CARL VON OSSIETZKY universität OLDENBURG

Rasterkraftmikroskopie

- Prinzip der Methode und Anwendungsbeispiele-

- Von: Jens Brauer (Studiengang M.Sc. Physik)

Gliederung

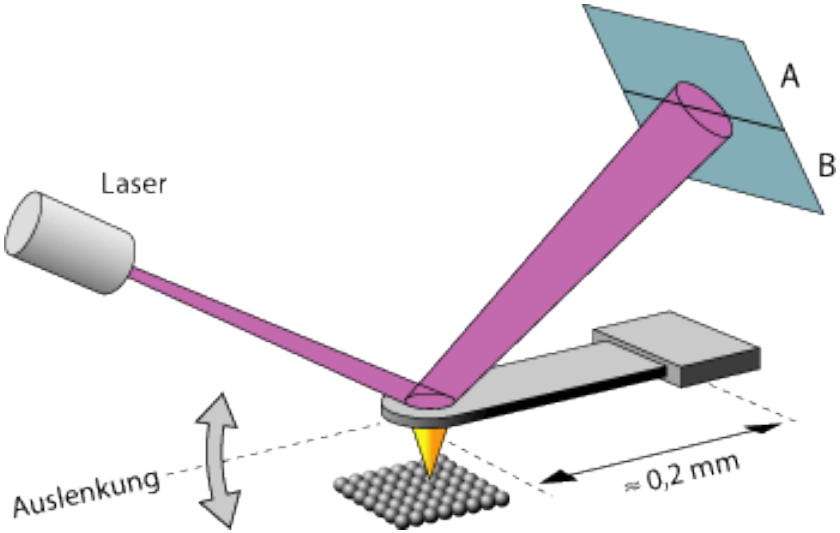
- Konzept der Kraftmikroskopie
  - Aufbau und Prinzip
  - Betriebsmodi
- Vorteile und Nachteile
- Anwendungsbeispiele
  - Reibungsmessung
  - Eigenschaften von Proben bestimmen
- Fazit / Zusammenfassung

Allgemeines

- Kraftmikroskopie (SFM-scanning force microscopy) eines von mehreren rastersondenmikroskopischen Verfahren
- Das erste Atomkraftmikroskop (AFM) wurde von Gerd Binnig et.al. im Jahre 1986 entwickelt
- Entscheidender Vorteil gegenüber dem zuvor entdeckten Tunnelmikroskop (STM) : sowohl leitende als auch nichtleitende Proben können untersucht werden
- Gegenüber klassischen Mikroskopen sind Auflösungen im Bereich von wenigen Nanometern möglich

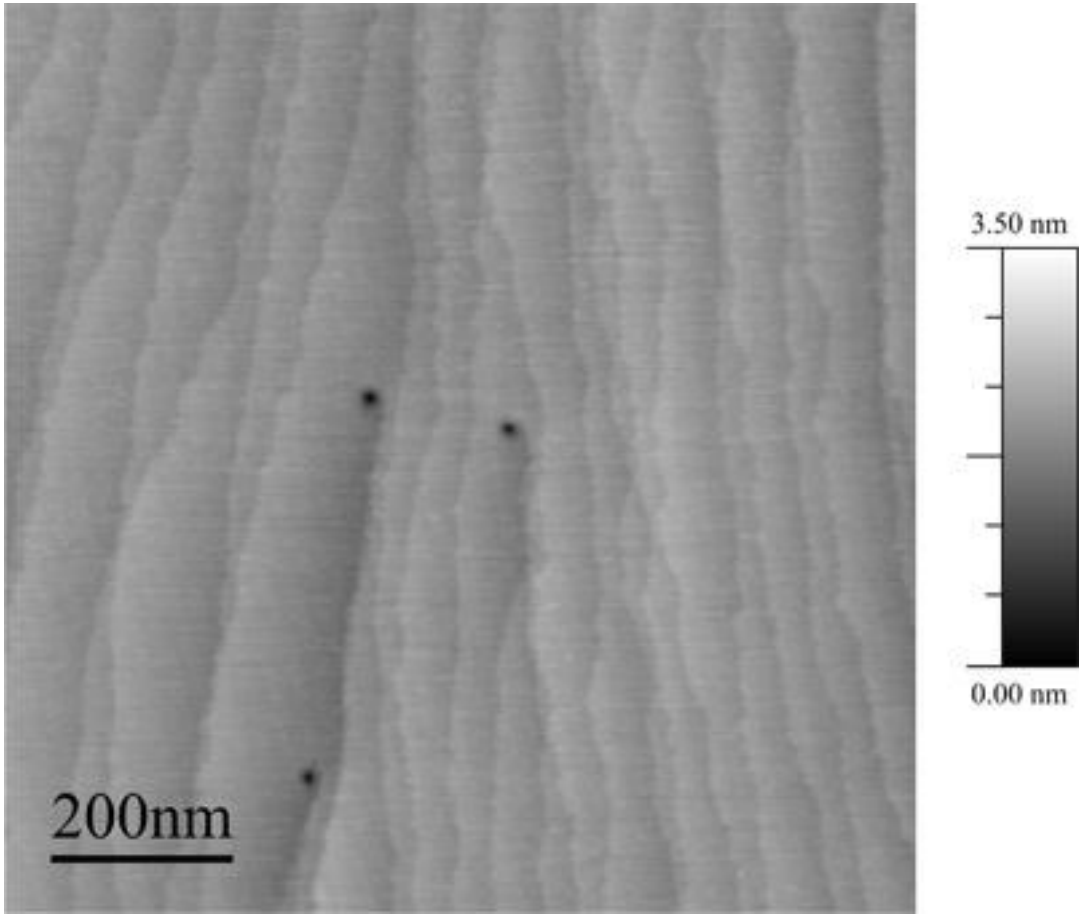
Prinzip

- Messung von Kräften zwischen einer scharfen Spitze und einer Probe
- Spitze an einem Federhebel befestigt (genannt „Cantilever“)
- Spitze wird über Oberfläche gerastert
- Auslenkung der Spitze wird detektiert
- $F \propto \Delta x$



Quelle: http://www.chemie.unibas.ch/~physnach/STM_AFM.html

Beispiel: Oberfläche einer dünnen Schicht von GaN:

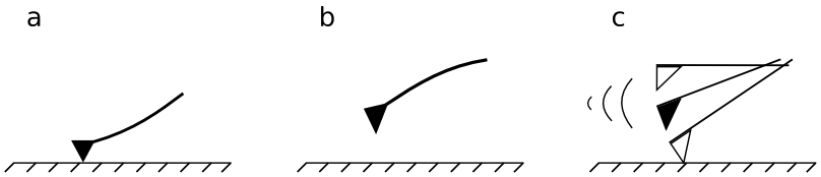


Quelle:http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/afm/intro.php

Betriebsmodi

1. Art:
   - bildgebend
   - spektroskopisch
     (Probeneigenschaften ermitteln)

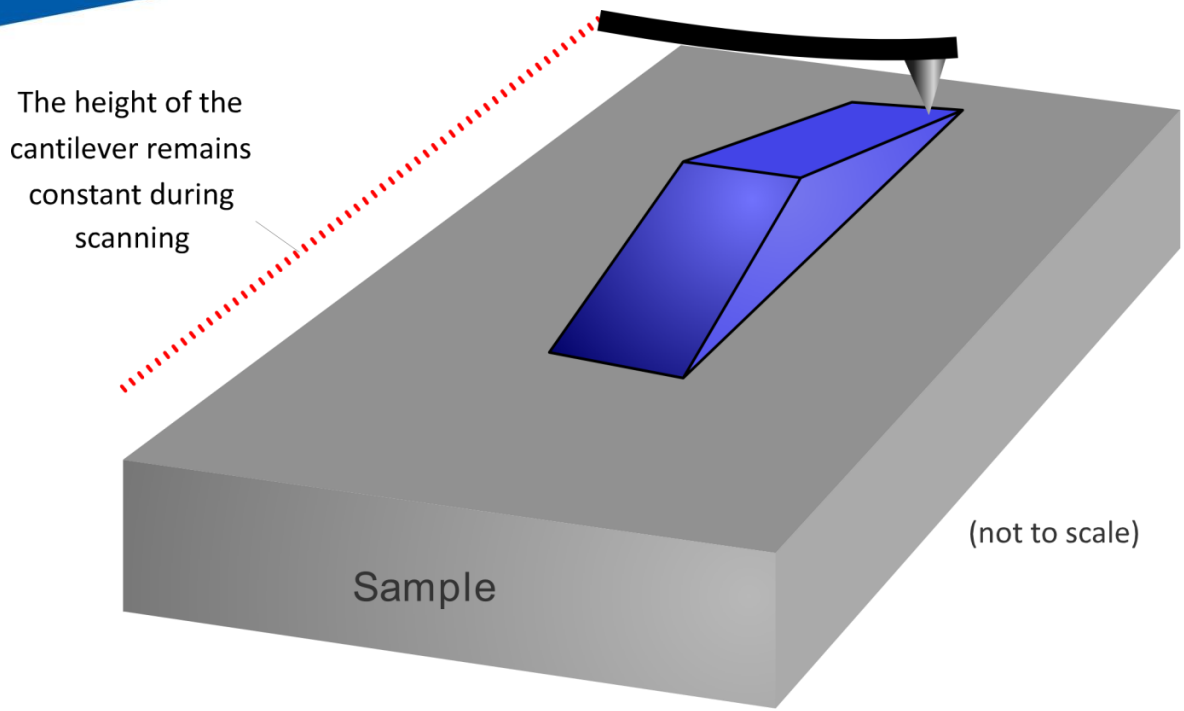
2. Wechselwirkungen bei der Messung:
   - a) Kontakt-Modus
   - b) Nicht-Kontakt-Modus
   - c) Intermittierender Modus

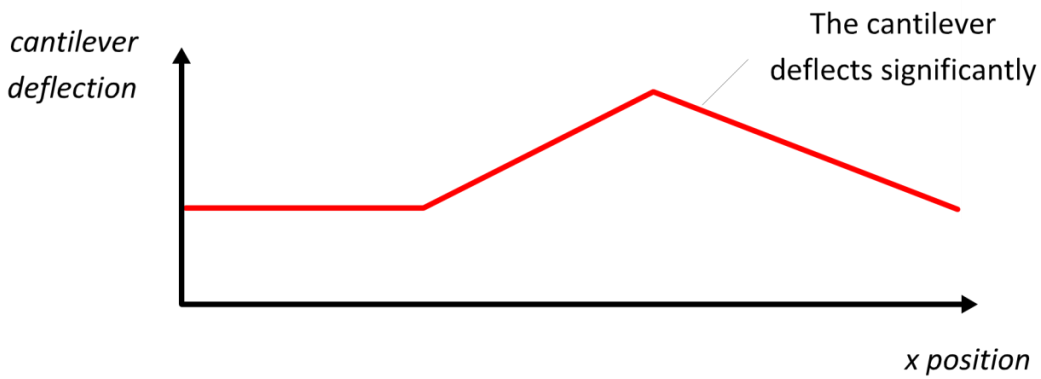


Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Rasterkraftmikroskop

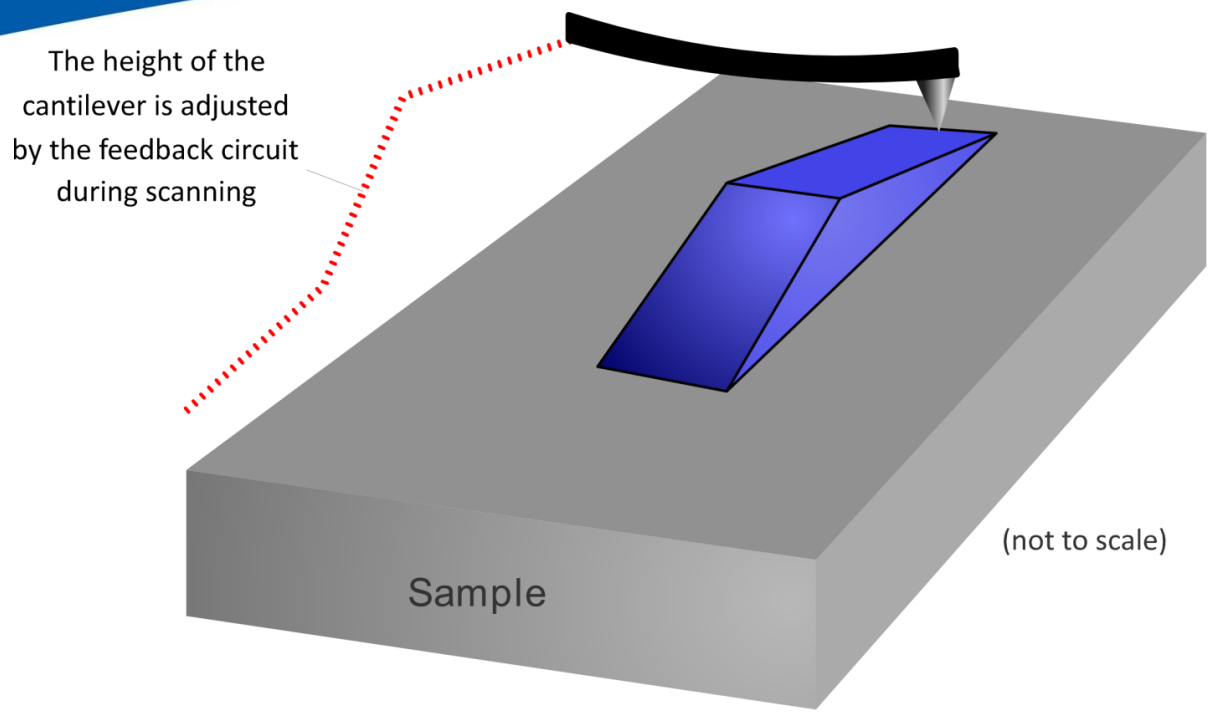
3. Bewegung der Spitze:
   - Constant-height-Modus
   - Constant-force/amplitude-Modus

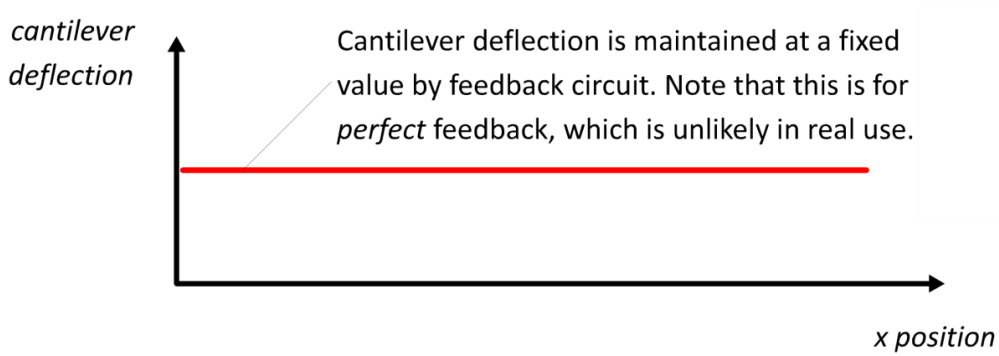
Constant-Height-Contact-Modus





Constant-force-Contact-Modus





Kontaktmodus

- Direkter mechanischer Kontakt
- -> starke elektromagnetische Abstoßung

- Vorteile:
  - Im Constant-Height Modus sehr schnell
  - Raue Proben können meistens einfacher gemessen werden
- Nachteile:
  - Scherkräfte können Merkmale im aufgenommenen Bild verfälschen
  - Spitze könnte Probe verändern / zerstören (vor allem im Constant-Height Modus)

Nicht Kontakt Modus

- Anregung des Federhebels zu Schwingungsfrequenz (Resonanzfrequenz)
- = dynamischer Modus (AC-Modus)

- Durch Wechselwirkungskräfte oder Kraftgradienten wird Schwingung gedämpft = Maß für Kraftwechselwirkung

- Wird üblicherweise im Hochvakuum eingesetzt womit dann atomare Auflösungen möglich sind

- Nachteil: langsam

Intermittierender Modus (tapping mode)

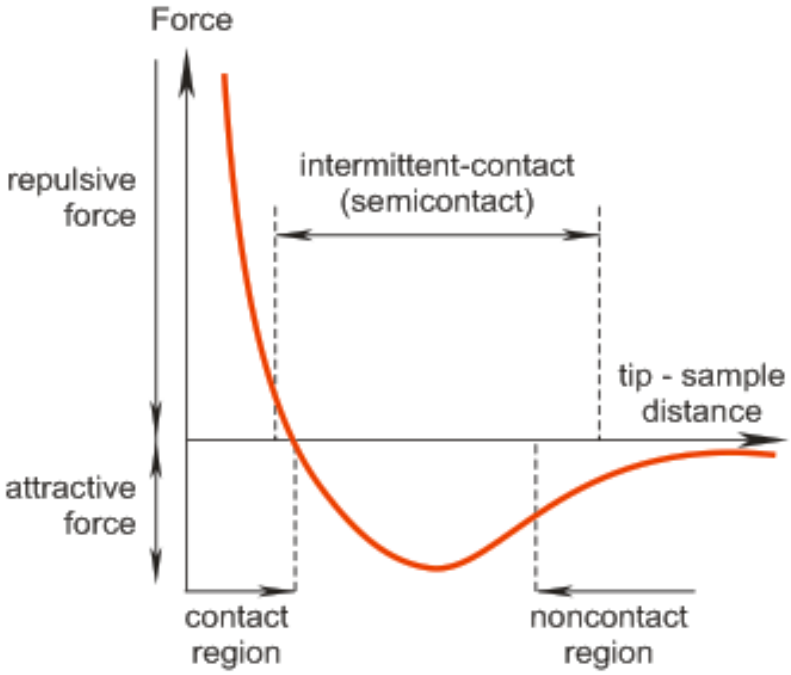
- Spitze zu Schwingungen angeregt
- Spitze tippt Oberfläche leicht an
- -> Schwingungsamplitude wird gedämpft
- Regelkreis um Schwingungsamplitude wieder anzupassen

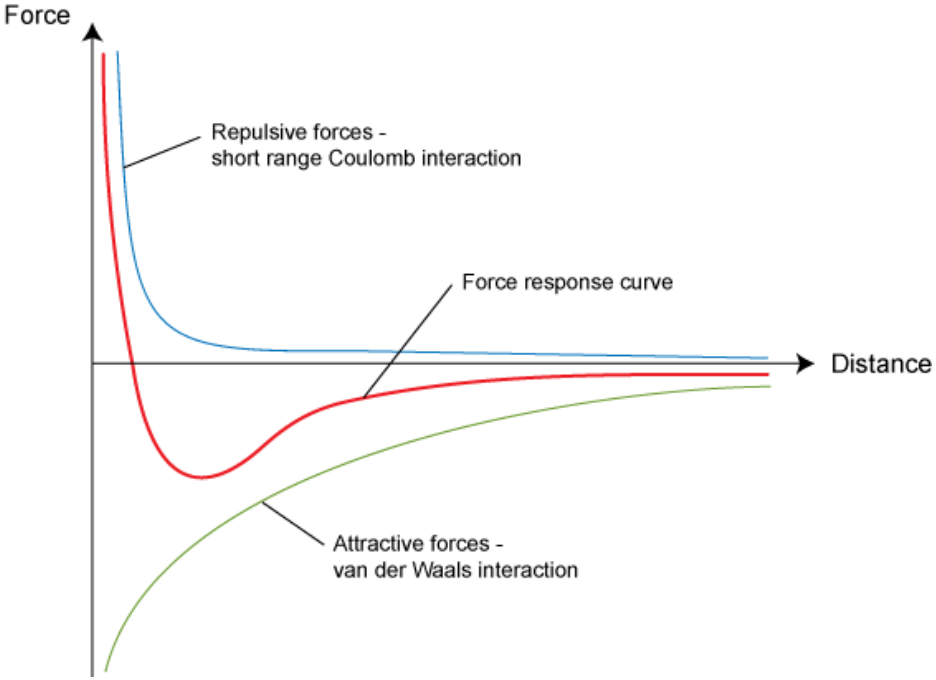
- Alternativ: Phasenverschiebung zwischen Anregungsschwingung und tatsächlicher Schwingung

- -> Topographie kann abgebildet werden

- Wird vor allem für empfindliche oder instabile Proben benutzt
- Vorteil: Keine Scherkräfte

Übersicht – Betriebsmodi in Kraft-Abstand-Kurve





Quelle:
http://www.ntmdt.com/spm-principles/view/semicontact-techniques

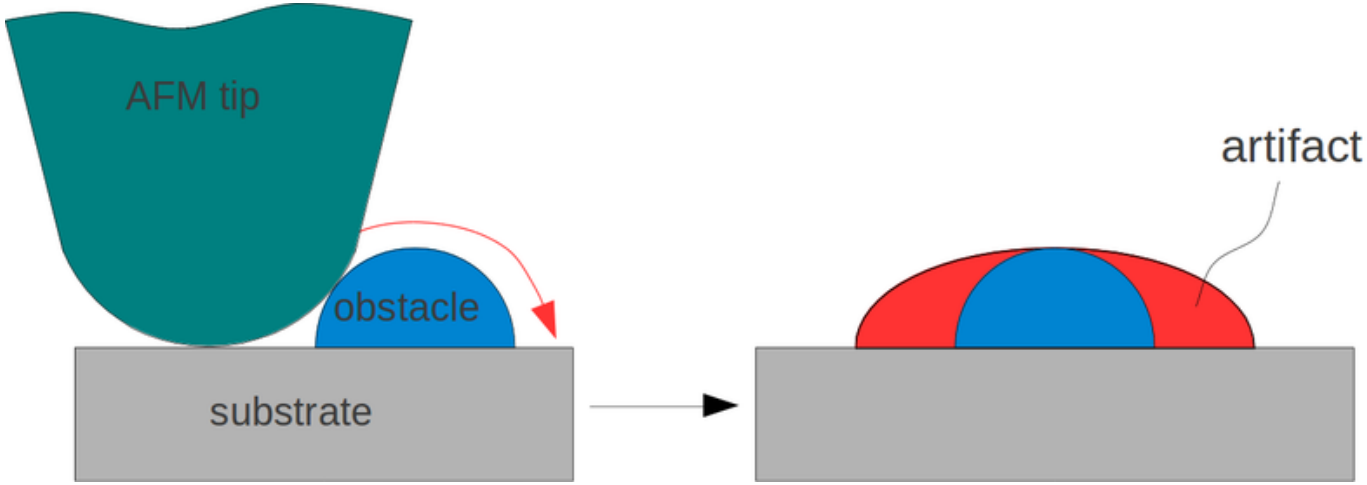
Quelle:
http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/afm/tip_surface_interaction.php

Vor und Nachteile

- + Sämtliche Proben können untersucht werden
- + Kein Vakuum nötig (wie bei SEM)
- + Kann auch in flüssiger Umgebung angewendet werden
- + Zum Teil können so sogar lebende Zellen untersucht werden
- + Hohe Auflösung möglich

Vor und Nachteile

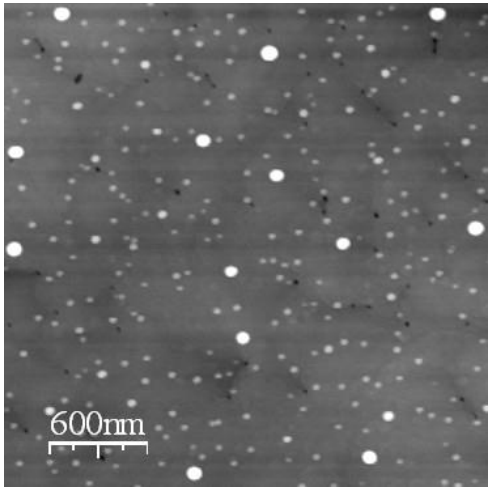
- - Auflösung durch Spitze bestimmt

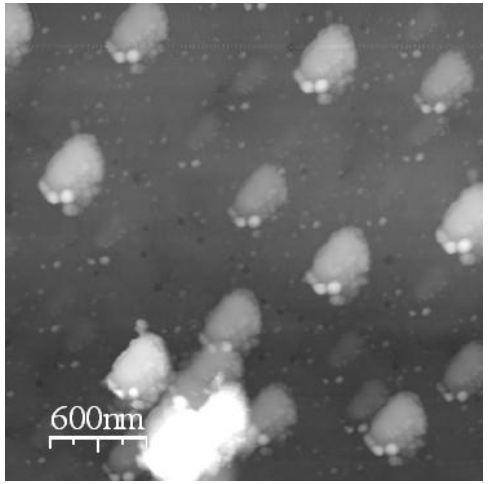


Quelle: http://en.wikipedia.org/wiki/Atomic_force_microscopy

Vor und Nachteile

- - Maximale Fläche mit AFM im Bereich 150x150 µm
- - Geschwindigkeit (langsamer als SEM)
- - Spitze nimmt evtl. Fremdkörper von Probe auf
- - Spitze stumpft ab, wird zerstört





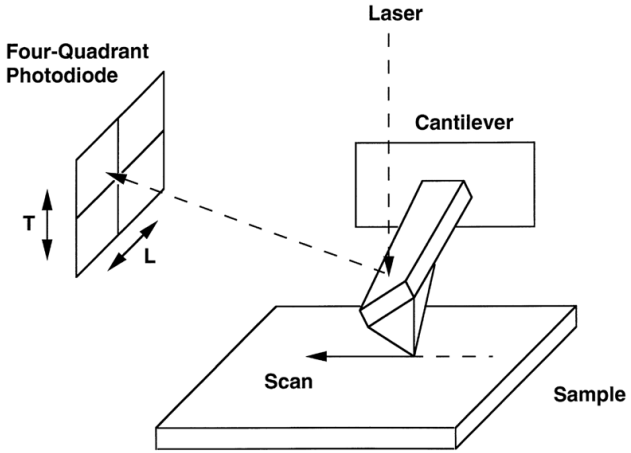
Quelle:
http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/afm/tip_related.php

Rechts: Kaputte Spitze

Anwendungen / Verfahren

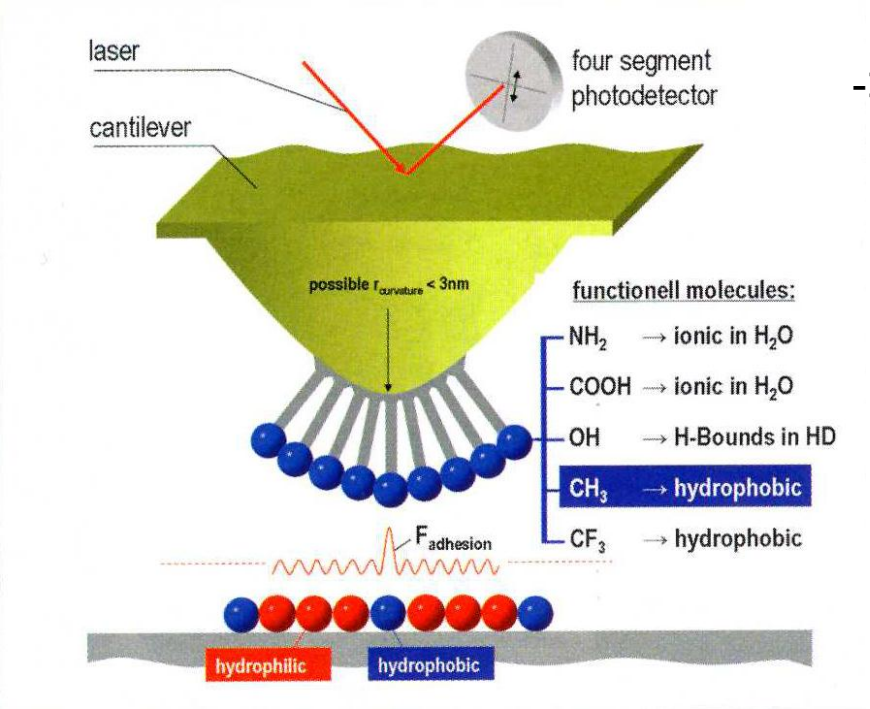
- Magnetkraftmikroskopie (MFM)
  - Lokale Magnetstärke in Probe messen
  - Nicht-Kontakt Modus
  - Abtastnadel mit ferromagnetischem Material beschichtet

- Reibung messen (friction force measurement)
  - Constant-force Modus
  - Verkippungssignal des Cantilevers wird aufgezeichnet



Source: Overney, 1995

- Chemische Kraftmikroskopie (CFM)
  - speziell aufbereitete AFM-Sonde mit einer einzigen chemischen Endgruppe
    (Bsp.: -OH –CH3 –CF3 –NH2 –COOH)
  - Nur spezifische WW zwischen Spitze und Probe



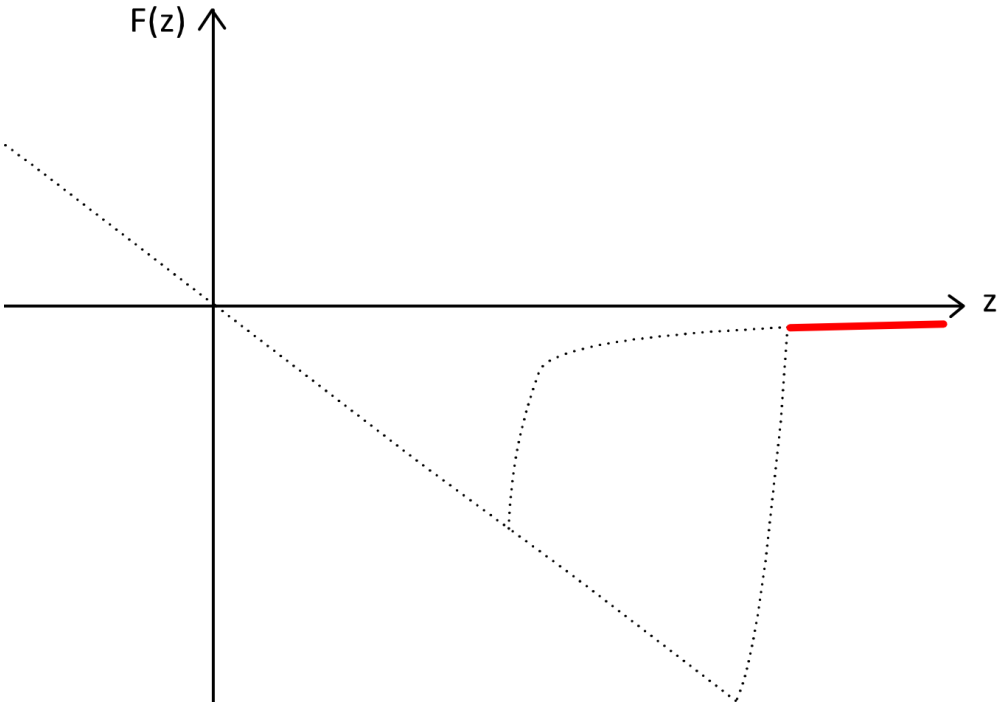
-> chemische Selektivität

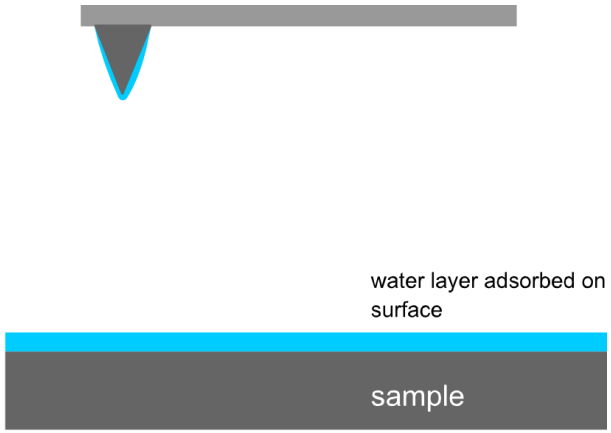
-> Abbildung hydrophiler/hydrophober Kontraste

Quelle:http://www.nanocraft.de/kompetenz/cfm/cfm.html

Spektroskopische Methode

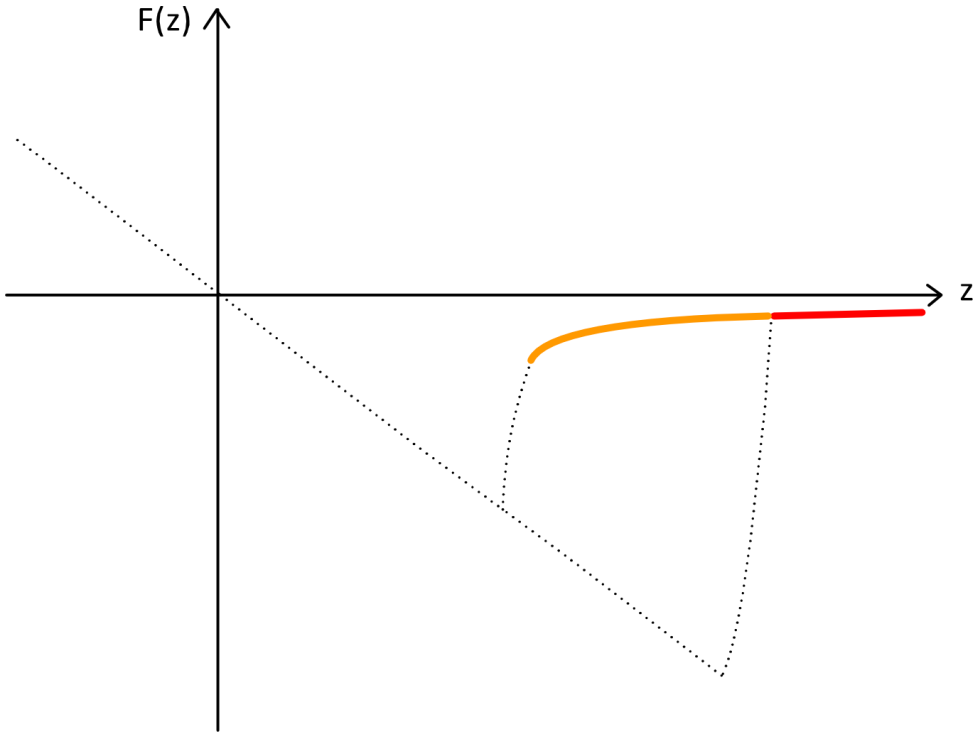
- Kraft-Abstands-Kurven zur Ermittlung von Eigenschaften der Oberfläche (Adhäsion, Elastizität)
  - Spitze an einem Punkt der Probe mehrmals absenken
  - Kraft-Abstandskurve aufnehmen





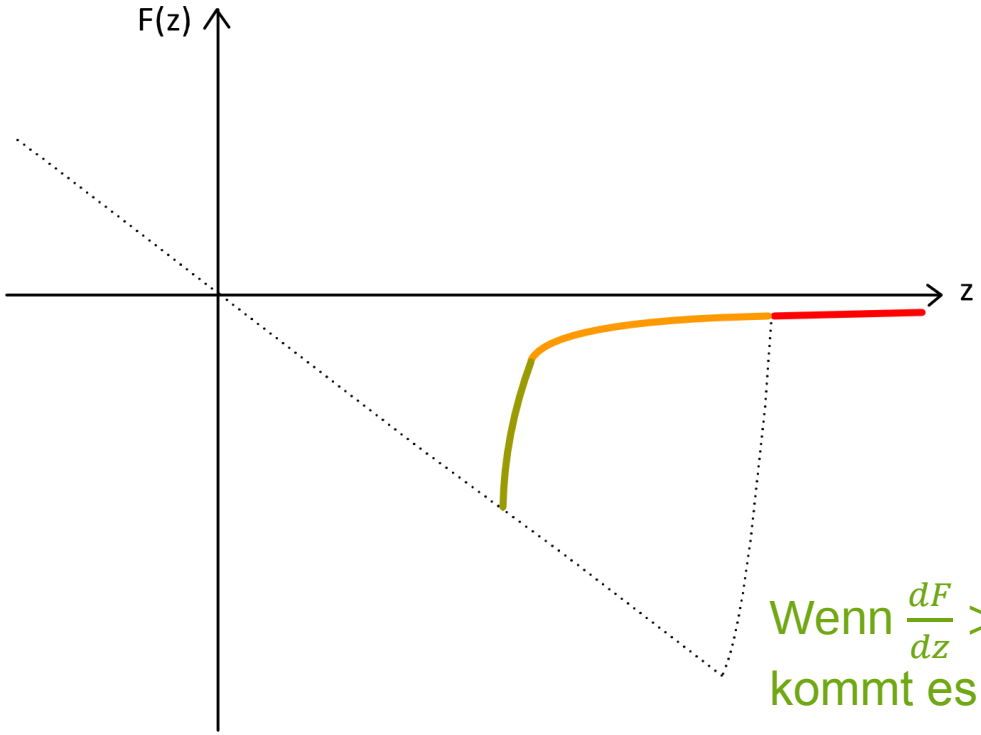
Spitze weit weg von Oberfläche
-> kaum Auslenkung

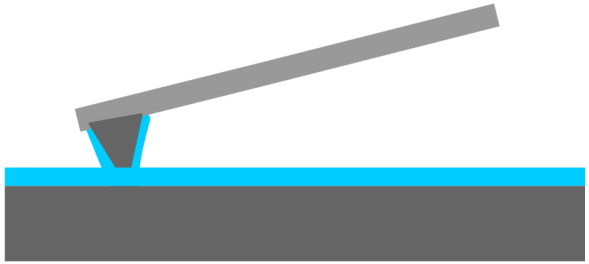
Quelle: http://www.doitpoms.ac.uk (University of Cambridge)



Anziehende Van-der-Waals Kräfte wirken.
Cantilever verbiegt sich.

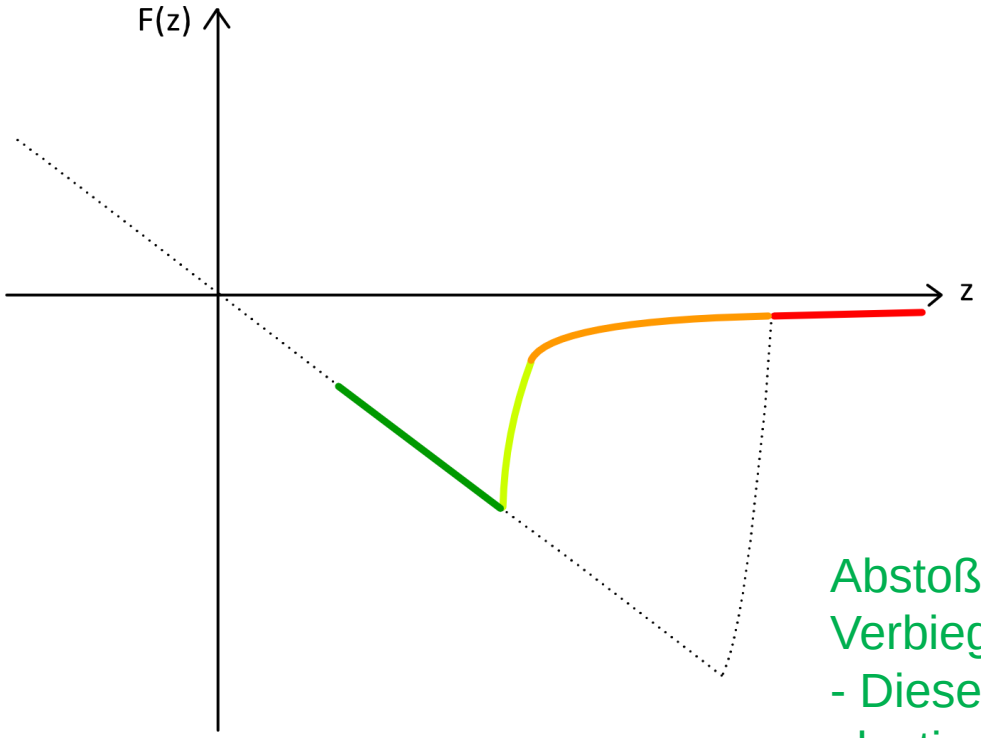
Quelle: http://www.doitpoms.ac.uk (University of Cambridge)





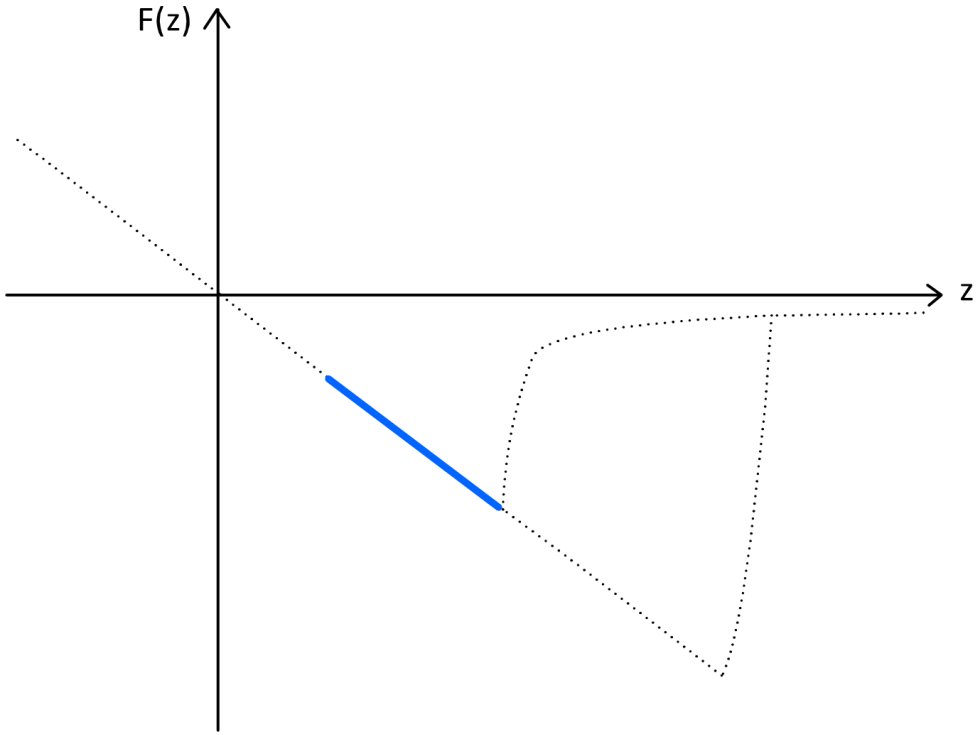
Wenn $\frac{dF}{dz} > k$ (Federkonstane vom Cantilever) kommt es zum „jump-to-contact“

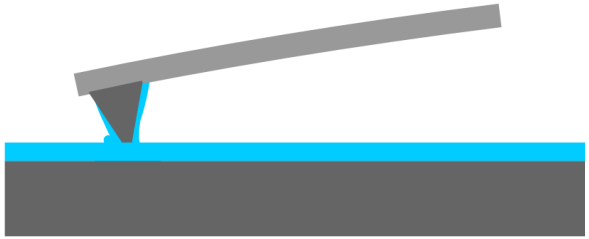
Quelle: http://www.doitpoms.ac.uk (University of Cambridge)



Abstoßende Coulomb-Kräfte führen zur Verbiegung des Cantilevers
- Dieser Bereich dient zur Ermittlung von elastischen Eigenschaften der Probe

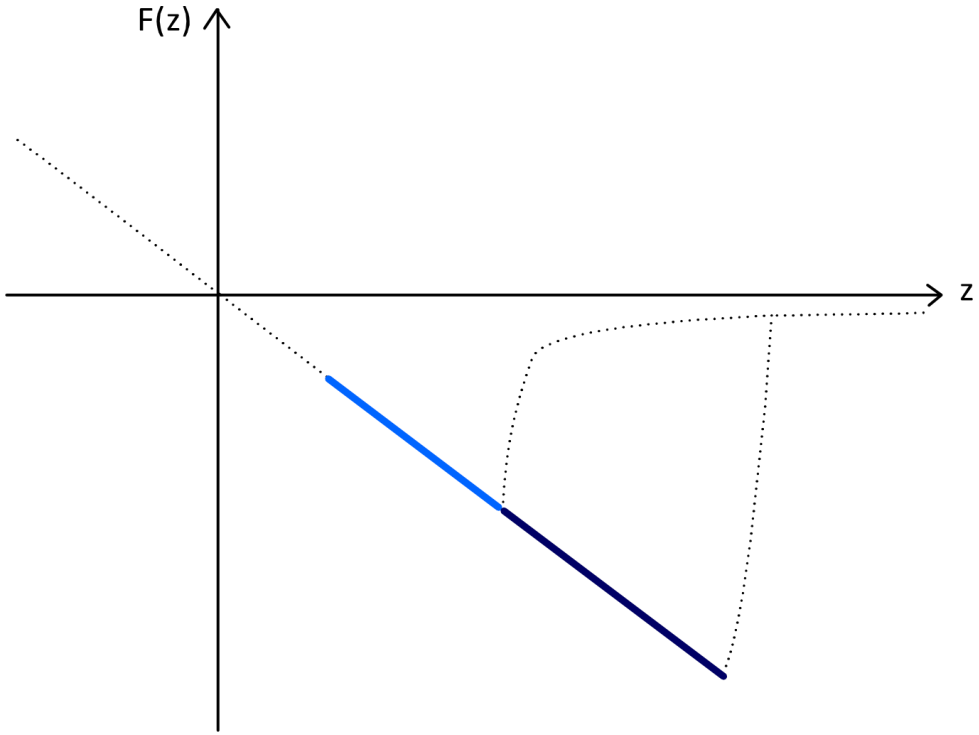
Quelle: http://www.doitpoms.ac.uk (University of Cambridge)

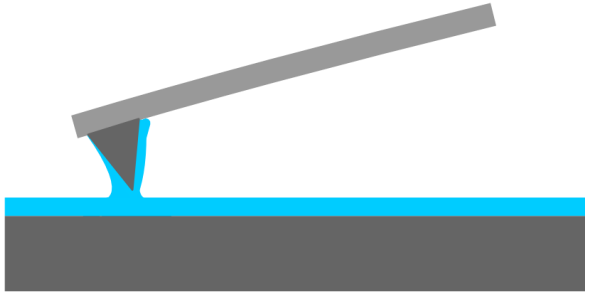




Zurückziehen der Spitze.
F(z) folgt der gleichen „Linie“

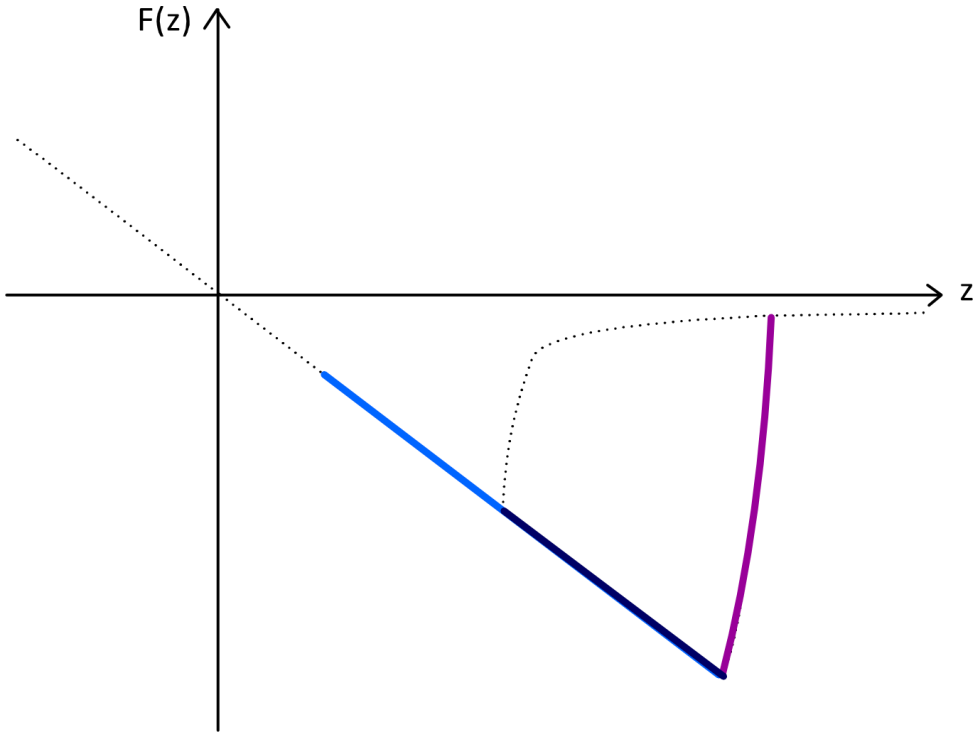
Quelle: http://www.doitpoms.ac.uk (University of Cambridge)





Spitze wird durch Adhäsionskräfte an Oberfläche festgehalten

Quelle: http://www.doitpoms.ac.uk (University of Cambridge)



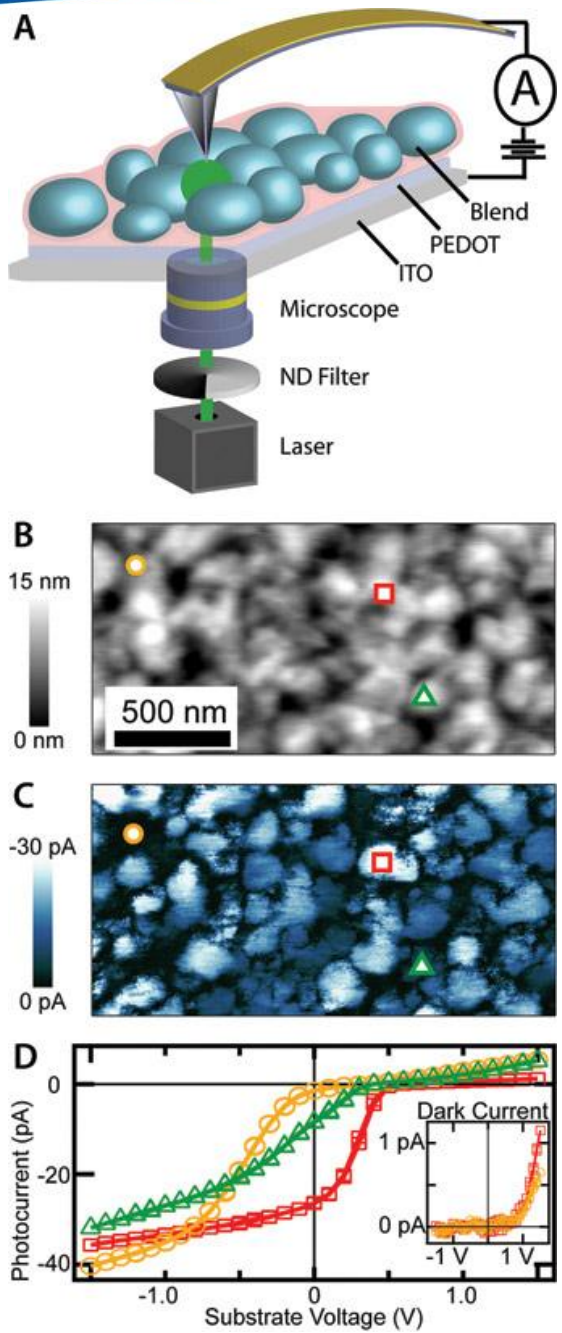
Ab einem bestimmten Punkt kann sich die Spitze lösen.
Aus diesen Daten lässt sich Adhäsionskraft bestimmen.

Quelle: http://www.doitpoms.ac.uk (University of Cambridge)

…viele weitere Anwendungen

- Bsp.: Kombination AFM mit optischen Mikroskopen bzw. Mikroskoplinsen

- A) Verwendung von optischen Mikroskop-Objektiven zur Anregung von organischen Photovoltaik-Filmen
- B) Erfassung AFM
- C) Strom-Messung



Quelle: Geisse,N.A, AFM and combined optical techniques, Materials Today, Volume 12, Issues 7–8, 2009

Fazit / Zusammenfassung

- Kraftmikroskopie wird für eine Vielzahl von Verfahren und Proben verwendet
  - sowohl nichtleitende als auch leitende Probe
  - harte, so wie weiche Materialien
- Die Vielseitigkeit macht die Kraftmikroskopie zu einem wichtigen und oft genutzten Verfahren in der Nanotechnologie

Literatur

- Binnig,G. und Quate,C.F, *Atomic Force Microscopy*, Phys. Rev. Lett. #55, 1986
- Friedbacher, G. und Fuchs, H., *Klassifikation der rastersondenmikroskopischen Verfahren,* Angewandte Chemie Vol. 115 #45, 2003 Wiley-Verlag
- Nicholas A. und Geisse, *AFM and combined optical techniques*, Materials Today Vol. 12 #7-8, 2009
- http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/afm/index.php (Website zum AFM der Universität Cambridge)
- http://www.ntmdt.com/spm-principles
- *http://nanohub.org*