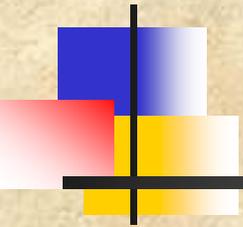


GDOES-Anwendertreffen

Dresden 2004

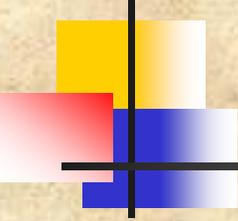
Geometrie des Sputterprozesses



Kraterdurchmesser

Sputtergeschwindigkeit

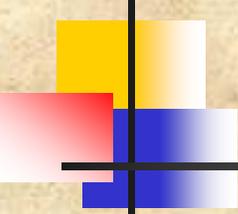
Kraterprofil



Sputtergeschwindigkeit

$$SG = a * \frac{I}{(I + b)} * e^{\left(\frac{-c}{U}\right)}$$

I	:	Strom
U	:	Spannung
a, b, c	:	Material-Konstanten



Sputtergeschwindigkeit

- $SG = f(\text{Spannung})$

Der Exponentialterm gibt den Anteil der Teilchen an, die genügend Energie für den Sputterprozess mitbringen.

Boltzmann'sche Energieverteilung.

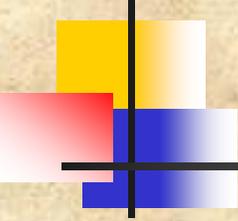
$$SG = a * \frac{1}{(1+b)} * e^{\frac{-c}{U}}$$

- $SG = f(\text{Strom})$

Der stromabhängige Teil der Gleichung gibt den Anteil sputterfähiger Teilchen an, die tatsächlich zum Sputterprozess beitragen.

Reaktionskinetischer Ansatz.

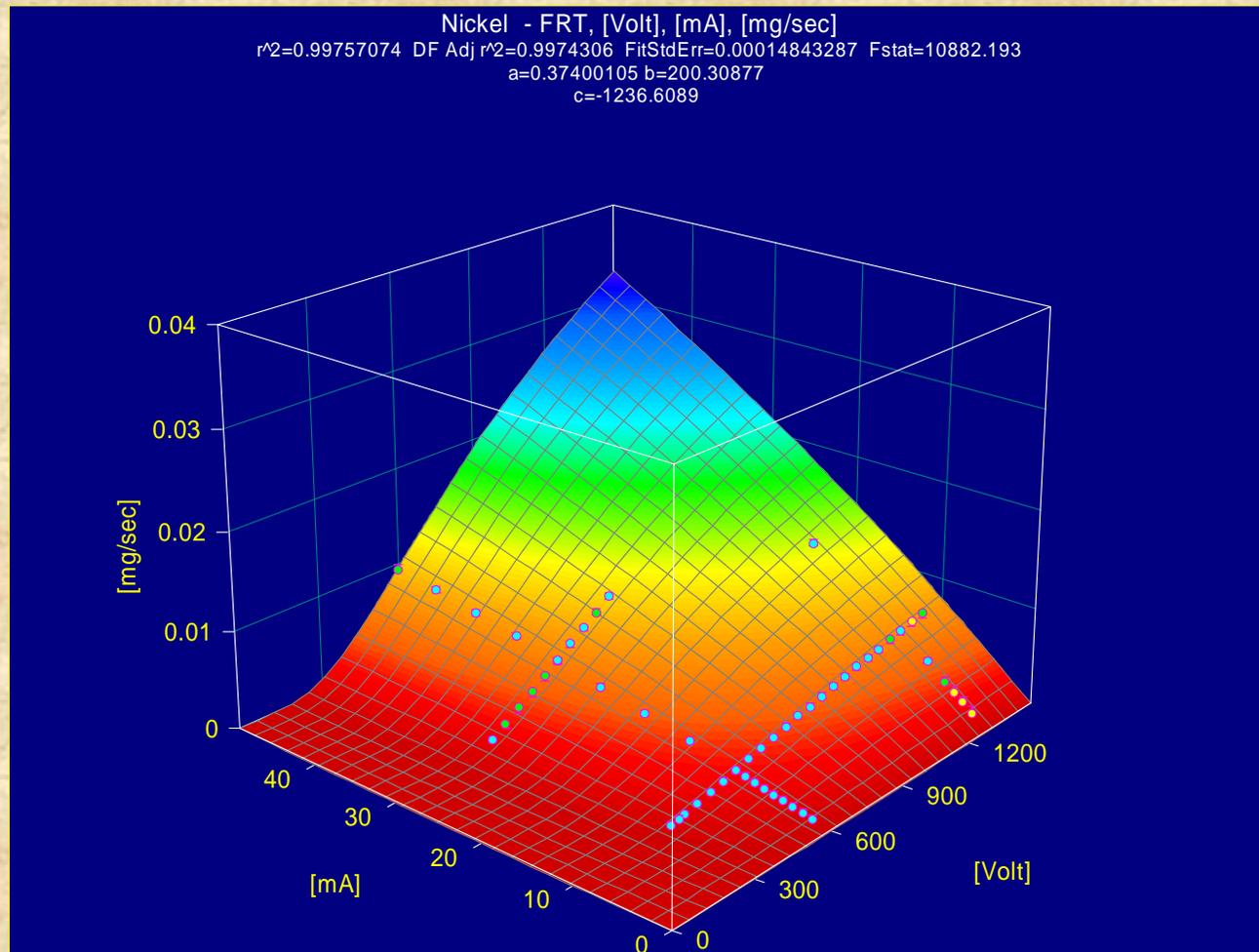
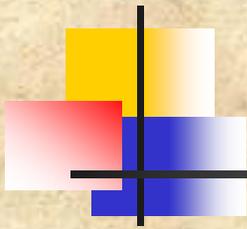
$$SG = a * \frac{1}{(1+b)} * e^{\frac{-c}{U}}$$



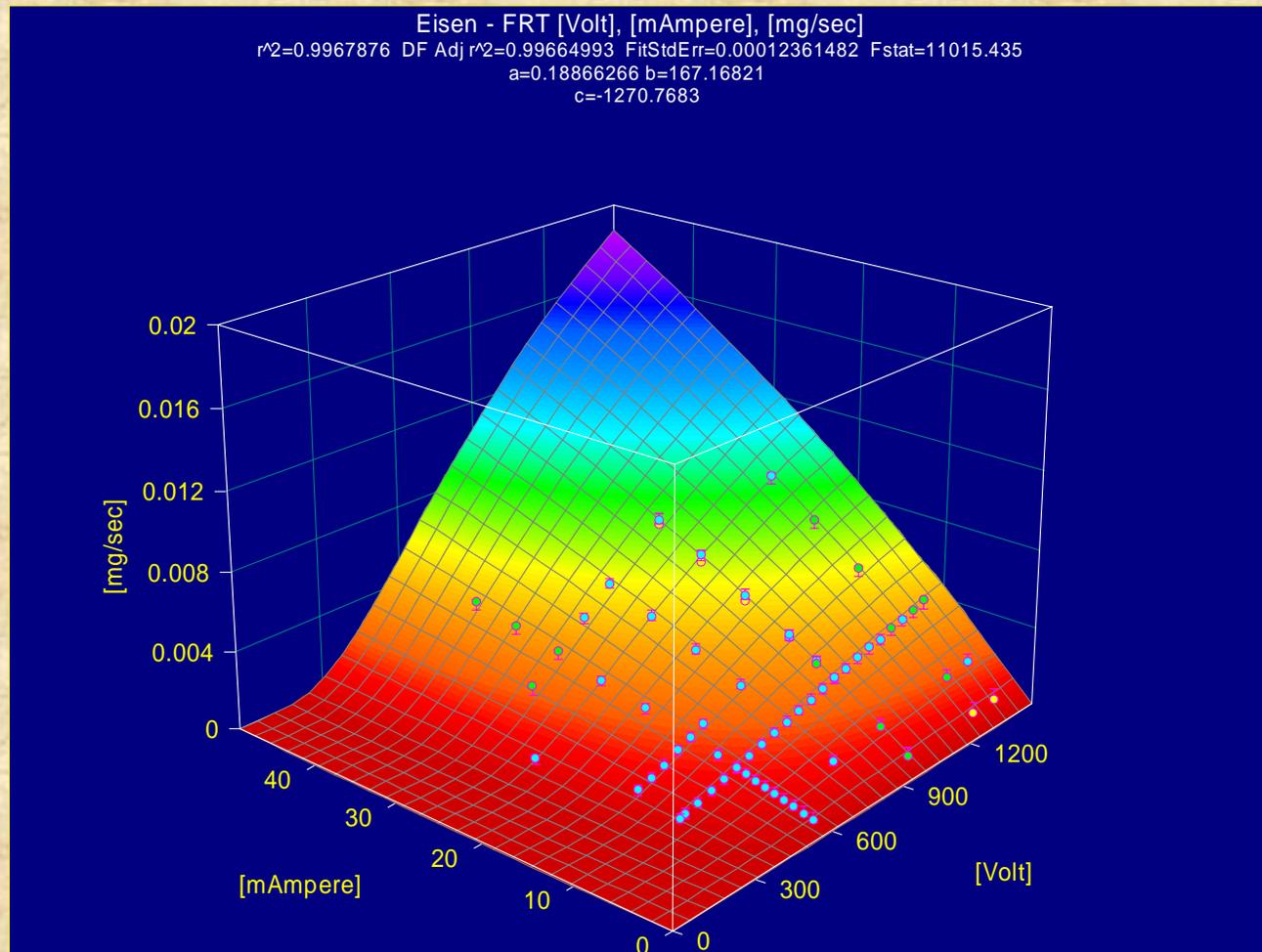
Sputtergeschwindigkeit

- Ergebnis weiterer Messreihen:
 - Die aus 2-d Scans ermittelten Kratervolumina stimmen mit den aus 3-d Scans bestimmten Werten überein.
 - Das 2003 auf dem GDOES-Treffen in Lüdenscheidt vorgestellte Modell wurde bestätigt.
 - Die Annahme einer konstanten relativen Sputterrate ist **nicht** zulässig.

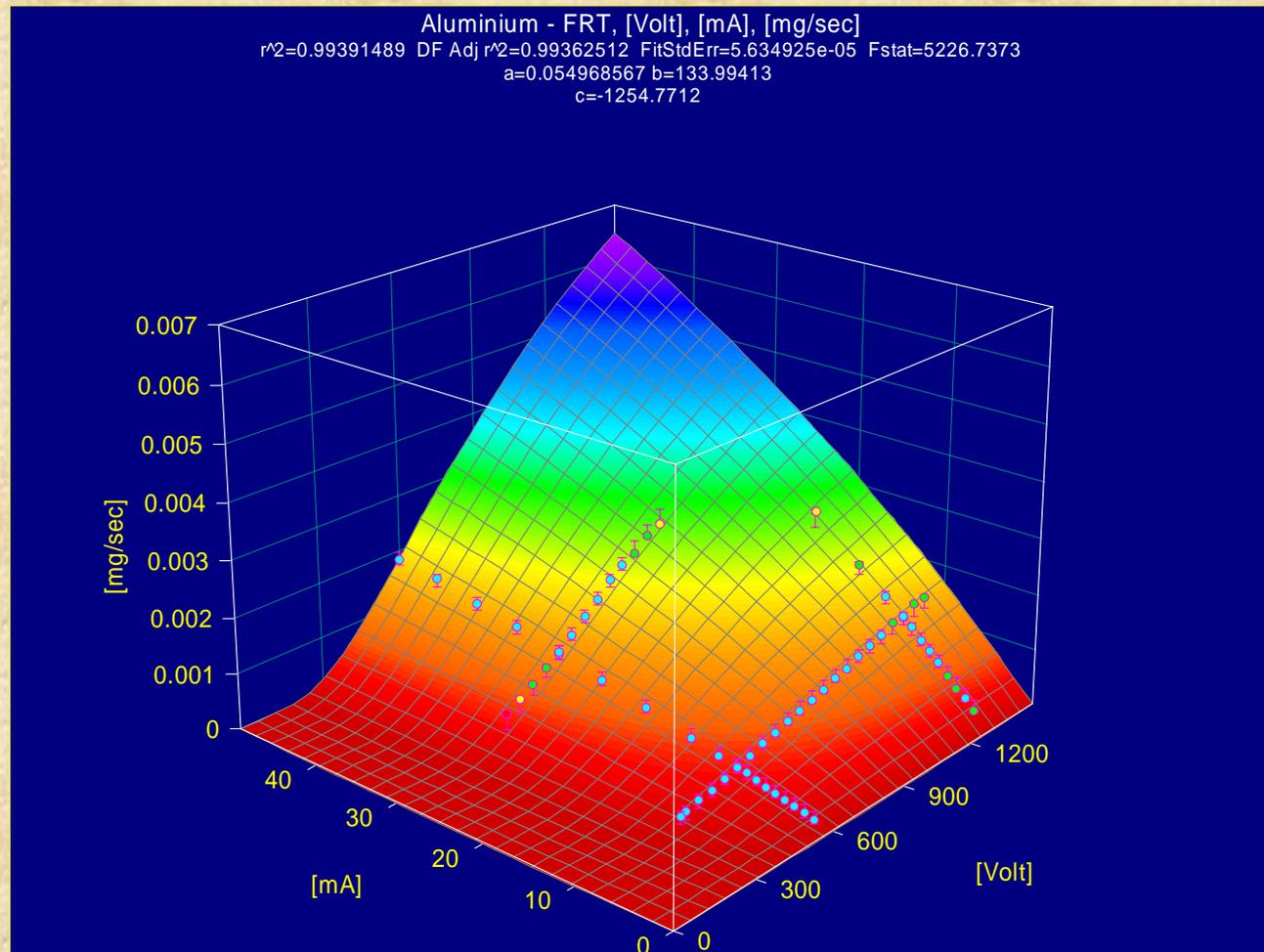
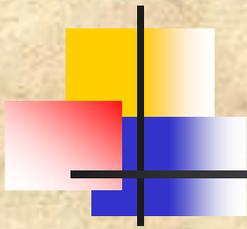
Absolute Sputtergeschwindigkeit Nickel



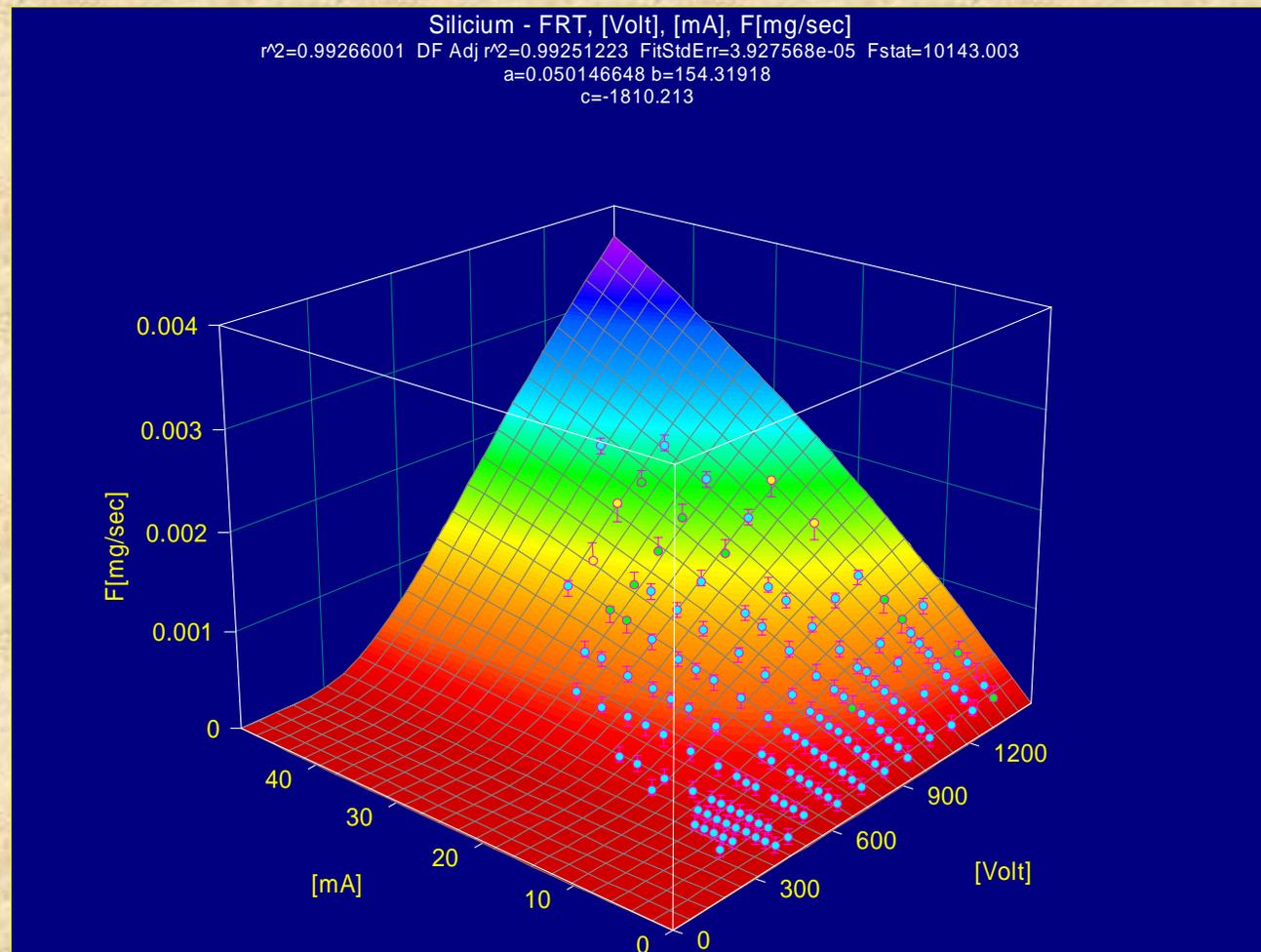
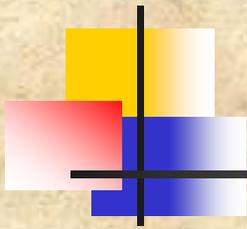
Absolute Sputtergeschwindigkeit Eisen



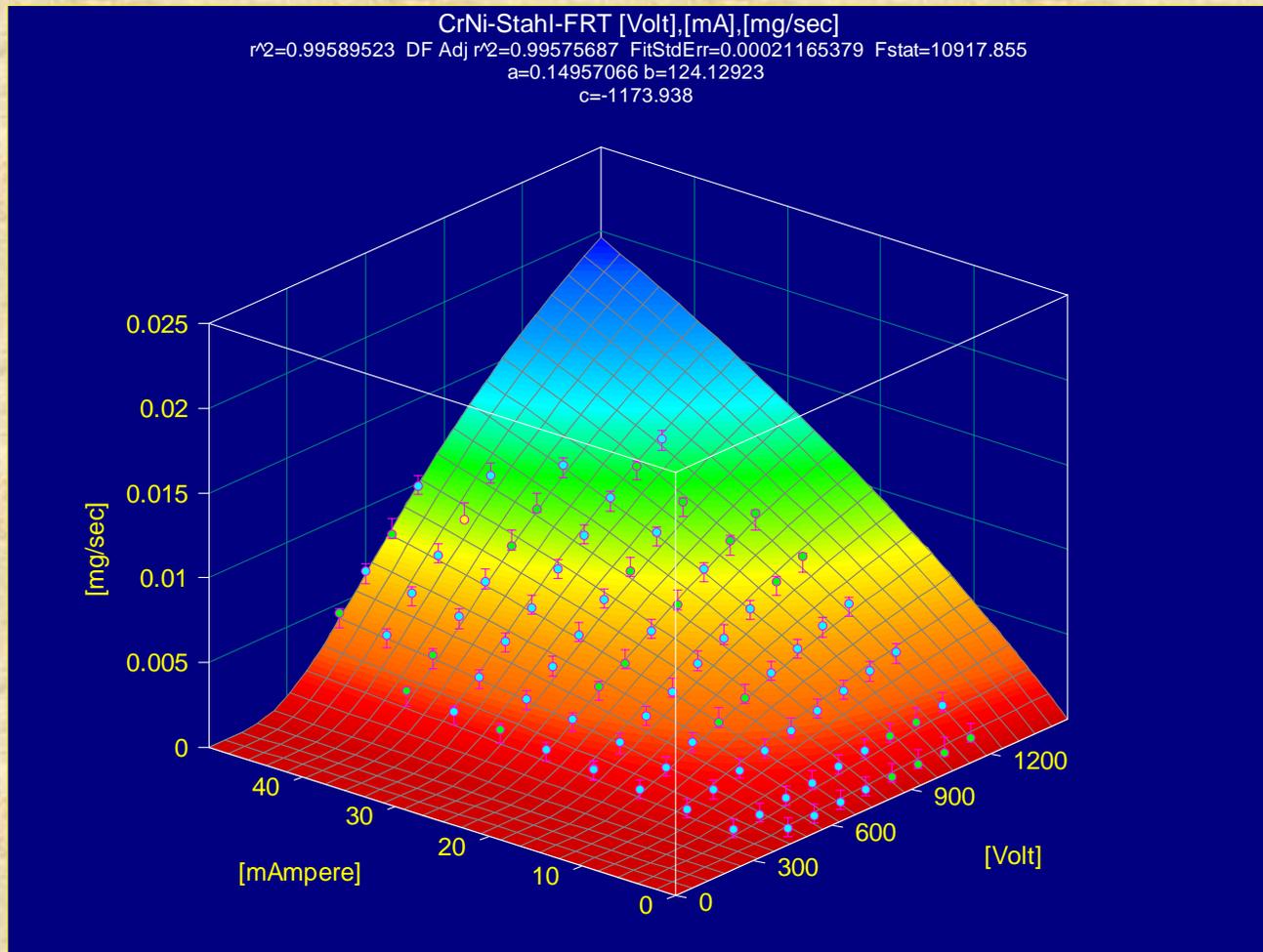
Absolute Sputtergeschwindigkeit Aluminium



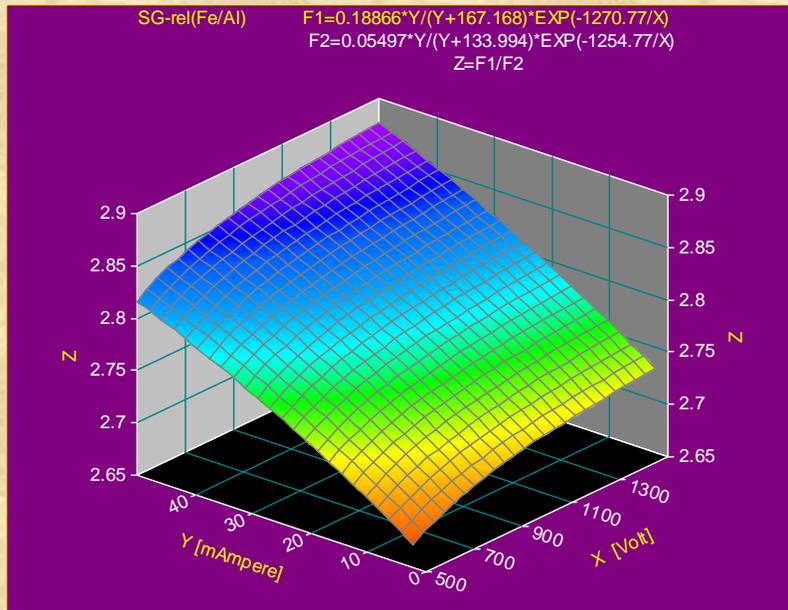
Absolute Sputtergeschwindigkeit Silicium



Absolute Sputtergeschwindigkeit 18/8- CrNi-Stahl

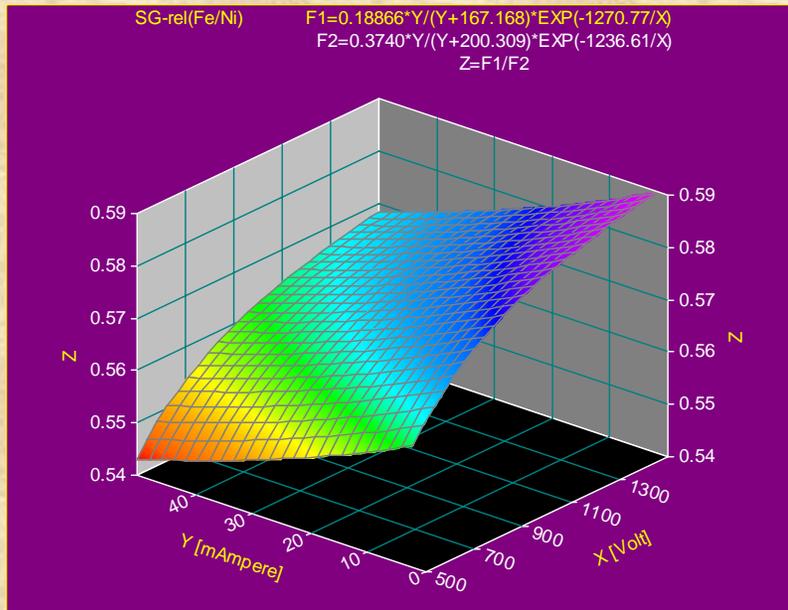


Relative Sputterrate von Aluminium/Eisen



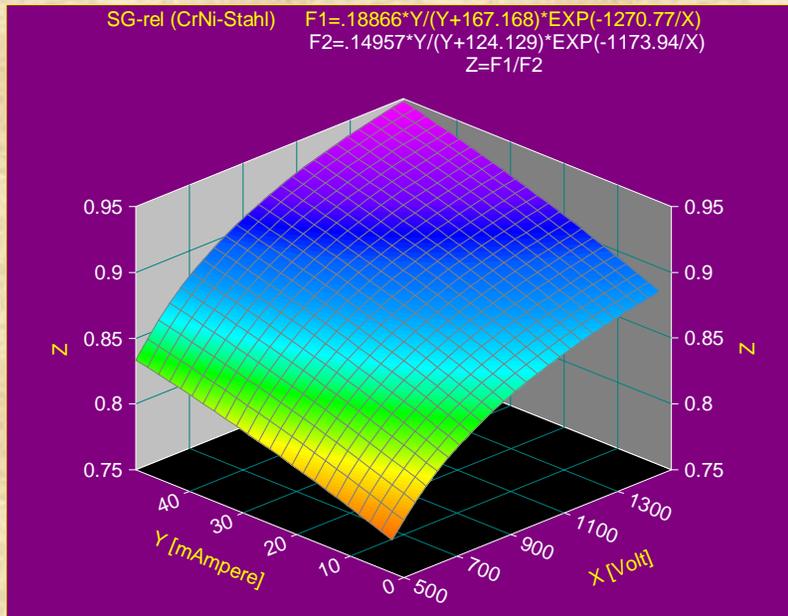
Änderung der relativen
Sputterrate (Massenverhältnis)
etwa **7%**

Relative Sputterrate von Nickel/Eisen



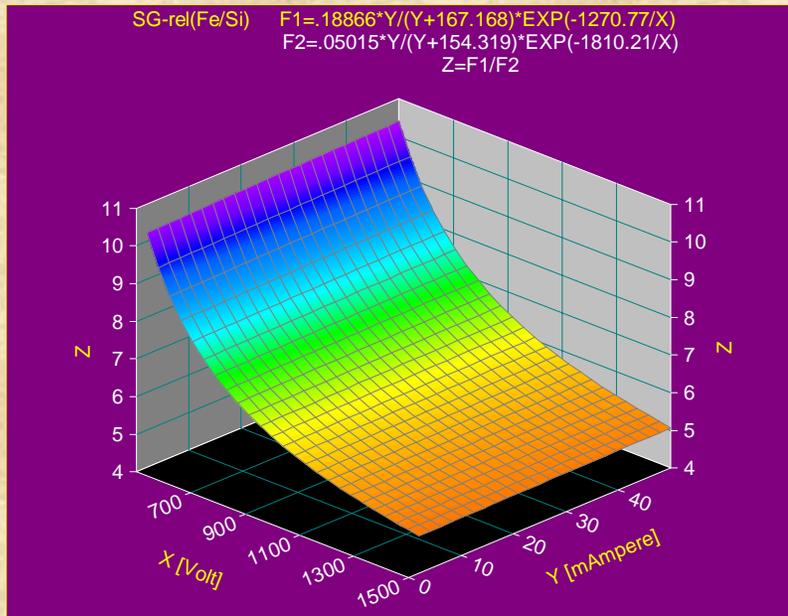
Änderung der relativen
Sputterrate (Massenverhältnis)
etwa **8%**

Relative Sputterrate von CrNi-Stahl/Eisen

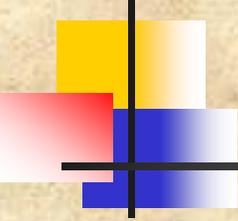


Änderung der relativen
Sputterrate (Massenverhältnis)
etwa **23%**

Relative Sputterrate von Silicium/Eisen



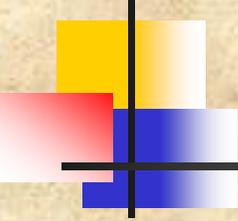
Änderung der relativen
Sputterrate (Massenverhältnis)
> 100%



Sputtergeschwindigkeit

$$SG = a * \frac{I}{(I + b)} * e^{\left(\frac{-c}{U}\right)}$$

I	:	Strom
U	:	Spannung
a, b, c	:	Material-Konstanten



Sputtergeschwindigkeit

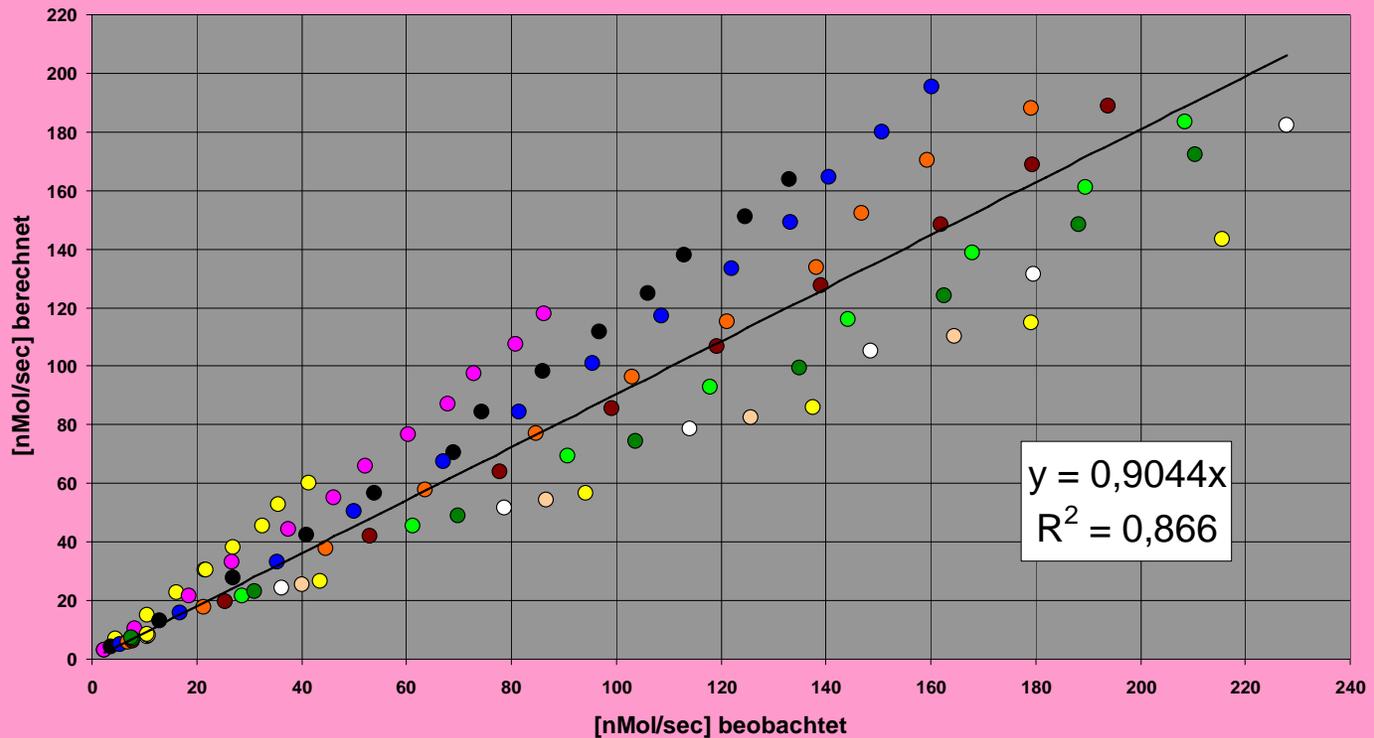
Eine tiefer gehende Analyse der angegebenen Gleichung führt zunächst zu:

$$SG[\text{Mol} / \text{sec}] = \frac{b * I}{96500 * (I + b)} * e^{\frac{-c}{U}}$$

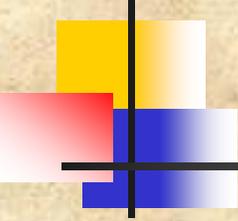
I	:	Strom [Ampere]
U	:	Spannung [Volt]
b, c	:	Material-Konstanten
96500	:	Coulomb/Mol elektrochemisches Äquivalent

Sputtergeschwindigkeit

Vergleich zwischen beobachteter und berechneter Sputtergeschwindigkeit für
18/8 CrNi-Stahl



- ein gesputtertes Teilchen pro sputterndem Argonion



Sputtergeschwindigkeit

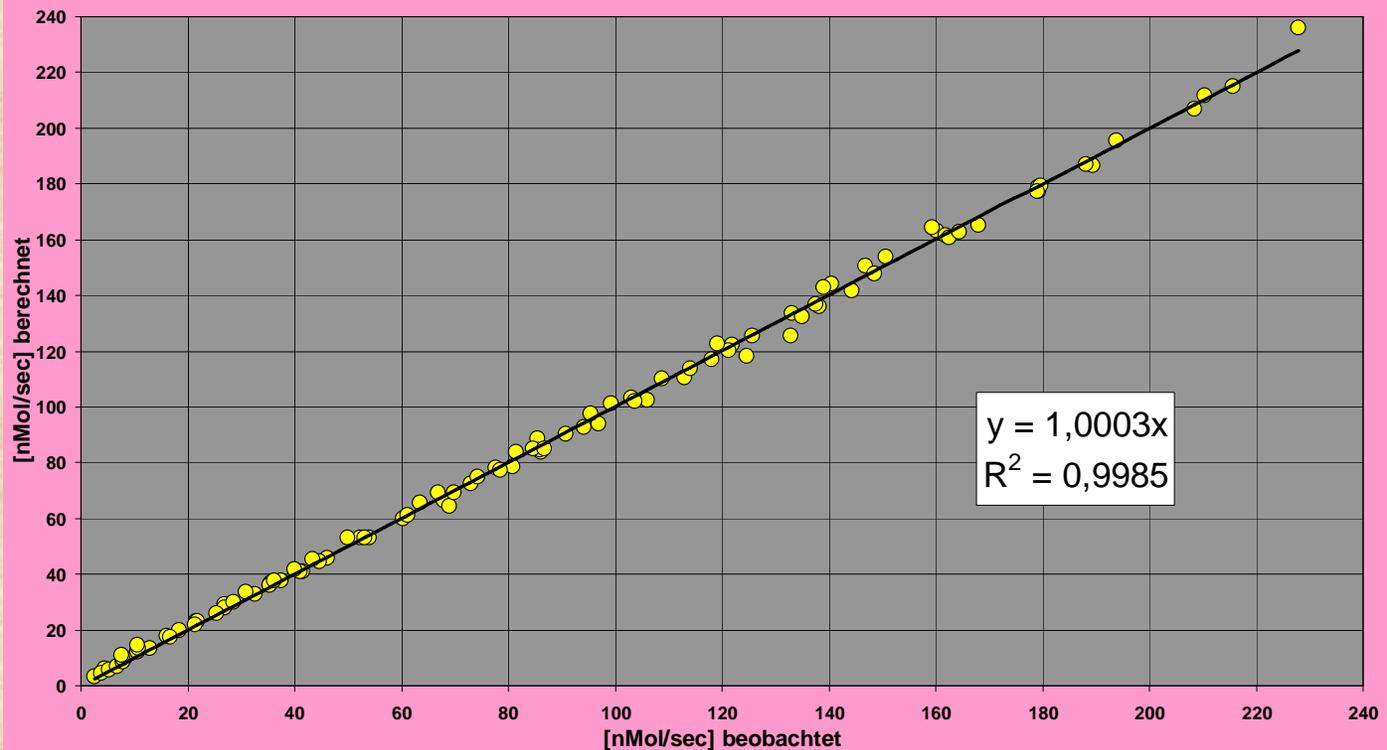
Berücksichtigt man auch Mehrfach-sputterprozesse, so erhält man:

$$SG[Mol/sec] = \frac{b * I}{96500 * (I + b)} * \sum_{n=1}^{n=\infty} g_n e^{\left(\frac{-n * c}{U} \right)}$$

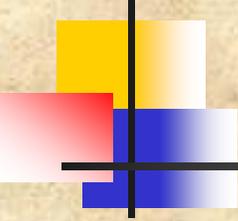
I	:	Strom [Ampere]
U	:	Spannung [Volt]
b, c	:	Material-Konstanten
96500	:	Coulomb/Mol elektrochemisches Äquivalent
g_n	:	Gewichtung für Mehrfachprozesse

Sputtergeschwindigkeit

Vergleich zwischen beobachteter und berechneter Sputtergeschwindigkeit für
18/8-CrNi-Stahl



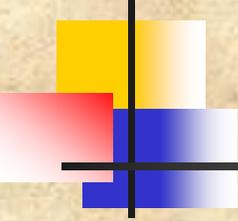
- Abnahme der Sputterwahrscheinlichkeit für Mehrteilchenprozesse
- Fehler der Stromanzeige korrigiert



Sputtergeschwindigkeit

$$SG[Mol / sec] = \frac{b * I}{96500 * (I + b) * (e^{\frac{c}{U}} - a)}$$

I:	Strom[Ampere]
b:	Grenzstrom [Ampere]
U:	Spannung [Volt]
c:	„Onset-Spannung“
96500:	elektrochemisches Äquivalent [Coulomb/Mol]
a:	Wahrscheinlichkeit von Mehrfachsputterprozessen

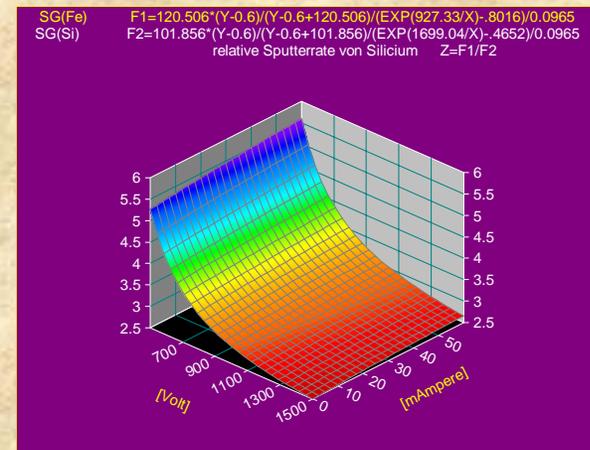
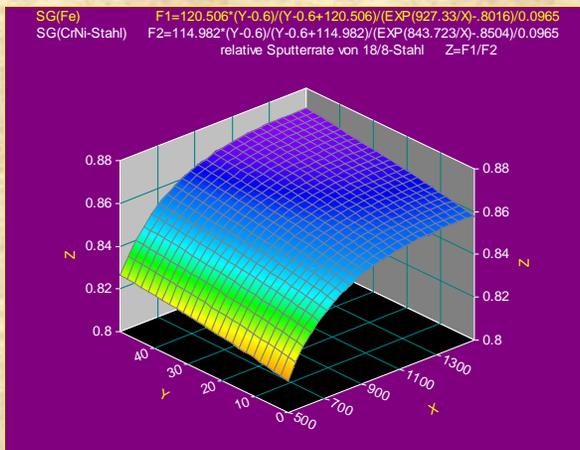
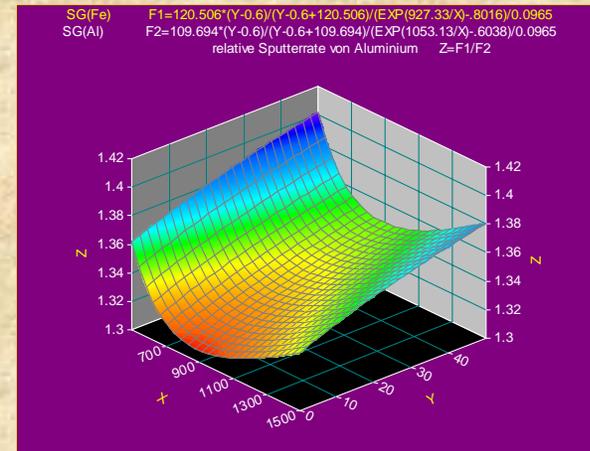
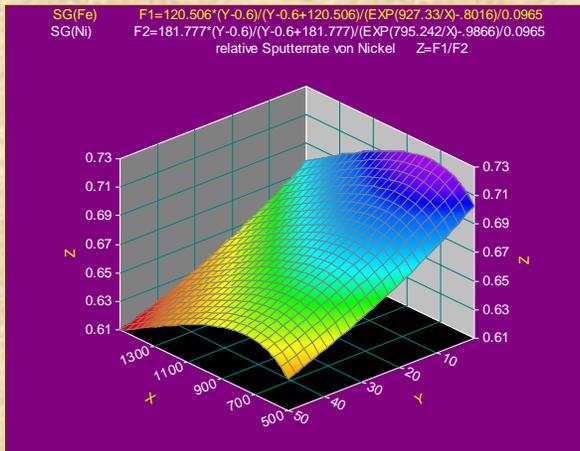


Sputtergeschwindigkeit

- Bestimmung realistischer Sputterraten:
 - Bestimmung der Kratervolumina an mindestens fünf Kratern. Dabei sollten deutlich unterschiedliche Strom- und Spannungs-Werte verwendet werden.
 - Berechnung der Konstanten durch Anpassung der Messwerte an die angegebene Gleichung.

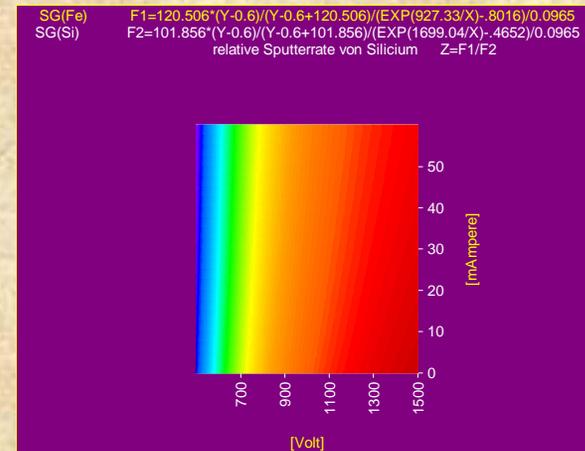
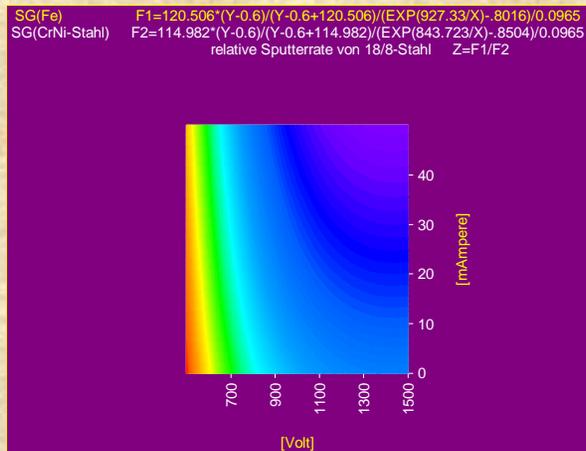
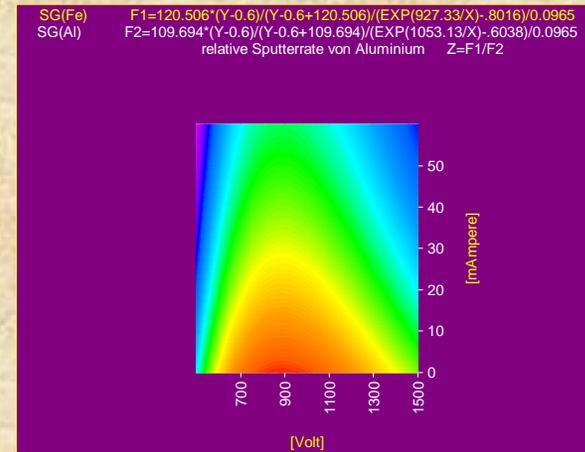
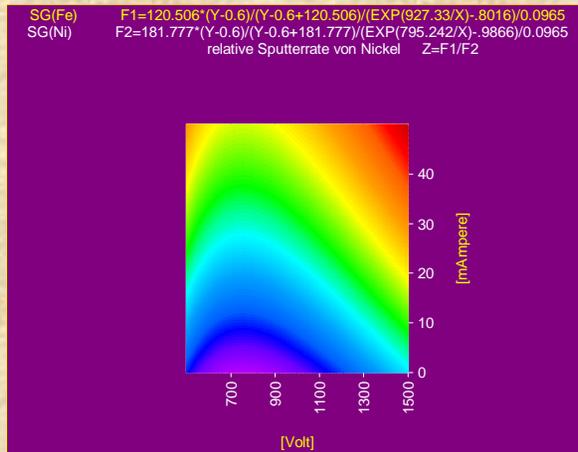
Relative Sputterraten gegenüber Eisen

(Verhältnis der Zahl der gesputterten Atome)

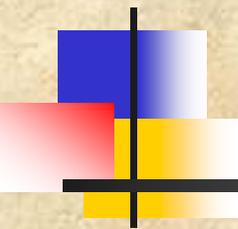


Relative Sputterraten gegenüber Eisen

(Verhältnis der Zahl der gesputterten Atome)



Geometrie des Sputterprozesses

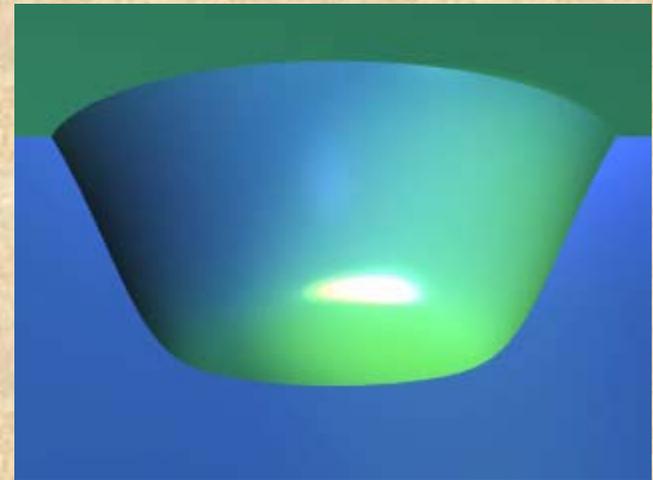


Kraterdurchmesser
Sputtergeschwindigkeit

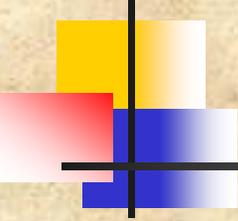
Kraterprofil

Kraterprofil

- Das Profil eines Sputterkraters verändert sich mit Strom und Spannung in charakteristischer Art und Weise.
- Es gibt drei Typen von Kraterprofilen:
 - Ein Minimum im Zentrum
 - Je ein Minimum im Zentrum und Randbereich und ein Maximum dazwischen
 - Ein Minimum im Randbereich und ein Maximum im Zentrum



NiP 5mA 334-1225 Volt

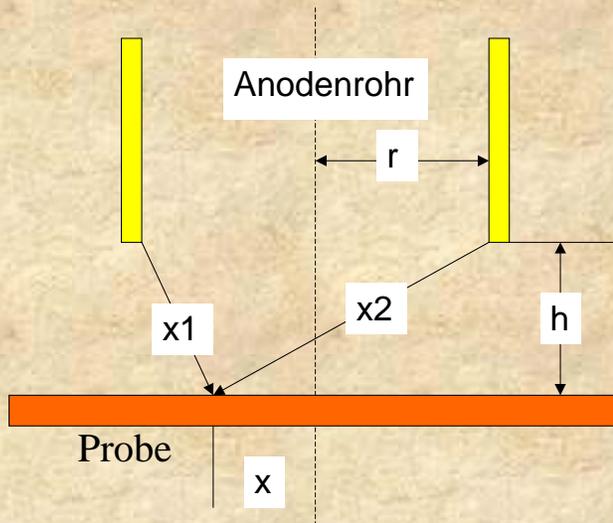


Kraterprofil

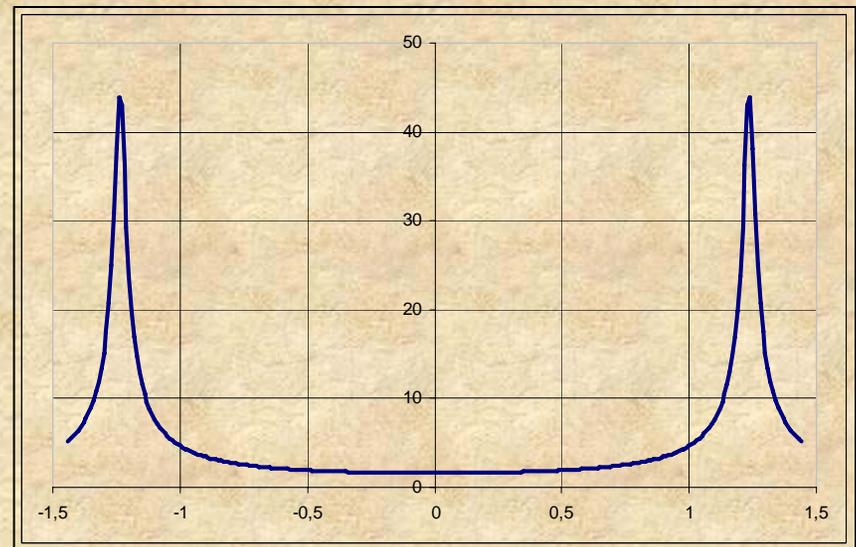
- Kann das Profil von Sutterkratern durch ein einfaches, verständliches Modell beschrieben werden?
- Wäre ein solches Modell in der Lage alle beobachteten Profile zu beschreiben?

Kraterprofil

Ableitung des Feldstärke-
proportionalen Effekts

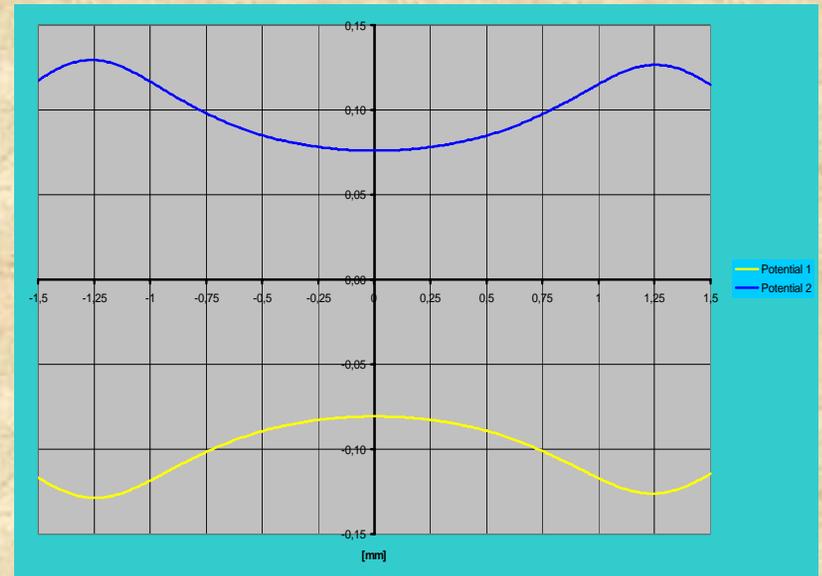


$$\frac{1}{\sqrt{((-r-x)^2 + h^2)}} + \frac{1}{\sqrt{((r-x)^2 + h^2)}}$$



Kraterprofil

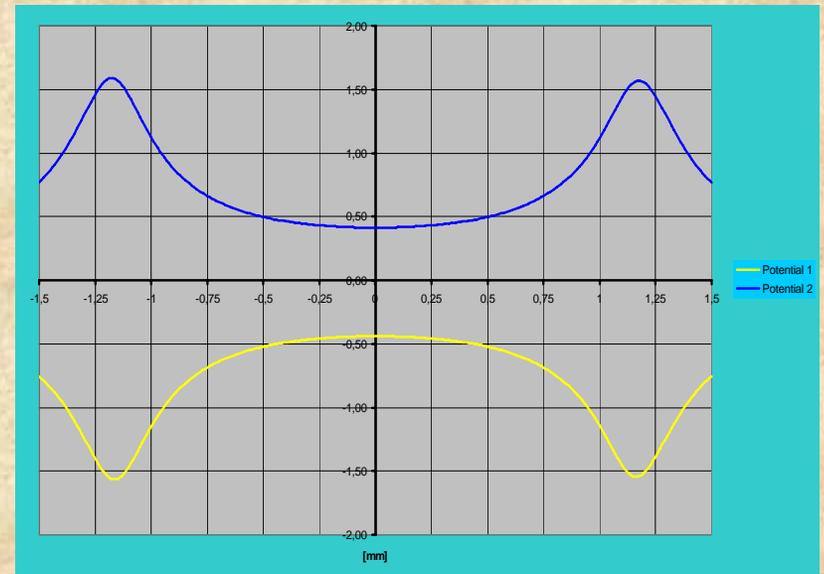
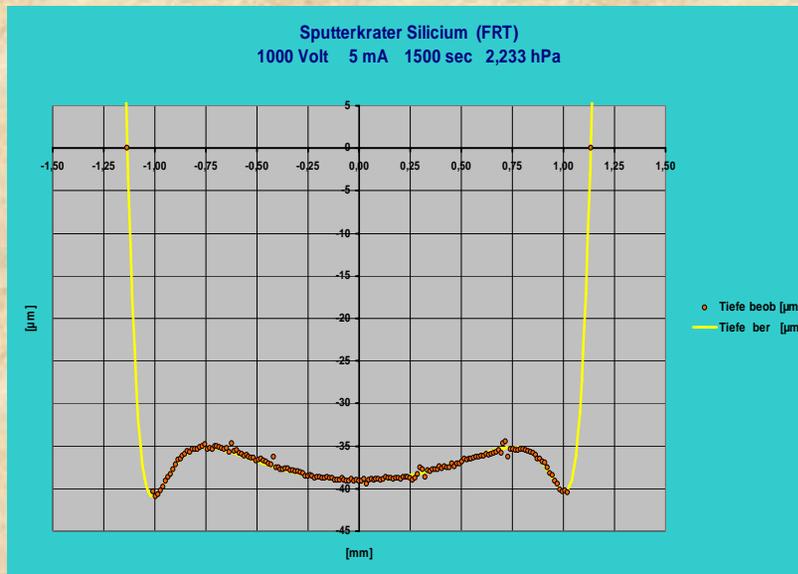
- Kratertypus 1
 - ein Minimum im Zentrum



Kraterprofil

- Kratertypus 2

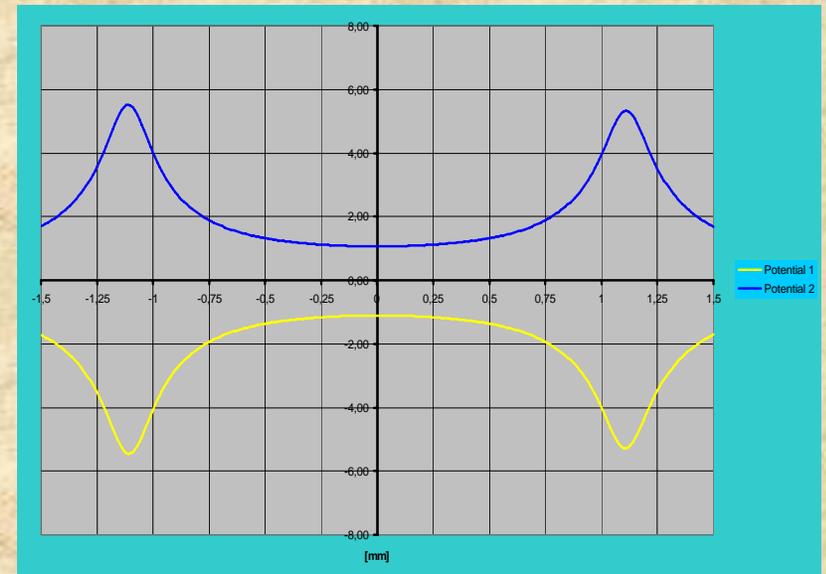
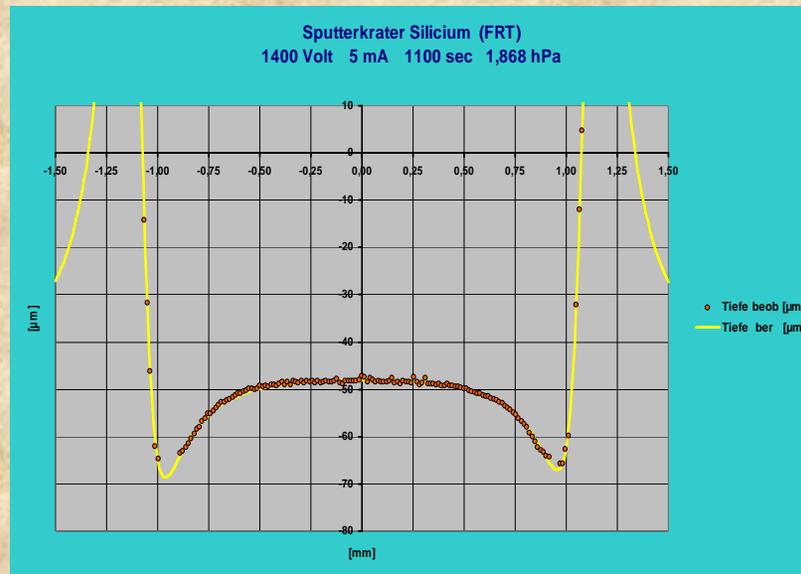
- je ein Minimum im Zentrum und im Randbereich, sowie ein Maximum dazwischen



Kraterprofil

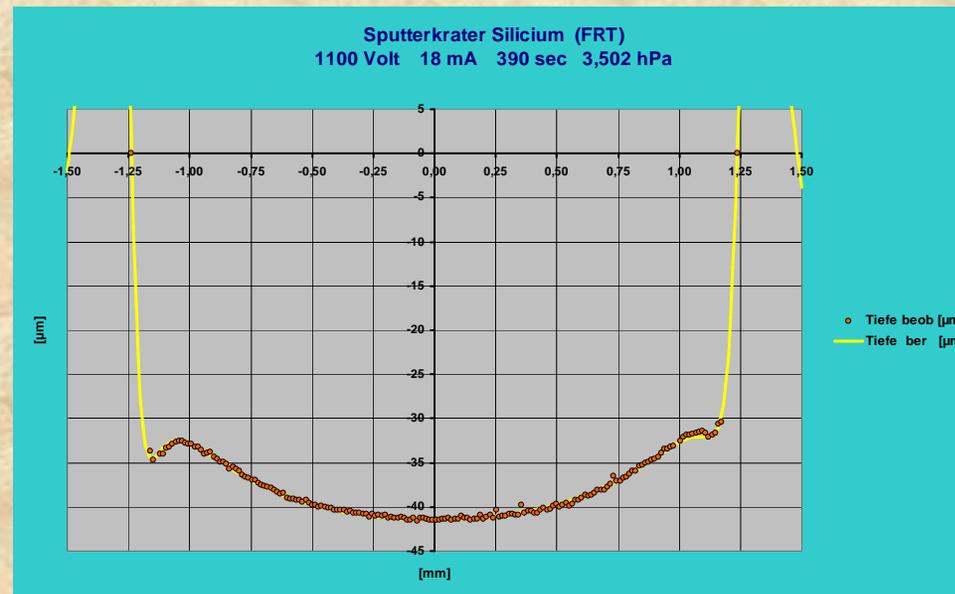
■ Kratertypus 3

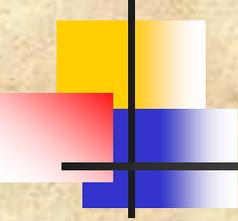
- ein Minimum im Randbereich, sowie ein Maximum im Zentrum



Kraterprofil

- Beschreibung von Symmetrieabweichungen:
 - Eine genaue Betrachtung der Kratergeometrie zeigt mehr oder weniger starke Abweichungen von der Rotationssymmetrie.



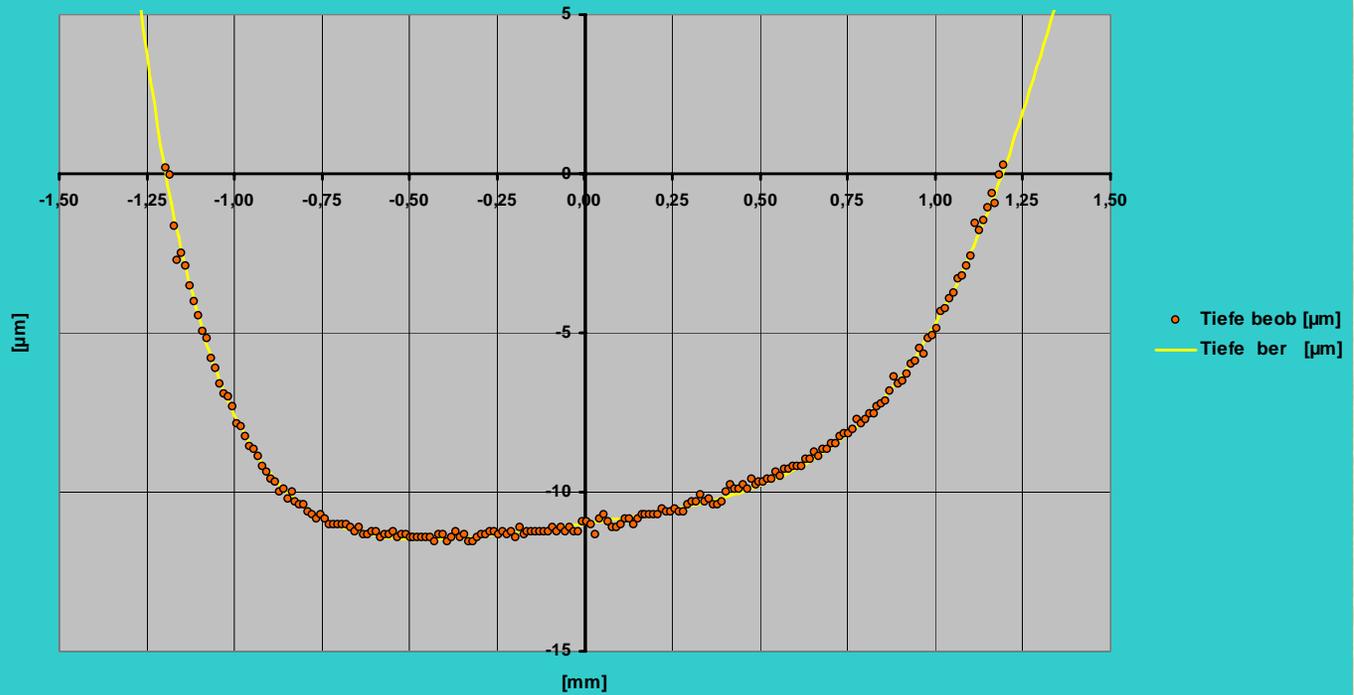


Kraterprofil

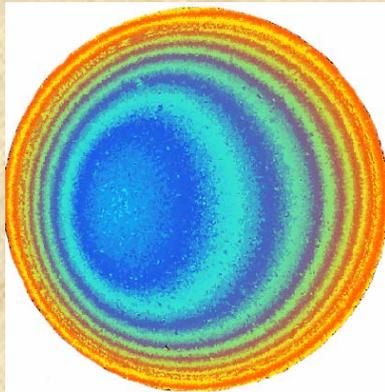
- Das Modell erlaubt die Erklärung einer Asymmetrie
 - Annahme einer geringfügig elliptisch verformten Anode
 - Annahme einer leichten Verkipfung der Probe gegenüber der Anodenfront.

Kraterprofil

Sputterkrater Silicium (FRT)
400 Volt 7 mA 5300 sec 4,670 hPa

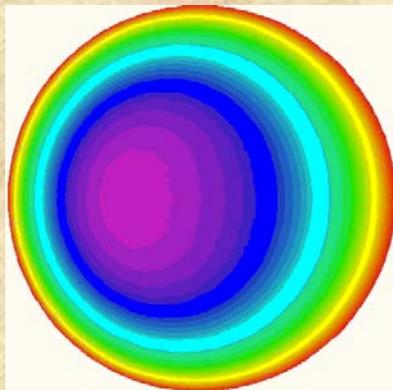


Kraterprofil



Silicium 400Volt 7 mAmpere

3d-Profil mit FRT-Microprof
gemessen



3d-Profil unter Annahme
einer Probenkipfung
berechnet