

# Dokumentation zum Projektverlauf und der Entstehung des *Trace To Reference*-Systems

erstellt von Peter Grupp, CaMed Wintersemester 2018

Dieses Dokument beschreibt den Projektverlauf des Masterprojekts CaMed über das Sommersemester 2017 und das Wintersemester 2017/18 von Peter Grupp. Alle für das Projekt benötigten Projektdateien und Quellen sind in entsprechenden Ordnern im BSCW hinterlegt.

## Inhaltsverzeichnis

1. Übersicht .....	2
2. Ideenfindung .....	3
3. Recherche .....	4
3.1.  Ultraschallnavigation .....	4
3.2.  Elektromagnetisches Tracking .....	5
3.3.  Kombination von Ultraschall-Bildgebung und elektromagnetischem Tracking .....	5
4. Analyse .....	8
5. Konzeption .....	10
5.1.  Erster Konzeptionsansatz .....	10
5.1.  Zweiter Konzeptionsansatz .....	12
5.2.  Entscheidung für ein Konzept .....	16
6. Umsetzung .....	17
6.1.  Komponenten .....	17
6.1.  Zusammenspiel der Komponenten .....	22
6.2.  Benutzeroberfläche .....	22
7. Projektergebnis .....	25
8. Bilanz .....	26
9. Ausblick .....	27

## 1. Übersicht

In der Ultraschalldiagnostik besteht die Problematik Diagnosen zu wiederholen, das heißt getroffene Diagnosen können nicht immer sicher in weiteren Untersuchungen bestätigt werden. Durch den Einsatz von elektromagnetischen Trackingsystemen ist es möglich diesen Behandlungsprozess zu unterstützen. Die elektromagnetische Navigation von Ultraschallgeräten kann die Reproduzierbarkeit einer Ultraschalluntersuchung ermöglichen. Durch die unproblematische Anbringung eines Sensors, wird die Position des Ultraschallkopfes ermittelt und kann gespeichert werden, sodass eine Navigation es ermöglicht Vergleiche zwischen Untersuchungen an derselben Position durchzuführen. Ziel der Projektarbeit war es einen funktionstüchtigen Prototyp zu entwickeln, der diese Reproduzierbarkeit ermöglicht.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Umsetzung einer prototypischen Anwendung, die die Reproduzierbarkeit von Ultraschalluntersuchungen unterstützen soll. Dafür wird zunächst auf die Ideenfindung eingegangen bevor die Rechercheergebnisse dargelegt werden. Im Anschluss daran wird das Anwendungsszenario in einer Analyse beschrieben und auf die Zielgruppe sowie die spezifischen Anforderungen an das Produkt eingegangen. Auf Basis dieser Ergebnisse werden zwei Konzepte aufgezeigt. Die Umsetzung eines dieser Konzepte wird im Detail erläutert und somit das entstandene Produkt aufgezeigt. Das Ergebnis wird daraufhin bewertet und eine Bilanz bezüglich des Projektverlaufs gezogen. Ein Ausblick auf anschließende Arbeiten und Optionen schließt die Arbeit ab.

## 2. Ideenfindung

Der ursprüngliche Wunsch am Thema stammte von Herrn Dr. Eckhart Fröhlich, der Interesse an der Reproduzierbarkeit von Ultraschall-Untersuchungen hat. „Das Ziel dieses Projektes ist eine untersucherunabhängige Reproduzierbarkeit der Ultraschalldiagnostik durch Integration einer elektromagnetischen Navigation. Durch die Anbindung von EM-Sensoren (elektromagnetische Sensoren) an die Ultraschallsonde werden genaue Daten mit allen Translations- und Rotationswerten der Ultraschall-Sonde im Magnetfeld erfasst. Aufgefundene Ultraschall-Strukturen sollen zusammen mit der Schallkopfposition gespeichert und bei einer Wiederholungsuntersuchung zeit-, orts- und untersucherunabhängig verglichen und wieder aufgefunden werden.“ [1] Durch Herrn Prof. Oliver Burgert wurde das Thema in die Projekt-Gruppe „CaMed“ getragen.

Beim ersten Treffen mit Herrn Dr. Fröhlich und Herrn Prof. Burgert, lernte ich Frau Beyda Güler kennen, die sich ebenfalls durch ihre Bachelor-Arbeit am Projektthema beteiligte. Im Projektteam haben wir beschlossen, dass Frau Güler sich mit der Untersuchung des Trackingsystems, in Bezug auf Störungen in der Messgenauigkeit befasst und ich mich auf die Umsetzung der Ultraschall-Navigation konzentriere.

### 3. Recherche

Heutzutage sind optische und elektromagnetische Trackingsysteme immer wichtiger zur Unterstützung von Chirurgen während einer Operation. Beim intraoperativen Einsatz solcher Systeme spricht man von chirurgischen Navigationssystemen. Diese ermöglichen es Operationen anhand von CT- oder MRT-Bilddaten vor auszuplanen und durch Trackingsysteme chirurgische Instrumente während der Operation zu navigieren. Einsatz finden chirurgische Navigationssysteme in vielen Bereichen, so zum Beispiel in der Neurochirurgie, HNO-Chirurgie, Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, der orthopädischen Chirurgie, der Viszeral- und Radiochirurgie oder auch der zahnärztlichen Implantologie.

Bei elektromagnetischen Trackingsystemen wird an der Spitze eines chirurgischen Instruments ein Sensor angebracht, durch den die genaue Position und Ausrichtung im Patienten bestimmt werden kann. Dies erlaubt eine präzise Navigation während der Operation. Der Vorteil dieser Technik gegenüber optischen Trackingsystemen ist, dass das elektromagnetische Trackingsystem keine Sichtverbindung zum getrackten Instrument benötigt und somit im Körper des Patienten getrackt werden kann. Das optische System benötigt im Gegensatz dazu zur Lokalisierung Sichtkontakt zum Instrument.

Neben der Navigation durch CT- oder MRT-Bilddaten besteht zudem die Möglichkeit mit Hilfe von Ultraschallbildern zu navigieren. Welche vorhandenen Ansätze es im Bereich Ultraschallnavigation, elektromagnetischem Tracking und deren Kombination gibt, wird nachfolgend in dieser Reihenfolge erläutert.

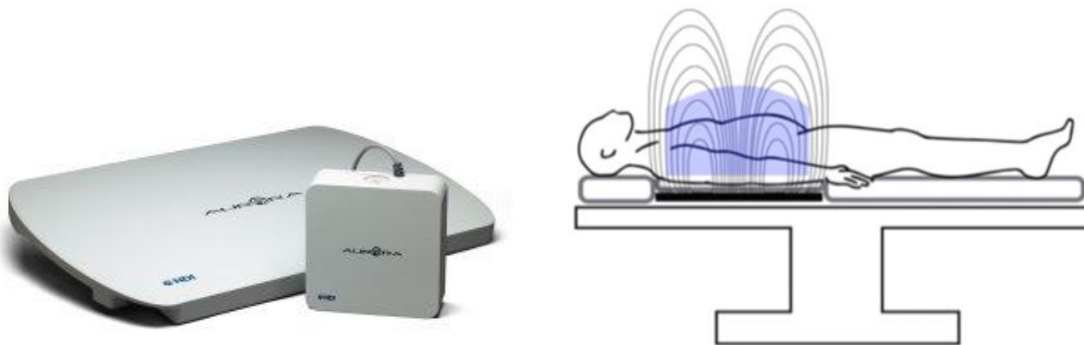
#### 3.1. Ultraschallnavigation

Bei der ultraschallbasierten Navigation erfolgt die Orientierung anhand von Ultraschallbildern in denen chirurgische Instrumente erkennbar sind und nachverfolgt werden können. Zum Einsatz kommt diese Technologie, der Literatur nach, siehe [2], vorwiegend bei Nadel-Interventionen. Dabei wird eine Nadel in den Körper des Patienten zu therapeutischen Zwecken eingeführt und deren Position durch das Ultraschallbild kontrolliert und navigiert.

Eines der Hauptprobleme bei ultraschallgeführten Nadel-Interventionen ist, dass die Nadel erst im Ultraschallbild erkennbar ist, sobald sie die Haut des Patienten durchdringt und sich unter dem US-Wandler befindet. Um einen Zielpunkt zu erreichen, ohne dass die Nadel im Bild erscheint, erfordert viel Erfahrung, eine gute Hand-Augen-Koordination und Fachwissen über die Anatomie. [2]

### 3.2. Elektromagnetisches Tracking

Beim elektromagnetischen Tracking erzeugen Transmitterspulen ein magnetisches Wechselfeld durch das die Position von Sensorspulen berechnet werden kann. Diese Sensorspulen die sogenannten Sensoren werden an den chirurgischen Instrumenten angebracht sodass deren Position und Orientierung verfolgt werden kann. Die magnetfelderzeugenden Spulen befinden sich zum Beispiel in einem Board, wie in dem nachfolgenden Bild, das das AURORA-System zeigt, dargestellt, das unter dem Patienten platziert wird.



<https://www.ndigital.com/medical/products/aurora/>

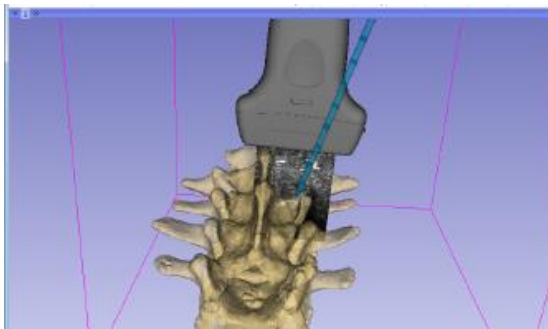
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/hpb.12315/full>

Die verwendeten Sensorspulen sind sehr klein und können an medizinische Instrumente, wie Nadeln oder Kathetern angebracht werden. Dadurch ist das Tracking der Instrumente im Körper des Patienten möglich. Im Gegensatz zu optischen Trackingsystemen benötigt das elektromagnetische Trackingsystem keinen Sichtkontakt zu seinen Sensoren. Oftmals basiert die elektromagnetische Navigation auf CT- oder MRT-Bilddaten und kommt intraoperativ zum Einsatz.

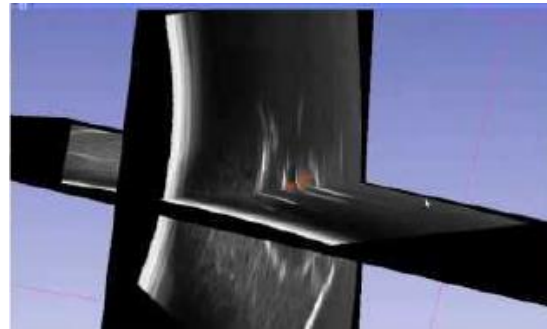
### 3.3. Kombination von Ultraschall-Bildgebung und elektromagnetischem Tracking

Die Kombination von Ultraschall-Bildgebung und elektromagnetischem Tracking findet sich in der Literatur seltener als die Komponenten einzeln betrachtet. Im Gegensatz zu Bildverfahren wie CT oder MRT, ist Ultraschall eine aussichtsreiche Methode, aufgrund der geringen Kosten, der Sicherheit, der breiten Verfügbarkeit und der bequemen Anwendung. Bildgeführte Interventionen können durch Trackingsysteme erweitert werden. Mechanische und optische Trackingsysteme wurden bereits in verschiedensten Verfahren eingesetzt. Seit kurzem wird elektromagnetisches Tracking immer häufiger in der Bildführung verwendet. Das Hauptmerkmal liegt hierbei wie bereits erwähnt bei den Sensoren die direkt an der Spitze des Instruments bzw. der Nadel angebracht werden und somit getrackt werden können. Der Einsatz von elektromagnetischen Trackingsystemen ist, wie die Ultraschall-Bildgebung, für den Patienten unschädlich und kostengünstig. Durch diese Vorteile der beiden Technologien eignet sich die Kombination besonders für sich wiederholende Therapien, wie beispielsweise chronischen Rückenschmerzen.

Die Literatur stellt einen Ansatz für die Kombination der beiden Technologien vor, bei der eine Navigation durch getrackte Ultraschall-Schnappschüsse ermöglicht wird [3]. Dabei werden vom Chirurgen zwei orthogonal aufeinander stehende US-Schnappschüsse gemacht, deren Schnittfläche den Zielpunkt für die Intervention beinhaltet. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein Beispiel für dieses Vorgehen.

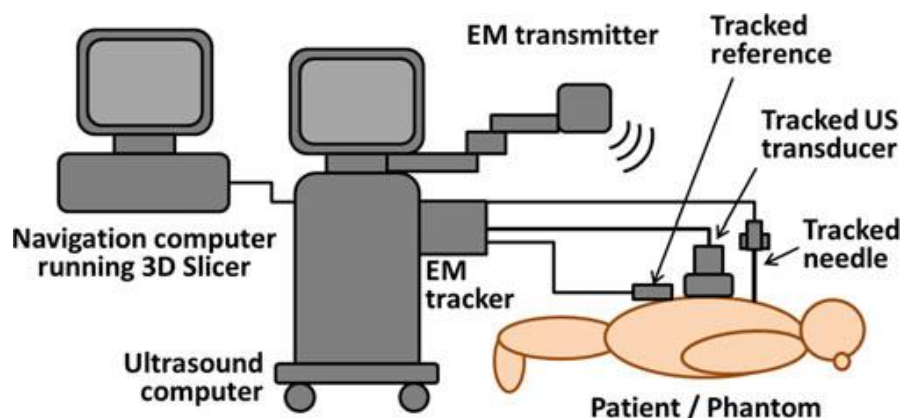


[3]



[https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=96&v=BZ2OsMOnXlk](https://www.youtube.com/watch?time_continue=96&v=BZ2OsMOnXlk)

Die Navigation wird virtuell angezeigt und der Chirurg kann die Nadel, ohne den US-Wandler währenddessen zu benötigen, zum Ziel führen. Somit kann für beide die ideale Position bestimmt werden, einmal für den US-Wandler und für die Nadel am Einstichpunkt, beispielsweise den Punkt auf der Haut mit dem kürzesten Weg bis zum Ziel. Der Chirurg kann sich, während der Intervention, allein auf die Lenkung der Nadel konzentrieren. Somit wird für die Navigation statt dem Ultraschallbild, eine zusätzliche virtuelle Navigation genutzt, um aktuelles Feedback über die Nadelposition zu erhalten. Das Navigationssystem besteht dabei aus einem Ultraschall- und einem Navigations-Computer. Der Ultraschall-Computer wird für Ultraschallbilder und getrackte Daten verwendet. Der Navigations-Computer dient für die Visualisierung der Navigation. Ein schematischer Aufbau ist in nachfolgender Abbildung zu sehen. [3]



[3]

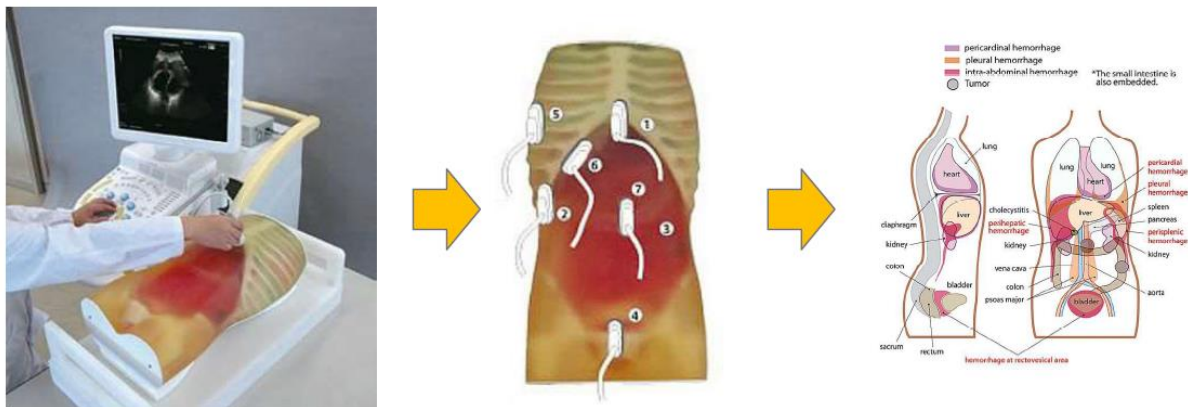
Bei der Recherche zur Kombination der beiden Technologien Ultraschall und elektromagnetischem Tracking wurden keine Ansätze gefunden, die die gewünschte Idee der Reproduzierbarkeit von Ultraschalluntersuchungen zum Ziel haben. Die gefundenen Ansätze decken jeweils nur ein Teilgebiet ab oder sind für ein spezifisches Anwendungsszenario gedacht, das nicht der Idee entspricht.

## 4. Analyse

Die Entwicklung des Prototyps zur elektromagnetischen Navigation von Ultraschallgeräten beruht auf einem spezifischen Anwendungsfall. Dieser wird im folgenden Kapitel erläutert und durch Anforderungen definiert.

Ziel ist es mit der Entwicklung des Prototyps eine Unterstützung für Medizinstudenten in Ultraschallseminaren zu geben. In diesen Sonografie-Seminaren wird den Studenten der Umgang mit Ultraschallgeräten für die Diagnose und Therapie nähergebracht. Anhand eines Übungsmodells, wie in der nachfolgenden Abbildung zu sehen, sollen signifikante Punkte der menschlichen Anatomie wiedergefunden werden. Eine Schwierigkeit der Sonografie besteht darin die Ultraschallbilder korrekt zu interpretieren. Der zu entwickelte Prototyp soll den Studenten als Hilfestellung dienen, um die Navigation zu den signifikanten Punkten zu erleichtern. Dadurch soll eine Unterstützung im Lernprozess geschaffen werden.

In der nachfolgenden Bilderreihe ist der Prozess des Sonografie-Seminars dargestellt. Die Untersuchung wird mit Hilfe von künstlichen Anatomiemodellen, sogenannten Ultraschall-Untersuchungsmodellen, durchgeführt. Diese entsprechen der natürlichen Anatomie des Menschen und ermöglichen es realitätsnahe Ultraschallbilder aufzunehmen.



<https://www.erler-zimmer.de/medizinische-simulatoren/ultraschall/10134/fast-ultraschall-untersuchungsmodell>

Aus dem zuvor beschriebenen Anwendungsfall ergeben sich spezifische Anforderungen an den zu entwickelnden Prototypen. Diese Anforderungen sollen das Ziel der Entwicklung definieren und auch als Maßstab für die Bewertung des Ergebnisses dienen. Nachfolgend werden die Anforderungen in funktionale und nichtfunktionale Anforderungen unterteilt.



### Funktionale Anforderungen

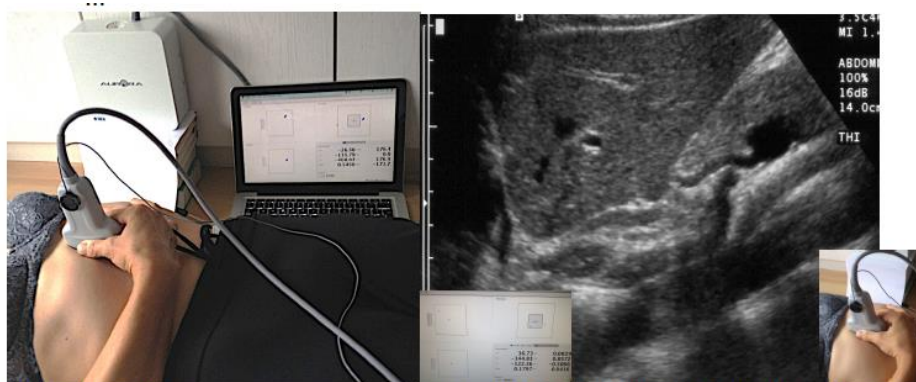
- Position des US-Kopf tracken
  - Ansteuerung des EMTS
- Anzeige der aktuellen US-Kopf Position
- Anzeige des aktuellen US-Kopf Schallbildes
- Speicherung einer Position
- Speicherung des Schallbildes zur Position
- Anzeige der gespeicherten Position
- Anzeige des gespeicherten Schallbildes zur Position
- Navigation von aktueller Position zur gespeicherten Position

### Nichtfunktionale Anforderungen

- Visuelle Anzeige der aktuellen US-Kopf Position
- Visuelle Anzeige des aktuellen US-Kopf Schallbildes
- Visuelle Anzeige der gespeicherten Position
- Visuelle Anzeige des gespeicherten Schallbildes zur Position
- Benutzerfreundliche Navigation von aktueller Position zur gespeicherten Position
  - durch visuelle Hinweise (keine Anzeige von numerischen Werten)

Aus diesen spezifischen Anforderungen soll sich ein System ergeben das die Position des Ultraschallkopfes, den der Student händisch bewegt, darstellt. Das System soll sowohl die Position als auch das aktuelle Ultraschallbild anzeigen. Es muss die Möglichkeit einer Punktspeicherung, sowohl der Position als auch des Ultraschallbildes, existieren. Durch eine optische Navigation soll dem Studenten die Möglichkeit geboten werden von der aktuellen Position zu einer gespeicherten Position zu gelangen. Dies soll sowohl für Translations- als auch Rotationsbewegungen durch visuelle Hinweise realisiert werden.

Die grundlegende Idee basiert auf folgender Abbildung und stammt von Herrn Dr. Eckhart Fröhlich, welcher regelmäßig Sonografie-Seminare leitet und Bedarf für ein solches System sieht.



#### Versuchsaufbau:

- Proband mit Sensor am Schallkopf
- Feldgenerator
- PC zur 3D-Datensammlung

Ziel: Ultraschallbild mit Navigation (Ampel o.Ä.)

[1]

## 5. Konzeption

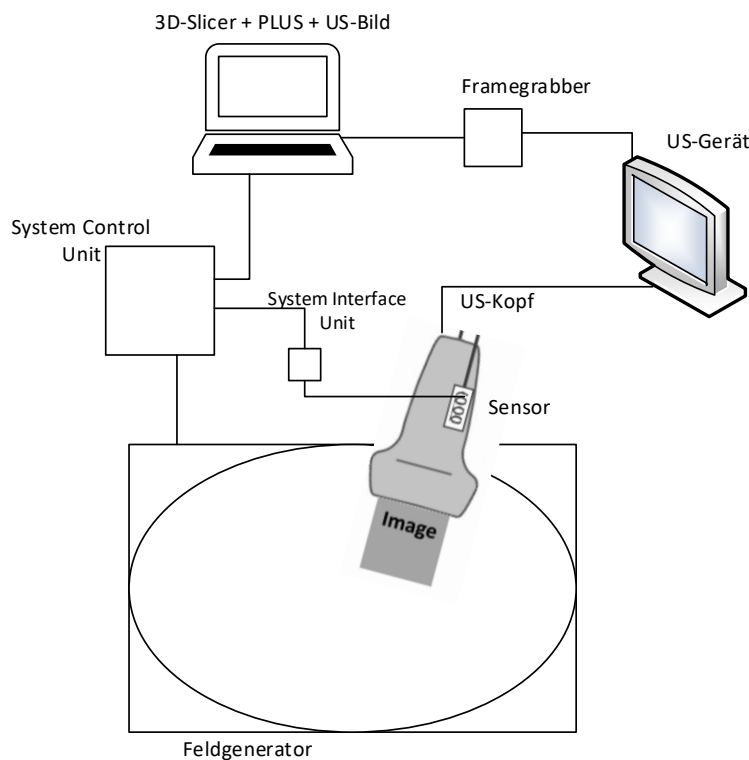
Für die Realisierung der definierten Anforderungen wurden zunächst theoretische Konzepte entwickelt. Dabei wurden zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt. Der erste Ansatz basiert auf vorhandenen Visualisierungstechniken und open-source Software, die den Anforderungen entsprechend modifiziert wird. Im zweiten Ansatz wird aufgrund der spezifischen Anforderungen eine eigene Softwarelösung entworfen. Im folgenden Kapitel werden diese zwei Konzeptionsansätze nacheinander beschrieben und dabei auf die Komponenten des Systems, die Architektur und dessen geplantes Verhalten eingegangen.

### 5.1. Erster Konzeptionsansatz

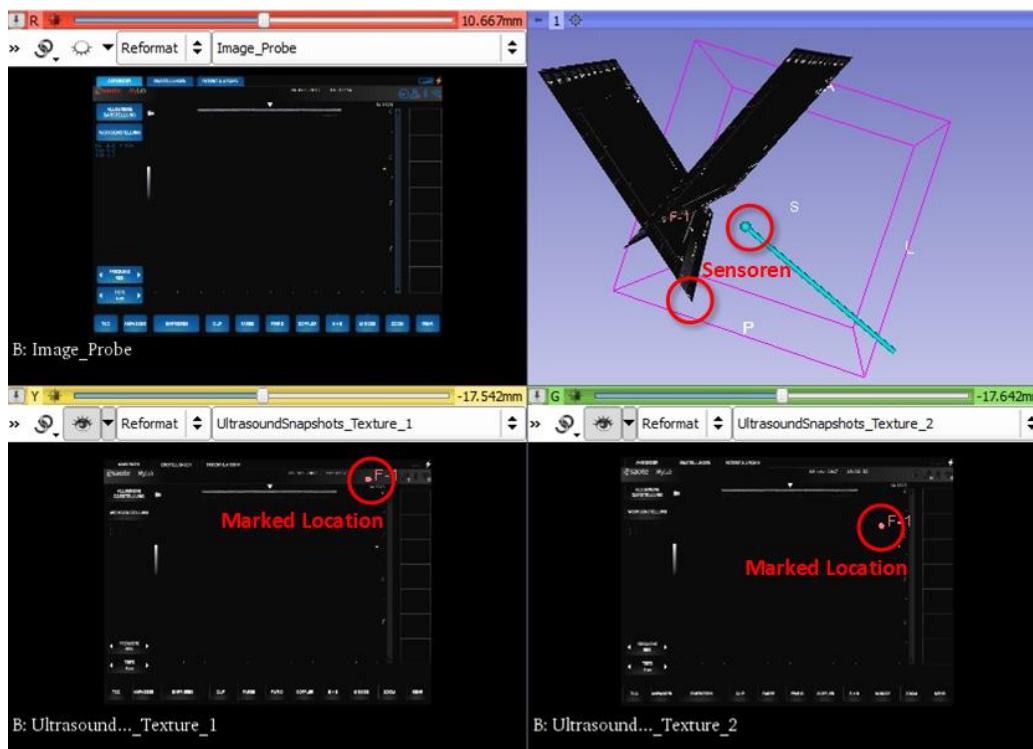
Um ein Konzept aus bestehender Visualisierung und Software zu erstellen, wurde nach vorhandenen Lösungen gesucht. Dabei stellten sich drei Tools, bzw. Erweiterungen, als besonders geeignet heraus. Als grundlegende Software bot sich 3D-Slicer an, ein frei nutzbares Softwarepaket zur Bildanalyse und wissenschaftlichen Visualisierung, insbesondere in der Medizin. SlicerIGT ist eine Erweiterung von 3D-Slicer, IGT steht für bildgeführte Therapie, und kann als Plugin einfach in 3D-Slicer integriert werden. SlicerIGT bietet die Möglichkeit spezifische Prozesse mit minimalem Programmieraufwand zu entwerfen und zu konfigurieren, wie in diesem Fall das Tracking des Ultraschallkopfes. Um eine Verbindung zwischen Trackingdaten und Ultraschallbildern für SlicerIGT zu ermöglichen bedarf es dem PLUS-Toolkit. Das PLUS-Toolkit erlaubt es Positionsdaten von verschiedenen Trackingsystemen, unter anderem elektromagnetische Tracker (NDI Aurora), zur Verfügung zu stellen, sowie Bilddaten von Ultraschallgeräten an 3D-Slicer weiterzugeben. Diese Bilddaten können zudem auch über Capture Cards, sogenannte Framegrabber, abgegriffen werden. Dies ist eine wichtige Funktionalität, da das zur Verfügung gestellte Ultraschall nicht über eine Schnittstelle zum Computer verfügt und aus diesem Grund ein Framegrabber zum Einsatz kommt. Durch diese drei Tools kann der nötige Prozess für eine elektromagnetische Navigation von Ultraschalluntersuchungen umgesetzt werden. Um die Benutzeroberfläche den Anforderungen nach anzupassen kommt ein weiteres Tool, Guidelet, zum Einsatz. Dieses ist im SlicerIGT Plugin enthalten und bietet die Möglichkeit die Standard 3D-Slicer Benutzeroberfläche nach eigenen Wünschen anzupassen, um so für den spezifischen Einsatzzweck eine benutzerfreundliche Oberfläche zu schaffen. Durch die beschriebenen Erweiterungen und die 3D-Slicer Software als Basis entsteht die Softwarekomponente für das zu entwickelte System.

Vier Hardware Bestandteile komplementieren das System. Diese sind zum einen ein Computer auf dem sich die Softwarekomponenten befinden, ein Ultraschallgerät mit Ultraschallkopf, ein NDI AURORA Trackingsystem und ein Framegrabber. Um ein Zusammenspiel der Komponenten zu ermöglichen bedarf es eines speziellen Aufbaus der nachfolgend erläutert wird. Der Computer ist seriell mit dem Trackingsystem verbunden. Das Trackingsystem besteht aus Feldgenerator, System Control Unit, Sensor Interface Unit und Sensor. Ein Framegrabber verbindet den Computer mit dem Ultraschallgerät. Dieses besteht aus der Signalprozessoreinheit und dem Ultraschallkopf mit Ultraschallsonde. Am Ultraschallkopf ist der Sensor des Trackingsystems angebracht.

Das gewünschte Systemverhalten entsteht durch das Zusammenspiel der Komponenten und ist in der nachfolgenden Grafik dargestellt. Die Ultraschallsonde sendet die Echosignale an die Signalprozessoreinheit. Die Signalprozessoreinheit generiert ein Ultraschallbild, das von einem Framegrabber abgegriffen und an den Computer geleitet wird. Der Computer erhält über die System Control Unit zudem Trackingdaten. Diese Trackingdaten werden durch den Feldgenerator aus dem Sensor abgeleitet und in der System Control Unit berechnet. Im Computer werden über das PLUS Toolkit Ultraschallbild und Trackingdaten an das 3D-Slicer Plugin SlicerIGT weitergegeben.



Der nachfolgend dargestellte Entwurf der Benutzeroberfläche hat die typische 3D-Slicer Oberfläche und ist in vier Bereiche unterteilt. Im oberen linken Bereich ist eine Liveansicht des Ultraschallbildes zu sehen. Durch verschiedene Bedienelemente können beispielsweise die Helligkeitswerte verändert werden, um mehr Informationen aus den Bildinhalten zu gewinnen. Im rechten oberen Bereich werden Ultraschallbilder in Relation zur aktuellen Sensorposition angezeigt. Die unteren Bereiche zeigen aufgenommene Ultraschallschnappschüsse. In diesen Bereichen stehen ebenfalls Bedienelemente zur Verfügung, um die Bilder zu modifizieren.



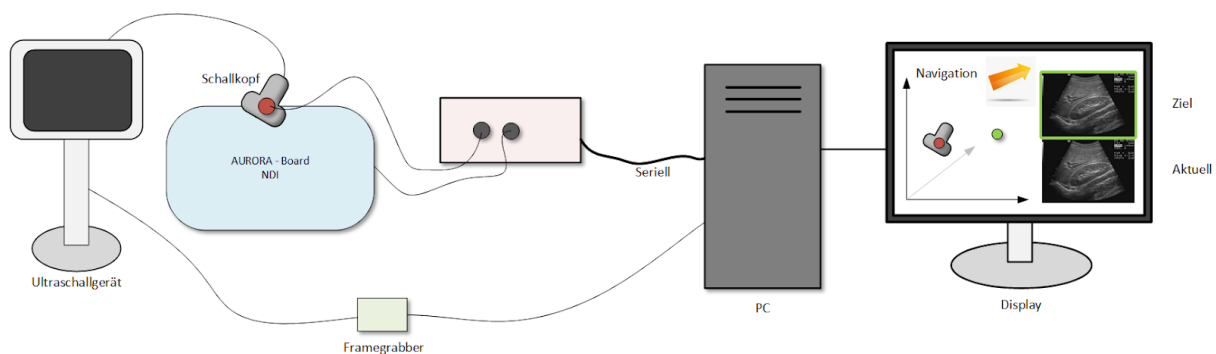
## 5.1. Zweiter Konzeptionsansatz

Im zweiten konzeptionellen Ansatz wird das Ziel verfolgt für den spezifischen Ansatz eine eigene Software und Visualisierung zu erstellen. Eine Standalone-Anwendung, die nicht web-basiert ist, aufgrund der Zielgruppe von Medizinstudenten und des gewünschten Use-Cases der Reproduzierbarkeit von Ultraschalluntersuchungen. Als Komponenten des Systems wird eine serielle Kommunikation, eine visuelle Darstellung und ein Videostream-Capture benötigt. Die serielle Kommunikation ist für die Steuerung und das Tracking der Ultraschallsonde. Position und Navigation der Ultraschallsonde werden durch eine visuelle Darstellung ermöglicht. Der Videostream-Capture ist notwendig für das aktuelle Ultraschallbild.

Die eigens zu entwickelnde Software soll in der Programmiersprache Python programmiert werden, weil zum einen Vorkenntnisse des Programmierers vorhanden sind und zum anderen Python Betriebssystem unabhängig funktioniert, zudem kompatibel und erweiterbar ist. Für die serielle Kommunikation zwischen elektromagnetischem Trackingsystem und einem Computer bietet Python die Bibliothek pySerial. Die Steuerung des EMTS erfolgt über Kommandos, die von der API des AURORA-Systems ermöglicht werden können. Zur 3D-Visualisierung der Position des Ultraschallkopfes im Raum kann die Python Bibliothek VPython verwendet werden. Die Benutzeroberfläche der Software ist durch eine erneute Python Bibliothek Tkinter möglich.

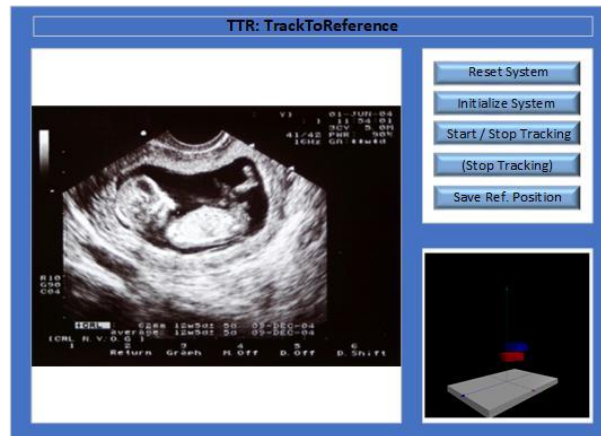
Hardwareseitig besteht das zweite Konzept, das selbst zu entwickelnde System aus den gleichen Bestandteile wie der erste Konzeptionsansatz. Diese sind zum einen ein Computer auf dem sich die entwickelte Software befindet, ein Ultraschallgerät mit Ultraschallkopf, ein NDI AURORA Trackingsystem und ein Framegrabber. Um ein Zusammenspiel der Komponenten zu ermöglichen bedarf es eines speziellen Aufbaus der nachfolgend erläutert wird. Der Computer ist seriell mit dem Trackingsystem verbunden. Das elektromagnetische Trackingsystem NDI AURORA besteht aus Feldgenerator, System Control Unit, Sensor Interface Unit und Sensor. Ein Framegrabber verbindet den Computer mit dem Ultraschallgerät. Dieses besteht aus der Signalprozessoreinheit und dem Ultraschallkopf mit Ultraschallsonde. Am Ultraschallkopf ist der Sensor des Trackingsystems angebracht.

In der nachfolgenden Grafik ist das zu entwickelnde Systemverhalten, das die Komponenten beinhaltet, veranschaulicht. Der Ultraschallkopf sendet die Echosignale an das Ultraschallgerät. Das Ultraschallgerät generiert ein Ultraschallbild, das von einem Framegrabber abgegriffen und an den Computer geleitet wird. Der Computer erhält über die System Control Unit zudem Trackingdaten. Diese Trackingdaten werden durch den Feldgenerator aus dem Sensor, der an den Ultraschallkopf befestigt wird, abgeleitet und in der System Control Unit berechnet. Im Computer werden über pySerial die Trackingdaten und über Videostream-Capture das Ultraschallbild an die entwickelte Software weitergegeben.

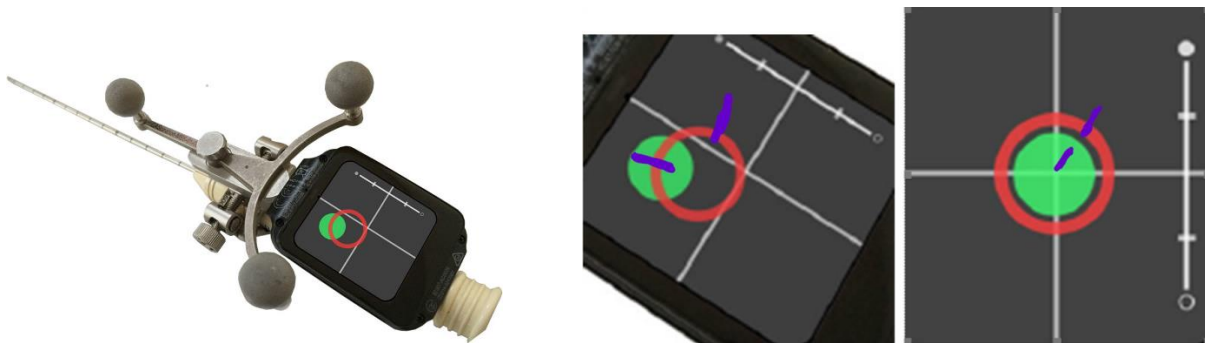


In den nachfolgenden Abbildungen werden der Benutzeroberflächenentwurf und die Visualisierungstechnik dargestellt. Die Oberfläche ist in vier Bereiche unterteilt. Im oberen linken Bereich ist eine Liveansicht des Ultraschallbildes zu sehen. Im rechten oberen Bereich sind Button zur Interaktion abgebildet. Einen „Reset System“-Button, der bei jedem Start oder Fehler ausgeführt werden muss, dass dadurch der Setup-Mode des elektromagnetischen Trackingsystems neu gestartet wird. Der „Initialize System“-Button, wird benötigt, um im Setup-Mode alle an der System Control Unit angebrachten System Interface Units und Sensoren zu erkennen und zu aktivieren, diese Funktion kann nur im Setup-Modus erfolgen. Diese Button-Interaktion erfolgt immer nach dem Reset des Systems. Als weiteren Button wurde der „Start / Stop Tracking“-Button konzipiert, dieser wechselt bei Interaktion das EMTS vom Setup-Mode in den Tracking-Mode, dass das Trackingsystem beginnt zu tracken und Trackingdaten generiert. Nach erneutem betätigen des „Start / Stop Tracking“-Button wird der Tracking-Mode gestoppt und das Trackingsystem liefert keine weiteren Trackingdaten. Der letzte Button „Save Ref. Position“ der Benutzeroberfläche löst bei Betätigung

einen Screenshot der Liveansicht des Ultraschallbildes und speichert zudem die aktuelle Position des Sensors. Im linken unteren Bereich, wird nach Betätigung des „Save Ref. Position“-Button die Liveansicht des Ultraschallbildes als Screenshot angezeigt. Der rechte untere Bereich dient zur 3D-Visualisierung der aktuellen Position des Ultraschallkopfes und der Speicherung der aktuellen Position des Ultraschallkopfes nach Interaktion mit dem „Save Ref. Position“-Button.



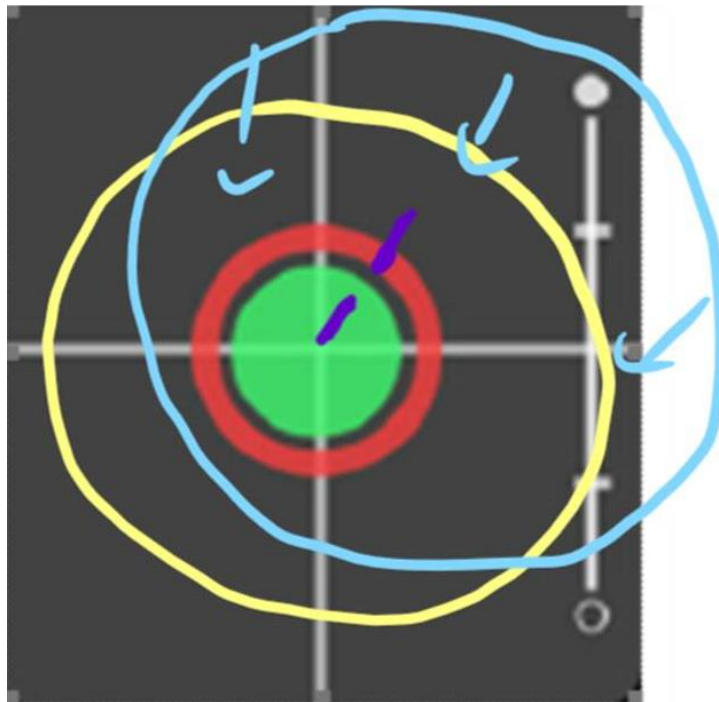
Als Visualisierung der Navigation des Ultraschallkopfes sollen Kreis-Zusammenhänge dienen. In der Literatur wurde hierzu eine Navigation zu Nadel-Intervention vorgestellt. Die Kreis-Zusammenhänge werden nachfolgend anhand von Abbildungen aus dieser Literatur [4] und der Einzeichnungen in diese von Herrn Prof. Oliver Burgert erläutert.



[4]

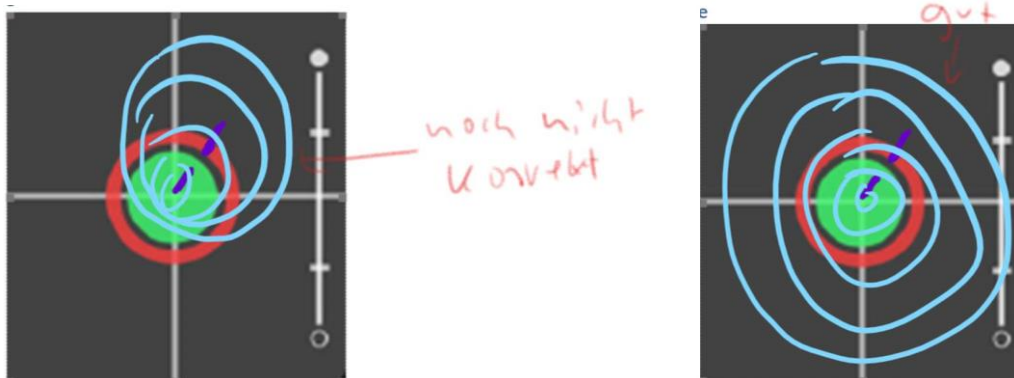


Die Navigation der x/y-Verschiebung soll demnach erfolgen, dass der grüne Punkt der Zielposition und der rote Kreis der aktuellen Position entsprechen. Durch die Kerbe in Form eines Strichs im Punkt und Kreis der Abbildung eingezeichnet soll die Rotation visualisieren.



Für die Kipp- und Säge-Bewegung soll ein zweiter Kreis, jeweils für Zielposition und aktuelle Position, das distale Ende des Ultraschallkopfes darstellen. Zuerst werden die Kreise für die x/y-Richtung und die Kerbe für die Rotation in Deckungsgleichheit gebracht, dass durch eine weitere Deckung der zusätzlichen Kreise, das distale Ende des Ultraschallkopfes, die Zielposition erreicht.

Eine weitere Visualisierung der Navigation könnte durch mehrere Kreise erfolgen. Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht dies. Hierbei müssten die Kreise in gleichmäßigen Abstand gebracht werden, dass die Zielposition erreicht wird.



## 5.2. Entscheidung für ein Konzept

Nach einem ersten Test der verschiedenen Softwarekomponenten des ersten Konzeptionsansatzes hat sich herausgestellt, dass das Zusammenspiel mit der zur Verfügung gestellten Hardware nicht wie erwartet funktioniert. Zwar konnte das Livebild des Ultraschallgeräts und die Trackingdaten des Sensors über das PLUS Toolkit an den 3D-Slicer übergeben werden, jedoch klappte die Zusammenführung der beiden Komponenten im SlicerIGT Plugin nicht wie erhofft. Das Bild und die Daten sind zwar erschienen, aber das Verhältnis der beiden Komponenten zueinander stimmte nicht. Dadurch war es nicht möglich eine geeignete Navigation zu realisieren. Somit konnte der erste Konzeptionsansatz die Anforderungen der Projektanalyse nicht mehr erfüllen, sodass der zweite Konzeptionsansatz, die eigene Entwicklung der Softwarekomponente und der Visualisierung, weiterverfolgt und umgesetzt wurde. Dieser entspricht den spezifischen Anforderungen der Projektanalyse und dessen Umsetzung wird nun im Folgenden Kapitel erläutert.





## 6. Umsetzung

An dieser Stelle wird die Umsetzung des zweiten Konzeptionsansatzes erläutert. Dabei wird auf die Realisierung der einzelnen Komponenten und deren Zusammenspiel eingegangen und die resultierende Benutzeroberfläche aufgezeigt. Es wird erläutert an welcher Stelle das Konzept wie geplant angewendet werden konnte, an welchen Stellen es Probleme bei der Umsetzung gab und wie diese gelöst wurden.

### 6.1. Komponenten

Wie in der Konzeption beschrieben verfügt das realisierte System über die Komponenten Software, Ultraschallgerät, Framegrabber und elektromagnetisches Trackingsystem. Die Softwarekomponente wurde in der Programmiersprache Python in der Version 2.7 (Kompatibilität mit den verwendeten Bibliotheken) mit der Entwicklungsumgebung PyCharm umgesetzt. Das Hauptprogramm unterteilt sich in mehrere Funktionen, die GUI Funktion, welche durch Tkinter umgesetzt wurde, einen Videocapture und Snapshots des Framegrabbers durch OpenCV, die serielle Kommunikation zwischen Computer und elektromagnetischem Trackingsystem über die Bibliothek pySerial und die Verarbeitung der Trackingdaten in GUI-Elemente mit mplot3D, anstatt wie konzeptionell erwartet VPython. Es hat sich herausgestellt das VPython nicht mit Tkinter kompatibel ist.

Die umgesetzte GUI wird durch den nachfolgenden Programmcode erstellt. Zunächst wird ein Hauptfenster generiert, das einen Titel „TTR: Track To Reference“ erhält. Des Weiteren wird das Fenster in Bereiche unterteilt, „self.leftFrame = tk.Frame(self.mainFrame)“ generiert einen Bereich im Hauptfenster, der durch „self.leftFrame.grid“ an der gewünschten Position angefügt wird. Die Methoden „buildLeftframe()“ und „buildRightFrame()“ definieren weitere Unterteilungen der erstellten Bereiche des Hauptfensters und bilden zusammen mit der Klasse „UltraVisView“ die gesamte GUI.

```
class UltraVisView(tk.Frame):
    def __init__(self, master):
        tk.Frame.__init__(self, master)

        self.master = master
        self.master.title("TTR: Track To Reference")
        self.master.wm_state('zoomed')

        self.master.focus_force()

        self.mainFrame = tk.Frame(self.master)
        # Configure the tab - that the frames inside adjust dynamically
        self.mainFrame.rowconfigure(0, weight=1)
        self.mainFrame.columnconfigure(0, weight=80)
        self.mainFrame.columnconfigure(1, weight=1)

        self.leftFrame = tk.Frame(self.mainFrame)
        self.rightFrame = tk.Frame(self.mainFrame)

        self.leftFrame.grid(row=0, column=0, pady=8, padx=8, sticky=tk.NSEW)
        self.rightFrame.grid(row=0, column=1, pady=8, padx=8, sticky=tk.NSEW)

        self.buildLeftFrame()
        self.buildRightFrame()

        self.mainFrame.pack(fill=tk.BOTH, expand=tk.TRUE)

    def buildLeftFrame(self):...

    def Capture_FrameGrabber(self):...

    def buildRightFrame(self):...
```

Das Videocapture wird durch folgende Methode realisiert. Zu Beginn wird der Videostream geöffnet, dann werden empfangene Frames gelesen, gespeichert und wieder ausgegeben. Durch einen sich alle 10ms wiederholenden Methodenaufruf entsteht ein vollständiges Videocapturing. Durch die Methode „onSaveRefPosClicked“ ist die Möglichkeit geben, einen Screenshot des aktuellen Videostreams zu generieren.

```
def Capture_FrameGrabber(self):
    _, frame = self.cap.read()
    self.frame = cv2.flip(frame, 1)
    cv2image = cv2.cvtColor(self.frame, cv2.COLOR_BGR2RGBA)
    img = Image.fromarray(cv2image)
    imgtk = ImageTk.PhotoImage(image=img)
    self.lmain.imgtk = imgtk
    self.lmain.configure(image=imgtk)
    self.lmain.after(10, self.Capture_FrameGrabber)
```

```
def onSaveRefPosClicked(self):
    cv2image = cv2.cvtColor(self.ultraVisView.frame, cv2.COLOR_BGR2RGBA)
    img = Image.fromarray(cv2image)
    imgtk = ImageTk.PhotoImage(image=img)
    self.ultraVisView.screenshotmain.imgtk = imgtk
    self.ultraVisView.screenshotmain.configure(image=imgtk)
```

Die serielle Kommunikation zwischen Software und elektromagnetischem Trackingsystem wird durch die nächsten Programmcode-Ausschnitte erklärt. Durch den linken Programmcode wird die serielle Schnittstelle definiert, „self.ser.open()“ öffnet diese definierte Schnittstelle, sodass Kommandos wie „self.ser.write(b'RESET \r')“ gesendet werden können.

```
self.ser = serial.Serial()
self.ser.port = 'COM3'
self.ser.baudrate = 9600
self.ser.parity = serial.PARITY_NONE
self.ser.bytesize = serial.EIGHTBITS
self.ser.stopbits = serial.STOPBITS_ONE
self.ser.xonxoff = False

self.ser.open()
```

```
def InitSystem(self):
    self.ser.write(b'RESET \r')
    time.sleep(1)
    self.ser.write(b'INIT \r')
    time.sleep(1)
```

Durch den nachstehenden Programmcode wird das Koordinatensystem für die 3D-Visualisierung erstellt und angepasst. Der Befehl „self.fig = plt.figure()“ erzeugt das Grundgerüst des Koordinatensystems. Durch „self.ax = self.fig.add\_subplot(111, projection='3d')“ werden dem Koordinatensystem Achsen hinzugefügt, sodass ein 3D-Koordinatensystem entsteht. Im Anschluss wird noch die Größe der drei Achsen festgelegt. Zusätzlich werden für vier mögliche Sensoren unterschiedlich farbige Pfeile angelegt, die zur Verarbeitung der Trackingdaten genutzt werden. Dabei wurde die Länge der Pfeile auf „0.0“ gesetzt, sodass bei der Initialisierung des Koordinatensystems diese nicht sichtbar sind. Zur Speicherung der Referenzposition wird ein zusätzlicher schwarzer Pfeil erstellt dem zur Unterscheidung ein gleichfarbiger Punkt an der Pfeilspitze angefügt wird.

```
# Koordinatensystem erstellen
self.fig = plt.figure()
self.ax = self.fig.add_subplot(111, projection='3d')
self.ax.set_xlim(-200, 200)
self.ax.set_xlabel("X")
self.ax.set_ylim(-300, 300)
self.ax.set_ylabel("Y")
self.ax.set_zlim(100, 600)
self.ax.set_zlabel("Z")

self.handle_0 = self.ax.quiver(1, 1, 1, 0.2, 0.3, 0.4, length=0.0, color="red", pivot="tip")
self.handle_0_text = self.ax.text3D(0, 0, 0, "")
self.handle_1 = self.ax.quiver(0, 0, 0, 0, 0, 0, length=0.0, color="blue", pivot="tip")
self.handle_1_text = self.ax.text3D(0, 0, 0, "")
self.handle_2 = self.ax.quiver(0, 0, 0, 0, 0, 0, length=0.0, color="green", pivot="tip")
self.handle_2_text = self.ax.text3D(0, 0, 0, "")
self.handle_3 = self.ax.quiver(0, 0, 0, 0, 0, 0, length=0.0, color="black", pivot="tip")
self.handle_3_text = self.ax.text3D(0, 0, 0, "")
self.safe_handle = self.ax.quiver(0, 0, 0, 0, 0, 0, length=0.0, pivot="tip")
self.safe_handle_text = self.ax.text3D(0, 0, 0, "")
self.scatty = self.ax.scatter(0, 0, 0, s=0)
```

Die Verarbeitung der Trackingdaten wird durch den anschließenden Programmcode umgesetzt. In der Methode „self\_met\_handle\_string“ wird durch die Anzahl der Sensoren definiert von wie vielen Sensoren Positions- und Rotationsdaten erhalten werden und wie oft dadurch die „while“-Schleife durchlaufen wird. In der Schleife wird der jeweilige String mit Trackingdaten ausgelesen und in die einzelnen Positions- und Rotationsdaten unterteilt. Anschließend wird die Methode „koordinatenSystem“ aufgerufen, die diese Daten in GUI-Elemente umsetzt.

```
def safe_met_handle_string(self, test_out):
    Anz_Sensoren = int(test_out[0:2])
    test_out = test_out[2:]
    iii = 0
    while iii < Anz_Sensoren:
        if "MISSING" in test_out[0:15]:
            test_out = test_out[32:101]
            iii += 1
        else:
            # String zu einem Sensor
            self.handle_string = test_out[0:69]
            if self.handle_string[1:2] == "A":
                self.handle_0_ID = self.handle_string[1:2]
                self.handle_0_Q0 = float(self.insert_dash(self.handle_string[2:8], 2))
                self.handle_0_Qx = float(self.insert_dash(self.handle_string[8:14], 2))
                self.handle_0_Qy = float(self.insert_dash(self.handle_string[14:20], 2))
                if self.handle_string[20] == '-':
                    self.handle_0_Qz = float(self.insert_dash(self.handle_string[21:26], 1))
                elif self.handle_string[20] == '+':
                    self.handle_0_Qz = float(self.insert_dash('-' + self.handle_string[21:26], 2))
                self.handle_0_Tx = float(self.insert_dash(self.handle_string[26:33], 5))
                self.handle_0_Ty = float(self.insert_dash(self.handle_string[33:40], 5))
                self.handle_0_Tz = float(self.insert_dash(self.handle_string[41:47], 4))
                self.handle_0_Err = float(self.insert_dash(self.handle_string[47:59], 2))

            if self.handle_string[1:2] == "B":...
            if self.handle_string[1:2] == "C":...
            if self.handle_string[1:2] == "D":...

            self.koordinatenSystem()
            test_out = test_out[70:]
            iii += 1
```

Dabei werden die anfangs initialisierten Pfeile in ihrer Position und Orientierung entsprechend angepasst. Nach dieser Modifizierung wird durch den Befehl „self.ultraVisView.navigationCanvas.draw()“ das 3D-Koodinatensystem aktualisiert.

```
def koordinatenSystem(self):
    if self.handle_0_ID is not None:
        self.ultraVisView.handle_0.remove()
        self.ultraVisView.handle_0 = self.ultraVisView.ax.quiver(self.handle_0_Tx, self.handle_0_Ty,
                                                                    self.handle_0_Tz, self.handle_0_Qx,
                                                                    self.handle_0_Qy, self.handle_0_Qz,
                                                                    length=150.0, color="blue",
                                                                    pivot="tip")

        self.ultraVisView.handle_0_text.remove()
        self.ultraVisView.handle_0_text = self.ultraVisView.ax.text(self.handle_0_Tx+10, self.handle_0_Ty,
                                                                    self.handle_0_Tz, "Sensor 1", color="blue")

    if self.handle_1_ID is not None:...
    if self.handle_2_ID is not None:...
    if self.handle_3_ID is not None:...
    if self.safe_handle_0_Tx is not None:...

    self.ultraVisView.navigationCanvas.draw()
```

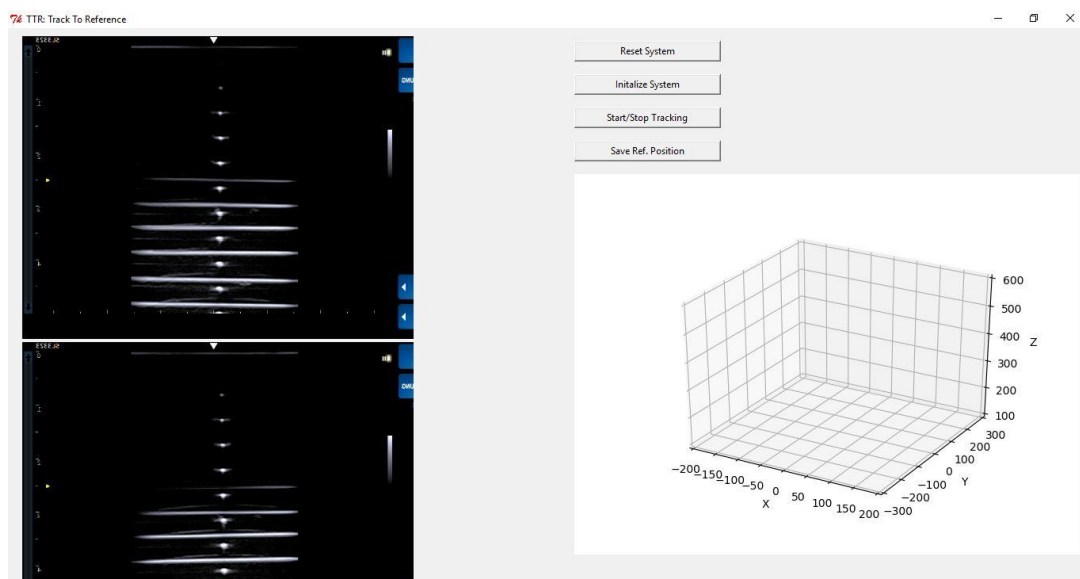
Die Hardwarekomponenten des Systems wurden, wie in der Konzeption beschrieben, verwendet. Als Ultraschallgerät kam das Esaote MyLabSat zum Einsatz. An diesem musste nichts weiter eingestellt werden, lediglich der Framegrabber wurde über den DVI-Anschluss angeschlossen, um das Displaybild abzugreifen. Der Framegrabber fungiert als Plug&Play-Device und ist nach einer kurzen automatischen Treiberinstallation einsatzbereit. Er wird an einem USB-Port des Computers angeschlossen und wird von diesem als Eingabequelle erkannt. Die letzte Komponente des Systems bildet das NDI AURORA elektromagnetische Trackingsystem. Um das Gerät entsprechend seiner Funktion vom Computer aus verwenden zu können muss eine firmeneigene Toolbox die sogenannte NDI Toolbox installiert werden. Des Weiteren müssen über den Gerätemanager benötigte Treiber installiert werden. Das NDI AURORA System verfügt über eine Programmierschnittstelle über die vom Computer aus spezifische Kommandos an das Gerät gesendet werden können. Dadurch sind die software- und hardwareseitigen Komponenten dargestellt und erläutert, sodass auf deren Zusammenspiel eingegangen werden kann.

## 6.1. Zusammenspiel der Komponenten

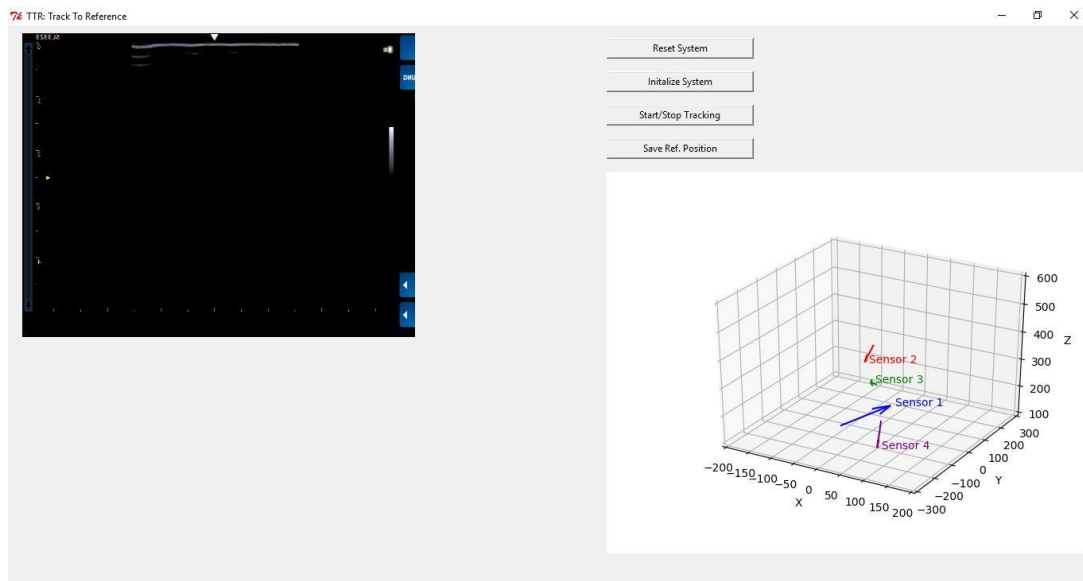
Um ein Zusammenspiel der Komponenten zu ermöglichen bedarf es Computer Voraussetzungen, wie mindestens zwei USB-Anschlüsse und ein Windows Betriebssystem (Windows 10). Die Kommunikation zwischen elektromagnetischem Trackingsystem und der Software erfolgt über eine serielle USB-Schnittstelle. In der Software wird der benötigte Port definiert und geöffnet, sodass API-Kommandos an das Trackingsystem gesendet werden können. Zu Beginn jeder Kommunikation und bei jeglichem Trackingproblem muss ein Reset des Systems erfolgen. Danach ist das System bereit für ein Initialisierungskommando durch das alle EMTS angeschlossenen Sensoren erkannt und aktiviert werden. Im Anschluss daran ist es möglich den Trackingmodus ebenfalls über die Software zu aktivieren aber auch wieder zu beenden. Dabei verarbeitet die Software alle eingehenden Trackingdaten vom EMTS und gibt diese an die erstellten GUI-Elemente weiter die im 3D-Koordinatensystem angezeigt werden. Um der Software aktuelle Ultraschallbilder zuzusenden kommuniziert die Software mit einem Framegrabber der über einen DVI-Anschluss an das Ultraschallgerät angeschlossen ist. Die Software liest den gesendeten Videostream vom Framegrabber aus und gibt diesen in einem Element der Benutzeroberfläche aus.

## 6.2. Benutzeroberfläche

Die Benutzeroberfläche wurde von der Struktur her, wie im Konzept beschrieben, umgesetzt und besteht aus den vier Bereichen, Liveansicht Ultraschallbild, Referenz Ultraschallbild, Button und 3D-Visualisierung. Das nachfolgende Bild zeigt diese Bereiche, dabei befindet sich oben links die Liveansicht darunter der aufgenommene Snapshot, rechts oben die Buttons und darunter die 3D-Visualisierung der Position und Orientierung des Ultraschallkopfes.

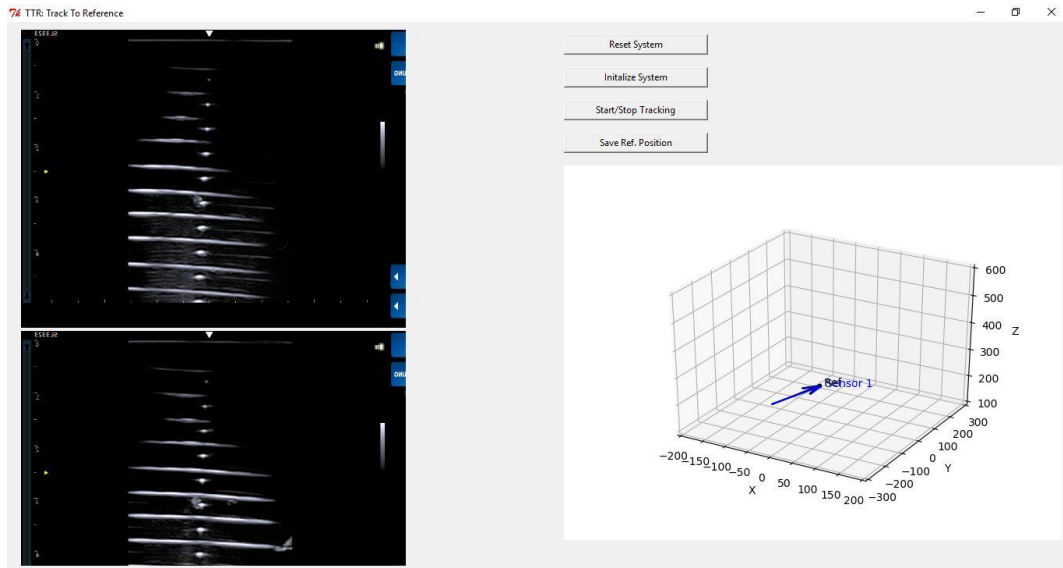


In der Liveansicht ist das aktuelle Ultraschallbild zu sehen. Das 3D-Koordinatensystem veranschaulicht die Trackingdaten live als Pfeil in der getrackten Position und Rotation. Eine Beschriftung des Pfeils zeigt, um welchen Sensor es sich handelt. Durch die Pfeilspitze ist die Orientierung des Sensors und somit des Ultraschallkopfes erkennbar und durch die Länge des Pfeils erhält der Nutzer Information über die Rotation des Sensors am Ultraschallkopf. Die Pfeile sind für die unterschiedlichen Sensoren farblich differenzierbar, sodass auch ein gleichzeitiges Anzeigen von mehreren Sensoren für die Unterscheidbarkeit beim Nutzer kein Problem darstellt.

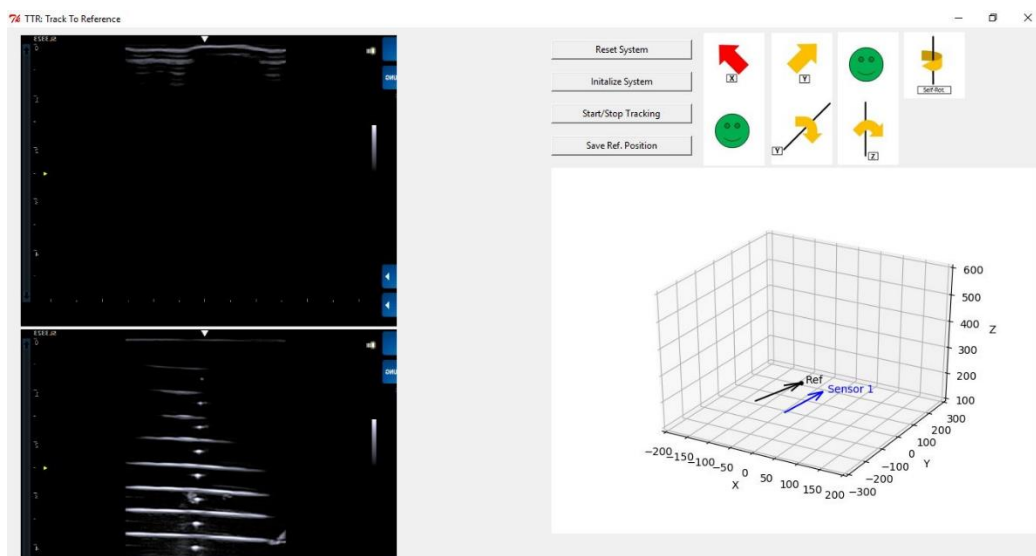


Durch die Buttons finden Programminteraktionen statt. Durch einen Klick auf den „Reset System“-Button wird das System zurückgesetzt und auf den Setup-Mode gestellt. Diese Interaktion muss bei jedem Programmstart bzw. -fehler durchgeführt werden. Der „Initialize System“-Button beginnt durch seine Betätigung eine Abfrage an das EMTS, indem ein API-Kommando gesendet wird. Dadurch wird abgefragt wie viele Sensoren am System angebracht sind und aktiviert werden müssen. Als weiterer Button ist der „Start/Stop Tracking“-Button in der GUI integriert. Die Interaktion damit wechselt den aktuellen Setup-Mode in den Tracking-Mode, dass die Software Trackingdaten der aktuellen Sensorposition und -rotation vom EMTS erhält. Diese Trackingdaten werden in GUI-Elemente verarbeitet die im 3D-Koordinatensystem angezeigt werden. Durch eine erneute Interaktion mit diesem Button wird der Tracking-Mode gestoppt und es werden keine weiteren Trackingdaten an die Software übermittelt. Der letzte GUI-Button „Save Ref. Position“ löst gleichzeitig mehrere Funktionen beim Betätigen aus. Zum einen wird die aktuelle Sensorposition und -rotation als Pfeil-GUI-Element gespeichert und im 3D-Koordinatensystem hinzugefügt. Eine Beschriftung, sowie die Farbe des gespeicherten Punktes erzeugen eine visuelle Trennung der aktuellen und gespeicherten Position. Zum anderen wird ein Snapshot der aktuellen Liveansicht des Ultraschallbildes relativ zur Position und Rotation des Sensors erzeugt. Der Snapshot wird im unteren linken Bereich hinzugefügt.





Als weiteres beginnt durch die Interaktion mit dem „Save Ref. Position“-Button eine visuelle Navigation, von den aktuellen Trackingdaten zu gespeicherten Trackingdaten. Im oberen rechten Bereich werden durch visuelle Merkmale Positions- und Rotationsveränderungen dargestellt. Für jede der Achsen ist ein visuelles Merkmal umgesetzt, sodass für Verschiebungen der Position in x-, y- und z-Richtung Pfeile in die zu navigierende Richtung zeigen, sowie auch für die Rotation auf den drei Achsen. Zusätzlich ist für die Eigenrotation dieses visuelle Merkmal ebenfalls umgesetzt. Die Farbe Rot symbolisiert, dass die aktuelle Position über 5mm bzw. die aktuelle Rotation über 5.0° entfernt vom Positions- bzw. Rotationsziel liegt. Ist die Farbe Gelb, befinden sich die aktuelle Position innerhalb von 5mm bzw. die aktuelle Rotation innerhalb von 5.0° zum Positions- bzw. Rotationsziel. Wechselt das visuelle Navigationsmerkmal auf einen grünen Smilie wurde das Positions- bzw. Rotationsziel erreicht, werden sieben grüne Smilies angezeigt ist die Navigation erfolgreich abgeschlossen.





## 7. Projektergebnis

Dieses Kapitel befasst sich mit dem erreichten Projektergebnis, dem vorgestellten semi-funktionstüchtigen Prototyp *Trace To Reference*. Das gestellte Ziel eine Reproduzierbarkeit von Ultraschalluntersuchungen zu ermöglichen wurde umgesetzt. Die vollständige Integration, sowie das gewünschte Zusammenspiel des Systems wurde nicht vollständig erreicht.

- ✓ Liveansicht des Ultraschallbildes wird angezeigt
  - ✓ Die aktuelle Position des Ultraschallkopfes wird angezeigt
  - ✓ Das erzeugte Referenzbild des Ultraschalls wird angezeigt
  - ✓ Die gespeicherte Position des Ultraschallkopfes wird angezeigt
  - ✓ Die Software wird durch geeignete Button gesteuert
- Navigation zur gespeicherten Position des Ultraschallkopfes umgesetzt, jedoch nicht integriert

Dazu wurden in der Projektanalyse funktionale und nichtfunktionale Anforderungen definiert, welche zusätzlich betrachtet werden.

### Funktionale Anforderungen

- Position des US-Kopf tracken
  - Ansteuerung des EMTS
- Anzeige der aktuellen US-Kopf Position
- Anzeige des aktuellen US-Kopf Schallbildes
- Speicherung einer Position
- Speicherung des Schallbildes zur Position
- Anzeige der gespeicherten Position
- Anzeige des gespeicherten Schallbildes zur Position

### Nichtfunktionale Anforderungen

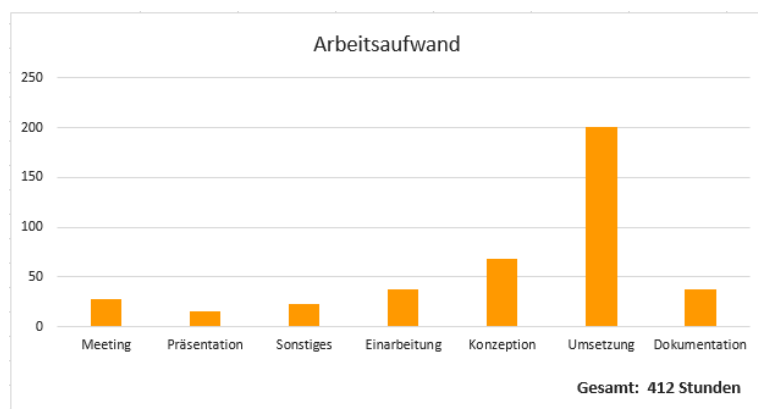
- Visuelle Anzeige der aktuellen US-Kopf Position
- Visuelle Anzeige des aktuellen US-Kopf Schallbildes
- Visuelle Anzeige der gespeicherten Position
- Visuelle Anzeige des gespeicherten Schallbildes zur Position
- Benutzerfreundliche Navigation von aktueller Position zur gespeicherten Position

Alle sieben funktionalen Anforderungen wurden durch den erstellten Prototyp abgedeckt von den nichtfunktionalen Anforderungen wurden 4 von 5 implementiert. Die benutzerfreundliche Navigation, ohne die Verwendung von numerischen Werten, von aktueller Position zur gespeicherten Position wurde umgesetzt, jedoch kommt es zu Programmabstürzen, sobald die visuellen Navigationsmerkmale integriert werden. Dies führt dazu das ein semi-funktionstüchtiger Prototyp entwickelt wurde.

## 8. Bilanz

Im folgenden Kapitel werden aufgetretene Probleme und der Arbeitsaufwand für das gesamte Projekt reflektiert. Eines der ersten Probleme war das veraltete Ultraschallgerät, dass sich nicht mit einem Computer verbinden lässt. Dadurch wurde eine zusätzliche Hardware, ein Capture Card (Framegrabber), bestellt. Durch die Beschaffung des Framegrabbers wurde die Problematik behoben und der Ultraschallbildschirminhalt konnte abgegriffen werden. Ein weiteres Problem waren Sicherheitszertifikate, aufgrund veralteter NDI-Software, die durch das Betriebssystem Windows 10 eine Treiberinstallation verhindert hatte. Das Aktivieren des Windows 10 Testmodus konnte auch dieses Problem behoben werden und die Treiber installiert werden. Bei der Entwicklung mit der Programmiersprache Python gab es Kompatibilitätsprobleme zwischen den Bibliotheken VPython und Tkinter, wodurch eine Umsetzung nicht ermöglicht konnte, dazu wurde die Bibliothek mplot3D anstatt VPython verwendet. Des Weiteren wurde in Python 2.7 entwickelt, da OpenCV nicht in Python 3.x unterstützt wird.

Der Arbeitsaufwand für das gesamte Projekt, lässt sich in mehrere Phasen unterteilen. Der Aufwand wird in der nachfolgenden Grafik dargelegt. Zum einen in die Phase der Ideenfindung und Einarbeitung die zu Beginn des Projektes anstand. Die Ideenfindung wurde durch Gruppengespräche mit Herrn Prof. Oliver Burgert, Herrn Dr. Eckhart Fröhlich und Frau Beyda Güler erreicht. Mit in dieser Phase war die Einarbeitung in das elektromagnetische Trackingsystem, sowie in das Ultraschallgerät Esaote MyLabSat. Darauf folgte die Recherche, Analyse und Konzeption die eine arbeitsintensivere Phase bildete. Nachdem ich zunächst vorhandene Software und Visualisierung aus dem Rechercheergebnis verwenden wollte, beschloss ich mein erstes Konzept anhand der vorhandenen Ansätze und meiner Analyse zu definieren. Nachdem jedoch das gewünschte Zusammenspiel der Softwarekomponenten nicht funktionierte, habe ich beschlossen eine eigene Software und Visualisierung zu konzeptionieren. Dieses zweite Konzept wurde in der größten Phase des Projekts in der Umsetzung entwickelt. Alle Softwarekomponenten wurden dabei programmiert, außerdem wurde während der Umsetzungsphase, aufgrund von Kompatibilitätsproblemen die gewünschte Visualisierungstechnik überarbeitet und die GUI-Elemente für die 3D-Visualisierung verändert. Zu dieser Umsetzung gehörte auch der Systemzusammenbau der einzelnen Hardwarekomponenten des Gesamtprojektes, der durch die entwickelte Software zusammenspielt. Am Ende des Projekts nahm die Dokumentation einige Zeit in Anspruch. Zur Weiterführung des Projekts ist sie jedoch wichtig. Zusätzlich zur eigenen Projektarbeit zählt der Aufwand für die Infrastruktur (Sonstiges), Meetings und Präsentationen in den Meetings.



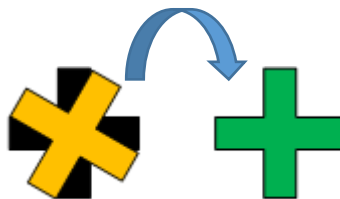
## 9. Ausblick

In diesem Kapitel soll eine Weiterführung des Projekts diskutiert werden. Durch die grundsätzlich erfolgte Umsetzung der visuellen Navigation steht eine Integration, zum Erreichen eines funktionstüchtigen Prototyps, aus. Des Weiteren wäre es denkbar durch einen zusätzlichen Sensor am Körper des Patienten, beispielsweise Hüftknochen als Startpunkt, ein Mapping zwischen Patient und Navigation zu ermöglichen.

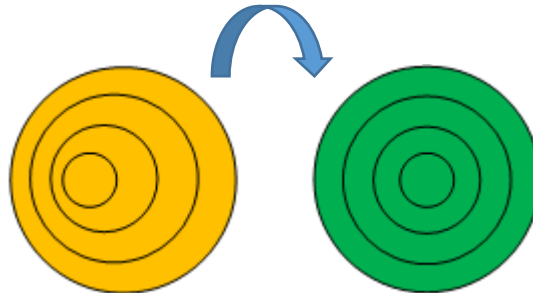
Der aktuelle Stand des Prototyps, sowie die visuelle Navigation wurden Herrn Dr. Eckhart Fröhlich in einer Live-Demonstration vorgestellt und erläutert. Somit konnte ein erstes Feedback über das entwickelte Projekt gegeben werden. Die aktuell umgesetzte visuelle Navigation durch sieben einzelne Merkmalshinweise drei für die Position, drei für die Rotation und eine für die Eigenrotation sind nicht zielführend, sondern eher verwirrend, weil alles gleichzeitig beachtet werden muss. Eine neue Idee zur visuellen Navigation ist entstanden, die die Navigation in einzelnen Schritten ermöglicht, dass bedeutet das zuerst die Position erreicht wird, dann die Rotation und zuletzt die Säge- bzw. Kipp-Bewegung. Somit wäre die Navigation der Position durch Pfeile auf der x-, y- und z-Achse weiterhin sinnvoll und anwendbar.



Für die Rotation wäre ein visuelles Kreuz greifbarer, sodass das aktuelle Fadenkreuz in Gelb mit dem gespeicherten Fadenkreuz in Schwarz deckungsgleich wird, um das Rotationsziel zu erreichen.



Als letztes fehlt die Säge- bzw. Kipp-Bewegung in der Navigationskette. Dabei müssen die Kreise in gleichmäßigen Abstand gebracht werden, um das Ziel zu erreichen.



Das Ziel ist final, dann erreicht, wenn durch das System ein automatischer Snapshot der Liveansicht des Ultraschallbildes erfolgt. Zusätzlich sollte für den Start ein Piktogramm hinzugefügt werden, bei Ultraschalluntersuchungen ist es üblich, dass der behandelnde Arzt nach einer Untersuchung, spezifische Stellen markiert, um bei einer Folgeuntersuchung den ungefähren Zielort wiederzufinden. Demnach beginnt die Navigation mit einem Piktogramm, auf das die Verschiebung der US-Sonde in x-, y- und z-Achse folgt, anschließend die Rotation der US-Sonde und zuletzt die Säge- bzw. Kipp-Bewegung der US-Sonde, die Navigation wird durch den automatisch generierten Snapshot abgeschlossen. Dadurch entsteht eine Schritt-für-Schritt Zielführung, durch die der Benutzer geleitet wird, ohne ihn durch mehrere gleichzeitige visuelle Reize zu verwirren. Die Überlegung weitere Sensoren am Körper des Patienten anzubringen ist durchaus gewünscht und wäre beispielsweise am Brustbein sinnvoll, zusätzlich ist eine Anbringung am Rücken des Patienten denkbar, dass jeweils vorne und hinten am Patienten ein Sensor angebracht ist.

Demnach ist eine Weiterführung des Projekts sinnvoll und würde einen Einsatz für den Tag der offenen Tür oder den Studieninfo-Tag für Demozwecke ermöglichen. Zudem bietet es eine Grundlage für die wissenschaftliche Vertiefung, durch Experteninterviews und einer qualitativen Auswertung, die das aktuelle Projektergebnis bewertet und erweitert.