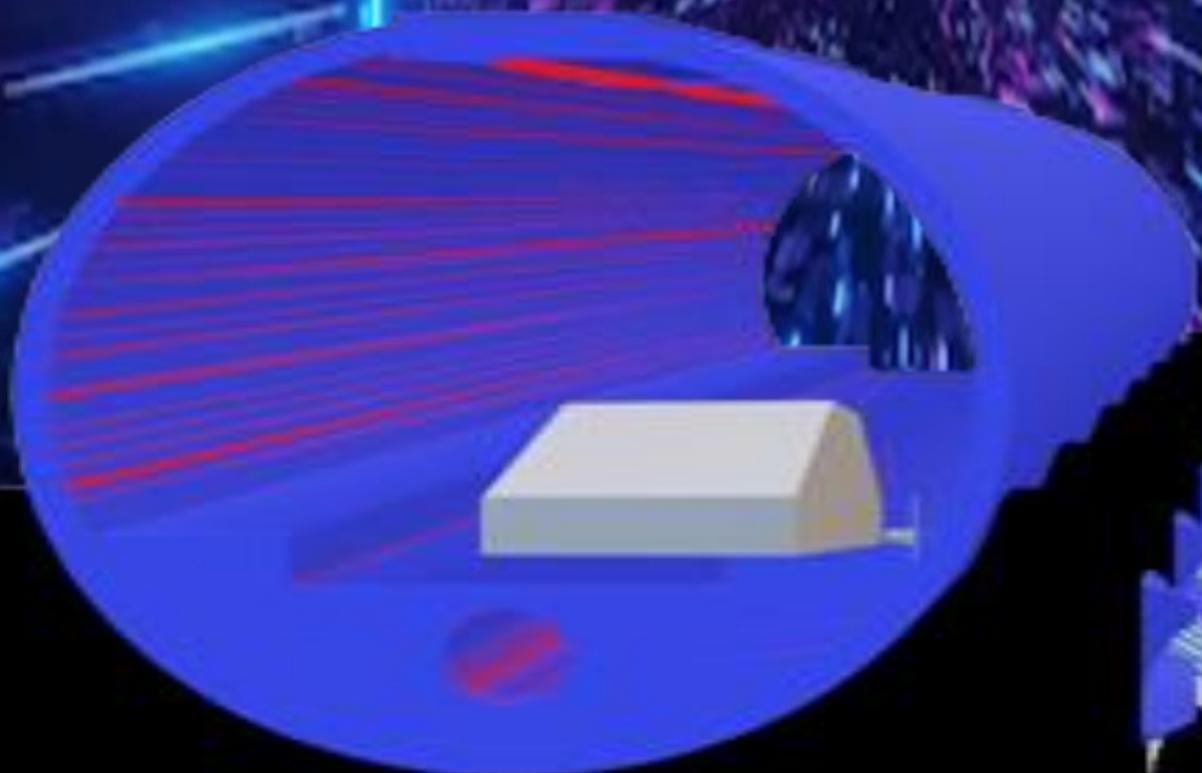




VAKUUM LEVITATION  
TRAIN

NOVEMBER  
2023



VLT

# CONTENT

ABOUT US .....	3
1. Physikalische Grundlagen .....	4
1.1 Levitation .....	4
1.2 Flux-Pinning .....	5
2. VLT-Versuchsaufbau .....	6
2.1 Maglev Prototyp .....	6
2.2 Levitationbox .....	7
2.3 Der $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ Supraleiter .....	8
2.4 DCA .....	9
2.5 Messtechnik .....	9
3. Vision .....	11

# ABOUT US

Wir sind Jonas und Ben und zusammen erarbeiten wir im Rahmen von Jugend forscht ein Konzept zu innovativen Magnetschwebebahnen. Dabei brauchen wir, wie jedes Innovationsprojekt, Hilfe von externen Partnern. Partner wie das BilSE-Institut und die UniRostock haben uns bereits bei Phase eins geholfen und sind auch jetzt wieder mit dabei. So haben wir es geschafft, bei Jugend forscht 2022 den Sonderpreis Physik und bei Schüler Stauen 2022 den Hauptpreis in Physik zu gewinnen.

Das Ziel der Projektarbeit ist die Darstellung eines Konzeptes zum leichteren, leiseren und effizienteren Gütertransport mit Hilfe der supraleitenden Magnetschwebebahntechnologie, die auf dem Meißner- Ochsensfeld-Effekt beruht. Um die Levitation und das Schwebeverhalten von Supraleitern zu untersuchen, sind Experimente geplant, die in dieser Arbeit vorbereitet und erläutert werden. Unter anderem, soll der „Flux Pinning-Effekt“ experimentell untersucht werden und für das Projekt nutzbar gemacht werden. Außerdem wurde das ursprüngliche Konzept überarbeitet und umstrukturiert. Das aktuelle Konzept beinhaltet jetzt eine Vielzahl an Messeinrichtungen und eine erhöhte Komplexität des Versuchsaufbaus.

Zukünftig wäre eine stabile Supraleitung bei moderaten Temperaturen zu errichten der Game-changer für die kommerziellen Nutzung von Supraleitern im Alltag der Menschheit. Die Vielzahl von einzigartigen Merkmalen und Eigenschaften der Supraleiter könnten auch dafür genutzt werden, um außergewöhnliche und vielfältige Anwendungsbereiche außerhalb des täglichen Lebens zu erschließen, die es ermöglichen, das große Potential der Supraleitung zu nutzen.

Die vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel, dieses überarbeitete Konzept darzustellen, Experimente vorzubereiten und die allgemeine Vorgehensweise darzulegen. Des Weiteren sollen die Vorteile der Supraleiteranwendungen beschrieben und erläutert werden. Das entwickelte Konzept dient damit als Ausblick für den innovativen Personen- und Gütertransport der Zukunft. Die gesamte im Projekt genutzte Energie, die dazu benötigt wird um Mess- und Steuerungseinheiten zu betreiben, wird nachhaltig gewonnen, indem Solarenergie von Photovoltaikanlagen, die sich an der Magnetschwebebahn befinden genutzt wird.

Durch das Experiment erhoffen wir uns eine Reihe von Daten zu sammeln. Dazu werden unter anderem physikalische Größen im Zusammenhang mit Supraleiteranwendungen für die Transportanwendungen gemessen und Beobachtungen gemacht. Dadurch erhoffen wir uns eine Reihe von Rückschlüssen und Erkenntnisse um das Konzept zu verbessern. Wir erhoffen uns durch die Messungen und Beobachtungen außerdem eigene Vermutungen zu untersuchen und zu bewerten.

Die folgenden Abschnitte bieten einen weiteren Einblick in die Supraleitung und deren Anwendung in der Magnetschwebebahntechnologie.

# 1. Physikalische Grundlagen

Supraleiter besitzen aufgrund ihrer veränderten elektromagnetischen Eigenschaften viele Anwendungsbereiche. Dabei sind Supraleiter schon heute nicht mehr nur in Filmen oder in der Forschung interessant, sondern auch im Hinblick auf supraleitende Anwendungsbereiche, die die Welt nachhaltig verändern können.

Die Geschichte der Supraleitung begann im Jahr 1911, als der Physiker Heike Kamerlingh Onnes ein Experiment mit flüssigem Stickstoff und Quecksilber durchführte. Dabei entdeckte er, dass der elektrische Widerstand bei Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt von 4K (-269°C) verschwindet, ein Phänomen, das er als den supraleitenden Zustand bezeichnete. Walter Meißner und Robert Ochsenknecht erkannten später, dass die Eigenschaften von Supraleitern weit vielseitiger waren als nur der Verlust des elektrischen Widerstandes. Die elektromagnetischen Eigenschaften von Supraleitern entsprechen denen eines "idealen" Leiters und ermöglichen es ihnen, zu schweben, ein Effekt, der seither als Meissner-Ochsenfeld-Effekt (MOE) bekannt ist. Die theoretische Erklärung dieses Effekts erfolgte allerdings erst 1957 durch John Bardeen, Leon Neil Cooper und John Schrieffer mit ihrer Bardeen-Cooper-Schrieffer-Theorie (BCS-Theorie). Diese Theorie erklärt den Teil der klassischen Supraleitung und führte zur Entdeckung der sogenannten Cooper-Elektronen-Paare, freie Ladungsträger, die für das Schweben von Supraleitern verantwortlich sind.

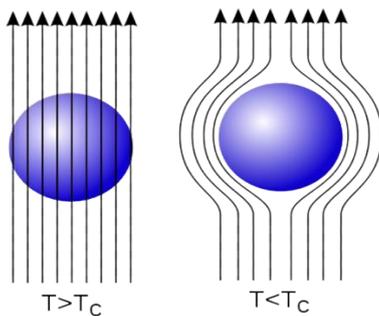


Abbildung 1 zeigt das veränderte Magnetfeld nach der Abkühlung des Supraleiters. Im supraleitenden Zustand wird das innere Magnetfeld nach außen verdrängt und kann nun externe Magnetfelder fixieren. Die Verdrängung der äußeren Magnetfelder ermöglicht dem Supraleiter zu schweben.

Es gilt:  $B < B_c$        $I < I_c$

## 1.1 Levitation

Die Levitation ist ein weiterer Effekt der Supraleitung und beschreibt das Schweben, die Levitation, eines Supraleiters im Magnetfeld mit Leichtigkeit. Dieser Effekt des mit Leichtigkeit schwebenden Supraleiters basiert auf dem Prinzip des Meißner-Ochsenfeld-Effektes. Die Levitation ermöglicht es Supraleitern dabei zu beschleunigen, abzubremsen und auch zu stabilisieren. Damit ist die Levitation die Grundlage für das reibungsfreie Schweben eines Supraleiters über einer Magnetschwebebahn. Am Beispiel der Maglev Magnetschwebbahntechnologie zeigen sich viele Vorteile des mit Leichtigkeit schwebenden „Zuges“, da dieser dadurch sehr hohe Geschwindigkeiten erreichen kann, ohne dass die Rollreibung die benötigte Energie exponentiell erhöhen würde, wie bei konventionellen Zügen.

Es gilt:  $F_L \sim d$ . Die Levitationskraft ist damit proportional zum Durchmesser des Supraleiters.

## 1.2 Flux-Pinning

Dieser Effekt der Supraleitung entsteht durch die Wechselwirkungen zwischen Magnetfeld des Supraleiters und dem Magnetfeld der Dauermagneten. Das Flux-Pinning beschreibt das wie „fixierte“ oder auch „gepinnte“ Schweben eines Supraleiters. Aufgrund der Tatsache, dass der Supraleiter mit einer gewissen Kraft fixiert ist, ist der Flux-Pinning-Effekt dafür verantwortlich, dass der Supraleiter nicht runterfällt, wenn er sich zum Beispiel auf einer Magnetschwebbahn befindet. Diese Kraft wird im allgemeinen als Verschiebkraft oder auch Levitationskraft angegeben und ist umso stärker, wenn die wechselwirkenden Magnetfelder maximal sind. Die Kraft ist also proportional zur magnetischen Flussdichte der verwendeten Magnetfelder und damit abhängig von den verwendeten Magneten. Dieser Effekt ermöglicht es Supraleitern in alle Raumrichtungen zu schweben. Die Flux-Pinning-Kraft auf einen Supraleiter im Magnetfeld wird im Allgemeinen als

$$F_P = \frac{1}{3} B_M + \frac{1}{3} B_S \text{ definiert.}$$

## 1.3 Temperatur $T_c$

Bei der Unterkühlung des Materials unter die kritische Temperaturgrenze  $T_c$  zeigen Supraleiter zahlreiche modifizierte Eigenschaften, darunter veränderte Magnetfeldstärken und den nahezu vollständigen Verlust des elektrischen Widerstands. Die kritische Temperatur ist die entscheidende physikalische Größe, wenn es um die Anwendbarkeit von Supraleitern geht, da sie angibt, bei welcher Temperatur der Übergang in den supraleitenden Zustand erfolgt. Daher ist die Suche nach Elementen oder polynuklearen Elementverbindung mit hoher kritischer Temperatur von großer Bedeutung, um die Herausforderungen der aufwendigen Kühlung zu überwinden. Viele Wissenschaftler setzen sich daher das Ziel, Elemente oder Elementverbindungen zu finden, die die höchstmögliche kritische Temperatur aufweisen, um das Problem der aufwendigen Kühlung zu lösen. Der deutsche Physiker Georg Bednorz und sein Kollege Karl Alexander Müller entdeckten, dass die Kombination der Elemente Barium, Lanthan, Kupfer und Sauerstoff, bekannt als  $BaLaCu_x$ , eine kritische Temperatur von 35K aufweist. Mit dieser Entdeckung brachen die beiden Physiker erstmals sämtliche bisherigen Rekorde auf diesem Gebiet. Ihre Erkenntnisse lösten einen regelrechten Boom an Supraleiter-Forschung aus, wobei andere Physiker schnell neue Ansätze entwickelten. Sie ersetzten das Element Lanthan durch das kleinere Element Yttrium, sodass die Verbindung dieser Elemente den Stoff Yttriumbariumkupferoxid bildet ( $YBa_2Cu_3O_x$ ). Als Ergebnis konnten sie im Vergleich zum Lanthan eine enorme Steigerung der kritischen Temperatur auf 93K (180°C) verzeichnen. Diese kritische Temperatur lag deutlich über dem Schmelzpunkt von Stickstoff. Somit konnte flüssiges Helium durch den leichter verfügbaren flüssigen Stickstoff ersetzt werden, was die Experimente einfacher und kostengünstiger gestaltete.

# 2. VLT-Versuchsaufbau

## 2.1 Maglev Prototyp

Für das Experiment mit Supraleitern und für die Demonstration eines Modells einer Maglev Magnetschwebbahn wird als Demonstrationsobjekt eine stark verkleinerte Magnetschwebbahn im Maßstab 1: 56.667 gebaut. Das Experiment im Rahmen des Jugend-forscht Projektes zur Entwicklung einer innovativen Maglev Magnetschwebbahn für die Anwendung der supraleitenden Levitation, soll auf die Vorteile von Supraleitern aufmerksam machen und diese Vorteile in der spezifischen Anwendung zu Magnetschwebbahnen experimentell untersuchen. Bei der Entwicklung des eigenen Magnetschwebbahnkonzeptes wurde darauf geachtet, dass der spätere Prototyp den Experimentieransprüchen gerecht wird. Dabei spielt vor allem die Größe der Magnetschwebbahn eine große Rolle. Die Fläche, auf der sich später die Levitationbox befindetet, muss groß genug sein, um eine spezielle Ausrichtung der Magnete in zu gewährleisten. Allerdings darf die Fläche der mit Magneten bestückten Magnetschwebbahn nicht zu groß sein, da die 240 verwendeten Neodym-Eisen-Bor Magnete, die auf einer Fläche von 900cm<sup>2</sup> verteilt sind, einen großen Kostenfaktor darstellen.

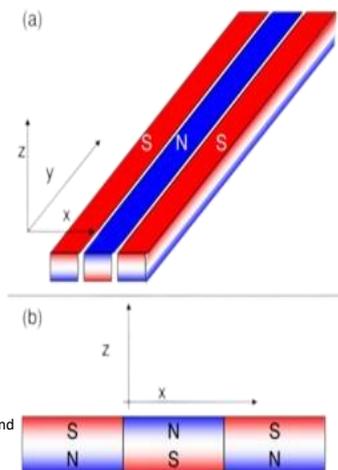


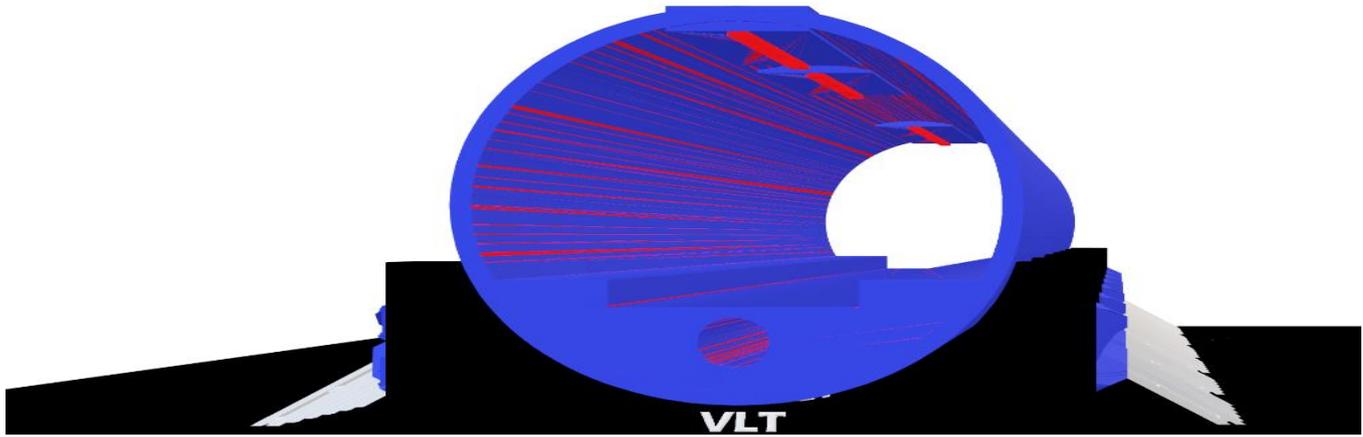
Abbildung: Strehlow, Charles und Sullivan, Michael (2009):

Diese Abbildung zeigt die spezielle Anordnung der Neodym Eisen Bor Dauer magnete entlang der Magnetschwebbahn. Die verwendeten Magente sind 40mm x 10mm x 5 mm groß und besitzen eine Haftkraft von 94N und sind mit einer magnetischen Flussdichte von 1.3T verhältnismäßig stark.

(a) zeigt den Ausschnitt der Magnetstrecke entlang der y-Achse.

(b) zeigt den Querschnitt der Magnetstrecke in x-Richtung. Die Polung der Magnete wechselt sich in x-Richtung ab. Entsprechend variiert das Magnetfeld nur in der x-z-Ebene, in y-Richtung bleibt es gleich.

Die spezielle Anordnung der Magnete entlang der Magnetschwebbahn ermöglicht es dem Supraleiter geradlinig zu schweben. Außerdem ist die spezielle Polung der Magnete entscheidend für den Flux-Pinning- Effekt, da dieser dem Supraleiter ermöglicht stabil entlang der y-Achse zu schweben, da dieser von den Südpolen der Magnete auf der Bahn fixiert wird. Damit der Flux-Pinning-Effekt experimentell nachgewiesen und gemessen werden kann, wird die Magnetschwebbahn zudem drehbar gelagert sein. Diese bauliche Besonderheit dient zur Demonstration und Untersuchung der speziellen Levitation von Supraleitern. Für die Optimierung der supraleitenden Anwendung in der Magnetschwebbahntechnologie ist geplant, ein Vakuum zu erzeugen. Der Anschluss einer Vakuumpumpe soll der Minimierung der Luftreibung dienen und so die Geschwindigkeit der Levitationbox erhöhen. Außerdem soll das Vakuum der Verringerung der thermischen Verluste dienen. Diese Besonderheit im Aufbau der Magnetschwebbahn soll die Experimentierzeit enorm steigern. In ersten Versuchen in Zusammenarbeit mit der Physik Fakultät der Universität Rostock konnte die Experimentierzeit, die Zeit der Unterschreitung von  $T_c$ , bereits auf sechs Minuten gesteigert werden. Ein Beweis dafür, dass die kritische Temperatur  $T_c$  im verbesserten Konzept 2.0 länger gehalten werden kann und die thermischen Verluste gering sind.



Diese Abbildung zeigt den Prototypen der Maglev Magnetschwebbahn als 3D Modell. Im innen Rohr, das später aus Plexiglas bestehen wird, ist zu erkennen, dass die hier rot dargestellten Stränge, die Kabel zur Stromversorgung dienen verlaufen y-Richtung innerhalb der Bahn. Die Maglev Magnet-schwebbahn wird zur Stabilisierung auf einer stabilen Unterlage befestigt. Diese Unterlage wird anschließend mit 100 Solarmodulen ausgestattet, um den Strom für Messtechnik und Spulen zu generieren.

## 2.2 Levitationbox

Die Levitationbox ist ein wichtiges Modul für den Versuchsaufbau, es dient dazu die Supraleiter zu kühlen und in einem Gefäß zu fixieren. Das Modul wurde speziell an die Anforderungen des Experimentes angepasst. Dabei wurden folgende Punkte berücksichtigt:

- Die geringe Wärmeleitfähigkeit
- Die stabile Trigonometrische Form der Levitationbox
- Die Widerstandsfähigkeit des Materials

Das Konzept der Levitationbox basiert auf dem Prinzip Trial-and-Error. Aus diesem Grund, wurden zuvor viele Prototypen designt und mit Hilfe von einem 3D-Drucker aus dem besonders stabilen Material ASA-X hergestellt. Dieses Material ist verzugsfrei und bietet hervorragende mechanischen Eigenschaften eines hochmodifizierten ASA-Filament in Industriequalität. Der aktuelle Prototyp der Levitationbox besteht aus einem unregelmäßigen vierseitigen Prisma, das im Inneren speziell an die Anforderungen in unserem Experiment angepasst ist. Die quadratische Grundfläche besteht aus einer 1,5 Millimeter dicken Schicht aus ASA-X 3D-Druck Filament. An den Seiten ist die Schicht aus ASA-X Filament 10 Millimeter dick. Die dünnen Schichten unten ermöglichen den direkten Kontakt des Supraleiters zu den Dauermagneten. Dies ist wichtig, da die Magnetfeldstärke quadratisch zum Abstand abnimmt ( $B \sim d^{-2}$ ). Das Volumen in der Levitationbox wird durch die dicken Seitenwände stark begrenzt, sodass sich ein maximales Infillvolumen von 35% ergibt. Eine weitere bauliche Besonderheit ist die zylindrische Öffnung zum Befüllen der Levitationbox, die sich an der Oberseite befindet.



Diese Abbildung zeigt den aktuellen Proto-typen der Levitation-box. Dieser ist 125mm x 30mm x 25mm groß und hat ein Innenvolumen von 50cm<sup>3</sup>

Eine weitere Besonderheit ist der Auspuff, dieser hält den Innendruck möglichst konstant und beschleunigt durch den Impuls des ausströmenden Gases die Levitationbox. Dieser Impuls soll die Strecke bis zur ersten Beschleunigungseinheit aus selbst hergestellten Spulen überbrücken.

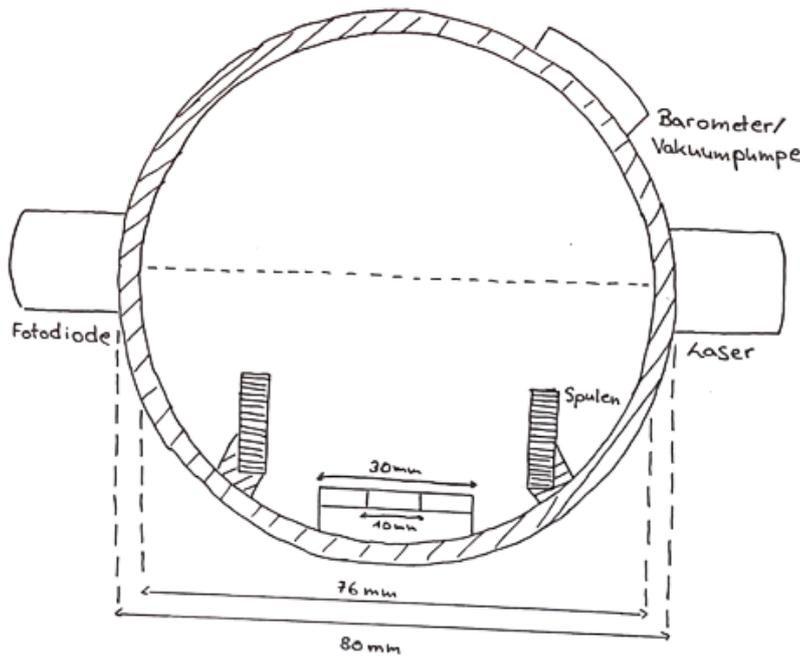
## 2.3 Der YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub> Supraleiter

Im Experiment wird ein YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub> Supraleiter genutzt. Dieser wurde bei Can Superconductors bestellt und setzt sich aus den Elementen Yttrium, Barium, Kupfer und Sauerstoff zusammen. Die Verbindung der Elemente ist in diesem Verhältnis bereits ab 90 K supraleitend, das ist wichtig für das Experiment, denn diese Temperatur liegt deutlich über der Siedetemperatur von flüssigem Stickstoff (73 K).

Diese Art der Supraleiter verdrängt, im Gegensatz zu Typ I, das innere Magnetfeld des Leiters nicht vollständig nach außen. Wird ein externes Magnetfeld angelegt, zum Beispiel durch Neodym Eisen Bor Magnete, dringen magnetische Flusslinien, auch als Flussquanten bezeichnet, in den Typ II Supraleiter ein. Diese Flusslinien werden von den Cooper-Paaren um die magnetischen Flussquanten herumgewickelt und bilden so sogenannte Vortices. Diese Vortices tragen massiv zur Aufrechterhaltung der supraleitenden Eigenschaften bei und bleiben somit länger im supraleitenden Zustand. Aus diesem Grund sind Typ II Supraleiter weit verbreitet und werden auch häufiger in technischen Anwendungen eingesetzt. Außerdem zeichnen sich Typ II Supraleiter durch ihre Fähigkeit aus, hohe kritische Magnetfeldstärken und kritische Ströme zu tolerieren. Dies macht sie für Anwendungen wie Hochfeldmagnetresonanz, Energietechnik und Magnetenschwebbahntechnologien attraktiv. Die Erklärung ihrer Phänomene ist allerdings nicht mit der BCS-Theorie vereinbar und noch weitgehend unbekannt.

## 2.4 DCA

Die Data Collection Application ist ein Modul, das in das Innere der Magnetschwebbahn verbaut wird und dient dazu, alle Messapplikationen zu befestigen.



Die hier Abgebildete Zeichnung zeigt den Prototypen der DCA. Dieses Modul wurde speziell entworfen, um alle Messeinrichtungen im Inneren der Bahn zu implementieren. Dazu befinden sich an den Seiten Aussparungen, um dort später Kabel verlegen zu können. Spulen im Inneren der Maglev Magnetschwebbahnen dienen später der Beschleunigung des Supraleiters und werden ebenfalls an der DCA angeschlossen.

Damit die insgesamt 9 Module später in die 3m lange Röhre mit  $d=74\text{mm}$  hineingeschoben werden können, wird auch dieses Modul mit einem 3D Drucker aus flexiblen TPU gedruckt.

Das flexible und zugleich widerstandsfähige TPU 3D Filament ist dafür besonders gut geeignet und kann kleine Unebenheiten im Rohr durch die flexible Materialbeschaffenheit ausgleichen, da es über eine Bruchdehnung von über 500% verfügt und zugleich sehr Schlagfest ist.

## 2.5 Messtechnik

Für die Messung der unterschiedlichen physikalischen Größen werden verschiedene Messgeräte verwendet. Für die Messung der Magnetischen Flussdichte  $B$  wird eine Hallsonde verwendet. Sie basiert auf dem Hall-Effekt, der nach dem Physiker Edwin Hall benannt wurde. Der Hall-Effekt tritt auf, wenn ein stromdurchflossener Leiter sich in einem Magnetfeld befindet und eine elektrische Spannung senkrecht zur Stromrichtung erzeugt wird. Die Hall-Sonde nutzt diesen Effekt, um magnetische Feldstärken zu messen. Der Aufbau einer Hall-Sonde umfasst mehrere Komponenten. Darunter ein Halbleitermaterial, das in einem rechteckigen oder quadratischen Gehäuse eingebettet ist. Das Halbleitermaterial, wie beispielsweise Galliumarsenid oder Indiumantimonid, weist eine spezielle Struktur auf, die den Hall-Effekt verstärkt. An den Seiten des Halbleiters befinden sich Kontakte für den Anschluss an eine Stromquelle und ein Messgerät. Der stromdurchflossene Leiter, der als "Hall-Strom" bezeichnet wird, wird über die Kontakte an die Hall-Sonde angelegt. Wenn ein magnetisches Feld senkrecht zur Stromrichtung auf die Sonde einwirkt, entsteht eine Potentialdifferenz im Halbleitermaterial. Dies führt zu einer Spannung, die als "Hall-Spannung" bezeichnet wird. Die Hall-Spannung steht in direktem Zusammenhang mit der Stärke des Magnetfelds ( $U_H \sim B$ ) und kann mit einem angeschlossenen Voltmessgerät abgelesen werden.

Um eine genaue Messung zu gewährleisten, ist es wichtig, dass die Hall-Sonde richtig im Magnetfeld kalibriert wurde. Dies wird normalerweise durchgeführt, indem eine bekannte magnetische Feldstärke angelegt wird und die resultierende Hall-Spannung gemessen wird. Anhand dieser Referenzmessung kann dann eine Kalibrierkurve erstellt werden, um die Hall-Spannung in eine magnetische Feldstärke umzurechnen.

Für die Sammlung und Auswertung werden Arduinos verwendet, eine Open-Source-Plattform für physische Computing-Projekte. Das Arduino-Board enthält einen Mikrocontroller, der als das Gehirn des Systems fungiert. Es ist mit verschiedenen digitalen und analogen Ein- und Ausgangspins ausgestattet. Diese fungieren als Kommunikationseinheit zwischen den verschiedenen Komponenten wie Sensoren, Aktoren, LEDs und Motoren. Über Pins kann der Mikrocontroller Signale senden und empfangen, um mit der physischen Welt zu interagieren und darüber beispielsweise Magnetfelder, Geschwindigkeiten und Temperaturen messen. Dabei besteht die Arduino-Entwicklungsumgebung aus einer Programmierumgebung und einer Bibliothek von vordefinierten Funktionen, die es Entwicklern ermöglichen, Code für den Mikrocontroller zu schreiben. Die Programmiersprache ähnelt C/C++, ist jedoch vereinfacht und für Anfänger leichter zugänglich. Deswegen werden Arduino Applikationen häufig für verschiedene Projekte in den Bereichen Robotik, Automatisierung, Internet of Things (IoT) und kreatives Making verwendet. Dadurch ermöglicht es Benutzern, ihre eigenen elektronischen Geräte und interaktiven Systeme zu entwerfen und zu entwickeln, indem sie Hardwarekomponenten implementieren, programmieren und sie mit der Software verbinden. Die Arduino-Plattform ist aufgrund ihrer Benutzerfreundlichkeit, Flexibilität und dank des großen Online-Supports sowohl bei Hobbyisten als auch bei professionellen Entwicklern sehr beliebt. Es gibt eine große Community von Arduino-Benutzern, die ihre Projekte, Tutorials und Wissen teilen, was den Einstieg und die Weiterentwicklung erleichtern. Deswegen werden für die angewandten Softwareapplikationen im Projekt zur innovativen Anwendung der Levitation mithilfe von Supraleitern ausschließlich Arduino Applikationen verwendet.

## 3. Vision

In der Medizin werden schon heute Magnetresonanztomographen (MRT) eingesetzt, die auf der Supraleiter Technologie basieren. Mit der Hilfe von Magnetresonanztomographen können Unregelmäßigkeiten und Veränderung im Körper aufgespürt werden, sodass Tumore und oder Entzündungen sichtbar werden. Ein weiteres Beispiel für optimierte Anwendungen durch Supraleiter sind die supraleitenden Stromkabel. Der Einsatz von solchen Kabeln verbessert den Wirkungsgrad beim Transport des elektrischen Stroms enorm. Allerdings ist ein solcher Einsatz nur in Ballungsräumen sinnvoll, denn nicht nur die Kühlung, sondern auch die Herstellung der Supraleiter ist weitaus aufwändiger als bei Kupferkabeln. Die Anwendung bei Kernfusionsreaktoren, wie dem am Max-Planck-Institut für Plasmaforschung, wäre ohne die extrem starken Magnetfelder von 7 Tesla, die von supraleitenden Spulen erzeugt werden, undenkbar. Nur mithilfe der starken Magnetfelder gelingt es das Plasma auf den Kreisbahnen des Reaktors zu halten.

Supraleiter sind damit schon heute in unserem Alltag integriert. Unsere Vision ist es in Zukunft den Personen und Güterverkehr mithilfe der Supraleiter Technologie zu revolutionieren. Ein Beispiel für genau diese Anwendung ist "The Line", ein ehrgeiziges Projekt in Saudi-Arabien, das darauf abzielt, eine völlig neue Art von nachhaltiger und lebenswerter Stadt zu schaffen. Diese Stadt wird sich entlang einer geraden Linie erstrecken und dabei moderne Technologien, fortschrittliche Infrastrukturen und umweltfreundliche Konzepte integrieren. Besonders im Bereich des Langstreckentransportes bedarf es dann neuer und innovativer Lösungen. Physikalisch betrachtet, basiert das Mobilitätskonzept "The Line" auf dem Prinzip der Maglev Magnetschwebbahntechnologie. Diese Technologie ist ein fortschrittliches Transportsystem, bei dem Fahrzeuge mithilfe magnetischer Levitation schweben. Durch den Einsatz von starken Magneten wird ein schwebender Zustand erzeugt. Reibung wird minimiert und ermöglicht hohe Geschwindigkeiten. Außerdem bietet die Implementierung eines hochmodernen Magnetschwebbahnsystems entlang der Stadtlinie einen schnelleren, reibungsloseren und energieeffizienteren Transport für maximalen Fahrkomfort entlang der Stadt. Eine weitere Schlüsselrolle im physikalischen Konzept, dass bei "The Line" neben der Maglev Technologie Anwendung findet, ist die Nutzung erneuerbarer Energien. Die Stadt wird vollständig von erneuerbaren Energiequellen wie Sonnen- und Windkraft gespeist, wodurch eine nachhaltige und umweltfreundliche Energieversorgung gewährleistet wird. Darüber hinaus wird die Architektur von "The Line" unter Berücksichtigung physikalischer Prinzipien entwickelt. Die Gebäude werden so konstruiert, dass sie eine optimale Nutzung von Sonnenlicht ermöglichen und gleichzeitig vor Hitze und anderen Umwelteinflüssen schützen. Außerdem wird die Stadt mit intelligenten Sensoren und Technologien ausgestattet sein, um den Energieverbrauch zu überwachen und zu optimieren. „The Line“, damit der optimale Anwendungsbereich für Innovationsprojekte, wie das für die Entwicklung von innovativen Magnetschwebbahnen in der Anwendung der Levitation von Supraleitern.

Wir sind fest davon überzeugt, dass Supraleiter in Zukunft eine zunehmend bedeutende Rolle in zahlreichen Technologien spielen werden. Daher setzen wir uns intensiv mit der Forschung auf diesem Gebiet auseinander.



## ABOUT VLT

VLT steht für das Konzept für innovative Magnetschwebbahnen im Rahmen von Jugend forscht. externen Partnern wie das BILSE-Institut und die UniRostock unterstützen dieses Projekt. Das Hauptziel des Projekts ist die Entwicklung einer effizienteren Gütertransportlösung mithilfe von supraleitender Magnetschwebbahn-Technologie. Dabei werden Experimente zur Levitation und zum "Flux Pinning-Effekt" durchgeführt. Die Arbeit betont die Vorteile der Supraleitung für den Personen- und Gütertransport und die Nutzung von Solarenergie. Die gesammelten Daten sollen zur Verbesserung des Konzepts beitragen.

## WARNOWQUERUNG GMBH&CO KG

Sehr geehrte Warnowquerung GmbH&CoKG.,

Wir möchten uns heute von Herzen bei Ihnen für Ihre großzügige Unterstützung als Sponsor bei der Materialbeschaffung bedanken. Als etablierter Partner von Schüler Staunen wissen wir Ihr bemerkenswertes Engagement im Bereich der Innovationsförderung sehr zu schätzen. Ihr Beitrag zur Finanzierung unseres Projektes ermöglicht es uns, Teil Ihrer sozialen Innovationsförderung zu sein.

Ihre Unterstützung ist für uns von unschätzbarem Wert und hilft uns, unsere Ziele zu erreichen. Mit ihrem großem Engagement im Bereich der MINT Förderungen tragen Sie durch Ihre Förderung dazu bei Junge Menschen bei ihrer Projektarbeit zu unterstützen.

Vielen Dank für das Sponsoring unseres Projektes.

Mit freundlichen Grüßen,

  
**Ben Moritz Becker**

  
**Jonas Peter Uhlig**

# CONTACT US

[ERASMUS.JUGENDFORSCHT@GMAIL.COM](mailto:ERASMUS.JUGENDFORSCHT@GMAIL.COM)

VLT\_TECH

VLT