

# Supraleitung

Jonas Leggewie

24. März 2025

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Stromleitung auf der Atomarer Ebene</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>BCS-Theorie</b>	<b>4</b>
3.1	Cooper-Paar . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Anwendungen der Supraleitung</b>	<b>5</b>

# 1 Einleitung

Supraleitung beschreibt das Phänomen, bei dem elektrischer Strom, bei sehr niedrigen Temperaturen ohne Widerstand fließt, wodurch eine verlustfreie Energieübertragung möglich wird. Was die Übertragungsverluste auf langen Stromtrassen deutlich reduzieren würde und eine effizientere Energieversorgung ermöglichen könnte. Außerdem haben Supraleiter noch andere spannende Eigenschaften, welche noch nicht vollständig verstanden wurden.

## 2 Stromleitung auf der Atomarer Ebene

Strom fließt in einem Leiter, z.B. ein Kupferdraht, indem sich Elektronen durch das Leitermaterial bewegen. Elektrische Leiter bestehen aus positiv geladenen Ionenrümpfen<sup>1</sup>, die in einem Kristallgitter angeordnet sind. Um die Ionenrümpfe befinden sich die Elektronen, welche wie in einem Gas frei um die Ionenrümpfe herum fliegen.

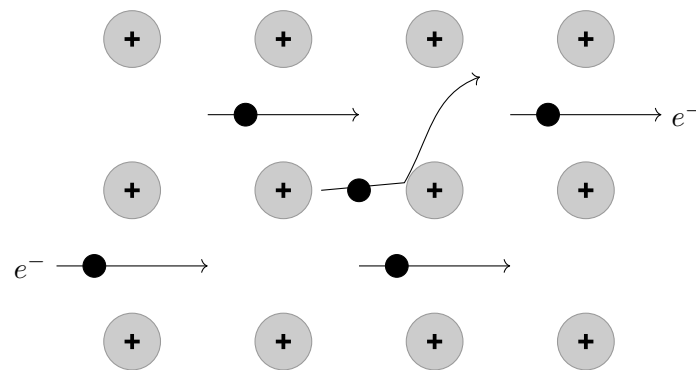


Abbildung 1: Elektronengas in einem Leiter

Legt man eine Spannung an, bewegen sich die Elektronen von minus Pol zum plus Pol, wobei sie mit den Ionenrümpfen zusammenstoßen, wie in Abbildung 1 dargestellt. Durch diese Stöße werden die Elektronen gestreut, was den Stromfluss behindert und so zu einem Widerstand führt. Die Gitter-Schwingungen hängen von der Temperatur ab, desto höher die Temperatur, desto stärker die Schwingungen und desto mehr Stöße gibt es, was zu einem höheren Widerstand führt. Umgekehrt ist das natürlich auch der Fall.

Bei bestimmten Metallen, wie z.B. Quecksilber oder Blei, kann man aber beobachten, dass der Widerstand ab einer bestimmten Temperatur plötzlich ganz verschwindet. Dieses Phänomen kann durch die BCS-Theorie erklärt werden.

<sup>1</sup>Ionenrümpfe sind die Atome des Kristallgitters, die eines oder mehrere ihrer äußeren Elektronen abgegeben haben und deswegen positiv geladen sind

### 3 BCS-Theorie

Die BCS-Theorie basiert auf der Annahme, dass Elektronen sich zu sogenannten Cooper-Paaren verbinden. Durch die starke Abkühlung des Superleiters sind die Gitterschwingungen im Metallgitter durch die Temperatur vernachlässigbar klein. Wenn jetzt ein Elektron durch das Metallgitter fliegt, zieht es die positiv geladenen Ionenrümpfe an, wodurch um dem Bereich um des Elektrons eine lokale Polarisation des Gitters entsteht. Diese Gitterpolarisation kann ein weiteres Elektron anziehen<sup>2</sup>.

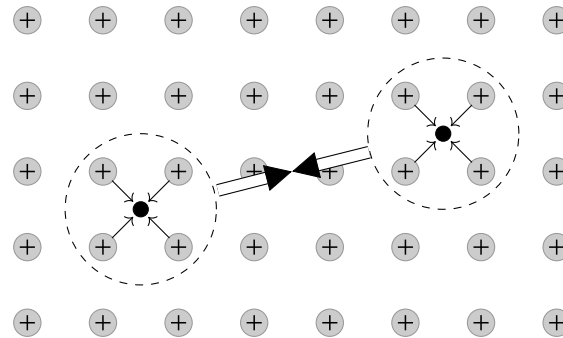


Abbildung 2: Cooper-Paar Bildung

Wenn der Spin  $\vec{s}^3$  und der Impuls  $\vec{P}$  der beiden Elektronen entgegengesetzt sind, und der Abstand zwischen den Elektronen klein genug ist, kann die Coulombabstoßung<sup>4</sup> übertroffen werden. So ein Elektronenpaar nennt man Cooper-Paar.

#### 3.1 Cooper-Paar

Woher kommt aber nun die Superleitung?

Dadurch das Cooper-Paare aus zwei Elektronen bestehen, deren Spin antiparallel ist ist der Gesamtspin des Cooper-Paares  $S = 0$ . Somit gehört das Cooper-Paar zu den *Bosonen* und nicht mehr zu den *Fermionen*, wozu die Elektronen ursprünglich gehörten. Bosonen unterliegen nicht dem *Pauli-Prinzip*, welches besagt, dass zwei Fermionen nicht den gleichen Quantenzustand haben können. Die Cooper-Paare können sich also im gleichen Quantenzustand aufhalten, wodurch sie nicht mehr mit dem Metallgitter wechselwirken. Warum die Cooper-Paare nicht mit dem Metallgitter wechselwirken lässt sich nur noch mithilfe der Quantenmechanik erklären.

<sup>2</sup>Diese Anziehung kann zwischen Elektronen stattfinden, die im Kristallgitter von bis zu 100 Atomen entfernt sind.

<sup>3</sup>Bei Elektronen ist der Spin entweder  $+1/2$  oder  $-1/2$  (UP oder DOWN)

<sup>4</sup>Die Coulombabstoßung ist die Abstoßung zweier Teilchen mit gleicher Ladung, hier die Elektronen.

## 4 Anwendungen der Supraleitung

Supraleitung hat viele potenzielle Anwendungen, darunter:

- Verlustfreie Energieübertragung: Da supraleitende Materialien keinen elektrischen Widerstand haben, könnten sie verwendet werden, um elektrische Energie ohne Verluste zu übertragen.
- Magnetresonanztomographie (MRT): Supraleitende Magnete werden in MRT-Geräten verwendet, um starke Magnetfelder zu erzeugen.
- Teilchenbeschleuniger: Supraleitende Magnete werden auch in Teilchenbeschleunigern wie dem Large Hadron Collider (LHC) verwendet, um Teilchen auf hohe Geschwindigkeiten zu beschleunigen.

