

Bachelorarbeit

Entwicklung und Fertigung der Probenwechseleinheit für die elektromagnetische Levitation

Höll Alexander

Beurteiler:

Ao.Univ.-Prof. Dr.techn. Dipl.-Ing. Gernot Pottlacher

Mitbetreuer:

Dipl.-Ing. Thomas Leitner

Graz, April 2018

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen inländischen oder ausländischen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht. Die vorliegende Fassung entspricht der eingereichten elektronischen Version.

Datum

Unterschrift

INHALTSVERZEICHNIS

Abkürzungsverzeichnis	II
1 Einleitung	2
2 Grundlagen der elektromagnetischen Levitation	3
2.1 Messgrößen.....	3
2.2 Physikalische Zusammenhänge	4
2.3 Versuchsaufbau	5
3 Probenwechsler	7
3.1 Motivation	7
3.2 Literaturrecherche & Vergleich mit bestehenden Versuchsaufbauten	8
3.3 Problemstellung / Lastenheft	9
3.3.1 Anforderungen des Experimentators.....	9
3.3.2 Anforderungen der Versuchsumgebung.....	10
3.4 Lösungsansätze & Auswahl.....	11
3.5 Umsetzung	15
4 Diskussion.....	17
4.1 Aktueller Stand	17
4.2 Ausblick & Verbesserungen	17
5 Danksagung.....	18
6 Literaturverzeichnis	18
7 CAD Zeichnungen	19

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

EML	Elektromagnetische Levitation
ESL	Elektrostatische Levitation
PEEK	Polyetheretherketon
PVC	Polyvinylchlorid
ISS	International Space Station

1 EINLEITUNG

Die Aufgabenstellung der Arbeitsgruppe Thermo- und Metallphysik am Institut für Experimentalphysik der TU Graz unter der Leitung von Herrn Ao.Univ.-Prof. Dr.techn. Dipl.-Ing. Pottlacher war es, den Versuchsaufbau der elektromagnetischen Levitation (EML) an der TU Graz zu modernisieren. Einerseits sollte der Versuchsaufbau um eine Probenkühlung erweitert werden, die nicht manuell sondern mittels Massendurchflussregler (Massflowcontroller) gesteuert werden kann. Weiters soll eine Probenwechseinheit konstruiert werden, welche es ermöglicht mehrere Proben in einem Messdurchgang zu untersuchen. Die gesteuerte Probenkühlung wurde im Rahmen der Bachelorarbeit von Florian Kametriser realisiert. Die vorliegende Bachelorarbeit behandelt die Entwicklung und Fertigung der Probenwechseinheit.

In dieser Arbeit werden die Grundlagen und der Versuchsaufbau nur soweit beschrieben wie, es für das Verständnis der Probleme und Entscheidungen in der Entwicklung notwendig ist. Der interessierte Leser wird auf die Dissertationen von Kirmanj Aziz [1], Alexander Schmon [2] und Thomas Leitner [3] verwiesen. Diese Arbeiten gehen detailreich auf die Grundlagen, Aufbau sowie auf das Experiment selbst ein.

2 GRUNDLAGEN DER ELEKTROMAGNETISCHEN LEVITATION

2.1 Messgrößen

Die Oberflächenspannung der Schmelze und deren Temperaturabhängigkeit soll für verschiedene Metalle sowie Legierungen bestimmt werden. Dies ist vor allem für die metallverarbeitende Industrie sehr interessant, z.B. als wichtiger Parameter bei der Simulation von Gießverfahren. Die Oberflächenspannung kann auf verschiedene Weisen bestimmt werden. Jedoch beruhen die meisten Verfahren auf Messung der Formgebung und dem Kräftegleichgewicht bei der Bildung von einzelnen Tropfen. Um einige zu nennen:

- Bügelmethode: Ein Drahtbügel wird in die Flüssigkeit getaucht, und beim Herausziehen wird die Kraft gemessen, welche nötig ist um die Oberflächenspannung zu durchbrechen.
- Messung mittels Kapillareffekt: Die Steighöhe der Flüssigkeit in einer Kapillare ist proportional zur Oberflächenspannung
- Blasendruck Methode (maximum bubble pressure method): Eine Kapillare wird in die Flüssigkeit eingetaucht. Danach wird über die Kapillare ein Druck aufgebaut. Am Ende der Kapillare bildet sich nun eine Gasblase, deren maximale Größe proportional zur Oberflächenspannung ist. [2]
- Pendant-Drop-Methode: Hierbei wird die Größe der Tropfen, die bei einer Kapillare abtropfen, gemessen. Die Tropfengröße ist proportional zur Oberflächenspannung. [1]
- Sessile Tropfen Technik: Hierbei wird ein Tropfen auf eine Oberfläche abgetropft. Der Winkel am Rand des Tropfens zwischen Tropfenoberfläche und Untergrund ist von der Oberflächenspannung abhängig. [2]

Für Metalle eignen sich viele dieser Verfahren nicht aufgrund des hohen Schmelzpunktes und Reinheitsanforderungen. Deshalb wird an der TU Graz die oszillierende Tropfentechnik (oscillating drop technique) verwendet. Bei dieser Methode werden von einem levitierenden Tropfen die zeitlichen Formabweichungen vom Grundzustand (Kugel) gemessen. Die Rücktreibende Kraft (bei kleinen Tropfen) ist die Oberflächenspannung. Damit lässt sich eine Beziehung zwischen den Schwingungen und der Oberflächenspannung herstellen. Jede dieser Abweichungen kann durch Kombination der Schwingungsmoden einer Kugel dargestellt werden. Um diese Abweichungen zu Messen wird eine Hochgeschwindigkeitskamera verwendet. Weiters wird

die Temperatur kontaktlos mittels Pyrometer gemessen. Vorteil der EML ist, dass diese in einer Rezipientenkammer durchgeführt werden kann. In dieser Kammer wird unter einer Schutzgas Atmosphäre gemessen, welche nicht reaktiv für das Metall oder Legierung ist (Argon oder Helium). Somit werden eine Oxidation und Verschmutzung der Probe verhindert.

2.2 Physikalische Zusammenhänge

Wie im vorherigen Abschnitt erwähnt kann durch die Formschwingungen der geschmolzenen Metallkugel die Oberflächenspannung berechnet werden. Dieser Zusammenhang wird mit der Gleichung von Lord Rayleigh [4] beschrieben:

$$v_l^2 = \frac{l(l+2)(l-1)}{3\pi} \frac{\gamma}{M} \quad (1)$$

In dieser Gleichung steht v für die Frequenz der Schwingungsmode und l ist der Index der Schwingungsordnung, M steht für die Masse des Tropfens, γ entspricht der Oberflächenspannung. Diese Gleichung stimmt solange der Tropfen nicht von Gravitation beeinflusst (Weltall) wird, oder dieser Einfluss vernachlässigbar klein wird z.B. auf der International Space Station (ISS) wo nur Mikrogravität (μg) herrscht. Sobald dieses Experiment unter terrestrischen Bedingungen durchgeführt wird, muss eine Korrektur eingeführt werden. Durch die Gravitation spalten sich die Frequenzen der Schwingungsmoden auf. Die v_2 Mode spaltet sich in diesem Fall in $v_{2,0}$ $v_{2,\pm 1}$ $v_{2,\pm 2}$ auf. Wendet man diese Korrektur auf die Gleichung von Lord Rayleigh an und formt diese auf γ um, ergibt sich folgender Zusammenhang (Korrektur von Cummings und Blackburn) [5]:

$$\gamma = \frac{3}{8} \pi M (v_2^2 - v_1^2 (1.9 + 1.2 \frac{z_0^2}{R^2})) \quad (2)$$

$$z_0 = \frac{g}{2(2\pi v_T)^2} \quad (3)$$

$$v_1^2 = \frac{1}{3} \sum_{m=-1}^1 v_{1,m}^2 \quad (4)$$

$$v_2^2 = \frac{1}{5} \sum_{m=-2}^2 v_{2,m}^2 \quad (5)$$

R steht für den Radius der Kugel und g für die Gravitationsbeschleunigung. Um die Oberflächenspannung zu bestimmen, muss die Masse, der Radius sowie die Schwingungsmoden gemessen werden.

2.3 Versuchsaufbau

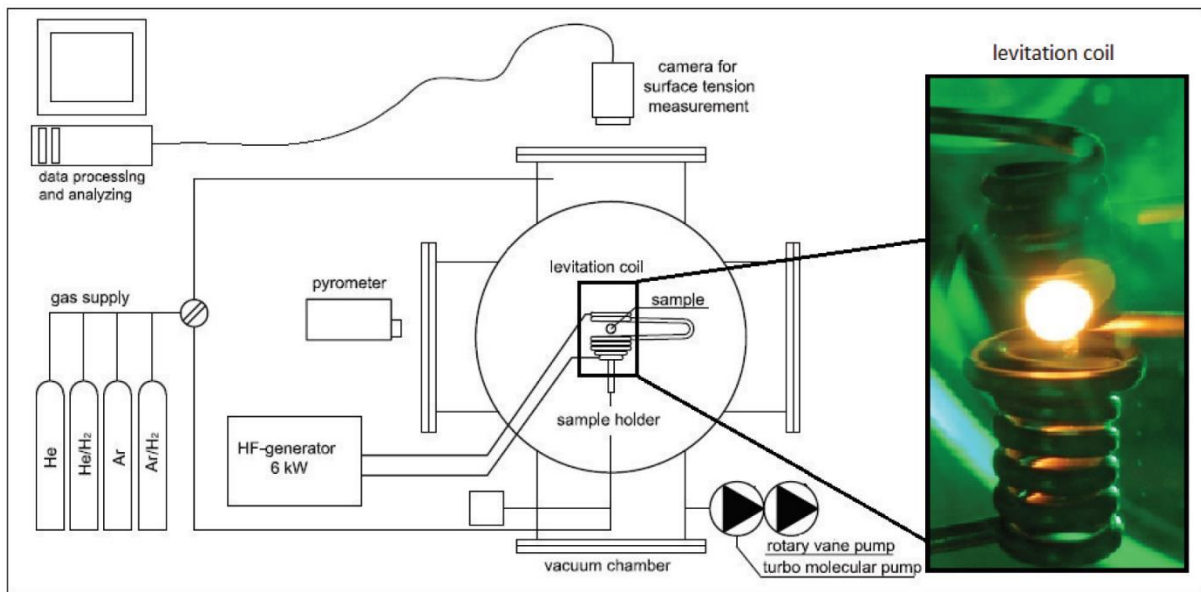


Abbildung 1: Schematischer Versuchsaufbau der EML [1]

Bei der EML wird die Probe durch ein elektromagnetisches Wechselfeld zum Schweben gebracht. Durch das elektromagnetische Wechselfeld wird die Probe auch geheizt und somit aufgeschmolzen. Der Aufbau der EML besteht vereinfacht aus einer Rezipientenkammer, Frequenzgenerator, Vakuumpumpen, Edelgasversorgung, Levitationsspule, Hochgeschwindigkeitskamera, Pyrometer, Druckmessgeräte, Kühlsystem.

Die Spule für die Levitation wird dabei aus einem dünnen Kupferrohr gebogen. Durch das Rohr wird im Betrieb Wasser zur Kühlung geleitet.

Die Probe wird von unten in die Spule eingeschoben bis sie in der Mitte zwischen oberen und unteren Spulenhälfte ist. Die Spulengeometrie ist in Abbildung 2 [2] zu sehen. Grau schraffiert kennzeichnet den Bereich wo sich die Probe bewegt.

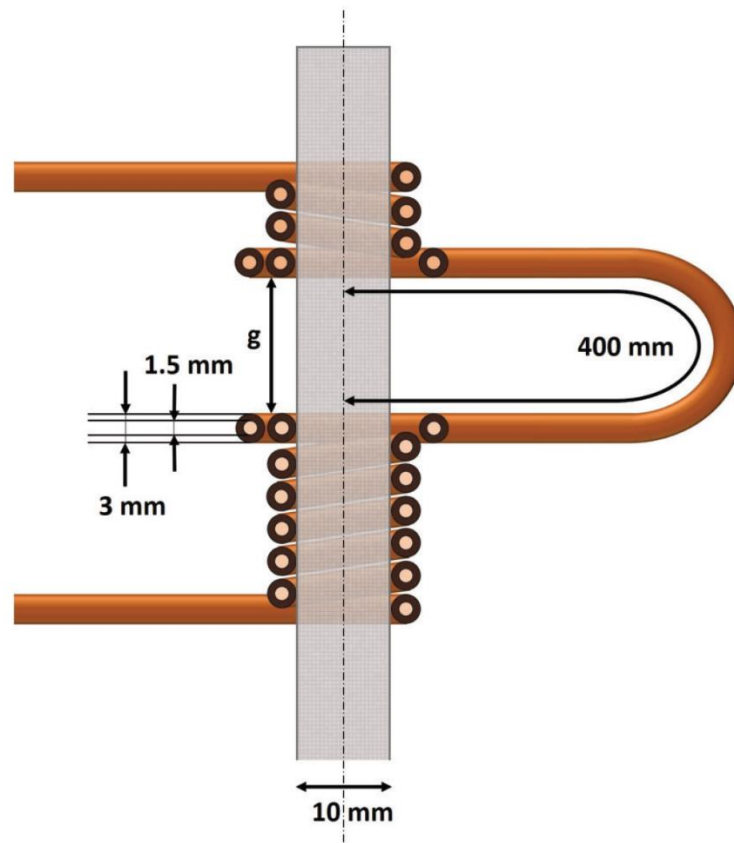


Abbildung 2: Querschnitt Spule, im Grauen Bereich wird die Probe bewegt. (Figure 4.5. S.56)[2]

Bei der Versuchsdurchführung werden folgende Schritte durchlaufen:

- Probe einsetzen
- Rezipientenkammer wird evakuiert (typisch auf 5×10^{-6} m Bar) um eine Sauerstofffreie Umgebung zu schaffen.
- Kammer wird geflutet mit Edelgas (auf ca. 800 m Bar) da die Kühlung der Probe durch Konvektion geschieht
- Levitation und Aufschmelzen der Probe
- Messung mittels Pyrometer und Hochgeschwindigkeitskamera zur Bestimmung Temperatur sowie Schwingungsmoden.
- Kühlen der Probe mittels Gasstrahl bis sie erstarrt
- Probe wird wieder aufgefangen um nach dem Experiment die Masse zu bestimmen (Abdampfen von Legierungsbestandteilen)

3 PROBENWECHSLER

3.1 Motivation

Wie in Kapitel 2.3 beschrieben bedarf es einiger Vorarbeit bis die eigentliche Messung beginnt. Dabei nimmt das Evakuieren der Kammer den größten Teil der Zeit in Anspruch (ca. vier bis fünf Stunden). Nach erfolgter Messung muss die Kammer wieder geöffnet werden, um per Hand die nächste Probe einzubringen. Danach muss erneut die Kammer evakuiert werden, was weitere vier bis fünf Stunden Wartezeit zur Folge hat. Deshalb können bisher maximal zwei Proben pro Tag untersucht werden. Im schlimmsten Fall misslingt die Messung (beispielsweise die Probe fällt aus Magnetfeld) damit ist ein halber Tag verloren.

Manche Legierungsbestandteile dampfen durch ihren, im Vergleich zu den anderen Legierungsbestandteilen hohen Dampfdruck sehr schnell ab sobald die Legierung aufgeschmolzen wird. Dies hat zur Folge, dass manche Messungen nur für eine kurze Zeit möglich sind, da sich während der Messung die Zusammensetzung der Legierung laufend ändert. Die Abdampfrate lässt sich durch folgenden empirischen Zusammenhang [6] beschreiben:

$$v = v_0 \frac{1}{1 + K_1 d_D p_G}$$

In dieser Formel steht p_G für den Umgebungsdruck, v_0 beschreibt die Abdampfrate im Vakuum ($p_G = 0$), d_D ist die Dicke der Grenzschicht die vom Metall bis zu dem Punkt in der Atmosphäre geht, wo der Partialdruck des Gases null wird. K_1 ist eine Konstante in der die physikalischen Zusammenhänge zwischen Gas und Metall stecken. Um eine Verringerung der Abdampfrate zu erreichen, können wir verschiedene Gase probieren um ein günstigeres K_1 zu erhalten. Aber wir sind experimentell an Argon und Helium gebunden. Die zweite Möglichkeit ist es den Druck (p_G) zu erhöhen. Zu diesem Thema wurden schon Versuche gemacht z. B. vom Max-Planck-Institut für Metallforschung [6]. Jedoch zeigte sich, dass für die flüchtigeren Bestandteile eine Atmosphäre größer als 10^6 Pascal nötig ist, da bei geringerem Druck der Effekt nicht stark genug ist. Solche Drücke würden einen kompletten Umbau der Apparatur bedeuten da diese nicht für entsprechenden Überdruck geeignet ist.

Wenn man nur einen Messpunkt aufnimmt und für weitere Messpunkte frische Proben verwendet, wirkt sich das Abdampfen nicht so stark auf die Messung aus. Doch dies stellt sich als sehr zeitintensiv dar, wenn pro Probe vier bis fünf Stunden evakuiert werden muss. Somit würde eine Messreihe etliche Tage dauern.

Aus diesen Beweggründen wurde der Entschluss gefasst einen Probenwechsler in Auftrag zu geben, um effizienter Messen zu können. Auch würde dies ermöglichen spezielle Legierungen mit sehr flüchtigen Bestandteilen zu untersuchen, die vorher aufgrund des Zeitaufwandes nicht möglich waren.

3.2 Literaturrecherche & Vergleich mit bestehenden Versuchsaufbauten

Als Erstes haben wir recherchiert ob und wie andere Arbeitsgruppen dieses Problem gelöst haben. Da es weltweit nur sehr wenige Arbeitsgruppen gibt, die einen EML Versuchsaufbau betreiben, ließ sich hier nicht sehr viel finden.

Ein EML Versuchsaufbau befindet sich auf der ISS. In dieser Versuchsanlage befindet sich ein Probenkarussell unterhalb der Spule. In diesem befinden sich mehrere Probenhalter, welche durch einen Mechanismus von „unten“ in das Magnetfeld eingeschoben werden. Der Kopf des Probenhalters besteht aus einem Wolfram Käfig in dem sich die Probe befindet (Abbildung 3). Dieser dient dazu, dass keine der Proben in der Mikrogravität der ISS „davonfliegen“ kann, wenn sich die Probe gerade nicht im elektromagnetischen Feld der Spule befindet. Leider gibt es keine genaueren Bilder oder Erklärungen zu dem Mechanismus. Dieses Konzept ist für die Mikrogravitation



Abbildung 3: RF Coil System auf der ISS mit Wolfram Käfig und flacher Spulenausführung [7]

ausgelegt die auf der ISS herrscht. Dadurch ist die Spulengeometrie eine andere, da diese die Schwerkraft nicht kompensieren muss. Das bedeutet, dass die Spule flach ausgeführt werden kann und damit einen größeren Innendurchmesser unterstützt als ein Aufbau auf der Erde.

Am DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) Institut für Materialphysik im Welt- raum gibt es auch zwei Aufbauten zu dem Thema EML & ESL. Aber es lies sich nicht eruieren ob sie über einen Probenwechsel-Mechanismus verfügen.

Wie die Recherche zeigt gibt es nach unserem Kenntnisstand noch keine einfache & kosten- günstig anwendbare Lösung für unseren Fall.

3.3 Problemstellung / Lastenheft

Nach der eher erfolglosen Recherche über die EML & ESL Versuchsaufbauten galt es als ersten Schritt zu definieren, was wir von dem Probenwechsler erwarten und welche Anforderungen aufgrund der Versuchsumgebung an diesen gestellt werden.

3.3.1 Anforderungen des Experimentators

- Die Proben müssen geschützt in dem Karussell gelagert werden. Bei der Versuchsdurchführung verdampft ein Teil der Probe. Dieser Metalldampf soll sich nicht direkt auf die anderen Proben ablegen können.
- Das Probenkarussell soll mindestens 8 Proben halten können.
- Die Abdeckung des Probenkarussell soll nach Möglichkeit durchsichtig sein.
- Mechanische Justierung/Feinabstimmung des Mechanismus.
- Rastbare Positionen / Indizierung der Probenpositionen.
- So wenig fehleranfällig wie möglich
- Eindeutige Zuordnung der Proben am Ende des Experimentes
- Proben sollen mehrmals angefahren werden können
- Material und Fertigungskosten sollen 1000 € nicht übersteigen
- Verwendung bestehender Durchführungen und Mechanismen an der Apparatur
 - Momentan sind nur eine Lineardurchführung und eine Gasdurchführung verbaut. Weiters ist eine Rotationsdurchführung auf Lager. Diese sollten nach Möglichkeit verwendet werden. Es soll vermieden werden, neue Durchführungen hinzuzufügen um die Leckrate sowie die Kosten gering zu halten.

3.3.2 Anforderungen der Versuchsumgebung

- Die Spule zur Levitation/Heizung wird mit einer Spannung von 400 V betrieben und erreicht eine Stromstärke von bis zu 350 A, bei einer Frequenz von 380 kHz. Jede verwendete Elektronik muss dementsprechenden großen Abstand oder Schirmung aufweisen. Bauteile in der Nähe der Spule dürfen keine elektrische Leitfähigkeit aufweisen. Der Innendurchmesser der Spule beträgt 10 mm. Die Spule ist nicht isoliert und kann eine Betriebstemperatur von über 100° C erreichen. Einziges Indiz hierfür ist Abwassertemperatur von ~70°. Dadurch müssen Bauteile in der Nähe der Spule mäßig Hitzebeständig sein.
- Zu Beginn des Versuchs wird die Kammer auf 5×10^{-6} m Bar ausgepumpt. Danach wird die Kammer mit einem Gas geflutet (Argon/Helium) und der Druck bei etwa 800 m Bar konstant gehalten. Damit müssen alle verwendeten Werkstoffe sowie Bauteile dementsprechend Vakuumtauglich sein. Auch der Aufbau des Probenwechslers darf keine versteckten Gaseinschlüsse bilden z. B. Sackloch bei Schrauben.
- Die Probe erreicht bei der Levitation eine Temperatur von bis zu 2000° C. Beim Auffangen der Probe beträgt die Temperatur schätzungsweise noch mindestens 300° C. Das Gewicht der Proben variiert zwischen 100 mg bis 1000 mg. Der Durchmesser ist im Bereich von $4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$. Die Probe ist beim erstmaligen Messen noch nicht kugelförmig (z. B. Quaderförmig, Zylinder), nach dem Experiment eine Kugel. Aufgrund der hohen Temperaturen der Probe muss eine gewisse Hitzebeständigkeit oder Abschirmung gegeben sein, damit beim Herausfallen der Probe nicht der Probenwechsler beschädigt wird.
- Die levitierte Probe muss während des Versuches gekühlt werden. Dazu wird die Probe mit einem Gasstrahl angeblasen. Dies sollte, wenn möglich, von unten passieren, damit die Probe nicht aus dem Magnetfeld gestoßen wird, wie es bei einer seitlichen Anordnung der Fall wäre. Die Kühlleistung muss dementsprechend variiert werden. Entweder durch Variation im Abstand oder im Volumenstrom. Die Steuerung des Volumenstromes ist Teil der Bachelor Arbeit von Florian Kametriser.

3.4 Lösungsansätze & Auswahl

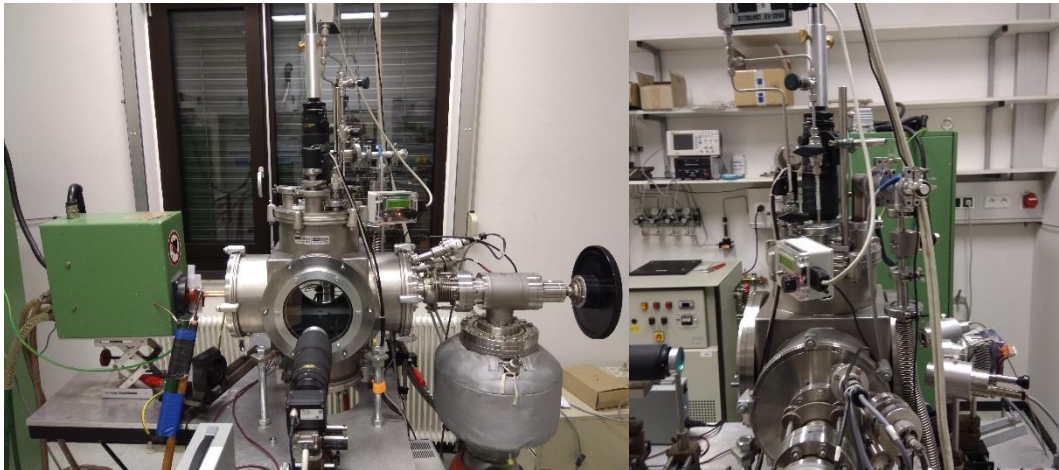


Abbildung 4: Versuchsaufbau EML an der TU Graz

Der Versuchsaufbau bietet in der Vakuumkammer sehr wenig Platz für weitere Anbauten (Abbildung 4). An der Vorderseite und Hinterseite befindet sich ein Fenster in der Vakuumkammer und dahinter muss der Platz frei bleiben um nicht den Blick des Pyrometers oder des Experimentators zu versperren. Auch oberhalb ist kein Platz da hier die Gasdurchführungen und Optik für die γ -Messung installiert sind. In dem linken und rechten Teil der Kammer verlaufen freiliegend die Spulenleitungen von denen genügend Abstand gehalten werden muss. Somit ist nur der untere Teil der Kammer verfügbar, um einen Probenwechsler einzubauen.

Weiters befindet sich unten die Lineardurchführung, welche 2 Freiheitsgrade besitzt. (eine Translation und eine Rotation um die Translationsrichtung).

Die erste und naheliegendste Idee ist die Ausführung des Probenwechsler als Probenkarussell. Die Proben sollen auf einem drehbaren Teller gelagert werden und von dort aus in die Mitte des Versuchsaufbaus befördert werden.

Die nächste Problemstellung die es zu lösen gibt nachdem die Position und Art des Probenkarussells bestimmt wurden, ist wie die Proben gelagert werden sowie deren Beförderung. Die Proben sollen so gelagert werden, dass sie voneinander unterscheidbar sind, sowie nicht bei Bewegung des Probenkarussells herausfallen. Hierzu ist unsere Idee die Proben auf Hülsen zu lagern welche im Probenkarussell stehen. Diese Hülsen werden dann von unten mittels Lineardurchführung nach oben geschoben, durch den unteren Teil der Spule. Durch diesen Mechanismus ließ sich auch die Kühlung der Probe führen, indem man durch die Lineardurchführung das zu kühlende Gas leiten würde. Dieser Ansatz erschien als der einfachst mögliche in unserem

Fall, da die Kühlung von der Seite dazu führen könnte die Probe aus dem Magnetfeld zu stoßen oder Oszillationen anzuregen. Somit blieb nur die Möglichkeit der Kühlung von unten.

Nun ist die Fragestellung der Drehung des Probenkarussells. Die einfachste Lösung wäre mittels Rotationsdurchführung, die direkt mit der Achse des Probentellers verbunden ist. Die Fixierung der Positionen bei dem Weiterdrehen des Probentellers könnte sehr einfach durch eine Metallfeder / Bügel gemacht werden welcher in einer Kerbe einrastet. Um die Position zu verlassen ist nun ein spürbarer erhöhter Widerstand zu überwinden, welchem dem Experimentator vermittelt, dass er sich gerade in Position befindet um die Probe aufzunehmen, und nicht zwischen zwei Probenplätzen. Eine weitere Möglichkeit wäre, den Drehteller mittels Schrittmotors zu automatisieren und vorgegebene Positionen anzufahren. Dies würde aber bedeuten, dass neue elektrische Durchführungen installiert werden müssen sowie sicherzustellen, dass die Elektronik Vakuum-tauglich ist. Weiters muss diese gut gegenüber unserem Experiment geschirmt sein. Darum beschränkten wir uns bei der Suche nach alternativen Lösungen nur auf mechanische.

Nach einiger Recherche stießen wir auf das Malteserkreuzgetriebe. In Abbildung 5 ist der schematische Aufbau gezeigt. Hierbei wird eine kontinuierliche Drehbewegung in eine mit einer festen Schrittweite übersetzt. Dabei durchläuft das Abtriebsrad Rastzeiten und Antriebszeiten. Während der Rastzeiten ist das Abtriebsrad mechanisch gesperrt. Dieser Mechanismus bietet trotz seines komplexeren Aufbaus mehrere Vorteile für uns. Aus einer kontinuierlichen Drehbewegung werden Schritte die den Probenpositionen entsprechen. Weiters sperrt der Mechanismus jede Position für mehr als eine halbe Umdrehung, was es für den Experimentator einfach macht verschiedene

Positionen anzufahren und diese zu halten. Durch die genannten Vorteile ist das Malteserkreuzgetriebe eine gute und nicht zu komplexe Lösung unseres Problems.

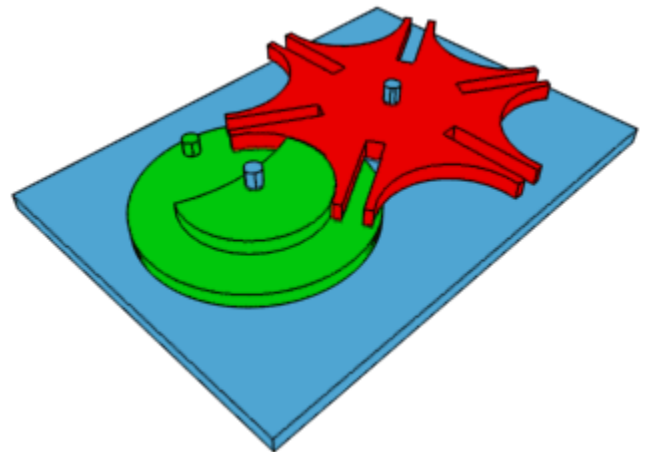


Abbildung 5: Darstellung des Funktionsprinzips des Malteserkreuzgetriebes [8]

Jetzt wo wir eine grobe Vorstellung davon haben wie eine Lösung ausschauen könnte, wurde ein erster Entwurf in einem CAD Programm (Autodesk Inventor 2017) erstellt. In Abbildung 6 ist dieser zu sehen.

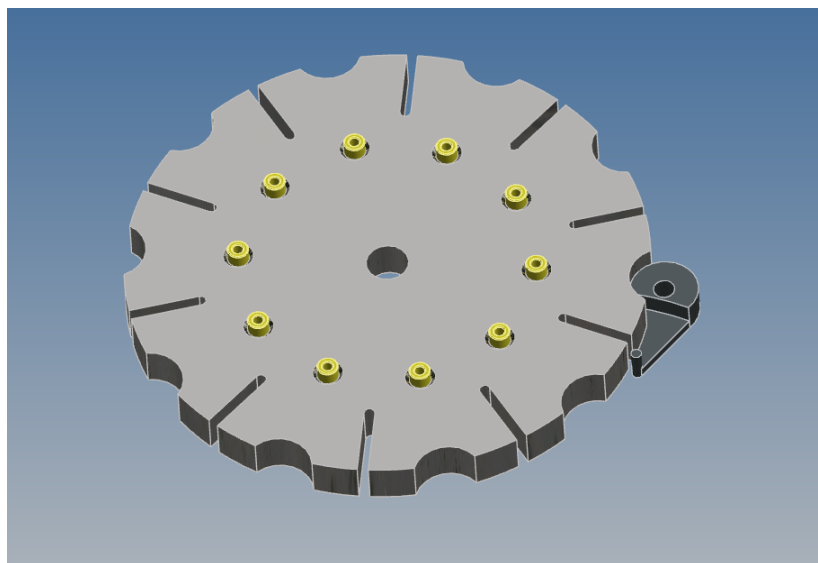


Abbildung 6: Erster Entwurf des Probentellers, Gelb sind die Probenhalterungen

Wie dieser erste Entwurf zeigt ist der Probenteller für 10 Proben schon sehr groß. Der Probenteller besitzt hier einen Durchmesser von 24 cm. Zum Vergleich: der quadratische Teil des Innenraums der Probenkammer hat nur 24,6 cm x 24,6 cm x 24,6 cm (Abbildung 7).

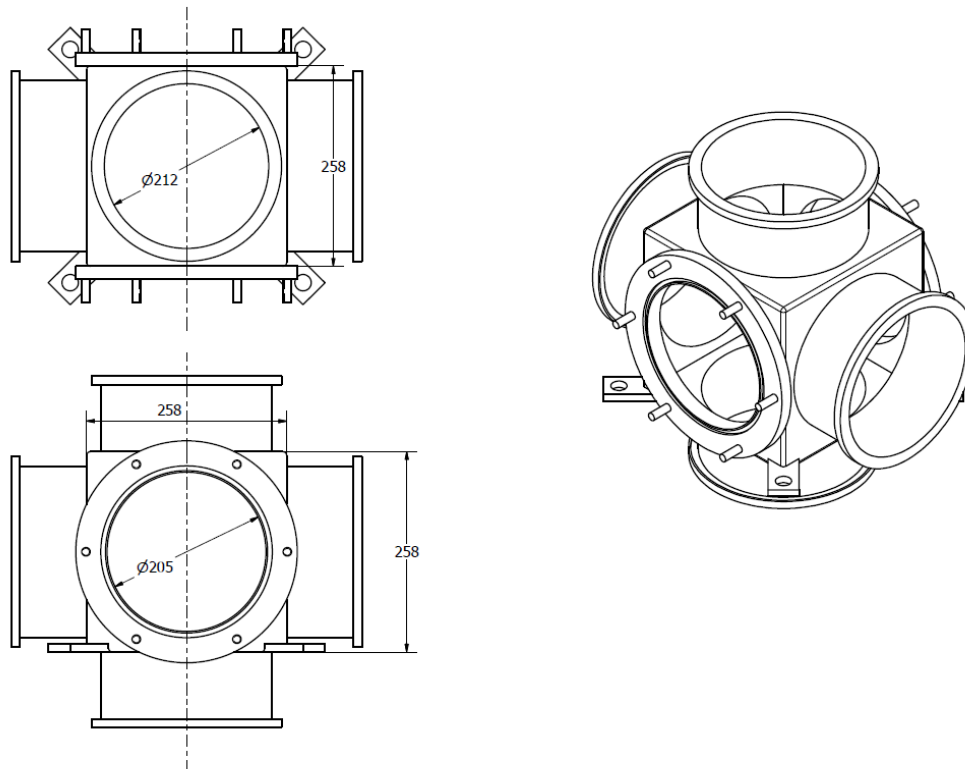


Abbildung 7: Rezipientenkammer, Maße in mm

Aufgrund der Geometrie des Malteserkreuzgetriebes lässt es sich für 10 Proben nicht viel kleiner ausführen, ohne mechanische Festigkeitslimit herkömmlicher Materialien zu unterschreiten. Wenn wir jedoch diesen Mechanismus von einem Probenkarussell auf ein lineares Probenmagazin anwenden, verringert sich der Platzbedarf signifikant. Somit wäre das Probenmagazin vom Prinzip her ähnlich zu dem eines Diaprojektors.

Somit steht das Grundkonzept fest. Der Probenwechsler soll eine lineare Ausführung des Malteserkreuzgetriebes zur Probenbewegung haben. Die Probe wird von Unten mittels Gasstrahl gekühlt. Verwendet werden soll nur die verbaute Lineardurchführung und verfügbare Drehdurchführung, die bereits vorhanden sind. Auch soll die Probe auf einem Probenhalter gelagert werden welcher von der Vorrichtung aufgenommen und durch die Spule ins Magnetfeld eingebracht wird.

3.5 Umsetzung

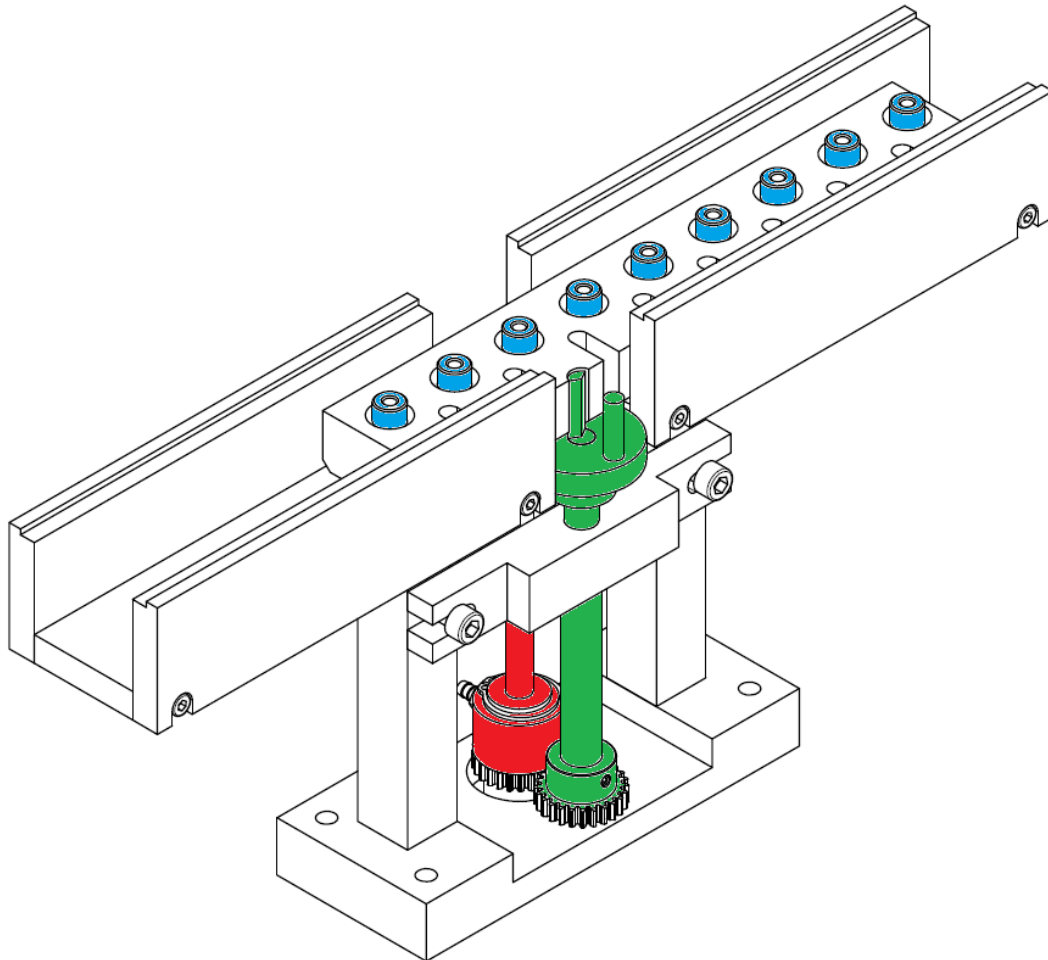


Abbildung 8: Isometrische Darstellung des Probenwechslers, Rot – Grün antrieb mit Malteserkreuzgetriebe, Blau Probenhalterungen

In Abbildung 8 ist der fertig geplante Probenwechsler zu sehen. Bei der Umsetzung gelang es nur mithilfe der vorhandenen Lineardurchführung den gesamten Probenwechsler zu bedienen. Dabei wird durch Rotation der Lineardurchführung über ein Zahnrad das Malteserkreuzgetriebe angetrieben (Rot – Grün in Abbildung 8). Nachdem eine Probenposition angefahren ist, kann mit der Lineardurchführung eine Probe nach oben zur Spule befördert werden (Rot – Blau in Abbildung 8). Die Proben werden dabei auf den blauen Zylindern gelagert. Diese werden von unten mittels eines hohlen Dornes am Ende der Lineardurchführung (Rot) aufgenommen.

Der Gasanschluss für die Kühlung (Gelb Abbildung 9) befindet sich auf der Verlängerung der Lineardurchführung. Das Gas wird durch den Dorn und die Hülse geleitet. Dabei ist der Gasanschluss auf einer drehbar gelagerten Hülse befestigt um die Drehung der Lineardurchführung nicht zu behindern. Weiters greifen die Zahnräder nur ineinander, wenn sich die Lineardurchführung in der untersten Stellung befindet. Somit wird sichergestellt, dass kein Weiterdrehen des Probenwechslers möglich ist wenn eine Probe angehoben wird. Über den Probenhalterungen (Blau Abbildung 9) sind mehrere Macorplatten (dunkles blau in Abbildung 9) angebracht um die Proben zu schützen. Macor ist eine spanend bearbeitbare Keramik. Nur in der Mitte der mittleren Macorplatte befindet sich ein Loch um die gerade ausgewählte Probe heben zu können. Auch die Probenhalterungen/Hülsen sind aus Macor gefertigt. Das Malteserkreuzgetriebe und der Dorn (Verlängerung der Lineardurchführung) wurden aus dem Kunststoff PEEK (Polyetheretherketon) gefertigt. Dieser Kunststoff bietet eine hohe Temperaturstabilität von ca. 330°C. Die Glasatemperatur (plastisch) leider schon bei 150°C. Der Dorn kommt in Berührung mit der Spule und muss somit temperaturbeständiger sein. Teile des Malteserkreuzgetriebes liegen frei und es besteht die Gefahr von herausfallenden Proben getroffen zu werden. Die Zahnräder sind Zukaufteile

und aus Edelstahl. Die Teile welche die Verbindung zwischen dem Dorn, Zahnrad und der Lineardurchführung ausmachen sind weit genug von der Spule weg und durch den Probenwechslers selbst geschützt und konnten somit aus Aluminium gefertigt werden. Für die restlichen Teile, bei denen eine geringer Temperaturbelastung erwartet wird, wurde PVC verwendet.

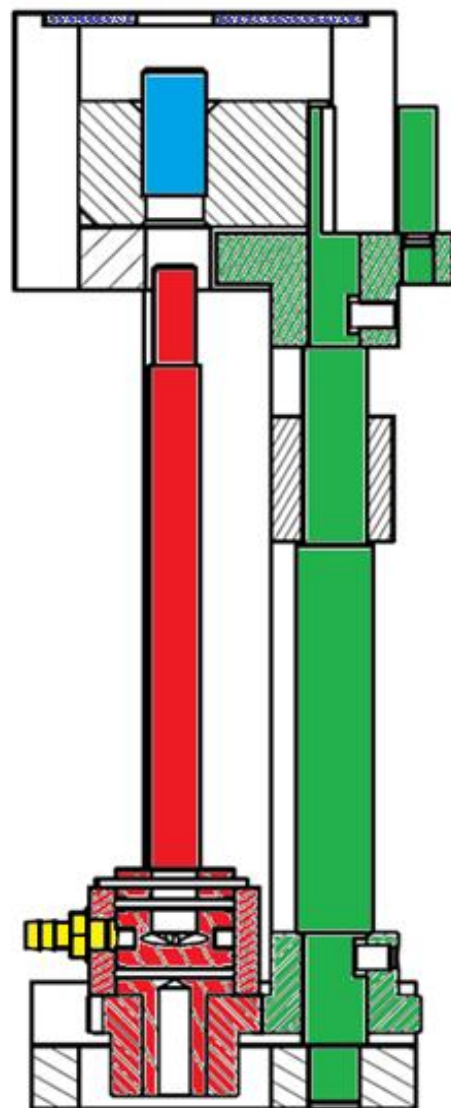


Abbildung 9: Probenwechsler im Querschnitt, Blau Probenhalterung, Grün Malteserkreuzgetriebe und Zahnrad, Rot Dorn und Zahnrad, Gelb Gasanschluss

4 DISKUSSION

4.1 Aktueller Stand

Der Probenwechsler ist von der hauseigenen Feinmechanik Werkstätte des Instituts für Experimentalphysik der TU Graz gefertigt worden. Nach der Fertigung mussten noch kleine Modifikationen vorgenommen werden. Die Nut für die Dichtungen war zu klein dimensioniert sowie die Halterung für den Schlitten hatte zu viel Spiel. Nachdem diese Adaptionen vorgenommen wurden, konnte der Probenwechsler ausführlich getestet werden. Der Probenwechsler erbrachte sofort die erwartete zeitliche Einsparung. Auch der Macordeckel hielt einer herausfallenden Probe stand. Lediglich eine auf die Seitenwand des Probenwechsler fallende Probe verformte diese leicht. Dies erschwert nun das Herausnehmen des kompletten Schlittens. Auch beim Aufnehmen und Absetzen von Proben zeigt sich, dass vom Experimentator Feingefühl gefordert ist um ein Verkanten des Probenhalters im Schlitten zu vermeiden.

4.2 Ausblick & Verbesserungen

Wie vorher erwähnt, benötigt das Aufnehmen der Probenhalterungen etwas Geschick des Experimentators. Ursache hierfür ist, dass die Löcher in denen sich die Probenhalterungen befinden zu groß gewählt worden sind. Somit kann es passieren, dass sich diese verkantet. Auch beim Absetzen der Probe kann es zu Schwierigkeiten kommen das Loch exakt zu treffen. Diese Problematik ergibt sich dadurch, dass die Lineardurchführung ein leichtes Spiel hat und sich in jede Richtung minimal kippen lässt. Um bei beiden Probleme Abhilfe zu schaffen, sollen die Bohrungen im Schlitten konisch ausgeführt werden. Somit ist die Position leichter zu treffen. Am unteren Ende des Konus wo das Verkanten ein Problem ist, kann dieser sehr eng ausgeführt werden.

Momentan ist der Durchmesser der Probenhalterungen in etwa der des Innendurchmessers der Spule. Durch Adaptierungen der Spule ist die Achse der Spule nicht exakt in der Flucht mit der Achse der Lineardurchführung. Dies führt dazu, dass beim Einbringen durch die Spule die Probenhalterung leicht stecken bleibt. Dazu wird demnächst eine neue Spule gewickelt um diese Problematik zu beheben.

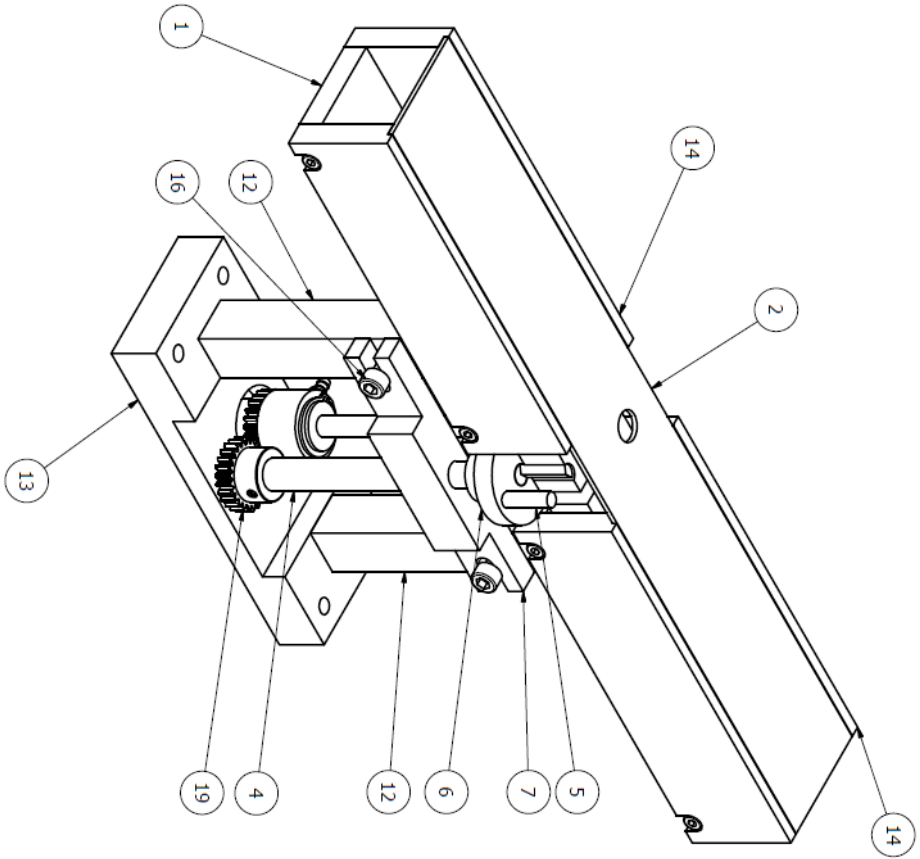
5 DANKSAGUNG

Ich möchte mich bei Herrn Ao.Univ.-Prof. Dr.techn. Dipl.-Ing. Gernot Pottlacher für die Bereitstellung des Arbeitsthemas bedanken, weiters auch bei Dipl.-Ing. Thomas Leitner für die Betreuung der Bachelorarbeit sowie auch die sehr zeitintensive Unterstützung in der Entwicklungsphase des Probenwechslers. Auch einen großen Dank der Feinmechanik Werkstätte des Instituts für Experimentalphysik der TU Graz für die Fertigung des Probenwechslers.

6 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] K. Aziz, “Surface Tension Measurements of Liquid Metals and Alloys by Oscillating Drop Technique in combination with an Electromagnetic Levitation Device,” Graz University of Technology, 2016.
- [2] A. Schmon, “Density Determination of Liquid Metals by Means of Containerless Techniques,” Graz University of Technology, 2016.
- [3] T. Leitner, “Thermophysical properties of liquid aluminium determined by means of electromagnetic levitation,” Graz University of Technology, 2016.
- [4] L. Rayleigh, “On the Capillary Phenomena of Jets,” *Proceedings of the Royal Society of London*, vol. 29, no. 196–199, pp. 71–97, Jan. 1879.
- [5] D. L. Cummings and D. A. Blackburn, “Oscillations of magnetically levitated aspherical droplets,” *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 224, pp. 395–416, Mar. 1991.
- [6] E. Fromm, “Reduction of metal evaporation losses by inert gas atmospheres,” *Metallurgical Transactions A*, vol. 9, no. 12, pp. 1835–1838, Dec. 1978.
- [7] spaceflight101, “RF Coil System Image Airbus Defence & Space,” <http://spaceflight101.com/iss/electromagnetic-levitator/> 01.04.2019.
- [8] Wikipedia, “Malteserkreuzgetriebe,” https://de.wikipedia.org/wiki/Malteserkreuzgetriebe#/media/File:Geneva_mechanism_6s_poke_animation.gif 01.04.2019.

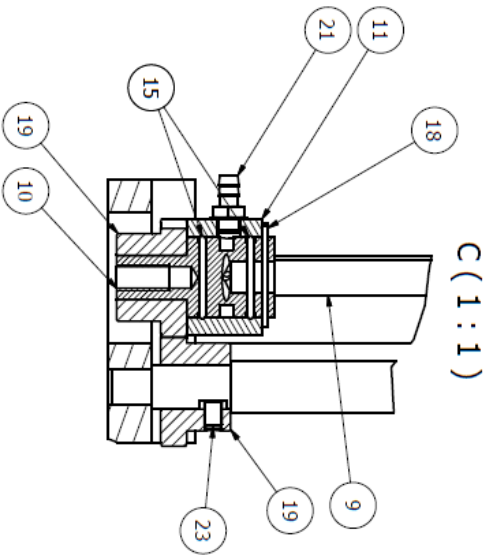
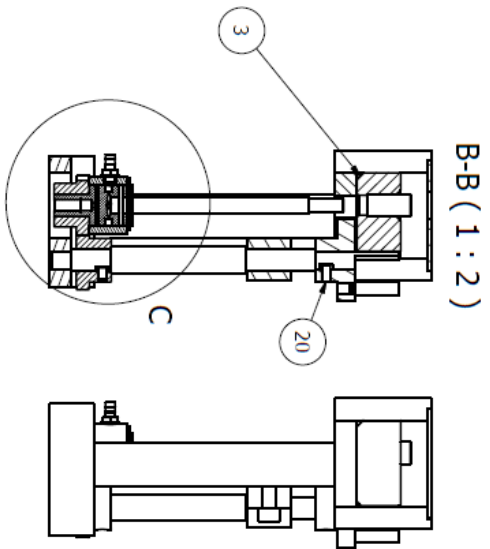
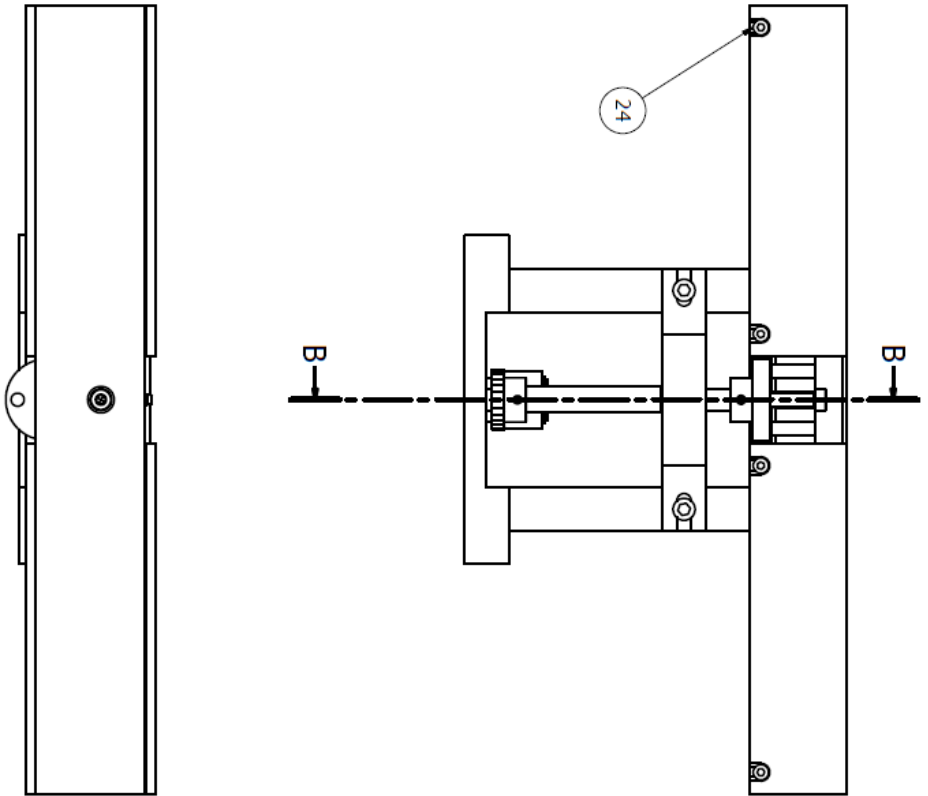
7 CAD ZEICHNUNGEN



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1		10x53x360
2	1		2x45x360
3	1		20x40x229
4	1		010x158
5	1		06x28
6	1		037x18
7	1		19x20x120
8	9		010x20
9	1		07,2x106
10	1		018,4x36
11	1		026,5x17,1
12	2		20x20x110
13	1		20x60x150
14	4		10x44x160
15	2		016x1,5
16	2		Hexagon Socket Head Cap Screw
17	2		ISO 4762 - M4 x 20
18	1		DIN 471 - 18 x 1,2
19	2		GEAB1,0-25-6-B-10
20	1		DIN 913 - M4 x 8
21	1		SRTG6N
22	2		ISO 4762 - M8 x 25
23	2		DIN 913 - M4 x 6
24	8		ISO 4762 - M4 x 12

Designed by	Checked by	Approved by	Date	Scale	Date
Alexander Hill			19.02.2018	1 : 1,5	19.02.2018

Zusammenbau		Edition	Sheet
		1	2



Designed by Alexander Hill	Checked by	Approved by	Date Scale 1 : 2	Date 19.02.2018
Zusammenbau			Edition	Sheet 2 / 2