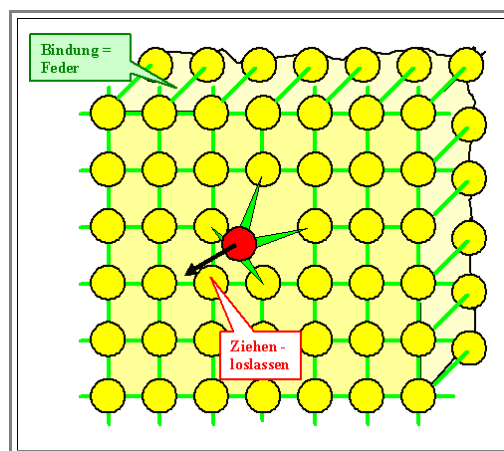


Reibung im Atomaren und Energiedissipation

Illustration

- Reibung**, oder besser **Energiedissipation**, ist wichtig für die Art der Gleichgewichte, über die wir hier nachdenken. Denn nur durch Reibung ist dafür gesorgt, dass sich nach einiger Zeit in *klassischen* Systemen *nichts mehr bewegt*.
- Ohne Reibung würde der im Hauptstrang gezeigte Massenpunkt in einem Potentialtopf für immer hin- und herschwingen.
 - Betrachten wir *nur* diese Schwingung, wäre der Massenpunkt dann auch im Gleichgewicht - es ändert sich schwingungsmäßig dann ja nichts mehr. Aber der Begriff "Gleichgewicht" ist nur für (statistische) *Systeme* sinnvoll, und sobald der Massenpunkt nicht mehr ideal isoliert ist kommt Reibung dazu; Gleichgewicht wird dann "Ruhe" (für den Massenpunkt) sein.
 - Wie auch immer, bei klassischen Systemen haben wir *immer* Reibung, und ein statisches Gleichgewicht ist sinnvoll, leicht vorstellbar und fast ohne begriffliche Probleme. Das "fast" bezieht sich auf die Frage: Wo ist jetzt eigentlich die Energie, die in der Schwingung steckt?
- Wie ist das nun im Atomaren? Gibt es zwischen den **O₂** und **N₂** Molekülen in der Luft, die uns umgibt, so was wie Reibung im klassischen Sinn? An was und wie "reibt" sich unser im Potentialtopf schwingendes Atom?
- Gottseidank gibt es die klassische Reibung im Atomaren nicht! Denn dann würden nach einiger Zeit alle Moleküle ruhig am Boden liegen. Man muß sich nur mal eine Art von dreidimensionalem Flipper mit vielen Kugeln gleichzeitig vorstellen, um das sofort zu sehen.
- Wir nehmen einfach mal zur Kenntnis: *Es gibt im Atomaren keine Reibung im klassischen Sinne!*
- Das ist einfach zu sehen: Reibung im *klassischen* Sinne hieße z.B., dass ein im Potentialtopf der Bindung schwingendes Atom eine Kraft \underline{F}_R erführe, die mit negativem Vorzeichen proportional zu seiner momentanen Geschwindigkeit \underline{v} wäre; $\underline{F}_R = -k_R \cdot \underline{v}$.
 - Das kann und darf nicht sein, denn dann würde die Amplitude und damit die Energie kontinuierlich abnehmen - sie muss aber irgendwie gequantelt sein. Außerdem woher soll diese Kraft denn kommen? Es gibt nur die Bindungsnachbarn, und die produzieren keine ominöse Reibungskraft. Und wo bleibt die Energie?
- Reibung im *klassischen* Sinne bewirkt immer nur eines: Energie, die in einer *geordneten* Bewegung steckt, wird aus diesem System "irgendwie" herausgezuzelt und der "Umgebung" als Wärme, d.h. als *ungeordnete* kinetische Energie zugeführt. Reibung ist in diesem Sinne ein Energietransformator, ein Gleichmacher, ein Entropieerzeuger.
- Das ist das allgemeine Phänomen der *Energiedissipation* - und klassisch äußert sich das dann als Reibung.
- Wie das atomar funktioniert ist im Grunde einfach zu sehen. Wir lassen mal gedanklich einen Kristall über einen anderen gleiten - d.h. ein Körper rutscht auf einem anderen herum.
- Klassisch werden wir Reibung erfahren; wir schauen aber mal bei sehr hoher "Vergrößerung" was wirklich passiert.
 - Solange die beiden Kristalle nicht so fest aufeinandergedrückt werden, dass bei einer Relativbewegung plastische Verformung oder gar (mikroskopischer) Bruch erfolgt, können bestenfalls die Atome der Randschicht, die von den Atomen des anderen Kristalls "angezogen" werden, bei einer Relativbewegung etwas aus ihrem Gleichgewichtsabstand ausgelenkt werden. Aber früher oder später "schnalzen" sie zurück. Das sieht dann stark vereinfacht so aus:



- Es ist unmittelbar klar, was geschieht wenn das herausgegriffene Atom "zuückschnalzt": nach kurzere Zeit wackeln alle Atome, die im Bild gezeigte lokalisierte elastische (= potentielle) Energie wurde auf alle Atome "dissipiert", d.h. verteilt.
 - Das ursprünglich ausgelenkte Atom wird seine Schwingungsamplitude entsprechend verringern - im Mittel genau so wie es mit klassischer "Reibung" beschrieben würde.
- G. A. Tomlinson** hat diesen Mechanismus bereits im Jahr **1929** beschrieben.

- Aber erst jetzt (**2002**) wurde der Effekt direkt gemessen - von zwei Augsburger Wissenschaftlern, die mit Hilfe eines **Rasterkraftmikroskops** ein einzelnes Atom über eine Kristalloberfläche "schleppten".