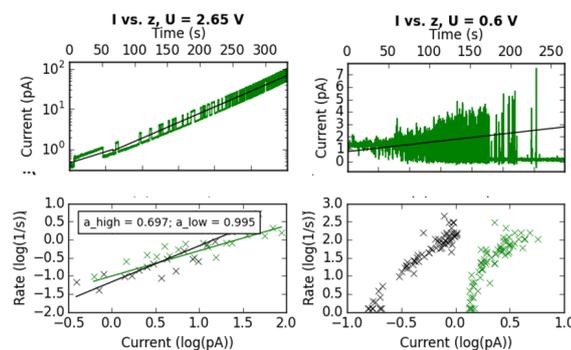
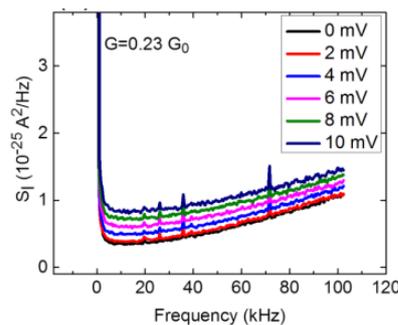


## 8. Rauschen in Molekülkontakten

- Das Stromrauschen in einem STM-Molekülkontakt soll in Bezug auf Telegraphenrauschen (random telegraph signal = RTS) bei niedrigen Frequenzen untersucht werden. Dabei wird bei zwei verschiedenen Spannungsbereichen der Abstand zwischen Spitze und Probe variiert und der Strom aufgezeichnet (obere Abbildungen). Diese Kurven werden hinsichtlich der Übergangsraten als Funktion des abstandsabhängigen Stroms ausgewertet (untere Abbildungen). Worin unterscheidet sich die Messung bei höheren Spannungen (linke Abbildungen) qualitativ von der Messung bei niedrigen Spannungen (rechts, siehe letzte Übung)? Welcher Prozess könnte das RTS bei höheren Spannungen erklären?



- Nun soll in einem anderen Molekülkontakt Schrotrauschen untersucht werden. Dazu wird die spektrale Leistungsdichte bei verschiedenen Spannungen gemessen. Wie kann man den Beitrag des Schrotrauschens isolieren und welche Größen kann man daraus ableiten?



## 9. Thermisches Rauschen bei tiefen Temperaturen

Thermisches Rauschen kann mit der Johnson-Nyquist-Formel beschrieben werden:

$$S_u(f) = 4R(f)hfN(f, T)$$

wobei  $S_u(f)$  die spektrale Leistungsdichte des Spannungsrauschens,  $R(f)$  der Realteil der Impedanz  $Z(f)$  und  $h$  die Planckkonstante ist.  $N(f, T)$  gibt die Besetzung der Schwingungsmode

mit Frequenz  $f$  an (Bose-Einstein-Statistik):

$$N(f, T) = \frac{1}{\exp(\frac{hf}{k_B T} - 1)}$$

- Warum kann man bei Raumtemperatur  $f \ll kT/h$  annehmen? Was erhält man für  $S_u(f)$ ?

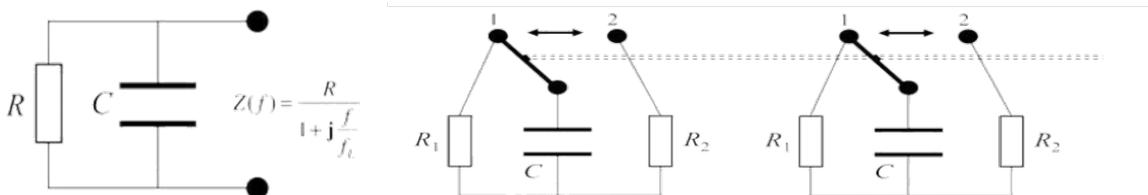
Nehmen Sie nun an, dass analog zum harmonischen Oszillator ein Nullpunktrauschen für  $T \rightarrow$  existiert, d.h.:

$$S_u(f) = 4R(f)hf[N(f, T) + 0.5]$$

- Zeigen Sie, dass sich dann in einem RC-Glied (siehe Abb. links) mit der Impedanz  $Z(f) = \frac{R}{1+j\frac{f}{f_L}}$  die im Kondensator gespeicherte Energie ergibt zu:

$$\langle E_C \rangle = \frac{h}{8\pi^2 RC} \ln(1 + 4\pi^2 R^2 C^2 f_c^2)$$

- Zeigen Sie anhand der Abbildung rechts, wie sich unter obiger Annahme ein Perpetuum mobile konstruieren lässt, das den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik verletzt.
- Was erhält man für  $\langle E_C \rangle$  im Quantenlimit, d.h. für  $\frac{kT}{h} \ll f_L$ ?



## 10. Kalte Oberflächen

Sie möchten ein Molekül auf einer auf  $T = 4,2$  K gekühlten Goldoberfläche deponieren und in einer Vakuumumgebung kontaktieren. Idealerweise sollte während der Messung ( $t = 1$  h) kein Restgasmolekül in der direkten Umgebung ( $10 \times 10 \text{ nm}^2$ ) adsorbieren. Bei welchem Druck muss man arbeiten, wenn man annimmt, dass jedes Molekül des Restgases haften bleibt?

## 11. Piezorohr

Für die Positionierung der Spitze in Rastersondenmikroskopen wurde früher ein Piezodreifuß (links oben) verwendet, heute benutzt man üblicherweise ein Piezorohr (links unten). Warum? Eine Aufsicht auf ein typisches Piezoröhrchen mit fünf elektrischen Kontakten ist rechts abgebildet. Die zentrale Elektrode ist geerdet, während die Spannungen auf den äußeren Elektroden unabhängig voneinander im Bereich von  $-250$  V bis  $+250$  V gewählt werden können. Die Maße des Piezorohrs sind: Länge  $L = 30$  mm, Durchmesser  $D = 6,3$  mm, Wandstärke  $h = 0,5$  mm.

- Die maximale Längenänderung dieses Piezorohres beträgt  $4,5 \mu\text{m}$ . Bestimmen Sie die Piezokonstante  $d_{31}$  des Materials.
- Welche Spannungsconfiguration kann verwendet werden um einen quadratischen Bereich der Oberfläche abzurastern? Wie groß ist der maximale Bereich, den man mit der Spitze erreichen kann?
- Mit welcher Genauigkeit müssen die Spannungen bestimmt werden um die atomare Rauheit (Korrugation) einer Oberfläche von  $10 \text{ pm}$  beobachten zu können?
- Welche Artefakte entstehen bei der Verwendung des Piezorohrs?

