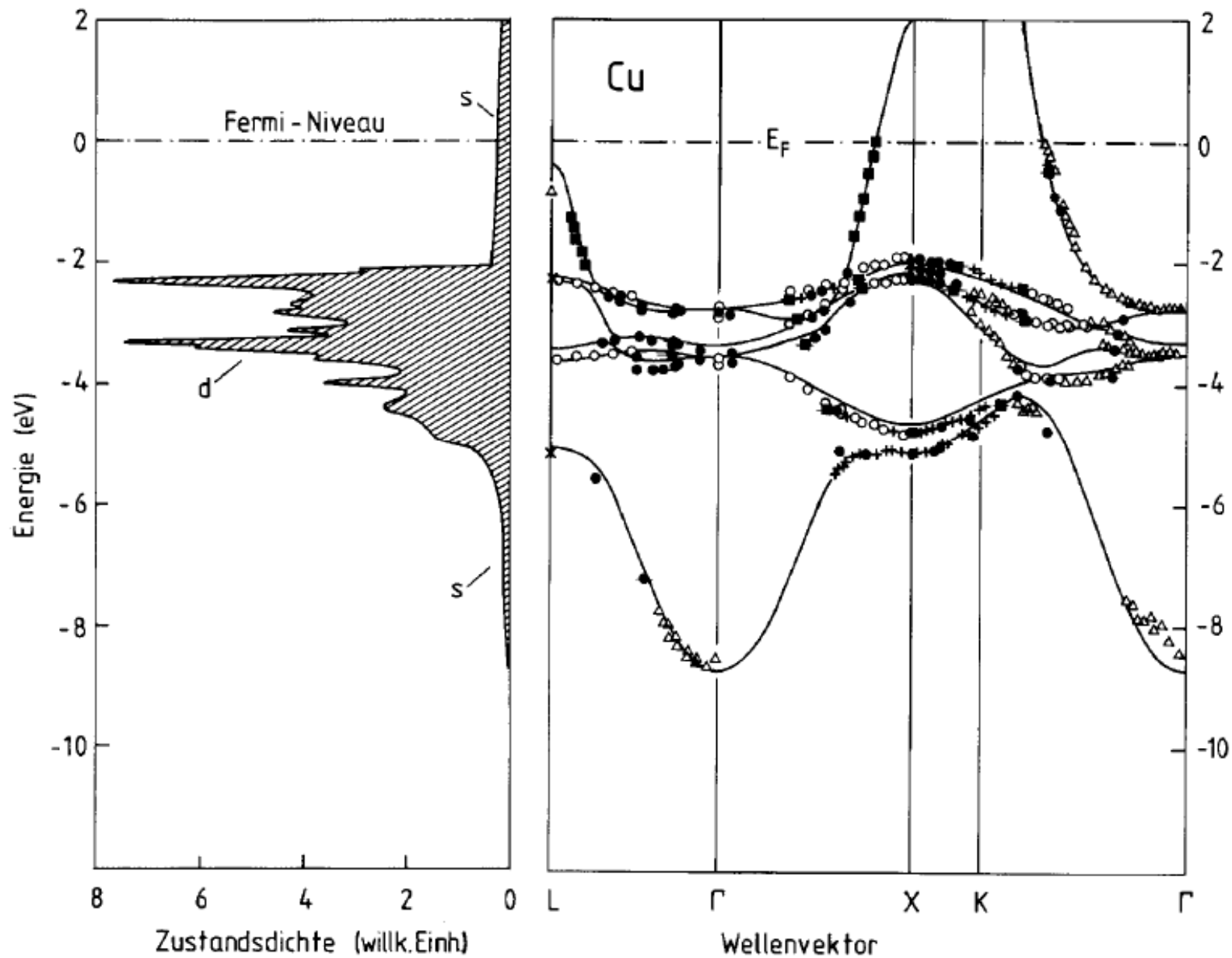


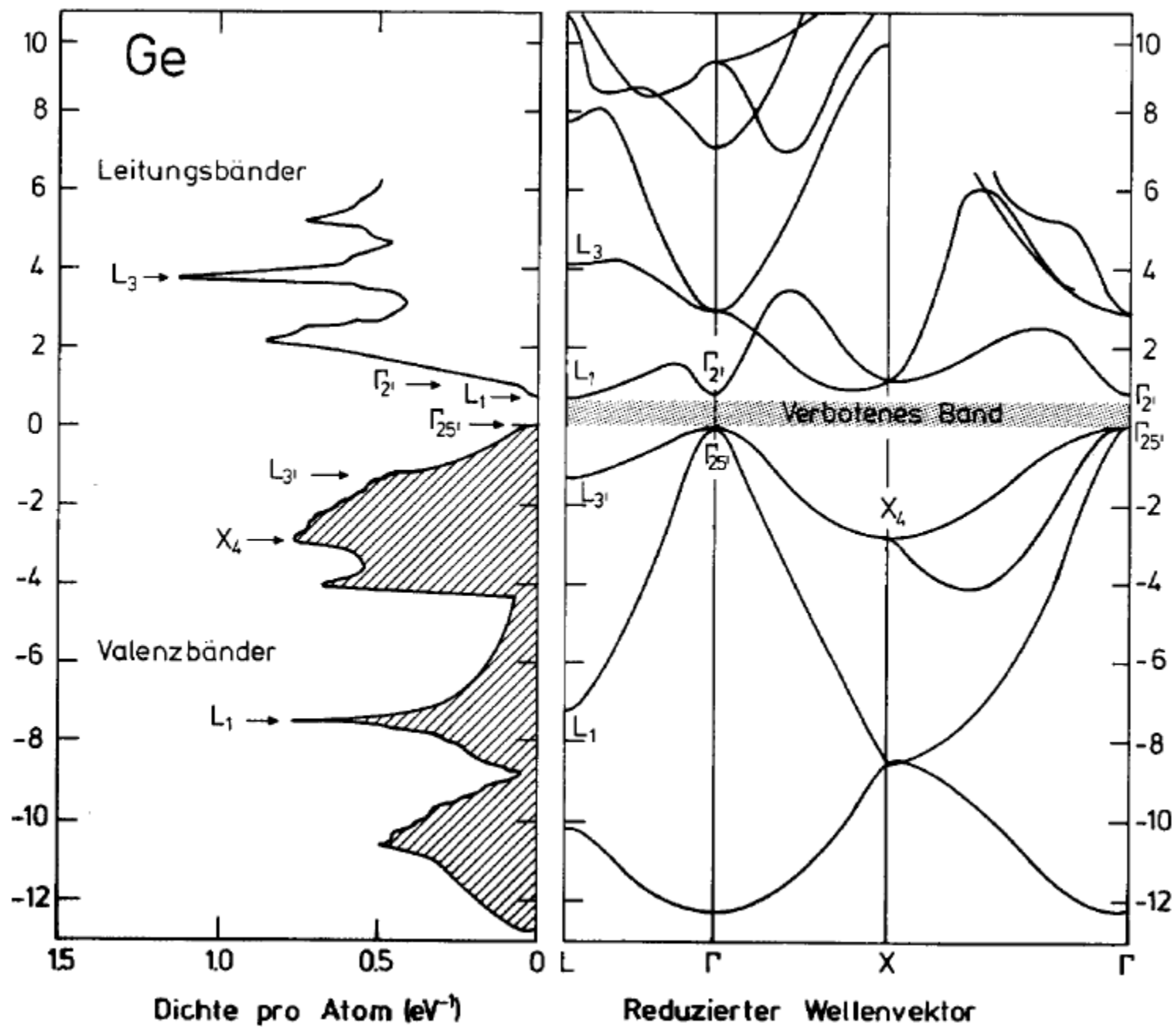
Elektronische Eigenschaften von Festkörpern I

Das freie Elektronengas

Elektronenanteil der spezifischen Wärme

Elektrische und thermische Leitfähigkeit von Metallen





Freies Elektronengas

Näherungen:

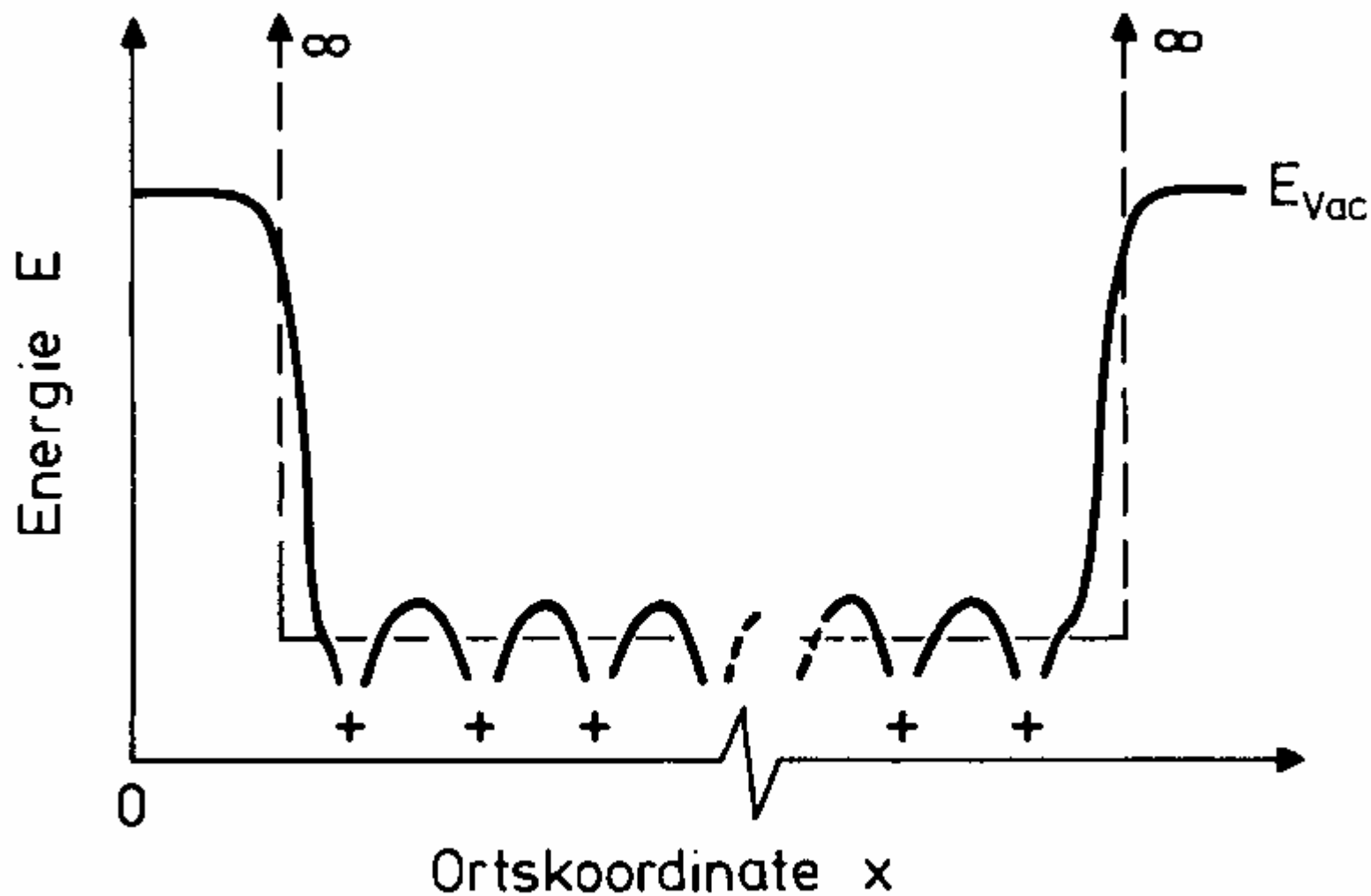
- Einelektronen-Zustände
- keine Wechselwirkung mit Ionenrümpfen (Quasikontinuum)
- Kastenpotential

Ergebnisse:

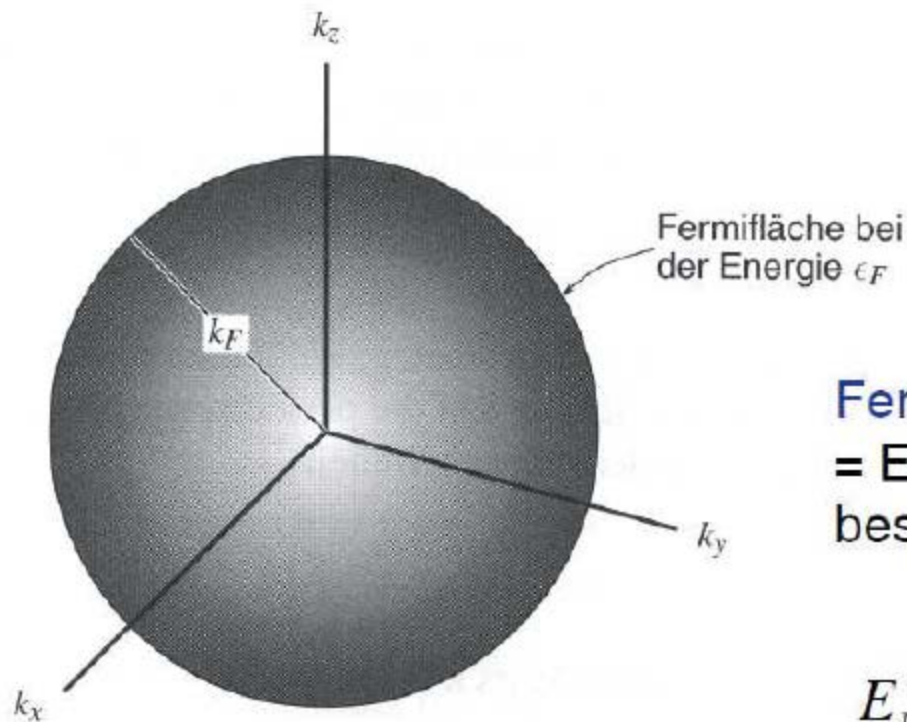
- spezifische Wärme
- elektrische Leitfähigkeit
- Wärmeleitfähigkeit
- Verhalten im Magnetfeld

Periodisches Hintergrundpotential im Kristall

136

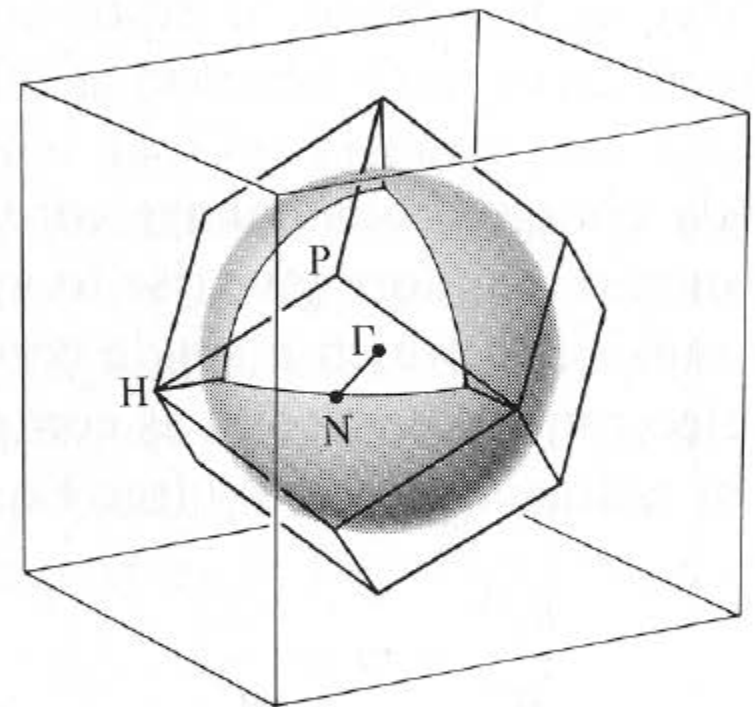
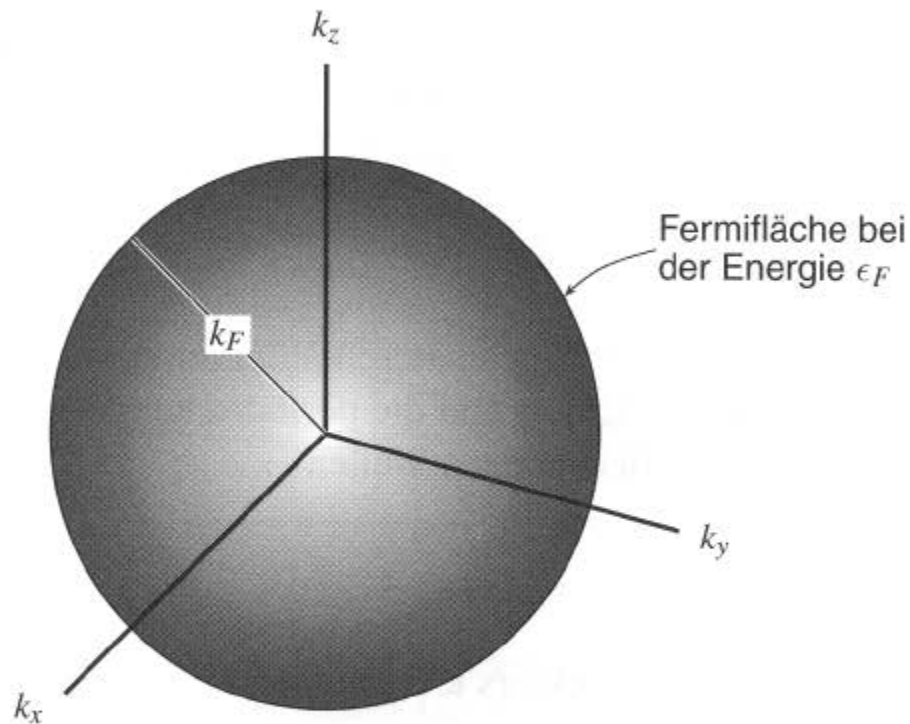


Fermi-Kugel



Fermi-Energie
= Energie des höchsten
besetzten Zustandes

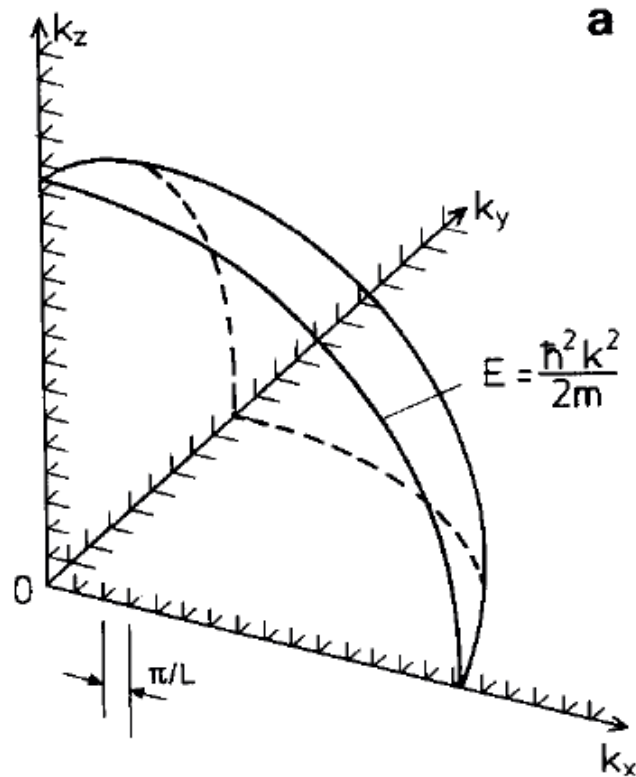
$$E_F = \frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{3\pi^2 N}{V} \right)^{\frac{2}{3}}$$



Alkali-Metalle (einfach!)

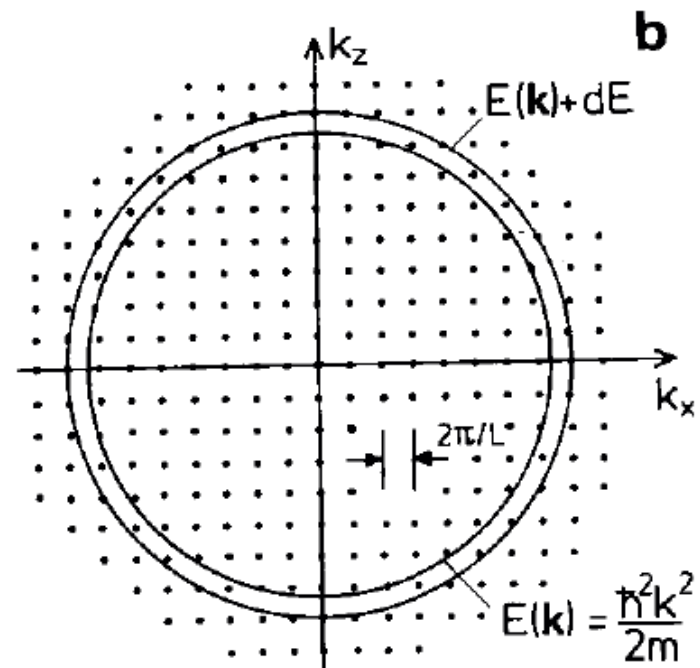
Diskretisierung der Elektronen-Zustände im k Raum

Feste Randbedingungen



Nur Zustände im 1. Oktanten
Zustandsvolumen $(\pi/L)^3$

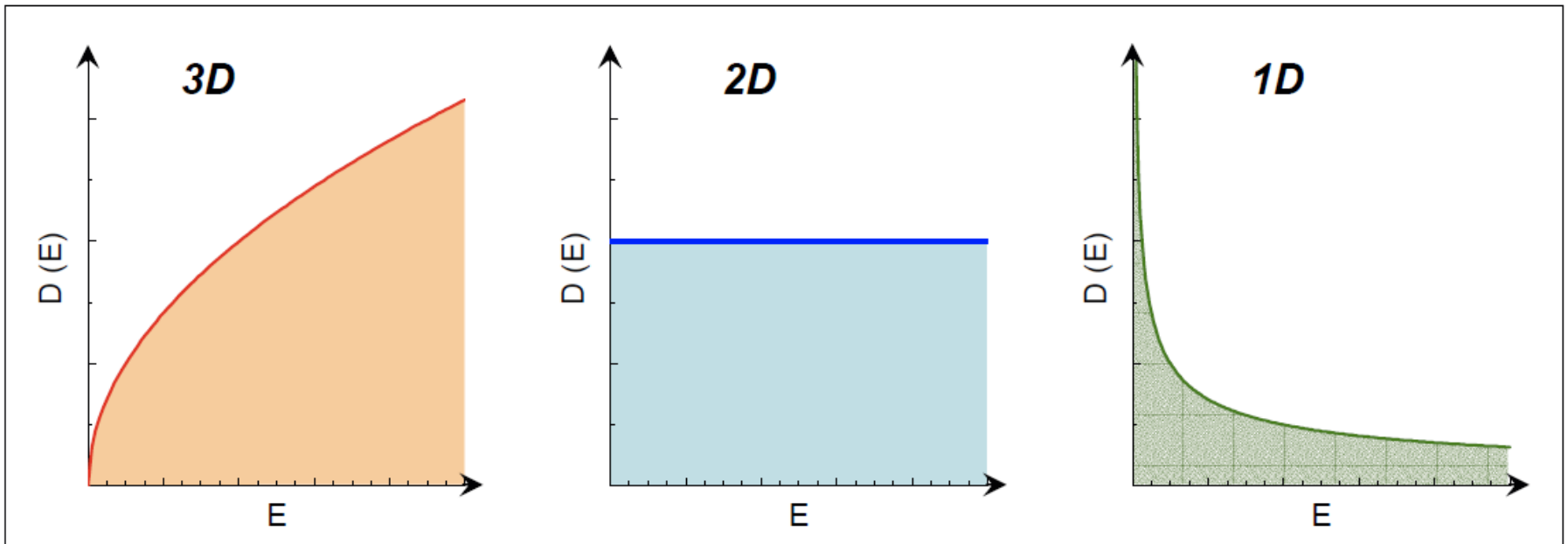
Periodische Randbedingungen

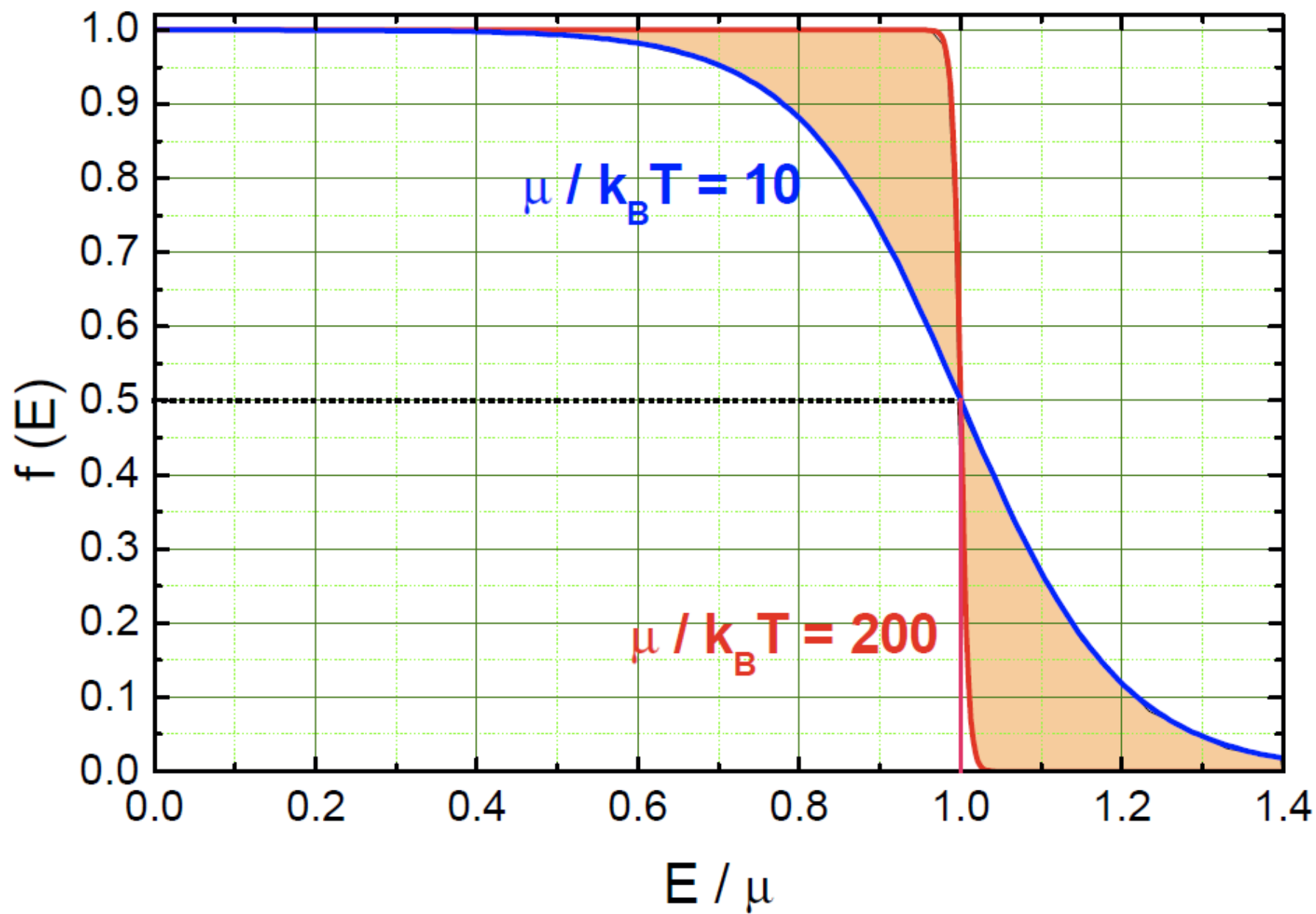


Zustände in der vollen Kugel
Zustandsvolumen $(2\pi/L)^3$

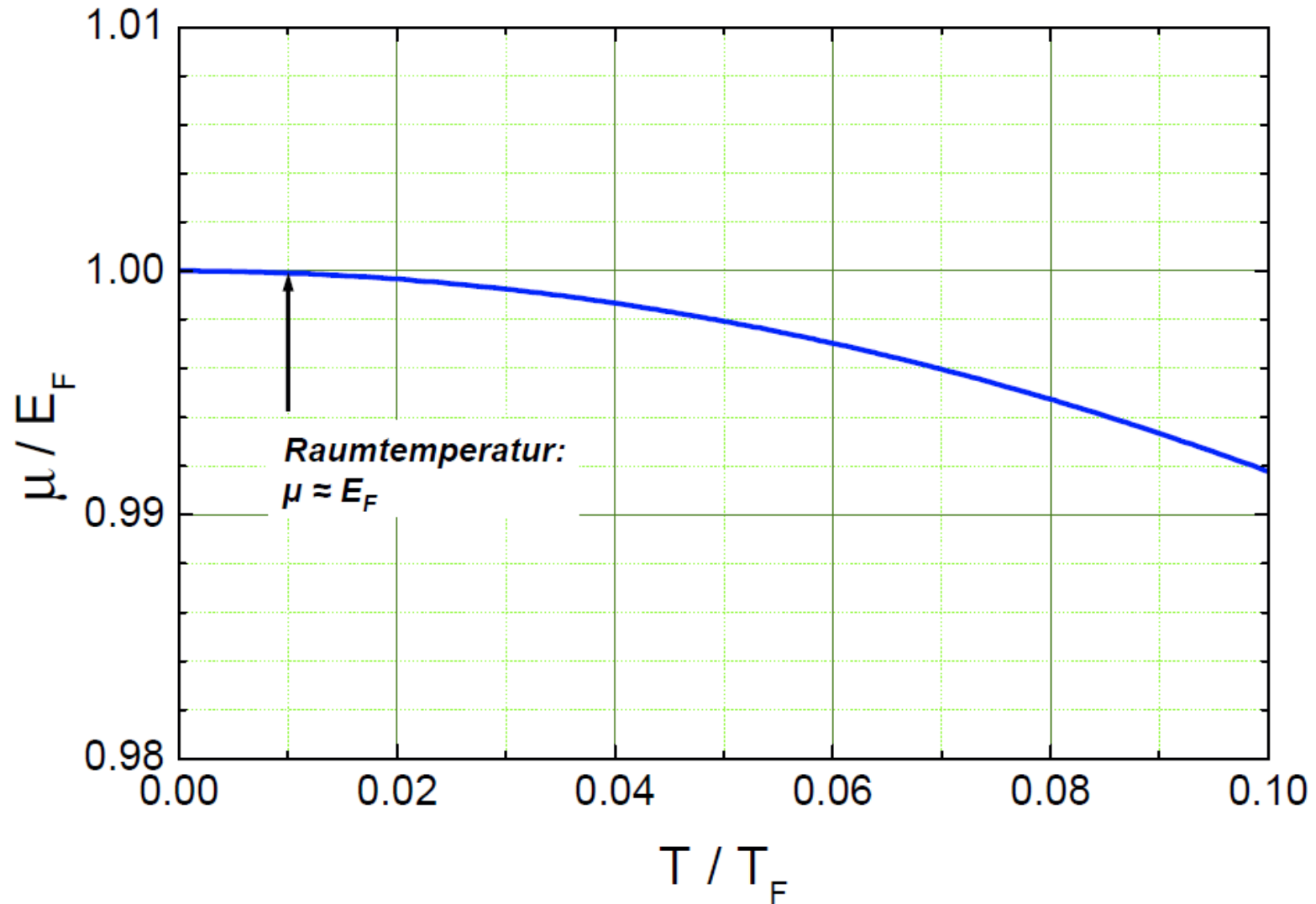
Metall	n (10^{22} cm^{-3})	E_F (eV)	T_F (K)	k_F (10^8 cm^{-1})	v_F (10^8 cm/s)
Li	4.70	4.72	54 800	1.11	1.27
Rb	1.15	1.85	21 500	0.69	0.79
Cu	8.45	7.00	81 200	1.35	1.55
Au	5.90	5.51	63 900	1.20	1.38
Be	24.2	14.14	164 100	1.92	2.21
Zn	13.10	9.39	109 000	1.56	1.79
Al	18.06	11.63	134 900	1.74	2.00
Pb	13.20	9.37	108 700	1.57	1.81

Elektronische Zustandsdichte in 3D, 2D, 1D

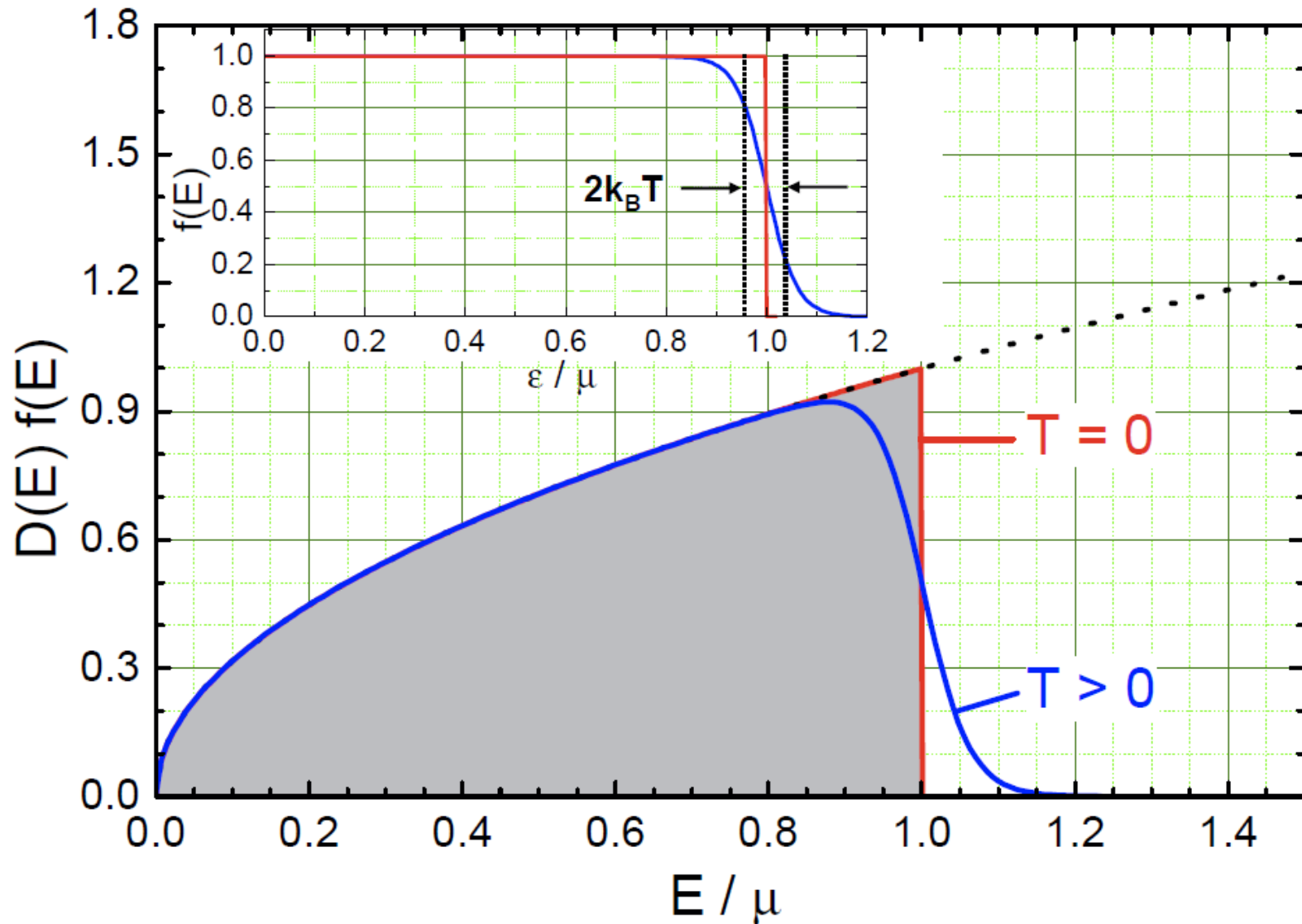


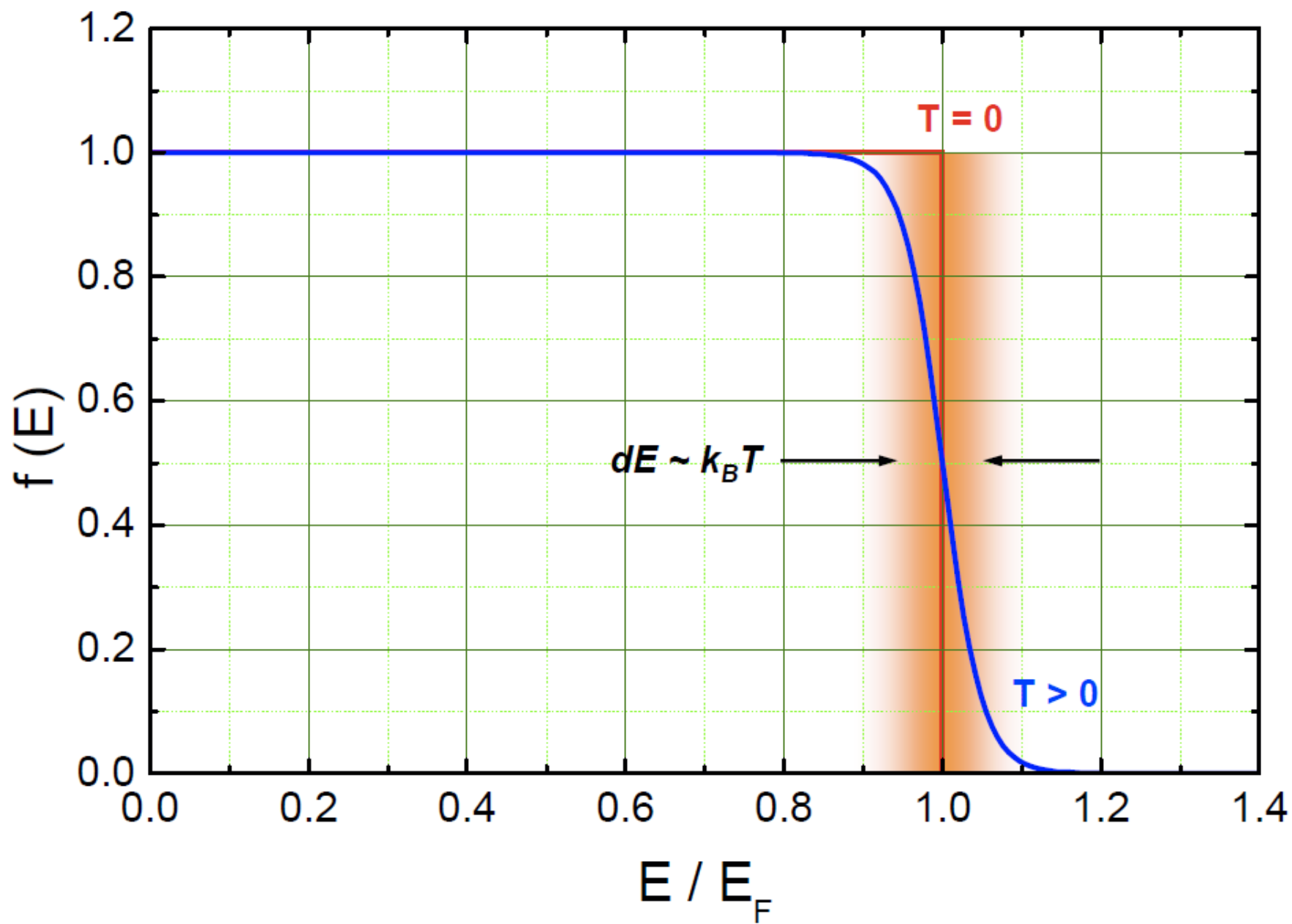


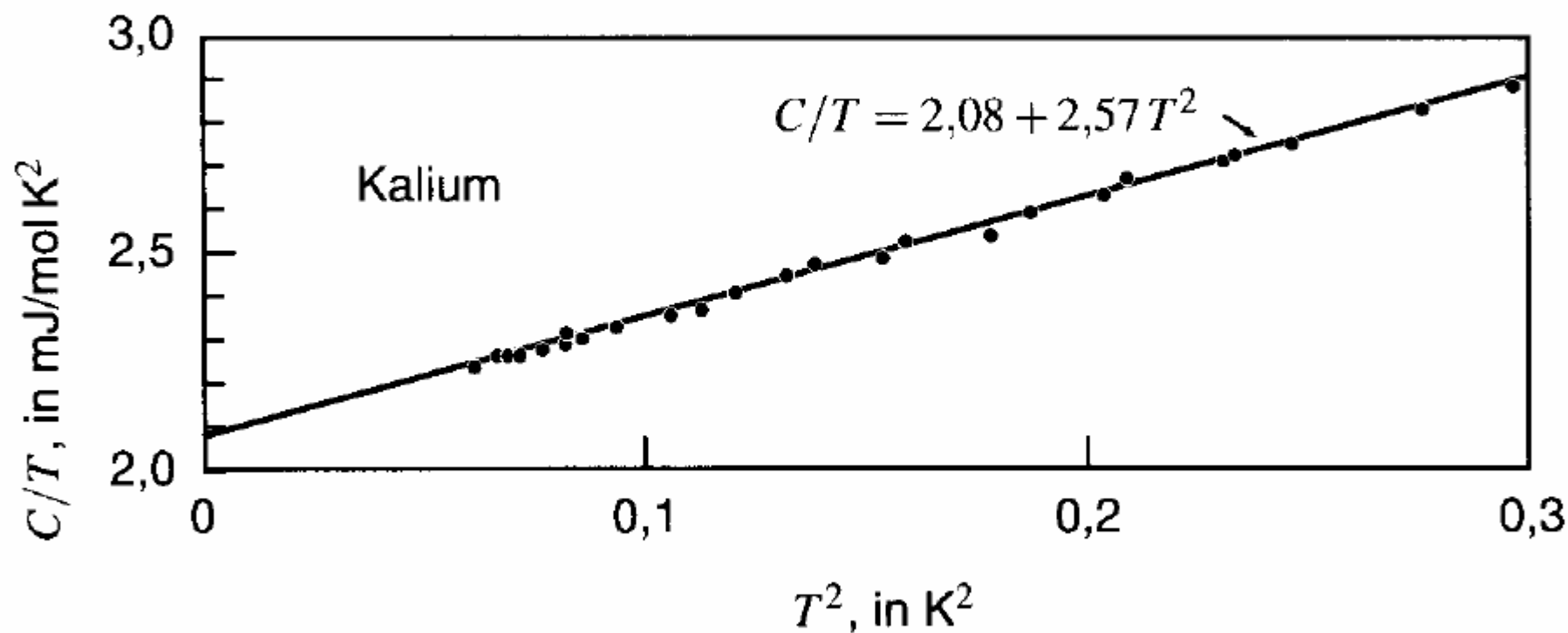
Temperaturabhängigkeit des chemischen Potentials



Elektronischen Zustandsdichte mal Besetzungswahrscheinlichkeit

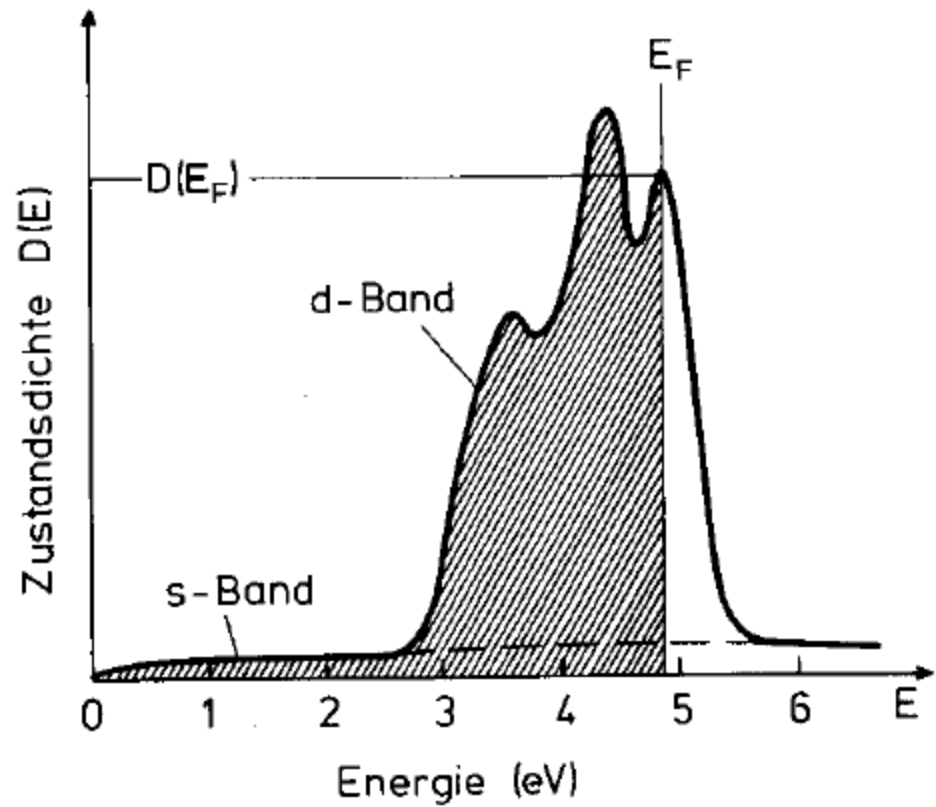
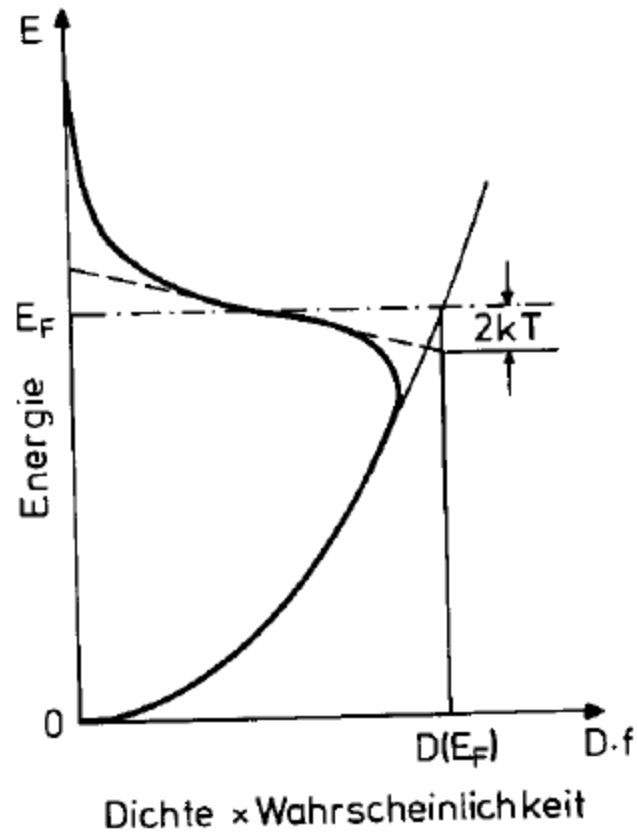




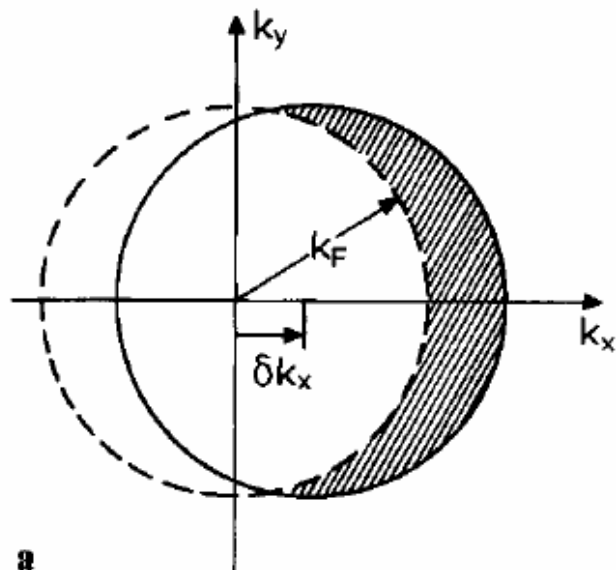


Metall	γ_{exp} (10^{-3} J / mol K)	γ_{theor} (10^{-3} J / mol K)	$\gamma_{\text{exp}}/\gamma_{\text{theor}}$
Li	1.63	0.749	2.18
Na	1.38	1.094	1.26
K	2.08	1.668	1.25
Rb	2.41	1.911	1.26
Cs	3.20	2.238	1.43
Fe	4.98	0.498	10
Co	4.98	0.483	10.3
Ni	7.02	0.458	15.3
Cu	0.695	0.505	1.38
Ag	0.646	0.645	1.00
Au	0.729	0.642	1.14
Sn	1.78	1.41	1.26
Pb	2.98	1.509	1.97

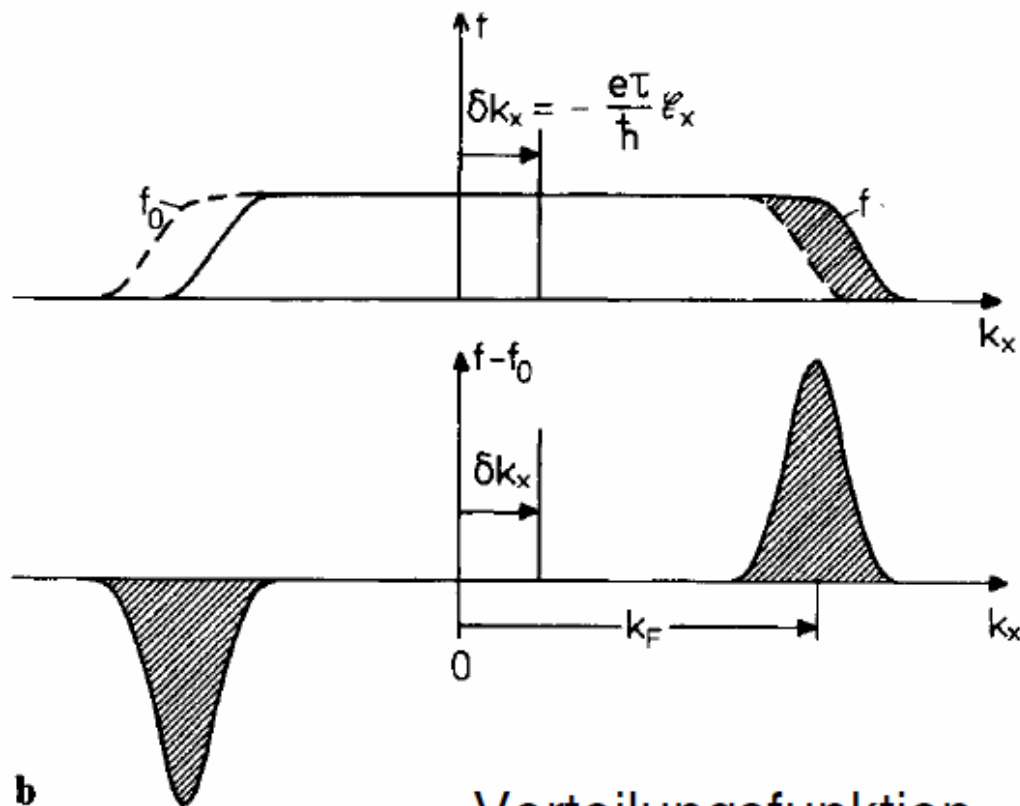
Zustandsdichte für lokalisierte und delokalisierte Elektronen



Fermi-Kugel bei konstanter Spannung

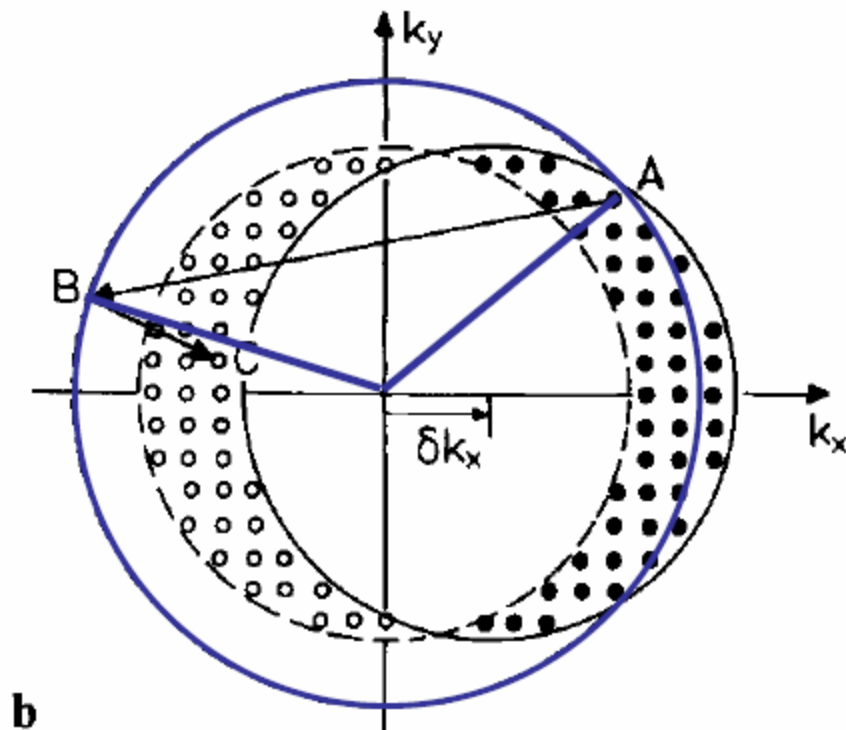
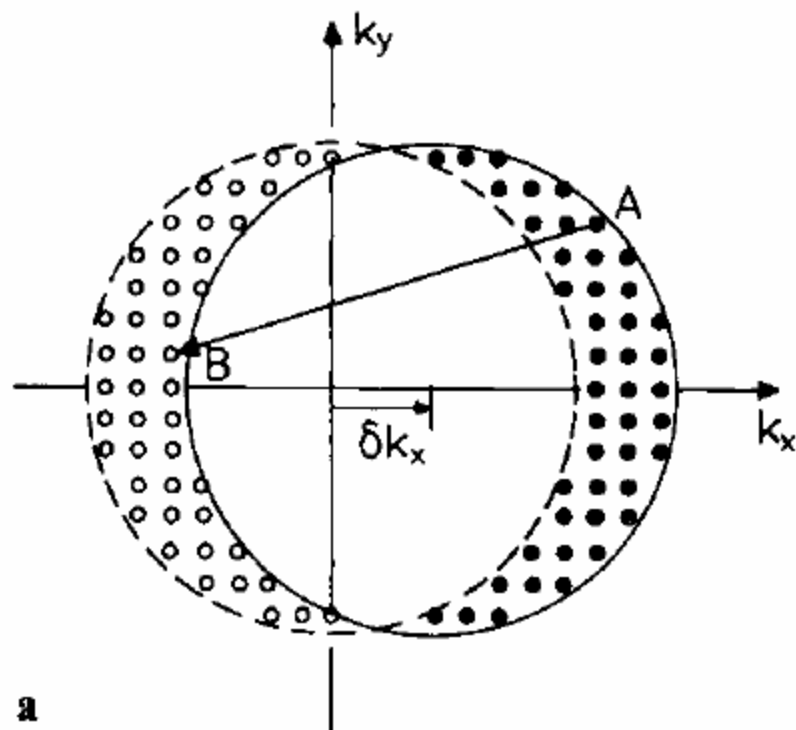


Verschiebung der
Fermi-Kugel bei
angelegter Spannung



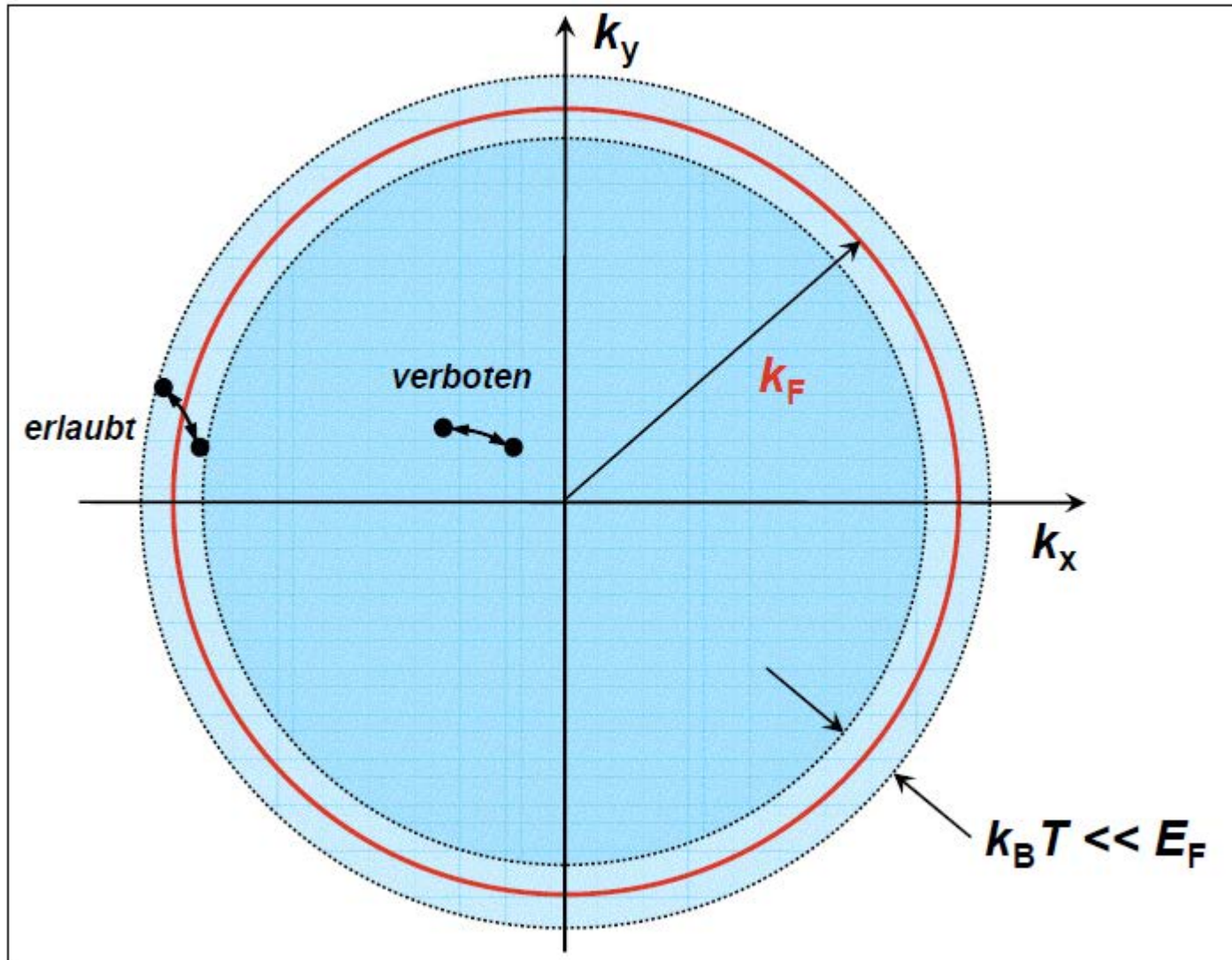
Verteilungsfunktion

Fermi-Kugel nach Abschalten der Spannung



Relaxation nach Abschaltung des Feldes:
inelastische Stöße

Streuprozesse sind nur an der Oberfläche der Fermikugel erlaubt



Zahlenwerte für Kupfer

bei Zimmertemperatur $\sigma \cong 6 \cdot 10^5 (\Omega \text{cm})^{-1}$

mit 1 Leitungselektron pro Cu-Atom: $n = \frac{N_A}{V_{\text{mol}}} = \frac{N_A}{m_{\text{mol}} / \rho} = 7,1 \text{ cm}^{-3}$

dann $\tau = \frac{m \sigma}{n e^2} = 2,5 \cdot 10^{-14} \text{ s}$

extrem reines Cu $\frac{\sigma(4 \text{ K})}{\sigma(300 \text{ K})} \cong 10^5$

nur τ ist T-abhängig $\tau(4 \text{ K}) \cong 2,5 \cdot 10^{-9} \text{ s}$

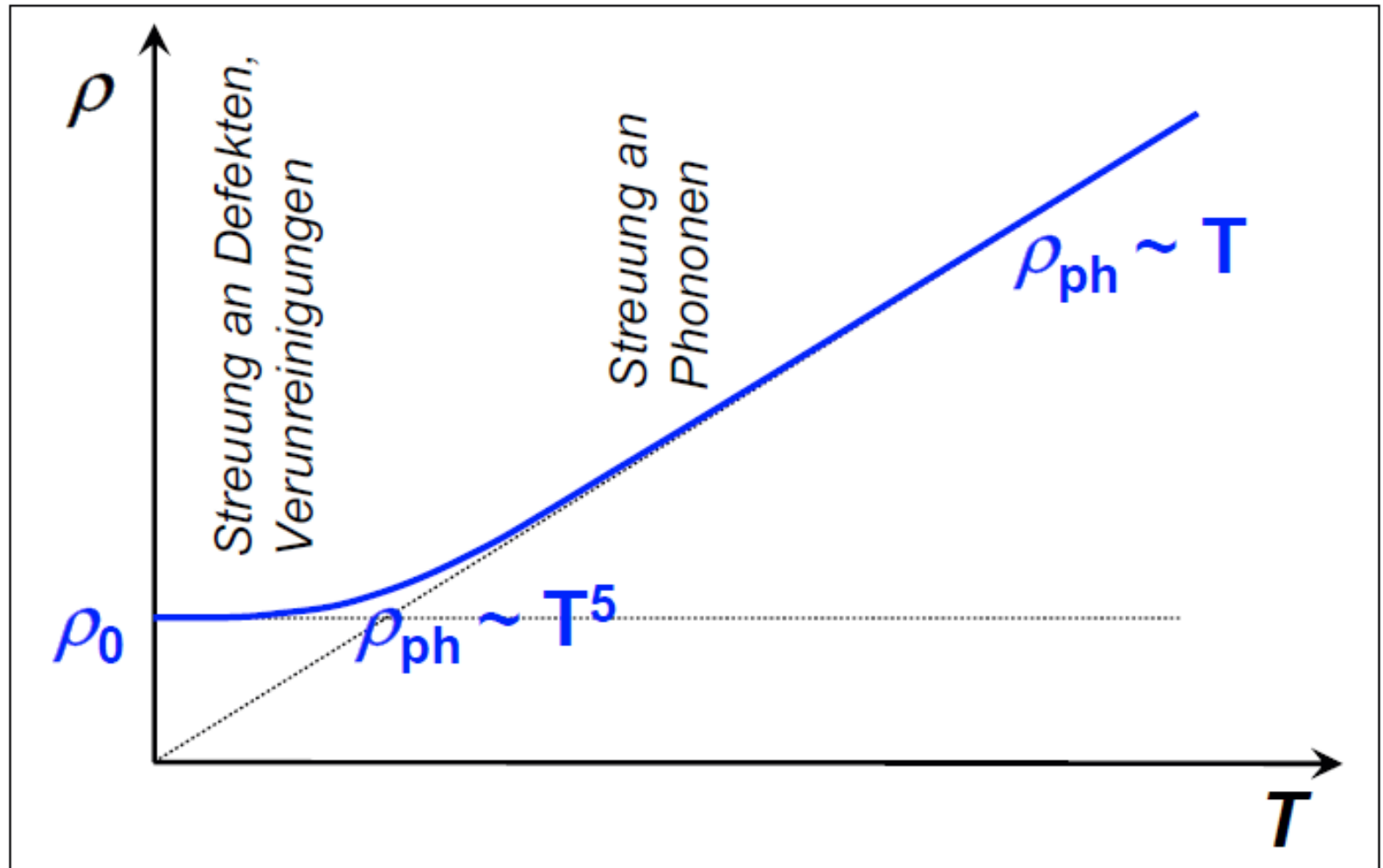
mittlere freie Weglänge

$$l = v_F \tau = 1,6 \cdot 10^8 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \tau = 40 \text{ nm (300 K) bzw. 4 mm (4 K)}$$

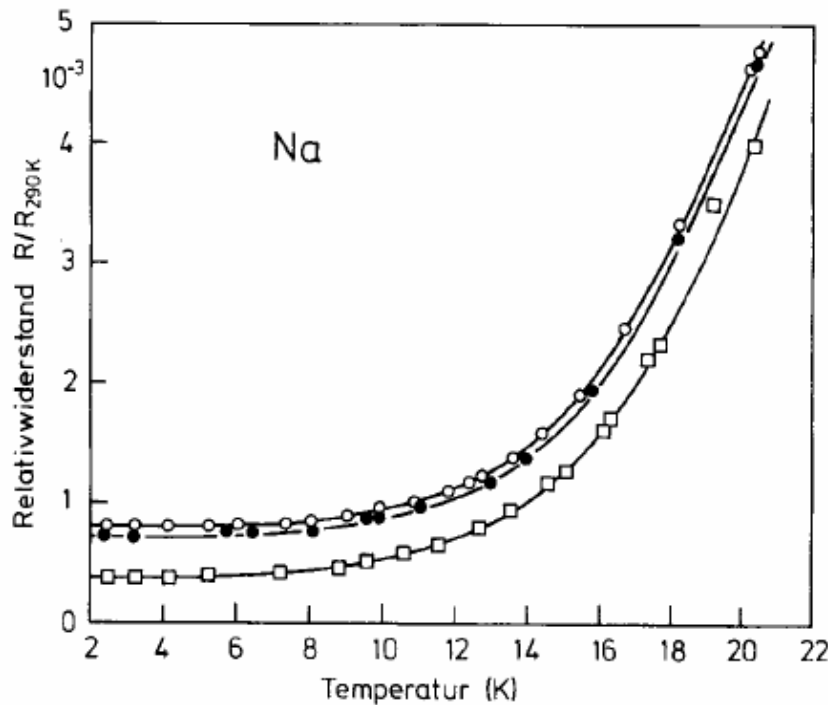
Driftgeschwindigkeit $j = 3 \cdot 10^3 \text{ Acm}^{-2}$, $E = j / \sigma = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Vcm}^{-1}$

$$\delta v = \frac{e}{m} E \tau = 2 \text{ mm/s} \approx 10^{-9} v_F$$

Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes in Metallen

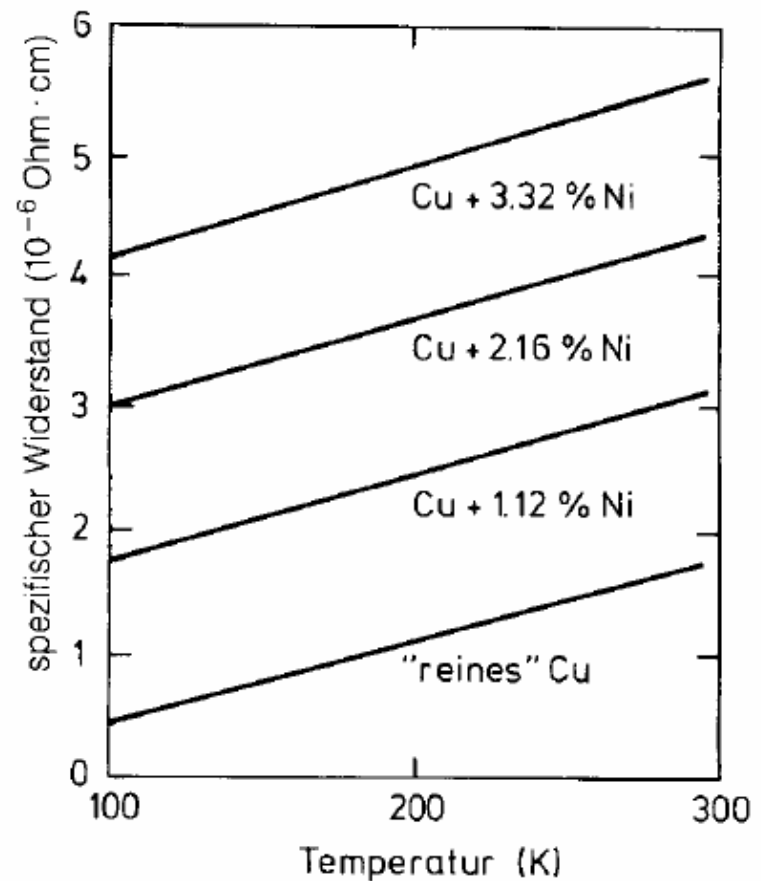


Spezifischer Restwiderstand

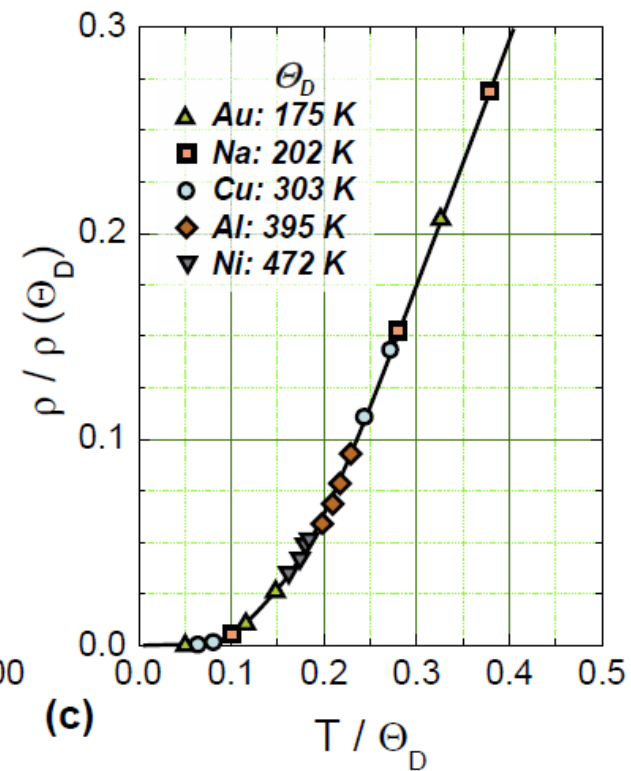
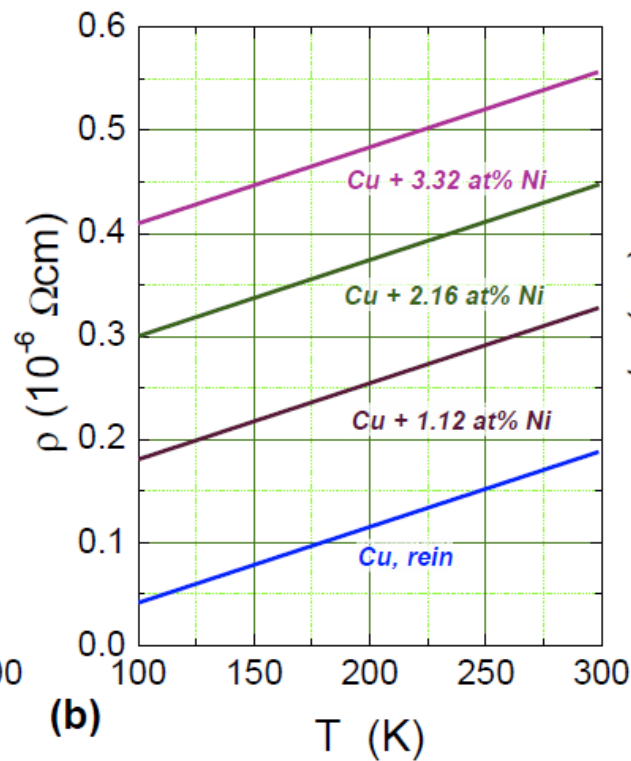
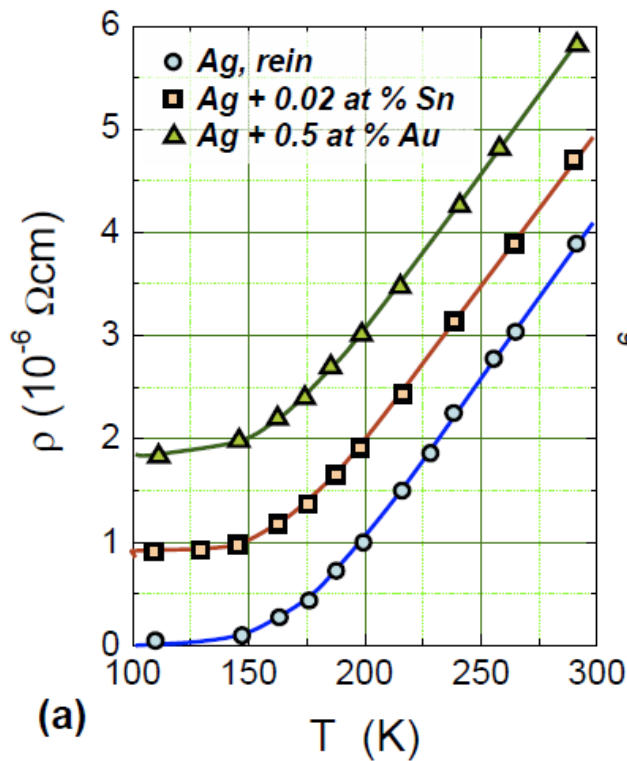


Restwiderstand von Na (normiert auf RT) für drei verschiedene Störstellenkonzentrationen

spezifischer Widerstand von reinem Cu und Cu/Ni-Legierungen



Beispiele für Temperaturabhängigkeit des spezifischen Widerstands in Metallen



Wärmeleitfähigkeit und Lorenzzahl

Metall	κ (W/cm K)	L (10^{-8} W/ Ω K ²)	Metall	κ (W/cm K)	L (10^{-8} W/ Ω K ²)
Al	2.38	2.14	Na	1.38	2.12
Ag	4.18	2.31	Pb	0.38	2.47
Au	3.10	2.35	Pt	—	2.51
Cd	1.00	2.42	Sn	0.64	2.52
Cu	3.85	2.23	Nb	0.52	2.90
Fe	0.80	2.61	Sb	0.64	2.57
In	0.88	2.58	W	—	3.04
Mo	—	2.61	Zn	1.13	2.31

Wärmeleitung in Metallen

