

Übersicht über Kapitel 4

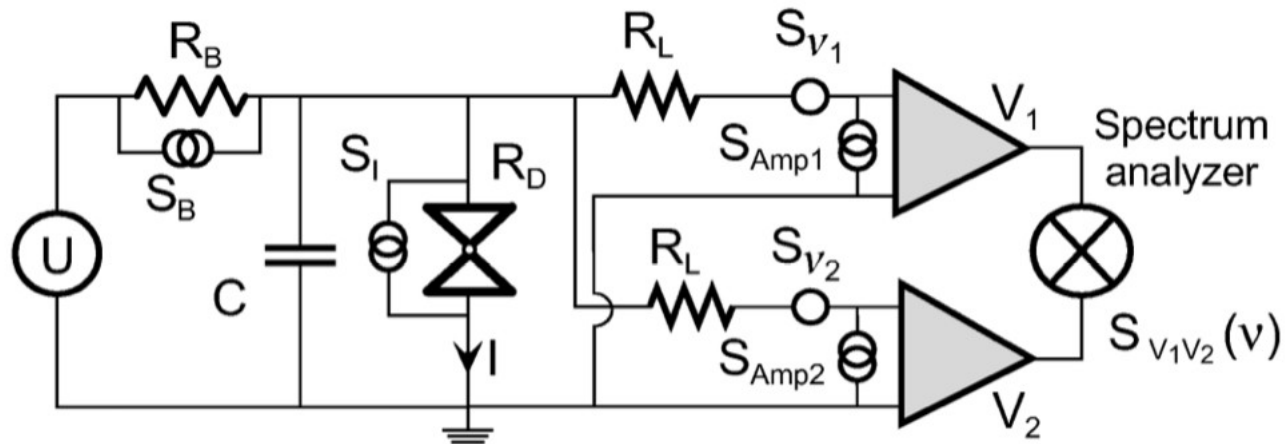
4. Im Rauschen steckt ein Signal

4.1 Schrotrauschen

4.2 Rauschmessungen

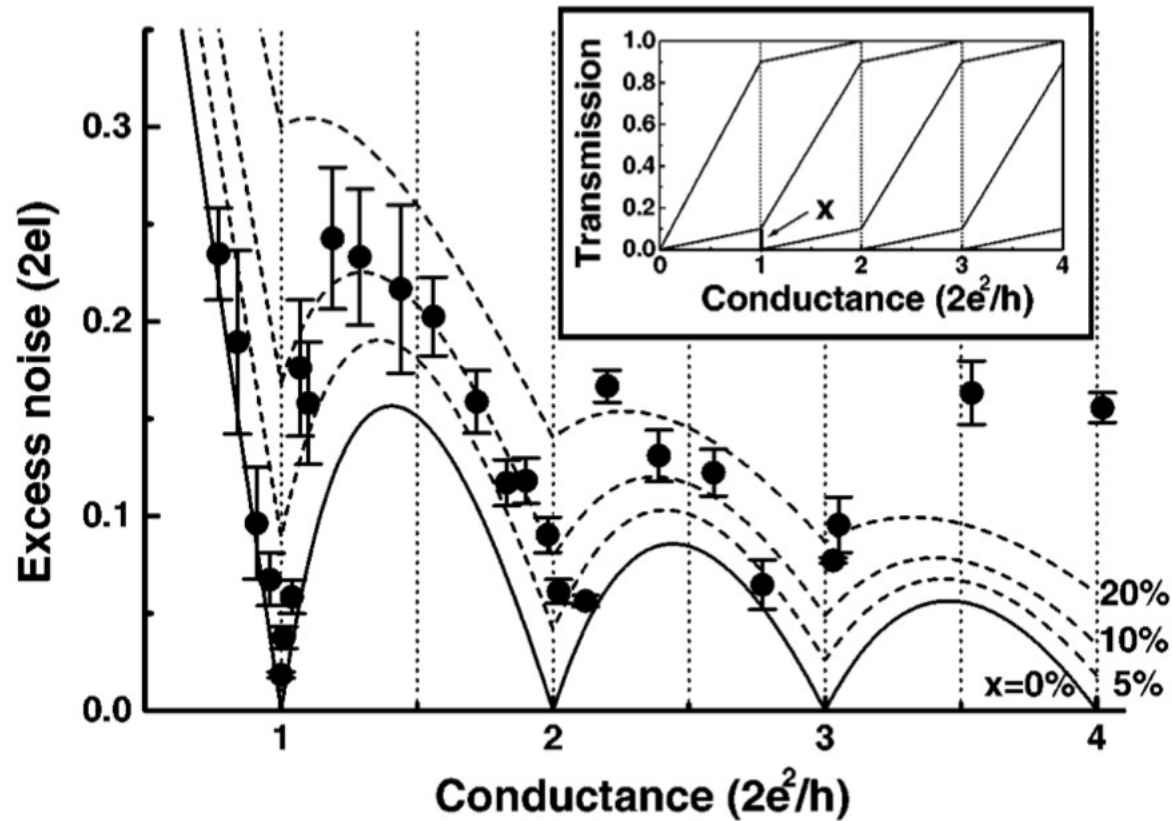
4.3 Widerstandsrauschen

Messung von Rauschen durch Korrelatoren



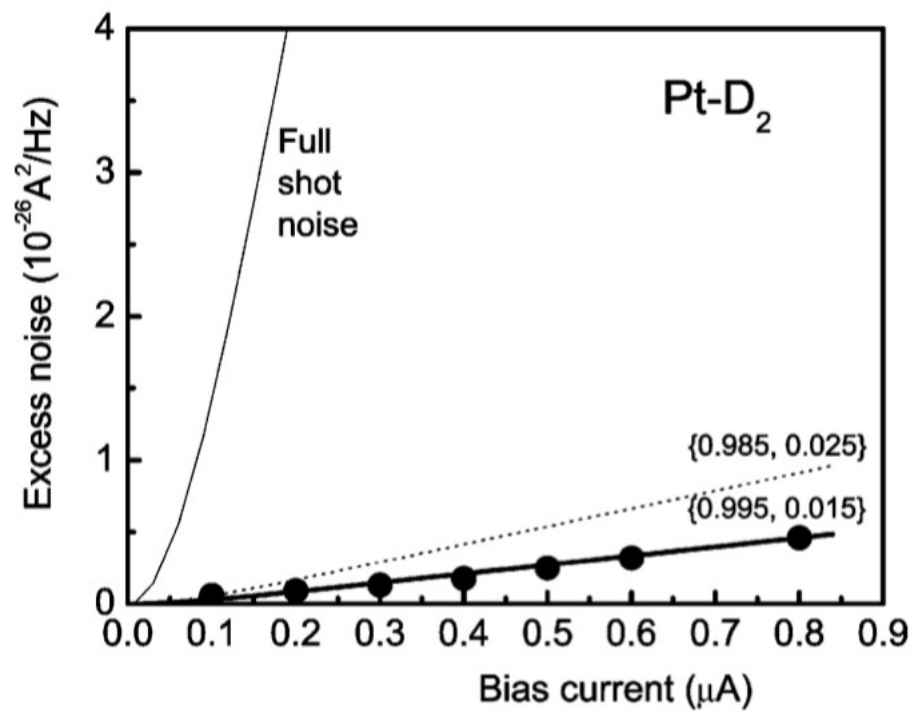
Strom über Punktkontakt wird von zwei Verstärkern gemessen
 Signale werden korreliert
 Rauschen einzelner Verstärker sind unkorreliert und entfallen

Messung von Rauschen in Au Punktkontakt



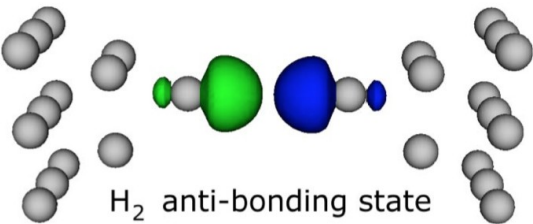
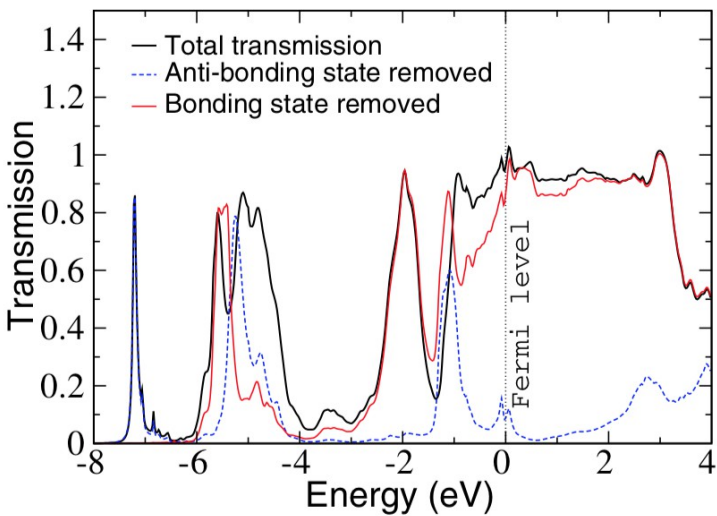
Van den Broom et al. Phys. Rev. Lett. 82, 1526 (1999)

Messung von Rauschen in D₂ mit Pt Elektroden



Exakt ein Molekül im Kontakt mit
Zwei Kanälen (T=0.995, 0.015)

Djukik et al. Nanolett. 6, 759 (2006)



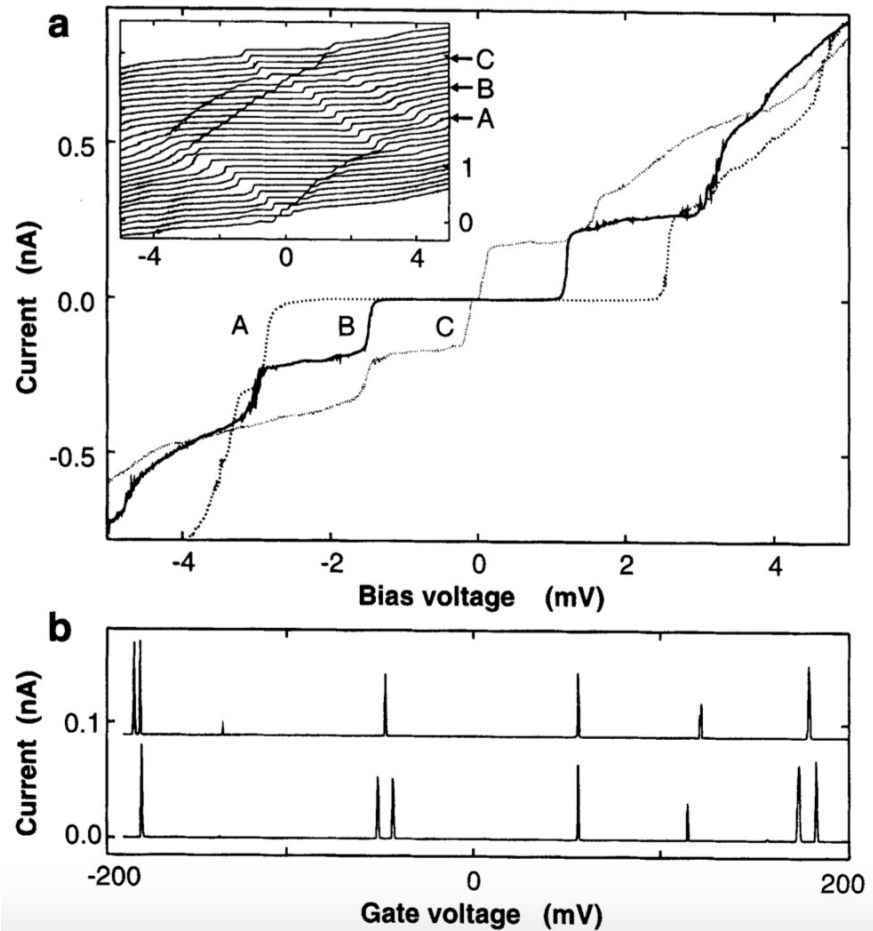
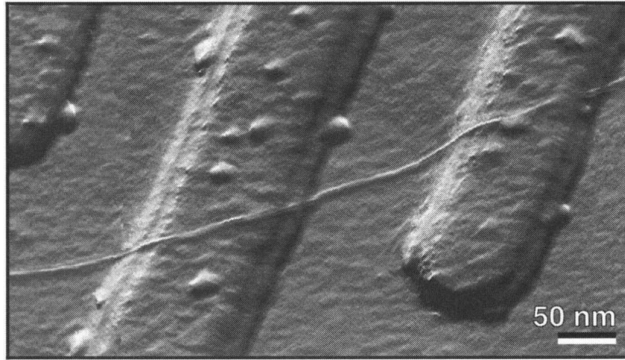
Übersicht über Kapitel 5

5. Der Molekulare Transistor

5.1 Coulomb Blockade

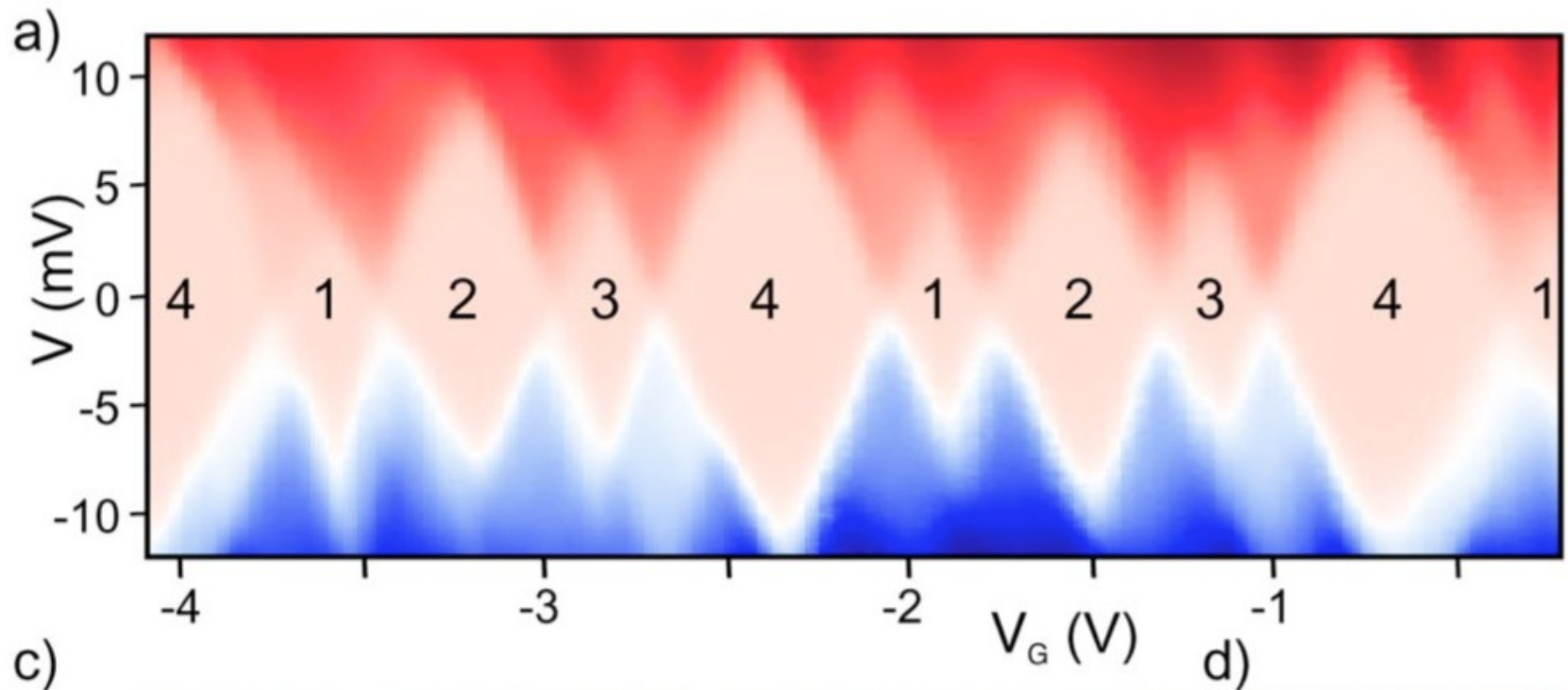
5.2 Der Kondo Effekt

Coulomb Blockade in Kohlenstoffnanoröhre



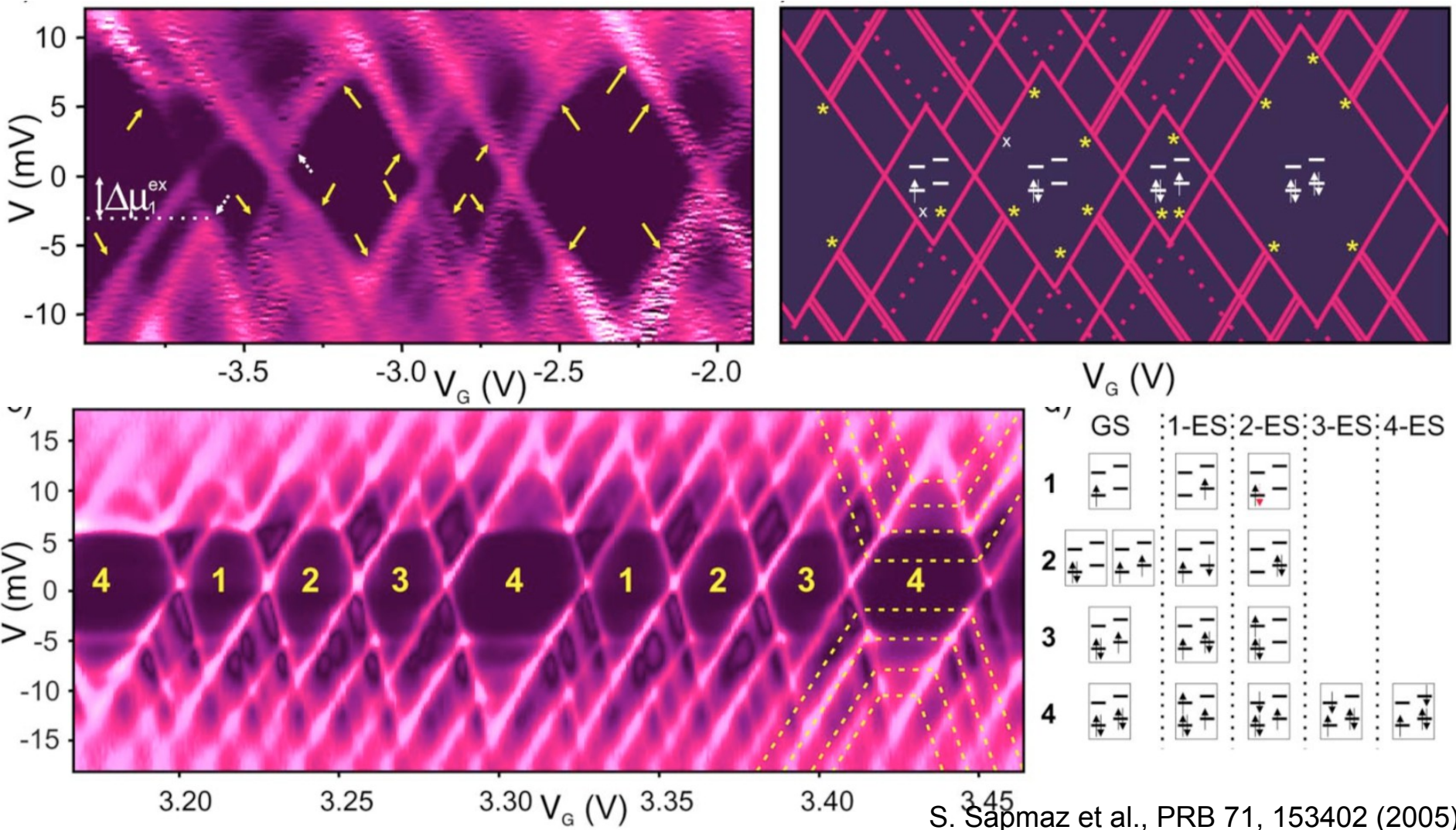
S. Tans et al., Nature 368, 474 (1997)

Coulomb Blockade in Kohlenstoffnanoröhre



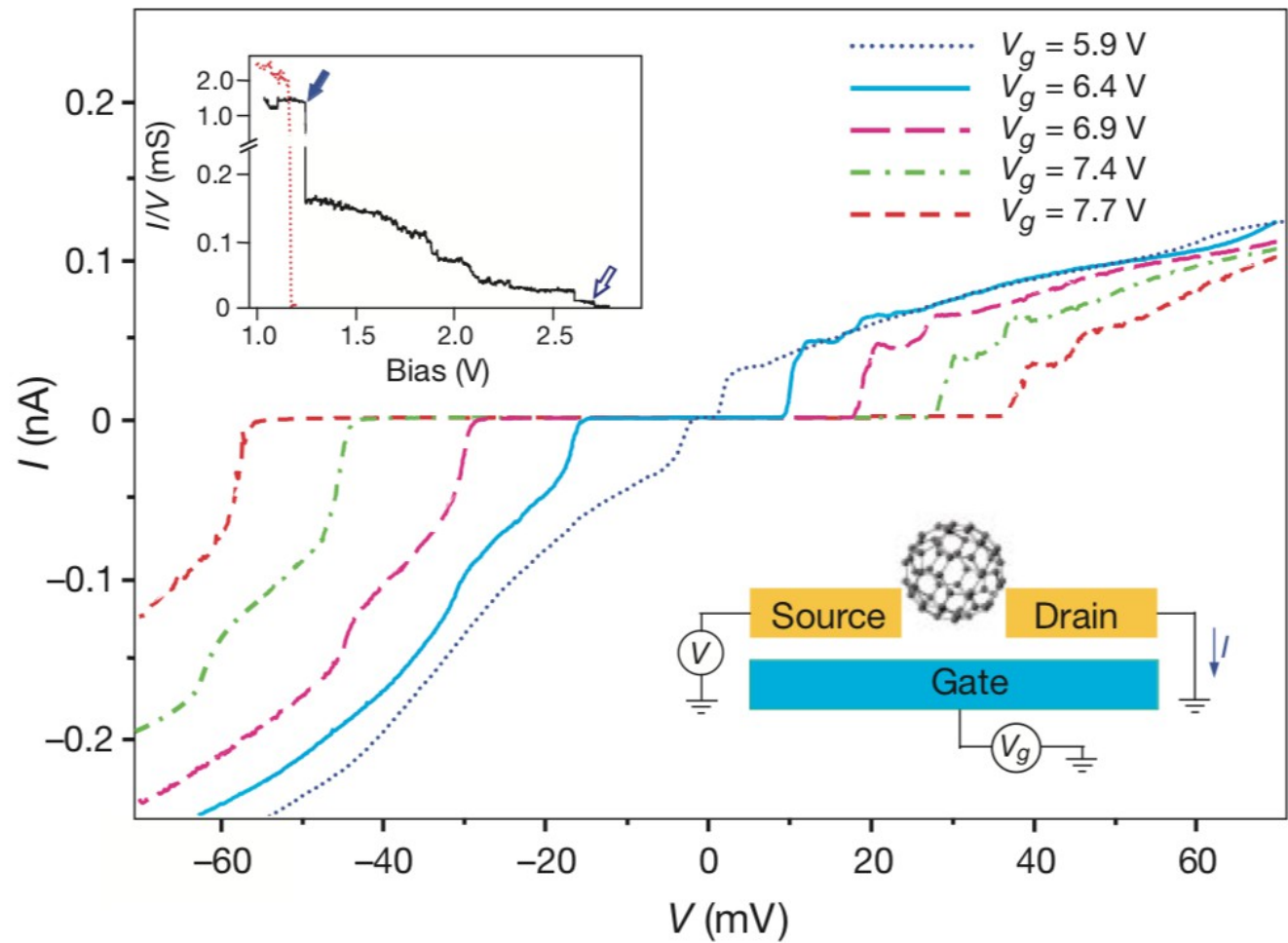
S. Sapmaz et al., PRB 71, 153402 (2005)

Coulomb Blockade in Kohlenstoffnanoröhre



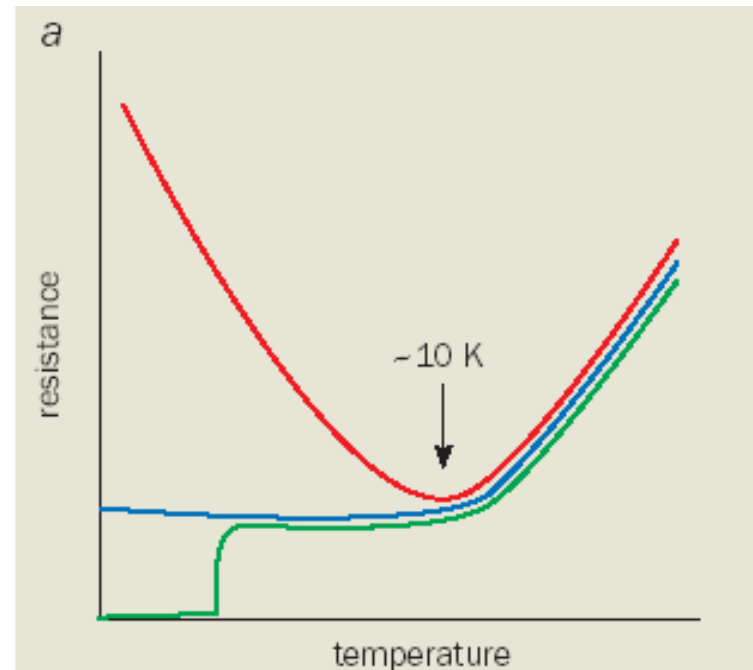
S. Söpmaz et al., PRB 71, 153402 (2005)

Molekularer C₆₀ Transistor



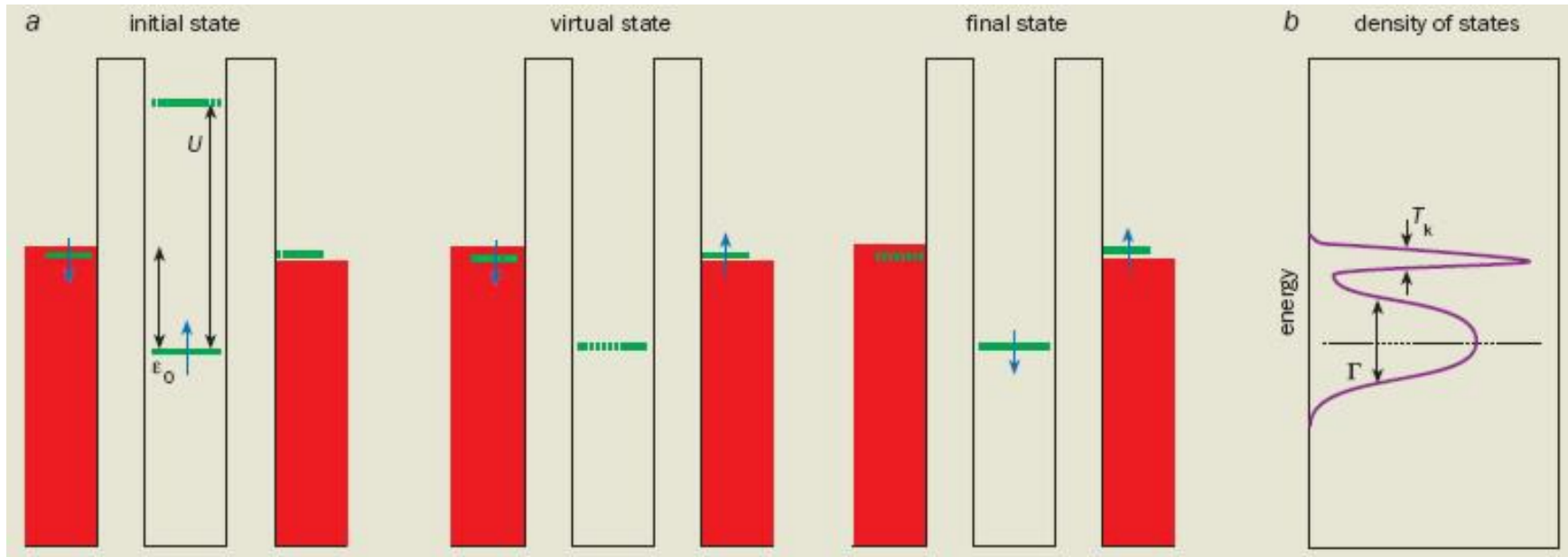
H. Park et al., Nature 407, 57 (2000)

Der Kondo-Effekt



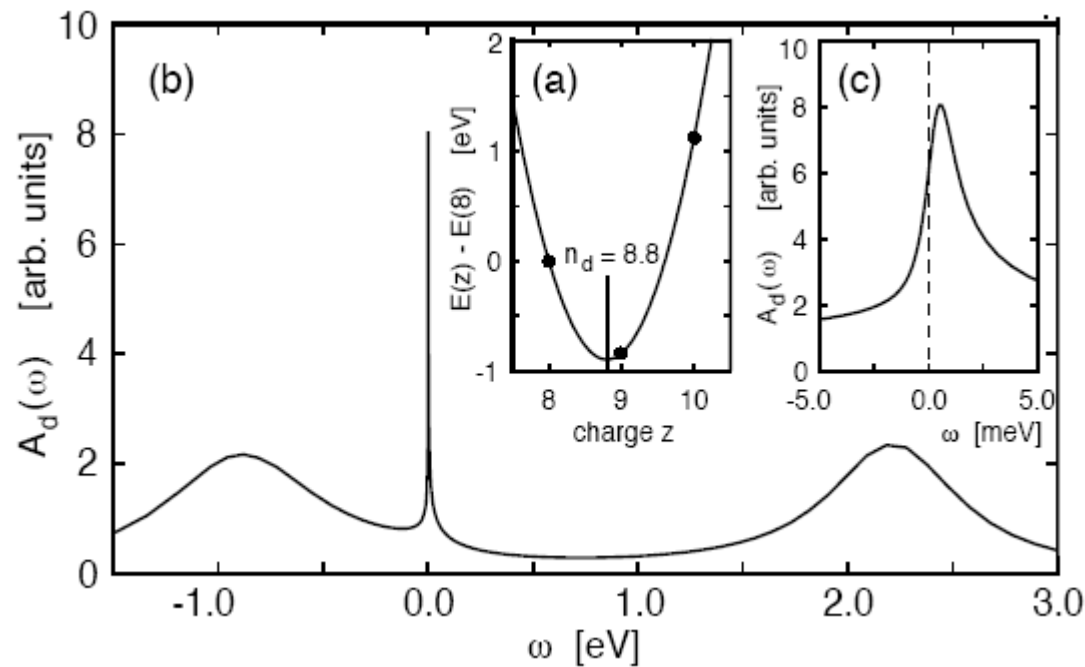
- Magnetisches Fremdatome in einem nicht magnetischen Metall (Cu) führen zu einer Anomalie in der Temperaturabhängigkeit des Widerstands.
- Unterhalb der Kondo-Temperatur steigt der Widerstand an.
- Ein steigender Widerstand bedeutet zusätzliche Streuung von Elektronen.
- Kondo-Effekt: Spin-Streuung der Leitungselektronen am Fremdatom

Das Anderson Modell des Kondo-Effekts



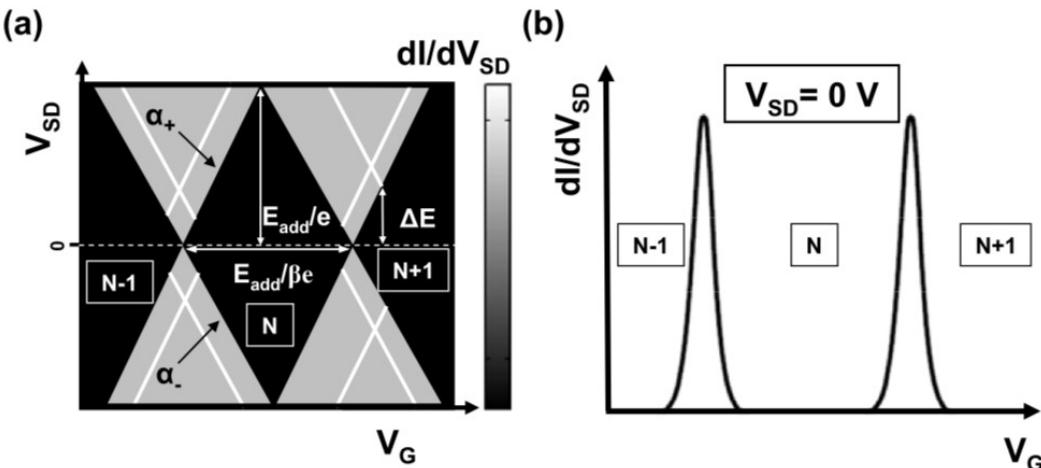
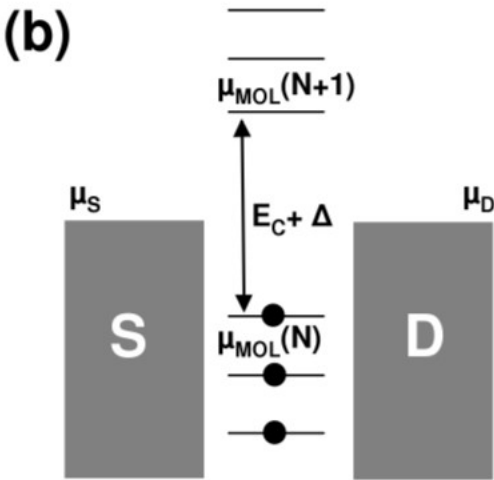
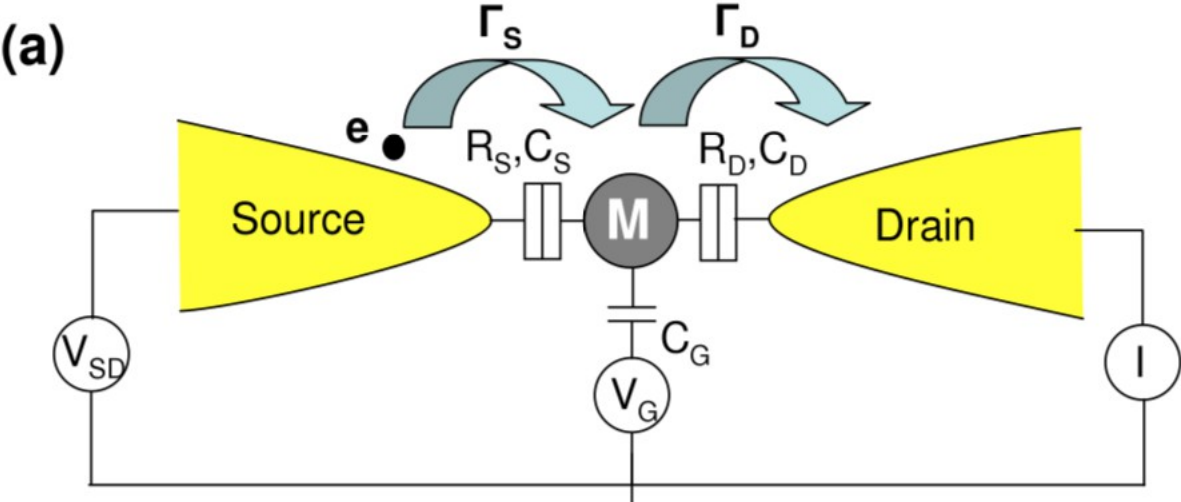
- Ein magnetisches Fremdatom (Co) in Kontakt mit einem nicht magnetischen Metall (Cu) kann seinen Spin in einem zweistufigen Prozess umkehren.
- Möglichkeit besteht innerhalb der Heisenbergschen Unschärferelation.
- Der virtuelle Zwischenzustand schirmt den Spin des Fremdatoms ab und erzeugt zusätzliche Zustandsdichte an der Fermikante.

Signatur des Kondo-Effekts in der Zustandsdichte



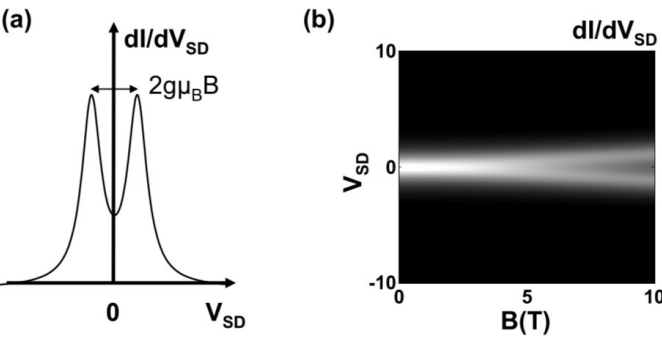
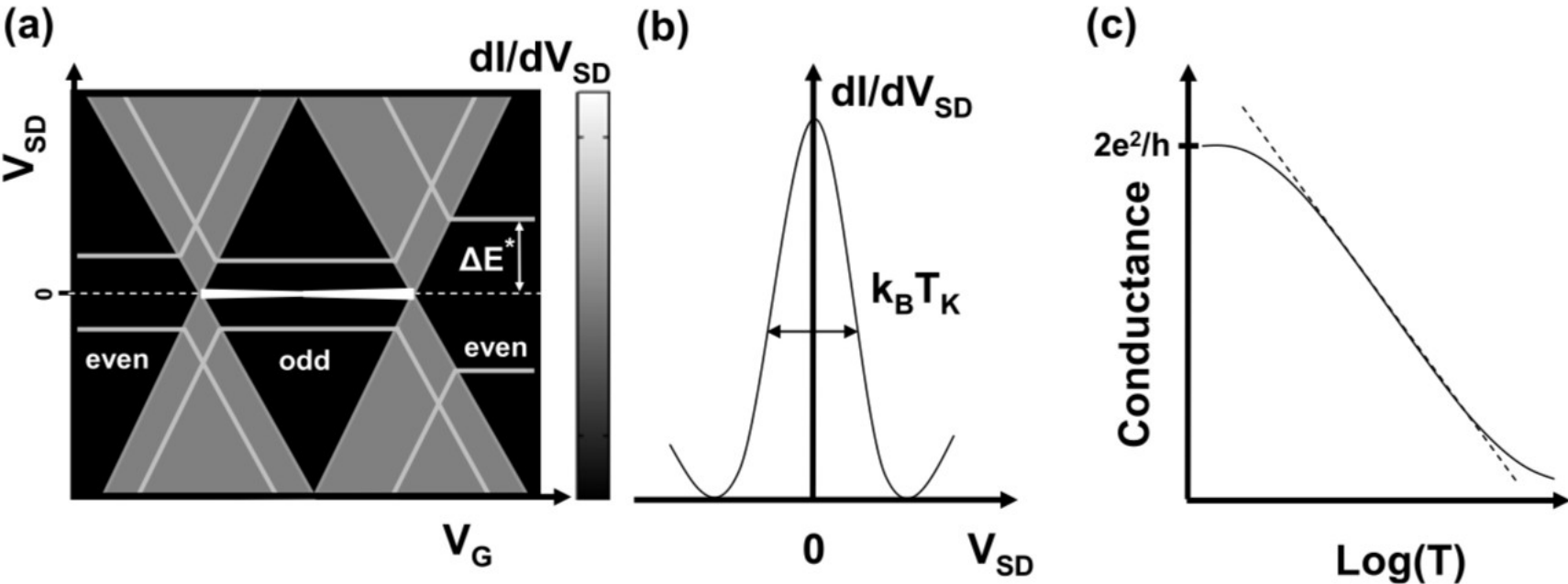
- Es entsteht ein scharfes Maximum in der Zustandsdichte an der Fermikante.
- Nachweis der Kondo-Resonanz über Rastertunnelspektroskopie.

Signatur des Kondo-Effekts in molekularen Transistoren



Transport ohne
Co-Tunneling.

Signatur des Kondo-Effekts in molekularen Transistoren



Transport mit Co-Tunneling

Kondo Effekt für ungerade Ladungszustände

Transport über Co-Tunneling von angeregten Zuständen

Osorio et al. J. Phys.: Condens. Matter **20**, 374121

Übersicht über Kapitel 6

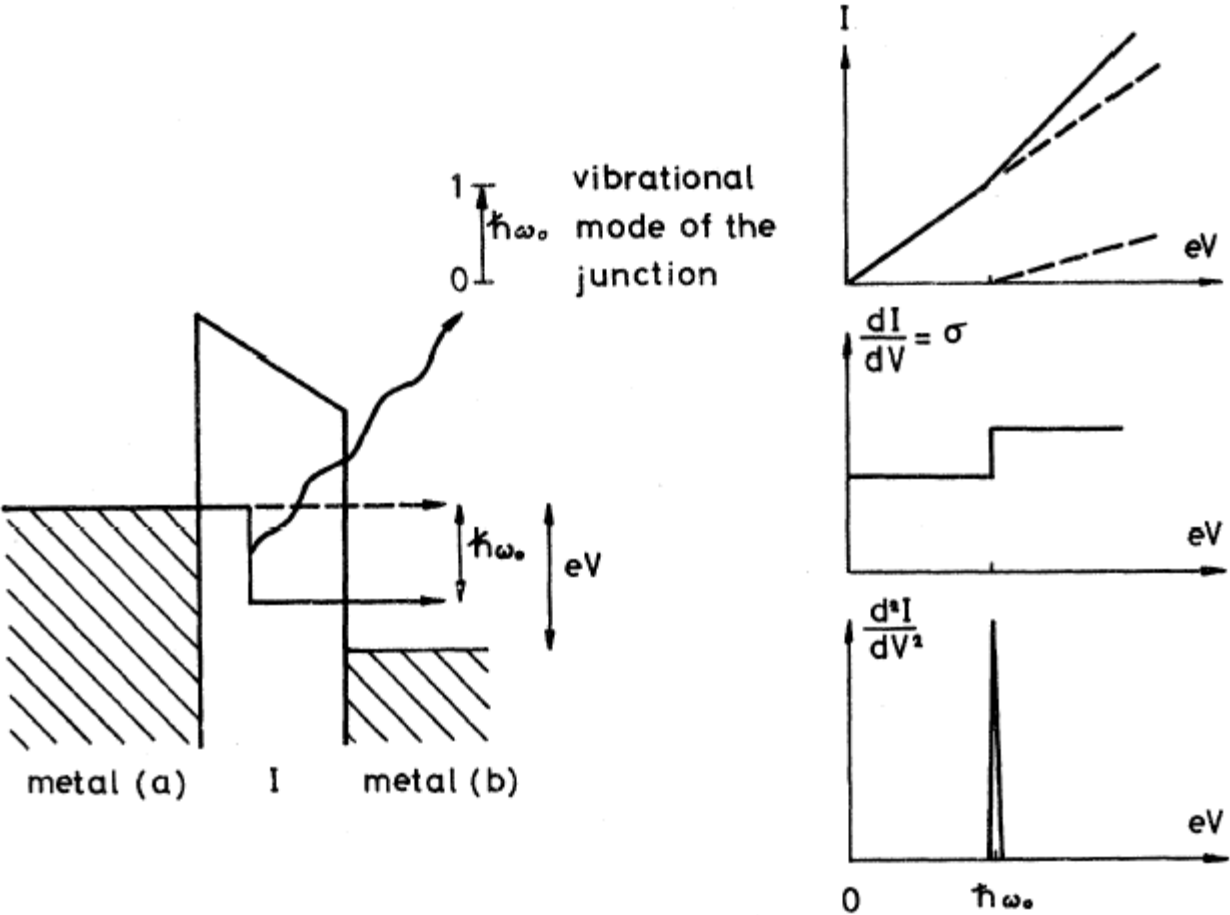
6. Effekte jenseits der linearen Antwort

6.1 Inelastische Prozesse

6.2 Das Hopping-Regime und Bioelektronik

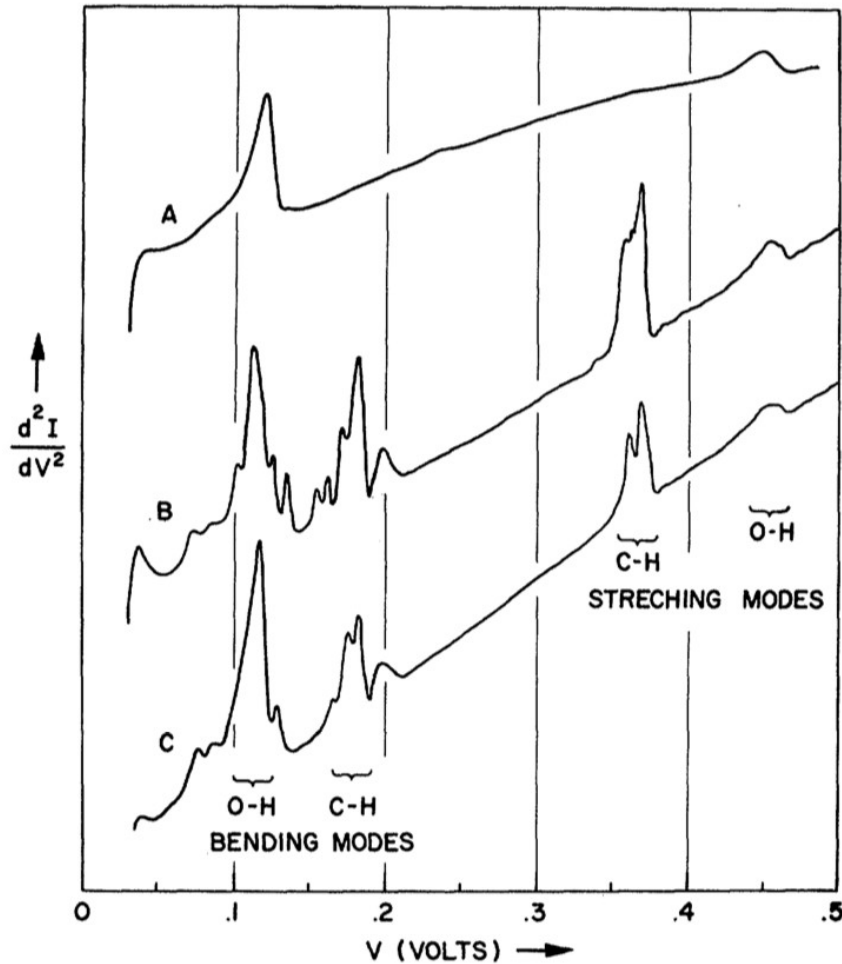
6.3 Der Seebeck Effekt

Phononenanregung im Tunnelkontakt



- Zusätzlicher inelastischer Kanal erhöht Endzustandsdichte ab einem Schwellwert.

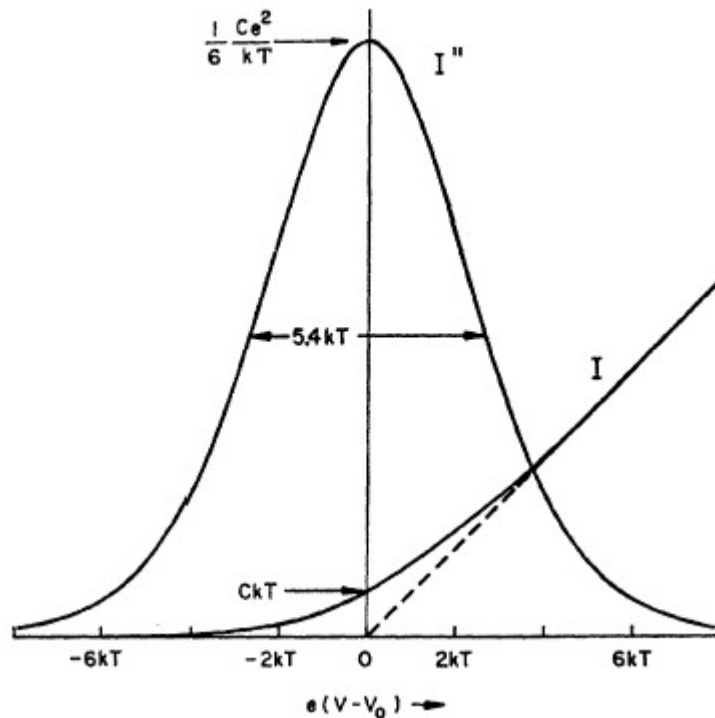
ITS in planaren Tunnelkontakten



Vibronen der im Tunnelkontakt
eingebrachten Moleküle sind
Bei tiefen Temperaturen beobachtbar

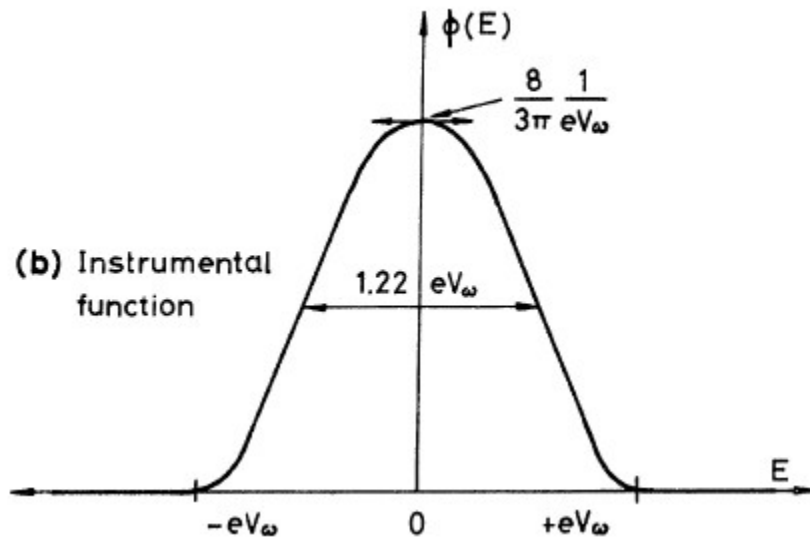
Jaklevic & Lambe, Phys. Rev. Lett. 17, 1139 (1966)

Thermische Verbreiterung



- Die zweite Ableitung des Tunnelstroms nach der Spannung ist bei konstanten elektronischen Zustandsdichten proportional zur Phononenzustandsdichte.
- Die thermische Anregung der Elektronen an der Fermikante der Spitze und Probe führt zu einer Verschmierung der Energieverteilung.
- Die Phononenzustandsdichte ist in der Beobachtung um $5.4 kT$ verschmirt.

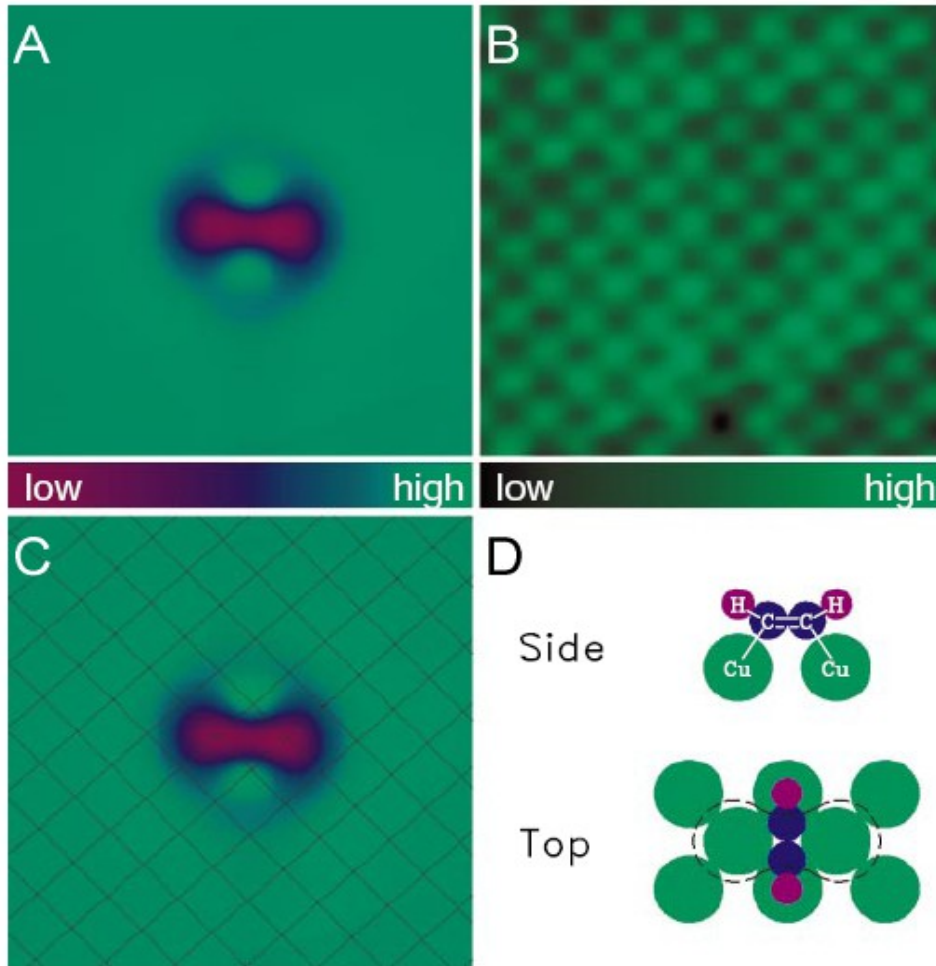
Verbreiterung durch Modulation



Die Messung der zweiten Ableitung mittels Lock-In Verstärker führt zu einer weiteren Verbreiterung um 1.22 der effektiven Modulationsamplitude.

Experimentelle Auflösung:
$$A = \sqrt{(5.4kT)^2 + (1.22 V_{mod})^2}$$

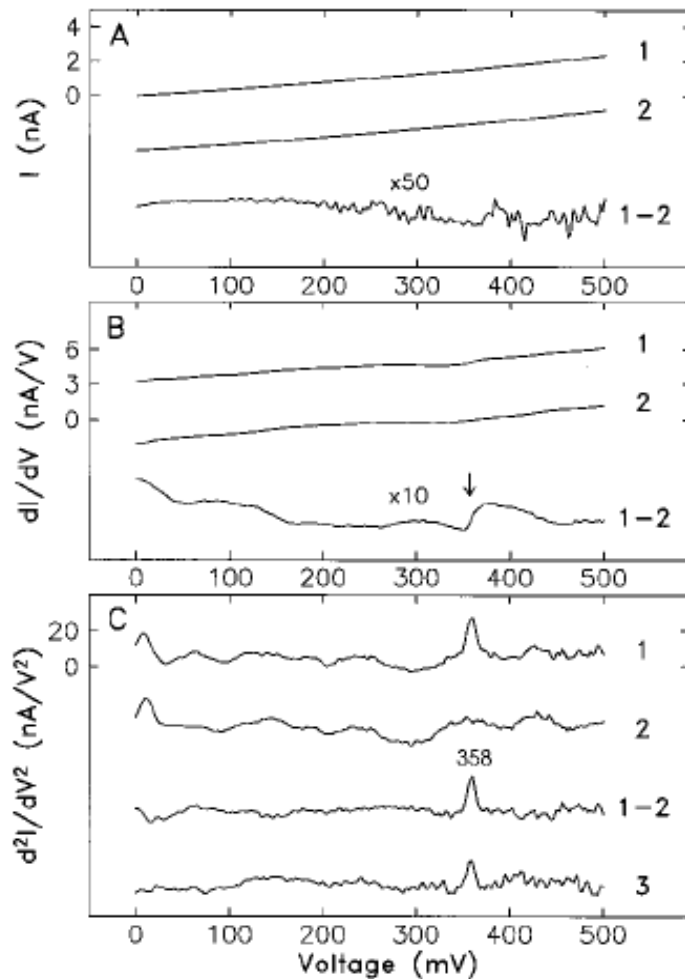
Vibrationsspektroskopie einzelner Moleküle



- Viele großtechnische Prozesse in der Chemie finden auf Katalysatoren statt.
- Adsorptionsplatz von Molekülen ist von großer Wichtigkeit.
- STM kann hier aufklären helfen.
- Acetylen Molekül auf Cu(110) adsorbiert in einer vierfachen Leerstelle.
- Längliche Ausdehnung im STM Bild senkrecht zur C=C Bindung.
- Adsorptionsplatz kann durch Abbildung des Moleküls und anschließende laterale Manipulation und Beobachtung des Cu Gitters bestimmt werden.

Stipe et al., Science 280, 1732 (1998)

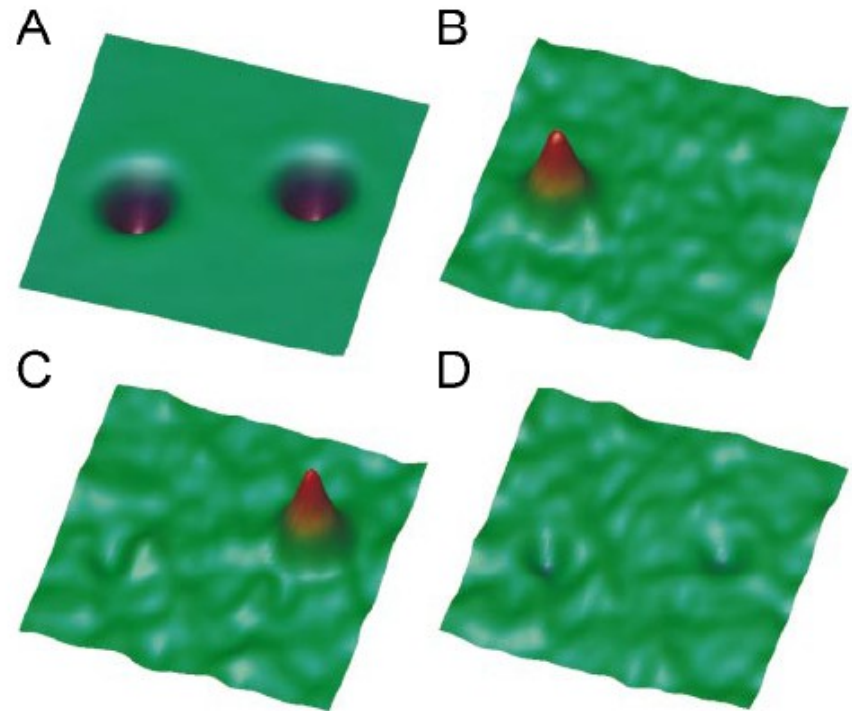
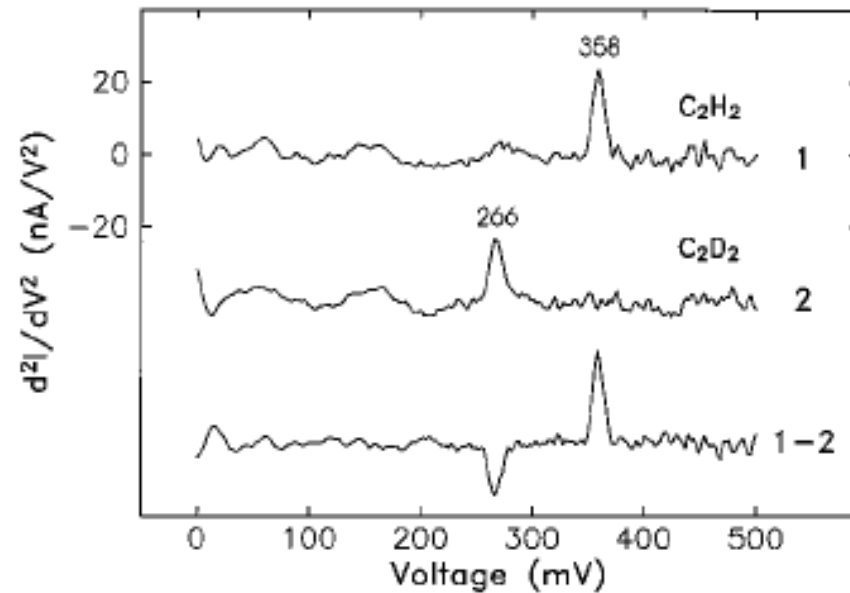
Vibrationsspektroskopie einzelner Moleküle



- C-H Steckschwingung bei 358 meV ist bereits durch EELS bekannt.
- Deutliches Maximum in d^2I/dV^2 bei gleicher Energie mittels STM beobachtet.
- Chemische Identifikation des Moleküls möglich.

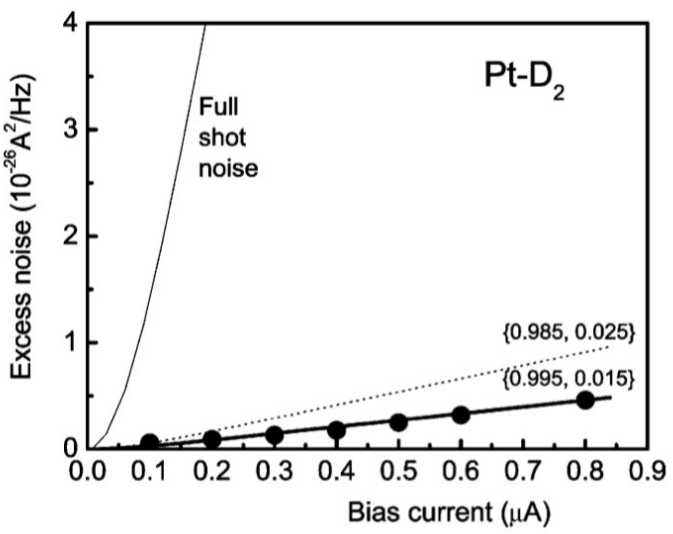
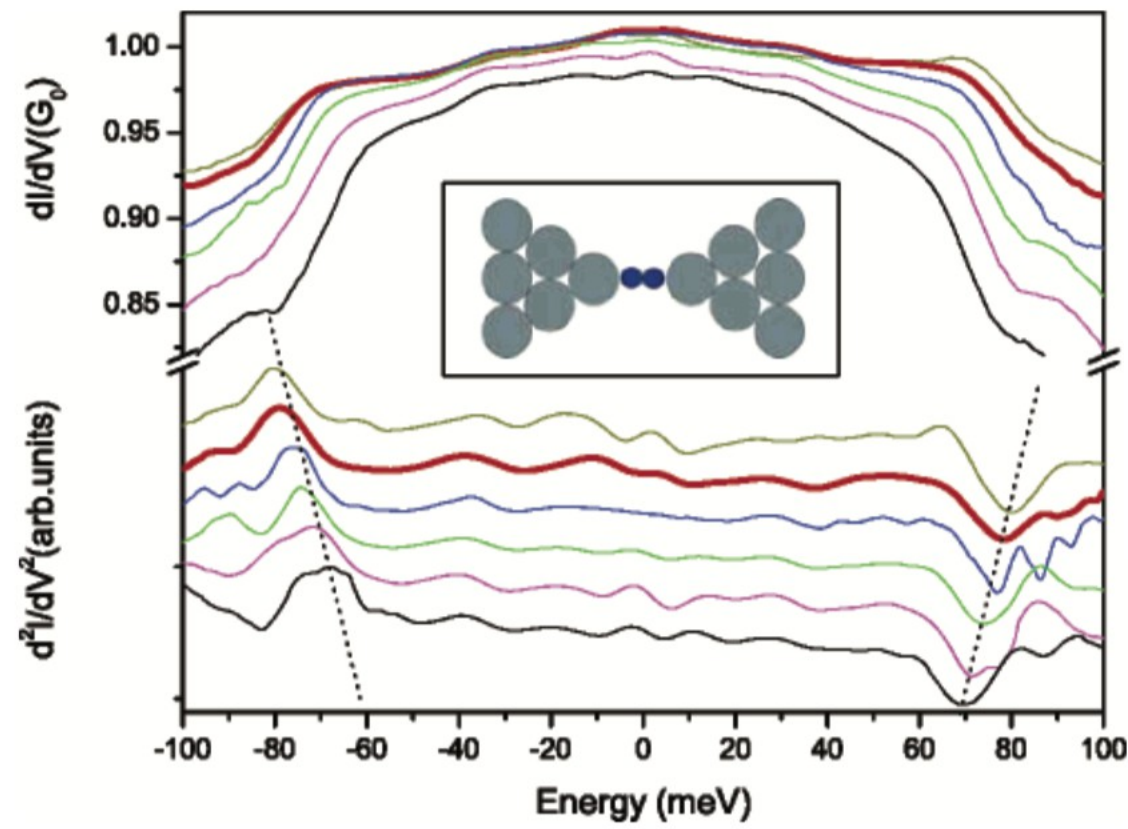
1: Spektren über dem Molekül
2: Spektren über dem Substrat

Vibrationsspektroskopie einzelner Moleküle



- Beweis für vibronischen Charakter der Anregung: elektronisch identisches Molekül mit Deuterium zeigt eine Verschiebung der Frequenz um ca. $\sqrt{2}$.
- Mittels inelastischer Spektroskopie kann sogar das Isotop festgestellt werden.

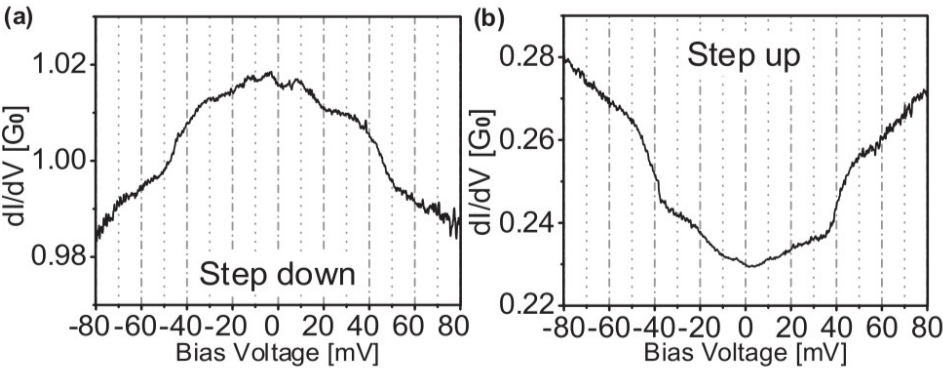
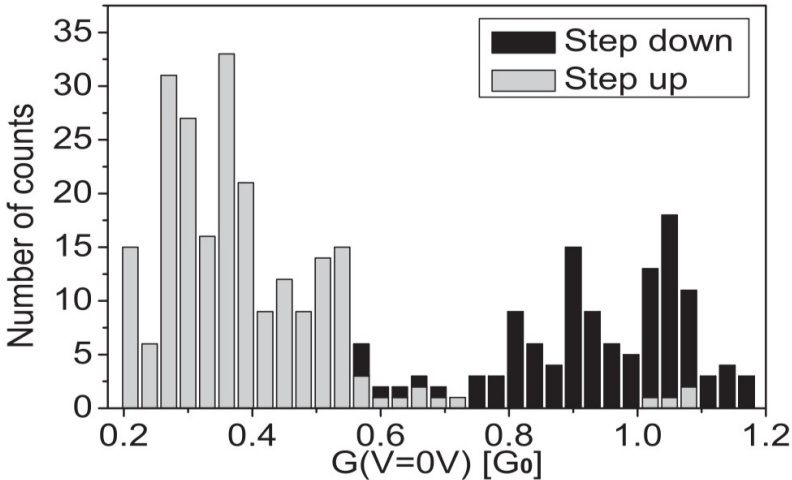
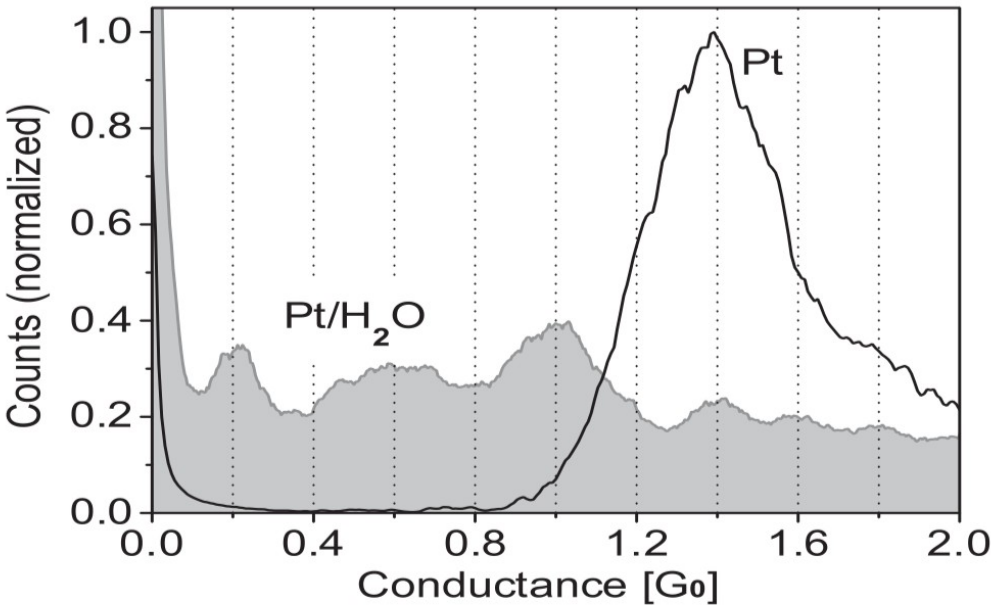
Vibronen in D2/Pt Punktkontakten



Exakt ein Molekül im Kontakt mit
Zwei Kanälen ($T=0.995, 0.015$)

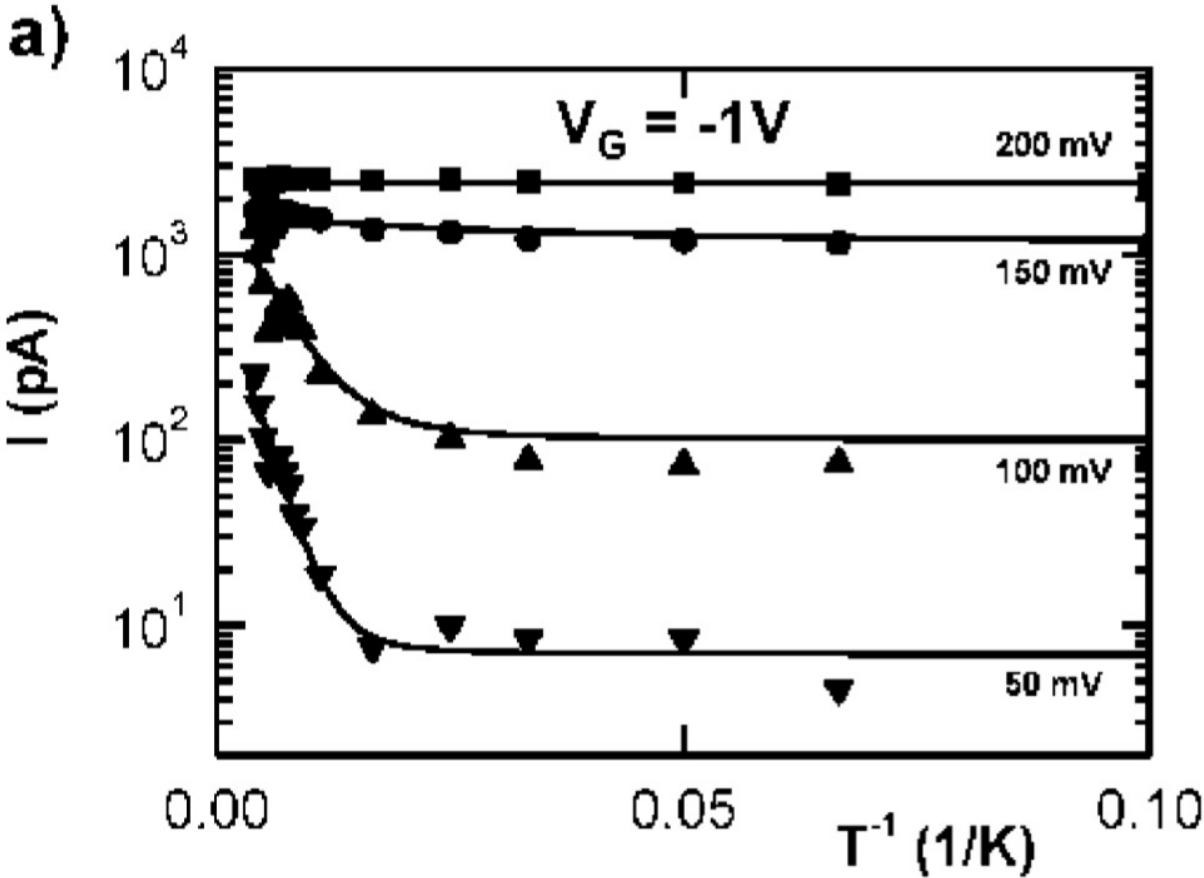
Djukic et al. Nanolett. 6, 759 (2006)

Vibronen in DH2O/Pt Punktkontakten



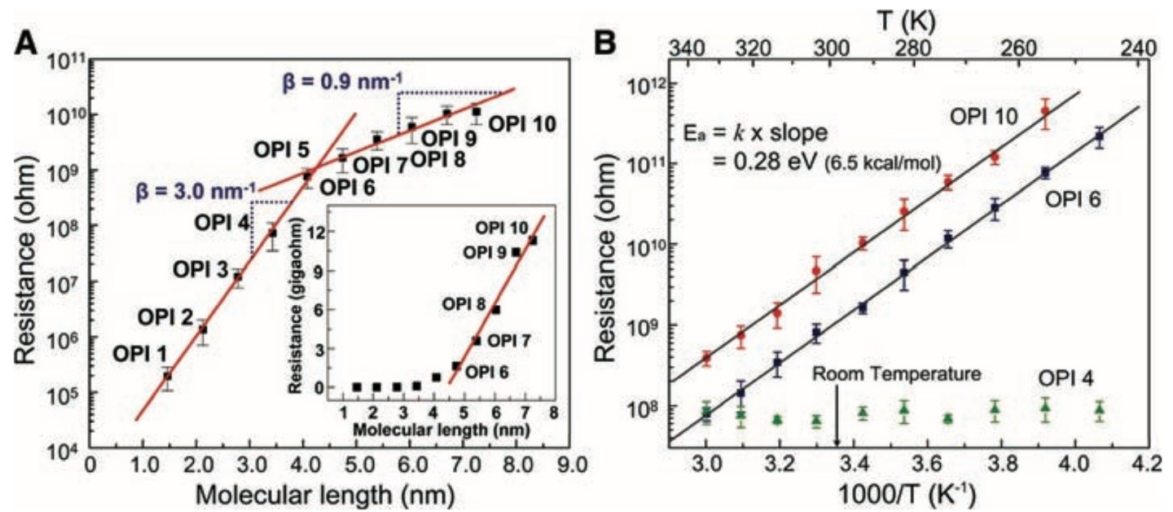
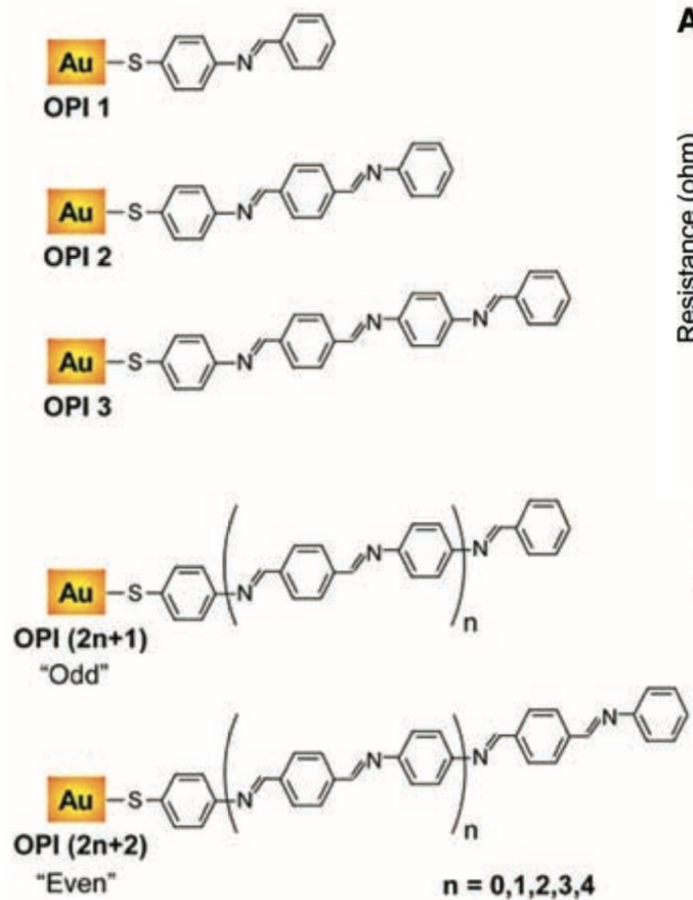
Tal et al. Phys. Rev. Lett 100, 196804 (2008)

Temperaturabhängigkeit des Hoppings



Poot et al., NanoLett 6, 1031 (2006)

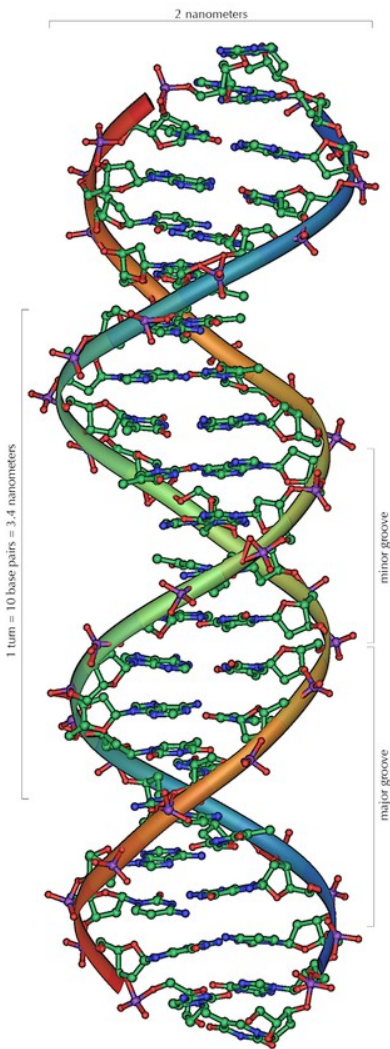
Abhängigkeit von der Länge des Moleküls



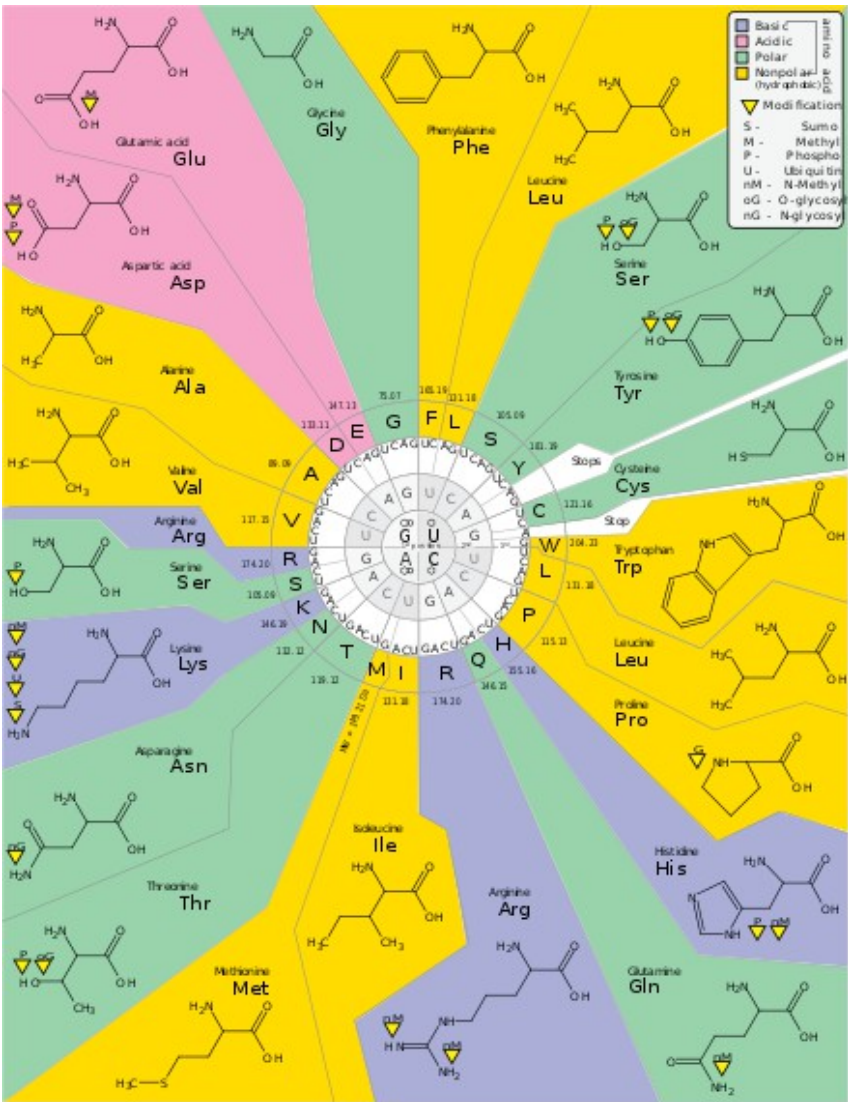
- Kurze Moleküle: exponentielle Abhängigkeit (Tunneln)
- Lange Moleküle: lineare Abhängigkeit (Hopping)
- Bestätigt durch Temperaturabhängigkeit

Son et al., Science 320, 1486 (2008)

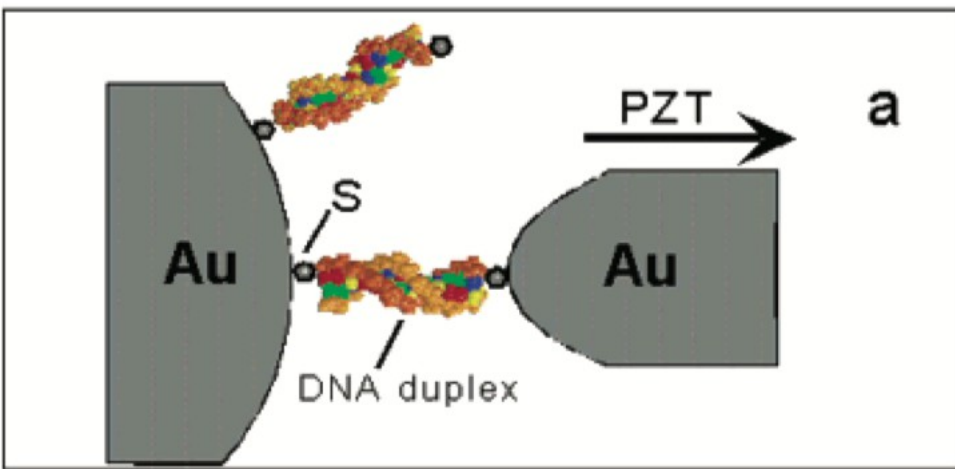
Die DNA



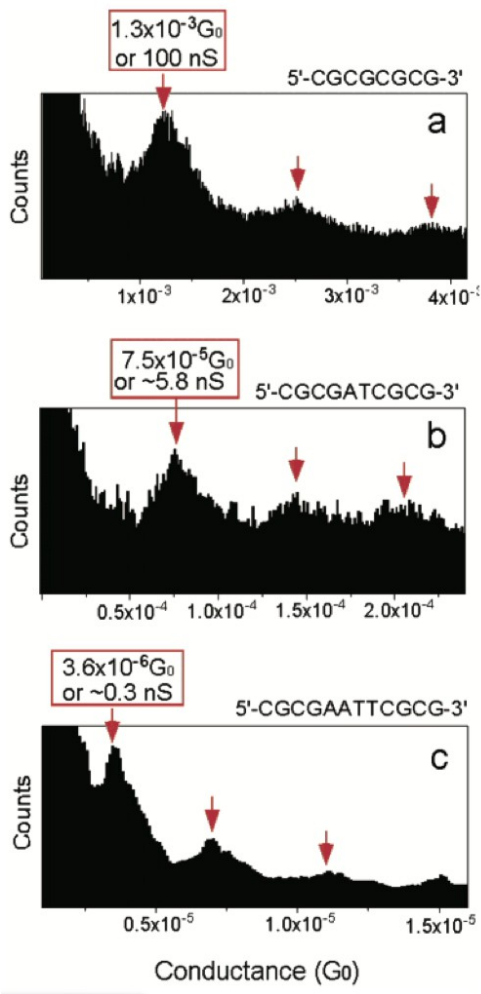
Wikipedia



Leitfähigkeit der DNA

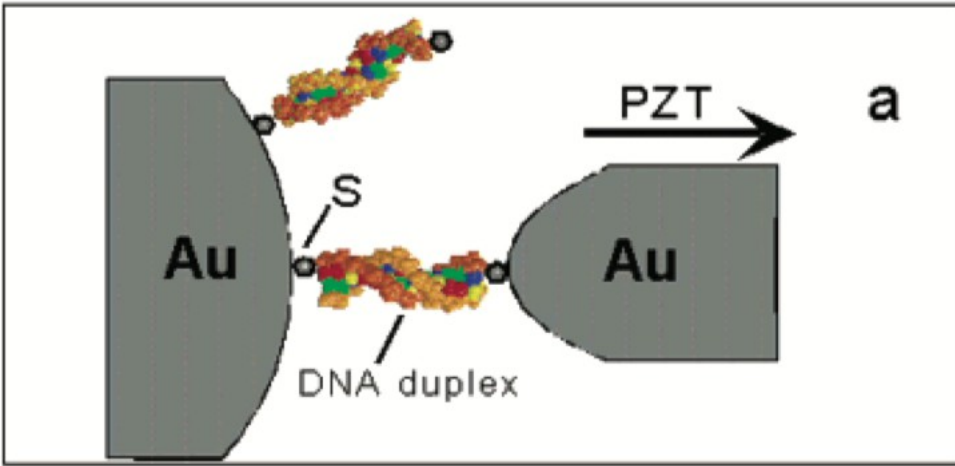


Leitwert der verschiedenen Codes unterscheiden sich

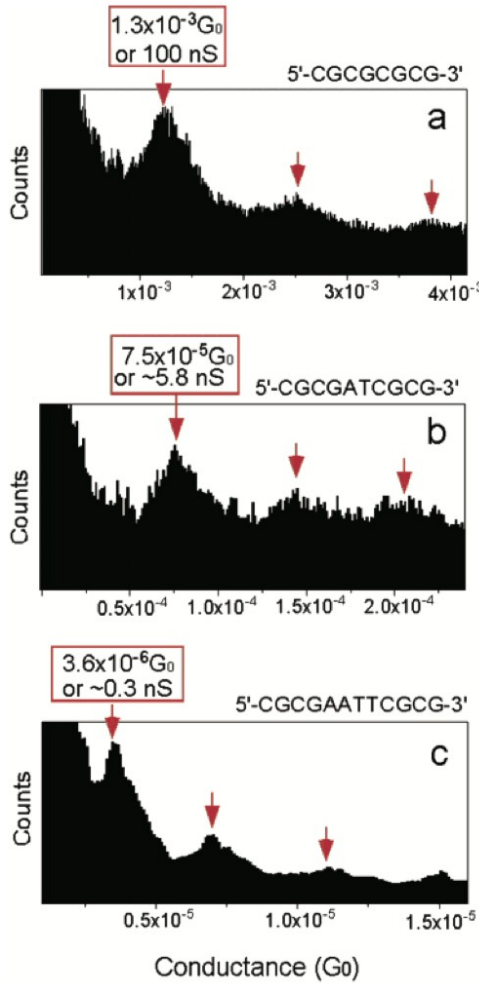


Xu et al. Nano Lett. 4, 1105 (2004)

Leitfähigkeit der DNA

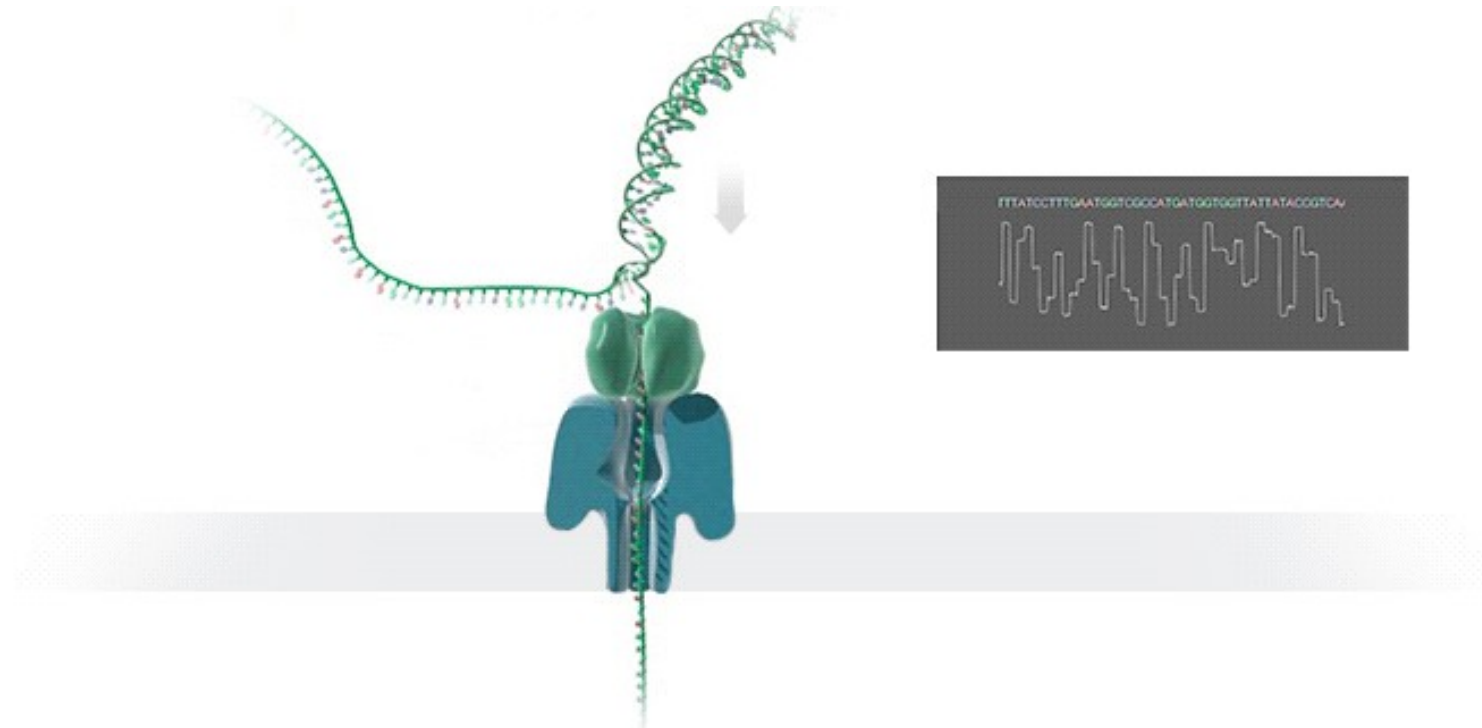


Leitwert der verschiedenen Codes unterscheiden sich



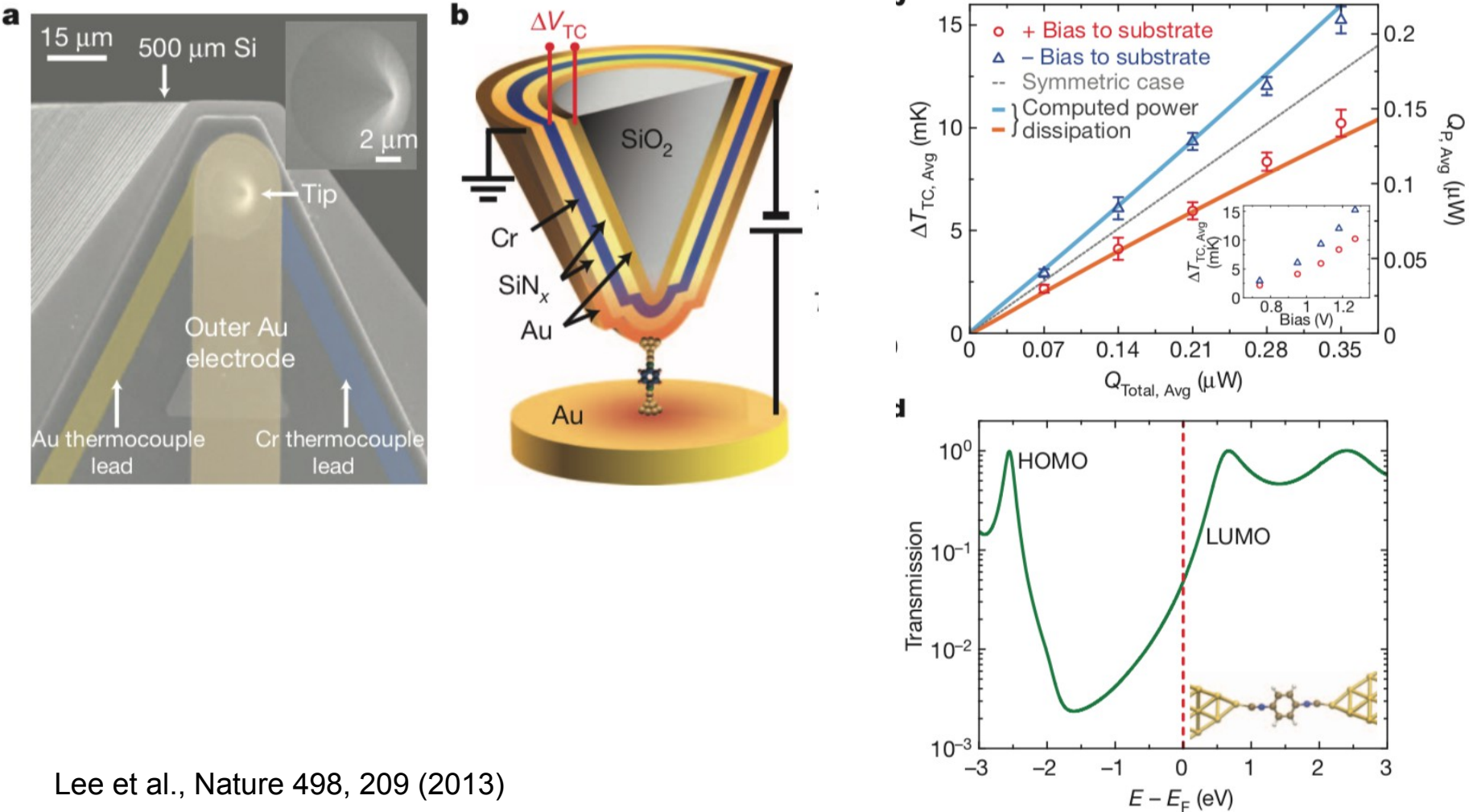
Xu et al. Nano Lett. 4, 1105 (2004)

DNA Sequenzierung



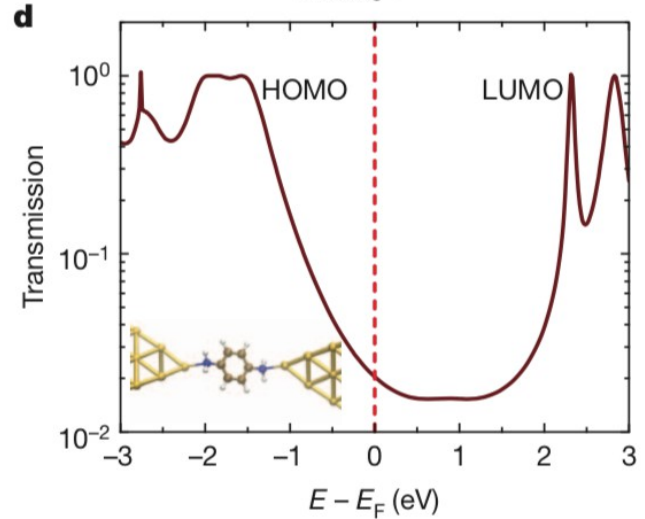
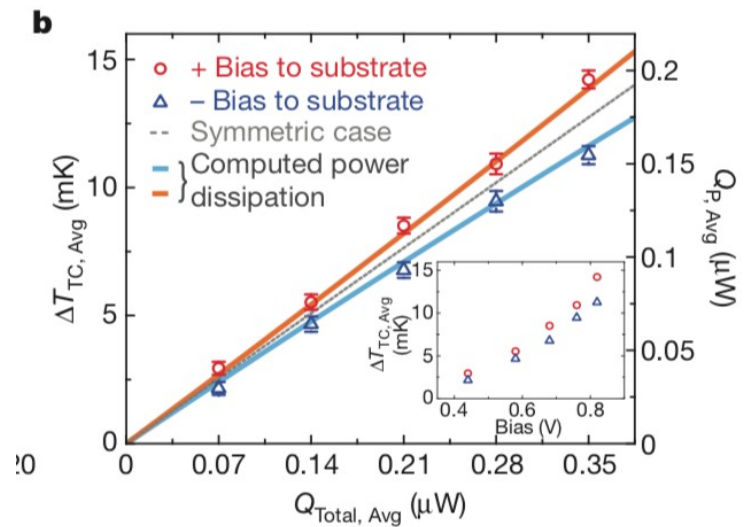
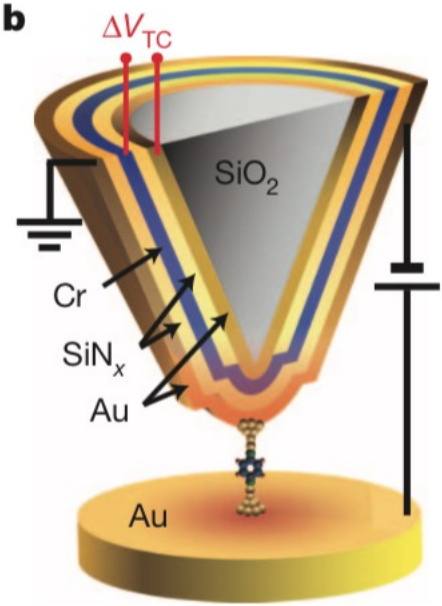
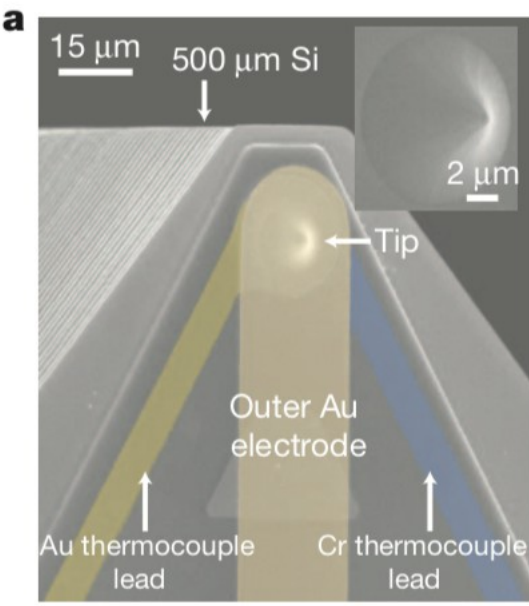
Nanoporetech.com

Dissipation in einem ballistischen Kontakt

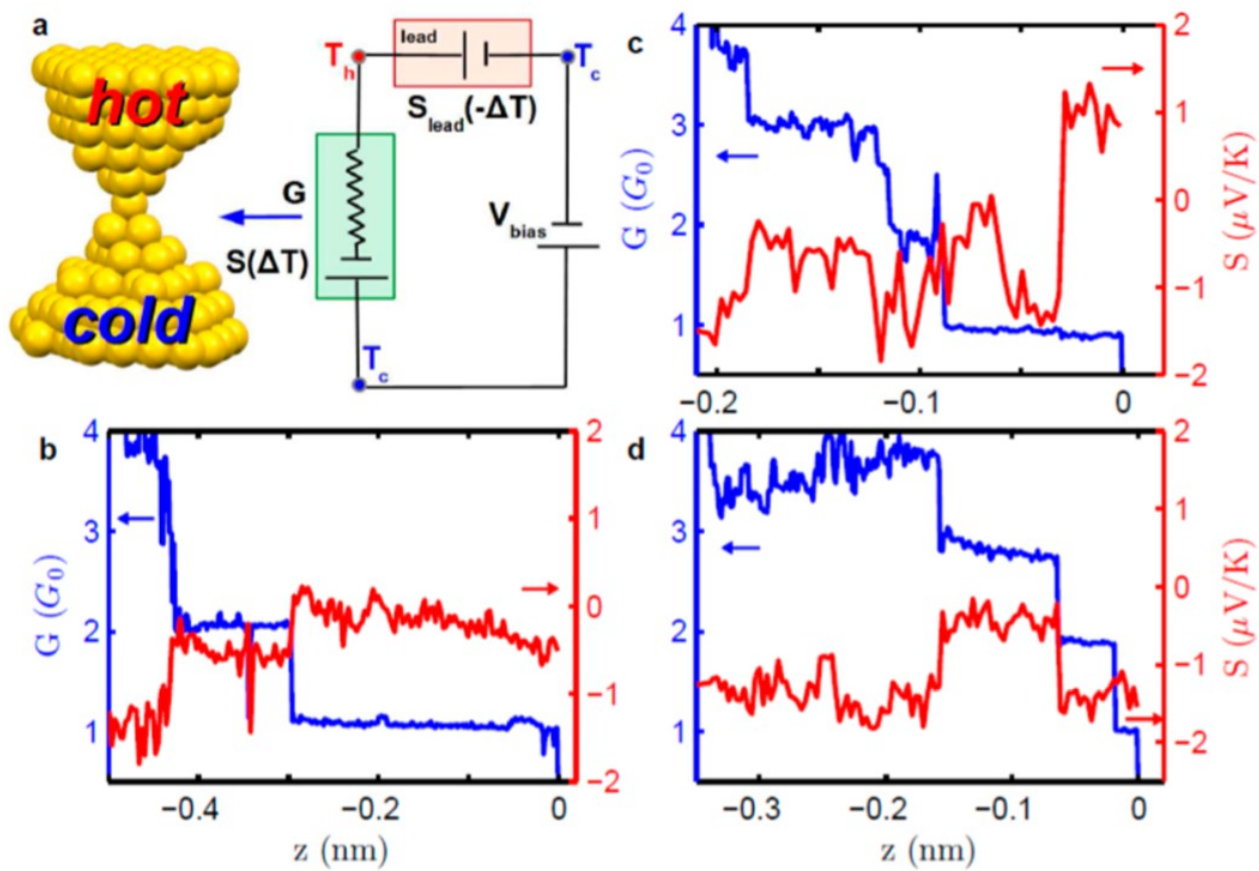


Lee et al., Nature 498, 209 (2013)

Dissipation in einem ballistischen Kontakt



Dissipation in einem ballistischen Kontakt



Evangelini et al, Nano Lett. 15, 1006 (2015)