

# Parameteranalyse Impedanz Rinkern-Kurzschluss

Seminarausarbeitung Projektseminar Beschleunigertechnik von Rainer Stellnberger,  
Julian Buschbaum, Benjamin Lars Northe

Betreuer: Jens Harzheim, M.Sc.

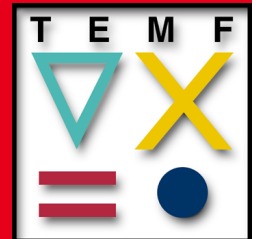
Fachgebiet Beschleunigertechnik

|

Prof. Dr.-Ing. Harald Klingbeil



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT





---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Theorie . . . . .	1
1.2	Aufgabenstellung . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Messaufbau</b>	<b>3</b>
2.1	Testbox . . . . .	3
2.1.1	Anfangsmessung . . . . .	3
2.1.2	Modifikation . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Simulation</b>	<b>9</b>
3.1	Testbox und Material . . . . .	9
3.2	Variation der Parameter . . . . .	9
<b>4</b>	<b>Gegenüberstellugn und Ergebnisse</b>	<b>11</b>
4.1	Gegenüberstellung der Simulations und Messergebnisse . . . . .	11
4.2	Feldbilder . . . . .	11
<b>5</b>	<b>Fazit und Ergebnis</b>	<b>13</b>
5.1	Fazit . . . . .	13
<b>A</b>	<b>Appendix: –</b>	<b>15</b>
<b>B</b>	<b>Bearbeitung</b>	<b>17</b>
B.1	Vorbereitung . . . . .	17
B.2	Messung . . . . .	17
B.3	Simulation . . . . .	17
<b>C</b>	<b>Plots</b>	<b>19</b>
C.1	Einfluss der Anzahl der Kurzschlüsse . . . . .	19
C.2	Einfluss der Positionierung der Kurzschlüsse . . . . .	20
C.3	Einfluss der Form der Kurzschlüsse . . . . .	21
C.4	Einfluss des Abstands der Kurzschlüsse vom Ringkern . . . . .	23
C.5	Einfluss im Falle einer passiven Schiene . . . . .	24
<b>D</b>	<b>Konstruktion</b>	<b>27</b>
D.1	Konstruktion der Ringkernhalterung . . . . .	27



---

# 1 Einleitung

---

## 1.1 Theorie

---

Bei der Gesellschaft für Schwerionenforschung(GSI) werden in der Gruppe Ring-HF Systems Beschleunigerkomponenten entwickelt. Unter anderem werden Barrier Bucket Systeme entwickelt, welche zum zusammenführen oder verdichten eines oder mehrerer Strahl-Bunches verwendet werden können. Diese Systeme verwenden unter anderem magnetische Ringkerne verwenden. Vorteil ist, dass mit diesem Aufbau ein Tuning der Resonanzfrequenz möglich ist (siehe Kapitel 4 in [2] bzw. Kapitel 2 in [1]).

Die MA(magnetic alloy)-Ringkerne weisen dabei eine charakteristische Impedanz auf, welche nicht einer idealen Spule entspricht, sondern vielmehr ein dissipatives Verhalten zeigt. Eine genauere Herleitung kann in [2] gefunden werden und liefert folgenden Zusammenhang.

$$Z_{rk} = R_{rk} + j\omega L_{rk} \quad (1)$$

$$L_{rk} = \frac{N \cdot d \cdot \mu'}{2 \cdot \pi} \cdot \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) \quad (2)$$

$$R_{rk} = \omega \cdot L_{rk} \cdot \frac{\mu''}{\mu'} \quad (3)$$

---

## 1.2 Aufgabenstellung

---

1. Untersuchung verschiedener Parameter von Kurzschlüssen um Ringkerne und deren Einfluss auf die Impedanz



---

## 2 Messaufbau

---

### 2.1 Testbox

---

Der für Messungen verwendete Testaufbau wurde aus einem vorangegangenen Projekt an der GSI übernommen [3]. Ziel des Testaufbaus war es, eine reproduzierbare Vermessung des Einflusses der Magnetic-Alloy-Ringkerne auf die Impedanz einer Einkopplung zu erreichen. Dadurch soll eine Abschätzung des Einfluss auf die Strahlimpedanz in der Kavität ermöglicht werden. Im Rahmen der Bachelorarbeit von Denys Bast am Fachgebiet Beschleunigertechnik [1] wurde für diese Testbox auch ein Simulationsmodell erstellt. Dieses wird in Abschnitt 3 behandelt.

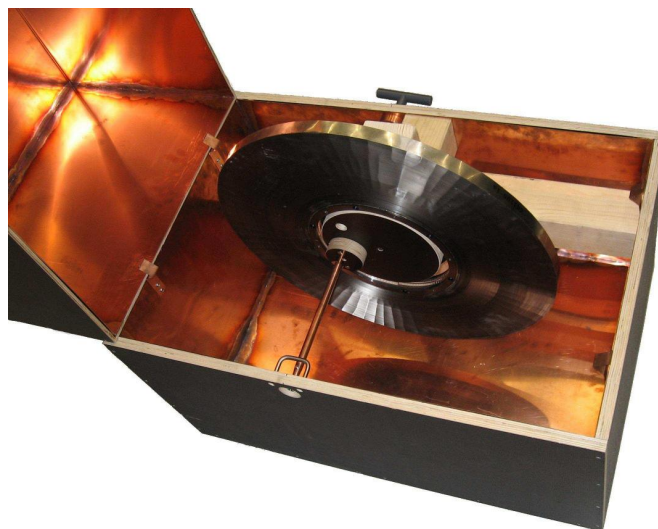
Ausgehend von den bestehenden Aufbauten und Modellen wird im folgenden Analysiert, inwiefern ein oder mehrere Sekundäre Kurzschlüsse die Feldimpedanzänderung des Ringkerns annullieren können.

---

#### 2.1.1 Anfangsmessung

---

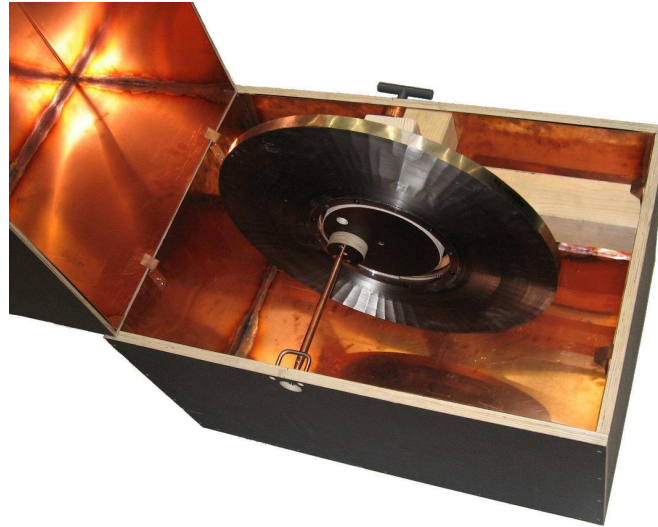
Um eine Grobe Tendenz und ein Gefühl für den Messaufbau zu erreichen wurden zunächst einige Messungen an der unmodifizierten Testbox ausgeführt. Die Testbox selbst besteht aus einem auf Rollen gelagerten Holzrahmen. Dieser ist von innen komplett mit Kupferblech der Dicke 1 mm überzogen. Dieser Überzug schirmt die Messungen in der Testbox von äußeren Einflüssen ab. Außerdem wird damit für alle Messungen eine gleiche Umgebung geschaffen, womit diese am Ende vergleichbar bleiben. Um später Ringkerne einbringen zu können, befindet sich eine Konstruktion aus Holz in der Box, welche als Halterung dient. Diese besteht aus einem Quer und einem senkrechten Balken, an dem die Eigentliche Halterung angeschraubt werden kann. Diese Halterung ist Rund und entspricht dem Innendurchmesser der Ringkerne. Diese können dadurch passgenau eingehängt werden. Etwas versetzt zur Mitte der Halterung ist durch ein Loch das Einkopplungsrohr geführt, welches mit einem Network-Analyser verbunden werden kann, um die Feldimpedanz zu bestimmen. Abbildung 1 zeigt das Innere der Testbox mit eingehängtem Ringkern.



**Abbildung 1:** Geöffnete Testbox mit eingehängtem Ringkern. [3]

---

Für die ersten Kurzschlussversuche wurden im Test einfache Kupferdrähte mit Lüsterklemmen verwendet. Die Kupferdrähte sind isoliert, sodass diese keinen Kontakt zum Ringkern herstellen. Lediglich die Enden in den Klemmen wurden abgeschliffen, um einen Kontakt herzustellen. Diese Kupferdrähte lassen sich problemlos durch die Bohrungen an der Innenseite des Ringkerns (siehe Abbildung 2) führen, was in Position zumindest an der Innenseite fixiert.



**Abbildung 2:** Kurzschlusswicklung um den Ringkern mittels eines Drahtes, dessen Enden mit einer Lüsterklemme verbunden sind.

???BILD HIER EINFÜGEN

---

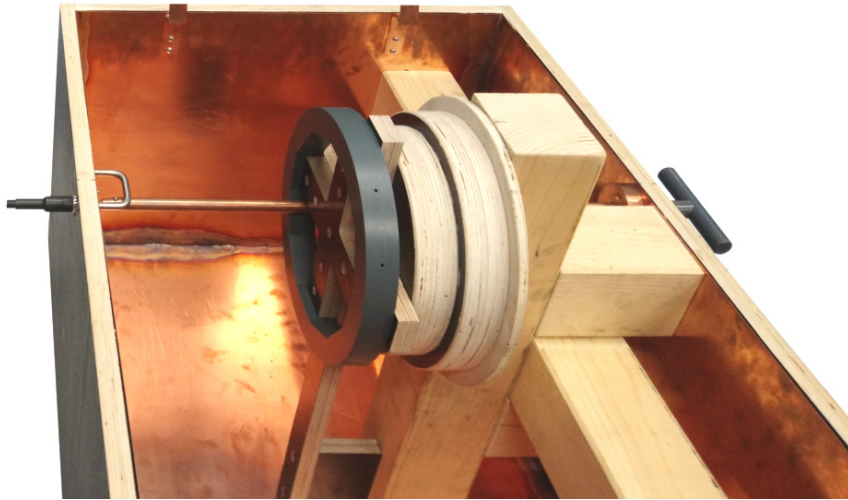
### 2.1.2 Modifikation

---

Um reproduzierbare Messungen durchführen zu können sind mehrere Anforderungen an den Aufbau der Testbox zu stellen. Zunächst muss die Möglichkeit bestehen, den Magnetic Alloy Ringkern in die Testbox einzubringen, sodass sich dieser bei jeder Messung an der gleichen Position befindet. Des weiteren ist eine Möglichkeit zu schaffen, bei der die Kurzschlüsse an festgelegten Stellen um den Ringkern zu führen sind, ohne dass diese den Kern dabei berühren. Um das zu erreichen wurden mehrere Überlegungen angestellt.

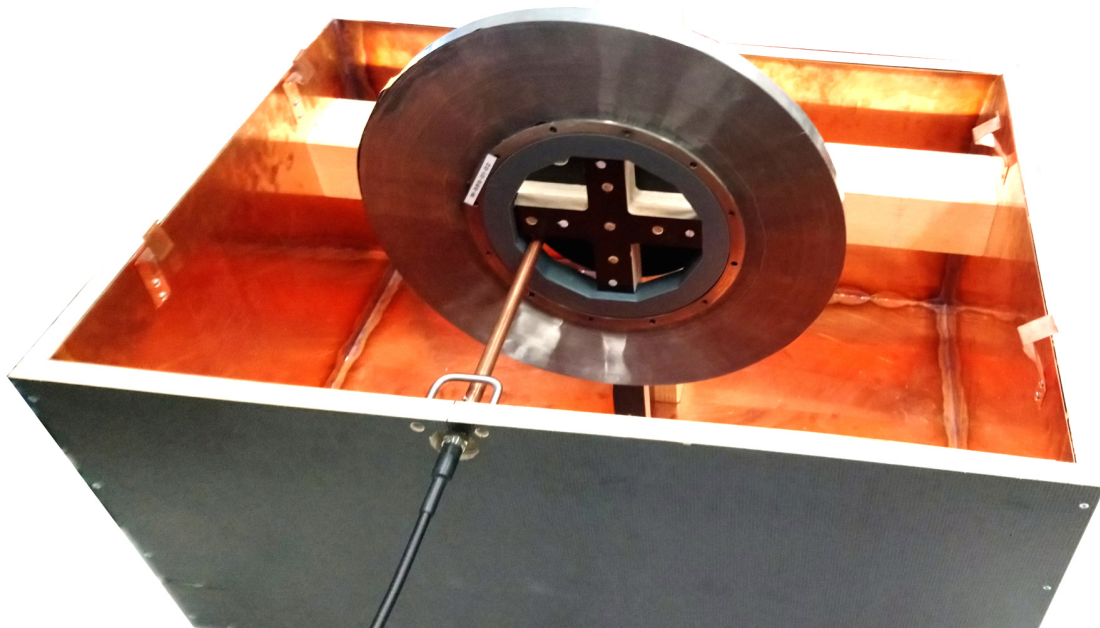
Zum einen Muss eine Maßgenaue Halterung für den Ringkern angebracht werden. Darüber hinaus sollte die Halterung einen Anschlag besitzen, um die Position sicher zu stellen. Abbildung 3 zeigt die überarbeitete Halterung. Das Holzkreuz im hinteren Teil der Halterung ragt einige Millimeter über den Rand des Polygon-Rings hinaus, sodass dort ein sicherer Anschlag entsteht. Der Polygon-Ring entspricht mit dem Außenradius von 129 mm mit leichter Toleranz zur besseren Montage dem benötigten Innenradius des Ringkerns von 130 mm.





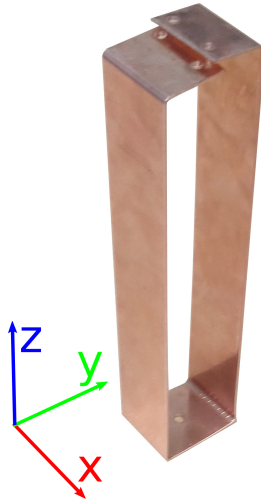
**Abbildung 3:** Halterung aus einem Polygon, welches auf ein Holzkreuz aufgesetzt wurde mit sichtbarem Anschlag.

Wie erwähnt besitzt die Halterung auf der Innenseite einen Polygonzug. Durch diesen Polygonzug können Kurzschlussbügel reproduzierbar an immer gleichen Positionen platziert werden. Dazu wurden an den Flächenmittelpunkten der inneren Polygonflächen Bohrungen mit einem M4 Gewinde vorgesehen, an dem Kurzschlüsse montiert werden können. Abbildung 4 zeigt den Polygonzug mit montiertem Ringkern.



**Abbildung 4:** Eingebrachter Ringkern auf der Halterung bestehend aus einem Polygon, welches auf ein Holzkreuz aufgesetzt wird.

Durch die Schraubungen im Polygon wird sicher gestellt, dass Kurzschlüsse stets an der gleichen Position angebracht werden, unabhängig der genauen Form der Kurzschlüsse. Abbildung 5 zeigt eine Beispielhafte Kurzschlusschiene.



**Abbildung 5:** Kurzschlusschiene mit einer Höhe in z-Richtung von 160 mm einer Breite in x-Richtung von 30 mm und einer Blechdicke von 1 mm.

Die getesteten Formen der Kurzschlüsse sind in mehrere Variationsparameter unterteilt:

- Höhe der Kurzschlüsse in z-Richtung
- Breite der Kurzschlüsse in x-Richtung
- Blechdicke der Kürzschlüsse

Für die Messung wurde daher eine ganze Reihe an Kurzschlusschienen angefertigt, damit für jede Form der Schienen unterschiedliche Anzahlen an Kurzschlüssen gemessen werden können und mehrere Stufen für jeden Variationsparameter vorhanden sind. Ein Bild aller Kurzschlusschienen ist in Abbildung 6 zu sehen.



**Abbildung 6:** Alle für Messungen angefertigte Kurzschlusschienen.

---

Insgesamt wurden folgende Kurzschlüsse angefertigt:

- 8x 160 mm Höhe in z-Richtung, 30 mm Breite in x-Richtung und 1 mm Blechdicke
- 2x 200 mm Höhe in z-Richtung, 30 mm Breite in x-Richtung und 1 mm Blechdicke
- 2x 250 mm Höhe in z-Richtung, 30 mm Breite in x-Richtung und 1 mm Blechdicke
- 2x 160 mm Höhe in z-Richtung, 20 mm Breite in x-Richtung und 1 mm Blechdicke
- 2x 160 mm Höhe in z-Richtung, 50 mm Breite in x-Richtung und 1 mm Blechdicke
- 2x 160 mm Höhe in z-Richtung, 30 mm Breite in x-Richtung und 2 mm Blechdicke

Daraus ließ sich folglich eine Gesamtzahl von 18 Messungen durchführen. Die Schienen selbst wurden jeweils aus einem länglichen Stück Kupferblech gefertigt. Dieses wurde in die vorgesehene Dimension gebogen. Zum schließen der Schienen befinden sich an beiden Enden des Kupferblechs jeweils 2 Löcher, welche nach dem Biegen mit Schrauben und Muttern verbunden werden können. In der Mitte des Kupferblechs, welche nach dem Biegen auf der Innenseite des Polygons liegt, befindet sich ein Loch mit dem Durchmesser 4 mm. Dadurch können werden die Schienen dann mittels einer Schraube positionsgenau auf die vorgesehenen Gewinde an den Polygonflächen montiert.



---

## 3 Simulation

---

### 3.1 Testbox und Material

---

Wie in Abschnitt 2.1 angeführt, kann das Modell für die Simulationen in Grundzügen aus der Bachelorarbeit von Denys Bast [1] übernommen werden. Die Modellierung der Testbox mitsamt Ringkern wurde dabei in mehreren Schritten durchgeführt. Die Wände der Testbox wurden mit idealem Kupfer modelliert. Ebenso wurde die Einkopplung und der Innenleiter durch die Box mit idealem Kupfer dargestellt und die Dimensionen der Verbindung entsprechend angepasst. Die Holzkonstruktion zur Halterung der Ringkerne ist im Ursprünglichen Modell nicht modelliert, der Ringkern hängt dort also in der Luft.

Der Ringkern selbst, beziehungsweise das Ringkernmaterial wurde aus der Messung herausgezogen. Dazu wurde die Messkurve der Ringkernbox als RLC-Modellierung gefittet. Aus den berechneten Werte für L und C können anschließend die Parameter  $\mu'$  und  $\mu''$  mit Hilfe der Formeln 1 bis 3 berechnet werden.

---

### 3.2 Variation der Parameter

---





---

## 4 Gegenüberstellugn und Ergebnisse

---

### 4.1 Gegenüberstellung der Simulations und Messergebnisse

---

---

### 4.2 Feldbilder

---





---

# 5 Fazit und Ergebnis

---

## 5.1 Fazit

---



---

## A Appendix: –

«<



---

AB HIER WIP, NICHT IN DER ENDSTRUK-  
TUR

---

# B Bearbeitung

---

## B.1 Vorbereitung

---

1. Zu untersuchende Parameter:
  - a) Anordnung des Kurzschlusses (in Relation zur Strahlführung, Abstand zum Ringkern, Anordnung um den Ringkern)
  - b) Anzahl der Kurzschlüsse
  - c) Form
  - d) Abmessungen (Größe)

---

## B.2 Messung

---

1. Messung der Impedanz mittels Network Analysers
2. Messung verschiedener Aufbauten
  - a) leere Box (als Referenz)
  - b) mit Ringkern
  - c) verschiedene Arten und Anordnungen von Kurzschlüssen

---

## B.3 Simulation

---

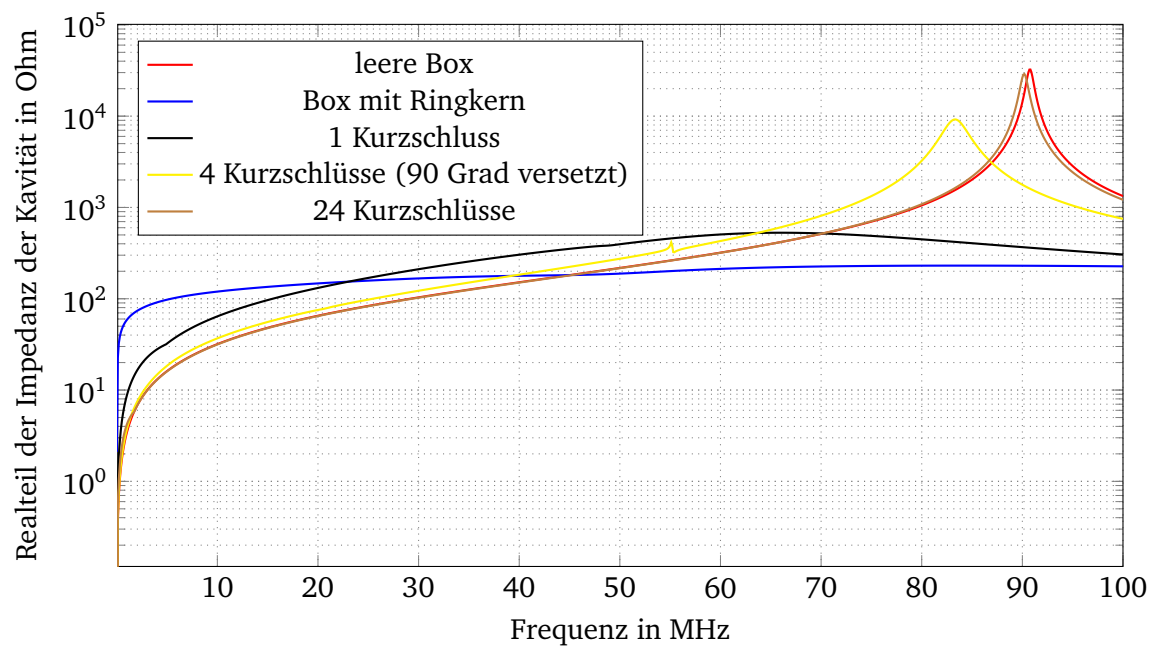
1. Simulation der Messaufbauten und Vergleich mit der Messung
2. Simulation als Vorbereitung für Messung
3. als Abschätzen der Einflüsse und deren Gewichtung



## C Plots

### C.1 Einfluss der Anzahl der Kurzschlüsse

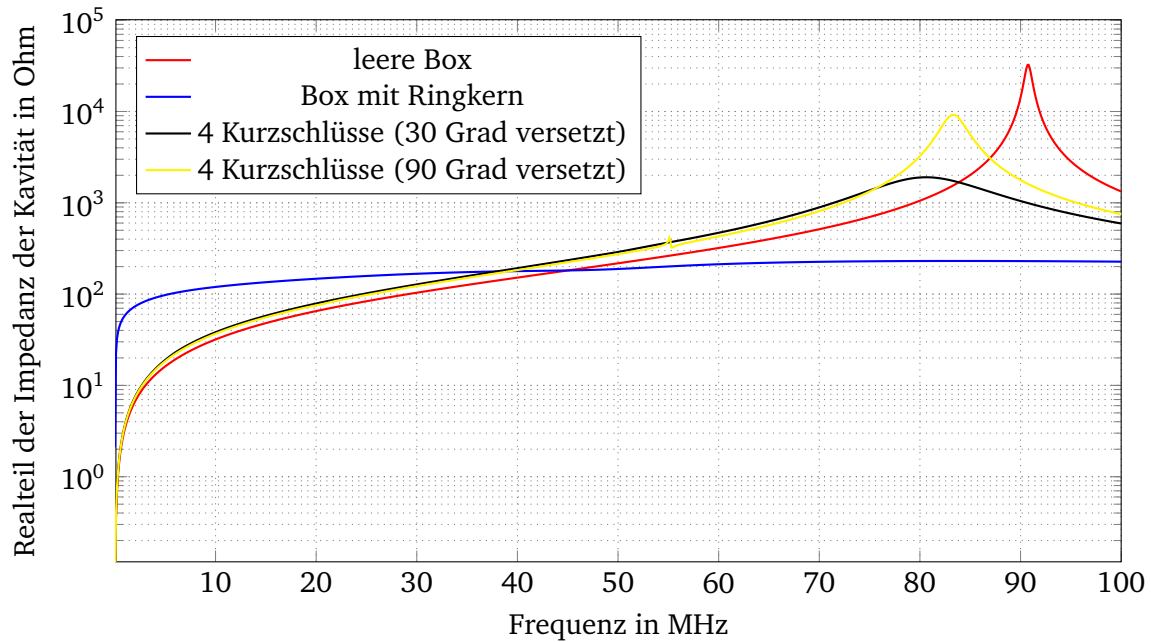
Für diese Analyse wurden Kurzschlüsse mittels Torusringen um den Ringkern erzeugt. Dabei wurde sowohl die Anzahl, als auch die Position variiert. Abbildung 7 zeigt die Einflüsse.



**Abbildung 7:** Verhalten der Box ohne Ringkern im Vergleich zur Box mit Ringkern, sowie mit mehreren Kurzschlüssen

## C.2 Einfluss der Positionierung der Kurzschlüsse

Für diese Analyse werden 4 Kurzschlüsse einmal um 30 Grad versetzt um den Ringkern platziert, und einmal um 90 Grad versetzt.

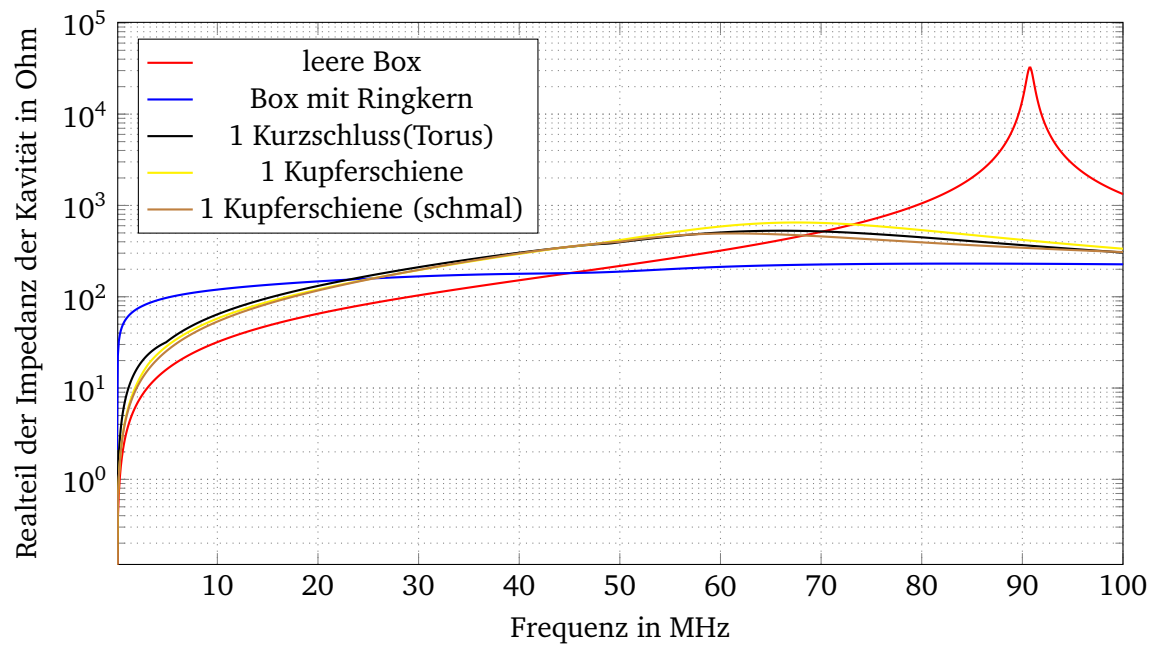


**Abbildung 8:** Verhalten der Box ohne Ringkern im Vergleich zur Box mit Ringkern, sowie mit mehreren Kurzschlüssen



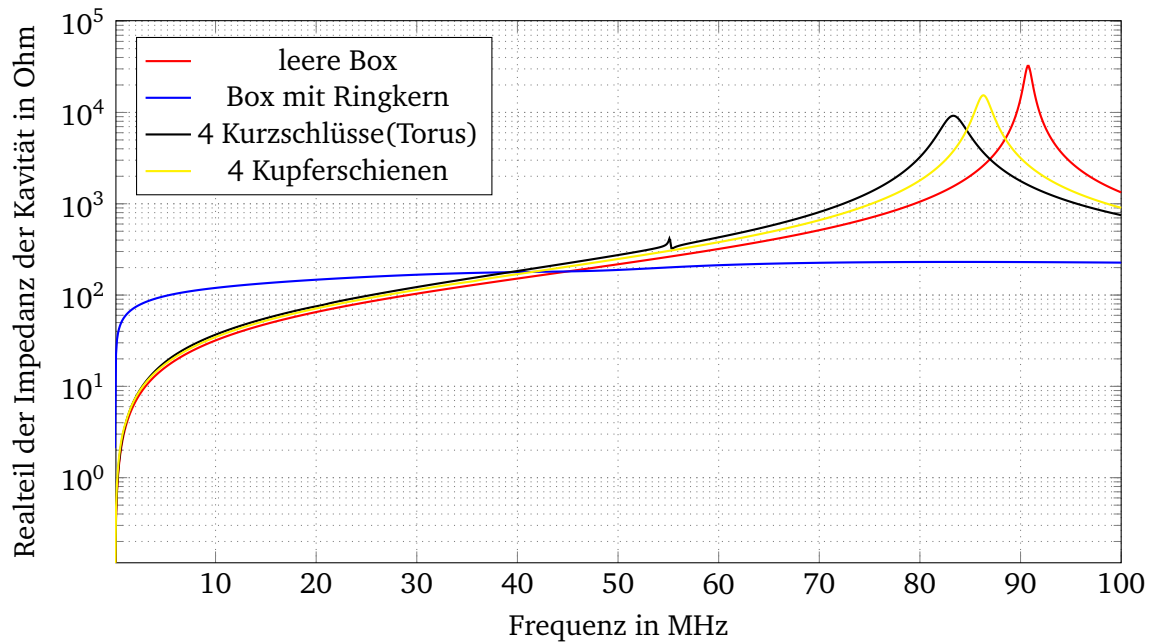
### C.3 Einfluss der Form der Kurzschlüsse

Für diese Analyse wird die Form der Kurzschlüsse analysiert. Dazu wird wieder der einzelne Torus herangezogen und verglichen mit Verschieden breiten und weiten Kupferschienen.



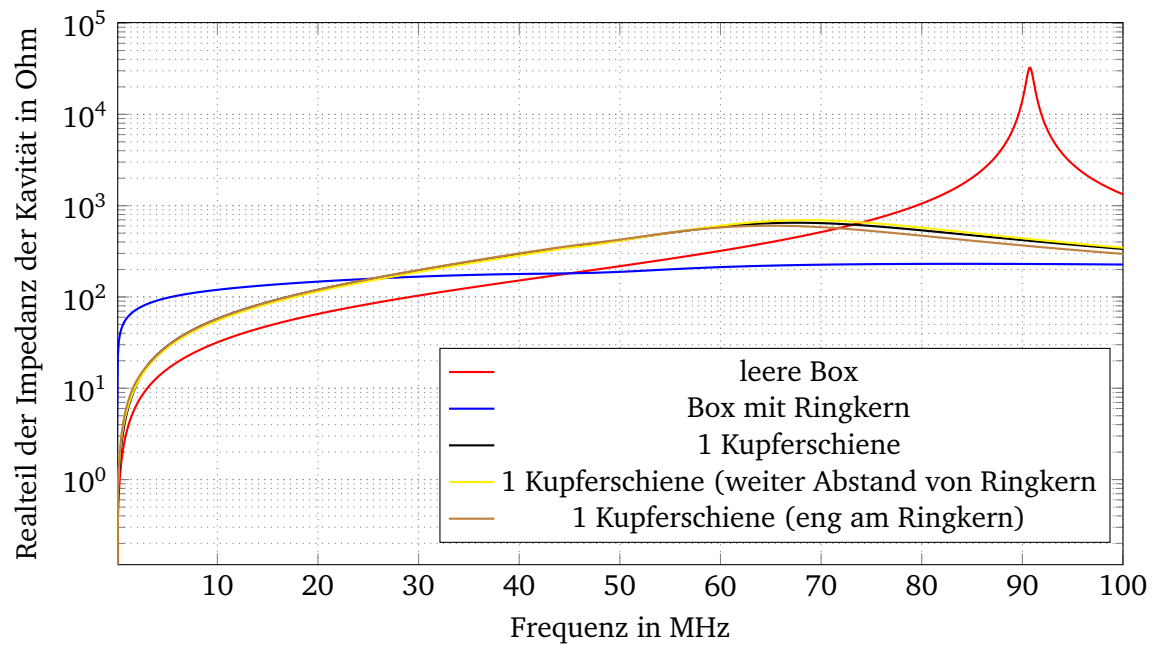
**Abbildung 9:** Verhalten der Box ohne Ringkern im Vergleich zur Box mit Ringkern, sowie mit mehreren Kurzschlüssen

Des Weiteren wird der Vergleich mit mehreren Kurzschlüssen gezogen. Hierbei werden 4 Toruskurzschlüsse 4 Kupferschienenkurzschlüssen gegenüber gestellt.



**Abbildung 10:** Verhalten der Box ohne Ringkern im Vergleich zur Box mit Ringkern, sowie mit mehreren Kurzschlüssen

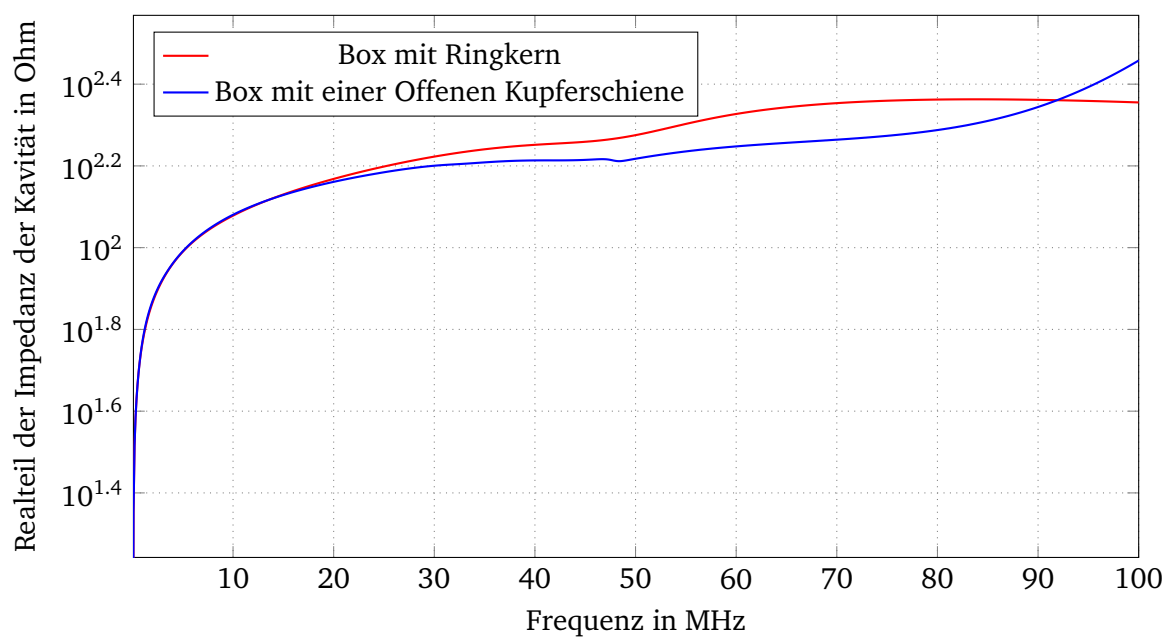
#### C.4 Einfluss des Abstands der Kurzschlüsse vom Ringkern



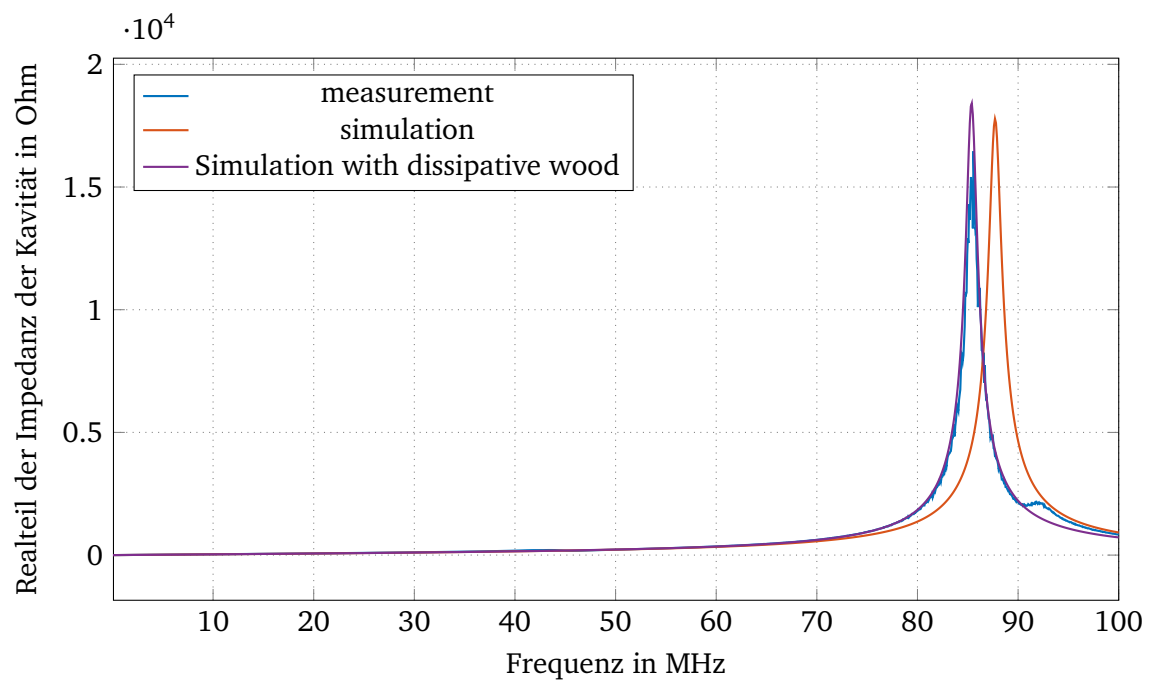
**Abbildung 11:** Verhalten der Box ohne Ringkern im Vergleich zur Box mit Ringkern, sowie mit mehreren Kurzschlüssen

## C.5 Einfluss im Falle einer passiven Schiene

Bei einer Schiene:

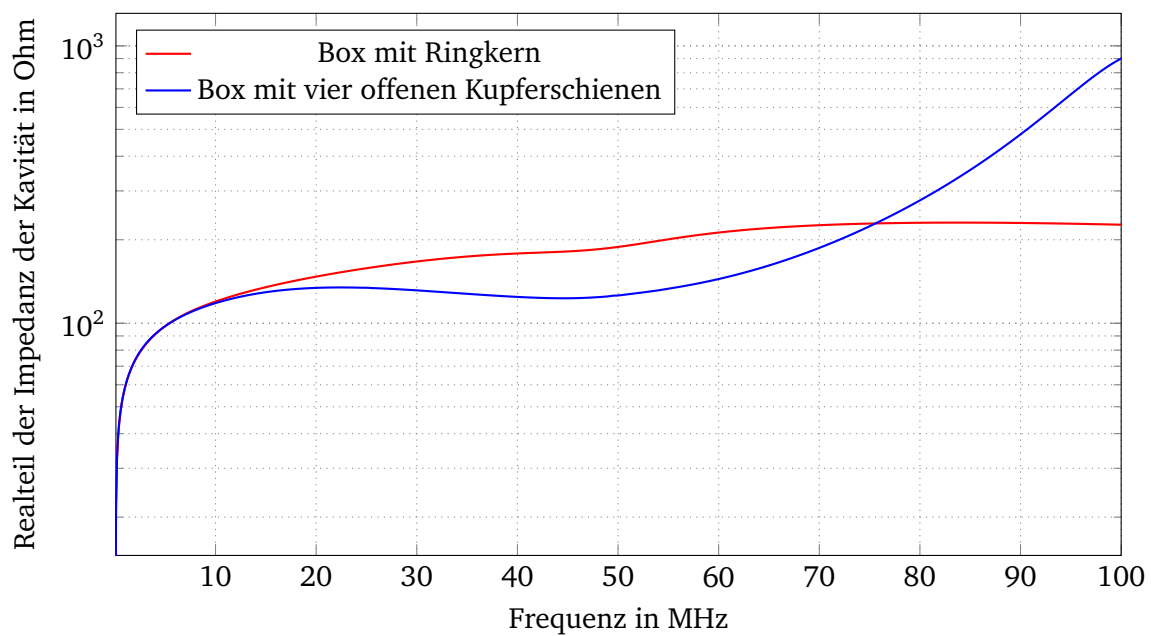


**Abbildung 12:** Verhalten der Box mit Ringkern im Vergleich zur Box mit einer offenen Kupferschiene



**Abbildung 13:** Measurement and simulation comparison of the box with polygon

Bei mehreren Schienen:

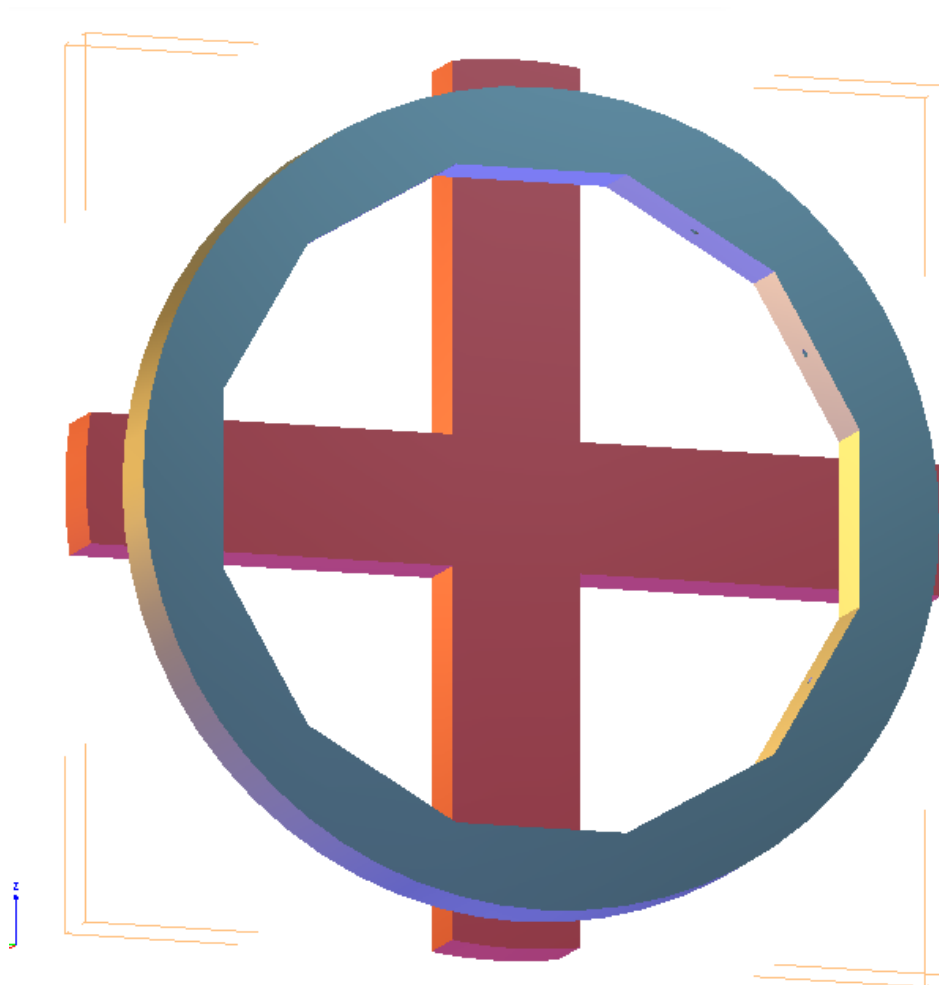


**Abbildung 14:** Verhalten der Box mit Ringkern im Vergleich zur Box mit einer offenen Kupferschiene

# D Konstruktion

## D.1 Konstruktion der Ringkernhalterung

Um die Simulationen als Messung zu validieren ist eine Modifikation der Testbox vonnöten. In der Aktuellen Anordnung ist eine Anbringung von Kurzschlüssen nur schwer möglich. Um dies zu erleichtern wurde die Neue Konstruktion angeführt.







---

# Literatur

- [1] Denys Bast. *Modellierung und Feldsimulation eines Messaufbaus für hochpermeable Ringkernproben*.
- [2] Dieter Lens Harald Klingbeil Ulrich Laier. *Theoretical Foundations of Synchrotron and Storage Ring RF Systems*. 2015.
- [3] Jens Harzheim u. a. „Modeling and Simulation of Broadband RF Cavities in PSpice“. In: (2016).



---

# Abbildungsverzeichnis

1	Geöffnete Testbox mit eingehängtem Ringkern. [3]	3
2	Kurzschlusswicklung um den Ringkern mittels eines Drahtes, dessen Enden mit einer Lüsterklemme verbunden sind.	4
3	Halterung aus einem Polygon, welches auf ein Holzkreuz aufgesetzt wurde mit sichtbarem Anschlag.	5
4	Eingebrachter Ringkern auf der Halterung bestehend aus einem Polygon, welches auf ein Holzkreuz aufgesetzt wird.	5
5	Kurzschlusschiene mit einer Höhe in z-Richtung von 160 mm einer Breite in x-Richtung von 30 mm und einer Blechdicke von 1 mm.	6
6	Alle für Messungen angefertigte Kurzschlusschienen.	6
7	Verhaltend der Box ohne Ringkern im Vergleich zur Box mit Ringkern, sowie mit mehreren Kurzschlüssen	19
8	Verhaltend der Box ohne Ringkern im Vergleich zur Box mit Ringkern, sowie mit mehreren Kurzschlüssen	20
9	Verhaltend der Box ohne Ringkern im Vergleich zur Box mit Ringkern, sowie mit mehreren Kurzschlüssen	21
10	Verhaltend der Box ohne Ringkern im Vergleich zur Box mit Ringkern, sowie mit mehreren Kurzschlüssen	22
11	Verhaltend der Box ohne Ringkern im Vergleich zur Box mit Ringkern, sowie mit mehreren Kurzschlüssen	23
12	Verhaltend der Box mit Ringkern im Vergleich zur Box mit einer offenen Kupferschiene	24
13	Measurement and simulation comparison of the box with polygon	25
14	Verhaltend der Box mit Ringkern im Vergleich zur Box mit einer offenen Kupferschiene	26



---

# Tabellenverzeichnis

