

Fortgeschrittenen Praktikum

Versuch H1

Rastertunnelmikroskopie

Betreuer: Dr. Sebastian Fray
Schellingstrasse 4, Zi. 3/2
Tel.: 2180-2046, -3452
e-mail: S.Fray@mpq.mpg.de

Betreuer: Dr. Kai Dieckmann
Schellingstraße 4, Zi. 3/4
Tel.: 2180-2761, -3452
e-mail: Kai.Dieckmann@physik.uni-muenchend.de

Diese Anleitung im Internet:
<http://www.mpq.mpg.de/~haensch/FQG/teaching.html>

Inhalt

- Versuchsziel
- Einführung in die Rastertunnelmikroskopie
- Originalarbeiten
- Bedienungsanleitungen

Versuchsziel und Inhalte

Versuchsziel:

1. Rastertunnel-Mikroskopieren einer Graphitoberfläche mit einer geschnittenen Spitze. Erzielung atomarer Auflösung.
2. Bestimmung der Gitterkonstanten von Graphit.
3. (fakultativ) Ätzen einer Wolframspitze und deren Untersuchung mit einem optischen Mikroskop.
4. (fakultativ) Wiederholung der Rastertunnel-Messung mit der geätzten Spitze und Vergleich der Ergebnisse.

Inhalte:

- Funktionsprinzip der Rastertunnelmikroskopie (Dazu gehören besonders die folgenden vier Punkte.)
- Worin besteht der Tunneleffekt, was ist seine quantenmechanische Grundlage?
- Wie funktioniert ein "Piezoelement" und wie kann man solche Elemente zur Mikropositionierung verwenden?
- Es gibt zwei Verfahren, um aus dem Tunnelstrom Informationen über die Oberflächenstruktur zu gewinnen. Wie funktionieren sie? Mit welcher einfachen elektronischen Schaltung läßt sich der "constant-current mode" realisieren?
- Wie kann die Grobeinstellung des Abstandes Spitze-Oberfläche realisiert werden (z.B. Trägheitsmotor, "Inchworm")?
- Welche experimentellen Gesichtspunkte sind entscheidend für das Gelingen der Rastertunnelmikroskopie?
- Welche anderen rastermikroskopischen Verfahren gibt es, wo werden sie eingesetzt? Welche Anwendungen der Rastermikroskopie sind Ihnen begegnet?
- Die verschiedenen Rastermikroskopie-Verfahren haben seit ihrer ersten Demonstration Anfang der achtziger Jahre in kürzester Zeit eine enorme Verbreitung erfahren. Was ist entscheidend für den Erfolg dieser Mikroskopieverfahren? Hätte man Rastermikroskope auch schon früher bauen können?

In touch with atoms

G. Binnig

*IBM Research Division, Zurich Research Laboratory, Säumerstrasse 4,
8803 Rüschlikon, Switzerland*

H. Rohrer

8805 Richterswil, Switzerland

Scanning tunneling microscopy appeared as a new method to deal with atoms, molecules, and nanometer-scale structures. It was the first of a growing family of local probes for imaging and measuring, which can serve at the same time as tools. Local probe methods have changed the way we perceive, think about, and treat atomic structures, and have brought about a new appreciation of mechanics. They play a central role for science and technology on the nanometer scale and will allow us to build systems of the same complexity as used by nature, which has built life on nanofunctionality. [S0034-6861(99)04402-5]

I. BACK TO THE FUTURE OF MECHANICS

Quantum mechanics has dramatically changed our perception of atoms, molecules, and condensed matter and established the central role of electronic states for electronic, chemical, and mechanical properties. Electronics, understood broadly as the motion of electrons and the deformation of their arrangements, has become the basis of our high-tech world, including “electronics,” computer science, and communications. Mechanics, on the other hand, understood as the motion of the mass of atomic cores and the deformation of their arrangements, played a lesser role, at best that of the guardian of the electron. Quantum mechanics has become, for many, synonymous with electronic states and electronics, whereas mechanics is considered the Stone Age. In this respect, the “mechanical” scanning tunneling microscope (STM) came as a surprise. The STM is a mechanically positioned, electrically sensitive kind of nanofinger for sensing, addressing, and handling individually selected atoms, molecules, and other tiny objects and for modifying condensed matter on an atomic scale (Sarid, 1991; Güntherodt and Wiesendanger, 1992; Chen, 1993; Stroscio and Kaiser, 1993; Hamers, Weaver, Weimer, and Weiss, 1996). And like with finger tips, it is the “touch” that makes the difference (see Fig. 1). Back to the future of mechanics: Nanomechanics, a new era.

The STM emerged as a response to an issue in technology. [For a historical review of STM see Binnig and Rohrer (1987a,1987b).] Inhomogeneities on the nanometer scale had become increasingly important as the miniaturization of electronic devices progressed. Condensed-matter physics, on the other hand, was occupied predominantly with periodic structures in solids and on surfaces and thus had developed very successfully momentum-space methods and concepts for the nanometer scale. Inspired by the specific problem of inhomogeneities in thin insulating layers — a central challenge to our colleagues working on the development of a computer based on Josephson tunnel junctions — and realizing the general scientific significance associated with it, we started to think in terms of local phenomena. Tunneling appeared a natural and promising

solution. This was the beginning of a new approach to the nanometer scale, the local-probe methods.

Local probes are small-sized objects, usually the very end of a sharp tip, whose interactions with a sample or a field can be sensed at selected positions. Proximity to or contact with the sample is required for good resolution. This is in principle an old concept, the medical doctor’s stethoscope being a well-known example. “Small sized” in this case means small compared to the wavelength of the sound to be heard and comparable to the distance from the sound source. The local-probe concept even appeared sporadically in the scientific literature in context with electromagnetic radiation (Syngé, 1928,1932;

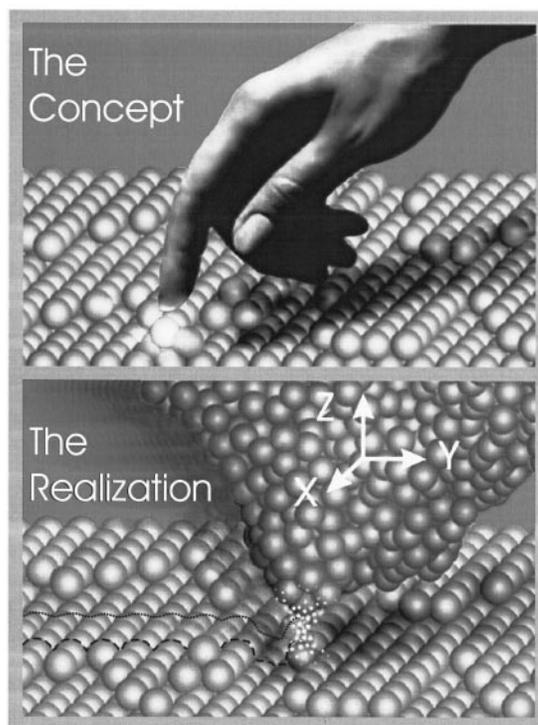


FIG. 1. Principle of a local probe: The gentle touch of a nanofinger. If the interaction between tip and sample decays sufficiently rapidly on the atomic scale, only the two atoms that are closest to each other are able to “feel” each other.

O’Keefe, (1956); Ash and Nicolls, 1972), but met with little interest and was not pursued. Nanoprobes require atomically stable tips and high-precision nanodrives. The latter are based on mechanical deformations of springlike structures by given forces—piezoelectric, mechanical, electrostatic, or magnetic—to ensure continuous and reproducible displacements with precision down to the picometer level. They also require very good vibration isolation. Furthermore, the concept of contact—electrical or mechanical—blurs at the nanometer scale. In the case of electrical contact, no sharp boundaries exist because of the penetration of electronic wave functions into the potential barriers of finite height, giving rise to electron tunneling (Bardeen, 1961; Güntherodt and Wiesendanger, 1992; Chen, 1993; Stroscio and Kaiser, 1993). On the other hand, interference and quantum effects can lead to discontinuities like in quantum conduction (Imry and Landauer, 1998).

The resolution f of local-probe methods is given mainly by an effective probe size r , its distance from the object d , and the decay of the interaction. The latter can also be considered to create an effective aperture, e.g., by selecting a small feature of the overall geometry of the probe tip, which then corresponds to the effective probe. If the decay in the distance range of interest can be approximated by an exponential behavior, $\exp(-x/l)$, with an effective decay length l , a good approximation of the resolution is $f = A\sqrt{(r+d)l}$, where A is of order unity [e.g., $A \approx 3$ for a spherical STM tip of radius r and electronic s -wave functions (Tersoff and Hamann, 1983)]. Atomic resolution therefore requires probe size, proximity, and decay length, respectively, of atomic dimension.

In STM, the interaction can be described as the wave-function overlap of empty and filled states of a tip and sample, respectively, or vice versa, which leads to a tunnel current when a voltage is applied (Bardeen, 1961). The interaction and, thus the tunneling current, decay exponentially with increasing separation with a decay length l (nm) $\approx 0.1/\sqrt{\phi_{\text{eff}}}$ for free electrons, where ϕ_{eff} is the effective tunnel barrier. For electrons at the Fermi energy with momentum perpendicular to the tunnel barrier, ϕ_{eff} is the average of sample and tip work functions $\bar{\phi}$. For most tip and sample materials, $\bar{\phi}$ is 4 to 6 eV and thus $l \approx 0.05$ nm.

This short decay length ensures that the tunnel current is carried mainly by the frontmost atom of the tip, which thus represents a local probe of atomic dimensions as depicted in Fig. 1. For a tunnel current in the nanoampere to picoampere range, the distance has to be less than 1 nm. This leads in a natural way to atomic resolution, provided that tips and samples are mechanically and chemically stable. In other words, once tunneling was chosen, atomic resolution was inevitable. Fast fluctuations owing to thermal excitations such as phonons or the diffusion of atoms are largely averaged out. Therefore STM can be operated at elevated temperatures or in ambient or liquid environments with an acceptable signal-to-noise ratio.

The STM is an electronic-mechanical hybrid. The probe positioning is mechanics, whereas the interaction is sensed by the tunneling current, which is of quantum-mechanical origin. The most common imaging mode is the constant interaction or the “mechanical” mode in which a feedback loop adjusts the probe position with respect to the sample, say in the z direction, to a given tunneling current while scanning in the x - y direction over the surface. The x - y - z positions of the probe, i.e., the image, represent a contour of constant tunnel current or of whatever the tunnel current can be related to, e.g., in many cases a contour of constant local density of electronic states. On smooth surfaces, faster imaging can often be achieved by measuring the tunneling current while scanning on a given, smooth x - y - z contour, e.g., a plane parallel to an average surface portion, which is then called constant-height mode. For very weak interaction, i.e., for tunneling currents at or below 1 pA, the imaging speed is, however, limited by the current measuring bandwidth, not by the mechanical system response.

In view of its conceptual simplicity, the fact that no new theoretical insight and concepts nor new types of materials or components were required, and the prospect of a fundamentally new approach to the nanometer scale, it is remarkable that the STM—or local probes in general for the nanometer scale—was not invented much earlier. And when it was, it did not happen in one of the obvious communities. And after it was, it took several years and an atomically resolved, real-space image of the magical Si(111) 7×7 reconstruction (Binnig, Rohrer, Gerber, and Weibel, 1983) to overcome the reservations of a skeptical and sometimes rather conservative scientific community. There were certain exceptions, though.

II. COLORFUL TOUCH

The “touch” of a local probe with the nano-object is essentially given by the *type* of interaction, which addresses a distinct property, process, or function, by the *strength* of the interaction, which can make a tool out of the probe, and by the *medium*, such as liquid, ambient or vacuum, that provides the specific local “atmosphere,” the “nanosphere.” A colorful touch, indeed, with a rainbow of possibilities. However, to have a large variety of interactions at one’s disposal is one thing, to differentiate among them is another. Ideally, one would like to control the position of the probe and guide it over a specific, easily understandable contour, such as the object’s topography, by means of a control interaction and to work with other interactions, the working interactions, for addressing or changing the properties, processes, and functions of interest. Admittedly, the topography is a fuzzy concept on the nanometer scale but it nevertheless might be a useful one in many cases. But even if an appropriate control interaction can be found, one must still separate the working interactions because the measuring signal includes the effect of an entire class of interactions. In STM, the contribution of the elec-

tronic states to the tunneling current depends on their energy, momentum, symmetry, and density as well as on the tunneling barrier height and width and the tunneling process. Or the response of a force sensor is the composite action of different forces. Separating the interactions for imaging and working is the challenge and the art, the “touch,” of working with local-probe methods.

Tunneling spectroscopy is the major technique to separate the contributions of the various electronic states and various tunneling processes to the tunneling current in order to associate specific image features with a characteristic surface property or process [see the chapters on spectroscopy in Güntherodt and Wiesendanger (1992), Chen (1993); Stroscio and Kaiser (1993)]. The tunneling current due to those electronic states that are homogeneous on the surface and reflect in many cases the total density of states is usually used as the control interaction. In this case, the contour traced can be regarded as the surface topography. At each measuring point on the topography, the electronic states of interest are extracted by the tunneling current in the appropriate voltage, i.e., energy window. This is done in practice with various techniques, [see Hamers, Weaver, Weimer, and Weiss (1996)]. There are many other ways to extract information from a local tunneling experiment. Ballistic electron-emission microscopy (BEEM) tests buried potential barriers; distance-current characteristics yield tunnel barrier heights and decay lengths of the electronic wave functions. Emitted photons owing to inelastic tunneling processes (Lambe and McCarthy, 1976; Gimzewski, 1995) are characteristic of local excitations such as surface plasmons, of local densities of states, of energy levels of adsorbed molecules, of electron-hole pair formation and recombination, and of spin polarization. Very powerful light emission from a Cu surface covered with polyaromatic molecules equipped with molecular spacers has recently been observed within an STM configuration (Gimzewski, 1998). The estimated conversion rate is as high as 30% or 10^8 photons/sec from a volume of several cubic nanometers, although inelastic-tunneling processes are otherwise lower than the elastic ones by four to six orders of magnitude.

STM was followed by the scanning near-field optical microscope (SNOM) [Pohl, Denk, and Lanz, 1984] and the atomic force microscope (AFM) (Binnig, Gerber, and Quate, 1986; Sarid, 1991) with all its different force derivatives. In the SNOM a photon current is a measure of the interaction. Although it extended the resolution of optical microscopy far beyond the diffraction limit and offers the power of optical spectroscopy, it did not arouse widespread attention. The atomic-resolution capability of STM appeared to be a serious handicap for SNOM, just like the STM once had to overcome the bias for established surface-science methods. Fortunately, this has changed and SNOM has found its champions and proper place.

A major extension of local-probe methods was brought about by the invention of the AFM. It allows nanometer-resolution, in special cases even atomic-

resolution, imaging of conducting and nonconducting objects and local force detection below the picoNewton level. The various forces that are mainly used for imaging are repulsive interatomic, electrostatic, magnetic, van der Waals (all of electronic origin), and lateral (friction) forces (Mate, McClelland, Erlandson, and Chiang, 1987; Güntherodt and Wiesendanger, 1992; Chen, 1993; Stroscio and Kaiser, 1993; see also Hamers, Weaver, Weimer, and Weiss, 1996). The AFM also uses a sharp tip as local probe, but, unlike STM where the tunnel current is a measure of the interaction, a force between tip and sample is detected via the deformation of a spring, generally the bending of a cantilever beam carrying the tip at one end. In the static mode, the excursion of the beam determines the force, in the dynamic mode it is the amplitude and frequency responses of the oscillating cantilever, e.g., a shift of resonance frequency or damping, that are measured and can be used to control the lever position. The force interaction is first transformed into mechanics before being measured. The AFM, therefore, is of an even more mechanical nature than the STM. Today, a large number of deflection sensors yield subangstrom sensitivity; some are electrical and integrated into the lever, others are external. For sensitivity, the beam has to be soft, for vibration protection and to achieve an acceptable imaging speed, its eigenfrequency has to be high. Both requirements can be satisfied by miniaturization in all dimensions because both compliance and resonant frequency increase linearly with decreasing dimension. Microfabricated cantilevers with resonance frequencies above 1 MHz and spring constants below 1 N/m are in use today. Designs are flexible for applications requiring either higher frequencies or lower spring constants.

Shortly after the introduction of the AFM, atomic periodicities—easily confused with atomically resolved structures—were observed. It took a few years, however, before true atomic resolution could be achieved (Ohnesorge and Binnig, 1993). Repulsive forces of the order of only 10^{-10} N between the frontmost atom of the tip and the closest sample atom can deform even a hard sample and tip such that they adapt their shapes to each other. The resolution then is no longer given by the frontmost atom of the tip but rather by its overall radius of curvature. For sharp tips there are nevertheless only a small number of tip atoms in contact with the sample, and periodicities are not completely averaged out. This then simulates atomic resolution, however, with defects either smeared out or not visible at all.

Most scientists operate the AFM in air. In contrast to STM, atomic resolution in air is hardly possible with an AFM. There will be always some humidity present, and therefore the tip and sample will be covered with a water film. As a result, capillary forces will drive the tip with a relatively strong force against the sample. In principle this force can be counterbalanced by pulling the lever away from the sample and prebending it this way. Unfortunately the capillary forces and the maximum tolerable loading forces differ by so many orders of magnitude that a counterbalancing is spoiled by tiny variations

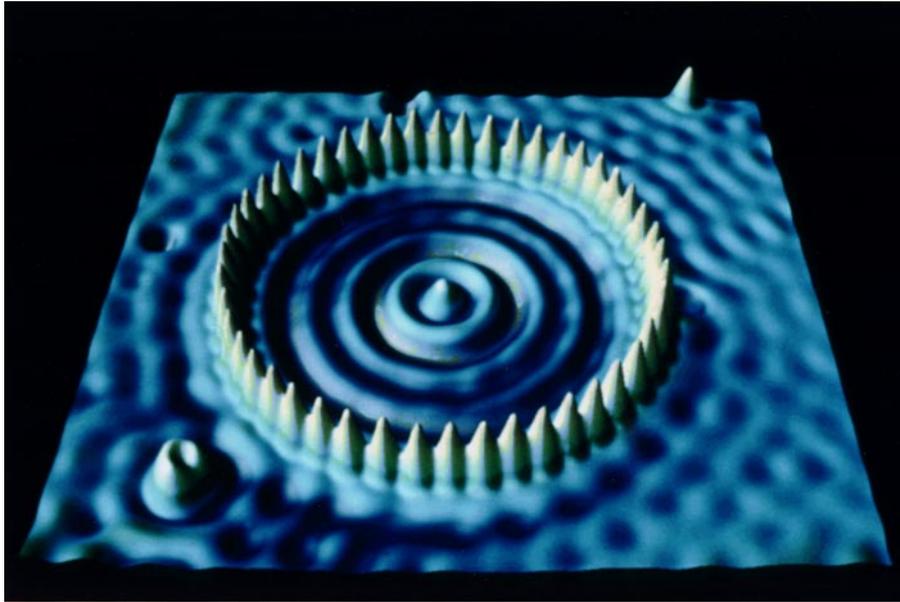


FIG. 2. (Color) STM image of a quantum corral for electrons built with 48 iron atoms on copper. The same tip is used to position the iron atoms into a 12.4-nm-diameter ring and to image them and the wave-structure interior caused by the confined surface-state copper electrons. Courtesy D. Eigler, IBM Research Center, Almaden, CA.

in these forces during the scan. Operating the cantilever in vacuum solves the problem. Operating it in water or an aqueous solution also solves this problem and another one: van der Waals forces do not decay as rapidly as tunneling currents and therefore a background attraction of the tip (and not just its very front) is present. In liquids, e.g., aqueous solution, this background attraction can be counterbalanced completely by the van der Waals forces that act on the solution by pulling it into the gap between tip and sample (Garcia and Binh, 1992).

Of prime interest in AFM are the topography, the type of contact, and the local mechanical properties. The dynamic mode is used to address local elastic constants, whereas force-distance curves in and out of contact provide information about contact, intermolecular forces, and binding. Adding a known Coulomb force allows one to separate Coulomb, van der Waals, and magnetic forces. These methods have their counterparts in spectroscopy in STM.

Following the scanning near-field optical microscope and the AFM, a profusion of local-probe techniques using various interactions appeared, each geared to solve a specific class of problems in a given environment. They include Maxwell stress microscopy, ion conductance microscopy, scanning electrochemical microscopy, higher-harmonics generation of microwaves and optical photons, and many others, and more are still appearing. Their adaptability to different types of interactions and working environments is one of the greatest assets of local-probe methods.

Another one is the ease of making a nanometer-scale tool out of a probe (see Fig. 2). Probe or tool is a matter of the strength of the interaction and of the local sensitivity to it. Changing the distance between probe and object by a fraction of a nanometer can change the in-

teraction strength by several orders of magnitude. Alternatively, applying a few volts can result in electric fields of the order of intramolecular fields, which are sufficient to break individual chemical bonds or to initiate a local chemical reaction. A wide variety of local manipulation and modification possibilities are in use, ranging from gentle atom and molecule displacements to their individually selected removal and deposition, to local chemical changes, to brute-force nanometer-sized scratching and chiseling (Güntherodt and Wiesendanger, 1992; Chen, 1993; Stroscio and Kaiser, 1993; Hamers, Weaver, Weimer, and Weiss, 1996).

III. CHANGE AND CHALLENGE

Since the advent of local-probe methods, atoms, molecules, and other nanometer-sized objects are no longer “untouchables.” They forsook their anonymity as indistinguishable members of a statistical ensemble and became individuals. We have established a casual relationship with them, and quite generally with the nanometer scale. Casual, however, does not mean easy. They are fragile individuals, whose properties and functions depend strongly on their context and which are usually quite different from those in the isolated state. Interfacing them to the nanoscopic, microscopic, and macroscopic worlds in a controlled way is one of the central challenges of nanotechnology. Imaging them or communicating with them is the easiest of these tasks, although not always trivial. Besides the effects of immobilization, even weak-electric-contact probes like STM tips are not strictly noninvasive because of the forces present at tunneling distances, in particular when weak contrast or weak electric signals require extreme proximity. Adhesive and electrostatic forces, both from applied voltage

and contact potential, can lead to reversible local deformations, in many cases even to irreversible displacements. The latter, undesirable in imaging, has become the basis for atom manipulation (Crommie, Lutz, and Eigler, 1993). The measuring process on the nanoscale is somewhere between an intricate quantum-mechanical one and a straightforward macroscopic one. Generally speaking, the smaller the object or the higher the required resolution, the more delicate the measuring process; and the stronger the required interactions, e.g., for controlling a function or process, the more demanding their control.

The real-space, nano- to atomic-scale resolution of local probes changed our way of thinking and working in many areas and created new ones with distinct properties and behavior on the nanometer scale such as nanotribology, nanoelectrochemistry, and nanomechanics.

In surface science, most of the more complex surface structures and reconstructions could be resolved by STM, often together with other surface-science techniques, and are understood reasonably well. The real-space imaging capability proved to be crucial to unravel the structure of the enlarged unit cell of reconstructions [for an example of the richness of reconstructions see Xue, Hashizume, and Sakurai (1997)]. This is even more so for the study of more local phenomena such as surface structures coexisting on short length scales, nucleation and growth phenomena, heterogeneous catalysis, phase transitions, and surface chemistry. Changes always occur and propagate locally. Still awaited is a general nanoscopic chemical-analysis method.

In electrochemistry, local probes brought in a new era by advancing *in situ* resolution from at best that of optical microscopy for observation and macroscopic for processes to the atomic and nanometer scale, respectively [for a review, see Siegenthaler (1998)]. The significance of working in a liquid environment, however, extends far beyond electrochemistry. The liquid-solid interface is, in our opinion, the interface of the future, at least on equal footing with the solid-vacuum interface of classical surface science. Liquids provide a very adaptive environment for protection, process control, and modification of surfaces, they carry ionic charges and atomic and molecular species, and they remove many of the “traffic restrictions” typical for a two-dimensional solid surface.

Ambient environment and liquids are also a key for *in situ* and *in vivo* local-probe methods for macromolecules and biomaterial (Drake *et al.*, 1989). STM and AFM imaging have made good progress, both in problem areas not accessible to other methods as well as complementary to electron microscope imaging (Engel and Gaub, 1997; and references therein) Fig. 3; breakthroughs such as decoding DNA still lie ahead.

In the technology domain, local-probe imaging and measurements in vacuum, at ambient and in liquids, have begun to be applied routinely in the surface analytical sector, where instrumentation is predominantly of the AFM type. The long-range perspective of local probes in general, however, is their use as local sensors, flexible and adaptable tools, and in massive parallel op-

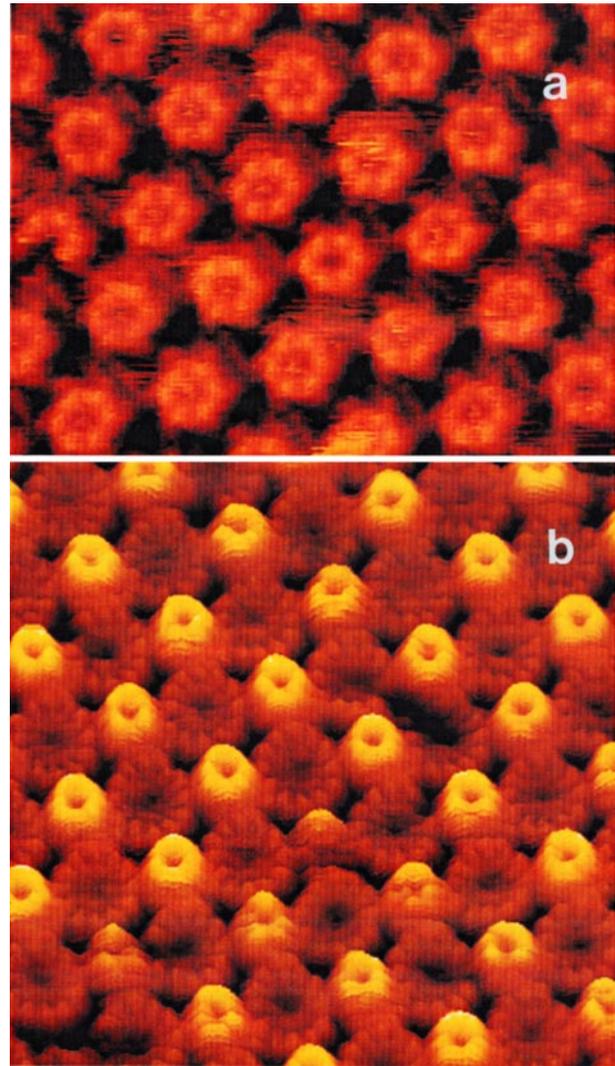


FIG. 3. (Color) (a) The cytoplasmic surface of the hexagonally packed intermediate (HPI) layer is an essential part of the cell envelope of *Deinococcus radiodurans*. It is supposed to have a protective function and to act as a molecular sieve. The pores seen in the protruding cores are probably the channels of this sieve, and as shown by AFM for the first time, the channels exhibit two conformations that change dynamically. The unit cell size is 18 nm, and the brightness range corresponds to 3 nm (Müller, Baumeister, and Engel (1996)). (b) Two-dimensional crystals of bacteriophage F 29 head-tail connectors recorded with the AFM in buffer solution. The connectors are packed in up-and-down originations, exposing their narrow ends that connect to the tail and their wide ends that connect to the head. The 12-fold symmetry and vorticity of this complex is clearly demonstrated by this topograph. The unit cell size is 16.5 nm, whereas the brightness range corresponds to 4 nm (Müller *et al.*, (1997)). Courtesy A. Engel, Univ. Basel.

erating devices. Cantilever probes have a special status. Besides their great force and strain sensitivity, they are fast, yielding, and robust. They ensure soft contact in the microNewton to the nanoNewton range. They are, therefore, especially suited for cantilever array applications where fine control of each individual cantilever might be too cumbersome, impractical, or infeasible.

Even though the individual local experiments in a specific application might still require μsec to milliseconds, massive parallel operation of cantilevers in batch-fabricated arrays opens new possibilities. Lithography applications (Minne *et al.*, 1998; Wilder *et al.*, 1998) take advantage of very fast “chemics” on the nanometer scale, as diffusion times scale with the square of linear dimension.

An illustrative example of an array application with mechanics is the “Millipede,” a mechanical-electronic pocket-sized terabit storage device (Binnig, Rohrer, and Vettiger, 1997; Lutwyche *et al.*, 1998). It consists essentially of a two-dimensional array of smart AFM cantilever beams with integrated read, write, and actuation capabilities, which are addressed and controlled via a multiplex scheme. With feasible bit-space requirements of $30 \times 30 \text{ nm}^2$, e.g., indentations in a polymer storage medium, a million cantilevers serve one terabit on $3 \times 3 \text{ cm}^2$. At realistic read and write speeds of 10 to 1000 kbit/sec, the data-transfer rate is limited by the multiplex speed rather than by mechanics. The architecture of the Millipede solves two basic issues in miniaturization to the nanometer scale, namely the effective-space requirement and the deterioration of signal strength. The degree of miniaturization is determined by the active part and the periphery, which is necessary to build a functional element. The periphery often becomes the space-limiting requirement for nanometer-scale active parts. In the Millipede, the periphery, i.e., the smart cantilever, is of the same size as the megabit it addresses. The effective miniaturization is, therefore, given by the bit size. Secondly the read/write signal can be prepared during the multiplex cycle. In spite of the enormous data-transfer rate, the signal deterioration due to both decreasing bit size and increasing read/write speed is greatly reduced. Most exciting, however, is the prospect of new approaches for combining data storage and *in situ* processing.

The prime activity in local-probe methods focused initially on super-resolution and the understanding of imaging, manipulation, and modification processes. Interest is now expanding to high-sensitivity measuring processes, which often require a tradeoff between resolution and sensitivity/precision, to local-probe systems, and generally to include more complexity in local probes and systems of them such as the cantilever arrays mentioned above. Combining spin-resonance techniques with magnetic force microscopy introduces the possibility of unprecedentedly high-resolution spin-resonance imaging (Sidles, 1991; Rugar *et al.*, 1994). Often, however, imaging merely serves to determine the appropriate position for the experiment or is not used at all. Studies performed predominantly in STM configurations include electron transfer through individual molecules and other nano-objects, frequency mixing using nonlinear tunnel characteristics, multiprobe systems for correlation and local resistivity measurements, and quantum transport through and mechanical properties of metallic nanoconstrictions—the latter in an AFM configuration with conducting tip. Functionalized cantilever-type force

sensors are used to detect forces in the piconewton to femtonewton range as well as ultrasmall strains produced on the beam itself. Examples are molecular recognition via the binding behavior between two selected molecules, one of which is attached to the tip, measurement of reaction heat in the femtojoule to picojoule range on a functionalized bimorph (a double-layer lever of silicon and aluminium with very different thermal expansion) cantilever, or detection of dilution in the (10^{-18} mol) range due to the strain induced by adsorbed molecules. Smallness comes to bear in three ways: picometer deflection detection brings the extreme sensitivity, and the small dimensions of the cantilever yield short response times and allow nearly noninvasive local sensing. There are still many other uses of cantilevers, e.g., the water meniscus which can form at ambient conditions between tip and surface and which is undesirable in imaging, can serve atomol chemistry in modification processes (Garcia, Calleja, and Perez-Murano, 1998), or the nonlinear coupling of cantilevers can be used for mechanical processing. It is amazing how much can be done and how much potential lies in a primitive cantilever, when it is small enough and properly functionalized.

Local probes play a crucial role in our understanding of how to create an interface to molecular and biofunctional units and, quite generally, they pave the way to building problem-specific nanosystems. In many cases, they might not be the final word, but act merely as a midwife for new experimental approaches and novel technological devices.

IV. NATURE'S WAY

Problem-specific nanosystems allow us to work on the same scale as nature does. Nature has built life on nanofunctionality, the ultimate purpose of nanotechnology. Sensing, processing, actuation, and growth take place on the nanometer scale and are joined in intricate ways to macroscopic properties, processes, and functions.

Nature uses mechanics abundantly and generally does not even separate it from electronics. Nanomechanics has many attractive features: energies required to produce the deformations useful for sensing and actuation are in the thermal energy (kT) range, strains obtained from bending scale with thickness, mechanical eigenfrequencies reach megahertz to gigahertz values and can be adapted to the problem, e.g., low attempt frequencies for transitions, and diffusion times come down to μsec to picoseconds. Nature's nanomechanics rests predominantly on deformation and on the transport of atoms, molecules, small entities, and ionic charges, in contrast to translation and rotation in macromechanics. Simple deformations on the nanometer scale can be synthesized to create complex macromotions. Finally, the small energies required for local activation, sensing, and processing can be provided by distributed chemical-energy reservoirs.

“Distributed” seems to be Nature's general approach to solving so many tasks much more elegantly, efficiently, and successfully than we can do or even attempt

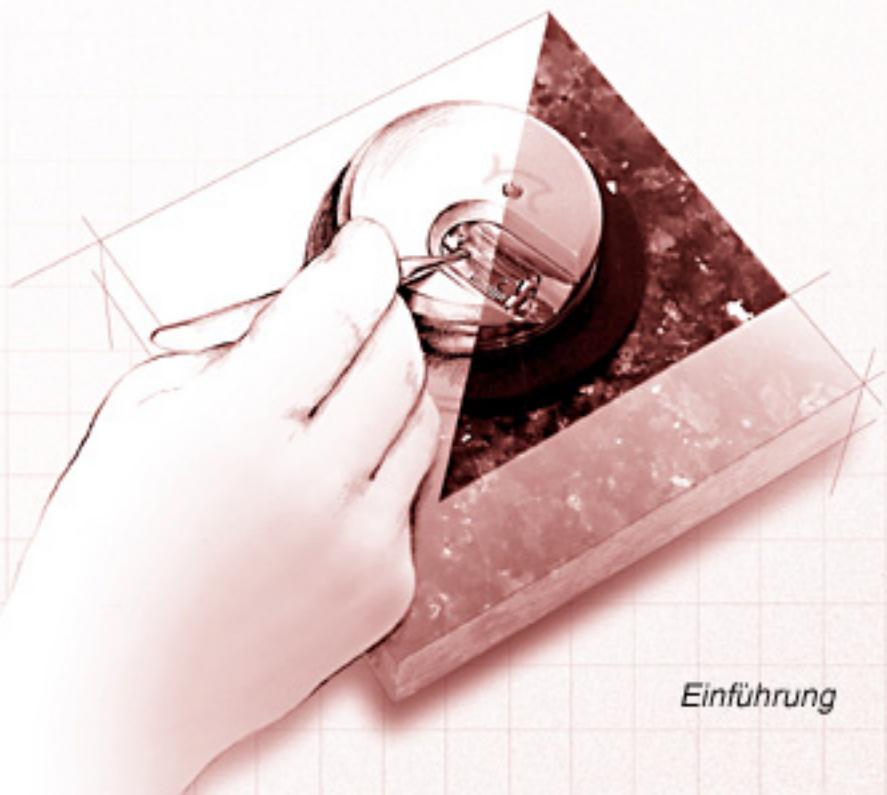
to do with present-day macroinstrumentation, central processing, and computation. The nanometer-scale elements allow all kinds of densely interwoven, distributed storage, programming and processing; software is built into the hardware. The same should become true for lifting disciplinary boundaries. The nanoscale is the bifurcation point where materials develop their properties and the science and engineering disciplines their particularities in thinking, working, and terminology. Coming down from the macro and micro scales, the nanometer scale should become the merging point. This then could also be the starting point for the human bottom-up approach to functionality—Nature's way.

REFERENCES

- Appl. Phys. A **66**.
- Ash, E.A., and G. Nicolls, 1972, *Nature* (London) **237**, 510.
- Bardeen, J., 1961, *Phys. Rev. Lett.* **6**, 57.
- Binnig, G., and H. Rohrer, 1987a, "Scanning Tunneling Microscopy—from Birth to Adolescence" (Nobel Lecture), in *Les Prix Nobel 1986* (The Nobel Foundation, Stockholm), p. 85. Reprinted in *Rev. Mod. Phys.* **59**, 615 (1987).
- Binnig G., and H. Rohrer, 1987b, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **26**, 606.
- Binnig G., Ch. Gerber, and C.F. Quate, 1986, *Phys. Rev. Lett.* **56**, 930.
- Binnig, G.K., H. Rohrer, and P. Vettiger, 1997, "Mass-Storgae Applications of Local Probe Arrays," Patent No. WO97/05610 (February 13, 1997).
- Binnig, G., H. Rohrer, Ch. Gerber, and E. Weibel, 1983, *Phys. Rev. Lett.* **50**, 120.
- Chen, C. J., 1993, *Introduction to Scanning Tunneling Microscopy* (Oxford University Press, New York).
- Crommie, M.F., L.P. Lutz, and D.M. Eigler, 1993, *Science* **262**, 218.
- Drake, B., C.B. Prater, A.L. Weisenhorn, S.A.C. Gould, T.R. Albrecht, C.F. Quate, D.S. Cannell, H.G. Hansma, and P.K. Hansma, 1989, *Science* **243**, 1586.
- Engel, A., and H.E. Gaub, 1997, Eds. "Imaging and Manipulating Biological Structures with Scanning Probe Microscopies," *J. Struct. Biol.* **119**, 83.
- Garcia, N., and V.T. Binh, 1992, *Phys. Rev. B* **46**, 7946.
- Garcia, R., M. Calleja, and F. Perez-Murano, 1998, *Appl. Phys. Lett.* **72**, 2295.
- Gimzewski, J., 1995, *Photons and Local Probes*, NATO ASI Series E: Applied Sciences, edited by O. Marti, and R. Möller (Kluwer, Dordrecht), Vol. 300, p. 189.
- Gimzewski, J.K., 1998, private communication.
- Güntherodt, H.-J., and R. Wiesendanger, 1992, Eds., *Scanning Tunneling Microscopy*, Vols. I-III (Springer, Berlin).
- Hamers, R., M. Weaver, M. Weimer, and P. Weiss, 1996, Eds., "Papers from the Eighth International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques," *J. Vac. Sci. Tech.* **14**, 787.
- Imry, Y., and R. Landauer, 1998, *Rev. Mod. Phys.* **71** (this issue).
- Lambe, J., and S.L. McCarthy, 1976, *Phys. Rev. Lett.* **37**, 923.
- Lutwyche, M., C. Andreoli, G. Binnig, J. Brugger, U. Drechsler, W. Haeberle, H. Rohrer, H. Rothuizen, and P. Vettiger, 1998, *Sensors and Actuators A*, in press.
- Mate, C.M., G.M. McClelland, R. Erlandson, and S. Chiang, 1987, *Phys. Rev. Lett.* **59**, 1942.
- Minne, S.C., G. Yaralioglu, S.R. Manalis, J.D. Adams, A. Atalar, and C.F. Quate, 1998, *Appl. Phys. Lett.* **72**, 2340.
- Müller D.J., W. Baumeister, and A. Engel, 1996, *J. Bacteriol.* **178**, 3025.
- Müller D.J., A. Engel, J.L. Carrascosa, and M. V'elez, 1997, *EMBO J.*, **16**, 2547.
- Ohnesorge, F., and G. Binnig, 1993, *Science* **260**, 1451.
- O'Keefe, J.A., 1956, *J. Opt. Soc. Am.* **46**, 359.
- Pohl, D.W., W. Denk, and M. Lanz, 1984, *Appl. Phys. Lett.* **44**, 651.
- Rugar, D., O. Züger, S. Hoen, C.S. Yannoni, H.-M. Veith, and R.D. Kendrick, 1994, *Science* **264**, 1560.
- Sarid, D., 1991, *Scanning Force Microscopy* (Oxford University Press, New York).
- Sidles, J.A., 1991, *Appl. Phys. Lett.* **58**, 2854.
- Siegenthaler, H., 1998, in *Forum on Nanoscience and Technology*, NATO ASI Series E: Applied Sciences, edited by N. Garcia (Kluwer, Dordrecht), in press.
- Stroscio, J.A., and W.J. Kaiser, 1993, Eds., *Scanning Tunneling Microscopy, Methods of Experimental Physics*, Vol. 27 (Academic, New York).
- Synge, E.H., 1928, *Philos. Mag.* **6**, 356.
- Synge, E.H., 1932, *Philos. Mag.* **13**, 297.
- Tersoff, J., and D.R. Hamann, 1983, *Phys. Rev. Lett.* **50**, 1998.
- Wilder, K., B. Singh, D.F. Kyser, C.F. Quate, 1998, *J. Vac. Sci. Tech. B* **16** (in press).
- Xue, Q., T. Hashizume, and T. Sakurai, 1997, *Prog. Surf. Sci.* **56**, 1.

easyScan

STM SYSTEM



Einführung

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	2
Was ist Raster-Tunnelmikroskopie?	2
Wie funktioniert das Raster-Tunnelmikroskop (RTM) 'easyScan'?	3
Das Besondere an 'easyScan'	5
Vorbereitungen zur ersten Inbetriebnahme	6
Zusammenbau des Gerätes	8
Installieren der Software	9
Herstellen und Einbauen einer Messspitze	13
Vorbereiten der Probe	15
Einbauen der Probe	16
Messen von Graphit	17
Inbetriebnahme des Mikroskops	17
Annähern der Probe zur Spitze	19
Messung starten	21
Angleichen der Messkoordinaten an die Probenlage	22
Atomare Auflösung von Graphit erreichen	24
Messbilder festhalten	27
Beurteilen der Qualität der Bilder	28
Ausserbetriebnahme des 'easyScan'	31
Messung beenden und Fotos speichern	31
Ausschalten und Aufbewahren des Gerätes	31
Überlegungen zum Bild der Graphitoberfläche	33
Messen von Gold	34
Wartung	36
Messkopf	36
Scan-Elektronik	36
P&P: Pech und Pannen	37
Technische Daten	41
Index	43

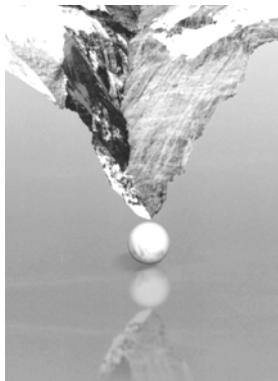
Einleitung

Mikroskopie ist in vielen naturwissenschaftlichen Disziplinen eine faszinierende Technik. Der Einblick in kleinste Dimensionen führt zu immer neuen Erkenntnissen über den Aufbau der Materie und vieler Lebensformen. Mit Hilfe der Raster-Tunnelmikroskope (RTM) wird uns nun sogar ein Einblick in die Welt der Atome ermöglicht.

Diese Anleitung beschreibt die ersten Schritte der Bedienung des RTM 'easy-Scan'. Sie ist bewusst knapp und einfach gehalten und beinhaltet nur die nötigsten Erklärungen zum Verständnis. Das Ziel ist, dass auch Personen ohne vertieftes physikalisches Wissen rasch zu Messbildern mit atomaren Strukturen kommen können.

Was ist Raster-Tunnelmikroskopie?

Dieses Mikroskopie-Prinzip arbeitet ohne fokussierende Elemente. Vielmehr wird eine winzige Drahtspitze so nahe über der Probenoberfläche hin und her gefahren (gerastert), dass dazwischen der sogenannte Tunnelstrom fließen kann. Damit lässt sich wiederum der Abstand zwischen Probe und Messspitze regeln. Dadurch wird ein unerhörtes Auflösungsvermögen erreicht: Die atomare Struktur der Oberfläche von elektrisch leitfähigem Material kann „abgetastet“ und bildhaft dargestellt werden!

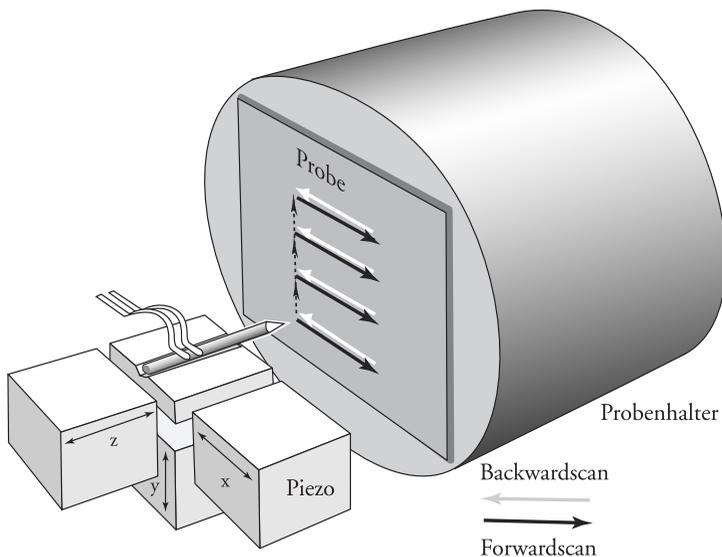


Dass dies schier an ein Wunder grenzt, zeigt schon ein Grössenvergleich: Werden Atome auf die Grösse von Tischtennisbällen vergrössert, dann entspricht die im selben Massstab vergrösserte Messspitze einer Bergspitze.

Anfangs der 80-er Jahre entwickelten Gerd Binnig und Heinrich Rohrer am IBM-Forschungslaboratorium in Rüschlikon, Schweiz, dieses völlig neue Mikroskopie-Prinzip. Für ihre bahnbrechende Entwicklung erhielten sie 1986 den Nobelpreis für Physik.

Wie funktioniert das Raster-Tunnelmikroskop (RTM) 'easyScan'?

Beim RTM 'easyScan' ist eine feine Platinspitze auf einer Plattform befestigt, die durch drei Piezokristalle im Nanometerbereich in alle drei Raumrichtungen bewegt werden kann.

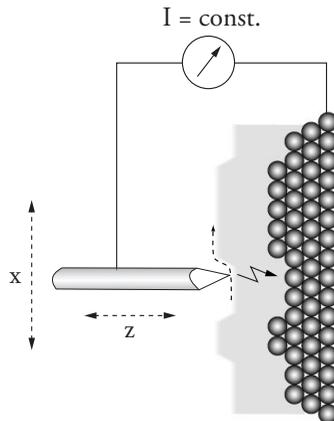


Die zu untersuchende Probe wird auf nur einen Nanometer Abstand ($1 \cdot 10^{-9} \text{m} = 1 \text{nm}$) an diese Messspitze herangeführt. Für die Elektronen der Probe und der Spitze ist der Aufenthalt in dieser Zwischenzone gemäss der klassischen Physik eigentlich verboten. Die Zone ist hier jedoch so schmal, dass die Elektronen „hindurchtunneln“ können:

Legt man eine kleine Spannung ($U \sim 0.1 \text{V}$) an, fliesst auf Grund quantenmechanischer Effekte ein sogenannter Tunnelstrom ($I \sim 1 \text{nA}$), den man messen kann. Die Stromstärke steigt exponentiell an, wenn der Abstand zwischen Probe und Spitze verringert wird. Deshalb kann sie als empfindliches Mass für diesen Abstand eingesetzt/genutzt werden.

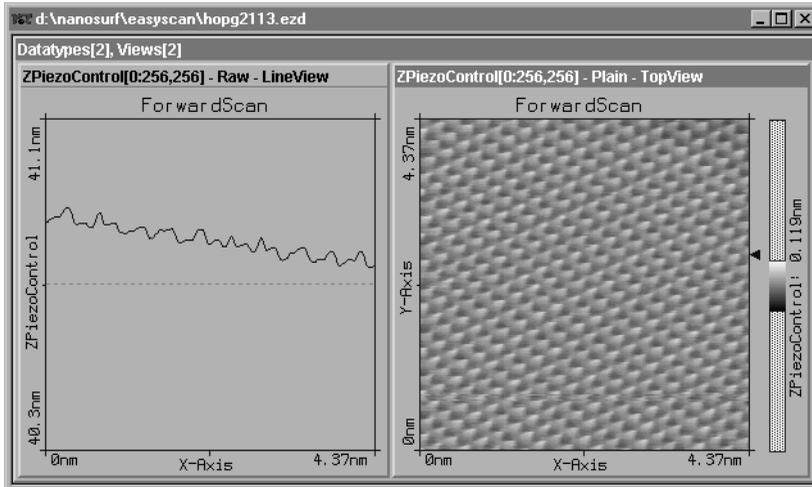
Nun rastert bzw. scannt man die Messspitze über die Probenoberfläche, d.h. man führt sie in parallelen Linien zeilenweise darüber hin und her.

Im Mikroskop kann ein Regelkreis den z-Piezokristall so steuern, dass der Tunnelstrom, und somit der Abstand zwischen Probe und Spitze, automatisch konstant bleibt (constant current mode).



*Die Spitze „tastet“ in konstantem Abstand über die Probe
(Ansicht von oben dargestellt)*

Die Messspitze folgt so der Struktur der Oberfläche. Diese Bewegungen werden durch den Computer in Bilder umgesetzt.



Messbilder von Graphit als Seitenansicht und Aufsicht

Die Oberfläche kann auch auf eine weitere Art gerastert werden: Wenn der Regler (P-/I-Gain) ausgeschaltet bzw. sehr langsam eingestellt wird (P-Gain=0, I-Gain~2), scannt die Messspitze in konstanter Höhe über die Probe (constant height mode). Dabei werden die Änderungen der Stärke des Tunnelstroms aufgezeichnet, welche vom Abstand zwischen Probe und Spitze abhängen, bzw. von der Beschaffenheit der Probenoberfläche. Diese Änderungen können durch den Computer in Bilder umgesetzt werden.

Das Besondere an 'easyScan'

Mit dem 'easyScan' Raster-Tunnelmikroskop können Experimente an Luft ausgeführt werden. Alle Funktionen können bequem vom Computer aus gesteuert werden.

Das Instrument ist sehr kompakt gehalten und für eine möglichst einfache Bedienung konzipiert.

Vorbereitungen zur ersten Inbetriebnahme

In den folgenden Abschnitten wird die Installation des 'easyScan' Raster-Tunnelmikroskopes beschrieben.

Wichtig!

Um Messungen von atomarer Auflösung zu erhalten, müssen bestimmte Geräteteile unbedingt staub- und fettfrei gehalten werden:

- Berühren Sie den Messdraht (7), die Proben (8) und den offenen Teil des Messkopfes (4) nicht mit den blossen Fingern!
- Fassen Sie den Probenhalter (10) nur am schwarzen Kunststoffende mit den Fingern an.

Beachten Sie bitte auch die Hinweise im Kapitel 'Wartung'.

Lieferumfang

Beim Auspacken des Koffers kontrollieren Sie bitte den Lieferumfang. Er beinhaltet mindestens folgende Komponenten:



- 1 - Serielles Verbindungskabel zwischen Computer und Scan-Elektronik
 - 2 - Netzgerät zur Scan-Elektronik
 - 3 - Abdeckhaube
 - 4 - Messkopf
 - 5 - Scan-Elektronik
 - 6 - Handlupe
 - 7 - 30 cm Pt/Ir - Draht für Messspitzen
 - 8 - Proben: HOPG (Graphit) und dünne Goldschicht
 - 9 - Installationsdiskette der Messsoftware
 - 10- Probenhalter
 - 11- Pinzette
 - 12- Netzkabel
 - 13- Schwingungsdämpfung aus Stein
- Ein Testblatt und ein Blatt mit den Kalibrierungsinformationen.

Benötigtes Zusatzmaterial

- Computer mit einer freien seriellen Schnittstelle (COM-Port) und Windows 3.1/95
- Flachzange und Seitenschneider (Als Werkzeugset erhältlich)

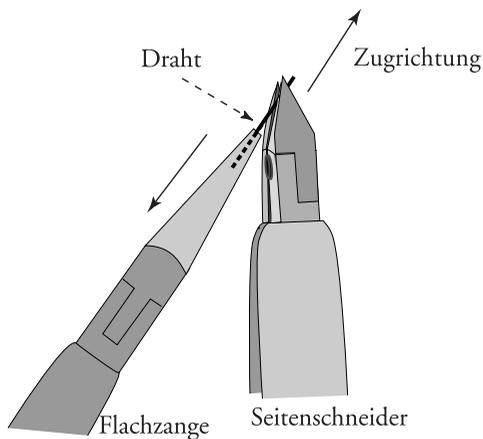


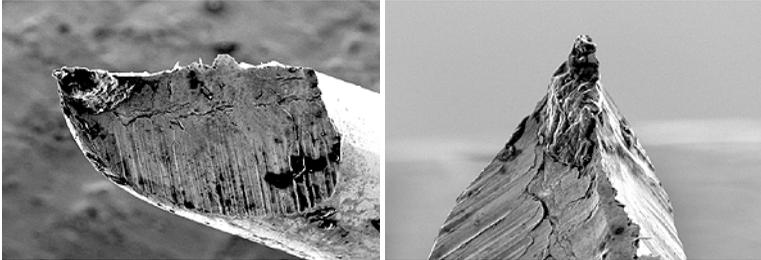
- Lösungsmittel zum Reinigen der Werkzeuge (z.B. Ethanol, Aceton)

Herstellen und Einbauen einer Messspitze

Das Schneiden und Einbauen der Messspitze ist der anspruchsvollste Teil der Messvorbereitung. Es braucht meist eine Portion Geduld und etwas Übung, bis man die erste gute Spitze erhält. Nur eine sorgfältig und sauber präparierte Spitze ermöglicht optimale Messungen.

1. Reinigen Sie zuerst den vorderen Teil des Seitenschneiders, der Flachzange und der Pinzette (10) mit etwas Ethanol. Fassen Sie den Platindraht (7) nur mit diesen entfetteten Werkzeugen an.
2. Greifen Sie mit der Flachzange das Ende des Platindrahtes (7) und schneiden Sie ein etwa 5 mm langes Stück ab.
3. Halten sie dieses Drahtstück mit der Flachzange fest.
4. Setzen sie den Seitenschneider am einen Ende des Drahtstückes so schräg wie möglich an (s. Bild).
5. Drücken Sie den Seitenschneider erst ganz fein zu, bis Sie den Draht dazwischen fühlen. Drücken Sie nun langsam weiter zu, und ziehen Sie ihn dabei gleichzeitig vom Drahtende weg: Die Spitze muss eher abgerissen als abgeklemt werden, damit sie spitz genug wird.

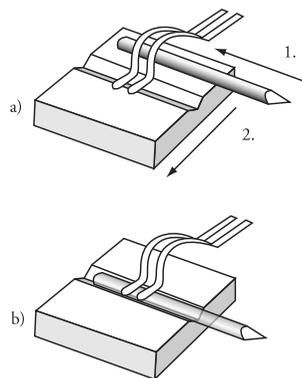




Achtung:

- Die geschnittene Spitze darf mit nichts in Berührung kommen!
 - Die vergoldeten Federn im offenen Teil des Messkopfes sind sehr fein und dürfen nicht hochgebogen werden!
6. Fassen Sie den Draht hinter der entstandenen Spitze mit der Pinzette.
7. Schieben Sie das stumpfe Ende des Drahtes sorgfältig in die Kerbe unter den Federn des Messkopfes ohne die Federn zu verbiegen.

Tip: Schieben Sie das Drahtende zuerst unter den aufgebogenen Teil der Federn und von dort seitwärts in die Kerbe: s. a) und b):



Montieren der Messspitze

Die Drahtspitze sollte durch die Federn gut in der Kerbe fixiert sein. 2-3mm der frisch geschnittenen Spitze sollten über die Halterung hinausragen.

Die Messspitze ist nun eingesetzt.

Vorbereiten der Probe

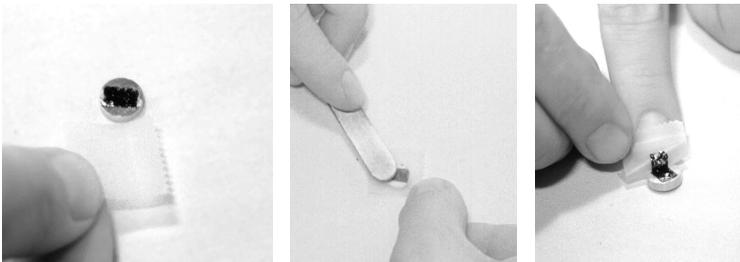
Mit dem RTM kann nur elektrisch leitfähiges Material untersucht werden. Um brauchbare Resultate zu erhalten, muss zudem die Probenoberfläche absolut sauber und spiegelglatt sein, was die Materialwahl einschränkt. Je nach Probe ist eine Vorbereitung nötig.

Goldfilm

Eine Reinigung der Probe ist weder nötig noch möglich. Sie darf nicht mit blossen Händen berührt oder auf die Schichtseite abgelegt werden, sonst wird sie rasch unbrauchbar.

Graphit

Es ist empfehlenswert, die Oberfläche der Graphitprobe alle paar Monate zu reinigen. Da Graphit eine besondere Schichtstruktur aufweist, lässt er sich mit Hilfe eines Klebstreifens einfach spalten und damit reinigen (s. Bilder):



- Legen Sie die Probe mit einer Pinzette auf den Tisch.
- Kleben Sie ein Stück Klebstreifen auf den Graphit.

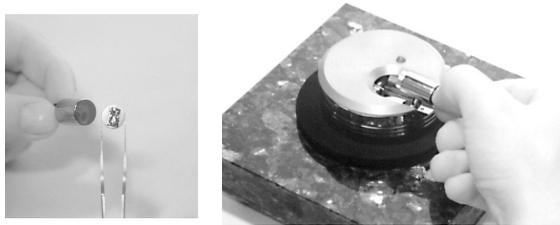
VORBEREITUNGEN

- Ziehen Sie anschliessend den Klebstreifen wieder ab: Eine dünne Lage Graphit sollte daran haften.
- Falls grössere „Graphitflocken“ von der Probe abstehen, sollten Sie sie mit der Pinzette entfernen.

Die Probe ist nun bereit für den Einbau in das Mikroskop und darf nicht mit blossen Händen berührt werden.

Einbauen der Probe

- Packen Sie den Probenhalter (10) aus, berühren Sie ihn dabei möglichst nur am Kunststoffende mit blossen Fingern.
- Legen Sie die vorbereitete Probe mit der Pinzette auf die magnetische Fläche des Probenhalters (s. Bild).



- Positionieren Sie den Probenhalter vorsichtig auf den Schienen in der Öffnung des Messkopfes, so dass er die Messspitze nicht berührt (s. Bild oben).

VORSICHT!

Vermeiden Sie beim Einsetzen des Probenhalters starke mechanische Einwirkung auf den Piezomotor.

- Setzen Sie den Probenhalter erst auf die Schienen und anschliessend auf die Auflagen des Piezomotors auf.

Messen von Graphit

Die Vorbereitungen sind abgeschlossen:

Das RTM ist aufgestellt, die Software installiert, eine Messspitze und eine Probe sind eingesetzt.

In diesem Kapitel werden die Anleitungen zur Bedienung des RTM 'easy-Scan' gegeben. Es geht darum, in das Prinzip des Rasterns eingeführt zu werden und erste Messbilder zu erhalten. Detailliertere Erklärungen zur Software und zum Verständnis folgen später.

Wichtig!

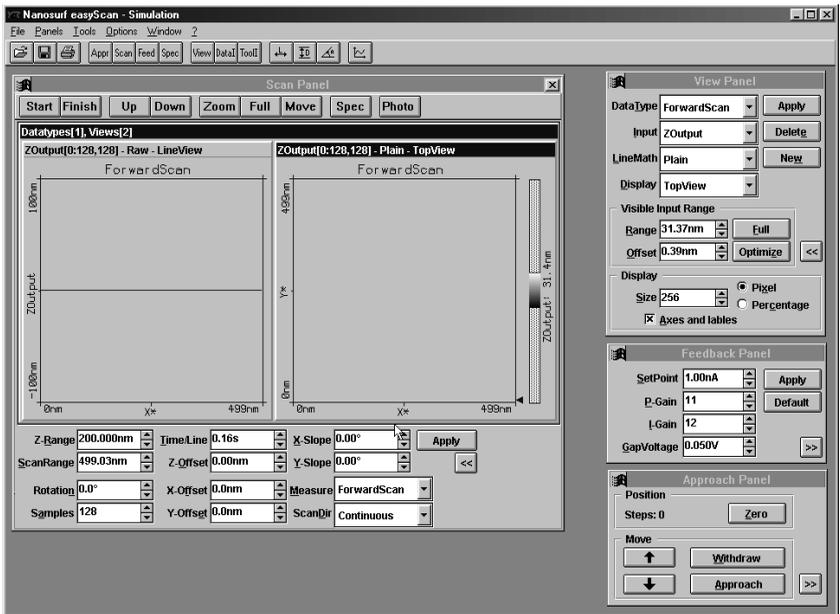
- Die Messspitze und die Probenoberfläche dürfen nicht berührt werden! Nur eine sorgfältig und sauber präparierte Spitze und Probe führen zu optimalen Abbildungsbedingungen.
- Die Spitze darf nie in direkten Kontakt mit der Probe treten. Eine solche Berührung zerstört diese feine Spitze schon, und sie muss neu geschnitten werden.

Inbetriebnahme des Mikroskops

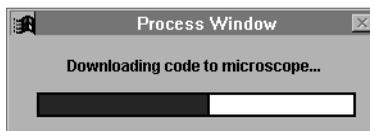
- Kontrollieren Sie, ob das Netzgerät (2) der Scan-Elektronik mit dem Netzkabel (12) an ihr Stromnetz angeschlossen ist:

Die rote LED der Scan-Elektronik (5) blinkt oder leuchtet.

- Starten Sie das Messprogramm 'easyscan.exe' auf Ihrem Computer:
Das Hauptprogrammfenster und das Fenster des 'Scan Panel' erscheinen.



Hat vorher die LED der Scan-Elektronik geblinkt, so meldet nun eine Dialog-box 'Downloading code to microscope':



Ihr Computer kommuniziert mit der Scan-Elektronik und tauscht wichtige Daten aus. Dieser Vorgang wird nach jedem Neustart der Scan-Elektronik ausgelöst. Nun leuchtet die LED der Scan-Elektronik rot, und die LED auf dem Messkopf (4) leuchtet orange:

Damit ist das System bereit.

Annähern der Probe zur Spitze

Für die Messung muss die Probe sehr nahe zur Spitze gebracht werden. Diese Annäherung ist heikel und geschieht in den drei unten beschriebenen Schritten. Die LED auf dem Messkopf gibt Auskunft über den Abstand zwischen Probe und Messspitze:

- LED leuchtet orange: Der Abstand ist zu gross, kein Strom fliesst.
- LED leuchtet rot: Die Probe berührt die Spitze, zuviel Strom fliesst.
- LED leuchtet grün: Die Probe ist im Messbereich positioniert, der eingestellte Tunnelstrom fliesst.

1. Grobannäherung von Hand

- Schieben Sie den Probenhalter (10) ganz vorsichtig bis auf ca. einen Millimeter Abstand zur Messspitze.
- Achten Sie darauf, dass die Spitze auf eine spiegelglatte Stelle der Probenfläche gerichtet ist. Eventuell drehen Sie dafür den Probenhalter in eine geeignetere Position.

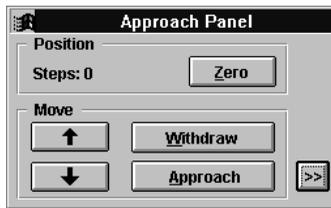


- Stülpen Sie die Abdeckhaube über den Messkopf, ohne dabei an den Probenhalter zu stossen.

Die Abdeckung schützt den Messkopf vor Zugluft, die besonders im atomaren Messbereich unerwünschte Temperaturschwankungen hervorrufen kann und so die Messung deutlich stört.

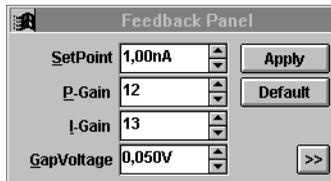
2. Schrittweise Feinannäherung mit Piezomotor

- Wählen Sie im 'easyScan' Programm das Menü 'Panels'.
- Öffnen Sie das 'Approach Panel'.
- Beobachten Sie nun den Abstand der Messspitze zur Probe durch die Lupe. Klicken Sie dabei so lange im 'Approach Panel' auf , bis die Probe auf Bruchteile eines Millimeters an die Spitze angenähert worden ist.



Tip: Durch Beobachten des Spiegelbildes der Spitze auf der Probenoberfläche kann der Abstand gut abgeschätzt werden.

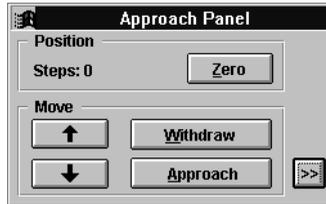
- Öffnen Sie im Menü 'Panels' das 'Feedback Panel'.



- Kontrollieren Sie, ob
 - der 'SetPoint' (gewünschter Tunnelstrom) auf ca. 1.00nA eingestellt ist,
 - die 'GapVoltage' (Spitzen-Proben-Spannung) 0.05V beträgt,
 - der 'P-Gain' auf 12 und der 'I-Gain' auf 13 steht (Regelparameter).

3. Automatische Annäherung

- Klicken Sie im 'Approach Panel' einmal auf .



Der Computer bringt mit Hilfe des Piezomotors den Probenhalter automatisch in den Tunnelbereich der Messspitze. Ist die Annäherung erfolgreich abgeschlossen, schaltet die LED auf dem Messkopf von orange auf grün um. Eine Dialogbox erscheint mit der Meldung 'Approach done'.

- Klicken Sie auf 'OK'.

Nun fließt der unter 'Set Point' bestimmte Tunnelstrom zwischen Spitze und Probe. Der Abstand dazwischen wird von der Elektronik automatisch geregelt.

Es kann passieren, dass die Probe die Spitze rammt:

Dann leuchtet die LED rot.

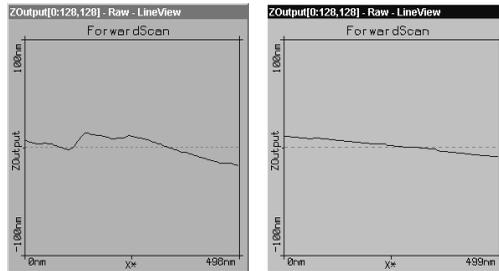
In diesem Fall muss die Messspitze neu geschliffen werden: s. Kapitel 'P&P'.

Messung starten

Wenn der mit 'SetPoint' gewählte Tunnelstrom zwischen Spitze und Probe fließt (LED leuchtet grün), können Sie die Messung starten:

- Klicken Sie im 'Scan Panel' auf , um den Messbereich auf die maximale Größe zu stellen.
- Beginnen Sie nun die Messung, indem Sie im 'Scan Panel' auf  klicken.

Wenn die Vorbereitungen der Spitze und der Probe sowie deren Annäherung erfolgreich waren, erscheinen die Bilder der aktuellen Messung als Linie und Fläche im 'LineView' bzw. im 'TopView'. Beobachten Sie die Displays eine Weile, bis das 'TopView'-Bild zwei- bis dreimal erstellt worden ist.



Unruhiges Startbild und ruhiges Startbild

Ist die Messlinie im 'LineView' unruhig, ist der Messkontakt schlecht. Die Ursache dafür ist meistens eine zu stumpfe oder instabile Spitze. In diesem Fall müssen Sie die Messung anhalten und die Spitze neu schneiden:

- Klicken Sie auf und folgen Sie den Anleitungen 'Messspitze neu schneiden' im Kapitel 'P&P'.

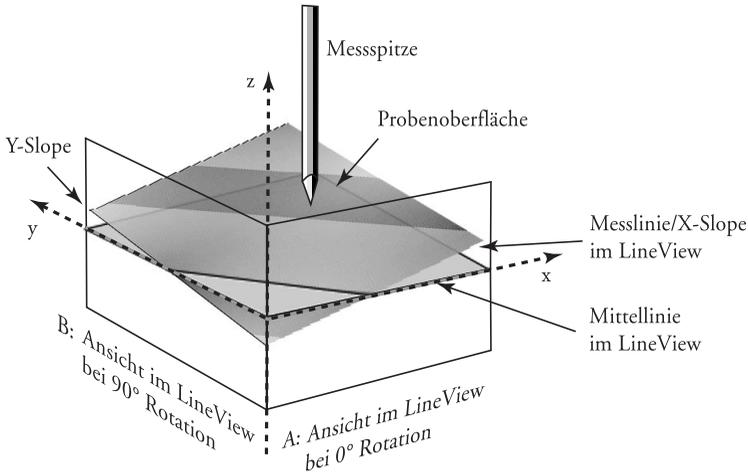
Wenn die Messlinie im 'LineView' ruhig verläuft, d.h. Zeile für Zeile reproduzierbar ist, können Sie dem nächsten Kapitel folgen.

Angleichen der Messkoordinaten an die Probenlage

Im 'LineView' sehen Sie einen Querschnitt der Probenoberfläche an der aktuellen Messstelle (=Messlinie); s. Bild mit Ansicht A und B.

Der ideale Rasterbereich für die Messspitze liegt auf der x,y-Ebene des Piezoscanners. Die Probe liegt jedoch meistens etwas schräg dazu. Da die Probenlage nicht direkt korrigiert werden kann, müssen die Messkoordinaten

entsprechend angeglichen werden: Durch Anpassen der X/Y-Slopes „kippt“ man das Koordinatensystem, so dass die Probe scheinbar auf der x,y-Ebene zu liegen kommt.



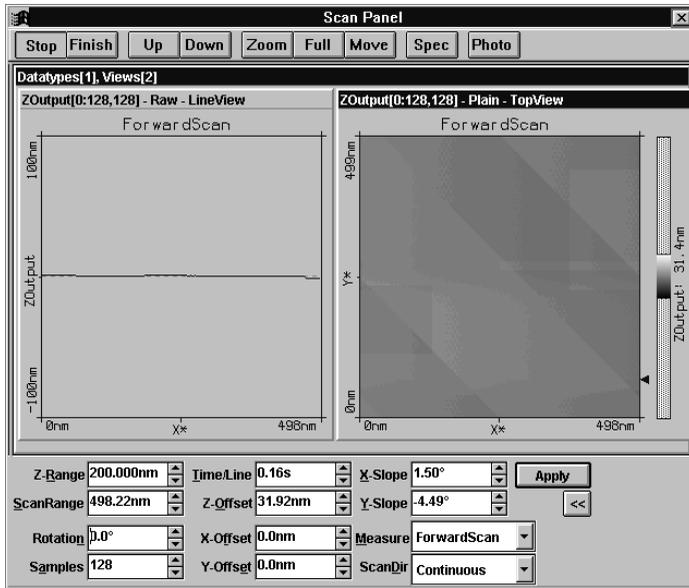
Lage der Probe vor dem Angleichen

Sie können die verschiedenen Werte im ‘Scan Panel’ wie folgt mit Hilfe der Pfeilknöpfe  schrittweise verändern oder die alten Werte überschreiben. Im zweiten Fall müssen Sie die Eingabe der neuen Werte bestätigen, indem Sie auf  klicken oder die ‘Enter’-Taste drücken:

1. Verändern Sie den Wert für ‘X-Slope’ mit den Pfeilknöpfen, bis die Messlinie parallel zur x-Achse verläuft.
2. Geben Sie bei ‘Rotation’ den Wert 90 ein, um die Lage der Messebene aus Ansicht B darzustellen.
3. Wenn die Messlinie schräg verläuft, verändern Sie den Wert für ‘Y-Slope’, bis sie parallel zur y-Achse zu liegen kommt.
4. Stellen Sie die ‘Rotation’ wieder auf 0°.

Nun ist der ideale Rasterbereich an die Probenlage angepasst. Der ‘LineView’ stellt wieder die Ansicht A dar.

Die Werte des Z-Offset ändern während der laufenden Messung automatisch etwas. Dies ist richtig, denn im Menü 'Options' sollte der 'Auto. Adjust Z-Offset' aktiviert sein.



Displayanzeigen nach Anpassung der Messebene

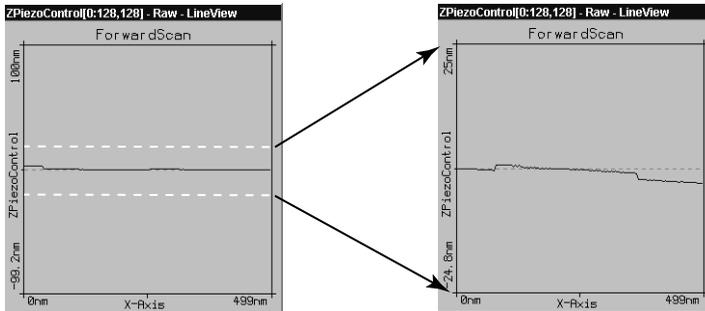
Atomare Auflösung von Graphit erreichen

Sie haben Ihre Messung so vorbereitet, dass in der Mitte des 'LineView' eine gerade, ruhige Linie verlaufen sollte. Nun müssen der Messbereich verkleinert und die Signale verstärkt werden, um Atome zu erkennen.

Zur Erinnerung: Messungen im Nanometerbereich sind sehr empfindlich. Direktes Lampenlicht, schnelle Bewegungen o.ä. in der Nähe des Messkopfes stören die Messung bemerkbar. Am besten lässt man eine erfolgversprechende Messung eine Zeit lang unverändert laufen, damit sie sich thermisch „stabilisiert“.

Die folgenden Angaben gelten für die Abbildung von Graphit:

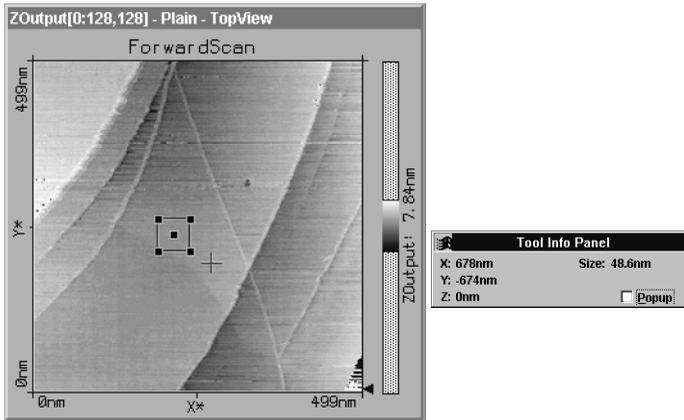
1. Verkleinern Sie im 'Scan Panel' den Wert von 'Z-Range' auf 50nm, um den Z-Messbereich auf diesen Grössenbereich zu konzentrieren.



Verkleinern des 'Z-Range' verstärkt die Signale in Z-Richtung

2. Schränken Sie den Scan-Ausschnitt wie folgt ein:

- Klicken Sie ins 'TopView'-Display, um sicherzugehen, dass es aktiviert ist: Seine Titelleiste wird farblich hervorgehoben.
- Klicken Sie auf **Zoom**: Der Mauszeiger wird zu einem Kreuz und das 'Tool Info Panel' öffnet sich.
- Suchen Sie im 'TopView' eine „ebene“ Stelle (ähnliche Grauwerte) und ziehen Sie dort mit dem Mauszeiger ein Feld auf. Im 'Tool Info Panel' können Sie dessen Grösse (Size) ablesen.
- Lassen Sie die Maustaste los, wenn das Feld 30-50nm gross ist.
- Durch Doppelklick in das Display mit der linken Maustaste bestätigen Sie die Auswahl, und der Ausschnitt wird auf das gesamte Display vergrössert.
Durch Klick der rechten Maustaste können Sie die Zoomfunktion jederzeit abbrechen.



3. Atomare Strukturen lassen sich typischerweise bei einem 'ScanRange' von ca. 4nm und einem 'Z-Range' von ca. 1.5nm erkennen:

- Stellen Sie diese Werte im 'Scan Panel' schrittweise ein. Sie können auch weiter verkleinert werden: Probieren Sie aus! Lassen Sie dazwischen immer wieder ein paar Bilder unverändert messen.
- Achten Sie dabei darauf, dass die Höhe des Signals im 'LineView' nicht mehr als einen Drittel des Displays beträgt, sonst ist der Z-Range zu klein gewählt.

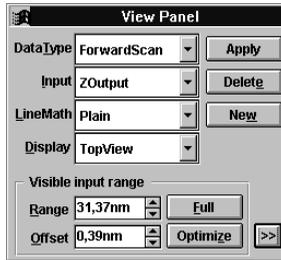
Eine Hilfe zur „Größen“-Vorstellung:

Auf einem Nanometer liegen bei Graphit etwa vier bis acht Atome.

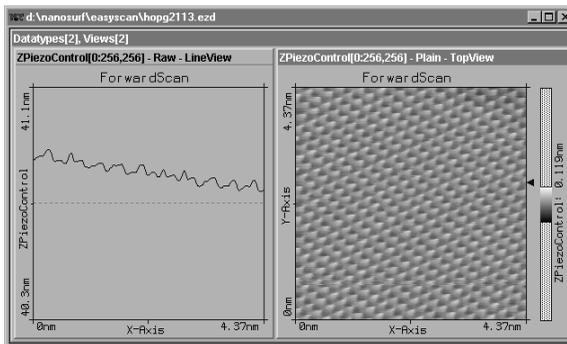
4. Die Teile des Messkopfes reagieren auch auf kleinste Temperaturschwankungen. Da diese „Bewegungen“ (Drifts) Messungen im Nanometerbereich beeinflussen, muss möglichst schnell gerastert werden:

- Setzen Sie für atomare Messungen 'Time/Line' im 'Scan Panel' auf 0.06s.

5. Im 'TopView' wird die Aufsicht auf die Probe dargestellt. Werte, die nicht innerhalb des eingestellten Farbbereichs liegen, erscheinen farbig: Rote Messpunkte sind zu hoch, blaue Messpunkte sind zu niedrig.



- Wenn viele rote und blaue Punkte erscheinen, öffnen Sie das 'View Panel' und klicken bei 'Visible Input Range' auf **Optimize**.



Gute Bilder einer gelungenen Messung

Messbilder festhalten

Ist Ihre Messung erfolgreich, können Sie besonders gute Bilder auch festhalten und später speichern:

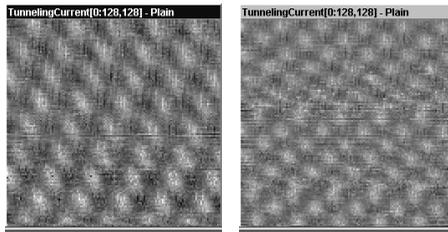
- Wenn sich gerade ein gutes Bild aufbaut, klicken Sie während der laufenden Messung im 'Scan Panel' auf **Photo**: Das Programm wartet, bis das entstehende Bild fertiggestellt ist. Dann legt es provisorisch eine Kopie davon hinter den Panels an.

- Wenn Sie das Bild genau so festhalten wollen, wie es gerade auf dem Display ist, halten Sie die Messung mit **Stop** an und kopieren dann die Darstellung mit **Photo**. Starten Sie anschliessend die Messung wieder.
- Nach Beenden der Messung können Sie die gewünschten Kopien der Fotos einschliesslich ihrer Messdaten auf der Festplatte speichern (s. Kapitel 'Messung beenden und Fotos speichern').

Beurteilen der Qualität der Bilder

An den Messbildern erkennt man die Qualität der Spitze und somit die Qualität des Messkontaktes. Ein guter Messkontakt wiederum ist notwendig um gute Abbildungen von atomarer Auflösung zu erhalten.

- Wenn Temperaturschwankungen (Drifts) die Messung beeinflussen, werden die Bilder verzogen und die verschiedenen Messrichtungen sind durch gestauchte bzw. gestreckte Gitterstrukturen zu erkennen:

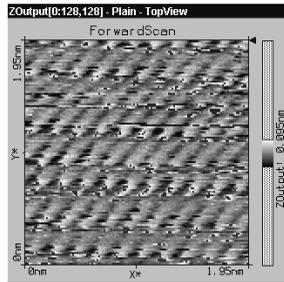


Ein aufwärts und ein abwärts gerastertes Bild der selben Messung

Temperaurschwankungen treten auf atomarer Skala stark in Erscheinung. Unterschiede von $1/10^{\circ}\text{C}$ verursachen bereits eine Ausdehnung z.B. des Probenhalters von einigen Nanometern!

In diesem Fall lohnt es sich, die Messung einfach eine Zeit lang laufen zu lassen (evtl. bis zu einer Stunde).

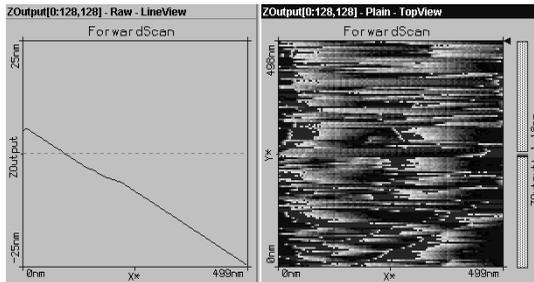
- Wenn während einer guten Messung der Kontakt plötzlich schlecht wird, hat evtl. die Spitze ein Partikel aufgelesen:



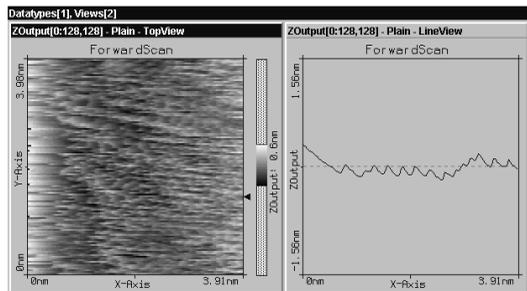
- Lesen Sie im Kapitel 'P&P: Messbilder werden plötzlich schlecht' nach.

In folgenden Fällen muss die Spitze neu geschliffen werden, um einen besseren Tunnelkontakt und somit bessere Bilder zu erhalten:

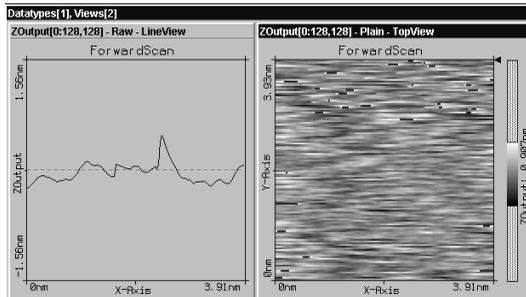
- Wenn die Bilder im 'TopView' aus verschiedenen Streifen bestehen:



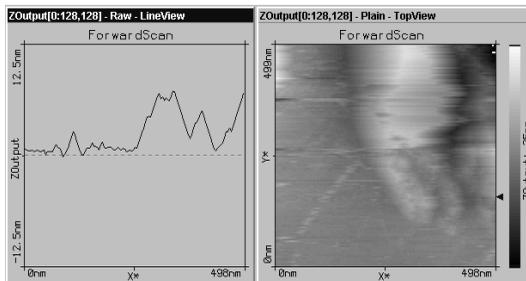
- Wenn die Bilder an einem Rand ‚verschmiert‘ sind (hier am linken Rand):



- Wenn jedes Bild anders aussieht:



- Wenn die Messlinien im 'LineView' sehr unruhig und die Bilder im 'TopView' „unscharf“ sind:



Ausserbetriebnahme des 'easyScan'

Messung beenden und Fotos speichern

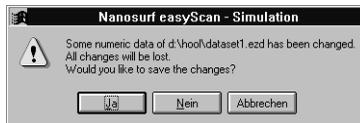
- Um eine Messung anzuhalten, klicken Sie auf die Schaltfläche **Stop**.
- Durch Anklicken von **Withdraw** und längerem Anklicken von **↑** im 'Approach Panel' fahren Sie den Probenhalter zurück, bis er sich in einem sicheren, sichtbaren Abstand zur Messspitze befindet.
- Schliessen Sie alle Panels, um die „fotografierten“ Messbilder zu sehen.
- Aktivieren Sie durch Anklicken ein Bild, das Sie speichern wollen, und gehen Sie ins Menü 'File': 'Save as...'. Bestimmen Sie den Speicherort und benennen Sie das Bild (max. 8 Buchstaben).

Die gespeicherten Bilder und ihre Daten können im 'easyScan'-Programm jederzeit wieder geöffnet, ausgewertet und ausgedruckt werden (s. Software Referenz).

Ausschalten und Aufbewahren des Gerätes

- Beenden Sie das Programm 'easyScan', wenn Sie alle gewünschten Bilder gespeichert haben.

Falls noch nicht alle kopierten Fotos oder veränderten Bilder gespeichert sind, erscheint folgender Dialog:



Wenn Sie jene Bilder doch noch speichern wollen, klicken Sie auf **Ja**.

Wenn nicht, verlassen Sie das Programm mit **Nein**.

- Trennen Sie das Netzgerät von der Stromversorgung.

Wenn Sie öfters Messungen machen, können Sie die Apparatur so stehen lassen. Die Abdeckhaube sollte als Staubschutz über dem Messkopf bleiben.

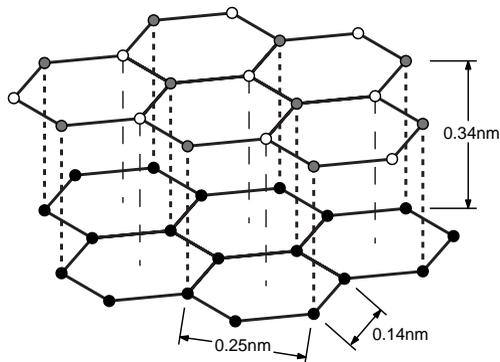
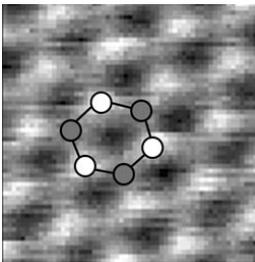
Wenn Sie das Mikroskop mehrere Wochen nicht betreiben, sollten Sie es wieder im Koffer versorgen:

- Entfernen Sie die Probe und den Probenhalter und verpacken Sie alle Geräteteile so, wie Sie sie erhalten haben. Die Messspitze kann dabei im Messkopf gelassen werden.

Durch die Aufbewahrung im Koffer wird das Gerät vor Staub geschützt. Gleichzeitig sollten die Gummifüße der Schwingungsdämpfung entlastet werden, da sonst ihre Dämpfungswirkung mit der Zeit nachlassen kann.

Überlegungen zum Bild der Graphitoberfläche

Auf einem guten TopView-Bild von Graphit sehen Sie ein „Muster“ aus weissen, grauen und schwarzen Stellen. Es wirkt wie ein dreidimensionales Bild von nebeneinander liegenden Kugeln. Achtung, dies sind jedoch nicht genau die einzelnen Atome! Um das Bild deuten zu können, muss beachtet werden, dass weisse Stellen hohe Werte, graue Stellen mittlere Werte und schwarze Stellen Vertiefungen darstellen (ausser im 'LineMath' 'Derive').



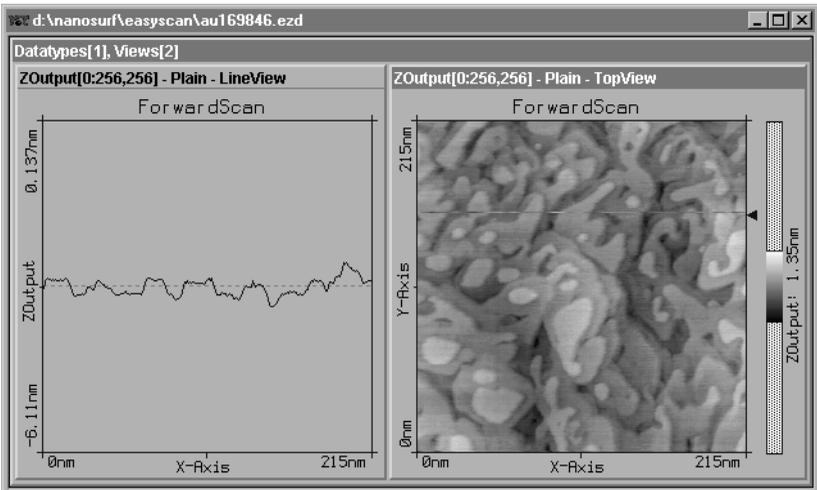
Aus dem Gittermodell von Graphit kann man erkennen, dass es zwei verschiedene Kohlenstoffplätze im Kristallgitter gibt: Solche mit einem Nachbar in der darunter liegenden Lage (grau) und solche ohne Nachbar (weiss). Dies hat zur Folge, dass die „Leitfähigkeit“ der Atome an der Oberfläche je nach Gitterplatz leicht variiert und diejenigen Atome ohne Nachbar leicht erhöht scheinen.

Deshalb findet man für die Gitterkonstante für Graphit den zu grossen Wert 0,25 nm, falls man die Distanz zwischen den „hellen“ Hügeln misst.

Messen von Gold

Es ist schwieriger, gute Messbilder von Gold zu erhalten.

Die freien Elektronen an der Oberfläche sind sehr gleichmässig verteilt, somit unterscheiden sich die Messsignale kaum. Atomare Strukturen lassen sich darum selten erkennen. Dafür können mit etwas Übung die atomaren Schichten des Goldes abgebildet werden.



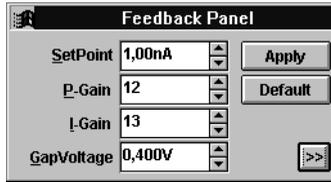
Da die Goldprobe nicht gereinigt werden kann, können während der Messung leicht Partikel an die Spitze gelangen, welche gute Resultate behindern.

Tip:

Bevor Sie Messungen mit Gold versuchen, ist es ratsam, mit Graphit Erfahrungen zu sammeln. Testen Sie auch vorher mit Graphit, ob Ihre Messspitze optimal ist.

- Führen Sie die Vorbereitungen bis und mit dem Anpassen der Messebene nach den Anleitungen für Graphit durch. Beachten Sie dabei zwei Ausnahmen, bevor Sie die Messung starten:

- Wählen Sie eine 'GapVoltage' zwischen 0.3-0.5V.



- Erhöhen Sie im 'Scan Panel' die 'Time/Line' auf 0.3s.

Wenn Sie trotz einer guten Spitze unruhige Messlinien erhalten, müssen Sie eine neue, sauberere Messstelle finden:

- Versuchen Sie es zuerst durch **Withdraw** und anschließend **Approach**. Wenn dies nichts ändert, fahren Sie den Probenhalter mehr zurück und drehen ihn dort etwas von Hand. Wiederholen Sie danach den Annäherungsprozess.
- Wenn das Messbild ruhig ist, verkleinern Sie den 'Z-Range' auf 50nm und wählen einen 'ScanRange' zwischen 200 und 300nm.
- Verkleinern Sie nun den 'Z-Range' auf 12nm oder kleiner.

Natürlich können Sie gute Messbilder auch vermessen, in sie hineinzoomen, speichern etc.

Wartung

Um eine fehlerfreie Funktion des Messsystems sicherzustellen, müssen die folgenden Hinweise zur Wartung des Instruments beachtet werden.

Messkopf

Achten Sie unbedingt darauf, dass der Probenhalter und die Öffnung des Messkopfes sauber und fettfrei bleiben. Sie dürfen keinesfalls erhöhter Feuchtigkeit ausgesetzt werden, da Korrosionsgefahr besteht.

- Falls jemand den Probenhalter berührt hat, oder er nicht mehr richtig läuft, reinigen Sie ihn mit einem weichen Tuch mit wenig Ethanol daran.
- Reinigen Sie die Auflageflächen für den Probenhalter sowie den Spitzenhalter von Zeit zu Zeit mit einem mit Ethanol benetzten Wattestäbchen.



Scan-Elektronik

Reinigen Sie wenn nötig das Gehäuse und die Frontplatte mit einem weichen Tuch, das sie leicht mit einem milden Reinigungsmittel angefeuchtet haben. Verwenden Sie keinen Scheuerschwamm und keine Lösungsmittel wie Alkohol, Aceton und Benzin.

P&P: Pech und Pannen

‘Approach’ wird langsamer ausgeführt / stoppt manchmal

- Reinigen Sie den Probenhalter und die zwei Schienen in der Öffnung des Messkopfes mit einem Wattestäbchen, das mit Ethanol benetzt ist. Lassen Sie die Teile gut trocknen.
- Wenn dies keine Verbesserung gebracht hat, erhöhen Sie im ‘Approach Panel’ den ‘Stepsize’ um ca. 10% und klicken auf . So bewegt der Motor den Probenhalter in grösseren Schritten vorwärts. Diesen neuen Wert können Sie speichern unter ‘File: Parameters: Save’.

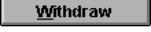
Beim ‘Approach’ rammt die Probe oft die Spitze

In diesem Fall bewegt der Motor den Probenhalter in zu grossen Schritten vorwärts:

- Öffnen Sie das ‘Approach Panel’ ganz durch Klicken auf .
- Verkleinern Sie unter ‘Automatic Move Configuration’ den ‘Stepsize’ um ca. 10%.
- Klicken Sie auf .
- Wiederholen Sie die Probenannäherung mit einer neuen Spitze. Falls es wieder zu einem „Zusammenstoss“ kommt, verkleinern Sie den ‘Stepsize’ noch mehr.
- Speichern Sie die beste Schrittgrösse, indem Sie unter ‘File: Parameters: Save’ wählen.

Messbilder werden plötzlich schlecht

- Wird die Messlinie plötzlich sehr unruhig, hat die Spitze ev. ein Partikel aufgelesen:
 - Lassen Sie ca. 4-5 Bilder weiter messen, vielleicht streift die Spitze die Verunreinigung wieder ab.

- Sie können versuchen, eine Veränderung zuvorderst an der Messspitze auszulösen: Erhöhen Sie bei laufender Messung die 'GapVoltage' im 'Feedback Panel' kurz auf 2V und klicken Sie auf . Stellen Sie die Spannung unmittelbar darauf wieder auf den alten Wert zurück und klicken Sie wieder auf . (Mit  werden direkt alle Werte dieses Panels auf die Standartwerte für Graphit gesetzt.)
- Sie können einen Spitzenwechsel auch auslösen, indem Sie den 'SetPoint' kurz auf 20nA erhöhen und mit  übertragen. Stellen Sie den Tunnelstrom wiederum unmittelbar danach auf den alten Wert zurück und klicken Sie auf .
- Versuchen Sie andernfalls eine neue Messung nach  und .

Wird das Bild nicht besser, müssen Sie eine neue Spitze schneiden.

- Ist die Linie im 'LineView' plötzlich verschwunden, hat sie den Messkontakt verloren und die LED leuchtet orange:
 - Klicken Sie im 'Approach Panel' auf  und wiederholen Sie die Anweisungen im Kapitel 'Messung starten'.
- Wenn die LED des Messkopfes grün-orange blinkt, verliert die Spitze den Kontakt von Zeit zu Zeit. Die Messung sollte angehalten und mit  und  neu gestartet werden.

Messspitze neu schneiden

Nach einem Zusammenstoss der Spitze mit der Probe oder bei unruhigen Messlinien, bzw. schlechten Bildern, sollten Sie wie folgt vorgehen:

- Entfernen Sie die Abdeckhaube.
- Schieben Sie durch Anklicken von , längerem Anklicken von  und zuletzt von Hand den Probenhalter etwas zurück.
- Ziehen Sie die Messspitze mit der Pinzette sorgfältig unter den Federn hervor.

- Folgen Sie den Anweisungen der Punkte 3. bis 8. im Kapitel ‘Herstellen und Einbauen der Messspitze’.
- Wiederholen Sie dann die Vorgänge im Kapitel ‘Messen von Graphit’.

Motor läuft langsamer / bleibt manchmal stehen

Wenn der Transport des Probenschlittens durch  und  betroffen ist:

- Reinigen Sie den Probenhalter und die zwei Schienen in der Öffnung des Messkopfes mit einem Wattestäbchen, das mit Ethanol benetzt ist. Lassen Sie die Teile gut trocknen.

‘No connection to microscope!’



Diese Fehlermeldung tritt auf, wenn die Messsoftware auf ein Kommando innerhalb einer festgelegten Zeitspanne keine Antwort von der Scan-Elektronik erhalten hat. Dies kann mehrere Ursachen haben:

- Das Mikroskop ist nicht angeschlossen:
 - Wenn Sie eine simulierte Messung durchführen möchten, klicken Sie auf . Andernfalls überprüfen Sie alle Verbindungen und klicken auf .
- Die Scan-Elektronik ist nicht am Netzgerät angeschlossen:
 - Prüfen Sie die Verbindungen.
- Die Scan-Elektronik ist nicht mit dem seriellen Kabel mit dem Computer verbunden:
 - Prüfen Sie die Verbindung.

- Eine vom Computer ausgelöste Aktion benötigt von der Scan-Elektronik unvorhergesehen viel Zeit. Unter Windows NT ist ev. das Betriebssystem noch mit sich selbst beschäftigt und gibt die serielle Schnittstelle nicht genügend oft frei:
 - Klicken Sie auf .
- Bei der Software-Installation wurde der falsche COM-Anschluss angegeben:
 - Klicken Sie auf  und beenden Sie 'easyScan'.
 - Schauen Sie nach, an welchem COM-Anschluss Ihres Computers die Scan-Elektronik angeschlossen ist.
 - Öffnen Sie den Ordner 'easyScan' und anschliessend mit einem Text-Editor die Datei 'Easyscan.ini' .
 - Geben Sie im Abschnitt '[WinSer]' unter 'ComPort=' den richtigen Anschluss an.
Achtung: Ändern Sie ausser der Nummer des ComPorts keine anderen Daten!
 - Speichern und schliessen Sie die Datei. Starten Sie danach das Messprogramm erneut.
- Die Scan-Elektronik ist defekt.
 - Wenden Sie sich an Ihren Verkäufer.

Z-Offset verändert sich nicht automatisch

In der Standardkonfiguration der Software ist unter dem Menü 'Options' der 'Auto. Adjust Z-Offset' aktiviert. Wenn sich der Zahlenwert des Z-Offset im 'Scan Panel' während der Messung nicht automatisch leicht verändert:

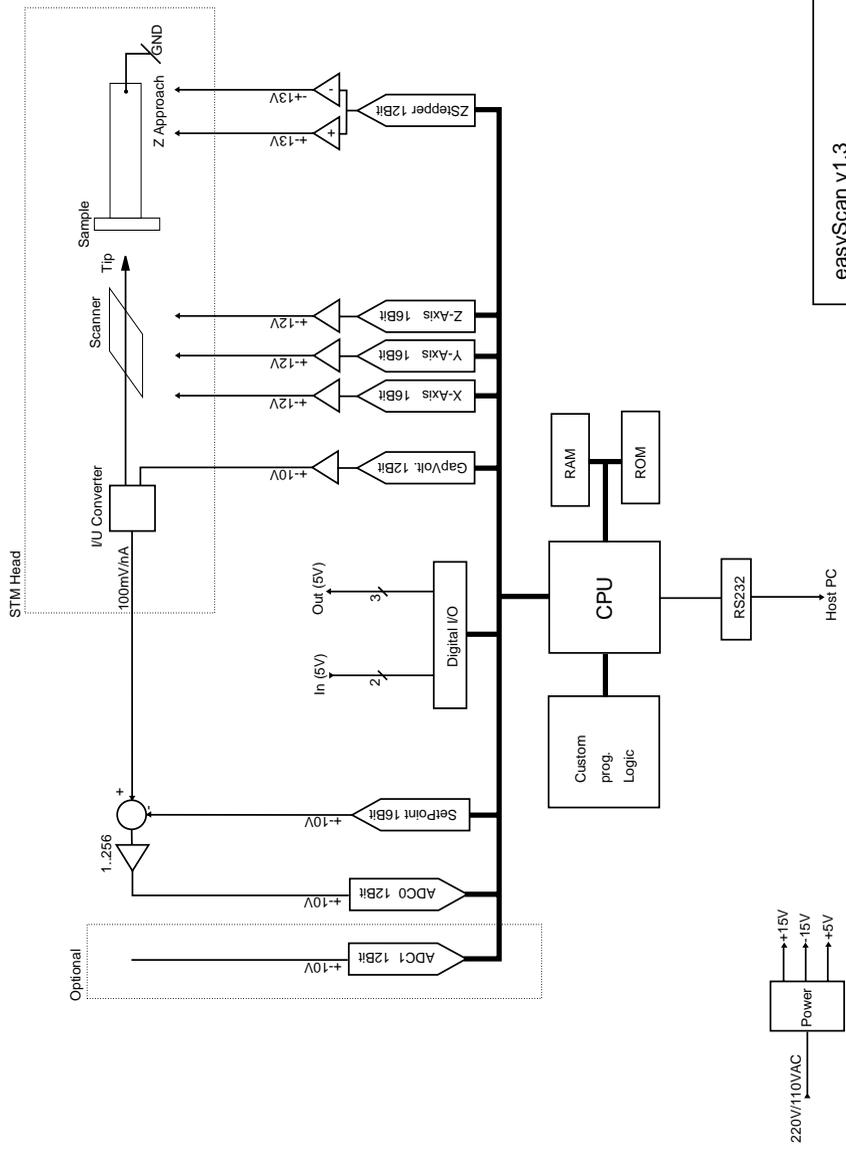
- Prüfen Sie nach, ob die Option aktiv ist.
- Eventuell befindet sich die Messspitze nach dem 'Approach' an der Grenze ihres Bewegungsbereichs in z-Richtung. Klicken sie auf  und danach erneut auf .

Technische Daten

- Rasterbereich typ.: $0.5\mu\text{m} \times 0.5\mu\text{m}$ in x- und y-Richtung.
- Rasterbereich typ.: $0.2\mu\text{m}$ in z-Richtung.
(Die exakten Werte sind abhängig von der Eichung der Piezoelemente)

- Messgeschwindigkeit: 60ms je 128 Messpunkte
- Minimale Schrittgrösse: 0.015nm
- Gap-Spannung: $\pm 10\text{V}$ in 5mV Schritten
- Setpoint-Strom: $\pm 100\text{nA}$ in 25pA Schritten
- Regelbandbreite: 3 kHz

- Baudrate Controller-Host: 38400 Bit/s



easyScan v1.3 Funktionsprinzip STM	
13.11.97	D.Müller
1/1	

(c) by Nanosurf AG, Liestal

Index

A

Abdeckhaube 7
 Angleichen der Messkoordinaten an
 die Probenlage 22
 Annähern der Probe zur Spitze 19
 Approach Panel 20, 21
 Atomare Auflösung 24
 Aufbewahrung 32
 Auflageflächen 36
 Ausschalten 31
 Auto. Adjust Z-Offset 24
 Automatische Annäherung 21

B

Benötigtes Zusatzmaterial 7

C

COM-Anschluss 9, 40
 constant height 5

D

Downloading code to microscope
 18
 Drift 26, 28

E

'easyScan' 3
 Einbauen der Probe 16
 Einleitung 2

F

Feedback Panel 20
 Feinannäherung 20
 Fotos speichern 31
 Funktion des RTM 3

G

GapVoltage 20
 Goldfilm 15
 Graphit 15

Graphit, Gittermodell 33
 Graphitoberfläche 33
 Grobannäherung 19

I

I-Gain 20
 Inbetriebnahme des Mikroskops 17
 instabile Spitze 22
 Installation 9
 Installation des 'easyScan' 6
 Installieren der Software 9

K

Kalibrierung 12
 Korrosionsgefahr 36

L

LED 19
 Lieferumfang 6
 LineView 22

M

Messbilder festhalten 27
 Messen 17
 Messen von Gold 34
 Messen von Graphit 17
 Messkontakt 22
 Messkopf 7
 Messlinie 22
 Messprogramm 'easyscan.exe' 11
 Messspitze 13
 Messspitze neu schneiden 38
 Messung beenden 31
 Messvorbereitung 13
 Mikroskopie 2
 Mikroskopsimulation 12
 Montieren der Messspitze 14

N

Netzgerät 7

INDEX

Netzkabel 7
Netzspannung 8
'No connection to microscope!' 39
Nobelpreis 3

O

Optimize 27
Ordner 'easyScan' 11

P

P&P: Pech und Pannen 37
P-Gain 20
Photo 27
Piezokristalle 3
Platinspitze 3
Probe 15
Probenhalter 7, 16

Q

Qualität der Bilder 28
Qualität der Spitze 28

R

Raster-Tunnelmikroskop 2
Regelkreis 4
Regler 5
Reinigen 13, 36
Rotation 23
RTM 2

S

sauber 36
Save as... 31
Scan Panel 21
Scan Size 26
Scan-Elektronik 7
Schräglage 22
Schwingungsdämpfung aus Stein 7

Seitenschneider 13
serielle Schnittstelle 11
Serielles Verbindungskabel 7
SetPoint 20
Simulate microscope 12
Slope 23
Speichern 27
Spiegelbild 20
Standort 8
System-Voraussetzungen 9

T

Time/Line 26
Tool Info Panel 25
TopView 22
tunneln 4
Tunnelstrom 4

V

View Panel 27
Visible Input Range 27

W

Wartung 36
Withdraw 31

X

X-Slope 23
x,y-Ebene 23

Y

Y-Slope 23

Z

Z-Offset 24
Z-Range 25
Zoom 25
Zusammenbau 8

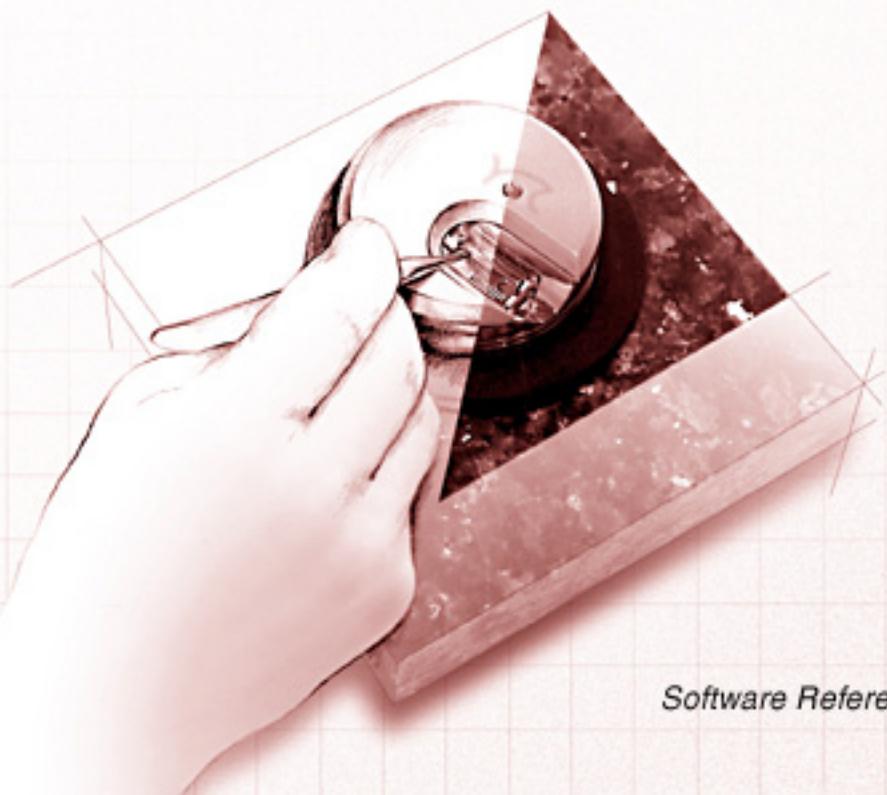
Nanosurf AG
Austrasse 4
CH-4410 Liestal

E-Mail
info@nanosurf.com

World Wide Web
www.nanosurf.com

easyScan

STM SYSTEM



Software Referenz

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	2
Das Konzept der easyScan Messsoftware	3
Messung	3
Speicher	4
Darstellung („Views“)	4
Die Messsoftware	6
Menü File	7
‘Save’ und ‘Save as...’	7
Export ->View as / DataSet as	8
Print	10
Workspace	11
Parameters	11
Menü Panels	12
Approach Panel	13
Scan Panel	15
Feedback Panel	21
View Panel	23
Spectroscopy Panel	26
Data Info Panel	30
Tool Info Panel	30
Menü Tools	31
 Measure Length:	31
 Measure Distance	32
 Measure Angle	33
 Create a Cross-Section	34
Menü Options	36
Signal Mapping	36
Auto Adjust Z-Offset	39
Simulate microscope	39
Menü Window	40
Menü ?	41
Info...	41
Programme zur weiteren Bearbeitung der Messdaten	42
Messverfahren	44
Index	46

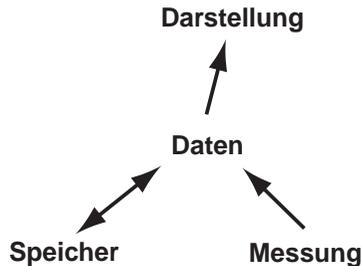
Einleitung

Im diesem Handbuch zum easyScan STM werden die grundlegenden Konzepte und Arbeitsweisen der Datenerfassungssoftware und deren Zusammenspiel mit dem Messgerät erläutert.

Zunächst wird das Konzept der Messsoftware vorgestellt und in den anschliessenden Abschnitten deren einzelne Funktionen beschrieben.

Das Konzept der easyScan Messsoftware

Im Zentrum der easyScan Messsoftware stehen die gemessenen Daten, die mit Hilfe des easyScan STM erzeugt wurden und mit dem Programm dargestellt werden. Grundsätzlich werden einmal gemessene Daten durch das Programm nicht mehr verändert.



Einzig ihre Darstellung kann mit Hilfe des 'ViewPanels' verändert und abgespeichert werden. Alle Einstellungen werden in thematisch geordneten Eingabefenstern, sogenannten 'Panels', vorgenommen, die nicht immer sichtbar sein müssen.

Messung

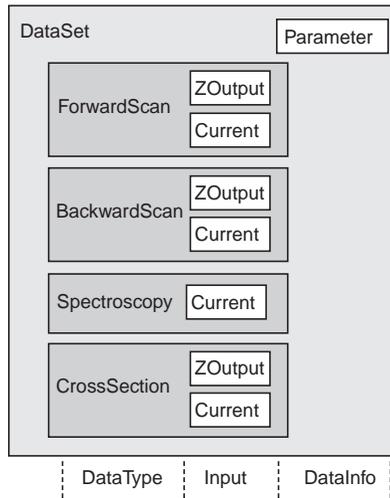
Eine Messung wird durch die folgenden Einstell-Tafeln (Panels) definiert und ausgeführt:

- Scan Panel: erzeugt 'topographische' Messbilder
- SpectroscopyPanel: erzeugt I/V oder I/Z Kennlinien.
- Feedback Panel: legt die Regelparameter fest.

Eine Messung kann nur erfolgen, wenn die Spitze zur Probe angenähert worden ist. Diese Annäherung erfolgt mit Hilfe des Approach Panels, womit der Schrittmotors des Probenschlittens gesteuert werden kann.

Speicher

Durch die Messung werden Daten erzeugt und können auf einem (nicht-flüchtigen) Speichermedium des Rechners gesichert werden. Die erfassten Daten werden in Gruppen zusammengefasst, die wiederum zusammen einen Datensatz (DataSet) der Messung bilden.



Schematische Darstellung, der Speicherung von Messdaten.

Darstellung („Views“)

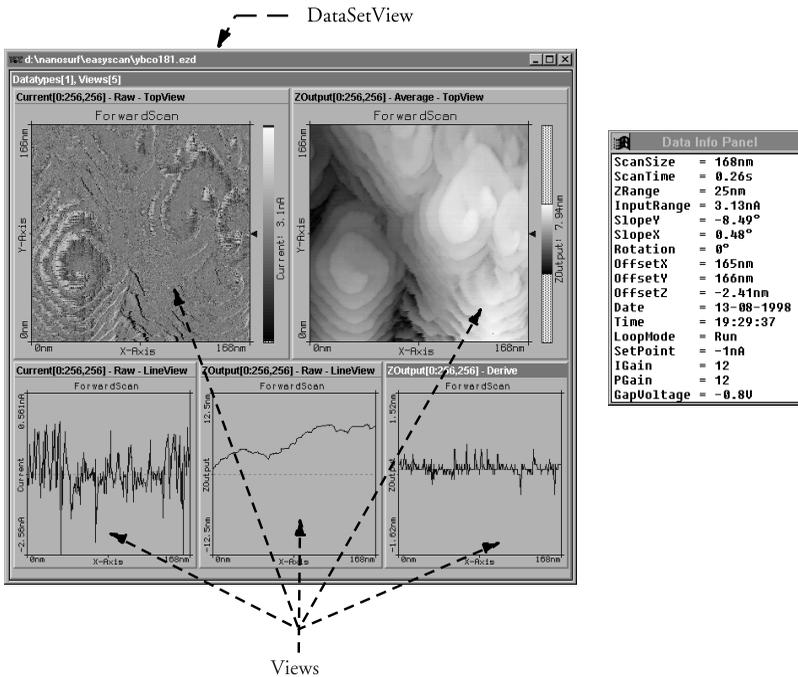
Datensätze werden in 'DataSetViews' dargestellt. Diese können mehrere Ansichten eines Datensatzes, die in einzelnen 'Views' dargestellt werden, zusammenfassen.

Neue Ansichten ('Views') werden mit Hilfe des ViewPanels erstellt.

Das Programm erlaubt die simultane Ansicht aller Messkanäle und bereits vorbearbeiteter Messdaten (z.B. mit Ebenensubtraktion) auch während der Messdatenaufnahme.

Das Programm erlaubt eine weitgehend individuell konfigurierbare Darstellung der Messung (Workspace), die unter einem wählbaren Namen gespeichert werden kann.

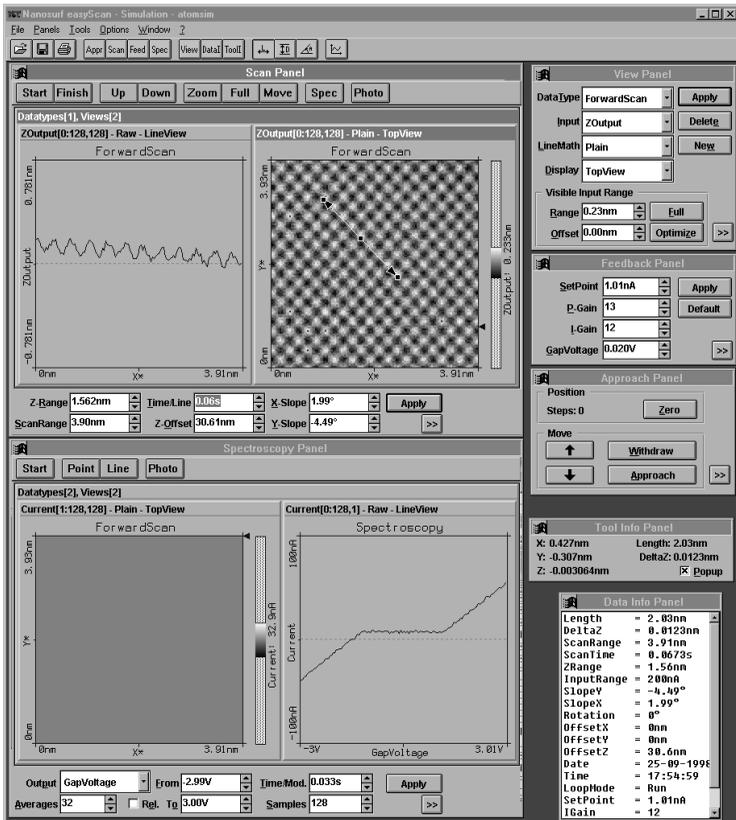
Zusätzliche Informationen zur Messung werden im DataInfoPanel dargestellt.



Links eine mögliche Darstellung eines Datensatzes mit fünf Views, rechts das Data InfoPanel.

Die Messsoftware

In diesem Teil werden die speziellen Funktionen der Software kurz beschrieben, mit denen Sie das Mikroskop steuern, die gemessenen Daten erfassen und in Bilder umsetzen.



Das Hauptfenster von 'easyScan' mit allen geöffneten Panels

Um alle Parameterwerte verstehen zu können, braucht es jedoch vertieftes physikalisches Wissen über das Thema der Raster-Tunnelmikroskopie, das hier nicht vollständig dargestellt werden kann.

Der Aufbau des Kapitels richtet sich nach den Menüs, deren Inhalte ebenfalls der Reihe nach erläutert werden. Einzelne häufig benutzte Menüpunkte können direkt mit Hilfe der 'Tool Bar' aktiviert werden.



Menü File

Unter 'File' befinden sich die Funktionen zum Öffnen , Schliessen, Beenden, Speichern , und Drucken  von Datensätzen. Hier werden nur die spezielleren genauer erwähnt:



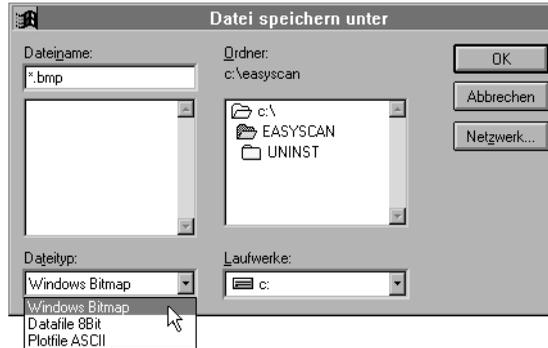
'Save' und 'Save as...'

Damit können einmal mit  erstellte Datensätze im easyScan-Format (Dateierweiterung .ezd) gespeichert werden. Beachten Sie, dass die Dateinamen auf 8 Buchstaben plus Extension mit 3 Buchstaben (DOS Konvention) beschränkt sind.

Öffnet man ein solches *.ezd-File mittels Doppelklick (im Dateimanager Win3.1/3.11 oder Explorer Win95/98/NT), wird dazu automatisch das Programm 'easyScan' gestartet, und die Daten können ausgewertet werden.

Export ->View as / DataSet as

Damit wird entweder das aktive 'View' oder der ganze aktive Datensatz als Bitmap (.bmp), Datafile 8-Bit (.dat) oder Plotfile (.plt) zur Weiterverwendung in anderen Programmen gespeichert (s. auch Kap. 'Programme zur weiteren Verarbeitung der Messdaten').



Windows Bitmap (.bmp)

Eine Grafik als Windows Bitmap eignet sich zum Einbinden in Dokumente, z.B. in Textverarbeitungen oder Grafikprogrammen. Es wird die exakte Darstellung wie sie auf dem Bildschirm erscheint im File abgespeichert (screen shot).

Datafile 8Bit (.dat)

Eine Grafik als Datafile im Binär-Format kann in Bildbearbeitungsprogrammen weiterverarbeitet werden. Die Werte werden zeilenweise als 8-Bit Werte (0-255) von unten nach oben hintereinander abgespeichert.

Die Daten werden unter Berücksichtigung des "LineMath" des „ViewPanel“ gespeichert. Ist für die Darstellung von "Display" der "LineView" aktiv, so wird nur die dargestellte Zeile abgespeichert.

Plotfile ASCII (.plt)

Ein Text-Format, das Messdaten und einen Header enthält. Die Daten werden unter Berücksichtigung des "LineMath" der Darstellung gespeichert. Eine Grafik als Plotfile kann zur Messwertanalyse in Mathematik Programme geladen werden, z.B. in MathLab oder GnuPlot.

- Ist für die Darstellung als "Display" der "LineView" aktiv, so wird nur die dargestellte Zeile abgespeichert. Jeder Datenpunkt wird als Fliesskommazahlenpaar auf einer separaten Zeile gespeichert. Die zwei Werte sind durch ein Leerzeichen (SPACE) getrennt.
- Ist für die Darstellung als "Display" der TopView" aktiv, so werden alle Messwerte abgespeichert. Jeder Messwert einer Datenzeile wird separat auf einer Zeile im Textfile gespeichert. Nach jeder Datenzeile wird eine Leerzeile eingefügt. Die Datenzeilen werden von unten nach oben abgespeichert. Ein kleiner Header mit dem Namen des Channels und des Frames, sowie die Messbereiche der X-,Y- und Z-Achsen in Ihren logischen Einheiten wird vor die erste Datenzeile eingefügt.

Wird mit "Export->DataSet as.." der aktive Datensatz gespeichert, so werden alle darin enthaltene DataViews in die Exportdatei nacheinander abgespeichert. Dabei wird die jeweilige Darstellung der DataViews, so wie oben beschrieben, berücksichtigt.

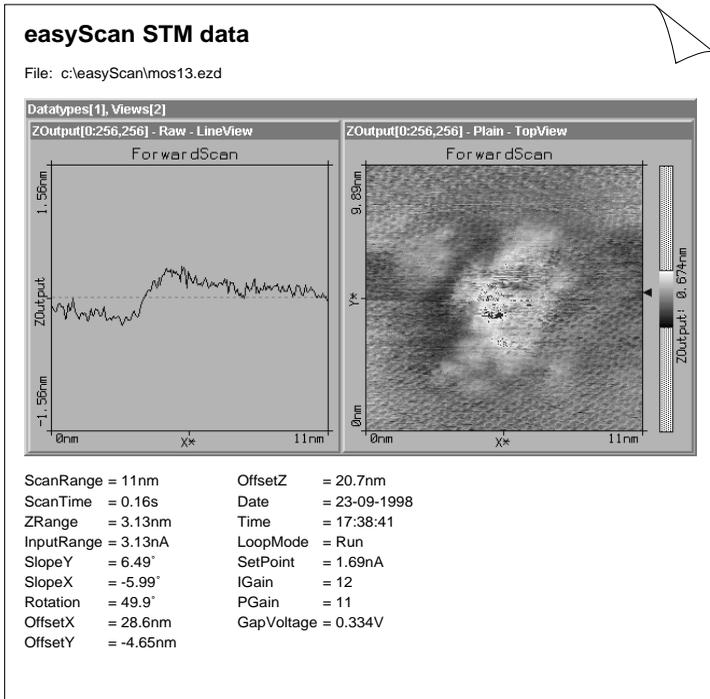
Beim Binär-Format werden die Datenblöcke der einzelnen DataViews direkt hintereinander geschrieben.

Beim ASCII-Format werden die Datenblöcke der einzelnen DataViews durch zwei Leerzeilen voneinander getrennt.

Print

Druckt das aktuelle DataSet mit den Messwerten aus dem 'Data Info Panel' aus.

Das folgende Beispiel zeigt einen typischen Ausdruck einer Messung. Nebst allen Views des aktuellen DataSet werden auch noch weitere Messparameter angefügt:



Workspace

Beim Programmstart von 'easyScan' erscheinen automatisch bestimmte Panels an festgelegten Orten auf dem Bildschirm. Diese Darstellung ist in der Konfigurationsdatei 'default.ezw' gespeichert.

Mit 'Save as' können Sie eigene Anordnungen der Panels abspeichern und sie mit eigenen Namen versehen.

Mit 'Load' können Sie eine Ihrer gespeicherten Darstellungen aufrufen.

Mit 'Save' überschreiben Sie die 'default.ezw'-Datei direkt mit Ihrer aktuellen Darstellung, d.h. sie wird in Zukunft beim Programmstart automatisch erscheinen.

Fehlt die Datei 'default.ezw', so präsentiert sich das easyScan Programmfenster beim Programmstart leer. Wird ein 'Panel' geöffnet, erscheint es in der Bildschirmmitte zentriert.

Parameters

Darunter sind alle numerischen Werte der Eingabefelder der Panels gespeichert, die beim Programmstart mit den Grundeinstellungen versehen sind. Die Grundeinstellungen sind in der Konfigurationsdatei 'default.ezs' gespeichert.

Mit 'Save as' können andere Einstellungen unter neuen Namen gespeichert und nach Programmstart durch 'Load' aufgerufen werden.

Vorsicht: Mit 'Save' überschreiben Sie direkt die 'default.ezs'-Datei mit Ihren aktuellen Parameter-Werten.

Fehlt die Datei 'default.ezs' werden vom Programm selber geeignete Werte eingesetzt, die für Messungen auf Graphit günstig sind.

Menü Panels

Hier sind alle Panels mit ihrem Kurzbefehl zum Öffnen aufgelistet.

anosurf easyScan - Simula	
Panels	Tools Options Win
Approach Panel	F1
Scan Panel	F2
Feedback Panel	F3
Spectroscopy Panel	F4
View Panel	F5
Data Info Panel	F6
Tool Info Panel	F7

Sie können zusätzlich über die Knöpfe in der Funktionsleiste direkt aufgerufen werden:

Für die meisten Panels kann mit dem Knopf die Vollansicht oder mit dem Knopf die Teilansicht gewählt werden.

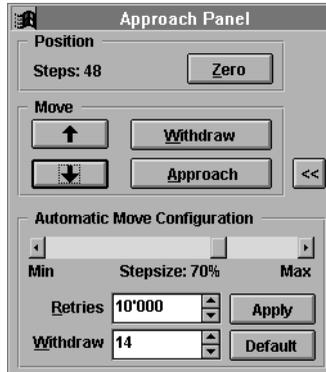
Die Parameter der verschiedenen Eingabefelder können wie folgt verändert werden:

- Schrittweise durch Anklicken der Pfeilknöpfe ; der neue Wert wird nach ca. einer Sekunde automatisch übernommen.
- Individuell durch Überschreiben; die Eingabe muss durch Anklicken von oder Drücken der 'Enter'-Taste bestätigt werden.

Nach der Eingabe von bestimmten Werten kann es vorkommen, dass das Programm die Eingabe leicht abändert. Dies geschieht in jenen Fällen, wo der gewünschte Wert aufgrund der digitalen Auflösungsgrenze der Digital/Analogwandler nicht exakt eingestellt werden kann und deshalb auf den nächst möglichen Wert 'gerundet' wird.

Approach Panel

Mit diesem Panel wird der Piezomotor gesteuert, der die Probe auf dem Probenhalter in den Messbereich der Spitze fährt.



Position

Die Z-Position des Motors wird in Schritten angezeigt.

Zero : setzt den Positionszähler auf Null zurück.

Steps: gibt die Anzahl der zurückgelegten Schritte an.

Move

Mit diesen vier Schaltflächen wird der Motor gesteuert:

↑ : ODER Strg. + Drücken der rechten Maustaste, wobei sich der Cursor innerhalb des Panels befinden muss: Der Probenhalter wird kontinuierlich von der Probe zurückgefahren bis die Taste losgelassen wird.

↓ : ODER Strg.+ Drücken der linken Maustaste, wobei sich der Cursor innerhalb des Panels befinden muss: Der Probenhalter wird kontinuierlich zur Probe gefahren bis die Taste losgelassen wird.

Withdraw : fährt die Probe um eine definierte Anzahl Schritte zurück.

Approach

beginnt die automatische Annäherung der Probe zur Spitze, bis der gewünschte Tunnelstrom fließt. Dabei wird zunächst die Spitze ganz zurückgezogen. Anschliessend führt der Schrittmotor, der den Probenzylinder in antreibt, einen Schritt in die Richtung der Spitze aus. Der z-Piezo fährt die Spitze aus, bis der eingestellte Sollwert des Tunnelstroms erreicht ist. Wird er nicht erreicht, ist die Probe noch nicht im Verstellbereich des z-Piezos. Die Spitze wird wieder ganz zurückgezogen und der Schrittmotor schiebt den Probenhalter einen weiteren Schritt vor. Dieser Vorgang wird wiederholt, bis der Sollwert des Tunnelstroms oder die Anzahl Schritte in 'Retries' erreicht wurden. Der Z-Offset wird beim 'Approach' automatisch auf 0 gesetzt.

Automatic Move Configuration

Stepsize: Die Schrittgröße des Motors ('Stepsize') für die automatische Annäherung wird über den Schieberegler eingestellt.

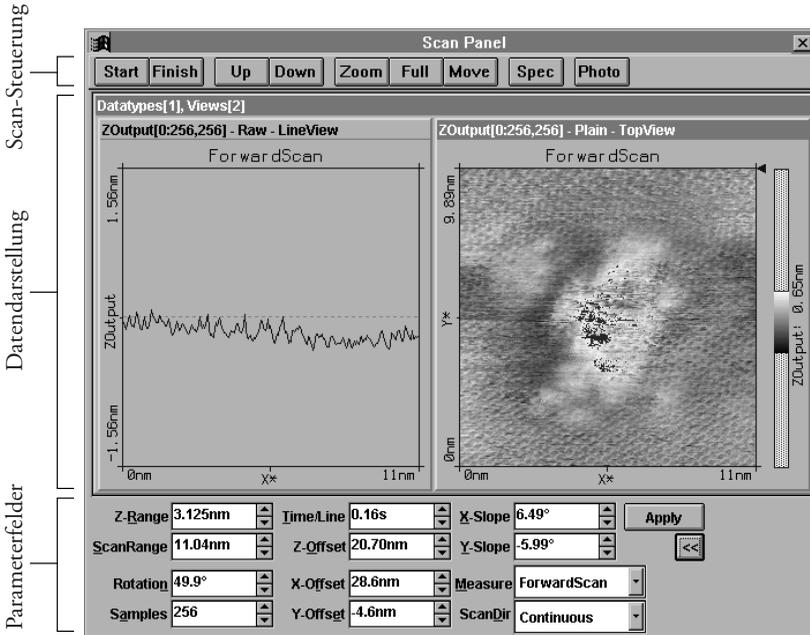
WICHTIG! Die Schrittweite des Piezo-Motors, der den Probenhalter bewegt, kann von Gerät zu Gerät leicht verschieden sein und hängt insbesondere von der Reibung zwischen Probenhalter und den Auflageschienen ab. Deshalb ist es wichtig, beide Teile sauber zu halten (s. Kapitel 'Wartung' im Einführungshandbuch). Entsteht der Eindruck, dass der automatische 'Approach' zu langsam geht, kann eine grössere Schrittweite eingestellt werden. Kommt es hingegen öfters beim automatischen Approach zu 'Spitzen-Crashes' (LED auf dem Messkopf 'rot'), so ist wahrscheinlich die Schrittweite zu gross und sollte verringert werden.

Retries: stellt die maximale Anzahl Schritte ein, die durch **Approach** automatisch ausgeführt werden.

Withdraw: Der Wert in 'Withdraw' stellt die Anzahl Schritte ein, die beim zurückziehen der Probe mit **Withdraw** ausgeführt werden.

Scan Panel

Das ‘Scan Panel’ ist die Hauptsteuerzentrale des Messgerätes. Von hier aus werden die „räumlichen“ Parameter einer Messung eingestellt, sowie die Messung zeilenweise visualisiert.



In der Mitte des ‘Scan Panels’ erscheint ein Datensatz mit zwei ‘Views’ (Grundeinstellung). Hier werden die aktuellen Messresultate dargestellt. Es ist sinnvoll, in einem Fenster die aktuelle Messzeile (‘LineView’) und im anderen die „Aufsicht“ auf den Messbereich (‘TopView’) abzubilden. Es können nach Belieben weitere ‘Views’ gleichzeitig verschiedene Ansichten der Messung darstellen. Dazu kann die Grösse des ScanPanels mit der Maus angepasst werden (ziehen an den Rändern). Wie die Darstellungen und die ‘Views’ verändert werden können, ist im Kapitel ‘View Panel’ beschrieben.

Start/Stop, Finish, Up, Down

Im oberen Teil des 'Scan Panels' befinden sich die Schaltflächen zum Starten und Stoppen einer Messung.

Start verwandelt sich nach Anklicken in **Stop**, mit dem die Messung sofort angehalten werden kann.

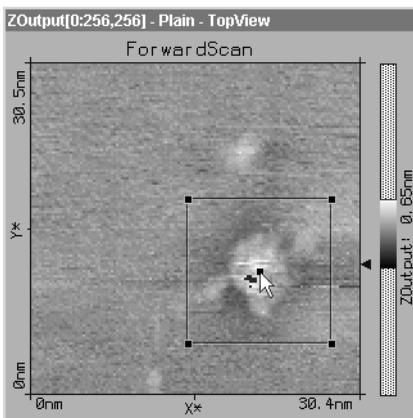
Mit **Finish** wird die Messung erst angehalten, nachdem das laufende Messbild fertig erstellt worden ist.

Die Schaltfläche **Up** bewirkt, dass die laufende Messung sofort ein Bild vom unteren Bildrand her erstellt, **Down** entsprechend vom oberen.

Wird eine Messung mittels **Up** oder **Down** gestartet, stoppt die Messung nach Vollendung eines Messbildes.

Zoom

Nach Anklicken der Schaltfläche **Zoom** kann innerhalb des aktiven Messfensters ein quadratischer Ausschnitt markiert werden, der vergrößert werden soll.



Tool Info Panel	
X: 18.4nm	Size: 14.4nm
Y: 2.31nm	
Z: 0.1777nm	<input checked="" type="checkbox"/> Popup

Mit gedrückter linker Maustaste an der gewünschten Stelle ein Quadrat aufziehen: Dieses lässt sich an den Markierpunkten noch beliebig verändern (Ecken) und verschieben (Zentrum).

Das automatisch geöffnete ‘Tool Info Panel’ gibt die Koordinaten des Cursors und die Grösse des Zoomquadrates an. Mit der rechten Maustaste kann die Zoomfunktion abgebrochen werden.

Durch einen Doppelklick mit der linken Maustaste in das Fenster wird die markierte Auswahl bestätigt und die Parameter ‘ScanRange’, ‘X-, Y-, Z-Offset’ entsprechend im ‘ScanPanel’ modifiziert.

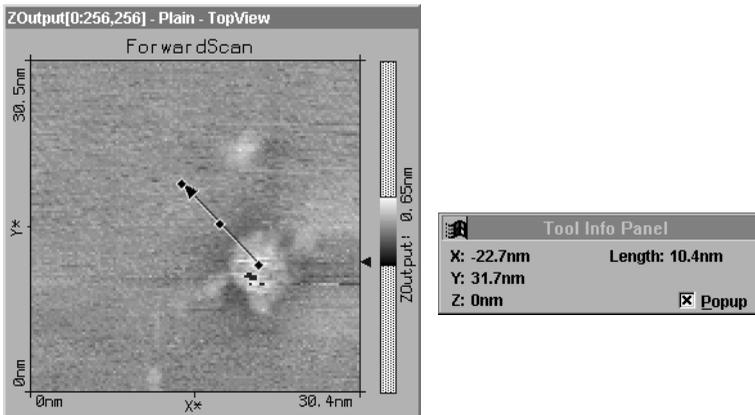
Ein Zoomquadrat mit 33% des Bildausschnitts wird am Ort des Mauszeigers erzeugt, falls nur geklickt, statt ein Quadrat aufgezogen wird.

Full

Mit **Full** werden die Parameter ScanRange, X-, Y-Offset derart eingestellt, dass der grösstmögliche Bereich gemessen wird.

Move

Mit **Move** kann der Scanausschnitt verschoben werden.



Mit gedrückter linker Maustaste wird im Messbild eine Strecke markiert, die nach Loslassen als Pfeil erscheint.

Der Pfeil kann an den Markierpunkten noch verändert und verschoben werden. Das ‘Tool Info Panel’ zeigt seine Länge und Koordinaten an.

Durch Doppelklicken mit der linken Maustaste wird der Move-Befehl ausgeführt. D.h. der Bildausschnitt wird um die X-/Y-Offset-Werte verschoben, die durch den Pfeil definiert wurden.

Ein Pfeil vom Ort des Mauszeigers in die Bildmitte wird erzeugt, falls nur geklickt, statt ein Pfeil gezeichnet wird.

Spec

Durch Anklicken von **Spec** im 'Scan Panel' wird die laufende Messung angehalten und die Messdaten in das sich automatisch öffnende 'Spectroscopy Panel' kopiert. Dort können anschließend spektroskopische Messungen (I/U und I/z) durchgeführt werden.

Photo

Photo wartet die Fertigstellung des laufenden Messbildes ab und erstellt danach im Hintergrund eine Kopie des DataSets (Bilder und ihre Messdaten). Die Messung läuft automatisch weiter. Wird während des Wartens noch einmal auf **Photo** gedrückt, so wird keine Kopie erstellt.

Um ein Bild genau so festzuhalten, wie es gerade auf dem Display erscheint, muss die Messung mit **Stop** angehalten werden und dann mit **Photo** kopiert werden.

Beim Verlassen des Programmes werden Sie gefragt, ob Sie die festgehaltenen Bilder speichern wollen. Dabei können Sie die automatisch gegebenen Namen (z.B. DataSet1.ezd) für die gewünschten 'DataSets' ändern und den Speicherort angeben. Werden mehr als 9 Bilder gespeichert, wird der automatisch erzeugte Name auf 8 Zeichen reduziert, z.B. DSet13.ezd.

Parameterfelder

Falls nicht alle zwölf Parameterfelder sichtbar sind, kann das 'Scan Panel' durch den -Schalter ganz geöffnet werden.

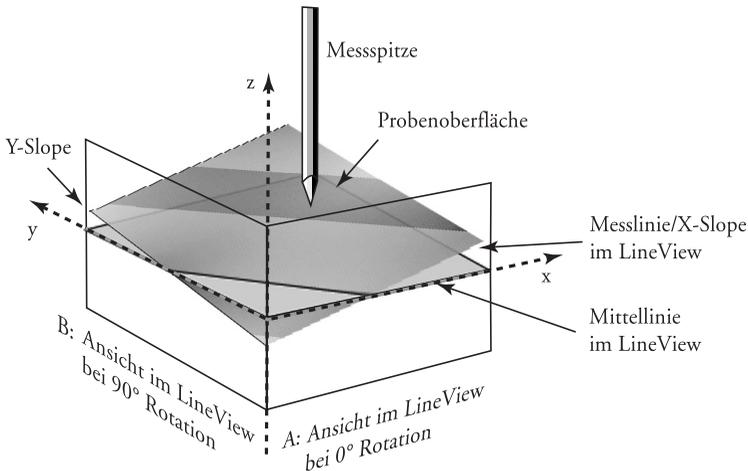
Z-Range	3.125nm	Time/Line	0.16s	X-Slope	6.49°	Apply
ScanRange	11.04nm	Z-Offset	20.70nm	Y-Slope	-5.99°	
Rotation	49.9°	X-Offset	28.6nm	Measure	ForwardScan	
Samples	256	Y-Offset	-4.6nm	ScanDir	Continuous	

Z-Range: Bestimmt die Stärke der Messsignale in Z-Richtung. Um überhaupt Strukturen im atomaren Bereich erkennen zu können, müssen die Signale in Z-Richtung enorm „aufgebläht“ werden. Dies wird erreicht durch Verkleinerung des Z-Ranges. Damit werden die „Höhenunterschiede“ verstärkt dargestellt.

ScanRange: Legt die Grösse des Messbereiches in [nm] fest ($x=y$). Der Wert wird mit den -Tasten immer verdoppelt oder halbiert.

Time/Line: Legt die Zeitspanne fest, innerhalb der eine Zeile gemessen wird (Messgeschwindigkeit).

Mit den nächsten drei Parametern wird die Ebene, auf der sich die Messspitze bewegt (Messebene), an die Lage der Probenebene angeglichen:



Z-Offset: Gibt die Verschiebung der Lage der Messebene in Z-Richtung an.

X-slope: Gibt an, wie stark die X-Achse der Messebene im Gegenuhrzeigersinn gekippt wurde.

Y-slope: Gibt an, wie stark die Y-Achse der Messebene gekippt wurde (im Gegenuhrzeigersinn bei 90° Rotation).

Mit Hilfe dieser Einstellungen wird die Arbeit des Regelkreises so optimiert, dass er nur noch Abweichungen zu dieser gekippten Messebene ausregeln muss. Damit wird eine bessere Auflösung erreicht.

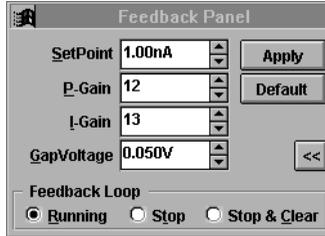
- Rotation:** Rotiert den Messausschnitt im Uhrzeigersinn um die Bildmitte.
- Samples:** Legt die Anzahl Messpunkte pro Zeile fest.

Durch Veränderung der X-/Y-Offsets kann der Messbereich verschoben werden. Dabei wird immer von der Mitte des Messbereichs aus gerechnet:

- X-Offset:** Gibt die Verschiebung des Messbereichs in X-Richtung an in [nm].
- Y-Offset:** Gibt die Verschiebung des Messbereichs in Y-Richtung an in [nm].
- Measure:** Legt fest, welche Scanrichtungen gemessen und gespeichert werden:
- ‘ForwardScan’: Nur der Vorwärtsscan (von links nach rechts).
 - ‘BackwardScan’: Nur der Rückwärtsscan (von rechts nach links).
 - ‘Forw.&Backw.’: Vorwärts- und Rückwärtsscan werden gemessen und gespeichert.
- ScanDir:** Legt die Richtung des Bildaufbaus fest:
- ‘Continuous’: Die Messung läuft kontinuierlich auf und ab, vom unteren Bildrand zum oberen und wieder zurück etc.
 - ‘Cont.Up’: Das Bild wird wiederholt nur von unten nach oben gemessen.
 - ‘Cont.Down’: Das Bild wird wiederholt nur von oben nach unten gemessen.

Feedback Panel

Hier werden die Einstellungen für den Regelkreis festgelegt, der den Abstand zwischen Probe und Messspitze regelt. Die Regelgröße ist beim Raster-Tunnelmikroskop der Tunnelstrom.



Feedback Panel - Einstellung der Mess- und Regelparameter

- SetPoint:** Legt die Stärke des Tunnelstromes in [nA] fest.
- P-Gain:** Legt den Proportionalteil und
- I-Gain:** den Integralteil des Z-Distanzreglers fest.

Mit $P/I=0$ wird der Proportionalregler bzw. der Integrator abgeschaltet. Mit $P/I=16$ wird die P-Verstärkung bzw. die Integrationsgeschwindigkeit auf das Maximum gesetzt.

GapVoltage: Legt die Spannung in [V] zwischen Messspitze und Probe fest. Eine positive Gapspannung bedeutet, dass die Spitze ein positives Potential gegenüber der Probe hat und somit die Elektronen von der Probe zur Spitze tunneln.

Default : Setzt die Standartwerte für Graphit wieder ein.

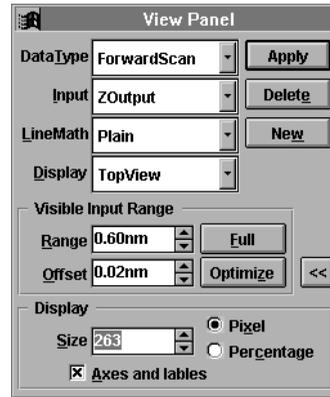
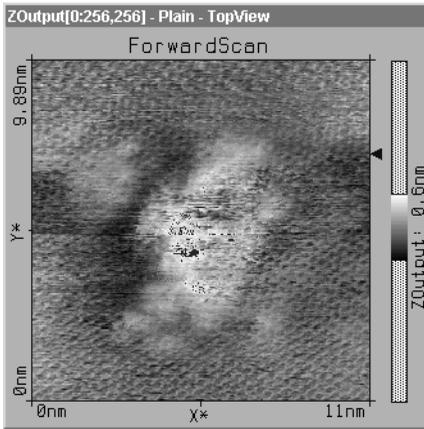
Feedback Loop

- Running:** lässt den Regler mit den oben eingestellten Parametern laufen.
- Stop:** lässt die Spitze in der momentanen Z-Position fixiert entlang der mit X-, Y-Slope definierten Scan-Ebene die Probe scannen (z.B. für 'Constant Height'-Messung). Achtung, „Crashgefahr“!
- Stop & Clear:** stoppt den Regler, fährt die Spitze in die Z-Offset-Position und misst so entlang der mit X-, Y-Slope definierten Scan-Ebene weiter. Achtung, grosse „Crashgefahr“!

View Panel

In diesem Panel wird festgelegt, wie die Daten eines Datensatzes dargestellt werden. Dies kann über 'Views' (Fenster) in einem Datensatz auf unterschiedliche Art geschehen.

Die Werte im 'View Panel' beziehen sich immer auf das aktivierte (=angeklickte) 'View'.



- Data Type:** Abhängig davon was gemessen wird oder in einem geladenen Datensatz gespeichert wurde, kann hier ausgewählt werden, ob die Ergebnisse einer 'ForwardScan', 'BackwardScan', 'Spectroscopy' oder 'CrossSection' Messung dargestellt werden.
- Input:** Gibt an, welcher Messkanal dargestellt wird:
- 'ZOutput': visualisiert die Bewegung des Z-Piezos.
 - 'Current': visualisiert den gemessenen Tunnelstrom.
- LineMath:** Gibt an, wie die Messdaten vor der Darstellung zeilenweise aufbereitet werden:
- 'Raw': Es werden die Messdaten ohne Veränderung dargestellt.
 - 'Average': Der Mittelwert wird von den Messwerten subtrahiert.

- ‘Plain’: Die Neigung der Ebene und der Mittelwert werden von den Messwerten subtrahiert.
- ‘Derive’: Die Differenz zwischen aufeinanderfolgenden Messwerten (Ableitung) wird dargestellt.

Display:

Legt die Darstellungsweise fest:

- ‘LineView’: Die Messwerte werden Zeilenweise als x-z-Diagramm dargestellt (-> „Höhenprofil“).
- ‘TopView’: Die Messwerte werden als Grauwerte in der x-y-Ebene dargestellt (-> „Topografie“).

Beim Anwählen von ‘LineView’ wird der ZRange automatisch auf Full-Range gestellt.

Apply :

überträgt die Einstellungen des ‘View Panels’ auf das aktive ‘View’.

New :

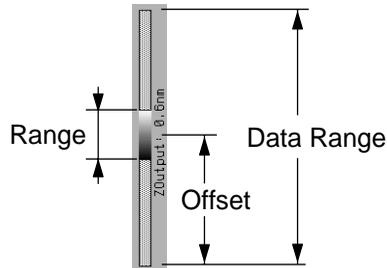
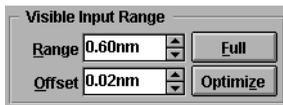
erzeugt in einem aktiven ‘DataSet’ ein weiteres ‘View’, das die Messung gemäss den aktuellen Einstellungen im ‘View Panel’ abbildet. Ev. muss das Fenster durch Ziehen an den Rändern vergrößert werden, damit alle ‘Views’ sichtbar werden.

Delete :

löscht das aktive ‘View’.

Visible Input Range:

Hier kann die Einfärbung der Bilder verändert werden. Die Farbskala wird im betreffenden ‘TopView’ als Farbbalken dargestellt.



- **Range:** verändert den „Kontrast“ des Bildes.
- **Offset:** verändert die „Helligkeit“ des Bildes.

- **Optimize** : das Program versucht mit Hilfe eines Histogramms über alle Messwerte den optimalen Range und Offset einzustellen.
- **Full** : verteilt die Farbskala auf den vollen Messbereich.

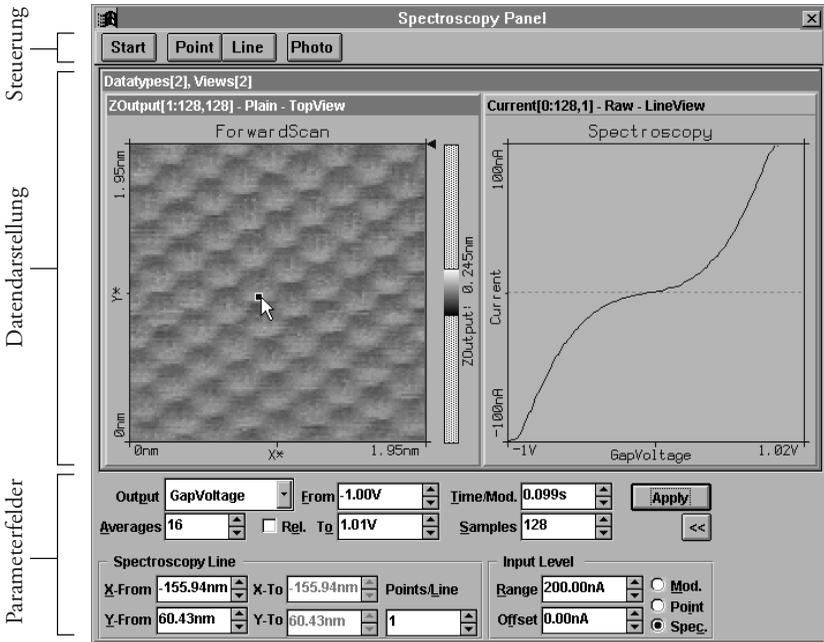
Display:



- **Size:** Mit diesem Wert kann die Größe des aktiven Views verändert werden.
- **Pixel:** Der Wert in 'Size' bestimmt die Kantenlänge des Views in Pixeln. Die Pixelzahl des Displays sollte ein ganzzahliges Vielfaches der 'Samples' (gemessene Punkte) im 'Scan bzw. Spectroscopy Panel' sein, da sonst der Rechner die Bildpunkte interpolieren muss, was zu Darstellungsfehlern (Moirémuster) führen kann.
- **Percentage:** Der Wert in 'Size' gibt die Anzahl Bildschirm Punkte/ Messpunkt in % an: verwenden Sie möglichst 100%, 200% oder 300% etc.
- **Axes and labels:** Damit wird die Beschriftung der 'Views' und bei 'TopViews' zusätzlich der Graustufenbalken ein- und ausgeschaltet.

Spectroscopy Panel

Mit dem Spectroscopy Panel können Strom-Spannungs- und Strom-Z-Abstands-Kennlinien aufgenommen werden.



Das Panel ist in drei Bereiche unterteilt: Die Kopfzeile mit den Steuerungsfunktionen, dem Mittelteil zur Datendarstellung mittels Views und dem Fussteil mit Parameterfeldern zur Definition der Spektroskopiemessung.

Wird das Spectroscopy Panel vom ScanPanel aus aktiviert, wird das aktuelle Messbild ins SpectroscopyPanel übernommen. Ein Aufruf durch den Menüeintrag oder mittels Funktionstaste 'F4' oder der Taste  aus der Funktionsleiste bewirkt nur ein Öffnen des Spectroscopy Panels ohne Transfer der aktuellen Messdaten.

Start/Stop

Eine Messung wird durch die Schaltfläche **Start** gestartet. **Start** verwandelt sich nach Anklicken in **Stop**, mit dem die Messung sofort angehalten werden kann.

Die Messung verläuft folgendermassen:

1. Die Spitze fährt geregelt an den definierten Anfangspunkt.
2. Der Regler wird abgestellt.
3. Die Kennlinie wird aufgenommen (I/U oder I/Z).
4. Der Regler wird wieder eingeschaltet.

(Falls eine Linie definiert wurde, fährt die Spitze an den nächsten Punkt und von da an werden die Schritte 2. - 5. entsprechend der Anzahl Punkte auf der Linie wiederholt.

5. Die Spitze fährt an den nächsten Punkt.)

Point/Line

Mit den Schaltflächen **Point** und **Line** können die Koordinaten für die Spektroskopiemessung bequem mit der Maus festgelegt werden.

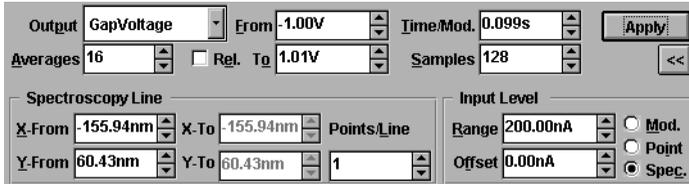
Ist eine TopView Ansicht selektiert, kann durch Anklicken von **Point** oder **Line** darin ein Punkt oder eine Linie markiert werden. Einmal klicken mit der Maus erzeugt einen kleinen quadratischen Punkt bzw. einen Pfeil ins Zentrum. Ist **Line** aktiv kann durch klicken und ziehen ein beliebiger Pfeil gezeichnet werden. Nach dem Markieren werden die Koordinaten durch Doppelklick in den entsprechenden Feldern im unteren Teil des SpektroskopiePanels eingetragen. Klicken mit der rechten Maustaste bricht die Markierfunktion ab.

Photo

Photo erstellt eine Kopie des DataSets (Bilder und ihre Messdaten), das nun auch Spektroskopiedaten enthält - neben 'Forward' oder 'Backward' Scan kommt nun auch der DataType 'Spectroscopy' hinzu.

Parameterfelder

Falls nicht alle Parameterfelder sichtbar sind, kann das 'Spectroscopy Panel' durch den  -Schalter ganz geöffnet werden.



- Output:** Im Auswahlfeld 'Output' kann zwischen den beiden Einträgen 'GapVoltage' und 'Z-Axis' gewählt werden. Diese Grösse wird in der Messung gemäss den nachfolgenden Parametern variiert.
- Averages:** Gibt die Anzahl der Wiederholungen an, mit der eine Messung an jedem Punkt durchgeführt und gemittelt (arithmetisch) wird.
- Rel.** Ist dieses Feld angekreuzt, wird die in 'Output' ausgewählte Grösse relativ zum aktuellen Wert variiert, d.h. bezüglich GapVoltage bzw. Z-Position.
- From/To:** Die in Output gewählte Grösse wird bei der Messung eines Punktes zwischen den beiden Werten in den Feldern 'From' und 'To' (beginnend mit 'From') verändert.
- Time/Mod.:** In diesem Feld wird die Zeitspanne für eine einzelne Messung eingestellt, innerhalb derer die Grösse im Feld 'Output' von 'From' nach 'To' schrittweise verändert wird.
- Samples:** In diesem Feld wird die Anzahl der Schritte gewählt, mit der die in 'Output' gewählte Grösse zwischen 'From' und 'To' verändert wird.
- Spectroscopy Line:**
- X-From/Y-From:** Im Fall einer  -Spektroskopie entsprechen diese beiden Werte den X,Y-Koordinaten des Messpunktes.

Wird eine **Line**-Spektroskopie durchgeführt, sind die beiden Werte die Koordinaten des ersten Messpunktes in 'Pfeilrichtung'.

X-To/Y-To: Bei einer **Line**-Spektroskopie entsprechen diese beiden Werte der Koordinate des letzten Messpunkts (Pfeilspitze) der Linie. Bei **Point**-Spektroskopie bleiben diese Werte unberücksichtigt.

Points/Line: Dieser Wert gibt die Anzahl der Messpunkte entlang einer **Line**-Spektroskopie an.

Input Level:

Mit den Werten in 'Input Level' kann der Messbereich einer Kennlinie eingeschränkt werden. Übersteigt der Tunnelstrom diesen Messbereich wird die Messung sicherheitshalber abgebrochen.

Range: Definiert den maximal zulässigen Tunnelstrombereich.

Offset: Verschiebt den Nullpunkt der Abbruchbedingung.

Mod./Point/Spec.: Diese Schalter legen fest, was mit einer Messung geschehen soll, die Tunnelströme ausserhalb des oben definierten zulässigen Messbereichs liefern:

- 'Mod' bricht nur die Messung der aktuellen Kennlinie ab und wiederholt, falls gemittelt wird, dieselbe Messung, bis die Anzahl Wiederholungen im Feld 'Averages' ausgeführt wurden.
- 'Point' bricht die Messung (und somit alle 'Averages') am aktuellen Messpunkt ab und fährt, falls eine **Line**-Spektroskopie ausgeführt wird, mit dem nächsten Messpunkt fort.
- 'Spec.' bricht die gesamte Spektroskopiemessung ab (überspringt alle 'Averages' und Punkte).

Wurde während der Spektroskopiemessung die Abbruchbedingung erreicht, wird dies im 'DataInfoPanel' unter ModAborted=(Anzahl Abbrüche) aufgeführt und im 'Spektroskopie Panel' das Warnzeichen  eingeblendet.

Data Info Panel

Dieses Panel stellt die Messparameter des aktiven Datensatzes dar. Wird eine gespeicherte Messung mit 'File->Open...' geöffnet, erscheint ein Fenster, das die Messung in 'Views' darstellt. Im 'Data Info Panel' können die zugehörigen Messparameter angezeigt werden.

Data Info Panel		Data Info Panel	
ScanRange	= 11nm	ModOutput	= GapVoltage
Time/Line	= 0.165	ModFrom	= -3V
ZRange	= 3.13nm	ModTo	= 3.01V
InputRange	= 3.13nA	Time/Mod	= 0.03375
YSlope	= 6.49°	Relative	= FALSE
XSlope	= -5.99°	Samples	= 128
Rotation	= 49.9°	Averages	= 32
XOffset	= 28.6nm	Points	= 1
YOffset	= -4.65nm	XFrom	= 0nm
ZOffset	= 20.7nm	YFrom	= 0nm
Date	= 23-09-1998	InpRange	= 200nA
Time	= 17:38:41	InpOffset	= 0nA
LoopMode	= Run	AbortMode	= StopMod
SetPoint	= 1.69nA	Date	= 07-10-1998
IGain	= 12	Time	= 18:03:35
PGain	= 11	-- Scan --	= -----
GapVoltage	= 0.334V	ScanRange	= 499nm

Im Bild links sind die Parameter einer Messung im 'Data Info Panel' dargestellt. Im Bild rechts sind die Daten einer Spektroskopiemessung dargestellt, die oben in der Parameterliste hinzukommen.

Tool Info Panel

Das 'Tool Info Panel' zeigt die X-/Y-/Z-Koordinaten des Cursors im aktiven Bild und die Massangaben des jeweils aktiven Werkzeuges (Zoom, Move, Längen-, Distanz- und Winkelmasstab, Schnittwerkzeug) an.

Durch das Markierfeld 'Popup' kann festgelegt werden, ob das Panel bei Benutzung eines Werkzeuges automatisch erscheinen und danach wieder verschwinden soll.

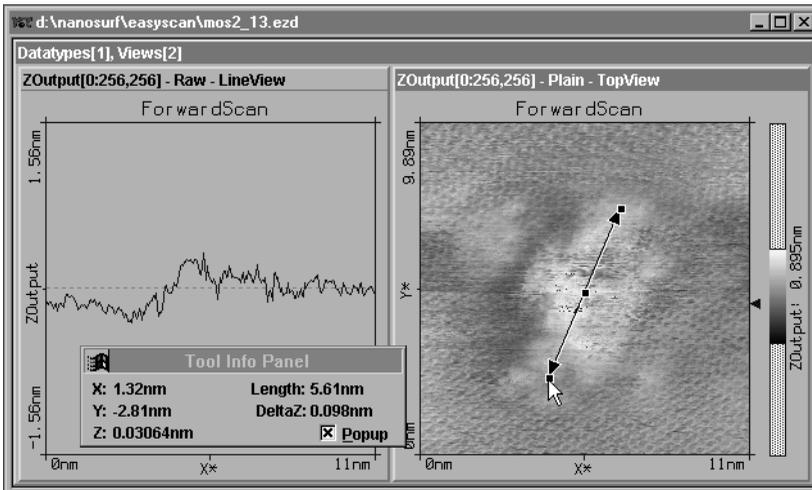
Menü Tools



Mit Hilfe dieser Werkzeuge können Bilder vermessen werden. Die 'Tools' können ebenfalls durch die entsprechenden Knöpfe in der Funktionsleiste aktiviert werden. Alle Tools können in allen 'Views' während der Messung oder danach zur Auswertung der Daten benutzt werden.

Measure Length:

Mit dem 'Measure Length'-Tool  können Sie in einem Messbild zwei Punkte definieren, um im 'Tool Info Panel' deren Distanz abzulesen.



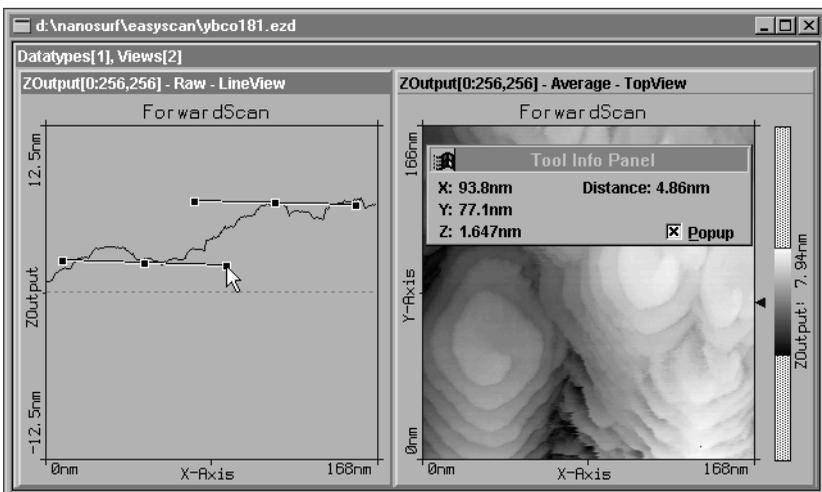
- Aktivieren Sie durch Anklicken das gewünschte Messbild und danach das -Tool.

- Durch Drücken, Ziehen und Loslassen der linken Maustaste zeichnen Sie einen Doppelpfeil. Dessen Länge wird im 'Tool Info Panel' angezeigt.

Klicken ohne Ziehen erzeugt einen Pfeil ins Zentrum des Bildes. An den entsprechenden Markierpunkten können Sie den ganzen Pfeil sowie dessen Anfang oder Ende verschieben. Eine neue Messlinie kann durch erneutes drücken, ziehen und loslassen der linken Maustaste erzeugt werden. Die Funktion wird mit der rechten Maustaste oder durch nochmaliges Anklicken von  abgebrochen.

Measure Distance

Mit dem 'Measure Distance'-Tool  können Sie in einem Messbild zwei Parallelen zeichnen, um im 'Tool Info Panel' deren Distanz abzulesen.



- Aktivieren Sie durch Anklicken das gewünschte Messbild und danach das  -Tool.

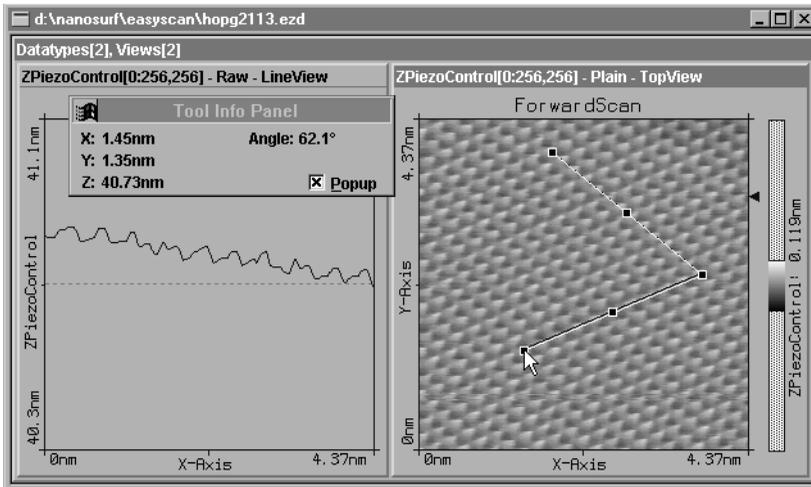
- Durch Drücken, Ziehen und Loslassen mit der Maus erzeugen Sie eine Strecke. Klicken ohne Ziehen erzeugt eine horizontale Markierung. Danach hängt eine Parallele am Mauszeiger.

- Klicken Sie an einer gewünschten Stelle mit der linken Maustaste, um die Parallele festzusetzen. Deren Abstand zu der ersten Strecke können Sie im 'Tool Info Panel' ablesen.

Sie können die beiden Parallelen an den Endpunkten verkippen und an den Mittelpunkten verschieben. Eine neue Strecke kann durch erneutes Drücken, Ziehen und Loslassen der linken Maustaste erzeugt werden. Die Funktion wird mit der rechten Maustaste oder durch nochmaliges Anklicken von  abgebrochen.

Measure Angle

Mit dem 'Measure Angle'-Tool  können Sie in einem Messbild einen Winkel einzeichnen und im 'Tool Info Panel' seine Größe ablesen.



- Aktivieren Sie durch Anklicken das gewünschte Messbild und danach das  -Tool.

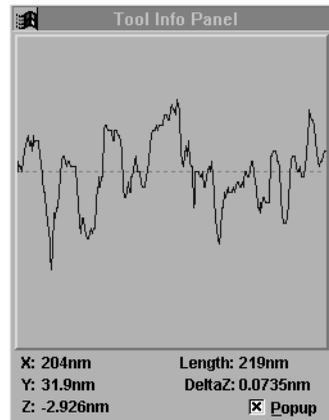
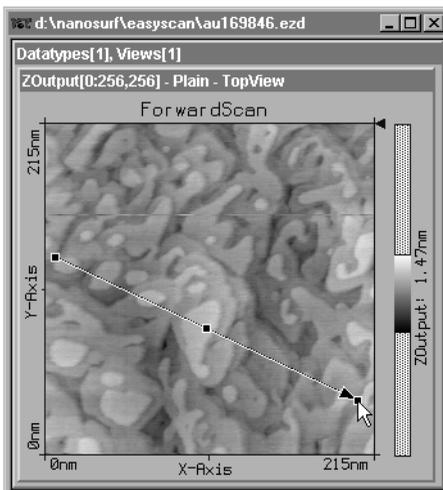
- Durch Drücken, Ziehen und Loslassen mit der Maus zeichnen Sie den ersten Schenkel. Klicken ohne Ziehen erzeugt einen horizontalen Schenkel. Durch erneutes Klicken an einer gewünschten Stelle setzen Sie den Endpunkt des zweiten Schenkels.

Die Größe und Position des Winkels wird im 'Tool Info Panel' protokolliert.

Die beiden Schenkel, der Scheitel oder der gesamte Winkel können an den entsprechenden Markierpunkten verschoben werden. Ein neuer Schenkel kann durch erneutes Drücken, Ziehen und Loslassen der linken Maustaste erzeugt werden. Die Funktion wird mit der rechten Maustaste oder durch nochmaliges Anwählen von  abgebrochen.

Create a Cross-Section

Mit dem 'Create a Cross-Section'-Tool  können Sie in einem 'TopView' einen beliebigen Querschnitt der Messoberfläche erzeugen. Diese Schnittlinie wird mit ihren Daten im 'Tool Info Panel' abgebildet und kann als neuer Datensatz (DataType CrossSection) gespeichert werden.



- Aktivieren Sie durch Anklicken das gewünschte 'TopView' und danach das  -Tool.

- Durch Drücken, Ziehen und Loslassen zeichnen Sie eine Schnittlinie, die als Pfeil erscheint und im 'Tool Info Panel' als Querschnitt erscheint. Die Daten werden von links nach rechts in Pfeilrichtung dargestellt.

Die Schnittlinie kann an den Markierpunkten verändert und verschoben werden. Eine neuer Querschnitt kann durch erneutes Drücken, Ziehen und Loslassen der linken Maustaste erzeugt werden. Durch Doppelklick mit der linken Maustaste ins 'TopView', erzeugen Sie die Schnittlinie als neuen Datensatz.

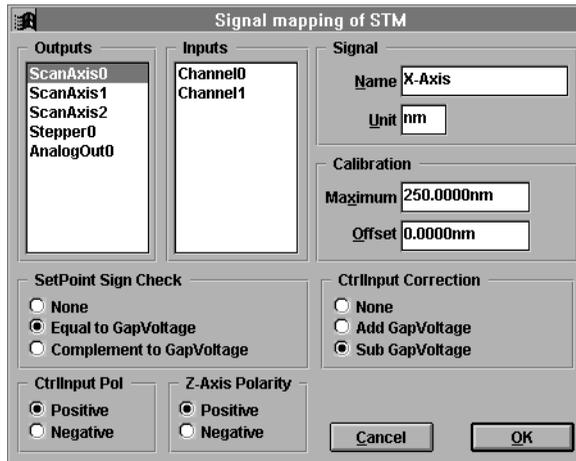
Die Funktion wird mit der rechten Maustaste oder durch erneutes Anklicken von  abgebrochen.

Menü Options



Signal Mapping

In diesem Dialog können die Einheiten der Ein- und Ausgänge festgelegt, sowie die Regelstrecke dem Messkopf angepasst werden.



VORSICHT!

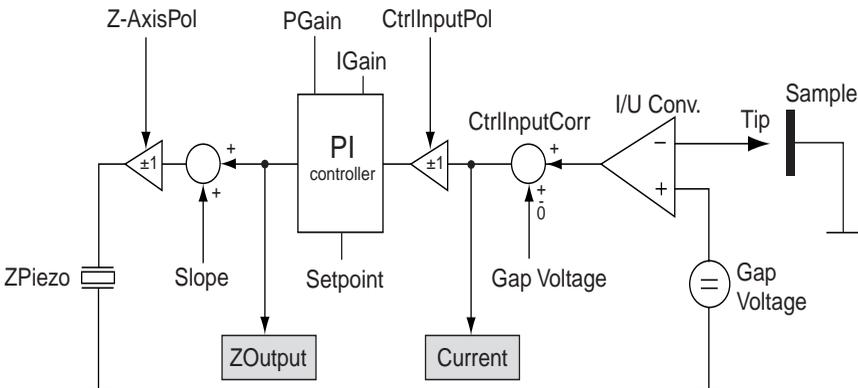
Änderungen an diesen Grössen sollten nur mit der grössten Sorgfalt erfolgen, da sonst die gemessenen Daten nicht mehr korrekt interpretiert werden können oder der Regelkreis nicht mehr korrekt funktioniert.

Outputs/Inputs/Signal

In der rechten Hälfte dieses Dialogs sind in den Listen die verfügbaren Ein- und Ausgangssignale aufgeführt. Im Textfeld 'Signal' kann jedem angewählten Ein- und Ausgangssignal ein 'Name' und eine Einheit 'Unit' zugeordnet werden. Diese Namen werden vom Programm zur Beschreibung der entsprechenden Signale verwendet.

Calibration

Die Eingabefelder unter 'Calibration' bezeichnen den maximalen Ein- bzw. Ausgangshub der entsprechenden Größe und dienen der Eichung des ausgewählten Ein- bzw. Ausgangs. 'Maximum' gibt den positiven Hub der Größe an, z.B. für 500nm Scan Range muss ein Maximum von 250nm (+250nm,-250nm) eingestellt werden. 'Offset' bezeichnet die Verschiebung des Nullpunktes.



In der unteren Hälfte sind Einstellmöglichkeiten für den Regler, die eine universelle Anpassung des Messsystems an andere Messköpfe erlaubt. Das folgende Schema zeigt den Einsatz der Einstellungen.

SetPoint Sign Check

Das Vorzeichen von 'SetPoint' wird entsprechend dem Vorzeichen von 'GapVoltage' angepasst:

none: Vorzeichen von SetPoint und GapVoltage sind voneinander unabhängig.

Equal to GapVoltage: SetPoint nimmt immer dasselbe Vorzeichen wie GapVoltage an.

Complement to GapVoltage: SetPoint nimmt immer die gegenteilige Polarität von GapVoltage an.

CtrInInput correction

Bevor das Signal gemessen wird, kann die Spannung AnalogOut0 (beim STM=GapVoltage) mit der Eingangsspannung verknüpft werden.

none: Die Spannung aus dem Vorverstärker des Messkopfes wird unverändert übernommen.

Add GapVoltage: Zur Ausgangsspannung des Vorverstärkers wird die Spannung AnalogOut0 aufsummiert.

Sub GapVoltage: Von der Ausgangsspannung des Vorverstärkers wird die Spannung AnalogOut0 subtrahiert.

CtrInInput pol.

Bevor das Messsignal an den PI-Regler weitergegeben wird kann es noch invertiert werden. Dies ist von der Art des Messkopfes abhängig.

positive: Das Signal wird ohne Veränderung weitergeleitet.

negative: Das Signal wird invertiert.

Z-Axis polarity

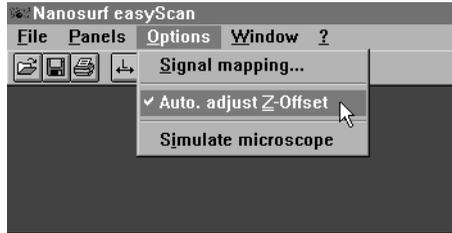
Die Regelkreisantwort kann vor dem Ebenenabgleich und der Ausgabe am Ausgang ScanAxis2 (beim STM=Z-Zustellgröße) invertiert werden.

positive: Das Signal wird ohne Veränderung weitergeleitet.

negative: Das Signal wird invertiert.

Auto Adjust Z-Offset

In der Grundeinstellung der Software ist diese Funktion automatisch eingeschaltet. Sie steuert die Grundstellung der Messspitze in Z-Richtung (Z-Offset) so, dass das Messsignal immer im optimalen Bereich liegt.



Simulate microscope

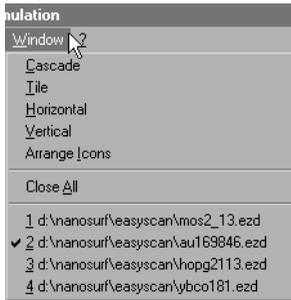
Hier kann eine Simulation aktiviert werden, die die Funktionen des realen Mikroskops nachbildet. Die Probe wird durch eine gerechnete Modelloberfläche ersetzt. Dadurch können alle Schritte einer richtigen Messung und das gesamte Messprogramm ohne angeschlossenes Mikroskop ausprobiert werden!

Wenn das Programm 'easyScan' ohne angeschlossenes Mikroskop gestartet wird, erscheint der Dialog:



Durch Anklicken von 'Abbrechen' wird automatisch die Mikroskopsimulation aktiviert. Bei aktiver Mikroskopsimulation wird in der Titelzeile des Programms 'Simulation' eingeblendet.

Menü Window



Auswahl für die Anordnung der fotografierten DataSets im Fenster.

Menü ?



Info...

Im Informationsfenster finden Sie die Versionsnummer der Messsoftware sowie die Seriennummer der angeschlossenen Scan-Elektronik.



Ist die Mikroskopsimulation aktiv, wird 'SerialNr. 000-00-000' angezeigt. Im weiteren finden Sie unsere WWW-Adressen, von wo aus Sie weitere Informationen, sowie Software-Updates beziehen können.

Programme zur weiteren Bearbeitung der Messdaten

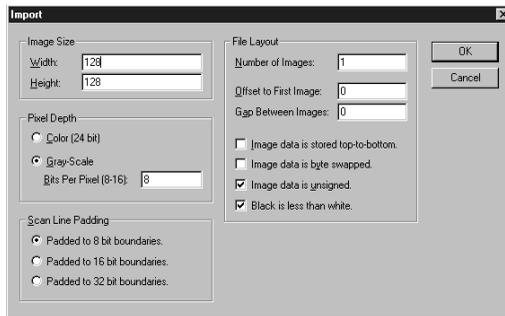
Zum Importieren der easyScan-Messbilder in die folgenden Freeware Programme, exportieren Sie die gewünschten Bilder mittels 'File->Export->View as...' und wählen Sie als Dateityp 'Datafile 8 Bit'.

Die folgenden Programme sind unter den angegebenen Adressen im Internet verfügbar:

PC: 'Image Tool' Bezugsquelle: <http://ddsdx.uthscsa.edu>

Importieren Sie Ihre Messdaten mit 'File->Import'. Tragen Sie im 'Import'-Dialog im Feld 'ImageSize' die korrekte Anzahl Messpunkte ein.

Wählen Sie unter 'PixelDepth': 'Greyscale 8 Bit' und unter 'Scan Line Padding': 'Padded to 8 Bit boundaries'.

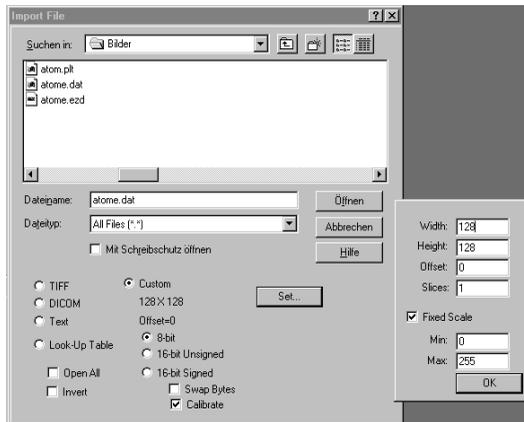


Import Dialog von 'Image Tool'

PC: 'Scion Image' Bezugsquelle: <http://www.scioncorp.com>

Importieren Sie Ihre Messdaten mit 'File->Import'. Geben Sie im 'Import'-Dialog unter 'Set...' die korrekte Anzahl Messpunkte ein (vgl. Bild unten).

Setzen Sie die Schalter für den Dateityp auf 'Custom', '8-Bit'



Import Dialog von 'Scion Image'

Mac: 'ImageSXM' (äquivalent zu 'Scion Image') Bezugsquellen: auf allen info-mac archiven z.B.: <ftp://src.doc.ic.ac.uk/packages/info-mac/gst/grf/image-sxm-161-8.hqx>.

Messverfahren

Messen im „Constant Height“ bzw. „Constant Current“ Modus

Die Oberfläche kann auf zwei Arten gemessen werden: im ‘Constant current’ (CC) und ‘Constant height’ (CH) Modus:

Im CC-Modus (Grundeinstellung) wird vom Regelkreis der Tunnelstrom zwischen Spitze und Probe konstant gehalten und die Bewegungen des vom Regler gesteuerten Z-Piezos aufgezeichnet. Dieses „Z-Höhenprofil“ (im LineView) wird im „TopView“ in einem Graustufenbild dargestellt. Da der Tunnelstrom nicht nur von der Proben topographie, sondern auch von der Zustandsdichte der Elektronen an der Probenoberfläche abhängig ist, muss beachtet werden, dass das Messbild immer einer Faltung von Topographie und elektronischer Struktur der Probenoberfläche entspricht.

Im CH-Modus wird die Messspitze in konstant gehaltener Höhe über die Probe geführt. Diesmal wird die Stärke des Tunnelstroms aufgezeichnet. Da diese vom Abstand der Probe zur Spitze abhängt, bzw. von der der Probenoberfläche, kann sie durch den Computer in Bilder der Oberfläche umgesetzt werden.

Will man in konstanter Höhe über die Probe rastern, muss der Regler sehr langsam eingestellt werden, um trotzdem etwaige thermische Drifts nachzuregulieren:

- Stellen Sie den P-Gain auf 0, den I-Gain auf 2.
- Übertragen Sie diese Parameter durch  auf die Messung.
- Wählen Sie im ‘ViewPanel’ den Input ‘TunnelingCurrent’ und übertragen Sie durch  diese Werte auf das aktive ‘View’.

Beachten Sie, dass nun anstelle des Z-Range der Input-Range in [nA] dargestellt wird:

- Klicken Sie im ‘ViewPanel’ unter ‘Visible Input Range’ auf , um den Farbkontrast der Darstellung zu optimieren.

TEXT & LAYOUT: KARIN HOOL & ROBERT SUM

Index

A

Annäherung 14
Apply 24
Approach 14
Approach Panel 13
Auflösungsgrenze 12
Automatic Move Configuration 14
Average 23
Averages 28
Axes and lables 25

B

BackwardScan 23
Binär-Format 8
Bitmap (.bmp) 8

C

Calibration 37
Constant Current 44
Constant Height 44
Cont.Down 20
Cont.Up 20
CrossSection 23
CtrlInput correction 38
CtrlInput pol. 38
Current 23

D

Darstellung 4, 11
Datafile 8
Datafile 8-Bit (.dat) 8
DataSet 4
DataSet as 8
DataType 23
Dateinamen 7

Datensatz 4
Default 21
default.ezw 11
Delete 24
Derive 24
Display 25
Down 16
drucken 10

E

Einheiten 36
Einleitung 2
Export
 Bitmap 8
 Plotfile ASCII 9

F

Feedback Loop 22
Finish 16
ForwardScan 23
From/To 28
Full 25
Funktionsleiste 12

G

GapVoltage 21

I

I-Gain 21
Input 23
Input Level 29
Inputs 37

K

Konzept 3

L

LineMath 23
 LineView 24

M

Measure 20
 Measure Angle 33
 Measure Distance 32
 Menü '?' 41
 Menü 'File' 7
 Menü 'Options' 36
 Menü 'Panels' 12
 Menü 'Tools' 31
 Menü 'Window' 40
 Menüpunkte 7
 Messsoftware 6
 Messung 3
 Mod. 29
 Move 13

N

New 24

O

Offset 24
 Optimize 25
 Output 28
 Outputs 37

P

P-Gain 21
 Panels 12
 Parameterfelder 18, 28
 Parameters
 Save as 11
 Percentage 25
 Piezomotor 13
 Pixel 25
 Plain 24

Plotfile (.plt) 8
 Point 29
 Point/Line 27
 Popup 30
 Position 13
 Programmstart 11

R

Range 24
 Raw 23
 Rel. 28
 Retries 14
 Rotation 20
 Running 22

S

Samples 20, 28
 Save 7
 Save/as... 7
 ScanDir 20
 ScanRange 19
 Seriennummer 41
 SetPoint 21
 SetPoint signcheck 38
 Signal 37
 Size 25
 Software-Updates 41
 Spec. 29
 Spectroscopy 23
 Spectroscopy Line 28
 Start/Stop 27
 Stop 22
 Stop & Clear 22

T

Text-Format 9
 Time/Line 19
 Time/Mod. 28
 Tool Bar 7
 TopView 24

U

Unit 37

Up 16

V

Versionsnummer 41

View as 8

Visible Input Range 24

W

Withdraw 14

Workspace

 Load 11

 Save 11

 Save as... 11

WWW-Adresse 41

X

X-From 28

X-Offset 20

X-slope 19

X-To 29

Y

Y-From 28

Y-Offset 20

Y-slope 19

Y-To 29

Z

Z-Axis polarity 38

Z-Offset 19

Z-Range 19

Zero 13

ZOutput 23

Nanosurf AG
Austrasse 4
CH-4410 Liestal

E-Mail
info@nanosurf.com

World Wide Web
www.nanosurf.com