

# Polariton Dynamik

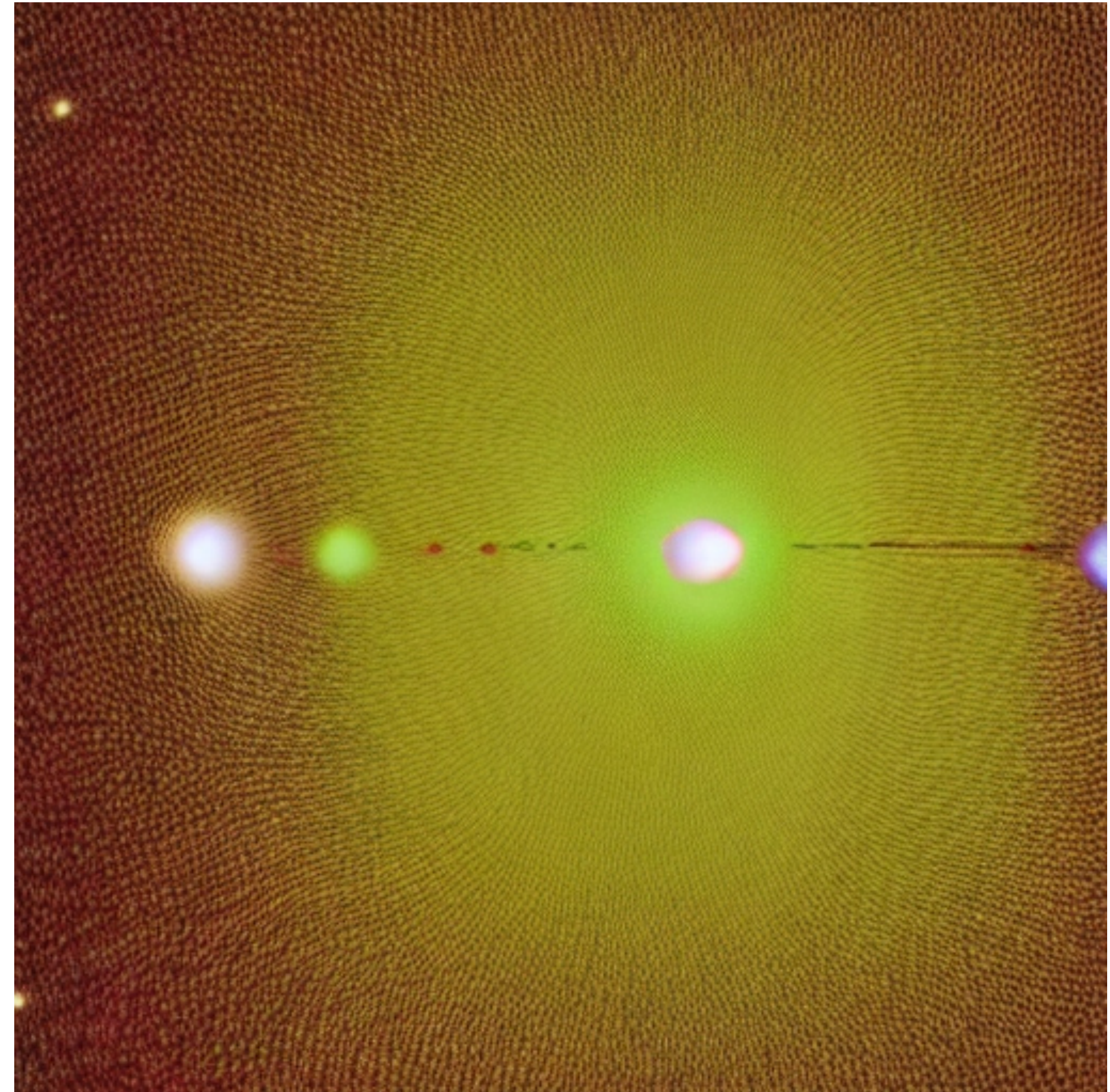
Quantisierte Licht-Materie Wechselwirkung

**Aycke Roos**

# Kurzer Abriss

- wesentliche Aspekte der Quantenphysik
- Beschreibung von Festkörpern
- Wie funktioniert starke Licht-Materie-Wechselwirkung in der Quantenphysik?

➔ Polaritonen!

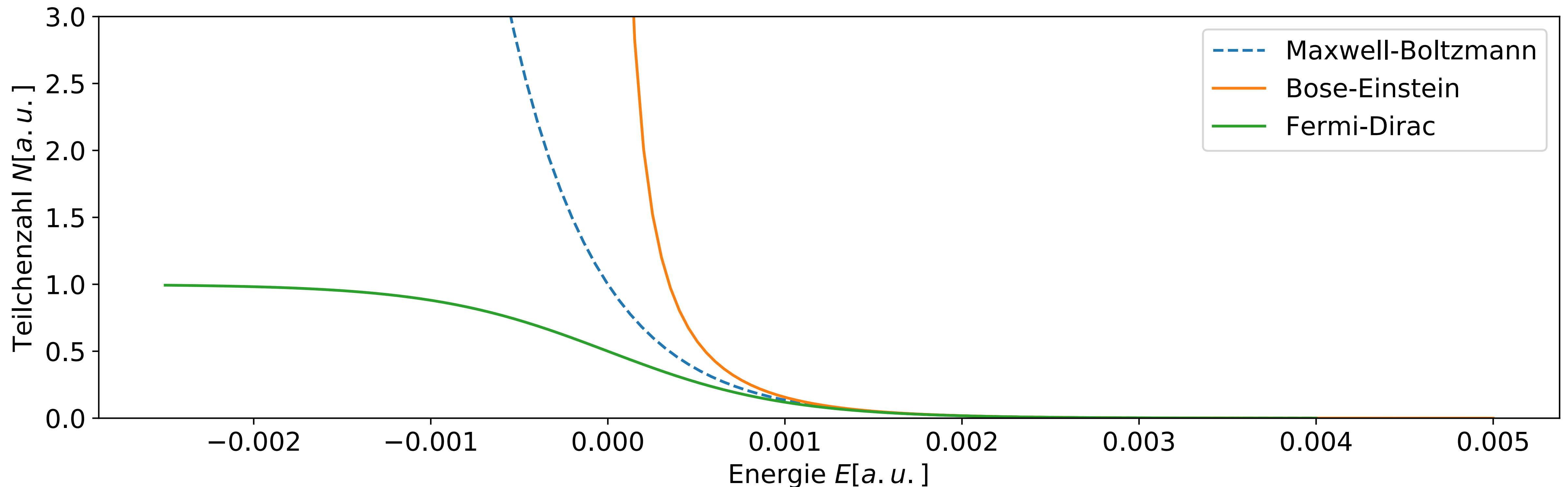


# Quantenphysik - wichtige Aspekte

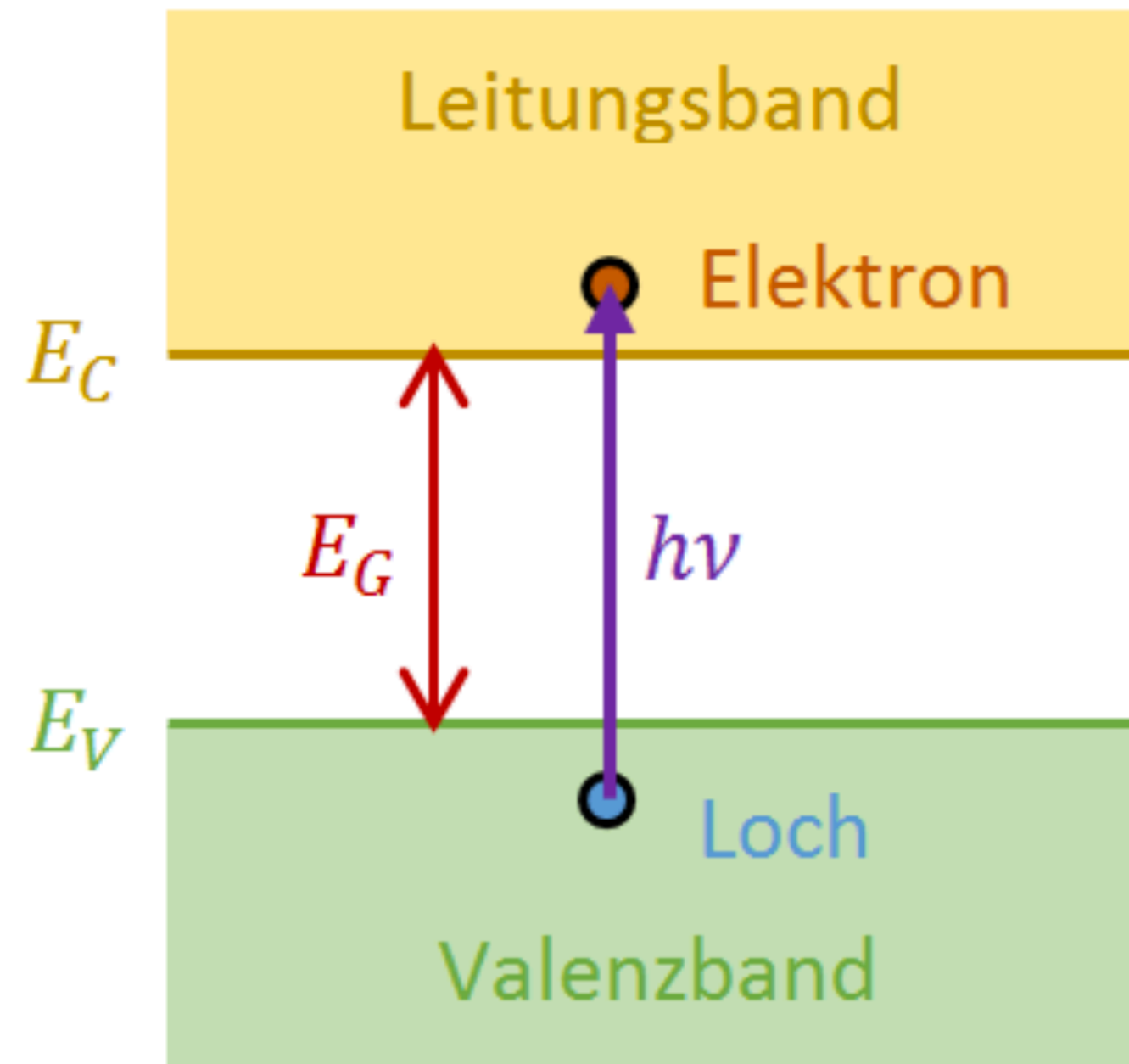
- Beschreibung kleinster Teilchen
  - z.B. Elektronen, Photonen (Licht)
- Welle-Teilchen-Dualismus
  - Energie der Teilchen bestimmt die Frequenz der Welle
- Zeitevolution eines Teilchens lässt sich nicht vorhersagen
  - oft statistische Beschreibung von Systemen

# Vielteilchensysteme

- Fermionen (z.B. Elektronen): folgen der Fermi-Dirac Verteilung  
→ Pauli-Prinzip
- Bosonen (z.B. Photonen): folgen der Bose-Einstein Verteilung  
→ Bose-Einstein Kondensation



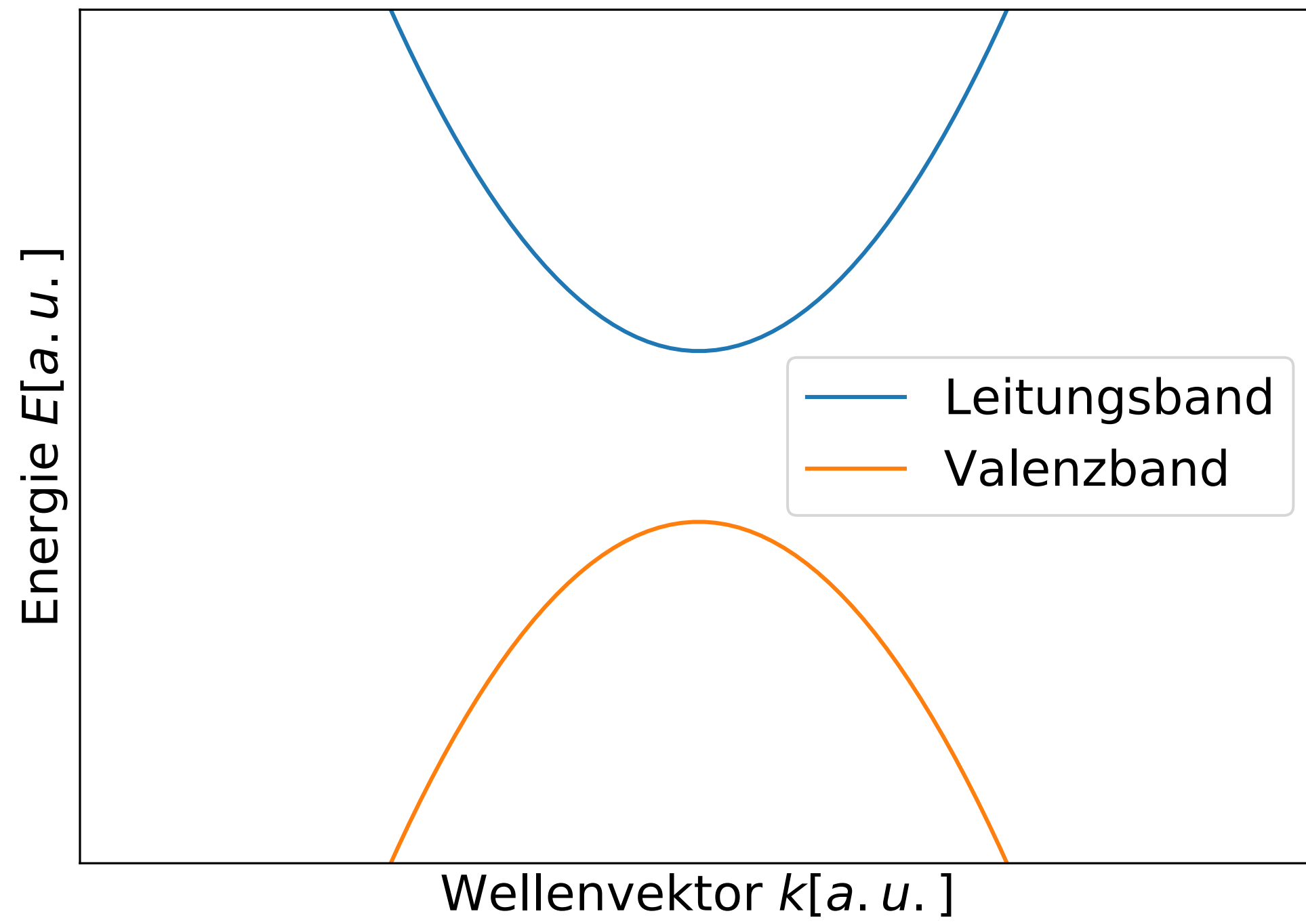
# Elektronische Struktur von Halbleitern



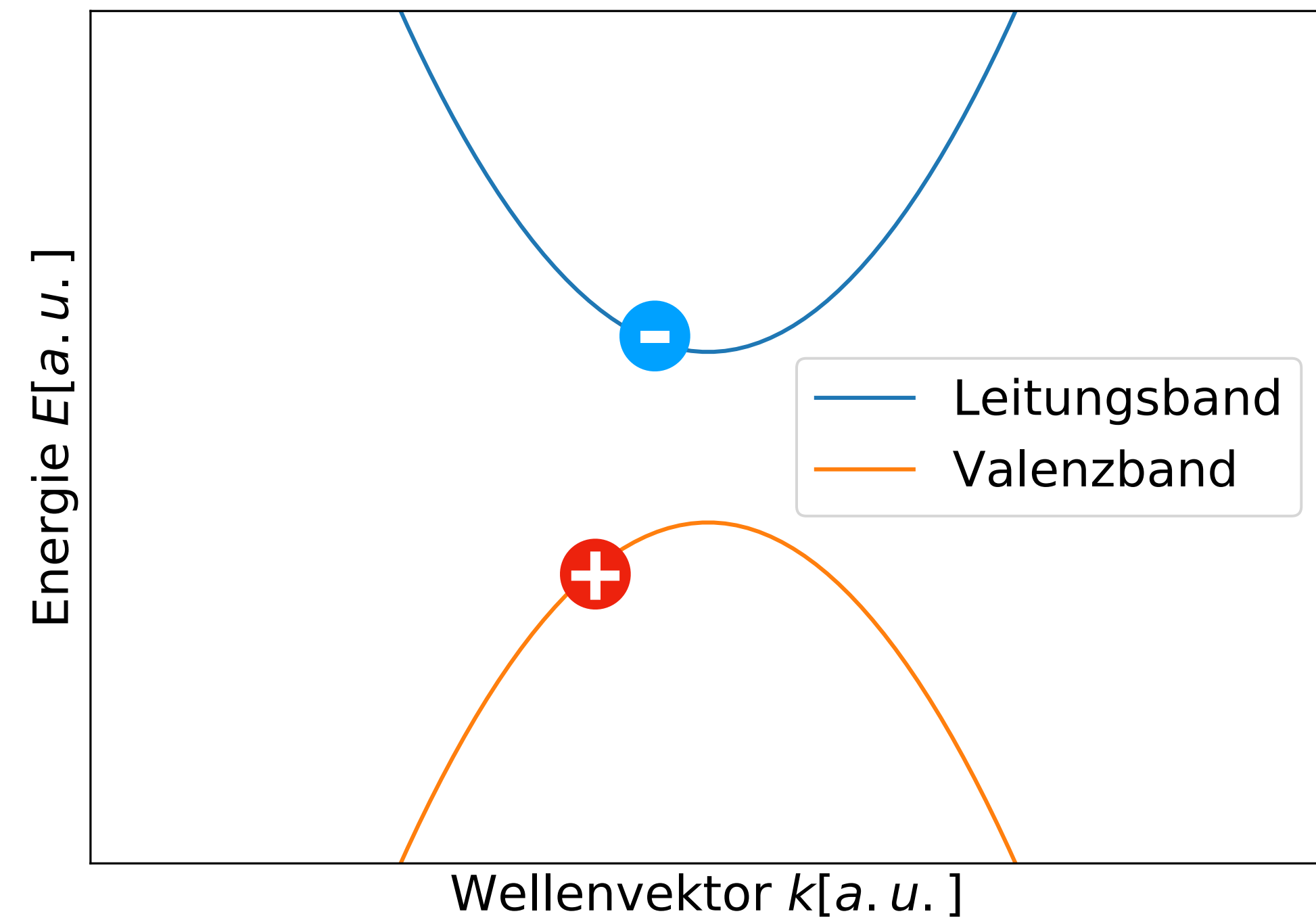
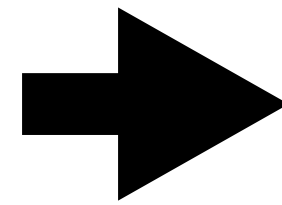
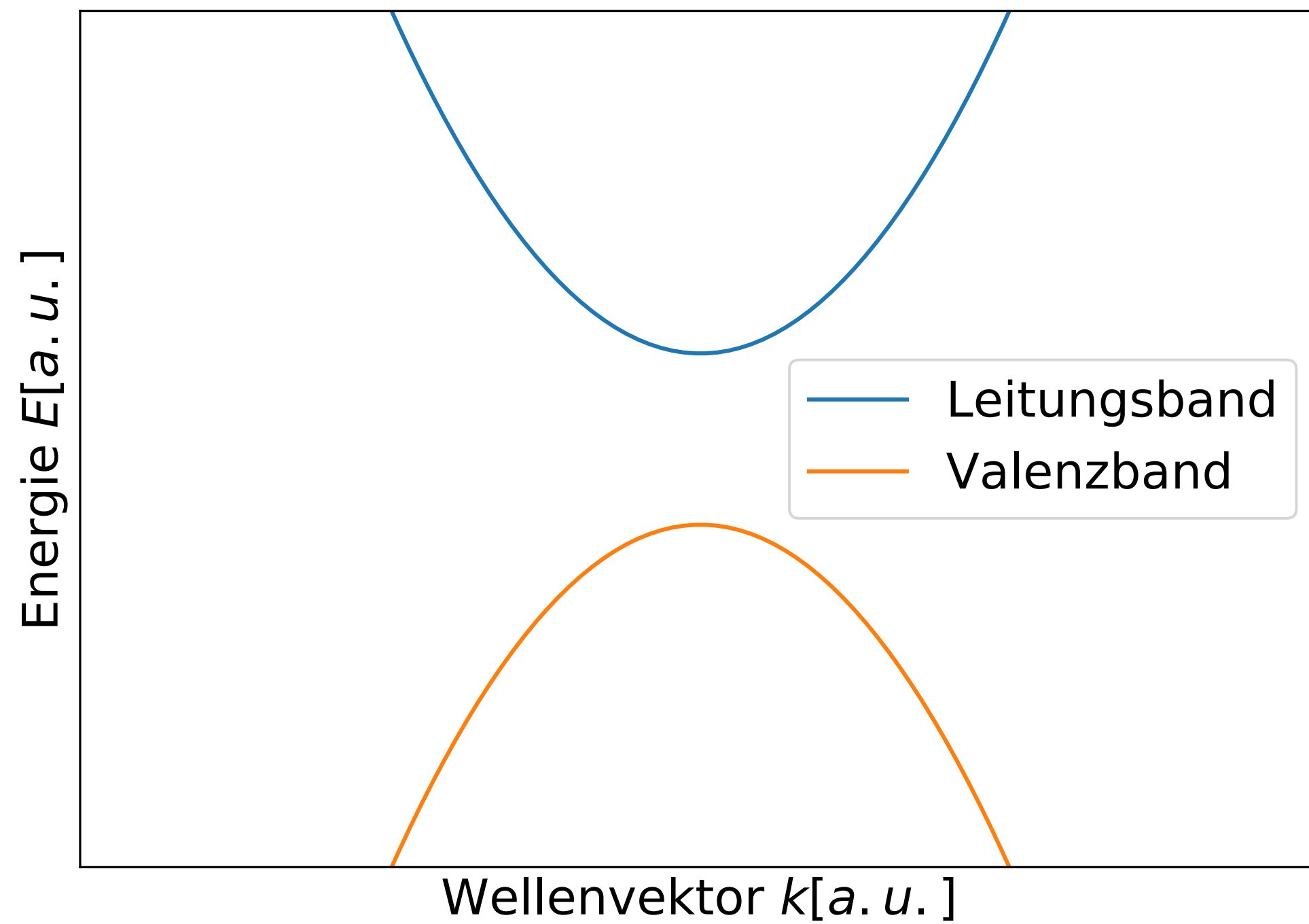
- Elektronen können von vollem Valenzband in leeres Leitungsband angeregt werden
  - freies Elektron in Leitungsband
  - freies Loch im Valenzband
  - beide Teilchen sind Fermionen

M. Dähne - Experimentalphysik 5 Skript

# Exzitonen

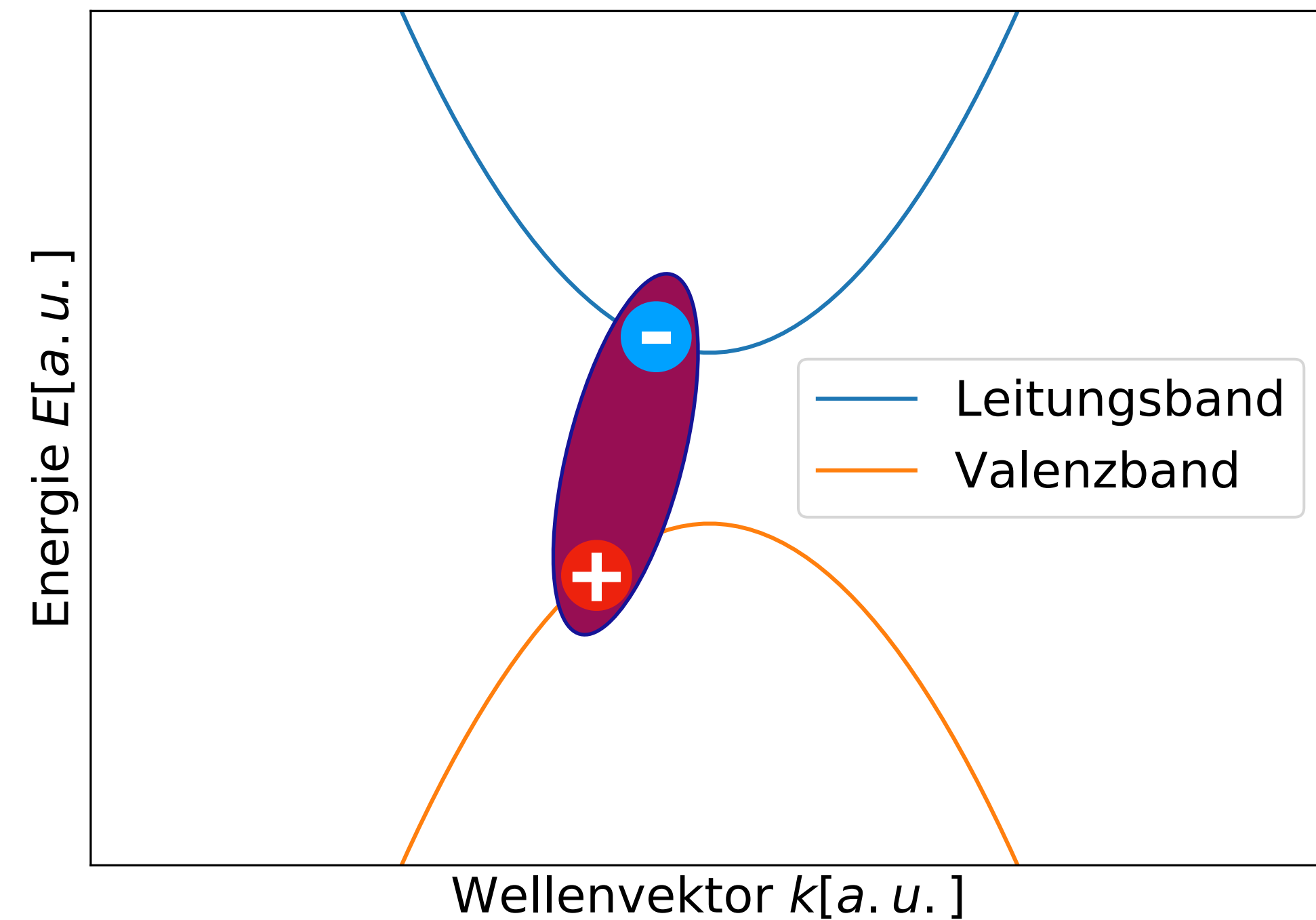
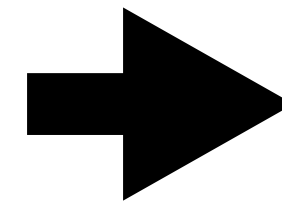
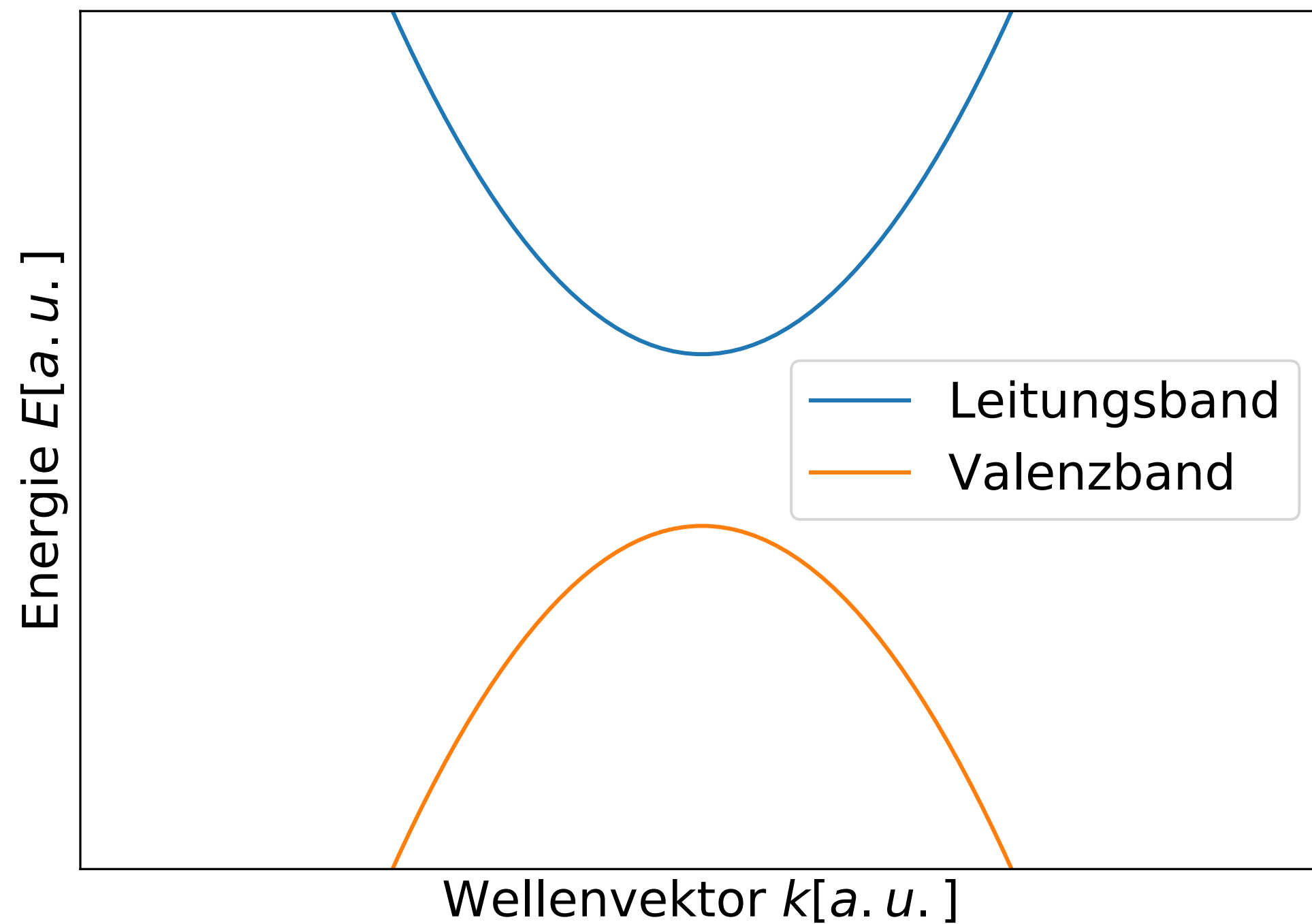


# Exzitonen



- Anregung erzeugt freie Elektronen und Löcher

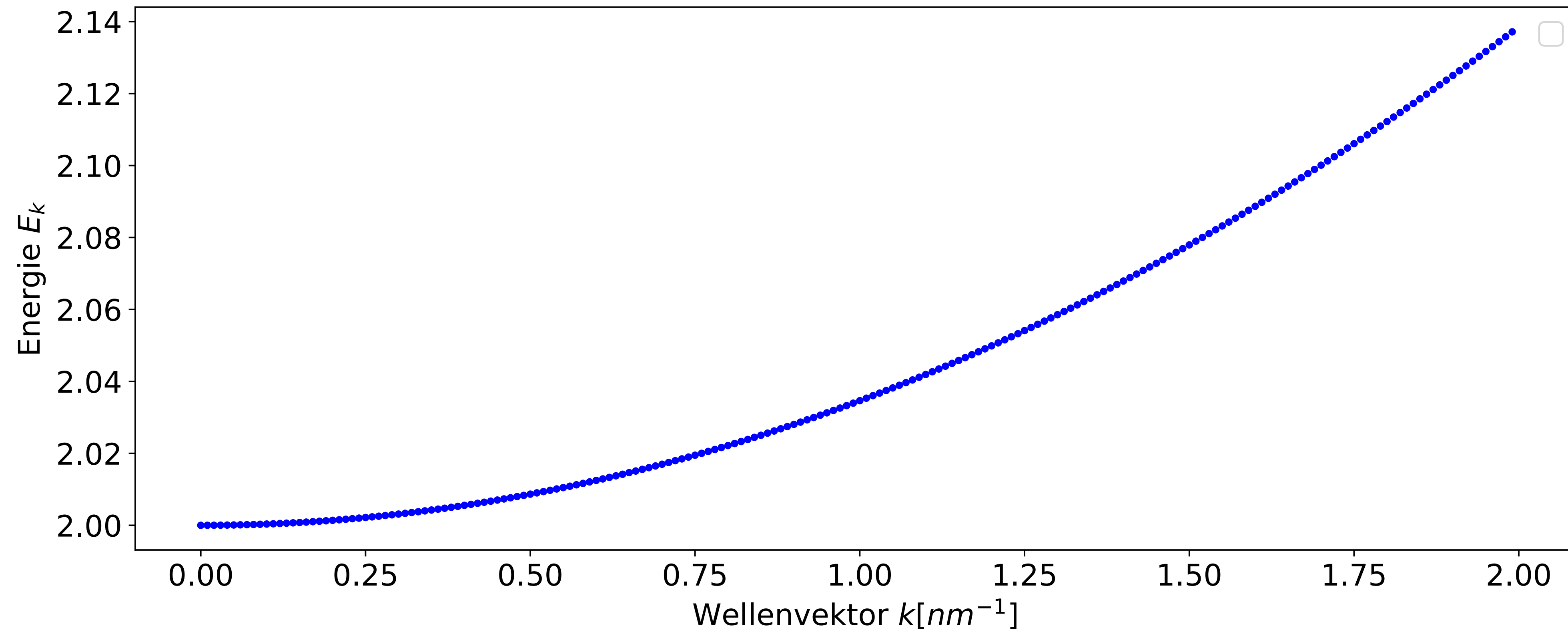
# Exzitonen



- Anregung erzeugt freie Elektronen und Löcher
- Elektronen und Löcher ziehen sich an (Coulomb-WW)
- Beschreibung von Elektron-Loch Paaren als ein Teilchen: Exziton

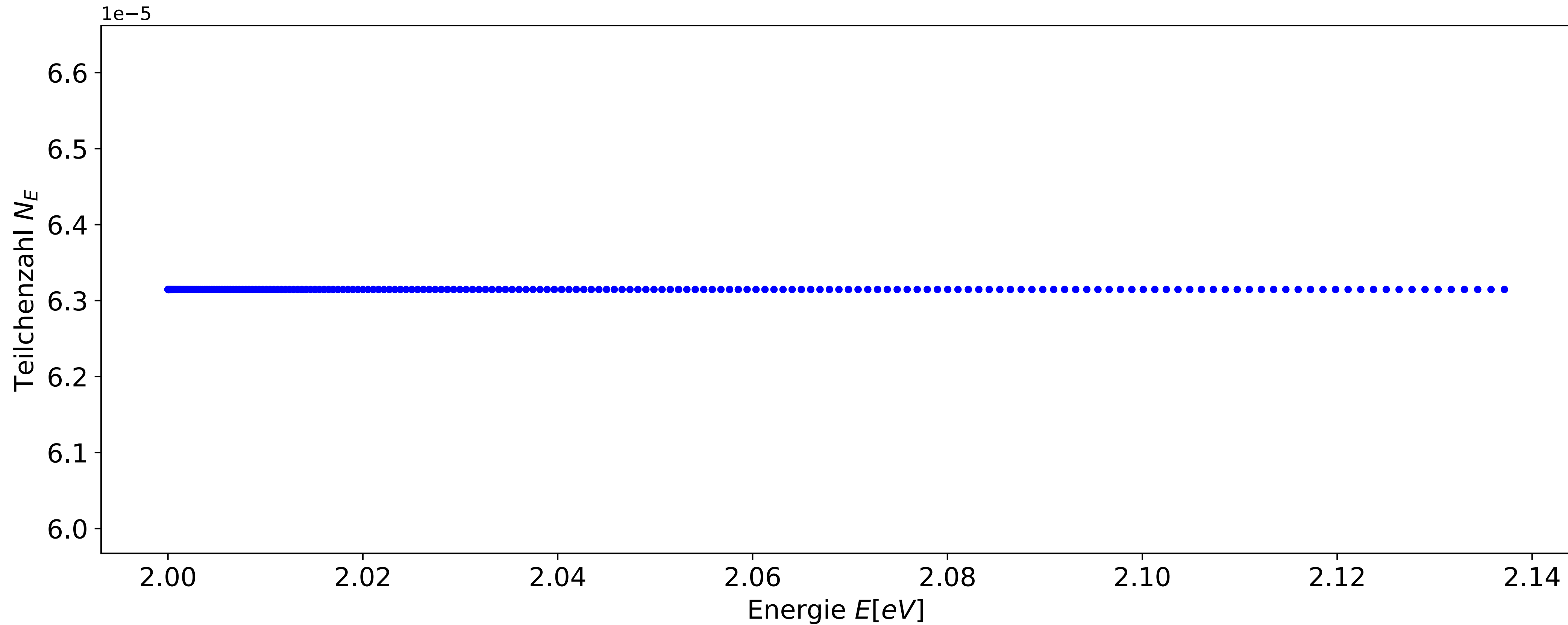


# Exzitonen



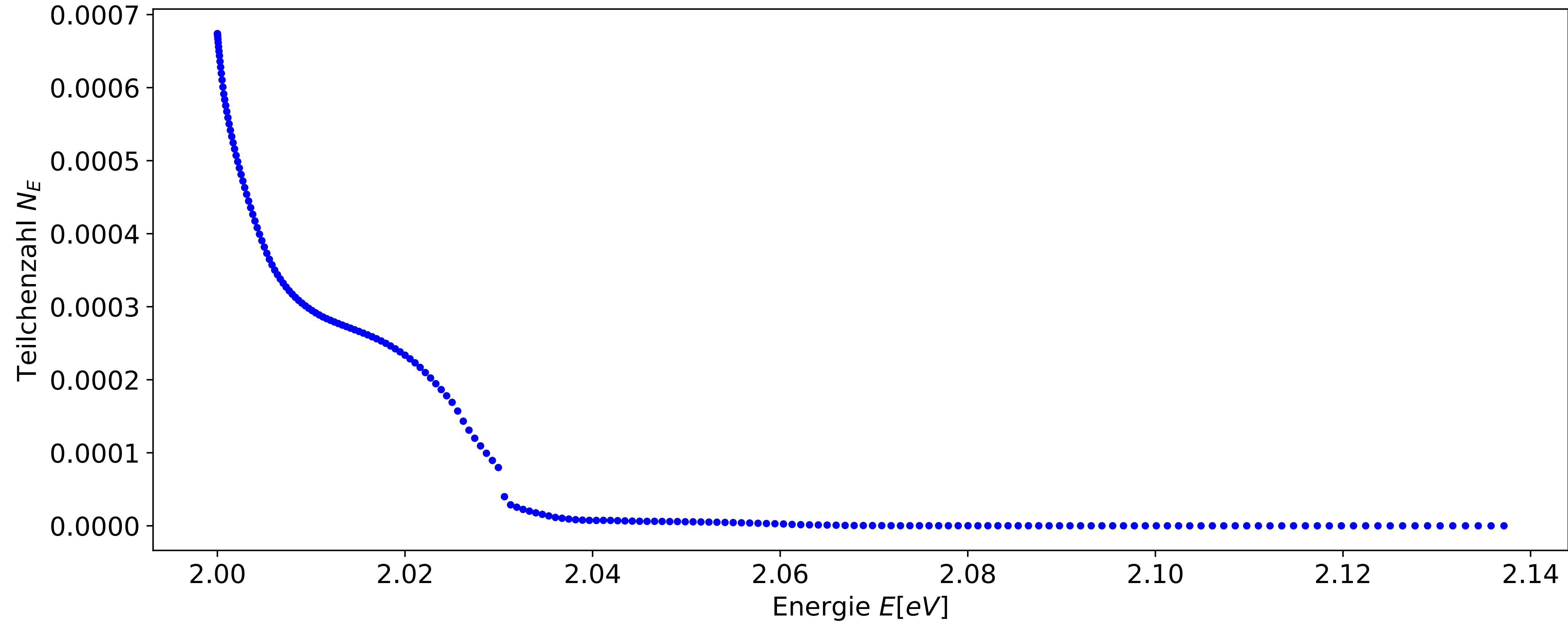
- Exzitonen haben eine quadratische Dispersion
- Oft simuliert man die Teilchenzahl als Funktion der Energie

# Exzitonen

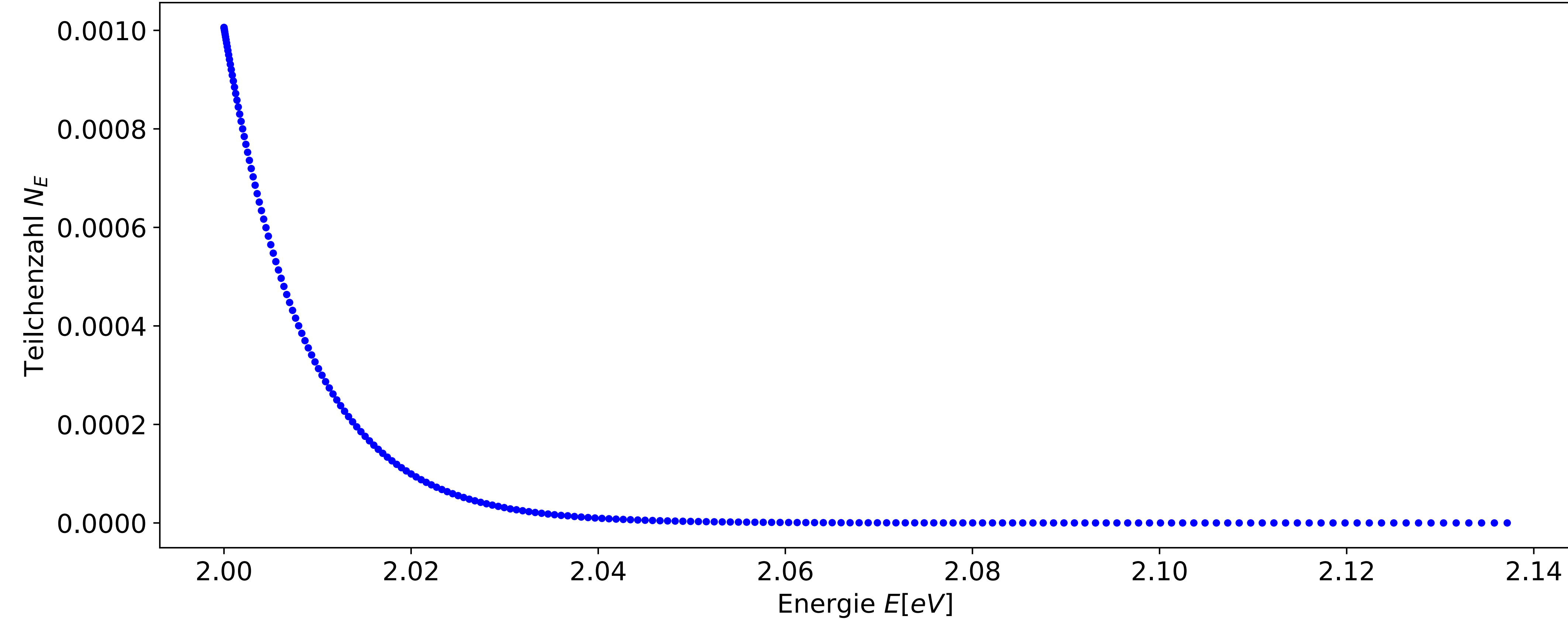


- Initialer Zustand: Gleichverteilung
- Dynamik durch Phononenstreuung (Wechselwirkung mit dem Festkörperrgitter)

# Exzitonen

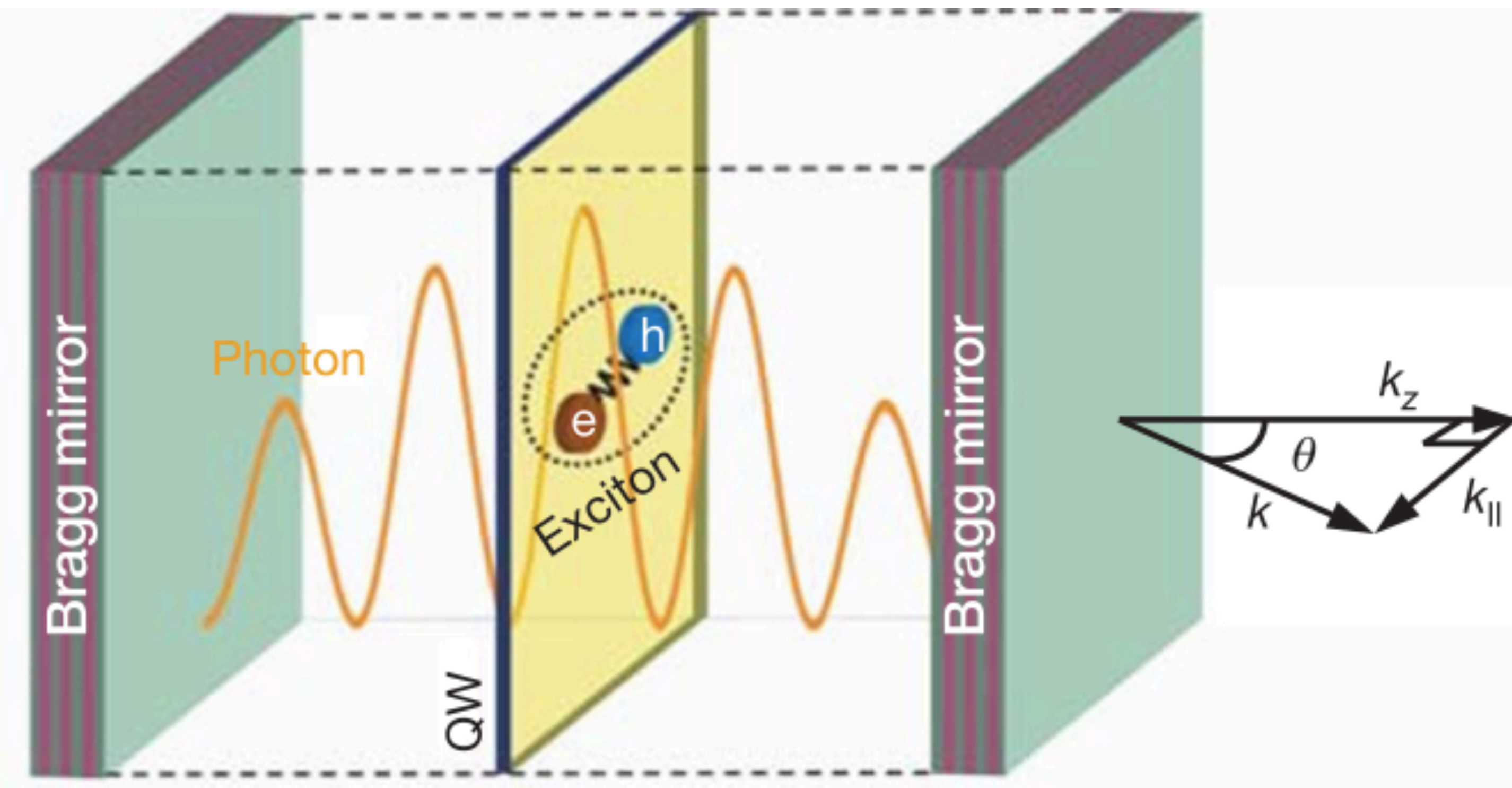


# Exzitonen



- Exzitonen sind in erster Näherung bosonisch
- Sie thematisieren in eine Bose-Einstein-Verteilung

# Licht-Materie Wechselwirkung

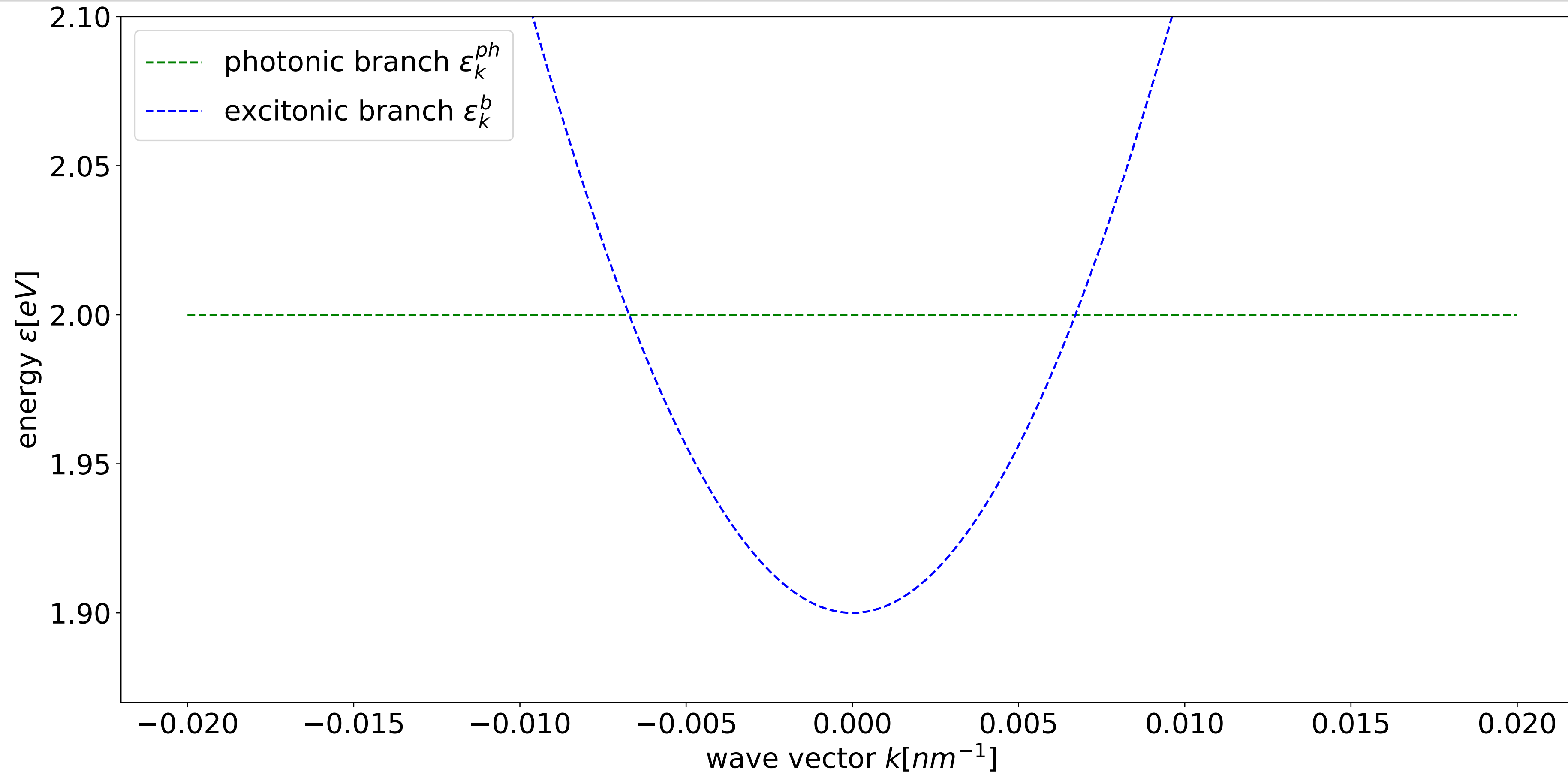


[1] Kasprzak, J.: Nature 443

- 2D-Halbleiter (Exzitonen) in Kavität (Photonen)
- Wie beschreibt man die Wechselwirkung zwischen den Teilchen?

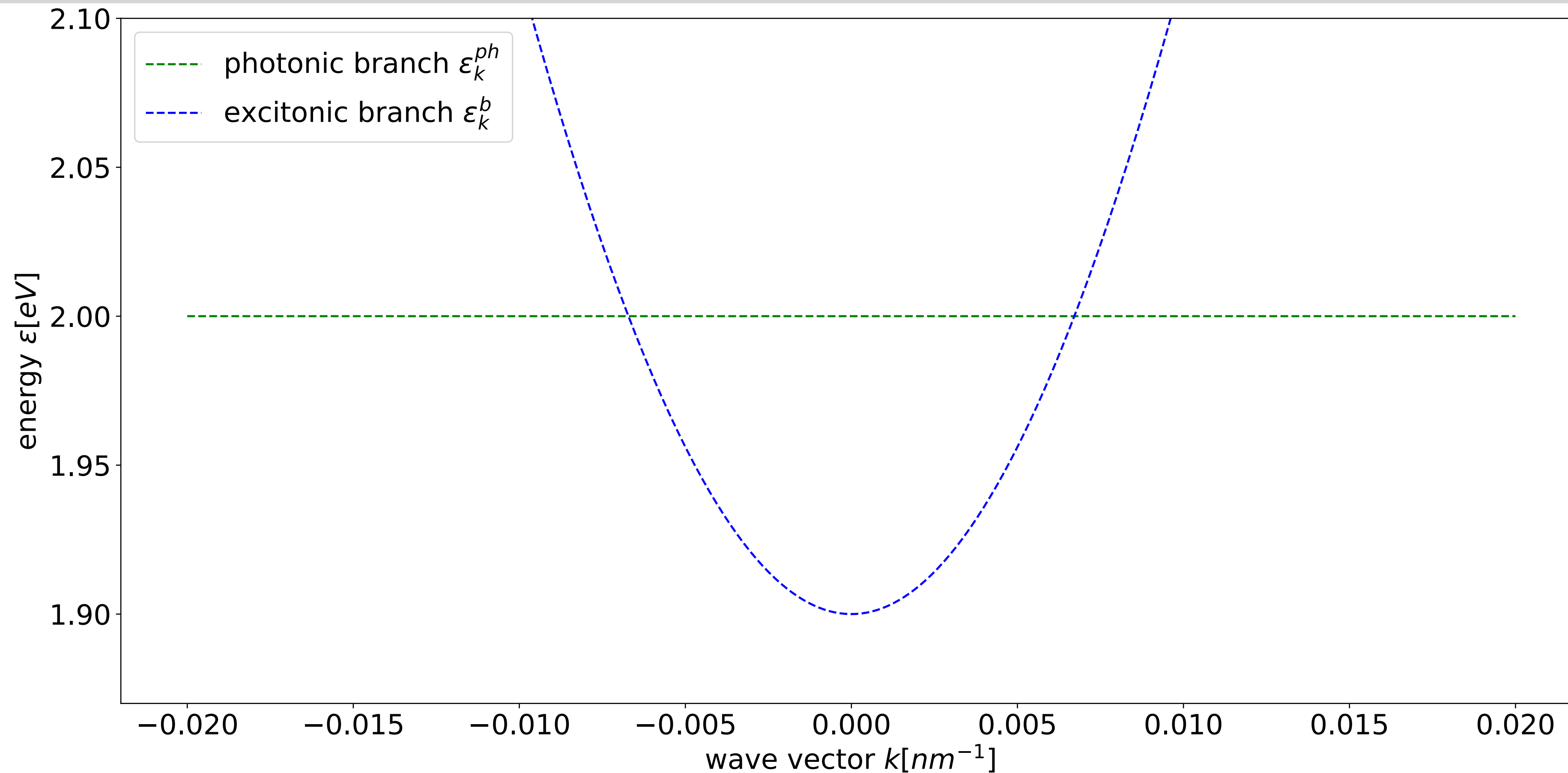
# Licht-Materie Wechselwirkung

Energien: 
$$\begin{pmatrix} \epsilon_k^{pt} & \epsilon_k^{ww} \\ \epsilon_k^{ww} & \epsilon_k^b \end{pmatrix}$$



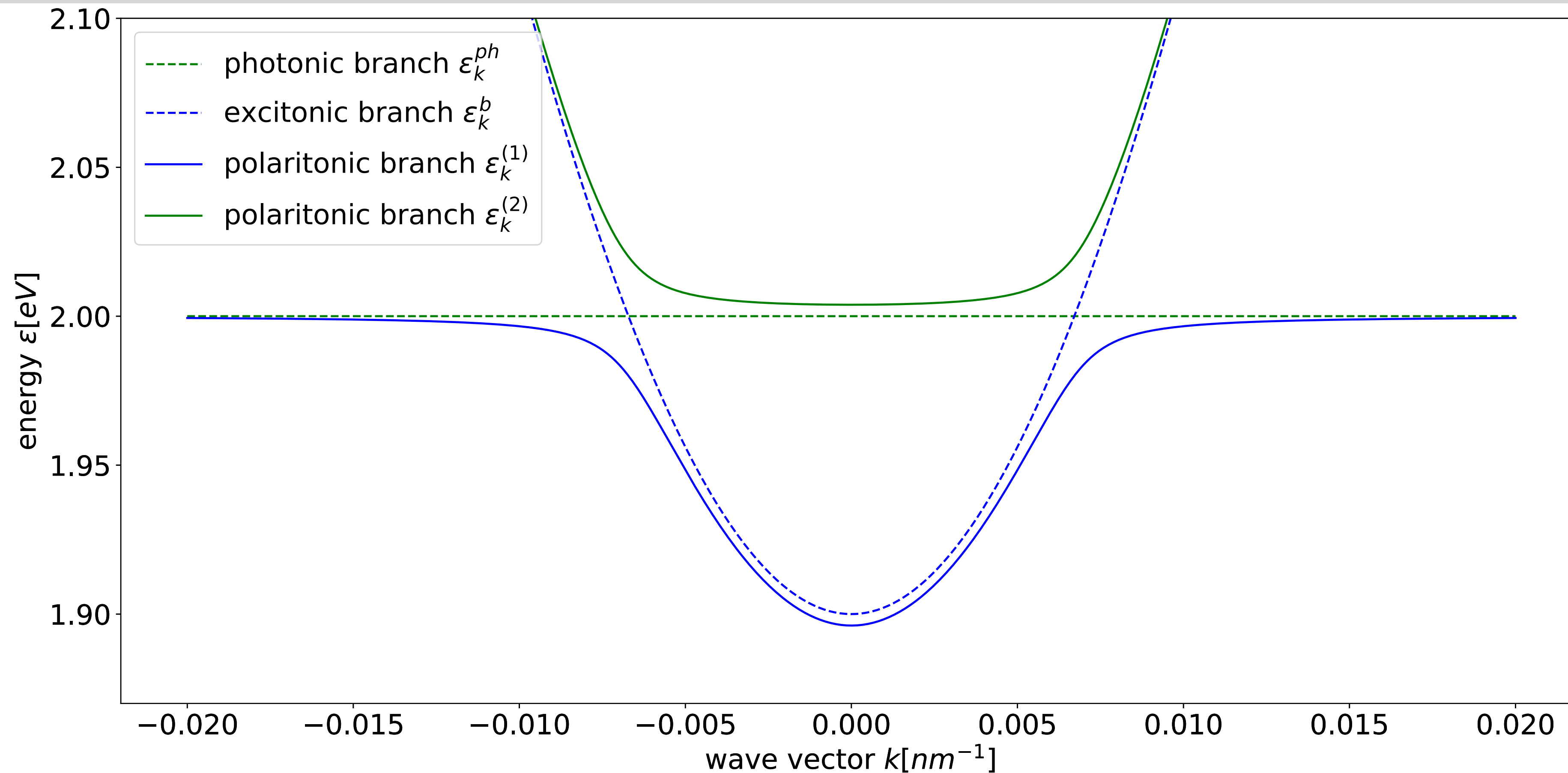
# Licht-Materie Wechselwirkung

Energien:  $\begin{pmatrix} \epsilon_k^{pt} & \epsilon_k^{ww} \\ \epsilon_k^{ww} & \epsilon_k^b \end{pmatrix}$  Hopfield-Transformation  $\longrightarrow$  Eigenenergien:  $\begin{pmatrix} \epsilon_k^{(1)} & 0 \\ 0 & \epsilon_k^{(2)} \end{pmatrix}$



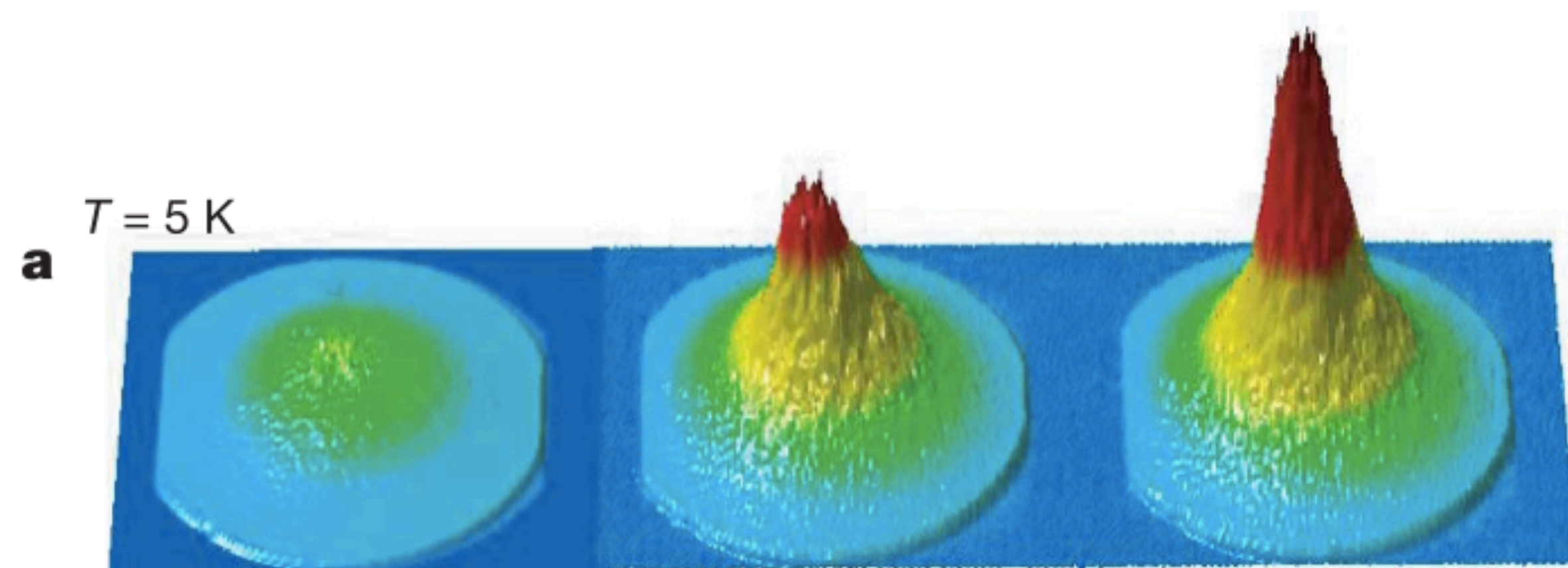
# Licht-Materie Wechselwirkung

Energien:  $\begin{pmatrix} \epsilon_k^{pt} & \epsilon_k^{ww} \\ \epsilon_k^{ww} & \epsilon_k^b \end{pmatrix}$  Hopfield-Transformation  $\longrightarrow$  Eigenenergien:  $\begin{pmatrix} \epsilon_k^{(1)} & 0 \\ 0 & \epsilon_k^{(2)} \end{pmatrix}$

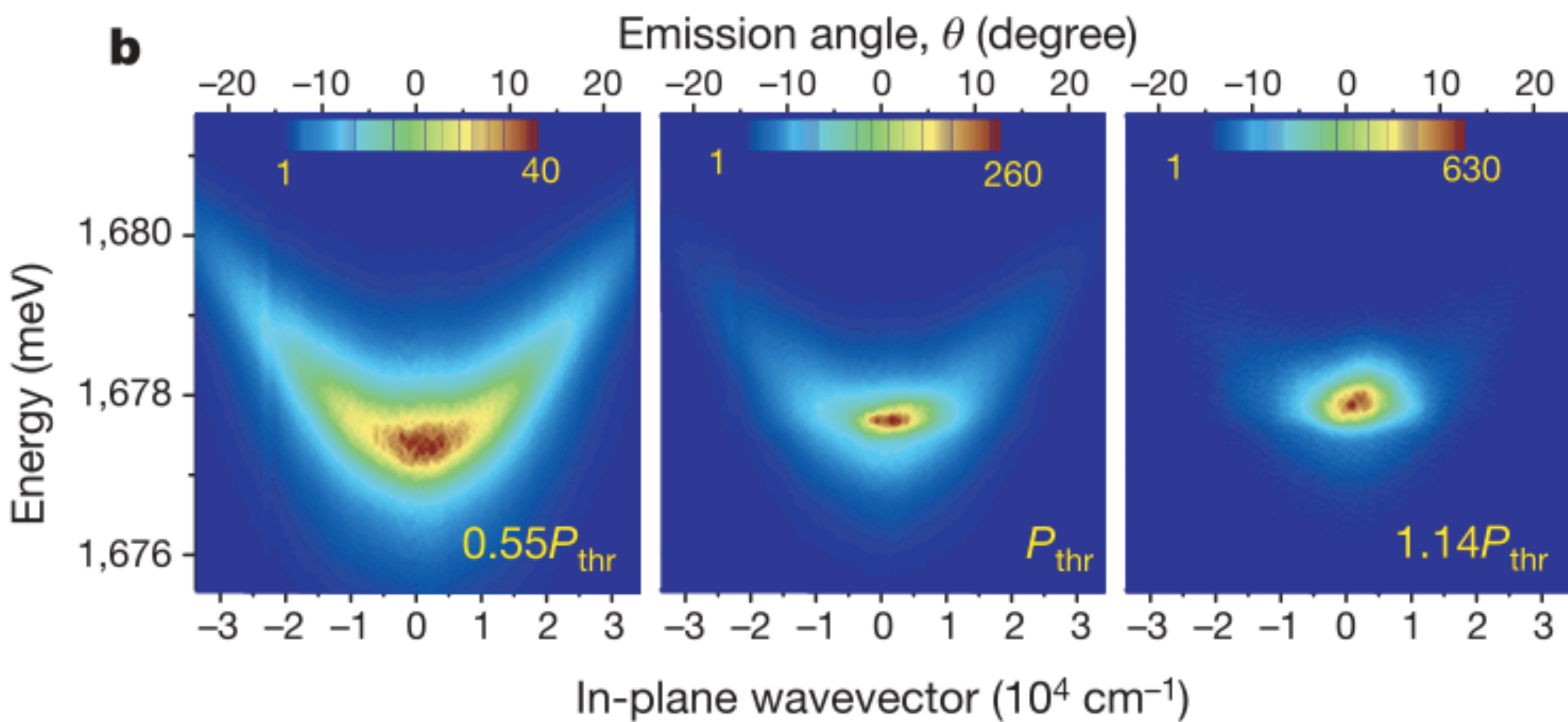




# Licht-Materie Wechselwirkung



- Polaritonen zeigen bosnisches Verhalten
- Bose-Einstein Kondensation möglich
- Polaritonen besetzen den Grundzustand makroskopisch und kohärent
- Kohärente Photonen: Laserlicht



[1] Kasprzak, J.: Nature 443

# Formalismus

- Licht-Materie Wechselwirkung in zweiter Quantisierung:

$$H = \sum_k \epsilon_k^b P_k^\dagger P_k + \sum_k \epsilon_k^{pt} c_k^\dagger c_k + \sum_k \epsilon_k^{ww} (c_k^\dagger P_k + c_k P_k^\dagger)$$

- Hopfield-Transformation:  $\alpha_k = w_1 c_k + w_2 P_k$

- Transformierter Hamiltonoperator:  $H = \sum_k \epsilon_k \alpha_k^\dagger \alpha_k$

- Teilchenzahl:  $N_k = \langle \alpha_k^\dagger \alpha_k \rangle$

- Boltzmann-Gleichung:  $\frac{d}{dt} N_k^\delta = \sum_{k', \alpha} (V_{k', k}^{\delta \alpha} N_{k'}^\delta (1 + N_k^\alpha) - V_{k, k'}^{\alpha \delta} N_k^\alpha (1 + N_{k'}^\delta))$