

**Handbuch zu**  
**GSI-Materialforschung**  
**RKM-Geometrie**  
Version 1.0 (2001)  
Ein Programm von Christian Müller

**Inhaltsverzeichnis**

1.1 Systemvoraussetzungen	S. 02
1.2 De-/Installation	S. 02
1.3 Programmstart	S. 02
2.1 Grundsätzliche Bedienungshinweise	S. 03
2.2 Datei-Formate	S. 04
3.1 RKM-Simulation	S. 04
3.2 Oberfläche rekonstruieren	S. 06
3.3 Rekonstruierte Oberfläche überprüfen	S. 08
3.4 Spitzen-Datei erstellen	S. 11
4.1 Zusatz: SpitzenGeo	S. 12
4.2 Zusatz: ImageJ	S. 16
5.1 Anhang: Arbeitsweise von RKM-Geometrie	S. 20

## 1.1 Systemvoraussetzungen

Obwohl RKM-Geometrie nur unter Windows95/98 ausgiebig getestet wurde, sollte es prinzipiell auch unter WindowsNT lauffähig sein. Außerdem ist darauf zu achten, daß bei englischen Betriebssystemen die Kommas (",") durch Punkte (".") zu ersetzen sind. An den Rechner gibt es ansonsten keinerlei besondere Anforderungen. Man sollte sich lediglich klar darüber sein, daß eine akzeptable Rechenleistung erst etwa ab einem Pentium 200 zu erwarten ist.

## 1.2 Installation

Die Installation von RKM-Geometrie kann durch Doppelklicken auf "Setup.exe" in Ihrem CDRom-Verzeichnis gestartet werden.

Bei der Installation folgen Sie bitte einfach den Anweisungen auf dem Bildschirm.

Soll das Programm nicht mehr verwendet werden, so sollte es über "Start/Systemsteuerung/Programme" deinstalliert werden.

## 1.3 Programmstart

Nach der Installation kann RKMGeometrie bequem im Startmenü über "Start/Programme/RKMGeometrie" gestartet werden. Nach dem Start erscheint das obligatorische Startfenster, welches durch Klicken auf den Knopf [Starten!] verlassen werden kann.



Anschließend befindet man sich im Hauptfenster des Programmes. Hier kann die gewünschte Funktion ausgewählt und über [Funktion aufrufen] gestartet werden. Um das Programm zu beenden einfach [Beenden] drücken.



Die einzelnen Funktionen werden im [Abschnitt 3](#) erläutert.

## 2.1 Grundsätzliche Bedienungshinweise

1.) Während der eigentlichen Berechnungen, welche unter Umständen bis zu mehreren Minuten (abhängig von den Bildgrößen und Ihrem Computer) dauern können, reagiert RKM-Geometrie nicht mehr auf Eingaben. Sollten Sie nebenher Ihren Computer für andere Dinge benutzen, so kommt es in den Fenstern von RKM-Geometrie zu Bildfehlern. Dies beeinflusst jedoch i.a. nicht die Rechnungen, welche das Programm durchführt. Nach Beendigung der Rechnungen werden alle Fenster wieder einwandfrei dargestellt. Sollten Sie das Programm während den Berechnungen beenden wollen, so muß dies über den Task-Manager von Windows passieren. Zum Aufrufen des Task-Managers einfach die Tasten [Strg], [Alt] und [Entf] gleichzeitig drücken.

2.) Damit das Programm korrekte Ergebnisse liefert, muß bei der Benutzung einer Funktion unbedingt darauf geachtet werden, daß alle Bilder dabei in x- und y-Richtung untereinander übereinstimmende Auflösungen haben. (So wäre z.B. eine erlaubte Kombination:

Bild 1: x-Richtung: 3,00 nm/Pixel, y-Richtung: 2,98 nm/Pixel, Bild 2: x-Richtung: 3,00 nm/Pixel, y-Richtung: 2,98 nm/Pixel; **aber nicht**: Bild 1: x-Richtung: 3,00 nm/Pixel, y-Richtung: 3,00 nm/Pixel, Bild 2: x-Richtung: 4,00 nm/Pixel, y-Richtung: 4,00 nm/Pixel)

## 2.2 Dateiformate

Derzeit unterstützt RKM-Geometrie ausschließlich Text-Dateien. Da es sich um bildverarbeitende Funktionen in diesem Programm handelt, mag Ihnen dies jetzt ein wenig seltsam vorkommen, aber mit diesem Umstand sind durchaus auch Vorteile verbunden. Zwar müssen Sie Ihre Bilder in Text-Dateien umwandeln (siehe dazu [4.1 Zusatz: ImageJ](#)), dafür können Sie aber äußerst einfach selbst künstliche Bilder erzeugen. Dies ist für die volle Ausnutzung des Programmes unerlässlich (siehe z.B. [3.2 Oberfläche rekonstruieren](#)), insbesondere wenn Sie mit dessen Hilfe die von Ihnen verwendete Sensorspitze rekonstruieren wollen.

## 3.1 RKM-Simulation

Dieser Programmteil simuliert die rein geometrische Abbildung einer bekannten Oberfläche mit einer bekannten, endlich großen Sensorspitze. Reibungs- oder Härteeffekte werden dabei nicht berücksichtigt. D.h. es wird davon ausgegangen, daß keine lateralen Kräfte vorhanden sind und daß die Oberfläche überall ideal hart ist.

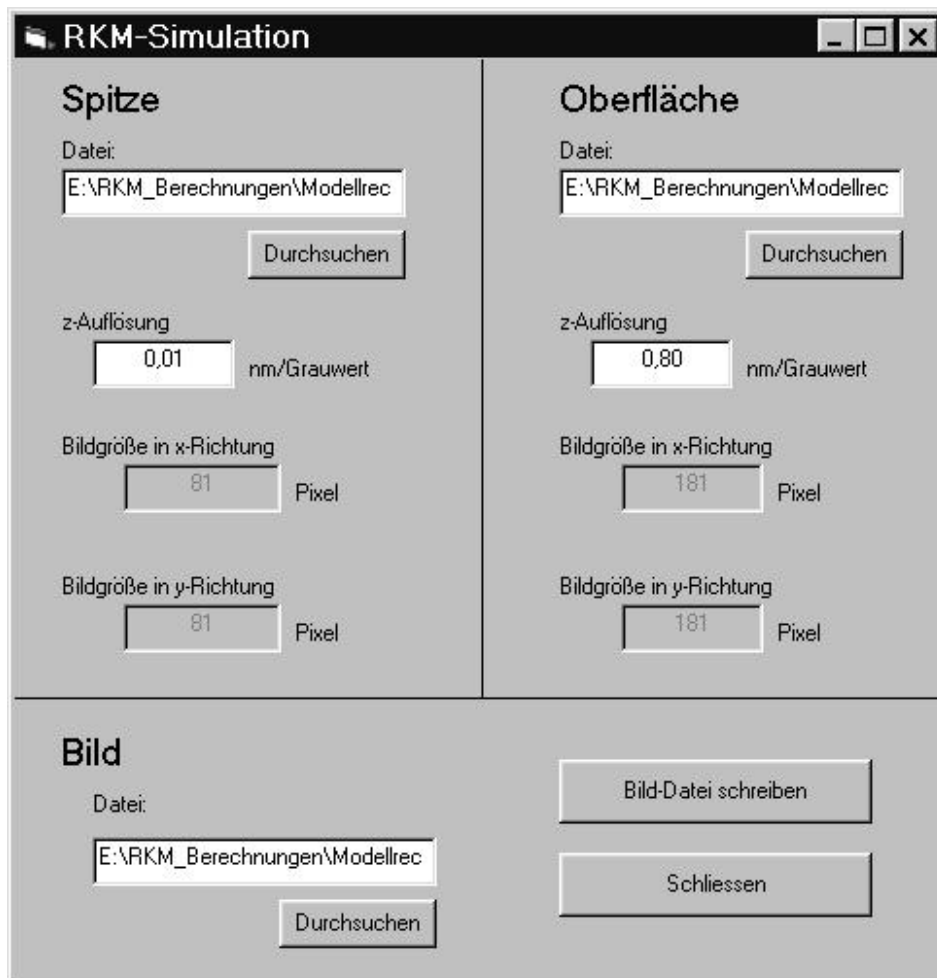
Nach dem Aufruf dieser Funktion sieht man folgendes Bild vor sich:

The screenshot shows a software window titled "RKM-Simulation". It is divided into three main panels. The top-left panel, labeled "Spitze", contains a "Datei:" text box, a "Durchsuchen" button, a "z-Auflösung" field with the value "0,5" and the unit "nm/Grauwert", and two more fields for "Bildgröße in x-Richtung" and "Bildgröße in y-Richtung", both with "Pixel" units. The top-right panel, labeled "Oberfläche", has an identical layout. The bottom panel, labeled "Bild", contains a "Datei:" text box, a "Durchsuchen" button, a "Bild-Datei schreiben" button, and a "Schliessen" button. The window has standard Windows-style title bar controls (minimize, maximize, close) in the top right corner.

Sowohl bei der Spitzen-Datei als auch bei der Oberflächen-Datei muß es sich um Bilder im Textformat (siehe dazu [4.1 Zusatz: ImageJ](#)) handeln, wobei jedoch die Endung ".txt" nicht zwingend ist. Die gewünschten Dateien wählt man durch Betätigen der Schaltfläche [Durchsuchen] aus. Durch Betätigen des Knopfen öffnet sich ein übliches Windows-Dialogfenster:



Nachdem man so die gewünschten Dateien ausgewählt und den Namen der Ausgabe-Datei festgelegt hat, muß noch die Empfindlichkeit in z-Richtung für die beiden Eingabe-Dateien in den entsprechenden Feldern eingegeben werden (in nm/Grauwert). Die Bildgrößen werden von RKMGeometrie automatisch erkannt und zur Kontrolle angezeigt. Das Fenster müßte dann in etwa wie folgt aussehen:



Anschließend müssen die Eingaben mit [Bild-Datei schreiben] bestätigt werden. Es öffnet sich folgendes Fenster:



Die eigentliche Funktion wird jetzt durch betätigen von [Starten!] gestartet. Danach ist das Programm nicht mehr einfach zu stoppen (nur noch über den Task-Manager) bis die Berechnungen beendet sind. Dies kann unter Umständen (sehr große Bilder und langsamer Rechner) eine Stunde oder länger dauern. Den Fortschritt der Berechnungen kann man jederzeit am Fortschrittsbalken ablesen:



Nach Beendigung aller Operationen öffnet sich dann dieses Fenster:



Hier können Sie die z-Auflösung des neu erstellten Bildes ablesen (welche im übrigen immer der empfindlicheren der beiden Eingabe-Bilder entspricht). Durch betätigen von [Schliessen] kommen Sie wieder zum Startbildschirm dieser Funktion. Sie können jetzt erneut eine Simulation starten oder diesen Programmteil mit [Schliessen] verlassen.

## 3.2 Oberfläche rekonstruieren

Dieser Programmteil erlaubt es, die tatsächliche Oberflächenstruktur zu rekonstruieren, falls die verwendete Spitze bekannt und deren Topographie als Bild vorhanden ist (siehe auch [3.3 Rekonstruierte Oberfläche überprüfen](#) und [3.4 Spitzen-Datei erstellen](#), sowie [4.1 Kalibration](#)). Dabei ist allerdings zu beachten, daß die ursprüngliche Oberfläche nur in solchen Gebieten eindeutig bestimmt ist, in denen der abtastende Sensor nur einen einfachen Kontaktpunkt an

die Oberfläche hatte. In Gebieten mit mehrfachen Kontakt zwischen Sensor und Oberfläche wird durch die Rekonstruktion lediglich ein oberer Grenzwert für die tatsächliche Topographie berechnet. Wie man solche Gebiete erkennt, kann im Abschnitt [3.3 Rekonstruierte Oberfläche überprüfen](#) nachgelesen werden.

Die Handhabung dieser Funktion erfolgt in völliger Analogie zum vorangegangenen Abschnitt ([3.1](#)):

**RKM-Rückrechnung**

**Spitze**

Datei:

Durchsuchen

z-Auflösung  nm/Grauwert

Bildgröße in x-Richtung  Pixel

Bildgröße in y-Richtung  Pixel

**Bild**

Datei:

Durchsuchen

z-Auflösung  nm/Grauwert

Bildgröße in x-Richtung  Pixel

Bildgröße in y-Richtung  Pixel

**rekonstr. Oberfläche**

Datei:

Durchsuchen

Oberflächen-Datei schreiben

Schliessen

In den oberen beiden Bereichen öffnet man die Dateien, welche die Spitze und die vom Rasterkraftmikroskop aufgenommene Topographie darstellen. Ferner muß natürlich natürlich jeweils die Auflösung in z-Richtung (nm/Grauwert) eingegeben werden. Nachdem der Name der Ausgabe-Datei im unteren Bereich festgelegt wurde, kann mit [Oberflächen-Datei schreiben] das bereits vorgestellte Dialogfenster zum Starten der Funktion aufgerufen werden:

**Oberflächen-Datei...**

Berechnung:

■■■■

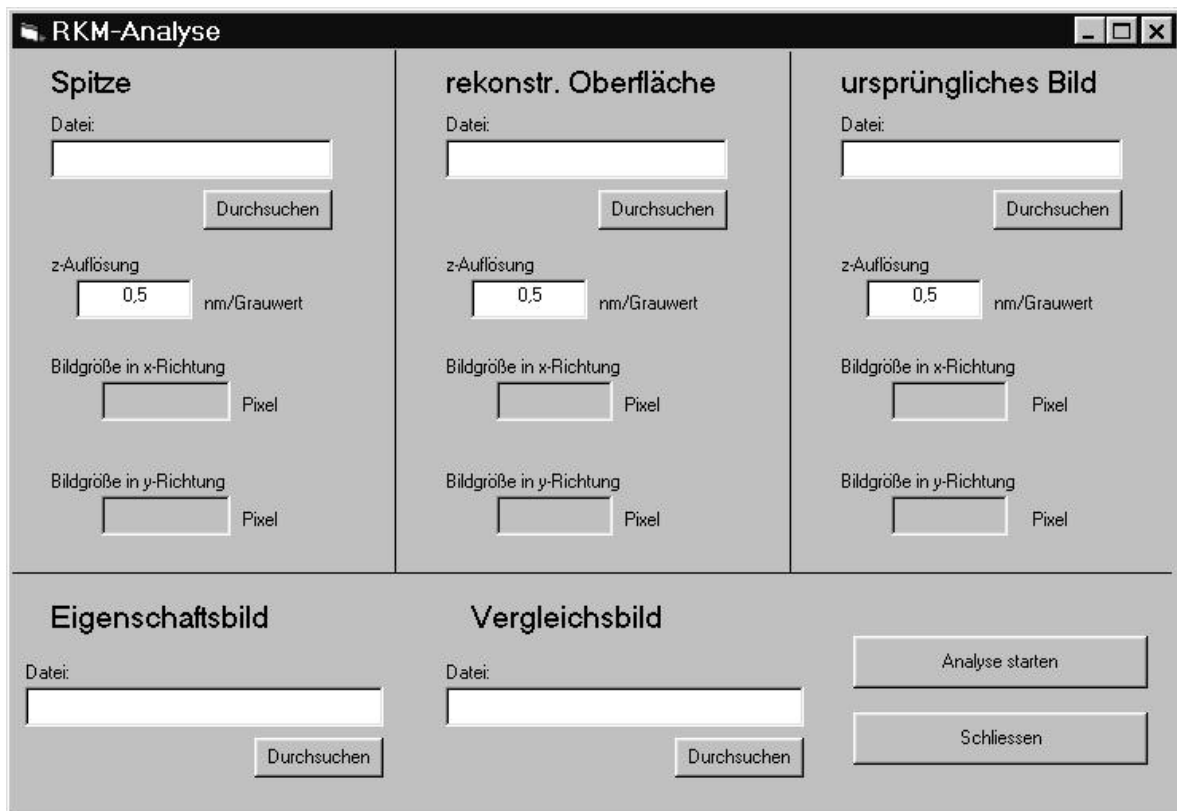
Starten! Schliessen

Der Fortschrittsbalken gibt nach Betätigen der [Starten!] Schaltfläche den aktuellen Stand der Berechnungen wieder. Im Abschlußfenster, nach Beendigung der Berechnungen, kann die Auflösung in z-Richtung der neu erstellten Oberflächen-Datei abgelesen werden:



### 3.3 Rekonstruierte Oberfläche überprüfen

Wie bereits erwähnt, kann es bei der Rekonstruktion von Oberflächen (in der Literatur oft fälschlicherweise als Entfaltung bezeichnet) zu Abweichungen von der Realität kommen. Um zu überprüfen, wie gut es dem Programm gelungen ist, die ursprüngliche Oberfläche zu rekonstruieren, wird diese Funktion verwendet:

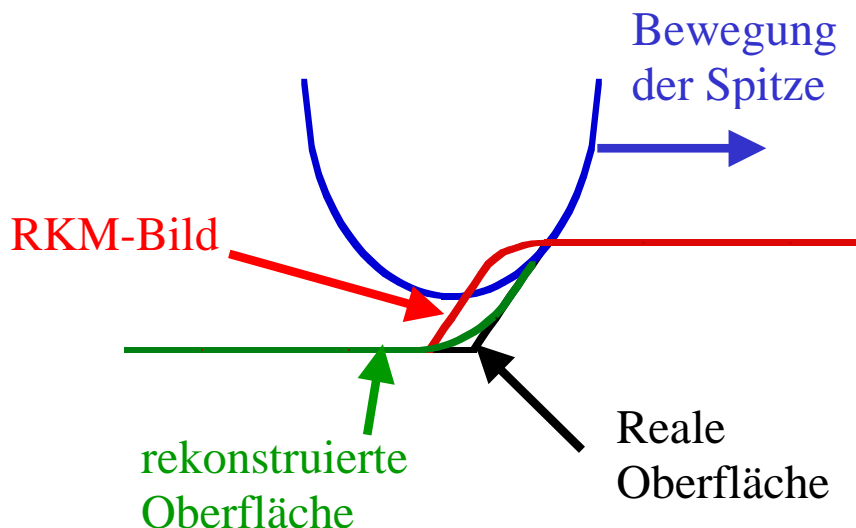


Dieser Programmteil überprüft das mit [3.2 Oberfläche rekonstruieren](#) gewonnene Ergebnis in mehrfacher Hinsicht. In die oberen drei Bereiche werden nacheinander das Bild der Spitze, die rekonstruierte Oberfläche und das vom Rasterkraftmikroskop erzeugte Bild geöffnet. Sollte die rekonstruierte Oberfläche vernünftig sein, so führt eine erneute Abbildung dieser mit der Spitze wieder auf das ursprüngliche Bild vom Rasterkraftmikroskop. Der erste Teil



der Analyse besteht also darin, die rekonstruierte Oberfläche simuliert wieder mit der Spitze abzubilden. Das Ergebnis wird anschließend mit dem ursprünglichen Bild (durch pixelweise Subtraktion) verglichen und das Ergebnis unter dem unter "Vergleichsbild" gewählten Namen als Bild abgespeichert. Idealerweise sollte das Vergleichsbild also lediglich überall den gleichen Wert (Offset) enthalten. Abweichungen bis zu zwei Grauwerten an einzelnen Stellen können jedoch aufgrund limitierter Rechengenauigkeit auch bei korrekten Berechnungen vorkommen. Sollten jedoch zwischen dem ursprünglichen und dem erneuten (simulierten) Abbild der Oberfläche erhebliche Abweichungen bestehen, so kann dies höchstwahrscheinlich nur an schlechten Annahmen über die Spitze liegen. Mit höchster Wahrscheinlichkeit war dann die real verwendete Spitze deutlich "schärfer" als durch die Spitzen-Datei repräsentiert. (Für eigene Betrachtungen gibt dieser Teil der Analyse noch eine weitere Datei aus mit dem Namen: "Name der rekonstruierten Oberfläche" + "\_w", welche das simulierte Abbild der rekonstruierten Oberfläche mit der Spitze darstellt).

Der zweite Teil der Analyse betrachtet den erneuten (simulierten) Abbildungsprozeß der rekonstruierten Oberfläche etwas genauer. Wie man sich leicht an der folgenden Abbildung überlegen kann, wird überall dort, wo die Spitze mehrfachen Kontakt mit der Oberfläche hat, nicht die reale Oberfläche, sondern ein Teil der Topographie der Spitze wiedergegeben (siehe auch [5.1 Anhang: Arbeitsweise von RKM-Geometrie](#)):



Der zweite Teil der Analyse zählt deswegen die Anzahl der Berührungspunkte zwischen Spitze und Oberfläche bei der erneuten (simulierten) Abbildung. Da Gebiete, in welchen die reale Spitze die reale Oberfläche mehrfach berührt hat, bei der Rekonstruktion dem Spitzenverlauf in Teilen ähnlich sehen, kommt es bei der erneuten Abbildung zu einer Häufung von Berührungspunkten. Unter dem unter "Eigenschaftsbild" gewählten Namen wird ein Bild angelegt, deren z-Werte gerade die Anzahl der Berührungspunkte bei dieser Operation sind! Idealerweise, wenn die originale Oberfläche perfekt rekonstruiert werden konnte, enthält dieses Eigenschaftsbild also überall den Wert 1. Es kommt aber in der Realität u.a. auch durch Begrenzung der Rechengenauigkeiten zu Werten bis zu etwa 3 auch bei perfekt rekonstruierten Oberflächen. (Es handelt sich dabei dann um direkt benachbarte Spitzenpunkte). Die Bereiche in denen das Bild jedoch die reale Oberfläche nicht mehr repräsentiert (sondern nur noch eine obere Grenze), zeigen sich im Eigenschaftsbild (bei ausreichender Bildauflösung) durch deutlich höhere Werte als 3. Da die Anzahl der Berührungspunkte ins Eigenschaftsbild an die jeweilige Position der Spitze (und nicht an die Position der Kontaktpunkte) geschrieben wird, ist in einem weiten Bereich um den Ort eines solch hohen Eigenschaftswertes vorsicht geboten (bis zu einer Entfernung der Spitzengröße!). Zukünftige Versionen des Programmes sollen wesentliche Verbesserungen enthalten, die die

Interpretation des Eigenschaftsbildes wesentlich vereinfachen werden (z.B. Gewichtung der Anzahl der Berührungspunkte mit deren maximalen Entfernung auf der Spitze für jeder Position). Das Starten der Analyse erfolgt in völliger Analogie zu den Abschnitten 3.2 und 3.3: zunächst müssen Sie [Analyse starten] auswählen und im folgenden Dialog bestätigen. Auch hier kann der Fortschritt mittels eines Balkens beobachtet werden:

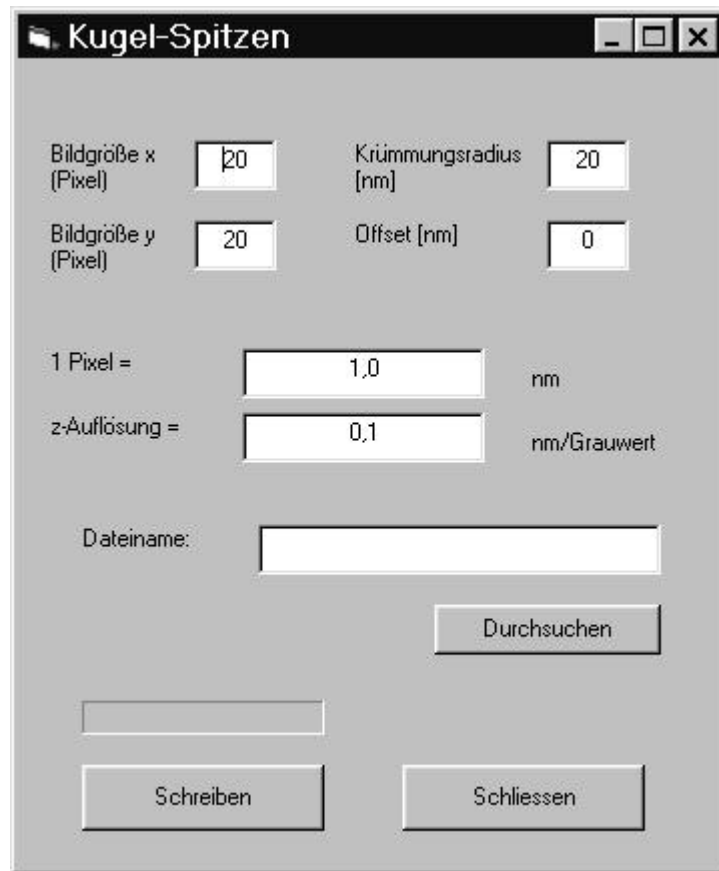


Nach Beendigung der Berechnungen erscheint dann auch hier ein Abschlußbildschirm mit zusätzlichen Informationen:



### 3.4 Spitzen-Datei erstellen

Dieser Programmteil erlaubt es, sich Bilder zu erzeugen, welche einfache sphärische Spitzen darstellen:



Nach dem Festlegen der Bildgröße (Anzahl der Pixel in x- und y-Richtung) und dem gewünschten Krümmungsradius (in nm) kann unter Offset noch festgelegt werden, ob die sphärische Spitze auch noch auf einem Zylinder sitzen soll (wenn z.B. die höchsten Strukturen auf der Oberfläche höher als der Krümmungsradius der Spitze sind). Darunter läßt sich die Auflösung in x- und y-Richtung ("1 Pixel="), sowie in z-Richtung festlegen. Die laterale Auflösung (x,y) sollte möglichst exakt den Auflösungen der anderen verwendenden Bildern (z.B. bei der simulierten Abbildung) entsprechen. Unter Dateiname wird der Name der Ausgabe-Datei festgelegt und die Datei mit [Schreiben] auf die Festplatte geschrieben. Das erfolgreiche Erzeugen der Datei wird von RKM-Geometrie bestätigt:



Dieser Programmteil ermöglicht es also lediglich, einfache halbkugelförmige Spitzen "zu erzeugen". Die Erfahrung zeigt aber, daß dies in fast allen Fällen eine zulässige und vernünftige Annahme für Sensorspitzen ist. Es ist dabei natürlich darauf zu achten, daß man

eine halbwegs richtige Annahme über den Krümmungsradius macht. Für eine einfache und schnelle Abschätzung ist dies aber vollkommen ausreichend.

Wie man sich exakte Abbilder seiner Sensorspitze mithilfe von RKM-Geometrie erzeugen kann wird im Abschnitt [4.1 SpitzenGeo](#) beschrieben.

## 4.1 Zusatz: SpitzenGeo

Dieser Teil des Handbuchs beschäftigt sich mit einem zusätzlichen Programm, welches zusammen mit RKM-Geometrie ausgeliefert wird. Die Installation dieses Programmtteils erfolgt über "setup.exe" im Unterverzeichnis SpitzenGeo.

Es arbeitet auf denselben Prinzipien wie RKM-Geometrie, ist jedoch speziell darauf zugeschnitten, die Topographie von Sensorspitzen zu rekonstruieren unter Verwendung einer bekannten Oberflächenstruktur, namentlich den x-y-Calibration Standard von Nanosensors. Will man einen anderen Kalibrationsstandard verwenden, so kann dies nach den in diesem Abschnitt beschriebenen Prinzipien geschehen, jedoch unter Verwendung von RKM-Geometrie, wie später klar werden wird.

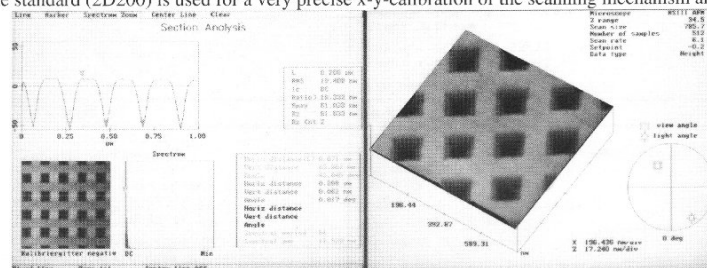
Die Eigenschaften des hier verwendeten Kalibrationsstandards können dem Datenblatt entnommen werden:

— NANOSENSORS —

### x-y-Calibration Standard

#### Description and Ordering Information

The standard (2D200) is used for a very precise x-y-calibration of the scanning mechanism and for



a quick quality control of the tip. The standard consists of a 2-dimensional lattice of inverted square pyramids with 200 nm pitch etched into a silicon chip with the following specifications:

- Pitch: 200 nm
- Accuracy of pyramid position:  $\pm 5$  nm
- Accuracy of pitch ( $5 \times 5 \mu\text{m}^2$  scan):  $\pm 0.1 \%$
- Accuracy of pitch (large scans):  $\pm \frac{30 \text{ nm}}{\text{scan length}}$
- Edge length of square pyramids: 100 nm
- Absolute accuracy of edge length:  $\pm 20$  nm
- Relative accuracy of edge length:  $\pm 5$  nm
- Sidewall angle (versus wafer surface):  $35.3^\circ$
- Accuracy of sidewall angle:  $\pm 0.5^\circ$
- Depth of pyramids: 70 nm
- Chip size:  $7 \times 7$  mm
- Active area:  $500 \times 500 \mu\text{m}^2$
- Number of pyramids:  $6.25 \times 10^6$

When imaging a pyramid with the AFM tip the apparent depth of the pyramid compared to the normal depth of the pyramid can provide a rough calculation of the tip radius. Apparent smaller sidewall angles than the maximal angle are due to cone angles of the tip which are larger than the pyramid cone angle ( $70^\circ$ ).

#### Available Shipping Units

The silicon chip is usually glued onto a steel sample holder with 12 mm diameter.

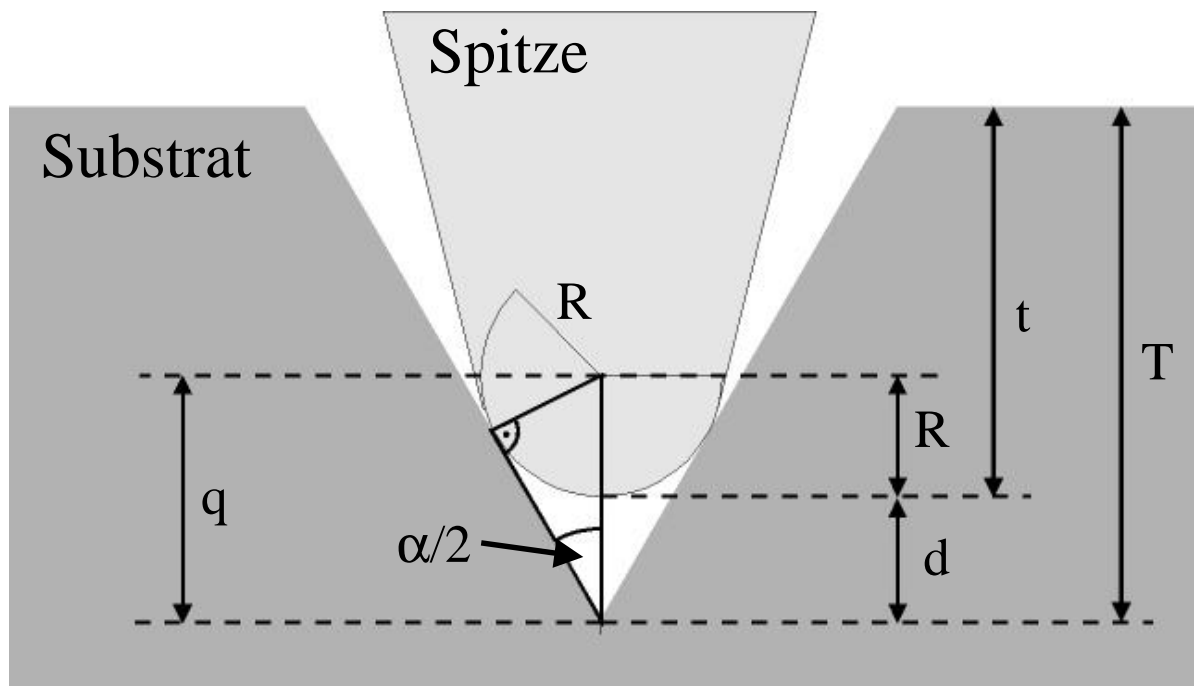
Order Code	Quantity
2D200	1

Vertrieben wird dieser Standard in Deutschland von:



Dieser Kalibrationsstandard erlaubt es auf zweifache Weise die Qualität der verwendeten Sensorspitze zu beurteilen:

1.) Grob über die Eindringtiefe gemäß folgender Skizze:



T - reale Tiefe (bekannt)

t - gemessene Tiefe

$\alpha/2$  - vom Hersteller bekannt

R - Krümmungsradius der Spitze

Es gilt:

$$t = T - d \\ \text{mit } d = q - R$$

&

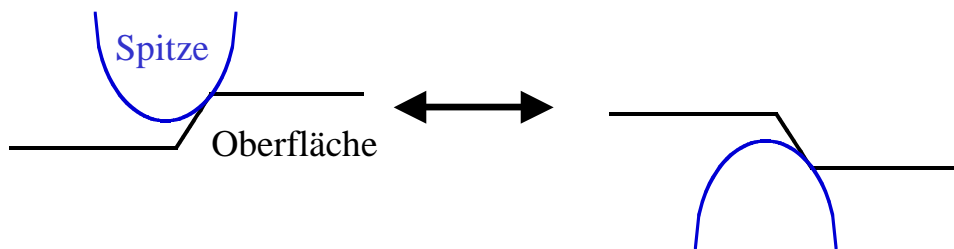
$$q = R / \{ \sin(\alpha/2) \}$$

$$\longrightarrow R = \frac{T - t}{\sin(\alpha/2)^{-1} - 1}$$

Der so gewonnene Krümmungsradius  $R$  kann verwendet werden um wie unter [3.4 Spitzen-Datei erstellen](#) beschrieben eine vernünftige sphärische Spitze "zu erstellen".

## 2.) Rekonstruktion der tatsächlich verwendeten Spitze

Die Möglichkeit, die tatsächlich verwendete Spitze zu rekonstruieren wird unmittelbar einsichtig, wenn man sich klar macht, daß die Abbildung der Oberfläche mit einer Spitze mathematisch identisch ist mit der Abbildung der Spitze mit der Oberfläche:



Man kann also die gleichen Prozesse wie bei der Oberflächenrekonstruktion verwenden, um die Topographie der Spitze zu berechnen! Nach diesem Prinzip arbeitet SpitzenGeo.

Nach dem Starten des Programms sieht man folgendes Bild vor sich:



Mit der zweiten Funktion ("Kalibrationsmodell erstellen") kann man sich das ideale Bild des Kalibrationsstandards (von Nanosensors) in der benötigten Auflösung erzeugen (denn auch hier gilt: alle Bilder bei der Verwendung der Funktionen müssen dieselbe laterale Auflösung haben - vgl. [2.1 Grundsätzliche Bedienungshinweise](#)):

The 'Kalibrationsmodell' dialog box contains the following fields and buttons:

- x-, y-Auflösung:** Input field with '3,0', unit 'nm/Pixel'.
- z-Auflösung:** Input field with '0,5', unit 'nm/Grauwert'.
- Bildgröße:** Two input fields, both with '67', each followed by 'Pixel'.
- Dateiname:** Input field with 'E:\Beispiel.txt'.
- Durchsuchen:** Button to the right of the Dateiname field.
- Schreiben:** Button at the bottom left.
- Schliessen:** Button at the bottom right.

Nach der Eingabe der gewünschten Auflösungen und dem Namen der Ausgabe-Datei wird diese mittels [Schreiben] auf die Festplatte geschrieben.

Die erste Funktion ("Spitze rekonstruieren") stellt sich wie folgt dar:

The 'RKM-Spitzen-Rekonstruktion' dialog box is divided into three main sections:

- Kalibrationsmodell:**
  - Datei:** Input field with a 'Durchsuchen' button.
  - z-Auflösung:** Input field with '0,5', unit 'nm/Grauwert'.
  - Bildgröße in x-Richtung:** Input field followed by 'Pixel'.
  - Bildgröße in y-Richtung:** Input field followed by 'Pixel'.
- Kalibrationsbild:**
  - Datei:** Input field with a 'Durchsuchen' button.
  - z-Auflösung:** Input field with '0,5', unit 'nm/Grauwert'.
  - Bildgröße in x-Richtung:** Input field followed by 'Pixel'.
  - Bildgröße in y-Richtung:** Input field followed by 'Pixel'.
- rekonstr. Spitze:**
  - Datei:** Input field with a 'Durchsuchen' button.
  - Oberflächen-Datei schreiben:** Button.
  - Schliessen:** Button.

Hier geht man mit den Eingaben in völliger Analogie zu RKM-Geometrie vor (siehe z.B. [3.2 Oberfläche rekonstruieren](#)). In der Tat macht das Programm zunächst einmal genau dasselbe wie die Funktion "Oberfläche rekonstruieren" von RKM-Geometrie. Dabei behandelt es das künstliche Modell des Kalibrationsstandards als bekannte Spitzenstruktur und das mit dem Rasterkraftmikroskop aufgenommene Bild des Kalibrationsstandards sozusagen als Bild der "realen Spitze". Da der Standard jedoch nicht ideal für die Rekonstruktion ist (es handelt sich sozusagen um eine lausige Spitze), handelt es sich bei der rekonstruierten Spitze fast ausschließlich um obere Grenzwerte für die "reale Spitze" (sehr viele Multikontaktpunkte). Glücklicherweise werden jedoch zwei wesentliche Profile der Spitze fast exakt rekonstruiert (beide durch das Maximum der Spitze, eines in x- und eines in y-Richtung). Genau hier geht SpitzenGeo über die Funktion "Oberfläche rekonstruieren" von RKM-Geometrie hinaus. Es identifiziert diese beiden Profile und erzeugt durch Superposition ein recht gutes Bild der real verwendeten Spitze. (Es ist anzumerken, daß es theoretisch sogar möglich wäre, die Spitze beliebig genau zu rekonstruieren, wenn man mehrere Bilder des Kalibrationsstandards unter verschiedenen Winkeln (in der x-y-Ebene) verwenden würde, um beliebig viele Profile der Spitze exakt zu rekonstruieren).

Es muß auch angemerkt werden, daß die zuvor exakt genannten Profile natürlich nur bis zu dem Punkt exakt sind, an dem die Spitze dieselbe Steigung annimmt wie die Wände der inversen Pyramiden des Kalibrationsstandards. Ab diesem Punkt stellen auch die Profile nur noch obere Grenzwerte dar. Dies geschieht in der Praxis aber meist erst ab einer größeren Höhe der Spitze (vom maximalen Punkt aus gemessen), daß die verwendete Spitze für die meisten Strukturen perfekt rekonstruiert wurde. (Man kann die rekonstruierten Spitzen guten Gewissens für die Rekonstruktion von Strukturen verwenden, dessen Höhenwerte (oder Tiefenwerte) nicht 10 nm überschreiten (bzw. unterschreiten)).

## 4.2 Zusatz: ImageJ

Bei ImageJ handelt es sich um ein Public Domain Bildverarbeitungsprogramm, welches von <http://rsb.info.nih.gov/ij/> heruntergeladen wurde. Es handelt sich um einen Ableger von NiH Image (<http://rsb.info.nih.gov/nih-image/index.html>) (für MacIntosh) und arbeitet auf jeder Plattform mit Java 1.1 oder später. Dieses Programm wurde mit angefügt, damit es unmittelbar möglich ist beliebige Bildformate in Textformat umzuwandeln und die von RKM-Geometrie und SpitzenGeo erzeugten Dateien (ebenfalls Textformat) zu betrachten. Die Installation erfolgt über "setup.exe" im Unterverzeichnis "ImageJ".

Wahlweise kann auch das Herunterladen von Scion Image empfohlen werden (<http://www.scioncorp.com/>), welches aus rechtlichen Gründen nicht zusammen mit RKM-Geometrie ausgeliefert wird.

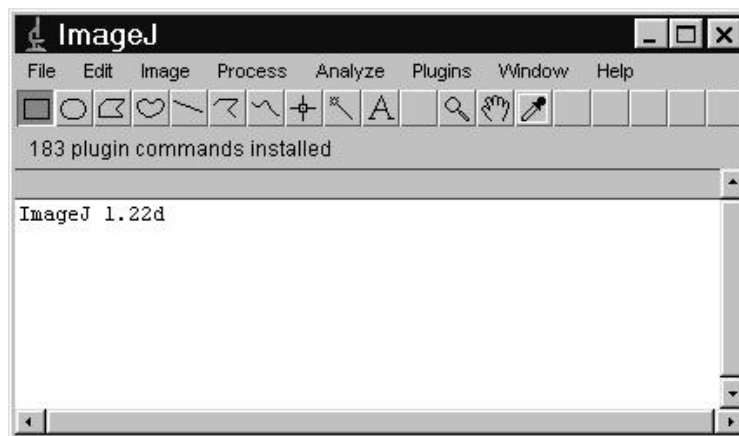
Wie diese Programme benützt werden, um insbesondere "Text"-Bilder zu betrachten und/oder zu erzeugen, kann den jeweiligen mitgelieferten Online-Handbüchern entnommen werden und soll hier nur exemplarisch und knapp für ImageJ gezeigt werden.



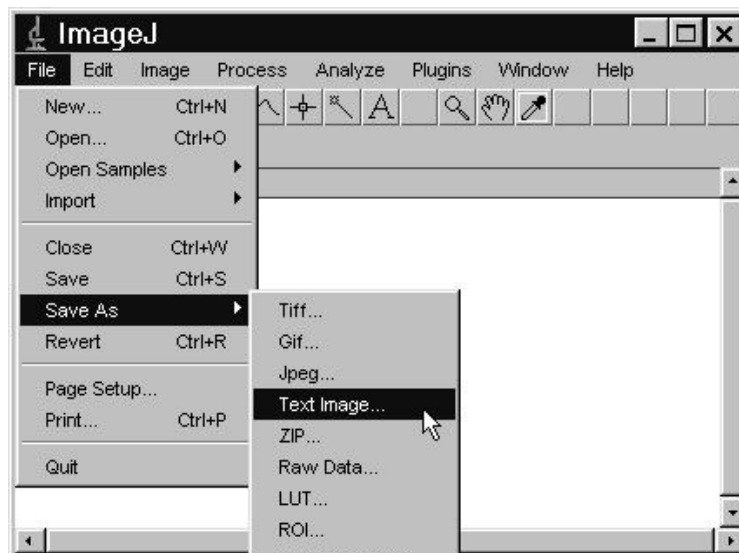
Nach der Installation von ImageJ kann dieses über "Run.bat" im Installationsverzeichnis von ImageJ gestartet werden. Man sieht zunächst folgendes Fenster:



Dieses Fenster kann bedenkenlos geschlossen werden, wenn noch zusätzlich folgendes Fenster aufgegangen ist:



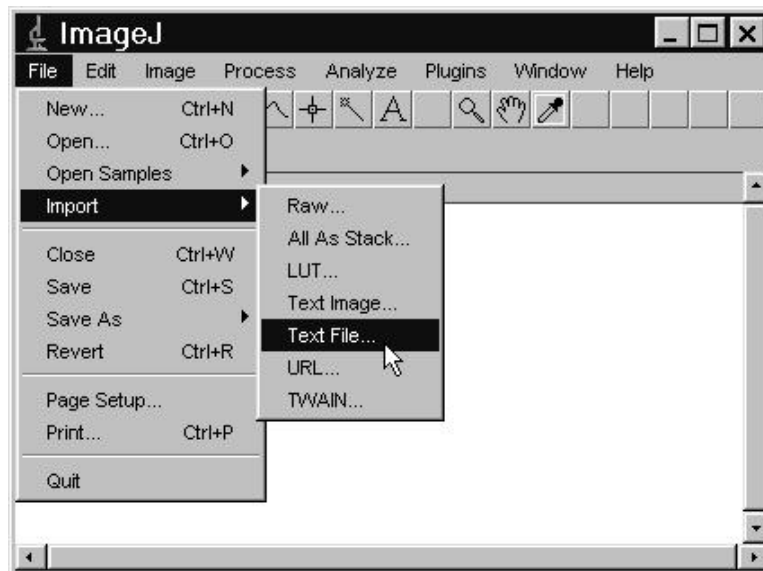
Mit ImageJ können Bilder als Textdateien durch folgende Auswahl gespeichert werden (Öffnen von "normalen Bildern" einfach über "File/Open"):



Es erscheint folgender Dialog, in welchem Sie einfach den gewünschten Dateinamen eingeben und das Zielverzeichnis auswählen:



Das Öffnen einer Textdatei ist auch nicht weiter schwierig. Zunächst folgende Auswahl treffen:



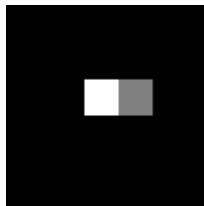
Anschließend die gewünschte Datei im Dialogfenster einfach auswählen:



Künstliche "Text"-Bilder können Sie einfach mit jedem Editor (z.B. "notepad" von Windows) selbst erzeugen, indem sie die gewünschten z-Werte (=Grauwerte) einfach hinschreiben und zwischen Ihnen mindestens eine Leerstelle lassen, also ist z.B.

1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	25	14	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1

ein 5 x 5 Bild mit folgendem Erscheinungsbild:

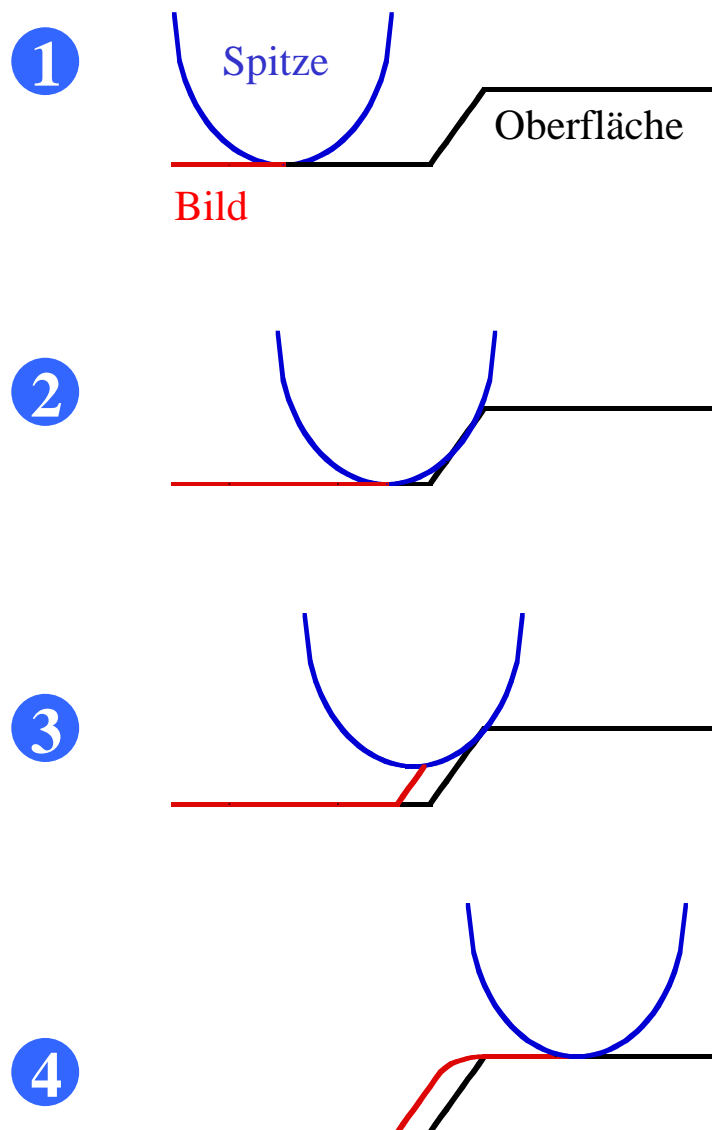


## 5.1 Anhang: Arbeitsweise von RKM-Geometrie

Obwohl RKM-Geometrie die unterschiedlichsten Operationen an Rastersondenmikroskopie-Bildern ausführt, basieren alle in diesem Handbuch beschriebenen Funktionen auf zwei äußerst einfachen Prinzipien, auf die hier im folgenden kurz eingegangen werden soll.

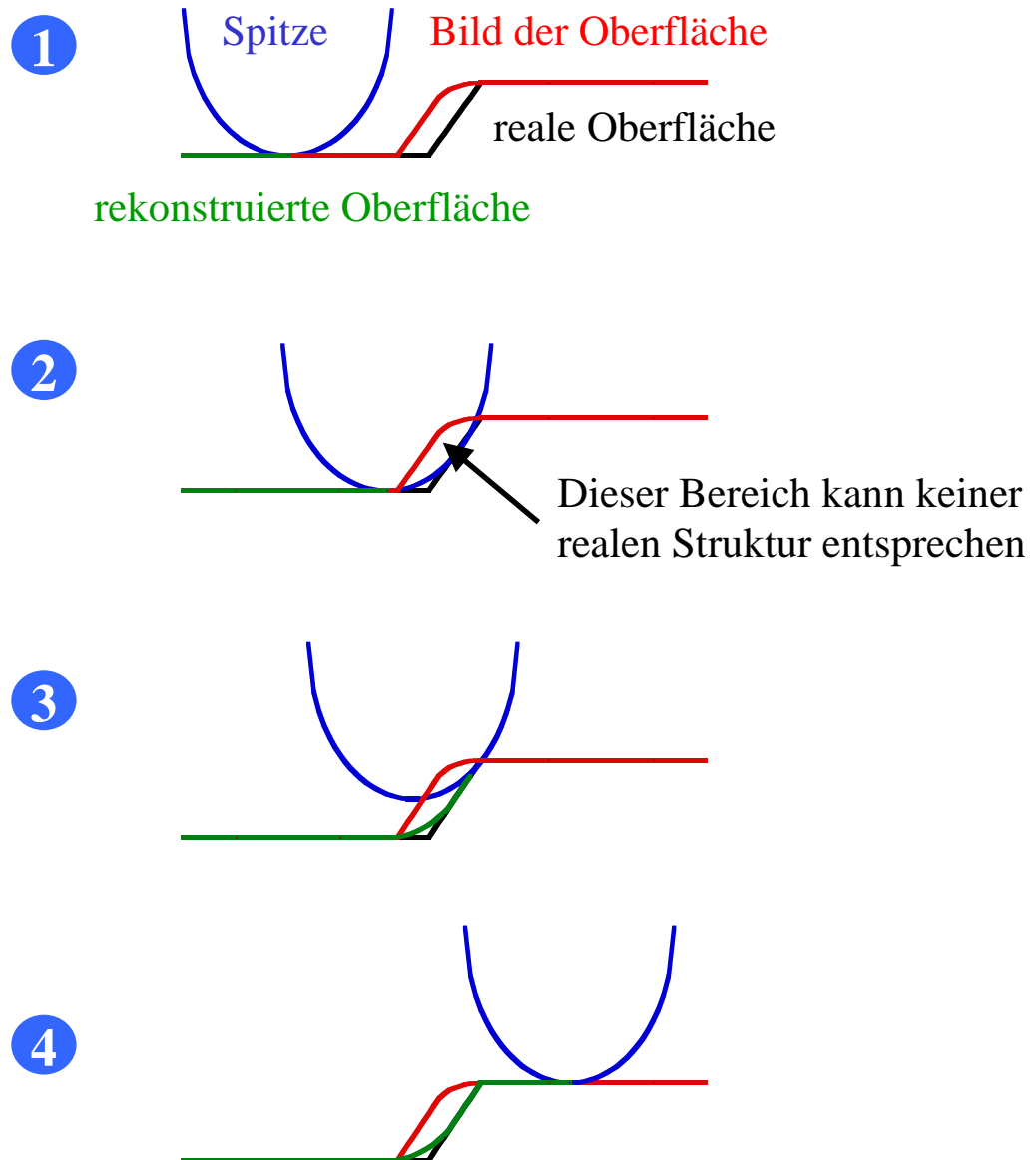
### 1.) RKM-Simulation

Um ein Rasterkraftmikroskop zu simulieren, geht RKM-Geometrie äußerst einfach vor. Es bewegt dazu das Bild der Sensorspitze an jede Position im Oberflächenbild und mißt die Sensorposition in dem Augenblick, indem die Spitze "von oben" kommend erstmals Kontakt mit der Oberfläche bekommt. In zwei Dimensionen kann man sich dies etwa gemäß folgender Skizze vorstellen:



## 2.) Oberflächenrekonstruktion

Der umgekehrte Vorgang (in Veröffentlichungen oft fälschlicherweise als Entfaltung bezeichnet) ist rechentechnisch nicht wesentlich komplizierter. Um zu einer Vorstellung über die reale Oberfläche zu gelangen, bewegt RKM-Geometrie den tiefsten Punkt der Sensorspitze auf die im Oberflächenbild gespeicherten Positionen und sucht nach solchen Punkten, welchen in der Realität keine wirklichen Oberflächenpunkte entsprechen können. Dies kann man sich im Zweidimensionalen wie folgt vorstellen:



Das auf diese Weise gewonnene (rekonstruierte) Bild ist, wie auch im obigen Bild zu erkennen, natürlich nicht exakt die originale Oberfläche, sondern wie bereits in [3.3 Rekonstruierte Oberfläche überprüfen](#) erwähnt, an Punkten mit mehrfachen Kontakt zwischen Spitze und Oberfläche lediglich ein oberer Grenzwert. An diesen Stellen formt sich sozusagen

ein Teil der Spitze selbst ab, was einem, wie auch bereits erwähnt, allerdings die Möglichkeit offen läßt, diese Punkte zu identifizieren (siehe ebenfalls [3.3](#)). Dennoch ist die rekonstruierte Oberfläche in dem Sinne perfekt, daß sie bei der Abbildung mit der Sensorspitze exakt dasselbe Bild ergäbe wie die original Oberfläche.