

Rasterkraftmikroskopie: Grundlagen

Das Magnetkraftmikroskop ist eine Weiterentwicklung des Rasterkraftmikroskops oder auch Atomkraftmikroskops (Atomic Force Microscope, AFM). Das AFM wurde 1986 von Binnig, Quate and Gerber entwickelt. Bei der Kraftmikroskopie wird eine Sonde in einem Rasterverfahren über die Probe geführt. Im Falle des AFM ist die Sonde eine mikroskopisch scharfe Spitze (Spitzenradius etwa 20nm) am Ende eines Cantilevers, der sich als Reaktion auf die auf die Spitze wirkenden Kräfte verbiegt. Dabei wird die Auslenkung des Cantilevers mit einem Laserstrahl gemessen. Die drei wichtigsten Abbildungsmodi sind *Contact-Modus*, *Tapping-Modus* und *Non-Contact-Modus*.

Im **Contact-Modus** wird die an dem Cantilever befestigte Spitze über die Oberfläche eines Prüflings bewegt. Die Oberfläche wird Zeile für Zeile abgetastet. Mit Hilfe eines Piezostellelements wird die Höhe des Cantilevers so gesteuert, dass die Auslenkung des Cantilevers und damit die Kraft zwischen Spitze und Probe möglichst gleich bleibt.

Die übliche Betriebsweise des AFM ist jedoch der **Tapping-Modus**. Der Cantilever wird hierbei extern, über einen Piezokristall, bei seiner Resonanzfrequenz (typischerweise einige 100 kHz) in Schwingung

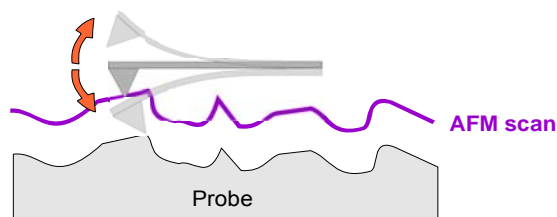


Abb. 1: schematische Darstellung der Abbildung einer Oberfläche mittels AFM im Tapping-Modus

versetzt. Während der Schwingung berührt die Spitze die Probenoberfläche nur während eines Bruchteils der Oszillationsperiode. Wechselwirkungskräfte zwischen der Spitze des Federbalkens und der Probenoberfläche verändern die Resonanzfrequenz des Systems, wodurch sich die Schwingungsamplitude und die Phase (zwischen Anregung und Schwingung) ändern. Im Constant-Force-Modus wird die Schwingungsamplitude als Regelsignal eingesetzt, d. h. ein Regelkreis versucht die Amplitude konstant zu halten, indem der Abstand zwischen Spitze und Probe angepasst wird (Abb. 1).

Aus diesem Verfahren wurde die **Magnetkraftmikroskopie** weiterentwickelt. Die Messung erfolgt im **Non-Contact-Modus**. Die Spitze wird zusätzlich mit einem magnetischen Material beschichtet. Die Messung selbst erfolgt dann für jede Bildzeile in zwei Durchläufen: Im ersten Durchlauf wird mit einem der oben beschriebenen Messmodi zunächst das Höhenprofil der Probe ermittelt. Danach wird im zweiten Durchlauf dieses Oberflächenprofil der Probe noch einmal abgefahren, und zwar so, dass die Spitze einen konstanten Abstand zur Oberfläche aufweist (typisch unter 100 nm). Da die magnetischen Kräfte eine größere Reichweite als die Oberflächenkräfte haben, kann man so die Wirkung des Magnetfeldes von der der Oberflächenkräfte trennen. Die magnetisch beschichtete Spitze wechselwirkt mit dem magnetischen Streufeld der Probe. Dadurch verschiebt sich die Resonanzfrequenz des schwingenden Cantilevers. Wird die die Anregungsfrequenz konstant gehalten und die Amplitude nachgeregelt, so kommt es zu einer zusätzlichen Verschiebung der Phasendifferenz $\Delta\varphi$ zwischen anregender und gemessener Schwingung, die als Messsignal aufgezeichnet wird (Abb. 2). In diesem Messmodus ist das Signal $\Delta\varphi$ proportional zur Ableitung der Kraft, die auf die Spitze im Streufeld der Probe wirkt.

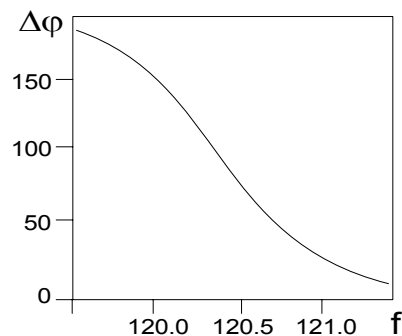


Abb. 2: Typischer Verlauf der Phasenverschiebung $\Delta\varphi$ zwischen Cantileverschwingung und Anregung als Funktion der Anregungsfrequenz. Treten Feldstärkegradienten auf, so kommt es zu einer Verschiebung der Resonanzfrequenz und somit zu einer Änderung der Phasenverschiebung $\Delta\varphi$.

Literatur:

Binnig, G.; Quate, C.F.; Gerber, C.H.: *Atomic force microscope* Phys. Rev. Lett. **56**, 930 (1986), S. 930

Martin, Y.; Wickramasinghe, H.K.: *Magnetic imaging by "force microscopy" with 1000 Å resolution* Appl. Phys. Lett. **50**, (1987), S. 1455