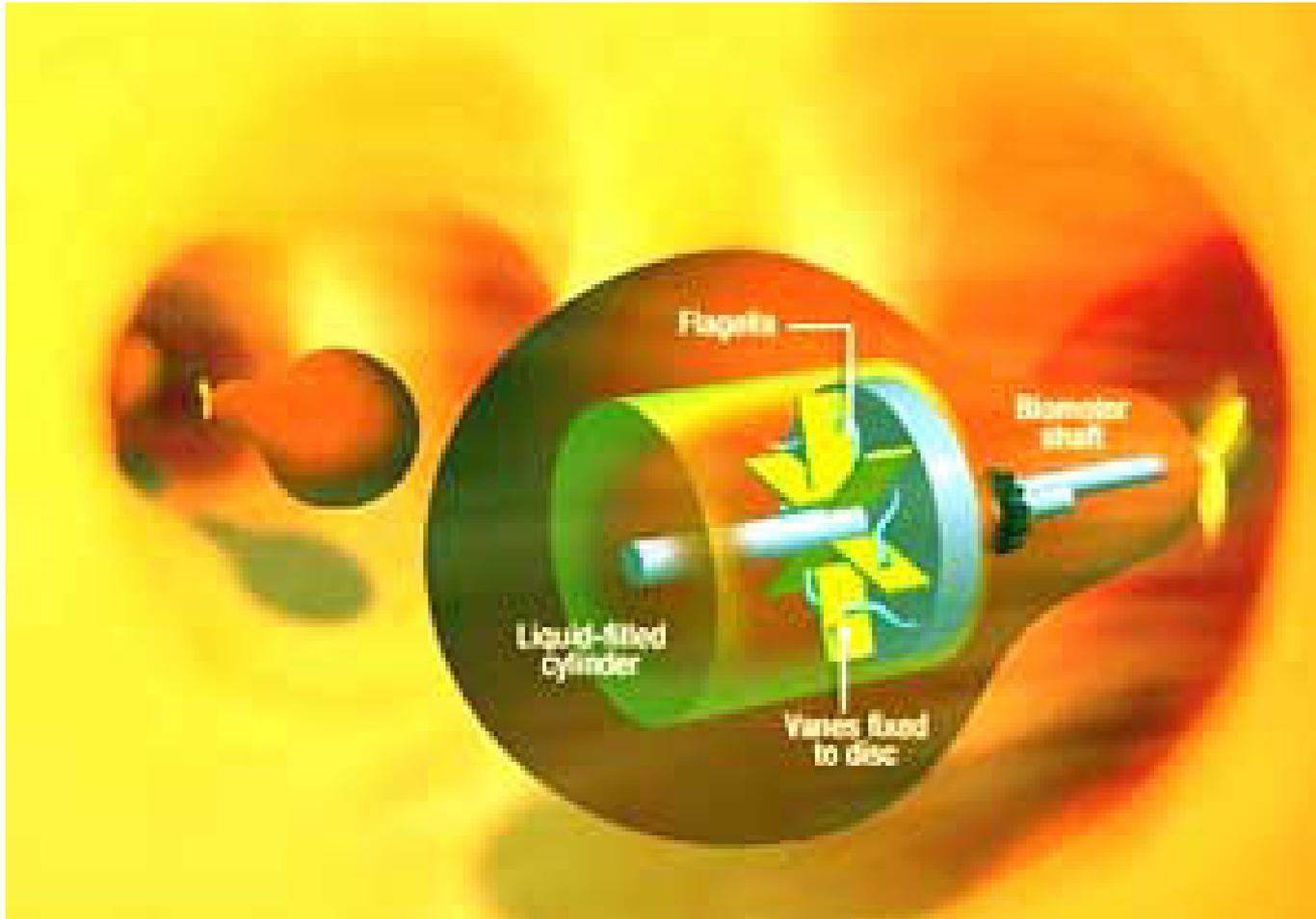


Nanorobotics



Michael Gruczel

Inhalt:

0. Einleitung Nanorobotik

1. Nanoroboter

1.1 Was sind Nanoroboter ?

1.2 Sensoren

1.3 Aktuatoren

1.4 Antrieb

1.5 Kontrolle

1.6 Kommunikation

1.7 Programmierung und Koordination

2. Nanoassemblierung

2.1 SPM

2.1.1 STM

2.1.2 AFM

2.2 Manipulation

2.2.1 Pushing

2.2.2 Pulling

2.2.3 Picking , Placing

2.2.4 Linking

Einleitung- Was ist Nanorobotik ?

Nanorobotik umfasst das Design, die Fabrikation und das Programmieren von Robotern in Gesamtgrößen im Sub-Mikrometer-bereich sowie der Manipulation von nanoskaligen Objekten mittels mikro- oder makroskopischen Robotern.

...

Nanorobotik beschäftigt sich mit:

1. der Konstruktion von Robotern mit Gesamtgrößen im nm Bereich oder von Robotern in μm Größen aber mit nm-skaligen Komponenten
2. Programmierung großer Nummern (Schwärme) von solchen Nanorobotern
3. Manipulation und Assemblierung von nm-skaligen Objekten mit makro- oder mikro-devices

(Übersetzungen aus Requicha: Nanorobots, NEMS and Nanoassembly)

Einleitung- Warum Nanorobotic ?

- Größe vergleichbar mit biologischen Zellen und Organellen
=> Health care, monitoring für microorganisms, cell repair
- Netzwerke von Millionen miteinander kommunizierender Knoten

Einleitung- aktueller Stand der Nanorobotic

- Fehlen von effektiven Prozessen um komplexe nanoskalige Objekte zu konstruieren
- Nanomanipulation mit Scanning Probe Microscopes (SPMs) bringt effektiven Ansatz um einzelne Strukturen bottom up zu konstruieren
- Einige Firmen arbeiten an Multi-tip Systemen

0. Einleitung Nanorobotik

1. Nanoroboter

1.1 Was sind Nanoroboter ?

1.2 Sensoren

1.3 Aktuatoren

1.4 Antrieb

1.5 Kontrolle

1.6 Kommunikation

1.7 Programmierung und Koordination

2. Nanoassemblierung

2.1 SPM

2.1.1 STM

2.1.2 AFM

2.2 Manipulation

2.2.1 Pushing

2.2.2 Pulling

2.2.3 Picking , Placing

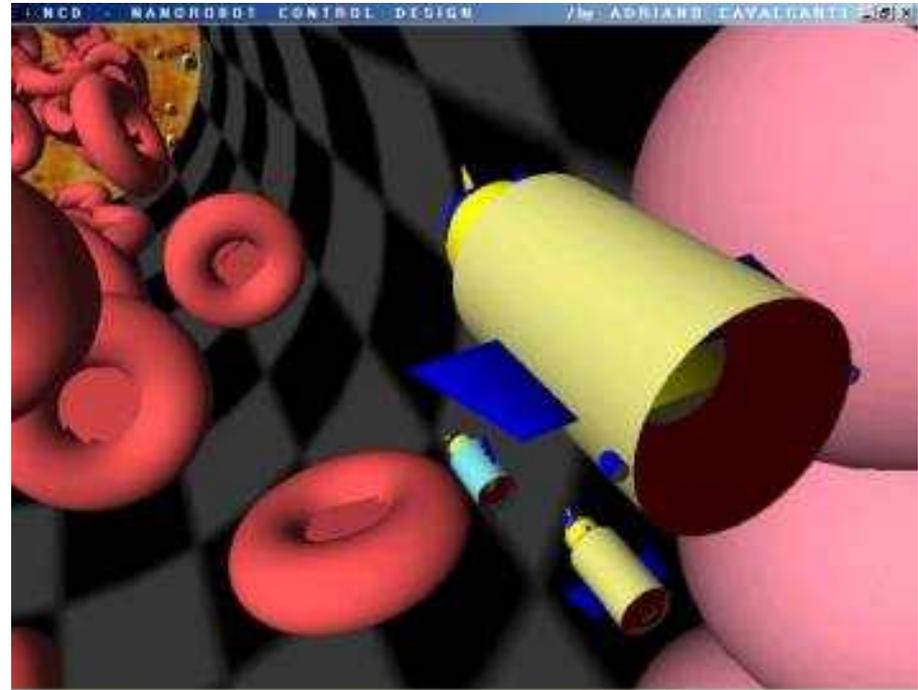
2.2.4 Linking

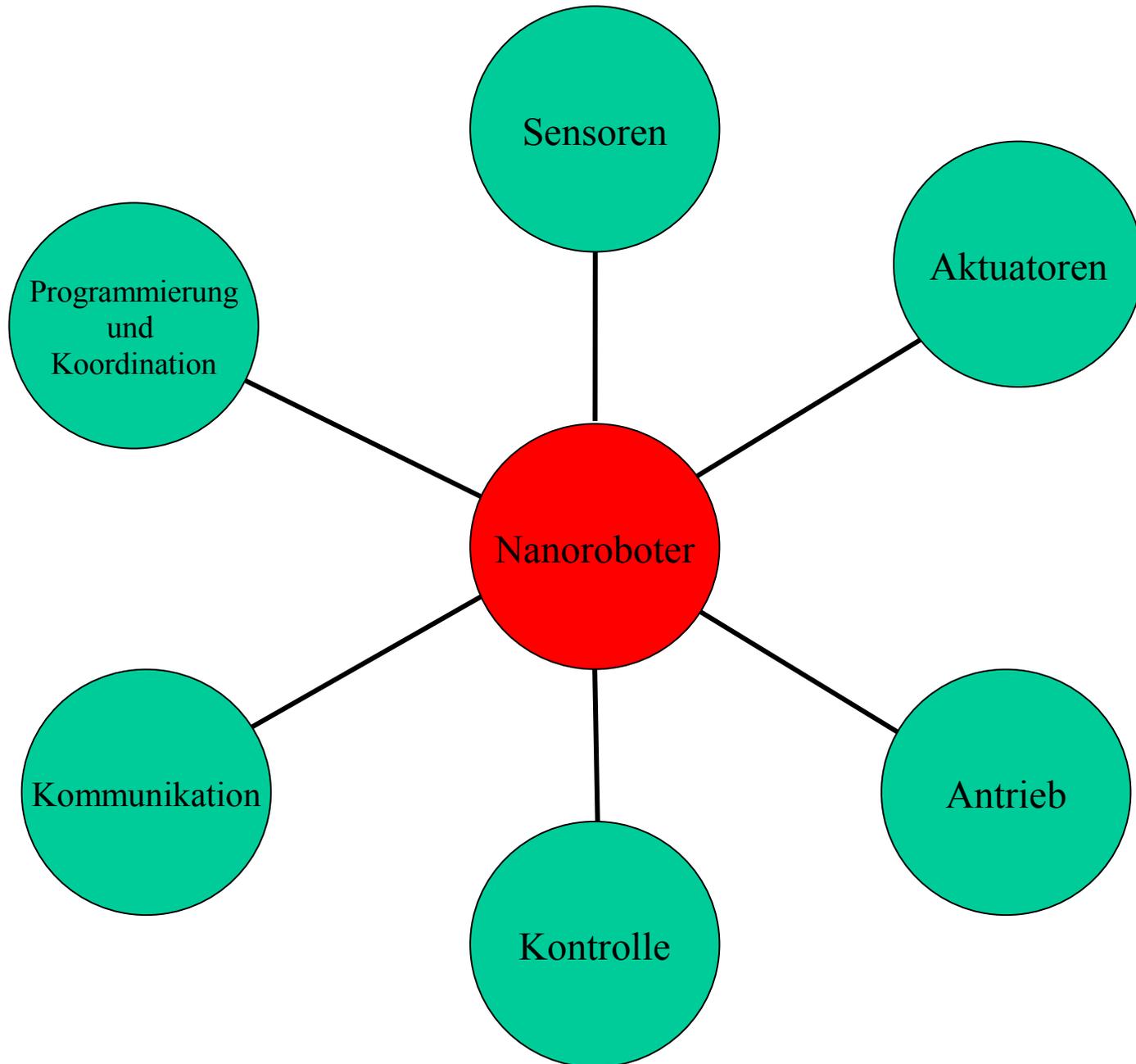
- 1.1 Was sind Nanoroboter ?

Nanoroboter sind Roboter von der Größe von wenigen Mikrometern in allen 3 Dimensionen, welche aus nanoskopischen Komponenten zusammengesetzt wurden. Solche Komponenten beinhalten: Sensoren, Aktuatoren, Antrieb, Energie, Kommunikation Schnittstellen, Programmierung und Koordination.

Anwendungen könnte sein:

- Medizinische nanodevices
- Interaktion mit Microorganismen
- intelligente Oberflächen (Variable Rauheit)





1.2 Sensoren

- Künstliche nanoskopische Sensoren existieren bisher nicht

- Nahe kommt:

1. Einige Mikron langes Nanotube verändert seine Leitfähigkeit in bestimmten Gasen

2. verschiedene mikroskopische Arme

- Problem:

Natürliche nanoskalige Sensoren (Bakterien) arbeiten mit Kontakt oder Interaktion mit Probe

1.3 Aktuatoren

1. Künstliche Molekulare Maschinen

- Energieversorgung über Licht, elektrisch oder chemisch d.h. kein Ein und Aus sondern nachfüllen von Treibstoff mit den Folgen von Schmutzprodukten
- Anatomisch präzise, d.h. jedes Atom liegt in bestimmter Anordnung zu den anderen
- Beispiele:
 - Licht-angetriebenes Shuttle
 - Rotationsmotor durch Bestrahlung durch Licht bestimmter Wellenlänge

1.3 Aktuatoren

1. Künstliche Molekulare Maschinen

Probleme:

- Aktuatoren müssen auf 3D-Struktur angebracht werden
- Ladung muss aufgenommen werden
- Normalerweise ist der Gewinn unsicher
- Moleküle sind oft nicht fest
- Schmutzerzeugung bei Verbrauch
- Versorgung durch Licht beeinflusst Maschinen
- Kräfteentwicklung und Energiecharakteristiken sind noch unklar bei existierenden Maschinen

1.3 Aktuatoren

2. Biomotoren

Vorteile gegenüber künstlicher Molekulare Maschinen:

- Es gibt erfolgreiche Aufnahmen von Ladungen und Beispiele für erfolgreiches Anheften der Aktuatoren an Oberflächen

Nachteile gegenüber künstlicher Molekulare Maschinen:

- Größer
- Brauchen chemischen Treibstoff
- Geringere Standhaftigkeit
- Nur unter bestimmten Bedingungen einsetzbar
- Schwer zu kontrollieren
- Aufbau komplex und oft unklar

1.4 Antrieb

- Schwimmen leichter als gehen
- Reynolds Nummer als Maß für die Empfindlichkeit gegenüber Störungen

$$Re = \rho \cdot V \cdot L / \eta$$

wobei ρ = spez. Masse,

V = charakteristische Geschwindigkeit,

L = charakteristische Länge

η = Viskosität

Fisch $V = 1\text{m/s}$, $L = 10\text{cm} \Rightarrow$ Ordnung 10^5

Bakterium $V = 10 \mu\text{m/s}$, $L = 1 \mu\text{m} \Rightarrow$ Ordnung 10^{-5}

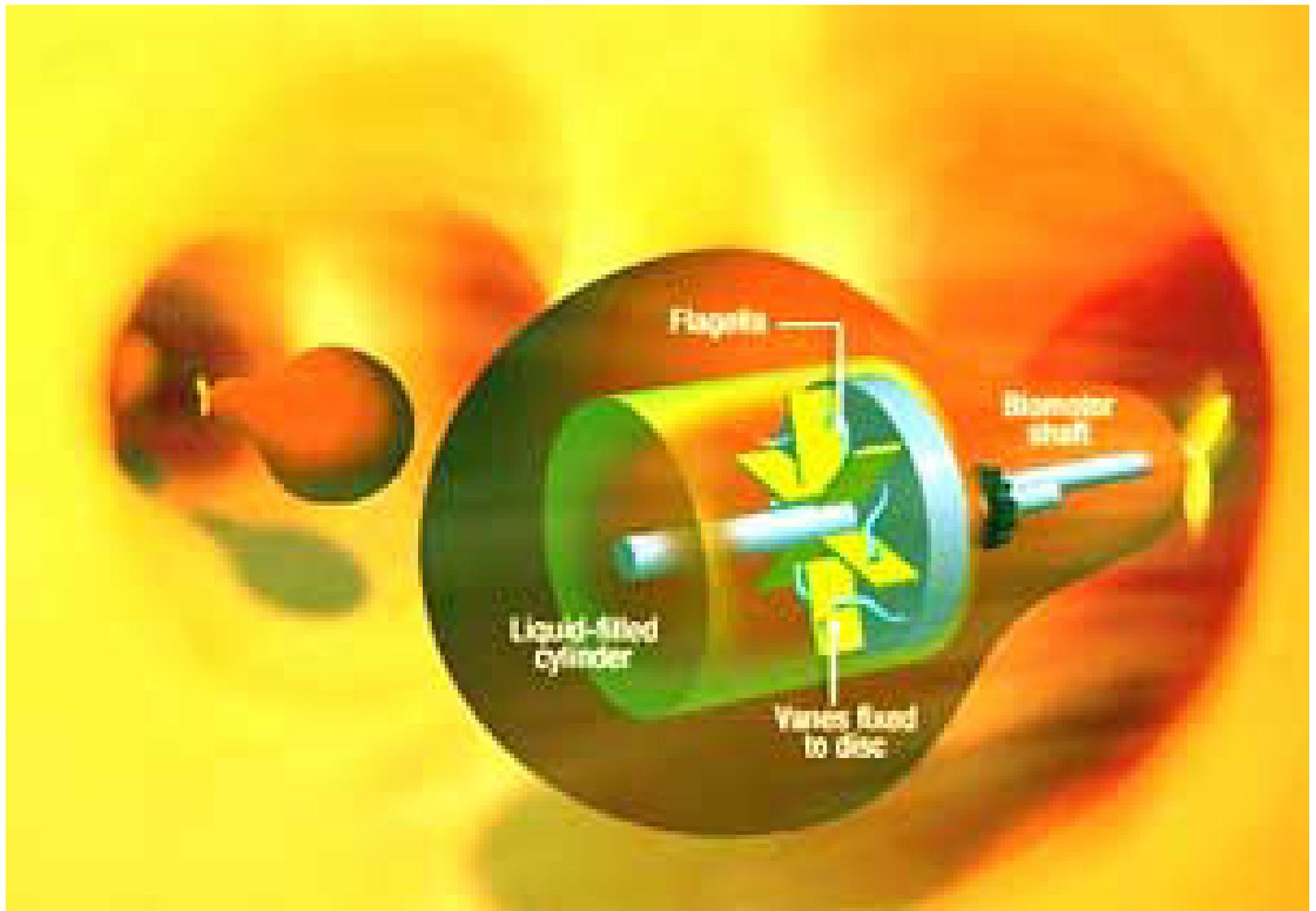
\Rightarrow Diffusionsgeschwindigkeit interessanter

- Diffusionsgeschwindigkeit (Zufallslauf):

Distanz = $\sqrt{2 \text{ Diffusionskoeffizient } t}$

\Rightarrow kleines Molekül legt im Wasser bei Raumtemperatur in 0,5 msek $1 \mu\text{m}$ zurück, aber nach 14 Stunden nur 1 cm

\Rightarrow nur schnell für kleine Distanzen



1.5 Kontrolle

Primitive Kontrolle denkbar z.B.:

- Brainberg's Vehicle (2 Motoren, 2 Sensoren, 2 Motoren)
- Bakterium E. Coli:
 - wechselnd Bewegung entlang einer Linie und Zufallsorientierung
 - Bewegung ist länger, falls sich die Konzentration von bestimmten Stoffen erhöht
 - Bewegungsdauer verkürzt sich, falls sich die Konzentration von bestimmten Stoffen senkt

1.6 Kommunikation

- keine Antennen

- alternative Kommunikationsformen z.B.:

Manche Bakterien geben Chemikalien ab, wodurch andere Bakterien wissen wie viele Bakterien in der Nähe sind

1.7 Programmierung und Koordination

- Gebrauch werden verteilte Koordinationsschemata, welche auf lokalen Inputs und Algorithmen beruhen
- Reale Beispiele nur ungenau geklärt
- Beispiel Immunsystem:
 - Rezeptoren können verschiedene Liganden binden
 - Sensor antwortet auf verschiedene Stimuli
 - Agenten erzeugen verschiedene Effekte
 - verschiedene Agenten haben gleichen Effekt
 - Kontext-abhängige Entscheidungen
 - Zufallsgenerierung von neuen Sensoren/Rezeptoren

Inhalt:

0. Einleitung Nanorobotik

1. Nanoroboter

1.1 Was sind Nanoroboter ?

1.2 Sensoren

1.3 Aktuatoren

1.4 Antrieb

1.5 Kontrolle

1.6 Kommunikation

1.7 Programmierung und Koordination

2. Nanoassemblierung

2.1 SPM

2.1.1 STM

2.1.2 AFM

2.2 Manipulation

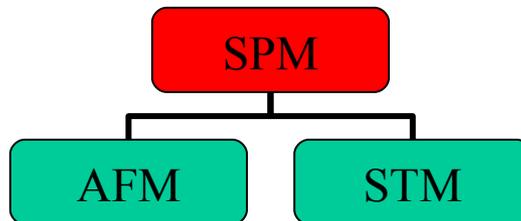
2.2.1 Pushing

2.2.2 Pulling

2.2.3 Picking , Placing

2.2.4 Linking

2.1 SPM



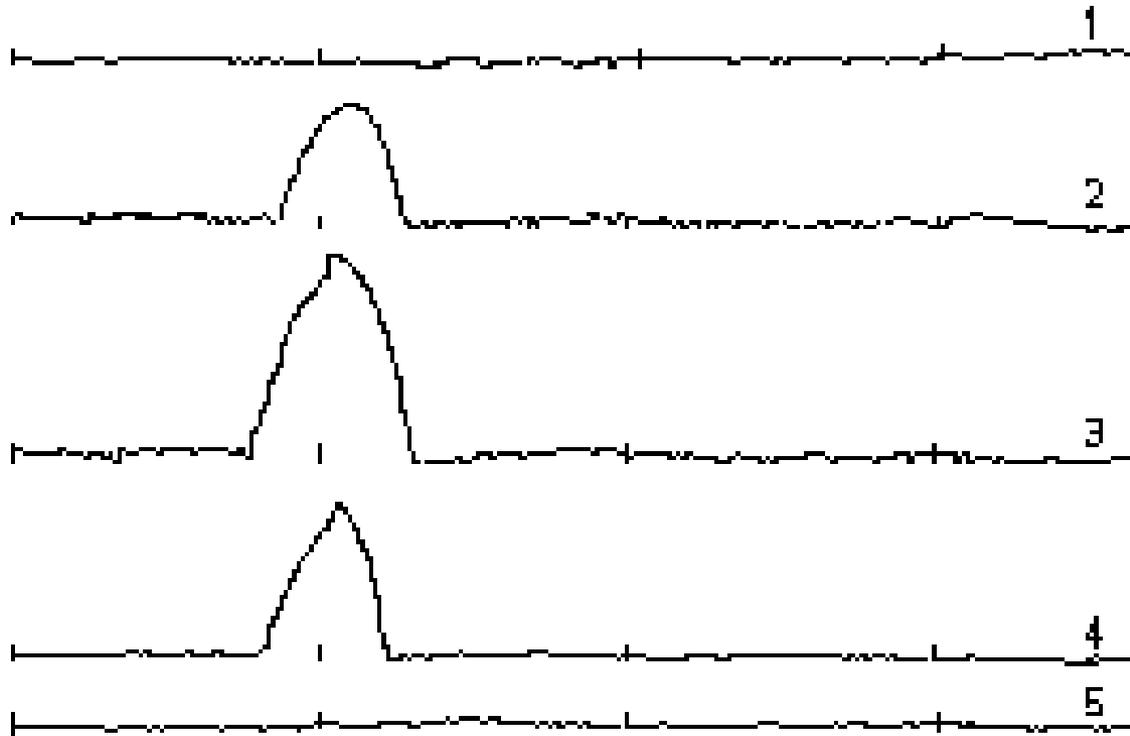
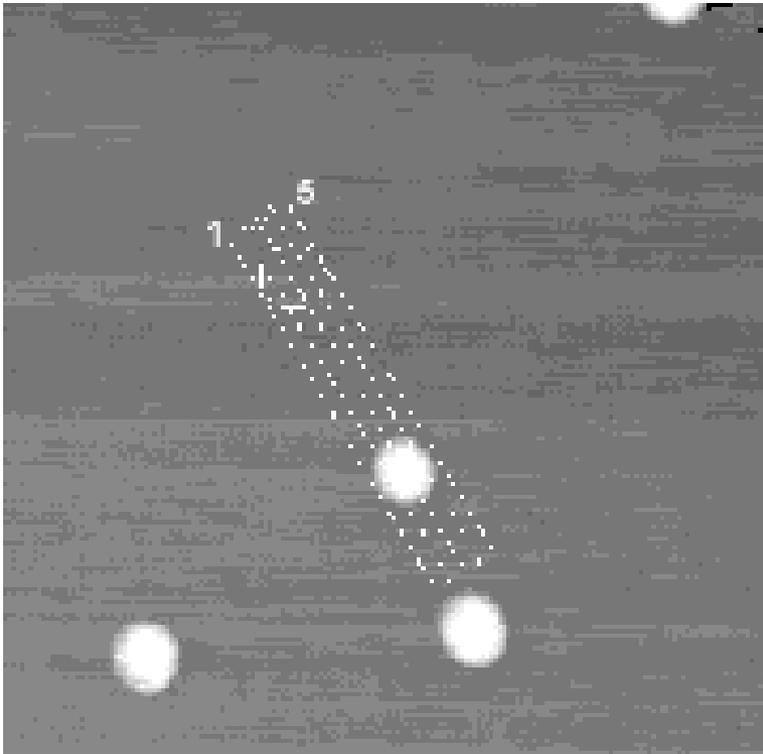
SPM - Scanning Probe Microscope

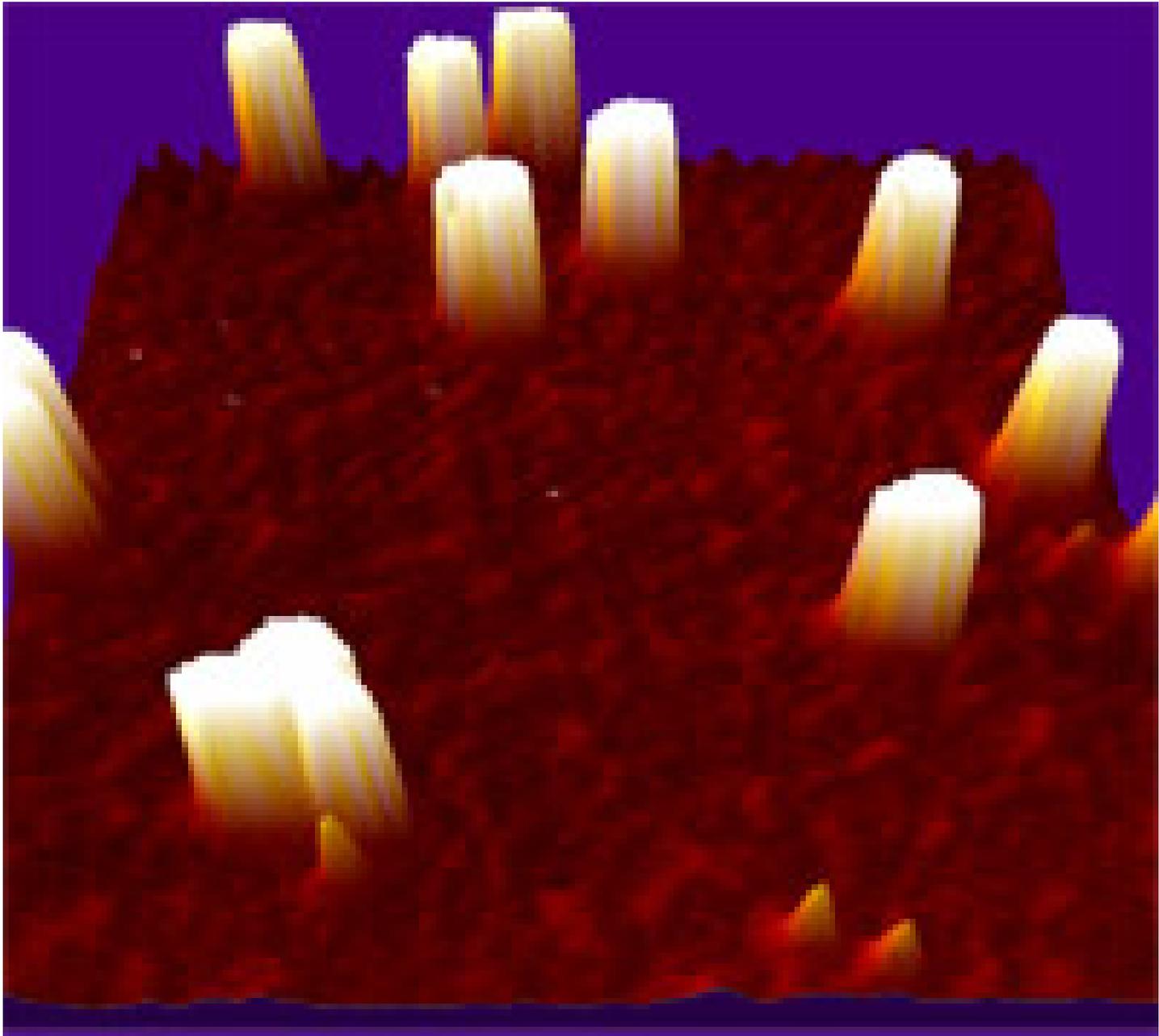
AFM - Atomic Force Microscope

STM - Scanning Tunneling Microscope

2.1 SPM

- 3 Freiheitsgrade (x,y,z)
- z ist genau,
- x, y ungenau wegen Piezos und fehlendem Feedback
- Atomgenaue Manipulation besser bei 4K (Bei Raumtemperatur Drift von 1 Atom pro Sekunde)
- Manipulation durch Sensor
- Roboterkoordinaten ungleich Aufgabenkoordinaten wegen relativer Bewegung des Sensors und der Probe zueinander (Möglichkeit der relativen Bewegung durch Beobachtung von bestimmten Merkmalen)
- Scan durch line-scans

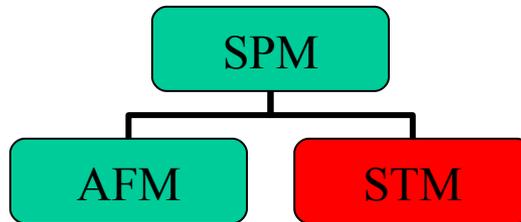




2.1 SPM

- Spitzen-Effekte
- Drift: thermische Verschiebung zwischen Probe und Spitze
- Kriechbewegung des Piezoelektronischen Armes (bis 1000nm Offset)
- Hysterese: Geschichte der Anwendungen von Spannungen verändert die Erweiterung der Piezos (z.B. Scan von links-nach-rechts ergibt andere Ergebnisse als von rechts-nach-links)
- allg. Nichtlinearitäten z.B. Piezos
- Unter Umständen müssen Proben besonders behandelt werden (z.B. biologische Materialien in Flüssigkeiten, oder bestimmte Temperaturen)
- Abhängigkeit des Output-Signals von der Spitzenform
- Spitze verändert sich über die Zeit, aber man kann Spitze abschätzen an künstlichen Merkmalen und Strukturen, wodurch dann aus Output-Signal die korrekte Form abgeschätzt werden kann

2.1 SPM



SPM - Scanning Probe Microscope

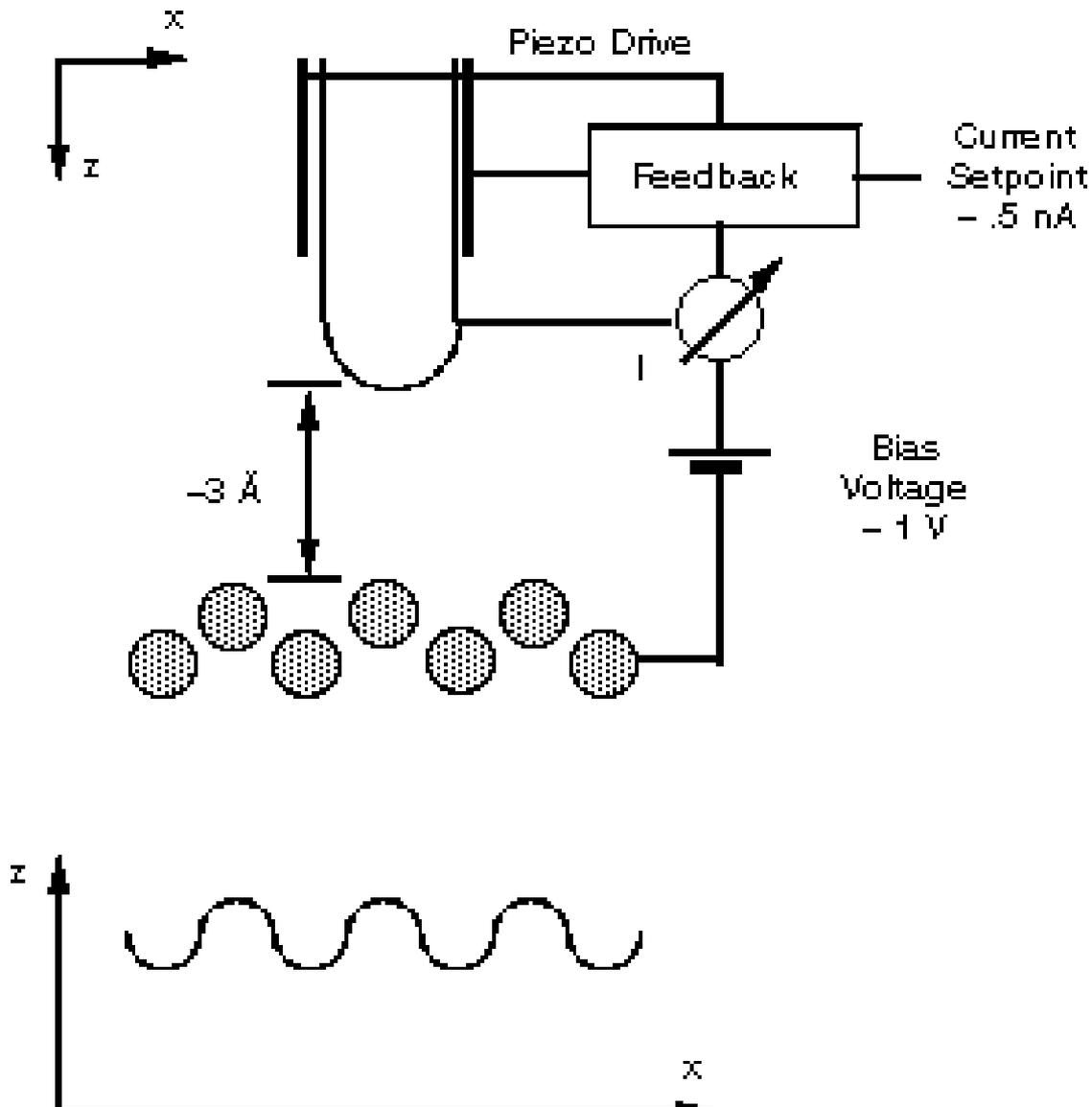
AFM - Atomic Force Microscope

STM - Scanning Tunneling Microscope

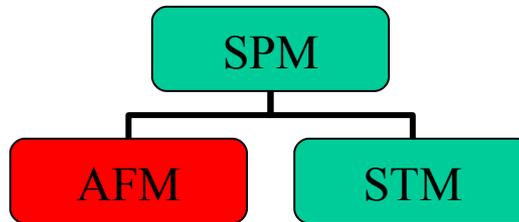
2.1.1 STM

- Erfunden in den frühen 80er von Binnig und Rohrer im züricher IBM-Labor
- Quantum-mechanischer Effekt (genannt Tunneling) sorgt für das Springen von Elektronen auf die Spitze => Spannung
- Versuch Spannung konstant zu halten durch Feedback
- Arbeiten normalerweise bei UHV (Ultra High Vakuum) und 4K Temperatur

2.1.1 STM



2.1 SPM



SPM - Scanning Probe Microscope

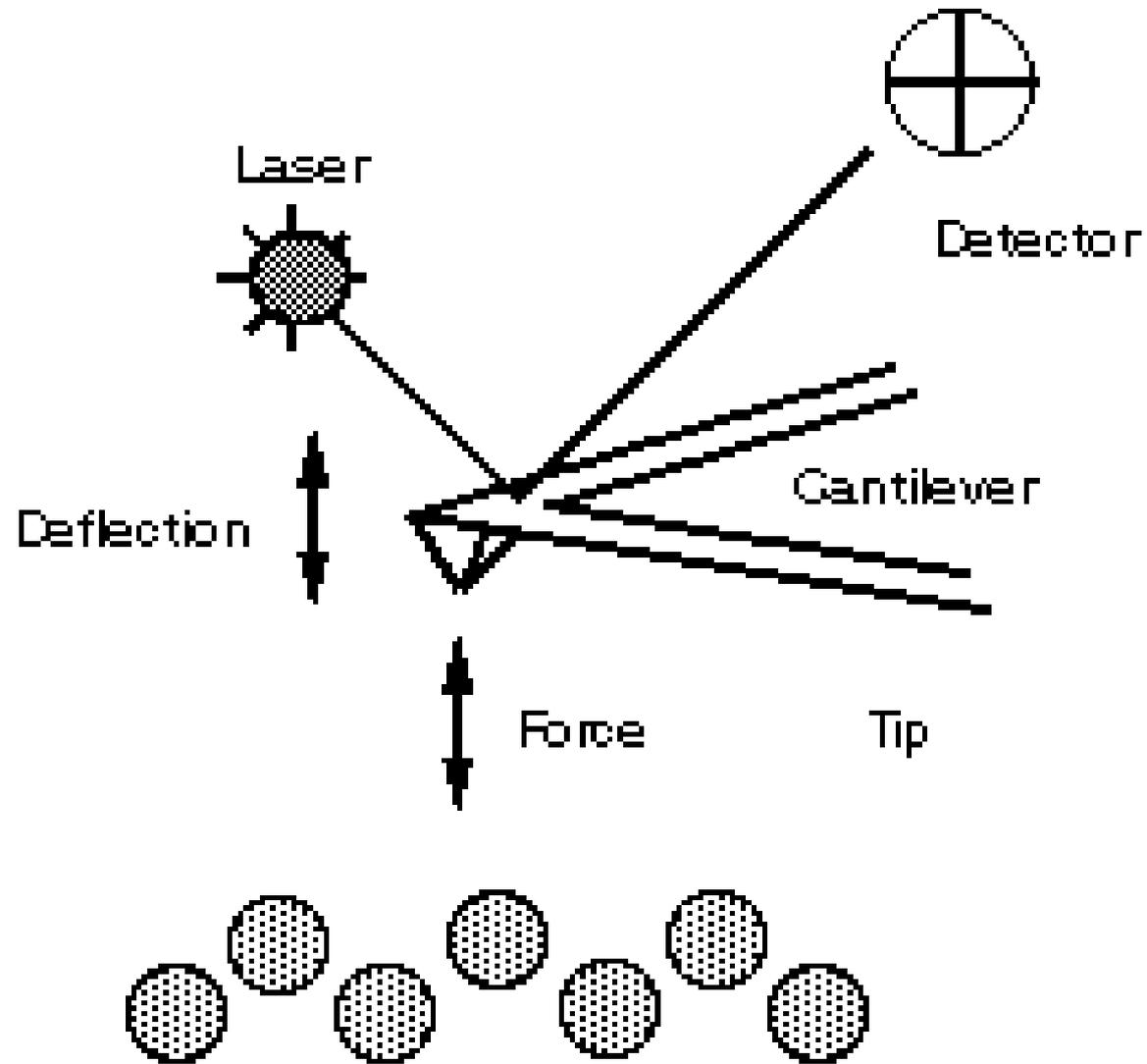
AFM - Atomic Force Microscope

STM - Scanning Tunneling Microscope

2.1.2 AFM

- AFM arbeitet in gewöhnlicher Umgebung, hat aber schlechtere Auflösung als STM
- Spitze läuft entlang x,y-Achse mittels piezoelektrische Aktuatoren, z-Bewegung/Kraft ist Output-Signal (Topography = $z(x,y)$)
- Spitze mit Durchmesser von 10-50nm geht über Oberfläche im Abstand von einigen nm
- Kräfte zwischen Spitze und Probe bzw. Ablenkung wird mittels Laser und Photodetektor gemessen
- Über Feedback wird versucht Kraft konstant zu halten

2.1.2 AFM



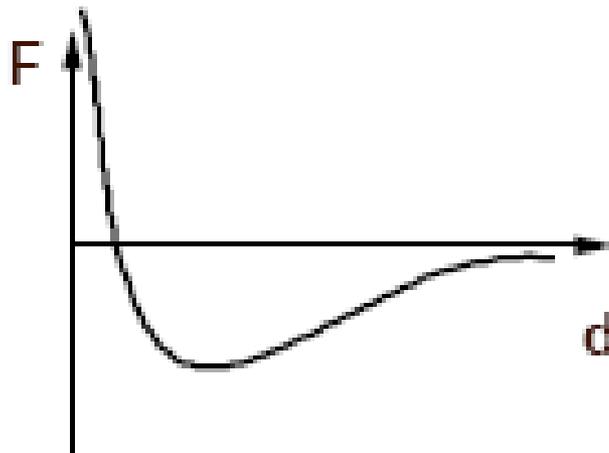


Fig. 1 – Force between tip and sample as a function of their relative distance.

2.1.2 AFM

- Kontaktmodus:
 - Im Rückschlagsbereich wird über Feedback die Kraft konstant gehalten
 - Beschädigungen von fragilen Bereichen und Proben
 - Spitze erschöpft schnell
 - Rückschlag ist low-frequency
 - Störungen sind low-frequency

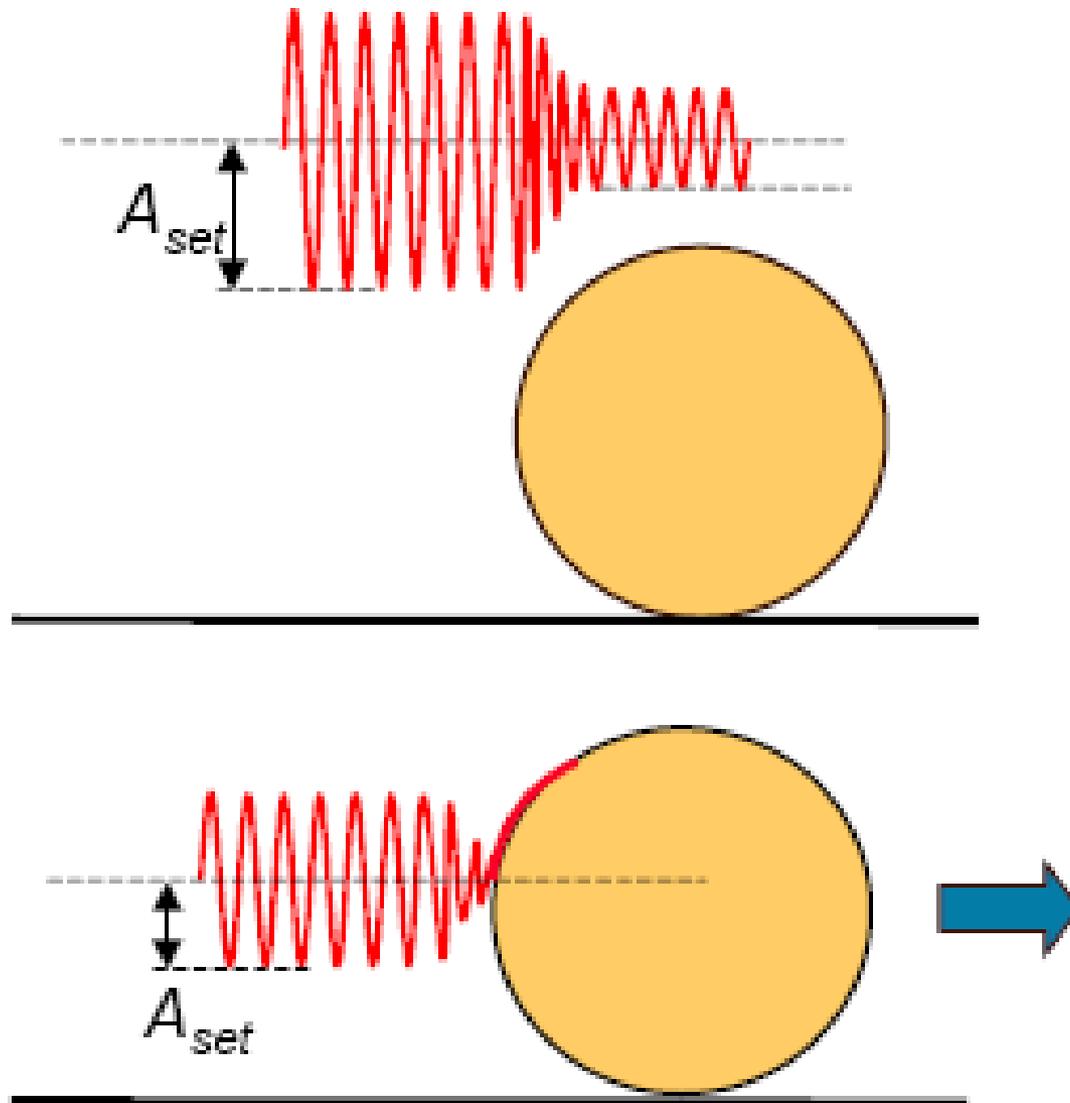
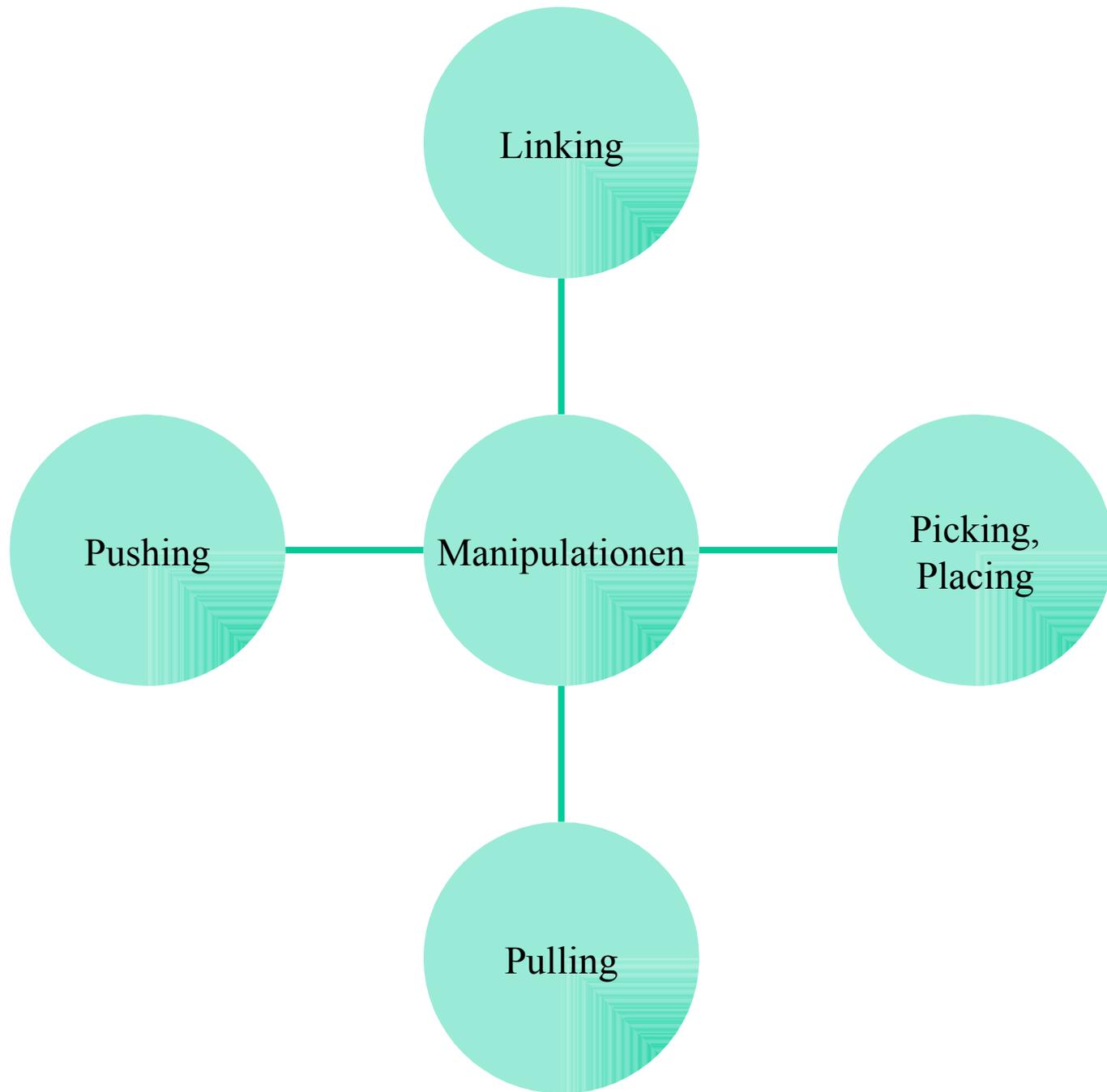


Fig.2 – Mechanically pushing a nanoparticle.



2.2.1 Pushing

Pushing mittels DFM (Dynamic Force Microscope):

- Vibrierender Arm
- Weniger Folgeprobleme wegen geringerer Krafteinwirkung
- Im Kontaktmodus berührt Spitze die Probe bei jeder Oszillation
- Im Nicht-Kontaktmodus osziliert Spitze über Probe

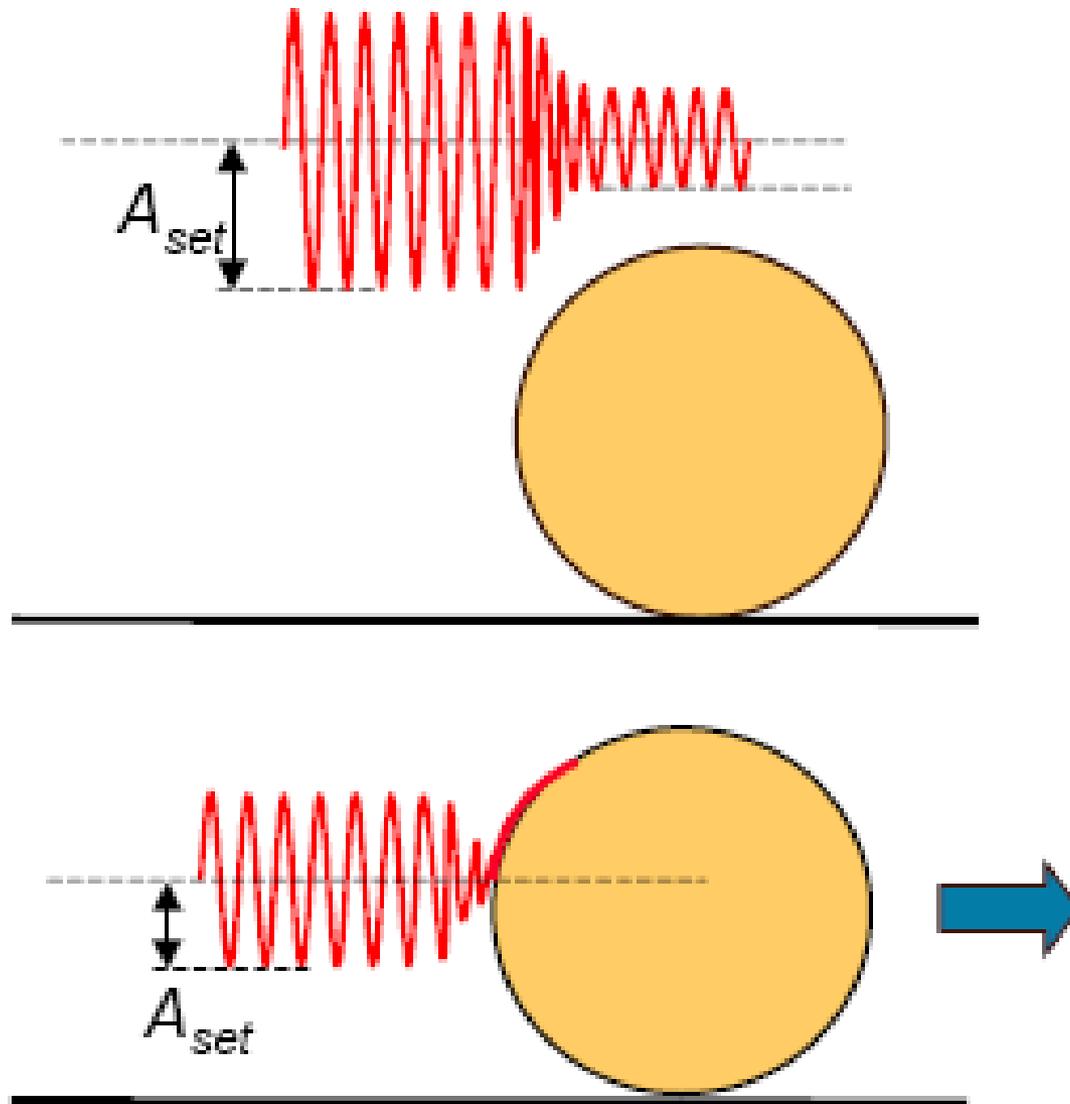


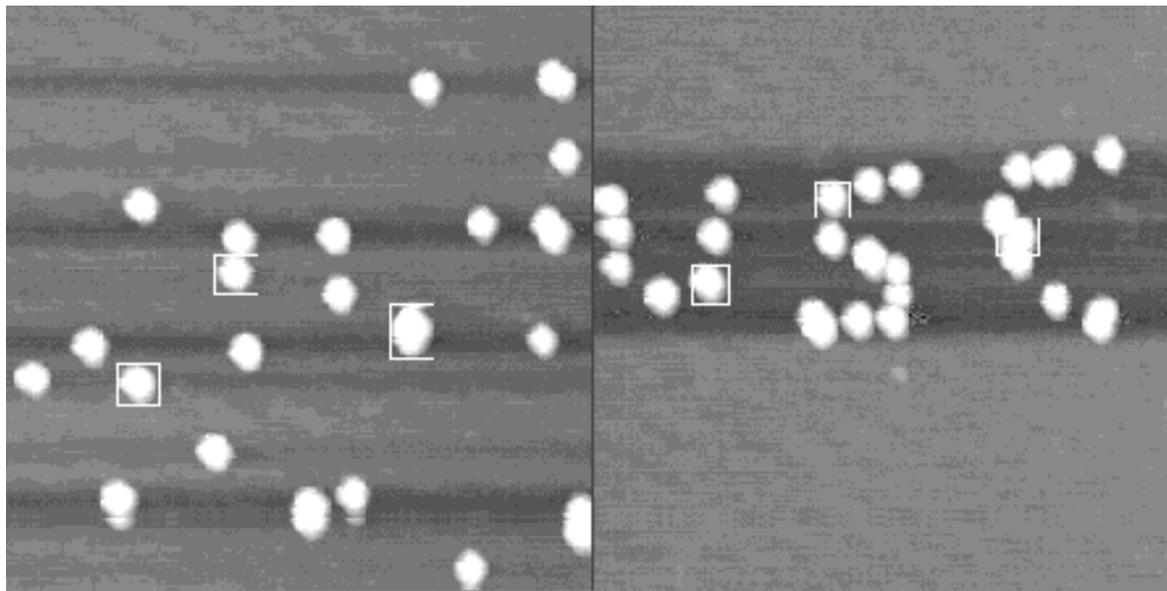
Fig.2 – Mechanically pushing a nanoparticle.

2.2.1 Pushing

Pushing mittels Scannen ohne Feedback:

- Samuelson (STM, Ausschalten des Feedbacks)
- Schaefer (Perdue University, STM, Ausschalten des Feedbacks)
- USC (mittels single line scan ohne Feedback im AFM)

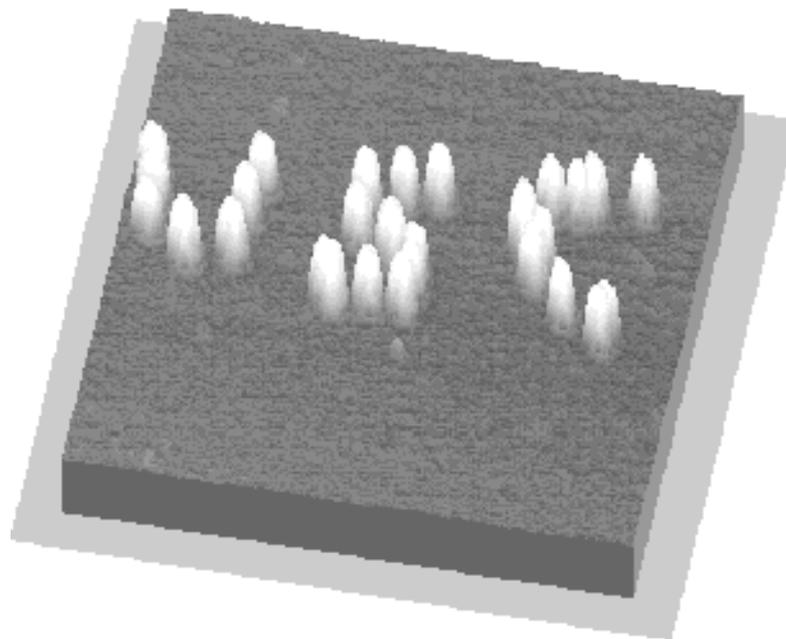
Führt oft zu Beschädigungen der Oberfläche und der Spitze



5 μ m Scanner, Ball Diameter \sim 15nm

500 nm

□ - stationary balls



Pushing mittels hin und her Bewegung (Ergebnisse noch unklar):

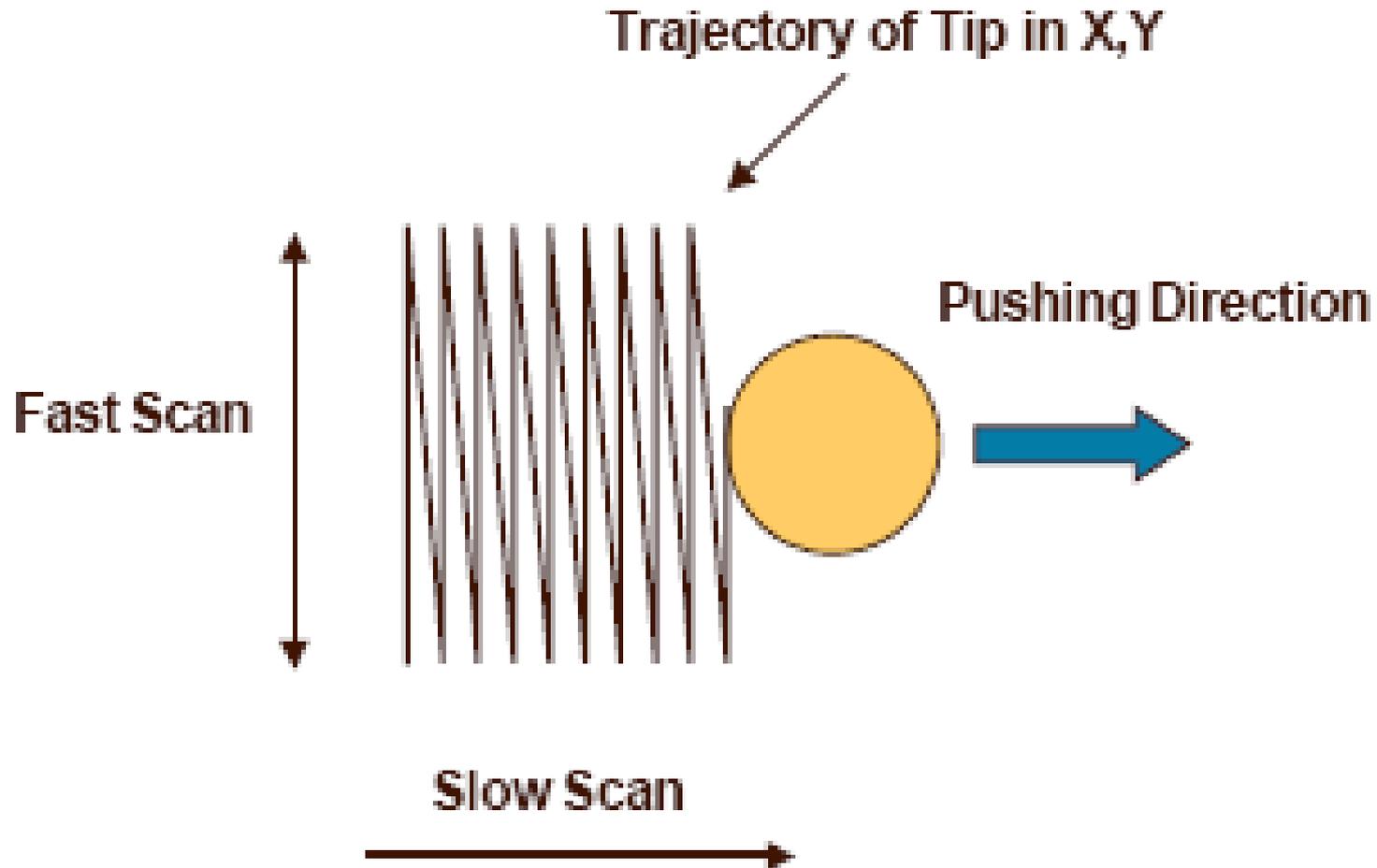


Fig 3 – Pushing with a simulated edge.

2.2.2 Pulling

- Spitze wird in anziehende Nähe gebracht

z.B.:

- Eigler mit STM in UHV, 4K (Xenonatome auf Nickel)
- Güntherodt C₆₀-Inseln auf Natriumchloridoberfläche in UHV bei Raumtemperatur in modifizierten AFM

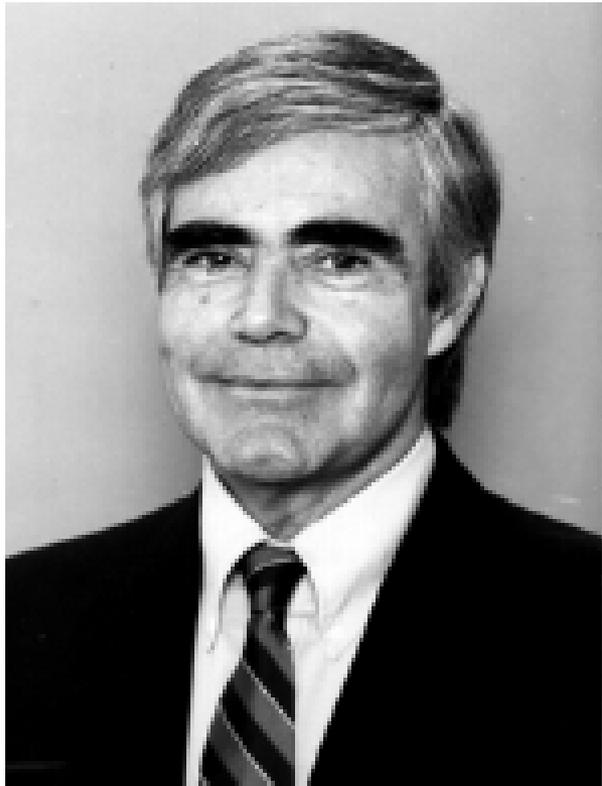
2.2.3 Picking , Placing

- Eigler hat sich mit der Spitze Xenon-Atomen auf einer Platinoberfläche genährt bis diese vom Tip absorbiert wurden (STM, UHV, 4K)
- Eigler hat Xenon-Atome von Nickeloberfläche durch Stromimpulse auf die Spitze aufgenommen (STM, UHV bei 4K)
- MO bei IBM Yorktown erreichte Aufnahme mittels Spannung auf Spitze (UHV)
- Für Picking und Placing mittels Stromimpulsen sind leitfähige Materialien nötig

2.2.4 Linking

- Linken durch bestimmte organische Moleküle
 - Verbinden durch Positionieren
 - Verbundene Gruppe verschieben
- Zusätzliches Material dazwischen legen
- Verschmelzen durch Erhitzung
- Linken auf durch Auftragen von Silanschicht auf positionierte Moleküle welche nur am Substrat haften bleiben, und anschließende Oxidation
- 3D durch Schichtung von 2D Ebenen welche zunächst mit Opferschicht bezogen werden, welche am Ende entfernt wird

Hauptinformationsquelle: Schriften von



Aristides A. G. Requicha is a Professor of Computer Science and Electrical Engineering at the University of Southern California, where he also directs the Laboratory for Molecular Robotics. He received the Engenheiro Electrotécnico degree from the Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal, in 1962, and the Ph.D. in Electrical Engineering from the University of Rochester in 1970. He was a college and high school Valedictorian, and is a Fellow of the IEEE.

Dr. Requicha has authored some 150 scientific papers, and has served in numerous conference program committees and journal editorial boards. Currently he is a member of the IEEE Nanotechnology Council AdCom, representing the Robotics and Automation Society and serving in the publications committee.

Fragen ?

Diskussion:

Gefahr und Möglichkeiten
durch „unsichtbare“ Nanoroboter ?