



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Ausleihexemplar

**Entwicklung und Konstruktion
eines
Beamstop Device**

von
Sebastian Gogolin

- 1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Hilmar Hoder**
- 2. Prüfer: Dipl.-Ing. Ralph Döhrmann**



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences

Department Maschinenbau und Produktion

Aufgabenstellung

für die Bachelorthesis

von Herrn Sebastian Gogolin

Matrikel-Nummer: 1870241

Die Aufgabe der Bachelorarbeit besteht in der Entwicklung und Konstruktion einer Einrichtung zum Schutz von Detektoren vor der Zerstörung durch energiereiche Röntgenstrahlung.

Bei SAXS Experimenten an der MINAX Beamline P03 an PETRA III trifft ein Röntgenstrahl auf eine Probe. Dabei entsteht Streustrahlung, welche von Detektoren registriert wird und den Physikern Aufschluss über die molekularen Strukturen der Probe gibt. Es verlässt jedoch nur ein geringer Anteil des Primärstrahles die Probe als energiearme Streustrahlung. Der größte Teil des Strahles geht unbeeinflusst durch die Probe hindurch. Damit dieser durchgehende energiereiche Strahl nicht auf den Detektor trifft und ihn somit zerstört ist der Einsatz einer Schutzeinrichtung notwendig.

Diese Schutzfunktion soll von einem Absorptionskörper erfüllt werden. Dieser hat die Aufgabe den kompletten durchgehenden Strahl zu absorbieren bevor dieser den Detektor erreicht. Um keine Streustrahlung zu verdecken soll die Querschnittsfläche des Absorbers möglichst nicht größer als die des durchgehenden Strahles sein. Außerdem soll dieser so dicht wie möglich vor dem Detektor positioniert werden können, wobei als Anschlussmöglichkeit eine bereits vorhandene Vakuumkammer dient. Der Detektor lässt sich unmittelbar hinter dieser Vakuumkammer positionieren. Um diese Funktion weiterhin zu gewährleisten darf sich der Bauraum der Einrichtung nicht mit dem Arbeitsraum des Detektor Device überschneiden.

Der gesamte Experimentaufbau ist variabel gestaltet, sodass sich der durchgehende Strahl, je nach eingestellten Parametern an verschiedenen Positionen relativ zur Anschlusskammer befindet. Dadurch ergibt sich die Notwendigkeit den Beamstop, mit einer Genauigkeit von mindestens $10\mu\text{m}$ auf dem durchgehenden Strahl positionieren zu können. Mit Hilfe des Device soll sich die tatsächliche Position des durchgehenden Strahles ermitteln lassen. Der Absorptionskörper muss sich reproduzierbar auf diese Position einstellen lassen können.

Des Weiteren soll die zu erforschende Streustrahlung von der Einrichtung möglichst nicht beeinflusst werden. Die Konstruktion ist für ein Hochvakuum (HV) zu konzipieren, welches durch das Gerät nicht verschlechtert werden darf.

Weitere detaillierte Anforderungen sind in der Anforderungsliste zu finden.

Datum

1. Prüfer/in

Kurzfassung

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit soll ein Beamstop Device für Experimente mit Röntgenstrahlung im Hochvakuum an der MINAX Beamline P03 am DESY entwickelt und konstruiert werden.

Diese Einrichtung soll einen Röntgendetektor vor der Zerstörung durch hochenergetische Röntgenstrahlung schützen, indem der energiereiche Anteil der Strahlung durch einen positionierbaren Absorptionskörper absorbiert wird. Energiearme Strahlung hingegen darf durch die Konstruktion nicht beeinflusst werden.

Im Laufe der Entwicklung hat sich ein System bestehend aus einer magnetsch gekoppelten Positionier- und einer adaptiv austauschbaren Absorptionseinheit gefunden. Dabei lassen sich zwei Absorptionseinheiten unabhängig voneinander positionieren.

In dieser Arbeit wurde zunächst methodisch nach geeigneten Lösungen gesucht. Anschließend erfolgte eine Auslegung aller Baugruppen des gewählten Konzeptes.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Formelzeichen	ii
Abkürzungsverzeichnis	iv
1 Einleitung	1
1.1 Allgemeines	1
1.2 Aufgabenstellung	3
2 Auftraggeber und Grundlagen	4
2.1 Das Forschungszentrum DESY	4
2.2 Die Röntgenstrahlungsquelle PETRA III	6
2.3 Die MINAX Beamline P03	8
3 Konstruktion des Beamstop Device	11
3.1 Vorgehensweise bei der Konstruktion	11
3.2 Klären der Aufgabenstellung	11
3.2.1 Die Anforderungsliste	11
3.2.2 Marktanalyse	15
3.2.2.1 UHV Manipulatoren	16
3.2.2.2 Magnetische Dreh-/Schiebe-durchführung	17
3.3 Konzipieren	19
3.3.1 Funktionsanalyse	20
3.3.2 Morphologischer Kasten	25
3.3.3 Beschreibung der Lösungen	30
3.3.4 Bewertung der Lösungen	31
3.4 Entwerfen eines Konzeptes für das Beamstop Device	33

3.4.1	Verwendete Hilfsmittel	33
3.4.2	Grundkonzept des Beamstop Device	34
3.4.3	Beschreibung der luftseitigen Komponenten	34
3.4.4	Beschreibung der vakuumseitigen Komponenten	36
3.4.5	Beschreibung der magnetischen Kopplung	38
3.5	Ausarbeitung des Entwurfes	39
3.5.1	Randbedingungen der Detaillkonstruktion	39
3.5.2	Strategie bei der Vorgehensweise	40
3.5.3	Ausarbeitung des Positionierungssystems	41
3.5.3.1	Ausgangspunkt in den Details	41
3.5.3.2	Auslegung der Lineareinheiten	41
3.5.3.3	Auswahl des Antriebs	46
3.5.4	Abschirmung des Vakuums	51
3.5.4.1	Die Vakuumkammer	52
3.5.4.2	Die O-Ringdichtung	52
3.5.4.3	Der Kammerdeckel	58
3.5.5	Bewegungsübertragung ins Vakuum	64
3.5.6	Das Kopplungssystem	68
3.5.6.1	Auslegung der Führungen	68
3.5.7	Der Beamstop	72
3.5.8	Signalübertragung und Verstärkung	74
3.5.9	Die Gesamtkonstruktion	76
4	Ausblick	77
5	Zusammenfassung	79
	Literaturverzeichnis	81
	Literatur	81
A	Anhang	83
A.1	Mathcad Berechnungen	83
A.2	Datenblätter der eingesetzten Kaufteile	95
A.2.1	Lineareinheiten	95

A.2.2	Motordatenblatt	98
A.2.3	Führungsdatenblatt	109
A.2.4	O-Ringdaten	111
A.2.5	PIN Diode	113
A.2.6	FEM Simulationsbericht des Kammerdeckels	121
B	Anhang	131
B.1	Zusammenbauzeichnung: Beamstop Device	131

Formelzeichen, Symbole und Indizes

Formelzeichen, Symbole

A	m^2	Fläche
b	m	Breite
B	T	magnetische Flussdichte
d	m	Durchmesser
E	J	Energie
F	N	Kraft
f	Hz	Frequenz
g	m/s^2	Erdbeschleunigung
G	N	Gewichtskraft
h	m	Höhe
H		Baugröße
I	A	Stromstärke
l	m	Länge Hebelarm
M	Nm	Moment
μ		Permeabilität
p	N/m^2	Druck
P	W	Leistung
r	m	Radius
S		Sicherheit
t	$^{\circ}C$	Temperatur
U	V	Spannung
v	m/s	Geschwindigkeit
x	m	Breitenkoordinate
y	m	Höhenkoordinate
z	m	Längenkoordinate, Strahlrichtung
ρ	kg/m^3	Dichte
σ	N/m^2	Spannung

Indizes

a	Kipp
anl	Anlauf
b	Gier

<i>c</i>	Roll
<i>Dicht</i>	dichtungsbeding
<i>dyn</i>	dynamisch
<i>erf</i>	erforderlich
<i>i</i>	Anzahl der Elemente
<i>k</i>	klein/e
<i>m</i>	Magnet
<i>max</i>	maximal
<i>min</i>	minimal
<i>Nuz</i>	äquivalente Nutzlast
<i>r</i>	relativ
<i>S</i>	Signal
<i>vor</i>	vorhanden
<i>x</i>	Abstand x

Abkürzungen

Abb.	Abbildung
Anf. Art	Anforderungsart
BNC	Bayonet Neill Concelman
CAD	Computer aided design
DESY	Deutsches Elektronen-Synchrotron
DN	Nennweite
DORIS	Doppel-Ring-Speicher
E Modul	Elastizitätsmodul
el.	elektrisch/e
Fa.	Firma
FEM	Finite Elemente Methode
FLASH	Freier-Elektronen-Laser
GL.	Gleichung
HASYLAB	Hamburger Synchrotronstrahlungslabor
HERA	Hadron-Elektron-Ring-Anlage
HV	Hochvakuum
Ice Cube	Internationales Neutrino-teleskop
ILC	Internationaler Linearbeschleuniger
LE	Lineareinheit
Lfd. Nr.	Laufenden Nummer
MINAX	Micro- and Nanofocus X-Ray Scattering Beamline
PETRA	Positron-Elektron-Tandem-Ring-Anlage
Pos.	Position
PEEK	Polyaryletherketone
PIN Diode	Positive intrinsic negative diode
SE	SolidEdge
Tab.	Tabelle
UHV	Ultrahochvakuum
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VPE	Vakuumpositioniereinrichtung
XFEL	X-Ray Free-Electron Laser
X-Ray	Röntgenstrahl
Zsh.	Zusammenhang

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

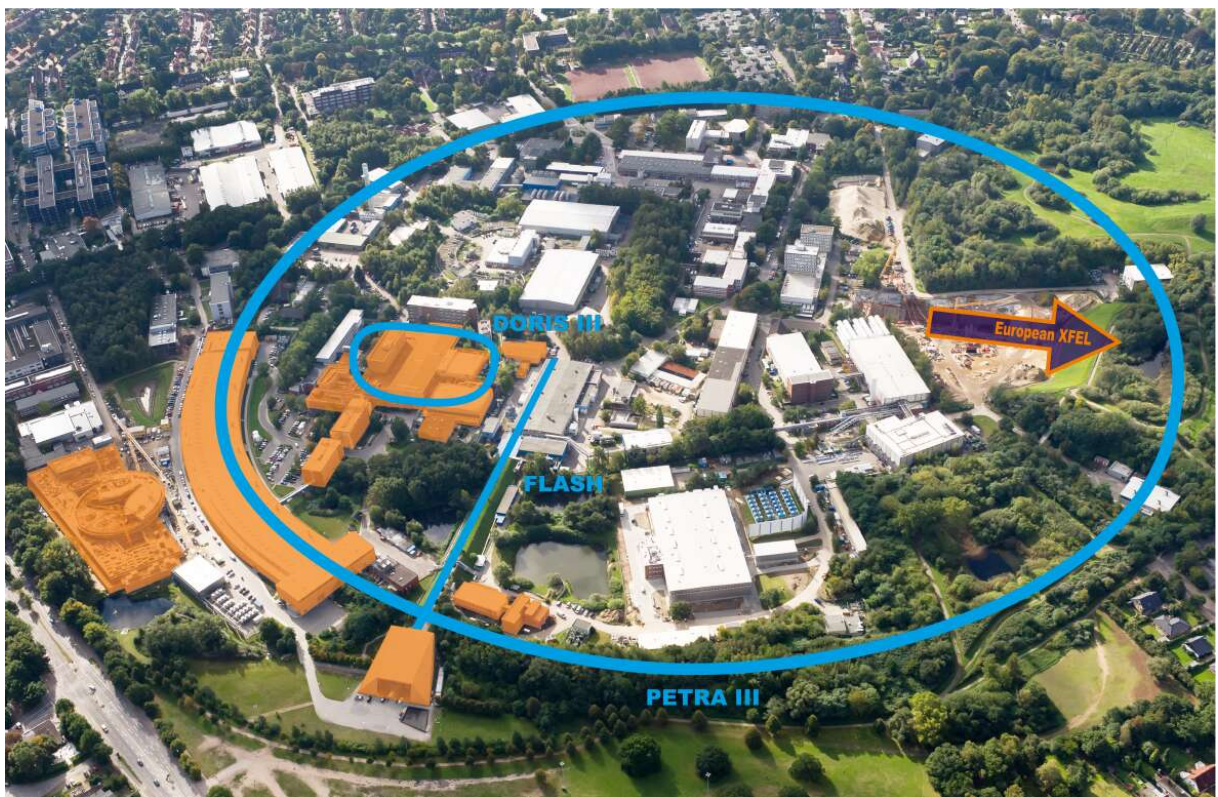


Abbildung 1.1: DESY Gelände aus der Luft

Ob in Physik, Chemie, Geologie, Biologie, Materialforschung oder Medizin, das Licht aus den DESY-Beschleunigern bietet eine breite Palette von Untersuchungsmöglichkeiten. Erzeugt wird die begehrte Strahlung von winzigen Teilchen, die auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden.

In ringförmigen Beschleunigern, so genannten Speicherringen, rasen die Teilchen praktisch mit Lichtgeschwindigkeit auf einer kreisförmigen Bahn und werden dabei beschleunigt. Ähnlich den Fahrgästen eines Kettenkarussells, die durch die Kette auf einer Kreisbahn gehalten werden, werden die Teilchen in der Kurve durch Magnetfelder in Richtung Mittelpunkt gelenkt. Das Ergebnis dieser Radialbeschleunigung: In den Ablenkmagneten im Kreisbogen geben die Teilchen einen beträchtlichen Teil ihrer Energie ab, indem sie einen intensiven, gebündelten Lichtstrahl aussenden. Bereits 1947 entdeckte der US-amerikanische Techniker Floyd Haber an einem Elektronenbeschleuniger seines Arbeitgebers General Electric ein gleißendes Licht. Da es sich bei diesem Beschleuniger um ein so genanntes Synchrotron handelte, wurde dieses Licht fortan als Synchrotronstrahlung bezeichnet.

Synchrotronstrahlung ist elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen, die vom Infraroten über das sichtbare Licht und die ultraviolette Strahlung bis hin zu den Röntgenstrahlen reichen. Schon in den 1950er Jahren zeigten erste Experimente, dass Synchrotronstrahlung ganz besondere Eigenschaften aufweist und sich hervorragend zur Untersuchung der verschiedensten Materialien eignet. Das größte Plus: Synchrotronstrahlung ist extrem intensiv. Besonders relevant ist das für den Röntgenbereich. Speicherringe strahlen um Größenordnungen intensiver als herkömmliche Röntgenröhren. Zudem ist der Strahl sehr stark gebündelt. Im Gegensatz zum Laserlicht ist Synchrotronstrahlung nicht einfarbig, sondern enthält ähnlich wie Sonnenlicht ein kontinuierliches Spektrum an Wellenlängen. Hinzu kommt, dass die Teilchen in kurzen Paketen im Speicherring kreisen. Die Folge: Anstatt wie ein Laserzeiger einen Dauerstrahl von sich zu geben, produziert der Beschleuniger in schneller Abfolge ultrakurze Lichtblitze. Damit können die Forscher auch dynamische Prozesse im Mikrokosmos verfolgen. Des Weiteren ist Synchrotronstrahlung polarisiert das Licht schwingt nur innerhalb bestimmter Ebenen. Dies lässt sich beispielsweise für die Untersuchung magnetischer Materialien verwenden. Alle diese Vorteile haben die Synchrotronstrahlung zu einem wichtigen Forschungswerkzeug werden lassen.

In den heutigen Speicherringen wird Synchrotronstrahlung nicht allein in den Ablenkmagneten erzeugt, die die Teilchen auf ihrer Kreisbahn halten. Zusätzlich werden meterlange spezielle Magnetstrukturen eingebaut, so genannte Wiggler und Undulatoren. Sie bestehen aus einer Folge von sich abwechselnden Nord- und Südpolen. Durchlaufen lichtschnelle Elektronen diesen Magnetparcours, so werden sie auf einen Slalomkurs gezwungen. Aufgrund der vielen, hintereinander geschalteten Magnetpole senden die Elektronen einen weitaus intensiveren Lichtstrahl aus als in einem einzelnen Ablenkmagneten. Beim Wiggler ist die Synchrotronstrahlung bis zu hundertfach intensiver als bei Ablenkmagneten. Ein Undulator erreicht bei bestimmten Wellenlängen sogar das Tausendfache, da sich die Wellenzüge konstruktiv überlagern und dabei gegenseitig verstärken.

Als Lichtquellen der nächsten Generation erzeugen Freie-Elektronen-Laser (FEL) Strahlung, die nochmals um Größenordnungen intensiver ist als die aus Speicherringen. Zudem besitzt sie die Eigenschaften von Laserlicht und wird in ultrakurzen Pulsen geliefert, was einzigartige Experimente ermöglicht[1].

1.2 Aufgabenstellung

Die Aufgabe der Bachelorarbeit besteht in der Entwicklung und Konstruktion einer Einrichtung zum Schutz von Detektoren vor der Zerstörung durch energiereiche Röntgenstrahlung.

Bei SAXS Experimenten an der MINAX Beamline P03 an PETRA III trifft ein Röntgenstrahl auf eine Probe. Dabei entsteht Streustrahlung, welche von Detektoren registriert wird und den Physikern Aufschluss über die molekularen Strukturen der Probe gibt. Es verlässt jedoch nur ein geringer Anteil des Primärstrahles die Probe als energiearme Streustrahlung. Der größte Teil des Strahles geht unbeeinflusst durch die Probe hindurch. Damit dieser durchgehende energiereiche Strahl nicht auf den Detektor trifft und ihn somit zerstört ist der Einsatz einer Schutzeinrichtung notwendig.

Diese Schutzfunktion soll von einem Absorptionskörper erfüllt werden. Dieser hat die Aufgabe den kompletten durchgehenden Strahl zu absorbieren bevor dieser den Detektor erreicht. Um keine Streustrahlung zu verdecken soll die Querschnittsfläche des Absorbers möglichst nicht größer als die des durchgehenden Strahles sein. Außerdem soll dieser so dicht wie möglich vor dem Detektor positioniert werden können, wobei als Anschlussmöglichkeit eine bereits vorhandene Vakuumkammer dient. Der Detektor lässt sich unmittelbar hinter dieser Vakuumkammer positionieren. Um diese Funktion weiterhin zu gewährleisten darf sich der Bauraum der Einrichtung nicht mit dem Arbeitsraum des Detektor Device überschneiden.

Der gesamte Experimentaufbau ist variabel gestaltet, sodass sich der durchgehende Strahl, je nach eingestellten Parametern an verschiedenen Positionen relativ zur Anschlusskammer befindet. Dadurch ergibt sich die Notwendigkeit den Beamstop, mit einer Genauigkeit von mindestens $10\mu m$ auf dem durchgehenden Strahl positionieren zu können. Mit Hilfe des Device soll sich die tatsächliche Position des durchgehenden Strahles ermitteln lassen. Der Absorptionskörper muss sich reproduzierbar auf diese Position einstellen lassen können.

Des weiteren soll die zu erforschende Streustrahlung von der Einrichtung möglichst nicht beeinflusst werden. Die Konstruktion ist für ein Hochvakuum (HV) zu konzipieren, welches durch das Gerät nicht verschlechtert werden darf.

Weitere detaillierte Anforderungen sind in der Anforderungsliste zu finden.

2 Auftraggeber und Grundlagen

2.1 Das Forschungszentrum DESY

Das Deutsche Elektronen-Synchrotron DESY ist eines der weltweit führenden Beschleunigerzentren zur Erforschung der Materie. DESY entwickelt, baut und nutzt Beschleuniger und Detektoren für die Forschung mit Photonen und die Teilchenphysik. DESY ist ein mit öffentlichen Mitteln finanziertes nationales Forschungszentrum und Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft.¹

Wissenschaftler aus aller Welt erforschen an Beschleunigern die fundamentalen Bausteine und Kräfte im Universum.

Entsprechend vielseitig sind das Forschungsspektrum und die Zusammenarbeit mit nationalen und internationalen Partnern. Aus 40 Nationen kommen jährlich über 3000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, um bei DESY zu forschen. Das Forschungsprogramm reicht dabei weit über die Anlagen in Hamburg und Zeuthen hinaus. DESY arbeitet intensiv an internationalen Großprojekten mit. Beispiele sind der europäische Röntgenlaser European XFEL in Hamburg, der europäische Protonenbeschleuniger LHC in Genf, das internationale Neutrinoobservatorium IceCube am Südpol oder der internationale Linearbeschleuniger ILC.

Die Entwicklung von Teilchenbeschleunigern stellt Mensch und Maschine vor besondere Herausforderungen. Immer wieder gilt es, in technisches Neuland vorzustoßen und Pionierarbeit zu leisten. Viele technische Errungenschaften aus der Beschleunigerentwicklung führen anschließend zu neuen Anwendungen in der Industrie. DESY hat in 50 Jahren umfangreiche Erfahrungen in der Beschleunigerentwicklung gesammelt und gehört zur Weltspitze.

DESY entwickelt, baut und betreibt Teilchenbeschleuniger für zwei Forschungsrichtungen:

- Die Forschung mit Photonen
- Die Teilchenphysik

Bei der Teilchenphysik werden zwei Protonenstrahlen in entgegengesetzter Richtung auf einem Ring beschleunigt und zur Kollision gebracht. Durch die hohe Energie beim Aufprall werden die Protonen in immer kleinere Bestandteile zerissen, welche von Detektoren erfasst werden. Solche Kollisionsversuche wurden lange Zeit in dem einst größten Speicherring der Welt, HERA am DESY durchgeführt. Die Auswertungen der Messergebnisse dauern bis heute noch an. Abgelöst wurde HERA, von dem LHC am Cern, welcher auch auf Grundlage der am HERA erlangte Forschungsergebnisse gebaut wurde und Teilchenpakete mit derzeit weltweit höchsten Energien kollidieren lässt.

¹http://www.desy.de/ueber_desy/index_ger.html

Für die Teilchenphysik werden immer leistungsstärkere Beschleuniger entwickelt, um Teilchen auf immer höhere Energien zu beschleunigen und damit immer tiefer ins Innerste der Materie und zurück zur Entstehung des Universums zu blicken.

Die Konstruktion dieser Bachelorarbeit findet ihre Anwendung in der Forschung mit Photonen. Für die Forschung mit Photonen werden Lichtquellen entwickelt, die es ermöglichen, Strukturen und Prozesse auf extrem kleinen Raum- und Zeitskalen zu beleuchten. Dazu werden Teilchen zunächst in Ring- oder Linearbeschleunigern beschleunigt und dann in großen Magnetstrukturen, den sogenannten Undulatoren so abgelenkt, dass sie eine besondere Strahlung, die Synchrotronstrahlung aussenden.

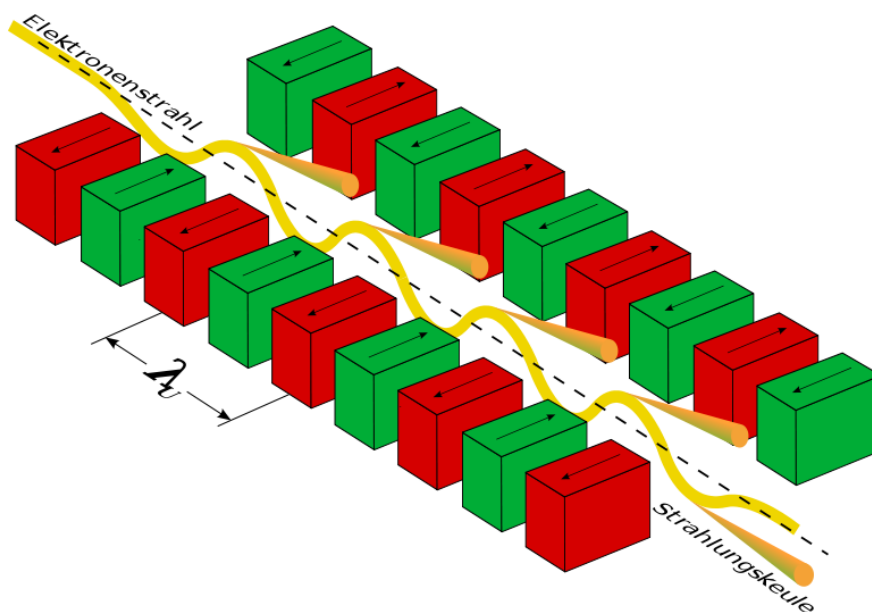


Abbildung 2.1: Prinzip eines Undulators

Die Abbildung 2.1 zeigt das Prinzip eines Wigglers oder Undulators. Dabei handelt es sich um eine lineare Folge von Dipolmagneten, die in abwechselnder Nord-Süd-Ausrichtung hintereinander geschaltet sind. Wird ein Teilchen etwa durch ein Magnetfeld abgelenkt, so bedeutet dies physikalisch gleichzeitig, dass es eine Beschleunigung erfährt. Ein leichtes elektrisch geladenes Teilchen (Elektron oder Positron) gibt dann elektromagnetische Strahlung ab, die man, sofern das Teilchen sich annähernd mit Lichtgeschwindigkeit bewegt, als Synchrotronstrahlung bezeichnet.

Durch die spezielle Magnetanordnung in einem Wiggler oder Undulator wird ein durch sie hindurchfliegendes Teilchen auf eine periodische, meist sinusförmige Bahn gezwungen. Das so beschleunigte Teilchen erzeugt nun Synchrotronstrahlung in seiner durchschnittlichen Flugrichtung.

Die Eigenschaften der erzeugten Strahlung hängen stark von der Länge der einzelnen Magnete, der Stärke des Magnetfeldes und der Geschwindigkeit, Ladung und Masse des Teilchens ab.²

Die so erzeugte Synchrotronstrahlung macht kleinste Details aus dem Mikrokosmos sichtbar. Bei DESY untersuchen Wissenschaftler aus aller Welt damit die atomare Struktur und die Reaktionen von vielversprechenden Werkstoffen und Biomolekülen, aus denen neue Medikamente gewonnen werden können. Im weltweiten Vergleich zeichnet sich die Forschung mit Photonen bei DESY durch die einzigartige Vielfalt der Lichtquellen aus.

²<http://de.wikipedia.org/wiki/Undulator>

Die vorhandenen und geplanten Lichtquellen ergänzen sich auf ideale Weise. So erhalten die Wissenschaftler bei DESY exakt die Strahlung, die sie für ihre Experimente brauchen.

DORIS III Der Teilchenbeschleuniger DORIS III liefert Strahlung für eine Vielzahl von Anwendungen. Hier werden zum Beispiel Katalysatoren oder Halbleiterkristalle analysiert und die Grundlagen für die Entwicklung von neuen Medikamenten gelegt. Industrieunternehmen optimieren hier ihre Werkstoffe und entwickeln neue Produkte. Betreut werden sie von einer speziellen Servicegruppe.

FLASH Weltweit einmalige Untersuchungsmöglichkeiten bietet der neue Freie-Elektronen-Laser FLASH, der hochintensive, kurzwellige Laserlichtblitze erzeugt. Internationale Forscherteams erzielen hier bahnbrechende Ergebnisse, die den Weg in eine neue Ära der Strukturforschung weisen. Ihr Ziel: mit Hilfe eines einzigen ultrakurzen, intensiven Röntgenlaserpulses Bilder von Nanoteilchen, Viren oder Zellen aufzunehmen.

PETRA III Seit 2009 steht den Forschern bei DESY die weltbeste Speicherring-Röntgenstrahlungsquelle, PETRA III, zur Verfügung. Sie liefert kurzwelliges Röntgenlicht besonders hoher Brillanz. PETRA III bietet exzellente Experimentiermöglichkeiten für verschiedene Anwendungen von der Medizin bis zur Materialforschung.

European XFEL Der im Bau befindliche europäische Röntgenlaser European XFEL ergänzt das einzigartige Spektrum von modernsten Lichtquellen in der Metropolregion Hamburg. Seine Inbetriebnahme soll 2014 beginnen. Mit den hochintensiven Röntgenlaserblitzen des XFEL lassen sich beispielsweise „Filme“ mit atomarer Auflösung drehen. Die rund drei Kilometer lange Anlage reicht von DESY in Hamburg bis in die schleswig-holsteinische Stadt Schenefeld (Kreis Pinneberg).³

2.2 Die Röntgenstrahlungsquelle PETRA III

Der 2,3 Kilometer lange Speicherring PETRA „Positron-Elektron-Tandem-Ring-Anlage“ nahm 1978 bei DESY den Betrieb auf. Als größter damals existierender Speicherring seiner Art diente er zunächst ganz der Teilchenphysikforschung. Schon 1979 gelang den PETRA-Experimenten eine bahnbrechende Entdeckung: Sie konnten erstmals das Gluon direkt beobachten, das Trägerteilchen der starken Kraft, welche die Grundbausteine aller Materie, die Quarks, aneinander bindet und zu den vier fundamentalen Naturkräften gehört.

Nicht zuletzt die Forschung an PETRA führte zu einer verstärkten internationalen Nutzung der DESY-Anlagen.

Im Jahr 1990 nahm die Anlage in ihrer zweiten Ausbaustufe unter dem Namen PETRA II den Betrieb als Vorbeschleuniger von Protonen und Elektronen/Positronen für den neuen Teilchenbeschleuniger HERA auf. 1995 wurde PETRA II zudem mit einem Undulator bestückt, um Synchrotronstrahlung mit intensivem Röntgenlichtanteil zu erzeugen. Seitdem standen an PETRA II für die Forschung mit Photonen auch Testmessplätze für Experimente mit harter Röntgenstrahlung zur Verfügung.

Die Zukunft von PETRA steht ganz im Zeichen der Lichterzeugung: Nach der Abschaltung des HERA-Speicherrings im Sommer 2007 wurde der Beschleuniger umgebaut, im Jahr 2009 nahm er unter dem Namen PETRA III als eine der weltweit brilliantesten Speicherring-Röntgenstrahlungsquellen

³http://www.desy.de/ueber_desy/ueberblick/index_ger.html

den Nutzerbetrieb auf. Für die Umrüstung wurden knapp 300 Meter des Rings komplett umgebaut und eine neue Experimentierhalle errichtet. Zur Verfügung stehen 14 Messplätze mit bis zu 30 Instrumenten. Der Einbau mehrerer maßgeschneiderter Undulatoren, die Röntgenstrahlung mit besonders hoher Brillanz liefern, garantiert den Nutzern aus aller Welt exzellente Forschungsmöglichkeiten von der Untersuchung neuer Werkstoffe über die Molekularbiologie bis zur Medizin.

Der Ringbeschleuniger für Elektronen und Positronen hat eine Länge von 2304 Metern und wurde 1978 in Betrieb genommen. Von 2007 bis 2008 wurde sie zur weltbesten Speicherring Röntgenstrahlungsquelle ausgebaut. Im Jahre 2009 startete in der PETRA Experimentierhalle, siehe Abb. 2.2 an insgesamt 14 Messplätzen der Nutzerbetrieb. Seitdem werden die Experimentaufbauten in den Experimentierhütten ständig durch weitere, speziell auf die Nutzerwünsche abgestimmte Einrichtungen ergänzt. Um eine solche Konstruktion geht es auch in dieser Arbeit.

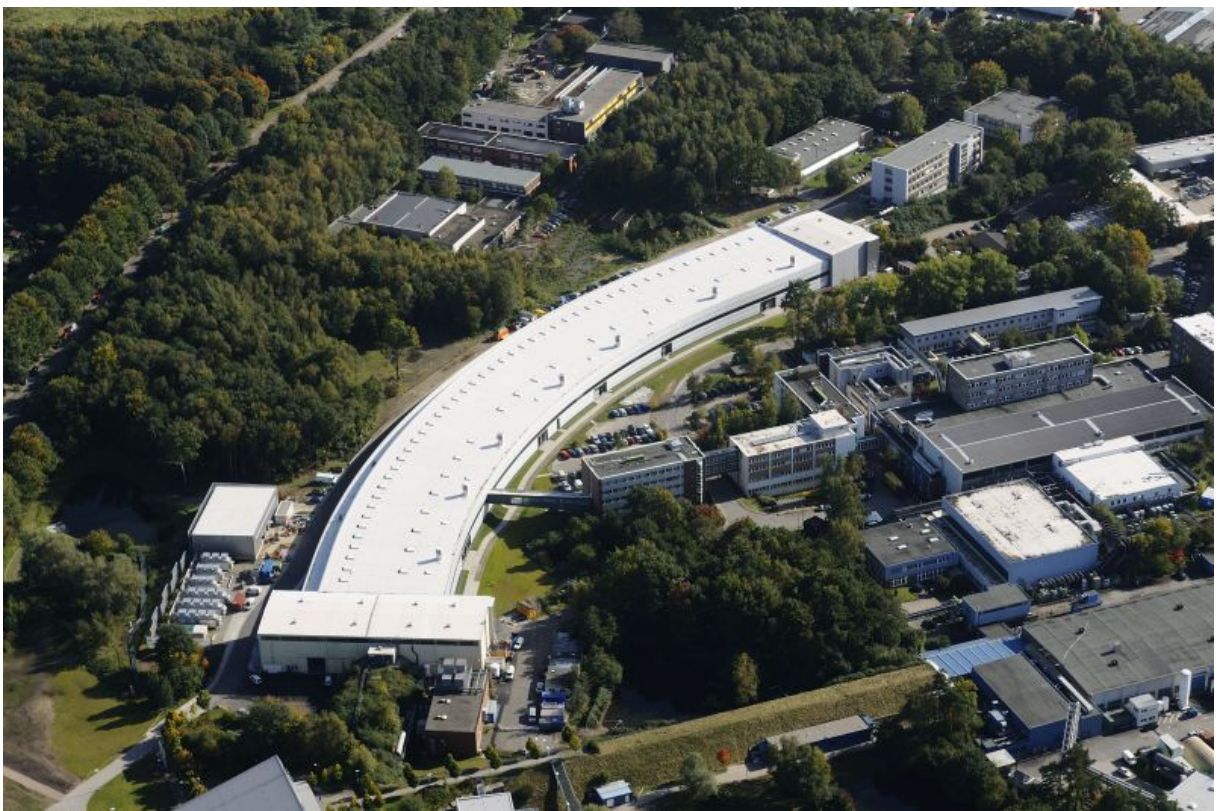


Abbildung 2.2: PETRA III Experimentierhalle:Luftaufnahme vom 6. Oktober 2008, von Ed. Züblin AG, aufgenommen von Falcon Crest.

2.3 Die MINAX Beamline P03

Der Name MINAX Beamline steht für Micro- and Nanofocus X-Ray Scattering Beamline. Hier werden zu untersuchende Proben, im Messbetrieb von mehr als 200 Tagen im Jahr, mit einem Röntgenstrahl durchleuchtet und die dabei entstehenden Beugungsmuster von einem Detektor aufgezeichnet. Die komplette Strahlung befindet sich dabei weitestgehend im Vakuum um Wechselwirkungen mit Teilchen aus der Luft zu vermeiden. Luftteilchen würden die zu untersuchenden Strahlen absorbieren, bevor sie den Detektor erreichen.

Bild 2.3 zeigt den prinzipiellen Aufbau der insgesamt 104 Meter langen Beamline. Ein Synchrotronstrahl tritt nach Verlassen des Undulators zunächst in die Optik Hütte (Optics Hutch) ein, in der sich ein Monochromator befindet. Dieser verfügt über verstellbare Kristalle. Die Röntgenstrahlung tritt nun in einen ersten Kristall ein und wird an dessen Oberfläche und an vielen Gitterebenen reflektiert. Ein Strahl, der an der äußersten Gitterebene reflektiert wird, legt eine kürzere Strecke zurück als ein Strahl, der von einer Ebene innerhalb des Kristalls reflektiert wird. Diese Streckendifferenz wird

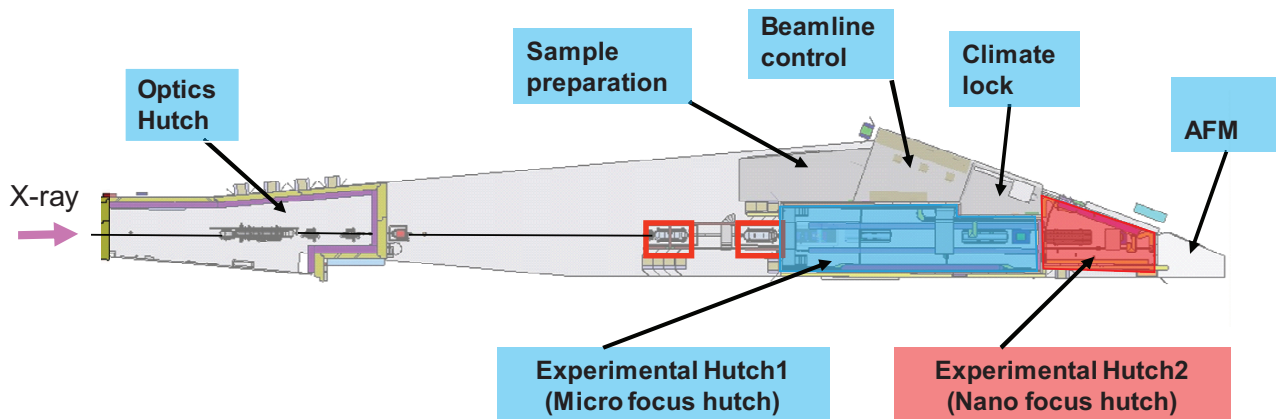


Abbildung 2.3: Übersicht der Beamline P03

Gangunterschied genannt. Durch eine hohe Anzahl von Gangunterschieden erfahren fast alle Wellenlängen eine destruktive Interferenz. Nur bestimmte Wellenlängen, in Abhängigkeit der gewählten Winkelstellung des Kristalls, interferieren konstruktiv und werden durch einen zweiten Kristall, der die dabei entstandene Richtungsveränderung wieder ausgleicht, auf ein Spiegelsystem gelenkt. Die Spiegel können jetzt aus den wenigen Wellenlängen, die über den Monochromator gelangt sind, weitere Wellenlängen herausfiltern. Diese nehmen ihren weiteren Weg in der Beamline auf, wo der Strahl anschließend weiter für das jeweilige Experiment „aufbereitet“ wird.

Im Monochromator fällt an der P03 praktisch die komplette Wärmelast des Strahls ab.

Der monochromatische Strahl wird in bleiummantelten, evakuierten Rohren in seiner Richtung weitergeführt. Dort wird er kurz vor dem Eintritt in die Experimentierhütte durch ein komplexes Linsensystem *hier rot eingerahmt dargestellt* auf die Probe in der Mikro- bzw. Nano- Fokus Hütte fokussiert. Direkt im Anschluss an beide Experimentierhütten befinden sich eine Probenvorbereitung und eine Kontrollstation, über die sämtliche Beamlineparameter, *meist über Schrittmotoren oder Piezoaktoren* gesteuert werden können. Außerdem verfügt der Messplatz über eine Klimaschleuse und einen Mikroskoparbeitsplatz.

In der $82m^2$ großen, blau dargestellten Experimentierhütte befindet sich derzeit der in Abb. 2.4 dargestellte Aufbau. Der fokussierte⁴ Strahl *X-Ray* trifft hier zunächst auf die zu untersuchende Probe, welche auf dem *Sample Table* aus Granit hochpräzise ausgerichtet ist. Dabei geht der größte Anteil des Strahls **eng.Beam** ungehindert durch die Probe hindurch und es entsteht ein Beugungsmuster. Dieses Beugungsmuster gilt es von einem Detektor zu erfassen. Der Streuwinkel ist von der Größe und Lage der zu untersuchenden Struktur abhängig. Daher ist es notwendig, den Abstand von der Probe zum Detektor variabel einstellen zu können, um charakteristische Streustrahlung detektieren zu können.

Aus diesem Grund kann ein mit Detektoren bestücktes **Detektor Device** auf einem Schienensystem entlang der Strahlung positioniert werden. Die Strahlen gelangen durch ein **Adaptive Vacuum Setup**, was eine Absorption der Strahlen durch Luftmoleküle verhindert, bevor sie auf den Detektor treffen. Das Setup schirmt eine variable Vakuumstrecke von der Atmosphäre ab. Diese „ziehharmonikaähnliche“ Konstruktion besteht aus einem Membranbalg, der sich durch strecken oder stauchen auf den gewünschten Abstand einstellen lässt. Das **Detektor Device** und das **Adaptive Vacuum Setup** sind mechanisch gekoppelt, so lässt sich der Detektor direkt hinter dem Austrittsfenster des Vacuum Setups positionieren.

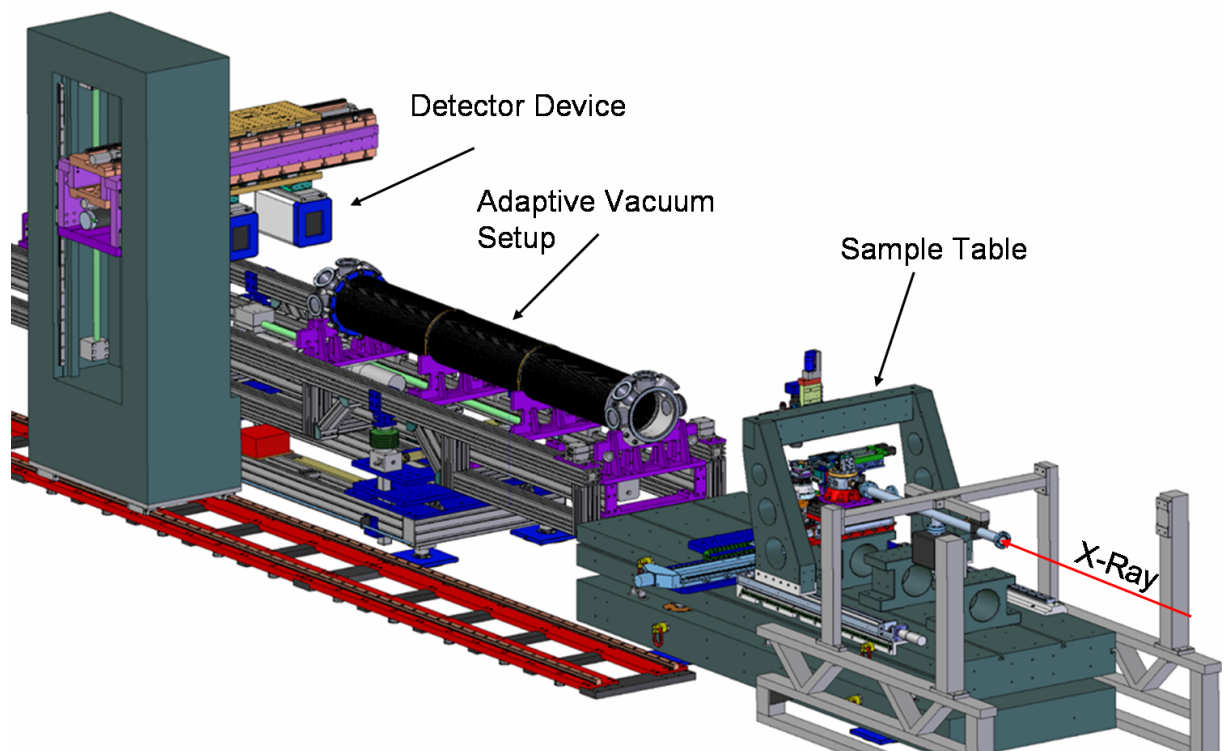


Abbildung 2.4: Übersicht des zentralen Experimentenaufbau in der Experimentierhütte P03

⁴Am Probenort hat der Strahl eine maximale horizontale Ausdehnung von $600\mu m$ und $200\mu m$ in vertikaler Richtung.

Bei den Detektoren handelt es sich um Photonenregistriergeräte, mit deren Hilfe Röntgenstrahlung sichtbar gemacht werden kann. Ein von einem Detektor aufgenommenes Streubild⁵ ist in der Abb. 2.5 zu erkennen. Die beiden horizontalen Linien sind Todbereiche des Detektors. Im Zentrum des Streubildes befindet sich ein Absorptionskörper, der mittels eines Metallstabes positioniert wurde. Hierbei handelt es sich um einen Beamstop. Er hat die Aufgabe den durchgehenden Strahl, auf dem er platziert ist zu absorbieren und damit den Detektor vor Zerstörung durch diesen zu schützen.

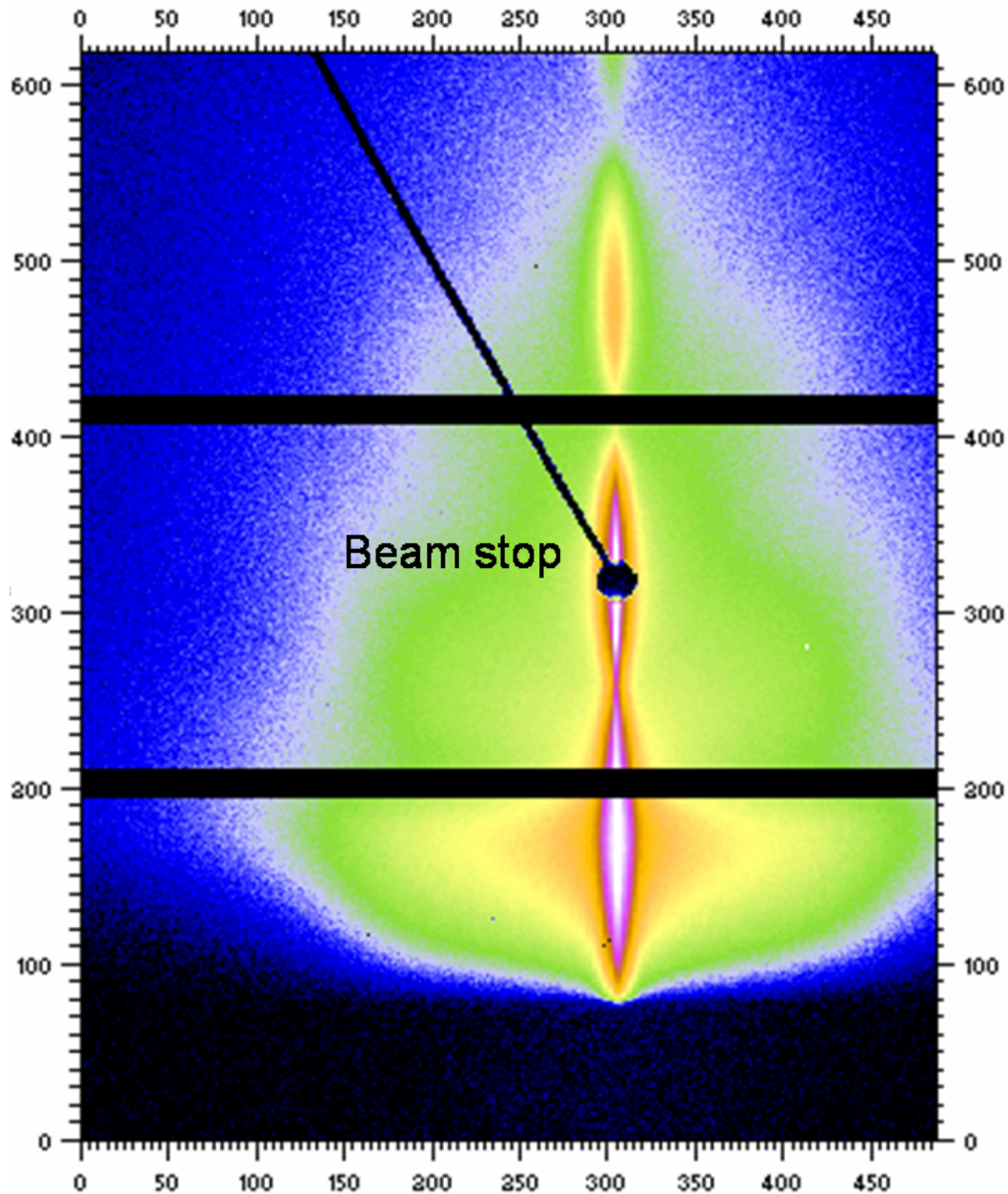


Abbildung 2.5: Streubild: Aufgenommen von einem Detektor

⁵Hier eine Probe, bestehend aus einer Gold- und einer Polymerschicht

3 Konstruktion des Beamstop Device

3.1 Vorgehensweise bei der Konstruktion

Im Hauptteil dieser Arbeit wird der Konstruktionsprozess des Beamstop Device anhand der vier Konstruktionsphasen

- Klären der Aufgabenstellung
- Konzipieren
- Entwerfen und
- Ausarbeiten

beschrieben. Bei der Konstruktion handelt es sich um einen Prototypen, der im Anschluss in zweifacher Ausführung gefertigt und aufgebaut werden soll. Die Qualität wird anhand von Tests unter Einsatzbedingungen überprüft.

3.2 Klären der Aufgabenstellung

Diese Phase dient zur Informationsbeschaffung über die Anforderungen, die an die Konstruktion gestellt werden, sowie über die bestehenden Bedingungen und ihre Bedeutung. Das Ergebnis ist die informative Festlegung in einer Anforderungsliste, die stets auf den neuesten Stand gehalten wird.¹ Die Anforderungsliste an das Beamstop Decice ist in den Tabellen 3.1, 3.2 und 3.3 dargestellt.

3.2.1 Die Anforderungsliste

Als Ergebnis der Konstruktionsphase „Klärung der Aufgabenstellung“ sind alle Forderungen und Wünsche in Form einer Anforderungsliste in den folgenden Tabellen dargestellt.

Das Verteilungsschema für die Wertigkeit der Forderungen und Wünsche ist unten in den Tabellen angezeigt.

Die Tabellen sind in elf Kategorien unterteilt. Durch die Verwendung einer laufenden Nummer *Lfd. Nr.* fallen neu hinzugekommene Anforderungen sofort ins Auge. Außerdem werden Änderungen mit dem jeweiligen Änderungsdatum versehen.

¹<http://de.wikipedia.org/wiki/Konstruktionslehre>

Tabelle 3.1: Anforderungsliste: Blatt 1 von 3.

		Anforderungsliste für die Konstruktion eines Beamstop Device	Blatt 1 von 3
Lfd. Nr.	Anf. Art	Anforderung	Änderung
		1. Funktion	
1	F	Der Beamstop soll den durchgehenden Strahl vor dem Detektor während einer Messung absorbieren, sodass beim Detektor nur noch Streustrahlung ankommt. Diese soll durch die Einrichtung möglichst nicht beeinträchtigt werden.	
2	F	Mit Hilfe des Device soll die Position des durchgehenden Strahles ermittelt werden können. Der Absortionskörper soll sich reproduzierbar auf diese einstellen lassen können.	
47	F	In Abhängigkeit der Divergenz des durchgehenden Strahles ergeben sich unterschiedliche Mindestdurchmesser des Absorbers. Ein universeller Anschluss soll den schnellen Wechsel von Absorptionskörpern unterschiedlicher Geometrieen erlauben.	01.11.2010
		2. Geometrie	
3	F	2.1 Anschlussposition Die Konstruktion soll an eine bereits vorhandene Vakuumkammer angeschlossen werden.	
4	F	Die Vakuumkammer verfügt über fünf ISO-K Anschlussflansche mit DN 63. Das Device soll an jedem dieser Flansche seine Funktion ausüben können. Generell soll die Einbauposition variabel sein.	
5	F	2.2 Beamstopgeometrie Der Beamstop soll den durchgehenden Strahl komplett abdecken und dabei eine möglichst geringe Querschnittsfläche besitzen.	
8	F	2.3 Abmaße des durchgehenden Strahles 2.4 Lage der Vakuumkammer relativ zum durchgehenden Strahl Strahlverlauf in Z-Richtung. Der Strahl tritt senkrecht in die Kammer ein.	
9	F	Durch Anheben und Absenken der Kammer ergibt sich eine Abweichung in Y-Richtung $\leq \pm 100mm$ zur Kammermitte.	
10	F	Durch horizontale Verschiebung der Kammer ergibt sich eine Abweichung in X-Richtung $\leq \pm 10mm$ zur Kammermitte.	
Legende: F= Forderung; W4 = sehr wichtig; W3 = wichtig; W2 = interessant; W1 = wenn möglich			
Erstellt am 20.10.2010 von Sebastian Gogolin			

Tabelle 3.2: Anforderungsliste: Blatt 2 von 3.

		Anforderungsliste für die Konstruktion eines Beamstop Device	Blatt 2 von 3
Lfd. Nr.	Anf. Art	Anforderung	Änderung
		2.5 Äußere Abmaße der Gesamtkonstruktion	
11	F	Das Device soll möglichst wenig Bauraum einnehmen.	
12	F	Ein bestehendes Detektor Device ist in der Lage, einen Detektor direkt hinter dem Ausrittsfenster der Vakuumkammer zu positionieren.	
13	W3	Diese Funktion darf von der Einrichtung nicht beeinträchtigt werden.	
14	W4	Die Masse sollte 10kg möglichst nicht überschreiten. Der Beamstop soll so nah wie möglich in Z- Richtung vor dem Detektor positioniert werden können.	
		3. Mechanik	
		3.1 Positionierung des Beamstops	
15	F	Positioniergenauigkeit $\leq 10\mu m$	
16	F	Positionierung vertikal: $\pm 100mm$	
17	F	Positionierung horizontal: $\pm 10mm$	
18	W4	Es soll die Möglichkeit bestehen, einen Encoder in das System zu integrieren.	
19	W4	Die Positionierung soll automatisiert werden können.	
20	W4	Zur Positionsbestimmung soll ein Scannvorgang realisiert werden können.	
21	W3	Die Verfahrgeschwindigkeit soll $1 \frac{mm}{s}$ betragen.	
22	W2	Die Feinpositioniergeschwindigkeit soll $\frac{1}{10} \frac{mm}{s}$ betragen.	
23	W4	Für die Positionierung soll eine vorhandene Steuerung eingesetzt werden.	
		3.2 Systemschwingungen	
24	W2	Schwingungen sollen durch die Konstruktion klein gehalten werden.	
		3.3 Lebensdauer	
25	W3	Das Gerät soll mindestens zwei Jahre störungsfrei funktionieren.	
28	W4	Insgesamt soll sich der Absorber 40000 Mal reproduzierbar positionieren lassen.	
		4. Kräfte / Lasten	
		4.1 Druck in Folge von Vakuumkräften	
29	F	$p = 100 kPa$	

Legende: F= Forderung; W4 = sehr wichtig; W3 = wichtig; W2 = interessant; W1 = wenn möglich
Erstellt am 20.10.2010 von Sebastian Gogolin

Tabelle 3.3: Anforderungsliste: Blatt 3 von 3.

		Anforderungsliste für die Konstruktion eines Beamstop Device	Blatt 3 von 3
Lfd. Nr.	Anf. Art	Anforderung	Änderung
		5. Verfügbare Energiequellen	
31	W4	Wechselspannung 230V50Hz	
32	W4	Alle Sorten Gleichspannung bis 24V	
33	W2	Druckluft bis 8bar	
34	F	Es sollen diese vorhandenen Energiequellen genutzt werden.	
		6. Stoffe	
35	W4	Bei der Auswahl der Werkstoffe für die Konstruktion sind die UHV Richtlinien für Strahlführung und Experimente am HASYLAB sowie Verträglichkeit der Synchrotronstrahlung zu beachten.	
36	F	Es herrscht ein Hochvakuum (HV) von 10^{-3} bis 10^{-7} mbar	
		7. Signal	
37	F	Der Röntgenstrahl soll als Signalquelle für die Positionierung des Beamstops in das System integriert werden.	
38	F	Dieses Signal soll in ein elektrisches Signal umgewandelt werden und zur Positionierung genutzt werden.	
		8. Konstruktion	
39	W4	Die Konstruktion (Anschlüsse sowie Befestigungsmöglichkeiten) soll an das Beamlinelayout angepasst werden.	
40	W4	Eine kompakte und modulare Bauweise ist anzustreben.	
		9. Fertigung/Reinigung/Verpackung/Transport	
41	F	Die DESY Richtlinien für die Fertigung sind zu beachten.	
		10. Wirtschaftlichkeit	
42	W4	Nach Möglichkeit die bereits vorhandenen Steuerungen einsetzen.	
43	W2	Herstellungskosten möglichst gering halten.	
45	W3	Bediener - und montagefreundliche Konstruktion.	
		11. Fertigstellungstermin	
46	W2	21.01.2011	
Legende: F= Forderung; W4 = sehr wichtig; W3 = wichtig; W2 = interessant; W1 = wenn möglich Erstellt am 20.10.2010 von Sebastian Gogolin			

3.2.2 Marktanalyse

Zum Einstieg in die Konstruktion soll eine Marktanalyse einen Überblick der auf dem Markt erhältlichen Produkte geben. Der Markt bietet derzeit keine Komplettlösung für alle Anforderungen an. Produkte zur Erfüllung von Teilfunktionen hingegen werden mit großer Variationsvielfalt und sehr ausgereifter Technik von diversen Herstellern angeboten. Die Auswahl der hier vorgestellten Produkte beschäftigt sich im Wesentlichen mit der wichtigsten Funktion der Einrichtung:

Dem Positionieren.

Die hier vorgestellten Produkte werden von den Herstellern in verschiedenen Baugrößen und mit unterschiedlichen Leistungsparametern angeboten. Um diese vergleichbar machen zu können, werden hier nur solche Produkte präsentiert, die den Anforderungen des Beamstop Device gerecht werden können.

Es sei bereits vorweggenommen, dass keines der hier beschriebenen Produkte tatsächlich verbaut wird. Vor allem geht es darum, bestehende Lösungskonzepte aufzugreifen und den Geist auf das Thema zu fokussieren. Außerdem soll ein Überblick der Produkte am Markt zur Findung eigener Ideen anregen.

3.2.2.1 UHV Manipulatoren

Als erstes sei der drei Achsen UHV Manipulator erwähnt.



Abbildung 3.1: Präzisions UHV-Manipulator PMM 12 der Fa.VAb.VACOOM

In der Abbildung 3.1 ist ein solcher Manipulator der VAb VAKUUM-ANLAGENBAU GMBH ² abgebildet. Die gezeigte Variante verfügt über drei von Hand zustellbare Achsen, welche leicht zu motorisieren sind. Ähnliche Manipulatoren werden von diversen Herstellern mit verschiedenen Parametern angeboten.

Dieser Manipulator besteht aus einer Lineareinheit, die es ermöglicht, eine Vakuumstrecke durch einen Membranbalg abgeschirmt von der Umgebung, stufenlos innerhalb bestimmter Grenzen linear einstellen zu lassen. Zwei weitere Achsen werden durch einen X-Y Lineartisch abgedeckt und erlauben eine zusätzliche Positionierung in der Ebene. Für die Realisierung des Beamstop Device werden allerdings lediglich zwei gekoppelte Achsen benötigt. Die Manipulatoren der Hersteller bieten jedoch nur Einheiten mit einer balggekoppelten Linearachse, mit einem X-Y Lineartisch an. Rotationsdurchführung, Neigungseinheit bzw. alle erdenklichen Kombinationen dieser Elemente wären ebenfalls erhältlich.

Um die Positionierung des Beamstop Device zu realisieren, würde aus diesem Angebot als platzsparendste Lösung ein Manipulator mit einer Linearachse und einem zwei Achsen Lineartisch in Frage kommen. Idealerweise würde hier aber eine Einrichtung mit nur zwei, anstatt der angebotenen drei Achsen zum Einsatz kommen. Dieser müsste jedoch selbst angefertigt werden. Ein weiterer Nachteil

²Siehe Produktkatalog der VAb VAKUUM-ANLAGENBAU GMBH [2] auf Seite 4.

dieser Manipulatoren sind die relativ hohen Vakuumkräfte, die auf die Mechanik wirken und von den Antrieben aufgebracht werden müssen. Dadurch ergibt sich aber grundsätzlich auch ein relativ großer Bauraum.

Die technischen Daten eines Manipulators, der trotz seiner Nachteile für diese Konstruktion in Frage käme, sind hier aufgelistet.

Hub XY:	$\pm 12,5\text{mm}$ Kreisvektor
Hub Z:	20 – 375mm
Basisflansch:	DN 63 CF
beweglicher Flansch:	DN 63 CF Sackgewinde
Einstellgenauigkeit reproduzierbar X Y Z:	Z = 0,05X, Y = 0,01mm manuell
ID Membranbalg:	70,5mm
Preis:	Je nach Hub in Z Richtung von 5250 Euro bis 8100 Euro

3.2.2.2 Magnetische Dreh-/Schiebe-durchführung

Als weitere Möglichkeit der Positionierung ist in Abb. 3.2a eine magnetisch gekoppelte Dreh-/Schiebe-Durchführung der Firma TRINOS VACUUM³ dargestellt. Sie ist für den Einsatz im UHV konzipiert und wird durch einen DN 40 CF Flansch an das System angebracht. Zu positionierende Objekte können mit einer Axialkraft von 50N verschoben und einem Drehmoment von 2,3Nm frei gedreht werden.

Die geometrischen Daten und der realisierbare Hub sind der Skizze 3.2b und der Tabelle 3.4 zu entnehmen.

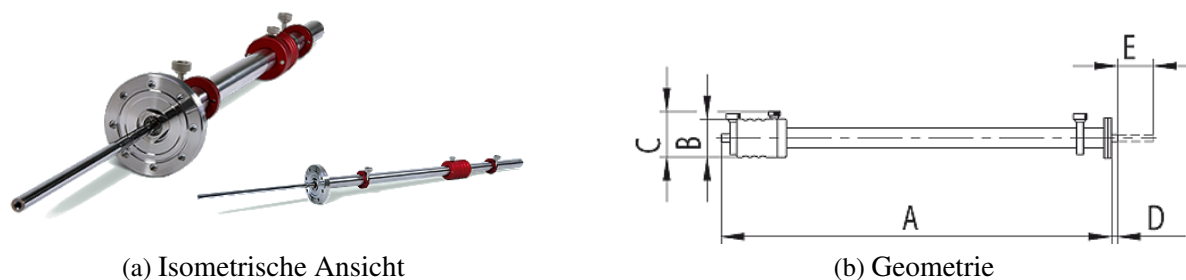


Abbildung 3.2: Dreh-/und-Schiebedurchführung Geometriedaten der Fa. Trinos VACUUM

Nennweite	A	B	C	D	E
[DN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
40	422	65,5	79	20	250
40	672	65,5	79	20	500
40	922	65,5	79	20	750

Tabelle 3.4: Geometrische Daten der mechanischen Durchführung

³Siehe Produktinformationen der Fa. TRINOS VACUUM [3]

3.3 Konzipieren

Die Ausarbeitung einer Konstruktion erfordert Zeit. Damit diese Zeit sinnvoll angelegt wird, ist es zunächst wichtig, ein Konzept zu entwickeln, welches ausgearbeitet wird. Sicherlich gibt es mehrere Lösungen um den Forderungen und Wünschen an die Konstruktion gerecht zu werden.

Beim methodischen Konstruieren wird die Phase, die dem Planen und Klären der Aufgabenstellung folgt, als Konzipieren bezeichnet.

Ausgehend von der Aufgabenstellung wird versucht, durch Abstrahieren das Wesentliche zu erkennen. Dieses Abstrahieren ist wichtig, um von vorgefassten Vorstellungen abzukommen. Im Entwicklungs- und Konstruktionsprozess nach VDI 2221 werden das Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen, sowie das Gliedern in realisierbare Module der Phase des Konzipierens zugeordnet. Sie ist jedoch der kreativste Teil des Konstruktionsprozesses. Hier sollten auch die Werkzeuge zur Ideenfindung eingesetzt werden. Etwa 70 Prozent der Kosten eines Produkts werden während der Konstruktion festgelegt.

Wird in dieser Phase des Konzipierens eine einfache und gute Lösung gefunden, ist der Grundstein für ein gutes Produkt gelegt. Wird keine gute Lösung gefunden, dienen die folgenden Phasen dazu, für eine mittelmäßige Idee eine gute konstruktive Umsetzung zu finden.⁴

In diesem Abschnitt wird systematisch nach einer Lösung zur Erfüllung der Forderungen und Wünsche aus der Anforderungsliste gesucht. Auf die konstruktiven Details wird in dieser Phase noch nicht eingegangen. Im Wesentlichen geht man bei der Erarbeitung der prinzipiellen Lösung in zwei Schritten vor⁵.

1. Das Abstrahieren der Aufgabenstellung auf die wesentlichen Probleme
2. Die Suche nach geeigneten Wirkprinzipien und deren Kombination in einer Wirkstruktur

Die wesentlichen Merkmale der Konstruktion lassen sich durch das Analysieren der Anforderungsliste ermitteln. Hierbei haben sich folgende Eigenschaften als sehr charakteristisch herausgestellt.

- Positionieren in X und Y Richtung
- Hermetische Abdichtung des Beamstops
- Absorbieren und Erkennen des durchgehenden Strahls
- HV Kompatibilität

Wie im Kapitel 3.2.1 gezeigt, enthält die Anforderungsliste noch weitere Forderungen und Wünsche, außerdem sind dort detailliertere Angaben gemacht. Um jedoch das grundsätzliche Konzept zu entwickeln sind viele dieser Eintragungen in der Konstruktionsphase **Konzipieren** noch nicht relevant. Diese Anforderungen werden in den Konstruktionsphasen **Entwerfen** und **Ausarbeiten** berücksichtigt.

⁴Handbuch Maschinenebau von Alfred Böge







⁵<http://de.wikipedia.org/wiki/Anforderungsliste>.

3.3.1 Funktionsanalyse

In diesem Abschnitt soll eine Funktionsstruktur des Device erstellt werden. Dabei werden zunächst Systemgrenzen festgelegt und die Hauptfunktionen definiert, welche miteinander in Verbindung gesetzt werden. Um Einblicke in diese als „Black Box“ dargestellten Funktionen zu erlangen, werden diese in ihre Teilfunktionen untergliedert, wodurch die Wirkprinzipien festgelegt werden. Durch anschließendes Eintragen der Energie- Signal- oder Stoffflüsse zwischen den Funktionen ist die innere Struktur und die Wechselwirkung des Produktes mit dem Umfeld komplett beschrieben.

Die Funktionsstruktur der Einrichtung ist auf den nächsten Seiten dargestellt und beschrieben. Zum genauen Verständnis der nachfolgenden Darstellungen folgt zunächst eine Legende in Abb.3.3.

Abbildung 3.3: legende zur Funktionsstruktur

Symbol	Bedeutung	Symbol	Bedeutung
	Systemgrenze		Signalfluss (S)
	Teilfunktion		Energiefluss (E)
	weitere Ebenen vorhanden		Stofffluss (St)

In der Grafik 3.4 ist die Einbindung des Beamstop Device in dessen angrenzende Systeme dargestellt. Zum Einen stellt der Bediener eine wichtige Rolle im Gesamtsystem dar, weshalb die Einrichtung unbedingt benutzerfreundlich gestaltet werden muss. Außerdem ist zu erkennen, dass ein Signalgeber eingesetzt wird, der entsprechend der Positionierkoordinaten des Bedieners Positionierungssignale zur Verfügung stellt. Weiter ist zu erkennen, dass das System keine Wechselwirkung mit Streustrahlung zeigt. Der durchgehende Röntgenstrahl tritt in das Beamstop Device ein, verlässt das System aber nicht. Dies ist die Hauptfunktion der gesamten Konstruktion.

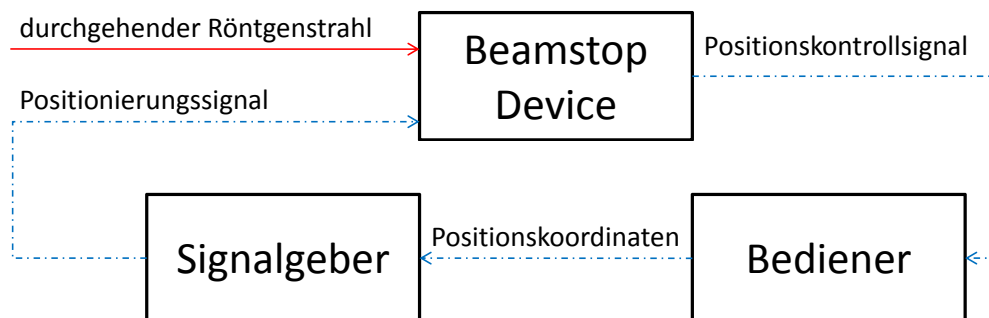


Abbildung 3.4: Funktionsstruktur Ebene 0: Darstellung des Gesamtzusammenhangs

In Bild 3.5 wird ein Überblick der Funktionen und Zusammenhänge des Beamstop Device gegeben. Um die Übersichtlichkeit zu gewährleisten sind hier jeweils die Hauptfunktionen eingetragen, wobei die Funktionen

1. Position ändern in X und Y Richtung
2. Bewegungsübertragung ins Vakuum
3. Bewegung im Vakuum und
4. Beamstop

anschließend jeweils in einer weiteren Ebene aufgegliedert werden.

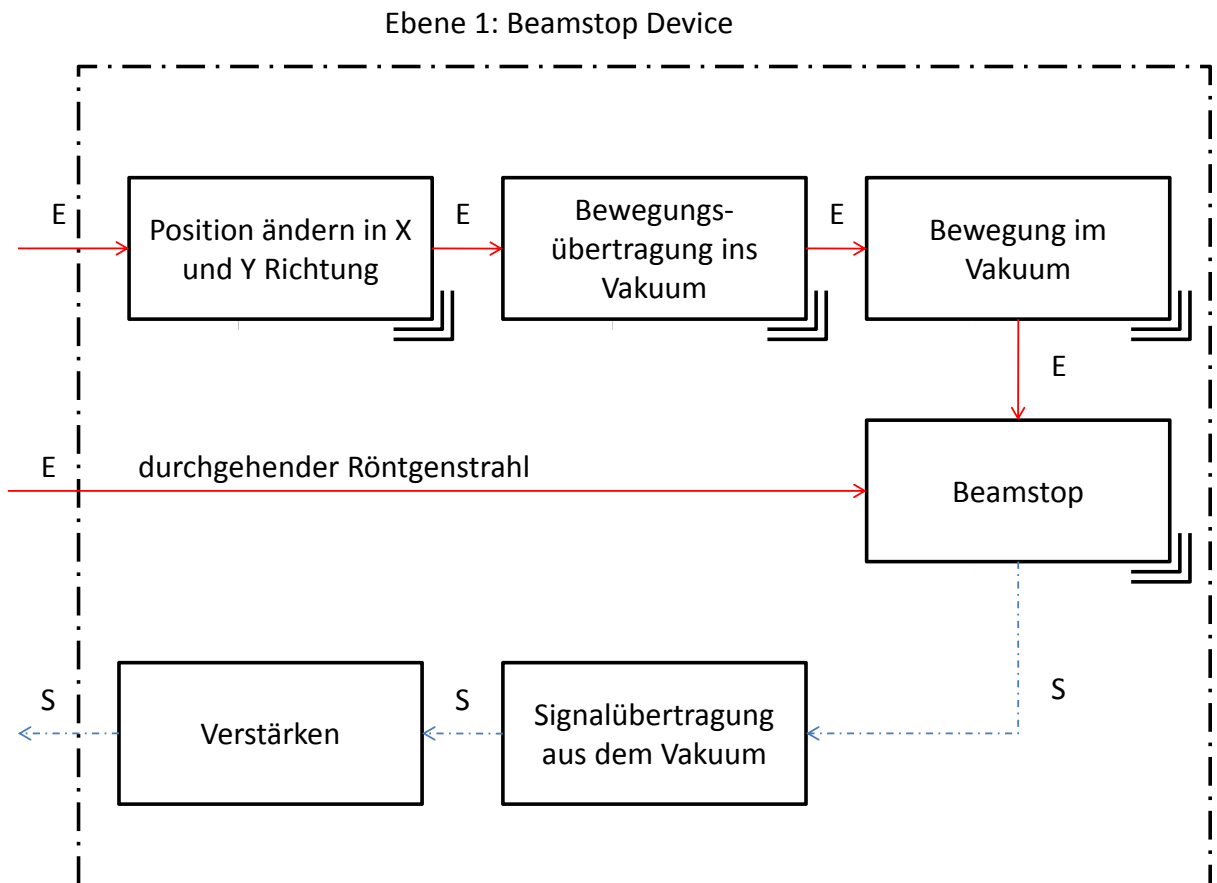


Abbildung 3.5: Funktionsstruktur Ebene 1: Beamstop Device

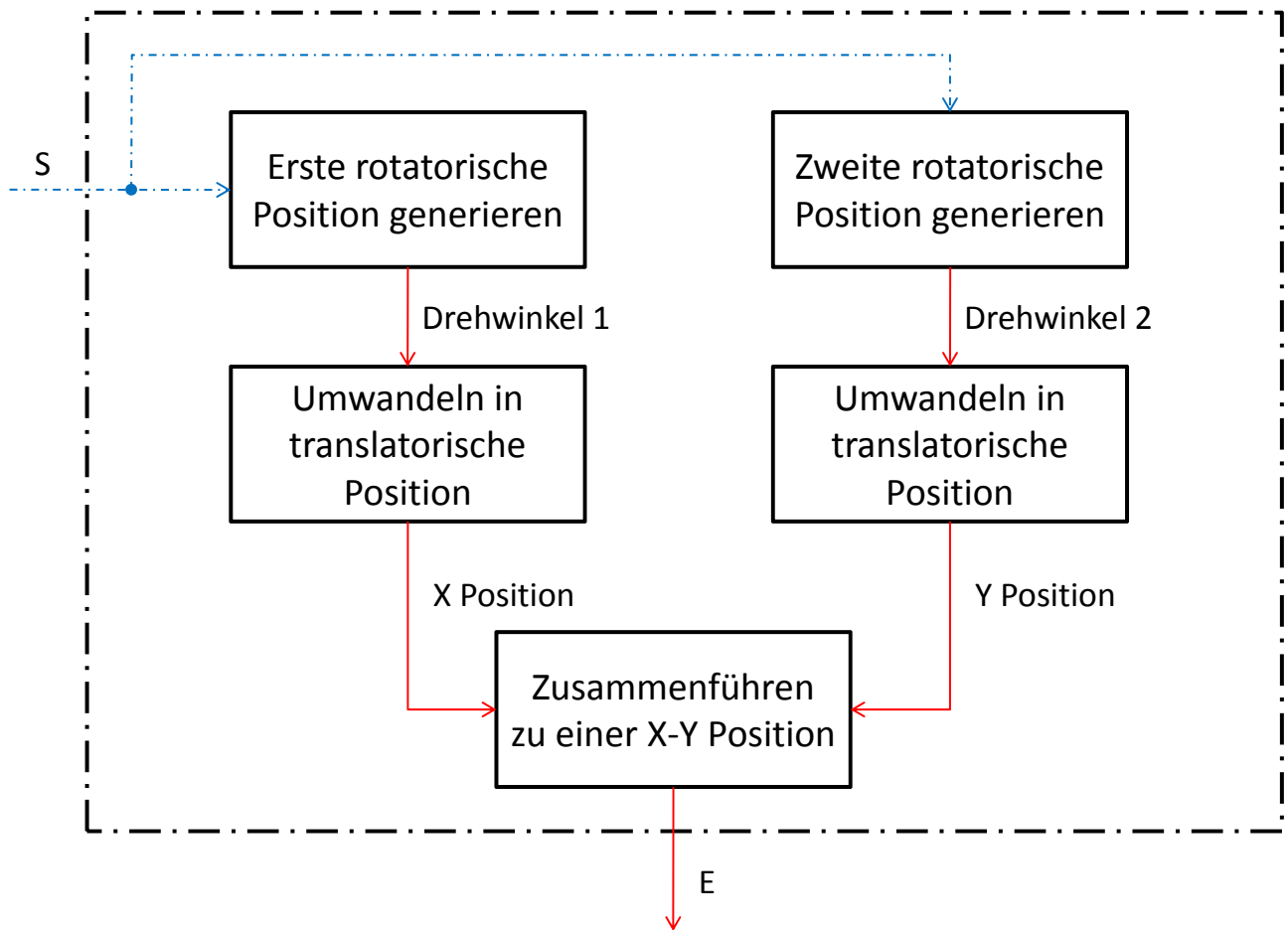


Abbildung 3.6: Funktionsstruktur Ebene 2: Positionierung

Die Abb. 3.6 zeigt den prinzipiellen Ablauf der Positionsänderung an der Luftseite. Dabei wird ein Signal, welches vorzugsweise von einer Schrittmotorsteuerung stammt⁶ und für die Ansteuerung eines Schrittmotors genutzt werden soll, verwendet um einen bestimmten Rotationswinkel zu generieren. Die Energie, die für diese Positionierung nötig ist, wird in Form dieses Signales in das System eingeleitet. Es werden zwei rotatorische Positionen generiert, welche in jeweils eine translatorische Position umgewandelt und anschließend zusammengeführt werden.

⁶Generell sind viele Möglichkeiten der Motorisierung denkbar. Um das Device aber optimal in das Beamline layout zu integrieren, empfiehlt es sich hier, für Positionierungsaufgaben mit derartigen Hüben, auf Schrittmotoren zurückzugreifen und dabei die bereits vorhandene Schrittmotorsteuerung einzusetzen.

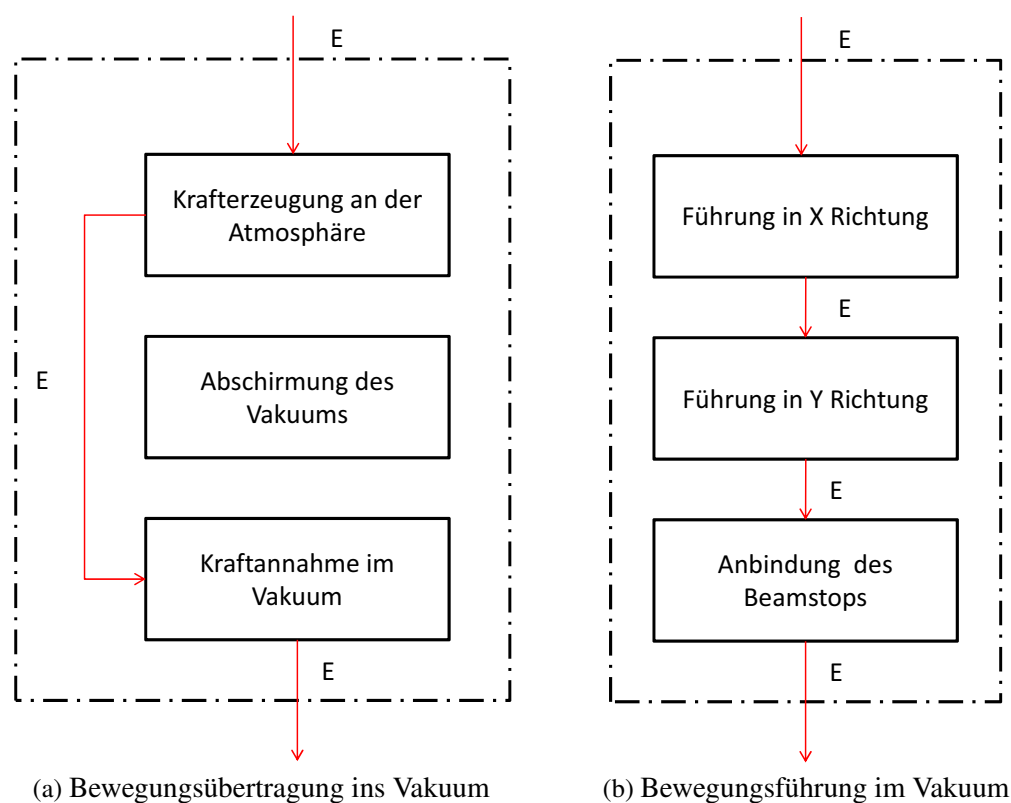


Abbildung 3.7: Funktionsstruktur Ebene 2 (a) *Bewegungsübertragung ins Vakuum*; (b) *Bewegungsführung im Vakuum*;

In Bild 3.7a ist die Bewegungsübertragung ins Vakuum dargestellt. Dabei wird die in Abb. 3.6 generierte Bewegung von der Luftseite mittels einer Kraftkopplung in das Vakuum übertragen. Die Teilfunktion „Abschirmung des Vakuums“ steht für die hermetische Abschirmung des Vakuums gegenüber der Atmosphäre.

Durch das Aufstellen der Funktionsstruktur ist das Produkt praktisch festgelegt. Es bestehen aber neben der hier dokumentierten Funktionsstruktur weitere mögliche Wirkprinzipien, die das Teilproblem auf eine andere Art lösen. So wäre z.B. anstelle der Bewegungsübertragung ins Vakuum Abb.3.7a, auch eine Motorisierung direkt im Vakuum denkbar.

Die luftseitig erzeugte Bewegung befindet sich der Funktionstruktur zu Folge im Vakuum wo sie wie in Abb. 3.7 dargestellt, in X und Y Richtung geführt wird. Außerdem wird eine Anbindung für den Beamstop zur Verfügung gestellt, über welche die Bewegung direkt auf den Beamstop übertragen wird.

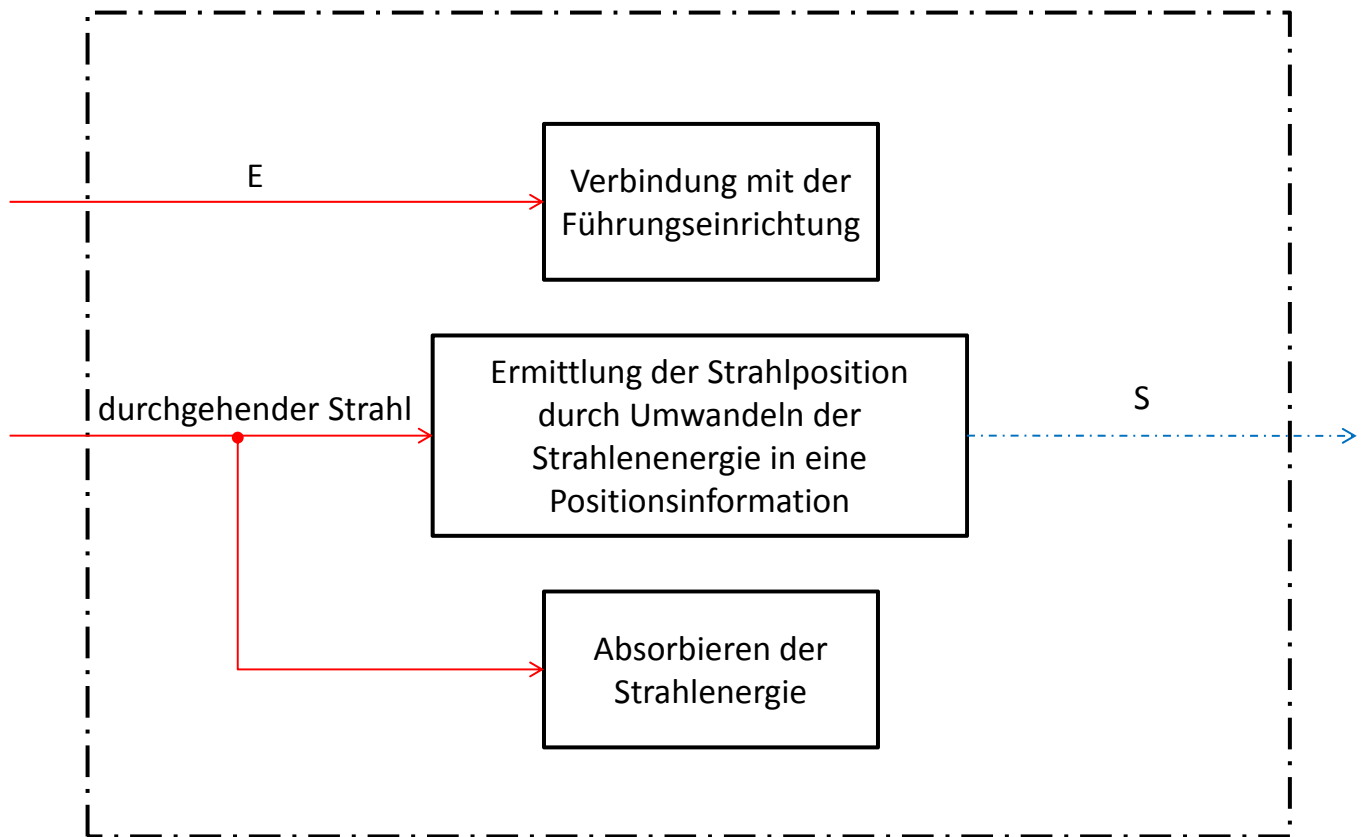


Abbildung 3.8: Funktionsstruktur Ebene 2: Beamstop

Zum Abschluss der Funktionsanalyse wird noch ein Blick in die Funktion des Beamstops selbst geworfen. Dieser ist in Bild 3.8 näher dargestellt. Dort erkennt man die Funktion „Verbinden mit der Führungseinrichtung“. An dieser Stelle soll später ein adaptiver Anschluss entstehen, der eine Anbindung für ein zu positionierendes Arbeitsgerät ermöglicht.

Als Arbeitsgerät sind viele zu positionierende Einrichtungen denkbar, wie. In dieser Konstruktionsarbeit wird als Arbeitsgerät ein Beamstop eingesetzt.

Weiter ist in Abb.3.8 der durchgehende Strahl beim Eintritt in das System erkennbar. Dort wird er einerseits absorbiert, aber auch als Positionsmarke zur Ausrichtung des Beamstops genutzt. Das geschieht durch Umwandeln der Photonen in ein el. Positionsinformationssignal. Dieses wird wie man der Abb. 3.5 entnehmen kann wieder an die Atmosphäre geführt und anschließend verstärkt. Der Kreis schließt sich, wenn das verstärkte Signal dem Bediener zur Verfügung gestellt wird und dieser mittels Steuerung bzw. Signalgeber die Position des Beamstops auf die des durchgehenden Strahls einstellt.

Während der Suche des zu absorbierenden Strahls ist der Detektor ungeschützt.

Was mit dem Detektor während der Positionierung geschieht wurde bislang in der Funktionsstruktur nicht berücksichtigt. Es bietet sich aufgrund der vielen Bewegungsfreiheitsgrade des **Detektor Device** an, das empfindliche Gerät aus dem Strahl zu fahren, bzw. zu drehen.

3.3.2 Morphologischer Kasten

Auf den folgenden beiden Doppelseiten sind für die in der Funktionsstruktur ermittelten Teilfunktionen verschiedene Lösungen in Form eines morphologischen Kastens dargestellt. In dem morphologischen Kasten sind für alle Teilfunktionen diverse Möglichkeiten der Umsetzung gesammelt und geordnet dargestellt. Durch die Kombination von jeweils einer Möglichkeit pro Teilfunktion lassen sich sehr schnell die unterschiedlichsten prinzipiellen Lösungen entwickeln. Drei mögliche Varianten sind hier vorgestellt und anschließend unter bestimmten Kriterien bewertet. Die Darstellung der Möglichkeiten in dem morphologischen Kasten ist grundsätzlich als prinzipielle Darstellung zu verstehen. Es werden allerdings auch mehrere Bilder von auf dem Markt erhältlichen Produkten gezeigt. Dieses soll zum Einen die Übersicht der Produkte am Markt vergrößern und zum Anderen als Übergang von der prinzipiellen Idee zur tatsächlichen Konstruktion dienen.

Der morphologische Kasten ist ein wichtiges kreatives Werkzeug zur Ideenfindung und eignet sich insbesondere zur systematischen Gliederung der gefundenen Lösungen. Die Funktionsstruktur ist die Grundlage für den Aufbau des morphologischen Kastens.

Daher ist es ganz genau genommen mit Hilfe der systematisch geordneten Lösungen jeweils nur möglich, Produkte zu konstruieren, die genau nach dem durch die Funktionsstruktur vorgegebenen Prinzip funktionieren.

Weiter unten zeigt sich, dass dieses Werkzeug auch gut eignet um auf neue Ideen zu stoßen. Wenn diese brauchbar erscheinen, aber nicht *genau* mit der Funktionsstruktur übereinstimmen, ist es selbstverständlich im Sinne der Produktfindung eine weitere Funktionsstruktur für diese neu gefundene Lösung aufzustellen. Das wäre dann ein Beispiel für das iterative Durchlaufen der Konstruktionsphase „Konzipieren“.

Der morphologische Kasten beinhaltet eine Tabelle, wobei in den linken drei Spalten die zu erfüllenden Teilfunktionen aufgeführt und ggf. feiner untergliedert sind. In den anschließenden Zeilen sind im besten Fall mehrere Lösungsmöglichkeiten für das jeweilige Teilproblem dargestellt und benannt. Die Abtrennung der einzelnen Teillösungen voneinander geschieht durch mehrere Spalten, welche mit „Lösungsvariante 1-7“ gekennzeichnet sind. Dabei kann es auch sein, dass eine Lösungsvariante aufgrund ihrer Komplexität mehrere Teilfunktionen gleichzeitig abdeckt.

Nachdem die „Konstruktion“ des Kreativwerkzeuges abgeschlossen ist, geht es zur Nutzung über. Dabei wird in der obersten Zeile mit der ersten Teillösung begonnen, und gewünschte Lösungsvariante mit einem Punkt gekennzeichnet. Das geschieht analog für jede Teilfunktion, bis man in der untersten Zeile angelangt ist. Zur besseren Übersicht kann man jetzt noch die einzelnen Punkte miteinander verbinden und am Ende mit einer Kennzeichnung versehen z.B.: „L1“ für Lösung 1.

Das gleiche kann man jetzt beliebig oft wiederholen. Dabei kann es durchaus sein, dass man an dieser Stelle für grundsätzliche Produktlösungen einige der Teilfunktionen gar nicht benötigt. Dann kann man einfach durch das Weglassen des Punktes die Zeile überspringen. Man muss sich allerdings bewusst machen, dass sich dadurch auch die Funktionsstruktur geändert hat.

Das Gleiche gilt beim Nutzen der Teilfunktionen in abgeänderter Reihenfolge. Es ist auch jeder Zeit das Austauschen bzw. Hinzufügen von Lösungsvarianten zulässig, da man mit diesem Werkzeug seine Gedanken ordnen aber nicht einschränken soll.





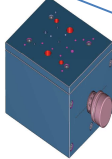
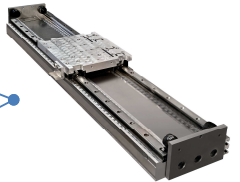


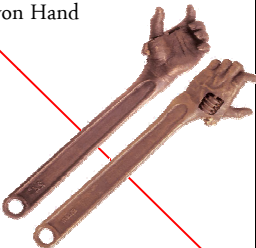
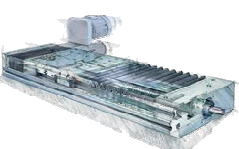
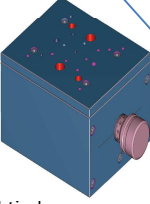
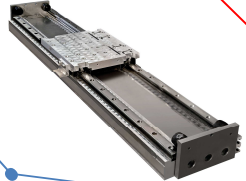
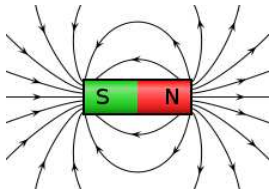


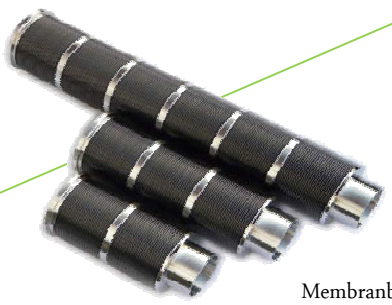
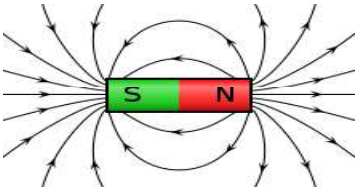
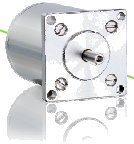
Teilfunktion		Teillösung	1. Lösungsvariante	2. Lösungsvariante	3. Lösungsvariante
Position ändern in X-Y Richtung	Position ändern in X-Richtung	erste rotatorische Position generieren	 Schrittmotor	 Servomotor im Positionregelkreis	 von Hand
		Umwandeln in Linear-bewegung	 Lineartisch	 Hubtisch	 Lineareinheit
	Position ändern in Y-Richtung	zweite rotatorische Position generieren	 Schrittmotor	 Servomotor im Positionregelkreis	 von Hand
		Umwandeln in Linear-bewegung	 Lineartisch	 Hubtisch	 Lineareinheit
Bewegungsübertragung ins Vakuum	mechanische Kraftübertragung		 Ferromagnetische Kopplung	 Positionierung im Vakuum selbst	
	Abschirmung des Vakuums	 Vakuumkammer	 Membranbalg		
	Energieabnahme im Vakuum		 Ferromagnetische Kopplung	 Positionierung im Vakuum selbst	

Abbildung 3.9: Morphologischer Kasten: Blatt 1 von 4


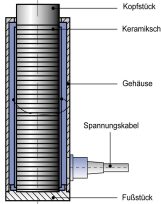
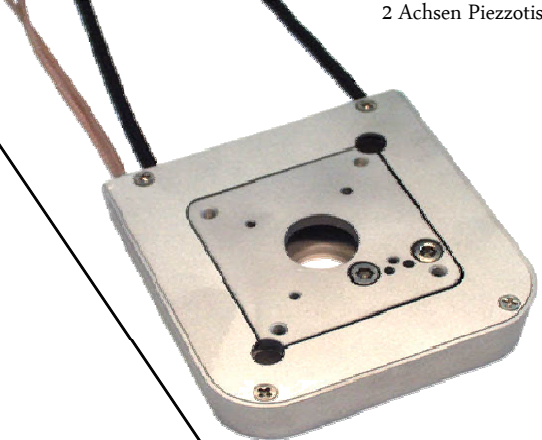



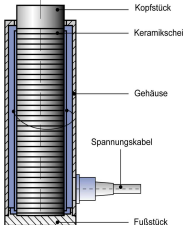



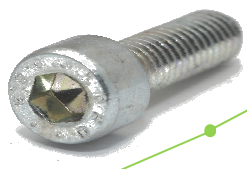
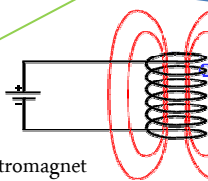
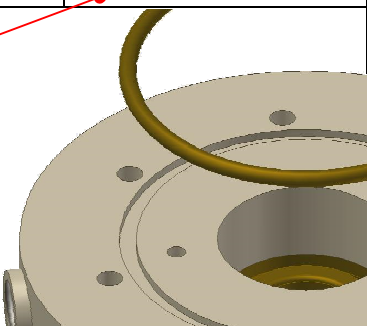

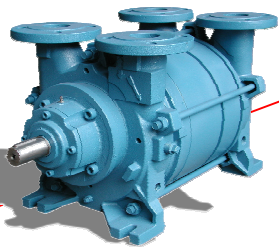

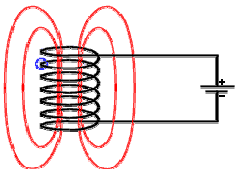

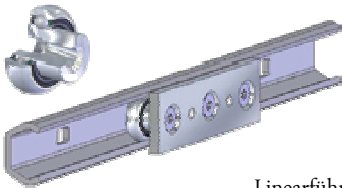
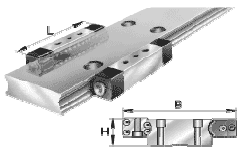
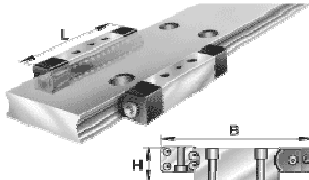
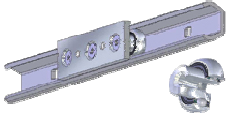
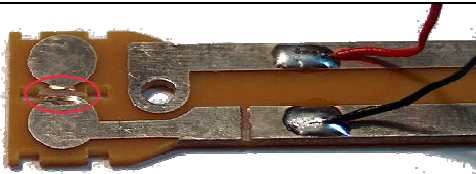



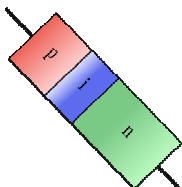
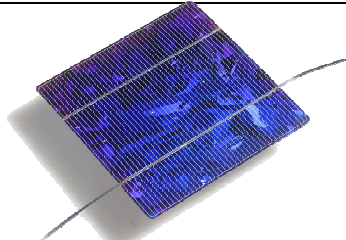
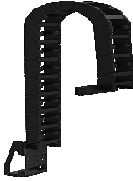
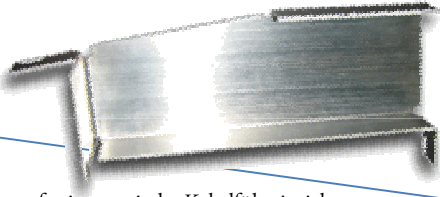
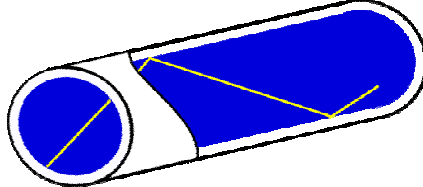
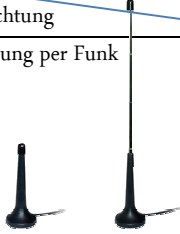


4. Lösungsvariante	5. Lösungsvariante	6. Lösungsvariante	7. Lösungsvariante
 <p>Vakuuntauglicher Schrittmotor</p>	 <p>Kopfstück Keramikscheiben Gehäuse Spannungskabel Fußstück</p> <p>Piezostapeltranslator</p>	 <p>2 Achsen Piezzotisch</p>  <p>3 Achsen UHV Manipulatoor</p>	
 <p>Dreh-Schiebedurchführung</p>			
 <p>Vakuuntauglicher Schrittmotor</p>	 <p>Kopfstück Keramikscheiben Gehäuse Spannungskabel Fußstück</p> <p>Piezzo (linear)</p>		
 <p>Dreh-Schiebedurchführung</p>		 <p>Neodymmagnet</p>  <p>Platte mit Vakuumseitiger Aufhängevorrichtung</p>	
 <p>Mechanische Verbindung</p>	 <p>Elektromagnet</p>	 <p>Vakuumkammer mit O-Ring in einer Nut & Kammerdeckel</p>	
 <p>Begehbarer Vakuumtank</p>	 <p>Zwischenabpumpen</p>		
 <p>Mechanische Verbindung</p>	 <p>Elektromagnet</p>	 <p>Neodymmagnet</p>	<p>Bewegte Fäden, bevorzugt in Kombination mit Rückholfedern</p>

Abbildung 3.10: Morphologischer Kasten: Blatt 2 von 4

Teilfunktion		Teillösung		
		1.Lösungsvariante	2.Lösungsvariante	3.Lösungsvariante
Bewegung im Vakuum	Führung in X -Richtung		Linearführung mit Laufrollen	
	Führung in Y -Richtung		Geteilte Führung mit Zylinderrollenkäfig	
	Anbindung an Beamstop		Mit Leiterbahnen versehene Platiene	
Beamstop	Absorbieren		Densimet	
	Photonen in elektrische Energie umwandeln		PIN-Diode	
Elektrische Übertragung	Kabelführung im Vakuum		Energieführungskette in stehender Ausführung	
	Durchführung an die Umgebung		Lichtleiter	
Verstärken	Verstärkung des elektrischen Signals		Kompakter Verstärker mit verschiedenen Empfindlichkeiten	
				Messgerät zum Messen von Strömen im Picobereich

L3

Abbildung 3.11: Morphologischer Kasten: Blatt 3 von 4

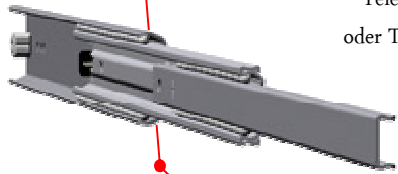
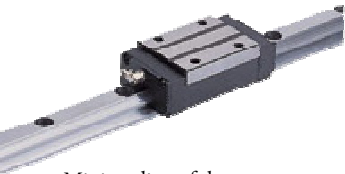

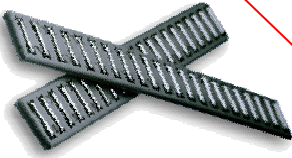
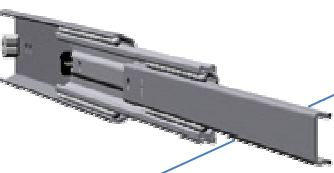
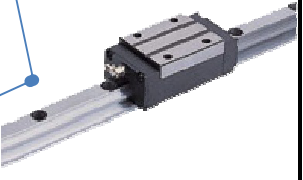




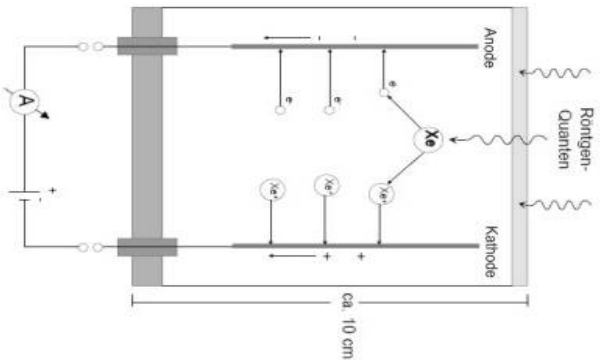

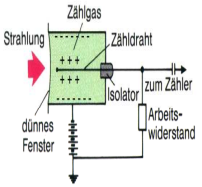

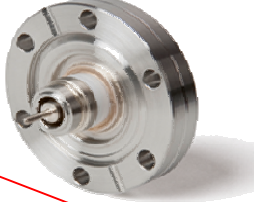

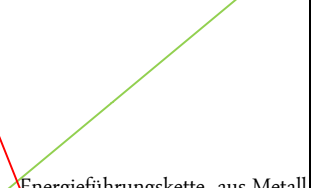

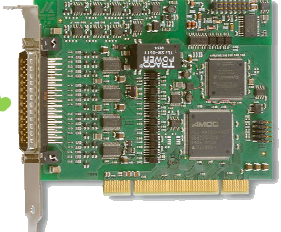

4.Lösungsvariante	5.Lösungsvariante	6.Lösungsvariant	7.Lösungsvariante
	<p>Teleskopschiene oder Teleskoprohr</p>	 <p>Miniaturlinearführungen</p>	
	<p>Nadelführungsmatten</p>		
<p>Für zu untersuchende Streustahlung unsichtbares Rohr</p> 		 <p>Rohr in Kombination mit einem Steckersystem</p>	
<p>Tantal</p> 	<p>Wolfram</p> 	 <p>Ionisationskammer mit semitransparenten Eigenschaften</p>	
<p>Geiger Müller Zählrohr</p> 		 <p>Energieführungskette aus PEEK</p>	
<p>Energieführungskette aus Metall</p>		 <p>Flansch mit plasmageschweißter BNC Buchse</p>	
<p>Isolierte Vakuumdurchführung</p> 			<p>Glasfaserleitung</p> 
<p>Messkarte für direkte Datenerfassung auf dem PC</p>  <p>L1</p>	 <p>Messgerät zum Messen von Spannungen im Nanobereich</p> <p>L2</p>		

Abbildung 3.12: Morphologischer Kasten: Blatt 4 von 4

3.3.3 Beschreibung der Lösungen

Bevor die Lösungen bewertet werden, sind diese zunächst kurz zusammengefasst.

Lösung 1 Eine Bewegung wird luftseitig mit Hilfe eines Manipulators erzeugt und auf mechanisch gekoppeltem Wege in eine Vakuumkammer übertragen. An einem im Inneren der Kammer befindlichem, für Röntgenstrahlung unsichtbarem Rohr, ist eine Ionisationskammer befestigt.

Diese bietet, wenn auch nicht an dringender Stelle, eine interessante Aufstockmöglichkeit einer adaptiven Positionierungseinrichtung und sollte in **jedem Fall** für spätere Erweiterungsbaugruppen im Auge behalten werden. Hiermit könnten halbdurchlässige, sogenannte semitransparente Beamstops konstruiert werden.

Die Stromversorgungs- sowie Messdatenleitungen werden über eine isolierte el. Vakuumdurchführung an die Umgebung geführt, wo die Daten mittels eines Computers dem Benutzer zugänglich gemacht werden.

Lösung 2 Ein Hubtisch, angetrieben von einem Servomotor lässt sich in einer Richtung positionieren. Für eine weitere Längsbewegung sorgt eine Schiebedurchführung, mit der auch Drehbewegungen möglich wären. Der Antrieb erfolgt ebenfalls über einen Servomotor.

An der Schiebedurchführung befindet sich eine Anbindungsmöglichkeit für Arbeitsgeräte. Der gesamte Aufbau ist in einem Vakuumtank installiert. Zur Sperrung des Rotationsfreiheitsgrades dient eine Teleskopführung. Für die Detektierung ist ein Geigermüller Zählrohr vorgesehen, das für Röntgenstrahlung unsichtbar mit dem Positionierungsanschluss verbunden ist. Das Signal gelangt über eine el. Vakuumdurchführung an ein Messgerät zum Messen von kleinsten Spannungen.

Lösung 3 Ein erster Schrittmotor erzeugt eine rotatorische Position, welche mittels spindelgetriebener Lineareinheit (LE) in eine translatorische umgesetzt wird. Dieses System wird gekoppelt mit einem Gleichen, sodass eine Positionierung in der Ebene stattfinden kann. Diese Position wird mittels Neodymmagneten ⁷ an das Innere einer Vakuumkammer übergeben.

Bei der Kammer handelt es sich um eine Selbstanfertigung, welche mittels Kammerdeckel und O-Ringdichtung abgedichtet wird.

Im Inneren der Vakuumkammer wird die Position auf ein Stecksystem ⁸ übertragen, welches in der gleichen Ebene geführt wird.

Die Annahme der magnetischen Kraft geschieht über Neodymmagneten, die zur äußeren Positionierungsebene in einer Richtung, der Z oder Strahlrichtung versetzt angeordnet sind.

Das Steckersystem besteht aus einer Buchse, die mit der Führung verbunden ist und einem Stecker, der zur Baugruppe „Beamstop“ gehören soll.

Dabei soll eine PIN Diode aus den Photonen des durchgehenden Strahls ein elektrisches Signal erzeugen. Das Signal wird mit vakuumtauglichen Kabeln zunächst in dem Anschlussrohr der Baugruppe „Beamstop“, dann mittels einer selbstkonstruierten Kabelführung, über eine BNC-Vakuumdurchführung, an die Umgebung geleitet. Dort wird das Signal entsprechend verstärkt und für den Bediener vorbereitet, der daraufhin die spezifische Beamstopposition einstellt. Schließlich besteht die Beamstoppeinheit auch aus einem Absorptionskörper, der die Strahlenergie aufnimmt.

⁷Später sieht man, dass es sich hierbei um eine spezielle Anordnung von Neodymmagneten handelt.

⁸Hierfür eignet sich ein Stecker der LEMO Elektronik GmbH gut

3.3.4 Bewertung der Lösungen

Bei der Bewertung der Lösungsvorschläge nach VDI 2225 wird zunächst eine Gewichtung aller berücksichtigten Bewertungskriterien vorgenommen. Dabei basiert die Auswahl der Bewertungskriterien auf der Anmforderungsliste

Die insgesamt zwölf ausgewählten Bewertungskriterien werden als Erstes in der Tab. 3.5 untereinander verglichen. Das Bewertungsschema sieht wie folgt aus:

- „1“ bedeutet: Das Kriterium der Zeile ist wichtiger als das Kriterium der jeweiligen Spalte.
- „0“ bedeutet: Das Kriterium der Zeile ist weniger wichtig als das Kriterium der jeweiligen Spalte.

Tabelle 3.5: Gewichtungsmatrix

Gewichtungsmatrix der Bewertungskriterien													Blatt 1 von 1	
	größter Positionierungsbereich	beste Wiederholgenauigkeit	gute Vakuumverträglichkeit	gute Benutzerfreundlichkeit	geringer Fertigungsaufwand	geringer Montageaufwand	gute Wirtschaftlichkeit	mögliche Adaptivität	beste Wartungsfreundlichkeit	höchste Lebensdauer	geringe Masse	hohe Positioniergeschwindigkeit	Anzahl an „1“en	Gewichtungsfaktor
größter Positionierbereich	X	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	10	0,152
beste Wiederholgenauigkeit	0	X	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	4	0,061
gute Vakuumverträglichkeit	0	0	X	1	1	1	1	0	1	1	1	0	7	0,106
gute Benutzerfreundlichkeit	0	1	0	X	1	1	1	1	1	1	1	0	8	0,121
geringer Fertigungsaufwand	0	1	0	0	X	0	1	0	0	0	1	0	3	0,045
geringer Montageaufwand	0	1	0	0	1	X	1	0	1	1	0	0	5	0,076
gute Wirtschaftlichkeit	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0
mögliche Adaptivität	1	1	1	0	1	1	1	X	1	1	1	1	10	0,152
beste Wartungsfreundlichkeit	0	1	0	0	1	0	1	0	X	1	1	0	5	0,076
höchste Lebensdauer	0	0	0	0	1	0	1	0	0	X	1	0	3	0,045
geringe Masse	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	X	0	2	0,03
höchste Zuverlässigkeit	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	X	9	0,136
Gesamtzahl an „1“en													66	1
Kontrolle: Der Gewichtungsfaktor muss „1“ ergeben														1
Erstellt am 12.12.2010 von Sebastian Gogolin														

Bei Betrachtung der Tabelle 3.5 fällt sofort auf, dass die „gute Wirtschaftlichkeit“ gegenüber aller anderen Kriterien am unbedeutendsten ist und für die folgende Bewertung praktisch keinen Einfluss hat.

Da es sich bei der Konstruktion um einen Prototypen handelt, und in erster Linie für interne Zwecke genutzt werden soll, ist diese Tendenz auch zutreffend.

An dieser Stelle hätte man dieses, jetzt unwirksame Kriterium gegen ein aussagekräftigeres, wie z.B.: der Positioniergeschwindigkeit ersetzen können.

In dieser Arbeit soll es jetzt jedoch mit der Bewertung weitergehen.

Dazu sollen null bis vier Punkte vergeben werden können, welche wie folgt zu interpretieren sind.

- 0 = unbefriedigend
- 1 = noch tragbar
- 2 = ausreichend
- 3 = gut
- 4 = sehr gut

Die Tabelle 3.6 zeigt das Bewertungsverfahren unter Berücksichtigung der in Tab. 3.5 ermittelten Gewichtungsfaktoren.

Tabelle 3.6: Bewertungsliste

	Bewertung der Gesamtlösungen					Blatt 1 von 1	
Bewertungskriterien	Gewichtung	Lösung 1		Lösung 2		Lösung 3	
	g_i	P_i	$P_i * g_i$	P_i	$P_i * g_i$	P_i	$P_i * g_i$
größter Positionierbereich	0,152	4	0,608	4	0,608	4	0,608
beste Positioniergenauigkeit	0,061	3	0,183	4	0,244	3	0,183
gute Vakuumverträglichkeit	0,106	2	0,212	1	0,106	3	0,318
gute Benutzerfreundlichkeit	0,121	4	0,484	2	0,242	4	0,0484
geringe Fertigungsaufwand	0,045	3	0,135	2	0,09	3	0,135
geringer Montageaufwand	0,076	2	0,152	3	0,228	3	0,228
gute Wirtschaftlichkeit	0	2	0	1	0	2	0
mögliche Addaptivität	0,152	2	0,304	3	0,456	4	0,608
beste Wartungsfreundlichkeit	0,076	4	0,304	2	0,152	4	0,304
höchste Lebensdauer	0,045	3	0,135	4	0,18	4	0,18
geringe Masse	0,03	2	0,06	0	0	3	0,09
höchste Zuverlässigkeit	0,136	3	0,408	3	0,408	3	0,408
Summe der Punkte			2,985		2,714		3,546
Technische Wertigkeit der Gesamtlösung			0,746		0,679		0,887
Rang			2		3		1
Legende: 0 = unbefriedigend; 1 = noch tragbar; 2 = ausreichend; 3 = gut; 4 = sehr gut							
Erstellt am 26.12.2010 von Sebastian Gogolin							

Das Ergebnis der Bewertung in Tab. 3.6 zeigt, dass die Gesamtlösung Nr.: 2 am schlechtesten abgeschnitten hat. Mit Gesamtpunktzahl von ca. 2,7 ist diese Lösung jedoch trotzdem besser als ausreichend.

Im weiteren Verlauf dieser Bachelorarbeit soll aber die am besten abgeschnittene Lösung Nr.: 3 weiter verfolgt, also konzipiert und ausgearbeitet werden.

3.4 Entwerfen eines Konzeptes für das Beamstop Device

3.4.1 Verwendete Hilfsmittel

Mit der Bewertung und Festlegung des im vorherigen Kapitel entwickelten Konzeptes ist das Grundkonzept und die Wirkstruktur der Konstruktion bekannt. Jetzt geht es darum, einen Entwurf dieses Grundkonzeptes zu erstellen. Zum Entwerfen und auch für die im Abschnitt 3.5 beschriebene Ausarbeitung stehen am DESY im wesentlichen nachfolgende Programme zur Verfügung.

Solid Edge V20: Ein bei HASYLAB eingesetztes 2D/3D-MCAD-System ist *Solid Edge*. Das Programm unterstützt den Konstrukteur bei der Erstellung von 3D Modellen sowie den entsprechenden Fertigungszeichnungen. Außerdem erlaubt das Programm kleine FEM Berechnungen. Hierbei stößt es jedoch schnell an seine Grenzen, sorgt aber recht unkompliziert für einen ersten Überblick der im belasteten Modell auftretenden Spannungen und Verformungen.

Mathcad 13: Das Computeralgebrasystem *Mathcad* erleichtert die Berechnung bei der Auslegung von Maschinenelementen indem es chronologisch sämtliche Parameter und Formeln protokolliert und miteinander verknüpft. Dadurch eignet es sich gut um in iterativen Rechnungen schnell an eine Lösung zu gelangen.

ANSYS Workbench V11: Basierend auf dem Programm *ANSYS* dient *ANSYS Workbench* zur Lösung von linearen und nichtlinearen Problemen aus der Strukturmechanik, Fluidmechanik, Akustik, Thermodynamik, Piezoelektrizität, Elektromagnetismus sowie von kombinierten Aufgabenstellungen (Multiphysik). *ANSYS Workbench* unterscheidet sich dabei von dem Grundsystem *Ansys* durch eine benutzerfreundliche Benutzeroberfläche sowie Schnittstellen zu diversen CAD-Systemen (inklusive *Solid Edge* ab Version 18), sodass eine direkte Übertragung der CAD Daten von *Solid Edge* zu *Ansys Workbench* möglich ist.

Bei der Ausarbeitung dieser Bachelorarbeit wurden außerdem noch die Programme

Excel und Powerpoint: Das am weitesten verbreiteste Tabellenkalkulations- Präsentationsprogramm der Microsoft Corporation

L^AT_EX: Ein Softwarepaket welches die Benutzung des Textsatzprogramms TeX mit Hilfe von Makros vereinfacht.

und Gimp 2: Ein kostenfreies Bildverarbeitungsprogramm unter anderem zum transparent machen und konvertieren von Grafiken.

herangezogen.

3.4.2 Grundkonzept des Beamstop Device

Die Lösungsvariante Nr.3, die mit Hilfe der Funktionsstruktur und dem morphologischen Kasten entwickelt wurde und als optimalste Lösung bewertet wurde, soll im nächsten Schritt skizziert und beschrieben werden.

Auf den nachfolgenden Seiten wird das Konzept der Konstruktion anhand einiger Skizzen systematisch beschrieben und erläutert. Es handelt sich hierbei um Prinzipskizzen, welche aber schon mit groben Details versehen sind. Es geht hier darum einen guten Überblick der Konstruktion zu erlangen.

Die Prinzipskizzen dienen in erster Linie zum Verständnis der Arbeitsweise des Device und geben erste optische Eindrücke wieder. Die Konstruktion wird in den Kapiteln 3.5 ausführlich in den Details besprochen und die Machbarkeit nachgewiesen.

Durch überschlägige Berechnung sind alle benötigten Kaufteile grob ausgelegt und im CAD System verbaut worden.⁹ Komponenten, die nicht bzw. schwierig in geeigneter Form auf dem Markt erhältlich sind, werden unter Berücksichtigung der Forderungen an die Fertigung selbst konstruiert und eigens am DESY angefertigt oder als Fertigungsauftrag an externe Firmen ausgeschrieben. Das aufeinander Anpassen der Kauf- als auch Normteile hat sich in dieser Arbeit als iterativer Prozess herausgestellt. Dabei lag der Fokus stets bei der Erfüllung der Anforderungen und der Einhaltung des festgelegten Konzeptes.

3.4.3 Beschreibung der luftseitigen Komponenten

Die Abbildung 3.13 zeigt die äußere Grobgestalt zur Umsetzung des gewählten Konzeptes. Beim Dimensionieren des Entwurfes sind die eingesetzten Normteile maßgebend. Unter Berücksichtigung der Forderungen nach bestimmten Positionierungsparametern sind besonders die eingesetzten Lineareinheiten für die minimale Baugröße verantwortlich.

Bei der Position (1) handelt es sich um eine motorisierte Linearachse, welche fest mit der Außenseite einer Vakuumkammer Pos. (7) verbunden ist.

Dadurch wird eine Linearbewegung in X Richtung mit den geforderten 200mm Verfahrweg ermöglicht. Eine weitere ebenfalls motorisierte Lineareinheit Pos. (2) ist in einem 90° Winkel zur X Achse über einen Verbindungswinkel mit der ersten LE verbunden.

Diese Achse realisiert die geforderte Positionierung in Y Richtung von mindestens 20mm. Bei den Motoren handelt es sich um Schrittmotoren. Die Auswahl der Motoren sowie die eventuelle Getriebeauslegung wird in der Detailausarbeitung behandelt.

Die zusammengesetzte Bewegung in der X-Y Ebene wird über einen Magnethalter Pos. (5) direkt über den Deckel der Vakuumkammer Pos. (6) übertragen. In den Magnethalter sind in einer bestimmten Anordnung Neodymmagneten Pos. (5) eingelassen.

Aus technischen Gründen ist es notwendig, dass die Magneten in einem Abstand von möglichst nicht mehr als 0,5mm über dem Kammerdeckel positioniert werden. Bei der Position (4) handelt es sich

⁹Viele Hersteller bieten ihre Produkte in diversen Formaten als CAD Modell an, wodurch sie sich ideal und unkompliziert in des Gesamtmodell integrieren lassen. Dies ist auch ein wichtiges Kaufkriterium, da hierdurch mögliche Konstruktionsfehler schon im Vorfeld am Modell ausgeschlossen werden können.

um einen Anschluss mit einem DN63 Flansch. Diese Schnittstelle erlaubt mittels geeigneter Klammerschrauben den Anschluss des Beamstop Device an eine weitere Vakuumkammer. Aus der Konstruktion ragt der Beamstop durch den Anschlussflansch in das angeschlossene System, wo dieser mit den genannten Längenparametern positioniert werden kann. Dort übt der Beamstop die Funktionen des Absorbieren sowie Umwandeln der Strahlphotonen in ein Positionssignal aus.

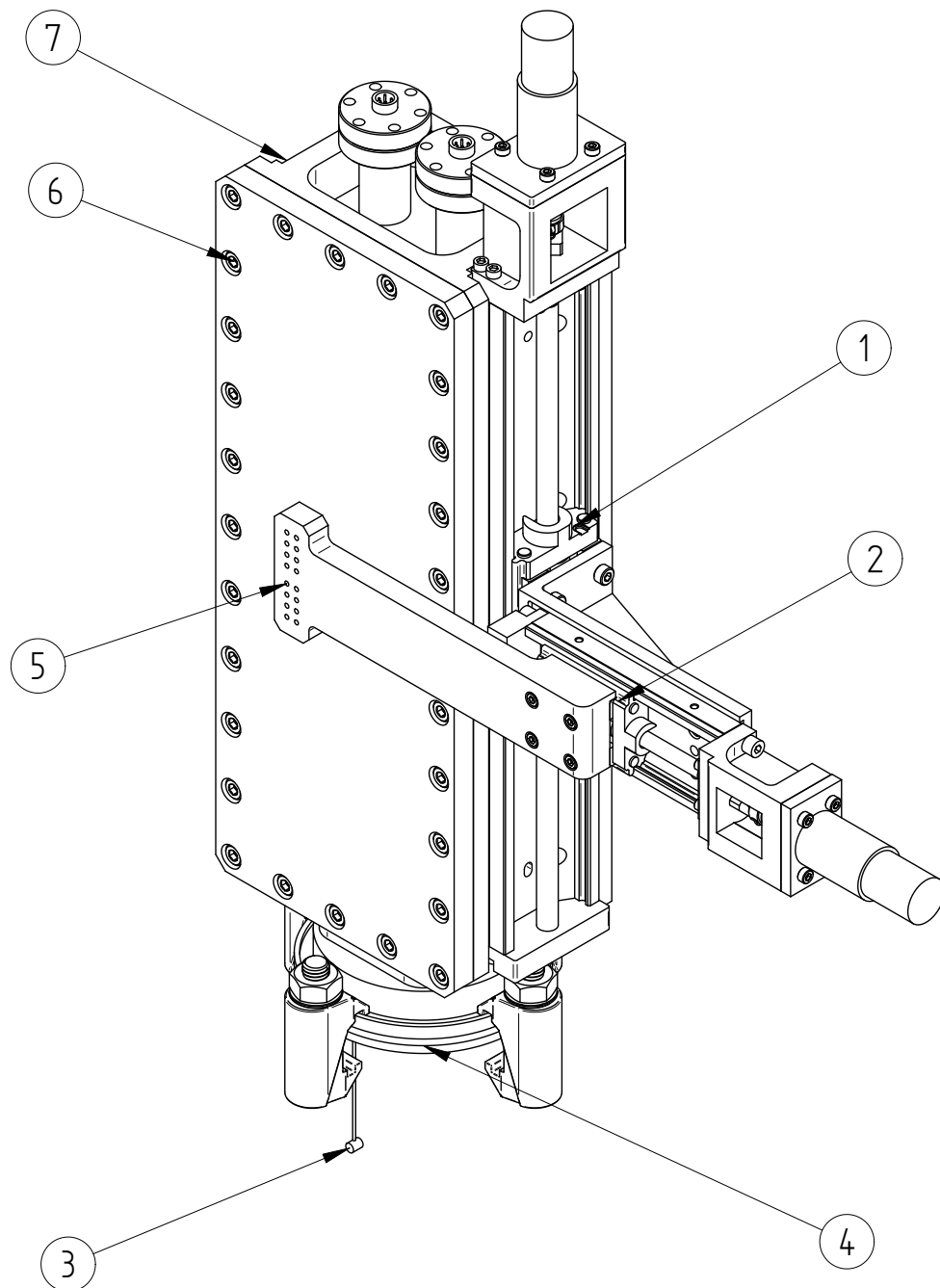


Abbildung 3.13: isometrische Ansicht des Beamstop Device von außen

3.4.4 Beschreibung der vakuumseitigen Komponenten

Im Bild 3.14 ist ein Schnitt durch die Vakuumkammer des Device gelegt, sodass ein Blick auf das Innere der Konstruktion gestattet wird. Hier befindet sich ein Führungssystem.

Die Führung in der X Richtung wird durch eine Führungsschiene Pos. (8) realisiert, welche auf dem Kammerdeckel parallel zu der außen gelegenen langen Lineareinheit montiert ist.

Analog zu der kurzen Lineareinheit (2) befindet sich auch eine kurze Führung Pos. (9) im Inneren der Vakuumkammer, welche ebenfalls im Winkel von 90° zur X Achse über ein Verbindungsstück auf dem Führungswagen der langen Führung befestigt ist.

Bei der Auswahl der Führungen ist besonders auf eine vakuumgerechte Materialauswahl zu achten. Das betrifft vor allem Dichtungen und Fettabstreifer, welche bei vielen Produkten des Marktes als Kunststoffbauteile ausgeführt sind. Diese müssen entweder durch nicht ausgasende Werkstoffe ersetzt, gleich als vakuumgerechte Ausführung bestellt oder gänzlich weggelassen werden. Letzteres ist aus technischen Gründen oft nicht möglich.

Die Führungen müssen gereinigt und mit speziellem Vakuumfett geschmiert werden.

Sämtliche Schraubverbindungen im Vakuum müssen grundsätzlich entlüftet und Todvolumen so gering wie möglich gehalten werden.

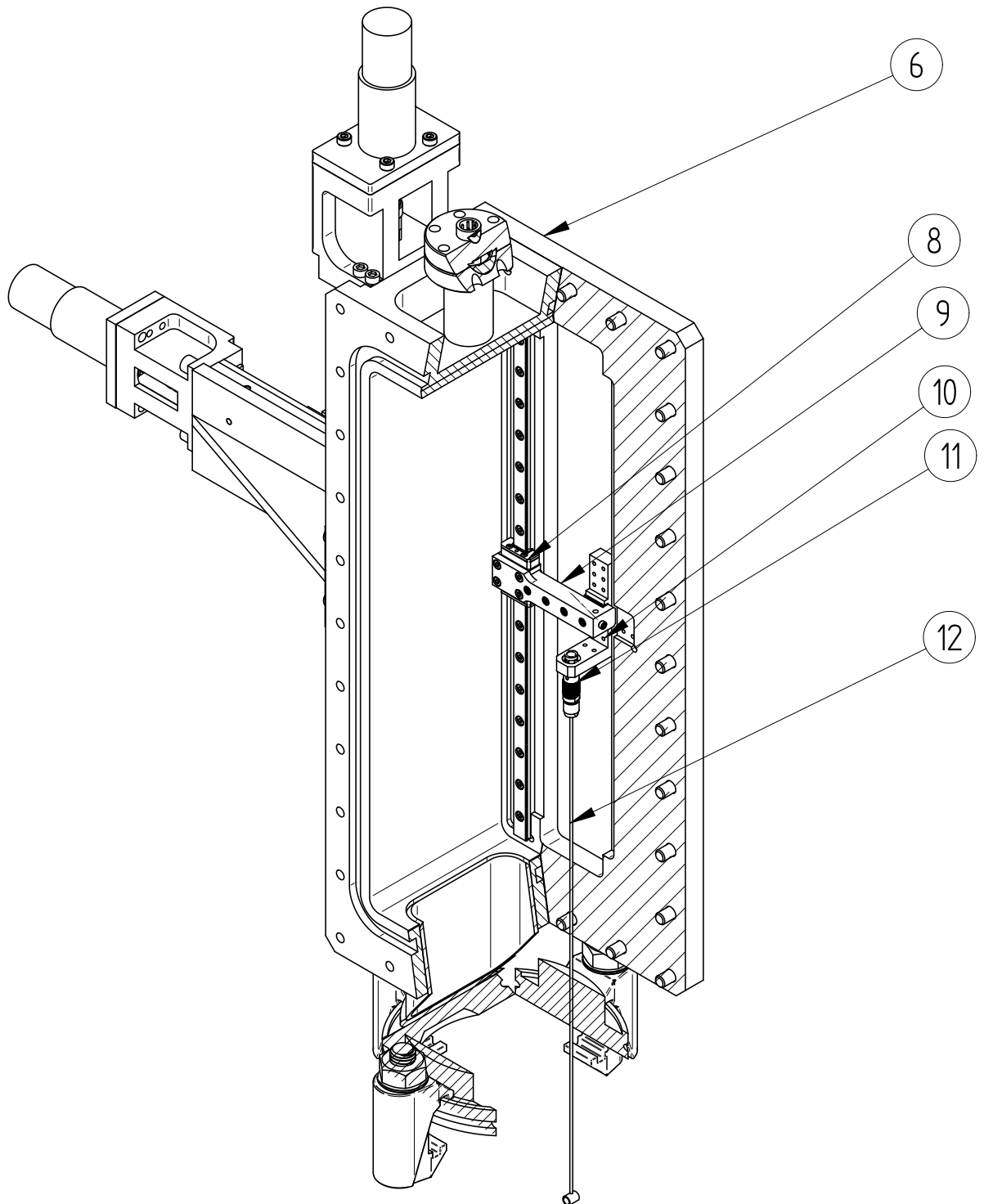


Abbildung 3.14: isometrische Ansicht des Beamstop Device mit geschnittener Vakuumkammer

3.4.5 Beschreibung der magnetischen Kopplung

Zur Veranschaulichung der magnetischen Kopplung sind in der Abbildung 3.15 die Vakuumkammer und der äußere Magnethalter im Schnitt dargestellt.

Bei den mit „Nord- und Südpol innen und außen“ bezeichneten Körpern handelt es sich um Neodymmagnete (Dipole!). Die dichten senkrechten Schraffuren signalisieren den magnetischen Nordpol, welcher stets dem magnetischen Südpol (schwache Schraffur um 45° geneigt) auf dem jeweils gegenüberliegenden Magnethalter zugewandt ist.

Man kann erkennen, dass sich stets Nord- und Südpol gegenüberliegen. Durch die Anzahl der Magnetpaare wird die übertragbare Kraft eingestellt. Weiter ist zu erkennen, dass es jeweils zwei Reihen in vertikaler und acht Reihen in horizontaler Richtung gibt. Dabei sind die Magneten so eingebaut, dass jeweils zwei benachbarte Magneten immer umgekehrt gepolt sind.

Diese Anordnung soll ein mögliches „Überspringen“ ausschließen. Um eine effiziente Kraftübertragung zu gewährleisten, ist der Abstand der gegenüberliegenden Magneten auf ein Minimum ausgelegt.

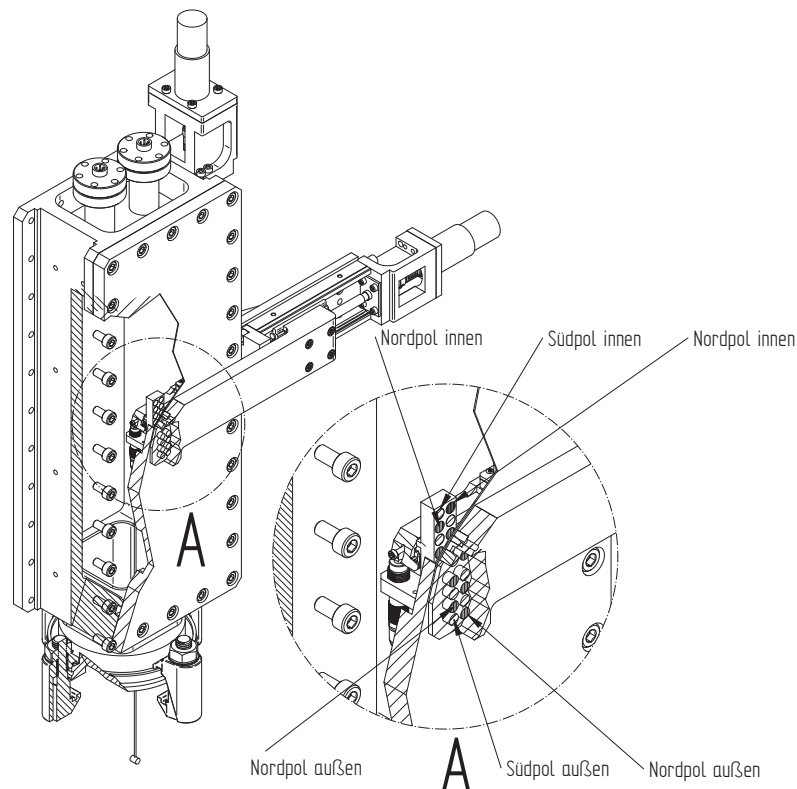


Abbildung 3.15: Magnetische Kopplung in geschnittener Ansicht

3.5 Ausarbeitung des Entwurfes

Bei der Ausarbeitung des Entwurfes werden alle Baugruppen im Detail ausgelegt und durchkonstruiert. An kritischen Stellen wird eine Berechnung durchgeführt um die Machbarkeit nachzuweisen.

Vorweg sollen noch einige grundsätzliche Informationen zur Konstruktion im Vakuum gegeben werden.

3.5.1 Randbedingungen der Detaillkonstruktion

In der Anforderungsliste wurde der, mit sehr wichtig bewertete Wunsch, bei der Werkstoffauswahl die UHV Richtlinien für Strahlführung und Experimente zu beachten geäußert. Eine Auswahl der geeigneten und zu vermeidenden Werkstoffe ist in der Tabelle 3.7 dargestellt.

Tabelle 3.7: Auswahl von UHV Materialien nach UHV Richtlinien für Strahlführungen und Experimente am HASYLAB [5].

Geeignete Materialien für UHV-Konstruktionen	Ungeeignete Materialien
Reine Materialien: Aluminium, Indium, Kupfer, Molybdän, Silizium, Tantal, Titan, Wolfram	Zink, Kadmium, Blei
Edelstahl: Bevorzugte Typen sind: 1.4429, 1.4435	
Legierungen: Ampco 18, Kupfer-Beryllium, Densimet, Inconel 600 oder 718, Mumetal, Zinn-Bronze (z. B. CuSn 8)	Messing, Zinklegierungen, Bleilegierungen
Isolatoren: Aluminium, Keramik, Macor, Polyimid, Saphir	Organische Materialien (mit einigen Ausnahmen)

Generell gilt, dass die Werkstoffe mit einem niedrigen Siedepunkt gemieden werden sollten. Obwohl es sich bei der angestrebten Vakuumqualität nicht um ein UHV sondern ein HV handelt, sollte dennoch nach den UHV Richtlinien konstruiert werden, zumal am DESY keine explizite Richtlinie für das Hochvakuum existiert. Bei Werkstoffen, die in der Tabelle 3.7 nicht aufgeführt sind, ist unbedingt im Vorfeld zu klären, ob diese UHV geeignet sind.

Dazu eignet sich ein kleines Experiment, bei dem ein Massenspektrometer die eventuellen Ausgasungen des Probenmaterials im Vakuum analysiert. Dadurch erlangt man eine Auskunft über die Art und Anzahl der ausgegasteten Partikel. Bei einer zu hohen Konzentration an Verunreinigungen, ist von einer Verwendung des Materials abzusehen.

Die nachfolgende Auflistung gibt einen Auszug der wichtigsten Richtlinien [5], die bei der Konstruktion sowie Fertigung unbedingt zu beachten sind.

- Konstruktionen wählen die:
 - Virtuelle Lecks vermeiden
 - Eine problemlose Reinigung ermöglichen (unzugängliche Ecken vermeiden)
- Keine Verwendung von Schweißzusätzen
- Lötverbindungen nur im Vakuumlötofen flussmittelfrei ausführen
- Bei kleineren Baugruppen ist vor der Endmontage eine Lecksuche durchzuführen
- Abdichtende Schweißnähte sind Vakuumseitig aufzubringen
- Schraubverbindungen im Vakuum müssen stets entlüftet werden

Zusätzlich zu den bereits aufgeführten Forderungen, die unbedingt erfüllt werden müssen, muss bei der Konstruktion unter anderem darauf geachtet werden, dass die konstruierten Bauteile fertigbar und die Konstruktion selbst montierbar ist. Denn nicht alles was in einem CAD System erstellbar ist, kann auch tatsächlich in der Realität gefertigt werden, bzw. die Herstellung ist nur mit einem sehr hohem Aufwand und damit auch sehr hohen Kosten verbunden. Das Gleiche gilt auch für die Montierbarkeit der Baugruppe. Dabei sollte eine fehlerfreie Montage ermöglicht und soweit wie möglich erleichtert werden. Bei Komponenten, die zueinander in einer bestimmten Lage ausgerichtet werden müssen, muss die Ausrichtung durch erleichternde Maßnahmen, wie Anschläge oder Führungen, gewährleistet werden.

3.5.2 Strategie bei der Vorgehensweise

Bei der Ausarbeitung der Konstruktion sollen alle für die Fertigung benötigten Daten, wie Geometrie und Werkstoffe ermittelt und festgelegt werden.

Für die Geometrie erweisen sich neben den in der Anforderungsliste aufgeführten Geometriebedingungen, vor allem die in die Konstruktion aufgenommenen Kaufteile als maßgebend.

Um die Funktion zu gewährleisten soll in diesem Kapitel auch rechnerisch die Machbarkeit an kritisch beurteilten Stellen erbracht werden. Gleichmaßen wird hier die von den eingesetzten Kaufteilen aufzubringende Leistung ermittelt und festgelegt.

Da in diesem System grundsätzlich alle Teilsysteme voneinander abhängen, ist es notwendig an einer möglichst geschickt gewählten Stelle anzufangen und einige Parameter anzunehmen bzw. mit Hilfe des zugrunde liegenden Konzeptentwurfes abzuschätzen.

Nach dem Auslegen aller weiteren Bauteile auf dieser Grundlage erhält man so anschließend Auskunft über die Qualität der anfangs angenommenen Parameter. Daraufhin kann man in einem iterativen Verfahren mögliche Korrekturen oder Anpassungen vornehmen.

Um zu einem möglichst schnellen Ergebniss der iterativen Festlegung zu gelangen empfiehlt es sich das Gesamtsystem zuerst in kleinere Baugruppen zu unterteilen. Diese sollen sich gut überschauen lassen und schnelle Auskünfte über wichtige und kritische Elemente geben.

Die Bauruppen werden mit den entgültigen Parametern vorgestellt. Charakteristische Berechnungen sollen die Realisierbarkeit belegen.

Die strategische Reihenfolge bei der Auslegung der Baugruppen geht grundsätzlich von den größeren Komponenten an der Luftseite bis zu den kleineren Komponenten im Vakuum.

Folgende Auflistung zeigt alle definierten Baugruppen und die chronologische Abarbeitung dieser.

- Das Positioniersystem
- Die Vakuumkammer
- Das Führungssystem und
- Der Beamstop

3.5.3 Ausarbeitung des Positionierungssystems

3.5.3.1 Ausgangspunkt in den Details

Um eine der wichtigsten Hauptfunktionen; die Positionierung in X- und Z- Richtung des Beamstops zu realisieren wird ein mechanisch gekoppeltes Linearsystem eingesetzt. Bei den sehr präzisen Forderungen an die jeweiligen Verfahrswege und die Einhaltung des Bauraumes der Einrichtung bietet der Markt derzeit keine optimale Komplettlösung an. Aber sehr wohl gibt es ein großes Angebot an spindelgetriebenen Lineareinheiten, welche aufgrund ihrer kompakten Bauweise durch integrierte Führungen nur minimalen Bauraum benötigen. Außerdem ist durch die Spindel eine Wiederholgenauigkeit von bis zu $\pm 0,003\text{mm}$ möglich. Durch gute Abstimmung zweier Lineareinheiten und Fertigung eines Kopplungsstückes, welches auch noch weitere Teilfunktionen erfüllen kann, begibt man sich in den Anforderungsraum des Auftraggebers.

Im Bild 3.16 ist die Idee des gekoppelten Linearsystemes gezeigt. Bei der Pos. (1) handelt es sich um eine Lineareinheit der Fa. Misumi, bei den Positionen (2) und (6) handelt es sich um Schrittmotoren der Fa. Phytron, Pos.(3) und (8) sind Membrankupplungen der Fa. Norelem und Pos. (4) stellt einen eigenstgefertigten Kopplungswinkel dar. Pos.(7) ist die kleinste Lineareinheit von Misumi. Der Magnetarm Pos.(9) bildet den Anschluss, luftseitig von der mechanisch erzeugten Koordinatenposition über Neodymmagnete, an das Vakuum.

3.5.3.2 Auslegung der Lineareinheiten

Als lange Lineareinheit wurde die LX2602L B1 T2628 290 und als kurze die LX2001-B1-T2628-100 der Fa. MISUMI gewählt. Die Tabelle 3.8 zeigt die wichtigsten technischen Daten:

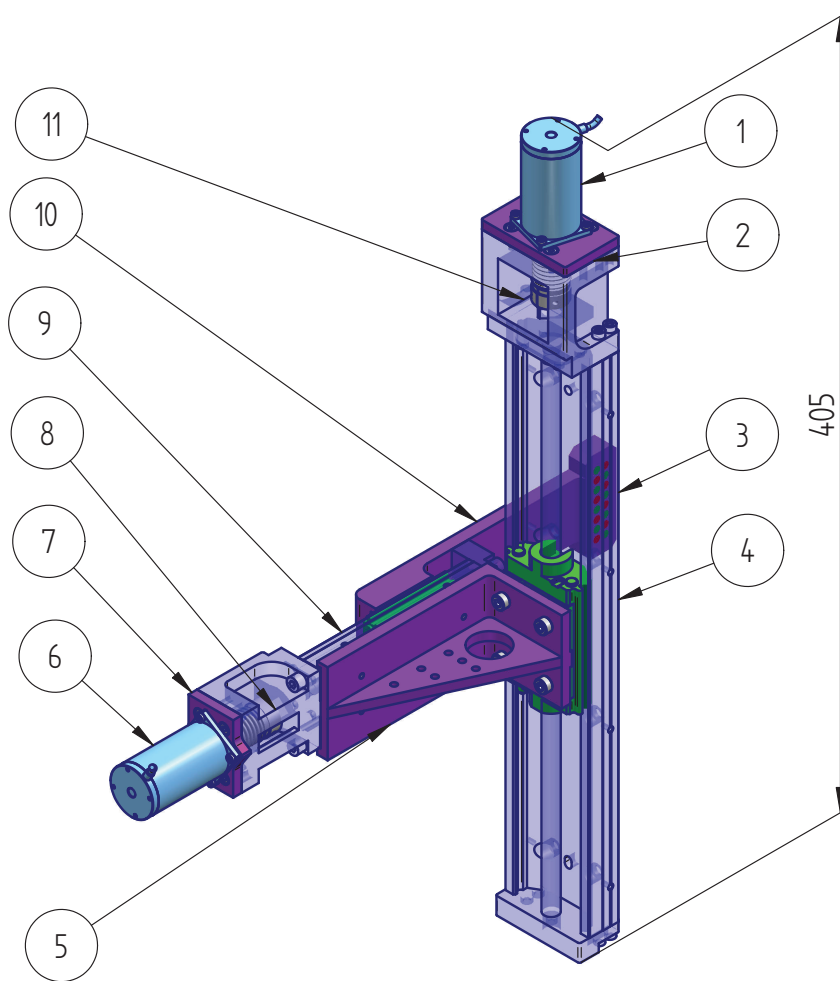


Abbildung 3.16: Die Baugruppe: „Lineareinheitensystem“

Tabelle 3.8: Technische Daten der eingesetzten Lineareinheit

Parameter	LX260L B1 T2628 209	LX2001-B1-T2628-100
Gesamtlänge	290mm	100mm
effektiver Hub	207mm	36,5mm
Spindelsteigung	2mm	1mm
Positioniergenauigkeit	0,06mm	0,06mm
Umkehrspiel	0,01mm	0,01mm
Wiederholgenauigkeit	±0,005mm	±0,005mm
Statische Traglast	11871N	6199N
zul. statisches Moment M_a	70Nm	27Nm
zul. statisches Moment M_b	70Nm	27Nm
zul. statisches Moment M_c	225Nm	93Nm
Gesamtmasse	1,58kg	0,45kg
Anlaufdrehmoment	2Ncm	1,2Ncm

Einige der in Tab. 3.8 aufgeführten Daten z.B. der Hub oder die Positioniergenauigkeit werden die technischen Leistungsparameter der Gesamtkonstruktion widerspiegeln. Die mechanischen Parameter hingegen sind für den rechnerischen Nachweis der Realisierung von Relevanz. Bemerkenswert an diesen Produkten ist nicht zuletzt die hohe zulässige statische Traglast beider Achsen. Bei Betrachtung der Abb. 3.16 in der hier gezeigten Einsatzlage kann man erkennen, dass die Hauptbeanspruchung nicht die Traglast, sondern vielmehr durch Hebelwirkungen hervorgerufenen Momente sind. Die Bezeichnung wird mit der Grafik 3.17 festgelegt und gilt auch analog für die Auslegung der Führungen im Kapitel 3.17.

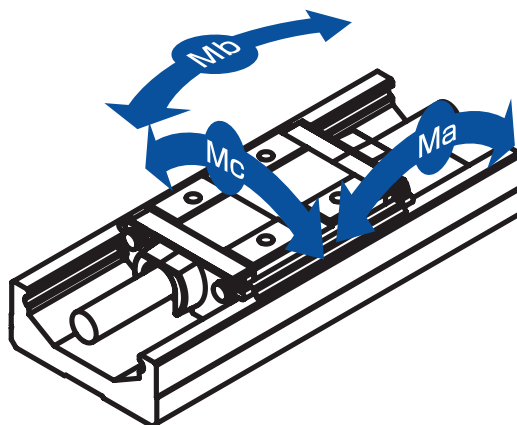


Abbildung 3.17: Momente in drei Richtungen: M_a : Kippmoment, M_b : Giermoment, M_c : Rollmoment

Für die lange Achse ergibt sich ein Moment M_c infolge der über den Magnethalter eingebrachten magnetischen Anziehungskraft. Diese wird durch die Formel

$$M_c = l_{max} * F_m \quad (3.1)$$

berechnet. Dabei ist l_{max} mit 120mm der maximale Hebelarm, wenn sich der Schlitten der kurzen LE in seiner motorabgewandtesten Position befindet.¹⁰

F_m ist die in Kapitel 3.5.5 mit 48N bestimmte magnetische Anziehungskraft der magnetischen Kraftkopplung. M_c beträgt demnach rund $5,76\text{Nm}$.

Ein Blick auf die Tabelle 3.8 zeigt, dass die Aufnahme eines solchen Momentes ohne weiteres gewährleistet ist. Allein dieses Zahlenverhältnis soll darauf schließen lassen, dass es aus mechanischer Sicht keine Probleme unter Verwendung dieser Lineareinheiten gibt.

Nachdem nun die Lineareinheiten im Wesentlichen durch die Forderung des Hubes und der Wiederholgenauigkeit festgelegt wurden, müssen zum Festlegen der gesamten Baugruppe „Positioniersystem“ als nächstes die Motoren ausgelegt werden. Dazu bedarf es allerdings noch einer wichtigen Information über die bei der Positionierung auftretenden Kräfte. Diese sind für jede Lineareinheit einzeln zu ermitteln, setzen sich aber grundsätzlich aus folgenden Komponenten zusammen:

- Gewichtskraft der zu positionierenden Komponenten
- Zu überwindene Haftkraft der Führungen im Inneren der Kammer in Folge der magnetischen Anziehungskraft

¹⁰Zur besseren Veranschaulichung kann das Bild 3.22 herangezogen werden.

- und dem Losbrech- bzw. Anlaufdrehmoment der Lineareinheiten.

Um die Gewichtskraft abschätzen zu können, werden zunächst alle Komponenten, welche die zu positionierende Masse darstellen in der Tabelle 3.9 aufgelistet und mit ihrer zu erwartenden Masse versehen. Dabei hilft ein kleines Werkzeug in dem CAD Programm, welches jedem Volumenkörper seine Masse zuordnet. Dazu benötigt es die jeweilige Dichte bzw. Materialangabe sowie die geometrischen Abmessungen. Durch Zuweisen eines Materials der programminternen Datenbank und Verwendung der aktuellsten Geometrie (wenn keine ausgearbeitete Geometrie vorliegt, werden die Daten aus dem Konzeptentwurf benutzt) gelingt eine sehr genaue Abschätzung. Noch nicht festgelegte Teile werden ebenfalls mit realistischen Werten angenommen und eingetragen.

Tabelle 3.9: Massenermittlung für die Antriebsauslegung

Position Lfd.Nr.	Bezeichnung	Anzahl	Masse $m[g]$
1	Bauruppe Beamstop	1	200
2	Lemo-Stecker	1	5
3	Magnethalter innen	1	26,3
4	Führungsverbindung	1	36,6
5	Flachkopfschraube DIN 920 M3X4	4	0,4
6	Zylinderschraube ISO 1207 M2X6	3	0,3
7	langer Führungswagen	1	24,5
8	Neodymmagnet innen	8	0,5
9	kurze Führungsschiene	1	5,1
10	kurzer Führungswagen	1	4,7
11	Neodymmagnet außen	8	0,5
12	Magnethalter außen	1	98,2
Σ aller Massen für die Auslegung der kleinen Lineareinheit			411
13	Zylinderschraube ISO 4762 M3X12	4	1,2
14	Zylinderschraube ISO 4762 M3X6	4	0,8
15	kleine Lineareinheit	1	244,8
16	kleine Balgkupplung	1	35,3
17	kleine Motoradapterplatte	1	10,9
18	Zylinderschraube DIN 7984 M3X8	4	0,8
19	Zylinderschraube ISO 4762 M2X6	4	0,4
20	Schrittmotor ZSS 2606	1	184,7
21	Verbindungswinkel	1	147
22	Zylinderschraube ISO 4762 M4X12	4	0,3
23	Wagen der großen Lineareinheit	1	312,8
Σ aller übrigen Massen			949
Σ aller Massen			1360

Die bei der Massenermittlung berücksichtigten Teile sind in dem Bild 3.18 zu erkennen.

Das erforderliche Antriebsdrehmoment M_{anl} welches vom Motor für die Positionierung der langen Führung aufgebracht werden muss, ist proportional zu dem Lastmoment das in Folge der Axiallast auf die Spindel der LE wirkt. Außerdem muss das Losbrechmoment der unbelasteten LE überwunden werden.

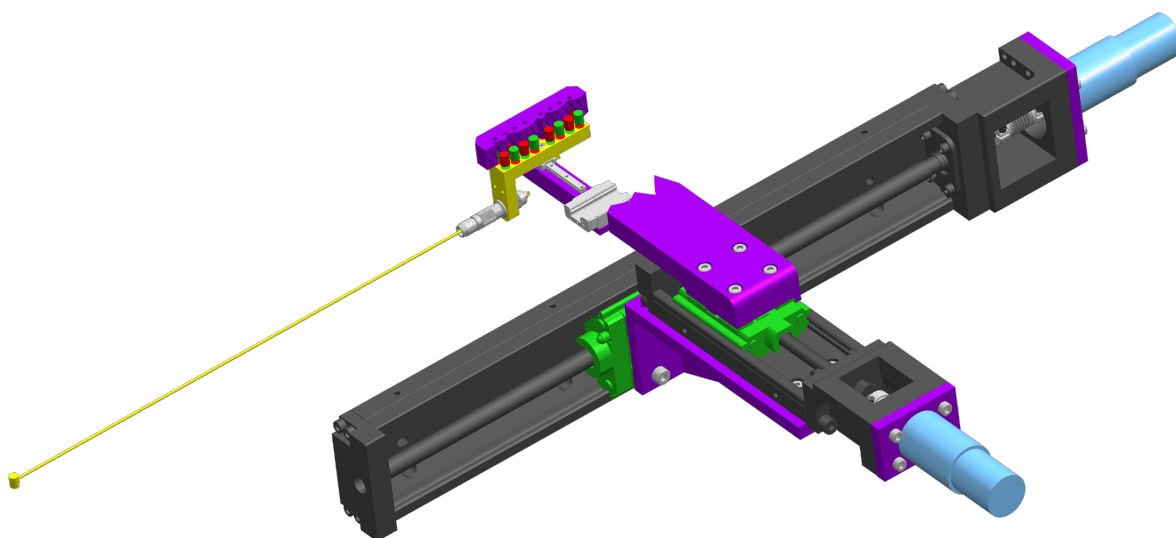


Abbildung 3.18: Massenermittlung

Das komplette Anlaufmoment ergibt sich nach Gl. 3.2

$$M_{anlges.} = M_{anl} + M_{axial} \quad (3.2)$$

mit $M_{anlges.} = 36Nm$. M_{anl} ist dazu der Tab.3.8 mit $2Ncm$ zu entnehmen.

Das Axialmoment M_{axial} ist proportional zur Axialkraft F_{axial}

Es wird nach Gl.3.3

$$M_{axial} = \frac{F_{axial} * S_{Spindel}}{2 * \pi * \eta_{Spindel}} \quad (3.3)$$

zu $M_{axial} = 0,016Nm$ berechnet. $S_{Spindel}$ ist dabei die Steigung der Spindel der langen LE.

Die Axialkraft F_{axial} setzt sich aus der zu positionierenden Masse $Masse_{pos}$ und der Haftreibungskraft der langen Führung $F_{haftreib}$ nach Gl.3.4 zusammen.

$$F_{axial} = Masse_{pos} + F_{haftreib} \quad (3.4)$$

Sie beträgt $20N$.

Die Haftreibungskraft der Führung wiederum, wird mit der Formel 3.5 berechnet.

$$F_{haftreib} = \mu_{dyn} * F_{Nutz} * F_{Dicht} \quad (3.5)$$

Dabei ist F_{Nutz} die aufgebrachte Nutzlast, welche in diesem Falle nicht direkt als Magnetkraft, sondern in Form eines Momentes auf die Führung wirkt. Der geometrische Zusammenhang ist dazu in Kapitel 3.5.6 in Abb. ?? veranschaulicht.

Weiter ist μ_{dyn} der vom Hersteller mit ca. 0,005 angegebene dynamische Reibkoeffizient der Miniaturführung und F_{Dicht} eine pauschale Kraft, infolge der Dichtungen. Nach Herstellerangaben beträgt sie rund $5N$.

Mit Hilfe der Formel 3.6 des Führungsherstellers kann diese in Ersatznutzkraft umgewandelt werden.

$$F_{Nutz} = F_{Magnet} + \frac{C_0}{M_c} * F_{Magnet} * l \quad (3.6)$$

In unserem Fall beträgt sie ca. 347N

Die statische Tragzahl C_0 ist vom Hersteller der lange Führung mit 2,5kN angegeben. Das für diesen Lastfall benötigte statische Moment M_0 gibt der Hersteller mit 10,Nm an.

F_{Magnet} ist die im Kapitel 3.5.5 mit 48N ermittelte Magnetkraft. und l der Hebelarm, in Abb. ??

Alle Berechnungen sind im Anhang detailliert angeführt. Für die folgende Motorauslegung ist zunächst einmal das benötigte Anlaufdrehmoment $M_{anlges} = 36Nm$ interessant.

3.5.3.3 Auswahl des Antriebs

Am Messplatz P 03 werden üblicherweise Schrittmotoren der Fa. Phytron eingesetzt und von der eigenst entwickelten Steuerung angetrieben.



Abbildung 3.19: ZSS Schrittmotoren der Fa. Phytron

Daher soll auch in dieser Konstruktion ein Schrittmotor der Fa. Phytron zum Einsatz kommen. Phytron bietet Motoren in unterschiedlichen Größen und Leistungsstufen an. Da hier nur sehr geringe Drehmomente auftreten kann ein Motor der kleinsten Baugröße ZSS 19 bis ZSS 56 eingesetzt werden. Die Abb. 3.19 zeigt zwei Stellvertreter dieser Motoren. Gewählt wurde der Motor ZSS 26.200.1,2. Da für die Bestimmung des erforderlichen Antriebsmomentes viele Parameter von weiteren Elementen der Gesamtkonstruktion abhängen, wurde dieser zunächst wie in der Abb. 3.16 Pos. (1) und (6) verbaut. Dadurch ergibt sich eine anschauliche Übersicht des Bauraumes. Im Abschnitt 3.5.3.2 hat sich herausgestellt, dass dieser ein Drehmoment von mindestens 36mNm aufbringen muss. Dieses soll anhand des Diagramms 3.20 überprüft werden.

Im Diagramm 3.20 ist die Leistung rote Kurven und das Drehmoment schwarze Kurven über der Taktfrquenz der Steuerung bzw. der Drehzahl aufgetragen. Als Arbeitspunkt soll eine übliche Taktfrequenz von 20kHz gewählt werden, was einer Drehzal von $3000 \frac{U}{min}$ enstricht. Hier ergeben sich knappe 15mNm bei einer Bemessungsspannung von 45V. Das Motordiagramm basiert wie an der Endung der Motorbenennung 0,6 zu erkennen ist, auf einem Motor mit einer Stromaufnahme von 1,6A. Der hier ausgewählte Motor kann, optimiert auf die an P03 eingesetzte Steuerung eine Stromstärke

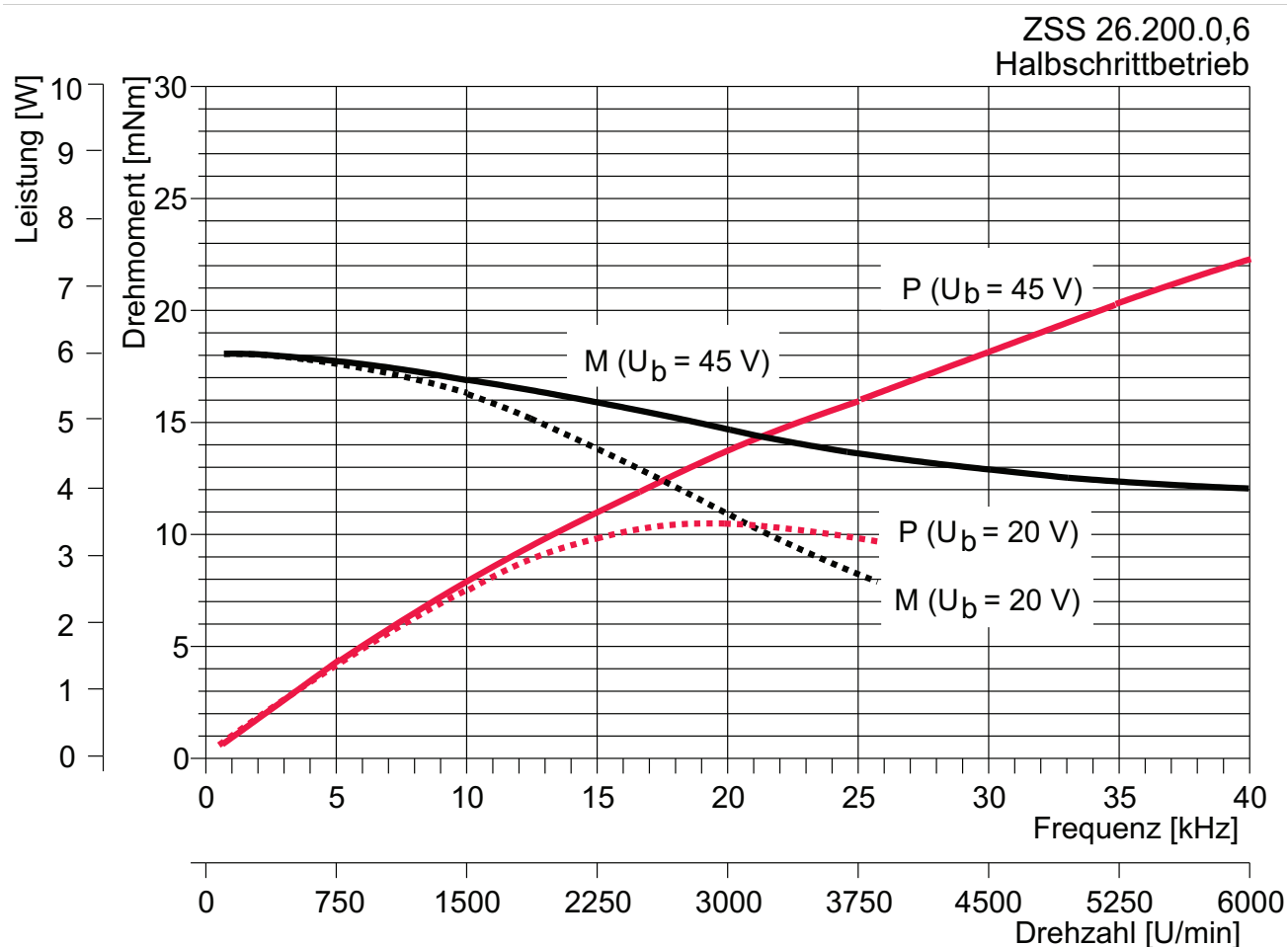


Abbildung 3.20: Motorleistungsdiagramm in Abhängigkeit der Schrittgeschwindigkeit

von 1,2A führen. Dieses führt zu flacher abfallenden Leistungskurven, aber nicht zur Erhöhung des maximalen Momentes bei geringer Drehzahl.

Das hat zur Folge, dass die 15mNm in unserem Arbeitspunkt sogar geringfügig überschritten sind. Der Motor hat laut Hersteller eine Reserve, die es erlaubt den Motor für „kurze Zeit“ mit 100% zu überlasten, was kurzzeitig zu einem Antriebsmoment von ca. 30mNm führen würde¹¹.

Das Ergebnis der Antriebsmomentberechnung in Gl.3.2 zeigt, dass, verglichen mit dem Diagramm 3.20, das erforderliche Drehmoment von 36mNm bei keiner Drehzahl erbracht werden kann. Um das Problem schnell und effektiv in den Griff zu bekommen wird hier als Lösung die Hinzunahme eines Planetengetriebes mit einer Untersetzung von $\frac{1}{4}$ herangezogen.

Alternativ könnte auch eine größere Baugröße des Motors eingesetzt werden, vergleicht man allerdings die Motordiagramme im Anhang stellt man fest, dass das benötigte Moment erst nach Überspringen zweier Baugrößen in dem Arbeitspunkt erreicht wird.

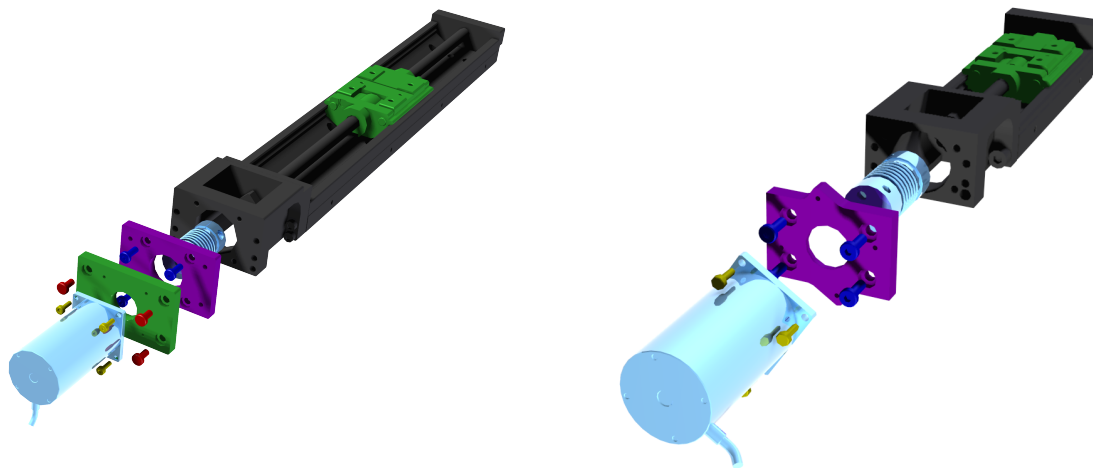
Das gewählte Getriebe: GPL 22 *siehe Anhang* besitzt einen Wirkungsgrad von 96% und passt direkt an den vorausgewählten und jetzt festgelegten Motor. Für den neu entstandenen geometrischen Anschluss der Motorgetriebeinheit an das Linearsystem werden zu den bereits vorhandenen Be-

¹¹Es ist nicht auszuschließen, dass sich dieser Motor als Antrieb eignet, zumal bei der Bestimmung der erforderlichen Antriebsleistung durch Annahme von maximalen Parametern eine Sicherheit beaufschlagt wurde. Dieses soll nach Fertigstellung der Konstruktion praktisch überprüft werden; Denn kein Modell ist so gut wie das Reale.

festigungsbohrungen der selbstgefertigten Motoradapterplatten um die neuen Anschlussgeometrien ergänzt. Somit ist der Einsatz mit oder ohne Getriebe mit einer einzigen Adapterplatte gestattet.

Die Motoradapterplatte wurde im Verlauf der Konstruktionsarbeit bereits optimiert. Bild 3.21 zeigt den Entwicklungsprozess. Die vorgegebenen Befestigungsbohrungen der LE und des Motors überschneiden sich derart, dass es einer Kombination aus zwei Platten bedarf, um den Bauraum des LE-Systems in nicht mehr als einer Raumkoordinate zu vergrößern. Dabei übernimmt die in Abb.3.21 a violett gekennzeichnete Platte den Anschluss an die LE. Die grün gekennzeichnete Platte erlaubt den Anschluss des Motors und kann über die violette Platte mit der LE verbunden werden.

Durch die Wahl einer exzentrischen Motoranordnung, kann auch unter Berücksichtigung des geforderten Bauraums auf eine zweite Platte verzichtet werden. Wie in Abb. 3.21 b zu sehen ist, findet kein Überlappen der jeweiligen Verbindungsschrauben mehr statt.



(a) Lange Lineareinheit mit einem 2 Platten Motoradapter

(b) Kurze Lineareinheit mit einer CNC Motoradapterplatte

Abbildung 3.21: Motor-Lineareinheit-Kopplung

Jetzt wird überprüft, ob der Motor der kleinen Führung ebenfalls mit einem Getriebe ausgestattet werden muss. Einen Überblick der zugrundeliegenden Mechanik ist in Bild 3.22 dargestellt.

Die Berechnung verläuft analog zu der, der großen Führung und liegt im Anhang bei.

In dieser Arbeit unterliegt jede Berechnung einem Modell; Verknüpft mit einer Berechnungsformel. Durch das Programm „Mathcad“ ist es gestattet, durch Veränderung nur eines Parameters, das „Ergebnis“ radikal zu beeinflussen. So entscheidet z.B. die Annahme eines Reibbeiwertes das Über- oder Unterschreiten eines Extremwertes *min_{erforderlich}* oder *max_{ertagbar}*.

Bei der Prototypenkonstruktion darf an einigen Stellen gern an die Grenzen gegangen werden, aber man muss stets die Gewährleistung der Stabilität des Gesamtsystems haben. Daher werden in dieser Konstruktionsarbeit sämtliche Modelle, was insbesondere die Geometrie und den Massenschwerpunkt betrifft, weitestgehend vereinfacht und geometrische sowie mechanisch oder tribologische Eigenschaften stets mit dem „Worst Case“, dem schlechtesten oder dem ungünstigsten anzunehmenden Falle angenommen.

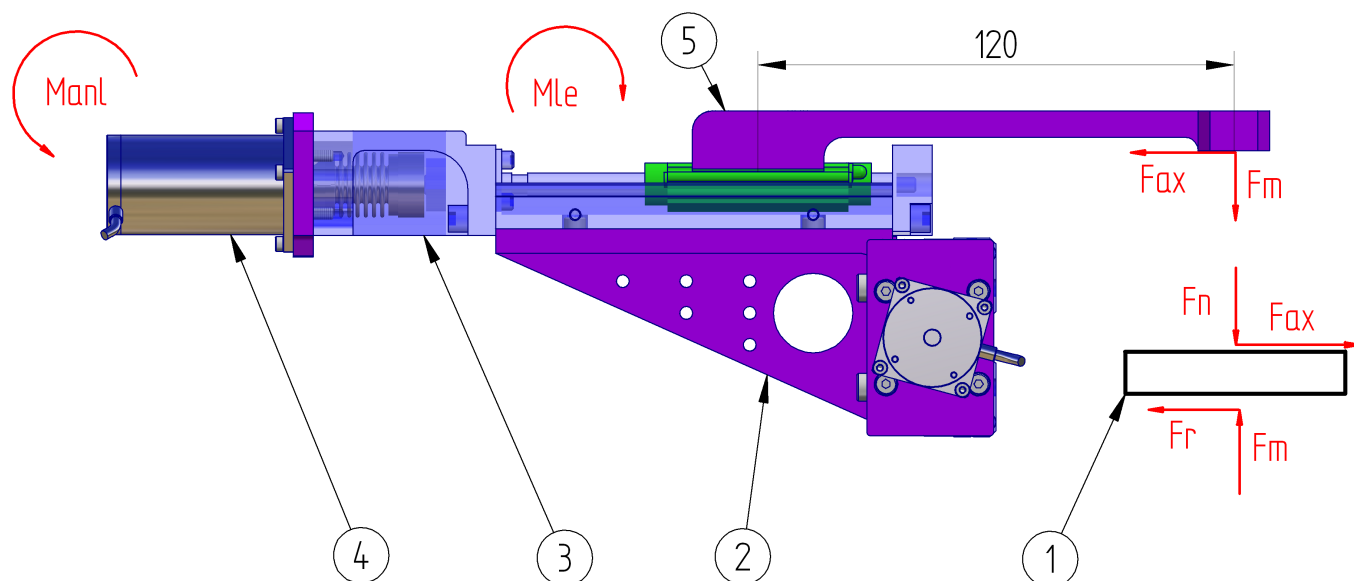


Abbildung 3.22: Mechanik der kleinen Führung (1) Modell der kleinen Führung (2) Verbindungswinkel; (3) Balgkupplung; (4) Schrittmotor; (5) äußerer Magnethalter

Aus der Gl. 3.6 ergibt sich eine zur Momentbelastung äquivalente Nutzlast F_{Nutz} von $395N$ und damit eine Axiallast F_{axial} von ca.¹² $70N$.

Das gesamte Anlaufdrehmoment beläuft sich nach Gl. 3.2 auf ca. $20mNm$. Betrachtet man das Diagramm 3.20, so erkennt man, dass wir auch hier mit unserem gewählten Motor und unserer Betriebsdrehzahl von $3000 \frac{U}{min}$ unterhalb des benötigten Anlaufmomentes liegen. Bei einem hier gewählten Getriebe, dem GPL 22 mit einer Untersetzung von $\frac{1}{4}$, dem gleichen wie bei der langen Führung eingesetzt, erreichen wir eine Sicherheit nach Gl. 3.7

$$S = \frac{M_{anl.vorh.}}{M_{anl.erf.}} \quad (3.7)$$

zur Erbringung des benötigten Moments von knapp drei.

Das Einbringen eines Untersetzungsgetriebes führt zwar zu ausreichenden Drehmomenten, jedoch auf Kosten der Geschwindigkeit. Außerdem verringert sich der Gesamtwirkungsgrad durch Multiplikation aller in Reihe eingesetzten Einzelteilwirkungsgrade. Die Positioniergenauigkeit verändert sich dahin, dass die Verfahrstrecke eines Motorschrittes geviertelt wurde, somit kann grundsätzlich feiner aufgelöst werden. Das Problem bei einer Richtungsumkehr ist der backlash, also das Spiel bei der Bewegungübertragung vom Motor bis an den Beamstop. Bislang wurde es wesentlich durch den Schlupf der Magneten und dem Spindelspiel der LE verursacht, jetzt kommt durch das Getriebespiel ein weiterer Faktor hinzu. In der Praxis wird die Position anhand eines Messsignals ermittelt. Der Bediener sollte jede Position, die er reproduzierbar anfahren möchte, stets aus **einer** bestimmten Richtung mit genügend Abstand zur Wunschposition anfahren. Dabei muss ggf. die Zielposition zunächst überfahren werden.

Zum Abschluss der Besprechung des Positionierungssystems ist dieses in Bild 3.23 abgebildet.

¹²Zirka, von lat.: circa „ungefähr“ ist das Gegenwort zu genau. Im Anhang befindet sich ein Berechnungsscript, indem sich alle in dieser Arbeit erwähnten Berechnungsergebnisse detailliert zurückverfolgen lassen. Doch jede Berechnung ist im besten Fall so gut, wie das ihr zugrundeliegende Modell.

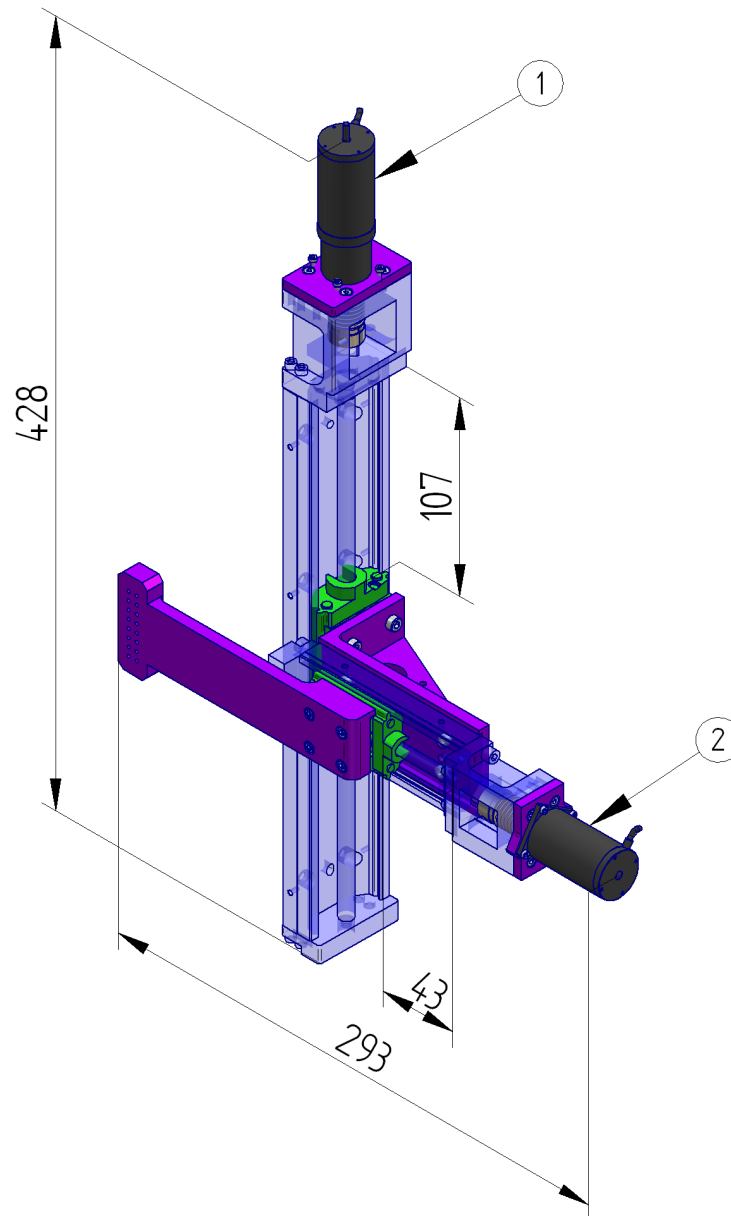


Abbildung 3.23: Linearsystem mit variabler Motoranschlussmöglichkeit

Durch eine abschließend durchgeführte Anpassung der beiden Motoradapterplatten ist der Anschluss der Motor- Getriebeeinheit oder des Motors ohne Getriebe mit jeweils nur einer Adapterplatte gewährleistet. So ist sicher gestellt, dass das benötigte Moment mit Hilfe des Getriebes aufgebracht werden kann.

Gleichzeitig kann an dem Prototypen der getriebefreie Einsatz des Motors getestet werden. In der Abb. 3.23 ist als Pos.(1) eine Motor- Getriebeeinheit und als Pos.(2) ein einzelner Motor angeschlossen. Als Verbindungselement zwischen dem Antrieb und der LE sind jeweils Balgkupplungen verbaut, welche sowohl kleine Winkel- und Fluchtungsfehler gut ausgleichen können.

3.5.4 Abschirmung des Vakuums

Die Funktion: „Abschirmung des Vakuums“ vgl. Bild 3.7b in der Funktionsstruktur, wird übernommen von der Vakuumkammer in Kombination mit dem Kammerdeckel und einer O-Ringdichtung. Die Detailkonstruktion der an dieser Funktion beteiligten Bauelemente wird jetzt durchgeführt.

Im Bild 3.24 ist die komplett zusammengebaute Vakuumkammer zu erkennen. Der *blau gefärbte* Grundkörper wird aus einem Block gefräst und ist in der Lage über luftseitig eingearbeitete Gewindebohrungen Pos.(3) und einem Anschlag das LE aufzunehmen. Weiter verfügt die Kammer über zwei elektrische Vakuumdurchführungen Pos. (1) sowie eine speziell angefertigte Schnittstelle zu einer Anschlusskammer Pos. (5). Zur Befestigung dienen hier Klammerschrauben Pos. (4). Zur Befestigung dienen hier Klammerschrauben Pos. (4). Zur Befestigung dienen hier Klammerschrauben Pos. (4).

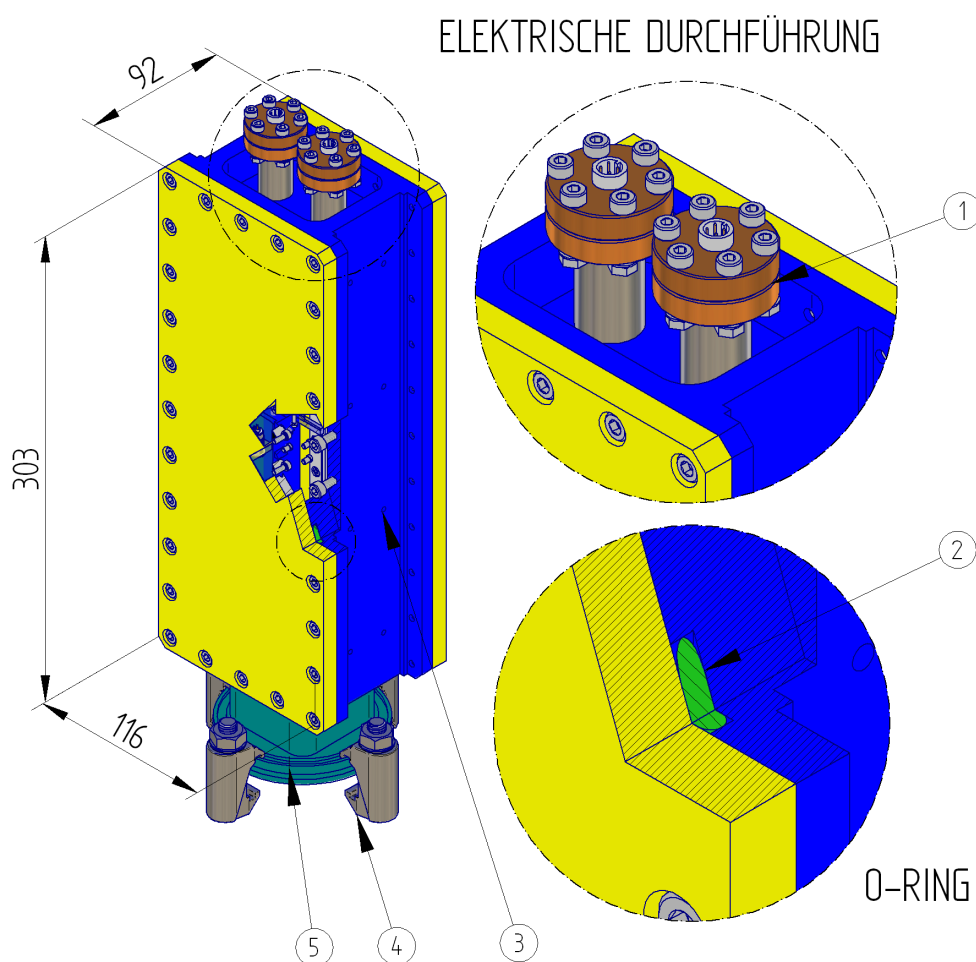


Abbildung 3.24: Isometrische Darstellung der Vakuumkammer mit Einzelheiten

Der Grundkörper verfügt außerdem über eine eingearbeitete umlaufende Nut, wie sie in der unteren Detailansicht im Schnitt zu erkennen ist. Darin befindet sich eine O-Ringdichtung Pos. (2), welche über den *gelb dargestellten* Deckel verpresst wird.

3.5.4.1 Die Vakuumkammer

Als nächstes ist in der Abb. 3.25 der Grundkörper, welcher fortan auch mit Vakuumkammer bezeichnet wird gezeigt. Dieser besteht aus sechs verschiedenen Bauteilen, welche vakuumgerecht miteinander verschweißt sind. Position (4) ist der aus einem Block gefräste Grundkörper der Schweißbaugruppe. In diesem befindet sich auch die Nut (3) für die Aufnahme einer O-Ringdichtung.¹³ An der Unterseite der Kammer befindet sich ein Vierkantrohr (5), an dem wiederum ein Flansch (6) mit angeschweißt ist. Der Flansch ist ein Normteil das einseitig nachbearbeitet wird, damit das Vierkantrohr eingesetzt werden kann. Ein standardmäßiges, zylindrisch oder konisches Reduzierstück würde den Anforderungen an die Positionierstrecke nicht gerecht werden. Im oberen Bereich der Kammer befinden sich jeweils zwei Rohre (2) mit jeweils einem Schraubflansch (1).

Hierdurch besteht die Möglichkeit einer elektrischen Durchführung. Dazu wird ein Flansch gleichen Typs, versehen mit einer eingeschweißten Vakuumdurchführung und Dichtung einfach angeschraubt. Diese ist in Bild 3.24 zu erkennen.

In Abb. 3.26 ist die Vakuumkammer im Schnitt dargestellt. Der Schnitt verläuft parallel zu den Seitenwänden durch eine der oberen Durchführungsvorrichtungen und durch die unten angeschweißte Anschlussvorrichtung für die Anschlusskammer.

In den beiden Einzelheitendarstellungen A und B ist die vakuumgerechte Verschweißung der Anschlusskomponenten gezeigt. Hierbei ist es wichtig die Komponenten stets von innen mit einer rundumlaufenden durchgehenden Schweißnaht zu verbinden. Die Nahtvorbereitung wird hier bewusst den ausführenden Schweißern vorbehalten. So kann dieser, üblicherweise selbst vor Ort z.B. das Vierkantrohr beliebig anfasen. Für die Signaldurchführungen ist Kammerseitig ein kleiner Anschlag für eine einfache Ausrichtung eingefügt. Der Pfeil der Schweißsymbole zeigt jeweils den Ort der Naht und die Orientierung der Elektrode¹⁴ an. Hier wird eine umlaufende V Naht als Empfehlung angeboten. Unversiegelte, überlappende Flächen im Vakuum führen durch Partikel- oder Gasansammlungen zwischen diesen, zu virtuellen Lecks, daher wird stets von innen „dichtgeschweißt“. Von außen können jederzeit noch Punktverschweißungen zur Steifigkeitssteigerung hinzugefügt werden. Die Endbearbeitung aller Dichtflächen wird erst durchgeführt, wenn alle Komponenten miteinander verschweißt sind um eventuelle Verformungen durch Hitzespannungen ausgleichen zu können.

Die Einzelheit A zeigt außerdem zwei Geometrieparameter der O-Ringnut (3). Mit Maßeintragungen in Abb. 3.25 sind alle relevanten geometrischen Daten für die Auslegung der O-Ringdichtung bekannt. Die hier angegebenen Nutparameter sind iterativ gefunden worden und zeigen den abschließenden Stand.

3.5.4.2 Die O-Ringdichtung

Um die Vakuumkammer mit dem Kammerdeckel hermetisch abzudichten bedarf es noch einer Dichtung.

Aufgrund des speziellen, durch die Vakuumkammer vorgegebenen Bauraums für die Dichtung empfiehlt es sich, eine O-Ringdichtung einzusetzen. Diese ist in vielen fein unterteilten Größen erhältlich und passt sich gut einer vorgegebenen Nutgeometrie an.

¹³Der Grundkörper kann DESY-Intern sandgestrahlt, rrodiert oder gefräst werden; Dichtflächen, O-Ringnuten und Anschläge werden aber in jedem Fall spahnend nachbearbeitet.

¹⁴Das Elektrodenmaterial ist stets ähnlich des Kammerwerkstoffes zu wählen

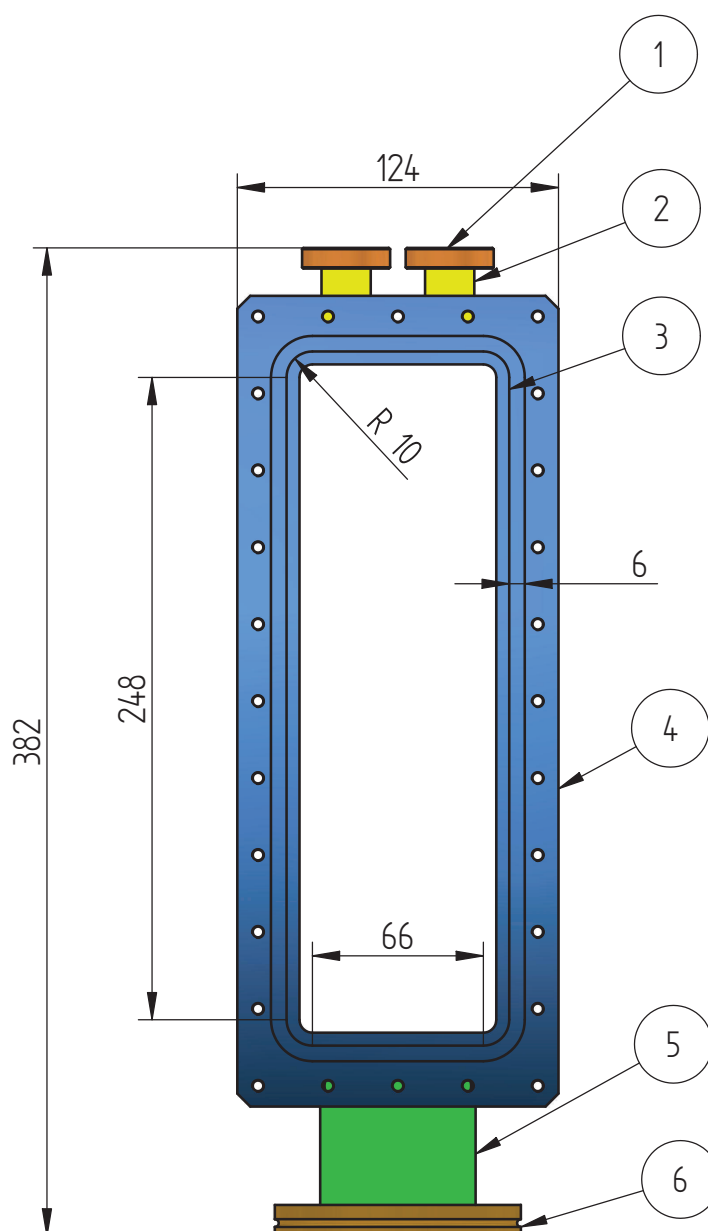


Abbildung 3.25: Bestandteile und wichtige Geometrie der Schweißgruppe

Für Vakuumwendungen bis 0.1Pa kann jede Elastomerqualität verwendet werden; im Hochvakuumbereich hat sich die Qualität FPM Viton® besonders bewährt.

Die Definition der geometrischen Abmaße des O-Rings sind der Skizze 3.27 zu entnehmen.

Als Material der verwendeten Dichtung eignet sich aufgrund seiner Hochvakuumbeständigkeit besonders der Flour-Kautschuk FPM nach ISO 1629. Der mit dem Handelsnamen Viton bezeichnete Werkstoff hat eine Härte von 70 IRHD-Mikro und eine chemische Beständigkeit, unter anderem gegen Kraftstoffe, Basen und Säuren bei einem Temperaturbereich von -30°C bis $+220^{\circ}\text{C}$.

Bei der Auslegung der Nut muss grundsätzlich das eventuelle Quellen durch chemische Einflüsse oder Dehnen infolge von Erwärmung mit berücksichtigt werden. Um die Vergrößerung des Ringes

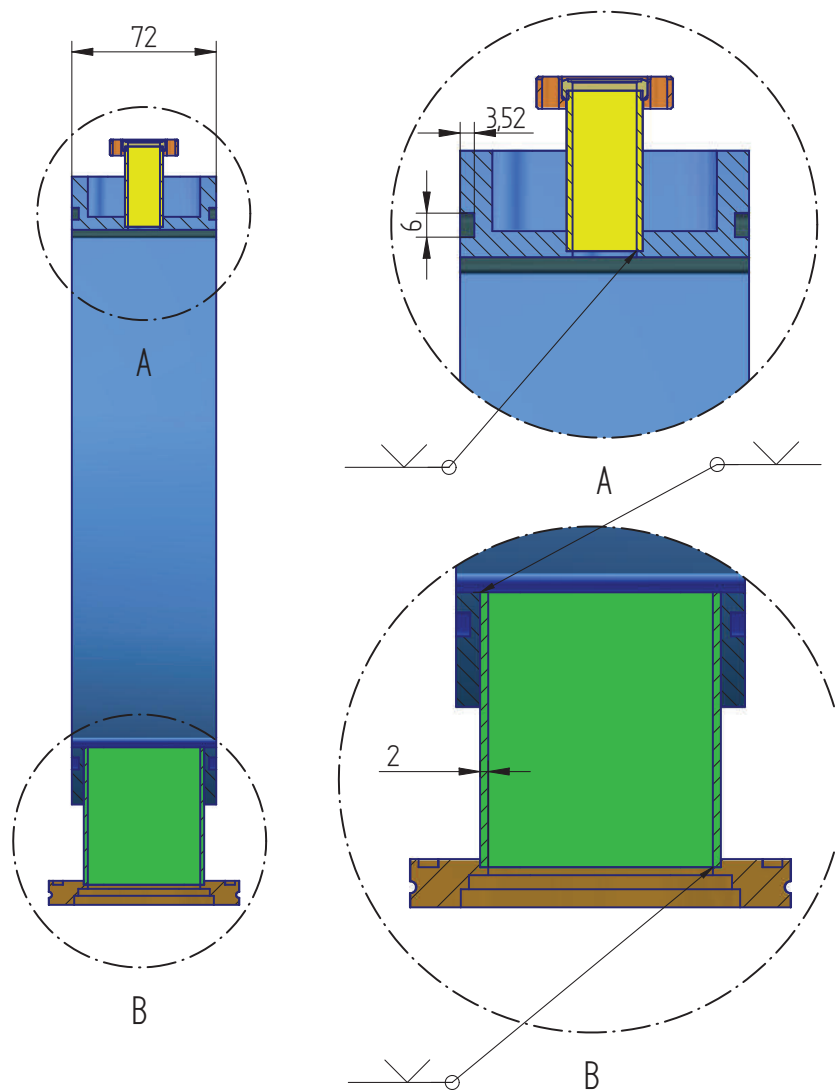


Abbildung 3.26: Verschweißung der Komponenten

auszugleichen würde im Voraus eine größere Nut verwendet werden. Am vorgesehenen Einsatzort des Device kann von konstanter Raumtemperatur von ca. 22°C ausgegangen werden, außerdem besteht kein Kontakt zu aufquellenden Medien. Aufgrund dieser günstigen Einsatzbedingungen kann man zugunsten eines strammeren Sitzes und damit besseren Dichtungseigenschaften eine möglichst kleine Nut wählen.

Beim Einsetzen des Ringes wird bei Vakuumanwendungen niemals Fett eingesetzt.

Die Auswahl der Schnurstärke richtet sich praktisch nach dem Angebot für den Dichtungsdurchmesser d_1 . Mit zunehmenden d_1 erhöht sich auch die benötigte Schnurstärke, was nicht zuletzt auch dem möglichen Verdrehen bei großen O-Ringen mit sehr kleiner Schnurstärke entgegen wirkt. Durch iterative Vorgehensweise wird die Dichtung wie folgt ermittelt.

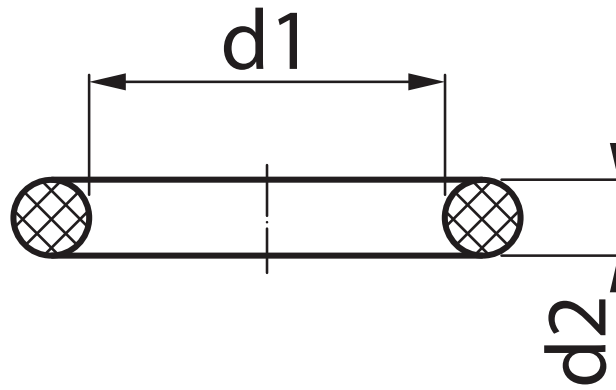


Abbildung 3.27: Abmaße des O-Rings

Zunächst sollte man sich für eine Nutform entscheiden. Hierfür ergeben sich im Wesentlichen die in Grafik 3.28 gezeigten Möglichkeiten. Spezielle Formen, wie z.B. die Trapeznut werden eingesetzt um den O-Ring vorfixieren zu können und somit Montagen über Kopf zu gewährleisten.

Von geteilten Nuten ist grundsätzlich abzuraten. Um die Konstruktion so einfach wie möglich und den Fertigungsaufwand minimal zu halten, bietet sich hier ein Rechteckraum an. Die Montage geschieht einfach durch Einsetzen des Rings in die Nut und dem Verpressen durch den aufgelegten Deckel. Die aufgebrachte Verpresskraft ergibt sich zum Einen aus der Druckdifferenz der abgetrennten Medien und zum Anderen durch Kraft der Schrauben auf dem Kammerumfang.

Durch das überkreuzte, schrittweise Anziehen dieser Schrauben, lässt sich eine schonende und effektive Abdichtung realisieren. Durch Evakuieren der montierten Kammer, kann mittels der integrierten Druckanzeige der an P03 eingesetzten Pumpstände direkt die Qualität des erreichten Vakuums beurteilt werden. Ein Wert im Bereich 10^{-7} mbar wäre ein schönes Ergebnis. Nachdem sich die Komponenten durch das Abpumpen gesetzt haben, sollten die Verschraubungen kontrolliert und ggf. nachgezogen werden.

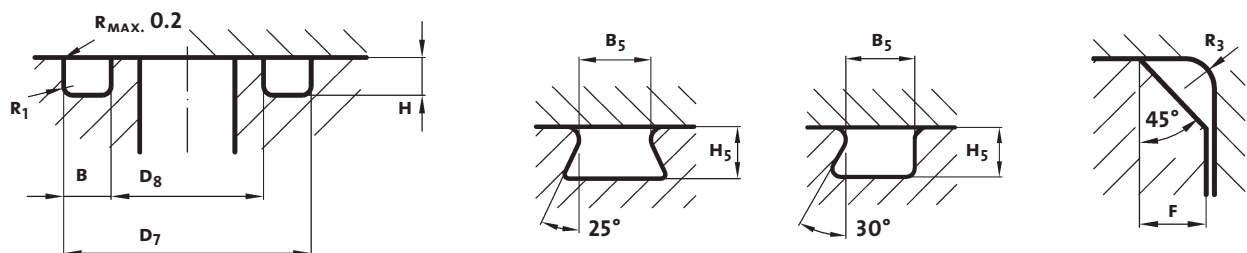


Abbildung 3.28: Nutraumgestaltung: links: Rechteckraum, mittig: Trapezraum, rechts: Dreieckraum

Mit festgelegter Nutform gilt es jetzt den Innendurchmesser der Nut D_8 grob zu ermitteln. Dieser wurde zunächst nach Skizze 3.25 mit kleinem Abstand zur Kammeröffnung eingetragen. Dabei wurden die Radien mit 10 mm angenommen. Für die langen Seiten ergeben sich Strecken von jeweils $a = 248 \text{ mm}$ und für die kurzen Strecken $b = 66 \text{ mm}$. Der Umfang U dieser inneren Nutraumkontur ergibt sich aus

$$U = 2\pi * R + 2 * a + 2 * b \quad (3.8)$$

zu 691 mm .

Demzufolge ergibt sich für den Innendurchmesser D_8 der Nut

$$D_8 = \frac{U}{\pi} \quad (3.9)$$

$$D_8 = 220\text{mm} \quad (3.10)$$

Der Innendurchmesser der Nut wurde durch iteratives Anpassen der Strecken a bzw. b so ausgelegt, dass sich ein ganzzahliger Wert, hier 220mm ergibt.

Bevor die Nuttiefe festgelegt wird, wählt man zunächst einen O-Ring aus. In diesem Fall handelt es sich um einen axialen, statisch beanspruchten Einbau. Dabei muss allgemein beachtet werden, dass die Schraubenkräfte nicht nur den Systemdruck, sondern auch die Kraft für die O-Ring-Verpressung übersteigen müssen. In diesem Fall hat der Systemdruck die gleiche Richtung wie die Schraubenkräfte. Daher wird empfohlen nach dem Setzen, die Schrauben ggf. nachzuziehen. Bei einem Druck von außen empfiehlt der Hersteller den O-Ring-Innendurchmesser d_1 ca. 1 bis 3 % kleiner zu wählen als den Nutinnendurchmesser D_8 . Der O-Ringinnendurchmesser d_1 ist daher im Bereich von $213,4\text{bis}217,8\text{mm}$ wählbar. Gewählt wird hier:

$$d_1 = 215,27\text{mm} \quad (3.11)$$

Außerdem soll ein O-Ring mit genau 220mm Innendurchmesser bestellt werden, um das Dichtverhalten praktisch vergleichen zu können.

Als passende Schnurstärke d_2 wird aus der Herstellerliste 5mm für den größeren und $5,33\text{mm}$ für den kleineren O-Ring gewählt.

Die Grenzwerte für die max. und min. prozentuale Verpressung von d_2 nach DIN 3771/5 sind im Diagramm 3.29 in Abhängigkeit der Schnurstärke eingezeichnet.

Bei dem O-Ring mit $5,33\text{mm}$ Schnurstärke ergibt sich demnach eine verpresste O-Ringlänge in Druckrichtung von $4,8\text{mm}$ bei einer Verpressung von 10% und $4,3\text{mm}$ bei 20% Verpressung.

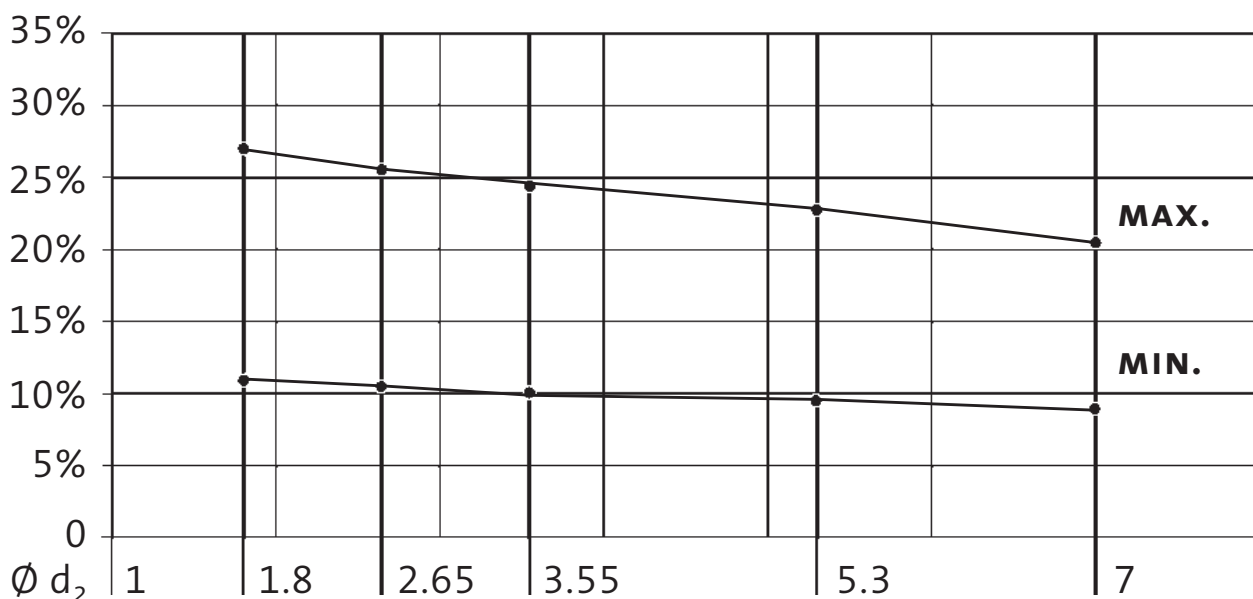


Abbildung 3.29: Verpressungen der O-Ringe nach DIN 3771/5, innendichtend und statisch beansprucht

Die Gestaltung der Nut ist von mechanischen und stofflichen Eigenschaften abhängig und wird von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich angegeben. In unserem Falle handelt es sich um eine statisch

beanspruchte axiale Dichtung mit den Medien Vakuum bzw. Gas. Die Tabelle 3.10 ist ein Auszug des Technischen Handbuchs für die O-Ring Nutgestaltung.

Tabelle 3.10: Schnurstärke und NutQuerschnitt

Schnurstärke	Nutbreite	Nuttiefe
5mm	5,7mm	4mm
5,33mm	6,05mm	4,26mm

[6]

In dieser Tabelle sind die empfohlenen Parameter für die Nuttiefe und -breite mit einer Toleranz von $\pm 0,13mm$ angegeben. Die Eckradien werden mit jeweils $0,7mm$ vorgeschlagen. Die Angabe der Nuttiefe beinhaltet hierbei schon das Spaltmaß, welches beim Abdichten zwischem dem Deckel und der Kammer entsteht. Die Nuttiefe gibt also die gepresete Länge in Druckrichtung des O-Rings wieder. Die Wahl der Nuttiefe $4,62mm$ liegt innerhalb der vorgegebenen Verpressungsgrenzen, wobei die Verpressung von knapp 20% erfolgt.

Unter Berücksichtigung dieser Informationen wird eine Nut mit einer Tiefe von $3,52mm$ in die Kammer eingefräst. Demzufolge ergibt sich ein Spaltmaß von $0,74mm$.

Die Nutbreite liegt bei einer Wahl von $6mm$, aufgrund der Anwendung im HV, etwas enger als empfohlen, innerhalb der angegebenen Toleranz.

3.5.4.3 Der Kammerdeckel

Wie sich im Kapitel 3.5.5 herausstellen wird, ist es für eine optimale magnetische Kraftübertragung notwendig, den Kammerdeckel in dem möglichen Bereich der magnetischen Kopplung sehr dünnwandig zu gestalten. Dies ist durch eine vakuumseitig eingefräste Tasche in den Kammerdeckel realisiert.

Der Kammerdeckel besitzt allgemein ebenso wie die Vakuumkammer eine Wandstärke, welche als unbedenklich vorausgesetzt werden kann. Im Bereich der Tasche jedoch ist die kritischste Stelle mit einer Wandstärke von 0,5 mm. Außerdem befinden sich im unmittelbaren Umfeld dieser Tasche weitere Aussparungen welche als Anschläge und Freiraum für die eingebrachten Führungen dienen.

Außerhalb der Kammer herrscht ein Umgebungsdruck von $100kPa$ bzw. $0,1MPa$ ¹⁵ dem im inneren der Vakuumkammer kein Druck entgegen wirkt. Um auszuschließen, dass in Folge dieses Druckgefälles funktionsbeeinträchtigende Verformungen oder gar ein Werkstoffversagen auftritt wird der Deckel an dieser Stelle einer FEM Untersuchung unterzogen.

Damit das FEM Programm brauchbare Ergebnisse liefert, müssen zunächst alle Randbedingungen gründlich festgelegt werden. Dabei kann man hier davon ausgehen, dass ein Kriechen aufgrund hoher Temperaturen ebenso auszuschließen ist, wie wechselnde Belastung. Maximal kommt es bei der Anwendung in Folge von Belüftungs- und Evakuiervorgängen zu einer schwellenden Belastung. Da dieses aber nicht sehr häufig zu erwarten ist, wird hier ein statischer Ansatz zu Grunde gelegt.

¹⁵Genaugenommen sind es auf der Erdoberfläche $101,3kPa$, was $1013mbar$ entspricht.

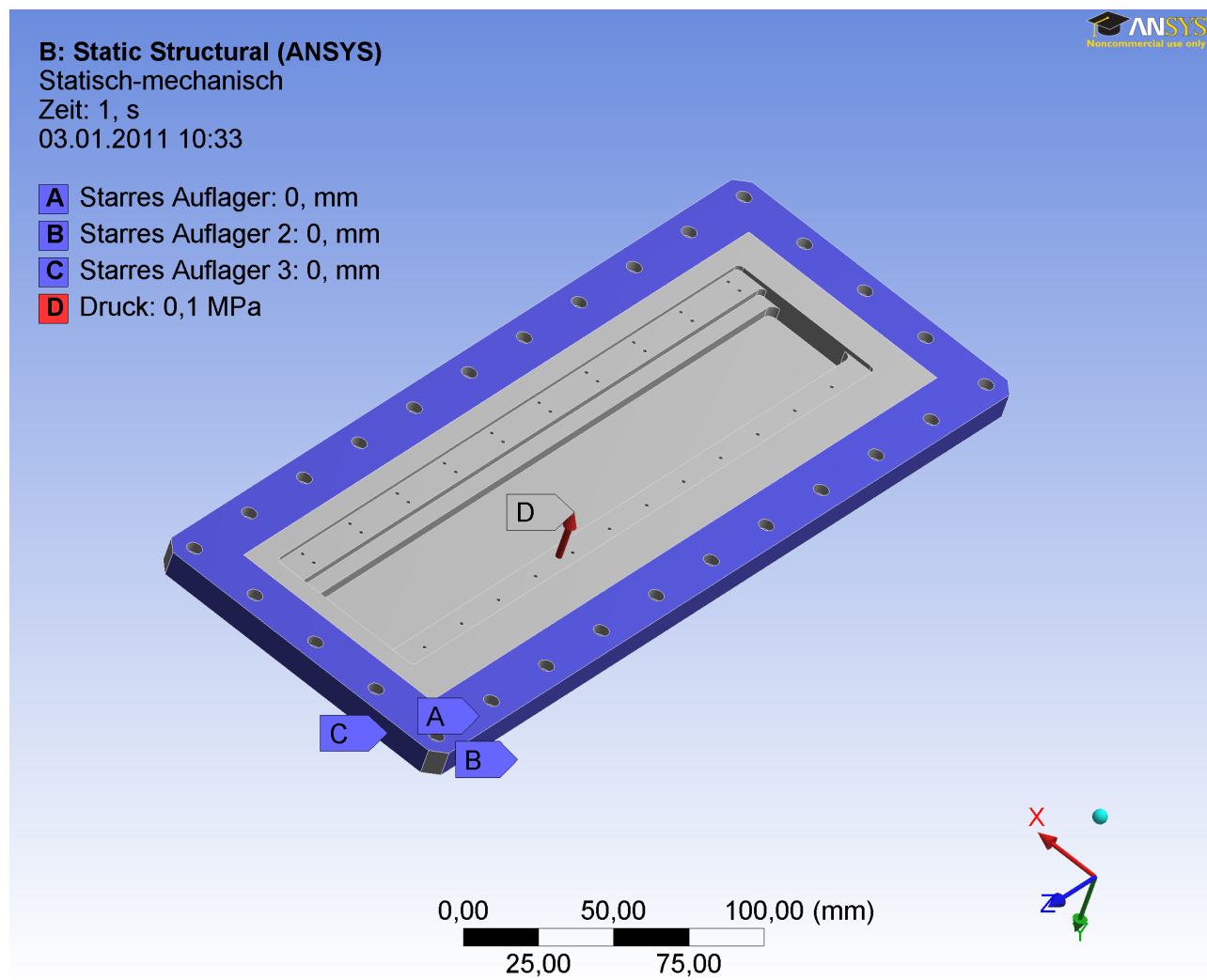


Abbildung 3.30: Randbedingungen: Lagerung und Krafteinleitung

In der Abbildung 3.30 sind die Randbedingungen eingetragen, welche den folgenden Berechnungen zu Grunde liegen. Der Deckel liegt mit der *blau gekennzeichneten* Fläche „A“ auf der Vakuumkammer auf. Diese Fläche wurde mittels einer minimalen Ausprägung von ca. 0,2mm zusätzlich auf dem FEM Modell erzeugt. Dieser kleine Eingriff erlaubt es, das Modell mit dem FEM Programm „Ansys“ zu berechnen und gibt die reale Auflagerfläche nahezu unverfälscht wieder.

Des Weiteren fordert das Programm eine Festlegung der anderen beiden räumlichen Freiheitsgrade. Dies ist durch jeweils ein Festlager an den Flächen B (rechte Seitenfläche) und C (untere Seitenfläche) realisiert. Die statische Beanspruchung wird mittels eines Druckes, luftseitig auf die Deckeloberfläche eingebracht. Der angreifende Druck, gekennzeichnet durch den Vektor D, wirkt senkrecht zu der Fläche „A“. Des Weiteren wird dem Modell der Werkstoff Edelstahl zugewiesen. Dieser Werkstoff eignet sich, da er paramagnetisch ist und zudem einen hohen E Modul aufweist. Außerdem ist er im eingesetzten Medium rostfrei und bietet eine kostengünstige alternative zu Titan.

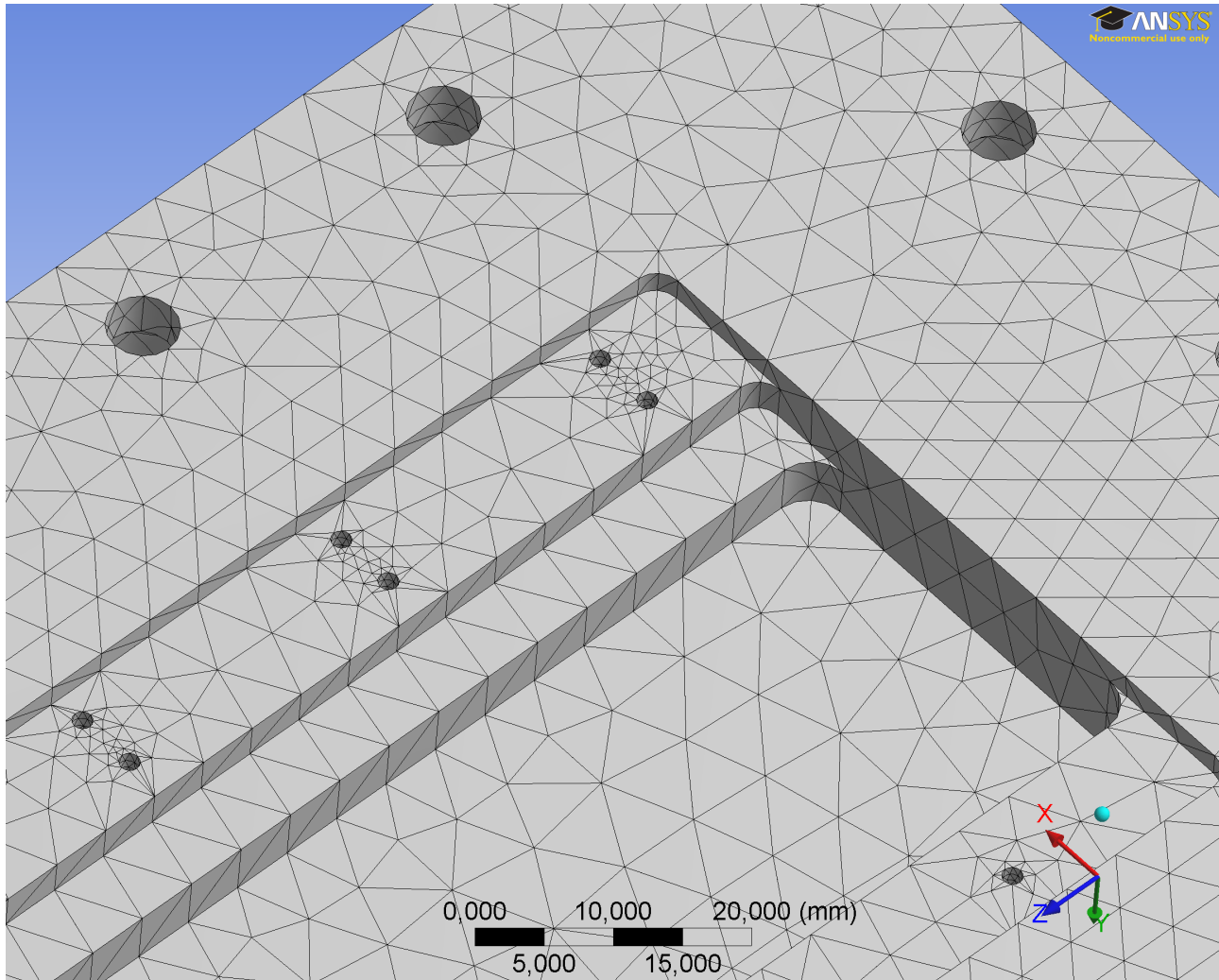


Abbildung 3.31: Vernetzung des Modells

Unter Berücksichtigung der angegebenen Parameter generiert das FEM Programm ein mechanisches Modell, indem es die Geometrie in eine Netzstruktur umwandelt und jedem Netzelement entsprechende mechanische und stoffliche Eigenschaften zuweist. Bei dem hier verwendeten Elementtyp handelt es sich um Prismen. Detaillierte Angaben zu allen modellspezifischen Parametern sind im Anhang in Form eines Simulationsberichtes zu finden.

Das Bild 3.31 zeigt die Vernetzung des Modells. Man erkennt die Prismenelemente und beobachtet die Verfeinerung der Struktur an den Bohrungen. Dieses übernimmt das Programm automatisch. Dadurch werden auch kleinere Strukturen aufgelöst und dementsprechend mit berücksichtigt.

Die Bilder 3.32 a und b zeigen übertrieben die Verformung des Deckels an. Die maximale Verformung findet, wie auch zu erwarten war, in der Mitte der Ausfräsung statt. Der Wert beträgt hier ca. $0,07\text{mm}$. Luftseitig wirkt sich diese Verformung positiv auf die Konstruktion aus, sich der Abstand zum äußeren Magnethalter vergrößert und das „Schleifen“ unwahrscheinlicher wird. Vakuumseitig ist genau dieser Effekt unförderlich, da sich der Abstand zum inneren Magnethalter verkleinert. Dieser befindet sich in einem Abstand von $0,5\text{mm}$ zur Innenwand der Tasche. Unter Berücksichtigung der Durchbiegung würden aber immer noch gute $0,4\text{mm}$ Luft bzw. Vakuum bleiben, bevor der Halter an den Deckel kratzt.

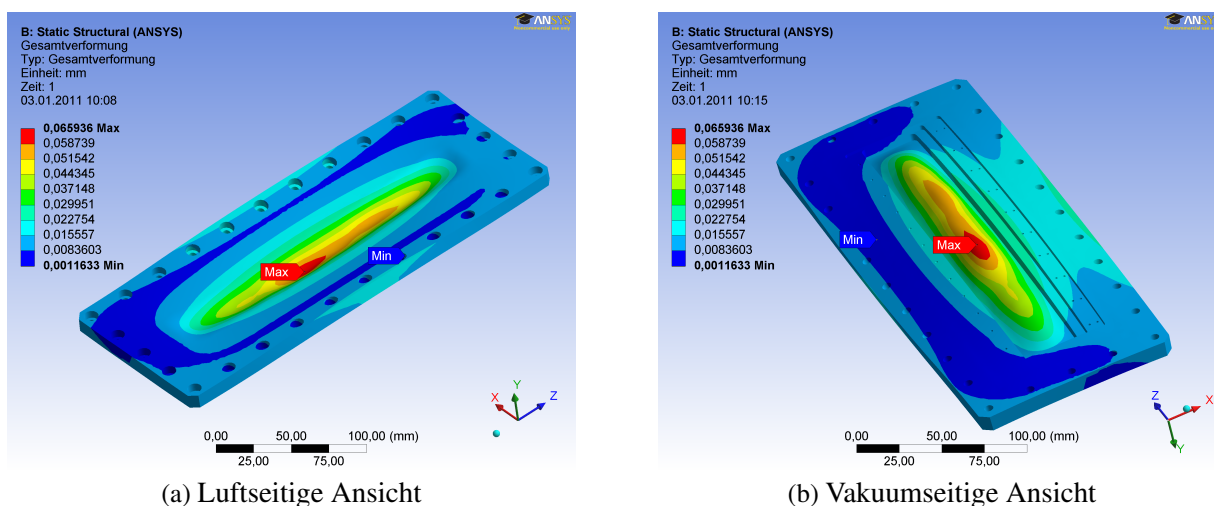


Abbildung 3.32: Darstellung der Deckeldurchbiegung

In den Abbildungen 3.33 a und b sind die Von Mises Vergleichsspannungen des Deckels dargestellt. Die größte Spannung herrscht mittig, entlang der eingefrästen Tasche. Außerdem sind leichte Spannungserhöhungen an den vier Eckbereichen der Ausfräsung zu erkennen. Mit Hilfe dieser Informationen über den Spannungsverlauf, ist das FEM Programm in der Lage die Sicherheit des Bauteiles gegen Werkstoffversagen zu berechnen. Das Werkstoffversagen tritt beim Erreichen der Streckgrenze im Spannung- Dehnungsdiagramms ein und würde bei dessen Überschreitung eine irreversible Verformung hinterlassen.

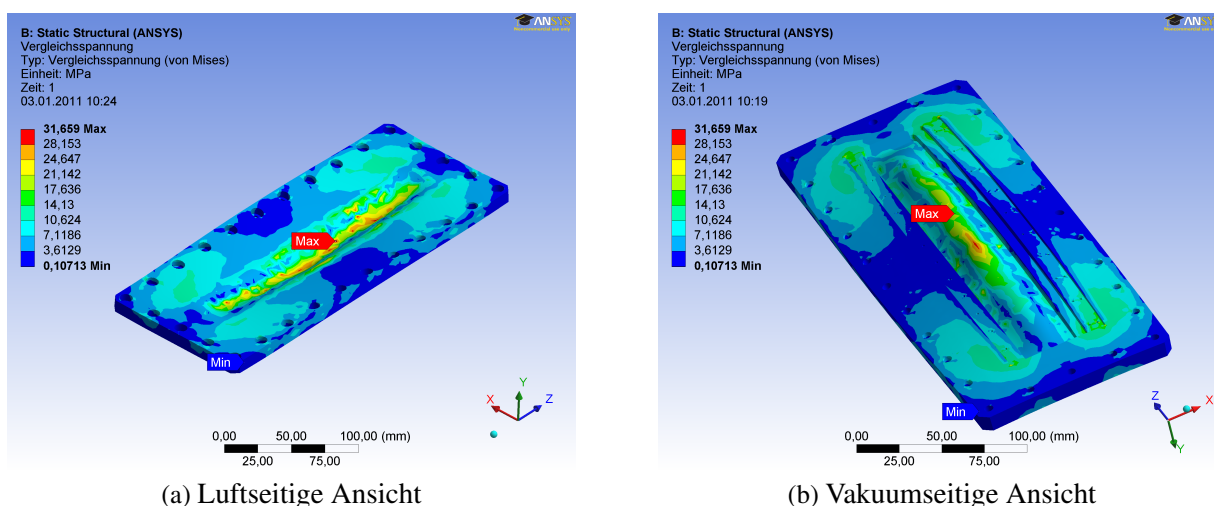


Abbildung 3.33: Von Mises Vergleichsspannungen des Belasteten Deckels

Die Sicherheit des Frästeils wird in den Bildern 3.33 a und b veranschaulicht. Es ist ein überwiegend *blau gekennzeichneteter* Bereich zu erkennen. Dieser ist mit einer Sicherheit von 15 völlig unbedenklich. Entlang der Tasche ist, der kritischste Bereich *grün gekennzeichnet*. Hier wird eine minimale Sicherheit von 6,5 errechnet. Dieser Wert ist allerdings auch noch als vollkommen unbedenklich einzustufen, zumal in der Anwendung keine höhere äußere Belastung zu erwarten ist.

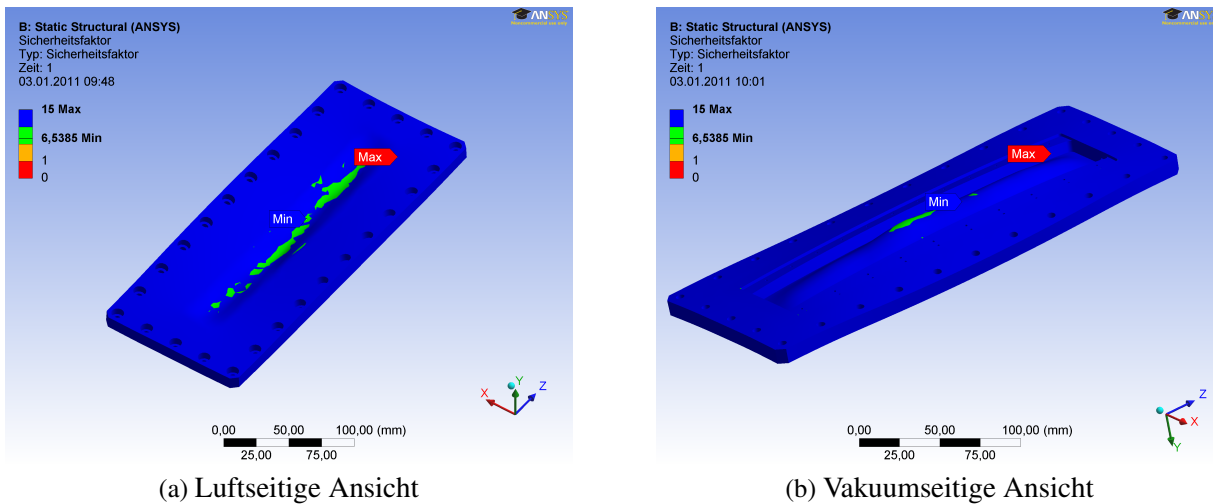


Abbildung 3.34: Sicherheit gegen Werkstoffversagen

Das Ergebnis bestätigt die Machbarkeit dieser kritisch beurteilten Stelle. Um das Versagen des Werkstoffes muss sich nicht gesorgt werden. Bei der Verformung muss darauf geachtet werden, dass sich der Deckel um $\frac{7}{100}mm$ nach innen biegen wird. Der vakuumseitige Magnethalter muss daher in ausreichendem Abstand zum Deckel geführt werden um ein „Schleifen“ zu verhindern. Luftseitig hingegen wirkt sich die Durchbiegung dementsprechend positiv auf solche Effekte aus.

Luftseitig ergibt sich aber ein anderes Problem: Der Kammerdeckel wurde im CAD Modell direkt auf die Vakuumkammer gelegt. Damit die dazwischen eingesetzte O-Ringdichtung funktioniert, besteht in der Realität ein kleiner Luftspalt, dessen Größe von der Verpressung abhängt und mit $0,74mm$ abgeschätzt wurde. Es gibt viele Konstruktionen, bei denen diese minimale Abweichung einfach zu vernachlässigen ist.

In diesem Fall jedoch bewegt sich der äußere Magnethalter in einem Abstand von $0,5mm$ über dem Kammerdeckel. Nach unserer Abschätzung würde er also schon mit dem Deckel kollidieren.

Der Sachverhalt ist der der Abb. 3.35 mit Blick von oben auf die Kammer veranschaulicht.

Eine ideale Abhilfe schafft die durchdachte Gestaltung des Verbindungswinkels. Dieser besitzt, wie man der Abb.3.36 a entnehmen kann, zwei Anschläge. Der Anschlag (1) dient der einfachen und genauen Montage der kleinen LE.

Der Anschlag gewährleistet eine senkrechte Montage an dem Schlitten der großen LE. Die Montage ist in der Abb. 3.36 b zu entnehmen. Die Bohrungsdurchmesser des Winkels auf der Anschlagseite 2 sind, wie es üblich ist, etwas größer als der verwendete Schraubendurchmesser gewählt.¹⁶ Dadurch ergibt sich genau ein einstellbarer Freiheitsgrad entlang des Anschlags (2). Dadurch kann man nach dem Verpressen der Dichtung den Abstand des Magnethalters mit einer $0,5mm$ dicken Distanzplatte unkompliziert an den **tatsächlich** entstandenen Dichtspalt anpassen.

¹⁶Aufgrund der kleinen Ausgleichslänge wurde auf die Fertigung von Langlöchern verzichtet.

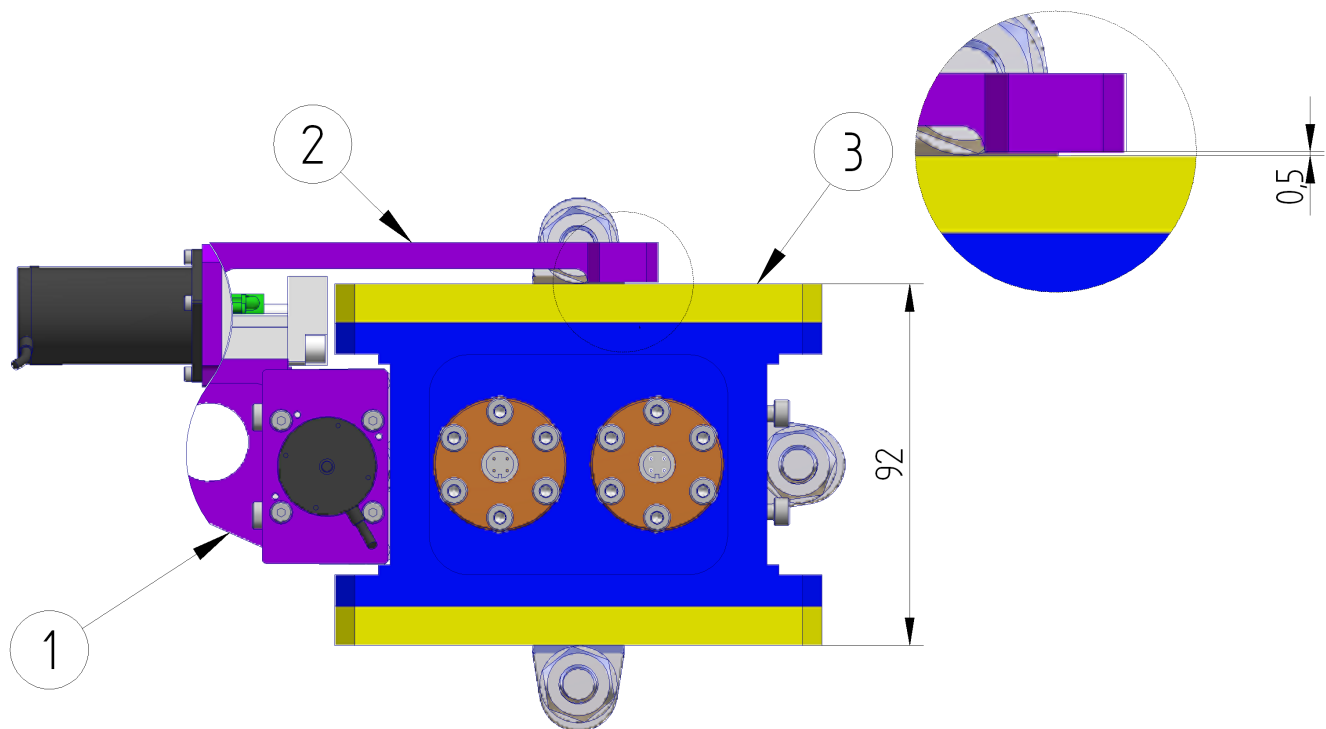
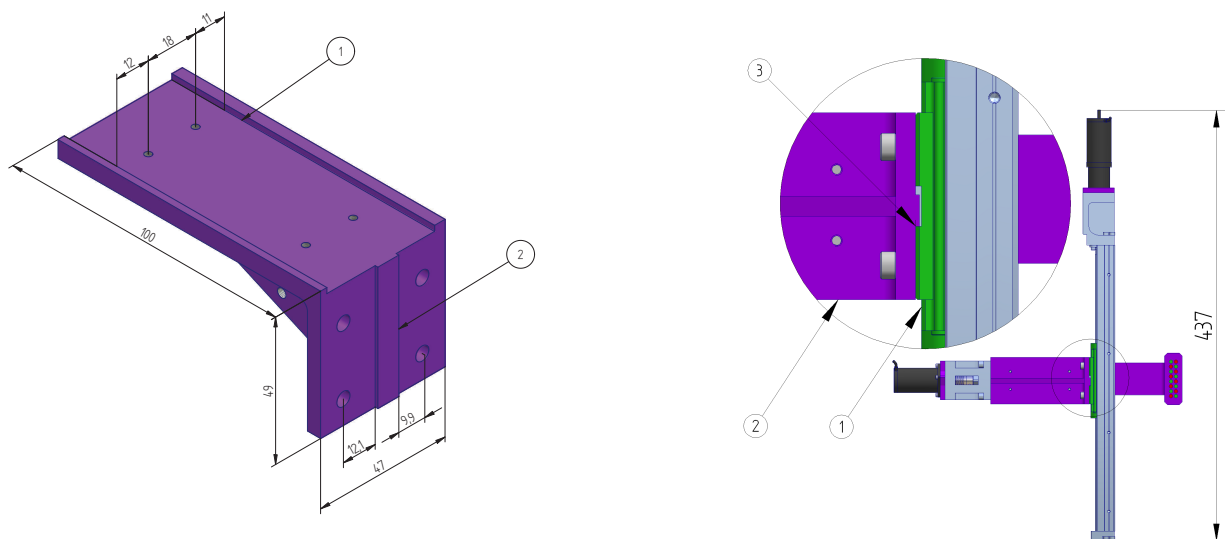


Abbildung 3.35: Zusammenspiel von Dekel und Magnethalter

(a) Verbindungswinkel mit Ausgleichs-
anschlügen

(b) Vakuumseitige Ansicht

Abbildung 3.36: Ausgleichsmöglichkeit am LE

3.5.5 Bewegungsübertragung ins Vakuum

Die in der Funktionsstruktur dargestellte Teilfunktion “Bewegungsübertragung ins Vakuum“ wird wie im Konzeptentwurf dargestellt, durch eine magnetisch gekoppelte Kraftübertragung von der Luftseite in das Vakuum realisiert. Als Abschirmung des Vakuums dient, wie im vorherigen Kapitel besprochen, eine Vakuumkammer, welche mittels Kammerdeckel und einer O-Ring Dichtung für eine ausreichende Abschirmung des Vakuums zur Atmosphäre sorgt.

Im Folgenden wird die magnetische Anziehungskraft ermittelt. Diese Kraft ist eine wichtige Größe bei der Festlegung der Führungen und auch für die Antriebsauslegung, wie sie in Kapitel 3.5.3 durchgeführt wurde, kam der hier bestimmte Wert zum Tragen.

Abgesehen davon, dass diese Anziehungskraft von der Mechanik aufgenommen werden muss hängt auch die maximal positionierbare Masse von der Stärke dieser Kraft ab.

Magnete, genauer: magnetische Dipole, üben aufeinander und auf Eisen, Nickel, Cobalt, sowie verschiedene Legierungen Kräfte aus. Es gibt keine magnetischen Monopole. Jeder Magnet ist ein magnetischer Dipol. Jede Teilung eines Magneten führt zu zwei Magneten, die beide wieder Nord- und Südpol haben.

Wie bei elektrischen Dipolen gilt: gleichnamige Pole stoßen sich ab, ungleichnamige Pole ziehen sich an. Die magnetischen Kräfte wirken über große Entfernungen¹⁷, auch wenn sich die Magnete im Vakuum befinden.

Die Magnetische Flussdichte, oder magnetische Induktion, \vec{B} , ist eine vektorielle Größe, ihr Betrag gibt die Stärke des Magnetfeldes an. Die Richtung ergibt sich aus der Ausrichtung eines Probemagneten und zeigt vom Südpol des Probemagneten zu seinem Nordpol.

Dauermagnete werden in den unterschiedlichsten Formen und Größen auf dem Markt angeboten. Sie bestehen aus metallischen Legierungen aus Eisen, Nickel und Aluminium mit Zusätzen aus Cobalt, Mangan und Kupfer oder auch keramischen Werkstoffen wie Barium- bzw. Strontiumhexaferrit. Besonders starke Magnete werden im Sinterverfahren aus seltenen Erden¹⁸ hergestellt, wie zum Beispiel Samarium-Cobalt oder Neodym-Eisen-Bor. Als besonders geeignet für derartige Anwendungen haben sich Neodymmagneten erwiesen, da sie im Vergleich zu anderen Permanentmagneten und auch Elektromagneten hohe magnetische Kräfte bei verhältnismäßig kleiner Masse aufbringen können. Insbesondere der Magnet NdFeB (360/95) Vacodym** 510 HR der Fa. IBS Magnet zeichnet sich als sehr wirkungsvoll aus.

Die technischen Daten dieses Magnetwerkstoffes zeigt die Tabelle 3.11

Tabelle 3.11: Kennwerte des Magnetwerkstoffes: NdFeB (360/95)

BH_{max}	360 – 385kJ/m ³
Br	1380 – 1410mT
j_{HC}	950 – 1030kA/m
B_{HC}	915 – 980kA/m

In der Abb. 3.37 ist die magnetische Flussdichte in Abhängigkeit des Abstands von der Magnetoberfläche dargestellt. Bei der *blauen* Kurve handelt es sich um einen Rundmagneten mit einem Durchmesser von 4mm und einer Länge von ebenfalls 4mm. Die *rote* Kurve beschreibt das Verhalten des

¹⁷Die Kraft nimmt allerdings mit zunehmenden Abstand exponentiell ab.

¹⁸Als seltene Erden oder auch Lanthanoide bezeichnet man die 14 auf Lanthan folgenden Elemente im Periodensystem. Diese weisen im Vergleich zu allen übrigen Elementen einen andersartigen Atomaufbau auf, was zu den starken magnetischen Eigenschaften von z.B. Neodym führt.

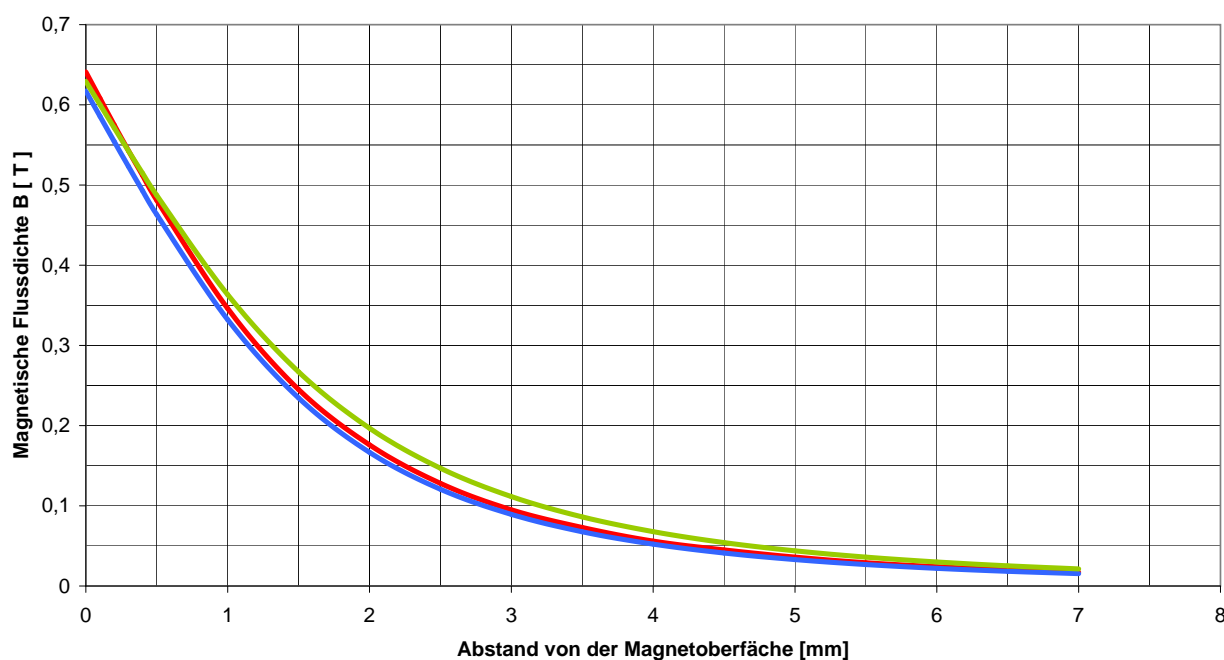


Abbildung 3.37: Magnetische Flussdichte über dem Abstand

gleichen Magneten mit einer Länge von 5mm . Grün dargestellt ist die Flussdichte eines Quadermagneten mit einer Polfläche von $4 \times 4\text{mm}$ und einer Länge von 5mm . Die Quadermagneten liefern durchschnittlich eine geringfügig höhere Flussdichte, sind aber fertigungstechnisch aufwendiger in die Magnethalter zu integrieren. Daher sollen hier Rundmagneten zum Einsatz kommen.

Der schnell absinkende Verlauf der Kurven zeigt die Notwendigkeit von kleinen Abständen, die bei der Konstruktion gewählt werden müssen, um noch einen ausreichend starken Fluss und die damit verbundene Kraft zu erhalten. In $1,5\text{mm}$ Entfernung zur Polfläche des Rundmagneten mit 5mm Länge beträgt die magnetische Flussdichte noch $0,245\text{T}$.

Wie im Entwurf beschrieben, handelt es sich in diesem Fall um eine spezielle Magnetanordnung, wobei sich immer zwei Stabmagnete gegenüberstehen, vgl. Abb. 3.38.

Wenn sich zwei identische Rundmagnete gegenpolig d.h. anziehend parallel gegenüberstehen, **verdoppelt** sich der Wert B_x für den Punkt P.[4]

Der Referenzpunkt P befindet sich exakt auf der Mitte der Verbindungsachse beider Magneten wie in Abb. 3.38 dargestellt. Aus dem Diagramm 3.37 erhält man für einen 4×4 Stabmagneten *blaue Kurve im Diagramm 3.37* im Abstand $P = 0,75\text{mm}$ eine Flussdichte von $0,39\text{T}$. Somit ergibt sich die Flussdichte B_P eines Magnetpaares zu $0,78\text{T}$.

Nach dem Grundprinzip „Actio gleich Reactio“ ergibt sich nach der Gleichung 3.12

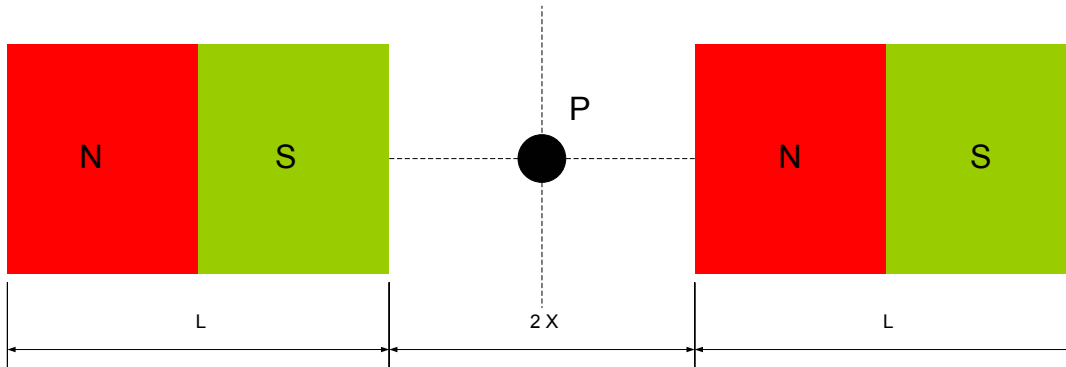


Abbildung 3.38: Verdopplung der magnetische Flussdichte

$$F = \frac{1}{2\mu} B^2 A \quad (3.12)$$

für beide Magneten eine Anziehungskraft von ca. 3N, jeweils in Richtung des Punktes P.

Die Permeabilität μ setzt sich dabei aus dem Produkt der magnetischen Feldkonstante

$$\mu_0 = 0,4\pi 10^{-6} \text{Vs/Am} \quad (3.13)$$

und der dimensionslosen Permeabilitätszahl

$$\mu_r \approx 1 \quad (3.14)$$

zusammen.

Die gesamte Magnetanordnung sieht insgesamt 32 Magneten, also 16 Magnetpaare vor. Unter Vernachlässigung aller durch Wechselwirkung der Magneten verursachten Effekte, ergibt sich eine Kraft von ca. 48 Newton, im Falle des 4 X 4 Rundmagneten welche auf beide Magnethalter in Richtung des Punktes P wirkt.

In der Abb. 3.39 ist die Anordnung des inneren (1) und des äußeren Magnethalters (2) veranschaulicht. Hier sind im Gegensatz zur Berechnung die einen Millimeter längeren Stabmagnete verbaut. Durch diese Option können in der Praxis etwas höhere Kräfte übertragen werden, bzw. eventuelle nicht berücksichtigte Verluste aufgefangen werden.

In der Draufsicht 3.40 wird die überkreuzte Anordnung der Magneten sichtbar. Dadurch soll ein „Überspringen“ auf einen benachbarten Magneten in beide Positionierungsrichtungen verhindert werden.

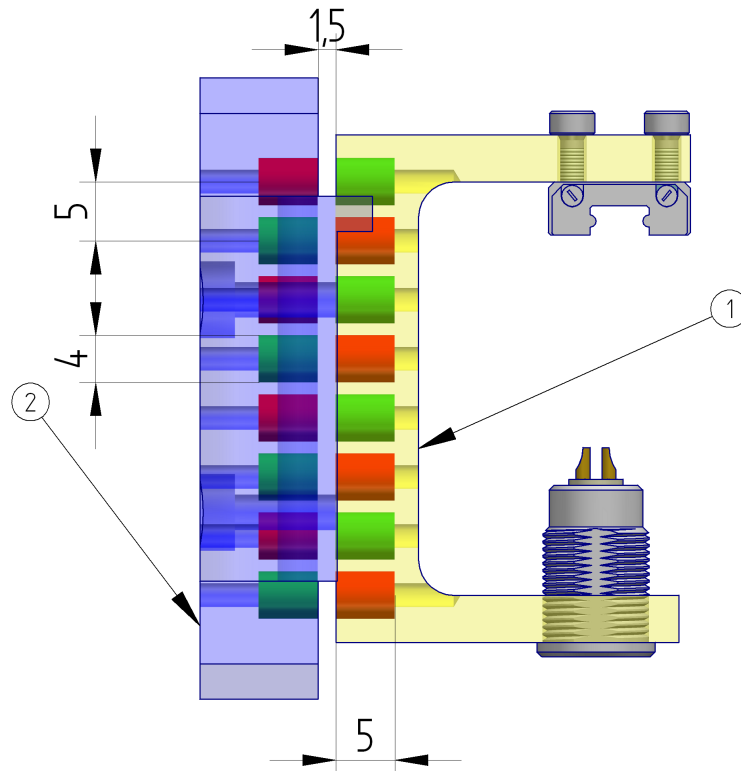


Abbildung 3.39: Übertragung der Magnetkraft

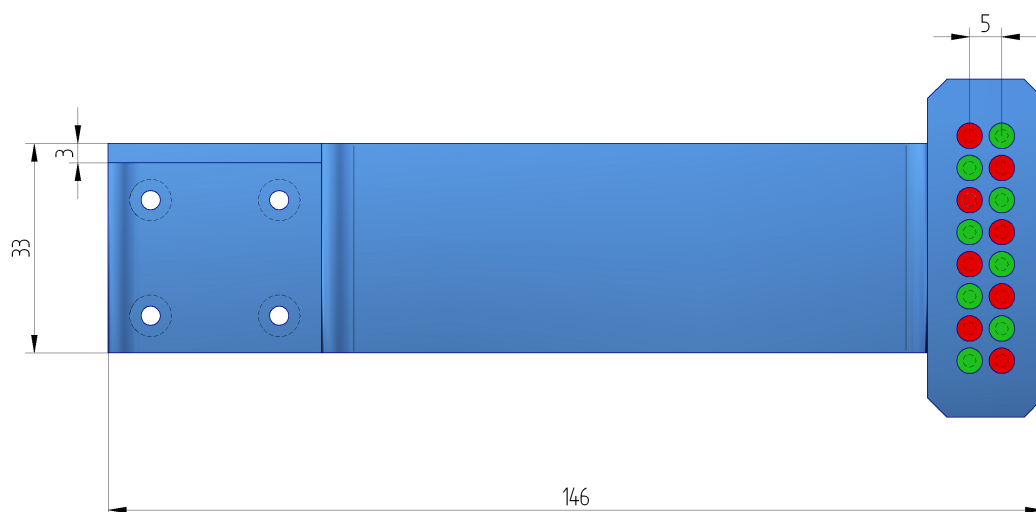


Abbildung 3.40: Anordnung der Magnete

Fixiert werden die Magneten durch Einpressen. Eine zusätzliche Sicherheit gegen das „Herausziehen“ der Magnete könnte durch nachträgliches Setzen von Körnerpunkten zwischen den Magneten gegeben werden. Hier müsste dann aber ggf. die Oberfläche nachgelättet werden, damit es nicht zum „Schleifen“ kommt.

3.5.6 Das Kopplungssystem

Als nächstes soll anhand des Bildes 3.41 die Baugruppe Kopplungssystem erläutert werden. Der in Kapitel 3.5.4.3 an einem FEM Modell überprüfte Kammerdeckel stellt gleichzeitig die Grundplatte (1) des „Kopplungssystems“ dar. Ein langes Führungssystem (2) bestehend aus einer Schiene und einem Führungswagen ist über einen Anschlag, entlang der Bewegungsrichtung mit dem Deckel verschraubt. Als Schrauben sind hier spezielle Vakuumschrauben mit einer Entlüftungsbohrung vorgesehen. Die Position (3) ist ebenfalls ein Führungssystem, welches durch einen geeigneten Halter im Winkel von 90° auf dem ersten Führungswagen angebracht ist. Die Montage wird hier ebenfalls durch einen Anschlag in Führungsrichtung erleichtert.

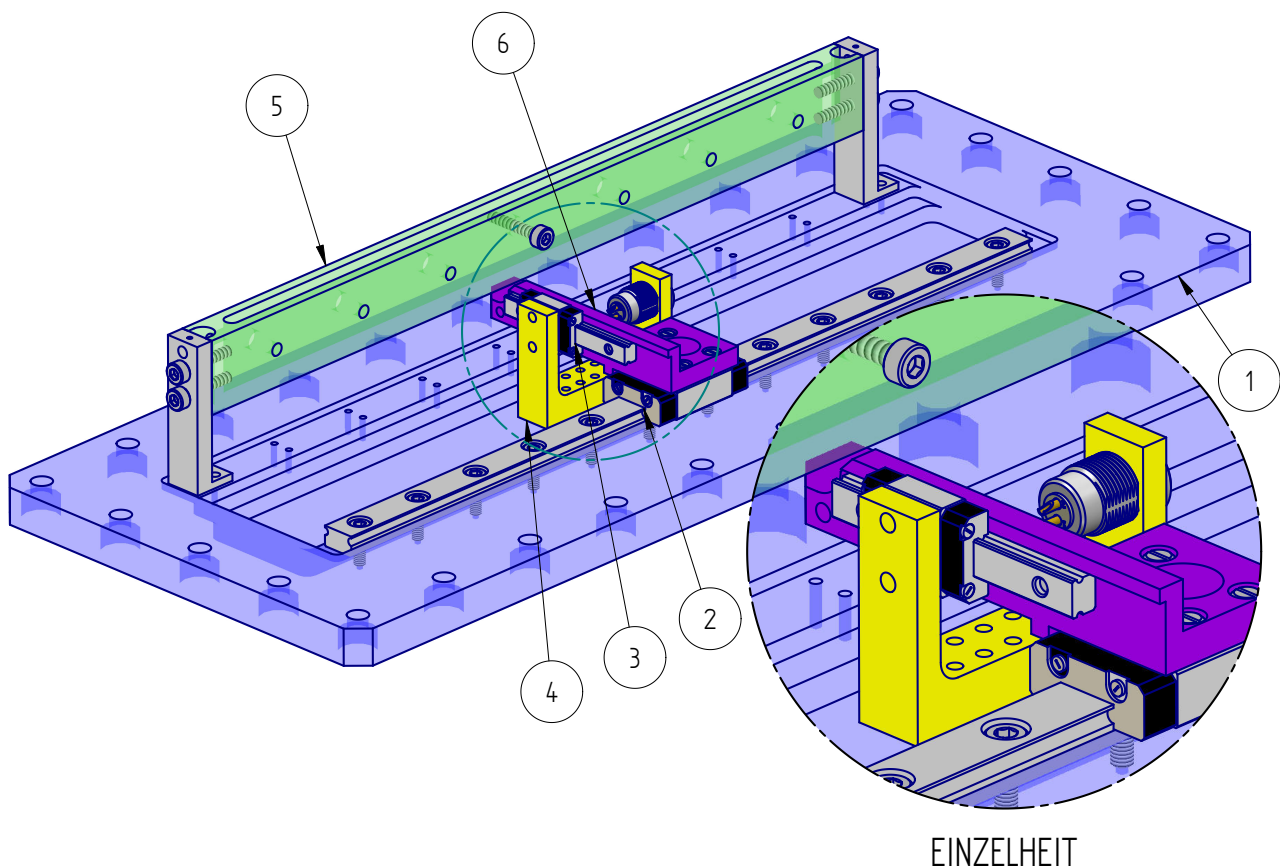


Abbildung 3.41: Übersicht der Baugruppe „Kopplungssystem“

3.5.6.1 Auslegung der Führungen

Das Kopplungssystem beinhaltet zwei Linearführungen. Für die erste Auswahl dieser Führungen war die Baugröße maßgebend. Es wurden die Führungen mit der Bezeichnung Miniatur Linear Guide der Fa. Misumi in zwei verschiedenen Baugrößen H eingesetzt. Für die kürzere Führung wurde aus Platz- und Gewichtgründen die kleinste Baugröße 6 eingesetzt. Da diese nur bis zu bestimmten Schienenlängen angeboten wird, kommt für die lange Führung nur die drittkleinste Baugröße 10 in Frage. Ein Datenblatt dieser Führungen liegt im Anhang bei. Die wichtigsten Daten zur Berechnung sind in der Tabelle 3.12 aufgelistet.

H	C Dynamisch [kN]	C_0 Statisch [kN]	M_A [Nm]	M_B [Nm]	M_C [Nm]
6	0,3	0,6	0,8	0,8	1,5
10	1,5	2,5	5,1	5,1	10,2

Tabelle 3.12: Technische Daten der Führungen

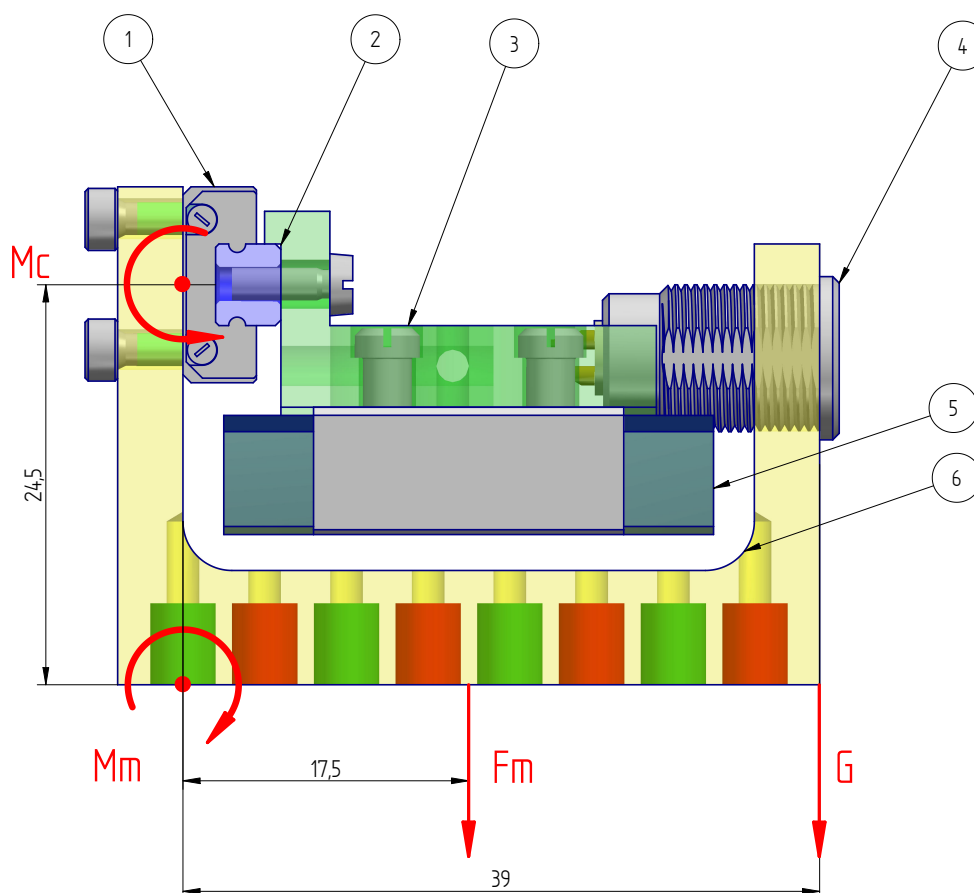


Abbildung 3.42: Mechanischer Zusammenhang der kleinen Führung

Die Abb. 3.42 zeigt die wesentlichen mechanischen Einflüsse auf die kleine Führung. Dabei soll die rechts eingetragene Gewichtskraft anfangs noch nicht berücksichtigt werden. Die Anziehungskraft der Magneten ist als Punktlast im Mittelpunkt der Magnetreihe zusammengefasst. Diese Kraft bewirkt nach der Gleichung 3.15 ein Moment M_m auf den im Abstand l von $17,5\text{mm}$ entfernten Punkt. Für die Bezeichnung der Momente gilt analog zu den Lineareinheiten verwendete Grafik vgl. 3.17.

$$M_m = l * F_m \quad (3.15)$$

Dieses beträgt $0,84\text{Nm}$. Das Moment befindet sich auf der selben Ebene wie das Moment M_c , welches von der Führung aufgenommen werden kann. Hier gilt:

$$\sum M_i = 0 \quad (3.16)$$

Daher beträgt das Moment, welches auf die Führung wirkt, ebenfalls $0,84Nm$. Vergleicht man diesen Wert mit dem Maximalwert in Tabelle 3.12 ergibt sich eine Sicherheit S unter dieser Belastung von:

$$S = \frac{M_{c_{zul.}}}{M_{c_{vorh.}}} = 1,8. \quad (3.17)$$

Diese sollte vernünftigerweise bei der Prototypenkonstruktion vorerst nicht weiter ausgereißt werden, um Einflüsse von vernachlässigten Parametern abzufangen.

Damit ist festgestellt, dass die gewählte Führung grundsätzlich unter der hier beschriebenen Belastung arbeiten kann. In der hier gezeigten Anordnung, würde sich durch die bislang nicht berücksichtigte Gewichtskraft des Magnethalters samt Magneten, Stecker und auch der angeschlossenen Arbeitseinrichtung, ein höheres vorhandenes Moment M_c einstellen.

Die Einbindung der Gewichtskraft geschieht daher gesondert, weil die hier dargestellte Einsatzlage *horizontal* nicht vorrangig vorgenommen wird, jedoch möglich sein soll.

Vorzugsweise ist geplant, das Device in vertikaler Lage einzusetzen. Dabei ergibt sich überwiegend eine einfache statische Belastung durch die Gewichtskraft.¹⁹ Um aber die Option der horizontalen Einsatzlage zu gewährleisten, wird diese Situation unter Annahme der in Abb. 3.42 eingetragenen Randbedingungen überprüft. Die Gewichtskraft wird dabei mit praktisch nicht ausgeschöpften $10N$ großzügig abgeschätzt.

Das hierbei resultierende Moment M_c würde $1,23Nm$ betragen und liegt immer noch im zulässigen Bereich. Damit ist auf Grundlage dieser Berechnungen eine Sicherheit von $8,3$ gegeben.

Die Berechnung des vorhandenen Momentes M_c der großen Führung liegt dem in Abb. ?? dargestellten Modell zugrunde. Es ergibt sich ein Moment von $1,7Nm$ und damit eine sechsfache Sicherheit.

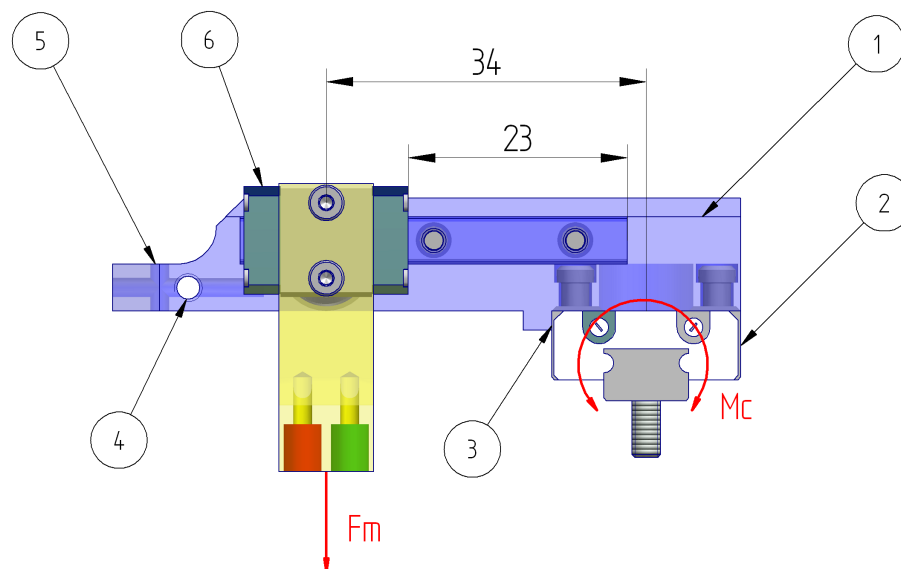


Abbildung 3.43: Momentbeanstruchung der langen Führung

In dem Modell sind die beiden Führungswagen (2) und (6) zu erkennen. Der Verbindungsarm besitzt zur einfachen und exakten Montage zwei Anschläge (1) und (3). Durch Pos. (5) gelangen von oben die Signalkabel. Diese werden durch die Gewindebohrung (4) zugentlastet.

¹⁹Durch Drehen der Abb. 3.42 um 90° im Uhrzeigersinn ergibt sich die vertikale Einsatzlage; Dabei zeigt die Gewichtskraft G senkrecht nach unten.

Die Einrichtung soll in horizontaler und vertikaler Einsatzlage im Stande sein, die Positionierung der Anschlussbaugruppe durchzuführen und dabei ein el. Signal der Anschlussbaugruppe, hier der Beamstop, an die Umgebung zu führen. Dabei darf das Kabel nicht zu Behinderungen der sich im Inneren befindlichen Mechanik führen. Besonders aufgrund der langen Bewegungsmöglichkeit muss man sich hier Gedanken um die Kabelführung machen.

Ein Vorschlag dieses Umzusetzen ist in der Abb. 3.44 dargestellt. Von der elektrischen Vakuumdurchführung der Kammer kommend, wird das Kabel²⁰ durch eine Schraube (1) zugentlastet. Geführt wird es zwischen den Wänden einer in einen Block gefrästen Tasche, welche nach unten und oben offen ist. Hier ist sie *tranzparent dargestellt*. Die Geometrie der Tasche ist auf Abb.3.41 besser zu erkennen. Seitlich kann eine Schraube in einer der insgesamt sieben auf die Länge verteilten Gewindebohrungen fixiert werden.²¹ Über dieser Schraube (2), hier mittig eingesetzt verläuft das Kabel und ist als nächstes mit ausreichend freier Länge für die lange Bewegung an dem *violett abgebildeten* Halter erneut zugentlastet durch die Schraube (3). Anschließend führen die Kabel mit außreichend freier Länge für die kleine Bewegung an die Anschlüsse der Steckerbuchse, wo sie verlötet sind.

Bei den Kabeln handelt es sich um kaptonummantelte Kupferleitungen mit einem Durchmesser von 0,8mm.

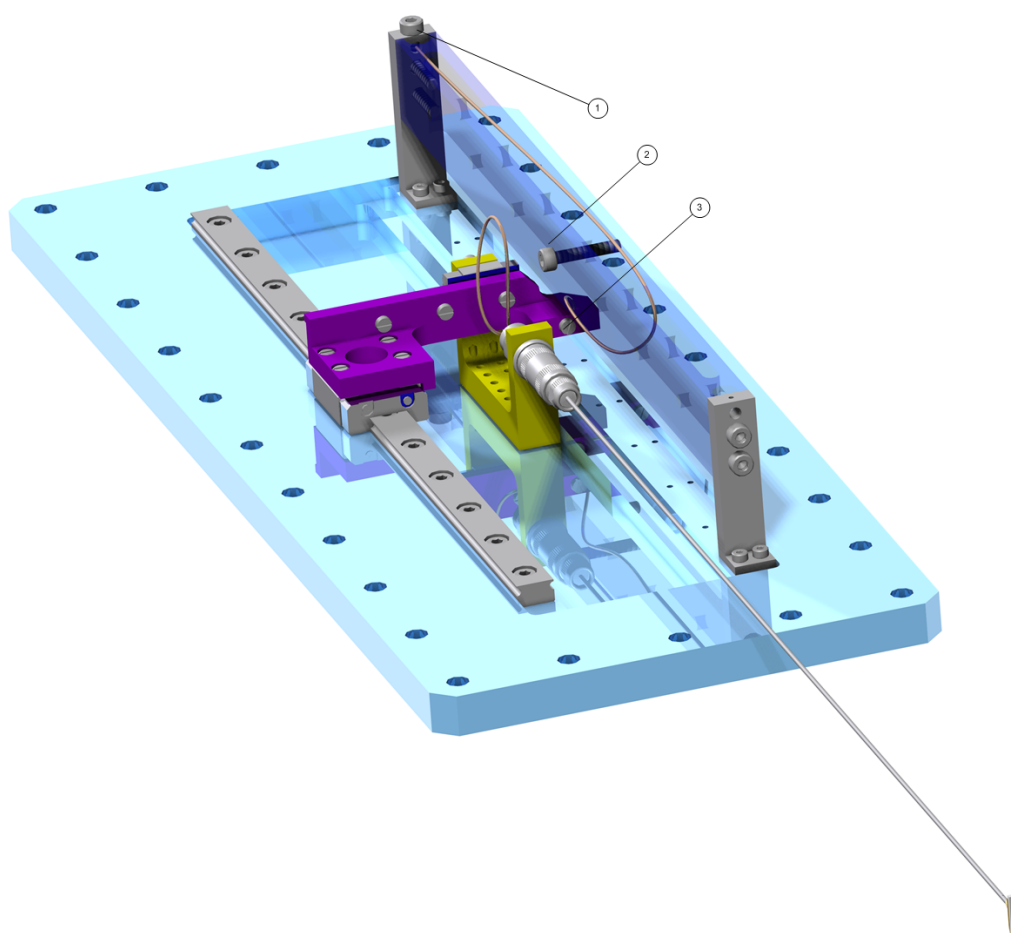


Abbildung 3.44: Kabelführung

²⁰Hier ist ein Kabel stellvertretend für zwei parallel verlaufende Kabel dargestellt.

²¹Durch mehrere Gewindebohrungen besteht bei der Inbetriebnahme die Möglichkeit die optimale Schraubenposition festzulegen.

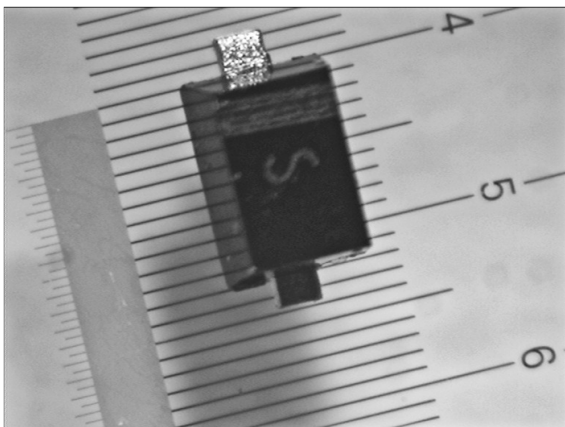
3.5.7 Der Beamstop

Um die Vakuumpositionierungseinrichtung zu einem Beamstop Device zu machen, fehlt jetzt noch der Beamstop selbst. Dieser stellt bei dem Beamstop Device der P03 zukünftig eine eigene Baugruppe dar. Diese beinhaltet als Anschluss an die VPE zunächst den entsprechenden Stecker für die Anschlussbuchse der VPE.

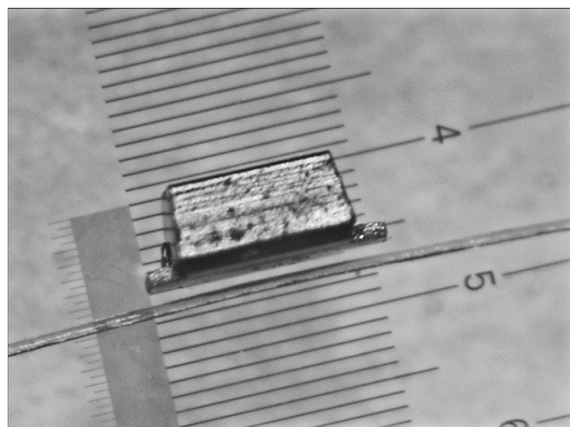
Somit ist es gestattet verschiedenste Beamstopkonstruktionen, mit unterschiedlichsten Parametern in den Strahl zu positionieren und zu testen. Für jede Anwendung kann ein optimal geeigneter Beamstop eingesetzt werden. Diese Beamstops müssen in der Lage sein die Position des durchgehenden Strahles zu detektieren.

In diesem Falle wird die Detektierung durch eine photonenempfindliche PIN Diode²² realisiert, wie es im morphologischen Kasten entschieden wurde. In den Bildern ?? a und b ist die Geometrie einer PIN Diode unter einem Mikroskop zu erkennen. Bei den Maßangaben der Skala handelt es sich um Millimeter. In Abb. 3.45 b liegt zum Vergleich ein menschliches Haar direkt hinter der 4,7 Millimeter Markierung der absoluten Skala.

Die Herausforderung bei der Gestaltung des Beamstops ist die Einhaltung der gewünschten rechteckigen Querschnittsfläche von $1 * 1mm^2$ bis max. $2 * 2mm^2$. Außerdem muss die PIN Diode verbaut werden.



(a) Länge der PIN



(b) Breite der PIN Diode

Abbildung 3.45: PIN Diode unter dem Mikroskop

Die Röntgenaufnahme 3.46, macht die Anordnung im Inneren der Diode sichtbar. Beim Einbau muss darauf geachtet werden, dass der Strahl, wie hier gezeigt von rechts in den Spalt zwischen den beiden Körpern eintreffen kann.

Die Abb. 3.47 zeigt einen Lösungsvorschlag für den Beamstop. Die Unterbringung der Diode (7) erfolgt in einer eingefrästen Tasche des Absorptionsskörpers (1). Diese läuft nach hinten frei aus. Aufgrund der konischen Bauform, wie auf den Mikroskopbildern zu erkennenden ist, sollte die Diode in die Tasche passen und unten aufliegen.

Die Diode soll nach oben, in Richtung des Kapillarrohres (3) mit, einem Innendurchmesser von $0,8mm$, geringfügig über den Absorptionkörper ragen.

Mit dem Anziehen der Miniaturschrauben (2) wird die PIN Diode durch die Spannfeder (5), welche mit dem Rohr über die Lötung (4) verbunden ist, und dem Absorptionkörper verspannt.

²²positive intrinsic negative diode

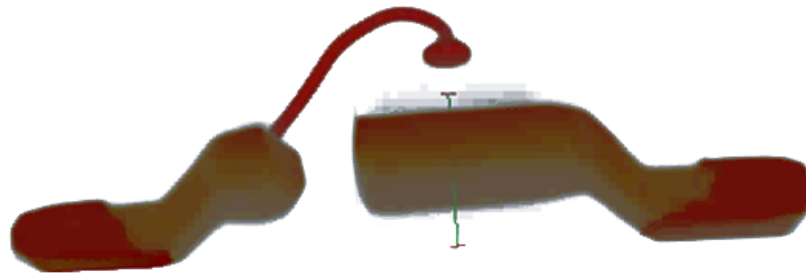


Abbildung 3.46: Röntgenaufnahme der PIN Diode

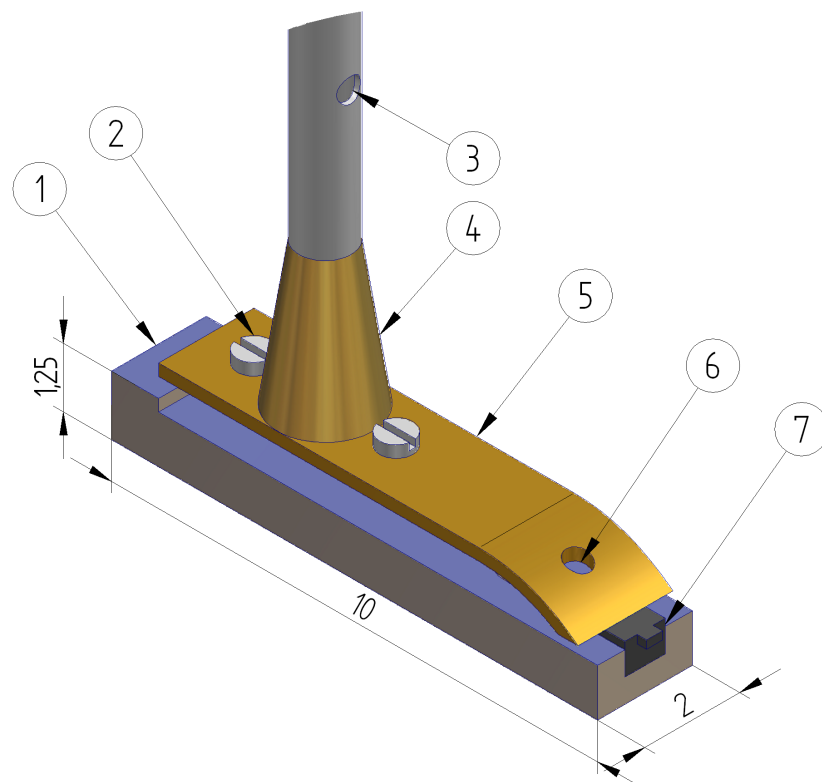


Abbildung 3.47: Isometrische Darstellung des Beamstops

Durch die Bohrung bei (3) werden die beiden Anschlusskabel zum Stecker geführt. Für Eines ist die Bohrung(6) in der Federplatte (5) vorgesehen, während das andere Kabel seinen Weg von der „Bugspitze“ des Beamstops zum Loch bei(3) nimmt.

Der hier erwähnte Lösungsvorschlag weist sicherlich noch einige Mängel auf, zumal die Fertigung aufgrund der kleinen Dimension relativ kompliziert erscheint. Des weiteren lassen sich insbesondere aufgrund der geplanten Kabelanbindung unerwünschte Streueffekte vermuten.

Deshalb wird es auch in Zukunft ein Thema bleiben, Beamstops zu entwickeln, welche mit der VPE kompatibel und optimal an die speziellen Experimenteparameter angepasst sind.

3.5.8 Signalübertragung und Verstärkung

Es bleibt noch zu klären, wie das el. Signal an die Umgebung gelangt.

Dazu bedarf es einer speziellen Vakuumdurchführung. Diese Vakuumdurchführungen werden von mehreren Herstellern komplett mit beliebigen Flanschen mikroplasmaverschweißt angeboten. Diese Durchführungen werden vom Hersteller mit Helium auf Lecks untersucht und zum Abschluss auf elektrische Leitfähigkeit geprüft.

Zu beachten ist, dass Leistungsangaben bei Stromdurchführungen verschiedener Hersteller erheblich differenzieren, da es keine einheitlichen Standards für den Arbeitsdruck gibt.

Wird z.B. Vakuum als Arbeitsumgebung unterstellt, dann erhöht sich sowohl die zulässige Ampere- als auch Voltangabe. Angaben der Leistungsdaten im Vakuum zu können zu Missverständnissen und Unfällen führen kann, speziell dann, wenn Nennstrom oder Spannung anliegen und das Vakuum plötzlich abfällt.

Dies ist speziell bei größeren Leistungen gefährlich und stets zu beachten.

Die Abbildung 3.48 zeigt eine solche Vakuumdurchführung der Firma Trinos VACUUM mit BNC Anschluss. Mittels der in Bild 3.48 d und c dargestellten durchführungen kann dank Isolation ein potentialfreies Gehäuse realisiert werden. Für das Decice wird isolierte Durchführung mit Flansch eingesetzt.



(a) unisolierte Durchführung



(b) isolierte Durchführung



(c) isolierte Durchführung mit Flansch

Abbildung 3.48: Elektrische Vakuumdurchführungen in verschiedenen Ausführungen

Anschließend muss das Signal noch verstärkt und dem Bediener angezeigt werden. Ein Vorschlag hierzu ist, das Signal mit einem Verstärker, ähnlich dem in Abb. 3.49 zu verstärken. Über eine in die Beamline integrierte Kleinspannungsleitung kann das Signal aus der Experimentehütte in die Kontrollhütte zum Bediener gelangen, wo dieser es mittels eines Multimeters auslesen kann.

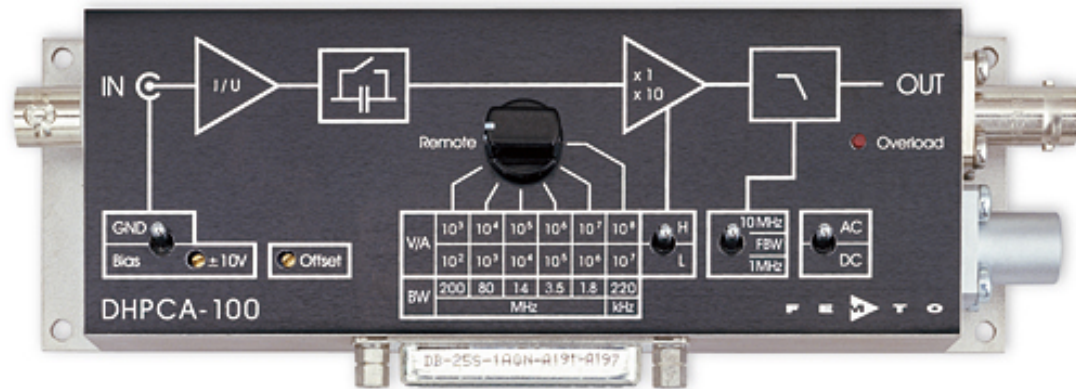


Abbildung 3.49: Spannungsverstärker mit variabler Empfindlichkeit

Für eine detailliertere Lösung bleibt in dieser Bachelorarbeit keine Zeit mehr. Doch dieses Thema gehört zu denen, um die man sich als nächstes kümmern muss. Das angehängte Datenblatt soll dazu erste Eckdaten bereitstellen.

3.5.9 Die Gesamtkonstruktion

Abschließen der Konstruktion ist in Abb.3.50 die Anbindung des Beamstop Device (1) in vertikaler Lage an eine Anschlusskammer (3) abgebildet. Der Absorptionskörper „stopt“ den von rechts eintreffenden Beam bei (2).

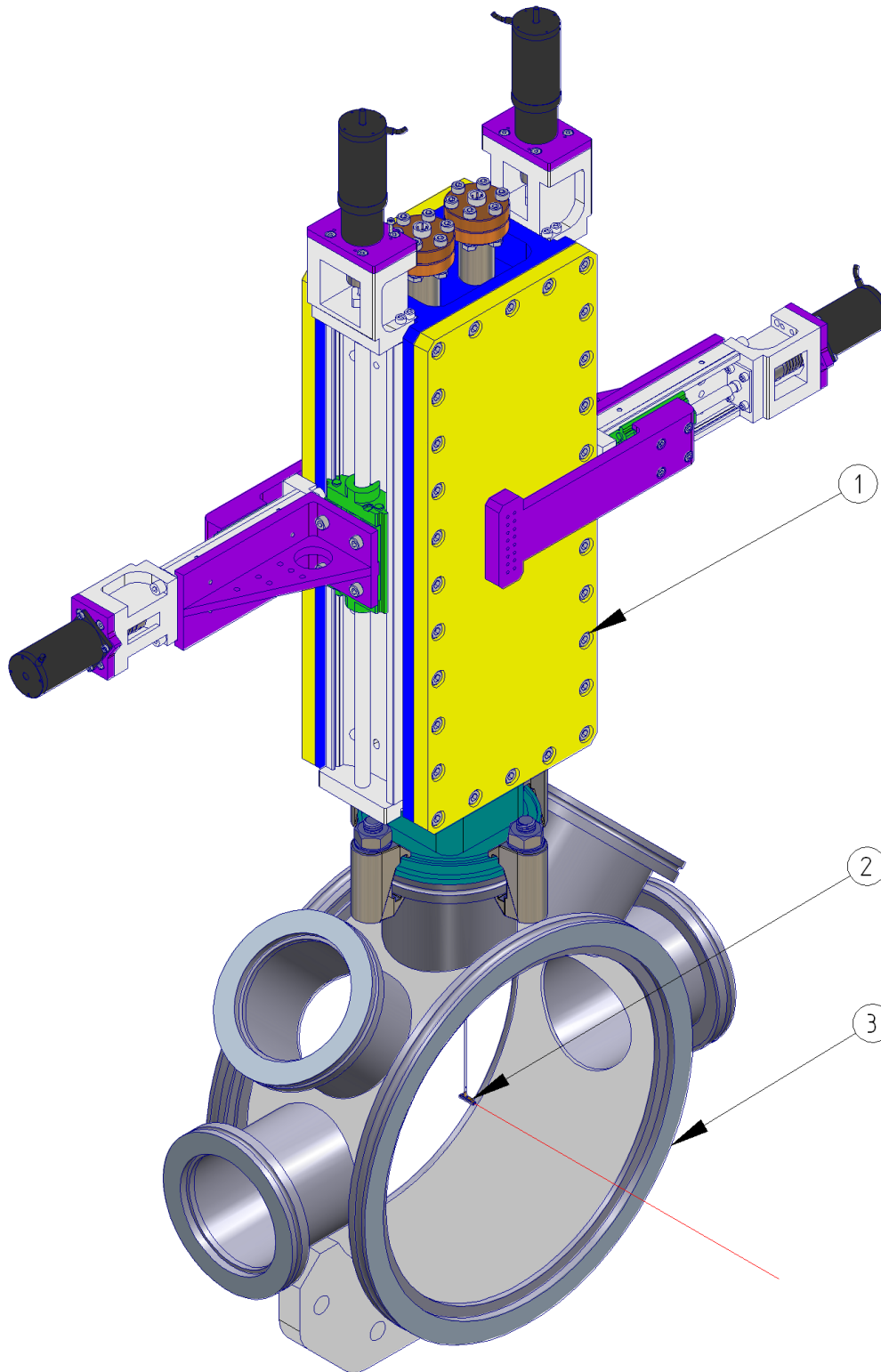


Abbildung 3.50: Das Device stoppt den durchgehenden Beam

4 Ausblick

Nach Abschluss der Entwicklung und Konstruktion des Device geht es im nächsten Schritt um die Herstellung aller Fertigteile. Während der Fertigungsphase sollte insbesondere bei Schwierigkeiten oder kurzfristig erkannten Konstruktionsfehlern, der schnelle Informationsaustausch zwischen der Fertigung und der Konstruktion stattfinden.

Außerdem muss dafür Sorge getragen werden, dass alle fehlenden Kaufteile beschafft werden. Sobald alle Teile einer Baugruppe vorhanden sind kann diese direkt montiert werden, bis die Konstruktion komplett zusammengebaut ist.

Im Anschluss folgen jetzt Kallibrierungen und erste Positionierungstest ohne Vakuum. Danach wird die Vakuumtauglichkeit getestet. Dieses geschieht z.B. bei der Untersuchung des Vakuums mit Zuhilfenahme eines Massenspektrografen. Dieser erkennt im Vakuum befindliche Partikel und lässt einen Rückschluss auf die Herkunft dieser zu. So können u.a. ausgasende Kunststoffe auf Quantität und Art bestimmt werden.

Bevor das Device seiner Hauptfunktion, dem Schutz der Detektoren nachkommen kann, muss der Beamstop getestet werden. Erst wenn der Bediener mit Hilfe der Einrichtung die Position des durchgehenden Strahles ermitteln und den Absorptionkörper auf diese einstellen kann, könnte die Schutzfunktion ausgeübt werden. Anfangs sollte hier aber ein schwacher Röntgenstrahl gewählt werden. Die Abbildung des Absorptionkörpers auf dem Detektorbild, ohne ein sichtbares Intensitätsmaximum wäre das gewünschte Ergebnis.

Um das Device zu optimieren, gibt es wie schon erwähnt, ständig die Möglichkeit der Anbindung anderer Beamstops oder Arbeitseinrichtungen.

Außerdem ist es empfehlenswert bislang noch nicht mitkonstruierte Endschalter in das System zu integrieren. Dadurch kann beim Erreichen einer Endposition mit Hilfe der Steuerung eine Weiterfahrt des Motors und damit eventuelle Beschädigungen verhindert werden.

Ein weiteres Thema befasst sich mit der Entwicklung von geeigneten Scans, um den Absorptionkörper sicher und schnell „auf dem Strahl“ zu positionieren.

- Spiralbewegungen um vorher abgeschätzte Strahlposition
- in kleineren rechteckigen oder
- Zeilenweise, immer aus der gleichen Richtung um das Spiel aus allen Komponenten zu holen.

Langfristig sollte man diese Positionierungsvorgänge auch automatisieren. Dabei würden sich u.a. Mess- und Regelungstechnische Lösungen ergeben.

5 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde ein Beamstop Device zum Schutz von Röntgenstrahldetektoren an der MINAX Beamline P03 entwickelt und konstruiert.

Diese Einrichtung besteht grundsätzlich aus zwei Einheiten: Einer Positioniereinheit und einer Detektier- und Absorptionseinheit. Durch eine überwiegend symmetrische und kompakte Bauweise hat sich die Möglichkeit zur Aufnahme von jeweils zweier solcher Einheiten ergeben. Dadurch ist es gestattet mit zwei unabhängig voneinander positionierbaren Beamstops den Detektor vor der Zerstörung zu bewahren.

Dieses war Anfangs zwar nicht explizit gefordert, macht aber bei einigen Anwendungen Sinn, da sich experimentbedingt neben dem energiereichen zentralen durchgehenden Strahl auch weitere abzuschirmende Energiemaxima ergeben können.

Durch die adaptive Bauweise kann der Beamstop auch ohne eine Demontage, per Steckersystem, gegen einen Anderen ausgewechselt werden oder gar eine völlig andere zu positionierende Arbeitseinrichtung verwendet werden.

Die Positionierung kann innerhalb einer $(200 * 20)mm^2$ großen Ebene im Vakuum erfolgen. Die Wiederholgenauigkeit liegt bei ca. $\pm 0,005mm$.

Die Realisierung der Signalverarbeitung, das Entwickeln von Beamstops und Scannverfahren, sowie die Automatisierung, werden ebenso wie kleine Ergänzungen durch z.B. Endschalter eine zukünftige Aufgabe sein.

Literaturverzeichnis

- [1] Forschung mit Photonen; Lichtenstehung
http://www.desy.de/forschung/forschung_mit_photonen/lichtentstehung/index_ger.html
- [2] VAb VAKUUM-ANLAGENBAU GMBH Katalog der UHV Manipulatoren http://vab-vakuum.de/pdf/prae_manipulatoren.pdf 10.12.2010
- [3] TRINOS VACUUM Magnetische Dreh und Schiebedurchführung
http://shop.trinos.de/vakuum_s/trinos-magnetische-dreh-schiebe-durchfuehrung,pd2970!0,,420MDM.html 11.12.2010
- [4] Formel zur Berechnung der Flussdichte B_x an einem Punkt (X) auf der Magnetachse
<http://www.ibsmagnet.de/knowledge/flussdichte.php> 10.01.2011
- [5] HASYLAB, UHV Richtlinien für Strahlführungen und Experimente am HASYLAB beachten. http://hasyweb.desy.de/old_pages/www/services/vacuum/pdfs/Vakuumgerechte-Fertigung.pdf, 12.01.11
- [6] Technisches Handbuch O-Ringnutgestaltung [http://o-ring.info/de/technisches_handbuch/ERIKS - Technisches Handbuch - O-ring Nutgestaltung.pdf](http://o-ring.info/de/technisches_handbuch/ERIKS_-_Technisches_Handbuch_-_O-ring_Nutgestaltung.pdf), 12.01.11

A Anhang

A.1 Mathcad Berechnungen

Berechnung des Bewertungsfaktors

$$\text{Anz}_{\text{eins}} := 11 \cdot \frac{12}{2} = 66$$

größter Positionierbereich	X 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1	10
beste Wiederholgenauigkeit	0 X 1 0 0 0 1 0 0 1 1 0	4
gute Vakuumverträglichkeit	0 0 X 1 1 1 1 0 1 1 1 0	7
gute Benutzerfreundlichkeit	0 1 0 X 1 1 1 1 1 1 1 0	8
geringer Fertigungsaufwand	0 1 0 0 X 0 1 0 0 0 1 0	3
geringer Montageaufwand	0 1 0 0 1 X 1 0 1 1 0 0	5
gute Wirtschaftlichkeit	0 0 0 0 0 0 X 0 0 0 0 0	0
mögliche Adaptivität	1 1 1 0 1 1 1 X 1 1 1 1	10
beste Wartungsfreundlichkeit	0 1 0 0 1 0 1 0 X 1 1 0	5
höchste Lebensdauer	0 0 0 0 1 0 1 0 0 X 1 0	3
geringe Masse	0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 X 0	2
höchste Zuverlässigkeit	0 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 X	9

$$\frac{10}{\text{Anz}_{\text{eins}}} = 0.152$$

$$\frac{4}{\text{Anz}_{\text{eins}}} = 0.061$$

$$\frac{7}{\text{Anz}_{\text{eins}}} = 0.106$$

$$\frac{8}{\text{Anz}_{\text{eins}}} = 0.121$$

$$\frac{3}{\text{Anz}_{\text{eins}}} = 0.045$$

$$\frac{5}{\text{Anz}_{\text{eins}}} = 0.076$$

$$\frac{10}{\text{Anz}_{\text{eins}}} = 0.152$$

$$\frac{5}{\text{Anz}_{\text{eins}}} = 0.076$$

$$\frac{3}{\text{Anz}_{\text{eins}}} = 0.045$$

$$\frac{2}{\text{Anz}_{\text{eins}}} = 0.03$$

$$\frac{9}{\text{Anz}_{\text{eins}}} = 0.136$$

$$\text{Summe} := 0.152 + 0.061 + 0.106 + 0.121 + 0.045 + 0.076 + 0.152 + 0.076 + 0.045 + 0.03 + 0.136 =$$

$$\text{Kontr} := 10 + 4 + 7 + 8 + 3 + 5 + 0 + 10 + 5 + 3 + 2 + 9 = 66$$

Ermittlung der Rangfolge der Lösungsvorschläge

$$g_1 := 0.152$$

$$g_7 := 0$$

$$g_2 := 0.061$$

$$g_8 := 0.152$$

$$g_3 := 0.106$$

$$g_9 := 0.076$$

$$g_4 := 0.121$$

$$g_{10} := 0.045$$

$$g_5 := 0.045$$

$$g_{11} := 0.03$$

$$g_6 := 0.076$$

$$g_{12} := 0.136$$

$$P_{11} := 4$$

$$P_{21} := 4$$

$$P_{31} := 4$$

$$P_{12} := 3$$

$$P_{22} := 4$$

$$P_{32} := 3$$

$$P_{13} := 2$$

$$P_{23} := 1$$

$$P_{33} := 3$$

$$P_{14} := 4$$

$$P_{24} := 2$$

$$P_{34} := 4$$

$$P_{15} := 3$$

$$P_{25} := 2$$

$$P_{35} := 3$$

$$P_{16} := 2$$

$$P_{26} := 3$$

$$P_{36} := 3$$

$$P_{17} := 2$$

$$P_{27} := 1$$

$$P_{37} := 2$$

$$P_{18} := 2$$

$$P_{28} := 3$$

$$P_{38} := 4$$

$$P_{19} := 4$$

$$P_{29} := 2$$

$$P_{39} := 4$$

$$P_{110} := 3$$

$$P_{210} := 4$$

$$P_{310} := 4$$

$$P_{111} := 2$$

$$P_{211} := 0$$

$$P_{311} := 3$$

$$P_{112} := 3$$

$$P_{212} := 3$$

$$P_{312} := 3$$

$$Pg_{11} := P_{11} \cdot g_1$$

$$Pg_{21} := P_{21} \cdot g_1$$

$$Pg_{31} := P_{31} \cdot g_1$$

$$Pg_{12} := P_{12} \cdot g_2$$

$$Pg_{22} := P_{22} \cdot g_2$$

$$Pg_{32} := P_{32} \cdot g_2$$

$$Pg_{13} := P_{13} \cdot g_3$$

$$Pg_{23} := P_{23} \cdot g_3$$

$$Pg_{33} := P_{33} \cdot g_3$$

$$Pg_{14} := P_{14} \cdot g_4$$

$$Pg_{24} := P_{24} \cdot g_4$$

$$Pg_{34} := P_{34} \cdot g_4$$

$Pg_{15} := P_{15} \cdot g_5$	$Pg_{25} := P_{25} \cdot g_5$	$Pg_{35} := P_{35} \cdot g_5$
$Pg_{16} := P_{16} \cdot g_6$	$Pg_{26} := P_{26} \cdot g_6$	$Pg_{36} := P_{36} \cdot g_6$
$Pg_{17} := P_{17} \cdot g_7$	$Pg_{27} := P_{27} \cdot g_7$	$Pg_{37} := P_{37} \cdot g_7$
$Pg_{18} := P_{18} \cdot g_8$	$Pg_{28} := P_{28} \cdot g_8$	$Pg_{38} := P_{38} \cdot g_8$
$Pg_{19} := P_{19} \cdot g_9$	$Pg_{29} := P_{29} \cdot g_9$	$Pg_{39} := P_{39} \cdot g_9$
$Pg_{110} := P_{110} \cdot g_{10}$	$Pg_{210} := P_{210} \cdot g_{10}$	$Pg_{310} := P_{310} \cdot g_{10}$
$Pg_{111} := P_{111} \cdot g_{11}$	$Pg_{211} := P_{211} \cdot g_{11}$	$Pg_{311} := P_{311} \cdot g_{11}$
$Pg_{112} := P_{112} \cdot g_{12}$	$Pg_{212} := P_{212} \cdot g_{12}$	$Pg_{312} := P_{312} \cdot g_{12}$

$Pg_{11} = 0.608$	$Pg_{21} = 0.608$	$Pg_{31} = 0.608$
$Pg_{12} = 0.183$	$Pg_{22} = 0.244$	$Pg_{32} = 0.183$
$Pg_{13} = 0.212$	$Pg_{23} = 0.106$	$Pg_{33} = 0.318$
$Pg_{14} = 0.484$	$Pg_{24} = 0.242$	$Pg_{34} = 0.484$
$Pg_{15} = 0.135$	$Pg_{25} = 0.09$	$Pg_{35} = 0.135$
$Pg_{16} = 0.152$	$Pg_{26} = 0.228$	$Pg_{36} = 0.228$
$Pg_{17} = 0$	$Pg_{27} = 0$	$Pg_{37} = 0$
$Pg_{18} = 0.304$	$Pg_{28} = 0.456$	$Pg_{38} = 0.608$
$Pg_{19} = 0.304$	$Pg_{29} = 0.152$	$Pg_{39} = 0.304$
$Pg_{110} = 0.135$	$Pg_{210} = 0.18$	$Pg_{310} = 0.18$
$Pg_{111} = 0.06$	$Pg_{211} = 0$	$Pg_{311} = 0.09$
$Pg_{112} = 0.408$	$Pg_{212} = 0.408$	$Pg_{312} = 0.408$

$$S_1 := P_{g11} + P_{g12} + P_{g13} + P_{g14} + P_{g15} + P_{g16} + P_{g17} + P_{g18} + P_{g19} + P_{g110} + P_{g111} + P_{g112}$$

$$S_1 = 2.985$$

$$S_2 := P_{g21} + P_{g22} + P_{g23} + P_{g24} + P_{g25} + P_{g26} + P_{g27} + P_{g28} + P_{g29} + P_{g210} + P_{g211} + P_{g212}$$

$$S_2 = 2.714$$

$$S_3 := P_{g31} + P_{g32} + P_{g33} + P_{g34} + P_{g35} + P_{g36} + P_{g37} + P_{g38} + P_{g39} + P_{g310} + P_{g311} + P_{g312}$$

$$S_3 = 3.546$$

Technische Wertigkeit

$$T_1 := \frac{S_1}{4} \quad T_2 := \frac{S_2}{4} \quad T_3 := \frac{S_3}{4}$$

Auslegung des Antriebmotors der großen Linearachse

$$M_{\text{Anlaufeinheit}} := 2\text{N}\cdot\text{cm} \quad \text{siehe Datenblatt der LE}$$

Massenberechnung

Jeder Summand steht für die Masse eines verbauten Teiles (Tabelle siehe Ausarbeitung Positioniersystem)

$$\text{Masse}_{\text{klein}} := (200 + 5 + 26.3 + 36.6 + 4 \cdot 0.4 + 3 \cdot 0.3 + 24.5 + 8 \cdot 0.5 + 5.1 + 4.7 + 8 \cdot 0.5 + 98.2) \frac{\text{kg}}{100}$$

$$\text{Masse}_{\text{klein}} = 0.411 \text{ kg}$$

$$\text{Masse}_{\text{groß}} := (4 \cdot 1.2 + 4 \cdot 0.8 + 244.8 + 35.3 + 10.9 + 4 \cdot 0.8 + 4 \cdot 0.4 + 184 + 147 + 4 \cdot 0.3 + 312.8) \frac{\text{kg}}{100}$$

$$\text{Masse}_{\text{groß}} = 0.949 \text{ kg}$$

$$\text{Masse}_{\text{gesamt}} := \text{Masse}_{\text{klein}} + \text{Masse}_{\text{groß}}$$

$$\text{Masse}_{\text{gesamt}} = 1.36 \text{ kg}$$

Die Nutzlast wird in diesem Fall größten Teils durch ein Moment durch die Magneten über einen Hebel eingebracht. Es folgt daher die Berechnung der Magnetischen Anziehungskraft

$$B := 0.39 \text{ T}$$

$$B_{\text{effektiv}} := 2 \cdot B$$

$$B_{\text{effektiv}} = 0.78 \text{ T}$$

$$r_{\text{magnet}} := 2 \text{ mm}$$

$$A_{\text{Magnet}} := \pi \cdot r_{\text{magnet}}^2$$

$$\mu_r := 1$$

bei Luft oder Vakuum ungefähr 1

$$\mu_0 = 1.257 \times 10^{-6} \frac{\text{m} \cdot \text{kg}}{\text{A}^2 \cdot \text{s}^2}$$

$$\mu_m := \mu_0 \cdot \mu_r$$

$$F_{\text{Magnet}} := \frac{1 \cdot B_{\text{effektiv}}^2 \cdot A_{\text{Magnet}}}{2 \mu_m}$$

$$F_{\text{Magnet}} = 3.042 \text{ N}$$

$$\text{Magnetpaare} := 16$$

$$F_{\text{Magnetges}} := \text{Magnetpaare} \cdot F_{\text{Magnet}}$$

$$F_{\text{Magnetges}} = 48.672 \text{ N}$$

Kraft durch Magneten

Aus dem zulässigen Moment wird ersatzweise eine äquivalente Nutzlast berechnet.

$$C_0 := 2.5 \text{ kN}$$

Angabe des Herstellers

$$M_{c.zul} := 10.2 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Angabe des Herstellers

$$\text{Hebel}_{\max} := 25 \text{ mm}$$

Es wird ein Hebelarm von 25 mm angenommen.

$$\text{Nutzlast} := F_{\text{Magnetges}} + \left(\frac{C_0}{M_{c.zul}} \right) \cdot (F_{\text{Magnetges}} \cdot \text{Hebel}_{\max})$$

$$\text{Nutzlast} = 346.907 \text{ N}$$

Haftreibungskraft in Folge der Magneten aufgebrachtener Nutzlast und tribologischer Führungseigenschaften

$$\mu := 0.005$$

Dynamischer Reibkoeffizient, bei Miniaturführungen von 0.004 bis 0.006

$$\text{Dichtungsbeständigkeit} := 5 \cdot \text{N}$$

Dichtungsabhängige Kraft: von 2 bis 5 [N] laut Hersteller

$$\text{Haftreibungskraft}_{\text{Führungen}} := \mu \cdot \text{Nutzlast} + \text{Dichtungsbeständigkeit}$$

$$\text{Haftreibungskraft}_{\text{Führungen}} = 6.735 \text{ N}$$

$$g = 9.807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{Erdebeschleunigung}$$

$$\text{Axiallast} := \text{Masse}_{\text{gesamt}} \cdot g + \text{Haftreibungskraft}_{\text{Führungen}}$$

$$\text{Axiallast} = 20.069 \text{ N}$$

$$\text{Steigungshöhe} := 1 \text{ mm}$$

$$\text{Gewindewirkungsgrad} := 0.2$$

Abhängig von Werkstoffpaarung, Schmierung und Vorspannung

$$\text{Lastmoment}_{\text{Gewindetrieb}} := \frac{(\text{Axiallast} \cdot \text{Steigungshöhe})}{(2 \cdot \pi \cdot \text{Gewindewirkungsgrad})}$$

$$\text{Lastmoment}_{\text{Gewindetrieb}} = 0.016 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{anl}} := M_{\text{Anlaufeinheit}} + \text{Lastmoment}_{\text{Gewindetrieb}}$$

$$M_{\text{anl}} = 35.97 \cdot \text{N} \cdot \text{mm}$$

Es ist beim Positionieren mit der langen Lineareinheit, insbesondere beim Start der Positionierung ein Anlaufmoment von 36 Nm erforderlich.

In der Dokumentation wird an dieser Stelle ein Getriebe in die Konstruktion ausgenommen. Im nachfolgendem Rechenabschnitt wird jetzt das benötigte Anlaufmoment der kleinen LE berechnet.

Parameter werden neu definiert

$$C_{0Fk} := 0.6 \text{ kN} \quad \text{Herstellerangabe} \quad C_{0Fk} = 600 \text{ N}$$

$$M_{cFk} := 1.5 \text{ N} \cdot \text{m} \quad \text{Herstellerangabe}$$

$$l_{kF} := 17.5 \text{ mm} \quad \text{aus Konstruktionsgeometrie} \quad l_{kF} = 0.018 \text{ m}$$

$$F_{\text{Nutz}} := F_{\text{Magnetges}} + \frac{C_{0Fk}}{M_{cFk}} \cdot F_{\text{Magnetges}} \cdot l_{kF}$$

$$F_{\text{Nutz}} = 389.376 \text{ N} \quad F_{\text{Magnetges}} = 48.672 \text{ N}$$

Haftreibungskraft in Folge der Magneten aufgebrachtener Nutzlast und tribologischer Führungseigenschaften

$$\mu_{\text{dynF}} := 0.005 \quad \text{Dynamischer reibkoeffizient, bei Miniaturführungen von 0.004 bis 0.006}$$

$$\mu_{\text{dynF}} = 5 \times 10^{-3}$$

$$F_{\text{Dicht}} := 5 \text{ N}$$

$$F_{\text{reibkF}} := \mu_{\text{dynF}} \cdot F_{\text{Nutz}} + F_{\text{Dicht}}$$

$$F_{\text{axial}} := F_{\text{reibkF}}$$

$$F_{\text{axial}} = 6.947 \text{ N}$$

$$S_{\text{kLE}} := 1.5 \text{ mm}$$

Datenblatt der LE

$$\eta_{\text{kF}} := 0.2$$

Herstellerangabe

$$M_{\text{axial}} := \frac{F_{\text{axial}} \cdot S_{\text{kLE}}}{2 \cdot \pi \cdot \eta_{\text{kF}}}$$

$$M_{\text{axial}} = 8.292 \cdot \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{\text{loskF}} := 1.2 \text{ N} \cdot \text{cm}$$

$$M_{\text{anlkF}} := M_{\text{loskF}} + M_{\text{axial}}$$

$$M_{\text{anlkF}} = 20.292 \cdot \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{\text{mot}} := 15 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$u := \frac{1}{4}$$

$$M_{\text{Motgetriebe}} := \frac{1 \cdot M_{\text{mot}}}{u}$$

$$M_{\text{Motgetriebe}} = 60 \cdot \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$S_{\text{moment}} := \frac{M_{\text{Motgetriebe}}}{M_{\text{anlkF}}}$$

$$S_{\text{moment}} = 2.957$$

Vorhandenes Motordrehmoment bei
3000 U/min

Getriebeuntersetzung

Sicherheit für das Erreichen des
benötigten Momentes

Auslegung der O-Ring-Dichtung

$$\text{Radius} := 10\text{mm}$$

$$\text{Kante}_{\text{kurz}} := 66\text{mm}$$

$$\text{Kante}_{\text{lang}} := 245\text{mm}$$

$$\text{Kreisumfang} := 2 \cdot \pi \cdot \text{Radius}$$

$$\text{Kreisumfang} = 0.063 \text{ m}$$

$$\text{Gesamtumfang} := \text{Kreisumfang} + 2 \cdot \text{Kante}_{\text{kurz}} + 2 \cdot \text{Kante}_{\text{lang}}$$

$$\text{Gesamtumfang} = 0.685 \text{ m}$$

$$\text{Innendurchmesser}_{\text{Ring}} := \frac{\text{Gesamtumfang}}{\pi}$$

$$\text{Innendurchmesser}_{\text{Ring}} = 217.989 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Innendurchmesser}_{\text{Gewählt}} := 220\text{mm}$$

$$\text{Gesamtumfang}_{\text{neu}} := \text{Innendurchmesser}_{\text{Gewählt}} \cdot \pi$$

$$\text{Gesamtumfang}_{\text{neu}} = 0.691 \text{ m}$$

$$\text{Kante}_{\text{lang_angepasst}} := \frac{\text{Gesamtumfang}_{\text{neu}} - \text{Kreisumfang} - 2 \cdot \text{Kante}_{\text{kurz}}}{2}$$

$$\text{Kante}_{\text{lang_angepasst}} = 0.248 \text{ m}$$

$$\text{Kontrolle}_{\text{Ringumfang}} := \text{Kreisumfang} + 2 \cdot \text{Kante}_{\text{kurz}} + 2 \cdot \text{Kante}_{\text{lang_angepasst}}$$

$$\text{Kontrolle}_{\text{Ringumfang}} = 0.691 \text{ m}$$

$$\text{Kontrolle}_{\text{Ringdurchmesser}} := \frac{\text{Kontrolle}_{\text{Ringumfang}}}{\pi}$$

$$\text{Kontrolle}_{\text{Ringdurchmesser}} = 220 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Innendurchmesser}_{\text{einprozent}} := \frac{\text{Kontrolle}_{\text{Ringdurchmesser}}}{100}$$

$$\text{Innendurchmesser}_{\text{einprozent}} = 2.2 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Innendurchmesser}_{\text{dreiprozent}} := \text{Innendurchmesser}_{\text{einprozent}}^3$$

$$\text{Innendurchmesser}_{\text{dreiprozent}} = 6.6 \cdot \text{mm}$$

Nutgestaltung

$$d_2 := 5 \text{mm}$$

$$\text{Kreisfläche}_{d_2} := \pi \cdot \frac{d_2^2}{4}$$

$$\text{Kreisfläche}_{d_2} = 19.635 \cdot \text{mm}^2$$

Kreisfläche des Rings

$$\text{Kreisfläche}_{80\text{prozent}} := \frac{\text{Kreisfläche}_{d_2} \cdot 80}{100}$$

$$\text{Kreisfläche}_{80\text{prozent}} = 15.708 \cdot \text{mm}^2$$

Kreis

$$d_{20\text{prozent}} := \frac{d_2 \cdot 20}{100}$$

$$d_{20\text{prozent}} = 1 \cdot \text{mm}$$

gestauchte Länge in Verpressungsrichtung

$$\text{Nuttiefe} := 3.5 \text{mm}$$

gewählte Nuttiefe 3,5mm

$$\text{Nutbreite} := \frac{\text{Kreisfläche}_{80\text{prozent}}}{\text{Nuttiefe}}$$

$$\text{Nutbreite} = 4.488 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Quadratfläche} := \text{Kreisfläche}_{d_2} \cdot \frac{1}{2}$$

$$\text{Quadratfläche} = 4.431 \cdot \text{mm}$$

Statische Momentberechnung zum Auslegen
der Führungen

kleine Führung

$$\text{Hebel}_{\text{klein}} := 17.5\text{mm}$$

$$M_{\text{kohneg}} := 48\text{N} \cdot \text{Hebel}_{\text{klein}}$$

$$M_{\text{kohneg}} = 0.84 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

angegeben Längen sind die Hebelarme
dargestellt in der Ausarbeitung

$$M_{\text{kmitg}} := 48\text{N} \cdot 17.5\text{mm} + 10\text{N} \cdot 39\text{mm}$$

$$M_{\text{kmitg}} = 1.23 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

große Führung

$$\text{Hebel}_{\text{groß}} := 34\text{mm}$$

$$M_{\text{g}} := F_{\text{Magnetges}} \cdot \text{Hebel}_{\text{groß}}$$

$$M_{\text{g}} = 1.655 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

A.2 Datenblätter der eingesetzten Kaufteile

A.2.1 Lineareinheiten



Lineareinheit LX20, Standardausführung

Patent für Konstruktion sowie Rechte für Gebrauchsmuster angemeldet

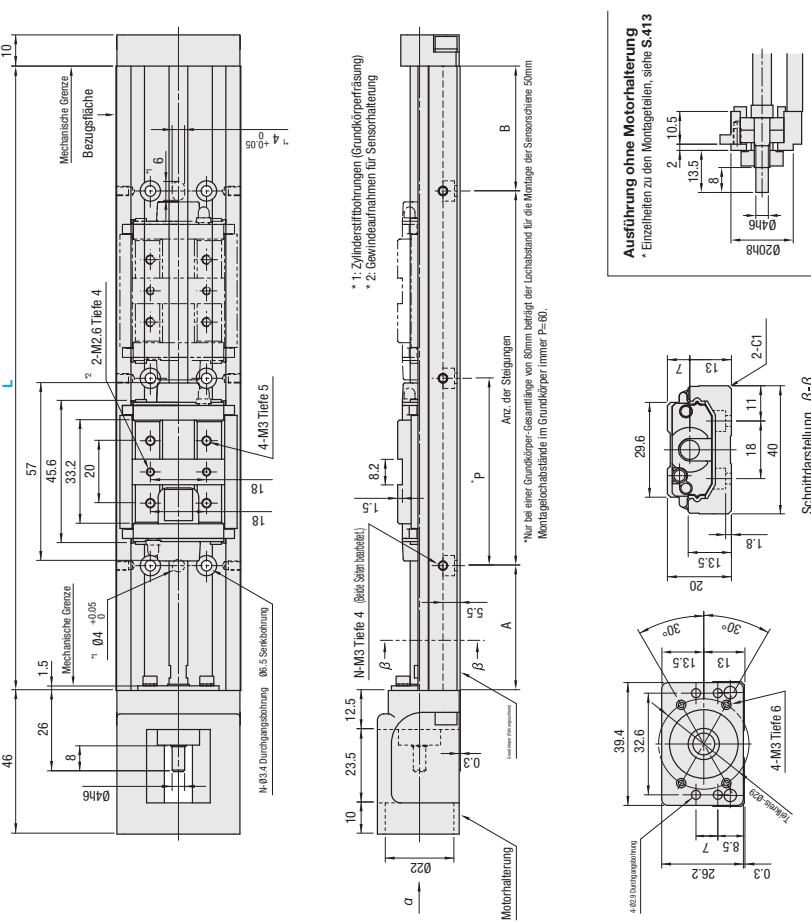


Spezifikationen LX20	
Standardausstattung	LX20
Gewindewellen-Ø (mm)	6
Steigung (mm)	1,5
Präzisionsgrad	Hohe Güte - Präzisionsgüte
TT-Motortyp	AZubehör
TT-Motortyp	EL, ELA, ELA2, AM6, 2,5
Werkstoff	Alu
Oberflächenbehandlung	schwarz eloxiert
Werkstoff	1.4567/316/Alu1.8-9-4
Bei Ausführung ohne Motorhalterung	wird kein Zubehör mitgeliefert.

-Ausführung ohne Motorhalterung-

Standardmaße L	Standardstimmertoff		Fett mit geringer Partikelbildung	
	Hohe Güte LX2001	Präzisionsgüte LX2001PG	Hohe Güte LX2001G	Präzisionsgüte LX2001PG
Steigung 1	LX2001	LX2001PG	LX2001G	LX2001PG
Steigung 5	LX2005	LX2005PG	LX2005G	LX2005PG
Bauteile	Grundkörper (Führungsschiene)	Führungswagen	Lagergehäuse	Loslagerseite
Werkstoff	JIS STKM	JIS SCM-Werkstoff	EN-AC-46100G-AS112Cu	EN-AW-5052/AMg2,5
Oberflächenbehandlung	LTBC-Beschichtung	LTBC-Beschichtung	Einbrennlackierung, schwarz	schwarz eloxiert
Härte	Induktionsgehärtet HRC58 - 64	HRC58 - 62		HRC58 - 62

*Angaben zu Schmierstoff mit geringer Partikelbildung S.404



Ausführung ohne Motorhalterung

* Einzelheiten zu den Montagearten, siehe S.413

Der effektive Hub reicht auf beiden Seiten 2,5mm bis vor die mechanischen Grenzen, d.h. 5mm insgesamt. Bei Ausföhrungen mit zwei Führungsböcken gehen die effektiven Hubzahlen, wenn sich beide Führungswagen betöhren.



- LX-Steuerer Angeln
- Spezialrollen
- Kegelrollen
- Motorantriebe
- S. 1765 - S. 1794
- Antriebe
- S. 1905 - S. 1908

CAD-Daten

Teilenummer	*Präzisionsgüte	Führungswagen Subsch.	Motor- befestigungen (Servo-Motoren)	Gesamtlänge Grundkörper L	Effektivhub			Maße für Befestigungsbohrung		
					A	P	B	A	P	B
80	(Standardfett)		A2025 A2028 A2038 A2040 E2040	16.5	-	10	60	10	1	4
LX2001	LX2001P	(1 Stk.)		150	-	20	60	20	1	4
LX2005	LX2005P	(1 Stk.)	T2028 T2042	150	-	15	60	15	2	6
LX2001G	LX2001PG	(2 Stk.)	(Ohne Befestigung)	200	79.5	40	60	40	2	6
LX2005G	LX2005PG	(2 Stk.)	(Ohne Motor- Halterung)	250	186.5	149.5	35	60	3	8
300				300	236.5	199.5	30	60	4	10

Präzisionsstandards
 * Bei der Angabe des effektiven Hubes ist die Berücksichtigung der 5 mm auf beiden Seiten einberechnet.
 * Präzisionsstandards liegen in Abhängigkeit von der Ausführung und der Motorhalterung.
 * Die Ausführung ohne Befestigung besteht aus einem Führungswagen und einer Halterung. Bitte beachten, dass es sich nicht um dieselbe Motorhalterung ohne Halterung handelt.

Präzisionsstandards		Zuverlässiges statisches Lastmoment	
Positioniergenauigkeit (mm)	Hohe Güte	Präzisionsgüte	Anz. statisches Lastmoment (N·m)
Spial (mm)	0.06	0.02	Ma
Wiederholgenauigkeit (mm)	±0.005	±0.003	Mb
Laufparallelität (mm)	0.025	0.01	Mc
Anlaufdreimoment (N·cm)	1.2	1.2	27
			27
			93
			353
			353
			196

Trägheitsmoment
 * Bei der Angabe des Trägheitsmomentes ist die Berücksichtigung der 5 mm auf beiden Seiten einberechnet.
 * Präzisionsstandards liegen in Abhängigkeit von der Ausführung und der Motorhalterung.
 * Die Ausführung ohne Befestigung besteht aus einem Führungswagen und einer Halterung. Bitte beachten, dass es sich nicht um dieselbe Motorhalterung ohne Halterung handelt.

Trägheitsmoment		Zuverlässiges statisches Lastmoment	
Grundkörperperlfänge L	Ein Führungswagen	Zwei Führungswagen	Ein Führungswagen
80	0.0077	0.0054	0.40
100	0.0049	0.0058	0.45
150	0.0053	0.0063	0.58
200	0.0058	0.0063	0.71
250	0.0058	0.0063	0.83
300	0.0074	0.0074	0.92
	0.0073	0.0073	1.05

Servomotor-Verwendungstabelle
 * Bei der Angabe des Trägheitsmomentes ist die Berücksichtigung der 5 mm auf beiden Seiten einberechnet.
 * Präzisionsstandards liegen in Abhängigkeit von der Ausführung und der Motorhalterung.
 * Die Ausführung ohne Befestigung besteht aus einem Führungswagen und einer Halterung. Bitte beachten, dass es sich nicht um dieselbe Motorhalterung ohne Halterung handelt.

Teilenummer	Flanschgröße	Hersteller	Leistung	Trägheitsmoment (kg·cm ²)	
				LX2001	LX2005
A2025	25	Yaskawa Electric Corporation	10W/20W/30W		
A2028	28	Mitsubishi Electric Corporation	10W/20W/30W		
A2038	38	Panasonic	30W/50W/70W		
E2040	40	SIEMENS	50W/100W		
		Yaskawa Electric Corporation	30W/50W		
		Mitsubishi Electric Corporation	50W		
		Sanyo Denki Co., Ltd.	30W/50W		
		Omron Corporation	30W/50W		
		Keyence Corporation	50W		

Bestellbeispiel: Teilenummer LX2001, Anz. Führungswagen B1, Motoradapterplatten A2025, Gesamtlänge Grundkörper (L) 200

Lieferzeit: 8 Arbeitstage (LX2001-2005), 10 Arbeitstage (LX2001-2005), 13 Arbeitstage (LX2001-2005)

Preis: Hochwertiger Standardstimmertoff-Präzisionsgüte LX2001P - 2005, Fett mit geringer Partikelbildung ohne Motorhalterung

Alle Artikel ohne Halterungen gehen 13 Tage nach Eingang der Bestellung in den Versand.
 Bei Bestellung von 6 oder mehr identischen Modellen, die jeweilige Lieferzeit bitte anfragen.

Teilenummer	Stückpreis hohe Güte in € 1 - 2 Stk.					Stellung
	L=80 (nur Steigung 1)	L=100	L=150	L=200 (nur Steigung 5)	L=300 (nur Steigung 5)	
LX20-B1	373.00	395.00	399.00	412.00	435.00	1
LX20-B2	-	-	-	532.00	597.00	2
LX20-B1-F	438.00	461.00	479.00	497.00	510.00	1
LX20-B2-F	-	-	-	617.00	625.00	2

Bei noch größeren Bestellmengen muss die Lieferzeit im Einzelfall geschätzt werden.
 Einzelheiten zu den Optionen S.414

Präzisionsgüte - Aufpreis für Fett mit geringer Partikelbildung

Spezifikationen	€ Stückpreis
Präzisionsgüte	Stückpreis + 62,00
Fett mit geringer Partikelbildung	Stückpreis + 40,00

Leitpreis + Stückzahl in € = Artikelpreis

A.2.2 Motordatenblatt

2-Phasen-Hybrid-Schrittmotor



Die Präzisions-Schrittmotoren ZSS

Die bewährten 2-Phasen-Hybrid-Schrittmotoren der Baureihe ZSS werden in den unterschiedlichsten Bereichen eingesetzt: in der Fertigung, im Apparatebau, in optischen Geräten usw.

Die Haltemomente betragen 3.8 bis 700 mNm. ZSS Schrittmotoren werden mit der Standardschrittzahl 200 gefertigt, je nach Baugröße sind optional die Schrittzahlen 8, 24, 56, 72 oder 500 lieferbar.

Entsprechender Einbau und korrekte Verkabelung der ZSS Schrittmotoren tragen dazu bei, die Forderungen der EMV-Richtlinie an das gesamte System zu erfüllen.

Ausbaustufen

- **Schrittmotor**
- **Schrittmotor mit Getriebe**
 - Spielarme Planetengetriebe GPL
 - Planetengetriebe PLG ¹⁾
 - Harmonic Drive Getriebe HD ¹⁾
 - Schneckengetriebe GSR ¹⁾
- **Schrittmotor mit Motorbremse ¹⁾**
Permanentmagnetbremse für 24V_{DC} Versorgung
- **Schrittmotor mit Inkrementalgeber ¹⁾**
Standardauflösung 500 Strich
3-Kanalausführung

¹⁾ siehe separate Datenblätter

Typenübersicht / Mechanische Kenndaten

Baugröße	Typ	Schrittzahlen					Standardwicklungen	Haltemoment	Selbthaltemoment	Massenträgheitsmoment des Rotors	Zulässige Lagerbelastung		Gewicht	Elektr. Anschluss							
		8	24	56	72	200					500	A		mNm	mNm	10 ⁻⁴ kg m ²	axial	radial	kg	Freie Drahtenden	Anschlusskappe
19	ZSS 19	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.3 / 0.6 / 1.2	3.8	0.9	0.0009	3	3	0.04	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
	ZSS 20					<input checked="" type="checkbox"/>	0.3 / 0.6 / 1.2	5	1	0.0016	3	3	0.065	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
25	ZSS 25	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.3 / 0.6 / 1.2	13	2	0.0025	5	5	0.07	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
	ZSS 26					<input checked="" type="checkbox"/>	0.3 / 0.6 / 1.2	25	2.2	0.006	5	5	0.11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
32	ZSS 32				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.6 / 1.2 / 2.5	50	3	0.01	5	15	0.15	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
	ZSS 33				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.6 / 1.2 / 2.5	75	3.3	0.018	5	15	0.23	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
42	ZSS 41					<input checked="" type="checkbox"/>	0.6 / 1.2 / 2.5	100	4	0.025	20	40	0.26	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						
	ZSS 41/1					<input checked="" type="checkbox"/>	0.6 / 1.2 / 2.5	100	4	0.025	20	40	0.26	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						
	ZSS 42			<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	0.6 / 1.2 / 2.5	140	5	0.045	20	40	0.32	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						
	ZSS 42/1			<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	0.6 / 1.2 / 2.5	140	5	0.045	20	40	0.32	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						
	ZSS 43					<input checked="" type="checkbox"/>	0.6 / 1.2 / 2.5	260	7	0.077	20	40	0.47	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						
	ZSS 43/1					<input checked="" type="checkbox"/>	0.6 / 1.2 / 2.5	260	7	0.077	20	40	0.47	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						
52	ZSS 52			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.2 / 2.5	450	13	0.15	25	70	0.65	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						
56	ZSS 56					<input checked="" type="checkbox"/>	1.2 / 2.5	500	30	0.17	40	80	0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						
	ZSS 57					<input checked="" type="checkbox"/>	1.2 / 2.5	700	50	0.24	40	80	0.9	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						

²⁾ ZSS 41/1, 42/1, 43/1, 52, 56, 57: Anschlussplatine mit Erdungsschraube

³⁾ Bipolarer Betrieb
⁴⁾ rot = Vorzugsreihe

Standard Option

Technik im Detail

- 2-Phasen-Hybrid-Schrittmotoren
- Standardschrittzahl 200 / Schrittwinkel 1,8°
- Je nach Baugröße auch mit Schrittzahl 8, 24, 56, 72 oder 500
- Standardausführung: 8-Leiter
 - Anschluss als 4-Leiter-Schrittmotor für bipolare Ansteuerung mit parallel oder in Serie geschalteten Wicklungen
 - Anschluss als 5- oder 6-Leiter-Schrittmotor für unipolare Ansteuerung
- Haltemomente von 3.8 bis 700 mNm
- Schutzart
 - IP 40 bei ZSS mit freien Drahtenden
 - IP 50 bei ZSS mit Anschlusskappe
- Zul. Oberflächentemperatur -20 bis +120 °C
- Bemessungsspannung
 - 42 V für ZSS 19 – 33, 41, 42, 43
 - 100 V für ZSS 41/1, 42/1, 43/1, 52 – 57 (mit Erdungsschraube)
- Isolierstoffklasse F nach VDE 0530
- Prüfspannung
 - ZSS 19 – 52: 700 V (1 min)
 - ZSS 56 – 57: 1500 V (1 min)
- Optional:
 - 2. Wellenende (IP 40)
 - Verdrahtung als 4-, 5- oder 6-Leiter-Schrittmotor
- Auf Anfrage:
 - Kabelabgang radial oder vorn
 - Kundenspezifische Wellenenden
 - Sonderwicklungen

Schrittmotor ZSS 19 bis 33 mit freien Drahtenden

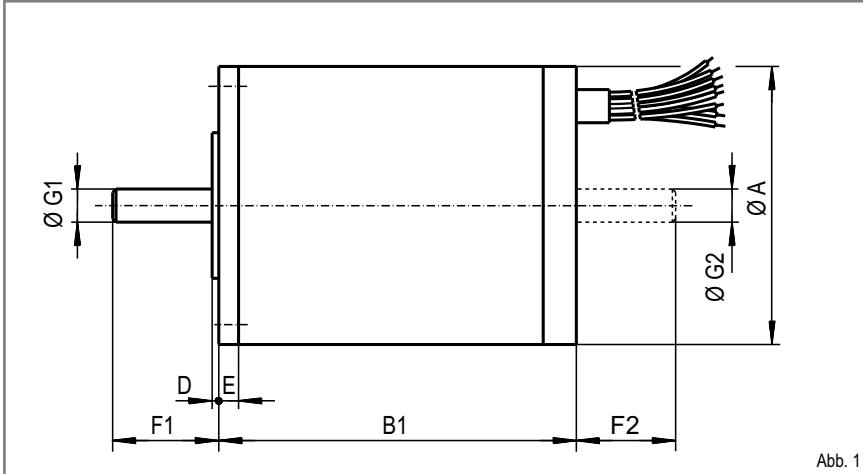


Abb. 1

Bauformen ZSS



ZSS 42 mit Anschlusskappe

ZSS 19 mit freien Drahtenden

Abb. 5

Schrittmotor ZSS 41 bis 57 mit Anschlusskappe

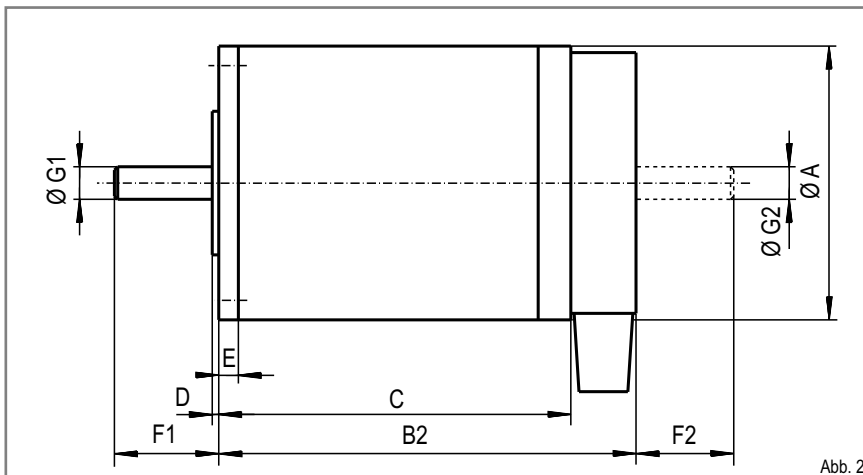


Abb. 2

Standardflansch ZSS

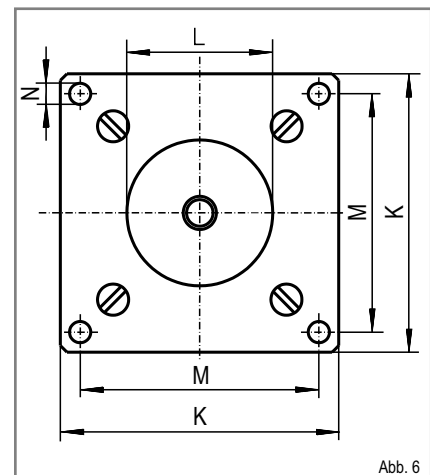


Abb. 6

Kühlkörper K1 für ZSS 19 bis 57

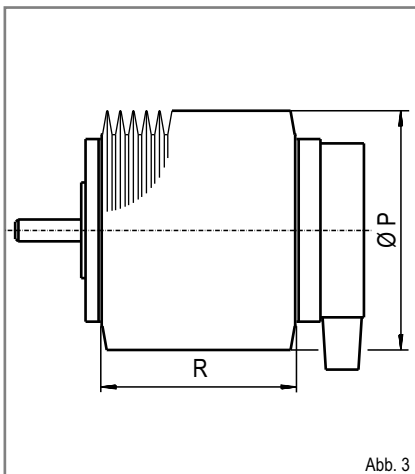


Abb. 3

Kühlkörper K2 für ZSS 19 bis 57

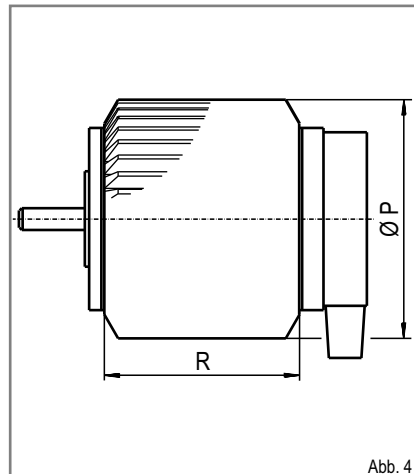


Abb. 4

Option: Kühlkörper

Die Schrittmotoren ZSS sind auch mit angebautem Kühlkörper lieferbar.

Je nach Einbaulage des Schrittmotors sollte ein Kühlkörper mit radialen Rippen (K1) oder mit axialen Rippen (K2) ausgewählt werden.

Bei Verwendung eines Kühlkörpers K1 vergrößert sich die wärmeabgebende Fläche des Schrittmotors etwa um den Faktor 3.9.

Wird ein Kühlkörper K2 eingesetzt, ist die Oberfläche etwa um den Faktor 3.4 größer.

Der nachträgliche Anbau eines Kühlkörpers ist möglich, sollte aber von phytron durchgeführt werden.

Abmessungen Schrittmotor / Kühlkörper K1 und K2

Baugröße	Typ	Abmessungen in mm															
		A	B1	B2	C	D	E	F1	F2	G1 ¹⁾	G2 ¹⁾	K	L _{g6}	M	N	P	R
19	ZSS 19	19	26.5			1	2	7.5	6.5	2.5	2.5	19	10	16	M2.5	26	20.5
	ZSS 20	19	43			1	2	7.5	6.5	2.5	2.5	19	10	16	M2.5	26	37
25	ZSS 25	25	31			1	2.5	9.5	8.5	3	3	25	14	21.5	2.2	35	24
	ZSS 26	25	47			1	2.5	9.5	8.5	3	3	25	14	21.5	2.2	35	40
32	ZSS 32	32	38.5			1	3	11	10	4	4	32	18	27	2.8	42	30
	ZSS 33	32	57.5			1	3	11	10	4	4	32	18	27	2.8	42	49
42	ZSS 41	42		49	39	1	3	16	15	5	4	42	22	36	3.2	55	30
	ZSS 41/1	42		49	39	1	3	16	15	5	4	42	22	36	3.2	55	30
	ZSS 42	42		64	54	1	3	16	15	5	4	42	22	36	3.2	55	45
	ZSS 42/1	42		64	54	1	3	16	15	5	4	42	22	36	3.2	55	45
	ZSS 43	42		79	69	1	3	16	15	5	4	42	22	36	3.2	55	60
	ZSS 43/1	42		79	69	1	3	16	15	5	4	42	22	36	3.2	55	60
52	ZSS 52	52		77	65	1.5	3.5	17.5	16	6	4	52	28	44	4.3	65	58
56	ZSS 56	56.4		69.1	57.1	1.5	4.5	22	20.5	6.35	6.35	60	38.1	47.15	5.2	78	44
	ZSS 57	56.4		85.1	73.1	1.5	4.5	22	20.5	6.35	6.35	60	38.1	47.15	5.2	78	60

¹⁾ Toleranz Wellendurchmesser: ZSS 19 bis 26: -0.005 bis -0.009, ab ZSS 32: g5

Litzen / Kabel

Motoren mit freien Drahtenden

- ZSS 19 bis 26
8 x AWG 28, freie Drahtenden 300 mm
- ZSS 32/33
8 x AWG 26, freie Drahtenden 300 mm

Motoren mit Anschlusskappe

- ZSS 41 bis 43, ZSS 41/1 bis 43/1
Durchmesser Kabelauslass max. 4.5 mm
- ZSS 52 bis 57
Durchmesser Kabelauslass max. 5 mm

Option: Motorbremse

Für die Schrittmotoren ZSS 32 bis 57 ist eine angebaute 24 V_{DC} Permanentmagnet-Motorbremse als Option verfügbar.

- ZSS 32 bis 43: KEB 01
Leistung: 8 W / Nennmoment 0.4 Nm
Elektrischer Anschluss: freie Drahtenden
- ZSS 52 bis 57: KEB 02
Leistung 10 W
Nennmoment 1 Nm
Elektrischer Anschluss: Rundsteckverbinder

Siehe Datenblatt: Schrittmotor ZSS mit Permanentmagnet-Motorbremse KEB (in Vorbereitung)

Option: Inkrementalgeber

Die Schrittmotoren ZSS 32 – 57 mit angebaute Inkrementalgeber sind besonders für den Einsatz in Regelantrieben oder zur Systemüberwachung vorgesehen.

- Motoranschluss über freie Drahtenden
- Inkrementalgeberanschluss über Flachbandkabel mit 10-poligem Steckverbinder
- Schutzart IP 20.

Siehe Datenblatt: Schrittmotor ZSS mit Inkrementalgeber HEDL 5540 (in Vorbereitung)

Schrittmotor mit spielarmem Planetengetriebe GPL

Schrittmotor ZSS mit Getriebe GPL

- Schrittmotor mit angebautes Getriebe
- 1- bis 3-stufiges Planetengetriebe
- Max. Verdrehspiel
 - Standard: 20 bis 50 arcmin
 - Spielarm: 6 bis 15 arcmin
- Max. Dauerdrehmoment 0.1 bis 38 Nm
- Kurzzeitig bis zu 100% überlastbar
- Geeignet für Dauer-, Wechsel- und Aussetzbetrieb
- Optimal für Kombinationen mit Zahnriemenmodulen
- Untersetzung 4:1 bis 256:1 (je nach Getriebetyp)
- Hoher Wirkungsgrad
- Geringes Massenträgheitsmoment
- Temperaturbereich –30 bis +90 °C
- Wartungsfreie Dauerschmierung

Material Getriebe

- Getriebegehäuse
 - GPL 22: rostfreier Stahl
 - GPL 26 bis 52: rostgeschützt gegen normale Umwelteinflüsse
- Ausgangskugellager: zwei Rillenkugellager

Betriebsarten Getriebe

S1: Dauerbetrieb

Die Einschaltzeit der Antriebseinheit übersteigt 15 Minuten ohne Pause oder die Einschalt-dauer beträgt mehr als 60%. Die maximal zulässige Gehäusetemperatur des Getriebes beträgt 70 °C.

S5: Zyklusbetrieb

Die Einschalt-dauer der Antriebseinheit liegt unter 60%. Die Zyklenzahl kann bis zu mehreren tausend Bewegungen pro Stunde betragen.

Bei mehr als 1000 Bewegungen pro Stunde muss das max. auftretende Drehmoment auf Grund der dynamischen Zusatzbelastung mit einem Stoßfaktor (Abb. 9) multipliziert werden.

Die Angaben in diesem Datenblatt beruhen auf Softwaremodellen und berücksichtigen einen Stoßfaktor von 1.25.

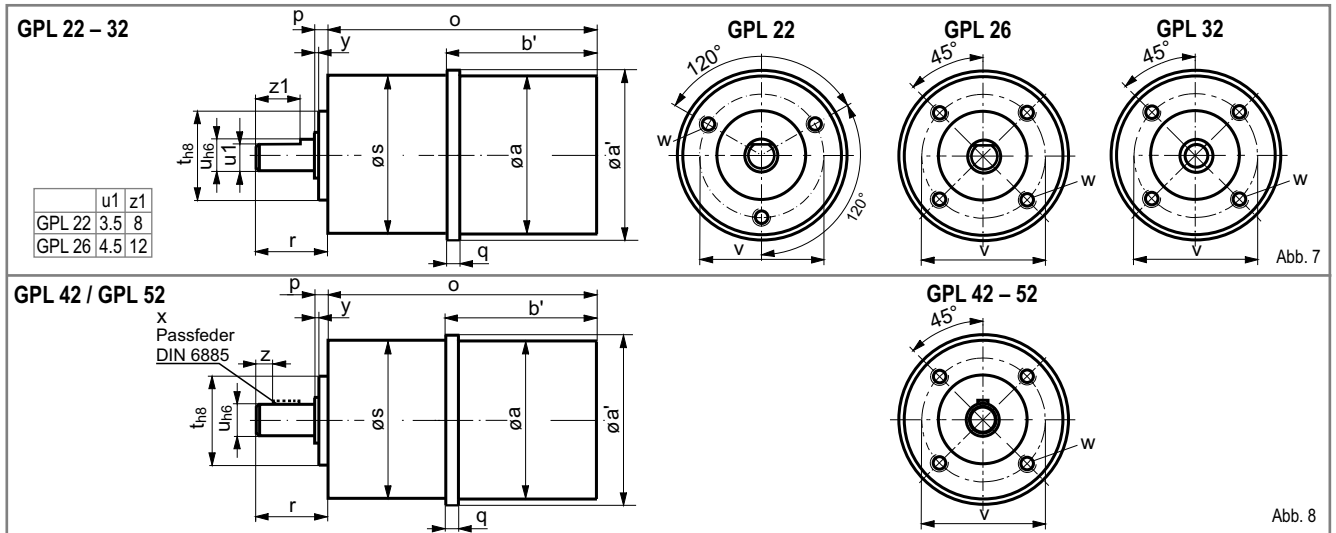
Mechanische Kenndaten

Getriebe	Schrittmotor	Mechanische Getriebekenndaten											
		Stufen	Untersetzungen	Standard			spielarm			Verdrehsteifigkeit	Mittl. Massenträgheit am Abtrieb	Wirkungsgrad ¹⁾	
				Verdrehspiel unbelastet	Nenn-drehmoment (S1)	NOT-AUS-Moment	Verdrehspiel unbelastet	Nenn-drehmoment (S5)	NOT-AUS-Moment				
			Nm		Nm	Nm/arcmin	kgcm ²	%					
GPL 22	ZSS 19 ZSS 20 ZSS 25 ZSS 26	1	4:1 5:1	7:1	20'	0.1	0.2	–	–	–	0.19	0.008	96
		2	16:1 20:1 28:1	35:1 49:1	35'	0.5	1	–	–	–	0.21	0.006	90
		3	64:1 80:1 112:1	140:1 196:1 245:1	50'	1.5	3	–	–	–	0.2	0.004	85
		1	3.5:1 4.33:1	6:1 7.67:1	20'	0.3	0.6	–	–	–	0.24	0.012	96
GPL 26	ZSS 25 ZSS 26	2	12.25:1 18.78:1 26:1	33.22:1 46:1	35'	1	2	–	–	–	0.26	0.010	90
		3	81.37:1 112.67:1 143.96:1	199.33:1 276:1	50'	3	6	–	–	–	0.25	0.0095	85
		1	4:1 4.5:1 5.2:1	6.25:1 8:1	20'	0.4	0.8	6'	0.8	1.6	0.3	0.015	96
GPL 32	ZSS 32 ZSS 33	2	16:1 18:1 20.8:1 25:1 29:1	32:1 36:1 41.6:1 50:1	35'	2	4	10'	4	6	0.32	0.012	90
		3	72:1 81:1 100:1 130:1	144:1 200:1 225:1 256:1	50'	6	12	15'	6	12	0.3	0.011	85
		1	4:1 4.5:1 5:1	6:1	20'	0.7	1.4	6'	1.4	3	0.4	0.03	96
GPL 42	ZSS 41 ZSS 42 ZSS 43	2	14:1 16:1	20:1	35'	4	8	10'	8	12	0.42	0.024	90
		3	56:1 64:1 80:1 100:1	120:1 144:1 184:1	50'	12	24	15'	12	24	0.4	0.024	85
		1	4:1 4.5:1 5.2:1	6.25:1 8:1	20'	1.5	3	6'	3	6	1.2	0.06	96
GPL 52	ZSS 52 ZSS 56 ZSS 57	2	16:1 18:1 20.8:1 25:1 29:1	32:1 36:1 41.6:1 50:1:1	35'	10	20	10'	20	30	1.3	0.055	90
		3	72:1 81:1 100:1 130:1	144:1 200:1 225:1 256:1	50'	30	60	15'	30	60	1.35	0.05	85
		1	4:1 4.5:1 5:1	6:1	20'	0.7	1.4	6'	1.4	3	0.4	0.03	96

¹⁾Angaben für Umgebungstemperatur 21 °C

Schrittmotor mit spielarmem Planetengetriebe GPL

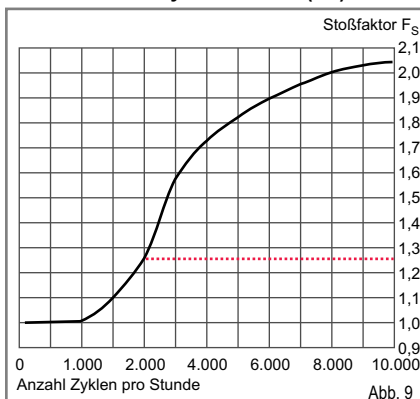
Schrittmotor mit Getriebe GPL



Abmessungen

Getriebe	Schritt- motor	Abmessungen in mm																
					1-stufig	2-stufig	3-stufig											
		a	a'	b'	o			p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z
GPL 22	ZSS 19	19	22	29	50	57	64	2.5	4.5	15	22	12	4	16	M2.5x4	-	0.5	-
	ZSS 20	19	22	45.5	66.5	73.5	80.5											
	ZSS 25	25	25.5	33.5	54.5	61.5	68.5											
	ZSS 26	25	25.5	49.5	70.5	77.5	84.5											
GPL 26	ZSS 25	25	26	33.5	59	67	75	2.5	5	17	26	14	5	20	M3x4	-	0.5	-
	ZSS 26	25	26	49.5	75	83	91											
GPL 32	ZSS 32	32	33	40.5	69.5	78.5	87.5	4	5	20	32	20	6	26	M3x5	-	1	-
	ZSS 33	32	33	59.5	88.5	97.5	106.5											
GPL 42	ZSS 41	42	43	53	88	100.5	113	4	7	22.5	42	25	8	32	M4x8	3x3x14	1	2.25
	ZSS 42			68	103	115.5	128											
	ZSS 43			83	118	130.5	143											
52	ZSS 52	52	53	82.5	123.5	138	152.5	4	9	24	52	32	12	40	M5x8	4x4x16	1	2
	ZSS 56	56.4	57	73	114	128.5	143											
	ZSS 57	56.4	57	89	130	144.5	159											

Stoßfaktor für Zyklusbetrieb (S5)



Gewicht / Zulässige Belastungen / Schutzarten

Getriebe	Gewicht ohne Motor			zul. Radiallast (Wellenmitte)	zul. Axiallast	Schutzart Getriebe	Schutzart Getriebe + Motor	
	1-stufig	2-stufig	3-stufig				IP 40	IP 44
	g							
GPL 22	50	75	100	30	24	IP 44	IP 40	IP 44
GPL 26	70	90	115	50	40	IP 44	IP 40	IP 44
GPL 32	135	180	250	80	65	IP 54	IP 40	IP 44
GPL 42	275	350	425	150	120	IP 54	IP 43	IP 65
GPL 52	475	600	725	250	200	IP 54	IP 43	IP 65

IP xx = Standard
IP xx = optional
(Maße auf Anfrage)

Elektrischer Anschluss

Die phytron Schrittmotoren der Baureihe ZSS sind in 8-Leiter-Ausführung aufgebaut.

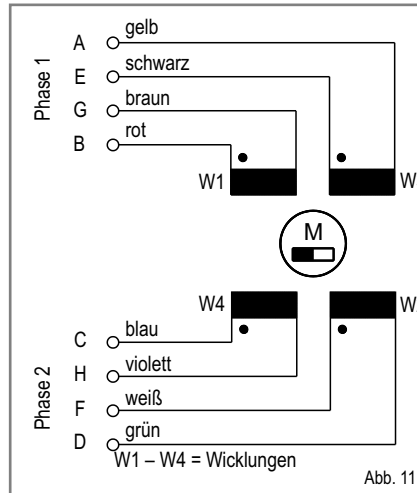
Die Motoren sind für unipolare und bipolare Ansteuerung geeignet, da die Wicklungen unterschiedlich verschaltet werden können.

Für unipolare Ansteuerung kommen die Schaltungsarten 5-Leiter oder 6-Leiter in Frage.

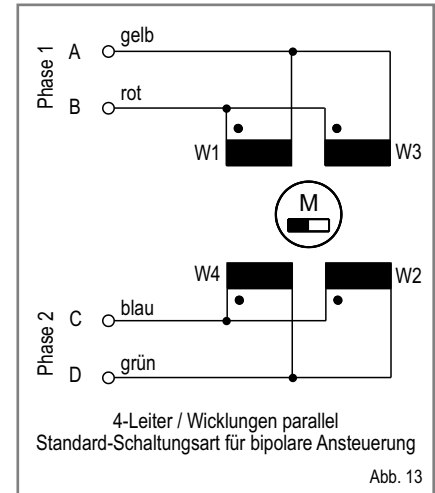
Bei bipolarem Betrieb wird der Motor als 4-Leiter angeschlossen, Wicklungen parallel oder in Serie geschaltet.

Beim Anschluss des Motors sollten die Hinweise im mitgelieferten Motoranschlussblatt ZSS (auch im Download-Bereich der phytron Homepage verfügbar) unbedingt beachtet werden, um einen EMV-gerechten Anschluss des Motor zu gewährleisten.

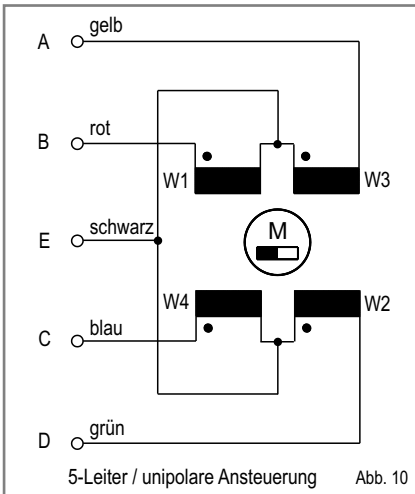
Schrittmotor ZSS mit freien Drahtenden



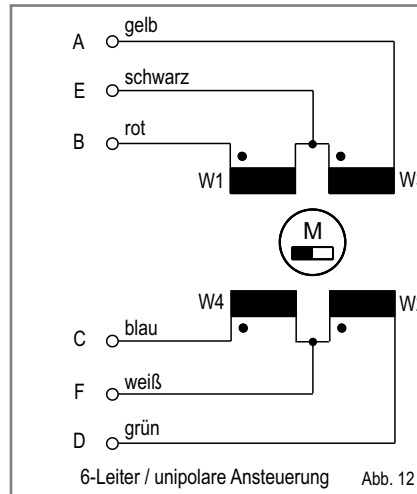
Schaltungsart 4-Leiter / parallel



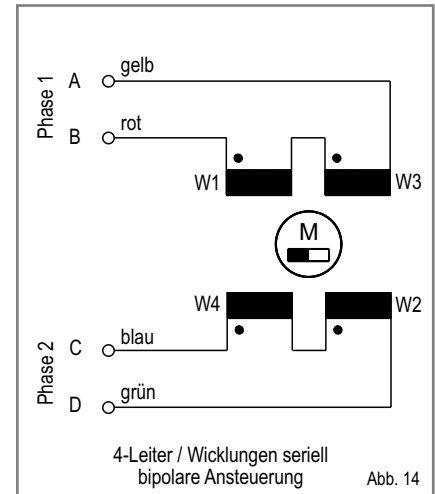
Schaltungsart 5-Leiter



Schaltungsart 6-Leiter



Schaltungsart 4-Leiter / seriell



Phasenströme

Bei phytron Schrittmotoren ZSS wird der Nennstrom [A] pro Motorphase auf dem Typenschild angegeben. Die letzten Ziffern der Typenbezeichnung definieren den Nennstrom.

Beispiel: ZSS 32.200.1,2

Der **Nennstrom** ist der zulässige Phasenstrom für Vollschrittbetrieb bei bipolarer Ansteuerung mit parallel geschalteten Motorwicklungen.

Je nach Schaltungsart werden die Motorwicklungen unterschiedlich bestromt. Die für die gleiche Verlustleistung im Motor zulässigen Phasenströme sind daher abhängig von der Schaltungsart.

Überlastung bis zum zweifachen Phasenstrom ist kurzzeitig zulässig.

Ansteuerung	Bipolare Ansteuerung Vollschrittbetrieb		Unipolare Ansteuerung Vollschrittbetrieb	
	4-Leiter Wicklungen parallel Standardschaltungsart für bipolare Ansteuerung	4-Leiter Wicklungen seriell	5-Leiter	6-Leiter
Schaltungsart des Motors				
Zulässiger Phasenstrom bei gleicher Verlustleistung	Nennstrom	Nennstrom x 0.5	Nennstrom x 0.707	Nennstrom x 0.707

Elektrische Kenndaten / Phasenströme / Widerstand / Induktivität

Baugröße	Typ	Standardwicklung 1				Standardwicklung 2				Standardwicklung 3			
		Phasenstrom		Widerstand pro Wicklung	Induktivität pro Wicklung ¹⁾	Phasenstrom		Widerstand pro Wicklung	Induktivität pro Wicklung ¹⁾	Phasenstrom		Widerstand pro Wicklung	Induktivität pro Wicklung ¹⁾
		bei unipolarem Betrieb	bei bipolarem Betrieb			bei unipolarem Betrieb	bei bipolarem Betrieb			bei unipolarem Betrieb	bei bipolarem Betrieb		
		A	A	Ω	mH	A	A	Ω	mH	A	A	Ω	mH
19	ZSS 19	0.21	0.3	14.5	2.2	0.42	0.6	3.7	0.55	0.84	1.2	1.25	0.15
	ZSS 20							6.9	1.1				
25	ZSS 25	0.21	0.3	24	6	0.42	0.6	6.5	1.5	0.84	1.2	1.9	0.4
	ZSS 26			43	12			11.7	3.2			3.4	1
32	ZSS 32	0.42	0.6	9.3	5.3	0.84	1.2	2.6	1.2	1.75	2.5	0.6	0.3
	ZSS 33			15	9.3			3.5	2.2			0.94	0.6
42	ZSS 41	0.42	0.6	10.2	7.6	0.84	1.2	2.7	2	1.75	2.5	0.55	0.4
	ZSS 41/1 ²⁾			10.2	7.6			2.7	2			0.55	0.4
	ZSS 42			14.5	11			3.2	3			0.7	0.7
	ZSS 42/1 ²⁾			14.5	11			3.2	3			0.7	0.7
	ZSS 43			19	22.9			5.2	5.2			1	1.2
	ZSS 43/1 ²⁾			19	22.9			5.2	5.2			1	1.2
52	ZSS 52 ²⁾	0.84	1.2	5.3	7	1.75	2.5	1.2	1.6				
56	ZSS 56 ²⁾	0.84	1.2	5.7	6.7	1.75	2.5	1.3	1.7				
	ZSS 57 ²⁾			7.8	7.8			1.6	2.4				

Anmerkungen:

¹⁾ Die Induktivitätswerte gelten sowohl für die einzelne Wicklung als auch für zwei parallel geschaltete Wicklungen.

Bei bipolarem Betrieb können die Wicklungen auch seriell verschaltet werden, die Induktivität hat in diesem Fall den vierfachen Wert.

²⁾ ZSS 41/1, 42/1, 43/1, 52, 56, 57 mit Erdungsschraube auf der Anschlussplatine

Betriebsfrequenzkennlinien

Die Betriebsfrequenz-Grenzkennlinien (M) wurden mit jeweils zwei verschiedenen Betriebsspannungen (U_b) aufgenommen.

Die Motoren sind als 4-Leiter mit parallel geschalteten Motorwicklungen verdrahtet und werden bipolar angesteuert von phytron Schrittmotor-Endstufen in der Betriebsart Halbschritt.

Leistungskennlinien

Zu jeder Betriebsfrequenzkennlinie zeigt eine Leistungskennlinie die abgegebene Wellenleistung (P).

Weitere Kennlinien können Sie vom phytron ftp-Server herunterladen: Bereich Download auf der phytron Homepage www.phytron.de.

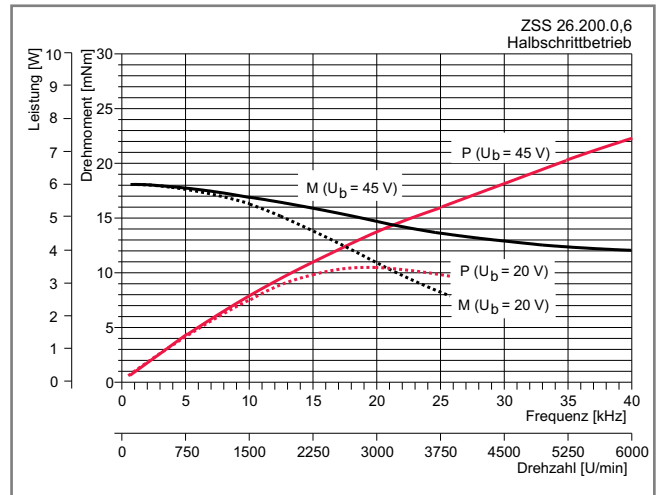


Abb. 17

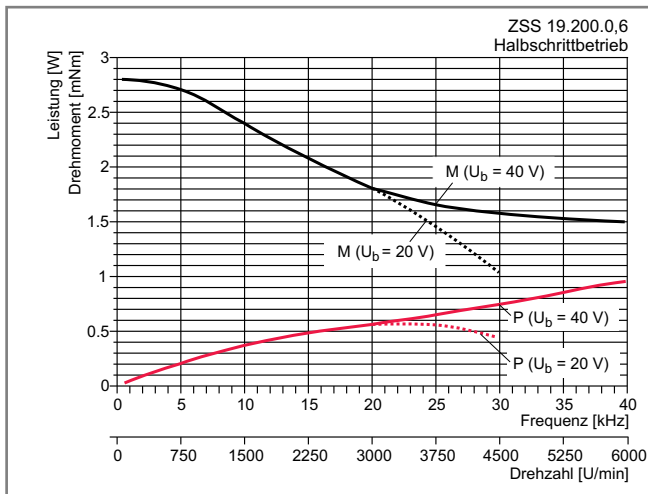


Abb. 15

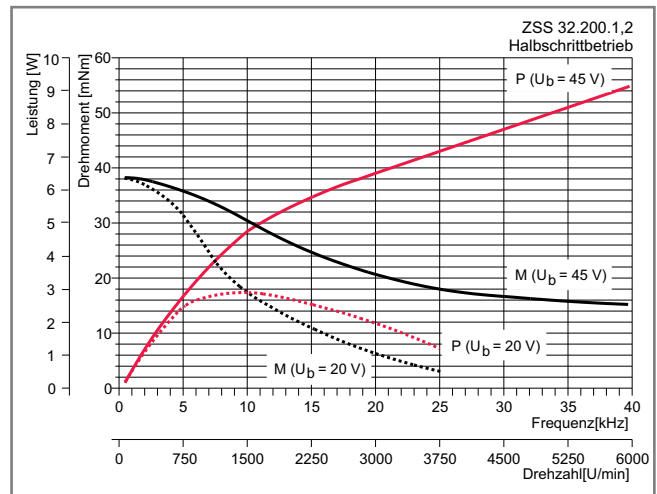


Abb. 18

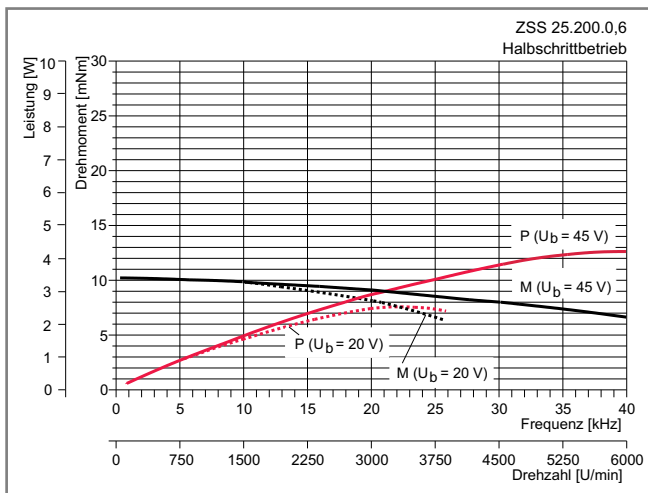


Abb. 16

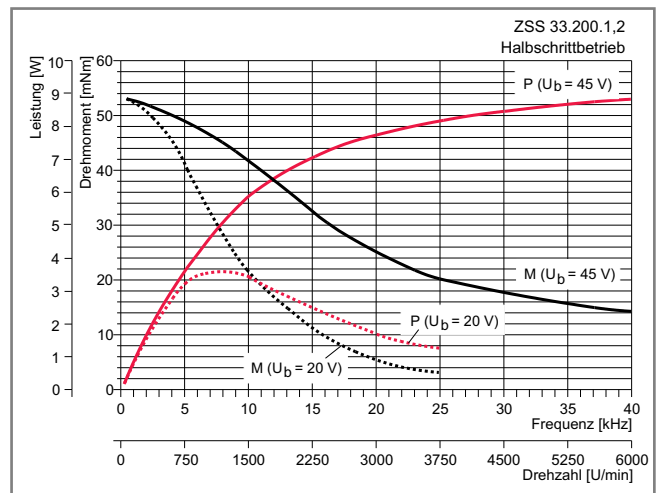


Abb. 19

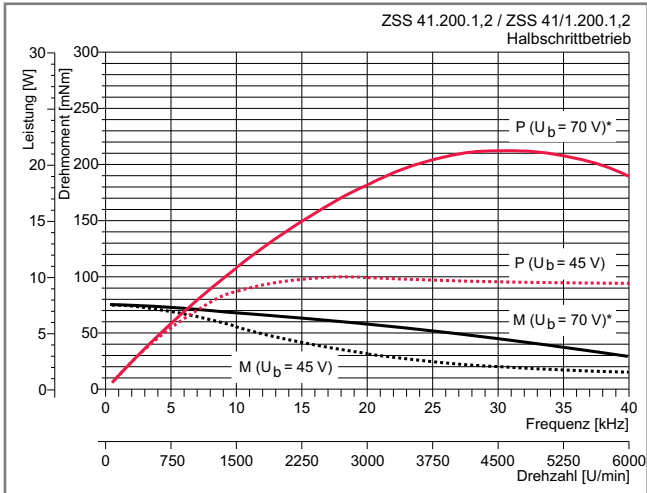


Abb. 20

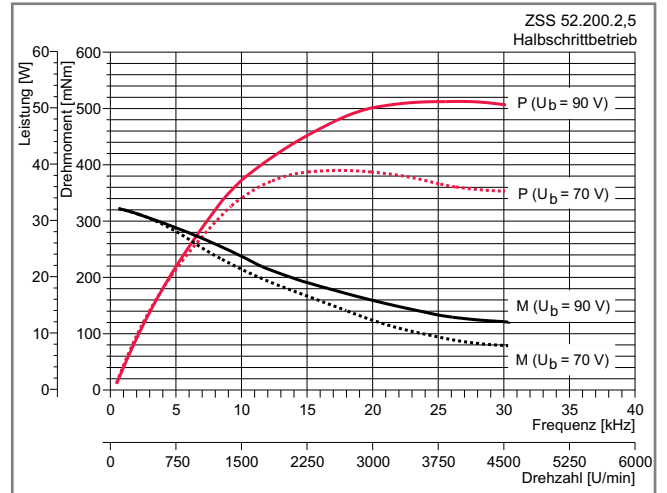


Abb. 23

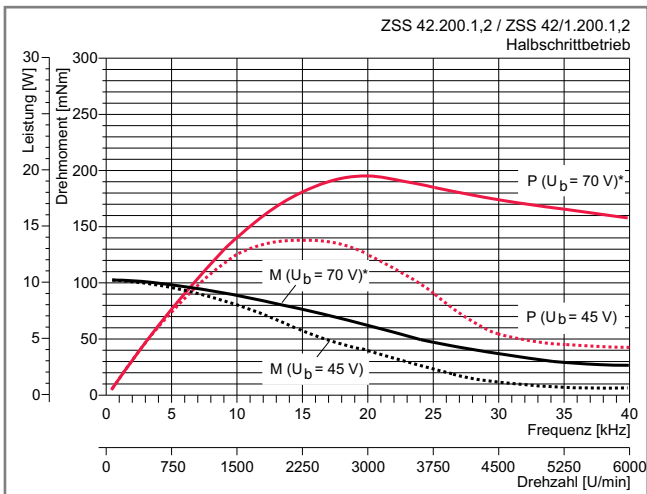


Abb. 21

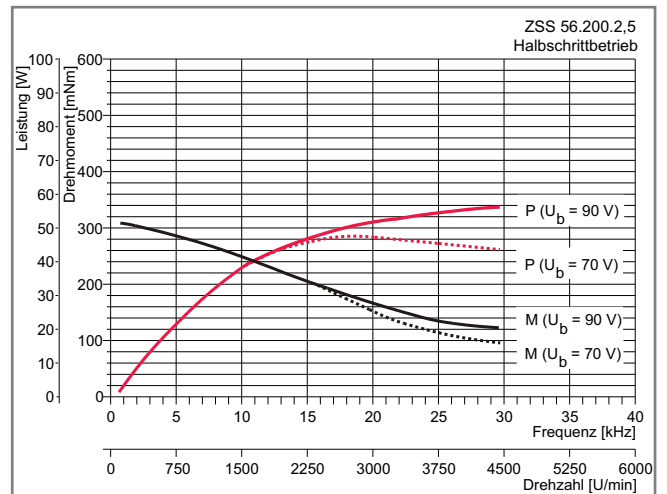


Abb. 24

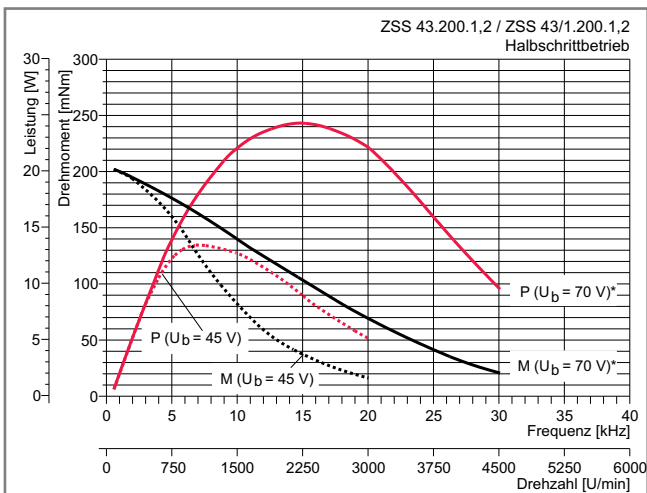


Abb. 22

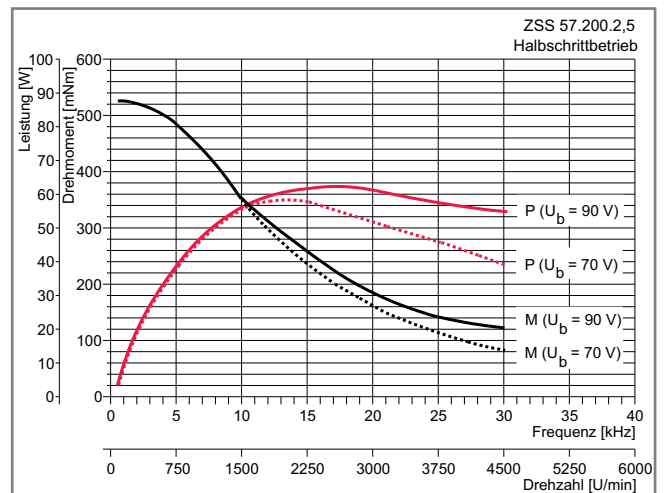


Abb. 25

* $U_b = 70$ V zulässig für Motoren mit Erdungsschraube

Option: Planetengetriebe PLG

Der Einsatz eines Getriebes ist zu empfehlen, wenn eine höhere Auflösung des Systems oder eine niedrigere Abtriebsdrehzahl benötigt wird. Mit angebautem Planetengetriebe erhöht sich das Abtriebsmoment des Schrittmotors bei gleichzeitiger Reduzierung der Massenträgheit.

- 1-, 2- oder 3-stufige Getriebe mit Untersetzungen von 4.5:1 bis 512:1
- Ein- und Ausgangsdrehrichtung sind gleich
- Abtriebsmoment je nach Baugröße bis 24 Nm
- Geringes Getriebspiegel: 1°
- Hohe zulässige axiale und radiale Wellenbelastung
- Temperaturbereich -15 bis +70 °C
- Dauerschmierung
- Mit angebautem Schrittmotor ZSS 32 bis 57

Abmessungen und mechanische Kenndaten:
Datenblatt Schrittmotor mit Getriebe PLG

EU-Richtlinien und CE

Die phytron Schrittmotoren ZSS 19 bis 43 (Bemessungsspannung 42 V) tragen kein CE-Zeichen, da sie nicht der Niederspannungsrichtlinie unterliegen. ZSS 41/1, 42/1, 43/1, 52 und 57 (Bemessungsspannung 100 V) tragen ein CE-Zeichen. Sie erfüllen bei entsprechendem Einbau die Forderungen der Niederspannungsrichtlinie und entsprechen der Norm EN 60034-1.

Der Schrittmotor ist nach der Maschinenrichtlinie nur Teil einer Maschine. Vom Hersteller der Maschine müssen die erforderlichen Maßnahmen getroffen werden, damit das gesamte System die geltenden EU-Richtlinien erfüllt.

Hinweise zur EMV-gerechten Verkabelung finden Sie im Motoranschlussblatt¹ und den Handbüchern der eingesetzten Ansteuerung.

¹Die Motoranschlussblätter werden jeder Lieferung von Schrittmotoren beigelegt und können außerdem über den Downloadbereich der phytron Homepage im pdf-Format heruntergeladen werden.

Option: Harmonic Drive Getriebe HD

Die Harmonic Drive Getriebe arbeiten nach einem speziellen Funktionsprinzip. Zur Kraftübertragung wird ein elastisch verformbarer Stahlzylinder, der Flexspline, verwendet, der die Drehbewegung des Motors untersetzt auf die Abtriebswelle überträgt. Antriebs- und Abtriebsdrehrichtung sind entgegengesetzt.

- Hohes Untersetzungsverhältnis bei geringstem Raumbedarf: 50:1 bis 100:1 (je nach Baugröße)
- Sehr geringes Gewicht
- Sehr kleine Massenträgheit
- Zulässiges Abtriebsmoment: je nach Motorgröße bis 7.8 Nm
- Sehr geringes Zahnflankenspiel: 0.4 bis 2 Winkelminuten
- Hoher Wirkungsgrad
- Standard-Umgebungstemperaturbereich 0 bis 40 °C
- Mit angebautem Schrittmotor ZSS 25 bis 52

Maßzeichnungen und weitere Informationen:
Datenblatt Schrittmotor mit Getriebe HD

Option: Schneckengetriebe GSR

Schrittmotoren ZSS mit Schneckengetriebe GSR sind besonders geeignet für den Einbau auf kleinsten Raum.

- Antrieb und Abtrieb um 90° versetzt
- Verschiedene Anbaumöglichkeiten
- 2. Wellenende
- Untersetzungen 7:1 bis 40:1
- <30 Winkelminuten Verdrehspiel
- Hohe Verdrehsteifigkeit: 0.26 bis 1.3 Nm/arcmin
- Mit angebautem Schrittmotor ZSS 32 bis 52

Maßzeichnungen und weitere Informationen
auf Anfrage

Bestellschlüssel

	ZSS 42 . 200 . 1,2 - E - K1 - GPL / 20 - FD
Schrittmotorbauform	ZSS
Typ ¹	19, 20, 25, 26, 32, 33 41, 42, 43, 41/1, 42/1, 43/1 52, 56, 57
Schrittzahl	200, je nach Typ auch 8, 24, 56, 500
Wicklung	Standardwicklungen
Optionen:	
2. Wellenende	alle Typen
Inkrementalgeber	ZSS 25 bis 57
Motorbremse	ZSS 32 bis 57
Kühlkörper	ZSS 19 bis 57
Getriebe/Untersetzung	GPL: ZSS 19 bis 57 PLG: ZSS 25 bis 57 HD: ZSS 25 bis 52 GSR: auf Anfrage
Freie Drahtenden	Option: ZSS 41 bis 57 (Standard bei ZSS 19 bis 33)

¹ZSS 41/1 bis 57: mit Erdungsschraube

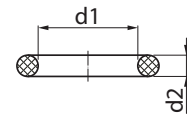
A.2.3 Führungsdatenblatt

A.2.4 O-Ringdaten



Präzisions-O-Ringe aus Original Viton®, FPM

Joints toriques de précision en Original Viton®, FPM



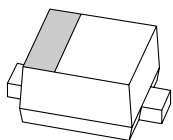
Preis pro 100 Stk. / Prix par 100 pcs.

Artikel-Nr. No. d'article	d1 [mm]	d2 [mm]	AN/BS	1 +	10 +	25 +	50 +	100 +	250 +
0103-00257	196.22	5.33	368	1734.00	1311.50	1223.50	1127.00		
0103-00967	196.22	7	444	2362.50	1832.50	1728.00	1616.00		
0103-00689	196.44	3.53	265	1138.00	836.00	770.50	696.00	617.50	
0103-00559	196.52	2.62	170	1049.00	766.50	705.00	634.50	560.00	
0103-00465	200	3		1373.00	1022.00	946.50	862.00	776.00	
0103-00377	200	4		1566.50	1176.50	1094.00	1002.50	911.00	
0103-01201	200	5		1724.00	1303.50	1216.00	1119.50		
0103-02431	200	7		2805.00	2212.00	2098.00	1977.50		
0103-01896	200	8		7322.50	6375.50				
0103-02461	200	10		20824.50					
0103-00259	202.57	5.33	369	1839.50	1397.50	1306.50	1207.00		
0103-00968	202.57	7	445	2427.50	1888.00	1782.00	1668.50		
0103-00237	202.79	3.53	266	1257.50	930.00	859.50	779.50	697.00	
0103-01556	202.87	2.62	171	1503.00	1125.50	1045.50	956.00	866.00	
0103-02464	203	3		1511.00	1131.50	1051.50	962.00	871.50	
0103-00900	204.2	5.7		2358.00	1829.00	1724.50	1612.50		
0103-01332	205	3		1422.50	1061.00	983.50	897.50	809.50	
0103-01441	205	5		1734.00	1311.50	1223.50	1127.00		
0103-00543	208.92	5.33	370	1896.50	1444.00	1351.50	1250.50		
0103-00805	209.14	3.53	267	1383.50	1030.00	954.50	869.50	783.00	
0103-00849	209.2	5.7							
0103-00908	209.27	2.62	172	1115.00	818.00	753.50	680.00	602.50	
0103-01438	210	3		1373.00	1022.00	946.50	862.00	776.00	
0103-00623	210	4		1644.00	1238.50	1153.50	1060.00	966.00	
0103-01261	210	5		1792.00	1358.50	1269.00	1170.50		
0103-00907	210	6		3260.50	2610.50	2489.00			
0103-02373	215	4		2254.50	1741.50	1639.50	1529.50		
0103-00544	215.27	5.33	371	2309.00	1787.50	1684.00	1573.00		
0103-00969	215.27	7	446	2512.50	1960.50	1852.50	1737.50		
0103-00238	215.49	3.53	268	1321.00	980.50	907.00	824.50	740.00	
0103-00909	215.57	2.62	173	1143.50	840.50	775.00	700.00	621.50	
0103-01262	220	3		1576.50	1184.50	1101.50	1010.00	918.00	
0103-02147	220	4		2559.50	2000.50	1891.50	1775.50		
0103-01171	220	5		2064.50	1582.50	1485.50	1380.00		
0103-00687	221.62	5.33	372	2046.00	1567.50	1470.50	1365.50		
0103-00843	221.66	7							
0103-00492	221.84	3.53	269	1268.00	938.50	867.50	787.00	704.50	
0103-00819	221.92	2.62	174	1733.00	1310.50	1222.50	1126.50		
0103-01748	225	4		3711.50	3012.50	2884.00			
0103-01264	225	5		2027.50	1552.00	1455.50	1351.00		
0103-00943	227.97	5.33	373	2055.00	1575.00	1478.00	1373.00		
0103-00266	227.97	7	447	2617.50	2050.00	1940.00	1822.50		
0103-01564	228.19	3.53	270	1743.50	1319.00	1231.00	1134.00		
0103-01683	228.27	2.62	175	1342.50	997.50	923.50	840.00	754.50	
0103-01887	229.1	8.4		10039.50	8985.00				
0103-01278	229.3	5.7		1981.00	1513.50	1418.50	1315.00		
0103-01339	230	4		2428.50	1888.50	1782.50	1669.00		
0103-02348	230	5		2459.50	1915.00	1808.50	1694.00		
0103-01886	233	3		2011.50	1539.00	1443.00	1339.00		
0103-01885	234.1	8.4		7988.50	7011.50				
0103-00260	234.32	5.33	374	2064.50	1582.50	1485.50	1380.00		
0103-00918	234.54	3.53	271	1536.50	1152.00	1071.00	980.50	889.50	
0103-01990	234.62	2.62	176	1377.00	1024.50	949.50	864.50	778.50	
0103-02395	235	4		3184.00	2543.00	2422.50			
0103-00867	235	5		2208.50	1703.00	1602.00	1493.50		
0103-01360	239.3	5.7		3132.00	2497.50	2378.00			
0103-02360	240	3		2670.00	2095.00	1984.00	1866.00		
0103-01418	240	5		2521.00	1967.50	1859.00	1744.00		
0103-00261	240.67	5.33	375	2119.50	1628.50	1529.50	1423.00		
0103-00677	240.67	7	448	3387.50	2723.00	2599.50			
0103-00696	240.89	3.53	272	1556.50	1168.50	1086.50	995.50	904.00	
0103-01991	240.97	2.62	177	1538.00	1153.00	1072.00	981.50	890.50	

Preise in CHF, unverpackt, ab Werk, exkl. MwSt.

Prix en CHF, non emballés, départ usine, TVA exclue.

A.2.5 PIN Diode



BAP64-02

Silicon PIN diode

Rev. 06 — 9 January 2008

Product data sheet

IMPORTANT NOTICE

Dear customer,

As from October 1st, 2006 Philips Semiconductors has a new trade name - NXP Semiconductors, which will be used in future data sheets together with new contact details.

In data sheets where the previous Philips references remain, please use the new links as shown below.

<http://www.philips.semiconductors.com> use <http://www.nxp.com>

<http://www.semiconductors.philips.com> use <http://www.nxp.com> (Internet)

sales.addresses@www.semiconductors.philips.com use salesaddresses@nxp.com (email)

The copyright notice at the bottom of each page (or elsewhere in the document, depending on the version)

- © Koninklijke Philips Electronics N.V. (year). All rights reserved -

is replaced with:

- © NXP B.V. (year). All rights reserved. -

If you have any questions related to the data sheet, please contact our nearest sales office via e-mail or phone (details via salesaddresses@nxp.com). Thank you for your cooperation and understanding,

NXP Semiconductors

Silicon PIN diode

BAP64-02

FEATURES

- High voltage, current controlled
- RF resistor for RF attenuators and switches
- Low diode capacitance
- Low diode forward resistance
- Very low series inductance
- For applications up to 3 GHz.

APPLICATIONS

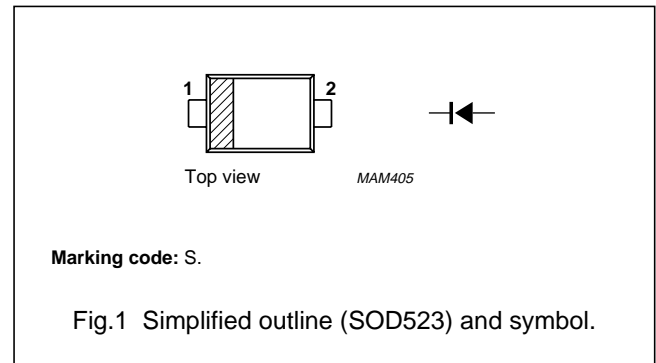
- RF attenuators and switches.

DESCRIPTION

Planar PIN diode in a SOD523 ultra small plastic SMD package.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	cathode
2	anode



LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_R	continuous reverse voltage		–	175	V
I_F	continuous forward current		–	100	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_s = 90\text{ °C}$	–	715	mW
T_{stg}	storage temperature		–65	+150	°C
T_j	junction temperature		–65	+150	°C

Silicon PIN diode

BAP64-02

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYP.	MAX.	UNIT
V_F	forward voltage	$I_F = 50\text{ mA}$	0.95	1.1	V
I_R	reverse leakage current	$V_R = 175\text{ V}$	–	10	μA
		$V_R = 20\text{ V}$	–	1	μA
C_d	diode capacitance	$V_R = 0; f = 1\text{ MHz}$	0.48	–	pF
		$V_R = 1\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	0.35	–	pF
		$V_R = 20\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	0.23	0.35	pF
r_D	diode forward resistance	$f = 100\text{ MHz}; \text{note } 1$			
		$I_F = 0.5\text{ mA}$	20	40	Ω
		$I_F = 1\text{ mA}$	10	20	Ω
		$I_F = 10\text{ mA}$	2	3.8	Ω
		$I_F = 100\text{ mA}$	0.7	1.35	Ω
τ_L	charge carrier life time	when switched from $I_F = 10\text{ mA}$ to $I_R = 6\text{ mA}; R_L = 100\ \Omega$; measured at $I_R = 3\text{ mA}$	1.55	–	μs
L_S	series inductance		0.6	–	nH

Note

1. Guaranteed on AQL basis: inspection level S4, AQL 1.0.

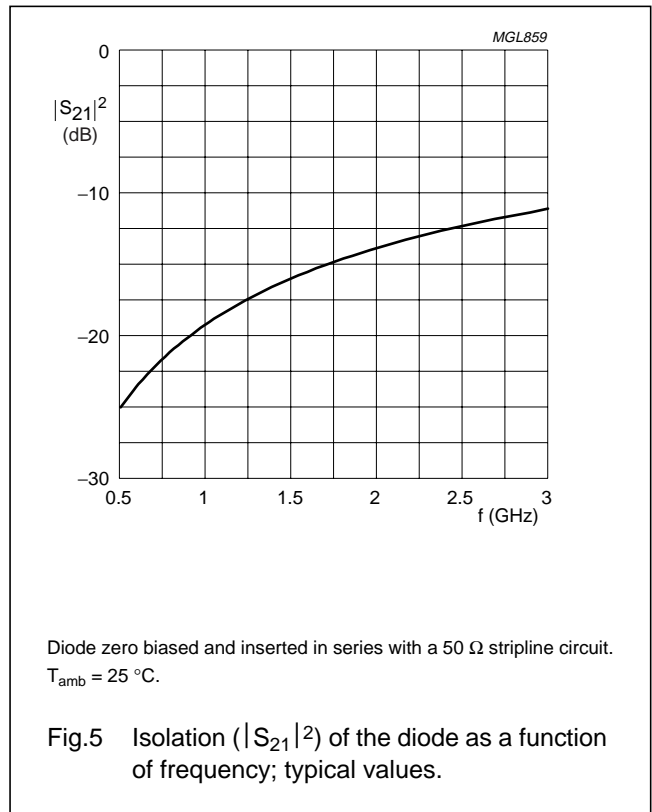
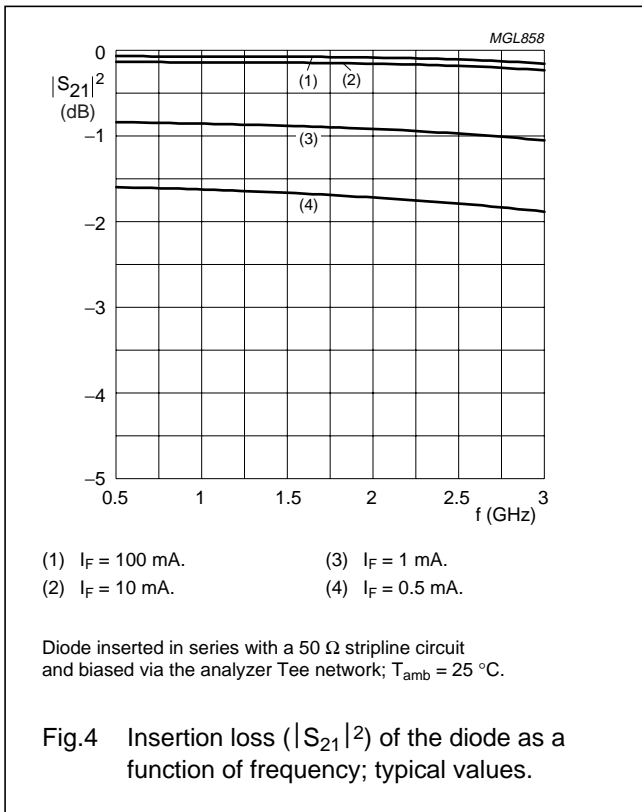
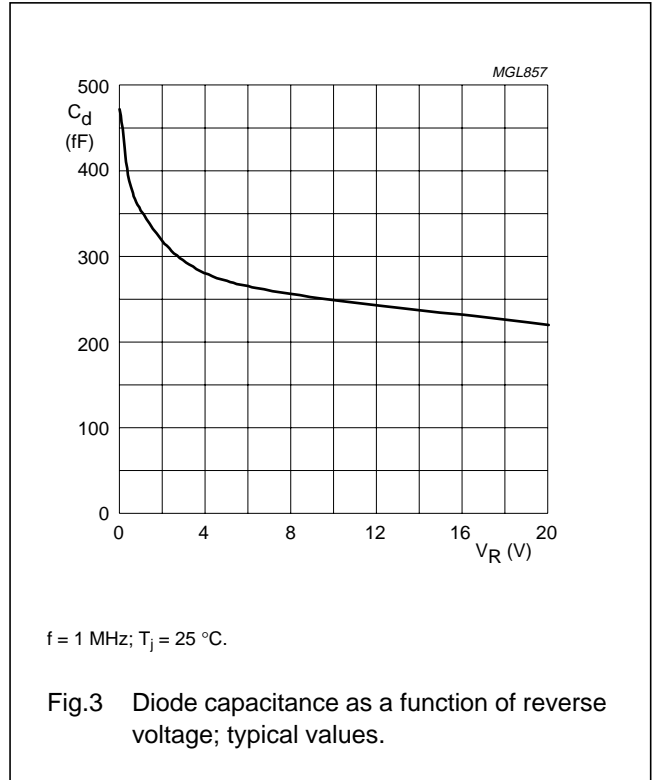
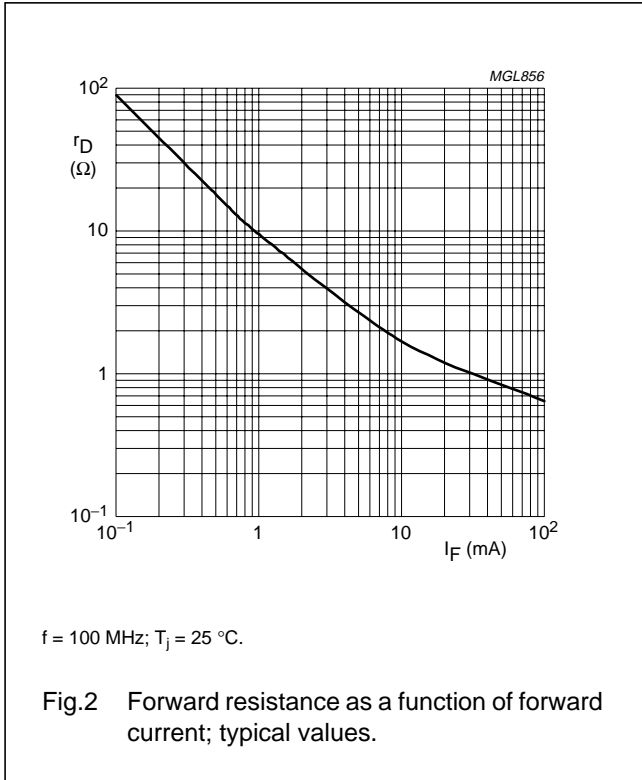
THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	VALUE	UNIT
$R_{th\ j-s}$	thermal resistance from junction to soldering point	85	K/W

Silicon PIN diode

BAP64-02

GRAPHICAL DATA



Silicon PIN diode

BAP64-02

PACKAGE OUTLINE

Plastic surface-mounted package; 2 leads

SOD523

DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	A	bp	c	D	E	HE	v
mm	0.65 0.58	0.34 0.26	0.17 0.11	1.25 1.15	0.85 0.75	1.65 1.55	0.1

Note
1. The marking bar indicates the cathode.

OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	JEITA			
SOD523			SC-79			02-12-13 06-03-16

Legal information

Data sheet status

Document status ^{[1][2]}	Product status ^[3]	Definition
Objective [short] data sheet	Development	This document contains data from the objective specification for product development.
Preliminary [short] data sheet	Qualification	This document contains data from the preliminary specification.
Product [short] data sheet	Production	This document contains the product specification.

[1] Please consult the most recently issued document before initiating or completing a design.

[2] The term 'short data sheet' is explained in section "Definitions".

[3] The product status of device(s) described in this document may have changed since this document was published and may differ in case of multiple devices. The latest product status information is available on the Internet at URL <http://www.nxp.com>.

Definitions

Draft — The document is a draft version only. The content is still under internal review and subject to formal approval, which may result in modifications or additions. NXP Semiconductors does not give any representations or warranties as to the accuracy or completeness of information included herein and shall have no liability for the consequences of use of such information.

Short data sheet — A short data sheet is an extract from a full data sheet with the same product type number(s) and title. A short data sheet is intended for quick reference only and should not be relied upon to contain detailed and full information. For detailed and full information see the relevant full data sheet, which is available on request via the local NXP Semiconductors sales office. In case of any inconsistency or conflict with the short data sheet, the full data sheet shall prevail.

Disclaimers

General — Information in this document is believed to be accurate and reliable. However, NXP Semiconductors does not give any representations or warranties, expressed or implied, as to the accuracy or completeness of such information and shall have no liability for the consequences of use of such information.

Right to make changes — NXP Semiconductors reserves the right to make changes to information published in this document, including without limitation specifications and product descriptions, at any time and without notice. This document supersedes and replaces all information supplied prior to the publication hereof.

Suitability for use — NXP Semiconductors products are not designed, authorized or warranted to be suitable for use in medical, military, aircraft, space or life support equipment, nor in applications where failure or

malfunction of an NXP Semiconductors product can reasonably be expected to result in personal injury, death or severe property or environmental damage. NXP Semiconductors accepts no liability for inclusion and/or use of NXP Semiconductors products in such equipment or applications and therefore such inclusion and/or use is at the customer's own risk.

Applications — Applications that are described herein for any of these products are for illustrative purposes only. NXP Semiconductors makes no representation or warranty that such applications will be suitable for the specified use without further testing or modification.

Limiting values — Stress above one or more limiting values (as defined in the Absolute Maximum Ratings System of IEC 60134) may cause permanent damage to the device. Limiting values are stress ratings only and operation of the device at these or any other conditions above those given in the Characteristics sections of this document is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.

Terms and conditions of sale — NXP Semiconductors products are sold subject to the general terms and conditions of commercial sale, as published at <http://www.nxp.com/profile/terms>, including those pertaining to warranty, intellectual property rights infringement and limitation of liability, unless explicitly otherwise agreed to in writing by NXP Semiconductors. In case of any inconsistency or conflict between information in this document and such terms and conditions, the latter will prevail.

No offer to sell or license — Nothing in this document may be interpreted or construed as an offer to sell products that is open for acceptance or the grant, conveyance or implication of any license under any copyrights, patents or other industrial or intellectual property rights.

Trademarks

Notice: All referenced brands, product names, service names and trademarks are the property of their respective owners.

Contact information

For additional information, please visit: <http://www.nxp.com>

For sales office addresses, send an email to: salesaddresses@nxp.com

Revision history

Revision history

Document ID	Release date	Data sheet status	Change notice	Supersedes
BAP64-02_N_6	20080109	Product data sheet	-	BAP64-02_5
Modifications:	• Package outline drawing on page 5 changed			
BAP64-02_5 (9397 750 06912)	20000323	Product specification	-	BAP64-02_4
BAP64-02_4 (9397 750 06418)	19990921	Preliminary specification	-	BAP64-02_N_3
BAP64-02_N_3 (9397 750 06086)	19990616	Preliminary specification	-	BAP64-02_2
BAP64-02_2 (9397 750 05556)	19990510	Objective specification	-	BAP64-02_N_1
BAP64-02_N_1 (9397 750 05492)	19981204	Objective specification	-	-



Please be aware that important notices concerning this document and the product(s) described herein, have been included in section 'Legal information'.

© NXP B.V. 2008.

All rights reserved.

For more information, please visit: <http://www.nxp.com>

For sales office addresses, please send an email to: salesaddresses@nxp.com

Date of release: 9 January 2008

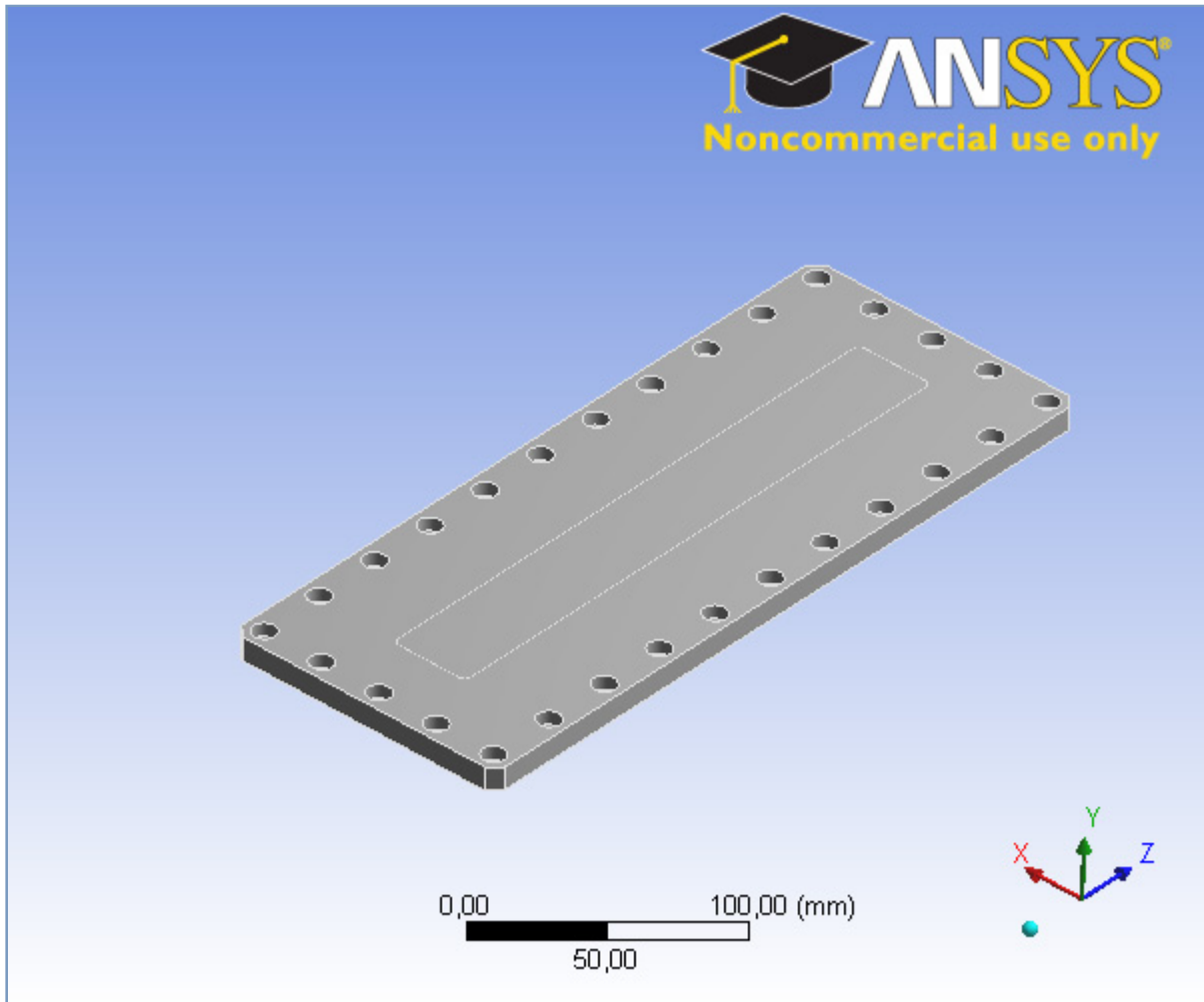
Document identifier: BAP64-02_N_6

A.2.6 FEM Simulationsbericht des Kammerdeckels



Projekt

Zuerst gespeichert	Dienstag, 21. Dezember 2010
Zuletzt gespeichert	Montag, 3. Januar 2011
Produktversion	12.1 Version



Inhalt

- Maßeinheiten
- Modell (B4)
 - Geometrie
 - GrundplatteKopie-SE000374268.par
 - Koordinatensysteme
 - Netz
 - Statisch-mechanisch (B5)
 - Analyseinstellungen
 - Lasten
 - Lösung (B6)
 - Lösungsinformationen
 - Spannungs-Tool
 - Sicherheitsfaktor
 - Ergebnisse
- Materialdaten
 - Stainless Steel

Maßeinheiten

TABELLE 1

Maßeinheitensystem	Metrisch (mm, kg, N, s, mV, mA) Grad rad/s Celsius
Winkel	Grad
Rotationsgeschwindigkeit	rad/s
Temperatur	Celsius

Modell (B4)

Geometrie

TABELLE 2
Modell (B4) > Geometrie

Objektname	<i>Geometrie</i>
Zustand	Vollständig definiert
Definition	
Quelle	C:\Documents and Settings\sergb\Desktop\Berechnung_Deckel\GrundplatteKopie-SE000374268.par
Typ	Solid Edge
Längeneinheit	Meter
Elementsteuerung	Programmgesteuert
Anzeigeformat	Bauteilfarbe
Rahmen	
Länge X	124, mm
Länge Y	10,1 mm
Länge Z	313, mm
Eigenschaften	
Volumen	2,7419e+005 mm ³
Masse	2,1249 kg
Skalierungsfaktorwert	1,
Statistik	

Körper	1
Aktive Körper	1
Knoten	240966
Elemente	167693
Netzqualität	Keine
Voreinstellungen	
Volumenkörper importieren	Ja
Schalenkörper importieren	Ja
Linienkörper importieren	Nein
Parameterverarbeitung	Ja
Persönlicher Parameterschlüssel	DS
CAD-Attributübertragung	Nein
Komponentenverarbeitung	Nein
Übertragung von Materialeigenschaften	Nein
CAD-Assoziativität	Ja
Koordinatensysteme importieren	Nein
Bauteildatei im Reader speichern	Nein
Mit Instanzen importieren	Ja
Intelligentes Update durchführen	Nein
Datei über temporäre Datei anfügen	Ja
Temporärverzeichnis	C:\Documents and Settings\sergb\Local Settings\Temp
Analyseart	3D
Gemischter Import	Keine
Hüllkörper- und Symmetrieverarbeitung	Ja

TABELLE 3
Modell (B4) > Geometrie > Bauteile

Objektname	<i>GrundplatteKopie-SE000374268.par</i>
Zustand	Vernetzt
Grafikeigenschaften	
Sichtbar	Ja
Transparency	1
Color	14606046
Definition	
Unterdrückt	Nein
Steifigkeitsverhalten	Flexibel
Koordinatensystem	Standardkoordinatensystem
Referenztemperatur	Nach Umgebung
Material	
Zuordnung	Stainless Steel
Nichtlineare Auswirkungen	Ja
Auswirkungen der thermischen Dehnung	Ja
Rahmen	
Länge X	124, mm
Länge Y	10,1 mm
Länge Z	313, mm
Eigenschaften	
Volumen	2,7419e+005 mm ³
Masse	2,1249 kg
Schwerpunkt X	-0,7283 mm

Schwerpunkt Y	5,2001 mm
Schwerpunkt Z	155,24 mm
Trägheitsmoment Ip1	19184 kg·mm ²
Trägheitsmoment Ip2	22600 kg·mm ²
Trägheitsmoment Ip3	3451,4 kg·mm ²
Statistik	
Knoten	240966
Elemente	167693
Netzqualität	Keine

Koordinatensysteme

TABELLE 4
Modell (B4) > Koordinatensysteme > Koordinatensystem

Objektname	<i>Globales Koordinatensystem</i>
Zustand	Vollständig definiert
Definition	
Typ	Kartesisch
Koordinatensystemnummer	0,
Ursprung	
X-Ursprung	0, mm
Y-Ursprung	0, mm
Z-Ursprung	0, mm
Richtungsvektoren	
Daten der X-Achse	[1, 0, 0,]
Daten der Y-Achse	[0, 1, 0,]
Daten der Z-Achse	[0, 0, 1,]

Netz

TABELLE 5
Modell (B4) > Netz

Objektname	<i>Netz</i>
Zustand	Gelöst
Standardeinstellungen	
Physikvoreinstellung	Mechanisch
Relevanz	0
Elementgröße	
Erweiterte Größenfunktion verwenden	Aus
Physikgestützte Relevanz	Fein
Elementgröße	Standardeinstellung
Globale Netzgröße bezogen auf	Aktive Baugruppe
Glätten	Hoch
Übergang	Langsam
Spannwinkel	Grob
Minimale Kantenlänge	0,10 mm
Erzeugung der Prismenschichten (Inflation)	
Automatische Erzeugung der Prismenschichten	Keine
Option zur Erzeugung der Prismenschichten	Weicher Übergang
Übergangsverhältnis	0,272
Max. Anzahl der Schichten	5
Wachstumsrate	1,2
Algorithmus für die Erzeugung der Prismenschichten (Inflation)	Pre
Erweiterte Optionen anzeigen	Nein
Erweitert	
Elementqualität	Hochwertig mechanisch

Elementmittelknoten	Programmgesteuert
Elemente mit geraden Kanten	Nein
Anzahl der Wiederholungen	Default (4)
Starrkörperverhalten	Dimensionsmäßig reduziert
Mesh-Morphing	Deaktiviert
Pinch	
Pinch-Toleranz	Definieren Sie
Bei Aktualisierung erstellen	Nein
Statistik	
Knoten	240966
Elemente	167693
Netzqualität	Keine

Statisch-mechanisch (B5)

TABELLE 6
Modell (B4) > Analyse

Objektname	<i>Statisch-mechanisch (B5)</i>
Zustand	Gelöst
Definition	
Physiktyp	Strukturmechanik
Analyseart	Statisch-mechanisch
Solver-Ziel	ANSYS Mechanical
Optionen	
Umgebungstemperatur	22, °C
Nur Eingabe erstellen	Nein

TABELLE 7
Modell (B4) > Statisch-mechanisch (B5) > Analyseeinstellungen

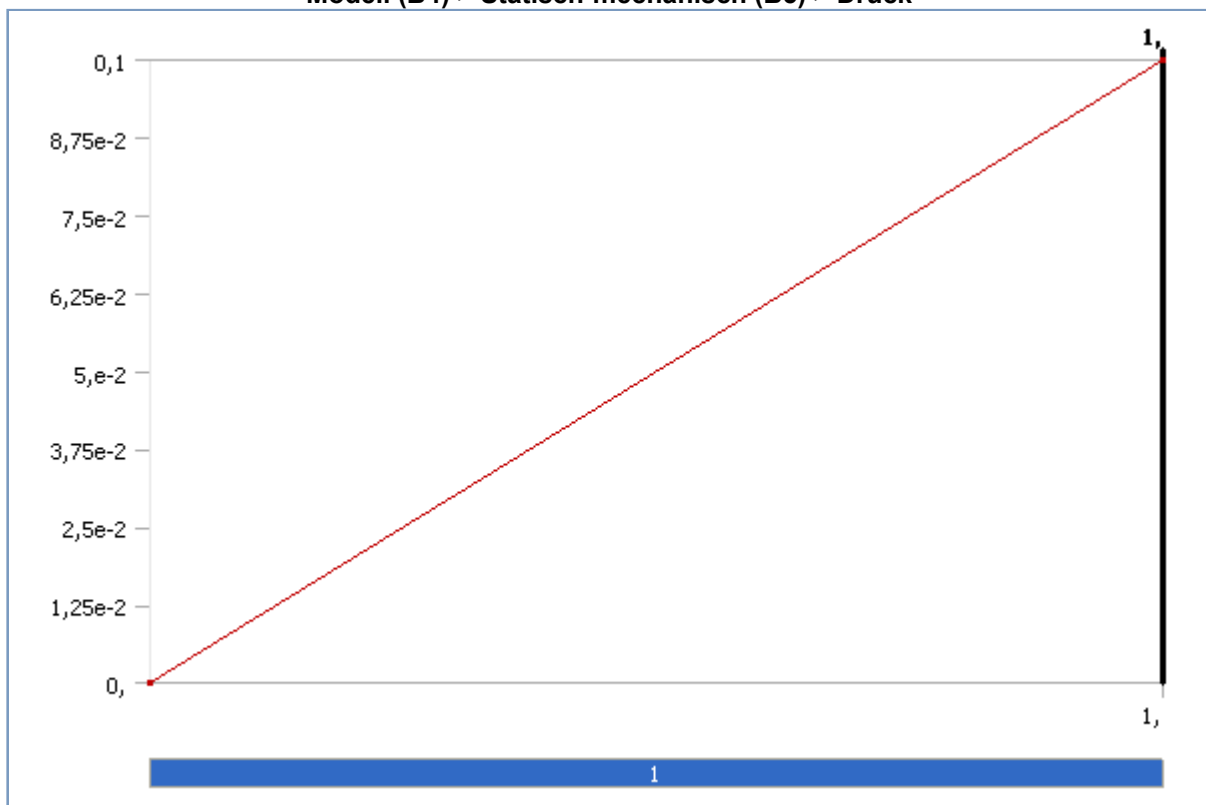
Objektname	<i>Analyseeinstellungen</i>
Zustand	Vollständig definiert
Schrittsteuerung	
Anzahl Lastschritte	1,
Aktuelle Schrittnummer	1,
Zeit nach Schritt	1, s
Automatische Zeitschrittsteuerung	Programmgesteuert
Solver-Steuerungen	
Solver-Typ	Programmgesteuert
Schwache Federn	Programmgesteuert
Große Verformung	Aus
Trägheitsausgleich	Aus
Nichtlineare Steuerungen	
Kraftkonvergenz	Programmgesteuert
Momentenkonvergenz	Programmgesteuert
Verschiebungskonvergenz	Programmgesteuert
Rotationskonvergenz	Programmgesteuert
Line-Search	Programmgesteuert
Ausgabesteuerungen	
Spannung berechnen	Ja
Dehnung berechnen	Ja
Kontaktfläche berechnen	Nein
Ergebnisse berechnen bei	Alle Zeitpunkte
Analysedatenverwaltung	
Solver-Dateienverzeichnis	C:\Documents and Settings\sergb\Desktop\Berechnung_Decke\Decke\FEM_files\dp0

	\\SYS\MECH\
Künftige Analyse	Keine
Solver-Arbeitsdateiverzeichnis	
ANSYS-Datenbasis speichern	Nein
Nicht benötigte Dateien löschen	Ja
Nichtlineare Lösung	Ja
Solver-Einheiten	Aktives System
Solver-Maßeinheitensystem	nmm

TABELLE 8
Modell (B4) > Statisch-mechanisch (B5) > Lasten

Objektname	<i>Starres Auflager</i>	<i>Starres Auflager 2</i>	<i>Starres Auflager 3</i>	<i>Druck</i>
Zustand	Vollständig definiert			
Bereich				
Auswahlmethode	Geometrieauswahl			
Geometrie	1 Fläche			
Definition				
Typ	Starres Auflager		Druck	
Unterdrückt	Nein			
Definiert durch	Normal auf			
Größe	0,1 MPa (steigt linear an)			

ABBILDUNG 1
Modell (B4) > Statisch-mechanisch (B5) > Druck



Lösung (B6)

TABELLE 9
Modell (B4) > Statisch-mechanisch (B5) > Lösung

Objektname	<i>Lösung (B6)</i>
------------	--------------------

Zustand	Gelöst
Adaptive Netzverfeinerung	
Max. Anz. Verfeinerungszyklen	2,
Verfeinerungstiefe	3,

TABELLE 10**Modell (B4) > Statisch-mechanisch (B5) > Lösung (B6) > Lösungsinformationen**

Objektname	<i>Lösungsinformationen</i>
Zustand	Gelöst
Lösungsinformationen	
Lösungsausgabe	Solver-Ausgabe
Newton-Raphson-Residuum	0
Intervall aktualisieren	2,5 s
Punkte anzeigen	Alle

TABELLE 11**Modell (B4) > Statisch-mechanisch (B5) > Lösung (B6) > Spannungssicherheits-Tools**

Objektname	<i>Spannungs-Tool</i>
Zustand	Gelöst
Definition	
Theorie	Max. Vergleichsspannung
Spannungsgrenzwerttyp	Zug-Streckgrenze

TABELLE 12**Modell (B4) > Statisch-mechanisch (B5) > Lösung (B6) > Spannungs-Tool > Ergebnisse**

Objektname	<i>Sicherheitsfaktor</i>
Zustand	Gelöst
Bereich	
Auswahlmethode	Geometrieauswahl
Geometrie	Alle Körper
Definition	
Typ	Sicherheitsfaktor
Durch	Zeit
Zeit anzeigen	Letzte
Zeit/Verlauf berechnen	Ja
Kennung	
Integrationspunktergebnisse	
Anzeigeoption	Gemittelt
Ergebnisse	
Minimum	6,5385
Informationen	
Zeit	1, s
Lastschritt	1
Substep	1
Anzahl der Iterationen	17

TABELLE 13**Modell (B4) > Statisch-mechanisch (B5) > Lösung (B6) > Ergebnisse**

Objektname	<i>Gesamtverformung</i>	<i>Verschiebungskomponente</i>	<i>Vergleichsspannung</i>
Zustand	Gelöst		
Bereich			
Auswahlmethode	Geometrieauswahl		
Geometrie	Alle Körper		
Definition			
Typ	Gesamtverformung	Verschiebungskomponente	Vergleichsspannung (von Mises)
Durch	Zeit		
Zeit anzeigen	Letzte		

Zeit/Verlauf berechnen	Ja		
Kennung			
Ausrichtung	X-Achse		
Koordinatensystem	Globales Koordinatensystem		
Ergebnisse			
Minimum	1,1633e-003 mm	-8,5503e-004 mm	0,10713 MPa
Maximum	6,5936e-002 mm	1,7943e-002 mm	31,659 MPa
Informationen			
Zeit	1, s		
Lastschritt	1		
Substep	1		
Anzahl der Iterationen	17		
Integrationspunktergebnisse			
Anzeigeoption	Gemittelt		

Materialdaten

Stainless Steel

TABLE 14
Stainless Steel > Constants

Density	7.75e-006 kg mm ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.7e-005 C ⁻¹
Specific Heat	4.8e+005 mJ kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	1.51e-002 W mm ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	7.7e-004 ohm mm

TABLE 15
Stainless Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength MPa	0
-----------------------------------	---

TABLE 16
Stainless Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength MPa	207
--------------------------------	-----

TABLE 17
Stainless Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength MPa	207
----------------------------	-----

TABLE 18
Stainless Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength MPa	586
-------------------------------	-----

TABLE 19
Stainless Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Reference Temperature C	22
-------------------------	----

TABLE 20
Stainless Steel > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	1.93e+005	0.31	1.693e+005	73664

TABLE 21
Stainless Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
1

B Anhang

B.1 Zusammenbauzeichnung: Beamstop Device



Formblatt **Erklärung zur selbständigen Bearbeitung einer ausgeführten Bachelorthesis**

Zur Erläuterung des Zwecks dieses Blattes:

§ 16 Abs. 5 der APSO-TI-BM lautet:

„Zusammen mit der Thesis ist eine schriftliche Erklärung abzugeben, aus der hervorgeht, dass die Arbeit – bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit (§18 Absatz 1) – ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Dieses Blatt mit der folgenden Erklärung ist nach Fertigstellung der Arbeit durch jede/n Kandidat/en/in auszufüllen und jeweils mit **Originalunterschrift** (keine Ablichtungen !) **als letztes Blatt des als Prüfungsexemplar der Bachelorthesis gekennzeichneten Exemplars einzubinden.**

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann - auch nachträglich - zur Ungültigkeit der Bachelor-Abschlusses führen.

Erklärung

Hiermit versichere ich,

Name: Gogolin Vorname: Sebastian

daß ich die vorliegende Bachelorthesis – bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema

Entwicklung und Konstruktion eines Beamstop Device

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

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

Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der Bachelorthesis ist erfolgt durch

Hamburg

Ort

01.02.2011

Datum

Unterschrift im Original