



# **Berufspraktisches Semester**

## **Simulation von hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung und deren Effekte auf medizinische Implantate**

**Leader, Ahnaf Beltian  
Elektro- und Kommunikationstechnik  
1197857**

Betreuer von FH:

Dipl. –Ing. Mohammad Reza Mansooji

Betreuer von MR:comp GmbH:

Michael Schwarz

Startdatum: 01.April 2022

Abgabedatum: 15.September 2022

# Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen benutzt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder noch nicht veröffentlichten Quellen entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht. Die Zeichnungen oder Abbildungen dieser Arbeit sind von mir selbst erstellt worden oder mit einem entsprechenden Quellennachweis versehen. Diese Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keiner anderen Prüfungsbehörde eingereicht worden.

A handwritten signature in dark ink, consisting of a large, stylized 'A' followed by a checkmark-like flourish.

11.09.2022, Ahnaf Beltian Leader

Datum, Unterschrift des Studierenden

# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
1.1.	Eckdaten des Praktikums	4
1.2.	Allgemeines Tätigkeitsfeld	4
1.3.	Ziel des Praktikums	4
1.4.	Geschichte des Unternehmens	4
1.5.	Herausforderungen	5
<b>2.</b>	<b>Dienstprozess</b>	<b>6</b>
2.1.	Spezifikation der Produktmatrix	6
2.2.	Schätzung der Simulation	6
2.3.	Reduktion der Produktmatrix	7
<b>3.</b>	<b>Simulationsausführung</b>	<b>8</b>
3.1.	Modellbearbeitung	9
3.1.1.	Bearbeitung CAD-Modell mit Sim4Life	9
3.1.2.	Bearbeitung CAD-Modell mit FreeCAD	9
3.1.3.	Standardprotokolle von ASTM International	10
3.2.	Materialeinstellung	11
3.3.	Simulationsanalyse	12
<b>4.</b>	<b>Automatisierung</b>	<b>14</b>
4.1.	Simulation Automatisierung mit Python	14
4.2.	Weiterentwicklung der Automatisierung von Daten-Transfer	15
<b>5.</b>	<b>Tätigkeiten des Praktikums</b>	<b>16</b>
<b>6.</b>	<b>Fazit und Rückblick</b>	<b>18</b>
<b>7.</b>	<b>Referenzen</b>	<b>19</b>

# 1. Einleitung

Wir leben in Zeitalter der Technik. Die Technik und Medizin haben sich rasant entwickelt. Die Kombination der beiden hat zu einem sehr schnellen Fortschritt im medizinischen Bereich geführt. Sogar die medizinische Behandlung kann mit Hilfe der Technik durchgeführt werden.

## 1.1. Eckdaten des Praktikums

Im Zeitraum vom 01.04.2022 bis 31.01.2022 habe ich mein Praktikum bei der Firma MR:comp GmbH in Gelsenkirchen absolviert. Ich finde ihre Sichtweise auf Zukunftsbranchen sehr interessant. Dies hat meine Neugier geweckt und mich schließlich dazu bewogen, mich dort für ein Praktikum zu bewerben.

## 1.2. Allgemeines Tätigkeitsfeld

Zu meinen Tätigkeiten in der Simulationsabteilung gehören die Mitarbeit bei der Dokumentation, der Simulationsplanung und der Recherche in der laufenden Forschung sowie die Unterstützung von Automatisierungsprogrammen mit Python.

## 1.3. Ziel des Praktikums

Der Zweck meines Praktikums ist es, meinen Horizont über die Arbeitswelt im Zusammenhang mit meinem Hauptfach zu erweitern und auch Erfahrungen in der Arbeitswelt zu sammeln, die im Studium nicht erworben werden können. Darüber hinaus möchte ich eine Beziehung zum Arbeitgeber aufbauen.

## 1.4. Geschichte des Unternehmens



*Figure 1: Das Logo der MR:comp*

Die MR:comp GmbH wurde 2004 gegründet. Der Gründer und Geschäftsführer unseres Unternehmens, Gregor Schaefer, erhielt seinen Dipl.-Ing. (FH) 2001 Studium der Medizintechnik an der Fachhochschule Gelsenkirchen, Deutschland. Die MR:comp GmbH ist spezialisiert auf die Prüfung von Implantaten, Instrumenten und Zubehör hinsichtlich Magnetresonanzsicherheit und Verträglichkeit.

## 1.5. Herausforderungen

MRT "Magnetresonanztomografie" ist eine nicht-invasive Bildgebungstechnik, die überlegene Kontraste auf Weichgewebe erzeugen werden kann. Die MRT verwendet ein sehr starkes Magnetfeld, sich schnell ändernde Magnetfelder, Radiowellen und einen Computer, um detaillierte Bilder zu erhalten [1].

Die Hochfrequenzspulen können zu einer Erwärmung des Gewebes führen, insbesondere wenn Implantate vorhanden sind. Auch nicht ferromagnetische Implantate können aufgrund von Wirbelströmen, die sich in Metallen ausbreiten, die oszillierenden Magnetfeldern ausgesetzt sind, eine Erwärmung verursachen [1].

Die grundlegende Frage, die dabei behandelt wird, lautet: "Was ist die aktuelle Möglichkeit zur Inspektion von Implantaten auf Exposition gegenüber hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung in Bezug auf geltende MR-Sicherheitsstandards?"

## 2. Dienstprozess

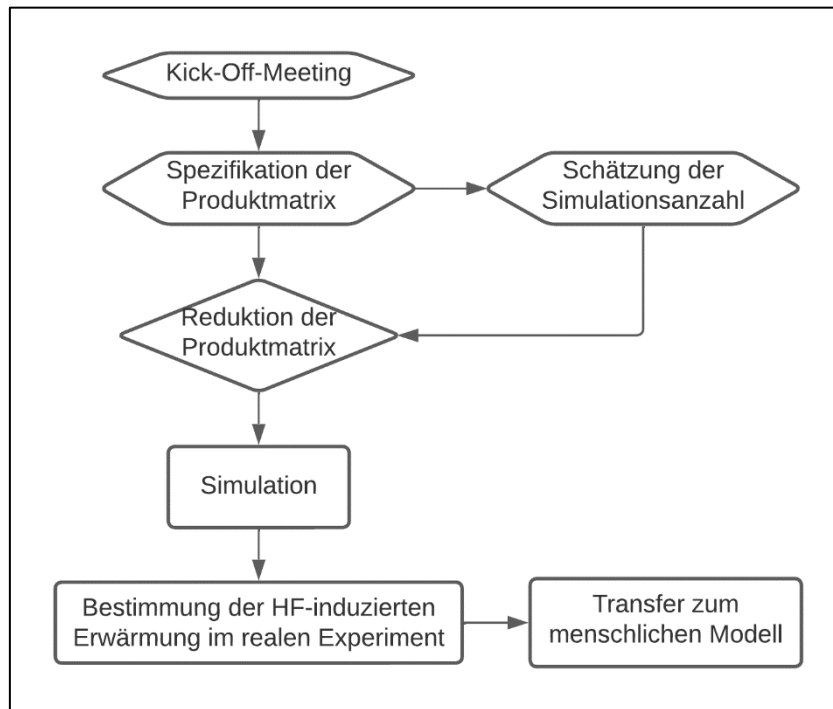


Figure 2: Ablauf der Untersuchung der HF-induzierten Erwärmung von Implantaten [2]

Vor Beginn der Simulation muss ein Verfahren durchgeführt werden. Damit wird festgelegt, wie viele Simulationen durchgeführt werden müssen, um die richtigen Ergebnisse zu erhalten.

### 2.1. Spezifikation der Produktmatrix

Die Spezifikation der Produktmatrix ist der Ausgangspunkt für den Praktikanten. In diesem Abschnitt werden den Praktikanten die Teile von Implantat und ihre Funktionen erklärt. Die Praktikanten sollten auch aktiv nach Spezifikation davon suchen, wenn das Implantat aus mehreren Teilen besteht. Der Praktikant muss wissen, wie das Implantat montiert oder befestigt wird.

### 2.2. Schätzung der Simulation

Zunächst wird die Anzahl der Simulationen geschätzt. Dies dient dazu, den Kunden über die Mindestanzahl der durchzuführenden Simulationen zu informieren. Nach der Bestätigung durch den Kunden wird dann ein Simulationsplan erstellt.

## 2.3. Reduktion der Produktmatrix

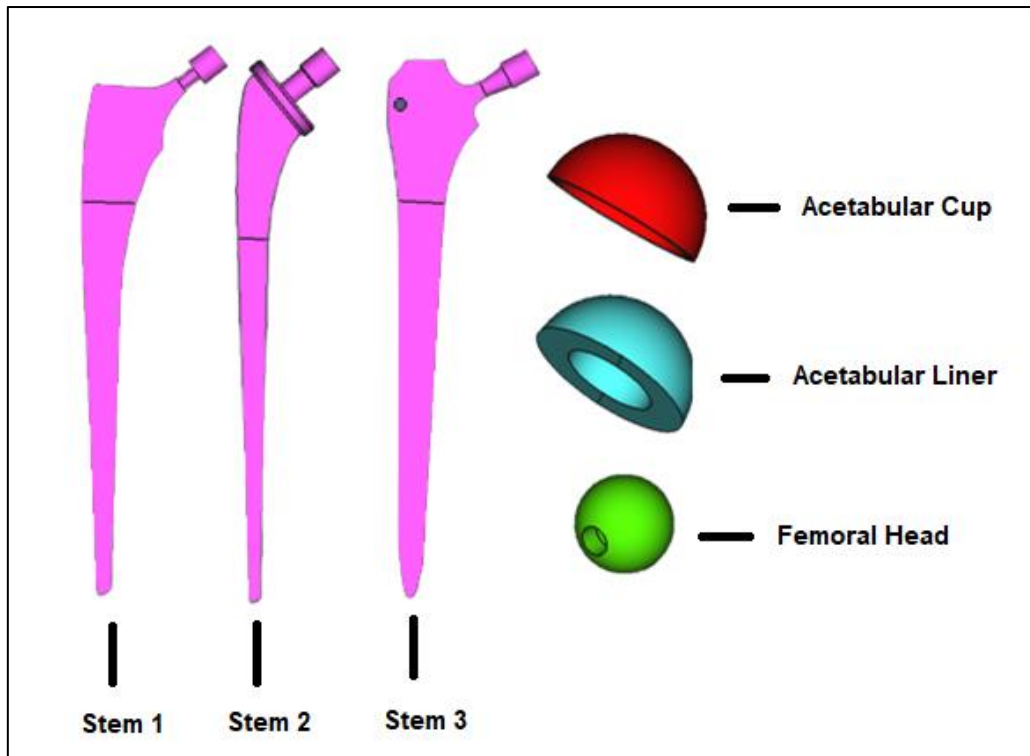


Figure 3: Teile für die Montage des Hüftimplantats

Figure 3 sind die Spezifikationen der einzelnen Teile des Hüftimplantats aufgeführt und es besteht aus mehreren Teilen, die befestigt werden können und werden als Konfigurationen bezeichnet.

Teil des Implantats	Variabler Parameter		Material
	Länge	Durchmesser	
Femoral Stem 1	Von 8 cm bis 18 cm	-	Titan
Femoral Stem 2	Von 8 cm bis 18 cm	-	Titan
Femoral Stem 3	Von 8 cm bis 18 cm	-	Titan
Acetabular Cup	-	Von 46 mm bis 64 mm Inkrementiert um 2 mm	Stahl und Titan
Acetabular Interface	-	28mm und 32 mm	UHMWPE
Femoral Head	-	23mm und 32 mm	Titan und Keramik

Tabelle 1: Spezifikation für Hüftimplantat

Bei normaler Berechnung gibt es mehr als 500 Konfigurationen, die verwendet werden können. Daher hat MR:comp GmbH eine spezielle Berechnung, um die Konfiguration auszuwählen und die Anzahl der zu simulierenden Simulationen zu minimieren [3].

### 3. Simulationsausführung

Seit einigen Jahren nutzen Forscher im MR-Bereich die FDTD(Finite Difference Time Domain) Simulationssoftware, um das experimentell kaum messbare Feld im Inneren des Körpers zu berechnen. Es gibt mehrere Programme, die FDTD-Simulationen bieten. In diesem Projekt werde ich die Software Sim4Life von ZMT-Entwickler verwenden.



Figure 4: Sim4Life-Software [3]

Im letzten Monat meines Praktikums habe ich Abschlussprojekt bekommen. Das Thema ist Vergleich von schlimmstem Fall zwischen lineare Polarisation und zirkulare Polarisation. Das Problem bei diesem Thema besteht darin, dass die Verwendung unterschiedlicher Hochfrequenz-Polarisationsspulen zu Unterscheiden in den Ergebnissen der SAR-Verteilung auf dem Phantom führen kann, was wiederum zu Unterscheiden bei den schlimmsten Fällen und Wärmepunkten auf dem Implantat zur Folge haben kann.



## 3.1. Modellbearbeitung

Der erste Schritt vor der Simulation ist die Bearbeitung des CAD-Modells des Implantats. Der Praktikant sollte die bereitgestellte Implantat aus der CAD-Datei importieren. Wenn das Implantat aus vielen Teilen besteht, sollte der Praktikant sie manuell mit einer CAD-Software zusammensetzen.

### 3.1.1. Bearbeitung CAD-Modell mit Sim4Life

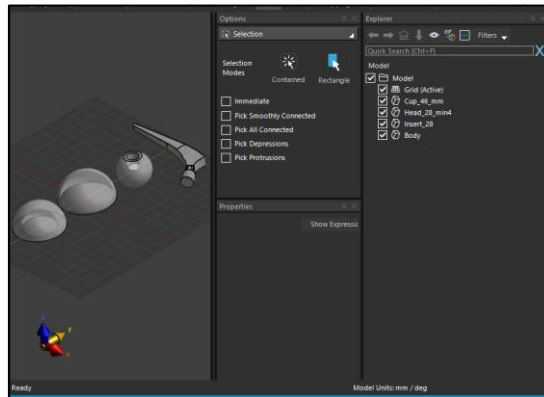


Figure 5: Ansicht der Bearbeitung von CAD-Modell in Sim4Life

Sim4Life kann CAD-Dateien bearbeiten und erstellen. Das Problem bei Sim4Life ist, dass Sim4Life das CAD mit Hilfe von Koordinaten verschieben kann, aber es gibt keine Werkzeuge, um die CAD-Datei automatisch zusammenzufügen. Es gibt noch eine weitere Möglichkeit, das Zusammenfügen des Implantats deutlich zu vereinfachen.

### 3.1.2. Bearbeitung CAD-Modell mit FreeCAD

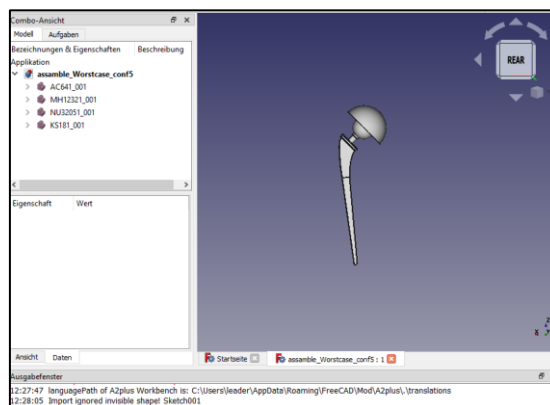
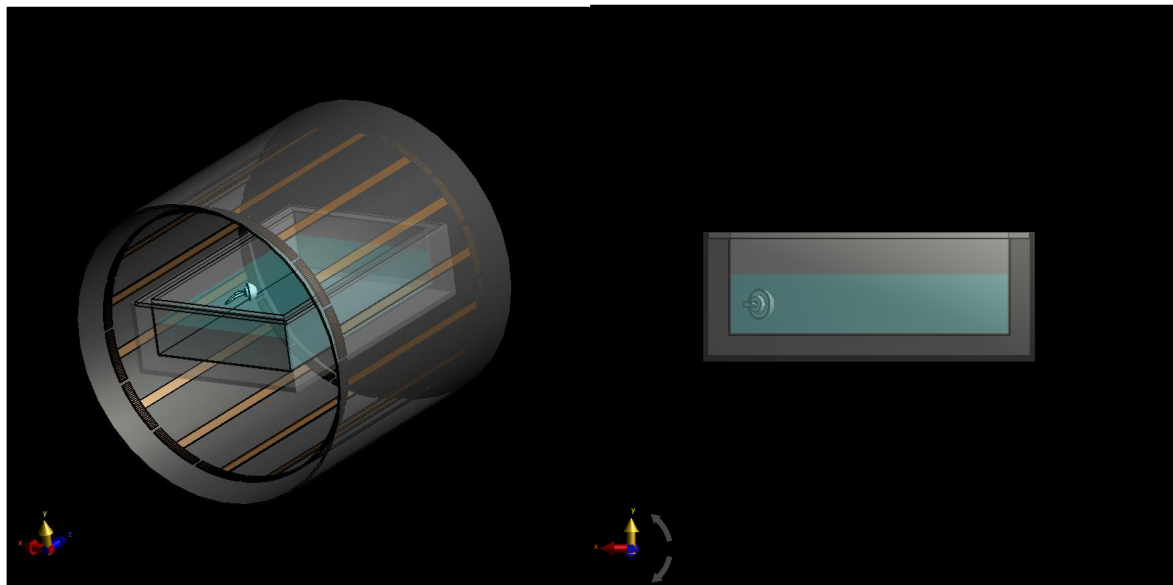


Figure 6: Ansicht der Bearbeitung von CAD-Modell in FreeCAD

Zur Bearbeitung der CAD-Datei kann eine andere Software verwendet werden, die FreeCAD heißt. FreeCAD ist ein Open-Source parametrischer 3D-Modellierer, der hauptsächlich für die Gestaltung realer Objekte jeder Größe entwickelt wurde.

### 3.1.3. Standardprotokolle von ASTM International

Nach dem Zusammenbau des Implantats sollten die Praktikanten auch die Standardprotokolle für die Simulation kennengelernt werden. MR:comp folgt den Protokollstandards von ASTM international (American Society for Testing and Materials). ASTM ist eine der größten Normungsorganisationen und entwickelt technische Normen für Materialien, Produkte, Systeme und Dienstleistungen [4].



*Figure 7: Übersicht des Simulationsaufbaus*

Gemäß dem ASTM müssen die Implantate im Gel in einem Abstand von 20 mm von den Seiten- und Bodenflächen des Phantoms platziert werden. Die Leitfähigkeit bei der Testtemperatur wurde ursprünglich ähnlich der durchschnittlichen Leitfähigkeit des menschlichen Körpergewebes bei Körpertemperatur für Frequenzen im Bereich von 64 MHz bis 128 MHz gewählt.

## 3.2. Materialeinstellung

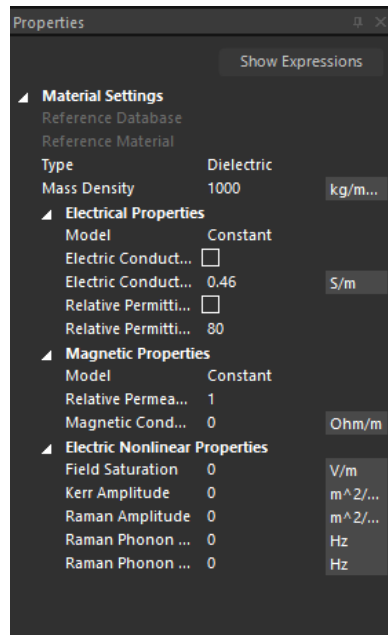


Figure 8: manuelle Materialeinstellung

Als Nächstes wird die durchzuführende Simulation ausgewählt und Materialinformationen für jeden Teil des Implantats angegeben. Auf dem Figure 8 ist die Materialeigenschaft von Gel. Die Anforderungen von gemäß ASTM International erfordert Phantom für HF-Erwärmungstests die folgenden Kriterien erfüllen. Die Leitfähigkeit des Salzgels muss  $0,47 \pm 10 \%$  S/m betragen. Die Dielektrizitätskonstante oder relative elektrische Permittivität muss  $80 \pm 20$  bei der entsprechenden Prüffrequenz (64 MHz oder 128 MHz) betragen [5].

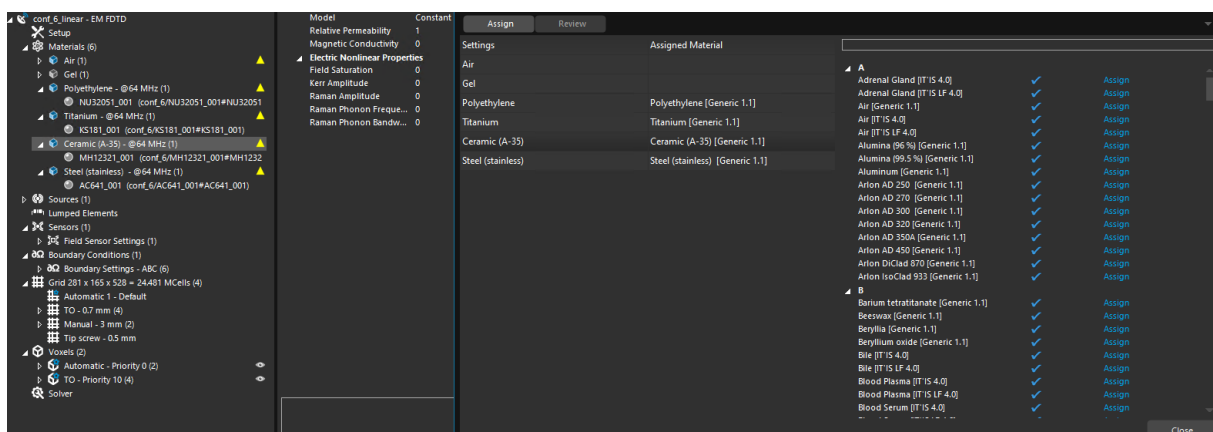


Figure 9: verfügbare unterschiedliche Materialeigenschaften

Sim4Life bietet auch Materialeigenschaften, die bereits in der Anwendung vorhanden sind, um Optionen bereitzustellen, wenn der Kunden noch keine spezifischen Materialinformationen hat.

### 3.3. Simulationsanalyse

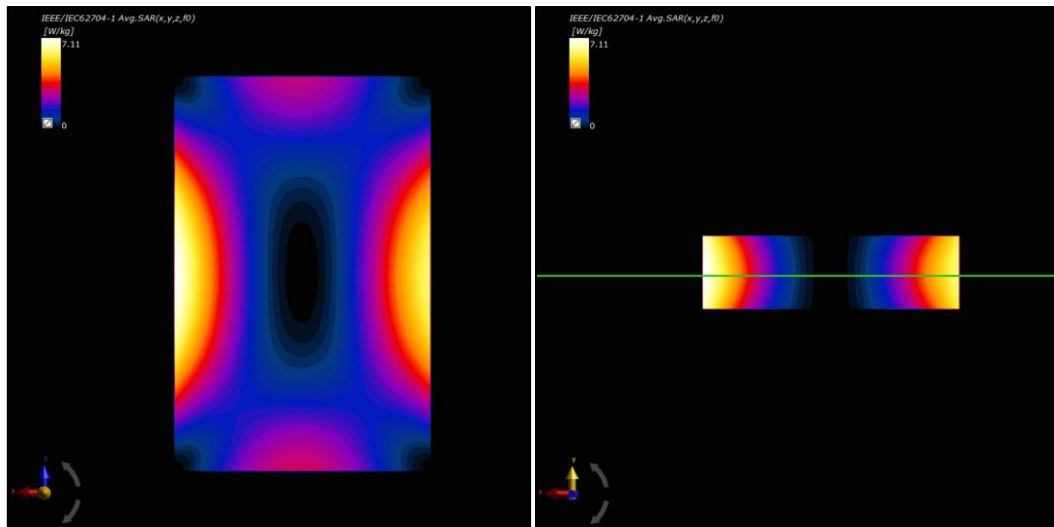


Figure 10: 0,1 g gemittelte SAR-Verteilung im Gel bei 64 MHz für lineare Polarisation

Figure 10 ist die Ansicht der SAR-Verteilung in einem Phantom, das kein Implantat enthält. Lineare Polarisation ist in der Simulation verwendet. Die höchste SAR-Verteilung befindet sich an der Seite von Phantom.

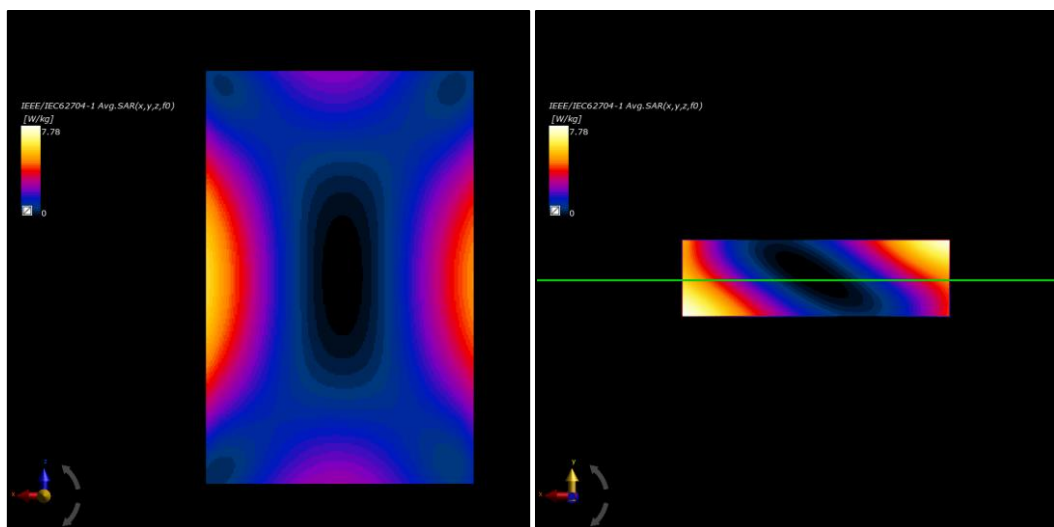


Figure 11: 0,1 g gemittelte SAR-Verteilung im Gel bei 64 MHz für zirkulare Polarisation

Die für die zirkulare Polarisation verwendete Frequenz beträgt 64 MHz bei 1,5 T. Auf dem **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Figure 11 ist zu erkennen, dass die SAR-Verteilung an der Spitze des Phantoms auftritt. Damit ist bekannt, dass die zirkulare Polarisation eine andere SAR-Verteilung erzeugt.

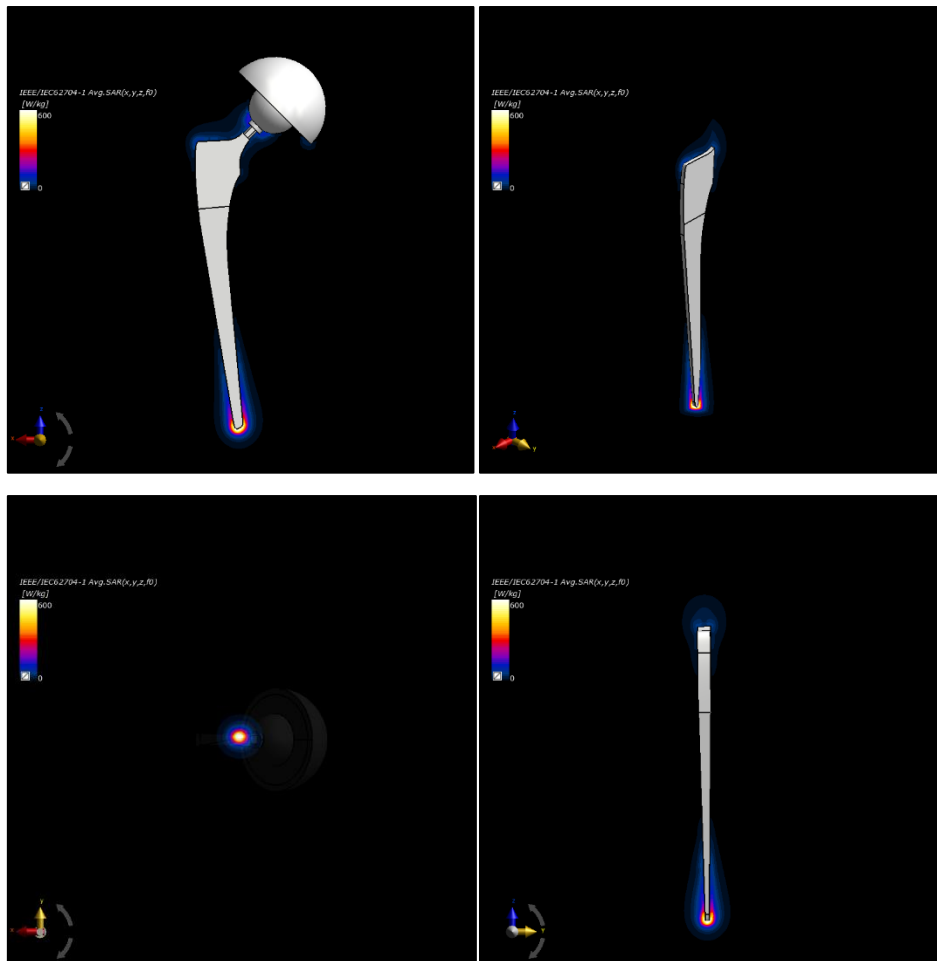


Figure 12: 0,1 g gemittelte SAR-Verteilung der Simulation 5 im Gel bei linearer Polarisierung

Eine Simulationsanalyse kann eine E-Feld- und SAR-Verteilung auf einem Phantom erzeugen. Um einen Simulationsbericht zu schreiben, werden die Analyseergebnisse der SAR-Verteilung zu Phantom verwendet. Es ist ersichtlich, dass der Unterschied zwischen linearer und zirkularer Polarisierung zu einer unterschiedlichen SAR-Verteilung führt. Bei zirkularer Polarisierung liegt die höchste SAR-Verteilung an der Spitze des Phantoms. Wenn ein Implantat parallel zur Hochfrequenz liegt, führt dies zu einer unterschiedlichen Erwärmung.

Ergebnis der Analyse der linearen Polarisierung ist in zu sehen. An mehreren Stellen des Implantats tritt eine erhöhte SAR auf. Die höchste SAR befindet sich am Spitze des Implantats. Daraus kann geschlossen werden, dass dieses Implantat eine Erwärmung an der Spitze aufweist.

Um einen Simulationsbericht zu schreiben, müssen Bilder aus verschiedenen Blickwinkeln gemacht werden, um zu verdeutlichen, wo der stärkste Anstieg der SAR auftritt.

## 4. Automatisierung

Die Sim4Life-Python-Anwendungsprogrammierschnittstelle (API) kann verwendet werden, um Aufgaben zu parametrisieren und zu automatisieren z.B. geometrische Modellierung, Simulationsaufbau oder Nachbearbeitung, und um benutzerdefinierte Tools und unabhängige Anwendungen zu erstellen.

### 4.1. Simulation Automatisierung mit Python

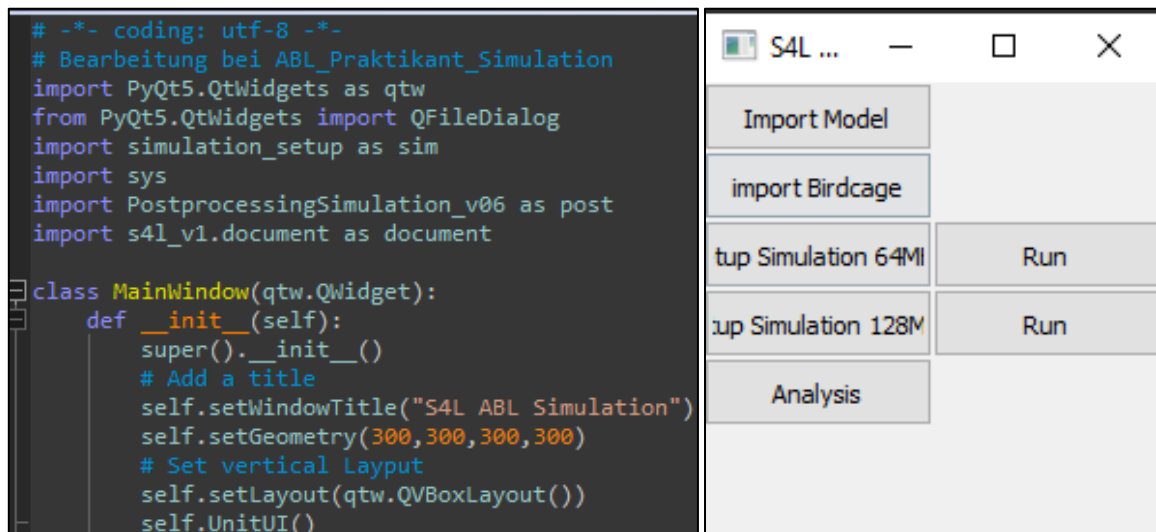


Figure 13: Automatisierungsprogramm in Python

Die Projektautomatisierung dient dazu, den Simulationsprozess zu beschleunigen. Hier verwende ich das GUI-Framework von PyQt5. Der Zweck der grafischen Benutzeroberfläche besteht darin, Dateidialoge zu öffnen. Dadurch wird der Import von Dateien erleichtert. Zu diesem Projekt wird Tkinter nicht verwendet, da es in sim4life keine Unterstützung gibt, obwohl eine externe Installation durchgeführt wurde.

## 4.2. Weiterentwicklung der Automatisierung von Daten-Transfer

Andere Projekte sind Weiterentwicklungen bestehender Projekte. Dieses Projekt verwendet die Programmiersprache Visual Basic. Der Zweck dieses Programms besteht darin, den Datenabruf aus Excel zu automatisieren, dessen Daten das Simulationsbildverzeichnis sowie SAR-Simulationsdaten enthalten.



*Figure 14: GUI-Benutzeroberfläche*

Dieses Programm durchsucht das Bildverzeichnis anhand der Daten in der Excel-Datei. Dann wird das Bild in eine Word-Datei importiert. Danach liefert dieses Programm Informationen zu jedem importierten Bild. Die bereitgestellten Informationen sind in Form einer Zahl aus der Simulation der erhaltenen SAR-Ergebnisse.

# 5. Tätigkeiten des Praktikums

Monat	Tätigkeiten
April	Einführung und Einleitung der Simulation
	Bearbeitung Simulationsplan
	Anleitung von Simulation mit einfachen Objekten
	Simulation und Dokumentation von passivem Implantat
Mai	Entwicklung Automatisierungsprogramm mit Python
	Planung und Dokumentation der Simulation von passivem Implantat
Juni	Schätzung der Simulationsanzahl von Hüftimplantat
	Planung und Dokumentation der Simulation von Hüftimplantat
	Recherchieren der Forschung zu Bioheat-Transfer
Juli bis August	Recherchieren der Forschung zu Materialeigenschaften
	Erstellung der CAD-Datei von Hüftimplantat
	Planung und Dokumentation der Simulation von eigenen Hüftimplantate
	Simulation Linearen und zirkularen Polarisations
	Abschlusspräsentation

*Tabelle 2: Monatliche Tätigkeiten*

Im ersten Monat meines Praktikums habe ich den Simulationsbereich vorgestellt. Bevor ich mein erstes Projekt bekommen habe, waren die Mitarbeiter mir über Sicherheit erzählt und gelehrt. Sie zeigen mir auch die Standardmethode zur Untersuchung des Implantats. Danach gaben sie mir mein erstes Projekt mit einem einfachen Objekt, das untersucht werden muss. Der Zweck dieses Projekts ist es, Praktikant an jeden Schritt der Simulation heranzuführen und die häufigsten Fehler zu kennen. Nachdem Praktikant sich an den Simulationsprozess gewöhnt haben, wurde ich ein kleines Projekt gegeben, das seit einiger Zeit läuft, und möchte sehen, ob ich zufriedenstellende Ergebnisse erzielen könnte.

Im zweiten Monat muss die Programmiersprache Python gelernt werden, damit die Simulation automatisiert und Daten aus den Simulationsergebnissen abgerufen wurden. Darüber hinaus wurde die Aufgabe noch gegeben, wie einen Projektbericht zu planen und zu verfassen.

Im dritten Monat soll ein weiteres Projekt untersucht werden. In diesem Projekt ging es um Hüftimplantate. Es hatte eine große Produktmatrix und viele Variationen von Teilen. Der Praktikant musste auf jeden Teil achten, da es einige Teile eines Hüftimplantats gab, die mit bestimmten Teilen gekoppelt werden mussten. Bei der großen Produktmatrix muss die Simulationsanzahl geschätzt werden, danach der Simulationsplan in den Bericht geschrieben wurde.



Eine weitere Aufgabe war die Forschung des Bioheat-Transfers. Bioheat Transfer ist eine wichtige Forschung für Stent-Implantate. Dies dient dazu, Beweise dafür zu finden, dass mit dem Stent im Blutgefäß und mit dem Blutfluss die HF-induzierte Erwärmung des Stent-Implantats bei einer signifikanten Temperatur reduziert wird.

Von Juli bis August habe ich das Endprojekt über Hüftimplantate bekommen. Der Praktikant muss nach einer Referenz von Hüftimplantat suchen und eigenen Implantat im CAD-Format herstellen. Das hergestellte Implantat wurde mit zwei unterschiedlichen Polarisationspule simuliert und dokumentiert. Am Ende wird der Bericht an allen Mitarbeitern von Simulationsbereich präsentiert.

## 6. Fazit und Rückblick

Ich denke, dass das Praktikum hier eine Struktur hat, um mir beizubringen, wie man in der Simulationsabteilung arbeitet. Ich wurde systematisch unterrichtet. Mit jeder Aufgabe, die mir gestellt wurde, konnte ich die einzelnen Schritte des Prozesses lernen, die zu erledigen waren. Schließlich erhielt ich das Abschlussprojekt und präsentierte es vor allen Mitarbeitern der Simulationsabteilung. Ich bekomme die Erfahrung mit der selbständigen Bearbeitung von Abschlussprojekt von Anfang bis Ende. Daher habe ich das Gefühl, dass das Praktikum hier einen vollständigen Überblick über die Arbeitsweise der Simulationsabteilung bietet.

Mein Fazit ist, dass ich hier so viel über den Simulationsbereich gelernt habe. Ich kann mir vorstellen, in Zukunft in dieser Art von Beruf zu arbeiten. Außerdem hat es mir geholfen, den Blick für verschiedene Arbeitsbereiche zu öffnen. Ich glaube, dass die Gedanken, die ich mir während des Studiums über die Arbeitswelt gemacht habe, einen Zweig haben, den ich bisher nicht erwartet hatte.

# 7. Referenzen

- [1] Ghadimi, M. und Sapra, A. (2022): *Magnetic Resonance Imaging Contraindications*, Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, [online]  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK551669/> (Accessed: 20 August 2022).
- [2] MR:comp GmbH: Simulationsabteilung
- [3] Sim4Life Light Student Version
- [4] SAM Standards and More (2022): [online] <https://www.standardsandmore.com/digitale-bibliotheken/astm/> (Accessed: 31 August 2022)
- [5] ASTM International (2020): *Standard Test Method for Measurement of Radio Frequency Induced Heating On or Near Passive Implants During Magnetic Resonance Imaging*, ASTM F2182. (Accessed: 31 August 2022)