



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Max-Julian Kiesel

Entwicklung einer videobasierten Vibrationsmessung für eine Synchrotronbeamline

*Fakultät Technik und Informatik
Department Maschinenbau und Produktion*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Mechanical Engineering and
Production Management*

Max-Julian Kiesel

**Entwicklung einer
videobasierten Vibrationsmessung
für eine Synchrotronbeamline**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

Im Studiengang Maschinenbau / Entwicklung und Konstruktion
am Department Maschinenbau und Produktion
der Fakultät Technik und Information
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

In Zusammenarbeit mit:
Deutsches Elektronen-Synchrotron
Forschung mit Photonen FS-PE
Notkestraße 85
22607 Hamburg

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Stefan Wiesemann
Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Ralph Döhrmann

Abgabedatum: 30.11.2017

A. Zusammenfassung

Max-Julian Kiesel

Thema der Bachelorarbeit

Entwicklung einer videobasierten Vibrationsmessung für eine Synchrotronbeamline

Stichworte

Video, Messung, Bildverarbeitung, Verfolgen, Kamera

Kurzzusammenfassung

In diese Bachelorarbeit wurde sich mit dem Messen von Bewegungen und Frequenzen mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera befasst. Dabei wurde ein Algorithmus programmiert, der die Bewegung eines Objektes in dem Video verfolgen kann und dessen Bewegung in den zwei Achsen wiedergibt. Die Genauigkeit dieses Verfahren wurde anschließend mit einer Versuchsreihe bestimmt.

Max-Julian Kiesel

Bachelor Thesis title

Development of a video-based vibration measurement for a synchrotron beamline

Keywords

video, measurement, image processing, tracking, camera

Abstract

This bachelor thesis deals with the measurement of motions and frequencies with a high-speed camera. An algorithm has been written. The algorithm can track the movement of an object in the video and write the movement in the two axes to a file. The accuracy of this procedure was then determined with a series of experiments.

B. Inhaltsverzeichnis

A.	Zusammenfassung	II
B.	Inhaltsverzeichnis.....	III
C.	Abkürzungsverzeichnis	VI
1.	Einleitung	1
2.	Grundlagen	2
2.1.	Kamerasensor	2
2.1.1.	CCD-Sensor	3
2.1.2.	CMOS-Sensor	5
2.1.3.	Verschluss.....	5
2.1.4.	Belichtungszeit.....	6
2.1.5.	Auflösung.....	6
2.2.	Objektiv	6
2.3.	Videoverarbeitung mit Matlab	7
3.	Versuchsaufbau.....	8
3.1.	Kamera	9
3.2.	Objektiv	10
3.3.	Maßstab	10
3.4.	Belichtung.....	10
3.5.	Körper	11
3.6.	Aktor	11
3.7.	Interferometer.....	12
3.8.	Programmbeschreibung.....	12
3.8.1.	Öffnen.....	13
3.8.2.	Crop.....	13
3.8.3.	Track.....	13
3.8.4.	Auswertung.....	13
3.8.5.	Parameter.....	14
3.8.6.	Code	14
3.9.	Fast Fourier-Transformation	17
4.	Untersuchung.....	17

5.	Ergebnisse.....	18
5.1.	Referenzmessung - Grundrauschen.....	18
5.2.	Amplitudenvariation.....	19
5.3.	Frequenzvarianz	21
5.4.	Zwei Frequenzen mit unterschiedlichen Amplituden.....	24
5.5.	Zwei Frequenzen mit variierendem Abstand	25
5.6.	Zusammenfassung der Ergebnisse	26
6.	Fazit und Ausblick.....	26
D.	Abbildungsverzeichnis.....	28
E.	Literaturverzeichnis.....	29
F.	Anhang.....	32
Anhang 1	FFT Versuch 1: 0-3500Hz.....	32
Anhang 2	FFT Versuch 1: 0-150Hz.....	33
Anhang 3	Schwingung Versuch 1 Video 3.....	34
Anhang 4	Schwingung Versuch 2 Video 3.....	35
Anhang 5	FFT Messung 4: 0-150 Hz	36
Anhang 6	FFT Messung 5: 0-150 Hz	37
Anhang 7	FFT Messung 9	38
Anhang 8	FFT Messung 10	39
Anhang 9	FFT Messung 11	40
Anhang 10	FFT Messung 12	41
Anhang 11	FFT Messung 18	42
Anhang 12	FFT Messung 19	43
Anhang 13	FFT Messung 20	44
Anhang 14	Schwingung Versuch 19	45
Anhang 15	Schwingung Versuch 20	46
Anhang 16	FFT Versuch 6: 0-150 Hz.....	47
Anhang 17	FFT Versuch 7: 0-150 Hz.....	48
Anhang 18	FFT Versuch 8: 0-150 Hz	49
Anhang 19	FFT Versuch 13: 0-250 Hz	50
Anhang 20	FFT Versuch 14: 0-250 Hz	51

Anhang 21	FFT Versuch 15: 0-250 Hz	52
Anhang 22	FFT Versuch 16: 0-250 Hz	53
Anhang 23	FFT Versuch 17: 0-250 Hz	54
Anhang 24	Code: Bild_ohne_extremwerte	55
Anhang 25	Code: do_roi	55
Anhang 26	Code do_bw.....	56

C. Abkürzungsverzeichnis

CCD.....	charge-coupled device
CMOS	Complementary metal-oxide-semiconductor
DESY	Deutsches Elektronen Synchrotron DESY
FFT.....	fast Fourier-Transformation
FPS.....	Frames per seconds
GUI	graphical user interface(Grafische Benutzeroberfläche)
LED	Light emitting Diod
PETRA III	Positron-Elektron-Tandem-Ring-Anlage, dritte Ausbaustufe

1. Einleitung

Der Röntgenspeicherring PETRA III am Deutschen Elektronen-Synchrotron DESY wird für die Forschung mit Photonen benutzt. An den verschiedenen Messplätzen werden mit Röntgenstrahlen verschiedenste Proben untersucht. Dabei ist es von Bedeutung, dass die Bewegung der Probe zu jeder Messung bekannt ist. Für die Bestimmung der Position bei der Messung werden aktuell Interferometer benutzt. Diese verfügen über eine hohe Messgenauigkeit. Allerdings ist es bei dem geringen Bauraum um der Probe und bei kleinen Proben nicht immer möglich, die für die Interferometer benötigte Spiegelfläche anzubringen. Zudem ist es beispielsweise bei Proben, die auf einem dünnen Röhrchen sitzen, nicht möglich einen Spiegel zu befestigen. Dadurch ist die Idee entstanden ob die Bewegung der Probe auch durch eine Kamera gemessen werden kann.

Bei der Recherche klang ein Algorithmus von dem Professor Frédo Durand [1], der die Bewegungen oder Farbänderungen in einem Video verstärkt, sehr vielversprechend. Der Algorithmus kann kleinste Veränderung im Video eines gewählten Frequenzbandes verstärken. So kann beispielsweise die durch den Pulsschlag hervorgerufene Farbänderung im Gesicht verstärkt werden. Auch die Bewegung des Brustkorbs eines Kleinkindes kann so verstärkt werden, dass die Bewegung auf einem kleinen Bildschirm deutlicher zu erkennen ist.

Die Problematik bei diesem Programm besteht darin, dass man vor der Verstärkung der Bewegungen ein Frequenzband, das verstärkt werden soll, angeben muss. Hieraus entstand die Aufgabe einen Algorithmus zu programmieren, der Objekte verfolgen kann und die Frequenzen der Bewegung angibt.

Das Programmieren des Algorithmus hat sehr lange gedauert, sodass das Testen des Algorithmus von Professor Frédo Durand nicht mehr geschafft wurde.

2. Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Grundlagen für diese Bachelorarbeit erläutert.

2.1. Kamerasensor

In den aktuellen Kameramodellen werden zwei verschiedenen Arten von Sensortypen verbaut. Die CCD- und die CMOS-Sensoren. Beide Typen haben ihre Vor- und Nachteile, die im Folgenden aufgezeigt werden erläutert werden.

Bei beiden Sensortypen wird mithilfe des photoelektrischen Effekts die Helligkeit der einzelnen Pixel bestimmt. Das analoge Signal wird durch einen Analog-Digital-Wandler meist in ein 8 Bit Format umgewandelt. Dadurch kann die Helligkeit der einzelnen Pixel von 0 bis 255 unterschieden werden. Es gibt auch Kameras, die in 12 oder 16 Bit die Bilder speichern. Da der

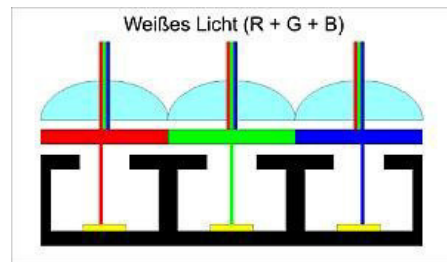


Abbildung 1 - Schnitt durch einen Sensor [2]

Sensor die verschiedenen Wellenlängen des Lichtes nicht unterscheiden kann, besteht jeder farbige Pixel aus einer Subpixelmatrix. Die einzelnen Subpixel nehmen die Intensität der Farben rot, grün und blau auf, indem das Licht durch eine Mikrolinse und einen Farbfilter auf die Subpixel trifft (Abbildung 1). Je länger ein Pixel belichtet wird, desto höher ist der Wert. Die gängigste Subpixelmatrix ist dabei die Bayer-Matrix. Sie besteht pro Pixel aus einem roten Subpixel, einem blauen Subpixel und zwei grünen Subpixeln. Die Pixel werden dann, wie in Abbildung 2 zu sehen, aus den genannten vier Subpixeln zusammengesetzt. [3]

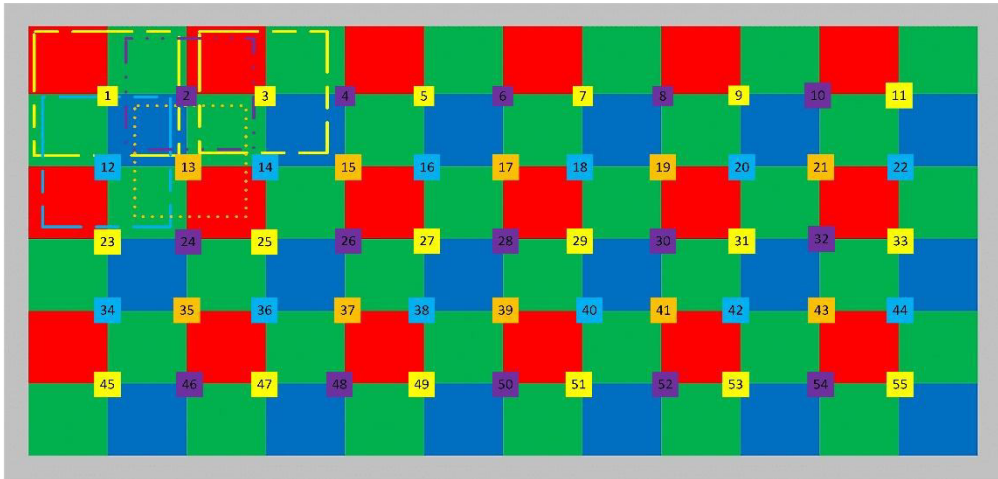


Abbildung 2 - Bayer-Matrix mit Pixel

Bei dieser Abbildung sind die Pixel von 1 bis 55 nummeriert und zur Verdeutlichung haben die Pixeln 1, 2, 3, 12 und 13 einen Rahmen um die dazugehörigen Subpixel. Dabei werden die mittleren Subpixel für vier Pixel genutzt, die am Rand für zwei Pixel und die in der Ecke nur für einen Pixel. Dadurch brauch man für „n x m“ Pixel „(n+1) x (m+1)“ Subpixel.

2.1.1. CCD-Sensor

Der große Unterschied der Sensoren liegt beim Auslesen. Der CCD-Sensor liest alle Pixel einer Zeile nacheinander aus. Dabei werden die Ladungen von Subpixel zu Subpixel weitergegeben und am Rand mithilfe eines Analog Digital Wandlers digitalisiert. Dieser Vorgang kann mit einer Eimerkette verglichen werden. Die Ladungen werden am Rand ausgelesen. Dann werden die Ladungen um ein Pixel verschoben und die nächste Reihe kann ausgelesen werden. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis alle Pixel ausgelesen worden sind. Da es eine Verbindung zwischen den Pixeln gibt, kann es zu dem sogenannten Blooming-Effekt kommen. Hierbei weichen die Ladungen eines überbelichteten Pixels auf die benachbarten Pixel aus. Ein anderes Fehlerbild eines CCD-Sensors ist der Smear-Effekt. Dieser erschafft auch weiße Linien auf dem Bild, allerdings erst beim Transport der Ladungen. So werden den vorbeikommenden Ladungspaketen durch Belichtung weitere Ladungen hinzugefügt.

Um den Smear-Effekt zu verhindern, ist es möglich, einen mechanischen Verschluss vor dem Sensor zu platzieren, sodass es zu keiner Belichtung während des Auslesens kommt. [4]

Die Bauweise von CCD-Sensoren können in vier Arten unterteilt werden.

Die einfachste Bauweise ist der Full-Frame-CCD. Dabei werden nur die einzelnen Pixel verwendet. Um das Belichten während des Transports zu verhindern, wird bei den Full-Frame-CCD Sensoren ein mechanischer Verschluss benutzt. Der Vorteil dieser Bauweise ist die hohe lichtempfindliche Fläche im Verhältnis zu der Sensorfläche. Der Nachteil liegt in der Benutzung des aufwendigen mechanischen Verschlusses. Die zweite Bauweise ist der Frame-Transfer-CCD Sensor. Hier wird ein abgedunkelter Speichersensor an den eigentlichen Sensor angebaut. Dadurch wird das Bild nach dem Belichten auf den Speichersensor geschoben und das nächste Bild kann wieder belichtet werden. Während der nächsten Belichtung kann dann das aufgenommene Bild ausgelesen werden. Diese Bauweise eignet sich für lange Belichtungszeiten, da sonst der Smear Effekt auftreten kann. Anstatt das ganze Bild in den Speicher zu verschieben, wird bei der dritten Bauweise das Pixel verkleinert und neben jedem Pixel eine Speicherzelle untergebracht. Diese Speicherzellen werden dann wie bei dem Full-Frame-CCD reihenweise ausgelesen. Diese Bauweise nennt sich Interline-Transfer-CCD. Der Vorteil dieser Bauweise besteht in der elektronisch gesteuerten Belichtung. Dies ermöglicht eine sehr kurze Belichtungszeit. Nur haben diese Sensoren eine geringere Lichtempfindlichkeit, da das Verhältnis von Photozelle und Sensorfläche sich gegenüber dem Full-Frame-CCD verkleinert. Um diesen Nachteil auszugleichen, werden zum Bündeln des Lichts kleine Mikrolinsen von der Photozelle platziert. Die letzte Bauweise ist die Kombination des Interline-Transfer-CCD und des Frame-Transfer-CCD. Hier werden die Ladungen aus den Interline-Transfer Speicherzellen in einen angrenzenden Speichersensor transportiert. Die Bauweise nennt sich dann Frame-Interline-Transfer-CCD. Die Vorteile dieses Sensoraufbaus besteht in der möglichen kurzen Belichtungszeit und dem schnellen Abtransport der Ladungen von dem belichteten Teil des Sensors. Der große Nachteil ist der hohe Preis dieser Sensoren, da pro Pixel drei Komponenten benötigt werden. [5]

2.1.2. CMOS-Sensor

Bei dem CMOS-Sensor wird jeder Subpixel einzeln ausgelesen. Dabei trifft das Licht durch den Farbfilter auf die Fotodiode. Die aufgrund des photoelektrischen Effektes getrennten Elektronen werden in einem Kondensator zwischengespeichert. Die Spannung wird dann durch den MOSFET verstärkt. MOSFET steht für metal oxide semiconductor field effect transistor. Der Vorteil dieses Transistors liegt bei seiner hohen Impedanz und seinem geringen Leistungsverlust. [6]

Dadurch ist die Wärmeentwicklung im Sensor sehr gering. Anschließend wird die verstärkte Ladung durch einen Analog Digital Wandler digitalisiert, sodass die Intensität des Pixels abgespeichert werden kann. Die großen Vorteile des CMOS-Sensors gegenüber dem CCD-Sensors ist der geringere Stromverbrauch. Zudem kann durch den A/D-Wandler auf dem Sensor eine kompakte Bauweise realisiert werden und es können auch alle Sensoren gleichzeitig ausgelesen werden. Durch das direkte Adressieren jedes einzelnen Subpixels können die Pixel öfter pro Sekunde ausgelesen werden und damit eine höhere Bildrate erreicht werden. Auch kann nur ein bestimmter Bereich des Sensors ausgelesen werden. Das einzelne Auslesen hat allerdings auch den Nachteil, dass aufgrund der möglichen Fertigungstoleranzen ein Rauschen zwischen den einzelnen Pixel entstehen kann. [7,8]

2.1.3. Verschluss

Bei Videokameras gibt es zwei verschiedenen Verschlussarten, den rolling shutter und den global shutter.

Der rolling shutter belichtet die Pixel der Reihe nach, wodurch ein zeitlicher Versatz von der ersten zu der letzten Zeile des Sensors entsteht. Durch diese Verschlussart kann es zu dem sogenannten Rolling-Shutter-Effekt kommen. Dieser Effekt beschreibt das Verzerren bei Bewegungen. Bei dem Beispiel in Abbildung 3b ist die Verzerrung deutlich zu sehen. Hierbei wurde die Kamera schnell horizontal bewegt, sodass die Stangen des Geländers schräge erscheinen. Auf dem Referenzbild von Abbildung 3a sind die Stangen komplett senkrecht wie in der Realität. [9]

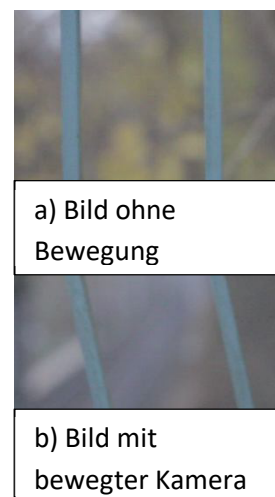


Abbildung 3 - Rolling shutter

Der global shutter belichtet alle Pixel zur gleichen Zeit. Hierbei treten keine Verzerrungen zwischen den Zeilen des Bildes auf. [10] Deshalb ist der global shutter der richtige Verschlusstyp um eine Messung mit Hilfe einer Kamera durchzuführen.

2.1.4. Belichtungszeit

Der nächste Faktor beim Fotografieren ist die Belichtungsdauer. Um die Bewegungsunschärfe zu vermeiden, muss eine kürzere Belichtungszeit gewählt werden. Allerdings benötigt der Sensor in dieser kürzeren Belichtungszeit die gleiche Anzahl an Photonen, um das Bild in mit der gleichen Helligkeit aufzunehmen. Somit wird für die Untersuchung die kleinstmögliche Belichtungszeit gewählt, bei der das Bild noch ausreichend mit Licht versorgt werden kann.

2.1.5. Auflösung

Die Auflösung der Kamera beeinflusst bei diesem Experiment die maximale Bewegung und mögliche Größe des gefilmten Objektes. Allerdings hat ein Sensor mit einer höheren Auflösung kleinere Pixel als ein Sensor gleicher Größe mit geringerer Auflösung. Ein kleineres Pixel hat den Nachteil, dass für die Belichtung eine kleinere Fläche zur Verfügung steht und dadurch weniger Photonen auf den Sensor treffen. Mit einer höheren Auflösung bei gleicher Sensorgröße ist ein Pixel kleiner, wodurch geringfügigere Bewegungen einfacher detektiert werden.

2.2. Objektiv

Um die Lichtstrahlen auf den Sensor zu projizieren, wird das Licht durch das Objektiv geleitet. Dabei werden die Lichtstrahlen mithilfe von Linsen auf den Sensor fokussiert.

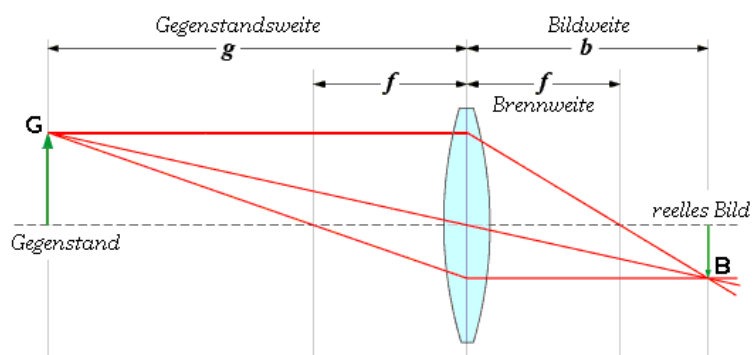


Abbildung 4 - Skizze Sammellinse [11]

Ganz vereinfacht funktioniert ein Objektiv wie eine Sammellinse.

Ein Gegenstand mit der Größe G und dem Abstand g zu der Linse wird im Abstand

b hinter der Linse auf die Größe B fokussiert. Dabei gilt das Verhältnis aus Formel (1).[11]

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b} \quad (1)$$

Allerdings kommt es bei einem Objektiv mit nur einer Linse zu Verzerrungen. Um dieses zu vermeiden werden weitere Linsen in das Objektiv eingebaut. Dies ermöglicht dem Objektiv ein Karomuster richtig auf den Kamerasensor zu projizieren. Durch eine geschickte Auswahl an Linsen kann die Brennweite f, die Lichtstärke, die Randabschattung, die Verzerrung und die Vergrößerung beeinflusst werden. Durch eine Optimierung dieser Eigenschaften entspricht das auf den Sensor projizierte Bild genauer der Realität.

Die Brennweite eines Objektivs beeinflusst den Objektivblickwinkel. So hat eine kurze Brennweite einen großen Blickwinkel und eine hohe Brennweite einen kleinen Blickwinkel. Durch einen kleinen Blickwinkel ist es einfacher feine Details aufzunehmen.

Die Lichtstärke des Objektivs gibt an, wie viel Licht das Objektiv durchlässt. Dieser Wert wird durch die Blende angegeben. Je kleiner der Wert der Blende ist, desto mehr Licht lässt das Objektiv durch. Der Wert der Blende ist der Quotient aus dem Durchmesser der Blende und dem Abstand der Blende zu dem Sensor. [12]

Die Blende beeinflusst allerdings auch den Bereich des Bildes, der scharf dargestellt wird. Je offener die Blende ist, desto geringer ist der scharfe Bereich.

2.3. Videoverarbeitung mit Matlab

Matlab bietet die Image Processing Toolbox für die Bildverarbeitung an. Zwei große Bestandteile der Toolbox sind die Bildsegmentierung und Bildanalyse. [13] Zudem kann Matlab mithilfe der Applikation Image Acquisition Bilder und Videos von einer angeschlossenen Kamera aufnehmen. Dieses Video kann dann durch die Funktion „im2bw“ [14] in eine binäre Maske umgewandelt werden. Dabei muss der Funktion die Bildmatrix und ein Schwellwert übergeben werden. Der Schwellwert hat einen Wert von 0 (schwarz) bis 1 (weiß). Alle Helligkeitswerte, die über dem Schwellwert liegen werden als 1 in der Maske dargestellt. Alle anderen werden zu einer 0.

Mithilfe der Funktion „`regionprops(BW,properties)`“ [15] könne die Eigenschaften der binären Maske bestimmt werden. So wird das Center der weißen Flächen mit „`regionprops(BW, 'centroid')`“ [15] ausgegeben. Andere Eigenschaften wären zum Beispiel die Orientierung, die Fläche, oder die Eckpunkte.

3. Versuchsaufbau

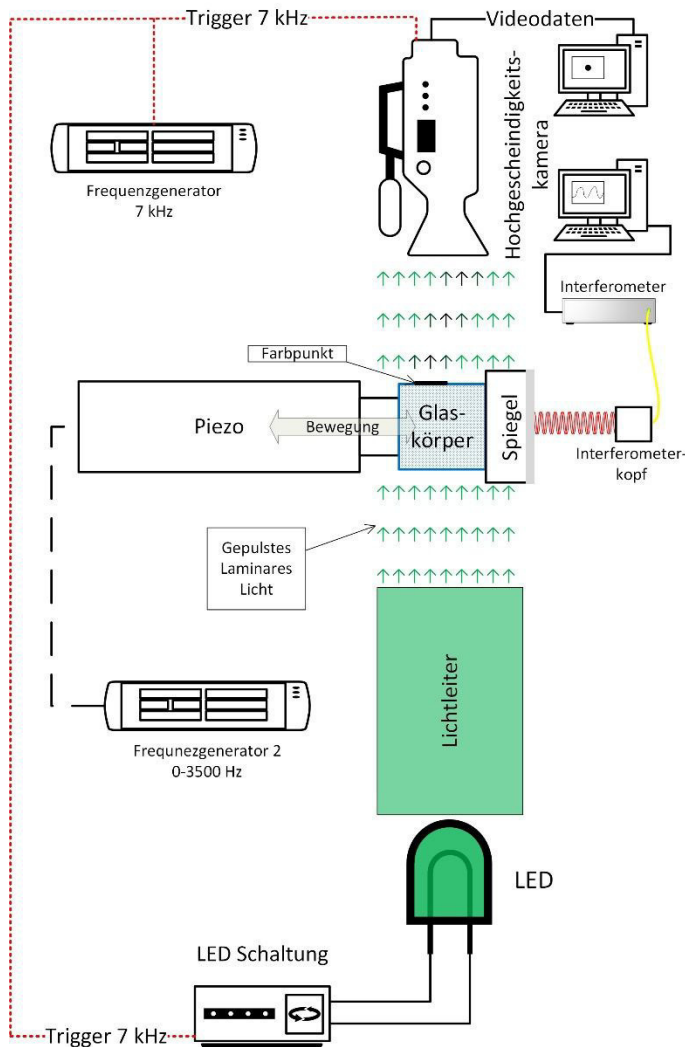


Abbildung 5 - Versuchsaufbau

Der in der Bachelorarbeit gewählte Versuchsaufbau besteht aus einer Kamera, einer Beleuchtung, einem Aktor, einem Glaskörper zum Tracken und einem Interferometer mit Spiegel, die wie in Abbildung 5 aufgebaut worden sind. Dabei wird durch den Frequenzgenerator 2 ein Glaskörper und der Spiegel bewegt. Durch das Interferometer wird die Positionsänderung des Spiegels gemessen. Die

Daten werden auf einem Computer ausgelesen und abgespeichert. Der Frequenzgenerator 1 triggert die Hochgeschwindigkeitskamera und die LED. Dadurch werden Bilder von dem Glaskörper aufgenommen. Die Bilder werden an einen Computer weitergeleitet und abgespeichert. Die Kriterien für die Bestandteile werden in diesem Abschnitt erläutert.

3.1. Kamera

Für die Untersuchung wurden vier vorhandene Kameras in Betracht gezogen. Eine Übersicht der Kameras sind mit den für das Experiment markanten Informationen in der Tabelle 1 zusammengefasst.

Modell	maximale FPS	Auflösung	Minimale Verschlusszeit	Megapixel/s	Maximale Aufnahmezeit
Handykamera	30	1080 x 1920	250 μ s	~62 MP/s	29 min
Spiegelreflex Canon 60D	30 60	1080 x 1920 720 x 1280	125 μ s	~62 MP/s	29 min
Industriekamera Allied vision Manta G-419C	28,6 60 125 300 600	2048 x 2048 1024 x 1024 512 x 1656 256 x 512 99 x 1780	34 μ s	~106 MP/s	Je nach RAM ~ 1 min
Phantom v711	7530 22400 79000 685800	800 x 1280 480 x 640 256 x 256 8 x 128	1 μ s	7000 MP/s	2,97 Sekunden bei 685800 FPS in RAM 1MP/s per Netzwerk

Tabelle 1 - Übersicht Kamera[16,17]

In der Tabelle 1 ist zu sehen, dass aufgrund der geringen FPS die Handykamera und Spiegelreflexkamera nur für Schwingungen bis 15/30 Hz geeignet ist. Durch diese Beschränkung sind diese beiden Kameramodelle nicht für das Experiment geeignet. Die Manta G-419C der Firma Allied Vision ist die zurzeit an der Beamline installierte Kamera. Diese Kamera schränkt den Benutzer in der Größe des Ausschnitts ein, da man, um eine hohe FPS-Zahl zu erhalten, die Auflösung stark eingrenzen muss. Die Phantom v711 hat den großen Vorteil, dass sie sehr hohe FPS-Werte mit einer guten Auflösung erreicht.

Zudem sind auch die minimalen Verschlusszeiten der beiden gewählten Kameras sehr klein, sodass es auch bei schnellen Bewegungen möglich ist, scharfe Bilder zu erhalten. Somit ist die Phantom für das Experiment die beste Kamera. Allerdings führt eine hohe Bildwiederholungsrate zu einer Verkürzung der Belichtungszeit. Dies hat zur Folge, dass für die Aufnahmen sehr viel Licht benötigt wird. Um einen Vergleich zu der Phantom-Kamera zu haben, wurden die Experimente mit der Allied Vision Kamera durchgeführt.

3.2. Objektiv

Bei der Wahl des Objektivs gab es keine große Auswahl. An der Phantom V711 ist ein NAVITAR 12x UltraZoom mit einem 2xTubus befestigt. Diese Kombination hat einen Arbeitsabstand von 20 mm.

An der Manta Kamera ist das Objektiv VH-Z50L der Firma Keyence befestigt. Dieses Zoom-Mikroskopobjektiv vergrößert um den Faktor 50 bis 500. Dabei bleibt die Fokusdistanz konstant bei 85mm.[18] Zur Auswahl stand auch das Keyence VH-Z100UR. Dieses Objektiv hat eine Vergrößerung von 100 bis 1000. Die Fokusdistanz liegt bei 25mm.[19] Erste Tests haben gezeigt, dass eine Vergrößerung von 250 ausreicht. Und somit wurde für die Versuche das VH-Z50L benutzt.

3.3. Maßstab

Um beim Tracken die Pixel in eine Länge umzurechnen, wurde mithilfe eines Objektmikrometers der Maßstab bei jeder Zoomstufe bestimmt. Dabei wurde das Mittel von mehreren Messungen genommen, damit ein möglicher Ablesefehler minimiert wird. Das Objektmikrometer stammt von der Firma Präzisionsoptik Gera und die feinste Skala beträgt $10\mu\text{m}$. [20] Das Ausmessen der Pixel erfolgt mithilfe von Matlab. Dort kann durch die Funktion „`imtool (Bildmatrix)`“ [21] eine Distanz auf dem Bild in Pixeln gemessen werden. Der Quotient aus realer Länge und der Länge in Pixeln ergibt den Maßstab für eine Kombination aus Objektiv und Kamera.

3.4. Belichtung

Da jede Lichtquelle auch eine thermische Quelle ist, wurde um die thermische Einwirkung beim Belichten zu verhindern, die Ausleuchtung mit LEDs realisiert. Für den ersten Versuch wurde der Versuchsaufbau mit einem 100W LED-Strahler durchgeführt. Dabei hat sich allerdings herausgestellt, dass trotz LEDs die

thermische Belastung auf den Testaufbau zu groß ist und sich die Konstruktion verformt hat. Diese Problematik kann auf zwei Arten gelöst werden. Man könnte das System so lange bestrahlen, bis keine Temperaturschwankungen in der Konstruktion mehr auftreten. Dies hätte zur Folge, dass vor der Messung eine lange Wartezeit benötigt wird. Zudem wäre dieses Herangehen für den geplanten Einsatz an der Beamline nicht praktikabel, da somit wertvolle Messzeit verloren geht. Die zweite Möglichkeit besteht darin die Wärmequelle zu minimieren und vom Aufbau räumlich zu trennen. Dieser Ansatz wurde für das Experiment gewählt. Somit wurde eine einzelne LED genommen, die den Glaskörper von hinten beleuchtet. Dadurch wird weniger Licht benötigt. Zudem wird das Licht durch einen Plexiglasstab geleitet. Durch die größere Entfernung der Lichtquelle erfährt die Probe weniger Wärme. Für die Auswertung wird angenommen, dass das Licht laminar aus dem Stab austritt.

Bei dem Aufbau der Phantom ist schon eine LED mit dabei. Die LED wird passend zu der Belichtung gepulst.

3.5. Körper

Der Probenkörper besteht aus einem Glaskörper, damit der Kontrast zwischen Licht und dem schwarzen Farbpunkt maximiert wird. Der Glaskörper hat eine Größe von 4x4x3mm. Die Oberfläche wurde mit einem Lapppulver angeraut, sodass die Fläche mattiert ist und besser leuchtet. Zudem wird durch das Anrauen der Oberfläche die Haftung der Farbe verbessert. Der kleine Farbpunkt ist schwarz, da dies den höchsten Kontrast bietet.

3.6. Aktor

Um dem Glaskörper eine bestimmte Bewegung für die Untersuchung zu geben, wird er von dem Piezo P-820 der Firma Physik Instrumente [22] bewegt. Der Piezo wird mithilfe eines Frequenzgenerators angeregt. Der Frequenzgenerator der Firma Textronic kann bis zu zwei Frequenzen überlagern und kann unverstärkt eine Spannung von 10 V ausgeben. Als zweiter Aktor wurde noch probiert, einen Lautsprecher, der auch durch den obengenannten Frequenzgenerator erregt wird, zu benutzen. Die Problematik des Lautsprechers besteht in der hohen Masse, die schwingen soll. Dadurch ändert sich die Amplitude bei den verschiedenen Frequenzen deutlich. Für die Versuche wurde deshalb nur der Piezo benutzt.

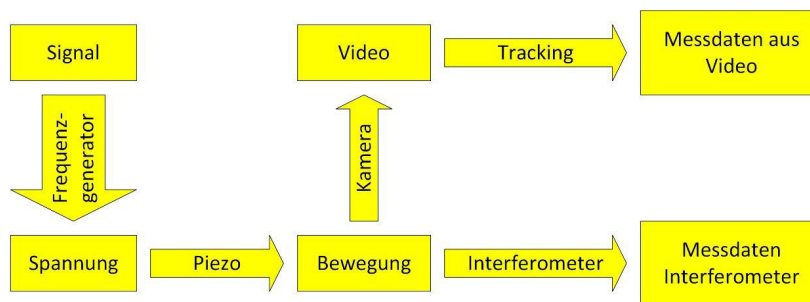


Abbildung 6 - Flussdiagramm Signal

Somit wird das Versuchssignal, wie in dem Flussdiagramm in der Abbildung 6 dargestellt, im Versuchsaufbau weitergeleitet.

3.7. Interferometer

Um die Genauigkeit des Trackings zu messen, wird beim Experiment die Bewegung auch von einem Interferometer gemessen. Das Interferometer braucht einen Spiegel, um die Bewegung aufzunehmen. Das im Experiment verwendete Interferometer ist das FPS3010 von der Firma AttoCube ist ein Fabry-Pérot Interferometer.

Das Interferometer misst mithilfe eines Lasers. Dabei ist es wichtig, dass das Licht eine konstante Wellenlänge besitzt. Das Laserlicht wird durch einen Lichtleiter zu dem Messkopf geleitet. Dort wird ein Teil des Lichts durch einen teildurchlässigen Spiegel zurückgeworfen. Der restliche Lichtstrahl trifft durch eine Linse auf den Spiegel und wird dort reflektiert. Der reflektierte Strahl kommt wieder durch die Linse in den Lichtleiter. Die beiden zurückgeworfenen Lichtstrahlen werden auf den Detektor geleitet. Bei der Überlagerung der beiden Lichtwellen kommt es zu Verstärkung oder Auslöschung der Intensität. Durch die Veränderung der Intensität kann eine Bewegung detektiert werden. Um das Vorzeichen der Bewegungsänderung zu erkennen, wird auch die 1. Ableitung der Intensität gemessen. Durch diese beiden Informationen kann die Veränderung des Spiegels genau gemessen werden. [23]

3.8. Programmbeschreibung

Das Tracking wurde in MATLAB realisiert. Dafür wurde eine GUI geschrieben. Die GUI hat ein Hauptfenster, in dem das zu analysierende Video geöffnet und abgespielt werden kann. Anschließend kann der Bildausschnitt des Videos

ausgewählt werden. Der nächste Schritt ist das Setzen der Track-Parameter. Beim Auswerten hat der Benutzer die Möglichkeit die Berechnung des Track-Algorithmus zu wählen und ob ein Video exportiert wird oder nicht. Zudem kann der Benutzer sich die Einzelbilder des Videos durch den Schieberegler anzeigen lassen.

3.8.1. Öffnen

Mit der Schaltfläche Öffnen wird ein Fenster zur Auswahl des Videos aufgerufen. Das Video wird darauf eingelesen, geöffnet und die ersten Parameter werden ausgelesen. Die Parameter für das Tracken und Zuschneiden werden initialisiert und abgespeichert. Zuletzt werden die Eingabefelder der GUI aktualisiert.

3.8.2. Crop

Durch das Betätigen der Schaltfläche „Crop“, wird eine zweite GUI geöffnet. In der stehen vier Slider zur Verfügung. Mit diesen kann das Video an allen vier Kanten zugeschnitten werden. Ein rotes Viereck auf dem Originalvideo dient dabei bei der Orientierung. Auf der rechten Seite des Fensters wird der Videoausschnitt angezeigt. Die Anzeige beruht dabei auf den im Hauptfenster eingestelltem Frame. Nach dem Zuschneiden, wird die Einstellung durch das Schließen des Fensters oder das Klicken auf „save“ gespeichert und das Fenster schließt sich.

3.8.3. Track

Wie bei Crop wird auch bei Track eine eigene GUI geöffnet. In dieser kann man über die vier Regler unten einen Bereich eingrenzen. Auch dieses wird durch ein rotes Rechteck angezeigt. Auf der rechten Seite des Fensters kann man die Parameter für das Tracken einstellen. Hierbei wird durch die beiden Regler der jeweiligen Farbe oder Graustufe der Bereich, der betrachtet werden soll, eingestellt. Welche Pixel betrachtet werden, wird im rechten Bild durch die weiße Farbe angezeigt. Der letzte Regler „Size Treshold“ erlaubt es dem Anwender kleine Objekte zu filtern. Dabei werden alle Objekte, die kleiner als den Prozentsatz des Reglers von der größten Fläche sind, ausgeblendet.

3.8.4. Auswertung

Bei der Auswertung stehen zwei Optionen zur Verfügung. Die erste Option entscheidet darüber, ob der Helligkeitswert der Pixel bei der Auswertung eine Rolle spielen soll oder nicht. Hierbei wird der Helligkeitswert aller Pixel, die

getrackt werden, mit ihrer Zeile multipliziert und durch die Summe der Helligkeitswerte aller Pixel geteilt. Das Gleiche wird mit ihrer Reihe gemacht, sodass das gewichtete Zentrum des Objekts bestimmt wird. Wenn die Option nicht gewählt wird, wird der Mittelwert aller zu trackenden Pixel bestimmt. Mithilfe der zweiten Option kann der Benutzer ein Video erstellen, in dem alle getrackten Pixel rot eingefärbt sind und der gerundete Mittelpunkt als gelbes Kreuz ausgegeben wird.

3.8.5. Parameter

In dem Parametermenü, können alle getätigten Einstellungen gespeichert und geladen werden. Dabei hat der Benutzer die Möglichkeit den Namen der Parameterdatei selbst zu wählen. Durch das Bestätigen des Speichervorganges wird die Datei in dem Ordner save gespeichert.

3.8.6. Code

In MATLAB wurden zwei Versionen programmiert. Einmal die oben beschriebene Version mit der GUI und eine Version, die die Auswertung mehrerer Videos in einer Schleife durchführt. Der Algorithmus wird exemplarisch anhand der zweiten Version erklärt.

Zuerst wird mithilfe der Funktion „`uigetfile`“ [24] die Parameterdatei geöffnet und die Parameter eingelesen.

```
%% Auswerten ohne GUI
clear zwischenspeicher
%% Parameterdatei einlesen
    [FileName,PathName,~] = uigetfile;
    laden=load(fullfile(PathName,FileName));
    crop_matrix=laden.speichern.crop_matrix;
    BW_matrix=laden.speichern.BW_matrix;
    roi_matrix=laden.speichern.roi_matrix;
    Auswertenmatrix=laden.speichern.Auswertenmatrix;
```

Der nächste Schritt ist das Auswählen des Dateipfades, in dem sich die Videos für die Auswertung befinden.

```
%% Videoordner auswählen
Videoordner=uigetdir;
listOfVideos=dir(fullfile(Videoordner,'*.avi'));
```

Da bei den Videos jeder Versuch fünfmal aufgenommen wurde, läuft der nächste Code über zwei Schleifen.

```

%% Videos auswerten
for i= 1: ceil(length(listOfVideos)/5)
    for j=0:4
        Video=listOfVideos(i*5-4+j).name;
        VideoMitPfad=fullfile(Videoordner,Video);

```

Hier wird die Videodatei vorbereitet und die Parameter Framerate und Anzahl der Bilder ausgelesen.

```

% Video öffnen
video_datei=VideoReader(VideoMitPfad);
maxFrame=video_datei.NumberOfFrames;
FrameRate=video_datei.FrameRate;

```

Vor dem eigentlichen Auswerten werden die Parameter initialisiert.

```

%Zwischenspeicher initialisieren
zwischenpeicher(1:maxFrame)=struct();
zwischenpeicher(1).pic_orig=[];
zwischenpeicher(1).pic_ohneextrem=[];
zwischenpeicher(1).pic_crop = [];
zwischenpeicher(1).pic_roi= [];
zwischenpeicher(1).pic_bw=[];
zwischenpeicher(1).measurements=[];
zwischenpeicher(1).nodata=[];
zwischenpeicher(1).areas = [];
zwischenpeicher(1).maxArea=[];
zwischenpeicher(1).largestBlobIndex= [];
zwischenpeicher(1).nodata=[];
zwischenpeicher(1).center=[];
zwischenpeicher(1).center2=[];

```

Nun kann das Video eingelesen werden und eine Binäre Maske erstellt werden.

```

%% Video einlesen

for Frame= 1:maxFrame

zwischenpeicher(Frame).pic_orig=read(video_datei,Frame);
%Einlesen der Originaldatei

```

Beim Verarbeiten der Bilder werden zuerst die Maximalwerte entfernt. Dies ist nötig, da es sonst beim Erstellen der Binären Maske zu Fehlermeldungen kommt. Die Funktion „Bild_ohne_extremwerte“ ist im Anhang 24 aufgeführt. Damit der Arbeitsspeicher nicht überfüllt wird, werden nicht gebrauchte Variablen wieder gelöscht. Das Zuschneiden des Bildes wird mithilfe der MATLAB Funktion „imcrop“^[25] realisiert.

```

zwischenpeicher(Frame).pic_ohneextrem=Bild_ohne_extremwerte(zwischenpeicher(Frame).pic_orig); %Extremwerte entfernen

```

```

        zwischenspeicher(Frame).pic_orig=nan;
%Zwischenspeicher klein halten
        zwischenspeicher(Frame).pic_crop =
imcrop(zwischenspeicher(Frame).pic_ohneextrem,crop_matrix); %Bild
zuschneiden
        zwischenspeicher(Frame).pic_ohneextrem=nan;
%Zwischenspeicher klein halten

```

Das Tracken erfolgt in zwei Schritten. Zuerst kann wie beim Zuschneiden ein äußerer Rahmen in der Binären Maske zu Null gesetzt werden. Die Funktion dafür ist im Anhang 25 abgedruckt. Die Binären Maske wird dann durch die Funktion „do_bw“ (Anhang 26) erstellt. Dabei wird die Maske durch die Grenzwerte der einzelnen Farben zusammengesetzt. Da es sowohl einen oberen als auch einen unteren Grenzwert gibt, kann ein Helligkeitsbereich ausgewählt werden. Damit die Maske keine Löcher hat, werden mögliche Löcher mit der MATLAB Funktion „bwfill“ aufgefüllt.[26] Zuletzt wird durch die MATLAB Funktion „bwareafilt“ nur die größte Fläche der Maske behalten. [27]

```

        zwischenspeicher(Frame).pic_roi=
do_roi(zwischenspeicher(Frame).pic_crop,roi_matrix); % Ränder vom
Filter ausschließen
        zwischenspeicher(Frame).pic_bw=bwareafilt(do_bw(zwischenspeicher(Fr
ame).pic_roi,BW_matrix,roi_matrix),1); % Maske berechnen und auf
das Größte minimieren, 1
        zwischenspeicher(Frame).pic_roi=nan; %Zwischenspeicher
klein halten
    end
    %%Video einlesen fertig

```

Der Mittelpunkt wird über die Formel des Massenschwerpunktes berechnet. Dabei kann der jeweilige Helligkeitswert des Bildes mitberücksichtigt werden oder nicht.

```

    %% Mittelpunkt berechnen
    for Frame = 1:maxFrame % for Frames
%        if Auswertenmatrix(2)==0; %Multiplizieren mit Eigenwert
            [r,c]=find(zwischenspeicher(Frame).pic_bw==1);
            zwischenspeicher(Frame).center=[mean(c),mean(r)];
%        else % Multiplizieren mit 1
%
        zwischenspeicher(Frame).center=Mittelwert_Graustufe(imcomplement(z
wischenspeicher(Frame).pic_crop(:, :,1)).*uint8(zwischenspeicher(Fr
ame).pic_bw));
%        end
    end % END for Frames

```

Zuletzt werden die Messdaten noch in einer Struktur abgespeichert.

```

    for Frame = 1:maxFrame

```

```

Gesamt(i).Phantom(j+1).center_Phantom(:,Frame)=zwischenpeicher(Frame).center;

        end
        Gesamt(i).Phantom(j+1).Dateiname=Video;
clear zwischenpeicher
fprintf('%d von %d fertig! \n',i*5-4+j,length(listOfVideos))
toc
    end
end

```

3.9. Fast Fourier-Transformation

Die FFT zerlegt eine Schwingung in ihre Frequenzen mit den dazugehörigen Amplituden. Dabei ist die FFT ein Algorithmus, der die diskrete Fourier-Transformation effizienter berechnen kann. [28]

4. Untersuchung

Um die Messgenauigkeit des Trackalgorithmus bestimmen zu können, werden 20 verschiedene Messungen durchgeführt. Dabei werden von jedem Messpunkt 5 Videos aufgenommen. Für die Referenz wird bei jedem Messpunkt die Bewegung mit dem Interferometer gemessen. Zudem wird das Signal des Frequenzgenerators mit einem Oszilloskop aufgenommen. Die 20 Messpunkte sollen folgende Schwerpunkte untersuchen.

Die erste Messung ist die Referenzmessung, bei der keine Spannung an dem Piezo angelegt ist. Bei dieser Messung soll das Grundrauschen des Verfahrens bestimmt werden.

Bei den nächsten 4 Messungen wird die Spannung von 10V bis 0,1V variiert, womit die Amplitude beeinflusst wird. Hierbei wird versucht, die minimale messbare Amplitude im Verhältnis zum Maßstab m pro Pixel zu finden.

Der nächste Messblock dient zur Untersuchung, welche Frequenzen detektiert werden können und wie genau dabei die Amplitude gemessen wird. Dabei werden die Frequenzen im Frequenzgenerator von 2 bis 3500 Hz variiert.

Die vierte Messreihe soll das noch detektierbare Verhältnis der möglichen Amplitudendifferenzen zweier Frequenzen zeigen. Hierbei soll das Verhältnis der zwei Amplituden 1 bis 0,1 betragen.

Zuletzt soll noch untersucht werden, wie eng die Frequenzen aneinander sein können, um noch detektiert zu werden, dabei beträgt der Abstand der zwei Frequenzen 50 bis 1 Hz.

Die Übersicht der Parameter ist in der Tabelle 2 aufgelistet. Die FPS-Zahl und die Frames sind für die Manta Kamera. Bei der Phantom werden 7000 Bild in einer Sekunde aufgenommen.

Nr	Frequenz1	Amplitude1	Frequenz2	Amplitude2	FPS	Frames	Vergrößerung	Bemerkung
01	0000Hz	00,0V	000Hz	000%	300	300	250x	
02	0100Hz	10,0V	000Hz	000%	300	300	250x	
03	0100Hz	05,0V	000Hz	000%	300	300	250x	
04	0100Hz	01,0V	000Hz	000%	300	300	250x	
05	0100Hz	00,1V	000Hz	000%	300	300	250x	
06	0100Hz	10,0V	040Hz	100%	300	300	250x	
07	0100Hz	10,0V	040Hz	050%	300	300	250x	
08	0100Hz	10,0V	040Hz	010%	300	300	250x	
09	1000Hz	10,0V	000Hz	000%	300	300	250x	
10	2000Hz	10,0V	000Hz	000%	300	300	250x	
11	3000Hz	10,0V	000Hz	000%	300	300	250x	
12	3500Hz	10,0V	000Hz	000%	300	300	250x	
13	0100Hz	10,0V	060Hz	100%	300	300	250x	
14	0100Hz	10,0V	080Hz	100%	300	300	250x	
15	0100Hz	10,0V	090Hz	100%	300	300	250x	
16	0100Hz	10,0V	095Hz	100%	300	300	250x	
17	0100Hz	10,0V	099Hz	100%	300	300	250x	
18	0050Hz	10,0V	000Hz	000%	300	300	250x	
19	0010Hz	10,0V	000Hz	000%	300	300	250x	
20	0002Hz	10,0V	000Hz	000%	300	300	250x	

Tabelle 2 - Versuche mit Parametern

5. Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Messungen ausgewertet und diskutiert. Dabei werden für eine bessere Übersicht die Amplitudenwerte des Interferometers mit den Werten der beiden Kameras verglichen.

5.1. Referenzmessung - Grundrauschen

In der FFT des ersten Versuchs (Anhang 1) ist zu sehen, dass das in den fünf Aufnahmen ohne Erregung die Phantom Amplituden von bis zu $1,25 \cdot 10^{-7}m$ misst.

Um eine Aussage für die Mata zu machen, wird ein kleinerer Ausschnitt der FFT (Anhang 2) betrachtet. Hier erkennt man, dass die Manta-Kamera noch Frequenzen mit Amplituden von bis zu $6,3 \cdot 10^{-8}m$ anzeigt.

Das Interferometer zum Vergleich hat als größte Amplitude $7,5 * 10^{-10}$ m. Und ist damit um 2 Größenordnungen besser als die Daten aus den Kameras.

Kamera	Größte Amplitude	m/Pixel	Rauschen [Pixel]
Phantom	$1,25 * 10^{-7}$ m	$2,15 * 10^{-6}$ m	0,0581
Manta	$6,3 * 10^{-8}$ m	$1,05 * 10^{-6}$ m	0,060

Tabelle 3 -Übersicht Rauschen

Wie in der Tabelle 3 zu erkennen, haben beide Kameras ein ähnliches Rauschverhalten. Aufgrund der kleineren Vergrößerung bei der Phantom sind die Amplituden viel größer. Allerdings haben die Kameras im Vergleich zu dem Interferometer ein deutlich stärkeres Rauschen. Dieses Rauschen ist auch im Anhang 3 sehr gut zu erkennen, während das Interferometer ohne Ausschläge bei einer Auslenkung von 0 liegt, sind die Auslenkungen der beiden Kameras doch deutlich am schwanken. Und die Messdaten weichen weiter von Null ab als die detektierten Amplituden.

5.2. Amplitudenvariation

Die folgenden Tabellen wurden mithilfe von Matlab aus den Messdaten berechnet. Bei der Untersuchung mit verschiedenen Amplituden hat sich herausgestellt, dass sich der Algorithmus nur bedingt für die Amplitudenmessung eignet.

In der Tabelle 4 ist zu erkennen, dass der mittlere Fehler der Phantom bis zu $1 * 10^{-7}$ m liegt. Dies entspricht der Größenordnung des Rauschens und ist damit mit dem Ergebnis aus Versuch 1 übereinstimmend.

Nr.	Interferometer Amplitude	Phantom Amplitude			Absoluter Fehler Phantom		
		min.	mittel	max.	min.	mittel	max.
02	$9,98 * 10^{-7}$ m	$9,36 * 10^{-7}$ m	$9,71 * 10^{-7}$ m	$10,2 * 10^{-7}$ m	$1,76 * 10^{-8}$ m	$4,22 * 10^{-8}$ m	$6,16 * 10^{-8}$ m
03	$4,61 * 10^{-7}$ m	$3,53 * 10^{-7}$ m	$4,07 * 10^{-7}$ m	$4,75 * 10^{-7}$ m	$1,46 * 10^{-8}$ m	$5,98 * 10^{-8}$ m	$1,08 * 10^{-7}$ m
04	$7,63 * 10^{-8}$ m	$6,48 * 10^{-8}$ m	$8,04 * 10^{-8}$ m	$1,08 * 10^{-7}$ m	$1,66 * 10^{-9}$ m	$1,18 * 10^{-8}$ m	$3,21 * 10^{-8}$ m
05	$7,21 * 10^{-9}$ m	$6,23 * 10^{-9}$ m	$1,06 * 10^{-8}$ m	$1,35 * 10^{-8}$ m	$9,76 * 10^{-10}$ m	$3,80 * 10^{-9}$ m	$6,31 * 10^{-9}$ m

Tabelle 4 - Amplitude Phantom Amplitudenvarianz

Diese Übereinstimmung zeigt sich auch bei der Manta in Tabelle 5. Dort beträgt der Fehler der Versuche 2 und 3 maximal $1,10 * 10^{-7}$ m. Diese Abweichung zum

Interferometer ist ein wenig schlechter als im Versuch 1, aber die Größenordnung wurde bestätigt.

Nr.	Interferometer	Manta Amplitude			Absoluter Fehler Manta		
	Amplitude	min.	mittel	max.	min.	mittel	max.
02	9,98 * 10 ⁻⁷ m	8,88 * 10 ⁻⁷ m	8,94 * 10 ⁻⁷ m	8,98 * 10 ⁻⁷ m	9,91 * 10 ⁻⁸ m	1,03 * 10 ⁻⁷ m	1,10 * 10 ⁻⁷ m
03	4,61 * 10 ⁻⁷ m	3,95 * 10 ⁻⁷ m	4,13 * 10 ⁻⁷ m	4,39 * 10 ⁻⁷ m	2,20 * 10 ⁻⁸ m	4,72 * 10 ⁻⁸ m	6,50 * 10 ⁻⁸ m
04	7,63 * 10 ⁻⁸ m	8,04 * 10 ⁻⁸ m	8,22 * 10 ⁻⁸ m	8,76 * 10 ⁻⁷ m	4,08 * 10 ⁻⁹ m	5,82 * 10 ⁻⁹ m	1,12 * 10 ⁻⁸ m
05	7,21 * 10 ⁻⁹ m	7,73 * 10 ⁻⁹ m	8,82 * 10 ⁻⁹ m	1,13 * 10 ⁻⁸ m	5,22 * 10 ⁻¹⁰ m	1,61 * 10 ⁻⁹ m	4,10 * 10 ⁻⁹ m

Tabelle 5 - Amplitude Manta Amplitudenvarianz

Eine Ursache für die Differenz bei der Amplitude der Manta Kamera könnte an der geringen Abtastrate liegen. Da bei 100 Hz mit 300 FPS nur 3 Messpunkte für eine Schwingung vorhanden sind. Im Anhang 4 sind die Messdaten der ersten 0,1 Sekunden zu sehen. Und es ist dort zu erkennen, dass die Abtastrate für die Schwingung sehr gering ist. Zudem lässt sich in dem Diagramm erkennen, dass bei den Daten aus der Phantom eine Störung ab Sekunde 0,04 auftrat. Dies könnte dem nicht sehr stabilen Aufbau der Kamera geschuldet sein.

Wie in Tabelle 6 zu lesen, sind die relativen Fehler nur bei den Versuchen 2 und 3 im Schnitt bei der Phantom unter 13 % und bei der Manta unter 11%. Bei den Versuchen 4 steigt der Fehler im Mittel auf über 15% bei der Phantom. Die Manta hat bei diesem Versuch eine maximale Abweichung von 14,7%. Im fünften Versuch ist zu erkennen, dass der Algorithmus die Schwingung nicht mehr ordentlich wiedergeben kann und der Fehler auf bis zu 87,6 % ansteigt.

Nr.	Interferometer	Phantom relativer Fehler			Manta relativer Fehler		
	Amplitude	min.	mittel	max.	min.	mittel	max.
02	9,98 * 10 ⁻⁷ m	1,76%	4,22%	6,17%	9,93%	10,4%	11,0%
03	4,61 * 10 ⁻⁷ m	3,17%	13,0%	23,4%	4,77%	10,2%	14,1%
04	7,63 * 10 ⁻⁸ m	2,18%	15,5%	42,1%	5,35%	7,63%	14,7%

05	7,21 * 10 ⁻⁹ m	13,5%	52,8%	87,6%	7,25%	22,3%	56,8%
----	------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabelle 6 – Relative Fehler Amplitudenvarianz

Wenn man sich die FFT des Versuches 4 (Anhang 5) anschaut, kann man aus allen Messdaten die Frequenz von 100Hz deutlich erkennen. Dagegen ist das Erkennen der Frequenz im 5. Versuch (Anhang 6) nur noch bei dem Interferometer möglich. Zur besseren Erkennbarkeit wurden von der Phantom nur die mittleren Amplituden ohne den Fehler angezeigt.

Abschließend lässt sich aus dieser Versuchsreihe deuten, dass der Algorithmus zur genauen Messung einer Bewegung nur bedingt eingesetzt werden kann. Der Fehler, der bei diesen beiden Kameras gegenüber dem Interferometer bestimmt wurde, liegt in der Größenordnung 10% der Kantenlänge eines Pixels. Je nach Objektiv kann dadurch verschieden genau gemessen werden. Der Algorithmus kann jedoch für die Frequenzanalyse benutzt werden, weil Frequenzen mit einer Amplitude von mindestens 4% der Pixelkante noch einen deutlichen Ausschlag in der FFT besitzen.

Ob dies auch zutrifft, wenn sich das Verhältnis von Frequenz zu Abtastrate ändert, wird in dem nächsten Punkt erörtert.

5.3. Frequenzvarianz

Bei den Messdaten zu der Versuchsgruppe der Frequenzvarianz kam es zu einigen Unstimmigkeiten und Fehlern. So war die Abtastrate des Interferometers nicht richtig gewählt worden, sodass es beim Versuch 12 keinen Referenzwert gibt. Zudem muss bei dem Versuch 10 der Frequenzgenerator bei der Messung mit der Phantom keine Spannung ausgegeben haben, da dort wie in Tabelle 7 zu sehen, keine nennenswerte Amplitude gemessen wurde.

Nr.	Interferometer	Phantom Amplitude			Absoluter Fehler Phantom		
	Amplitude	min.	mittel	max.	min.	mittel	max.
02	9,98 * 10 ⁻⁷ m	9,36 * 10 ⁻⁷ m	9,71 * 10 ⁻⁷ m	10,2 * 10 ⁻⁷ m	1,76 * 10 ⁻⁸ m	4,22 * 10 ⁻⁸ m	6,16 * 10 ⁻⁸ m
09	9,07 * 10 ⁻⁷ m	8,00 * 10 ⁻⁷ m	8,31 * 10 ⁻⁷ m	8,98 * 10 ⁻⁷ m	8,68 * 10 ⁻⁹ m	7,58 * 10 ⁻⁸ m	1,07 * 10 ⁻⁷ m
10	7,19 * 10 ⁻⁷ m	2,99 * 10 ⁻¹⁰ m	1,05 * 10 ⁻⁹ m	1,91 * 10 ⁻⁹ m	7,14 * 10 ⁻⁷ m	7,18 * 10 ⁻⁷ m	7,19 * 10 ⁻⁷ m

11	5,05 * 10 ⁻⁷ m	7,24 * 10 ⁻⁷ m	7,42 * 10 ⁻⁷ m	7,57 * 10 ⁻⁷ m	2,19 * 10 ⁻⁷ m	2,37 * 10 ⁻⁷ m	2,52 * 10 ⁻⁷ m
12		2,67 * 10 ⁻⁷ m	4,42 * 10 ⁻⁷ m	5,04 * 10 ⁻⁷ m	2,67 * 10 ⁻⁷ m	4,42 * 10 ⁻⁷ m	5,04 * 10 ⁻⁷ m
18	10,1 * 10 ⁻⁷ m	10,2 * 10 ⁻⁷ m	10,4 * 10 ⁻⁷ m	10,7 * 10 ⁻⁷ m	1,27 * 10 ⁻⁸ m	3,53 * 10 ⁻⁸ m	6,25 * 10 ⁻⁸ m
19	10,3 * 10 ⁻⁷ m	9,82 * 10 ⁻⁷ m	10,5 * 10 ⁻⁷ m	10,9 * 10 ⁻⁷ m	6,56 * 10 ⁻⁹ m	4,16 * 10 ⁻⁸ m	6,60 * 10 ⁻⁸ m
20	10,4 * 10 ⁻⁷ m	10,9 * 10 ⁻⁷ m	11,1 * 10 ⁻⁷ m	11,3 * 10 ⁻⁷ m	4,57 * 10 ⁻⁸ m	6,28 * 10 ⁻⁸ m	8,10 * 10 ⁻⁸ m

Tabelle 7 - Amplitude Phantom Frequenzvarianz

Wie zu erwarten, können bei der Manta nur Frequenzen bis 150 Hz detektiert werden. Jedoch ist in der Tabelle 8 zu erkennen, dass bei der Manta der Fehler bei den kleinen Frequenzen (Versuch 18-20) geringer als bei 100 Hz (Versuch 2) ausfällt. Diese Verbesserung der Messgenauigkeit liegt an dem besseren Verhältnis von Frequenz zur FPS-Zahl.

Nr.	Interferometer	Manta Amplitude			Absoluter Fehler Manta		
	Amplitude	min.	mittel	max.	min.	mittel	max.
02	9,98 * 10 ⁻⁷ m	8,88 * 10 ⁻⁷ m	8,94 * 10 ⁻⁷ m	8,98 * 10 ⁻⁷ m	9,91 * 10 ⁻⁸ m	1,03 * 10 ⁻⁷ m	1,10 * 10 ⁻⁷ m
09	9,07 * 10 ⁻⁷ m						
10	7,19 * 10 ⁻⁷ m						
11	5,05 * 10 ⁻⁷ m						
12							
18	10,1 * 10 ⁻⁷ m	9,63 * 10 ⁻⁷ m	9,73 * 10 ⁻⁷ m	9,81 * 10 ⁻⁷ m	2,55 * 10 ⁻⁸ m	3,37 * 10 ⁻⁸ m	4,37 * 10 ⁻⁸ m
19	10,3 * 10 ⁻⁷ m	10,1 * 10 ⁻⁷ m	10,1 * 10 ⁻⁷ m	10,2 * 10 ⁻⁷ m	1,03 * 10 ⁻⁸ m	1,34 * 10 ⁻⁸ m	1,62 * 10 ⁻⁸ m
20	10,4 * 10 ⁻⁷ m	10,2 * 10 ⁻⁷ m	10,1 * 10 ⁻⁷ m	10,8 * 10 ⁻⁷ m	3,55 * 10 ⁻⁹ m	1,99 * 10 ⁻⁸ m	3,93 * 10 ⁻⁸ m

Tabelle 8 - Amplitude Manta Frequenzvarianz

In der Abbildung 7 ist zu erkennen, dass der relative Fehler ab 30 Messpunkten unter 2 % fällt. Um für den Bereich zwischen 6 und 30 Messpunkte pro Schwingung genaue Aussagen zu treffen, müssten neue Versuche gemacht werden.

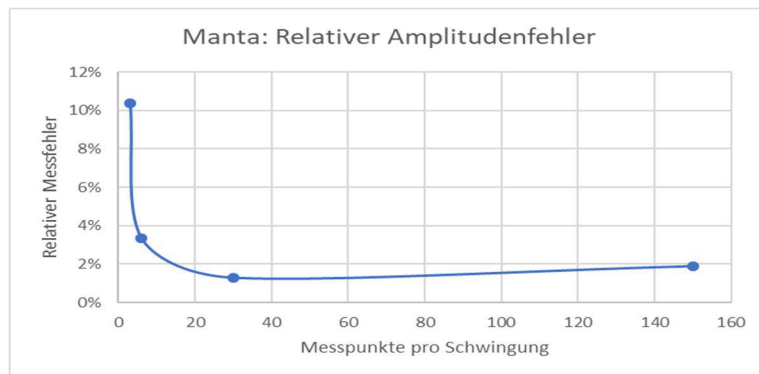


Abbildung 7 - Manta: Relativer Amplitudenfehler

Bei der Phantom zeigt sich ein ähnliches Bild. Hier fällt der mittlere relative Fehler ab 70 Messpunkten pro Schwingung (Versuch 02 Tabelle 9) unter 4,3%. Der doppelt so große Fehler ist der geringeren Vergrößerung geschuldet und damit mit der Manta auf einem gleichen Niveau. Jedoch steigt der Fehler bei Versuch 20 wieder auf 6% an. Der Grund für diesen Anstieg könnte an der Ungenauigkeit des Videomaterials liegen. So könnte sich der Tracker aus dem Schärfbereich der Kamera bewegt haben oder der Aufbau wurde durch einen anderen Impuls zum Schwingen angeregt. Diese Annahme wird durch den Anhang 14 und Anhang 15 bestärkt. Bei der Schwingung aus Versuch 19 ist zu erkennen, dass das gemessene Signal der Phantom wenig rauscht. Im Gegensatz dazu ist bei Versuch 20 eine deutliche Oberschwingung und Rauschen zu erkennen.

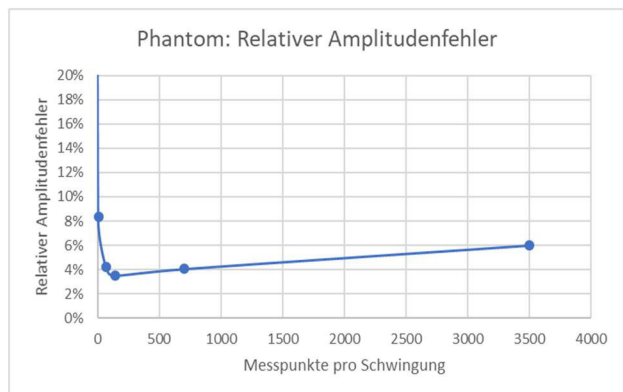


Abbildung 8 - Phantom: Relativer Amplitudenfehler

Nr.	Interferometer Amplitude	Phantom relativer Fehler			Manta relativer Fehler		
		min.	mittel	max.	min.	mittel	max.
02	9,98 * 10 ⁻⁷ m	1,76%	4,22%	6,17%	9,93%	10,4%	11,0%
09	9,07 * 10 ⁻⁷ m	0,95%	8,35%	11,76%	4,77%	10,2%	14,1%
10	7,19 * 10 ⁻⁷ m	99,7%	99,9%	100%	5,35%	7,63%	14,7%
11	5,05 * 10 ⁻⁷ m	43,4%	46,8%	49,8%			
12							
18	10,1 * 10 ⁻⁷ m	1,26%	3,51%	6,21%	2,53%	3,35%	4,34%
19	10,3 * 10 ⁻⁷ m	0,63%	4,06%	6,43%	1,00%	1,31%	1,58%
20	10,4 * 10 ⁻⁷ m	4,38%	6,01%	7,76%	0,34%	1,90%	3,76%

Tabelle 9 – Relative Fehler Frequenzvarianz

Aus dieser Versuchsreihe lässt sich abschließend sagen, dass die Genauigkeit der Amplitude durch eine Erhöhung der Abtastrate/FPS verbessert werden kann. Um Aussagen über einen genauen Mindestwert machen zu können, müssten weitere Versuche durchgeführt werden.

5.4. Zwei Frequenzen mit unterschiedlichen Amplituden

Beim Auswerten von dieser Versuchsreihe, ist der Fehler aufgefallen, dass die zweite im Frequenzgenerator eingegebene Frequenz die Abweichung zu der ersten Frequenz ist und nicht, wie angenommen, eine zweite Frequenz. So hat der Frequenzgenerator die Frequenzen 60Hz, 100Hz und 140Hz an den Piezo gegeben. Auch bei der Amplitude entspricht 100% ungefähr dem halben Amplitudenwert der ersten Frequenz.

Die Ergebnisse spiegeln für die Manta die bisherigen Erkenntnisse wieder. So ist der relative Fehler bei 100 Hz in der Tabelle 11 ähnlich mit der Abweichung aus Versuch 2. Zudem wird bei 60 Hz die Amplitude genauer gemessen als bei 140 Hz. Allerdings schneidet die Phantom in dieser Versuchsreihe bei 100 Hz (Tabelle 10) schlechter ab.

Versuch	Frequenz [Hz]	Amplitude Interferometer [10^{-7} m]	Mittlerer relativer Fehler	Maximaler relativer Fehler
6	60	2,32	11,9 %	15,4 %
6	100	4,29	17,1 %	20,9 %
6	140	2,19	11,1 %	13,6 %
7	60	1,15	11,2 %	22,5 %
7	100	4,23	14,5 %	29,1 %
7	140	1,08	10,4 %	22,5 %
8	60	0,22	16,4 %	31,1 %
8	100	4,20	23,6 %	33,5 %
8	140	0,20	11,4 %	22,6 %

Tabelle 10 - Phantom zwei Frequenzen relativer Fehler

Versuch	Frequenz [Hz]	Amplitude Interferometer [10^{-7} m]	Mittlerer relativer Fehler	Maximaler relativer Fehler
6	60	2,32	5,62 %	7,30%
6	100	4,29	9,87 %	11,15 %
6	140	2,19	21,5 %	24,41 %
7	60	1,15	12,87 %	17,01 %
7	100	4,23	10,98 %	12,04 %
7	140	1,08	29,21 %	34,08 %
8	60	0,22	13,58 %	26,17 %
8	100	4,20	11,83 %	13,23 %
8	140	0,20	19,70 %	32,66 %

Tabelle 11 - Manta zwei Frequenzen relativer Fehler

Beim Betrachten der FFT von den drei Versuchen (Anhang 16, Anhang 17 und Anhang 18) sind die Peaks der Frequenzen 60Hz, 100 Hz und 140 Hz zu erkennen. Allerdings sind die 60 Hz und 140 Hz Peaks bei Versuch 8 nicht mehr von den Rauschpeaks zu unterscheiden. Dieses ist auch mit den Ergebnissen aus Kapitel 5.2 übereinstimmend und bestätigt, dass Amplituden bis $1 * 10^{-7}$ m als Frequenz deutlich detektiert werden können.

Wie erwartet können aus den Messdaten, die aus dem Video gewonnen werden, auch mehrere Frequenzen erkannt werden.

5.5. Zwei Frequenzen mit variierendem Abstand

Dieser Versuchsteil hat durch den identischen Bedienungsfehlers des Frequenzgenerators wie in Kapitel 5.4 nicht das gewollten Versuchsziel gebracht. Aber wie im vorherigen Kapitel werden auch hier die eingestellten Frequenzen

deutlich erkannt. Bei der FFT vom Versuch 13 (Anhang 19) ist zu erkennen, dass die Phantom die eingestellten Frequenzen anzeigt, allerdings zeigt die Manta auch einen Peak bei 140 Hz. Bei Anhang 20 ist dieser Peak bei 120 Hz, bei Anhang 21 bei 110Hz, bei Anhang 22 bei 105Hz und bei Anhang 23 bei 101Hz. Da die Manta aufgrund ihrer geringen Framerate die hohen Frequenzen nicht abbilden kann, entstehen die oben genannten Peaks.

Die Auflösung der Frequenzen ist der Quotient von Framerate und Anzahl der Gesamtbilder. Da dies durch die Parameter eingestellt werden kann, kann der Nutzer hierbei selbst entscheiden, wie genau er auflösen möchte. Für eine grobe Einteilung mit einer Auflösung von 5 Hz reicht ein Video mit der Länge von 0,2 Sekunden.

5.6. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Versuchsreihe hat gezeigt, dass mithilfe einer Kamera Bewegungen aufgenommen werden können. Allerdings besitzt das mit diesem Algorithmus gemessene Signal ein hohes Rauschen von 10% eines Pixels. Allerdings hat sich dieses Verfahren als geeignet herausgestellt, wenn die Frequenzen einer Schwingung gemessen werden sollen. Dabei wird bei mehreren Frequenzen das Verhältnis der verschiedenen Frequenzen logisch wiedergegeben. Ein Grund für die Schwankungen bei den Messdaten könnte das Rauschen des Sensors sein. Hier wären Versuche mit neuen Kamerasensoren denkbar.

6. Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse der Versuche zeigen, dass die Positionsmessung mit einer Kamera möglich ist. Jedoch schöpft der Algorithmus noch nicht alle Möglichkeiten des Videomaterials aus. Durch die große Anzahl an Informationen kann beispielsweise noch die Verdrehung des Objekts bestimmt werden. Auch könnte die Verwendung des in der Einleitung beschriebenen Verstärkungsalgorithmus zu einer Verbesserung der Messdaten führen. Da die Bewegung durch den Algorithmus verstärkt wird, könnte die Amplitude genauer erfasst werden. Durch die Nutzung der Vergrößerung müsste ein weiterer Maßstab für die Messdaten bestimmt werden. Die Vergrößerung kann allerdings auch das Rauschen des Messsignals verschlechtern. Zudem müsste erforscht werden, wie konstant die Verstärkung funktioniert. Ein weiterer Punkt, der noch nicht im Algorithmus implementiert ist, ist die Betrachtung der Größe des gefilmten Objektes. Eine Veränderung der Größe bei der Bewegung würde auf eine Bewegung in Blickrichtung deuten. Auch wäre die Bestimmung des Maßstabs mit der Größe des Objektes möglich. Die

große Problematik bei Messungen von Bewegungen ist, dass nur eine relative Bewegung des Objekts zu dem Messgerät bestimmt werden kann. Eine instabile Positionierung des Messgeräts kann die Messdaten stark verfälschen. Für den Einsatz dieser Messmethode an der Synchrotronbeamline ist der Algorithmus noch nicht genau genug, da in den Versuchen nur eine Auflösung von $1 * 10^{-7} \text{m}$ erreicht wurde. Die Größenordnung des Messsignals könnte bei der Manta durch die optische Vergrößerung noch um den Faktor 4 verbessert werden. Allerdings ist das Signal für die Benutzung an der Beamline durch das hohe Rauschen noch nicht verlässlich genug. Bei der Erkennung der Frequenzen hat sich die Messmethode allerdings als sehr wirksam gezeigt. Mithilfe einer Kamera können die verschiedenen Frequenzen eines Aufbaus ermittelt werden, sodass daraufhin die kritischen Elemente beispielsweise mit einem Interferometer genauer bestimmt werden könnten.

D. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Schnitt durch einen Sensor [2]	2
Abbildung 2 - Bayer-Matrix mit Pixel	3
Abbildung 3 - Rolling shutter	5
Abbildung 4 - Skizze Sammellinse [11]	6
Abbildung 5 - Versuchsaufbau	8
Abbildung 6 - Flussdiagramm Signal	12
Abbildung 7 - Manta: Relativer Amplitudenfehler	23
Abbildung 8 - Phantom: Relativer Amplitudenfehler	23

E. Literaturverzeichnis

[1] Wu, Hao-Yu; Rubinstein, Michael; Shih, Eugene; Guttag, John; Durand, Fredo; Freeman, William, Eulerian Video Magnification for Revealing Subtle Changes in the World

URL: <http://people.csail.mit.edu/mrub/papers/vidmag.pdf> (Stand: 27.11.2017).

[2] Wilfried Bittner, www.digitalkamer.de Foveon Sensor Kommt jetzt der Durchbruch?

URL:

https://www.digitalkamera.de/Meldung/Kommt_jetzt_der_Durchbruch/3996.aspx (Stand: 27.11.2017).

[3] Wikipedia, Bayer-Sensor --- Wikipedia, Die freie Enzyklopädie

URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Bayer-Sensor&oldid=163544635> (Stand: 27.11.2017).

[4] Seite „Smear“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 11. Dezember 2016, 23:33 UTC.

URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Smear&oldid=160555902> (Abgerufen : 28. November 2017, 10:14 UTC)

[5] Seite „CCD-Sensor“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 19. Juli 2017, 21:38 UTC. URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=CCD-Sensor&oldid=167414365> (Abgerufen: 29. November 2017, 10:44 UTC)

[6] MOSFET auf www.itwissen.info

URL: <http://www.itwissen.info/MOSFET-metal-oxide-semiconductor-field-effect-transistor-MOS-Feldeffekttransistor.html> (Stand 27.11.2017)

[7] CMOS-Sensor auf www.itwissen.info

URL: <http://www.itwissen.info/CMOS-Sensor-CMOS-sensor.html> (Stand: 27.11.2017)

[8] Welche Vorteile haben CMOS-Sensoren gegenüber CCD-Sensoren? Auf www.baslerweb.com

URL: <https://www.baslerweb.com/de/news-press/news/welche-vorteile-haben-cmos-sensoren-gegenueber-ccd-sensoren/21187/> (Stand: 27.11.2017)

[9] CMOS-Rolling Shutter-Kameras auf www.baslerweb.com

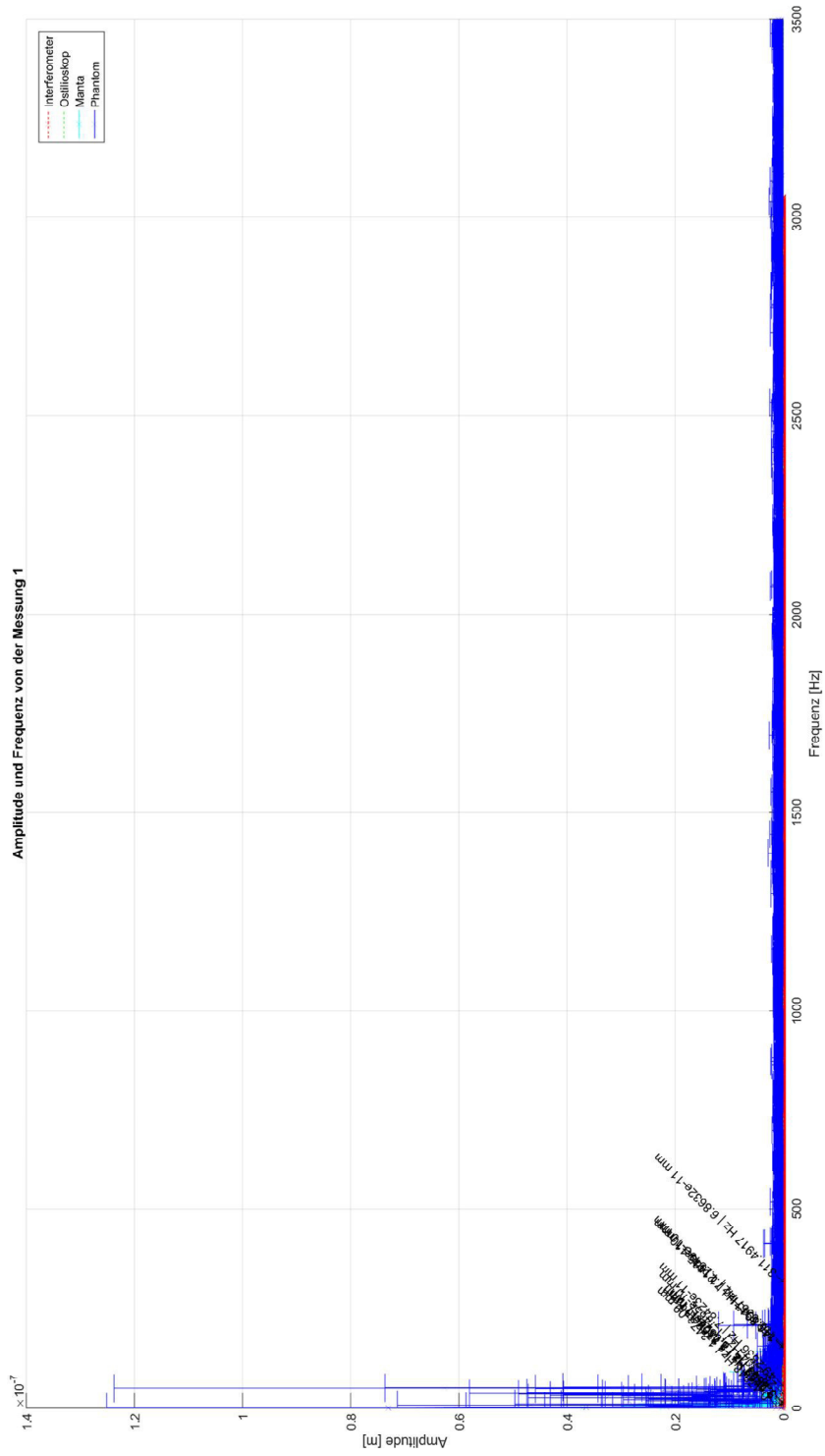
URL: <https://www.baslerweb.com/de/support/knowledge-base/cmos-rolling-shutter-kameras/> (Stand 27.11.2017)

- [10] How does a Global Shutter Work? Auf www.digitalbolex.com
URL: <http://www.digitalbolex.com/global-shutter/> (Stand 27.11.2017)
- [11] Seite „Linsengleichung“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie.
Bearbeitungsstand: 15. November 2017, 11:58 UTC.
URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Linsengleichung&oldid=171021897> (
Abgerufen: 29. November 2017, 11:00 UTC)
- [12] Axel Pratzner, foto-kurs.com
URL: <https://www.foto-kurs.com/kamera-blende.php> (Stand: 27.11.2017).
- [13] Image Processing Toolox, de.mathworks.com
URL: <https://de.mathworks.com/products/image.html> (Stand 27.11.2017)
- [14] im2bw, de.mathworks.com
URL: <https://de.mathworks.com/help/images/ref/im2bw.html> (Stand
27.11.2017)
- [15] regionprops, de.mathworks.com
URL: <https://de.mathworks.com/help/images/ref/regionprops.html> (Stand
27.11.2017)
- [16] Phantom v711, phantomhighspeed.com
URL: <http://www.phantomhighspeed.com/Products/v-Series-Cameras/v711>
(Stand 27.11.2017)
- [17] Manta G-419, alliedvision.com
URL:
<https://www.alliedvision.com/de/produkte/kameras/kameradetails/Manta/G-419.html> (Stand 27.11.2017)
- [18] VH-Z50L, keyence.com
URL: <https://www.keyence.de/products/microscope/digital-microscope/vhx-700f/models/vh-z50l/index.jsp> (Stand 27.11.2017)
- [19] VH-Z100UR, keyence.com
URL: <https://www.keyence.de/products/microscope/digital-microscope/vhx-1000/models/vh-z100ur/index.jsp> (Stand 27.11.2017)
- [20] Objektmikrometer 3, Präzisionsoptik Gera GmbH,
URL: <http://www.pog.eu/de/ms/sms-stage-micrometers.html> (Stand
27.11.2107)

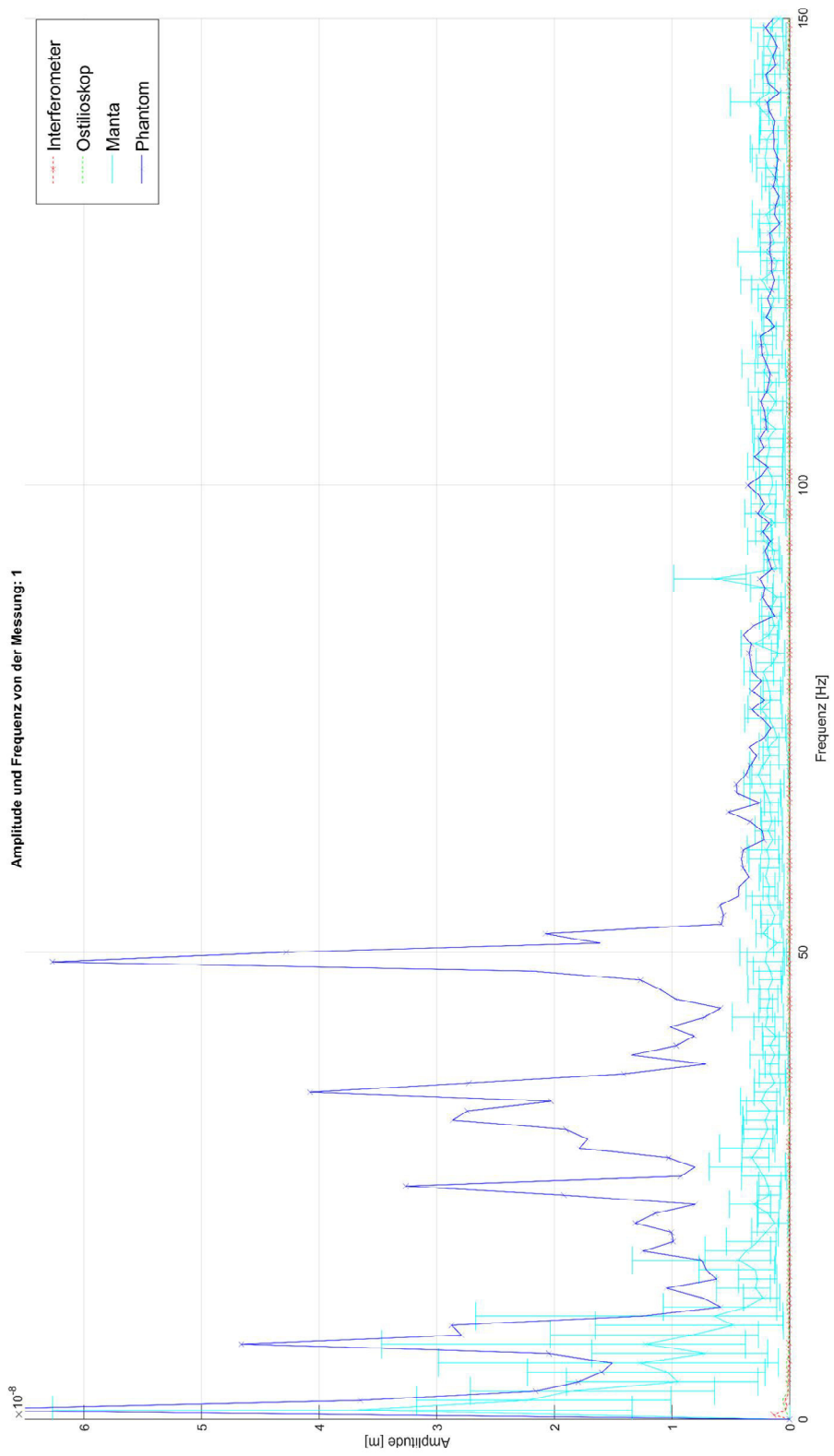
- [21] imtool, de.mathworks.com
URL: <https://de.mathworks.com/help/images/ref/imtool.html> (Stand 27.11.2017)
- [22] P-820, Physik Instrumente,
URL: <https://www.physikinstrumente.de/de/produkte/piezokeramische-aktoren/linearaktoren/p-820-vorgespannte-piezoaktoren-100500/> (Stand 27.11.2017)
- [23] URL: Präsentation Attocube, spectronet.de
http://spectronet.de/story_docs/vortraege_2017/170509_control/170510_23_s-toehr_attocube.pdf (Stand 27.11.2017)
- [24] uigetfile, de.mathworks.com
URL: <https://de.mathworks.com/help/images/ref/uigetfile.html> (Stand 27.11.2017)
- [25] imcrop, de.mathworks.com
URL: <https://de.mathworks.com/help/images/ref/imcrop.html> (Stand 27.11.2017)
- [26] bwfill, de.mathworks.com
URL: <https://de.mathworks.com/help/images/ref/bwfill.html> (Stand 27.11.2017)
- [27] beareafilt, de.mathworks.com
URL: <https://de.mathworks.com/help/images/ref/bwareafilt.html> (Stand 27.11.2017)
- [28] Seite „Schnelle Fourier-Transformation“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 3. November 2017, 23:11 UTC.
URL: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Schnelle_Fourier-Transformation&oldid=170629369 (Abgerufen: 29. November 2017, 11:46 UTC)

F. Anhang

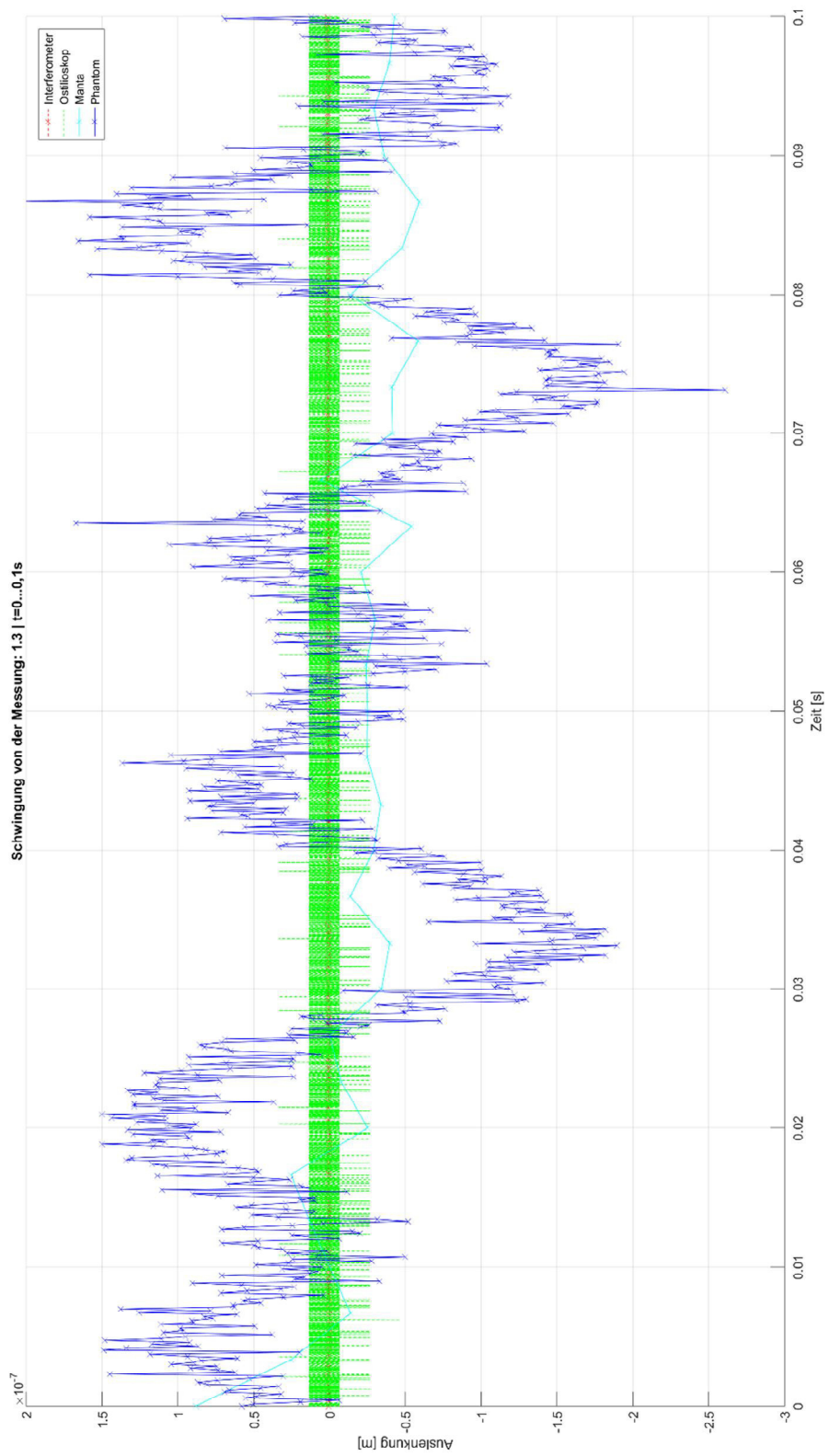
Anhang 1 FFT Versuch 1: 0-3500Hz



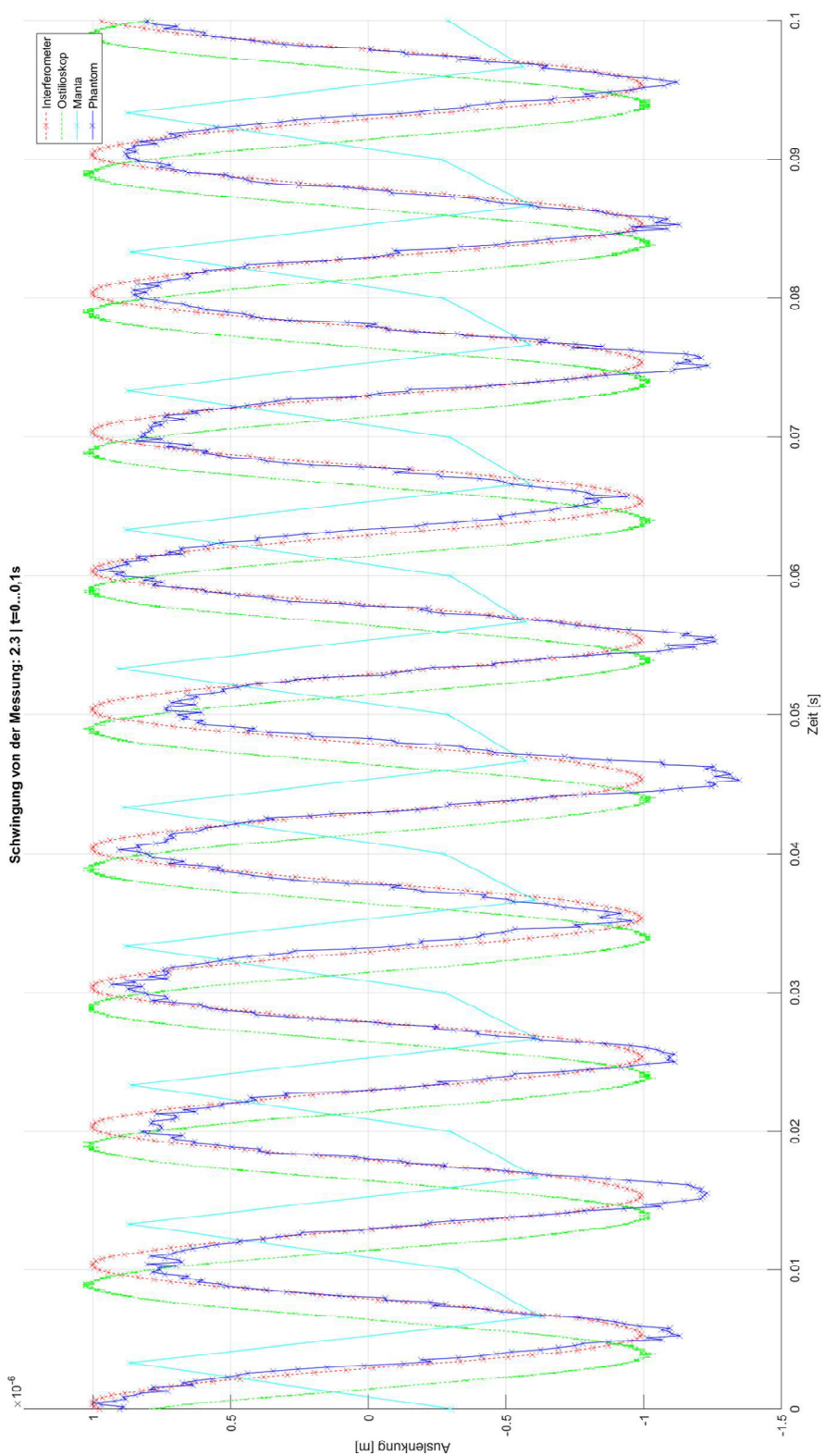
Anhang 2 FFT Versuch 1: 0-150Hz



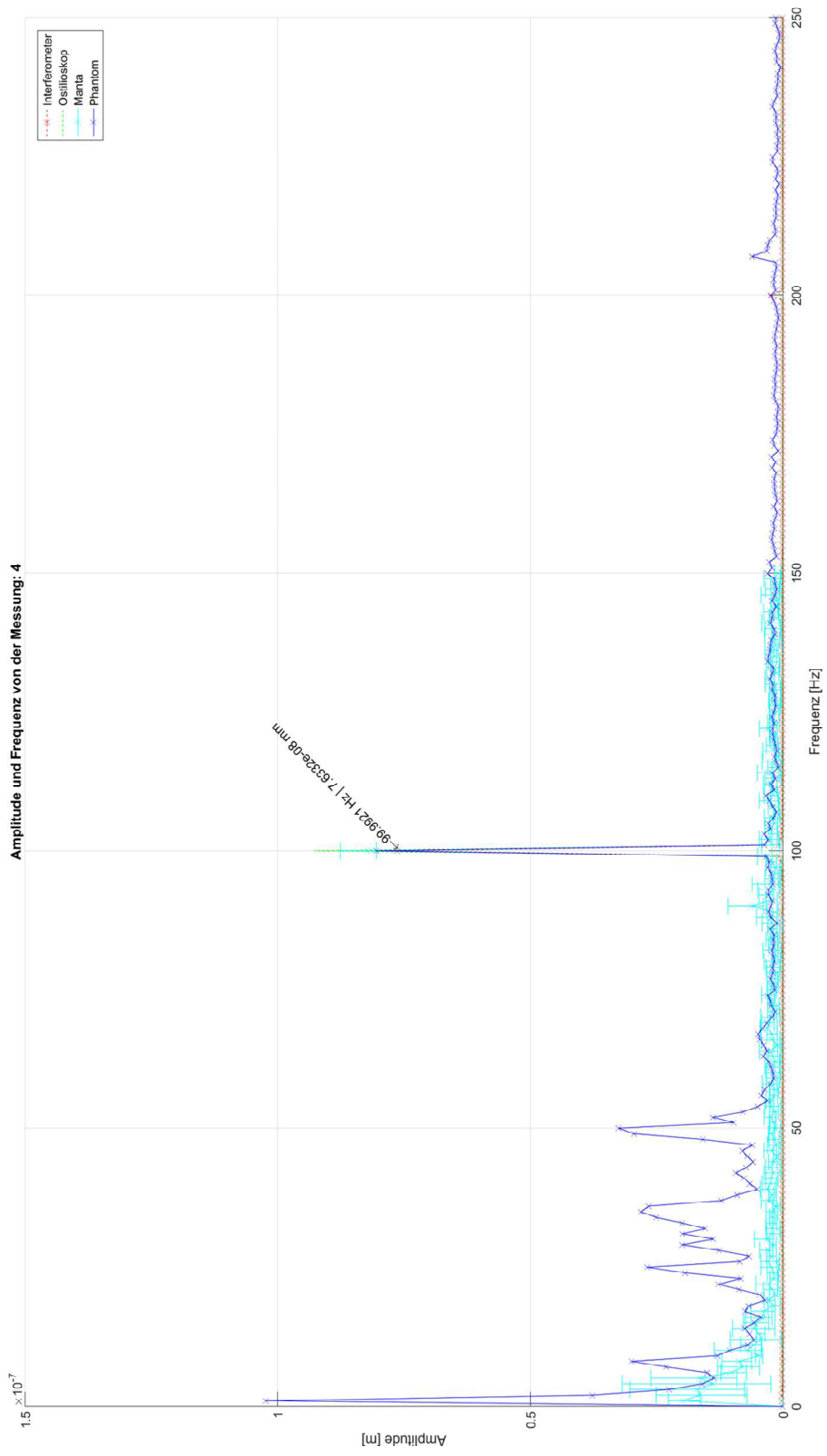
Anhang 3 Schwingung Versuch 1 Video 3



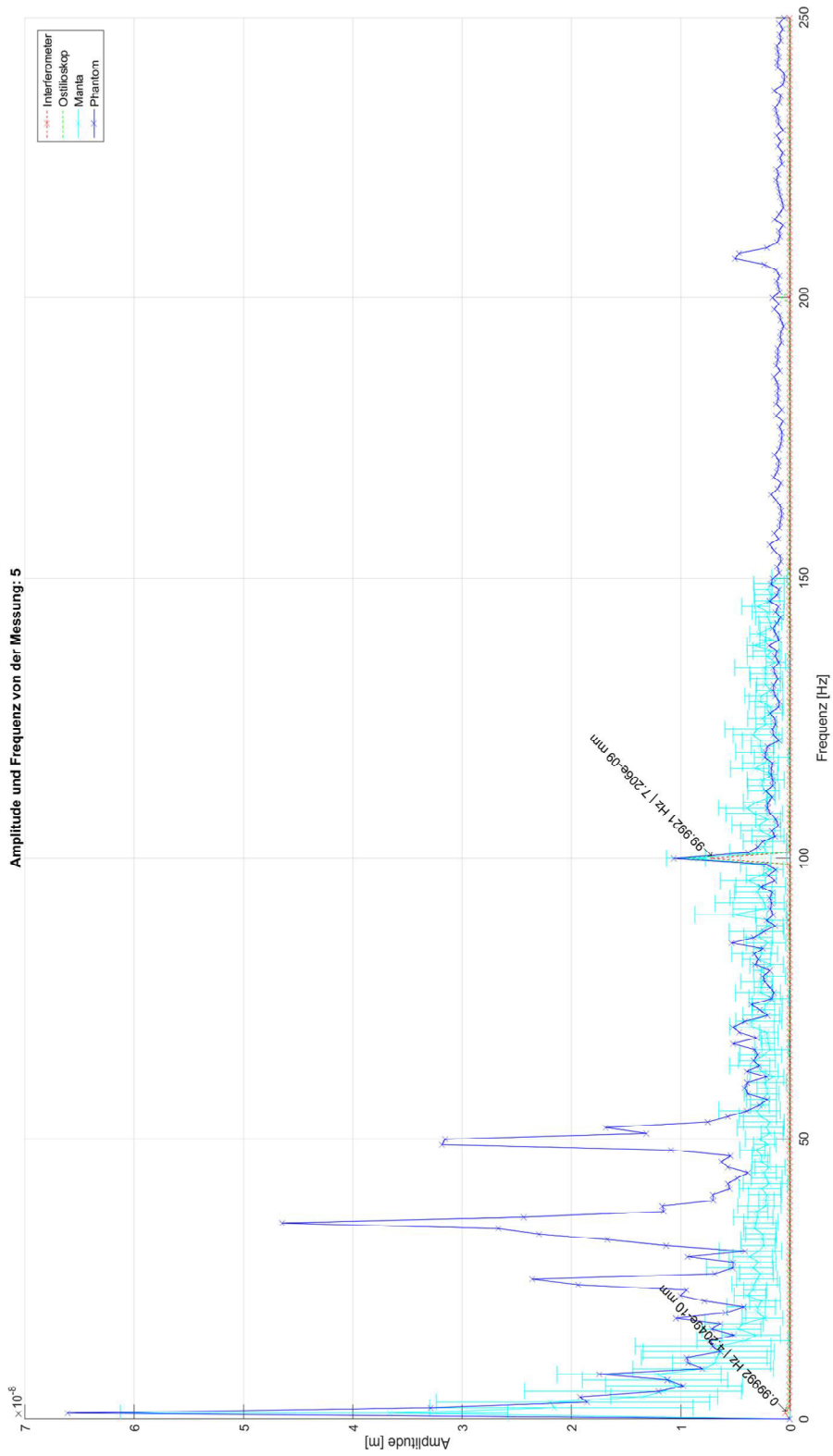
Anhang 4 Schwingung Versuch 2 Video 3



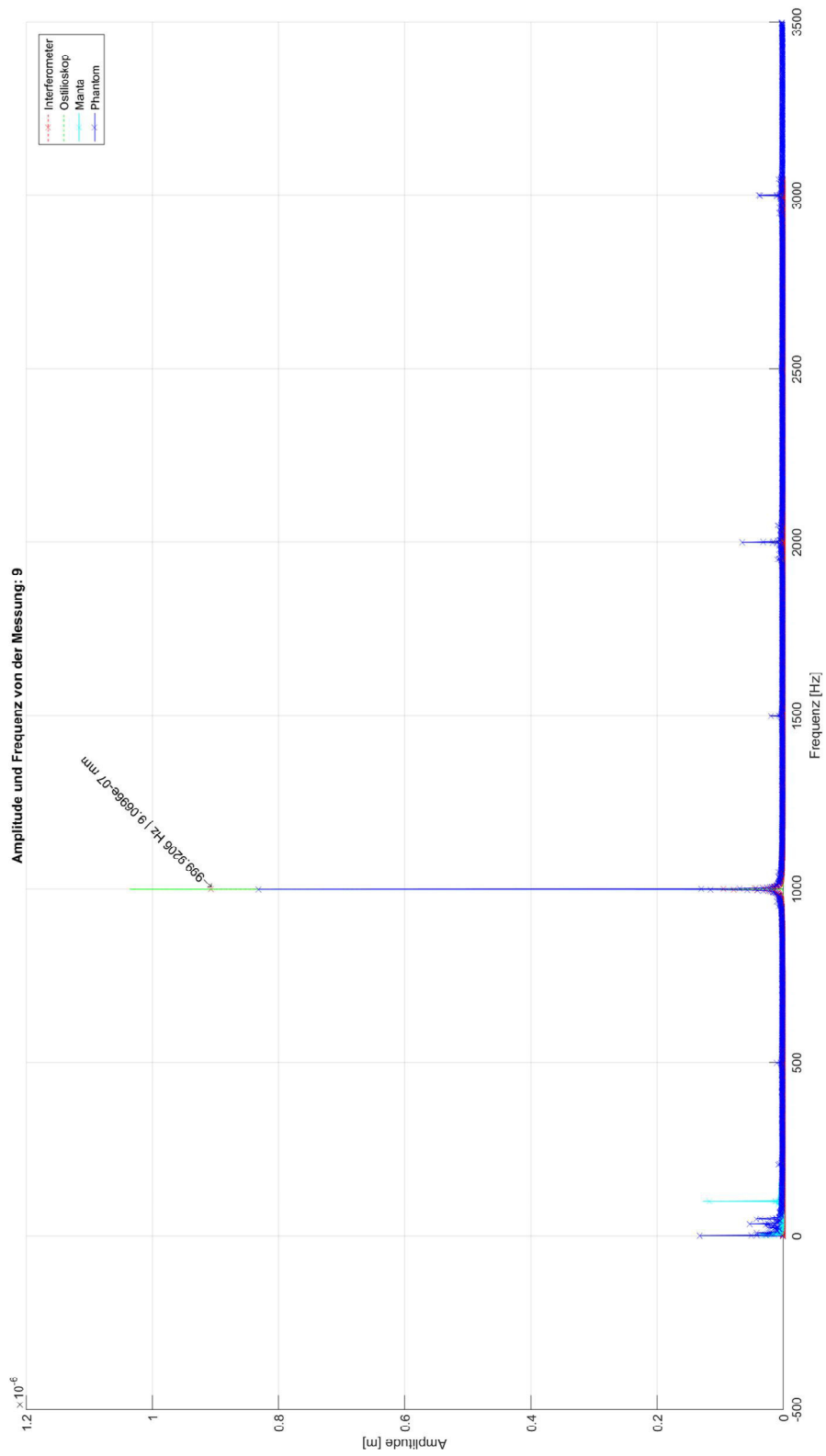
Anhang 5 FFT Messung 4: 0-150 Hz



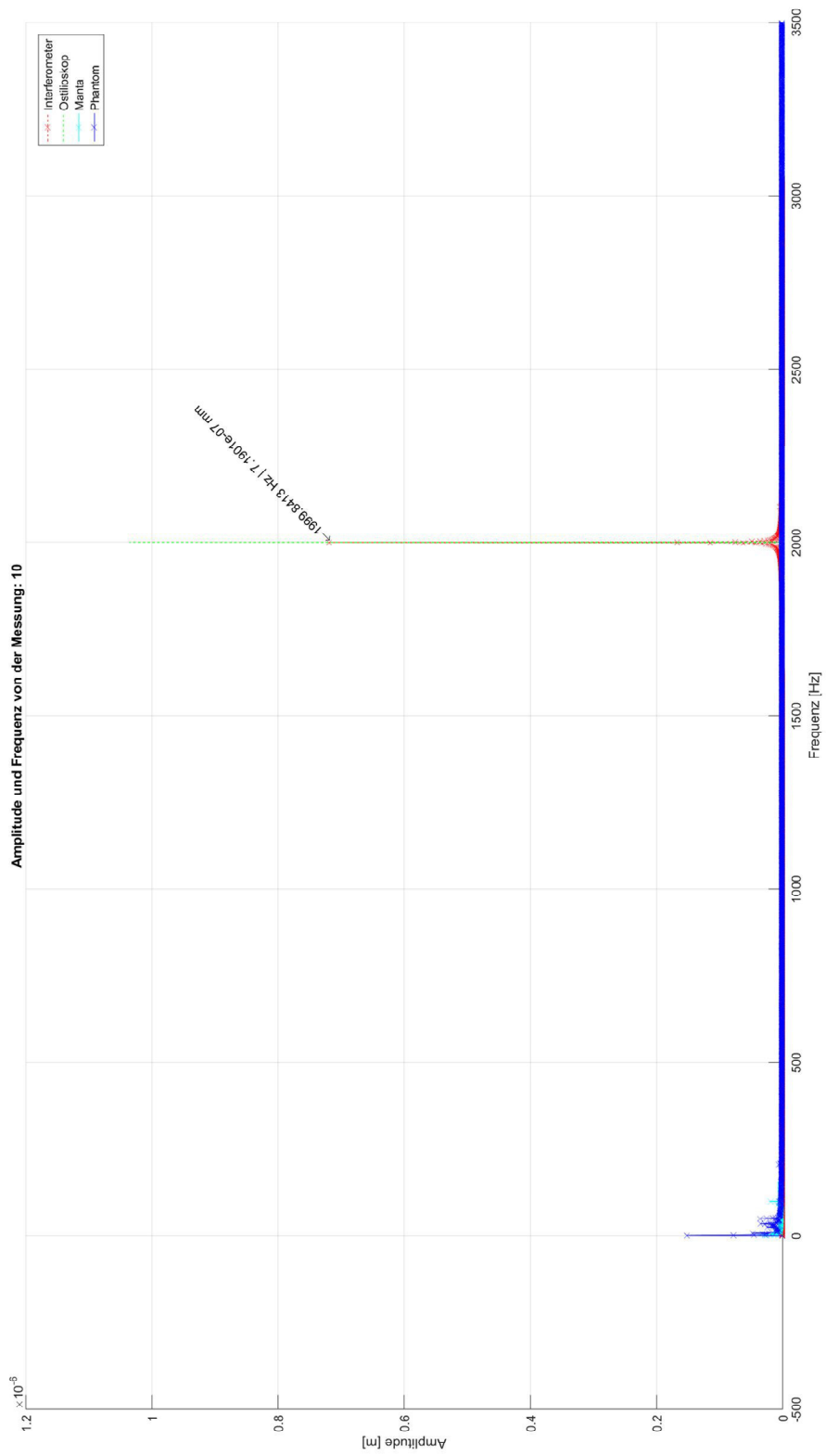
Anhang 6 FFT Messung 5: 0-150 Hz



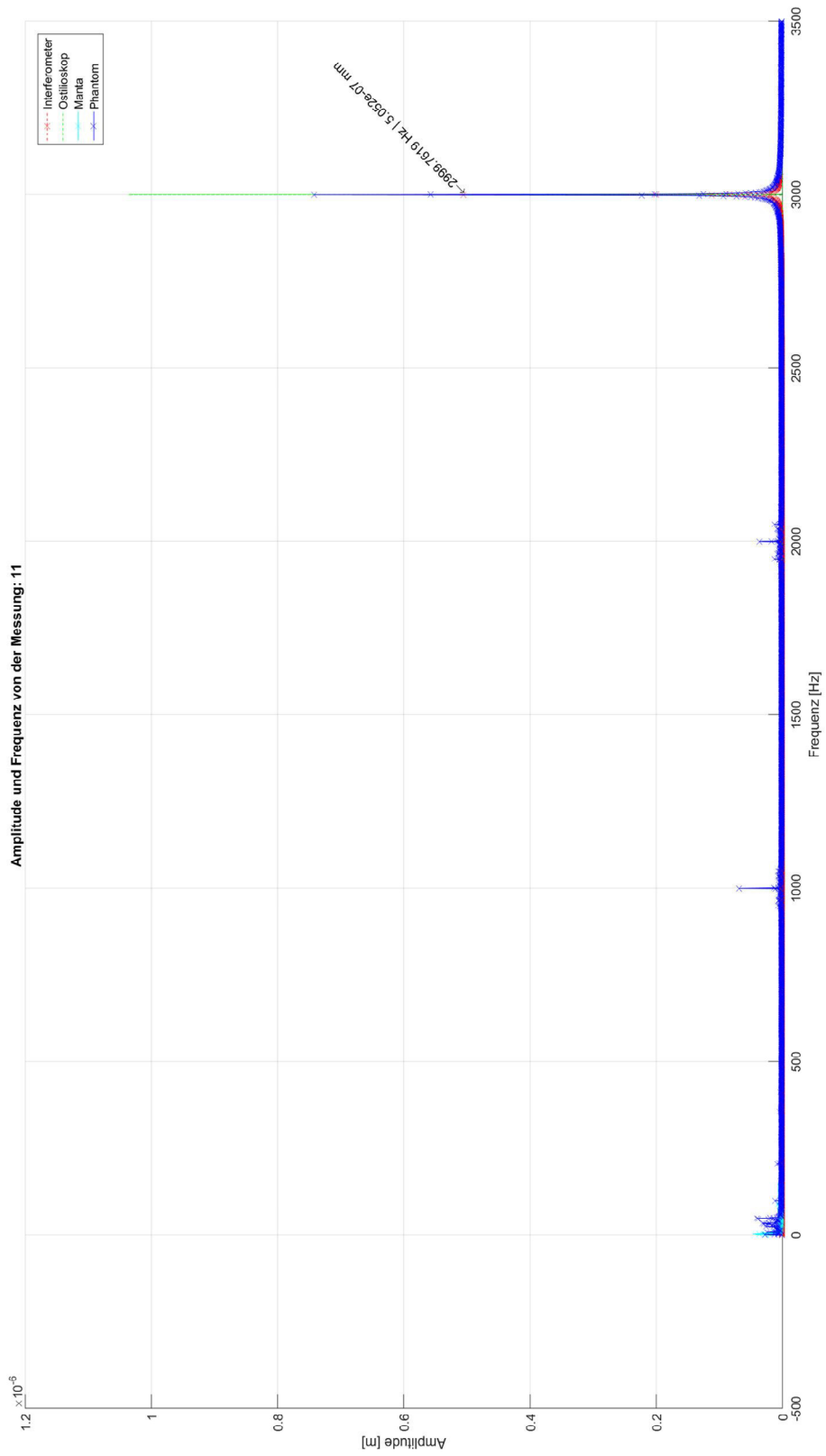
Anhang 7 FFT Messung 9



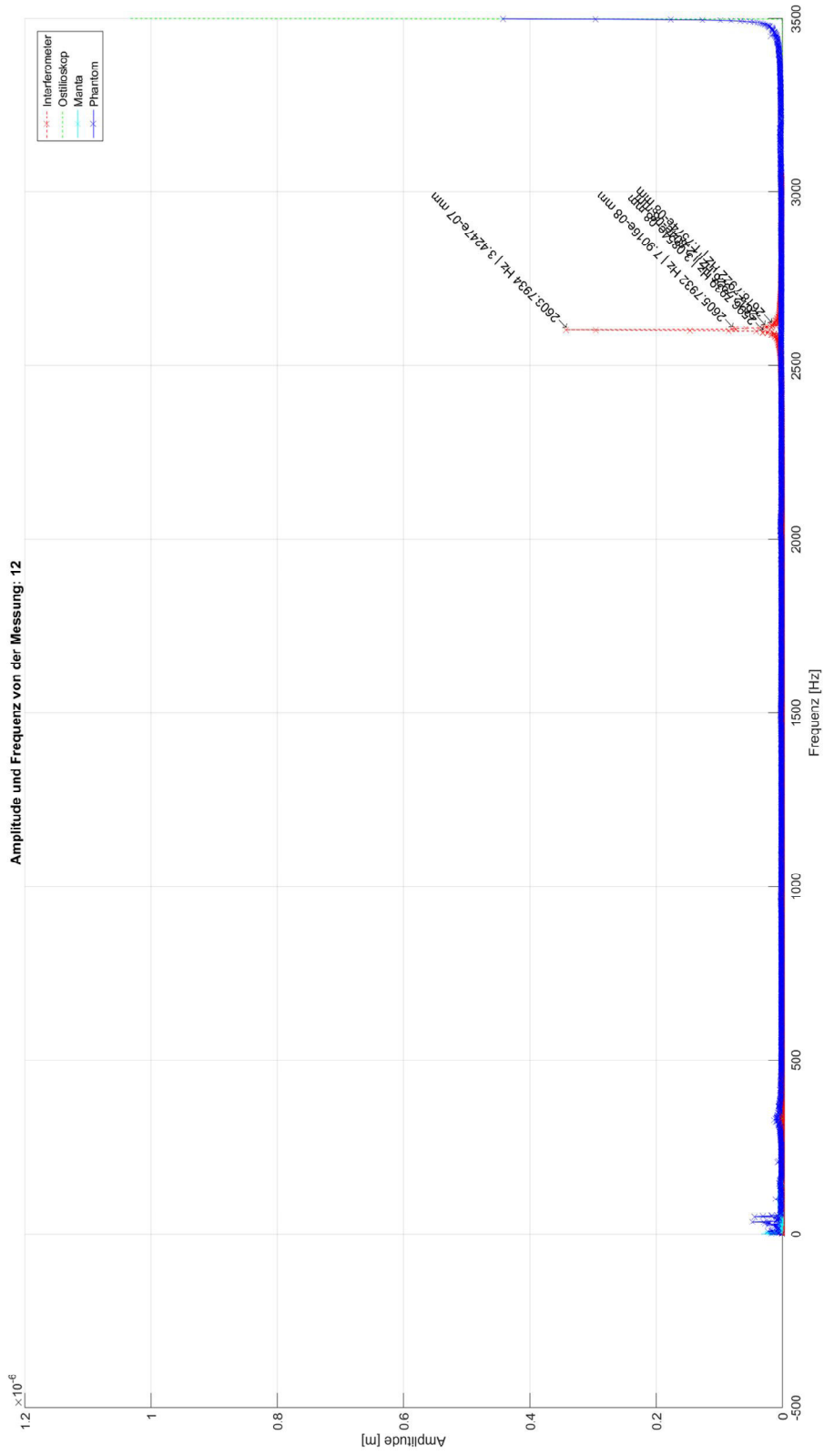
Anhang 8 FFT Messung 10



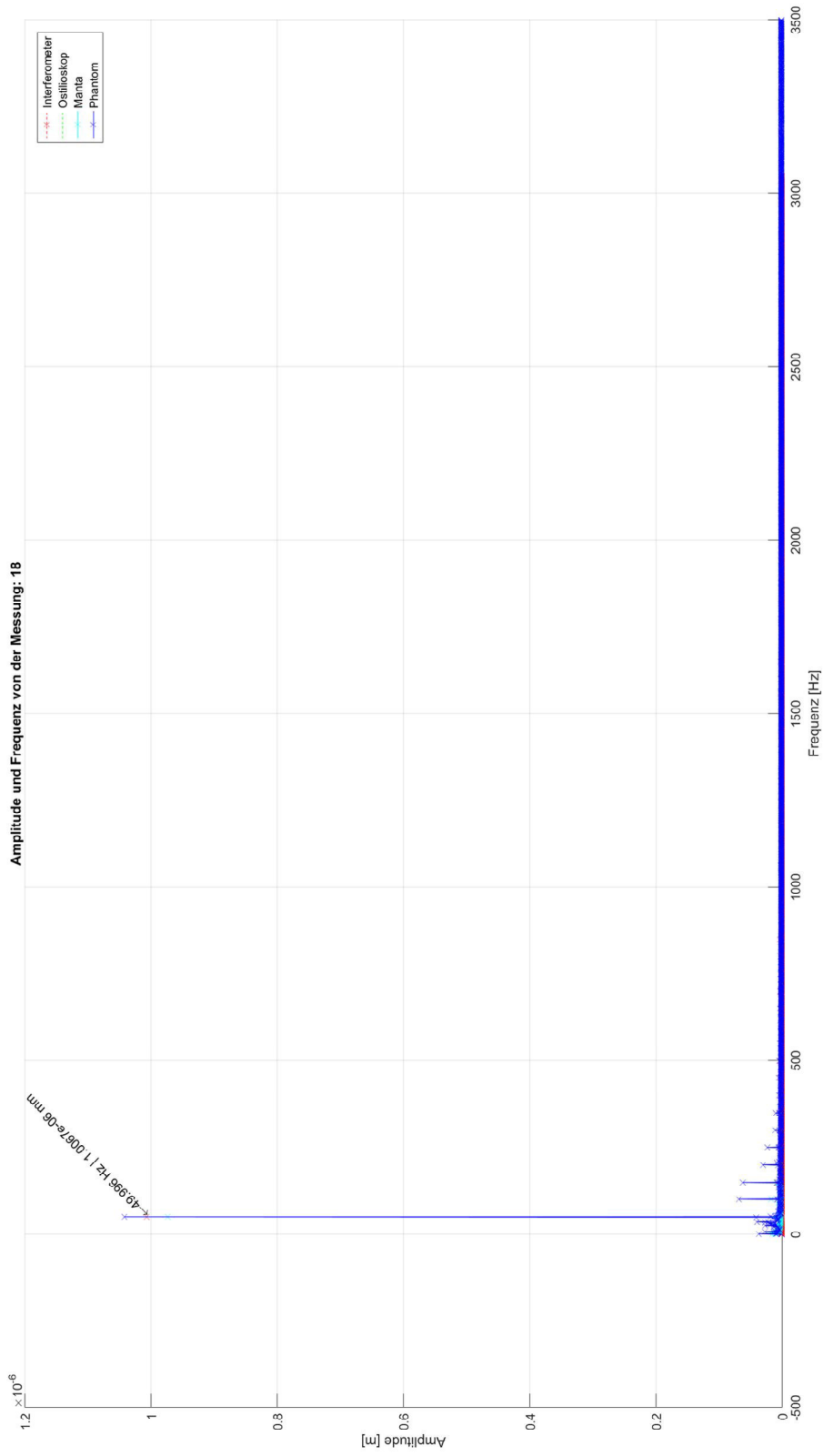
Anhang 9 FFT Messung 11



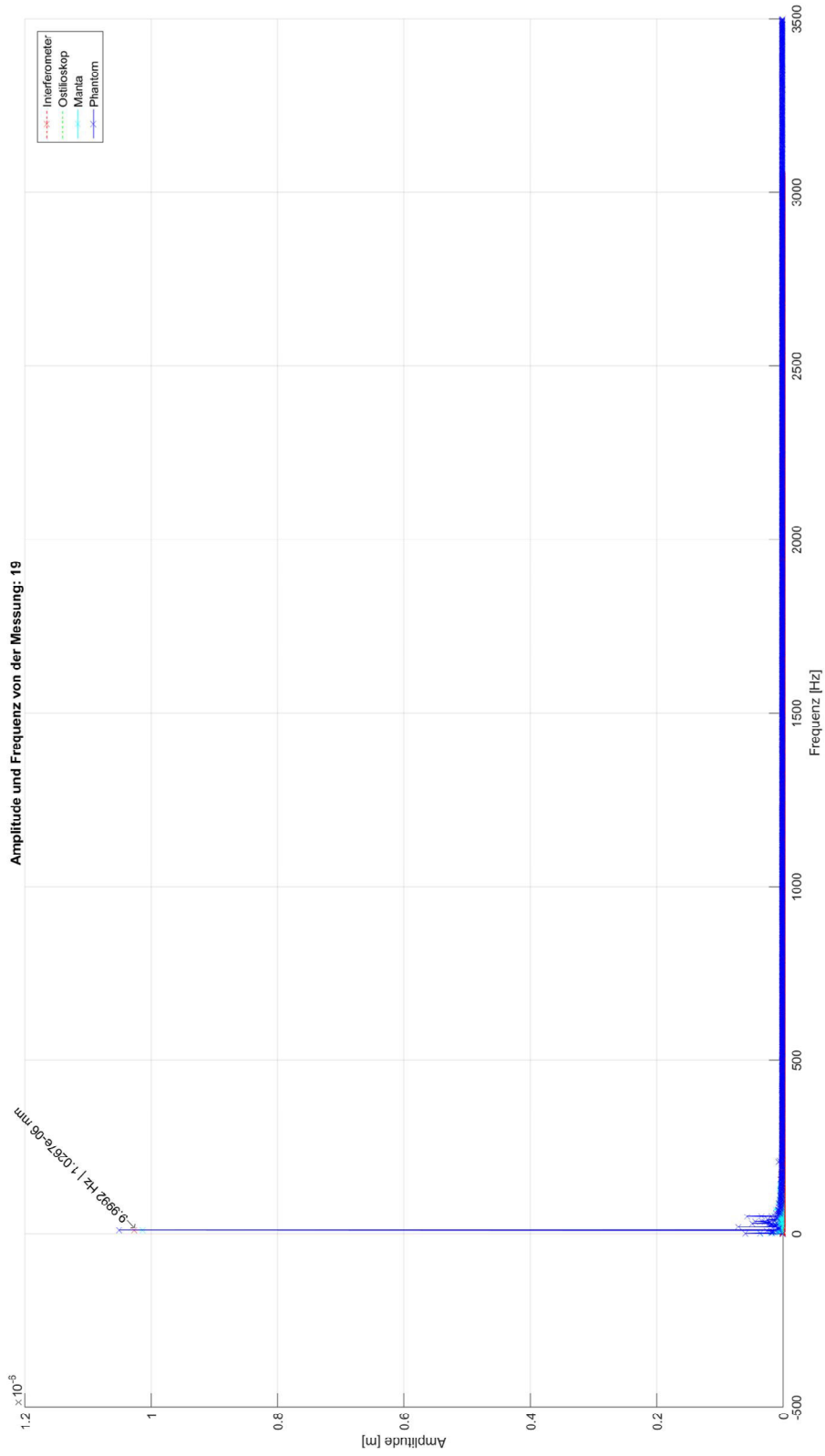
Anhang 10 FFT Messung 12



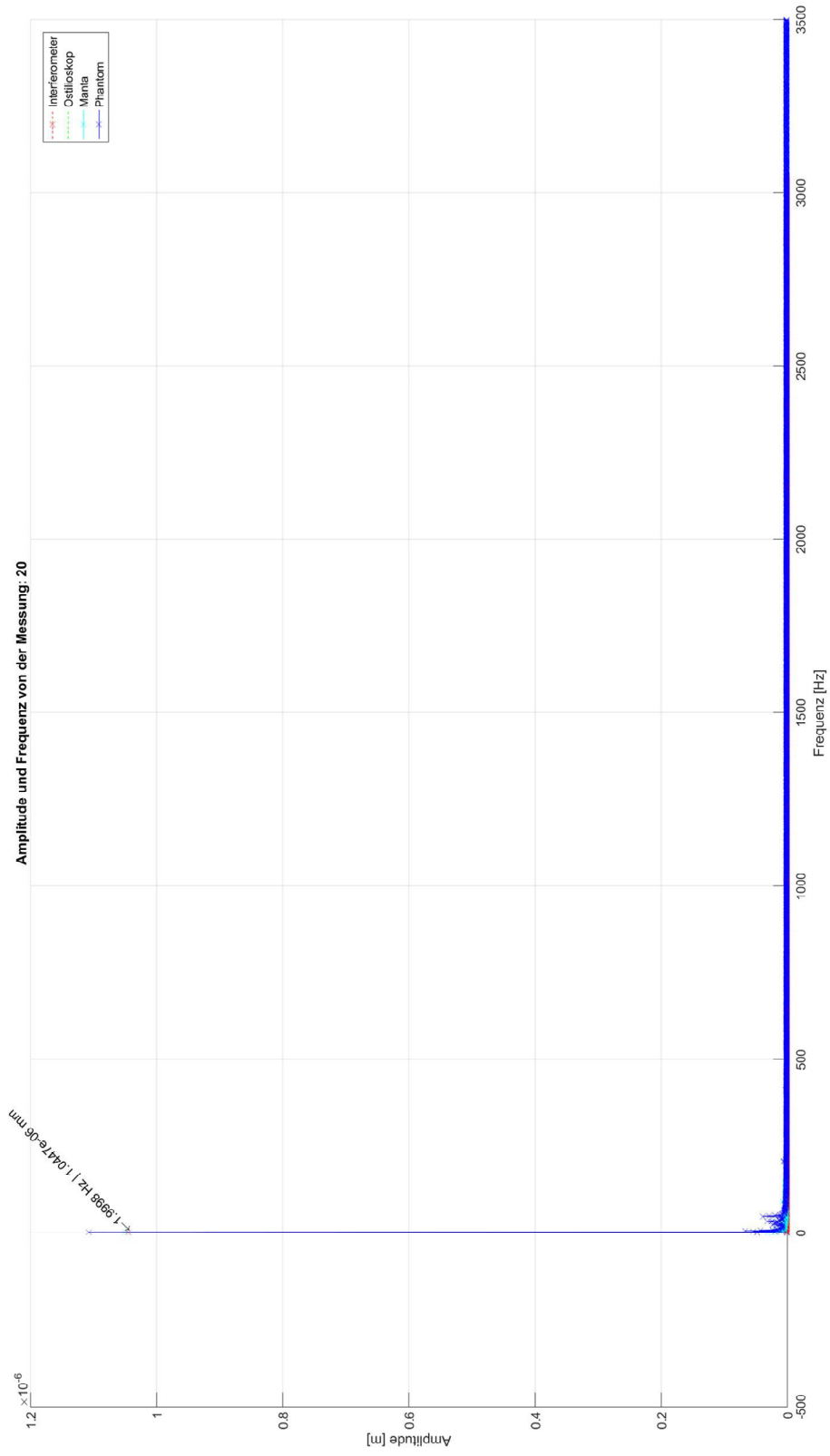
Anhang 11 FFT Messung 18



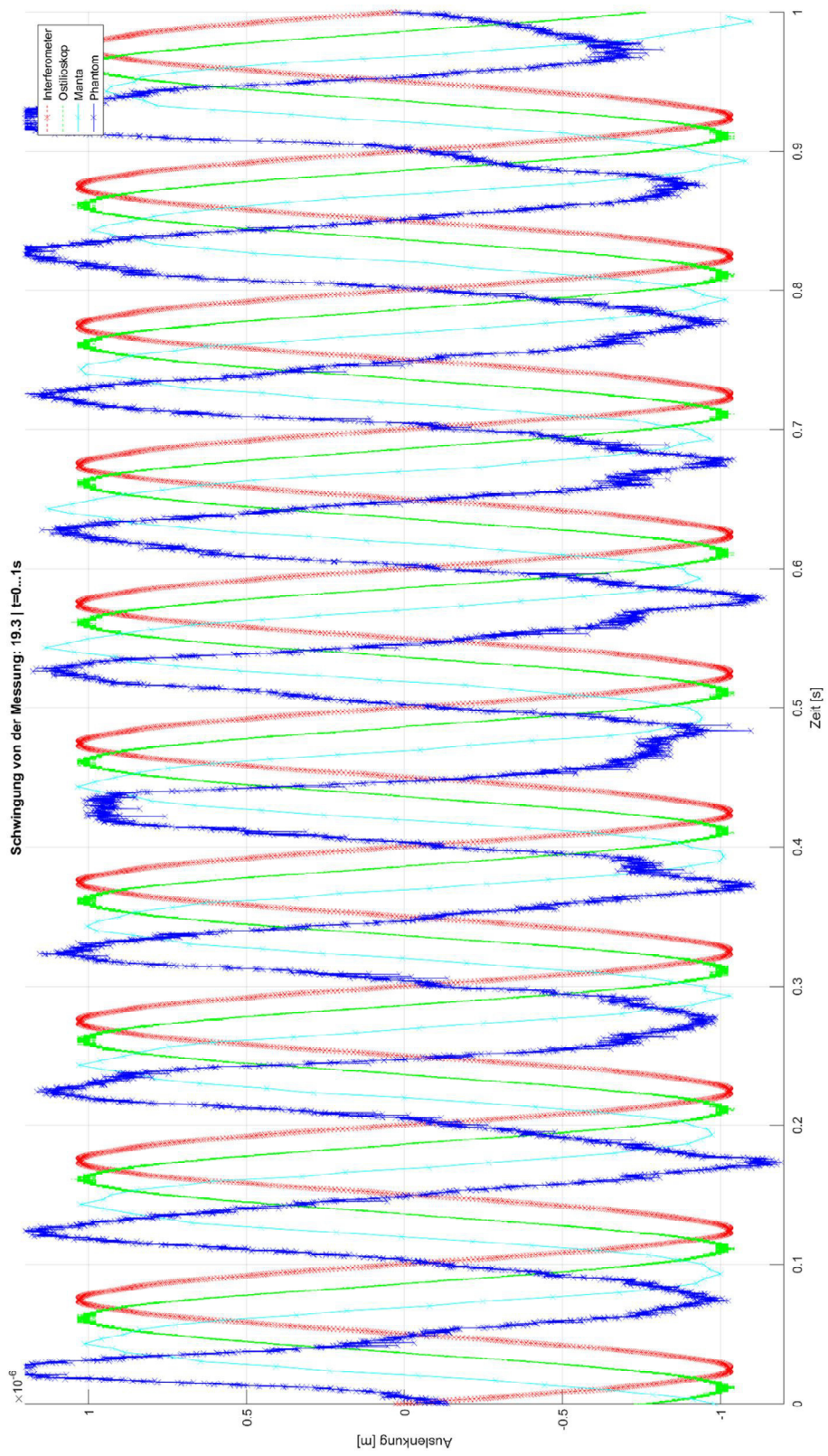
Anhang 12 FFT Messung 19



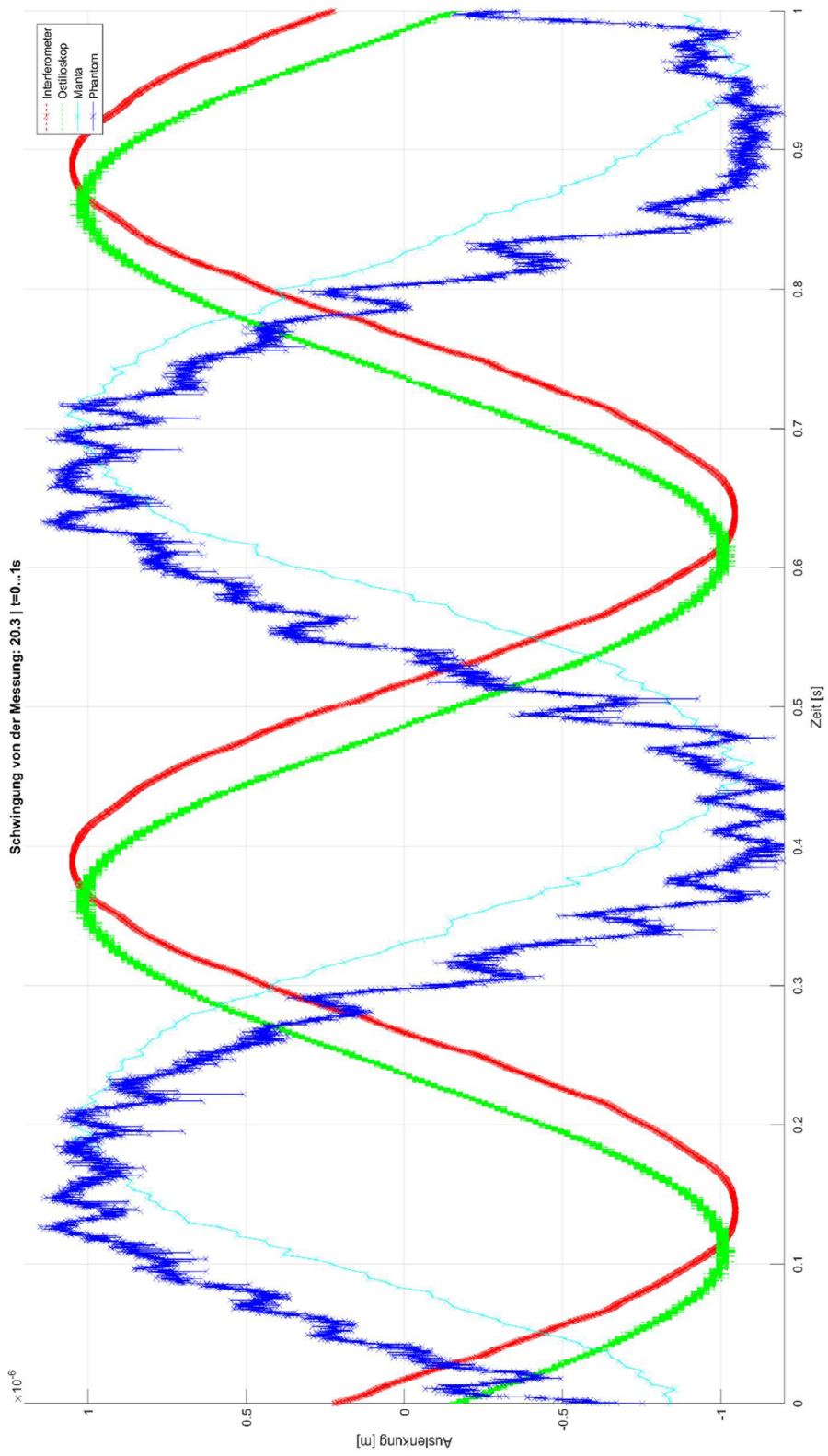
Anhang 13 FFT Messung 20



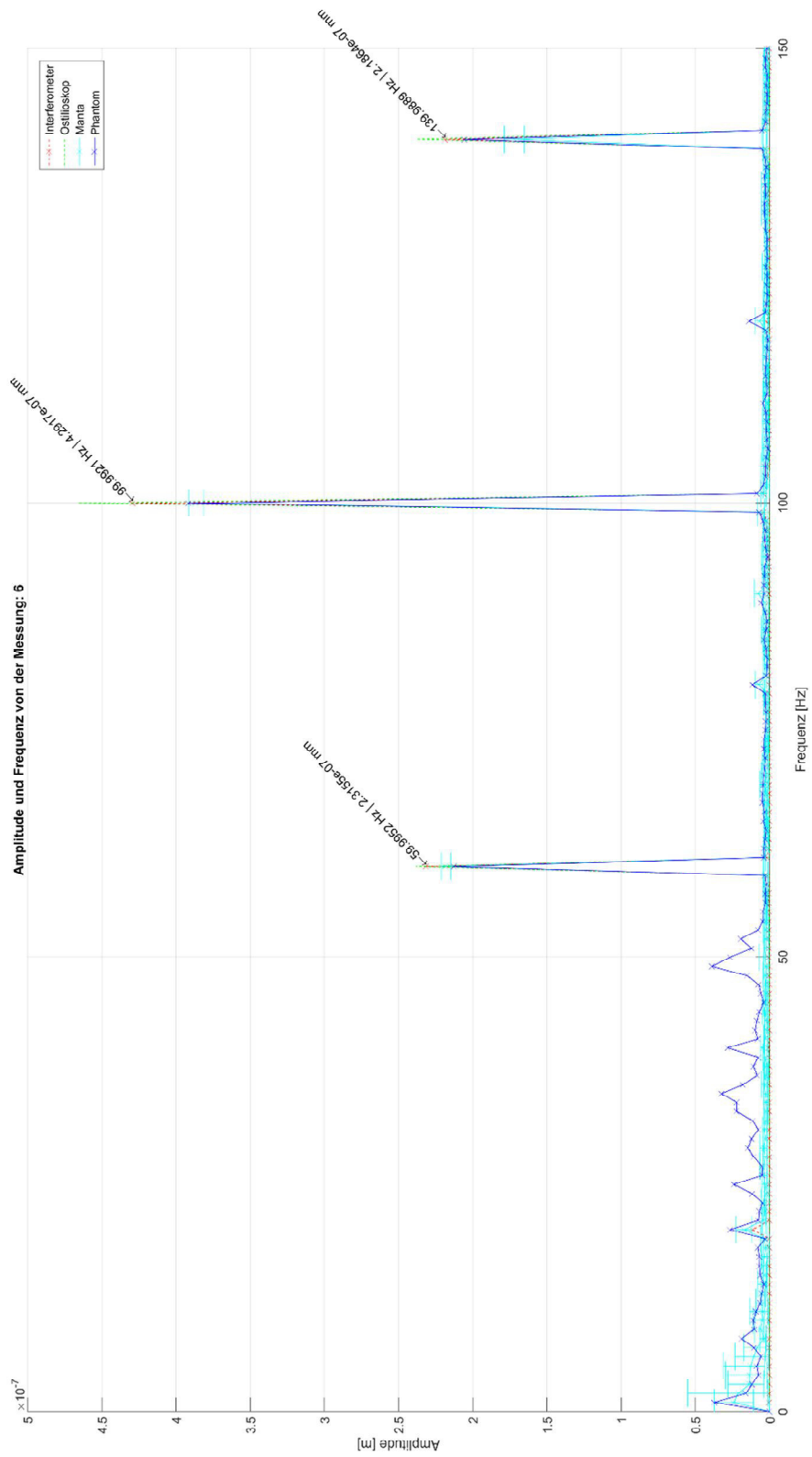
Anhang 14 Schwingung Versuch 19



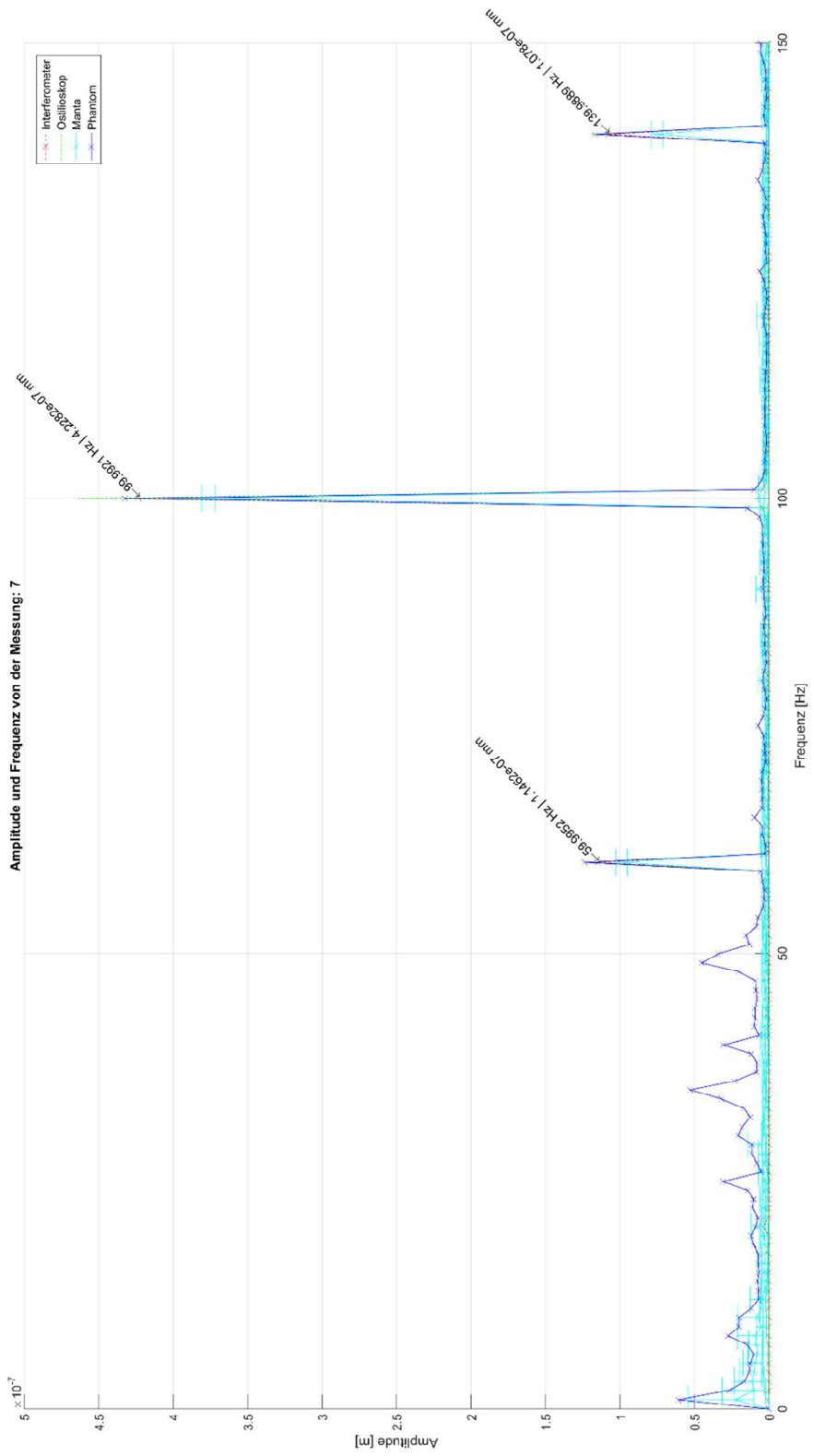
Anhang 15 Schwingung Versuch 20



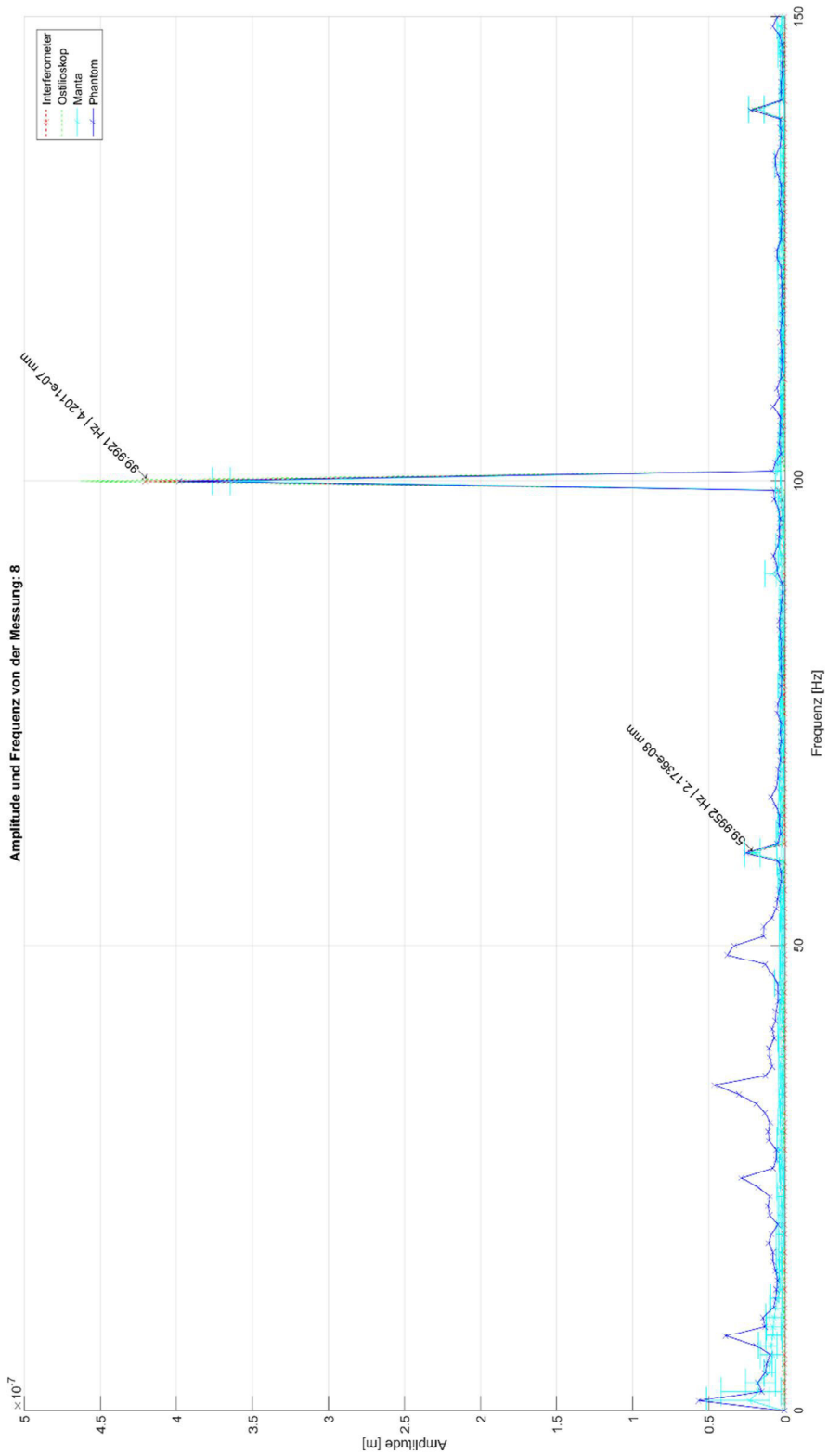
Anhang 16 FFT Versuch 6: 0-150 Hz



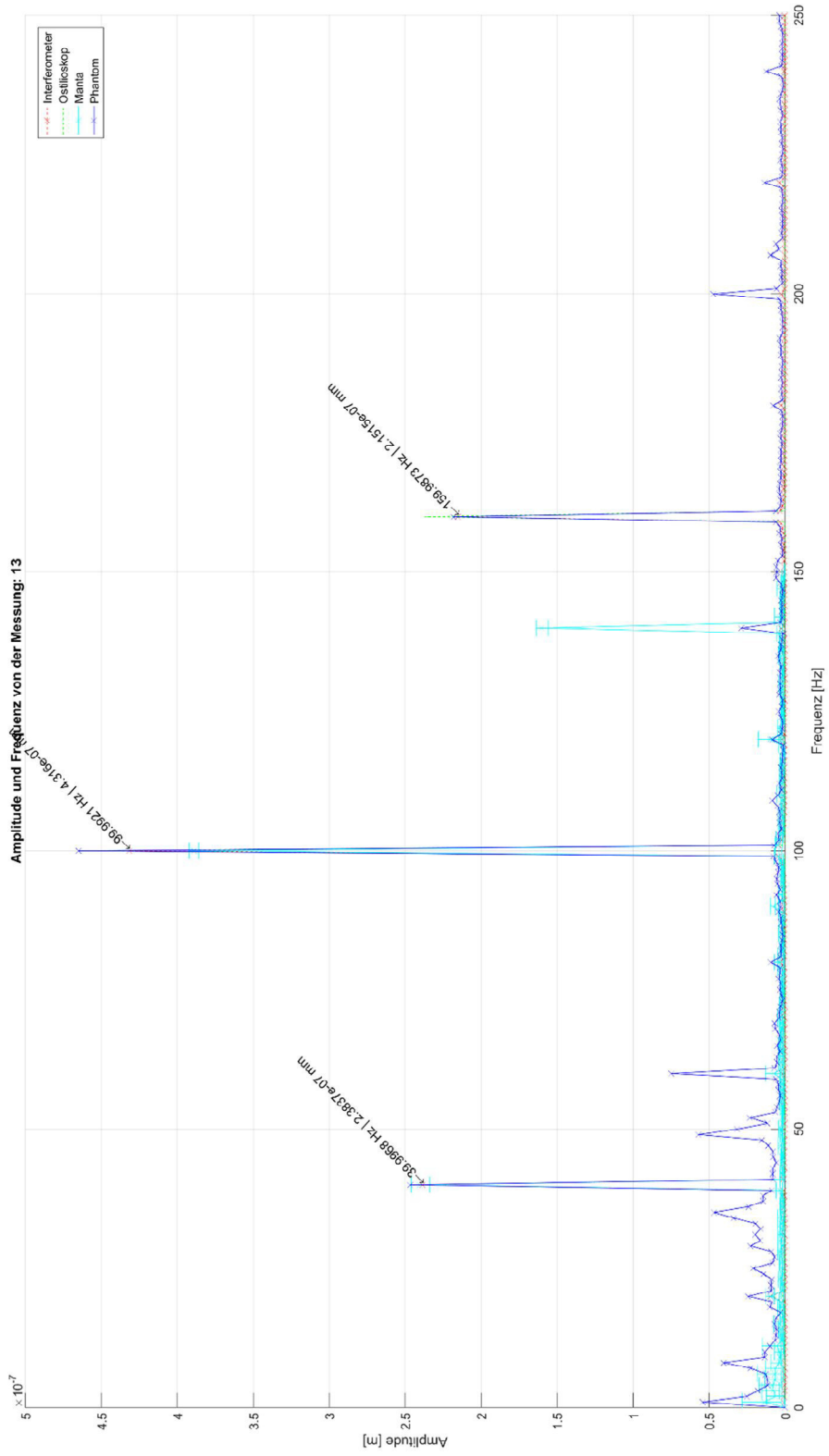
Anhang 17 FFT Versuch 7: 0-150 Hz



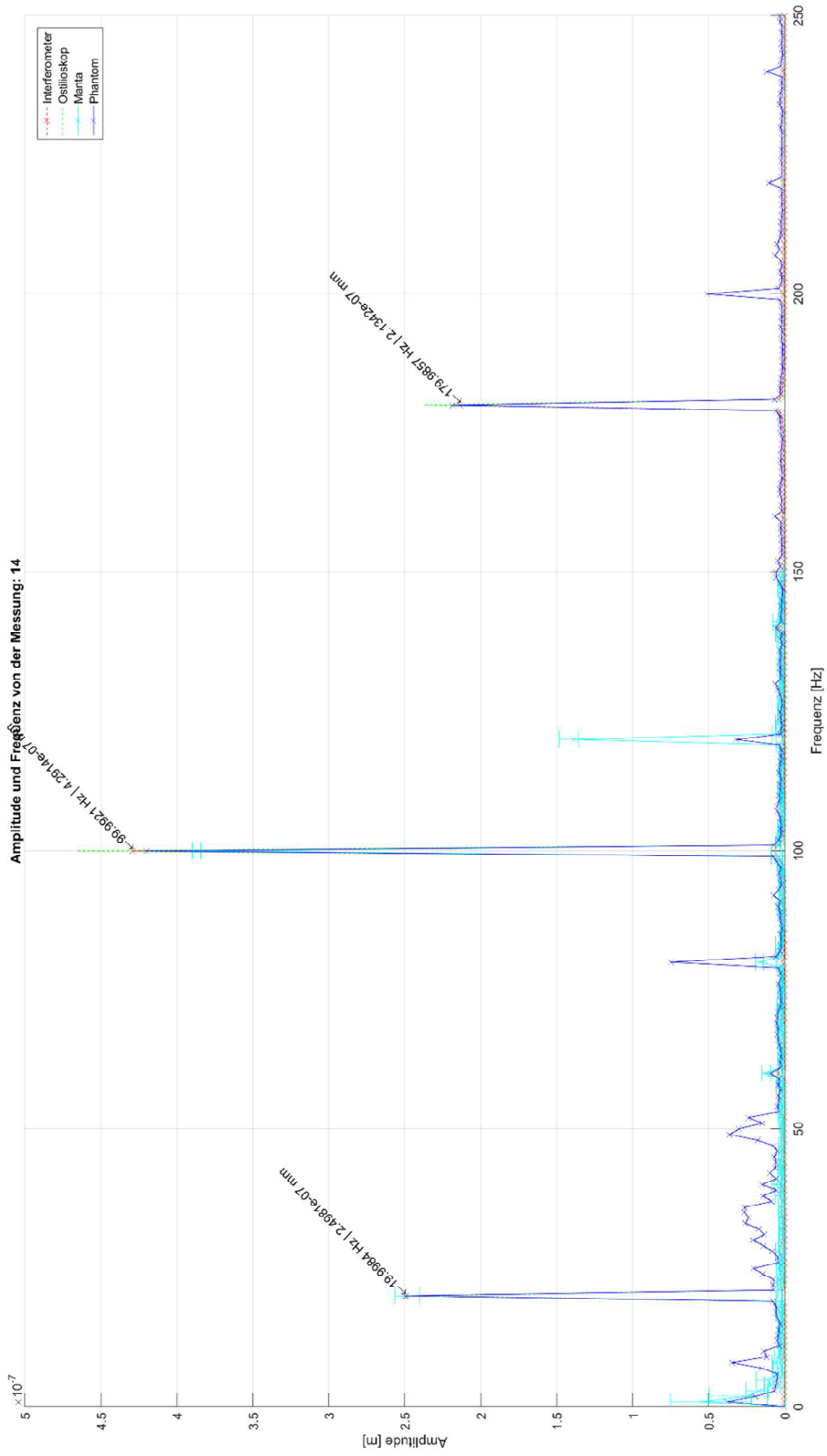
Anhang 18 FFT Versuch 8: 0-150 Hz



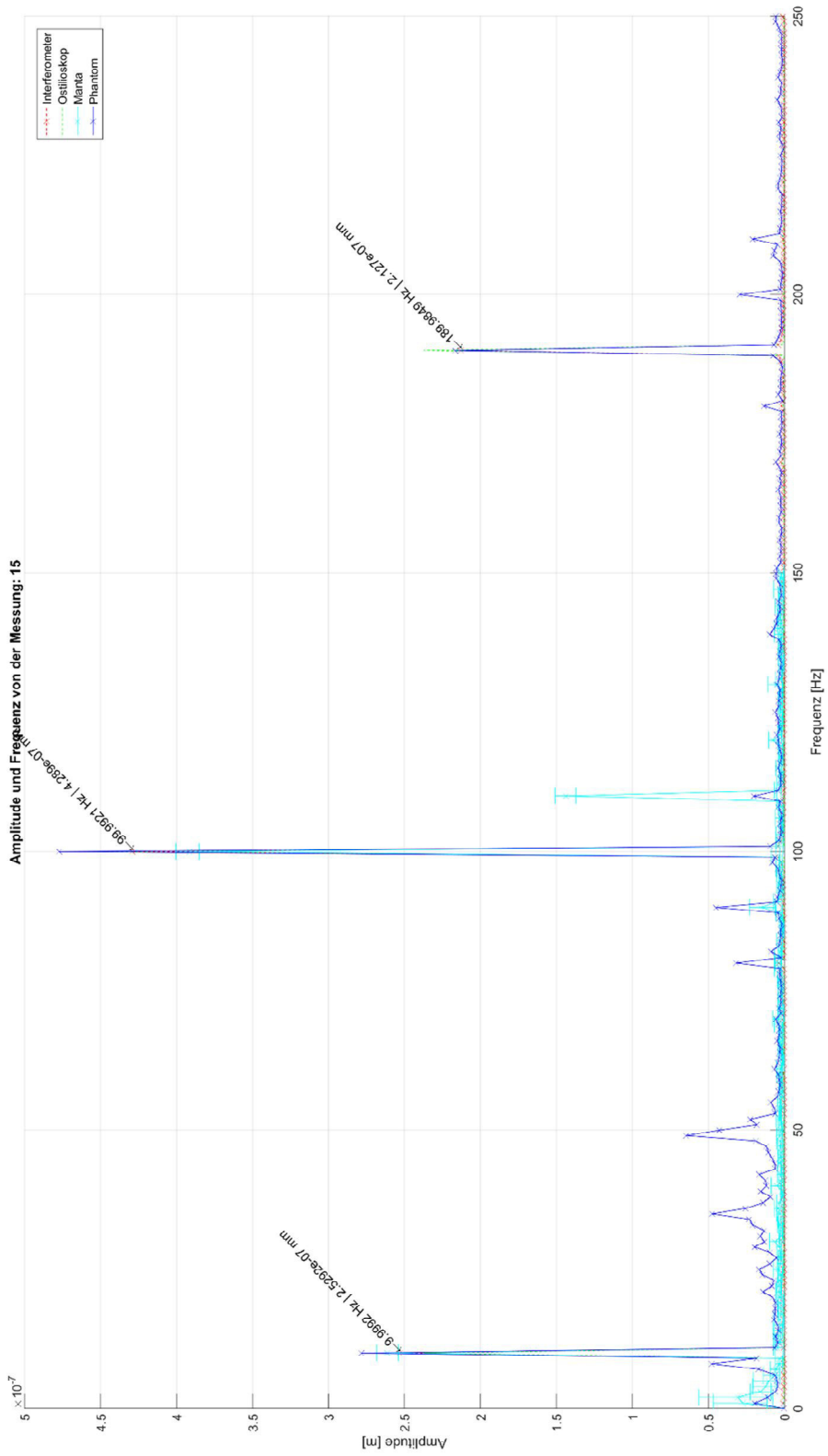
Anhang 19 FFT Versuch 13: 0-250 Hz



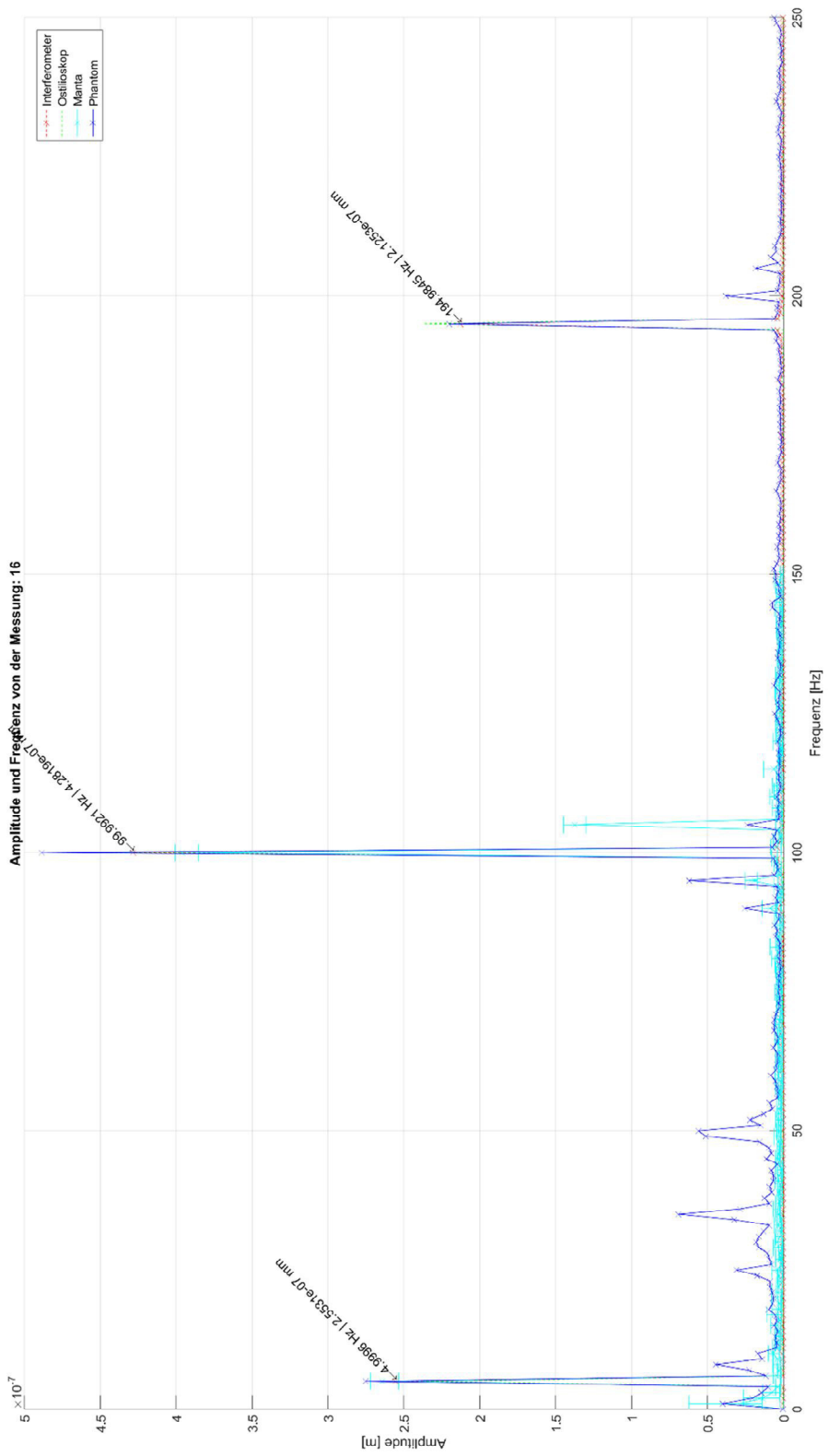
Anhang 20 FFT Versuch 14: 0-250 Hz



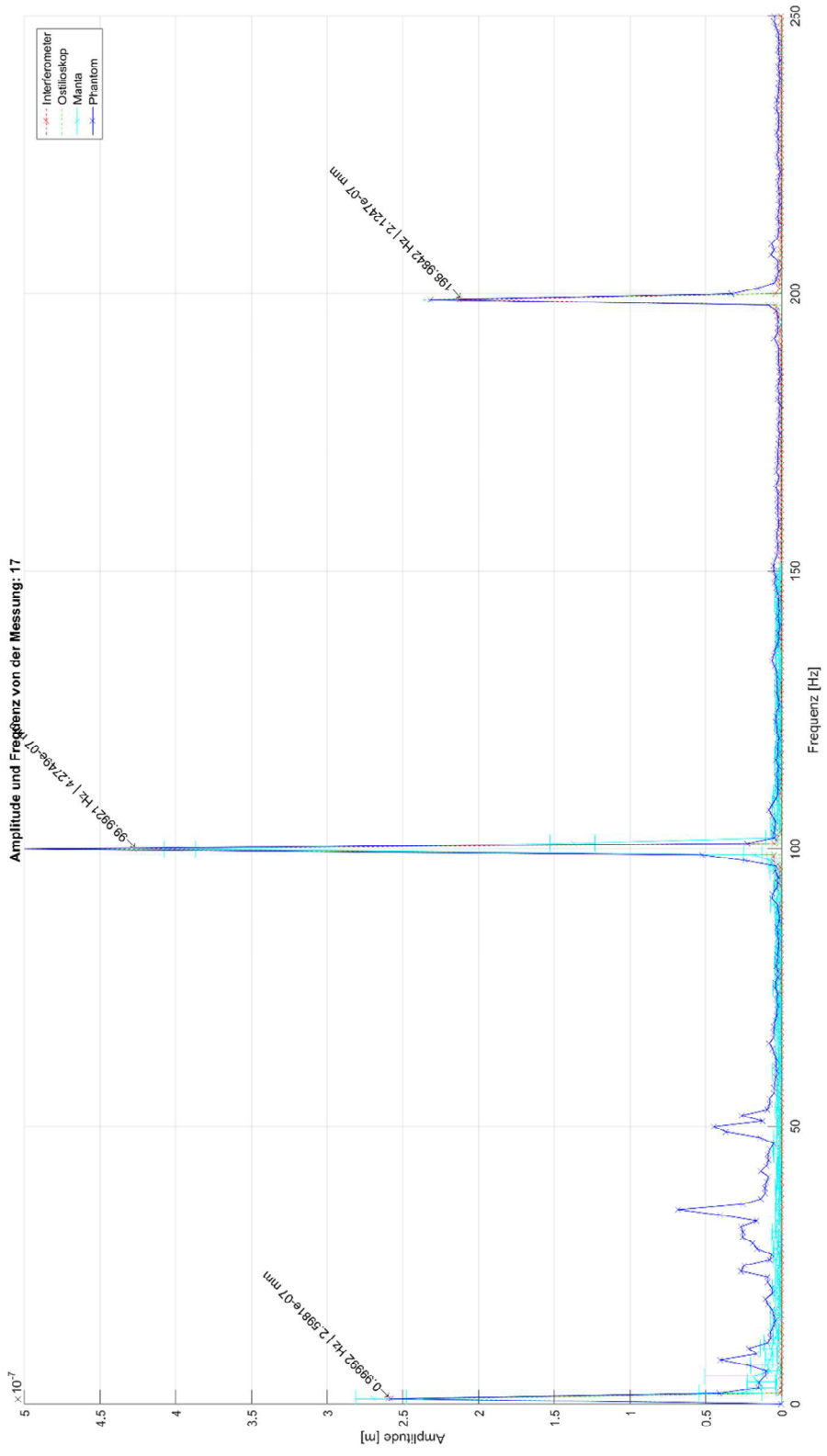
Anhang 21 FFT Versuch 15: 0-250 Hz



Anhang 22 FFT Versuch 16: 0-250 Hz



Anhang 23 FFT Versuch 17: 0-250 Hz



Anhang 24 Code: Bild_ohne_extremwerte

```
function pic_out=Bild_ohne_extremwerte(pic_in)
% Wandelt den Wertebereich von [0 : 255] zu [1 : 254]
pic_out=uint8(round(double(pic_in)/255*253)+1);
end
```

Anhang 25 Code: do_roi

```
function [pic_roi]=do_roi(pic_crop,roi_matrix)
pic_roi= pic_crop;
size_crop=size(pic_crop);
[yy]=size_crop(1);
[xx]=size_crop(2);
if length(size_crop)==3
[zz]=size_crop(3);
else
zz=1;
end
roi_x=roi_matrix(1);
roi_y=roi_matrix(2);
roi_xx = xx-roi_matrix(3)-roi_x;
if roi_xx<0
roi_xx=0;
end
roi_yy = yy-roi_matrix(4)-roi_y;
if roi_yy<0
roi_yy=0;
end
if zz==3
if roi_matrix(2)~=0
pic_roi(1:roi_matrix(2),:,:)=0;
end
if roi_matrix(1)~=0
pic_roi(:,1:roi_matrix(1),:)=0;
end
if roi_yy~=0
pic_roi(roi_matrix(4)+roi_matrix(2):size_crop(1),:,:)=0;
end
if roi_xx~=0
pic_roi(:,roi_matrix(3)+roi_matrix(1):size_crop(2),:)=0;
end
else
if roi_matrix(2)~=0
pic_roi(1:roi_matrix(2),:,1)=0;
end
if roi_matrix(1)~=0
pic_roi(:,1:roi_matrix(1),1)=0;
end
if roi_matrix(4)+roi_matrix(2)~=0
pic_roi(roi_matrix(4)+roi_matrix(2):size_crop(1),:,1)=0;
end
if roi_matrix(3)+roi_matrix(1)~=0
pic_roi(:,roi_matrix(3)+roi_matrix(1):size_crop(2),1)=0;
end
end
end
```

Anhang 26 Code do_bw

```
function pic_bw=do_bw(pic_roi,BW_matrix,roi_matrix)
[y,x,z]=size(pic_roi);
if z==3
    %Gray
    pic_gray=im2bw(rgb2gray(pic_roi),BW_matrix(1));
pic_gray_inv=imcomplement(im2bw(rgb2gray(pic_roi),BW_matrix(2)));
    pic_gray=pic_gray&pic_gray_inv;
    %red
    pic_red=im2bw(pic_roi(:,:,1),BW_matrix(3));
    pic_red_inv=imcomplement(im2bw(pic_roi(:,:,1),BW_matrix(4)));
    pic_red=pic_red&pic_red_inv;
    %green
    pic_green=im2bw(pic_roi(:,:,2),BW_matrix(5));
pic_green_inv=imcomplement(im2bw(pic_roi(:,:,2),BW_matrix(6)));
    pic_green=pic_green&pic_green_inv;
    %blue
    pic_blue=im2bw(pic_roi(:,:,3),BW_matrix(7));
    pic_blue_inv=imcomplement(im2bw(pic_roi(:,:,3),BW_matrix(8)));
    pic_blue=pic_blue&pic_blue_inv;
else
    %Gray
    pic_gray=im2bw(pic_roi,BW_matrix(1));
    pic_gray_inv=imcomplement(im2bw(pic_roi,BW_matrix(2)));
    pic_gray=pic_gray&pic_gray_inv;
    %red
    pic_red=im2bw(pic_roi,BW_matrix(3));
    pic_red_inv=imcomplement(im2bw(pic_roi,BW_matrix(4)));
    pic_red=pic_red&pic_red_inv;
    %green
    pic_green=im2bw(pic_roi,BW_matrix(5));
    pic_green_inv=imcomplement(im2bw(pic_roi,BW_matrix(6)));
    pic_green=pic_green&pic_green_inv;
    %blue
    pic_blue=im2bw(pic_roi,BW_matrix(7));
    pic_blue_inv=imcomplement(im2bw(pic_roi,BW_matrix(8)));
    pic_blue=pic_blue&pic_blue_inv;
end
pic_bw=(pic_gray & pic_red & pic_green & pic_blue);
if BW_matrix(9)==1
    pic_bw=imcomplement(pic_bw);
    if roi_matrix(2)~=0
        pic_bw(1:roi_matrix(2),:,1)=0;
    end
    if roi_matrix(1)~=0
        pic_bw(:,1:roi_matrix(1),1)=0;
    end
    if roi_matrix(4)+roi_matrix(2)~=0
        pic_bw(roi_matrix(4)+roi_matrix(2):y, :, 1)=0;
    end
    if roi_matrix(3)+roi_matrix(1)~=0
        pic_bw(:, roi_matrix(3)+roi_matrix(1):x, 1)=0;
    end
end
pic_bw=bwfill(pic_bw,'holes');
```



Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: Kiesel

Vorname: Max-Julian

dass ich die vorliegende Bachelorarbeit bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

Entwicklung einer
videobasierten Vibrationsmessung
für eine Synchrotronbeamline

ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der -bitte auswählen- ist erfolgt durch:

Hamburg

Ort

29.11.2017

Datum

Unterschrift im Original