

Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (<http://www.ub.tuwien.ac.at>).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (<http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/>).



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

Diplomarbeit

Entwicklung eines Blendensystems zur
Geschwindigkeitsselektion für das qBounce Experiment.

ausgeführt am

Atominstitut

der Technischen Universität Wien

unter der Anleitung von Univ.Prof. Dipl.-Phys. Dr.rer.nat. Hartmut Abele
und Univ.Ass. Dipl.-Phys. Dr. Tobias Jenke

durch
Thomas Bittner
Hardeggasse 65A/3/11, 1220 Wien

Datum

Unterschrift

Kurzzusammenfassung

In dieser Arbeit wird die Überarbeitung des Blendensystems zur Geschwindigkeitsselektion von Neutronen für das qBounce Experiment beschrieben. Ziel der Überarbeitung war es, das Blendensystem besser an unterschiedliche experimentelle Aufbauten anpassen zu können und gleichzeitig die Zählrate zu erhöhen. Um dies zu ermöglichen, wurde noch ein Blendengehäuse entwickelt, damit das Strahlrohr für die Neutronen direkt an das Experiment geflanscht werden kann. Damit ist es möglich, die Zählrate im Experiment um 3,25 % zu steigern. Außerdem wurde untersucht, ob die für das Experiment ausgesuchte Aluminiumfolie als Eintrittsfenster für die Neutronen stark genug ist, die im Experiment auftretende Wechselbelastung zu überstehen und so 50 Tage im Experiment eingesetzt werden zu können. Weiters wurde abgeschätzt, mit welchen Messfehlern bei der Einstellung im Experiment zu rechnen ist und worauf bei der Einstellung geachtet werden muss.

Zusätzlich zum Blendensystem und Blendengehäuse wurden noch 3-achsige Magnetometer für das Experiment kalibriert und für das Experiment vorbereitet. Dabei ging es um die Frage, wie sich der Sensor in Abhängigkeit von der Eingangsspannung verhält und wie aus dem Messsignal das Magnetfeld erhalten werden kann.

Abstract

Within this diploma thesis a new shutter system for velocity selection of neutrons for the qBounce experiment was developed. Aim of the new development was to be able to adjust the shutter system to new experimental setups and to simultaneously increase the count rate. To enable this, a new housing had to be developed so the beamline could be attached directly to the experiment. So it was possible to increase the count rate by 3,25 %. It was also investigated whether the chosen aluminium foil is strong enough to be used as an entrance window for the experiment. Furthermore, it was estimated how measurement errors could influence the setting of the shutter system and what has to be paid attention to, when setting up the shutter system.

In addition to the shutter system and the housing, 3-axis magnetometers were calibrated and prepared for the experiment. With the knowledge from the calibration, it is possible to determine what kind of power source is needed for the magnetometer.

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	5
1.1. Das qBounce Experiment	5
1.1.1. Experimenteller Aufbau	6
1.1.2. Motivation des Experiments	8
1.2. Das Blendensystem B2	12
2. Die Konstruktion des neuen Blendensystems und des Vakuumgehäuses	14
2.1. Die Funktionsweise des Blendensystem B1	14
2.2. Das bisherige Blendensystem B1	15
2.3. Anforderungen an das neue Blendensystem	16
2.4. Die Konstruktion des Vakuumgehäuses	18
2.4.1. Der Gehäusegrundkörper	18
2.4.2. Strahlrohr-Verstellmechanismus	20
2.4.3. Strahlrohrflansch	20
2.5. Simulation des Vakuumgehäuses	21
2.6. Die Konstruktion des neuen Blendensystems B1	22
2.7. Abschätzung der Auswirkung möglicher Messfehler	25
2.7.1. Offset in x-Richtung	25
2.7.2. Offset in z-Richtung	26
2.7.3. Schrägstellung in z-Richtung	26
2.7.4. Schrägstellung in x-Richtung	27
3. Testen des Blendensystems und des Vakuumgehäuses	31
3.1. Drucktests der Aluminiumfolie	31
3.1.1. Erster Test mit zwei 48 µm Folien	31
3.1.2. Langzeittests mit 0,1 mm AlMg3 Folie	33
3.1.3. Ermüdungstests mit 0,1 mm AlMg3 Folie	35
3.2. Vakuumtest des Gehäuses	36
3.2.1. Theoretische Berechnung der Leckrate	36
3.2.2. Leckratenbestimmung des Vakuumgehäuses	36
3.2.3. Leckratenbestimmung des Blendengehäuses	37
3.3. Transmission des Blendensystems	37
4. Kalibration der Magnetfeldsensoren	39
4.1. Bestimmung der Sensitivität und des Offset	39
4.2. Bestimmung der Spannungsabhängigkeit	41
4.3. Vorbereitung der Verkabelung und Halterung	43
5. Fazit	45

A. Verwendete Konstanten	46
A.1. Zunahme der Zählrate	46
A.2. Abschätzung der Leckrate	46
B. Konstruktionszeichnungen des Blendengehäuses und des Blendensystems	48

Kapitel 1.

Einführung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde ein Blendensystem zur Geschwindigkeitsselektion von Neutronen für das qBounce Experiment überarbeitet. In Kapitel 1 wird das qBounce Experiment (Abschnitt 1.1) beschrieben. Dabei wird auf den experimentellen Aufbau für die Experimente im Jahr 2012 eingegangen. Die Motivation und Ziele des Experiments werden in Abschnitt 1.1.2 besprochen. Hier wird auch kurz ein möglicher, modifizierter Aufbau des Experiments beschrieben.

In Kapitel 2 wird auf die Konstruktion des Blendensystem eingegangen. Zunächst wird die Funktionsweise sowie das bisherige Blendensystem beschrieben. Danach wird auf die Anforderungen des neuen Blendensystems (sowie das hierfür neue erforderliche Blendengehäuse) eingegangen und gezeigt, wie diese Anforderungen erfüllt wurden. Außerdem wird gezeigt, welche Auswirkungen mögliche Messfehler bei der Ausrichtung des Blendensystems auf die Geschwindigkeitsselektion der Neutronen haben kann.

Um das Blendengehäuse und das Blendensystem für das Experiment von 2012 vorzubereiten wurden noch Tests durchgeführt, die die Dichtheit und Sicherheit des Systems überprüfen. Diese Tests sowie deren Ergebnisse werden in Kapitel 3 beschrieben.

Zusätzlich zur Konstruktion des Blendensystems (und des dazu gehörigen Blendengehäuses), wurden noch Magnetfeldsensoren kalibriert und für das Experiment vorbereitet. Das Vorgehen dabei wird in Kapitel 4 beschrieben.

In Kapitel 5 wird die Arbeit nochmals zusammengefasst sowie auf mögliche Verbesserungsvorschläge eingegangen, die man in einem zweiten Schritt durchführen könnte.

Im Anhang sind übersichtsartig die Konstruktionszeichnungen gezeigt. Weiters werden verwendete Konstanten für Berechnungen in der Arbeit aufgelistet.

1.1. Das qBounce Experiment

In dem Experiment werden die Energieniveaus von, im Gravitationsfeld der Erde gebundenen, Neutronen untersucht. Dadurch ist es möglich verschiedene Fragestellungen der Physik, wie zum Beispiel die mögliche Existenz großer Extradimensionen, eine mögliche Ladung des Neutrons oder mögliche Axion Wechselwirkungen, zu untersuchen (siehe Kapitel 1.1.2).

1978 wurden die Zustände für Neutronen im Gravitationsfeld der Erde berechnet und ein Experiment zur Untersuchung dieser mit Ultrakalten Neutronen (siehe Kapitel 1.1.1) vorgeschlagen [1]. Dieses wurde 2002 durchgeführt und die Existenz der Zustände gezeigt [2]. Darauf aufbauend wurde das qBounce Experiment entwickelt. Wie man in Abbildung 1.1 sehen kann, steigt die Aufenthaltswahrscheinlichkeit mit steigender Energie nach oben an. Dieser Umstand wird bei der Selektion des Grundzustandes genutzt (siehe

Kapitel 1.1.1). Weiters ist zu beachten, dass die Energieniveaus nicht equidistant sind. Dadurch können zwei beliebige Zustände als Zwei-Niveau-System behandelt werden.

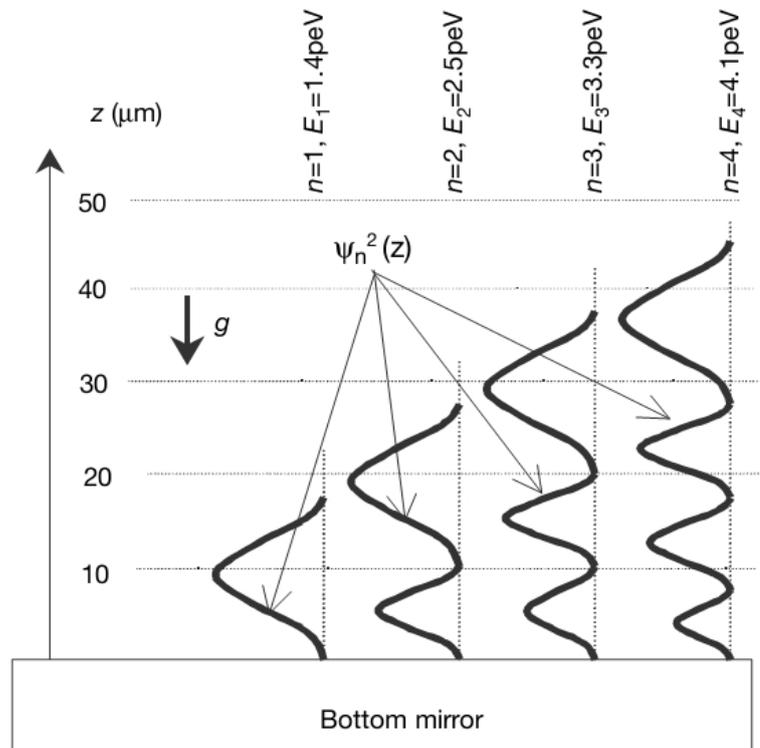


Abbildung 1.1.: Gebundene Zustände der Neutronen im Gravitationsfeld der Erde. Quelle: [2], S. 297, Figure 1.

Da die gebundenen Zustände der Neutronen eine räumliche Auflösung in der Größenordnung von μm haben, ist das Experiment sensibel auf Wechselwirkungen in diesem Bereich.

1.1.1. Experimenteller Aufbau

Zum besseren Verständnis wird auf Abbildung 1.2 verwiesen.

Der experimentelle Aufbau wurde in [3] vorgeschlagen und folgt Rabis Methode [4]. Er besteht aus drei Regionen wobei Region 1 und 3 ident aufgebaut sind. In der ersten Region befindet sich ein flacher glatter Spiegel. Die Gravitation zieht die Neutronen Richtung Spiegel wo diese reflektiert werden. Damit die Neutronen totalreflektieren, muss ihre Geschwindigkeit normal zur Spiegeloberfläche unter der kritischen Geschwindigkeit des Spiegelmaterials liegen. Daher werden Ultrakalte Neutronen eingesetzt (siehe weiter unten). Somit bildet der Spiegel mit der Gravitation der Erde einen Potentialtopf in z-Richtung. Die Bewegung in der x-y-Ebene ist weiterhin von der z-Richtung

entkoppelt und frei. Die Möglichkeit Neutronen so in einen gebundenen Zustand im Gravitationsfeld der Erde zu bringen wurde bereits in [1] vorgeschlagen. Darüber ist ein aufgerauter Spiegel (von jetzt an Absorber genannt) angebracht. Dabei liegt die Rauheit der Absorber im Bereich von 1 μm . Neutronen mit einer hohen Aufenthaltswahrscheinlichkeit bei dem Absorber werden aus dem Experiment gestreut. Dass ein solcher Aufbau gebundene Neutronenzustände selektieren kann wurde erstmals in [2] gezeigt.

Wie in Kapitel 1.1 gezeigt wurde, ändert sich die räumliche Verteilung der Wellenfunktion in z -Richtung in Abhängigkeit mit der Energie des Zustandes. Damit ist es mit diesem Aufbau möglich, Neutronen einer zu hohen Energie aus dem Experiment zu streuen, da diese eine höhere Aufenthaltswahrscheinlichkeit beim Absorber haben.

In der zweiten Region befindet sich ein glatter Spiegel ohne Absorber. Hier werden die Neutronen mittels Vibrationen in einen angeregten Zustand gebracht. Dass eine quantisierte Energieübertragung von einem vibrierenden Spiegel auf Neutronen möglich ist, wurde in [5] gezeigt. Da die vom Spiegel auf die Neutronen übertragene Energie von der Frequenz der Vibration abhängt, ist diese sehr exakt bestimmbar. Wird eine Frequenz eingestellt, welche der Übergangsenergie zwischen zwei Zuständen entspricht, so können die Neutronen den Zustand wechseln. Dabei können diese sowohl angeregt werden, als auch aus dem angeregten Zustand in den energetisch niedrigeren Zustand übergehen.

In der dritten Region befindet sich wieder ein Selektor der nur Neutronen im Grundzustand zum Detektor durchlässt. Wird die Frequenz nun so eingestellt, dass ein Übergang angeregt wird, so werden mehr Neutronen im Selektor aus dem Experiment gestreut. Dadurch kommt es zu einem Minimum in der Zählrate¹. Da die Zählrate im Experiment in der Größenordnung von 20 mHz liegt, wird kein großer Frequenzbereich abgescannt. Stattdessen wird ein bestimmter Übergang ausgewählt und dieser möglichst genau vermessen.

Damit erhält man ein Messsignal als Zählrate der Neutronen in Abhängigkeit mit der Frequenz der Anregung.

Im Experiment ist es wichtig, dass die Neutronen nicht zu schnell sind. Zum einen müssen sie totalreflektieren; dafür muss ihre Geschwindigkeit unter der kritischen Geschwindigkeit des Spiegelmaterials liegen. Außerdem verbessert ein längerer Verbleib im Experiment die Wechselwirkung der Neutronen mit dem experimentellen Aufbau. Dadurch können die Selektoren den Grundzustand mit weniger Hintergrund selektieren und die Neutronen im zweiten Bereich leichter angeregt werden.

Aus diesem Grund werden ultrakalte Neutronen (englisch: ultra cold neutrons, UCN) verwendet. Die Definition von ultrakalten Neutronen ist, dass diese unter allen Winkeln totalreflektiert. Diese Definition ist materialabhängig, wobei im Experiment Bezug auf das Spiegelmaterial genommen wird.

Es können zwei Blendensysteme im Experiment zum Einsatz kommen. Das eine Blendensystem wird zur Geschwindigkeitsselektion verwendet und wurde im Rahmen dieser Diplomarbeit behandelt (wird von jetzt an Blendensystem B1 genannt). Das zweite

¹Es kann auch zu einem Maximum in der Zählrate kommen. Dies geschieht, wenn die erste Region die Neutronen in einen anderen Zustand präpariert als in der dritten Region durch gelassen werden. Dann führt ein Treffen der richtigen Frequenz zu einem Übergang der Neutronen und die Zählrate steigt.

Blendensystem (B2 genannt) ist optional und dient der Verbesserung des Untergrunds während des Experiments. Es wird in Kapitel 1.2 kurz beschrieben.

Abbildung 1.3 zeigt den experimentellen Aufbau.

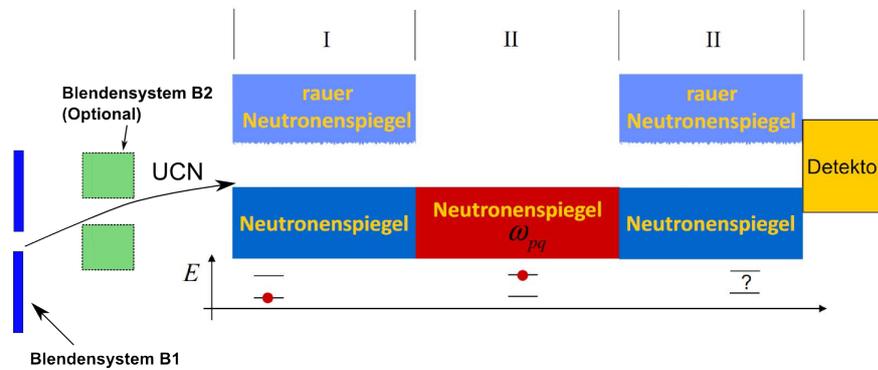


Abbildung 1.2.: Schematischer Aufbau des Experiments. Quelle: vgl. [6], S. 54, Abb. 3.1.

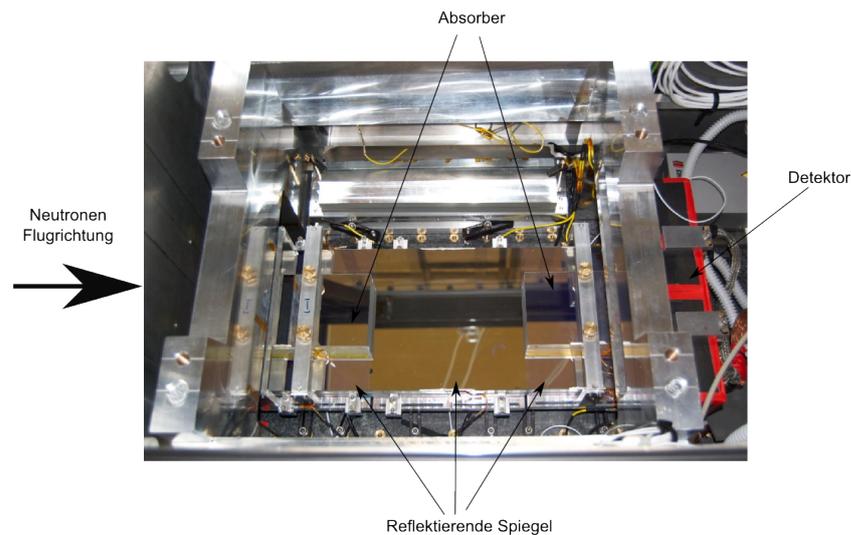


Abbildung 1.3.: Experimenteller Aufbau des qBounce Experiment. Das Bild wurde mir von Hanno Filter dankenswerterweise zur Verfügung gestellt.

1.1.2. Motivation des Experiments

Suche nach großen Extradimensionen

Ein Schlüsselthema der Kosmologie ist die Frage nach der Ursache der beschleunigten Expansion unseres Universums. Wie in [7] gezeigt wird, ist eine Lösung des Problems mit

Hilfe von supersymmetrischen großen extra Dimensionen (englisch: Supersymmetric large extra dimensions, SLED) möglich. Sollten supersymmetrische große extra Dimensionen für die beschleunigte Expansion verantwortliche sein, so kann man deren Größe aus Beobachtungen der beschleunigten Expansion auf μm abschätzen. Sollte es diese extra Dimensionen geben, erwartet man somit in diesem Bereich eine Abweichung von der Newton'schen Gravitation.[7]

Weiters wird versucht mittels großer extra Dimensionen das Hierarchieproblem zu lösen [8]. Dabei geht es um die Fragestellung, warum die Gravitation wesentlich schwächer ist als die elektroschwache Wechselwirkung. Sollte es diese extra Dimensionen geben, so würde die Gravitation auf kleinen Längen eine vergleichbare Stärke zu elektroschwachen Wechselwirkung aufweisen; auf großen Längen würde diese jedoch durch die Zusatzdimensionen, welche nur für die Gravitation zugänglich wären, geschwächt werden. Sollte es Zusatzdimensionen geben, so würde man 2 oder mehr Zusatzdimensionen erwarten. Eine Zusatzdimension kann durch astronomische Beobachtung ausgeschlossen werden, da diese bereits im Bereich des Sonnensystems Auswirkungen hätte. Sollte es genau 2 extra Zusatzdimensionen geben, so würde es im Bereich von $100 \mu\text{m}$ - 1 mm zu einer Abweichung von der Newton'schen Gravitation kommen.[8, 9]

Ladung des Neutrons

Das qBounce Experiment kann auch zur Messung der Ladung des Neutrons verwendet werden. Da hierfür jedoch ein Umbau des Experiments nötig ist, wurde diese Messung im Jahr 2012 nicht durchgeführt. Das Blendensystem wird auch bei diesen Messungen zum Einsatz kommen.

Bisher wurde eine mögliche Ladung der Neutronen durch eine Ablenkung der Neutronen durch ein elektrisches Feld gemessen [10]. Dabei werden die Neutronen auf einer möglichst langen Strecke einem möglichst starken elektrischen Feld ausgesetzt, um so eine Ablenkung zu bekommen. Bei der Messung von [10] ist eine Ladung des Neutronens von $q_n = q_e(-0,6 \pm 1,1) \cdot 10^{-21}$ mit null verträglich. Damit liegt das obere Limit einer möglichen Ladung des Neutrons nach diesem Experiment bei $q_n = q_e(-0,6 \pm 1,1) \cdot 10^{-21}$.

Durch den Umbau des qBounce Experiments auf ein Ramsey Spektrometer wird es möglich, die Ladung des Neutrons zu messen [11]. Die Ramsey Spektroskopie ist eine Messmethode um die Energiedifferenz zwischen zwei Zuständen eines Zwei-Niveau-Systems zu messen. Diese wurde erstmal im Jahr 1950 von Norman F. Ramsey beschrieben [12]. Bei Neutronen im Gravitationsfeld kann diese Methode angewandt werden, da die Zustände nicht äquidistant sind und daher ein beliebiger Übergang zwischen zwei Zuständen als Zwei-Niveau-System betrachtet werden kann.

In einem Zwei-Niveau-System entspricht die Frequenz ω_{pq} der Übergangsfrequenz zwischen den Zuständen $|p\rangle$ und $|q\rangle$. Wird ein System mit dieser Frequenz angeregt, so zeigt die Besetzungswahrscheinlichkeit für den angeregten Zustand eine Rabi-Oszillation der Form

$$P(t) = \sin^2\left(\frac{\Omega_R \cdot t}{2}\right). \quad (1.1)$$

Dabei ist Ω_R die Rabi-Frequenz. Wird nun Ω_R oder t so eingestellt, dass $\Omega_R \cdot t = \frac{\pi}{2}$ entspricht, so spricht man von einem $\pi/2$ Puls. Durch einen solchen Puls geht das System

in eine Superposition $\frac{1}{\sqrt{2}}(|p\rangle + |q\rangle)$ über. Ein weiterer $\pi/2$ Puls bringt den Zustand wieder zurück in den Ausgangszustand.

Bei der Ramsey Spektroskopie werden die Regionen in denen das System angeregt wird getrennt. In Abbildung 1.4 wird der experimentelle Aufbau der Ramsey Spektroskopie mit ultrakalten Neutronen gezeigt. In Bereich I werden die Neutronen in den Grundzustand präpariert. In Bereich II werden die Neutronen angeregt. In Bereich III können die Zustände sich zeitlich entwickeln bis sie in Bereich IV synchron zu Bereich II wieder angeregt werden. In Bereich V wird der Grundzustand selektiert und nur diese Neutronen gemessen.

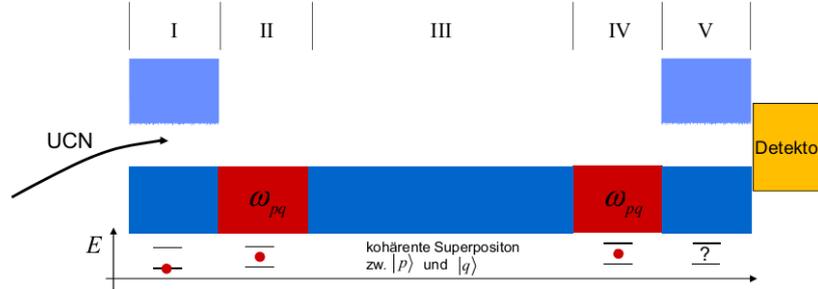


Abbildung 1.4.: Experimenteller Aufbau der Messung mit Ramsey Spektroskopie. Quelle: [6], S.55, Abb. 3.2.

Obwohl die Bereiche in denen das System angeregt werden kann getrennt wurden entscheidet immer noch die Gesamtlänge des Systems (bzw. genauer genommen die Zeit die die Neutronen sich im System befinden) über die Besetzungswahrscheinlichkeit. Wird in Bereich II und IV genau die Übergangsfrequenz zwischen $|p\rangle$ und $|q\rangle$ eingestellt, so ist die Zählrate im Maximum, da die Neutronen nach dem Bereich IV wieder in den Zustand $|p\rangle$ gewechselt haben.

Für das Experiment entscheidend ist jedoch der Fall, bei dem die Anregungsfrequenz ω nicht genau der Übergangsfrequenz ω_{pq} entspricht. Damit ändert sich die Besetzungswahrscheinlichkeit für den angeregten Zustand zu

$$P(t) = \left(\frac{\Omega_R}{\Omega'_R} \right)^2 \sin^2 \left(\frac{\Omega'_R t}{2} \right). \quad (1.2)$$

Dabei ist $\Omega'_R = \sqrt{\Omega_R^2 + (\omega_{pq} - \omega)^2}$ [3]. In Abbildung 1.5 wird das erwartete Verhalten bei konstantem t und variiertem ω gezeigt. Da im Experiment die Zeit t von der Neutronengeschwindigkeit und der Länge des Experiments abhängig ist, kann diese im Experiment nicht bzw. nur sehr schwer und ungenau geändert werden. Daher wird im Experiment nicht die Zeit t sondern die Frequenz variiert.

Um nun eine mögliche Ladung des Neutrons bestimmen zu können, wird in Region III des Experiments ein elektrisches Feld angelegt. Dadurch verschieben sich die Energieniveaus und damit ändert sich die Übergangsfrequenz ω_{pq} . Wird die Frequenz nun auf eine Flanke in Abbildung 1.5 eingestellt und das elektrische Feld umgekehrt, so kann man

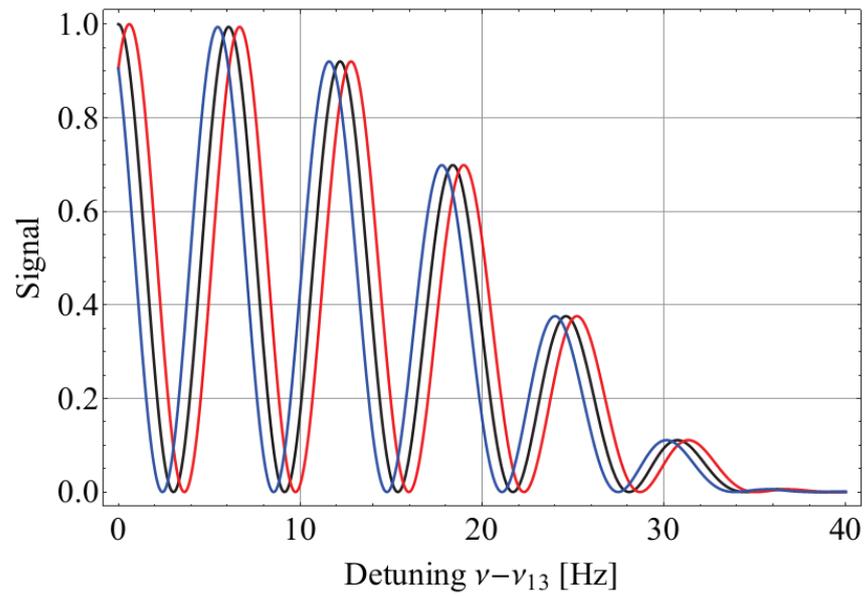


Abbildung 1.5.: Erwartete Messkurve bei einer Ramsey Spektroskopie für den Übergang $|1\rangle \rightarrow |3\rangle$. Die Schwarzkurve ist für ultra kalte Neutronen ohne Ladung. Die rote und blaue Kurven sind für Neutronen mit einer Ladung von $q = 5 \cdot 10^{-18} q_e$ bei einem elektrischen Feld von $6 \cdot 10^6$ V/m parallel bzw antiparallel zur Z-Achse. Quelle: [11], S.4, FIG.3.

eine Änderung der Zählrate messen. Dabei ist für die Messgenauigkeit nicht die absolute Frequenz entscheidend. Es muss nur die Frequenz relativ zu ω_{pq} bestimmt werden.

Das Ziel dieser Messmethode liegt laut [11] bei $q_n = 8,4 \cdot 10^{-20} q_e/\text{Tag}$.

Suche nach Axionen

Axionen sind hypothetische pseudoskalare Bosonen mit einer kurzreichweitige spinabhängigen Wechselwirkung [13]. Viele mögliche Massenbereiche wurden durch Messungen bereits ausgeschlossen [14]. Diese wurden eingeführt um das starke CP-Problem zu lösen.

Nach der Quantenchromodynamik würde man eine CP-Verletzung der starken Wechselwirkung erwarten, diese wurde jedoch bis jetzt nicht gemessen. Da das qBounce Experiment im μm Bereich sensibel auf mögliche Wechselwirkungen ist, kann auf mögliche Axionenmassen im Bereich von $10 \mu\text{eV}$ bis 1eV untersucht werden. Aufbauend auf die Messung von [15] wurde in [16] eine mögliche Spin abhängige Aufspaltung der Energieniveaus der Neutronen untersucht.

Bei der Untersuchung von [15, 16] wurden nicht polarisierte Neutronen verwendet. Dies funktioniert, da bei dem Experiment der Neutronenfluss durch ein System von Spiegeln mit Absorber in Abhängigkeit von der Spaltgröße untersucht wurde. Eine zusätzliche spinabhängige Wechselwirkung ändert die Wellenfunktion der Neutronen. Damit ändert sich die minimale nötige Spaltgröße, bei der der Neutronenfluss ungleich null wird, in Abhängigkeit vom Spin. Sollte eine Axionwechselwirkung vorliegen, erwartet man sich damit eine Substruktur als Hinweis auf eine solche Wechselwirkung (siehe Abbildung 1.7).

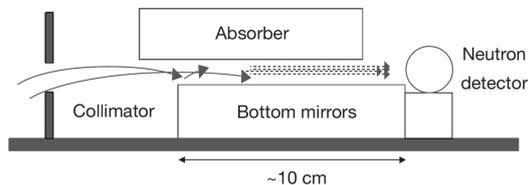


Abbildung 1.6.: Experimenteller Aufbau des Versuchs von [15]. Quelle: [2], S. 298, Fig. 2

Beim qBounce Experiment wird ausgenutzt, dass eine mögliche zusätzliche Kraft die Energieniveaus Spin abhängig verschiebt. Nach dieser Verschiebung wurde mit polarisierten Neutronen gesucht [6]. Dieses Experiment erzielte die besten Grenzen auf die Axionwechselwirkung [17].

1.2. Das Blendensystem B2

Das Blendensystem B2 besteht aus mehreren Schichten Bor- und Kupferplatten. Diese sind geschlitzt um Neutronen durch zu lassen. Es wird nach dem Blendensystem B1 in den Strahlengang platziert und soll Neutronen die eine falsche Trajektorie beschreiben aus dem Experiment streuen. Dadurch wird versucht den Untergrund im Detektor

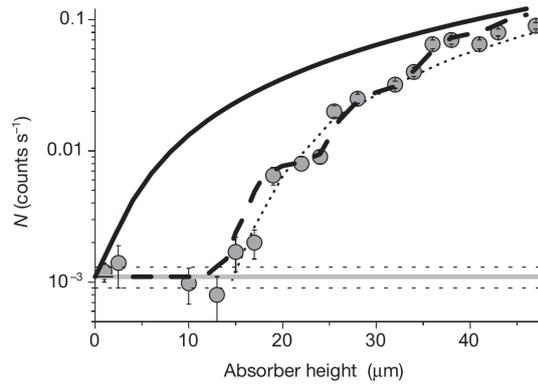


Abbildung 1.7.: Ausschnitt der Messung von [15]. Bei etwa 20 μm ist der Fluss der Neutronen im Grundzustand im maximum. Hier erwartet man sich, sofern eine Axion Wechselwirkung vorliegt, eine substruktur, da sich das Maximum spinabhängig leicht verschiebt. Quelle: [2], S. 299, Fig. 4

weiter zu senken. Dabei ist die Benutzung des Blendensystems B2 optional wenn der Untergrund zu stark wird.

Das Blendensystem B2 selbst wurde in dieser Diplomarbeit nicht weiter bearbeitet oder verändert, jedoch muss darauf Rücksicht genommen werden, da es in das neu zu konstruierende Blendengehäuse passen muss. Mit einer Breite von fast 300 mm wird damit eine Mindestbreite festgelegt die das Gehäuse innen haben muss.

Kapitel 2.

Die Konstruktion des neuen Blendensystems und des Vakuumgehäuses

2.1. Die Funktionsweise des Blendensystem B1

Das Blendensystem B1 wird zur Geschwindigkeitsselektion im Experiment verwendet. Dazu wird ausgenutzt, dass die Neutronen auf ihrem Weg vom Blendensystem zum experimentellen Aufbau im Gravitationsfeld leicht steigen müssen. Die de Broglie Wellenlänge von Neutronen mit einer Geschwindigkeit von 3,2 m/s (aufgrund der Aluminiumfolie im Eintrittsfenster die im Experiment minimal mögliche Geschwindigkeit) liegt in der Größenordnung von 0,12 μm ($m_n = 939,565379\text{MeV}$; $h = 6,62606957 \cdot 10^{-34}\text{J s}$ [14]). Aufgrund der Größenverhältnisse im Blendensystem (Abstand Blendensystem-Spiegel 150-180 mm, Blendenöffnung 1-3 mm), im Vergleich zur de Broglie Wellenlänge, können die Neutronen als rein klassische Teilchen gerechnet werden. Folgende Berechnungen beziehen sich auf Abbildung 2.1.

Da sich die Größe des Spaltes zwischen Spiegel und Absorber ändern kann, wird die Position der Blenden zu den Spiegeln auf den unteren, fix eingespannten Spiegel bezogen.

Es werden nur Neutronen beachtet, deren Geschwindigkeit in z-Richtung vor dem Absorber null wird.¹ Dabei müssen die Neutronen eine Höhe von $Z_{II} < z < Z_I + Z_S$ zurücklegen. Für die schnellsten Neutronen ist die Geschwindigkeit damit festgelegt.

$$v_{z_{max}} = \sqrt{2gZ_{II}} \Rightarrow t_{min} = \frac{\sqrt{2Z_{II}}}{\sqrt{g}} \quad (2.1)$$

Jedoch muss berücksichtigt werden, dass die langsamsten Neutronen den Scheitelpunkt vor dem Experiment haben und die Flugzeit zum Experiment damit länger wird. Damit kommt zusätzlich zur Flugzeit bis zum Scheitelpunkt, die Zeit vom Scheitelpunkt bis ins Experiment. Bei den langsamsten Neutronen kommt damit noch eine Zeit die der Fallzeit für die Höhe Z_s entspricht hinzu. Damit ergibt sich für die maximale Flugzeit

$$t_{max} = \frac{\sqrt{2(Z_I + Z_S)} + \sqrt{2Z_S}}{\sqrt{g}} \quad (2.2)$$

Nun müssen die Neutronen in dieser Zeit das Experiment erreichen wodurch die Geschwindigkeit in x-Richtung festgelegt wird. Dabei legen die schnellsten Neutronen den Weg in t_{min} und die langsamsten Neutronen in t_{max} zurück. Damit ergeben sich die Neutronengeschwindigkeiten in x-Richtung zu

¹Neutronen deren Scheitelpunkt über dem Absorber liegt, werden nach einer Reflexion am glatten Spiegel vom Absorber aus dem Experiment gestreut.

$$v_{x_{max}} = x \sqrt{\frac{g}{2Z_{II}}} \quad (2.3)$$

$$v_{x_{min}} = x \frac{\sqrt{g}}{\sqrt{2(Z_I + Z_S)} + \sqrt{2Z_S}} \quad (2.4)$$

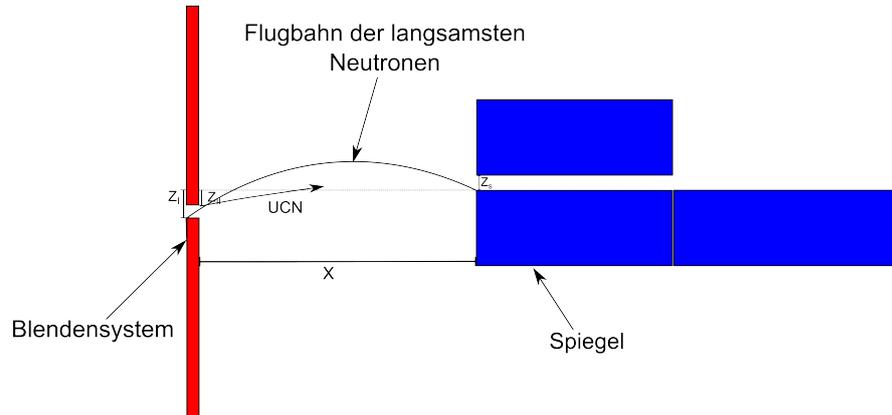


Abbildung 2.1.: Schematische Darstellung des Blendensystems. Zur besseren Übersicht ist die Darstellung nicht maßstabsgetreu

2.2. Das bisherige Blendensystem B1

Das bisherige Blendensystem wird außen am Vakuumgehäuse angebracht und besteht aus zwei geschlitzten Borstahlplatten welche gegeneinander verstellt werden (siehe Abbildung 2.2). Borstahl ist eine Stahllegierung die mit natürlichem Bor legiert wurden. Da Bor einen sehr großen Wechselwirkungsquerschnitt für Neutronen aufweist, übernimmt dieses die Aufgabe des Neutronenabsorbers. Dadurch werden die Blenden für UCN praktisch undurchdringlich. Ein großer Vorteil dieser Konstruktion ist es, dass die Blenden verstellt werden können während Vakuum im Gehäuse ist. Außerdem können die Vibrationen des Strahlrohrs das Experiment stören. Aus diesem Grund endet das Strahlrohr vor dem Blendensystem, wodurch die Neutronen einen Luftspalt durfliegen müssen.

Ein großes Problem mit dem bisherigen Blendensystem ist, dass durch die Anbringung der Blenden nebeneinander der Abstand in x-Richtung von der oberen und der unteren Blende sich unterscheiden. Damit erhielt man einen relativ großen Fehler in x-Richtung, was sich direkt auf die Genauigkeit der Geschwindigkeitsselektion auswirkt (siehe Kapitel 2.7). Weiters müssen die Neutronen neben dem Luftspalt auch durch zwei Aluminium Folien (beim Rohrendstück und beim Gehäuse) was sich negativ auf die Zählrate auswirkt.

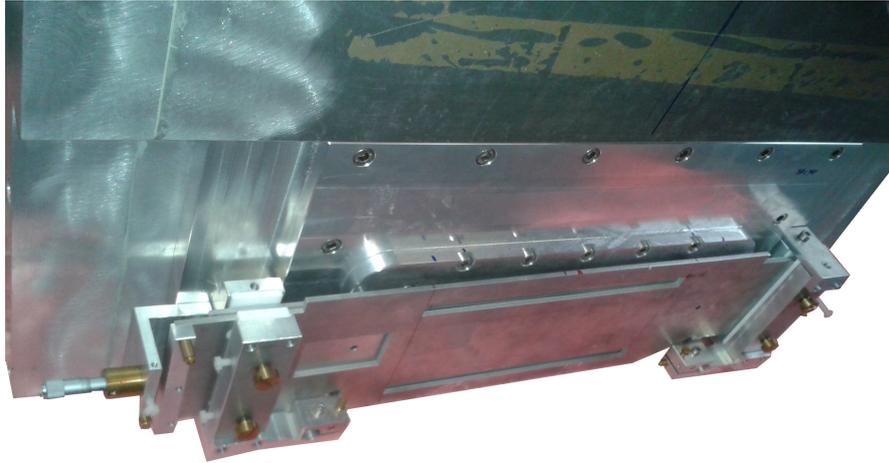


Abbildung 2.2.: Bisheriges Blendensystem B1

Da das bisherige Blendensystem für einen anderen experimentellen Aufbau konstruiert wurde, sind die Einstellungsmöglichkeiten für den neuen Aufbau nicht mehr ausreichend. Aus diesen Gründen wurde das Blendensystem überarbeitet und neue Anforderungen gestellt.

2.3. Anforderungen an das neue Blendensystem

Für das neue Blendensystem gab es mehrere Anforderungen:

- Zum einen sollte das Blendensystem direkt ins Vakuumgehäuse. Dadurch kann auf eine Aluminiumfolie und auf den Luftspalt verzichtet werden und das Strahlrohr direkt an das Experiment geflanscht werden (zur Sicherheit lässt man zwischen Strahlrohr und Vakuumgehäuse eine Aluminiumfolie). Dadurch werden zwar die Vibrationen vom Strahlrohr ins Experiment geleitet, jedoch sind die im Experiment erzeugten Vibrationen deutlich stärker und für die Steigerung der Zählrate um 3,25 % (siehe weiter unten) wird dieser Nachteil in Kauf genommen. Zu diesem Zweck muss ein eigenes Vakuumgehäuse entworfen werden, das an das bestehende angeschraubt werden kann, da sonst kein Platz für das Blendensystem ist.
- Weiters sollte es möglichst gut an das Experiment anpassbar sein. Diese Bedingung kommt vor allem daher, dass der experimentelle Aufbau sich von Strahlzeit zu Strahlzeit ändern kann, jedoch das Blendensystem immer zur Anwendung kommen können soll. Dies bedeutet aber auch, dass das angeflanschte Strahlrohr in der Position verstellbar bleiben muss um immer die maximal mögliche Zählrate zu erreichen.
- Die Einstellmöglichkeiten sollten möglichst reproduzierbar und genau bestimmbar sein. Dies soll jedoch erreichbar sein, ohne die Einstellmöglichkeiten einzuschränken.

- Das Blendensystem sollte weiters möglichst dünn gehalten werden, um bei der Selektion der Neutronen einen möglichst kleinen Fehler zu erhalten. Andererseits müssen sie auch dick genug sein, um den Untergrund möglichst gering zu halten und mechanisch stabil zu sein. Dabei stellt die mechanische Stabilität, sowie die Verfügbarkeit des Materials die größeren Schwierigkeiten dar. Sollte es zu einer Verbiegung der Blenden kommen, wird der Fehler in v_x unvorhersehbar größer. Bei einer Dicke von 0,5 mm beträgt die Transmission durch die Blende etwa 3,35 ppm² was ausreichend wäre. Jedoch ist ein Blech mit 0,5 mm Dicke sehr leicht verbiegsam was zu größeren Fehlern führen kann.

Um auf die Erhöhung der Zählrate durch den Umbau zu kommen muss abgeschätzt werden, um wieviel der Neutronenstrahl durch eine Folie und den Luftspalt abgeschwächt wird. Dazu wird die Absorption über

$$N = N_0 \cdot e^{-\sigma \cdot \rho_T \cdot x} \quad (2.5)$$

berechnen. Dabei ist σ der Wirkungsquerschnitt, ρ_T die Dichte in Teilchen pro Volumen, x die Dicke der Folie bzw des Luftspaltes, N_0 die Zählrate vor der Folie und N die Zählrate nach dem Luftspalt.

Über σ wird diese Gleichung abhängig von der Neutronengeschwindigkeit. Zur Abschätzung der Erhöhung der Zählrate wird von einer Neutronengeschwindigkeit von 7,5 m/s ausgegangen. Da im Experiment die Neutronen eine Geschwindigkeit zwischen 5 und 9 m/s haben, entspricht dies der durchschnittlichen Geschwindigkeit.

Da sowohl die Folie als auch die Luft nicht aus einem Element besteht, muss ebenfalls die Zusammensetzung berücksichtigt werden. Dabei werden nur die Elemente mit signifikantem Anteil berücksichtigt. Bei der Folie werden die Elemente Aluminium (97%) und Magnesium (3%) und bei der Luft die Moleküle Stickstoff (75 gew. %), Sauerstoff (23 gew.%) und Argon (1,2 gew. %) berücksichtigt.

Weiters wird von einem Luftspalt von 28 mm und einer Folienstärke von 0,1 mm ausgegangen. Die Größe des Luftspaltes ergibt sich aus der Breite des Blendensystems mit 6 mm, der Befestigung der Folie am Strahlrohr und am Gehäuse mit jeweils 9 mm und dem Abstand Strahlrohr-Blendensystem mit 4 mm. Damit ergibt sich eine Absorption durch den Luftspalt von 5,8 % während die Folie 3,9 % absorbiert. Dies ergibt eine Gesamtabsorption von 9,55 %. Umgerechnet auf die Steigerung der Zählrate ergibt dies 10,57%.

Die benötigten Konstanten dieser Berechnung sind im Kapitel A.1 aufgelistet.

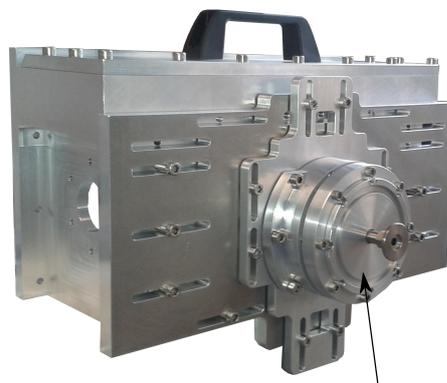
²Da die genaue Legierung nicht bekannt ist, wird von einer durchschnittlichen Dichte für Stahl von $\rho = 7859 \text{ kg/m}^3$ ausgegangen. Damit ergibt sich eine Teilchendichte von $8,475 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$. Der Wirkungsquerschnitt von natürlichem Bor bei 10 m/s ist 168.740 b [18]. Unter Berücksichtigung dass 1,75 % Bor im Stahl ist und unter Vernachlässigung aller anderen Elemente (die genaue Zusammensetzung ist unbekannt) erhält man über Gleichung (2.5) eine Transmission von 3,35 ppm. Dabei handelt es sich um eine worst-case Abschätzung da nur Bor als Element im Stahl berücksichtigt wurde.

2.4. Die Konstruktion des Vakuumgehäuses

Bei der Konstruktion des Vakuumgehäuses musste sehr stark auf den zur Verfügung stehenden Platz geachtet werden. Zum einen muss das Blendensystem B2 in das Gehäuse passen, wodurch eine minimale Größe von 300 mm festgelegt wird. Damit das Blendensystem B2 sich nicht verkanten kann, wurde für den Innenraum eine Breite von 310 mm gewählt. Weiters muss das Gehäuse jedoch an den schon bestehenden Gewinden angeschraubt werden. Da diese in einem Rechteck der Größe 186x340 mm angeordnet sind, setzt das eine starke Grenze für die maximale Gehäusegröße.

Ein eigener Deckel sollte auch den Zugang zum Blendensystem ermöglichen um dieses im Experiment einstellen zu können. Dabei muss man jedoch auf die darüber angebrachte Pumpe achten.

Da das gesamte Experiment aus möglichst nicht magnetischen Werkstoffen besteht, muss auch das neue Vakuumgehäuse aus Aluminium gefertigt werden. Dabei ist jedoch darauf zu achten die Wandstärke nicht zu klein werden zu lassen, da sich durch den Druckunterschied von außen zu innen der Boden verbiegen kann, was wiederum die Blendeneinstellung und damit die Geschwindigkeitsselektion empfindlich stört. Jedoch besteht für die Wandstärke nur sehr wenig Spielraum, da das Blendensystem B2 hinein passen muss; außerhalb jedoch muss das Gehäuse noch anschraubbar an die bestehenden Löcher sein. In Abbildung 2.3 sieht man das gesamte Gehäuse zusammengebaut. Die einzelnen Komponenten werden weiter unten erklärt.



Flansch für Drucktest der Folie.
Wird nicht im Experiment eingesetzt.

Abbildung 2.3.: Das gesamte Gehäuse zusammen gebaut.

2.4.1. Der Gehäusegrundkörper

Der Grundkörper hat eine Größe von $148 \times 209 \times 370 \text{ mm}^3$ und wurde aus einem Stück Aluminium gefräst. Der Vorteil bei der Fertigung aus einem Stück ist, dass man die Dichtheit des Gehäuses sehr leicht sicher stellen kann.

Aus Platzgründen wurden die seitlichen Wände 9 mm stark bemessen. Dadurch bleibt es möglich das Gehäuse relativ einfach anzuschrauben. Sollte sich die Wand im Experiment aufgrund des Druckunterschieds verbiegen kann dies das Blendensystem nicht

beeinflussen, da dieses 2,5 mm auf beiden Seiten platz zur Wand hat. Weiters wurden in den Seitenwänden noch KF-40 Flansche³ angebracht. Diese können verwendet werden um den Vorvakuumkreislauf anbringen zu können. Dadurch ist es möglich den Zugang zum Deckel zu erleichtern, da Teile des Vakuumsystems an das Blendengehäuse angeschlossen werden können.

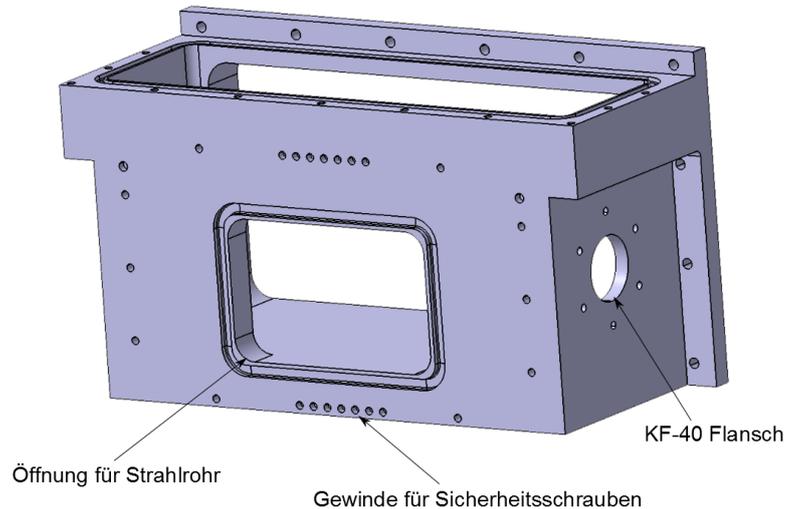


Abbildung 2.4.: Gehäusegrundkörper

Im Gegensatz dazu steht der Boden des Gehäuses direkt im Kontakt mit dem Blendensystem, sodass Änderungen am Boden direkten Einfluss auf das Blendensystem haben. Deshalb wurde die Bodenstärke mit 30 mm deutlich stärker als die seitlichen Wände bemessen. Dabei wurde versucht, damit ein Verbiegen unmöglich wird, den Boden so dick wie möglich zu machen. Jedoch musste darauf geachtet werden, dass das neue Gehäuse nicht über das bestehende Gehäuse hinaus steht um nicht mit der Plattform auf der das Experiment steht zu kollidieren. Weiters mussten Aussparungen angebracht werden um das Gehäuse weiter anschrauben zu können.

An der Vorderseite befindet sich eine Öffnung, dessen Größe festlegt, in welchem Bereich das Strahlrohr verstellbar ist. Zusätzlich wurden Gewinde angebracht an welche das System zum Verstellen des Strahlrohrs angeschraubt werden kann. Da die Langlöcher im Verstellmechanismus auch in den Extremstellungen (maximale linke bzw rechte Position) nicht den O-Ring erreichen dürfen, müssen die Verschraubungen für die Langlöcher leider sehr weit (zwei mal die Verstellmöglichkeit) vom O-Ring entfernt angebracht werden.

Wie man in Abbildung 2.4 sehen kann, hat das Gehäuse eine breitere Stelle. Hier wird das Blendensystem im Gehäuse fixiert. So kann die maximale Breite für das Blendensystem ausgenutzt werden.

³Bei einem KF-40 Flansch handelt es sich um ein Verbindungselement aus der Vakuumtechnik. Die genauen Maße sind durch die Normen DIN 28403 und ISO 2861 festgelegt.

2.4.2. Strahlrohr-Verstellmechanismus

Um die Strahlrohrposition an das Experiment anpassen zu können, wurden zwei Platten gefräst, welche gegeneinander verschoben werden können. Dadurch ist es möglich die beiden Richtungen in die verstellt werden kann voneinander unabhängig zu machen. Das soll zum einen die möglichen Fehlerquellen minimieren, zum anderen die Handhabbarkeit erleichtern.

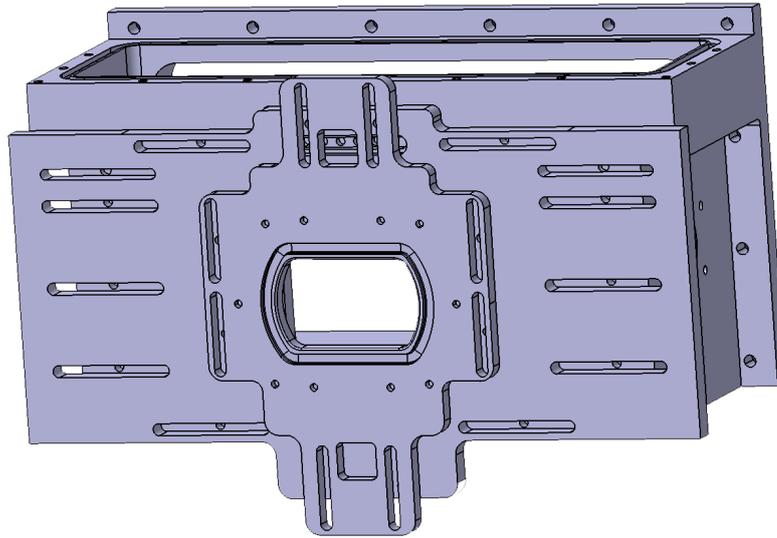


Abbildung 2.5.: Verstellmechanismus des Strahlrohrs

Wie man in Abbildung 2.5 sehen kann, wurden mittig zusätzlich noch Verschraubungsmöglichkeiten angebracht. Diese sind dazu da, falls das System nicht dicht ist, noch zusätzliche Sicherheitsschrauben anzubringen. Dadurch werden jedoch die beiden Verstellrichtungen wieder abhängig voneinander, weshalb man versucht auf diese zu verzichten.

Eine Verstellung des Strahlrohrs kann bei dieser Konstruktion nur erfolgen, wenn das Vakuumgehäuse belüftet ist, da der Druckunterschied sonst die Platten zu stark aneinander presst.

2.4.3. Strahlrohrflansch

Um nun das Strahlrohr am Verstellmechanismus anbringen zu können, wird ein Flansch verwendet. Dieser ist so ausgelegt, dass zwischen Flansch und Verstellmechanismus noch eine Aluminiumfolie angebracht werden kann. Diese wird mittels zwei O-Ringen in Position gehalten. Es ist wichtig hier zwei O-Ringe zu verwenden, da auf beiden Seiten der Folie Vakuum sein wird.

Die Aufgabe der Folie ist zum einen, beim Belüften des Gehäuses nicht auch das Strahlrohr belüften zu müssen. Weiters ist es noch eine Sicherheitsbarriere. Sollte das Gehäuse aus irgendeinem Grund schlagartig belüftet werden, kann sich dieser Druckanstieg nicht auf das Strahlrohr ausbreiten und die Folie gefährden die die Turbine ⁴

⁴Die Turbine ist ein Teil der Ultrakalten Neutronenquelle am Institut Laue-Langevin in Grenoble,

schützt.

Das Rohr wird wie bei einem Wilsonflansch mittels eines O-Rings fixiert. Dazu besteht der Flansch aus zwei Teilen. Der erste Teil wird am Verstellmechanismus angebracht und hat einen Absatz um die Folie zu schützen. Während im Strahlrohr das Vakuum aufgebaut wird, kann sich diese nämlich durch den Druckunterschied in das Gehäuse ziehen. Ohne den Absatz könnte das Rohr einen Druck auf die Folie ausüben und diese beschädigen.

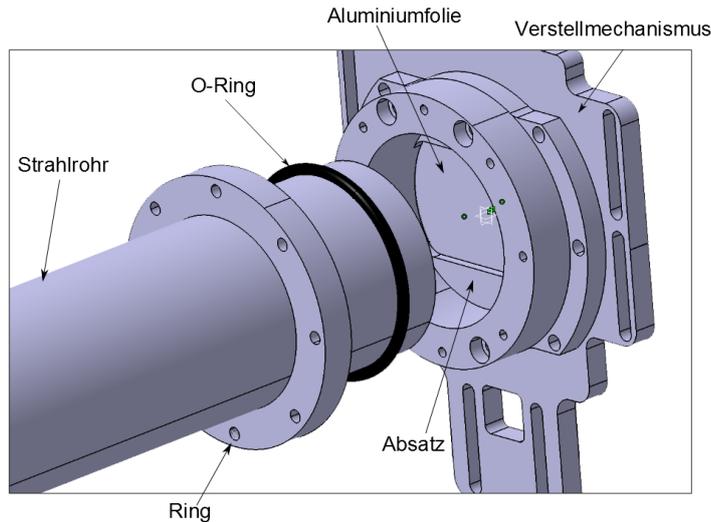


Abbildung 2.6.: Strahlrohrflansch

Der zweite Teil ist ein Ring der auf den ersten Teil aufgeschraubt wird. Dieser dient dazu den O-Ring zu verpressen. Damit wird nicht nur die Anschlussstelle abgedichtet, sondern gleichzeitig auch das Strahlrohr fixiert.

2.5. Simulation des Vakuumgehäuses

Bei der Simulation des Vakuumgehäuses soll bestimmt werden, ob die Wandstärke stark genug gewählt wurde um eine Verformung der Wände, aufgrund des Druckunterschiedes, so stark einzuschränken, damit diese das Blenden-system nicht verschieben kann. Damit wäre ein Fehler in der Geschwindigkeitsselektion zu erwarten. Zur Simulation wurde das Programm Catia V5R19 von Dassault Systems verwendet. Dabei handelt es sich um ein CAD-Programm das auch FEM Analysen durchführen kann. Da die Konstruktion in diesem Programm durchgeführt wurde ist die Wahl auf dieses Programm gefallen.

Da nur eine Verformung des Grundkörpers einen direkten Einfluss auf das Blenden-system haben kann, wird nur dieser simuliert. Weiters ist zu beachten, dass zwischen Blenden-system und den seitlichen Wänden auf beiden Seiten je 2,5 mm Abstand ist.

Frankreich. Hier werden die sehr kalten Neutronen (englisch: Very Cold Neutrons (VCN)) abgebremst und zu ultrakalten Neutronen

Sofern diese Verformung nicht erreicht wird können die seitlichen Wände des Blendensystem nicht beeinflussen.

Beim Boden steht das Blendensystem jedoch direkt auf. Hier kann jede Verformung zu einem Offset in Z-Richtung führen. Was das für eine Auswirkung auf die Geschwindigkeitsselektion hat wird in Abschnitt 2.7 besprochen.

Wie in Abbildung 2.7 zu sehen ist, beträgt die maximale Verformung 0,010554 mm. Diese tritt, wie vermutet, an der schwächsten Stelle direkt über der Öffnung für das Strahlrohr auf. Diese Verformung hat jedoch keinen Kontakt mit dem Blendensystem und kann dieses nicht beeinflussen.

Die Verformung des Bodens liegt mit weniger als 0,005 mm deutlich unter einem möglichen Messfehler. Ein etwas dünnerer Boden würde damit vermutlich auch ausreichen, aber um sicher zu gehen wurde darauf verzichtet.

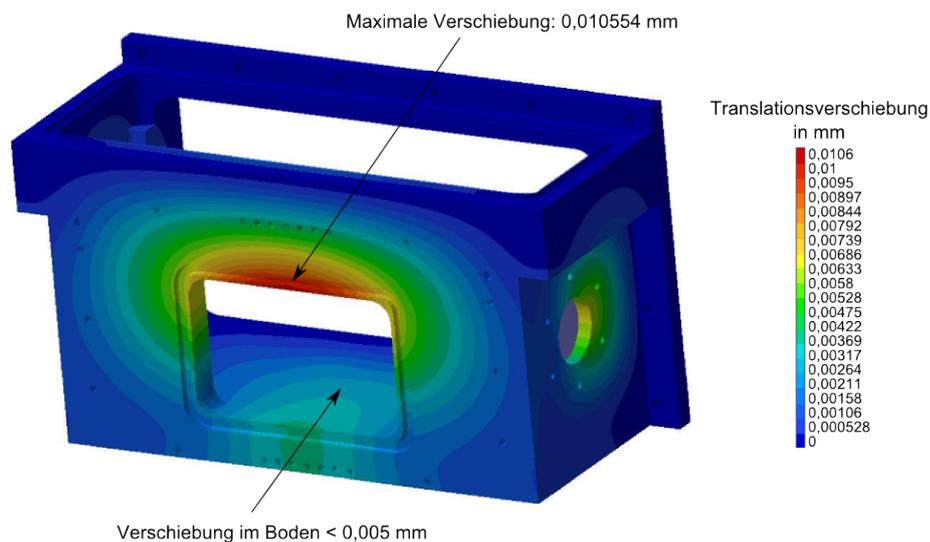


Abbildung 2.7.: Verformung des Gehäuses unter 1 bar Druckdifferenz

2.6. Die Konstruktion des neuen Blendensystems B1

Zum besseren Verständnis der nachfolgenden Beschreibungen wird auf die Abbildung 2.8 verwiesen.

Die Blenden bestehen aus 2,5 mm starken Borstahlplatten. Die Platten werden, um die Ungenauigkeit der Position in x-Richtung möglichst klein zu halten, übereinander angebracht. Um die Ungenauigkeit noch kleiner zu bekommen, wurden auch Blenden gefräst die an der Stoßstelle wo diese sich berühren auf 1 mm verjüngt wurden.

Da bei einer nicht homogenen Verteilung des Bors im Stahl, das Verjüngen der Blenden zum Entfernen der Borschicht führen könnte, wurden zwei Blendenpaare gefräst -

eine mit Verjüngung, die andere ohne. Leider war zur Zeit der Arbeit der Reaktor am Atominstitut wegen Wartungsarbeiten abgeschaltet, daher konnte auch nicht getestet werden ob die Borschicht entfernt wurde.

Um die Blenden in der Höhe verstellen zu können, wurden an jede Blende zwei Blöcke mit Gewinde angebracht. Mit deren Hilfe können die Blenden mittels zwei M18x1-Feingewindestangen verstellt werden. Das Maß der Gewindestangen wurde so gewählt, dass die Steigung möglichst klein ist um die Einstellung möglichst genau vornehmen zu können. Außerdem wurden die Gewindestangen relativ stark gewählt, um ein mögliches Verbiegen zu verhindern und so mögliche Fehlerquellen auszuschließen. Um die Gewindestangen drehen zu können wurde oben eine Einbuchtung für einen Imbus-Schlüssel angebracht. Aus Platzgründen wurden andere Ideen mit einem Griff oder ähnlichem wieder verworfen. Um die Drehungen der Gewindestangen und damit die Bewegung der Blenden besser verfolgen zu können, wurden noch Ringe mit einer Skala angebracht. Diese können mittels kleiner Schrauben auf den Stangen fixiert werden. Damit ist es möglich zu verfolgen wie viel die Gewindestangen gedreht wurden.

Zusätzlich gibt es noch eine Möglichkeit die Einstellung der Blenden zu überprüfen: Zu diesem Zweck wurden oben in die Halterung zwei Langlöcher gemacht und auf zwei der vier Blöcke mit Gewinde, Stangen angebracht. Nun kann mit einer Tiefenlehre der Abstand der Blöcke zu einer definierten Ebene gemessen werden. Damit ist es nicht nur möglich die Höhe, sondern auch die Schrägstellung der Blenden zu messen. Jede Schrägstellung der Blenden führt zu einer y -Abhängigkeit der Geschwindigkeitsverteilung, welche zu Fehlern in den Messdaten führen kann. Aus Platzgründen musste für die Messungen der Blendenposition die kürzeste erhältliche Tiefenlehre gekauft werden. Diese wurde dann nochmals zusätzlich in der Länge und der Breite gekürzt.

Um von der Messung mit der Tiefenlehre zur Blendenposition relativ zur Spiegelposition des Experiments zu kommen, müssen jedoch mehrere Größen berücksichtigt werden. Zunächst muss die Blendenhöhe gegenüber dem Boden des Blendengehäuses bestimmt werden. Dafür wird der Messwert der Tiefenlehre von der Höhe der Blendenhalterung abgezogen. Die Höhe der Blendenhalterung ist dabei eine fixe Größe und durch die Konstruktion festgelegt. Zur Höhe über dem Blendengehäuseboden wird der Abstand zum Granit auf dem das Experiment steht hinzugezählt. Dabei sollte dieser Abstand beim Einrichten des Experiments möglichst genau bestimmt werden. Als letzten Schritt wird der Abstand vom Granit zum Spiegel wieder abgezogen. Dieser Abstand ist vom experimentellen Aufbau abhängig und meist sehr genau bekannt.

Dieses komplizierte Vorgehen kann sich in einem größeren Messfehler auswirken. Leider ist für die Geschwindigkeitsselektion die Position der Blenden relativ zum Experiment entscheidend und es wurde keine bessere Methode gefunden die Position zu bestimmen.

Um die Blenden in der gewünschten Position fixieren zu können wurden zusätzlich Teflonpacken angebracht, die bei Bedarf gegen die Blenden gepresst werden können.

Um nun eine Verstellung in x -Richtung zu ermöglichen, befinden sich die Blenden mit den Gewindestangen auf einem Gerüst, welches diese hält. Dabei wird das Blendensystem entlang von zwei Schienen geführt. In der gewünschten Position kann es nun mit zwei Schrauben an die Schienen gepresst werden. Damit kann das Blendensystem nicht mehr verrutschen.

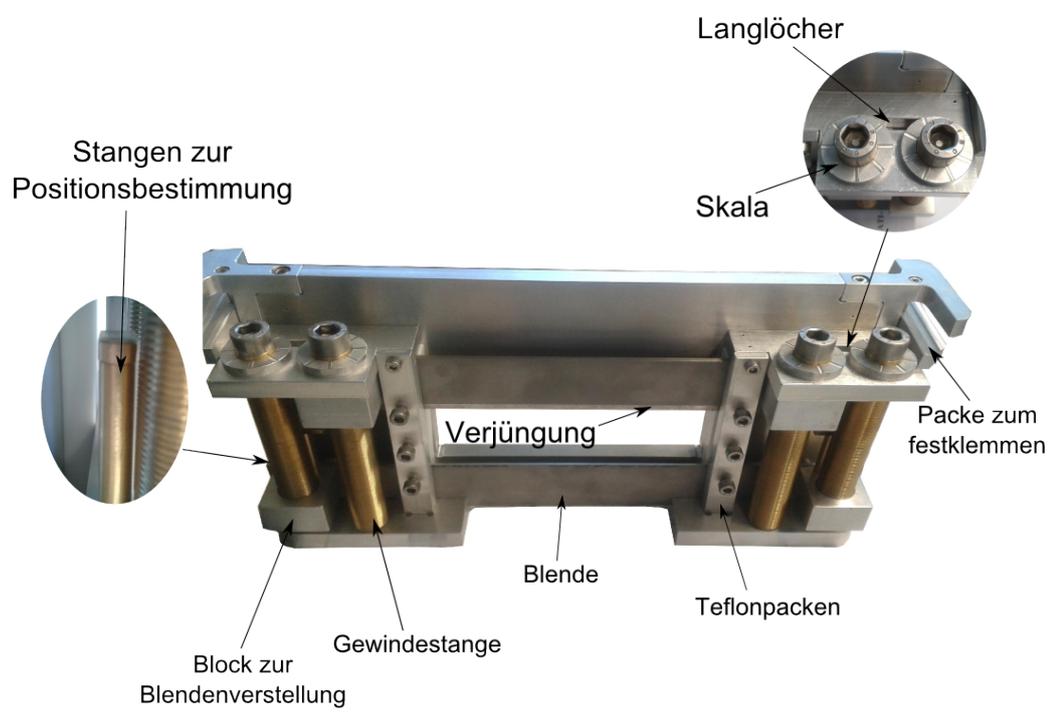


Abbildung 2.8.: Das neue Blendensystem B1

2.7. Abschätzung der Auswirkung möglicher Messfehler

Um abschätzen zu können wie genau man die Blendenposition einrichten können muss, wird hier die Auswirkung möglicher Messfehler der Blendenposition auf die Geschwindigkeitsselektion behandelt. Dabei muss man mehrere mögliche Fehler berücksichtigen.

1. Zum einen können die Blenden um einen gewissen Wert versetzt sein; dies führt zu einem Offset in der Geschwindigkeitsverteilung.
2. Die zweite Möglichkeit ist, dass die Blenden in z-Richtung schräg eingerichtet werden. Dazu kann es kommen, wenn durch einen Messfehler eine Seite der Blende höher oder tiefer eingestellt wird als gewünscht.
3. Der dritte mögliche Fehler kann eine falsche Einstellung in x-Richtung sein. Dies führt ebenfalls zu einem Offset in der Geschwindigkeitsverteilung.
4. Eine Schrägstellung in x-Richtung ist nur in einem sehr kleinen Rahmen möglich. Diese Möglichkeit wird jedoch der Vollständigkeit halber ebenfalls kurz behandelt.

Da die genaue Geschwindigkeitsverteilung vor dem Blendensystem stark von der gewählten maximalen und minimalen Geschwindigkeit abhängt und zur einfacheren Übersicht, wird angenommen, dass die Geschwindigkeit der Neutronen vor dem Blendensystem gleichverteilt ist. Dabei ist aber zu beachten, dass Geschwindigkeiten unter $3,2 \frac{m}{s}$ aufgrund der Aluminiumfolie nicht vorkommen können.

Mit dieser Annahme entspricht die Geschwindigkeitsverteilung nach dem Blendensystem einer blockförmigen Verteilung. Zur besseren Anschauung wird auf Abbildung 2.11 verwiesen.

Die Position des Blendensystems wird mit einer Schiebe- und einer Tiefenlehre bestimmt. Diese haben einen theoretischen Messfehler von 0,05 mm. Um eine worst-case Abschätzung zu bekommen wird für die Quantitative Abschätzung von einem Messfehler von 0,1 mm ausgegangen. Weiters werden für den Geschwindigkeitsbereich bzw die Blendenposition die Werte aus dem Experiment genommen um so eine realitätsnahe Abschätzung zu bekommen. Der Abstand des Blendensystems zum Experiment beträgt 140,5 mm. Die Positionen in z-Richtung sind 89 mm bzw. 87 mm über dem Granit. Damit wird die Höhe und damit Z_I und Z_{II} zu 1 mm bzw. 3 mm.

2.7.1. Offset in x-Richtung

Ein Offset in x-Richtung verändert beide Geschwindigkeiten $v_{x_{min}}$ und $v_{x_{max}}$ wodurch die Geschwindigkeitsverteilung verschoben wird. Die Größe des Geschwindigkeitsbereichs ändert sich jedoch nicht.

Aus den Gleichungen für die Geschwindigkeitsselektion 2.3 und 2.4 folgt für einen Fehler in x-Richtung Δx

$$\Delta v_{x_{max}} = \Delta x \sqrt{\frac{g}{2Z_{II}}} \quad (2.6)$$

bzw.

$$\Delta v_{x_{min}} = \Delta x \frac{\sqrt{g}}{\sqrt{2(Z_I + Z_S)} + \sqrt{2Z_S}} \quad (2.7)$$

Damit wird der relative Fehler von v zu $\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta x}{x}$. Mit einem Messfehler von 0,1 mm ergibt sich damit, bei denen im Experiment gegebenen Einstellungen, ein relativer Fehler von 0,7 ‰.

2.7.2. Offset in z-Richtung

Beim Offset in Z-Richtung ist zu beachten, dass der daraus folgende Fehler davon abhängt ob bei der oberen oder unteren Blende fehlerhaft eingestellt wird. Bei der unteren Blende verschiebt sich $v_{x_{min}}$ während sich bei der oberen Blende $v_{x_{max}}$ verschiebt. Damit wird der Geschwindigkeitsbereich in der Größe mit dem Fehler verändert.

Damit ergibt sich der Fehler von $v_{x_{max}}$ über den Fehler Δz direkt zu

$$\begin{aligned} \Delta v_{x_{max}} &= x \sqrt{\frac{g}{2}} z^{-\frac{3}{2}} \cdot \Delta z. \\ \Rightarrow \frac{\Delta v_{x_{max}}}{v_{x_{max}}} &= \frac{\Delta z}{z} \end{aligned} \quad (2.8)$$

Für $v_{x_{min}}$ ist nicht nur eine fehlerhafte Einstellung des Blendensystems möglich, sondern auch ein Fehler bei der Positionierung des Absorbers. Da dieser über Endmaße positioniert wird, ist der Fehler dabei deutlich kleiner. Hier wird von einer Spaltgröße von $Z_S = 20\mu m$ und einem Fehler von $\Delta Z_S = 1\mu m$ ausgegangen. Damit folgt für $\Delta v_{x_{min}}$

$$\Delta v_{x_{min}} = x \frac{\sqrt{g}}{(\sqrt{2(Z_I + Z_S)} + \sqrt{2Z_S})^2} \left(\frac{1}{\sqrt{2(Z_I + Z_S)}} (\Delta Z_I + \Delta Z_S) + \frac{1}{\sqrt{2Z_S}} \Delta Z_S \right) \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \frac{\Delta v_{x_{min}}}{v} &= \frac{1}{2(Z_I + Z_S) + 2\sqrt{Z_S}(Z_I + Z_S)} (\Delta Z_I + \Delta Z_S) \\ &+ \frac{1}{2\sqrt{Z_S}(Z_I + Z_S) + 2Z_S} \Delta Z_S \end{aligned} \quad (2.10)$$

Damit ergeben sich die relativen Fehler $\frac{\Delta v_{x_{min}}}{v_{x_{min}}}$ bzw. $\frac{\Delta v_{x_{max}}}{v_{x_{max}}}$ zu 1,68 ‰ bzw 10 ‰. Aufgrund des geringeren Wertes von Z_I , zeigt sich bei der Maximalgeschwindigkeit ein deutlich größerer Fehler. Bei $v_{x_{min}}$ hat der Fehler in Z_S mit 1,8 ‰ kaum Auswirkungen gegen den Fehler in Z_I .

2.7.3. Schrägstellung in z-Richtung

Bei der Schrägstellung der Blenden in z-Richtung verändert sich ebenfalls abhängig davon welche Blende es betrifft die jeweilige Geschwindigkeit. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Blendenposition eine y-Abhängigkeit bekommt. Damit kommt es bei der Geschwindigkeitsverteilung zu einer Abschrägung der Flanke.

Eine Schrägstellung kann vorkommen, wenn bei der Messung der Blendeneinstellung bei beiden Messpunkten unterschiedliche Fehler gemacht werden. Bei der folgenden Diskussion wird zum besseren Verständnis auf Abbildung 2.9 verwiesen.

Um den Fehler in z-Richtung aus der Messungenauigkeit zu Berechnung muss der Abstand zwischen den Messpunkten berücksichtigt werden. Umso größer dieser Abstand ist, umso kleiner ist der Fehler. Aus diesem Grund wird zur Berechnung des möglichen Fehlers der Abstand der Messpunkte der oberen Blende genommen, da diese näher zusammen liegen. Weiters nimmt man an, dass beide Messpunkte den maximalen Messfehler aufweisen, diesen jedoch in die jeweils andere Richtung. Außerdem wird angenommen, dass bei einer Seite des Experiments die Blende auf der Richtigen Höhe ist. Als Breite des Experiments wird $b_e = 81\text{mm}$ angenommen, dies entspricht der Breite des Strahlrohrs und damit dem breitesten möglichen Setup.

Alle diese Annahmen führen zu einer worst-case Abschätzung und sind damit ein gutes Maß in welchem Rahmen sich die Ungenauigkeit maximal bewegen wird. Der Abstand zwischen den Messpunkten in Z-Richtung ist bei diesem Szenario $\Delta z_m = 0,2\text{mm}$. Der Abstand zwischen den Messpunkten beträgt $b_m = 233,7\text{mm}$. Damit folgt für Δz

$$\Delta z = \frac{b_e}{b_m} \cdot \Delta z_m \approx 0,07\text{mm} \quad (2.11)$$

Dies liegt mit einem relativen Fehler von $7 - 2,3\%$ sehr nahe an dem Fehler des Offset in z-Richtung. Jedoch wirkt sich dieser Fehler nicht so stark aus, da der Fehler über die Breite des Experiments sich verkleinert.

2.7.4. Schrägstellung in x-Richtung

Eine Schrägstellung in x-Richtung kann in zwei Offsets in x- und z-Richtung zerlegt werden. Damit ändert diese Schrägstellung sowohl die Größe als auch die Position des Geschwindigkeitsbereichs. Zum besseren Verständnis wird auf Abbildung 2.10 verwiesen.

Da die Halterung des Blendensystems auf eine überfräste Fläche gepresst wird ist der mögliche Fehler deutlich kleiner. Hier wird als worst-case Abschätzung von einem Fehler von $0,02\text{mm}$ ausgegangen. Weiters ist die Schrägstellung umso stärker, je kürzer der Hebel ist. Im schlimmsten Fall ist die Unebenheit im Gehäuseboden genau bei der Hälfte der auf den Boden gepressten Fläche. Aus diesem Grund wird die Hälfte dieser Länge als Hebel angenommen und beträgt $23,75\text{mm}$. Da sich diese Größen über 3 Größenordnungen erstrecken kann für den Verkippungswinkel $\alpha \approx \frac{\Delta x_s}{l} \approx 8,421 \cdot 10^{-4}$ angenommen werden. Dieser sehr kleine Winkel lässt vermuten, dass die Schrägstellung in x-Richtung vernachlässigt werden kann.

Um dies zu zeigen sind hier noch die Verschiebungen ausgerechnet. Um den größtmöglichen Fehler zu bekommen wird dieser für die obere Blende in der obersten Position berechnet. Hierbei beträgt die Höhe der Blende $h = 74\text{mm}$. Damit bekommt man eine Verschiebung in X-Richtung von $\Delta x \approx 0,0623\text{mm}$. Dieser Offset ist um eine Größenordnung kleiner als die Messgenauigkeit in X-Richtung und damit vernachlässigbar.

Der Fehler in Z-Richtung ist mit $\Delta z \approx 0,019\text{mm}$ noch deutlich kleiner und ebenfalls vernachlässigbar.

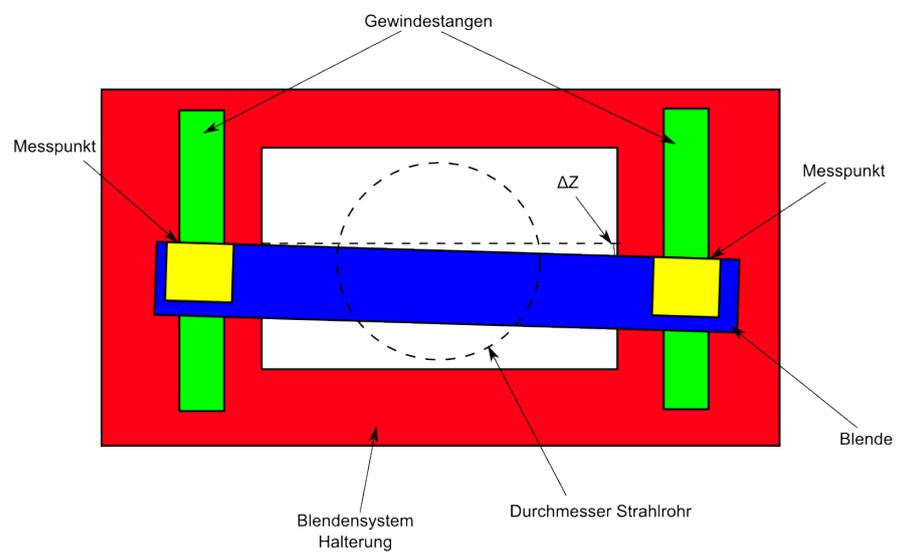


Abbildung 2.9.: Schematische Darstellung der Schrägstellung der Blenden. Zur besseren Übersicht wurde die Schrägstellung stark übertrieben gezeichnet. Weiters ist die Darstellung nicht maßstabsgetreu

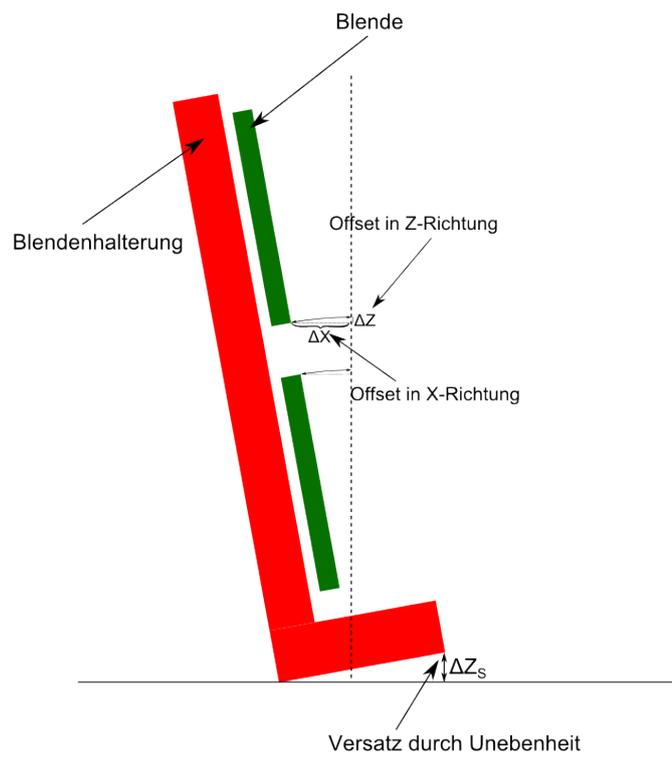


Abbildung 2.10.: Schematische Darstellung einer Schrägstellung in x-Richtung. Die Schrägstellung ist zur besseren Übersicht stark überzeichnet. Weiters ist der Maßstab nicht eingehalten.

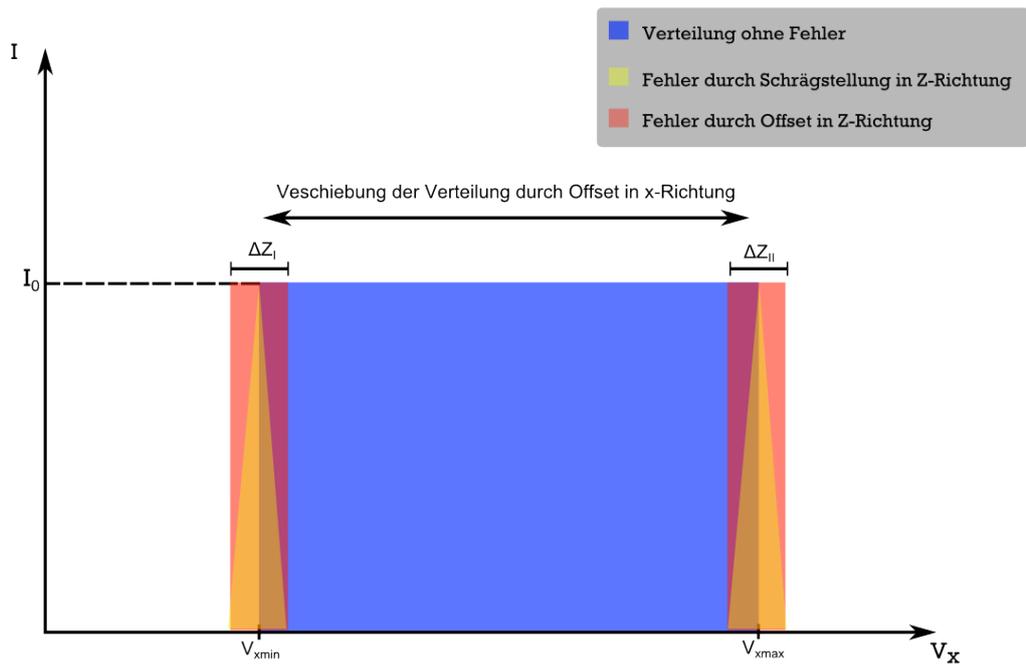


Abbildung 2.11.: Geschwindigkeitsverteilung mit möglichen Fehlern. Die Schrägstellung in x-Richtung wurde nicht explizit gezeigt, da diese in einen Offset in x- und z-Richtung zerlegt werden. Weiters wurde angenommen, dass die Geschwindigkeitsverteilung vor dem Blendsystem einer Gleichverteilung entspricht

Kapitel 3.

Testen des Blendensystems und des Vakuumgehäuses

Um mögliche Fehler der Konstruktion sowie Nachbesserungsarbeiten noch vor der Strahlzeit durchführen zu können, wurden unterschiedliche Tests durchgeführt. Zum einen musste getestet werden, ob die Aluminiumfolie beim neuen Vakuumgehäuse den Druckunterschied bzw. die Wechselbelastungen durch regelmäßiges Belüften aushalten kann. Weiters wurde die Leckrate des Vakuumgehäuses bestimmt. Sollte diese zu hoch sein müsste man das Vakuumgehäuse nochmals überarbeiten, um das Experiment durchführen zu können.

3.1. Drucktests der Aluminiumfolie

Um bei der Folie die Ermüdungserscheinungen schneller hervorrufen zu können und aufgrund der leichteren Handhabbarkeit, wurde statt Vakuum 5 bar Luftdruck aus der Laboranlage zum Drucktest verwendet. Dabei ist es möglich die Folie 5 mal stärker zu belasten als es im Experiment je auftreten wird. Damit sollte sichergestellt werden, dass die Folie die 50 Tage Experimentierzeit übersteht.

Um die Folie in das Drucksystem einzubauen wurde der Teil des Vakuumgehäuses der auch im Experiment die Folie hält, herangezogen. Anstatt des Strahlrohrs wurde ein Aufsatz verwendet an dem der Druckschlauch angebracht wird. Auf der anderen Seite wurde mittels Klemmen eine Aluminiumplatte mit einem Anschluss für den Schlauch befestigt. Dadurch war es möglich die Folie von beiden Seiten zu belasten.

Der experimentelle Aufbau kann aus Abbildung 3.1 entnommen werden.

3.1.1. Erster Test mit zwei 48 μm Folien

Der erste Test bestand darin zwei noch vorhandene 48 μm Folien zu belasten und zu sehen, bei welchem Druck diese platzen. Dabei handelte es sich, im Gegensatz zu der im Experiment eingesetzten Folie, um eine 99 % Aluminiumfolie. Um zusätzlich die plastische Verformung der Folie beobachten zu können, wurde eine Seite offen gelassen und ein „linear Gage“ angebracht.

Bei einem „linear Gage“ handelt sich um ein Messgerät der Firma Mitutoyo. Es besteht aus einem Messfühler dessen Verschiebung gemessen wird. Dabei wird im Gerät die Bewegung einer linearen Transmissionsskala mittels Licht gemessen. Da es sich bei dem Gerät um ein gekauftes Messgerät handelt, muss auf die Angaben des Herstellers verwiesen werden. Siehe dazu [19]

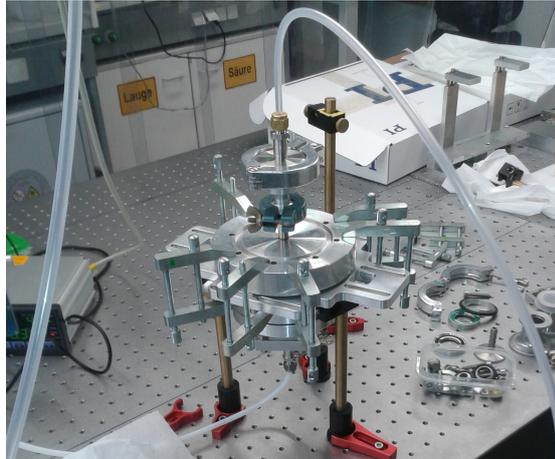


Abbildung 3.1.: Experimenteller Aufbau zum Ermüdungstest der Folie

Bei diesem ersten Test wurde noch nicht der PC zum Aufzeichnen der Messungen des „linear Gage“ verwendet, sondern händisch der Wert nach der Druckerhöhung aufgeschrieben. Nun wurde der Druck schrittweise, in 0,25 bar Schritten, erhöht. Nach jeder Erhöhung wurde abgewartet, da das Aluminium eine relativ lange Zeit nach der Erhöhung sich noch plastisch verformt. In Abbildung 3.2 sieht man den schematischen Aufbau des Versuchs. Wie man sieht, wurde die Folie zwischen Strahlrohrflansch und Z-Verstellmechanismus angebracht, genau wie im Experiment. Darüber wurde ein Aufsatz montiert um das System unter Druck setzen zu können. Der Linear Gage wurde darunter angebracht um die Durchbiegung der Folie messen zu können.

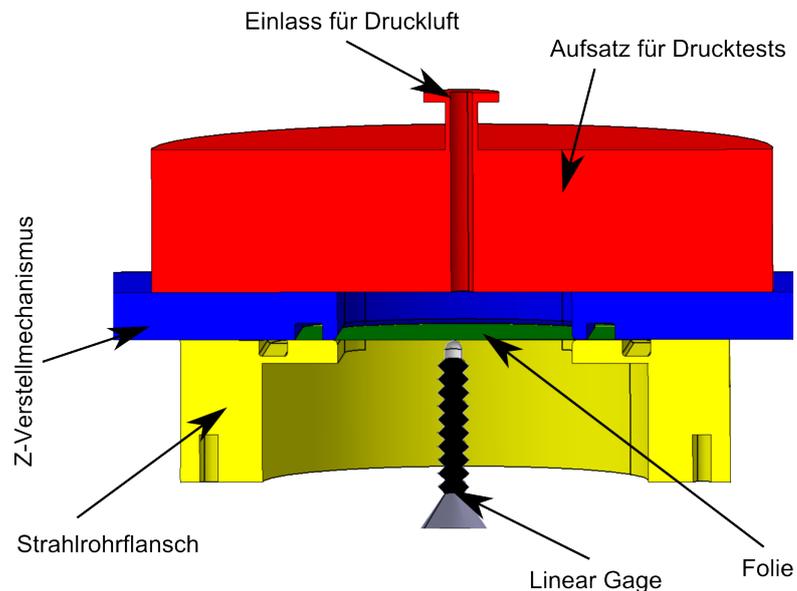


Abbildung 3.2.: Schematischer Versuchsaufbau zum Langzeittest.

Bei einem Druck von 2,25 bar zeigten die Folien eine Durchbiegung von 10,45 mm. Das

war der letzte Messwert weil die Folien bei 2,5 bar mit einem lauten Knall durchrissen.

In Abbildung 3.3 sieht man die Folien nach dem Versagen. Wie man sehen kann, ist die Folie auf drei Seiten komplett gerissen und hat sich um die Befestigung gebogen.

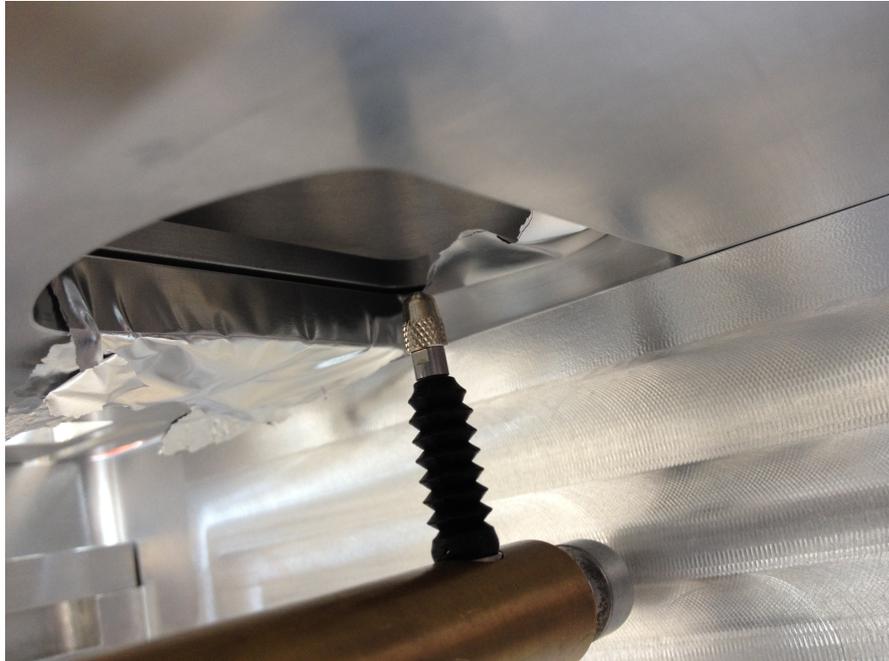


Abbildung 3.3.: zwei 48 μm Folien nach dem Versagen

3.1.2. Langzeittests mit 0,1 mm AlMg3 Folie

Bei diesen Tests wurden zum ersten Mal Folien der Art wie sie im Experiment eingebaut werden getestet. Dabei handelt es sich um eine Aluminiumfolie mit 3 % Magnesium darin. Diese Folienart hat den Vorteil verhältnismäßig stark und gleichzeitig sehr durchsichtig für Neutronen zu sein. Dies wurde in [20] untersucht und festgestellt.

Beim ersten Versuch einer Langzeitmessung wurde die Folie mit 5 bar Druck belastet und das System geschlossen. Es wurde auch vom Kompressor getrennt, da ein Platzen der Folie in der Nacht sonst das komplette Druckluftsystem entlüftet hätte. Zusätzlich wurde wieder mit dem „linear Gage“ die Durchbiegung der Folie gemessen. Dieses Mal wurden die Messwerte mit dem PC aufgenommen. Damit ist es möglich den Zeitpunkt des möglichen Versagens der Folie auch in der Nacht zu bestimmen. In Abbildung 3.4 sieht man den Verlauf der Durchbiegung bei der Erhöhung des Drucks. Die Stufen entstehen durch ein schlagartiges Erhöhen des Drucks. Wie man im Ausschnitt sehen kann, kommt es bei der Folie nach dem Erhöhen des Drucks noch zu einer plastischen Verformung. Die Folie hielt die ganze Nacht.

In Abbildung 3.5 sieht man den Aufbau zum Langzeittest. Man sieht die starke Durchbiegung der Folie sowie einen Kratzer den der Linear Gage beim Einrichten verursacht hat. Trotz dieses Schadens hat die Folie den Langzeittest sowie 29 Wechselzyklen (siehe 3.1.3) ausgehalten bis sie an einer andere Stelle gerissen ist.

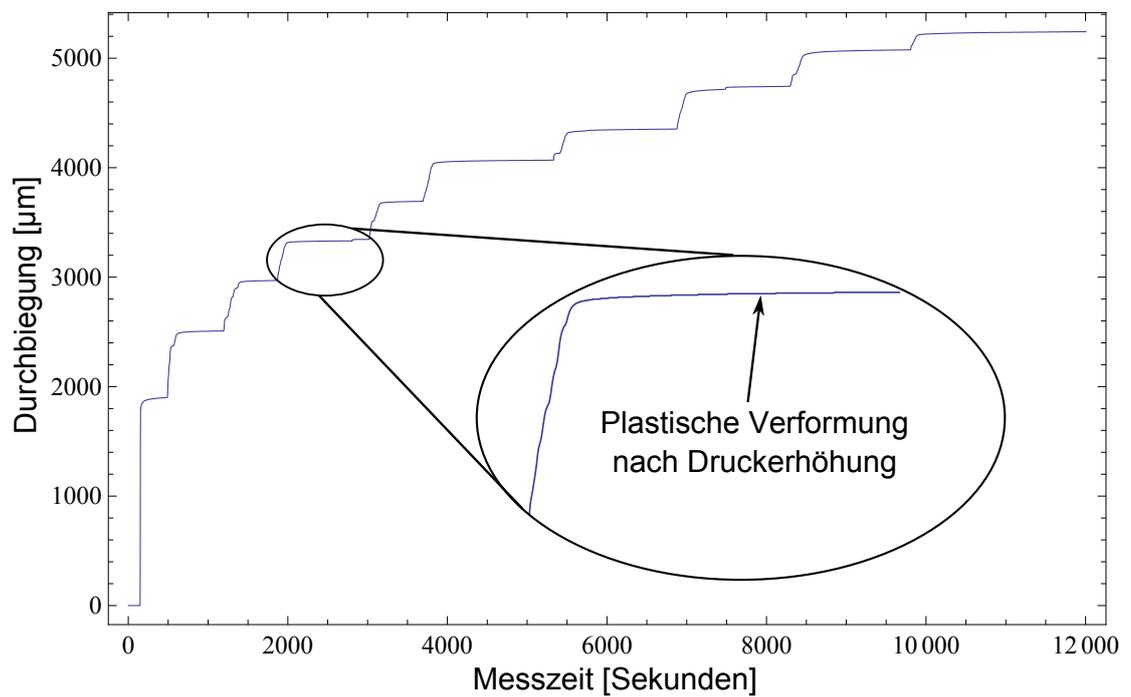


Abbildung 3.4.: Verlauf der Durchbiegung der 0,1 mm AlMg3 Folie bei Druckerhöhung. Die stufen entstehen durch eine schnelle Verformung aufgrund eines plötzlichen Druckanstiegs. Im Ausschnitt sieht man das die Folie nach einer Druckerhöhung sich noch länger plastisch verformt.

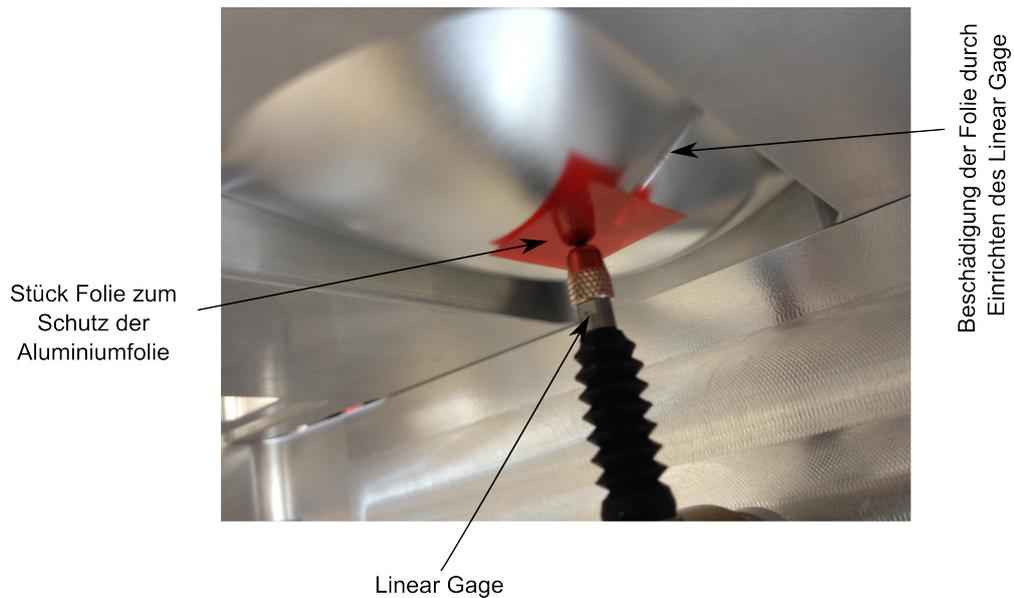


Abbildung 3.5.: 0,1 mm AlMg3 Folie bei Langzeittest. Durch das Einrichten des Linear Gage ist ein leichter Schaden an der Folie entstanden. Trotzdem hielt sie die ganze Nacht und noch 29 Zyklen bis sie an einer andere Stelle versagte

3.1.3. Ermüdungstests mit 0,1 mm AlMg3 Folie

Nachdem die Folie den Langzeittest über Nacht ohne sichtliche Schäden oder Schwächen überstanden hat, wird nun versucht, durch eine Wechselbelastung, wie sie theoretisch auch im Experiment auftreten kann, zu ermüden. Dadurch dass die Folie nun von beiden Seiten belastet wird, muss der Aufbau geschlossen werden. Dadurch kann jedoch die Dehnung der Folie nicht mehr gemessen werden.

Die Ermüdungstests werden mit 2 bar durchgeführt. Dabei ist ein Zyklus, wenn die Folie abwechselnd einmal von beiden Seiten mit Druck belastet wurde. Die erste Folie versagte nach 29 Zyklen. Da die Folie genau an einer Kante einriss ohne komplett durchzureißen, wurde vermutet dass die Kante der Halterung zu scharf ist. Aus diesem Grund wurde die Kante abgerundet und der Test mit einer neuen Folie wiederholt.

Beim zweiten Test hielt die Folie deutlich länger. Der Ermüdungstest wurde nach 70 Zyklen abgebrochen da die Folie immer noch hielt. Um die Folie zum Reißen zu bringen, wurde ein erneuter Langzeittest durchgeführt. Die Folie wurde 136 Stunden mit 3 bar Druck belastet und hielt.

Da im Experiment das Strahlrohr nur sehr selten belüftet wird, womit die Wechselbelastung sehr gering bleiben wird, ist die Folienstärke von 0,1 mm AlMg3 ausreichend. Nach diesen Tests wurde eine neue Folie vorbereitet, da Ermüdungserscheinungen an der Testfolie nicht auszuschließen sind. Um einen Produktionsfehler der neuen Folie auszuschließen, wurde diese kurzfristig mit 2 bar belastet.

3.2. Vakuumtest des Gehäuses

Die Vakuumtests dienen dazu die Leckrate des Gehäuses zu bestimmen. Leider kann das Blendengehäuse nicht alleine getestet werden, da es an das bestehende Gehäuse angeschraubt werden muss.

3.2.1. Theoretische Berechnung der Leckrate

Um die gemessene Leckrate gut beurteilen zu können wird zunächst berechnet welche Leckrate bei einem als dicht geltenden Gehäuse zu erwarten ist. Diese Leckrate kommt daher, das vor allem die O-Ringe im Vakuum ausgasen und so eine Leckrate erzeugen. Um diese Ausgasrate zu bestimmen wird angenommen, dass die halbe Seite des O-Rings im Vakuum ist und somit zur Leckrate beiträgt. Da die O-Ringe im realen Gehäuse stark gepresst werden entspricht diese Annahme einem worst-case Szenario, ist aber eine gute Abschätzung was erreichbar wäre.

Damit ergibt sich die Leckrate eines O-Rings zu

$$Q_i = l_i r_i \pi q_{DesK} \quad (3.1)$$

Dabei ist Q_i die Leckrate des i-ten O-Rings, l_i die Länge des O-Rings (bzw der Umfang), r_i der Radius der O-Ring Stärke und q_{DesK} die Desorptionsrate des O-Ring-Materials.

Damit ergibt sich die Gesamtleckrate aus der Summe der Einzelleckraten.

$$Q = \sum_i Q_i \quad (3.2)$$

Zur Berechnung werden nur die O-Ringe des Blendengehäuses herangezogen, da in erster Linie die Zunahme der Leckrate durch das Blendengehäuse bestimmt werden soll und nicht die Gesamtleckrate.

Damit ergeben die Berechnungen eine erwartete Leckrate durch die Dichtungen von $Q = 3,755 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mbar} \cdot \text{l}}{\text{s}} \pm 1,23 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mbar} \cdot \text{l}}{\text{s}}$. Dies ist die erwartete Zunahme der Leckrate durch das Blendengehäuse. Zur Berechnung des Fehlers wurde von der, laut DIN 3771 und DIN ISO 3601 vorgeschriebenen, Fertigungsgenauigkeit für O-Ringe ausgegangen.

Die Werte der Konstanten die bei dieser Berechnung verwendet wurden sind im Kapitel A.2 aufgelistet.

3.2.2. Leckratenbestimmung des Vakuumgehäuses

Um nun die Leckrate des Blendengehäuses bestimmen zu können wird zunächst die Leckrate des schon bestehenden Vakuumgehäuses bestimmt. Danach wird die Leckrate des Vakuumgehäuses mit dem Blendengehäuse zusammen bestimmt. Die Differenz aus den Messungen entspricht dann der Leckrate des Blendengehäuses. Dazu wurde das Gehäuse mit dem Deckel des letzten Experiments versehen und 24 Stunden abgepumpt. Bei einem Druck von $8,3 \cdot 10^{-6}$ mbar wurden die Pumpen abgeschaltet und die Ventile geschlossen. 19 Stunden lang wurde der Druckverlauf mit dem Computer aufgenommen. Aus der Steigung des Drucks und dem Volumen des Gehäuses kann die Leckrate auf $1,66 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mbar} \cdot \text{l}}{\text{s}} \pm 5,2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mbar} \cdot \text{l}}{\text{s}}$ bestimmt werden. Der Fehler kommt

aus der Wiederholgenauigkeit der Messsonde welche laut Hersteller bei 30 % liegt, sowie aus dem Messfehler der Abmessungen des Vakuumgehäuses. Dabei wurde die Messung mit einem Maßband vorgenommen, daher wird ein Fehler von 2 mm angenommen. Der Druck wurde mit der Drucksonde IMR 265 von Pfeiffer Vacuum gemessen. Diese misst in einem Bereich von $2 \cdot 10^{-6}$ bis 1000 hPa. Dabei werden zwei Messröhren verwendet, zwischen denen automatisch ab einem gewissen Druck umgeschaltet wird. In Abbildung 3.6 sieht man das Umschalten zwischen den Messröhren durch einen kleinen Sprung in der Kurve.

3.2.3. Leckratenbestimmung des Blendengehäuses

Zur Leckratenbestimmung des Blendengehäuses wurde wie beim Vakuumgehäuse vorgegangen. Zunächst wurde ein Vakuum erzeugt und nach Abschalten der Pumpen der Druckanstieg gemessen. Hier kommt der Fehler ebenfalls aus der Wiederholgenauigkeit der Messsonde sowie den Messfehlern der Volumbestimmung. Jedoch wurden hier zwei Volumina (qBounce gehäuse und Blendengehäuse) bestimmt. Es wurde für beide Gehäuse ein Messfehler von 2 mm angenommen. Die ersten Messungen erfolgten mit eingesetzter Sicherungsschraube um das beste Ergebnis zu erreichen welches das Gehäuse erzielen kann. Die Leckrate lag bei $1,57 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mbar l}}{\text{s}} \pm 4,9 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mbar l}}{\text{s}}$. Dieser Wert ist zwar 10 % besser als bei der Referenzmessung, jedoch liegen beide Messungen innerhalb des Fehlers im selben Bereich. Damit kann das Gehäuse mit der Sicherungsschraube als gleich dicht zur Referenz angenommen werden.

Um das Strahlrohr unabhängig in y- und z-Richtung verstellen zu können, wird versucht im Experiment auf die Sicherungsschraube zu verzichten. Hierzu wurde eine Leckratenbestimmung ohne Sicherungsschraube durchgeführt. Wie erwartet, ist durch das Entfernen der Schrauben die Leckrate deutlich gestiegen. Jedoch liegt die Leckrate mit $2,57 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mbar l}}{\text{s}} \pm 7,9 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mbar l}}{\text{s}}$ immer noch deutlich unter den durch die worst-case Abschätzung erwarteten $4,41 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mbar l}}{\text{s}} \pm 6,4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mbar l}}{\text{s}}$. Damit ist das Gehäuse ausreichend dicht für das Experiment.

In Abbildung 3.6 sieht man nochmal alle 3 Messungen im Vergleich geplottet.

3.3. Transmission des Blendensystems

Leider war während der Arbeit am Atominstitut der Reaktor abgeschaltet weshalb eine Transmissionsmessung mit dem Blendensystem nicht möglich war. Außerdem war ich aus zeitlichen Gründen nicht mit in Frankreich, wodurch ich dort auch keine Messungen durchführen konnte. Dankenswerterweise haben die Kollegen Cronenberg, Filter und Jenke, die in Frankreich waren, die Transmission durch das Blendensystem gemessen.

Dabei war es leider aus zeitlichen Gründen nicht möglich ein Geschwindigkeitsspektrum nach dem Blendensystem aufzunehmen. Es wurden aber Messungen der Zählrate bei geöffneter und geschlossener Blendenstellung durchgeführt. So kann abgeschätzt werden, ob beim Verjüngen der Blenden die Borschicht entfernt wurde. Bei geöffneten Blenden kommt es zu einer Zählrate von 710 ± 19 mHz, während es bei geschlossener Blendenposition nur zu einer Zählrate von 47 ± 3 mHz kommt.

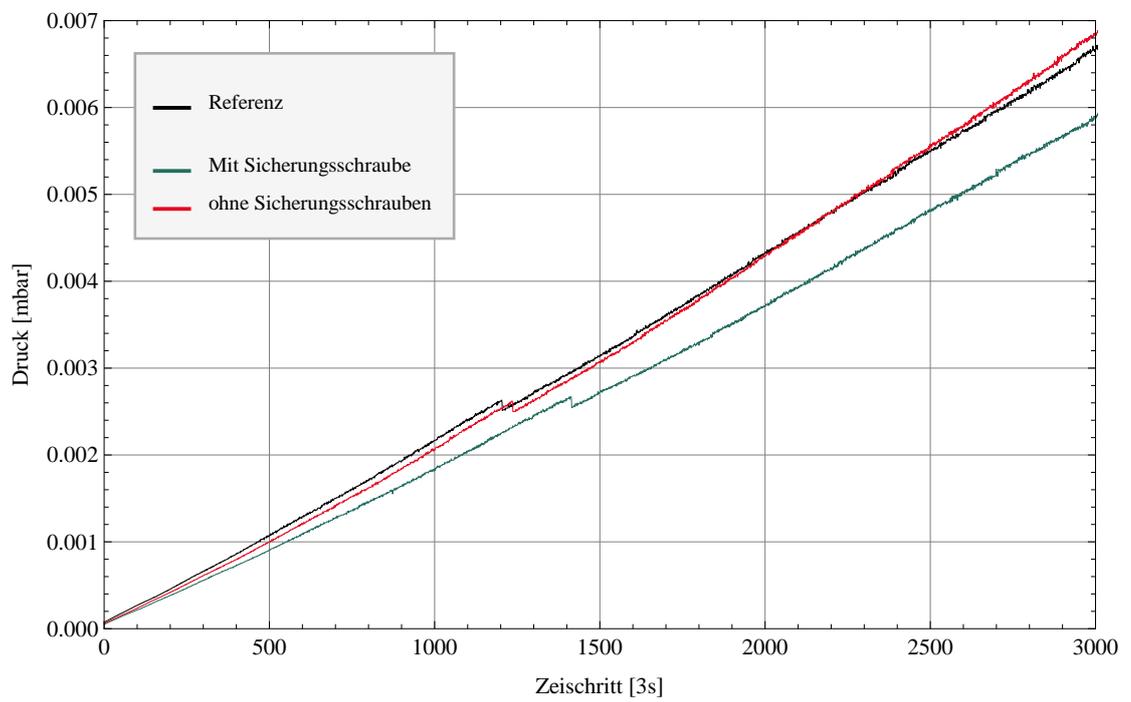


Abbildung 3.6.: Alle 3 Lecktests. Der Sprung zwischen 0,002 und 0,003 mbar entsteht durch das Umschalten zwischen den zwei Messröhren des Messgeräts.

Kapitel 4.

Kalibration der Magnetfeldsensoren

Wie in Kapitel 1.1.2 beschrieben wurde ist es für die Messung möglicher spinabhängiger Axion-Wechselwirkungen nötig die Neutronen zu polarisieren. Dafür wird im Experiment ein Haltefeld erzeugt, um ein Kippen der Spinrichtung der Neutronen zu verhindern. Um die Homogenität des Haltefelds überprüfen zu können, werden Magnetometer benötigt, die kompakt genug sind um im Experiment platziert werden zu können. Dazu werden die 3-achsigen MFS-3A von Ametek verwendet. Diese Magnetfeldsensoren sind kompakt genug um auf ein Gestell montiert werden zu können, mit dem das Experiment abgescannt werden kann.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden, neben der Konstruktion des Blendensystems, auch diese Magnetometer kalibriert. Dabei müssen zwei Werte eingangsspannungsabhängig bestimmt werden. Das ist zum einen die Sensitivität und zum anderen der Offset. Aus der Bestimmung der Spannungsabhängigkeit der Magnetfeldsensoren kann auch eine Aussage über die benötigte Spannungsquelle getroffen werden.

Dabei beschreibt die Sensitivität S die Steigung der Ausgangsspannung in Abhängigkeit des Magnetfeldes. Der Offset O wiederum beschreibt den Nullpunkt. Wenn kein Magnetfeld am Sensor anliegt, hat die Ausgangsspannung den Wert des Offsets. Dies folgt der Gleichung

$$U_{out} = S \cdot B + O \quad (4.1)$$

Nachdem diese Werte bestimmt wurden (siehe Kapitel 4.1 und 4.2), wurden die Sensoren noch für das Experiment vorbereitet. Es wurde ein kleines Programm in LabView geschrieben, das aus den Spannungswerten das Magnetfeld ergibt. Es berechnet aus der Eingangsspannung der Sensoren deren Sensitivität sowie Offset, um dann aus den gemessenen Spannungswerten das entsprechende Magnetfeld zu berechnen. Weiters wurden die Kabel und die Halterung für die Sensoren vorbereitet, sodass sie beim Experiment möglichst einfach angeschlossen werden können.

In Abbildung 4.1 sieht man eine schematische Abbildung des Magnetometers.

4.1. Bestimmung der Sensitivität und des Offset

Um das Magnetfeld bei dem der Sensor vermessen wird zu kennen, wird parallel zum MFS-3A Magnetometer der Fluxmaster-Magnetometer mit bekannter Genauigkeit gehalten. Dabei handelt es sich um einen Fluxgate Sensor der Firma Stefan Mayer Instruments. Dieser hat nach Herstellerangaben einen Messbereich von $\pm 200 \mu\text{T}$ mit einer Genauigkeit von 0,5 %. Damit hat das Fluxmaster-Magnetometer eine deutlich höhere

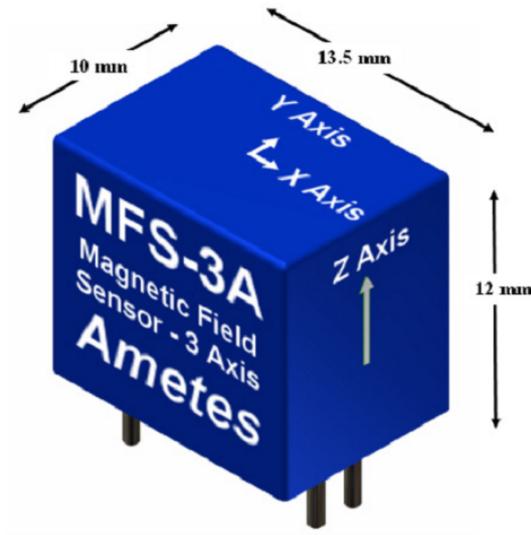


Abbildung 4.1.: Schematische Darstellung des MFS-3A Magnetometers. Quelle: [21], S.1

Genauigkeit als die erwartenden 3 % des MFS-3A Magnetometers. Das Problem beim Fluxmaster ist leider, dass dieser keinem Magnetfeld über 200 μT ausgesetzt werden darf. Daher erfolgte die erste Messung im Bereich von -190 μT bis 190 μT . Dies ist nur ein kleiner Bereich, verglichen mit dem Messbereich von ± 7 mT der MFS-3A. In Abbildung 4.2 ist die Messanordnung schematisch dargestellt. Zur Erzeugung des Magnetfeldes wurde ein 1 T Neodym-Magnet verwendet. Die Stärke des Magnetfeldes bei den Sensoren wurde durch den Abstand zwischen Magnet und Sensoren gesteuert.

Die Messungen wurden bei 3 verschiedenen Spannungen durchgeführt. Die erste Messung erfolgte bei 5 V, was der Herstellerangabe für die Eingangsspannung entspricht. Weitere Messungen wurden bei 4,5 und 5,5 V gemacht. Dies entspricht der maximalen bzw. minimalen möglichen Spannung laut Hersteller.

Da der Fluxmaster nicht am Computer anschließbar ist, wurden die Messungen händisch durchgeführt. Dabei wurden die Spannungswerte der 3-achsigen Magnetometer mit Hilfe eines Multimeters genommen. Um statistische Schwankungen etwas zu dämpfen wurden alle 10 μT 5 Messwerte der Spannung genommen. Dabei wurden bei einem eingestellten Magnetfeld nicht alle 5 Messwerte genommen, sondern der Bereich von -190 μT bis 190 μT 5 mal vermessen.

Aufgrund dessen, müssen die 5 Messungen als einzelne Messungen der Steigung und des Offset behandelt werden. Um auf einen statischen Fehler zu kommen wird dieser so abgeschätzt, dass $\frac{\chi^2}{\text{dof}} = 1$ gilt und konstant für jeden Messpunkt ist. Mit dieser Fehlerabschätzung wurden dann bei den Messwerten zu 5V 5 kurven gefittet. Die Steigungen liegen im Bereich zwischen 0.000300 und 0.000317, wobei unbekannter systematischer Effekt von dieser Größenordnung vermutet wird.

Der systematischen Fehler wird aus den unterschiedlichen Steigungen errechnet. Dabei wird angenommen, dass der wahre Wert zwischen der maximalen und der minimalen Steigung liegt. Damit erhält man den systematischen Fehler aus $\frac{S_{max} - S_{min}}{2}$ wobei S_{max}

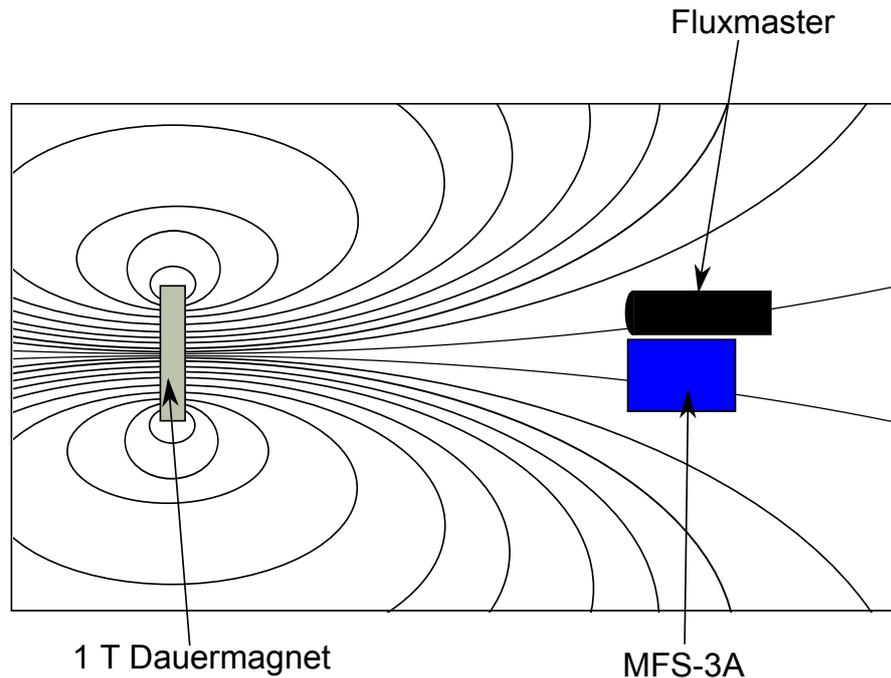


Abbildung 4.2.: Schematische Darstellung des Messaufbaus zur Kalibrierung des MFS-3A Magnetometers.

die maximale und S_{min} die minimale Steigung ist.

Damit ergibt sich die Steigung zu $S = (3,078 \pm 0,011_{stat} \pm 0,076_{sys}) \cdot 10^{-4} \frac{V}{\mu T}$. Der Offset muss über eine ähnliche Rechnung bestimmt werden und ergibt sich zu $O = 2,49154 \pm 0,00012_{stat} \pm 0,00088_{sys} V$. Damit ist der statistische Fehler vernachlässigbar. In Abbildung 4.3 sind die gefitteten Kurven bei den jeweiligen Spannungen aufgetragen.

4.2. Bestimmung der Spannungsabhängigkeit

Um die Spannungsabhängigkeit der Sensitivität und des Offset zu bestimmen wurden die vorher bestimmten Werte herangezogen. Daraus ergab sich ein Wert für die Steigung und den Offset der Sensitivität von $75,02 \pm 4,43_{stat} \frac{mV}{mT}$ bzw. $-67,48 \pm 21,7_{stat} \frac{mV}{mT}$. Genauso ergibt sich für den Offset der Messung $0,515 \pm 0,0003_{stat} V$ bzw. $-0,085 \pm 0,0015_{stat} V$.

Um nun den möglichen Fehler der Magnetfeldmessung aufgrund eines Fehlers in der Spannungsversorgung abschätzen zu können, muss man zwei Fälle unterscheiden. Der Fehler der den Offset des Magnetometers betrifft sorgt für einen Offset in der Magnetfeldmessung und ist damit für einen bestimmten Fehler in der Spannung konstant. Damit sinkt der relative Fehler mit steigendem Magnetfeld. Ein Fehler in der Sensitivität wiederum wird mit dem Magnetfeld multipliziert. Damit verstärkt sich der Fehler von der Spannungsquelle mit steigendem Magnetfeld wodurch der relative Fehler konstant bleibt.

Es ist jedoch zu beachten, dass ein Fehler in der Eingangsspannung die Ausgangsspannung beeinflusst und damit der Fehler im Magnetfeld eigentlich durch eine falsche

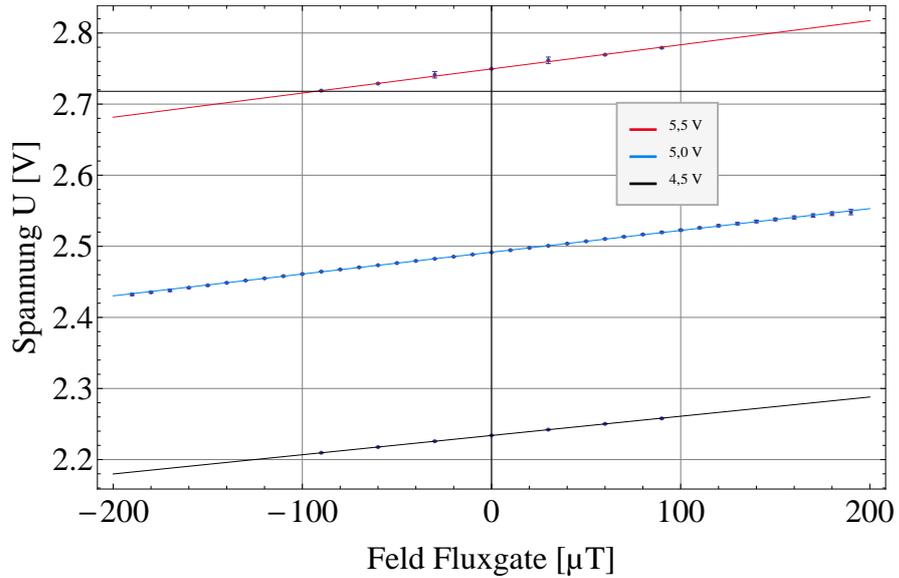


Abbildung 4.3.: Spannung des Magnetometers in Abhängigkeit des Magnetfelds

Annahme der Eingangsspannung zustande kommt. Dies kommt daher, dass für die Bestimmung des Magnetfeldes die spannungsabhängige Sensitivität sowie der Offset herangezogen werden. Bei einem Fehler in der Eingangsspannung wird damit eine falsche Sensitivität und ein falscher Offset zur Berechnung des Magnetfeldes heran gezogen.

Um abschätzen zu können, welche Stabilität die Spannungsquelle haben muss, wird von einem Fehler der Spannungsversorgung von 0,5 % ausgegangen. Dieser Wert liegt sehr hoch und über den Werten die normalerweise für moderne Labornetzteile gelten. Zum Beispiel weißt das Labornetzteil QL355 von Thurlby Thandar Instruments (TTI), laut Herstellerangaben, eine Genauigkeit von 0,03 % auf. Der hier angenommene Wert liegt um eine Größenordnung höher und ist damit eine gute Abschätzung was im schlimmsten Fall möglich ist. Weiters wird angenommen dass eine Spannung von 5,5 V angelegt wird. Dies entspricht der, für diesen Magnetometer, höchst möglichen Spannung. Damit kommt man auf einen Fehler von $\Delta U = 0,0275 \text{ V}$. Mit diesem Fehler misst man bei 6 mT eine Ausgangsspannung

$$U_{gem} = \underbrace{(S_{SU} \cdot U_{real} + O_{SU})}_{S_{real}(5,48V)=339,71mV/mT} \cdot \overset{=6mT}{B} + \underbrace{(S_{OU} \cdot U_{real} + O_{OU})}_{O_{real}(5,48V)=2,73V} = 4,77V. \quad (4.2)$$

Da man von einer Eingangsspannung von 5,5 V ausgeht, leitet man aus den Messwerten ein Magnetfeld von

$$B_{gem} = \frac{U_{gem} - \overbrace{(S_{OU} \cdot U_{theo} + O_{OU})}^{O_{theo}=2,74V}}{\underbrace{(S_{SU} \cdot U_{theo} + O_{SU})}_{S_{theo}=341,10mV/mT}} = 5,95mT \quad (4.3)$$

her. Dies ist ein Fehler von 0,79 %. Dabei ist S_{SU} die spannungsabhängige Steigung der Sensitivität, O_{OU} der Spannungsabhängige Offset der Sensitivität, S_{OU} und O_{OU} die spannungsabhängige Steigung und der spannungsabhängige Offset des Offset, S_{theo} und O_{theo} die, unter der Annahme einer Eingangsspannung von 5,5 V berechnete, Steigung bzw der Offset, U_{gem} die gemessene Spannung am Ausgang des Sensors und B_{gem} der fehlerbehaftete Messwert des Magnetfeldes.

Da der Magnetometer aus drei Hallsonden besteht, deren Anordnung nicht genau bekannt ist, ist der geometrische Fehler mindestens in derselben Größenordnung, wodurch ein handelsübliches Labornetzteil ausreicht.

In Tabelle 4.1 werden die Charakteristika der verwendeten Magnetometer nochmals zusammengefasst aufgeführt.

Charakteristika der Magnetometer	
Größe	10 x 13,5 x 12 mm ³ *
Sollspannung U_{in}	5 V ($\pm 0,5$ V) *
Stromaufnahme	36 mA max bei 5V *
Messbereich	$\pm 7,3$ mT *
Auflösung	$\pm 10\mu$ T *
Sensitivität	$(75,02 \pm 4,43) \cdot U_{in} - (67,48 \pm 21,7) \frac{mV}{mT}$ (270,1 mV/mT bis 345,1 mV/mT je nach Eingangsspannung)
Offset	$0,515 \pm 0,0003) \cdot U_{in} - (0,085 \pm 0,0015)V$ (2,233 V bis 2,748 V je nach Eingangsspannung)

Tabelle 4.1.: Charakteristika der verwendeten MFS-3A Magnetometer. *Quelle: [21]

4.3. Vorbereitung der Verkabelung und Halterung

Um die Magnetometer im Experiment einsetzen zu können müssen diese im experimentellen Aufbau befestigt werden und mit Kabeln zum Computer verbunden werden. Im Experiment kommen drei MFS-3A Magnetometer zum Einsatz. Zusätzlich wird noch ein einachsiges Fluxgate für schwächere Felder im Experiment eingesetzt.

Zur Befestigung der MFS-3A wurde eine kleine Schelle konstruiert, mit der sie auf ein fahrbares Gestell geschraubt werden können. Bei der Verkabelung wurde versucht auf magnetische Materialien möglichst zu verzichten. Daher wurden die Sensoren direkt an die Kabel gelötet und der Stecker erst bei der Vakuumdurchführung angebracht. Um Platz zu sparen wurden zusätzlich jeweils zwei Magnetometer an einen Stecker an der Durchführung angebracht.

Außen wurde an die Stecker ein 7 m Langes Kabel angebracht um den Computer in genügend großen Abstand vom Experiment aufbauen zu können. Die Pinbelegung wurde so gewählt, das ein unabsichtliches Spiegeln der Pins die Magnetometer nicht gefährdet. Am Ende des Kabels wurde eine kleine Box mit BNC-Steckern angebracht. Hier kann nun die Stromversorgung sowie der Computer zum Auslesen der Magnetometer angeschlossen werden.

Als Kabel wurden im Experiment ein doppelt geschirmtes Kabel mit 3 twisted pair und außerhalb ein doppelt geschirmtes Kabel mit 6 twisted pair verwendet. Aufgrund

der benötigten pins konnten die twisted pair jedoch nicht geerdet werden. Wie sich zeigte war die doppelte Schirmung ausreichend um das Signal nach den 9 m Kabel (2 m im Experiment und 7 m außerhalb) zu empfangen.

Kapitel 5.

Fazit

In dieser Arbeit wurde ein Blendensystem mit Blendengehäuse konstruiert und Magnetfeldsensoren kalibriert. Das Blendensystem erfüllt die gestellten Anforderungen, damit ist es jetzt möglich im qBounce Experiment flexibler Messungen durch zu führen. Das dazu gehörige Blendengehäuse unterstützt diese Flexibilität. Dadurch dass das Strahlrohr einstellbar ist, wurde diese Flexibilität erst möglich. Die Magnetfeldsensoren sind nun auch für das Experiment bereit. Es war möglich zu zeigen, dass die Sensitivität sowie der Offset von der Eingangsspannung abhängen. Damit ist es möglich, die Genauigkeit der Sensoren zu steigern.

Das Blendensystem und das Blendengehäuse ist bereits in das Experiment von 2012 eingeflossen und wurde dort erfolgreich zur Anwendung gebracht. Leider war es mir aus zeitlichen Gründen nicht möglich an dem Experiment teilzunehmen.

Obwohl das Blendensystem und das Gehäuse sehr gut funktioniert haben, wäre es möglich, in einem zweiten Schritt einige Punkte zu überarbeiten.

- Das Verstellsystem des Strahlrohr war sehr dicht, jedoch war die Befestigung des Rohrs sehr steif, wodurch beim verstellen des Strahlrohrs dessen Verbindungsstellen sich lockern können. Dadurch kann das Strahlrohr undicht werden. Daher ist es nötig, beim Verstellen des Strahlrohrs dieses danach auf Dichtheit zu prüfen und gegebenenfalls die Verbindungsstellen nach zu ziehen. Um das zu verhindern, wäre es möglich den Verstellmechanismus gegen einen Balg auszutauschen.
- Um die Position des Blendensystems bezüglich den Spiegeln noch genauer zu bestimmen, wäre es möglich das Blendengehäuse über Passstifte an das qBounce-Gehäuse zu befestigen. Dadurch wäre die Position des Blendengehäuses immer in der selben Position. Durch ein möglichst genaues Ausmessen dieser Position, könnte man eine Fehlerquelle bei der Bestimmung der Blendenposition verringern.
- Um die Blende für die Neutronen noch dünner zu bekommen, wäre es möglich zwei Aluminiumplatten mit Bor-10 zu beschichten. Es würde bereits eine mehrere μm dicke Schicht ausreichen. Wenn die beiden Platten dann aneinander gepresst werden, wäre die Bor-10 Schicht geschützt und die Blenden mechanisch stabil. Da Aluminium für Neutronen durchsichtig ist, wäre die effektive Blendenstärke im μm Bereich.

Anhang A.

Verwendete Konstanten

Hier werden die verwendeten Konstanten zusammengefasst aufgeführt. Diese werden nach ihrer Verwendung in der Arbeit unterteilt.

A.1. Zunahme der Zählrate

Hier werden die Zahlenwerte zur Abschätzung der Zunahme der Zählrate aufgelistet. Dabei wurden die Wirkungsquerschnitte bereits für Neutronen mit einer Geschwindigkeit von 10 m/s umgerechnet. Außerdem wurde bei der Teilchendichte bereits die Zusammensetzung der Folie bzw der Luft berücksichtigt.

Absolute Neutronenwirkungsquerschnitte bei 7,5 m/s in barn. Quelle: [18]		
Bezeichnung	Wert	Element
σ_{Al}	67,76 b	Aluminium
σ_{Mg}	18,48 b	Magnesium
σ_O	0,0557 b	Sauerstoff
σ_N	557,3 b	Stickstoff
σ_{Ar}	198 b	Argon

Dichte in kg/m ³ bzw. m ⁻³		
Bezeichnung	Wert	Beschreibung
ρ_{Al}	2700 kg/m ³	Dichte Aluminium
ρ_{TAl}	$6,04 \cdot 10^{28} \text{ m}^{-3}$	Teilchendichte Aluminiumfolie
ρ_{Luft}	1,2 kg/m ³	Dichte Luft bei 20°C und $1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
ρ_{TLuft}	$4,88 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$	Teilchendichte Luft bei 20°C und $1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

A.2. Abschätzung der Leckrate

Hier werden die verwendeten Zahlwerte für die Berechnung der erwarteten Leckrate des Blendengehäuses aufgelistet. Zur Abschätzung des Fehlers wurde auf die Fehlertoleranz der O-Ring Fertigung zurück gegriffen. Dabei werden hier nur die Werte aus der DIN 3371 und DIN ISO 3601 aufgeführt die zur Berechnung benötigt werden.

Bei den O-Ringen werden in der Berechnung nur die O-Ring berücksichtigt die das Blendengehäuse dichten. Die O-Ringe an der Position Strahlrohr und Flansch dichten die Seite des Strahlrohrs und haben daher keinen Einfluss auf die Leckrate des Blendengehäuses. Alle Maße sind in mm.

Die Desorptionsrate der O-Ringe wurde in den Berechnung mit $q_{DesK} = 1,2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mbar} \cdot \text{m}^3}{(\text{s} \cdot \text{m}^2)}$ angenommen.

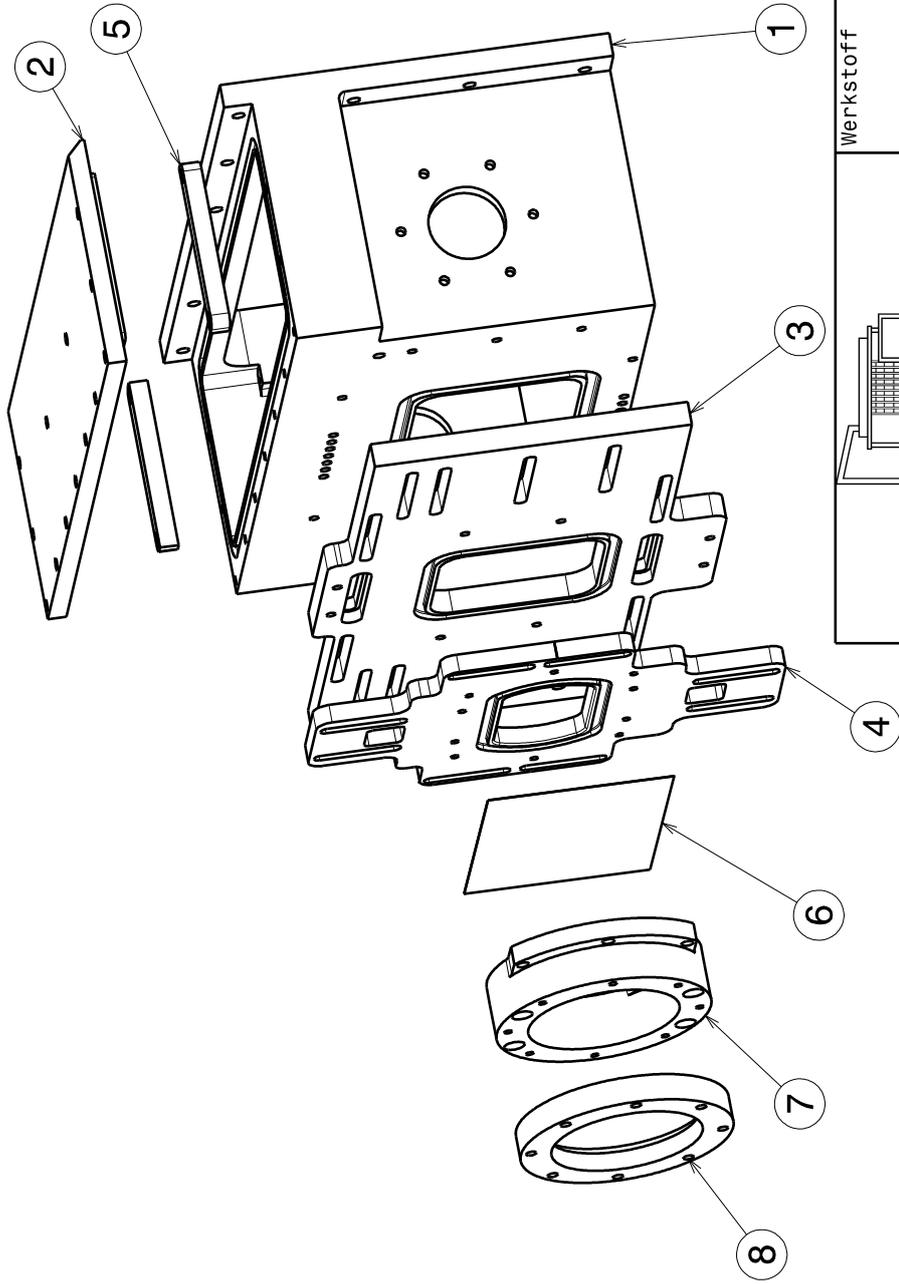
Fehlertoleranz O-Ring Fertigung nach DIN 3771 und DIN ISO 3601		
Basistoleranz Innendurchmesser		
Nennmaß		Toleranz
von	bis	
77,5	80,0	± 0,69
95,0	97,5	± 0,83
106,0	109,9	± 0,91
145,0	150,0	± 1,2
272,0	280,0	± 2,08
Basistoleranz Schnurdurchmesser		
Nennmaß		Toleranz
von	bis	
3,55	5,30	± 0,13
5,30	7,00	± 0,15
Verwendete O-Ringe		
Position	O-Ring	
Deckel	273x5	
Front	148x6	
Y-Verstellung	107x5	
Flansch	96x5	
Z-Verstellung	80x5	
Strahlrohr	80x5	

Anhang B.

Konstruktionszeichnungen des Blendengehäuses und des Blendensystems

In diesem Kapitel sind die Konstruktionszeichnungen der Einzelteile des Blendengehäuses und des Blendensystems aufgeführt. Dabei wurde, aus übersichtsgründen, auf die meisten Bemaßungen verzichtet. Weiters wurde die Funktion manche Teile erklärt.

Die Zeichnungen sind Maßstabsgetreu. Jedoch ist, aufgrund der unterschiedlichen Größen der Teile, nicht jedes Teil im selben Maßstab gezeichnet. Die jeweiligen Maßstäbe sind auf den Zeichnungen unten eingetragen.



Stückliste: Blendengehäuse

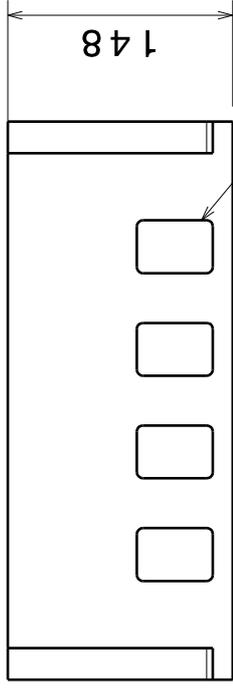
Nummer	Menge	Teilenummer
1	1	Gehäuse
2	1	Deckel
3	1	Y-Verstellung
4	1	Wilsonflansch
5	2	Z-Verstellung
6	1	Blendschiene
		aluminiumfolie

Stückliste: Wilsonflansch

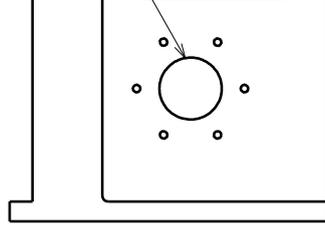
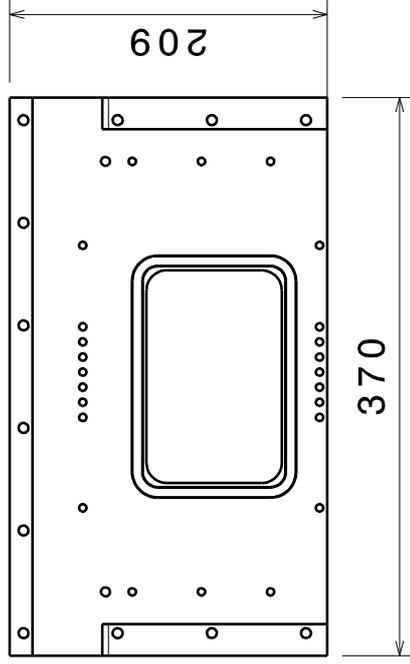
Nummer	Menge	Teilenummer
7	1	Flansch
8	1	Ring

	Werkstoff	
	Bezeichnung	
Bearb. Thomas Bittner	Datum 27.11.2012	Zeichnungsnummer A4
Gepr.	Datum	
Norm	Datum	
Masstab 1:4		Gewicht (kg)
Blatt		REV

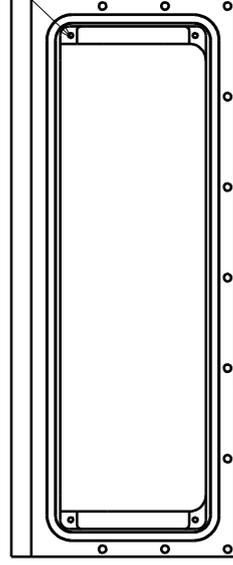
Blendengehäuse



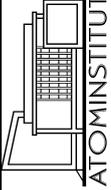
Aussparung für Schrauben



KF-40 Flansch

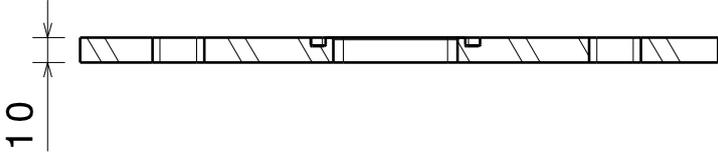
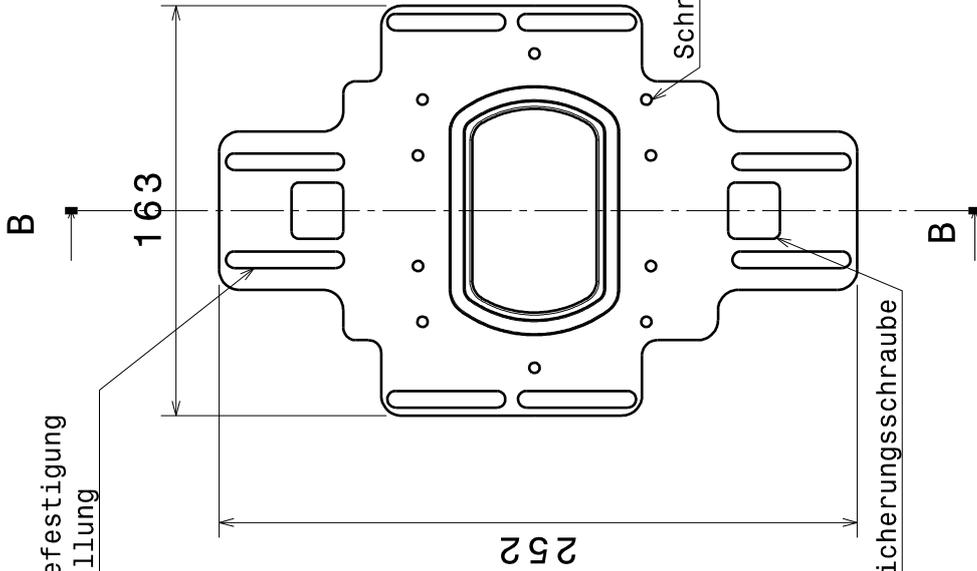


Befestigung für Blendschienen

 Atominstytut Technische Universität Wien		Werkstoff	
		Bezeichnung	
Bearb.	Thomas Bittner	Datum	27.11.2012
Gepr.		Datum	
Norm		Datum	
Format		Zeichnungsnummer	
A4			
Massstab		1:5	Gewicht (kg)
		Blatt	

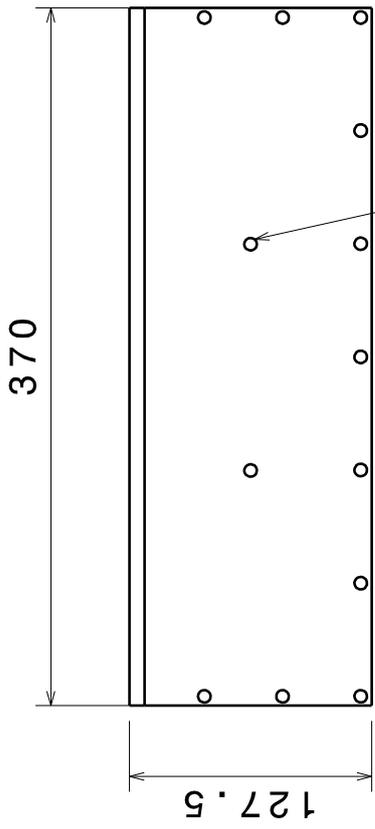
Gehäusegrundkörper

Langlöcher zur Befestigung
an Y-Verstellung

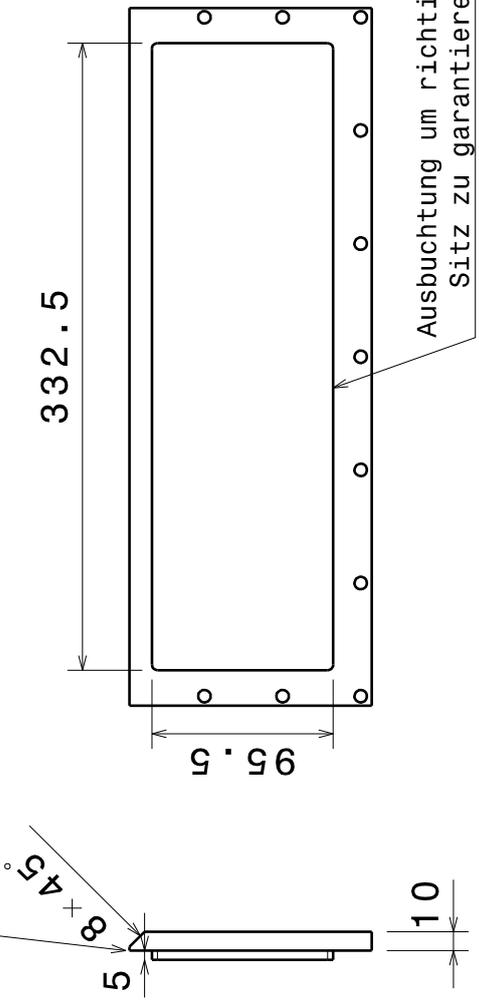


Schnitt B-B
Maßstab: 1:3

		Werkstoff	
Atominstytut Technische Universität Wien		Bezeichnung	
Bearb.	Thomas Bittner	Z-Verstellung	
Gepr.	27.11.2012	Format	Zeichnungsnummer
Norm		A4	REV
		Masstab 1:3	Gewicht (kg)
			Blatt



Schrauben für Griff



Fase um den Deckel auf das Gehäuse setzen zu können

Ausbuchtung um richtigen Sitz zu garantieren



Atominstytut
Technische Universität Wien

Bearb. Thomas Bittner

Datum 27.11.2012

Gepr. Datum

Norm Datum

Werkstoff

Bezeichnung

Deckel

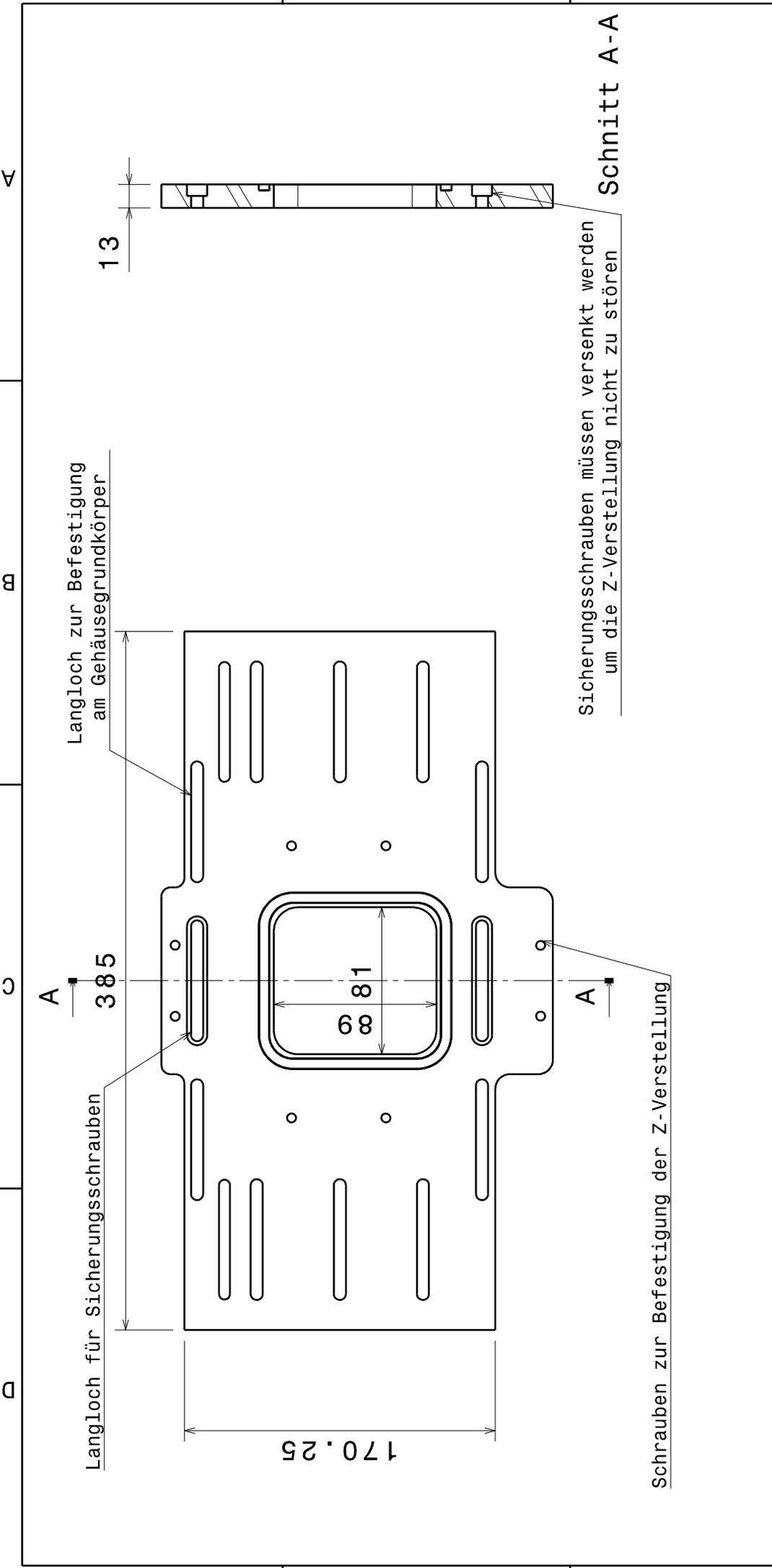
Format Zeichnungsnummer

A4

Masstab 1:4 Gewicht (kg)

Blatt

REV

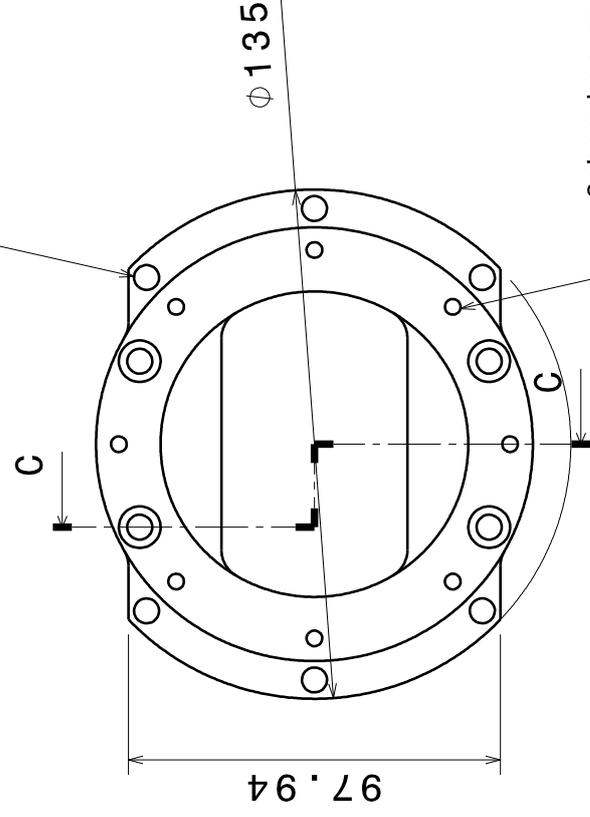
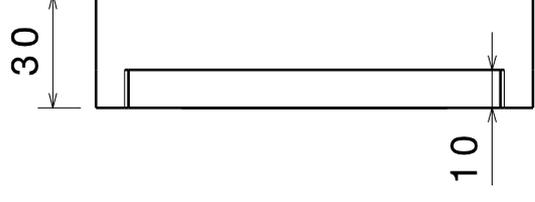


		Werkstoff	
Atominstytut Technische Universität Wien		Bezeichnung	
Bearb.	Datum	<h1>Y-Verstellung</h1>	
Thomas Bittner	27.11.2012		
Gepr.	Datum		
Norm	Datum	Format	Zeichnungsnummer
		A4	
		Masstab	1:3 Gewicht (kg)
			Blatt

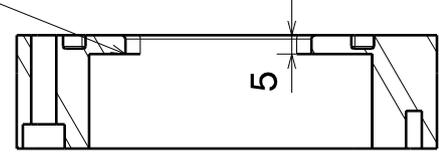
Schrauben zur Befestigung der Z-Verstellung	
Sicherungs-schrauben müssen versenkt werden um die Z-Verstellung nicht zu stören	
Schnitt A-A	

Stufe zum Schutz der Folie

Schrauben zur Befestigung
an der Z-Verstellung

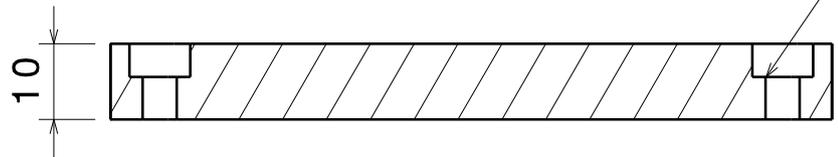
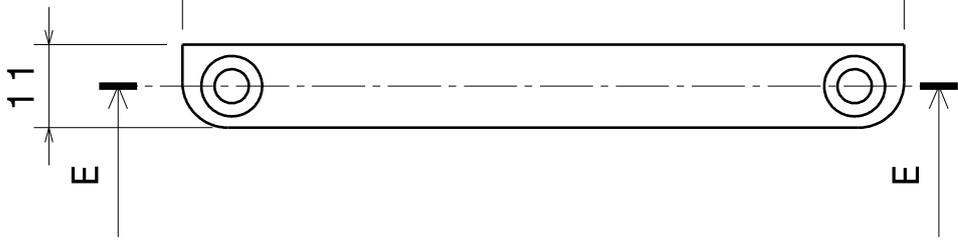


Schrauben zur
Befestigung des Rings



Schnitt C-C

 ATOMINSTITUT		Werkstoff	
Atominstitut Technische Universität Wien		Bezeichnung	
Bearb. Thomas Bittner	Datum 27.11.2012	Wilsonflansch - Flansch	
Gepr.	Datum	Format A4	Zeichnungsnummer
Norm	Datum	REV	
		Masstab 1:4	Gewicht (kg)
			Blatt



Schnitt E-E

 Atominstitut Technische Universität Wien		Werkstoff	
		Bezeichnung	
Bearb.	Thomas Bittner	Datum	27.11.2012
Gepr.		Datum	
Norm		Datum	
Format		Zeichnungsnummer	
A4			
Masstab 1:1		Gewicht (kg)	
		Blatt	

Blendenschienen

REV

1

Blatt

Masstab 1:1

Gewicht (kg)

Zeichnungsnummer

Format

A4

Bezeichnung

Werkstoff

Atominstitut
Technische Universität Wien

Bearb. Thomas Bittner
Datum 27.11.2012

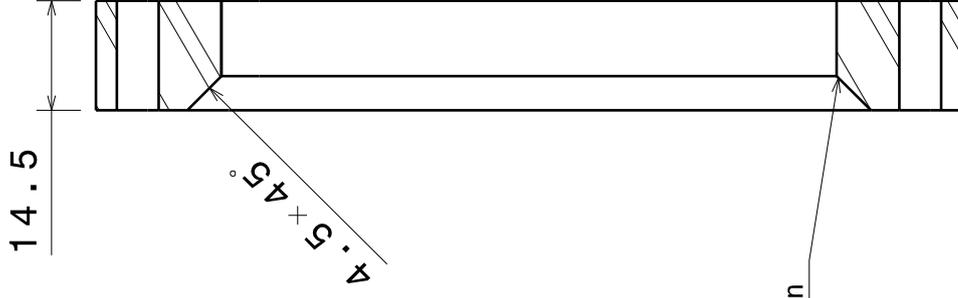
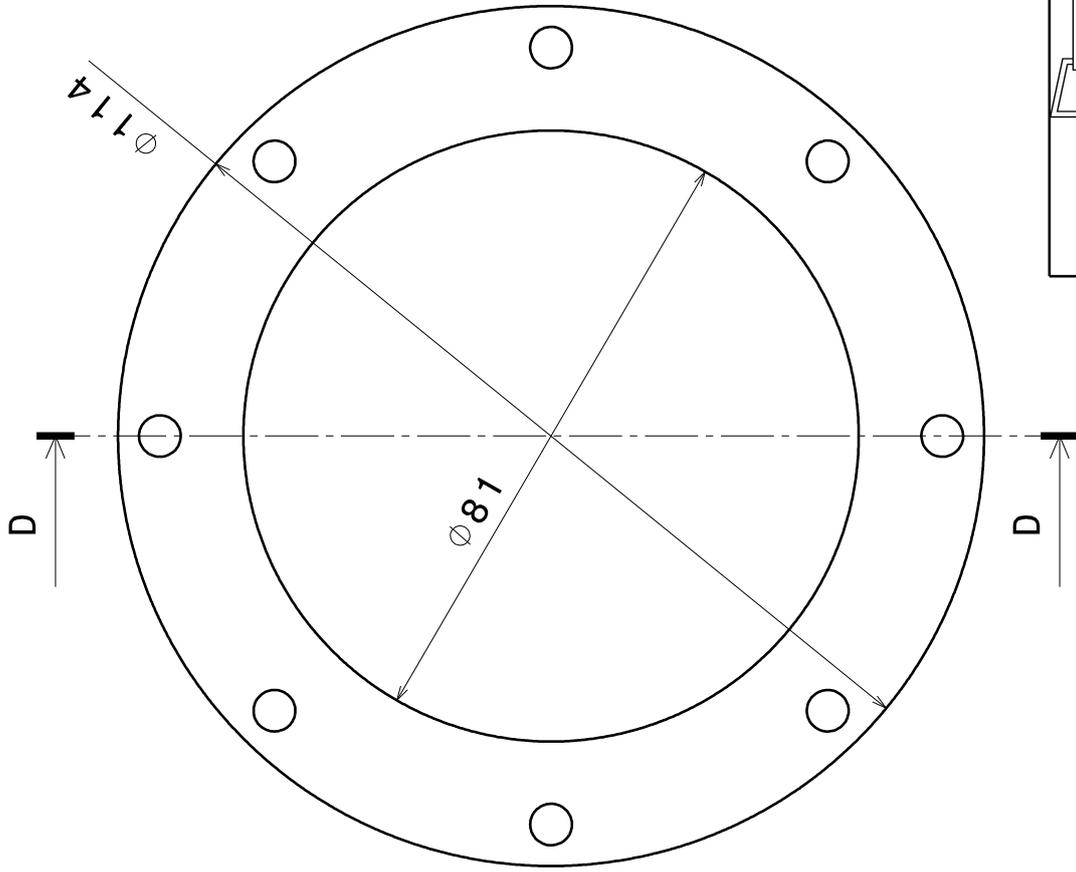
A

R

C

D

1



Fase um O-Ring mit dem Strahlrohr zu verpressen

Schnitt D-D

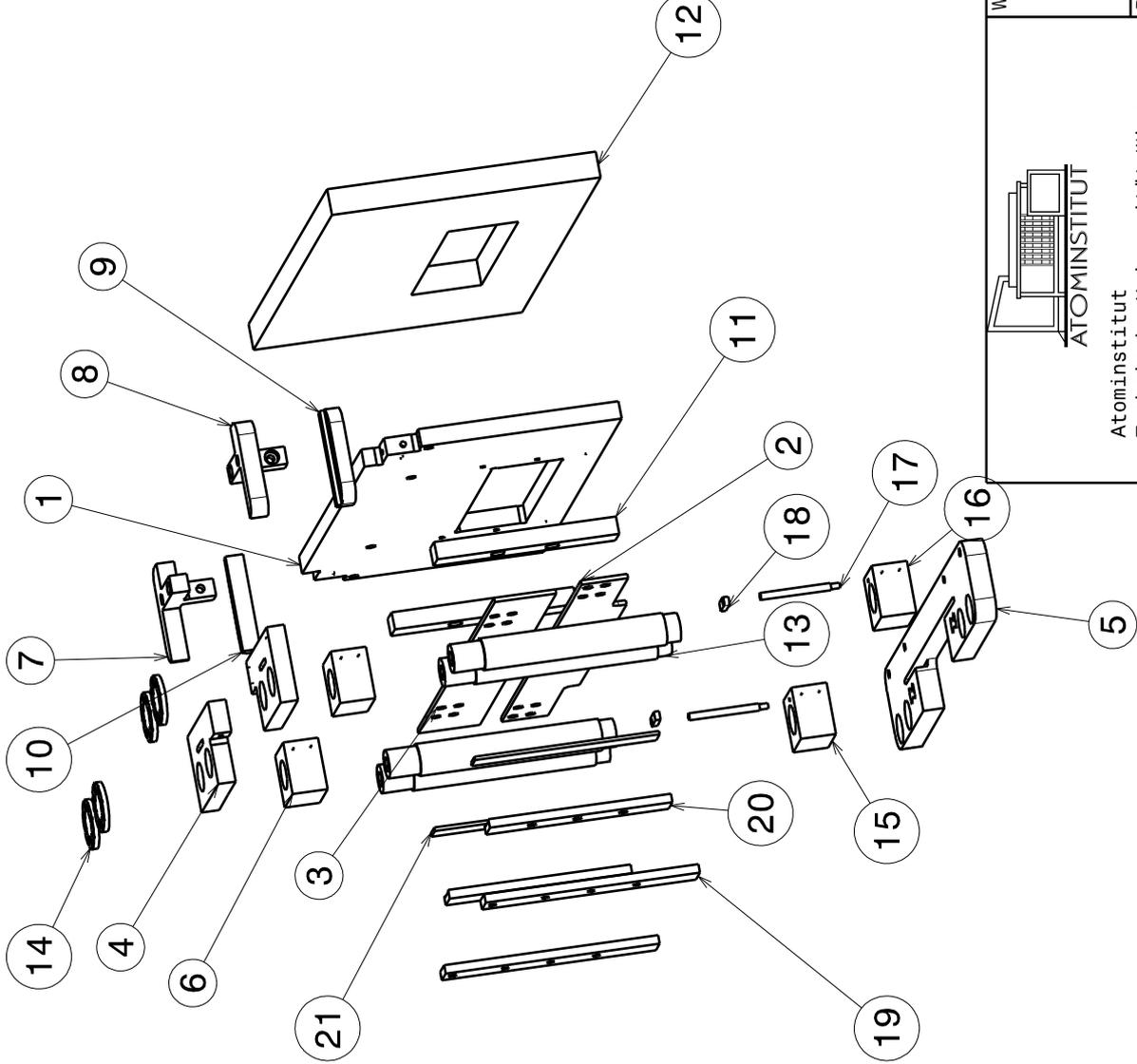
 ATOMINSTITUT		Werkstoff	
Atominstytut Technische Universität Wien		Bezeichnung	
Bearb. Thomas Bittner	Datum 27.11.2012	Wilsonflansch - Ring	
Gepr.	Datum	Format A4	Zeichnungsnummer REV
Norm	Datum	Masstab 1:1	Gewicht (kg) Blatt

Stückliste: Blendensystem B1

Nummer	Menge	Teilenummer
1	1	Blendenführung
2	1	untere Blenden
3	1	obere Blende
4	2	obere Gewindeführung
5	1	untere Gewindeführung
6	2	oberer Blendenhalter
7	1	linke Führung
8	1	rechte Führung
9	1	rechte Führungsfixierung
10	1	linke Führungsfixierung
11	2	Teflonpacken
12	1	Bormatte
13	4	Gewindestangen
14	4	Skala
15	1	unterer linker Blendenhalter
16	1	unterer rechter Blendenhalter
	2	Messstange
	2	Blendenfixierung

Stückliste: Messstange

Nummer	Menge	Teilenummer
17	1	messstange
18	1	messplatte



Stückliste: Blendenfixierung

Nummer	Menge	Teilenummer
19	1	Fixierung
20	1	Schiene
21	1	Teflon

		Werkstoff	
		Bezeichnung	
Bearb. Thomas Bittner Gepr. 27.11.2012 Norm		Zeichnungsnummer A4	
Datum 27.11.2012		Blatt	
Datum		Gewicht (kg)	
Datum		Masstab 1:4	
Datum		REV	

Blendensystem B1

Schrauben für obere Gewindeführung

297.7

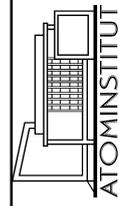
10

Schraube für linke
(bzw rechte) Führung

Schrauben für Teflonpacken

Schraube für linke (bzw rechte) Führung

Werkstoff



Atominsttitut
Technische Universität Wien

Bearb. Thomas Bittner

Datum 27.11.2012

Gepr.

Datum

Norm

Datum

Bezeichnung

Blendenführung

Format Zeichnungsnummer

A4

Masstab 1:2 Gewicht (kg)

Blatt

REV

4

3

2

1

D

C

R

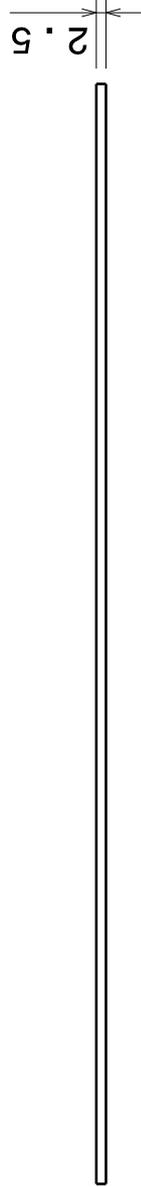
A

142

291.7

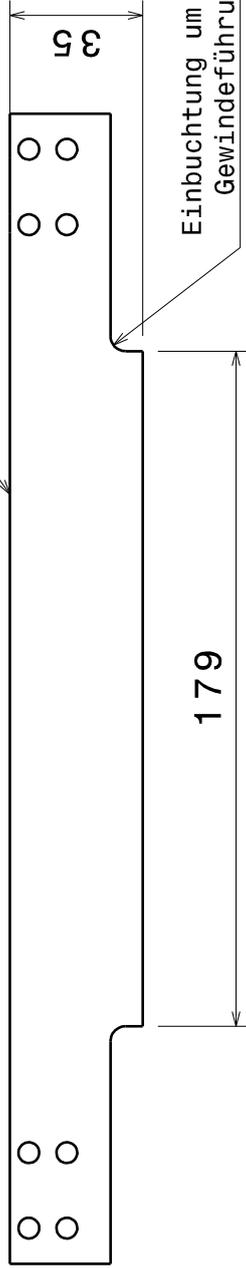
obere Blende

Schrauben für Blendenhalter



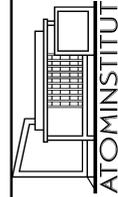
305

untere Blende



179

Einbuchtung um in die untere Gewindeführung zu passen



Atominsttitut
Technische Universität Wien

Bearb. Thomas Bittner
Datum 27.11.2012

Gepr. Datum

Norm Datum

Werkstoff

Bezeichnung

obere & untere Blende

Format Zeichnungsnummer

A4

Masstab 1:2 Gewicht (kg)

Blatt

REV

D

C

R

A

4

3

2

1

4

3

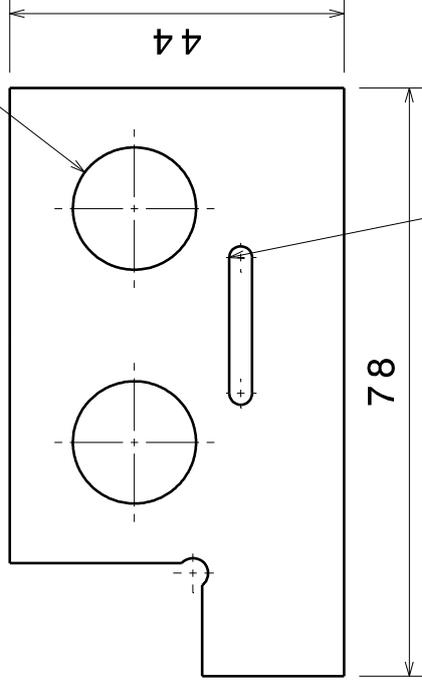
2

1

Schrauben zur Befestigung
auf der Blendenführung



Führung für Gewindestangen

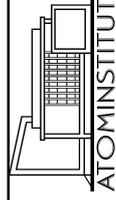


Langloch für Tiefenlehre zur Positionsbestimmung

Schraube zur Befestigung
der Blendenfixierung



Werkstoff



Atominsttitut
Technische Universität Wien

Bearb. Thomas Bittner

Datum 27.11.2012

Gepr.

Datum

Datum

Norm

Datum

Bezeichnung

obere Blendenführung

Format Zeichnungsnummer

A4

Masstab 1:1 Gewicht (kg)

Blatt

D

C

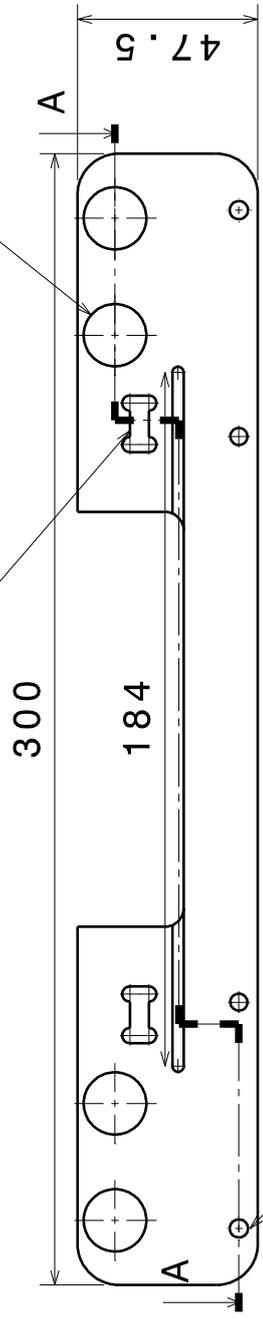
B

A

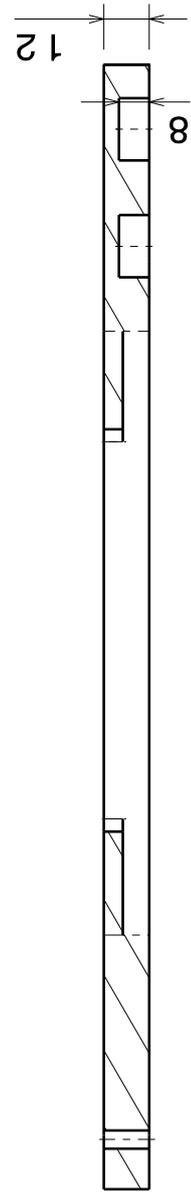
1

Führung für die Gewindestangen

Halterung der Blendenfixierung

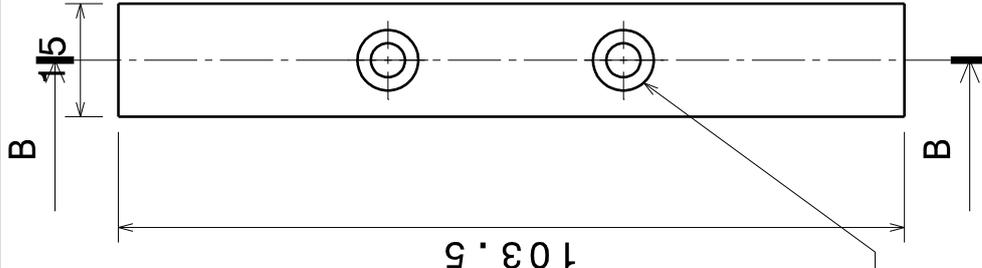


Schraube zur fixierung an der Blendenführung

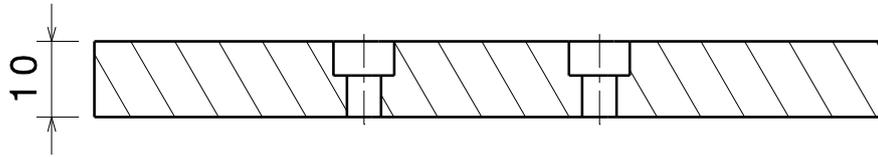


Schnitt A-A

 ATOMINSTITUT Atominstytut Technische Universität Wien		Werkstoff	
		Bezeichnung	
Bearb.	Thomas Bittner	untere Gewindeführung	
Gepr.	27.11.2012	Format	Zeichnungsnummer
Norm		A4	REV
		Datum	
		Datum	
		Masstab 1:2	Gewicht (kg)
			Blatt



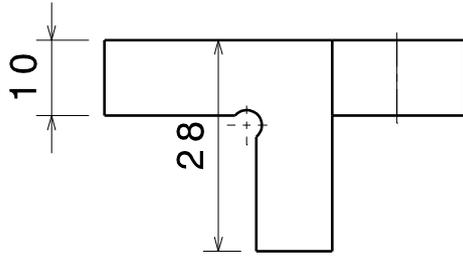
Schraube zur fixierung der Teflonpacke an der Blendenführung



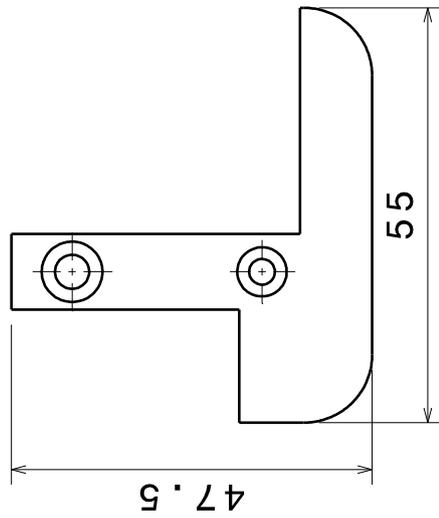
Schnitt B-B
Maßstab: 1:1

 Atominstitut Technische Universität Wien		Werkstoff	
Bearb. Thomas Bittner	Datum 27.11.2012	Bezeichnung <h1>Teflonpacke</h1>	
Gepr.	Datum	Format A4	Zeichnungsnummer REV
Norm	Datum	Masstab 1:1	Gewicht (kg) Blatt

Schraube zur fixierung
an der Blendenführung



Schraube zum festklemmen
des Blendensystems

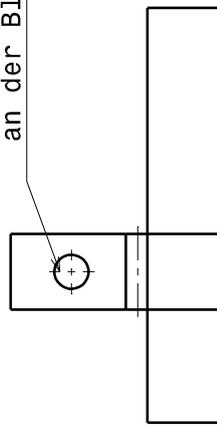


linke Führung

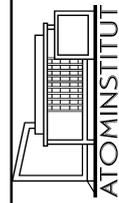
Rundung ermöglicht mehr
Einstellmöglichkeiten für
das Blendensystem

rechte Führung

Schraube zur fixierung
an der Blendenführung



Werkstoff



Atominstiut
Technische Universität Wien

Datum

27.11.2012

Gepr.

Datum

Norm

Datum

Bezeichnung

linke & rechte Führung

Format Zeichnungsnummer

A4

REV

Masstab 1:1 Gewicht (kg)

Blatt

D

C

R

A

4

3

2

1

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

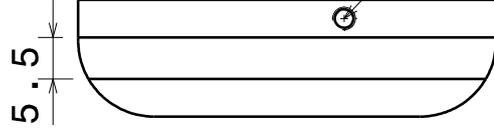
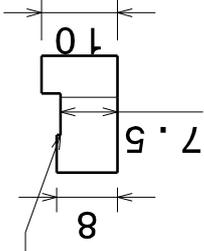
273

274

275

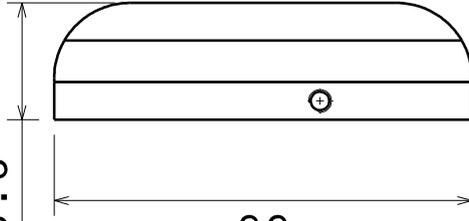
276

Einbuchtung zur Verstärkung der Hebelwirkung



Schraube zum festklemmen
des Blendensystems

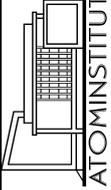
15.5

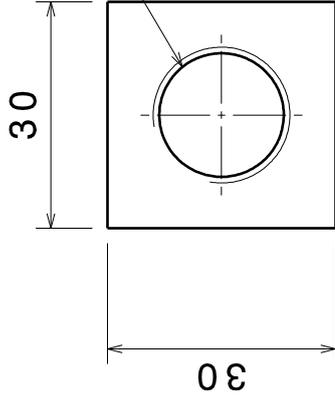


57

rechte Führungsfixierung

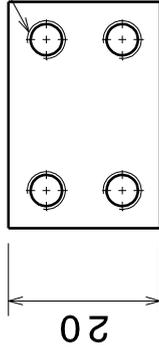
linke Führungsfixierung

 ATOMINSTITUT		Werkstoff	
Atominstitut Technische Universität Wien		Bezeichnung	
Bearb. Thomas Bittner	Datum 27.11.2012	linke & rechte Führungsfixierung	
Gepr.	Datum	Format A4	REV
Norm	Datum	Zeichnungsnummer	
		Masstab 1:1	Gewicht (kg)
			Blatt

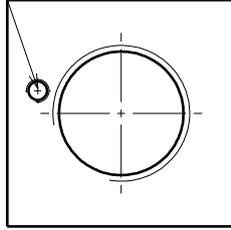


Gewinde für Gewindestange um die Blende zu bewegen

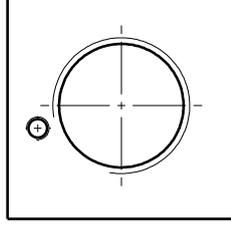
Schraube zur Befestigung der Blende



Gewinde zur Befestigung der Messstange



unterer linker Blendenhalter



unterer rechter Blendenhalter

 ATOMINSTITUT		Werkstoff	
Atominstitut Technische Universität Wien		Bezeichnung	
Bearb.	Thomas Bittner	untere & obere Blendenhalter	
Gepr.	27.11.2012	Format	Zeichnungsnummer
Norm		A4	REV
		Datum	
		Datum	
		Masstab 1:1	Gewicht (kg)
			Blatt

129.2

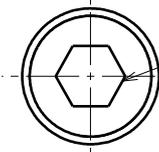
Verjüngung für obere
Gewindeführung

103.5

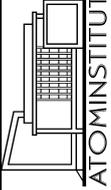
9.1

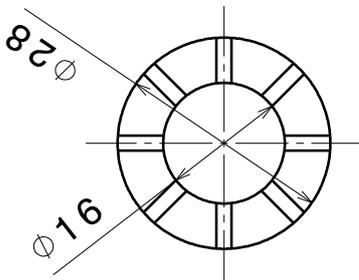
M18x1 Gewinde

Verjüngung für untere
Gewindeführung

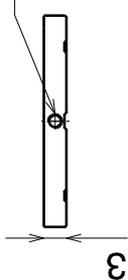


Öffnung für imbus Schlüssel

 ATOMINSTITUT Technische Universität Wien		Werkstoff	
Bearb.	Thomas Bittner	Bezeichnung	
Gepr.	27.11.2012	Gewindestangen	
Norm		Format	Zeichnungsnummer
		A4	REV
		Masstab 1:1	Gewicht (kg)
			Blatt



Gewinde zur Fixierung der Skala
auf der Gewindestange



 Atominstitut Technische Universität Wien		Werkstoff	
Bearb. Thomas Bittner	Datum 27.11.2012	Bezeichnung <h1 style="text-align: center;">Skala</h1>	
Gepr.	Datum	Format A4	Zeichnungsnummer REV
Norm	Datum	Massstab 1:1	Gewicht (kg) Blatt

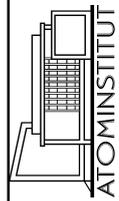
300

153

141

40

Öffnung für Neutronen



Atominsttitut
Technische Universität Wien

Bearb. Thomas Bittner
Datum 27.11.2012

Gepr. Datum

Norm Datum

Werkstoff

Bezeichnung

Bormatte

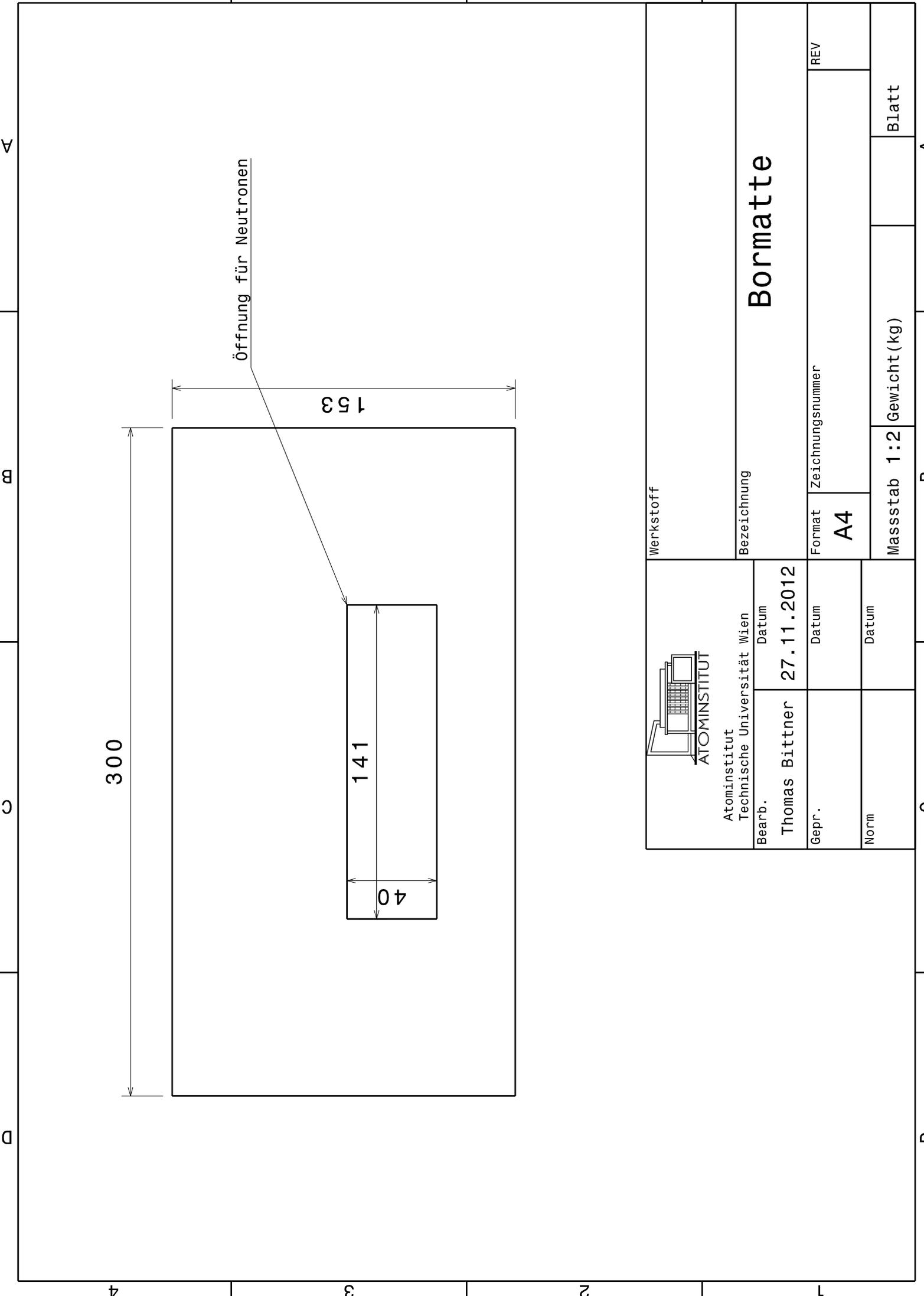
Format Zeichnungsnummer

A4

Masstab 1:2 Gewicht (kg)

Blatt

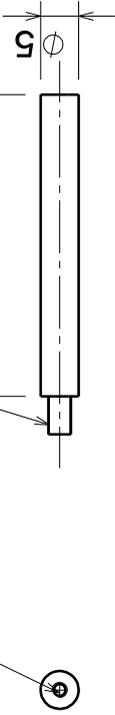
REV



Gewinde zur Fixierung der Messplatte

Gewinde zur Fixierung in
der Blendenführung

40

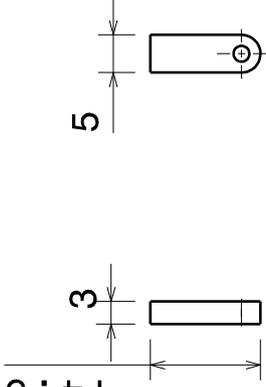


Messstange

14.5

3

5



Messplatte



Atominsttitut
Technische Universität Wien

Bearb. Thomas Bittner
Datum 27.11.2012

Gepr. Datum
Norm Datum

Werkstoff

Bezeichnung

Messstange

Format Zeichnungsnummer

A4

Masstab 1:1 Gewicht (kg)

Blatt

REV

1

D

C

R

A

4

3

2

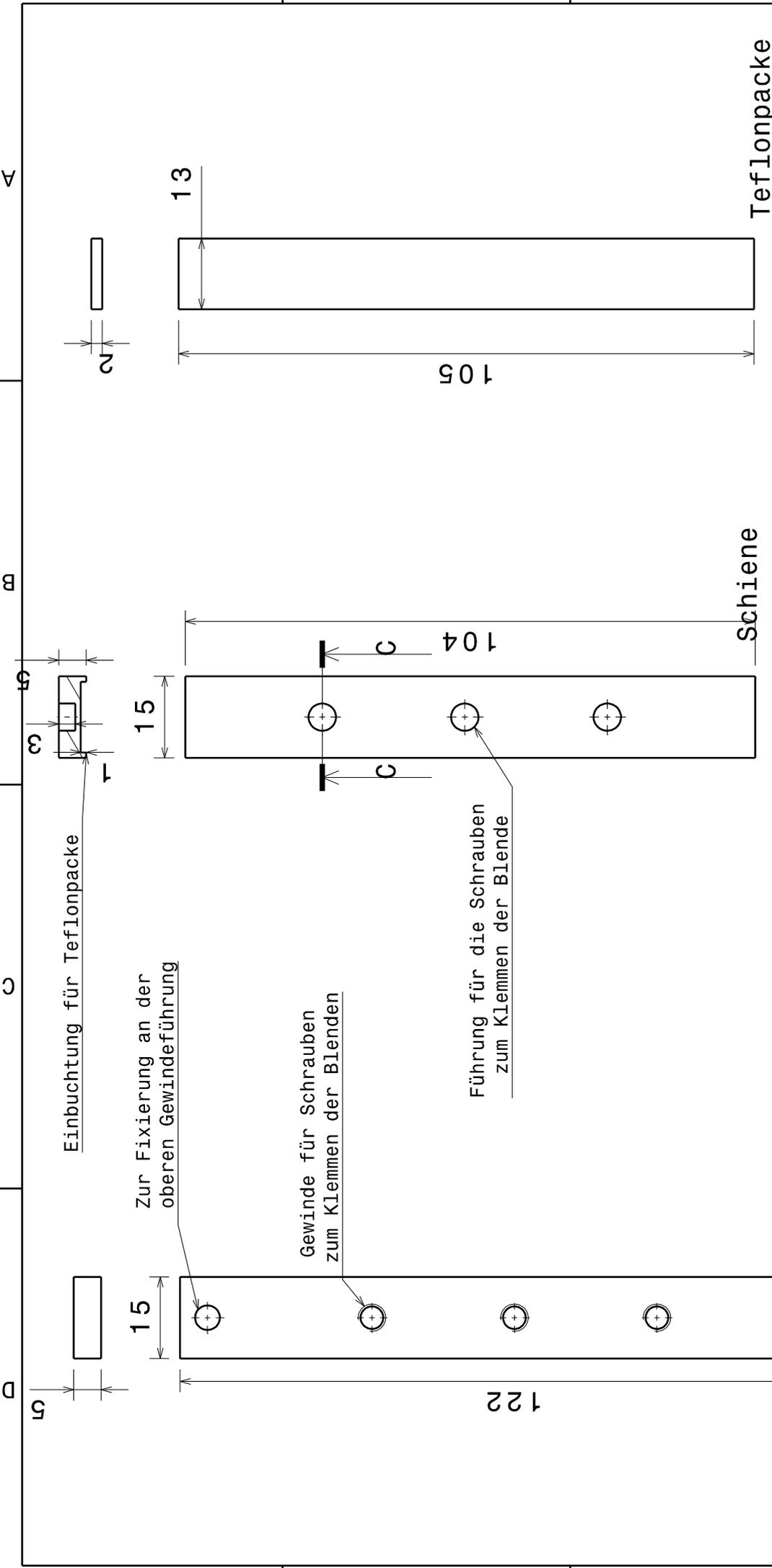
1

A

D

C

D



	Werkstoff	
	Atominstitut Technische Universität Wien	
Bearb.	Thomas Bittner	Datum
Gepr.	27.11.2012	Datum
Norm		Datum
Bezeichnung <h1 style="text-align: center;">Blendenfixierung</h1>		
Format		Zeichnungsnummer
A4		
Masstab 1:1		Gewicht (kg)
		Blatt

Fixierung

Schiene

Teflonpacke

Literatur

1. Luschikov, V. I. & Frank, A. I. Quantum effects occurring when ultracold neutrons are stored on a plane. *JETP Lett.* **28**, 559–561 (1978).
2. Nesvizhevsky, V. V. *u. a.* Quantum states of neutrons in the Earth’s gravitational field. *Nature* **415**, 297 (2002).
3. Abele, H., Jenke, T., Leeb, H. & Schmiedmayer, J. Ramsey’s method of separated oscillating fields and its application to gravitationally induced quantum phase shifts. *Phys. Rev. D* **81**, 065019 (6 2010).
4. Rabi, I. I., Millman, S., Kusch, P. & Zacharias, J. R. The Molecular Beam Resonance Method for Measuring Nuclear Magnetic Moments. The Magnetic Moments of ${}^6_3\text{Li}$, ${}^7_3\text{Li}$ and ${}^{19}_9\text{F}$. *Phys. Rev.* **55**, 526–535 (6 März 1939).
5. Felber, J., Gähler, R., Rausch, C. & Golub, R. Matter waves at a vibrating surface: Transition from quantum-mechanical to classical behavior. *Phys. Rev. A* **53**, 319–328 (1 1996).
6. Jenke, T. *qBounce - vom Quantum Bouncer zur Gravitationsresonanzspektroskopie* Diss. (Technische Universität Wien, 2011).
7. Callin, P. & Burges, C. Deviations from Newton’s law in supersymmetric large extra dimensions. *Nuclear Physics B* **752**, 60–79. ISSN: 0550-3213 (2006).
8. Arkani-Hamed, N., Dimopoulos, S. & Dvali, G. The Hierarchy problem and new dimensions at a millimeter. *Phys.Lett.* **B429**, 263–272 (1998).
9. Arkani-Hamed, N., Dimopoulos, S. & Dvali, G. Phenomenology, astrophysics, and cosmology of theories with submillimeter dimensions and TeV scale quantum gravity. *Phys. Rev. D* **59**, 086004 (8 1999).
10. Baumann, J., Gähler, R., Kalus, J. & Mampe, W. Experimental limit for the charge of the free neutron. *Phys. Rev. D* **37**, 3107–3112 (11 1988).
11. Durstberger-Rennhofer, K., Jenke, T. & Abele, H. Probing the neutron’s electric neutrality with Ramsey spectroscopy of gravitational quantum states of ultracold neutrons. *Phys. Rev. D* **84**, 036004 (3 2011).
12. Ramsey, N. F. A Molecular Beam Resonance Method with Separated Oscillating Fields. *Phys. Rev.* **78**, 695–699 (6 Juni 1950).
13. Moody, J. E. & Wilczek, F. New macroscopic forces? *Phys. Rev. D* **30**, 130–138 (1 Juli 1984).
14. Beringer, J. *u. a.* Review of Particle Physics. *Phys. Rev. D* **86**, 010001 (1 Juli 2012).
15. Nesvizhevsky, V. V. *u. a.* Measurement of quantum states of neutrons in the Earth’s gravitational field. *Phys. Rev. D* **67**, 102002 (10 2003).

16. Bäßler, S., Nesvizhevsky, V. V., Protasov, K. V. & Voronin, A. Y. Constraint on the coupling of axionlike particles to matter via an ultracold neutron gravitational experiment. *Phys. Rev. D* **75**, 075006 (7 2007).
17. Jenke, T. *u. a.* A quantized frequency reference in the short-ranged gravity potential and its application for dark matter and dark energy searches. *arXiv:1208.3875* (2012).
18. *Neutron Data Booklet* second edition (Hrsg. Dianoux, A.-J. & Lander, G.) ISBN: 0-9704143-7-4 (Institut Laue-Langevin, 2003).
19. *Informationsbroschüre Mitutoyo* 2013. <<http://www.mitutoyo.com/pdf/E4174-542.pdf>>.
20. Atchison, F. *u. a.* Transmission of very slow neutrons through material foils and its influence on the design of ultracold neutron sources. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment* **608**, 144–151. ISSN: 0168-9002 (2009).
21. *Datenblatt MFS-3A Magnetometer* 2013. <http://www.gmw.com/magnetic_sensors/ametes/documents/Ametes_MFS-3A_Spec_18_Apr_2011.pdf>.