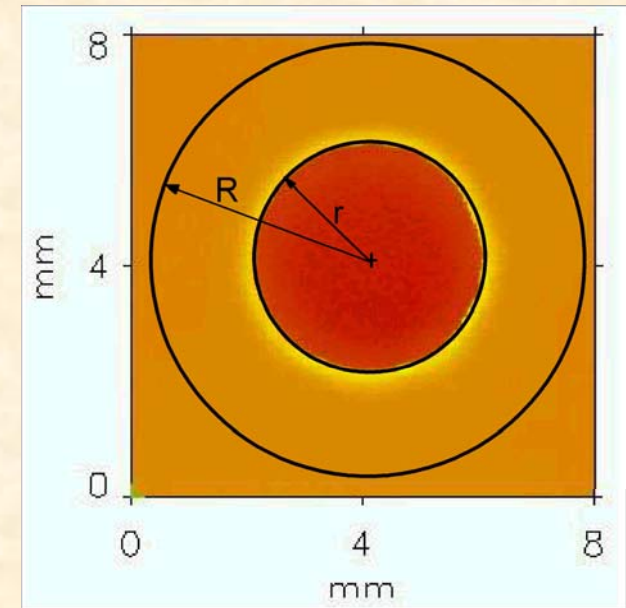


Abb. 1: das 3D-Profil unterteilt in Krater (r) und Kraterrand (R)

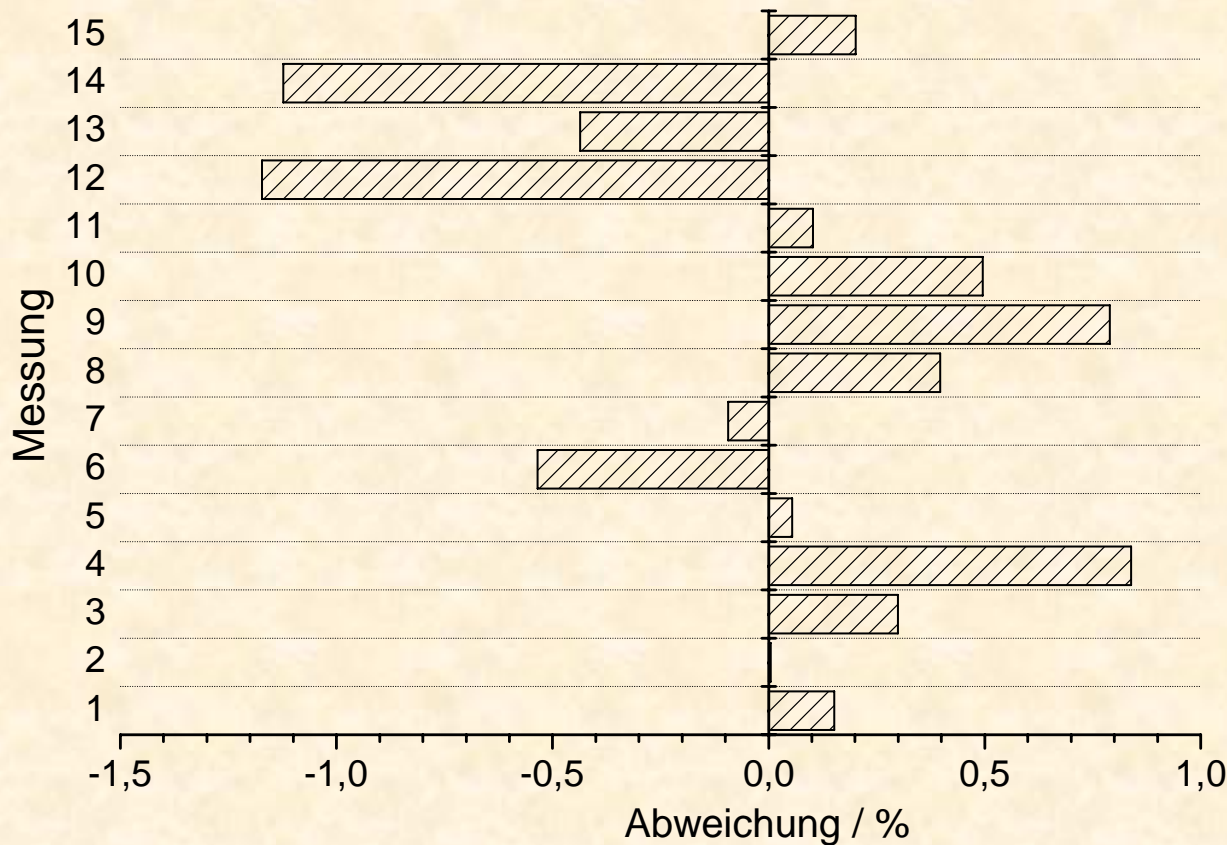
- alle Punkte im Krater mit 2 Bedingungen:
 - Tiefe unter Null
 - in einer Umgebung um den Mittelpunkt mit einem etwas größeren als den zuvor ermitteltem Radius
- Messpunkt \Rightarrow Quadrat mit der Auflösung μ als Seitenlänge
- Gesamtvolumen V des Kraters:

$$V = \sum_{i=1}^N \Delta A_i \cdot t_i \quad \text{mit} \quad \Delta A_i = \mu^2$$

$t_i \dots$ Tiefe

Meßfläche 8x8 mm, 200x200 Punkte $\Rightarrow \mu = 40 \mu\text{m}$

Mittleres Volumen : $V = (0.204 \pm 0.001) \text{ mm}^3$



Messbedingungen:

Probe: BR 89

GD: 700 V, 20 mA

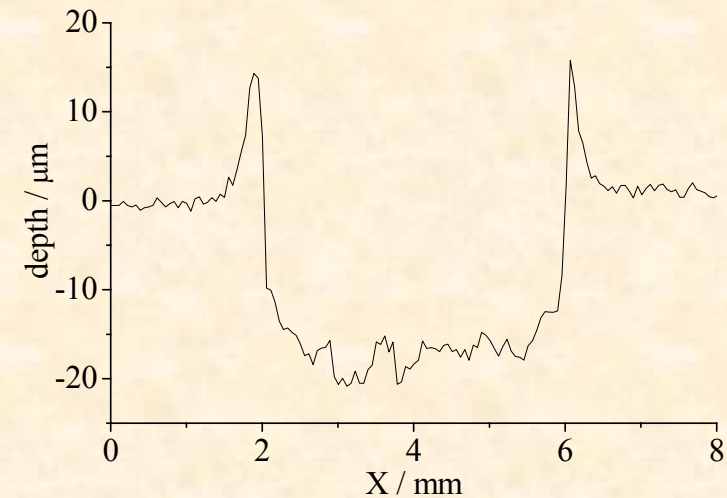
600 s

FRT: 200x200 Punkte

8mm x 8mm

300 Hz

Tiefenprofil von Messung 1



⇒ relativer Fehler < 2% bei 3D-Kratermessungen und Volumenauswertung

$$S_R = \frac{V \cdot \rho}{t}$$

V...Volumen

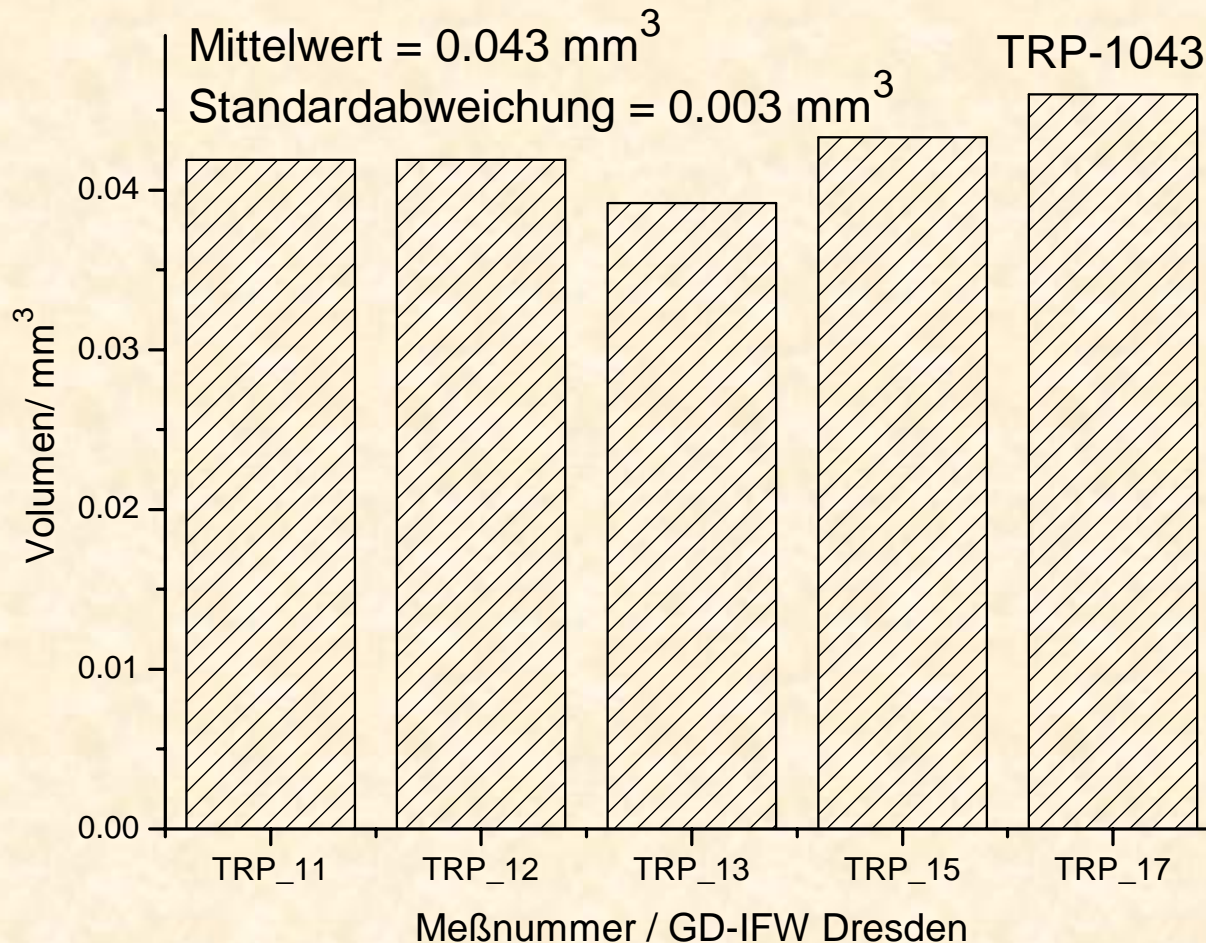
t ...Messzeit

ρ ...Dichte

⇒Dichte der Probe benötigt

⇒bei zylinderförmigen, homogenen Proben leicht und exakt bestimmbar

SR - Vergleich



Volumenbestimmung

$$\frac{0.043 \text{ mm}^3 \cdot 7.87 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}{120 \text{ s}} = 2.82 \frac{\mu\text{g}}{\text{s}}$$

Wägung

$$\frac{0.33 \text{ mg}}{120 \text{ s}} = 2.75 \frac{\mu\text{g}}{\text{s}}$$

- Ausnutzung der Rotationssymmetrie des Kraters
- Verfahren:
 - Kreisringe um Mittelpunkt mit den Radien r
 - zu jedem Radius $r + \Delta r$ ein Tiefenmittelwert

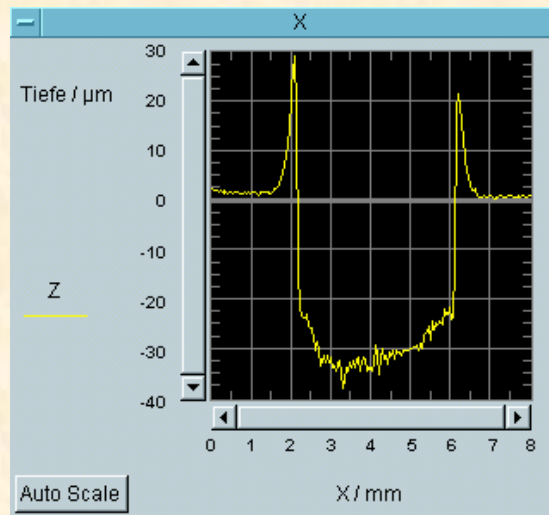


Abb. 1: 2D-Profil entlang einer Linie

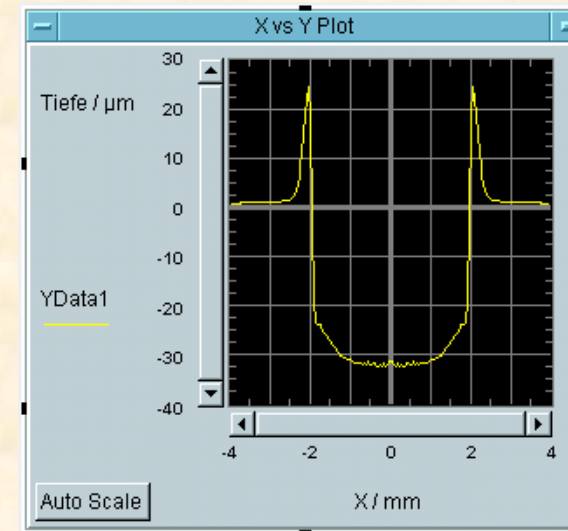


Abb. 2: Mittleres 2D-Kraterprofil aus
gesamtem 3D-Tiefenprofil

- Sputterrate als phys. Messgröße jeder Standardprobe für matrixunabhängige Quantifizierung benötigt
- Tiefenprofilometer und Tiefe-auswerten.vee sind geeignet, das Kratervolumen eines GD-OES – Sputterkraters zu bestimmen:
 - Genauigkeit: Fehler $< 2\%$
⇒ besser als Schwankungen zwischen verschiedenen Kratern
 - Empfehlung: Kratertiefe $> 20\mu\text{m}$, gute Probenvorbereitung
- Mittleres Kraterprofil kann z.B. für die Optimierung der Kraterform oder für Simulationen bzw. Entfaltungen genutzt werden