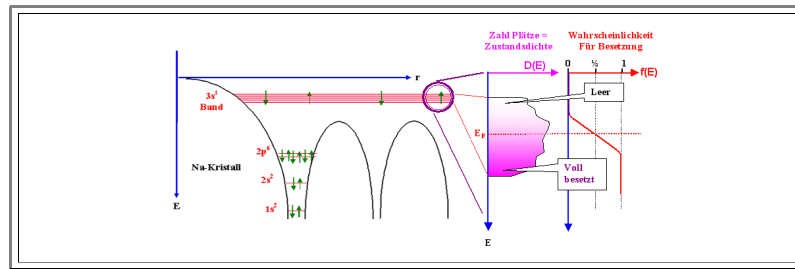


## 8.1.3 Die elektrische Leitfähigkeit – jetzt aber richtig

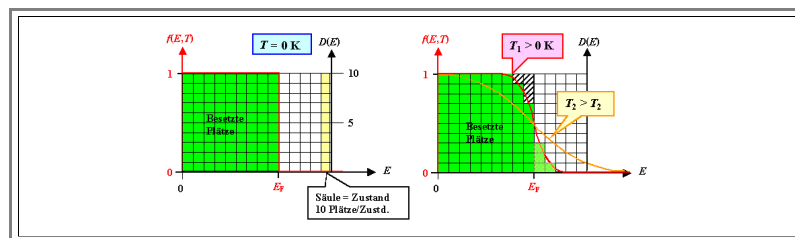
### Energiebänder und Leitfähigkeit

Schauen wir uns jetzt die Lage "richtig" an. Was wir bei einem Metall haben, sieht erstmal so aus:



- Der linke Teil sollte uns [bekannt vorkommen](#). Das ist das "Kristallmodell", das wir für den besonders einfachen **Na**-Modellkristall erhalten haben, wenn wir die individuellen Potentialtöpfe der **Na**-Atome für ihre Elektronen überlagern. Das oberste Niveau, mit gerademal einem Elektron besetzt, musste aufspalten, damit jetzt viele Elektronen Platz haben – jedes in *einem* wohldefinierten Zustand, anders von den anderen
- Den rechten Teil hatten wir auch schon - wenn auch in [anderer Form](#). Wir haben statt der extrem vielen und dicht benachbarten Energieniveaus im linken Teil des Bildes das gesamte "**Energieband**" jetzt einfach durch seine [Zustandsdichte](#) ersetzt, also durch die Zahl der Plätze oder Zustände, die es Elektronen *pro* Energieintervall (und  $\text{cm}^3$ ) bietet.
- Wie die Zustandsdichte im Falle des **Na**-Kristalls genau aussieht wissen wir nicht; ist aber für das Folgende aber auch egal. Was wir jedoch wissen ist, dass es genau doppelt so viel Zustände wie Elektronen gibt. Denn auf jedem **3s**-Niveau ("**3s**") kennzeichnet die passende Lösung der Schrödingergleichung, also einen Zustand!) haben *zwei* Elektronen Platz – eines mit Spin rauf, eines mit Spin runter. Wir haben aber nur eines zu vergeben. Beim Koppeln von zwei Atomen entstehen zwei neue Zustände oder Energieniveaus, beim Koppeln von **N** Atomen dann **N** – beim **Na** hier immer doppelt so viele Zustände wie Elektronen.
- Es können beim **Na** also immer nur die Hälfte der Zustände besetzt sein. Wie vorhandene Zustände besetzt werden, regelt die [Fermi-Verteilung](#) – so wie für eine endliche Temperatur eingezeichnet.

Viel Worte um eine im Grunde simple Sache. Schauen wir uns das leicht modifizierte [Prinzipbild](#) dazu nochmals an



- Wir haben Zustände (= Säulen) mit je **10** Plätzen pro Zustand über die Energieachse. Die [Zustandsdichte](#) in diesem Beispiel ist also überall "**10**". Insgesamt verteilen wir **90** Elektronen auf die (im Prinzip, wenn's immer so weitergeht  $\infty$  viel) verfügbaren Plätze.
- Die Fermiverteilung (rote Kurve) gibt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Platz besetzt ist. Die Fermienergie  $E_F$  war bei der Energie des bei  $T = 0 \text{ K}$  letzten besetzten Platzes (beim **Na** oben wäre das entsprechend so ungefähr in der Mitte des Bandes) oder, [eleganter](#), beim Wert  $f(E; E_F, T) = 1/2$ . So ist sie oben eingezeichnet.

Jetzt kommt die entscheidende **Frage**: Im Prinzipbild oben haben wir **90** Elektronen. Wieviele tragen zur Leitfähigkeit bei  $T = 0 \text{ K}$  bei?

- Antwort**: Gerade mal **10!** Nur die Jungs auf den *energetisch höchsten* Plätzen! Warum wohl?
- Einfach: Die energetisch tieferen Elektronen können nichts "*machen*". Elektronen "*machen*" nur dann was, wenn sie von ihrem definierten Zustand auf einen neuen definierten Zustand übergehen, d. h. ihren Zustand *ändern*. Im elektrischen Feld "*Fahrt aufnehmen*" heißt aber, auf einen Zustand mit höherer Energie überzugehen. Damit das geschehen kann, muss aber der energetisch nächst höhere Zustand *frei* sein.
- In anderen Worten: Nur Elektronen, die um sich herum *unbesetzte Zustände* finden, können überhaupt "*was tun*". Der Rest tut *nichts!*

Wir sehen sofort das generelle Prinzip:

**Nur Elektronen im  
Aufweichungsbereich der Fermiverteilung  
sind "handlungsfähig"**

🔺 Fertig. Was wir feststellen ist:

- 1. Die Elektronen an der Fermikante können niemals ganz kleine Energien haben, wie vom Gleichverteilungssatz für tiefe Temperaturen gefordert. Unter die Energie  $E_F$  können sie nicht sinken. Das bedeutet schlicht, dass sie sehr viel schneller im Kristall herumrennen, als vom Gleichverteilungssatz insinuiert.
- 2. Wir können für die Berechnung der *Leitfähigkeit* nicht einfach die Dichte *aller* (nominell freien) Elektronen nehmen, wir müssen schon genauer hinschauen! Denn nur einige wenige an der "Fermikante" sind auserwählt – wieviele genau, hängt von den Feinheiten der **Bandstruktur** ab.

🔺 Damit sind wir beim Stichwort. Wir notieren mal:

**Die Bandstruktur der Elektronen  
in einem Kristall  
bestimmt die elektronischen Eigenschaften**

- Das wird der Ausgangspunkt für die gesamte Halbleiterteil, deswegen schauen wir uns das jetzt mal genauer an.

[Fragebogen](#)

Schnelle Fragen zu 8.1.3