



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Sergej Wenz

Methodische Konzeptentwicklung und Gestaltung eines Robotergreifers

*Fakultät Technik und Informatik
Department Maschinenbau und Produktion*

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

Sergej Wenz

**Methodische Konzeptentwicklung und
Gestaltung eines Robotergreifers**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

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

in Zusammenarbeit mit:
Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY
FS-PE
Notkestraße 85
22607 Hamburg

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Andreas Meyer-Eschenbach
Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Mario Wendt

Abgabedatum: 09.10.2015

I. Zusammenfassung

Sergej Wenz

Thema der Bachelorthesis

Methodische Konzeptentwicklung und Gestaltung eines Robotergreifers

Stichworte

Anforderungen, Greifer, Konzeptentwicklung, konstruktive Gestaltung, Roboter, Versuche

Kurzzusammenfassung

Diese Arbeit umfasst die Entwicklung mehrere Konzepte eines Greifers für einen Industrieroboter. Ein geeignetes Konzept wird präzisiert, konstruktiv gestaltet und fertigungstechnisch umgesetzt. Es folgt die Planung und Durchführung der Versuche auf die Funktionstauglichkeit.

Sergej Wenz

Title of the paper

Methodical development and design of a concept for a robot-gripper

Keywords

requirements, gripper, concept development, construction design, robot, function tests

Abstract

The following thesis covers the development of several concepts of a gripper for an industrial robot. One applicable concept will be defined, constructed and implemented production-orientated. The last part describes the planning and realization of tests to show the suitability for operations.

II. Inhaltsverzeichnis

I.	Zusammenfassung.....	iii
II.	Inhaltsverzeichnis	iv
III.	Formelzeichen und Abkürzungen	vi
IV.	Abbildungsverzeichnis	vii
V.	Tabellenverzeichnis	viii
1	Einleitung.....	1
	1.1 Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY	1
	1.2 Beamline P02	2
	1.3 Pulverstrecke HRPD.....	3
2	Aufgabe.....	4
	2.1 Vorgehen.....	4
3	Recherche nach vorhandenen Greifern.....	8
4	Konstruktionsmethodisches Vorgehen.....	11
	4.1 Nachbilden der Experimenteumgebung und des Roboters.....	11
	4.2 Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung.....	13
	4.3 Anforderungsliste	14
5	Konzipieren	18
	5.1 Funktionsstruktur	18
	5.2 Lösungssuche.....	21
	5.2.1 Suche nach Wirkprinzipien.....	21
	5.2.2 Variantenvorstellung.....	24
	5.2.3 Bewertung der Varianten	27
6	Präzisierung und Konstruktion der Lösungsvariante 3	30
	6.1 Auslegen und Grobgestalten	30
	6.2 Modellierung	34
7	Fertigungshinweise und Montage.....	42
	7.1 Fertigungshinweise.....	42
	7.2 Montage	44
8	Versuchsplanung und Durchführung.....	46

9	Magazin für Kapillarehalter	49
10	Zusammenfassung und Ausblick.....	53
VI.	Literaturverzeichnis.....	54
VII.	Anhang.....	55
	A. Datenblätter.....	56
	B. Technische Zeichnungen	66

III. Formelzeichen und Abkürzungen

Formelzeichen	Einheit	Beschreibung
A	[mm ²]	Fläche
F _{Hub}	[N]	Hubkraft
F _K	[N]	Klemmkraft
F _R	[N]	Resultierende Kraft
F _x	[N]	Kraft in x-Richtung
F _y	[N]	Kraft in y-Richtung
p	[N/mm ²]	Druck
α	[°]	Winkel
L _K	[mm]	Kapillarelänge

Abkürzung	Beschreibung
DESY	Deutsches Elektronen Synchrotron
ECB	Extreme Conditions Beamline
EH1	Experimentehütte 1
EH2	Experimentehütte 2
FLASH	Freie-Elektronen-Laser in Hamburg
HERA	Hadron-Elektron-Ring-Anlage
HRPD	High Resolution Powder Defraktion
PETRA	Positron-Elektron-Tandem-Ring-Anlage

IV. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das Gelände vom DESY in Hamburg [3].....	2
Abbildung 2: Spinner, Kapillarehalter und Kapillare	3
Abbildung 3: Vorgehen nach VDI 2221 [4]	5
Abbildung 4: Parallelgreifer von Fa. Schunk GmbH, Radialgreifer von Fa. Sommer GmbH und Dreipunktgreifer von Fa. Festo AG & Co.KG.....	8
Abbildung 5: Übersicht von Wirkprinzipien von Greifern [6, S.65]	10
Abbildung 6: Nachbildung der Experimentehütte 1 am CAD	11
Abbildung 7: Ursprüngliches Modell des Roboters, die Abmaße und das neue, parametrisierte Modell [7, S.31]	12
Abbildung 8:Einbau des Roboters und die Platzverhältnisse	13
Abbildung 9: Drehachsen des Roboters [8, S24]	13
Abbildung 10: Funktionsstruktur als Blackbox [1, S.240].....	18
Abbildung 11: Funktionsstruktur des Greifers.....	20
Abbildung 12: Methoden zur Suche nach Lösungen [9, Kap.4].....	22
Abbildung 13: Lösungsvariante 1	25
Abbildung 14: Lösungsvariante 2	26
Abbildung 15: Lösungsvariante 3	27
Abbildung 16: Aus Schenkel werden Greifarm und Greifbacke	30
Abbildung 17: Kapillarehalter in Schnittdarstellung	31
Abbildung 18: Längenverhältnisse zum Drehpunkt	32
Abbildung 19: Freikörperbild vom kinematischen System.....	33
Abbildung 20: Adapter-zum-Roboter.....	35
Abbildung 21: Explosionsdarstellung des Greifers	35
Abbildung 22: Adapter-zum-Greifer	37
Abbildung 23: Grundplatten.....	38
Abbildung 24: Greifarm	38
Abbildung 25: Stößel	39
Abbildung 26: Antrieb	40
Abbildung 27: Greifbacke	40
Abbildung 28: Kontaktfläche Kapillarehalter	41
Abbildung 29: Versuchsaufbau für den Funktionstest	46
Abbildung 30: Anfahren-, greifen und abfahren mit gegriffenem Kapillarehalter	47
Abbildung 31: Aufbau für den Langzeittest.....	48
Abbildung 32: Vergleich der Platzverhältnisse für Magazinlösungen [12].....	49
Abbildung 33: Magazinplatte.....	50
Abbildung 34: Magazinzusammenbau.....	51
Abbildung 35: Magazin in der EH1	51

V. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auflistung der Eigenschaften von Elektrischen und Pneumatischen Antrieben	9
Tabelle 2: Leitfaden Anforderungsliste [2]	14
Tabelle 3: Anforderungsliste Teil 1 von 3.....	15
Tabelle 4: Anforderungsliste Teil 2 von 3.....	16
Tabelle 5: Anforderungsliste Teil 3 von 3.....	17
Tabelle 6: Morphologischer Kasten.....	23
Tabelle 7: Präferenzmatrix	28
Tabelle 8: Bewertungsliste	29
Tabelle 9: Stückliste	36

1 Einleitung

Das Thema dieser Bachelorarbeit ist die Methodische Konzeptentwicklung eines Robotergrifiers für einen vorhandenen Roboter¹ an der Beamline² P02.1³ an der Röntgenstrahlquelle PETRA III am DESY. Dabei gilt es herauszufinden welche Art vom Greifer für die Probenumgebung am besten geeignet ist um möglichst sicher Proben von einem Magazin zur Messumgebung zu befördern.

1.1 Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY

Das DESY wurde am 18. Dezember 1959 in Hamburg gegründet und ist ein Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft. Der Jahresetat für die beiden Standorte Hamburg und Zeuthen beträgt 230 Millionen Euro. Die Mitarbeiterzahl beträgt etwa 2300, davon sind etwa 650 Wissenschaftler. Jährlich kommen über 3000 Gastforscher aus 40 Nationen um das Forschungszentrum zu nutzen.

Auf dem ca. 50 ha großem DESY Gelände sind viele Anlagen in Betrieb in denen geforscht wird. Die bekannteren von ihnen sind PETRA III und FLASH.

Etwas näher wird hier auf PETRA III und im weiteren Verlauf auf die Beamline P02 eingegangen um einen besseren Überblick der Forschung zu bekommen die an dieser Messstrecke durchgeführt wird und bei welchen Fragestellungen ein Roboter zum Einsatz kommt.

Als 1978 der 2,3 km lange Speicherring eingeweiht wurde, war PETRA der größte Beschleuniger der Welt und wurde für die Forschung in der Teilchenphysik eingesetzt. Schon kurze Zeit nach der Inbetriebnahme konnten bahnbrechende Entdeckungen gemacht werden. Ab 1987 wurde PETRA umgebaut und diente als Vorbeschleuniger für den 6,3 km langen HERA-Ring in dem auch Teilchenphysik betrieben worden war. Dabei wurde PETRA in PETRA II umbenannt. Nach der Abschaltung von HERA in 2007 wurde PETRA II umgebaut. Seit 2010 ist von PETRA III die Rede, das die brillanteste⁴ Röntgenstrahlungsquelle der Welt liefert. Damit lassen sich Röntgenstrahlen erzeugen die bis zu 5000-mal feiner sind als ein menschliches Haar, womit sehr kleine Proben untersucht werden können,

¹ Ein Roboter der Fa. Stäubli, Modell: TX90XL.

² An einer Beamline kommt ein Elektronenstrahl tangential von dem Beschleunigungsring an. Dieser wird für Experimente genutzt wird.

³ P02.1 ist die interne Nummer für die HRPD Beamline.

⁴ Die Brillanz ist definiert als die Anzahl der Photonen pro Zeit, Fläche, Raumwinkel innerhalb eines schmalen Wellenlängenbereichs.

zum Beispiel aus dem Bereich der Molekularbiologie. Es lassen sich aber auch sehr harte Röntgenstrahlen erzeugen die es ermöglichen tief in die Materie einzudringen womit sich Materialforschung betreiben lässt. PETRA III hat 14 Beamlines, wobei in 2015 die Extensions Nord und Ost fertiggestellt werden, womit man noch bis zu 10 weitere Beamlines zur Verfügung haben wird. In der Abbildung 1 sieht man das DESY-Gelände mit der PETRA III Halle, den Beschleunigungsring und den beiden Extensions.

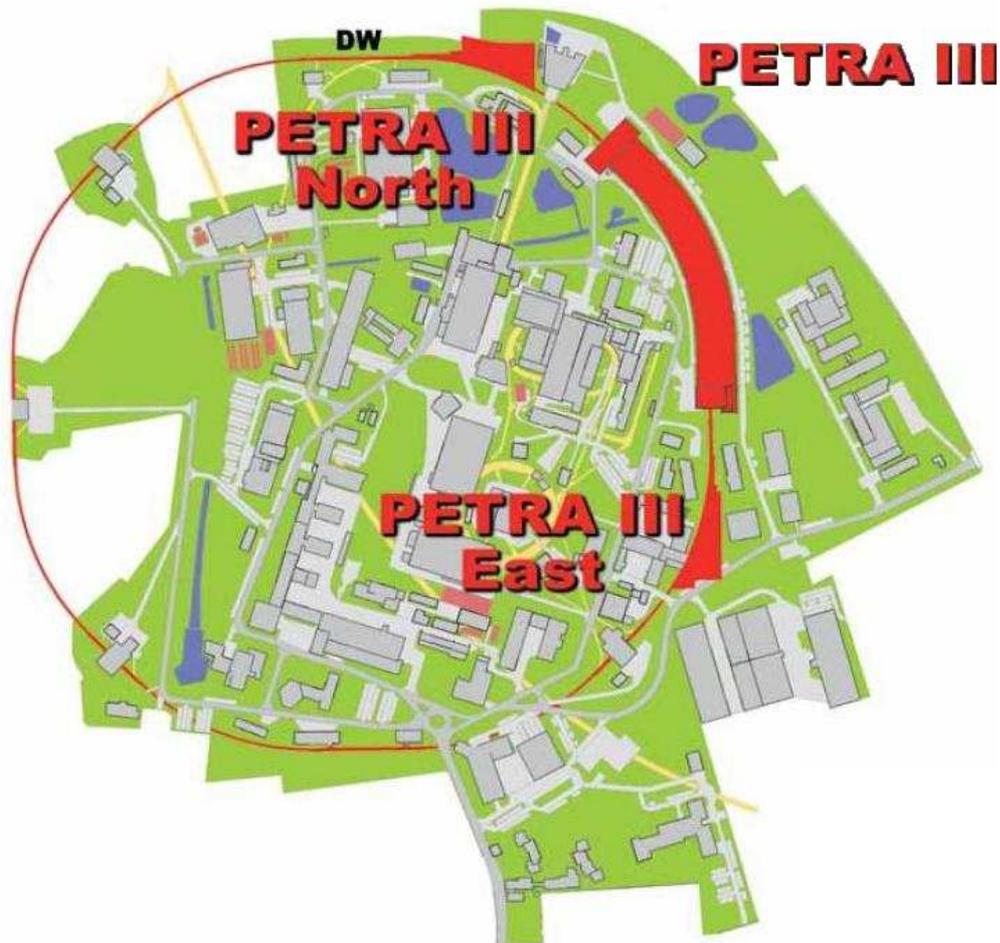


Abbildung 1: Das Gelände vom DESY in Hamburg [3]

1.2 Beamline P02

Die Beamline P02 hat zwei Experimentehütten die mit 20 keV bis 80 keV Röntgenstrahl versorgt werden. Dieser Strahl wird mithilfe von Diamanten so abgelenkt, dass beide Experimentehütten gleichzeitig diesen nutzen können. Die Experimentehütte 2(EH2) ist die Extreme Conditions Beamline(ECB). Dort werden kleine Pulverproben und Einkristalle in einer „Diamanten Stempel Zelle“ untersucht. In diesen Zellen werden extreme Zustände in Form von sehr hohen statischen oder dynamischen Drücken bei extremen Temperaturen erzeugt. Es

können damit zum Beispiel Phasendiagramme von Elementen aus dem Periodensystem ermittelt werden.

1.3 Pulverstrecke HRPD

Die High Resolution Powder Diffraction(HRPD) befindet sich in der ersten Experimentehütte (EH1). In dieser Hütte werden Kapillare zum Beispiel aus Quarzglas oder anderen röntgendurchlässigen Materialien, die die zu untersuchende Probe enthalten, bestrahlt. Kapillare, die in der EH1 eingesetzt werden, sind Röhrchen vom \varnothing 0,1mm bis \varnothing 1,5mm, die mit dem zu untersuchenden Pulver gefüllt werden. Je nach Experiment können die Kapillare während eines Versuches mit verschiedenen Gasen geflutet werden, auf Temperaturen von 1200 K erhitzt oder auf bis zu 4 K gekühlt werden.

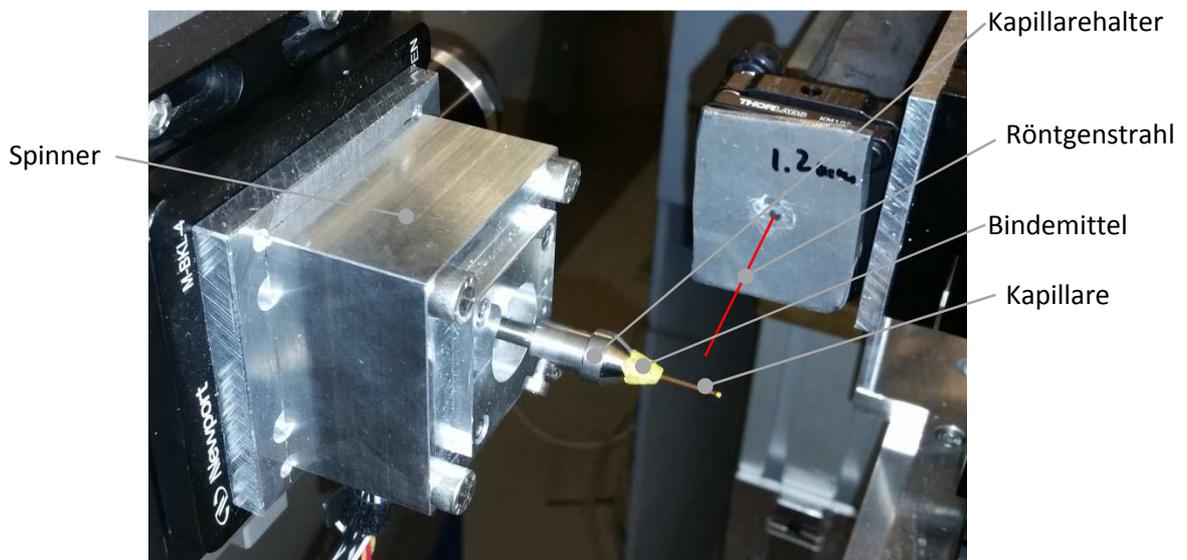


Abbildung 2: Spinner, Kapillarehalter und Kapillare

Die Kapillare wird im Kapillarehalter aufgenommen, rotationssymmetrisch ausgerichtet und mit Knete oder anderen Bindemitteln befestigt, siehe Abbildung 2. Während der Versuchsdurchführung sitzt der Kapillarehalter mit der Kapillare auf einem Spinner, der sich mit 15 Hz dreht um eine gleichmäßige Bestrahlung der Probe zu gewährleisten. Aus diesem Grund muss die Ausrichtung so genau wie möglich geschehen, denn sonst entsteht beim Drehen ein Effekt bei dem Wissenschaftler vom „wobbling“⁵ sprechen. Dabei wird die Kapillare in unterschiedlichen Winkeln von der Röntgenstrahlung getroffen wobei Streustrahlung entsteht, die bei dem Auswerten die Ergebnisse verfälscht. Im Normalfall trifft die Röntgenstrahlung die Kapillare im gleichen Winkel und der

⁵ Die Kapillare ist dabei von der Rotationsachse in einem kleinen Winkel abgeneigt.

Strahl wird durch die Probe in der Kapillare charakteristisch gebeugt. Diese gebeugte Strahlung die ringförmig hinter dem Kapillar entsteht, wird von einem Flächendetektor erfasst. Mit den dabei entstandenen Daten können die Wissenschaftler ermitteln wie sich zum Beispiel die Gitterstruktur eines Stoffgemisches in Abhängigkeit zur Temperatur ändert.

2 Aufgabe

Bestimmte Versuchsreihen verlangen die Untersuchung einer hohen Anzahl an Proben, welche beispielsweise verschiedene oder neue Materialgemische aufweisen.

Derzeit wird das Wechseln der Proben manuell durchgeführt, was einen erheblichen Zeitaufwand zur Folge hat. Der Zeitaufwand ergibt sich nicht nur durch das wiederholte Betreten der EH1, sondern überwiegend wegen der Öffnung und Schließung der schweren Bleitüren und weiteren Sicherheitsvorschriften, die gewährleisten, dass keine Person der starken Röntgenstrahlung ausgesetzt wird.

Ein Roboter, der im abgeschlossenen Raum agieren und die Proben wechseln kann, wird nicht nur einen erheblichen Zeitgewinn mit sich bringen, sondern auch die Wissenschaftler entlasten, die sonst auch in der Nacht vor Ort anwesend sein müssen um den Probenwechsel von Hand durchzuführen. Dies ist deshalb so wichtig, weil die Wissenschaftler in der Regel schon sechs bis zwölf Monate vorher sich für die Messzeit bewerben und drei bis sieben Tage Zeit haben um ihr Vorhaben auszuführen. In der bewilligten Messzeit wird aber nicht selten nur ein bis zwei Tage lang gemessen, denn der Aufbau, die Kalibrierung und der Abbau müssen auch noch innerhalb der gewährten Zeit erfolgen.

Die Aufgabe besteht nun darin, den vorhandenen Roboter in die Umgebung zu integrieren und einen Greifer zu entwickeln mit dem der Roboter den Wechsel der Proben ausführt.

2.1 Vorgehen

Die Beamline ist mit vielen Messinstrumenten und Hilfsapparaten ausgestattet, die den Zugang zur Absetzposition der Proben erschweren. Die Bewegungsfreiheit des Roboters ist durch die Räumlichkeit und weitere Aufbauten sehr eingeschränkt. Aus diesem Grund gilt es zunächst den wahren Probenaufbau bei einer Messzeit, die den Einsatz des Roboters erfordert, zu ermitteln, um daraus ableiten zu können wie nah der Roboter an die Stellen kommt an denen die Proben abgesetzt und aufgenommen werden müssen. Im weiteren Schritt wird

analysiert welche Geometrie und Abmaße der Greifer aufweisen darf um die Probe sicher und ohne andere Gerätschaften zu beschädigen an die Absetzposition zu befördern.

Um einen Überblick der vorhandenen Greifer zu bekommen, wird unter anderem eine Analyse des Produktportfolios ausgewählter Hersteller durchgeführt. Im selben Arbeitsschritt wird eine Zusammenfassung von prinzipiellen Ausführungen und möglicher Funktionsprinzipien erstellt. Das Ergebnis wird bei der Lösungssuche hilfreich sein, wenn es darum geht mehrere Konzepte zu entwickeln.

Das weitere Vorgehen richtet sich nach der VDI 2221. In dieser Richtlinie wird das Vorgehen bei einer Entwicklung und Konstruktion in mehrere Phasen unterteilt die sich teilweise überschneiden, siehe dazu Abbildung 3.

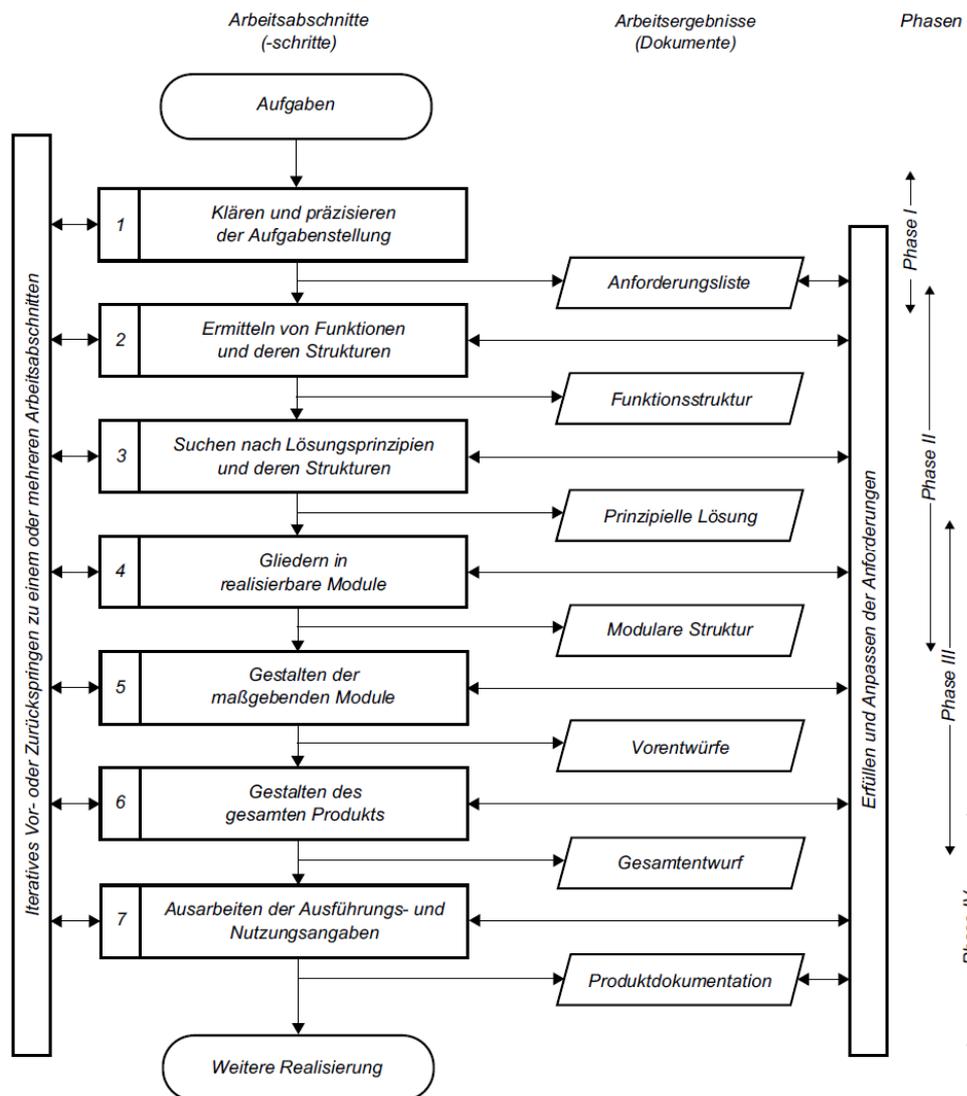


Abbildung 3: Vorgehen nach VDI 2221 [4]

In dem ersten Arbeitsschritt wird die Aufgabenstellung geklärt und präzisiert. Hierbei werden verfügbare Informationen zusammengetragen, wobei Informationslücken erkannt werden können. Im Weiteren werden externe Anforderungen überprüft und zum Beispiel Aufgabestellungen aus Sicht des Konstrukteurs formuliert. Als Arbeitsergebnis sollte dabei eine Anforderungsliste entstehen, die im weiteren Verlauf eine begleitende Informationsunterlage darstellt die auf aktuellem Stand gehalten werden sollte. In der Anforderungsliste können im Verlauf eines Projekts die Anforderungen geändert, entfernt oder hinzugefügt werden. Die Ergänzungen sollten jedoch stets konsequent und fortlaufend durchgeführt und dokumentiert werden. Ab einem bestimmten Zeitpunkt sollte die Anforderungsliste nicht mehr geändert werden, da sonst der Fertigstellungstermin nicht absehbar ist [4, S.10].

Der zweite Arbeitsschritt dient dazu die Funktionen zu ermitteln. Die Gesamtfunktion zu bestimmen und die dafür notwendigen Teilfunktionen zu ermitteln steht dabei im Vordergrund. Die Gliederung und die Strukturierung der Funktionen bilden die Grundlage für die Lösungssuche. Als Ergebnis sollte in diesem Schritt eine Funktionsstruktur auf einer oder mehreren Ebenen, je nach Komplexität des Produktes, entstehen.

Nun werden für alle Funktionen im dritten Arbeitsschritt Lösungsprinzipien gesucht. Hierbei wird auf der Wirkebene gearbeitet. Die Wirkebene wird dadurch gekennzeichnet, dass diese im Vergleich zu einem lösungsneutralen Funktionsmodell lösungsspezifische Ergebnisse bildet. Es werden also konkrete Lösungsprinzipien gesucht um die Funktionen verwirklichen zu können. Die Gestaltausprägung sollte jedoch vermieden werden um Spielraum für Innovationen zu eröffnen [5, S.85]. Als Ergebnis entsteht zum Beispiel ein morphologischer Kasten mit Hilfe dessen es möglich ist, sich mehrere Konzepte zusammen zu stellen.

Im vierten Arbeitsschritt wird die prinzipielle Lösung, die als beste im vorherigen Schritt ermittelt worden ist, in realisierbare Module aufgeteilt. Dies ist notwendig um bei größeren Projekten den Überblick zu behalten und Zuständigkeiten verschiedener Abteilungen oder Personen je nach Kompetenz zuzuordnen. Ab diesem Punkt können sich parallele Konstruktionslinien bilden, weil die Baugruppen, unter Berücksichtigung der Schnittstellen, gleichzeitig entwickelt und produziert werden können.

Im fünften Arbeitsschritt werden die maßgebenden Module gestaltet. Es hat sich herausgestellt, dass die geometrische, stoffliche oder programmtechnische Konkretisierung nur soweit voran zu treiben ist, „dass ein Erkennen und Auswählen eines Gestaltungsoptimums möglich ist“ [4, S.11]. Es geschieht also eine grobe Vorgestaltung des Produktes.

Der sechste Arbeitsschritt ist für die Gestaltung des Produktes notwendig. Hierbei spricht man auch von dem Feingestalten. In diesem Schritt werden alle Detailangaben, alle Gruppen und Einzelteile endgültig festgelegt. Das Ergebnis ist ein Gesamtentwurf inklusive maßstäblicher Zeichnungen und vorläufiger Stücklisten.

In der vierten Phase der Ausarbeitung wird der siebte und damit der letzte Arbeitsschritt durchgeführt. Hier entsteht die komplette Produktdokumentation mit Nutzerangaben. Dazu zählen Einzelteilzeichnungen, Fertigungshinweise, Gruppenzeichnungen, Stücklisten, Montagehinweise, Betriebsanleitungen, Mess- und Transport- beziehungsweise Lagerungsvorschriften. Wenn es notwendig ist, können Einzelteile im Sinne der Zeit- und Kostenwirtschaft mit der CAD-Unterstützung noch geändert werden um zum Beispiel bessere Ergebnisse in der Fertigung hinsichtlich der Durchlaufzeiten oder Qualitätsanforderungen zu erreichen.

In allen Arbeitsschritten müssen Optimierungs- und Entscheidungsschritte durchgeführt werden um ein möglichst gutes Ergebnis zu erreichen. Es ist auch wichtig zu beachten, dass die sieben Arbeitsschritte nicht starr nacheinander abgearbeitet werden. Ein Entwicklungsprozess ist ein iterativer Prozess bei dem man ein oder mehrere Schritte zurückgehen kann, wenn es notwendig ist um ein besseres Ergebnis zu erreichen.

Nachdem der Greifer konstruiert, alle Zeichnungen abgeleitet und die Stücklisten erstellt sind, werden die Einzelteile in der DESY hauseigenen Zentralwerkstatt gefertigt. Gegebenen falls werden Teile bestellt, die am DESY nicht vorrätig sind.

Anschließend werden die Baugruppen unter der Berücksichtigung der Montagehinweise montiert. Um zu prüfen ob der Greifer funktioniert, wird der Greifer zunächst nicht am Roboter direkt getestet. Es wird eine Umgebung aufgebaut, in der der Greifer eine lineare Bewegung durchführt, so wie diese

später auch vom Roboter verrichtet wird und die Probe mehrmals absetzt und wieder aufnimmt. Wenn dieser Vorgang problemlos abläuft, wird eine Installation am Roboter möglich sein um einen abschließenden Funktionstest durchzuführen. Ein Dauertest wird notwendig sein, bevor der Roboter die Arbeit in der Experimentehütte aufnehmen kann.

Im letzten Schritt der Bachelorarbeit wird das Ergebnis kritisch betrachtet wobei ein besonderes Augenmerk auf die gelungenen sowie kritischen Stellen der Konstruktion gelegt wird.

3 Recherche nach vorhandenen Greifern

Bei der Recherche hat sich herausgestellt, dass es eine große Vielfalt an Greifertypen gibt. Auffällig ist, dass es einige Hersteller gibt, die nahezu ein identisches Produktportfolio haben, was das Wirkprinzip der Greifer angeht. Dabei haben diese in der Regel ein mechanisches Greifprinzip, angetrieben mit einem Pneumatikzylinder oder Elektromotor. Gegriffen wird dabei meistens mit Parallel-, Winkel-, oder Dreipunktgreifer, als Innen- oder Außengreifer, siehe Abbildung 4.



Abbildung 4: Parallelgreifer von Fa. Schunk GmbH, Radialgreifer von Fa. Sommer GmbH und Dreipunktgreifer von Fa. Festo AG & Co.KG

Mit diesen Greifern lassen sich in einer geeigneten Umgebung vielfältige Aufgaben erledigen, denn die Greifarme sind so gestaltet, dass die mit unterschiedlichen Greifbacken ausgerüstet- und bei Bedarf auch getauscht werden können.

Interessant ist, dass diese drei Greifmethoden sowohl mit einem Elektromotor als auch mit einem Pneumatikantrieb angeboten werden. Tabelle 1 veranschaulicht die Vorteile der beiden Antriebsarten.

Tabelle 1: Auflistung der Eigenschaften von Elektrischen und Pneumatischen Antrieben

Elektrischer Antrieb	Pneumatischer Antrieb
Keine Ventile, Rohrleitungen oder Filter erforderlich	Stufenlose Steuerung der Geschwindigkeiten und Kräfte
Reinraum geeignet, keine Luftaufwirbelungen oder Verunreinigungen	Hohe Arbeitsgeschwindigkeit möglich
Steuerung erkennt sofort eine kaputte Steuerleitung	Bei Überlastung bleiben die Druckluftgeräte in der Regel schadfrei
Leichte Bedienung und Einstellmöglichkeiten	Einfach konstruiert, dadurch geringes Gewicht
	Geringe Abwärme
	Unempfindlich gegenüber Strahlung und magnetischen Impulsen

Auf dem Markt gibt es noch Greifer die mit Hilfe vom Vakuum die Werkstücke greifen. Dabei gibt es passive Haftsauger oder aktive Vakuumsauger, bei denen das Vakuum mit einer Pumpe erzeugt wird.

Neben den bereits vorgestellten Greifern gibt es noch weitere, die in der Abbildung 5 zusammengefasst sind.

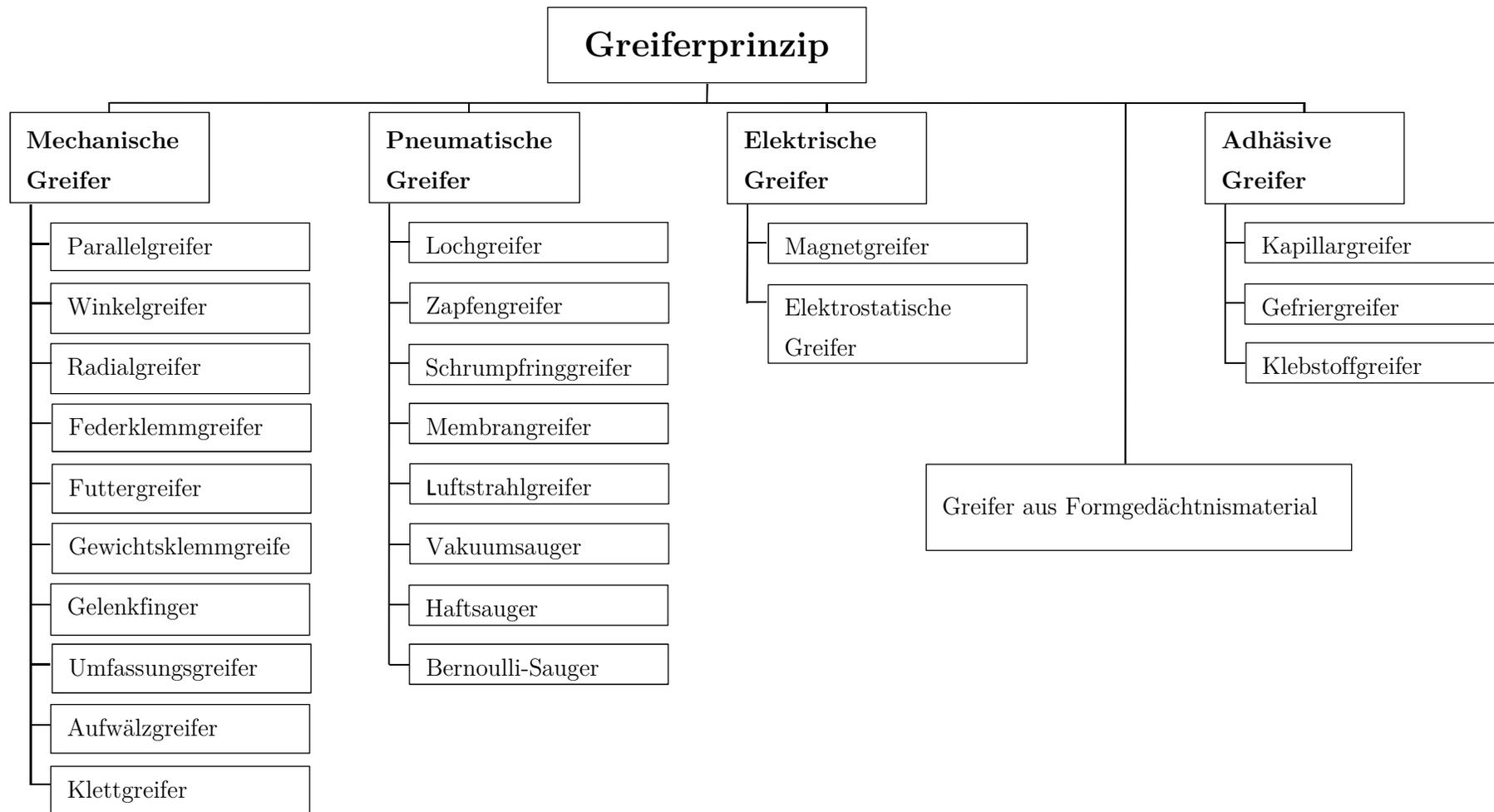


Abbildung 5: Übersicht von Wirkprinzipien von Greifern [6, S.65]

4 Konstruktionsmethodisches Vorgehen

Wie in der Einleitung schon beschrieben, wird an dieser Stelle zunächst die Umgebung analysiert und der Bewegungsraum für den Roboter ermittelt um Rückschlüsse zu ziehen, wie der Greifer zu gestalten ist. Weitergehend wird bei der Konzeptsuche für den Greifer, wie im Kapitel 2.1, nach VDI 2221 vorgegangen.

4.1 Nachbilden der Experimenteumgebung und des Roboters

Um die Dimensionen die der Greifer haben darf einzugrenzen, wird die Umgebung mit Solid Edge ST6 nachgebildet. Da die Experimentehütte 1 für andere Versuche schon als CAD Modell nachgebildet wurde, wird dieses Modell für die Konfiguration mit dem Roboter angepasst.

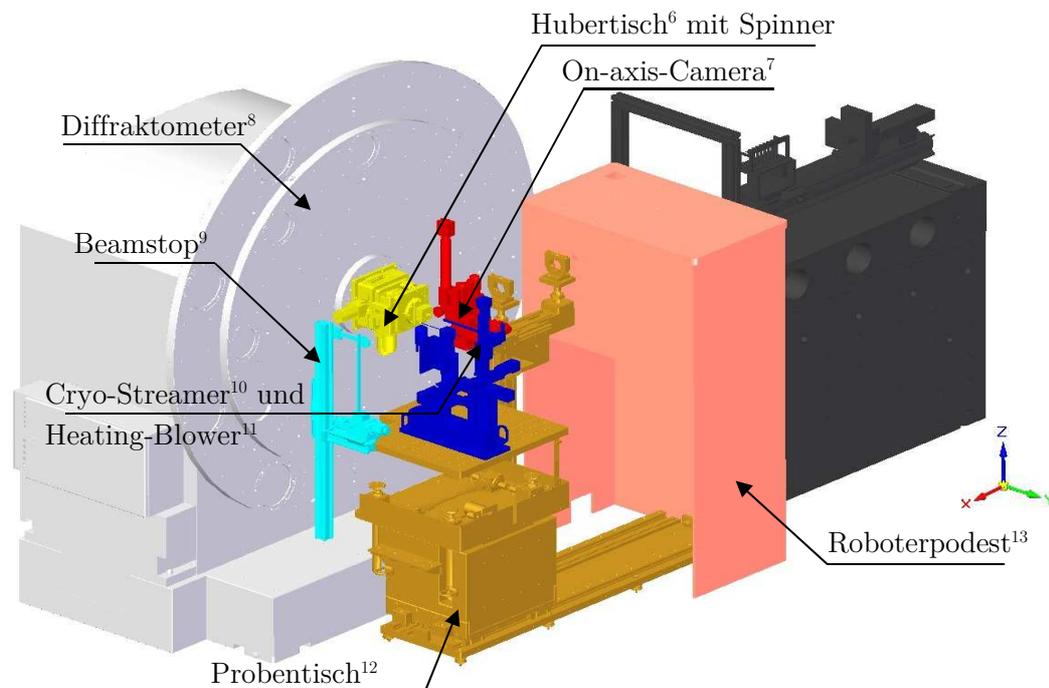


Abbildung 6: Nachbildung der Experimentehütte 1 am CAD

⁶ Der Hubertisch lässt sich in X,Y und Z-Achsen verfahren und dient der Ausrichtung der Probe.

⁷ Die On-axis-Camera ist eine Kamera die es ermöglicht mit Halbdurchlässigen Spiegeln entlang des Strahls zu schauen.

⁸ Das Diffraktometer dient zur Aufnahme von Röntgendetektoren und lässt sich um 360° drehen.

⁹ Der Beamstop kann bei Bedarf den Strahl, mit Hilfe von Bleiplatten, unterbrechen.

¹⁰ Der Cryo-Streamer kann die Proben mit Hilfe von Gasen bis 4 Kelvin runter kühlen.

¹¹ Mit dem Heating-Blower lassen sich Proben auf bis zu 1200 Kelvin erwärmen.

¹² Der Probenstisch ist zur Aufnahme verschiedener Gerätschaften da und lässt sich in der Höhe verfahren.

¹³ Auf dem Roboterpodest wird der Roboter- und das Probenmagazin installiert.

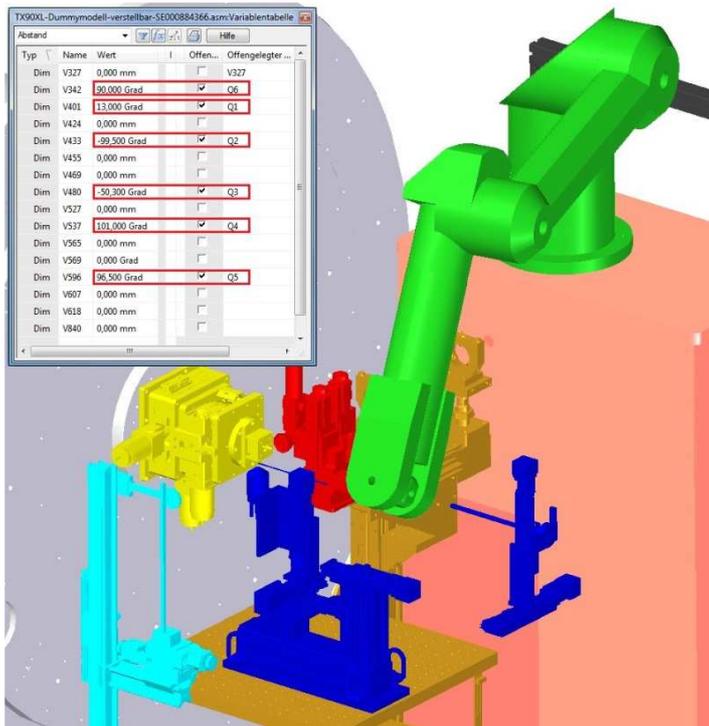


Abbildung 8: Einbau des Roboters und die Platzverhältnisse

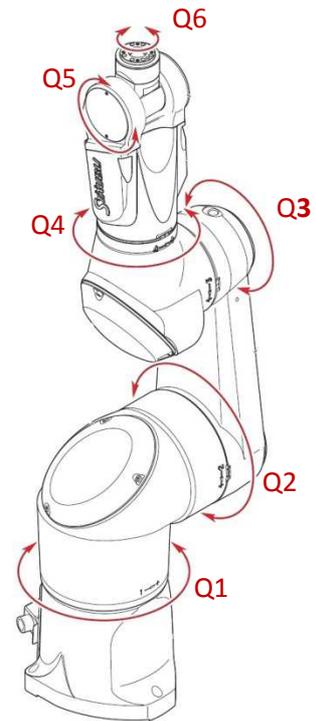


Abbildung 9: Drehachsen des Roboters [8, S24]

Als Längenabstand vom Endeffektor des Roboters zur Absetzposition der Kapillare stehen demnach 240 mm zur Verfügung, siehe Abbildung 8 und 9. Um dieses Ergebnis zu erreichen, wurde der Roboter auf dem Roboterpodest von seiner geplanten Position verschoben. Somit steht der Roboter weiter vom Diffraktometer entfernt. Dadurch wird gewährleistet, dass in der Absetzposition der Roboter weniger diagonal steht und damit zum einen mehr Platz zu der on-axis-Camera hat und zum anderen der effektive Arbeitsraum des Roboters erweitert wird.

4.2 Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung aus 1.1 lässt sich noch weiter präzisieren. Gespräche mit den Beamline-Ingenieuren und den Wissenschaftlern haben ergeben, dass ein besonderes Augenmerk darauf gelegt wird, die Kapillare sicher aus dem Magazin zu entnehmen, in der Probenumgebung abzusetzen und wieder im Magazin abzulegen. Mit dem Wort „sicher“ ist gemeint, dass die Proben die im Magazin relativ nah bei einander stehen, beim Anfahren und Greifen nicht zu beschädigen. Damit ist aber auch gemeint, dass die Probe rüttelfrei gegriffen und transportiert werden kann, da sich in den Kapillaren in der Regel feines Pulver befindet, in dem durch Erschütterungen der Kapillaren Hohlräume entstehen können, die

wiederum das Messergebnis maßgebend beeinträchtigen können. Weiterhin wurde der Wunsch geäußert einen Zweibackengreifer zu entwerfen.

4.3 Anforderungsliste

In weiteren Gesprächen und Begutachtungen der Experimenteumgebung sind weitere Details und Anforderungen offensichtlich geworden die in der Anforderungsliste zusammengefasst worden sind, siehe dazu Tabelle 3 bis Tabelle 5.

Die Anforderungsliste ist ein nützliches Werkzeug um die Kriterien bei einer Konstruktion abzustecken. Dabei gewährleistet das systematische Vorgehen durch die Hauptmerkmale eine vollständige Aufzählung der Anforderungen, gegliedert nach Forderungen und Wünschen sowohl des Auftraggebers als auch zum Beispiel der firmeninternen Vorschriften. Als Leitfaden für die Inhalte der Anforderungsliste wird die Tabelle 2 verwendet[2].

Tabelle 2: Leitfaden Anforderungsliste [2]

Hauptmerkmale	Beispiele
Geometrie	Höhe, Länge, Breite, Durchmesser, Anzahl
Kinematik	Bewegungsart und -richtung, Beschleunigung, Geschwindigkeit, Drehzahl
Kräfte	Kraftart (Scherkraft, Zugkraft, usw.), Größe, Richtung, Steifigkeit, Stabilität
Energie	Leistung, Wirkungsgrad, Druck, Temperatur, Anschlussenergie, Verlustenergie
Stoff	Hilfsstoffe, Werkstoffe, Eigenschaften der eingesetzten Stoffe
Signale	Anzeigeart, Signalform, Eingangs- und Ausgangssignale, Überwachungsfunktionen
Sicherheit	Vorschriften, Gesetze, Schutzsysteme
Ergonomie	Bedienungsart, Formgestaltung, Beleuchtung, Klimatische Gegebenheiten
Gebrauch	Lärm, Verschleiß, Einsatzort
Fertigung	Fertigungsverfahren, Qualität, Toleranzen
Montage	Vorschriften, Baustellenmontage, Baugruppen
Instandhaltung	Wartung, Inspektion, Instandsetzung – Zeitintervalle
Kontrolle	Mess- und Prüfmöglichkeiten, Vorschriften
Transport	Transportwege (max. Breite, Höhe, Gewicht), Begrenzung durch Hebezeuge (Kran, Gabelstapler)
Recycling	Entsorgung, Wiederverwertung
Kosten	Werkzeugkosten, zulässige Herstellkosten
Termine	Ende der Entwicklung, Meilensteine, Lieferzeiten

Die Erstellung der Anforderungsliste erfolgte über mehrere Tage um die Wünsche der betroffenen Ingenieure und Wissenschaftler zu berücksichtigen.

Tabelle 3: Anforderungsliste Teil 1 von 3

			Anforderungsliste	
			für einen Robotergreifer	
			Erstellt am:	05.08.2015
			Erstellt von:	Sergej Wenz
Lfd	Änderung / Datum	F / W	Anforderungen	Abgeschlossen am
			Geometrie	
			vom Spinner(höchste abstehende Fläche) bis 130mm entlang der Y-Achse:	15.09.2015
1	05.08.2015	F	Ausprägung in X-Achse entlang der Rotationsachse des Greifers darf maximal 23mm betragen	15.09.2015
2	05.08.2015	F	Ausprägung in Z-Achse entlang der Rotationsachse des Greifers darf maximal 18mm betragen	15.09.2015
			130mm vom Spinner(höchste abstehende Fläche) bis 260mm entlang der Y-Achse:	15.09.2015
3	05.08.2015	F	Radius um die Rotationsachse maximal 42mm	15.09.2015
4	05.08.2015	F	Länge des Greifers mindestens 230mm	15.09.2015
5	05.08.2015	W4	zwei Greifarme	15.09.2015
			Kinematik	
6	05.08.2015	W4	Der Greifvorgang soll maximal 2 Sekunden lang dauern	03.10.2015
			Kräfte	
7	06.08.2015	W4	Axiale Haltekraft 70 N	25.08.2015
8	06.08.2015	W4	Radiale Haltekraft größer als 50 N	25.08.2015
			Energie	
9	06.08.2015	W3	elektrisch betrieben	-
10	06.08.2015	W4	pneumatisch betrieben	10.08.2015
11	06.08.2015	F	wenn pneumatisch dann mit max 8 bar	10.08.2015
12	06.08.2015	F	bei Rotationsantrieben Unwucht vermeiden	10.08.2015
			Stoff	
13	06.08.2015	F	gegen chemische Einwirkung beständige Werkstoffe	10.08.2015
14	06.08.2015	W3	nach Möglichkeit Normteile verwenden	15.09.2015
15	06.08.2015	W4	Werkstoffpaarungen so verwenden, dass Verschleiß an leicht austauschbaren Teilen entsteht	15.09.2015

Tabelle 4: Anforderungsliste Teil 2 von 3

			Anforderungsliste	
			für einen Robotergreifer	
			Erstellt am:	05.08.2015
			Erstellt von:	Sergej Wenz
Lfd	Änderung / Datum	F / W	Anforderungen	Abgeschlossen am
			Signale	
16	10.08.2015	W2	elektrisches Signal für Greifer geöffnet	-
17	10.08.2015	W2	elektrisches Signal für Greifer geschlossen	-
18	10.08.2015	W1	elektrisches Signal für Kapillar aufgenommen	-
			Sicherheit	
19	10.08.2015	W4	Gesamtprodukt so gestalten, dass die Klemmgefahr für Benutzer minimiert wird	15.09.2015
20	10.08.2015	F	Körperkanten und Ecken mit Fasen und Radien versehen	15.09.2015
21	10.08.2015	W3	durch Elektrische Schutzmaßnahmen sicherstellen, dass manuelles öffnen und schließen des Greifers durch Benutzer nicht möglich ist	-
			Ergonomie	
22	10.08.2015	W3	die Ansteuerung des Greifers soll mit den Steuerelementen des im Roboter dafür vorgesehenen Schnittstellen erfolgen	10.08.2015
			Gebrauch	
23	10.08.2015	F	der Einsatzort ist ein Klimatisierter Raum mit konstanter Temperatur von 23°C	15.09.2015
			Fertigung	
24	10.08.2015	W4	nach Möglichkeit Spanende Fertigungsverfahren	15.09.2015
25	10.08.2015	W4	die Werkstücke müssen in den DESY Werkstätten gefertigt werden können	15.09.2015
26	10.08.2015	F	fertigungsgerechtes Design	15.09.2015
			Montage	
27	10.08.2015	W4	Montage nach Montageanleitung	03.10.2015
28	10.08.2015	W4	Montage darf nur vom Beamlineingenieur oder unter seiner Aufsicht erfolgen	03.10.2015
			Instandhaltung	
29	10.08.2015	F	keine Schmierung verwenden	01.09.2015
30	10.08.2015	W3	Wartungsintervalle nicht öfter als jede 6 Monate	03.10.2015
31	10.08.2015	W3	Standzeit ohne Generalüberholung 5 Jahre	03.10.2015

Tabelle 5: Anforderungsliste Teil 3 von 3

			Anforderungsliste	
			für einen Robotergreifer	
			Erstellt am:	05.08.2015
			Erstellt von:	Sergej Wenz
Lfd	Änderung / Datum	F / W	Anforderungen	Abgeschlossen am
			Transport	
32	10.08.2015	W3	der Transport und längere Aufbewahrung sollen in einer Holzbox erfolgen	-
			Kosten	
33	10.08.2015	W4	die Gesamtkosten maximal 2000€	03.10.2015
			Termine	
34	10.08.2015	W2	bis 15.09.2015 soll ein Prototyp erstellt werden	20.10.2015
35	10.08.2015	W4	bis 30.09.2015 sollen endgültige Zeichnungen und Anleitungen vorliegen	03.10.2015

In der Anforderungsliste werden die Einträge möglichst mit konkreten, messbaren und für Beteiligte verständlichen Werten belegt, damit ein klares Bild des künftigen Endproduktes entsteht. Wie im Kapitel 2.11 bereits beschrieben, kann die Anforderungsliste im Laufe einer Konstruktion unter Umständen ergänzt werden, allerdings nur bis zu einem bestimmten Zeitpunkt, denn sonst droht der Fertigstellungstermin sich auf unabsehbare Zeit zu verschieben [8].

5 Konzipieren

Nachdem die Anforderungen festgelegt sind geht es in die Phase des konzipierens in der die notwendigen Funktionen des Greifers ermittelt werden und nach einer Lösung gesucht wird.

5.1 Funktionsstruktur

Um sich von bekannten Lösungen nicht beeinflussen zu lassen, wird eine Funktionsstruktur erstellt, siehe Abbildung 10. Dabei wird die Gesamtfunktion und im Weiteren die Einzelfunktionen abstrakt dargestellt. Während der Erstellung der Funktionsstruktur werden die Einzelschritte und die Einzelfunktionen eines komplexeren Vorganges deutlich. Aus dieser Erkenntnis lassen sich bei der Lösungssuche (Kapitel 5.2) Lösungsprinzipien generieren die, unter Umständen nicht entstehen würden wenn das Produkt als Ganzes betrachtet wird.

Die Funktionsstruktur besteht aus einer Systemgrenze, den Eingangsgrößen, den Funktionsoperationen und den Ausgangsgrößen [8, S.62].

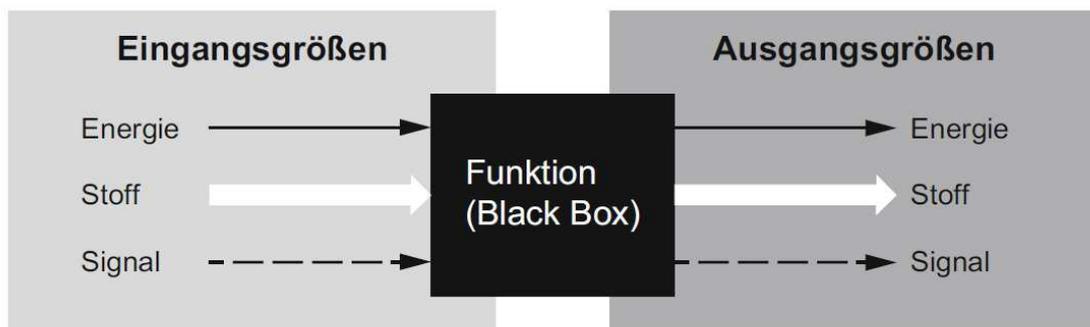


Abbildung 10: Funktionsstruktur als Blackbox [1, S.240]

Bei der Erstellung der Funktionsstruktur wird der Verlauf der Energie-, Stoff- und Signalflüsse durch das Produkt erstellt. Dabei werden je nach Komplexität eines Produkts die Teilfunktionen und die Einzelfunktionen erkenntlich. Je besser ein Produkt analysiert wird und die Eingangs- und Ausgangsgrößen beschrieben werden desto besser wird das Verständnis für die Aufgabe [1, S.237].

Obwohl der zu konstruierende Greifer eine simple Funktionsstruktur hat, ist es dennoch wichtig diese zu erstellen um Klarheit zu verschaffen welche Vorgänge in welcher Abfolge passieren sollen. Auf diese Weise ist die Wahrscheinlichkeit

größer, mögliche Denkfehler oder Fehlvorstellungen in Gesprächen mit den Beteiligten zu erkennen, bevor Ressourcen in die Lösungsfindung investiert werden.

Die ermittelte Funktionsstruktur für den Greifer sieht man in der Abbildung 11.

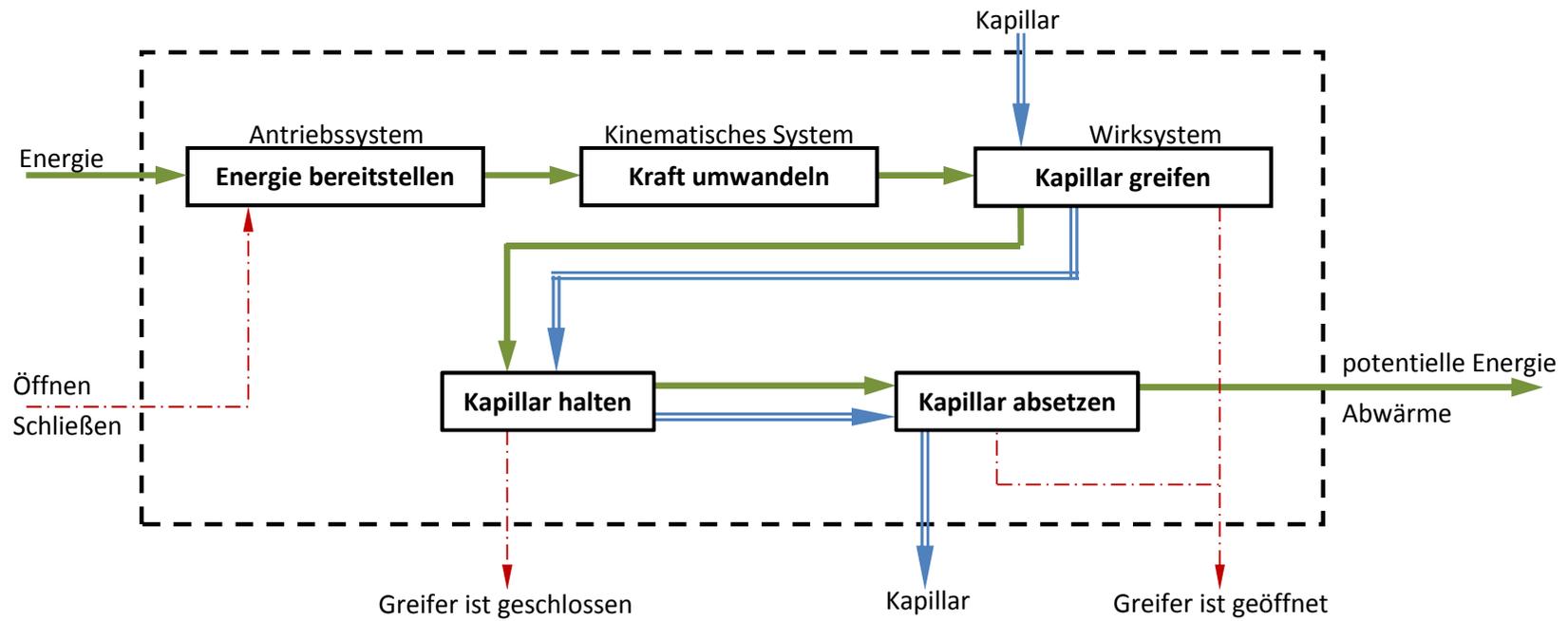


Abbildung 11: Funktionsstruktur des Greifers

5.2 Lösungssuche

Nachdem die Funktionsstruktur erfolgreich erstellt ist und alle Beteiligten damit einverstanden sind, geht es in die Lösungssuche.

In diesem Schritt müssen für die bereits ermittelten Funktionen des Greifers Lösungen gefunden werden. Die Findungsphase gehört dabei zu den anspruchsvollsten und kreativsten Vorgängen bei der Konstruktion eines Produktes, die selten von einer einzelnen Person erledigt werden kann. Das entscheidende in dieser Phase, wenn man ein innovatives Produkt entwickeln möchte, ist es Möglichkeiten zu finden oder diese zu entwickeln ohne sich dabei von bekannten Lösungen beeinflussen zu lassen.

Das Vorgehen bei der Lösungssuche kann man wie folgt beschreiben:

- Suchen nach Wirkprinzipien für die jeweiligen Funktionen
- Kombinieren der Wirkprinzipien zu Lösungsvarianten
- Lösungsvarianten darstellen und beschreiben
- Auswählen geeigneter Lösungsvarianten

5.2.1 Suche nach Wirkprinzipien

Aus der Funktionsstruktur wird ersichtlich, dass für das Antriebssystem, kinematisches System und das Wirksystem Wirkprinzipien gesucht werden müssen. Die Greiferzustandüberwachung muss ebenfalls prinzipiell gelöst werden, obwohl diese in der Anforderungsliste nur erwünscht ist und damit nicht Pflicht ist. Was aus der Funktionsstruktur nicht ersichtlich ist, in der Anforderungsliste aber auftaucht, ist die Forderung nach einer Möglichkeit den Greifer zu justieren.

Ein Wirkprinzip enthält den für die Erfüllung einer Funktion erforderlichen physikalischen Effekt, sowie die geometrische und stoffliche Merkmale [8, Kap.4].

Um ein optimales Produkt zu entwickeln, bedarf es einer möglichst großen Auswahl von Wirkprinzipien für die jeweiligen Funktionen. Es gibt drei Methoden um die Suche effektiv voranzutreiben, die an dieser Stelle kurz erläutert werden.

Es gibt die konventionellen Methoden, die intuitiv betonten Methoden und die diskursiv betonten Methoden.

Die Methoden mit den einzelnen Verfahren sind in der Abbildung 12 dargestellt.

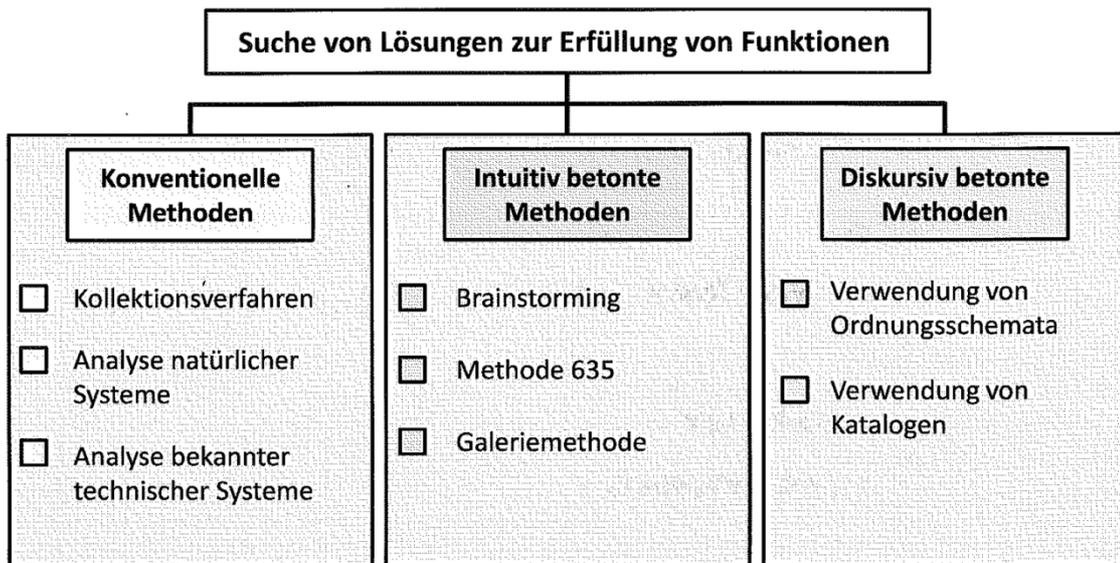


Abbildung 12: Methoden zur Suche nach Lösungen [9, Kap.4]

Bei dem Kollektionsverfahren werden Informationen zum Stand der Technik gesammelt und ausgewertet. Dabei kann man sich der Literatur bedienen sowie Messen besuchen oder Patente analysieren.

Bei der Analyse der natürlichen Systeme wird heute von Bionik gesprochen. Dabei wird die Natur betrachtet und die Erkenntnisse werden auf technische Systeme transferiert.

Die Analyse bekannter technischer Systeme ist eine gedankliche Zerlegung von vorhandenen Produkten bis die Funktionsträger von Teilfunktionen erkennbar werden.

Die intuitiv betonten Methoden beruhen darauf, dass durch gegenseitige Inspiration mehrerer Teilnehmer spontane Ideen oder Lösungsvorschläge entstehen. So kann Brainstorming eingesetzt werden an dem mehrere Personen teilnehmen. Die 635-Methode ist eine Weiterentwicklung des Brainstormings. Dabei erstellen 6 Teilnehmer 3 Lösungsvorschläge, die von den anderen 5 Teilnehmern dann ergänzt oder weiterentwickelt werden.

Bei der diskursiv betonten Methode werden Ordnungsschemata und Kataloge verwendet. Die Ordnungsschemata werden dann verwendet wenn schon Lösungen vorliegen die nur in eine bestimmte Richtung weiterentwickelt werden müssen. Die Kataloge beinhalten Sammlungen bewährter Lösungen für bestimmte Konstruktionsaufgaben.

Tabelle 6: Morphologischer Kasten

		Lösung:									
		1	2	3	4	5	6	7	9	10	
Antriebssystem		E-Motor	Pneumakmotor	Pneumatikzylinder	Hydraulikmotor	Hydraulikzylinder	Hubmagnet	Piezo Antrieb			
	Greiferzustand-überwachung	Videüberwachung	Näherungssensor	Endschalter							
Kinematisches System											
	Wirksystem	reines Umschließen	teilweise Umschließen/Klemmen	reiner Kraftschluss	Saugnapf	Magnetisch	Haftmittel	Luftpolster	Lamellen	Schlinge	
Greifer konfigurieren	mecha- nisch	Stellschraube	Anschlag								
	Steuerungs-technisch	über Zeit	Anzahl der Impulse	über Sensoren							

LV2

LV1

LV3

In dieser Bachelorarbeit wurde bei der Suche nach Lösungen auf das Brainstorming und das Kollektionsverfahren zurückgegriffen wobei die Recherche nach Greifer, die zu Beginn gemacht wurde, viel zu der Lösungsfindung beigetragen hat.

Das Ergebnis der Lösungssuche ist in einem morphologischen Kasten in Tabelle 6 abgebildet.

Die Lösungen im morphologischen Kasten sind nach dem Relevanzgrad sortiert. Die realisierbaren Lösungen sind auf der linken Seite und die exotischeren und somit schwerer realisierbaren sind weiter rechts in der Tabelle dargestellt.

5.2.2 Variantenvorstellung

Aus dem „Morphologischen Kasten“ sind die drei Lösungsvarianten zu entnehmen, die bei dem Kombinieren von den Wirkprinzipien entstanden sind. Diese werden in diesem Kapitel vorgestellt.

Lösungsvariante 1

Bei der ersten Lösungsvariante dient ein elektrischer Hubmagnet als Antriebssystem. Die Kapillare wird hier von einem Saugnapf aufgenommen, wobei das Vakuum von einer Pumpe erzeugt wird. Ein Vakuum, das passiv erzeugt wird, zum Beispiel durch einen elastischen Saugnapf, ist laut Anforderungsliste an dieser Stelle zu unsicher, da eine große Wahrscheinlichkeit besteht, dass die Kapillare beim Transportieren vom Magazin zum Spinner verloren gehen kann. Ein kinematisches System ist bei dieser Variante nicht vorgesehen, weil die einzige Bewegung die der Greifer in dieser Konstellation durchführt eine translatorische Bewegung ist die vom Hubmagneten ausgeführt wird, siehe Abbildung 13. Die Greiferzustandüberwachung geschieht mittels Endschalter, die signalisieren ob der Saugnapf sich in der oberen- oder unteren Endlage befindet.

Der Hubweg wird mittels mechanischen Anschlägen begrenzt, die mit Stellschrauben feinjustiert werden können.

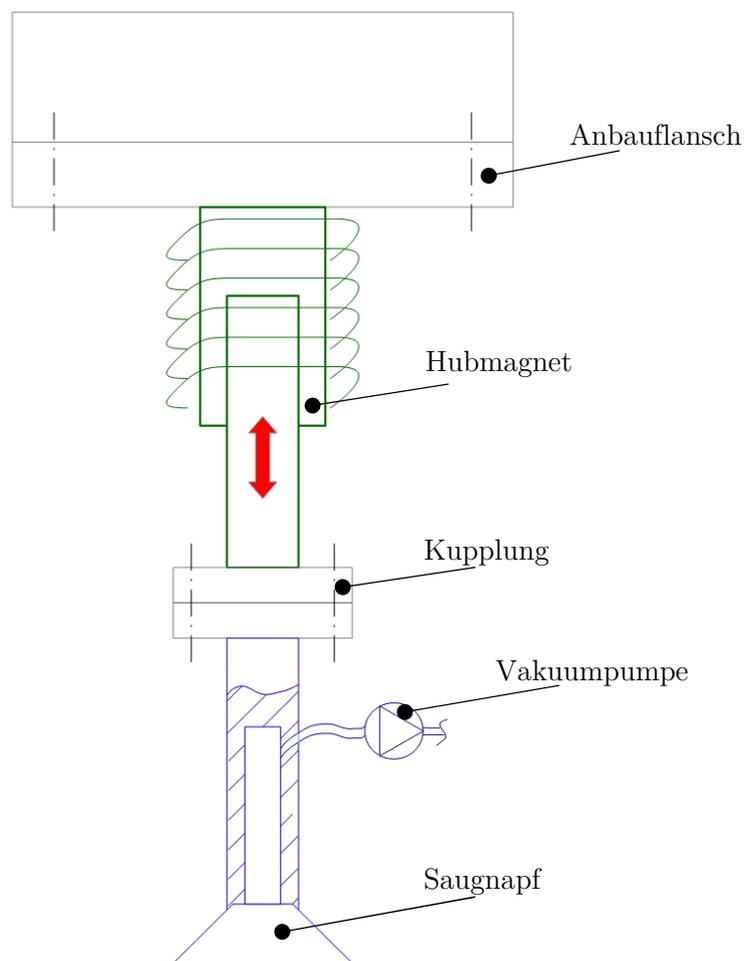


Abbildung 13: Lösungsvariante 1

Lösungsvariante 2

Die zweite Lösungsvariante wird von einem elektrischen Schrittmotor angetrieben. Das kinematische System besteht aus parallel geführten Schenkeln die mit Zahnstangen versehen sind. Mit Hilfe eines Zahnrades, das über ein Getriebe mit dem Motor verbunden ist, werden die Schenkel auf- und zu gefahren. Für das Wirksystem ist reiner Kraftschluss vorgesehen. Die Kraft dafür wird vom Motor über das Getriebe erzeugt. Der Greiferzustand wird über Näherungssensoren überwacht. Da der Greifer über den Kraftschluss greift, funktioniert die Konfiguration beim Schließen über den Anschlag, wobei der Kapillarehalter als Anschlag dient um die maximale Kraft zu übertragen, siehe Abbildung 14. Das

Öffnen wird wiederum über den Näherungssensor gemeldet, womit man keine weitere Vorrichtung für diesen Prozess benötigt.

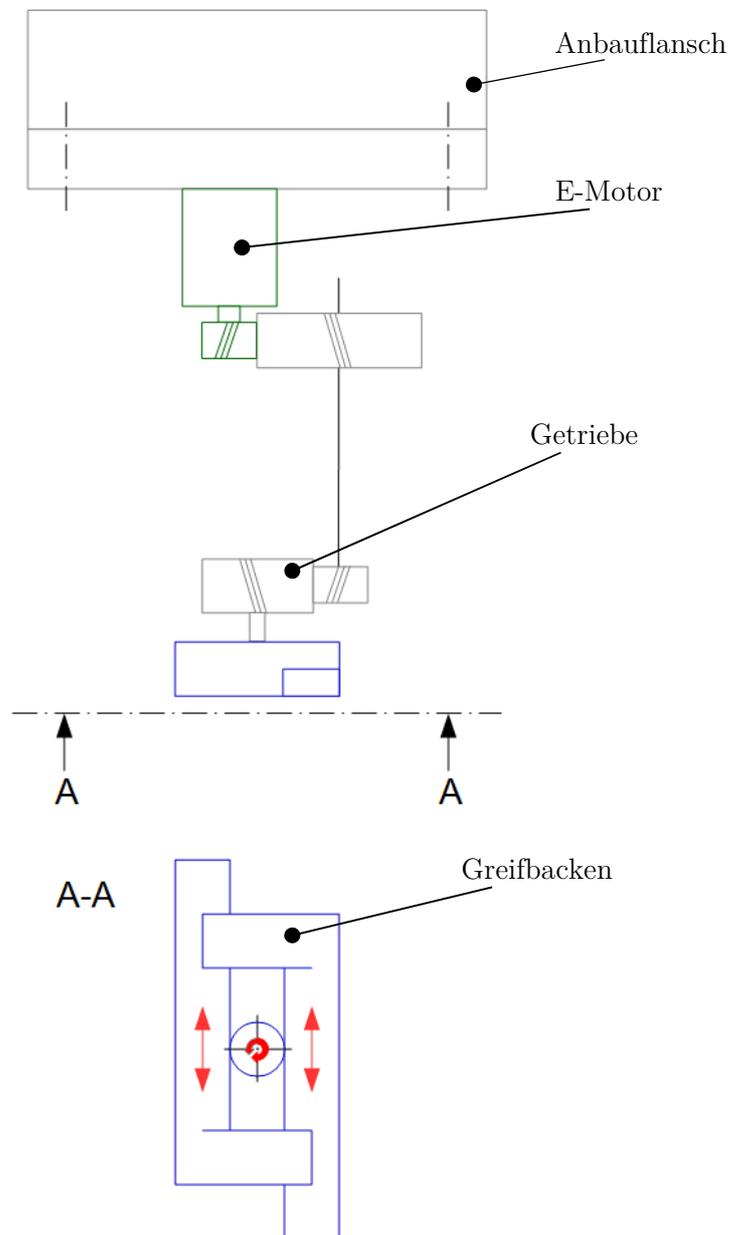


Abbildung 14: Lösungsvariante 2

Lösungsvariante 3

Der Antrieb erfolgt mittels Druckluft, wobei die Pneumatikeinheit eine Hubbewegung ausführt. Über die Zylinderstange wird der Stößel des kinematischen Systems bewegt. Die Schenkel sind drehend gelagert und werden in eine Richtung, durch den trapezförmigen Stößel geschlossen. Sobald der Stößel sich in die andere Richtung bewegt, übernimmt die Zugfeder die Aufgabe des

Öffnens, siehe Abbildung 15. Das Wirksystem ist ein reines Umschließen, wobei die Greifer hinter die Kapillarehalter greift und über Formschluss gehalten wird. Der Greiferzustand wird mit Endschaltern überwacht. Da die Schenkel drehend gelagert sind, kann über das Hebelgesetz die Kraft übersetzt oder der Öffnungswinkel eingestellt werden.

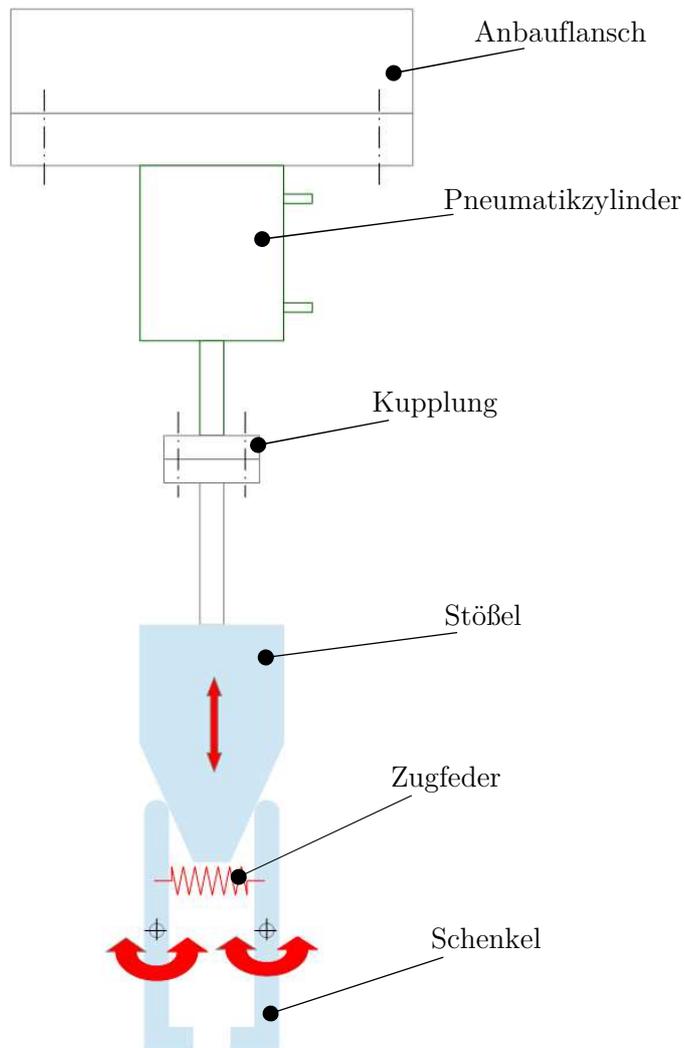


Abbildung 15: Lösungsvariante 3

5.2.3 Bewertung der Varianten

Um eine möglichst objektive Bewertung der Lösungsvorschläge vornehmen zu können, müssen Sinnvolle Bewertungsfaktoren eingeführt werden. Diese Faktoren werden mit Hilfe einer Präferenzmatrix ermittelt. Dabei werden Bewertungskriterien, die sich aus den Anforderungen ergeben, in einer Matrix paarweise verglichen. Beim Vergleichen muss entschieden werden ob ein

Kriterium wichtiger ist als das andere oder nicht und dementsprechend mit einem „+“ oder „-“ gekennzeichnet werden. Aus der Gesamtsumme der „+“ und der Summen der „+“ jedes einzelnen Kriteriums lassen sich die Gewichtungsfaktoren für die Bewertungskriterien ermitteln, die in der Summe eine eins ergeben. Außerdem sieht man übersichtlich die Kriteriengewichtung, siehe Tabelle 7

Tabelle 7: Präferenzmatrix

Lfd.	Bewertungskriterien	Wiederholgenauigkeit	Einstellbarkeit	geringer Bauraum	verschleißarm	geringes Gewicht	montagefreundlich	chemiebeständig	geringer Fertigungsaufwand	vorhandene Ressourcen verwenden	anpassbare Greifer	Verletzungsrisiko minimieren	Greifvorgang schneller als 2 sek.	manuelles Öffnen bei Notfall mögl.	Summe der „+“	Gewichtungsfaktor g	Rang
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
1	Wiederholgenauigkeit	X	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	+	-	6	0,077	7
2	Einstellbarkeit	-	X	-	+	-	+	-	+	-	-	+	+	-	5	0,064	8
3	geringer Bauraum	+	+	X	+	+	+	-	+	-	-	+	+	-	8	0,103	5
4	verschleißarm	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-	+	+	-	2	0,026	11
5	geringes Gewicht	+	+	-	+	X	+	-	+	-	-	+	+	-	7	0,090	6
6	montagefreundlich	-	-	-	+	-	X	-	-	-	-	+	+	-	3	0,038	10
7	chemiebeständig	+	+	+	+	+	+	X	+	+	+	+	+	-	11	0,141	2
8	geringer Fertigungsaufwand	-	-	-	+	-	+	-	X	-	-	+	+	-	4	0,051	9
9	vorhandene Ressourcen verwenden	+	+	+	+	+	+	-	+	X	-	+	+	-	9	0,115	4
10	anpassbare Greifer	+	+	+	+	+	+	-	+	+	X	+	+	-	10	0,128	3
11	Verletzungsrisiko minimieren	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	+	-	1	0,013	12
12	Greifvorgang schneller als 2 sek.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	0	0,000	13
13	manuelles Öffnen bei Notfall mögl.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	X	12	0,154	1
Gesamt															78	1,000	

Dieses Verfahren ist auch als Rangfolgenverfahren oder Dominanzmatrix bekannt und eignet sich in erster Linie zur Evaluierung einfacher Systeme [1, S.395].

Mit den ermittelten Gewichtungsfaktoren können die Lösungsvarianten nach VDI 2225 miteinander verglichen werden. Um den Vergleich durchzuführen müssen die Bewertungskriterien mit Punkten bewertet werden. Dabei werden die Bewertungskriterien der einzelnen Lösungsvarianten auf die Realisierbarkeit eingeschätzt, siehe Tabelle 8. Die vergebenen Punkte werden mit den Gewichtungsfaktoren multipliziert und summiert, daraus ergibt sich die Gesamtpunktzahl. Nach dem vorliegenden Entscheidungsverfahren kann eine

Lösungsvariante maximal vier Punkte bekommen und würde damit die Wertigkeit von eins haben was bedeuten würde, dass es die best-mögliche Lösung ist.

Tabelle 8: Bewertungsliste

Bewertungsliste							
Wertigkeitskala nach VDI 2225 mit Punktevergabe P von 0 bis 4 mit: P = 0 = unbefriedigend bis P = 4 = sehr gut							
		LV1		LV2		LV3	
Bewertungskriterium:	g	P	P*g	P	P*g	P	P*g
Wiederholgenauigkeit	0,077	3	0,231	4	0,308	4	0,308
Einstellbarkeit	0,064	2	0,128	3	0,192	3	0,192
geringer Bauraum	0,103	2	0,206	1	0,103	3	0,309
verschleißarm	0,026	3	0,078	3	0,078	3	0,078
geringes Gewicht	0,09	2	0,18	2	0,18	4	0,36
montagefreundlich	0,038	2	0,076	2	0,076	3	0,114
chemiebeständig	0,141	3	0,423	4	0,564	4	0,564
geringer Fertigungsaufwand	0,051	4	0,204	2	0,102	3	0,153
vorhandene Ressourcen verwenden	0,115	2	0,23	2	0,23	3	0,345
anpassbare Greifer	0,128	0	0	3	0,384	4	0,512
Verletzungsrisiko minimieren	0,013	4	0,052	3	0,039	3	0,039
Greifvorgang schneller als 2 sek.	0	4	0	4	0	4	0
manuelles Öffnen bei Notfall mögl.	0,154	1	0,154	4	0,616	3	0,462
Summe der Punkte:			1,962		2,872		3,436
Rangfolge:			3		2		1
Wertigkeit Gesamtlösung:			0,4905		0,718		0,859

Die Lösungsvariante drei hat nach der Punktevergabe eine Wertigkeit von 0,859 bekommen und liegt damit deutlich vor den anderen beiden Varianten. Nach einer Diskussion mit dem Beamlieingenieur wurde festgelegt diese Variante weiter zu verfolgen.

Zu der Präferenzmatrix und der Bewertungsliste kann abschließend noch gesagt werden, dass trotz dem Versuch möglichst objektiv zu der Entscheidung zu gelangen, die Punktevergabe beispielsweise nicht vorurteilsfrei erfolgen kann. Diese Verfahren sind jedoch bewährt, da bei diesem eine Entscheidung systematisch herbeigeführt werden kann und durch das Abwägen und Vergleichen der Kriterien sowie der Varianten eine gewisse Objektivität erzielt werden kann.

6 Präzisierung und Konstruktion der Lösungsvariante 3

6.1 Auslegen und Grobgestalten

Die Arbeitsweise dieser Variante soll so sein, dass beim Ausfahren des Pneumatikzylinders der Greifer die Schenkel zusammenfährt und beim Rückhub diese öffnet. Um Verklemmungen, die von der Feder erzeugt werden können, zu vermeiden wird als Antrieb ein doppelwirkender Pneumatikzylinder¹⁵ eingesetzt.

Um in der Zukunft auch verschiedenförmige Proben greifen zu können ohne einen neuen Greifer konstruieren zu müssen, werden die Schenkel, die die Greifbewegung ausführen, in Greifarm und Greifbacke aufgeteilt, siehe Abbildung 16. Der Greifarm ist dabei der Teil des Schenkels, der fest im Greifer verbaut ist und die Rotationsbewegung ausführt. Die Greifbacke lässt sich an den Greifarm montieren und verfügt über die probenspezifische Geometrie.

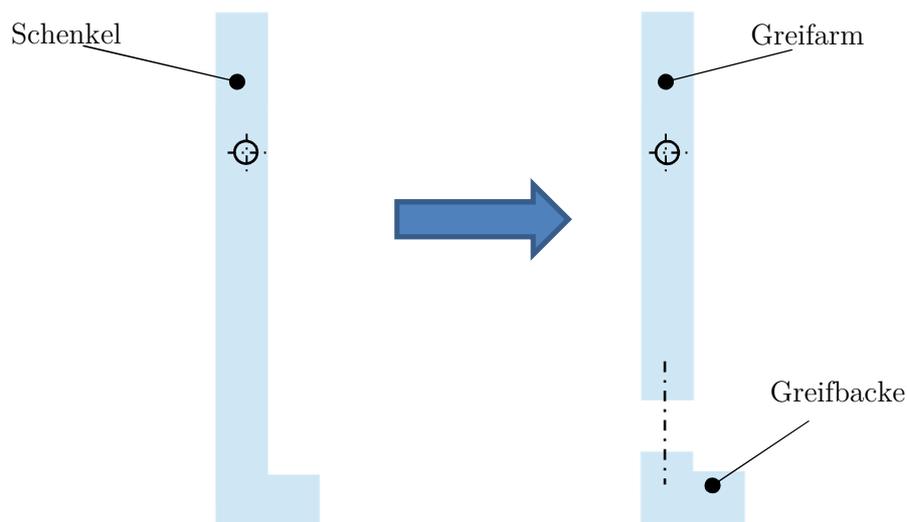


Abbildung 16: Aus Schenkel werden Greifarm und Greifbacke

Beim Stößel ist der Winkel der Schenkel maßgebend. Mit diesem Winkel und dem 20 mm Hub des Antriebes lassen sich die Schließkraft und der Öffnungswinkel des Greifers dimensionieren. Jedoch können diese beiden Größen auch über die Hebelwirkung der Greifarme eingestellt werden. Es kann also je nach Dimensionierung der Komponenten ein Gleichgewicht im Hinblick auf die Anforderungen erzielt werden.

¹⁵ Ein Zylinder der Fa. Festo, Modell: ADVC-16-20-I-P, siehe Anhang.

Der Kapillarehalter hat einen äußeren Durchmesser von 12 mm, siehe Abbildung 17. Es wurde festgelegt, dass jede Greifbacke pro Seite mindestens 4 mm an dem Kapillarhalter, beim Anfahren an die Greifposition, vorbei gehen müssen. Daraus ergibt sich eine Öffnungsweite von 20 mm. Ein weiteres Kriterium bei der Auslegung ist die Länge der Kapillaren. Der Greifer muss in der Lage sein ohne Umbauten Kapillare von 35 mm Länge aufzunehmen.

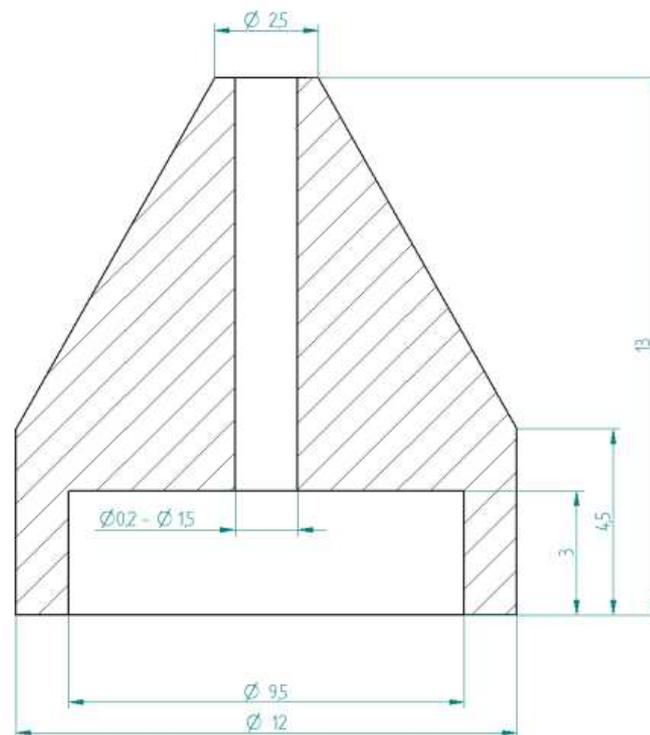


Abbildung 17: Kapillarehalter in Schnittdarstellung

Nach ein paar Gedankenexperimenten und überschlägigen Berechnungen sind die Längenverhältnisse für das kinematische System im Zusammenspiel mit dem Antriebssystem entstanden, siehe Abbildung 18.

Die grüne Farbe stellt in der Abbildung den geschlossenen Zustand und die blaue Farbe den geöffneten Zustand dar. Die Hublänge ist dabei von dem Antriebssystem vorgegeben. Die Öffnungsweite $\overline{A'B'}$ wird aus Sicherheitsgründen auf $\overline{A'B'}=7$ mm festgesetzt. Damit die 20 mm Hublänge sinnvoll ausgenutzt werden, wird eine Steigung von $m=0,25$ für den Stößel gewählt. Daraus ergibt sich die Strecke \overline{AB} .

$$\overline{AB}=m \cdot \text{Hub}=0,25 \cdot 20 \text{ mm}=5 \text{ mm} \quad (1)$$

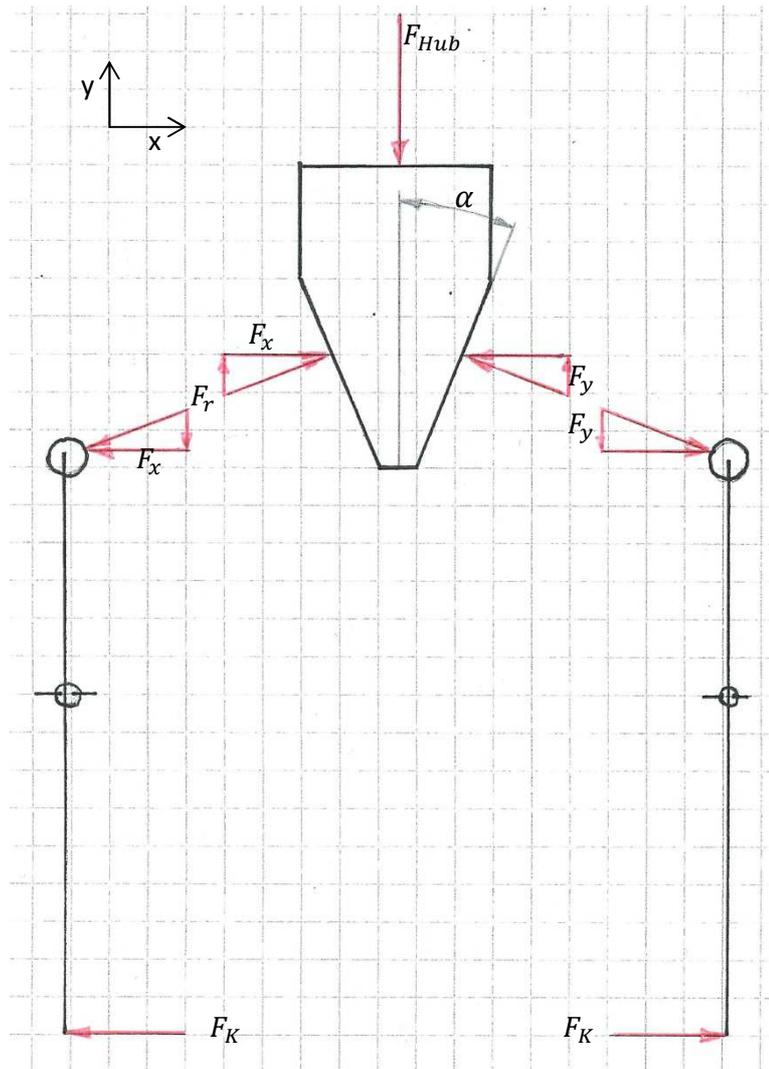


Abbildung 19: Freikörperbild vom kinematischen System

Die Klemmkraft F_K , die die Kapillare hält, ist dabei die gesuchte Größe. Um diese zu ermitteln, wird ein Kräftegleichgewicht aufgestellt um zunächst die Kraft F_x zu ermitteln.

$$\uparrow \sum F = 0 \quad (3)$$

$$F_{Hub} = 2 \cdot F_y \quad (4)$$

$$F_{Hub} = p \cdot A = \frac{\pi \cdot (0,016 \text{ mm})^2}{4} \cdot 6 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 120,64 \text{ N} \approx 121 \text{ N} \quad (5)$$

$$F_x = \frac{F_{yh}}{\tan(14^\circ)} = \frac{60,5}{\tan(14^\circ)} = 242,65 \text{ N} \quad (6)$$

Mit F_x lässt sich ein Momentensatz um den Drehpunkt aufstellen aus dem schließlich die Kraft F_K hervorgeht.

$$\sum M_z = 0 \quad (7)$$

$$F_x \cdot \overline{ZA} = F_K \cdot \overline{ZA} \quad (8)$$

$$F_K = \frac{F_x \cdot \overline{ZA}}{\overline{ZA}} = \frac{242,65 \text{ N} \cdot 31 \text{ mm}}{44 \text{ mm}} = 165 \text{ N} \quad (9)$$

Die gesamte Klemmkraft ist $F_{K_{\text{gesamt}}} = 2 \cdot F_K = 330 \text{ N}$ und genügt damit den Anforderungen der Anforderungsliste. Damit ist die Auslegung des Wirksystems abgeschlossen.

6.2 Modellierung

Um die Detaillierung des gesamten Greifers voranzutreiben, wird in der Experimenteumgebung zunächst mit Dummymodellen gearbeitet. Das bietet den Vorteil, die schon errechneten- und in der Anforderungsliste vorgegebenen Dimensionen dynamisch anzupassen um möglichst schnell genaue Abmaße des Greifers zu ermitteln. Dabei geht es im Wesentlichen um die Gestaltung des Gehäuses, beziehungsweise die Führung für das kinematische- und das Antriebssystem.

Eine weitere wichtige Eigenschaft des Greifers muss es sein, dass der Greifer immer gleich ausgerichtet ist und positionstreu in den Roboter eingebaut wird. Dazu zählt aber auch die Montage und Demontage, denn dabei darf es bei spiegel- oder drehsymmetrischen Bauteilen nicht zu Vertauschungen kommen, die die Ausrichtung des Greifers in der Probenumgebung beeinflussen könnten, wenn dieselben Koordinaten bei der Steuerung des Roboters eingegeben werden nachdem der Greifer zum Beispiel nach einer Wartung wieder zusammengebaut und im Roboter eingebaut wird. So eine Vertauschung könnte dazu führen, dass mit dem Greifer Messeinrichtungen beschädigt werden könnten, wenn der Greifer beispielsweise eine flache und eine breite Seite hat. Im ungünstigsten Fall könnte der Greifer fälschlicherweise um 90° verdreht eingebaut werden. Dabei würde er an schmalen Stellen mit der breiten Seite vom Roboter im Raum bewegt werden wo er auf diese Weise nicht passen würde.

Das Ergebnis der Modellierung sieht man in der Abbildung 21, die dazugehörige Stückliste ist in der Tabelle 9 dargestellt. Um die Übersicht der Explosionszeichnung beizubehalten, wurde auf die Darstellung der Schrauben

verzichtet. Diese tauchen in der Stückliste mit einem „*“ auf. An dieser Stelle werden die Besonderheiten einiger Teile aus der Baugruppe erwähnt.

Der Adapter-zum-Roboter (Pos.23) ist mit einem Loch zur Verdrehsicherung versehen [10]. Dieses Loch stellt eine $\text{Ø}5\text{H}7$ Passung dar in der ein Zylinderstift (Pos.14) $\text{Ø}5\text{m}6$ steckt, siehe Abbildung 20. Dieser Zylinderstift ist drei Mal in der Konstruktion vorhanden und hat die Funktion den Greifer, wie weiter oben erwähnt, immer gleich im Roboter auszurichten. Bei dem Adapter-zum-Roboter greift dieser Stift nämlich in den Roboter hinein wo nur ein Loch dafür vorgesehen ist und auf der anderen Seite in den Adapter-zum-Greifer (Pos.7) der ebenfalls nur über eine dafür vorgesehene Passung verfügt.

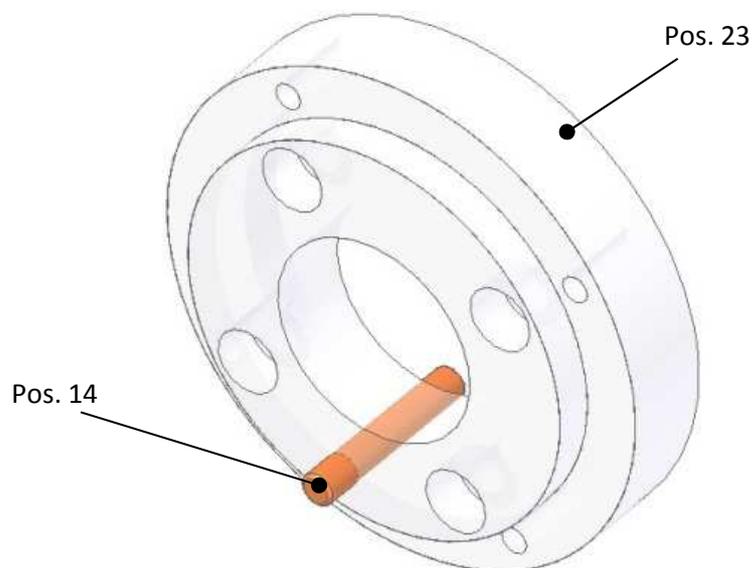


Abbildung 20: Adapter-zum-Roboter

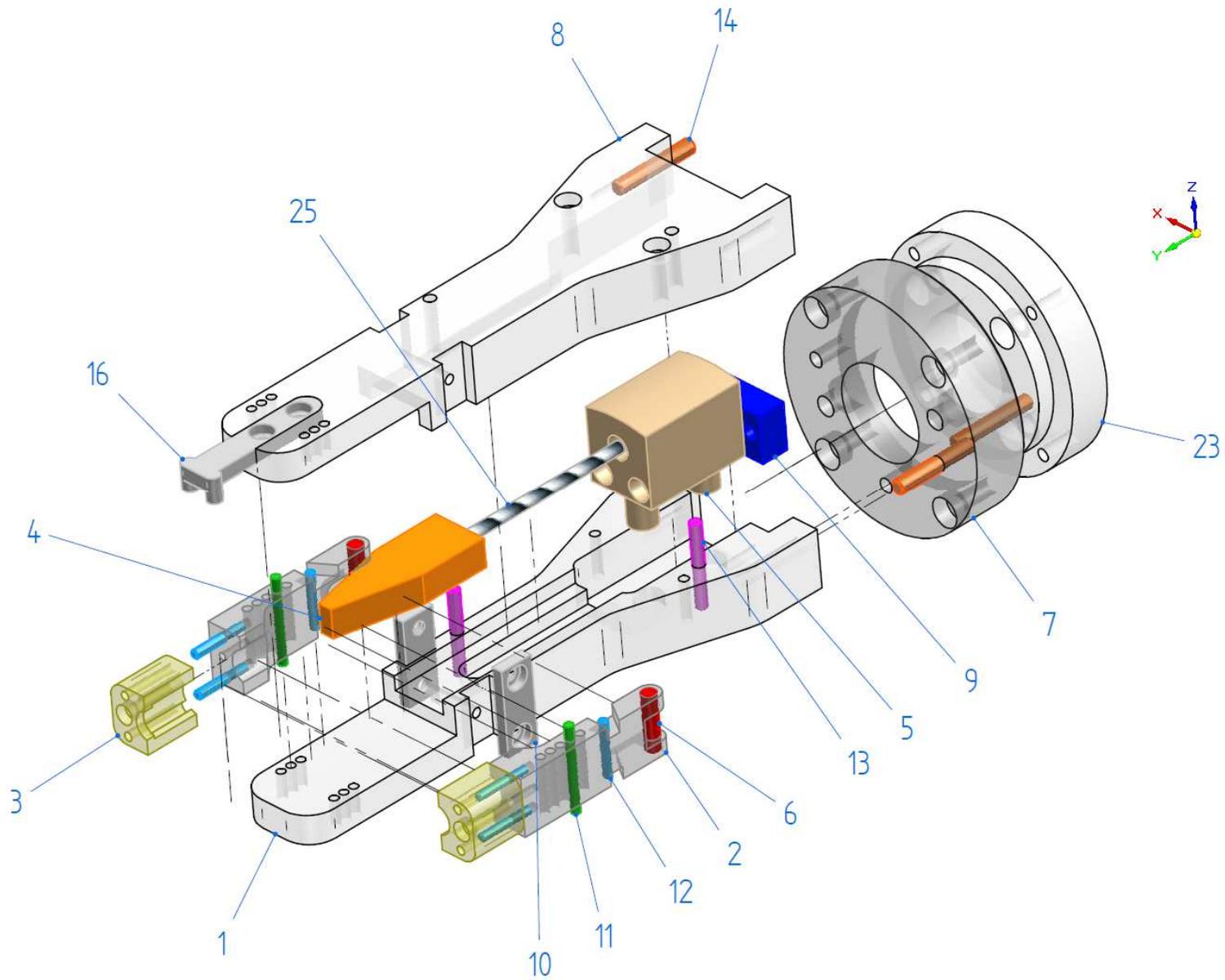


Abbildung 21: Explosionsdarstellung des Greifers

Tabelle 9: Stückliste

Pos	Titel	Stk.	Werkstoff	Teilenummer
1	Grundplatte	1	EN AW-5754	SE000886402
2	Greiferarm	2	EN AW-5754	SE000886300
3	Greiferbacke	2	EN AW-5754	SE000886209
4	Stoessel	1	EN AW-5754	SE000886339
5	Pneumatikzylinder-Dummy	1	EN AW-5754	SE000886420
6	Stift-D5	2		SE000886466
7	Adapter-zum-Greifer	1	EN AW-5754	SE000886534
8	Grundplatte-oben-V2	1	EN AW-5754	SE000887509
9	Pneumatikzylinderhalter	1	EN AW-5754	SE000886600
10	Fixierlaschen	2	EN AW-5754	SE000887872
11	Drehachse	2		SE000888694
12	Stift-D3x20	6		SE000901937
13	Stift-D4x30	2		SE000901960
14	Stift-D5x30	3		SE000901966
15*	Kapillarehalter	1		SE000904039
16	Sensor-Dummy	1		SE000912122
17*	Zylinderschraube ISO 4762 M3x25	2	8.8 /	
18*	Zylinderschraube ISO 4762 M4x25	2	8.8	
19*	Zylinderschraube ISO 4762 M4x40	2	8.8 /	
20*	Zylinderschraube ISO 4762 M6x16	2	8.8	
21*	Zylinderschraube ISO 4762 M4x12	2	8.8	
22*	Zylinderschraube DIN 7984 M4x6	6	8.8 /	
23	Adapter-zum-Roboter	1	EN AW-5754	SE000886532
24*	Zylinderschraube ISO 4762 M5x25	4	8.8 /	
25	Gewindebolzen DIN 976-1 M4x75-B	1	8.8 /	

Pos.-Nr. mit * sind auf der Zeichnung nicht angezogen

Der Adapter-zum-Greifer (Pos.7) stellt die Basis für die Grundplatte (Pos.1) und Grundplatte-oben-V2 (Pos.8) dar. Die Grundplatten werden im zusammengebauten Zustand mit dem Adapter-zum-Greifer (Pos.7) verbaut. Die eindeutige Ausrichtung wird dabei durch die verbleibenden beiden Zylinderstifte (Pos.14) gewährleistet, siehe Abbildung 22. Dabei liegen die Passbohrungen im Adapter-zum-Greifer (Pos.7) auf unterschiedlichen Teilkreisen, siehe dazu die Zeichnung „Adapter-zum-Greifer“ mit der SE-Nummer: SE000886534 im Anhang, was dazu führt, dass bei einem Versuch den Adapter verdreht mit den Grundplatten zu montieren, die Schrauben kein Gewinde zum festschrauben finden würden.

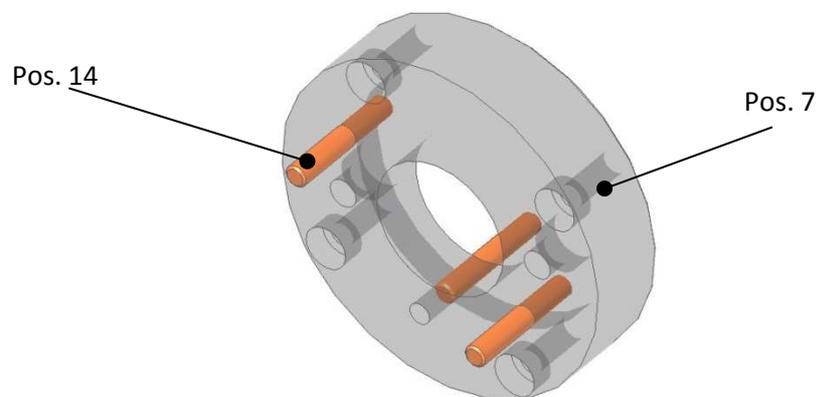


Abbildung 22: Adapter-zum-Greifer

Die beiden Grundplatten (Pos.1 und Pos.8) werden zueinander mit zwei Passstiften (Pos.13) ausgerichtet und insgesamt mit sechs Schrauben und zwei Fixierlaschen (Pos.10) miteinander verschraubt, siehe Abbildung 23. Aufgrund der Geometrie der Grundplatten im Innenleben sind diese nicht vertauschbar. Um Einstellmöglichkeiten zu haben, gibt es drei Positionen wo die Greifarme (Pos.2) angebracht werden können, für die mittlere davon wurden die Berechnungen bei der Auslegung gemacht. Der Sensor (Pos.16) gibt die Information über den Öffnungswinkel der Greifarme weiter und sitzt in einer Nut in der oberen Grundplatte.

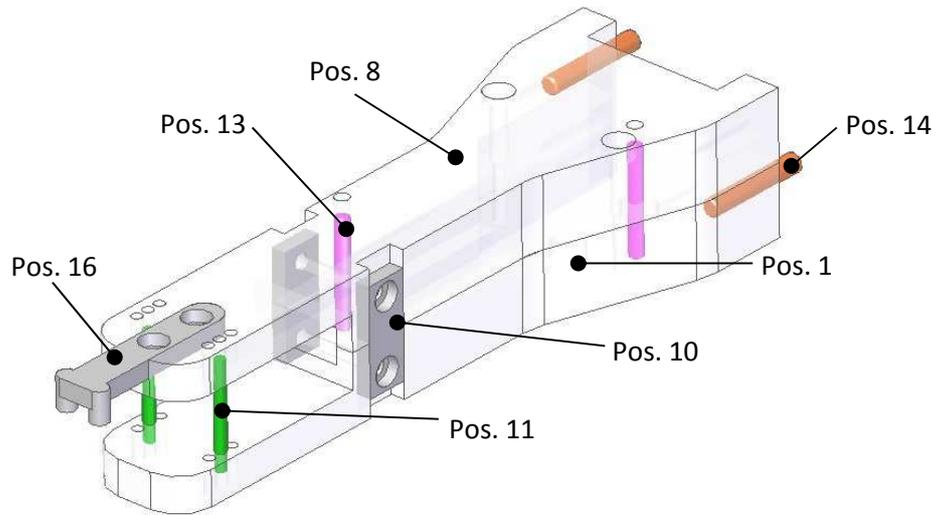


Abbildung 23: Grundplatten

Die Greifarme (Pos.2) sind über die Drehachsen (Pos.11) gelagert. Auch hier gibt es neben dem berechneten Drehpunkt weitere Passbohrungen um den Greifer auf mögliche ändernde Zustände anpassen zu können, siehe Abbildung 24. Die Bewegung entlang der Achsen wird durch die abgesetzten Flächen in den Grundplatten begrenzt und beträgt 0,1 mm Spiel. In den Nuten, wo der $\varnothing 3\text{m}6$ Stift (Pos.12) sitzt, wird jeweils eine Zugfeder angebracht die das Öffnen der Greifarme ermöglicht. Beim Schließen wird der Kraftfluss über die $\varnothing 5\text{m}6$ Stifte (Pos.6) vom Stößel (Pos.4) an die Greifarme übertragen.

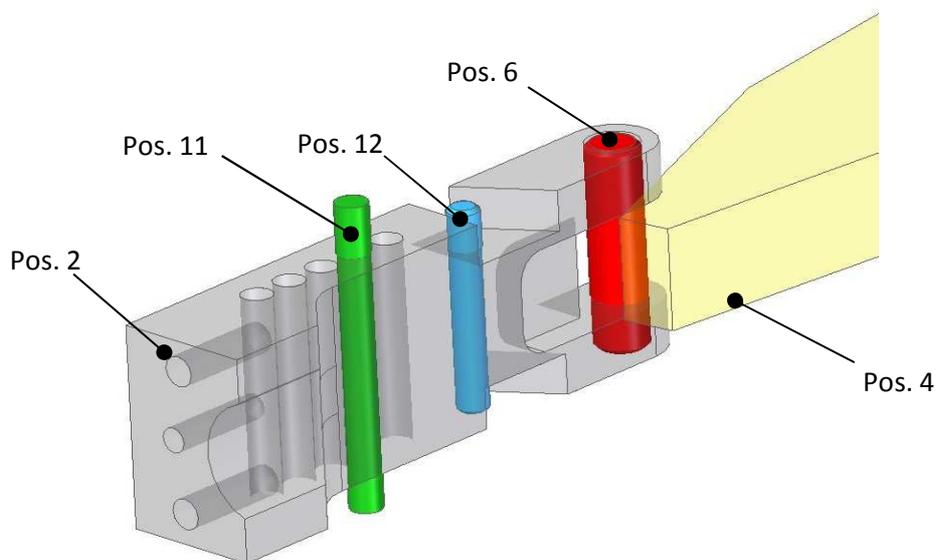


Abbildung 24: Greifarm

Der Stößel (Pos.4) ist so ausgelegt, dass eine Kapillare von 35 mm eingesetzt werden kann. Um auch extra lange Kapillare aufnehmen zu können, hat der Stößel eine 20 mm tiefe Bohrung in die die Kapillare im Extremfall eintauchen kann, siehe Abbildung 25. Auf der gegenüberliegenden Seite ist ein M4 Feingewinde angebracht. Mit Hilfe eines Gewindebolzens (Pos.25) sind Stößel und der Antrieb (Pos.5) miteinander verbunden und mit Kontermuttern gegen das Verdrehen gesichert. Aufgrund des Feingewindes ist eine Feinjustierung des Öffnungswinkels über den Stößel möglich. Der Stößel ist in einer Nut geführt und kann sich nur entlang der Hubachse des Antriebes bewegen.

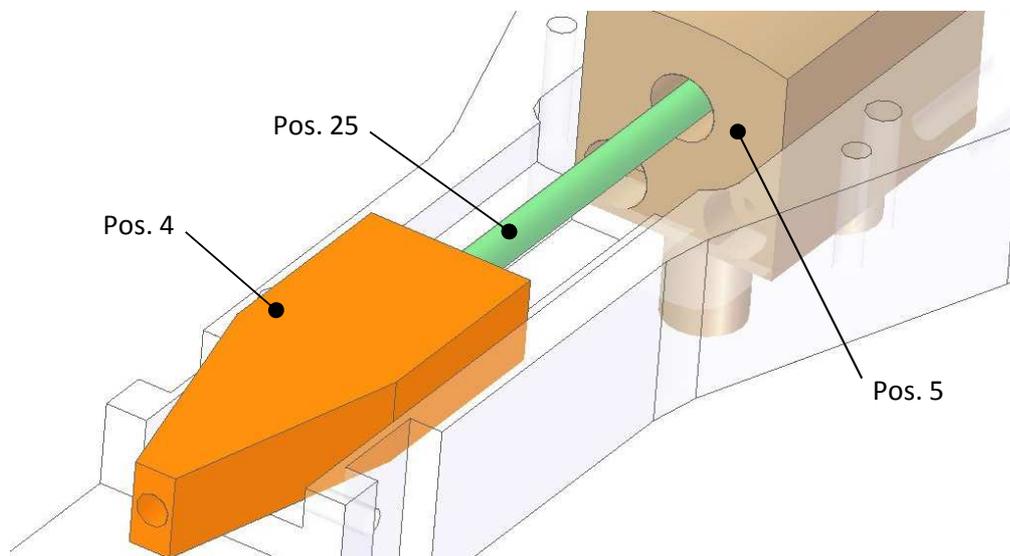


Abbildung 25: Stößel

Der Antrieb (Pos.5) ist ein doppelwirkender Pneumatikzylinder mit Dämpfung der von einem 5/2 Wegeventil des Roboters mit Druckluft gesteuert und betrieben wird. Der Pneumatikzylinder (Pos.5) ist mit dem Pneumatikzylinderhalter (Pos.9) verschraubt und der Pneumatikzylinderhalter ist mit der Grundplatte verschraubt, siehe Abbildung 26. Diese verschachtelte Verschraubung ist aufgrund der vorgegeben Geometrie des Pneumatikzylinders notwendig.

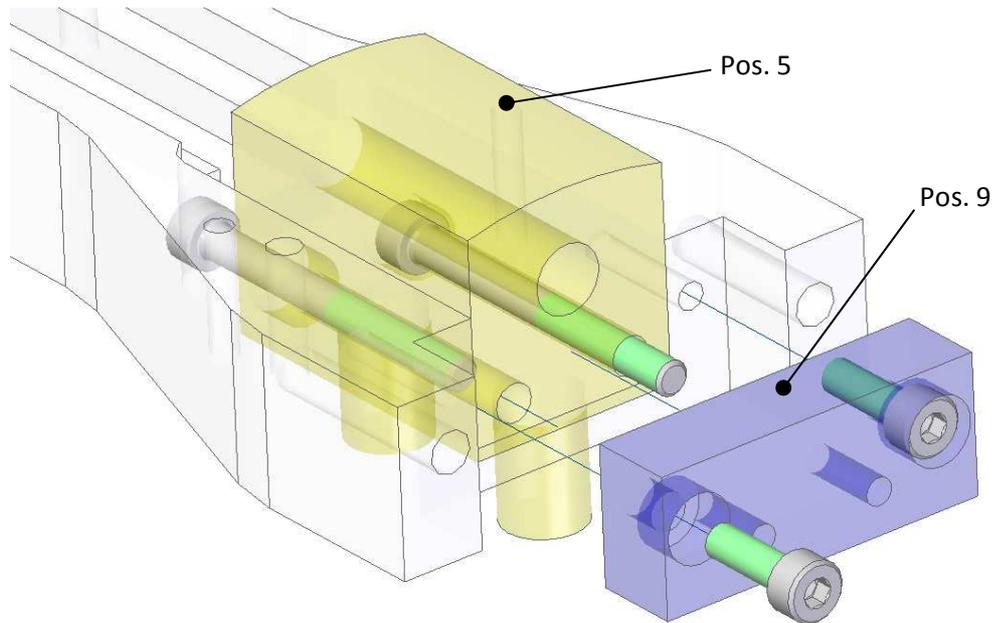


Abbildung 26: Antrieb

Die Greifbacken (Pos.3) sind jeweils mit Hilfe von zwei $\varnothing 3\text{m}6$ Zylinderstiften (Pos.12) und einer Schraube mit den Greifarmen (Pos.3) verbunden. Die Auslegung der Greifbacken (Pos.3) beruht dabei darauf, dass entlang der Y-Achse die Kapillare durch Formschluss von dem Kapillarehalter oder Spinner gezogen werden. Aufgrund der umschließenden Form der Greifbacken und durch die Klemmkraft wird das Herausfallen oder das Rutschen der Kapillare innerhalb der Greifbacken während der Bewegung im Raum, verhindert, siehe Abbildung 27. Bei der Gestaltung wurde darauf geachtet produktionsnahe Flächen geschlossen zu halten [11].

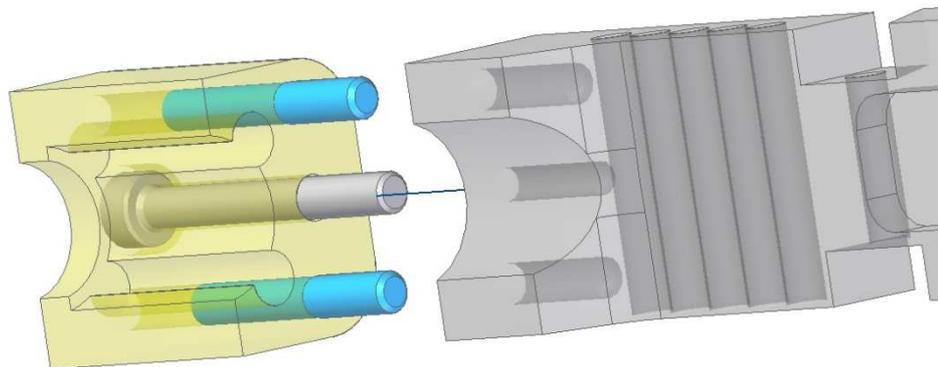


Abbildung 27: Greifbacke

Die Kontaktfläche zwischen der Mantelfläche des Kapillarehalters und der Greifbacke ist durch zwei runde Ausfräsungen unterbrochen, siehe Abbildung 28. Diese wurde gemacht um an den Stellen dämpfende Elemente aus Kunststoffen bei

Bedarf anbringen zu können. Während der Konstruktion ist es nicht möglich gewesen, abzuschätzen mit welcher Geschwindigkeit sich die Greifarme schließen werden und ob bei dem Schließvorgang Schäden an den Greifbacken oder dem Kapillarehalter entstehen würden.

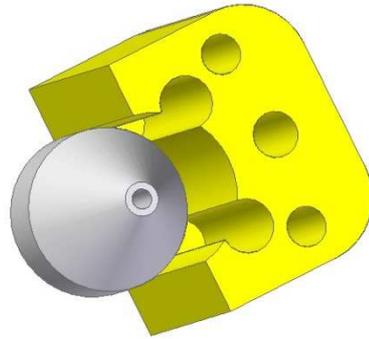


Abbildung 28: Kontaktfläche Kapillarehalter

Im Weiteren können dämpfende Elemente eingesetzt werden um Erschütterungen an empfindlichen Kapillaren beim Greifen zu minimieren.

7 Fertigungshinweise und Montage

Bei der Fertigung der Einzelteile sind die technischen Zeichnungen maßgebend. Um Verklemmungen oder erhöhten Abrieb im späteren Betrieb des Greifers zu vermeiden, sollen die Toleranzen eingehalten werden. Ein wichtiger Hinweis ist es die H7 Passungen nicht jede für sich herzustellen. Dies würde bedeuten, dass die Baugruppe anschließend nicht montagefähig ist, weil aufgrund der Ungenauigkeiten, die vom Werkstück zu Werkstück entstehen, solche Passbohrungen sich immer um ein Paar hundertstel Millimeter verpassen würden. Stattdessen werden die Positionen der H7 Passungen mit einem NC-Zentrierbohrer anzentriert um im zusammengebauten Zustand mit Passbohrungen versehen zu werden.

7.1 Fertigungshinweise

In diesem Abschnitt folgt eine Anleitung für einen Facharbeiter wie und in welcher Reihenfolge die Baugruppe mit Passbohrungen zu versehen ist. Die optimale Schnittgeschwindigkeit von $v_c=20 \frac{\text{m}}{\text{min}}$, bei einer Schmierung mit Isopropanol wurde für das Reiben für H7 Passungen in mehreren Versuchen ermittelt und muss bei der weiteren Fertigung beachtet werden:

- Die Grundplatten (Pos.1 und Pos.8) werden mit Adapterplatte (Pos.7) und den Fixierlaschen (Pos.10) handfest mit einander verschraubt und dann ausgerichtet. Bei der Ausrichtung ist wichtig, dass der Stößel (Pos.4) sich leicht innerhalb der Führungsnut über den ganzen Weg bewegen lässt ohne zu verhacken.
- Vorher leicht angezogene Schrauben fest ziehen, beginnend bei den Schrauben die die Adapterplatte(Pos.7) mit den Grundplatten verbinden.
- Die montierte Baugruppe wird hochkant eingespannt. Es folgt die Passungsherstellung von 2x $\varnothing 5\text{H7}$:
 - mit $\varnothing 4$ mm vorbohren, die Bohrung sollte von der Adapterplatte aus 40 mm tief sein
 - mit $\varnothing 4,8$ mm aufbohren
 - mit einer $\varnothing 5\text{H7}$ Reibahle 37 mm tief reiben
- Die Baugruppe wird horizontal eingespannt. Es folgt die Herstellung von 2x $\varnothing 4\text{H7}$ und 6x $\varnothing 3\text{H7}$ Passbohrungen
 - 2x $\varnothing 4\text{H7}$:
 - mit $\varnothing 3$ mm vorbohren mit einer Tiefe von 35mm

- mit \varnothing 3,8 mm aufbohren
 - mit \varnothing 4H7 Reibahle 32mm tief Reiben
 - 6x \varnothing 4H7:
 - mit \varnothing 2,3 mm durch beide Grundplatten durchbohren
 - mit \varnothing 2,9 mm aufbohren
 - mit \varnothing 3H7 reiben
 - Baugruppen demontieren und mit Druckluft säubern
 - Die Adapterplatten (Pos.7 und Pos.23) zu einander ausrichten, miteinander verschrauben und \varnothing 5H7 Passung herstellen:
 - mit \varnothing 4 mm durch beide Adapterplatten durchbohren
 - mit \varnothing 4,8 mm aufbohren
 - mit \varnothing 5H7 reiben
 - 2x Die Greifbacke (Pos.3) und der Greifarm (Pos.2) werden mit Anschlägen zueinander ausgerichtet und verschraubt.
 - hochkant ausrichten, einspannen und 2x \varnothing 3H7 Passbohrung herstellen:
 - mit \varnothing 2,3 mm vorbohren mit einer Tiefe von 30mm
 - mit \varnothing 2,9 mm aufbohren
 - mit \varnothing 3H7 Reibahle 27 mm tief reiben
 - horizontal einspannen und 5x \varnothing 3,01H7, \varnothing 3H7 und \varnothing 5H7 Passbohrung herstellen:
 - mit \varnothing 2,3 mm Durchgangsbohrung bohren
 - mit \varnothing 2,9 mm aufbohren
 - mit \varnothing 3,01H7mm reiben
 - mit \varnothing 2,3 mm Durchgangsbohrung bohren
 - mit \varnothing 2,9 mm aufbohren
 - mit \varnothing 3H7 reiben
 - mit \varnothing 4 mm Durchgangsbohrung bohren
 - mit \varnothing 4,8 mm aufbohren
 - mit \varnothing 5H7 reiben
 - Die Greifbacke und den Greifarm die zusammen verbohrt wurden markieren
- Die Baugruppen demontieren und alle Werkstücke gründlich säubern

Damit ist die Fertigung abgeschlossen. Bevor mit der Montage begonnen wird, muss sichergestellt werden, dass die Passstifte und die Passbohrungen absolut sauber und partikelfrei sind. Anderenfalls kann es bei der Montage zu Beschädigungen der Passflächen in den Werkstücken kommen, das zu unlösbaren Verbindungen führen kann oder der Zerstörung der Bauteile.

7.2 Montage

Die Montage und Demontage darf nur von Fachkräften vorgenommen werden, weil bei dem weichen Material Aluminium besondere Vorsicht und Feingefühl bei dem Verstimmen geboten sind.

Nachfolgend ist eine Anleitung zum Zusammenbau des Greifers in Stichpunkten zusammengefasst, siehe dazu die Explosionsdarstellung auf der Abbildung 21:

- Greifbacken mit je 2x $\varnothing 3\text{m}6$ versehen. Dabei dürfen die Stifte über die Kontaktfläche zum Greifarm um ca. 3 bis 5 mm überstehen.
- Die mit Stiften versehenen Greifbacken auf die Greifarme, ohne zu verkanten, aufstecken, zusammenschieben und verschrauben.
- Greifarme mit $\varnothing 5\text{m}6$ Stiften und den kurzen $\varnothing 3\text{m}6$ Stiften, die für die Halterung der Zugfedern vorgesehen sind, versehen.
- Grundplatte mit zwei $\varnothing 4\text{m}6$ Stiften und den $\varnothing 3\text{m}6$ Stiften die als Drehachse für die Greifarme dienen versehen.
- Greifarme auf die Drehachsen aufsetzen und mit den Zugfedern versehen
- Die obere Grundplatte vorsichtig aufsetzen, über die Stifte schieben und mit Hilfe von Fixierlaschen und Schrauben verschrauben.
- Pneumatikzylinder mit dem Pneumatikzylinderhalter verschrauben.
- Mit Hilfe des Gewindebolzens den Pneumatikzylinder mit dem Stößel verbinden, den gewünschten Abstand einstellen und mit Muttern kontern.
- Den Antrieb einsetzen, dabei von Hand die Greifbacken zusammen drücken damit der Stößel in den Eingriff kommt. Anschließend den Pneumatikzylinderhalter mit der Grundplatte verschrauben.
- Die Adapterplatte-zum-Greifer mit den $\varnothing 5\text{m}6$ Stiften versehen, dabei sollen die Stifte 3 bis 5 mm in die Richtung der Grundplatten hinausragen.
- Jetzt kann diese Adapterplatte auf den Greifer gesteckt und verschraubt werden.
- Die Adapterplatte-zum-Roboter wird so mit dem Stift versehen, dass dieser sowohl in den Roboter greifen kann, als auch in die Adapterplatte-zum-Greifer.

- Diese Adapterplatte wird nun mit dem Roboter verschraubt.

Damit ist die Montage abgeschlossen und der Greifer kann am Roboter platziert werden, wobei jegliche Verwechslung der Ausrichtung des Greifers zum Roboter, aufgrund der konstruktiven Gestaltung nach dem „Poka Yoke“¹⁶ Prinzip, nicht mehr möglich ist.

¹⁶ Aus dem Japanischen übersetzt heißt es „unglückliche Fehler vermeiden“. Dabei wird mit einfachen und kostengünstigen Hilfsmitteln dafür gesorgt, dass beispielsweise Fehlhandlungen nicht möglich sind.

8 Versuchsplanung und Durchführung

Bevor der Greifer vollautomatisch eingesetzt werden darf, muss dieser mehrere Tests und Dauerläufe absolvieren. Dazu gehört:

- ein Test, der die einfache Funktion des Greifens und des Absetzens des Kapillarehalters bestätigt.
- ein Test, bei dem der Greifer über mehrere Stunden geöffnet und geschlossen wird, wobei die räumliche Ausrichtung des Greifers sich ständig ändert.
- ein Test, in dem der Versuchsaufbau aus weichen Materialien nachgebildet wird und der Roboter mit dem Greifer gemeinsam die echte Trajektorie, die in der Experimentehütte auch gefahren wird, abfährt.

Um den Funktionstest durchzuführen, wird ein kleiner Versuchsaufbau aufgebaut ohne den Greifer mit dem Roboter zu verbinden. Dazu wird eine handgeführte Lineareinheit verwendet, die die Bewegung des Roboters beim Anfahren des Magazins oder des Spinners simuliert. Auf der anderen Seite wird der mit einem Magneten versehene Aufsatz, der in identischer Form sich am Spinner befindet, beziehungsweise in ähnlicher Form am Magazin sein wird, aufgebaut. Der Aufbau wird mit Aluminiumprofilen und Aluplatten realisiert, siehe dazu die Abbildung 29.

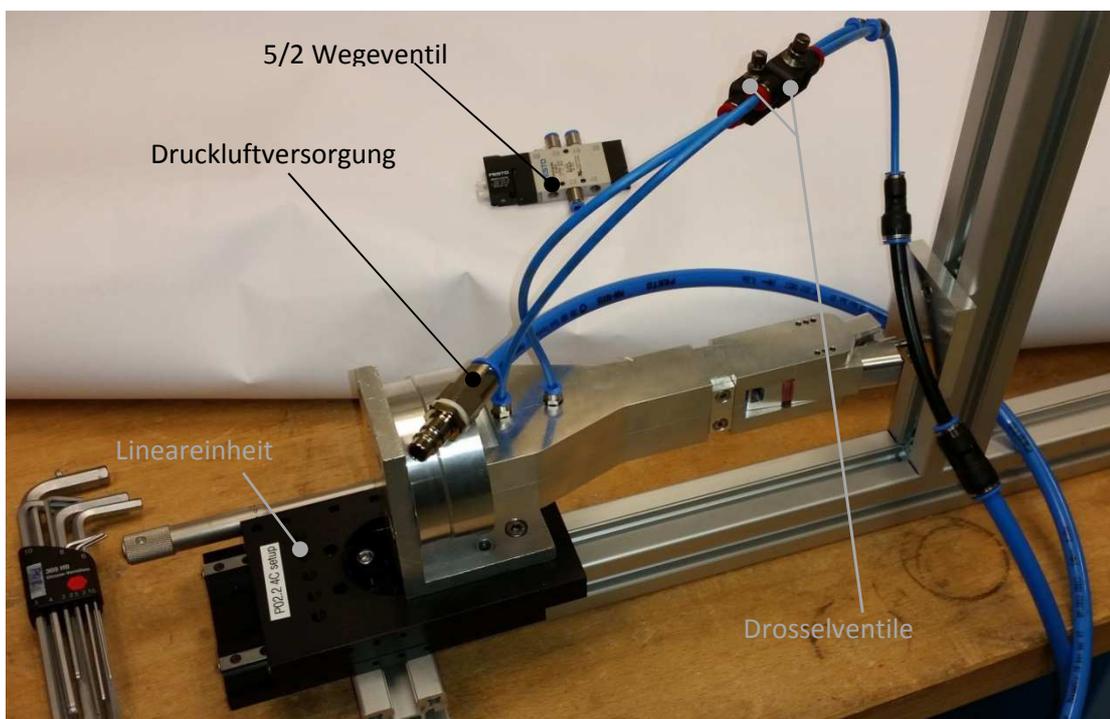


Abbildung 29: Versuchsaufbau für den Funktionstest

Mit diesem Aufbau ist es möglich den Greifer und den Kapillarehalter kollinear auf einander auszurichten um einen reibungsfreien Versuch durchzuführen. Der Antrieb wird mit Druckluft von 6 bar versorgt. Die Steuerung des Öffnens und des Schließens kann mit einem 5/2 Wegeventil oder durch zwei Drosselventile erfolgen. Mit der Lineareinheit wird der Anfahr- und Abfahrweg simuliert.

Der Versuch verlief reibungslos. Der Greifer ließ sich problemlos öffnen und schließen. Der Kapillarehalter wurde genau gegriffen und erfolgreich mehrmals ab- und aufgesetzt, siehe Abbildung 30.



Abbildung 30: Anfahren-, greifen und abfahren mit gegriffenem Kapillarehalter

Bei der Durchführung des Versuches wurde festgestellt, dass die Längsachse des Greifers um $\pm 0,2$ mm zur Achse des Kapillarehalters versetzt sein kann um dennoch erfolgreich den Greif- und Absetzvorgang durchführen zu können.

Für den Dauertest wird der Greifer in den Roboter eingebaut, siehe Abbildung 31. Bei der Durchführung des Tests nimmt der Greifer vertikale und horizontale Ausrichtungen ein und öffnet sowie schließt die Greifarme dabei zwei Mal pro Minute. Nach vier Stunden Dauerlauf wird der Greifer wieder auf seine Funktion getestet. Es werden alle Verbindungen auf festen Sitz kontrolliert. Besonders wichtig ist, es festzuhalten ob die Einstellung des Abstandes von der Zylinderstange zum Stößel die gleiche geblieben ist oder ob sich da etwas verstellt

hat, denn davon hängt ab wie weit sich die Greifbacken öffnen und wie fest der Kapillarehalter gehalten wird. Die Flächen werden auf Verschleiß untersucht und es muss entschieden werden ob diese beschichtet werden müssen.



Abbildung 31: Aufbau für den Langzeittest

Dieser Test wird jedoch erst durchgeführt, wenn der Roboter in einer Sicherheitshütte in Betrieb genommen wird.

Im letzten Test werden die relativen Abstände und der am dichtesten bepackte Versuchsaufbau aus weichen Dummymodellen aufgebaut. Die Trajektorie der Roboterbewegung wird programmiert und auf Durchführbarkeit, Erreichbarkeit aller relevanten Positionen getestet.

9 Magazin für Kapillarehalter

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit ist das Konzept für das Magazin entstanden, in dem die von den Benutzern präparierte Kapillare für den Roboter bereitgestellt werden. Die Herausforderung dabei ist es den geringen Bauraum möglichst effektiv zu nutzen um viele Kapillare unterzubringen. Die Anbringung des Magazins muss auf dem Proben­tisch erfolgen, siehe dazu Abbildung 6 und 8. Eine weitere Vorgabe ist es den Roboter nur für zwei Positionen zu programmieren, die des Spinners und die für das Magazin. Das bedeutet, dass das Magazin nicht statisch sein kann, sondern angetrieben und so verfahrbar, dass alle Kapillaren vom Roboter gegriffen werden können. Hierzu gibt es zwei Überlegungen:

- es wird ein X-Y-Tisch benutzt oder
- es kommt ein Rotationstisch mit einer Linearführung zum Einsatz

Nach überschlägigen Berechnungen und groben Simulationen am CAD ist die Entscheidung zu Gunsten des Rotationstisches mit einer Linearführung gefallen. Eine Literaturanalyse bekräftigt diese Entscheidung. In dem Buch „Grundlagen der Handhabungstechnik“ heißt es: „Vergleicht man die einschließlich notwendiger Verfahrlängen beanspruchten Flächen A, dann braucht das Spiralscheibenmagazin weniger als die Hälfte an Produktionsfläche gegenüber der Rechteckaktlösung.“ [12, S.135], siehe Abbildung 32.

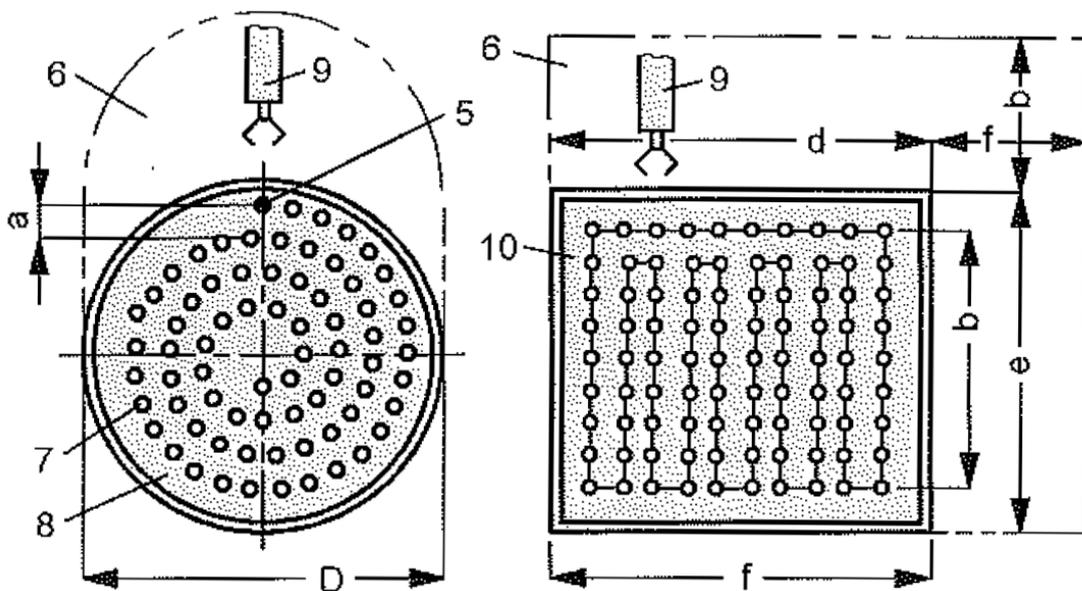


Abbildung 32: Vergleich der Platzverhältnisse für Magazinlösungen [12]

Das Spiralscheibenmagazin ist aus Fertigungsgründen und programmiertechnischen Gründen für diese Anwendung in einer Diskussionsrunde

für zu aufwendig eingestuft worden. Stattdessen werden auf mehreren Teilkreisdurchmessern die Proben angebracht.

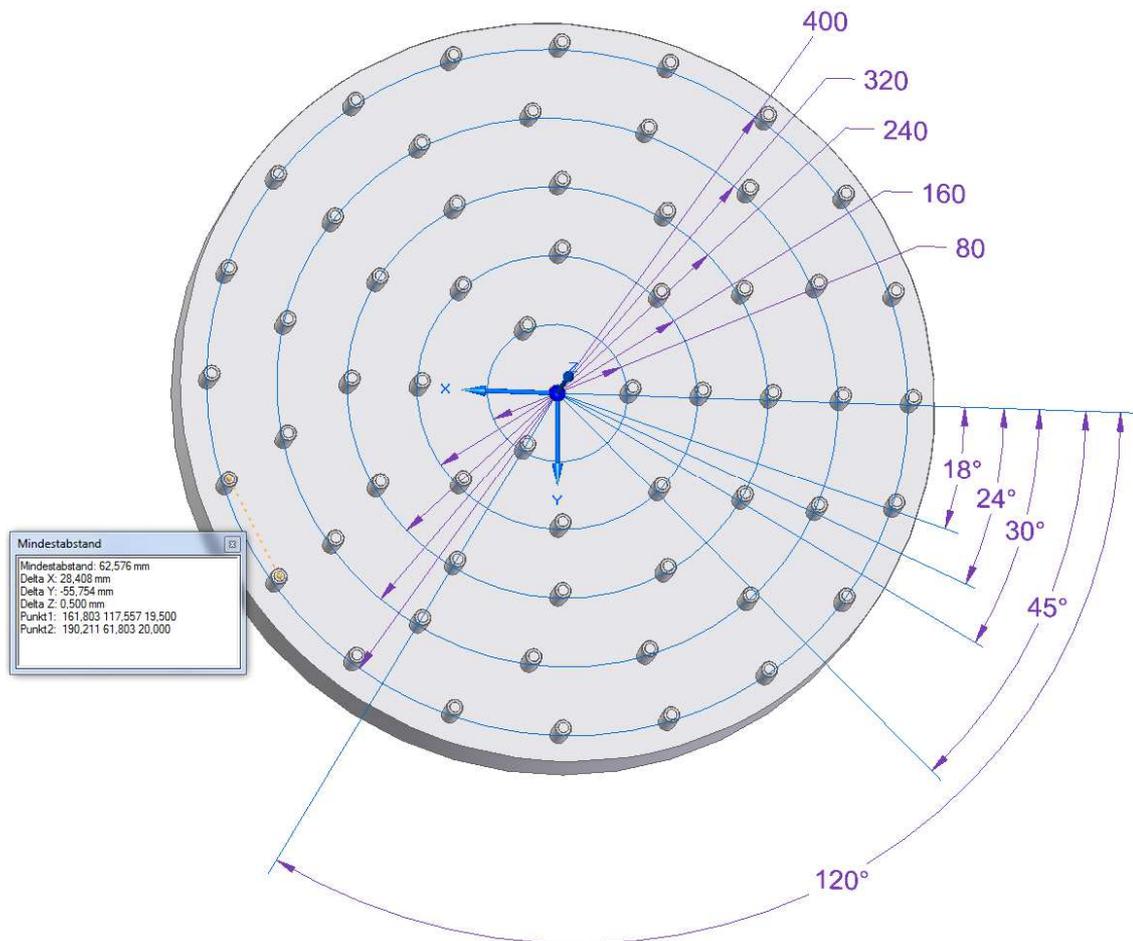


Abbildung 33: Magazinplatte

Auf jedem Teilkreisdurchmesser beträgt der Abstandswinkel zwischen den Aufnahmen für die Kapillarehalter die gleiche Gradanzahl. Dadurch erleichtert sich die Programmierung für die Ansteuerung einzelner Proben, da im Vergleich zum Spiralmagazin hier der Winkel nicht von Probe zur Probe variieren muss um den gleichen Probenabstand zu haben. Bei der Auslegung ist darauf geachtet worden, dass der Abstand zwischen zwei Aufnahmen ungefähr 60 mm beträgt um das Magazin von Hand bestücken zu können. Der Abstand von einem Teilkreis zum nächsten beträgt 40 mm. In dieser Ausführung hat das Magazin eine Aufnahmekapazität von 58 Kapillaren, siehe Abbildung 33.

Für die weitere Konstruktion wurden eine Rotationseinheit und eine Lineareinheit ausgesucht. Bei der Suche lag das Augenmerk darauf, dass die Wiederholgenauigkeit und die Verfahrensgenauigkeit 0,01 mm bis 0,02 mm beträgt. Die Genauigkeit der Rotationseinheit drückt sich in Grad aus und so muss die

kleinste einstellbare Winkeleinheit auf einem Durchmesser von 400 mm dem Weg von 0,01 mm bis 0,02 mm entsprechen. Die Wahl ist auf ein „Geniometer 408“ als Rotationseinheit der Firma HUBER Diffractionstechnik GmbH & Co. KG- und auf „LX4510CP-MX-B1-T4560-340“ der Firma MISUMI Europa GmbH als Lineareinheit gefallen, siehe die Datenblätter im Anhang.

Die Verbindung der Einzelteile erfolgt mittels Adapterplatten. Konsequenterweise wird auch hier darauf geachtet, dass die Einzelteile nur in einer Ausrichtung miteinander verbunden werden können. Den Zusammenbau der Baugruppe sieht man in der Abbildung 34.

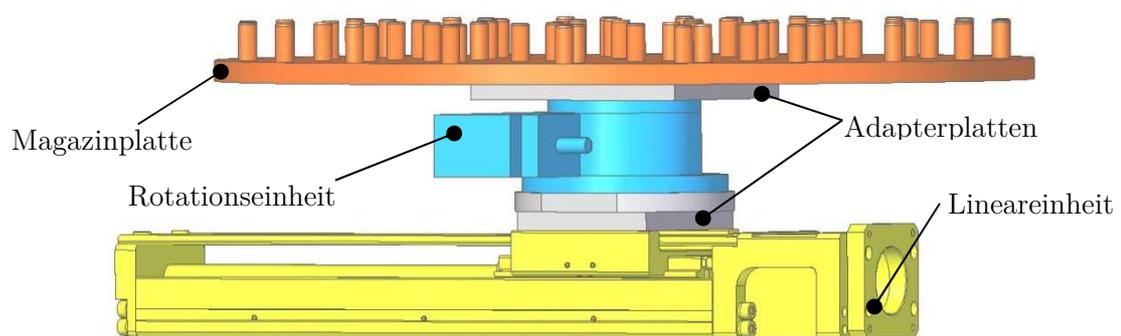


Abbildung 34: Magazinzusammenbau

Die Magazinplatte wird über drei Passstifte, die auf unterschiedlichen Teilkreisen liegen um eine definierte Ausrichtung zu erreichen, verdrehsicher aufgenommen. Auf eine weitere Fixierung wird verzichtet um einen schnellen Wechsel der Magazinplatte zu ermöglichen.

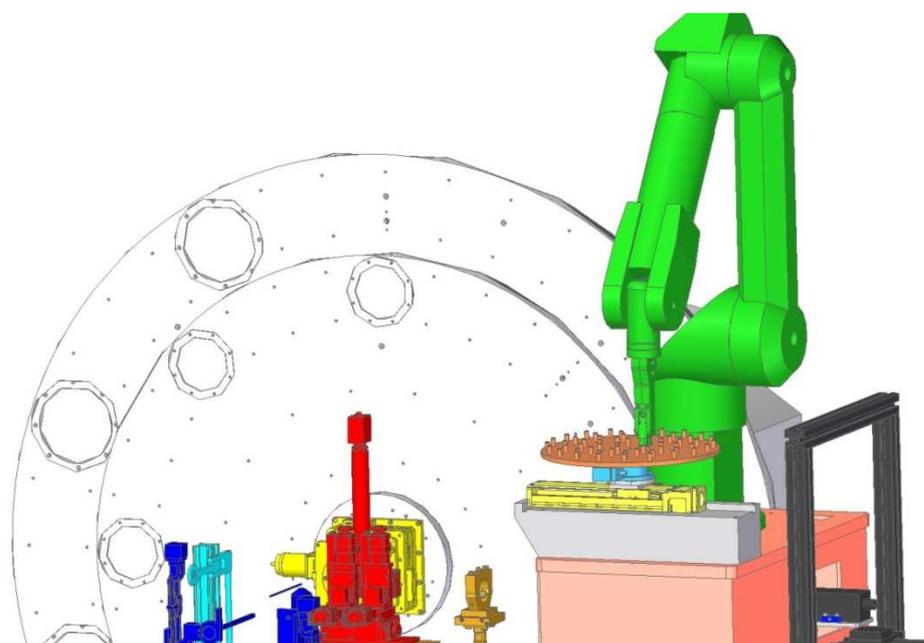


Abbildung 35: Magazin in der EH1

In der Abbildung 35 sind alle Komponenten in der EH1 verbaut. Um den Roboter nicht in die Endanschläge fahren zu müssen ist der Aufbau des Magazins angehoben worden. In dieser Konstellation lassen sich alle Proben auf dem Magazin mit einer Stellung des Roboters durch eine lineare An- und Abfahrbewegung erreichen und greifen. Bei der Absetzung der Kapillarehalter am Spinner gibt es nach aktuellen Erkenntnissen keine Kollisionen.

10 Zusammenfassung und Ausblick

Als Ergebnis dieser Arbeit liegt ein Greifer vor, der die gestellten Anforderungen aus der Anforderungsliste erfüllt. Der Greifer wurde auf seine Funktion getestet und diese erfolgreich bestanden. Die weitere Tauglichkeit wird in fortlaufenden Tests geprüft, die jedoch im Rahmen der Bachelorarbeit nicht erfolgen können. Während der Lösungssuche, Auslegung und Konstruktion konnte immer auf die Unterstützung der Beamlineingenieure und Wissenschaftler zurückgegriffen werden. Bei der Fertigung der Einzelteile durch die Werkstatt entstanden Fehler korrigiert werden mussten, weil keine Zeit mehr blieb um die Werkstücke noch einmal herzustellen. Durch die Korrekturen konnte die Funktion des Greifers erhalten bleiben, jedoch leidet der optische Eindruck darunter. Bei der Verstiftung ist aufgefallen, dass einige Arbeitsschritte, bei der Verbohrung von zusammengespannten Werkstücken grenzwertig waren, was den Einsatz von Werkzeugen angeht. Zum Beispiel ist ein $\varnothing 2,3$ mm Bohrer nicht dafür geeignet um damit 40 mm tief zu bohren.

Das Magazin ist am CAD detailliert ausgearbeitet wobei sämtliche Teile für einen Test fehlten, weil die Antriebe in der Bestellung waren und die Werkstätten ausgelastet sind.

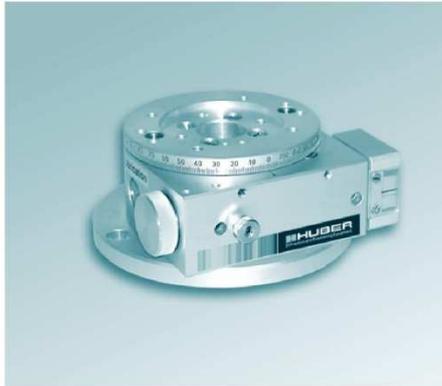
Anhand der vorliegenden Erkenntnisse ist der Greifer funktionsfähig. Die Zuverlässigkeit ist in weiteren Tests zu ermitteln.

VI. Literaturverzeichnis

- [1] 1. **Feldhusen, Jörg und Grote, Karl-Heinrich.** *Pahl/Beitz Konstruktionslehre.* s.l. : Springer Vieweg, 2013.
- [2] 2. Netz Konstrukteur. [Online] [Zitat vom: 31. August 2015.]
<http://netzkonstrukteur.de/konstruktionsmethodik/anforderungsliste/>.
- [3] 3. **Gnida, Manuel.** *Manu's Universe.* [Online] September 2015.
<https://manusuniverse.files.wordpress.com/2012/10/petra-extension-3.jpg>.
- [4] 4. *VDI 2221.* Mai 1993. Norm.
- [5] 5. **Ponn, Josef und Lindemann, Udo.** *Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte.* Berlin Heidelberg : Springer Verlag, 2011.
- [6] 6. **Hesse, Stefan, et al., et al.** *Robotergreifer - Funktion, Gestaltung und Anwendung industrieller Greiftechnik.* München : Carl Hanser Verlag, 2004.
- [7] 7. **Stäubli, Firma.** Betriebsanleitung. *Roboterarm - Baureihe TX 90.* 2012.
- [8] 8. **Naefe, Paul.** Einführung in das Methodische Konstruieren. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2012.
- [9] 9. **Kopenhagen, Prof. Dr.-Ing. Frank.** Methodisches Konstruieren - Skript zur Vorlesung. Hamburg : s.n., 2012.
- [10] 10. *DIN ISO 29262.* März 2013. Norm.
- [11] 11. **Oberhauser, Stefan.** *Sauberkeit & Reinraum.* [Online] 2015.
<http://www.sauberkeit-und-reinraum.com/greifer-und-spannsysteme-tipps-zur-sauberkeitsgerechten-konstruktion/>.
- [12] 12. **Hesse, Stefan.** *Grundlagen der Handhabungstechnik.* München : Carl Hansen Verlag, 2013.

VII. Anhang

A. Datenblätter



Goniometer 408

- four precision configurations
- two load configurations

Application specific versions:

- vacuum suitable
- antimagnetic
- radiation resistant
- in black

Modularly individually configurable:

- from basic model to high-end system
- to multi-axis systems
- with individual transmission aperture
- with customer-specific hole pattern

Specifications:

Travel range [°]:	360
Material (housing/worm gear):	Aluminium/Bronze
Gear ratio:	180:1
Resolution [°]:	0.002 **
	0.001 minimum
Min. drive torque [Nm]:	0.05
Max. output torque [Nm]:	1.2
Stiffness [μrad/Nm]:	22
Weight [kg]:	1.5
Flange size [mm]:	32
Transm. aperture [mm]:	20

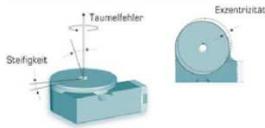
** step motor, 1000 steps/revolution

Accessories:

Motors:	2-/5-Ph.
	Servo/DC
Hand wheels:	0032
Gear boxes:	2042.10*
	2042.20*
Limit switches:	optional
Zero-point control:	9100
Encoder:	incremental
	absolute
Control system:	9300

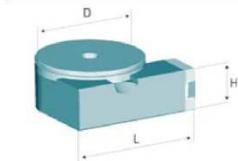
* adaptor required: M301.301-001

Precision configurations:



	EX1	EX2	EX3	EX4
Accuracy [°]:	<= 60	40	25	0.4....
Repeatability (unidir.) [°]:	<= 4	2	2	0.4....
Reversal error [°]:	<= 30	20	10	0.4....
Eccentricity [μm]:	<= 8	5	2	2
Wobble [°]:	<= 18	10	8	8

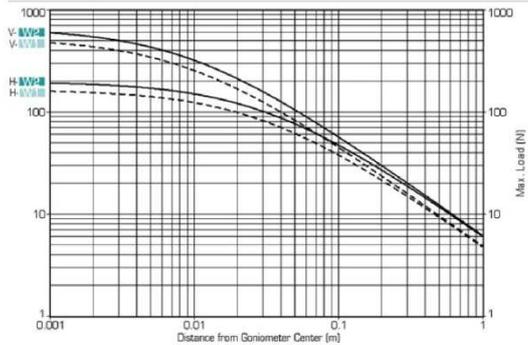
Dimensions [mm]:



D:	L:	H:
80	95	40

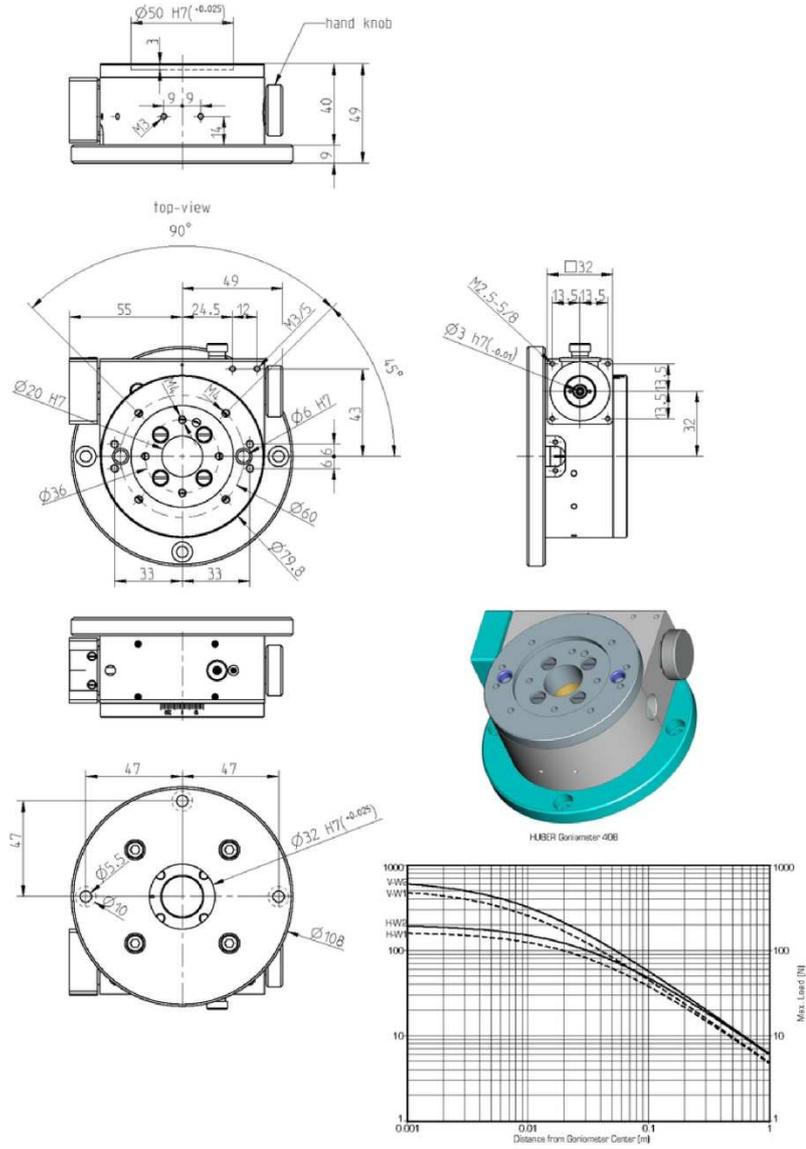
Load configurations:

	vertical gonio. axis	horizontal gonio. axis
Max. load [N] EX1 :	400	125
Max. load [N] EX2 :	650	200



- vertical goniometer axis (V-**EX1**, V-**EX2**)
- horizontal goniometer axis (H-**EX1**, H-**EX2**)

Goniometer 408



Lineareinheit LX Hub/Tragzahl/Zulässiges Moment

Hub

Typ	Mit Schmierstofffeinheit MX	Führungswagen	Führungsschielenlänge L (mm)															
			75	80	100	125	150	175	200	250	300	350(340)*	400(390)*	450(440)*	500(490)*	550(540)*	600(590)*	
LX15 S.375	-	Lang 1 Stk.	26.9	-	51.9	76.9	101.9	126.9	151.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	MX	Lang 1 Stk.	-	-	43.9	68.9	93.9	118.9	143.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LX20 S.377	-	Lang 1 Stk.	-	16.5	36.5	-	86.5	-	136.5	186.5	236.5	-	-	-	-	-	-	-
	MX	Lang 1 Stk.	-	-	-	-	76.5	-	126.5	176.5	226.5	-	-	-	-	-	-	-
LX26 S.381	-	Lang 1 Stk.	-	-	17	-	67	-	117	167	217	267	317	-	-	-	-	-
	MX	Lang 1 Stk.	-	-	-	-	-	-	105	155	205	255	305	-	-	-	-	-
LX30 S.385	-	Lang 2 Stk.	-	-	-	-	-	-	91	141	191	241	-	-	-	-	-	-
	MX	Lang 1 Stk.	-	-	-	-	29	54	-	104	154	204	254	304	354	404	454	504
LX30 S.385	-	Kurz 1 Stk.	-	-	-	-	54.5	79.5	-	129.5	179.5	229.5	279.5	329.5	379.5	429.5	479.5	529.5
	MX	Lang 1 Stk.	-	-	-	-	-	-	90	140	190	240	290	340	390	440	490	-
LX45 S.389	-	Kurz 1 Stk.	-	-	-	-	65.5	-	115.5	165.5	215.5	265.5	315.5	365.5	415.5	465.5	515.5	-
	MX	Kurz 1 Stk.	-	-	-	-	-	-	116	166	216	266	316	366	416	466	-	-
LX45 S.389	-	Lang 1 Stk.	-	-	-	-	17	-	67	117	167	217	267	317	367	417	467	-
	MX	Lang 1 Stk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	210.4	260.4	310.4	360.4	410.4	460.4	-
LX45 S.389	-	Kurz 2 Stk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	247.9	297.9	347.9	397.9	447.9	497.9	-
	MX	Kurz 1 Stk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	194.4	244.4	294.4	344.4	394.4	444.4	-
LX45 S.389	-	Kurz 2 Stk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	231.9	281.9	331.9	381.9	431.9	481.9	-
	MX	Kurz 2 Stk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	88.8	138.8	188.8	238.8	288.8	338.8	-
LX45 S.389	-	Lang 2 Stk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	163.8	213.8	263.8	313.8	363.8	413.8	-
	MX	Lang 2 Stk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Effektivhub wird in Werten mit einer Spanne von 2.5mm von jedem Ende angegeben.
* () ist die Länge der Schiene LX45.

Tragzahl

Typ	Führungswagen	Führungsschiene			Kugelinwindtrieb				Lager (Festigkeits) Acharisierung			
		Dynamische Grundlast C (N)	Statische Grundlast C0 (N)	Radiales Spiel (µm)	Dynamische Tragzahl Ca (N)	Statische Grundlast C0a (N)	Wellen-Ø (mm)	Steigung (mm)	Kern-Ø (mm)	Ø Kugelmittle (mm)	Dynamische Tragzahl Ca (N)	Zulässige statische Last P0a (N)
LX1502	Lang	2072	3701	-3-0	208	265	5	2	4.534	5.15	678	415
LX2001	Lang	3277	6199	-3-0	482	642	6	1	5.3	6.15	730	461
LX2005					822	1026		5	4.918	6.3		
LX2602	Lang	6522	11871	-4-0	1712	2251	8	2	6.4	8.3	1637	1205
LX2605					1600	2097		5	6.46	8.3		
LX2610	Lang	9732	17218	-4-0	782	961	10	10	6.46	8.3	2702	2197
LX3005					1831	2389		5	8.2	10.3		
LX3010	Lang	9732	17218	-4-0	1129	1386	10	10	8.2	10.3	2702	2197
LX3005					1831	2389		5	8.2	10.3		
LX3010	Kurz	6305	9271	-4-0	1129	1386	10	10	8.2	10.3	2702	2197
LX4510					4167	5945		10	11.7	15.5		
LX4520	Lang	18450	32441	-6-0	2499	3381	15	20	11.7	15.5	4355	4106
LX4510					4167	5945		10	11.7	15.5		
LX4520	Kurz	11826	17175	-6-0	2499	3381	15	20	11.7	15.5	4355	4106
LX4510					4167	5945		10	11.7	15.5		

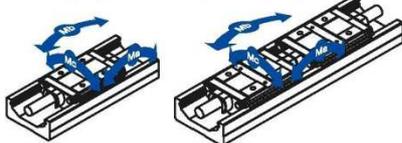
* Tragzahlen in den Schienen-Spalten gelten für einen Führungswagen.
* Zum Ermitteln einer tatsächlichen Lebensdauer verwenden Sie bitte unsere technische Berechnungssoftware.

Zulässiges Moment

Lastmomente können in allen drei Richtungen aufgebracht werden.

Ein Führungswagen

Zwei Führungswagen



Ma: Steigungsmoment

Mb: Giermoment

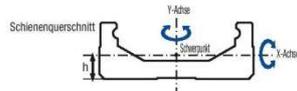
Mc: Rollmoment

Typ	Anz. Führungswagen	Anz. Führungswagen	Zulässiges statisches Moment (N · m)		
			Ma	Mb	Mc
LX15	1	Lang	13	13	41
	1	Lang	27	27	93
LX20	2	Lang	353	353	186
	1	Lang	70	70	225
LX26	2	Lang	902	902	450
	1	Lang	126	126	387
LX30	2	Lang	1515	1515	774
	1	Kurz	63	63	208
LX30	2	Kurz	579	579	417
	1	Lang	291	291	972
LX45	2	Lang	3945	3945	1944
	1	Kurz	145	145	515
LX45	2	Kurz	1444	1444	1029

* Werte für Auflagerungen mit zwei Führungswagen gelten, wenn sich die beiden Führungswagen berühren.
* Die obige Tabelle enthält Referenzwerte im Stillstand.
* Zum Ermitteln einer tatsächlichen Lebensdauer verwenden Sie bitte unsere technische Berechnungssoftware.

Führungsschielenfestigkeit

Schielen mit niedrigerem Schwerpunkt und hoher Steifigkeit.



Typ	Querschnittsträgheitsmoment (mm ⁴)		Schwerpunkt (mm)	Gewicht (kg/100mm)
	Ix	Iy		
LX15	1.0 × 10 ³	1.7 × 10 ⁴	3.4	0.13
LX20	3.2 × 10 ³	5.2 × 10 ⁴	4.4	0.22
LX26	1.0 × 10 ⁴	1.4 × 10 ⁵	6.1	0.37
LX30	2.5 × 10 ⁴	3.1 × 10 ⁵	7.8	0.60
LX45	8.8 × 10 ⁴	10.4 × 10 ⁵	11.0	1.10

Ix: Querschnittsträgheitsmoment um X-Achse Iy: Querschnittsträgheitsmoment um Y-Achse

Werkstoff

Bauteile	Grundkörper (Führungsschiene)		Führungswagen	Motorhalterung	Lagereinheit Loslagerseite	Abdeckung	Anschlag	Kugelinwindtrieb geschliffen (Erdanschluss)
	LX15	LX20/26/30/45						
Werkstoff	rostfreier Stahl	Unlegierter Stahl	SCM-Werkstoff	EN AC-46100 Äquiv.	EN AW-5052 Äquiv.	EN AW-6063 Äquiv.	NBR	EN 1.7242 Äquiv.
Oberflächenbehandlung	-	LTBC-Beschichtung	LTBC-Beschichtung	Epoxydharzschwarz	schwarz eloxiert	schwarz eloxiert	-	-
Härte	-	Induktionsgehärtet HRC58-64	HRC58-62	-	-	-	-	HRC58-62

Lineareinheit LX Gesamtgewicht/Trägheitsmoment

Gesamtgewicht		Führungsschiene L (mm)													(kg)	
Typ	Führungswagen	75	80	100	125	150	175	200	250	300	350(340)*	400(390)*	450(440)*	500(490)*	550(540)*	600(590)*
LX15	Lang 1 Stk.	0.13	-	0.17	0.22	0.29	0.35	0.38	-	-	-	-	-	-	-	-
LX15C	Lang 1 Stk.	0.18	-	0.22	0.28	0.35	0.41	0.45	-	-	-	-	-	-	-	-
LX20	Lang, 1 Stk./2 Stk.	-	0.40	0.45	-	0.58	-	0.71/0.79	0.83/0.92	0.96/1.05	-	-	-	-	-	-
LX20C	Lang, 1 Stk./2 Stk.	-	0.51	0.56	-	0.69	-	0.81/0.97	0.94/1.10	1.07/1.23	-	-	-	-	-	-
LX26	Lang, 1 Stk./2 Stk.	-	-	0.87	-	0.95	-	1.16	1.37/1.57	1.58/1.78	1.79/1.99	2.00/2.20	-	-	-	-
LX26C	Lang, 1 Stk./2 Stk.	-	-	1.07	-	1.15	-	1.36	1.57/1.89	1.78/2.10	1.99/2.31	2.20/2.52	-	-	-	-
LX30	Lang, 1 Stk./2 Stk.	-	-	-	1.30	1.47	-	1.81	2.14	2.48/2.79	2.81/3.12	3.15/3.46	3.49/3.79	3.82/4.13	4.16/4.47	4.49/4.80
LX30C	Lang, 1 Stk./2 Stk.	-	-	-	1.18	1.35/1.53	-	1.68/1.86	2.02/2.20	2.35/2.53	2.69/2.87	3.02/3.21	3.36/3.54	3.70/3.88	4.03/4.21	4.37/4.55
LX30C	Lang, 1 Stk./2 Stk.	-	-	-	1.75	1.92	-	2.25	2.59	2.92/3.49	3.26/3.83	3.60/4.18	3.93/4.50	4.27/4.83	4.60/5.17	4.94/5.51
LX45	Lang, 1 Stk./2 Stk.	-	-	-	-	1.50	1.67/1.98	-	2.00/2.32	2.34/2.66	2.67/2.99	3.01/3.33	3.35/3.66	3.69/4.00	4.02/4.33	4.35/4.67
LX45C	Kurz, 1 Stk./2 Stk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.77/6.69	6.37/7.29	6.97/7.90	7.57/8.50
LX45C	Kurz, 1 Stk./2 Stk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.37/5.91	5.98/6.51	6.58/7.11	7.18/7.71
LX45C	Kurz, 1 Stk./2 Stk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.59/8.09	7.23/8.73	7.86/9.36	8.49/9.99
LX45C	Kurz, 1 Stk./2 Stk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.94/6.78	6.57/7.41	7.20/8.04	7.84/8.68
LX45C	Kurz, 1 Stk./2 Stk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.47/9.31	9.10/9.94	-	-

* () ist die Länge der Schiene LX45.

Zusätzliches Gewicht der Schmierstoffeinheit mit MX-Ausführung

Typ	Zusätzliches Gewicht (kg)
LX15(C)	0.002
LX20(C)	0.004
LX26(C)	0.007
LX30(C)	0.011
LX45(C)	0.024

Trägheitsmoment

(10-4kg · cm²)

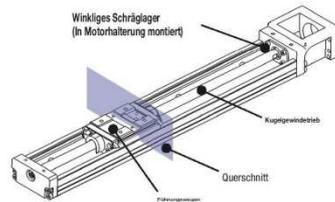
Typ	Steigung Mit oder ohne Abdeckung (°)	Führungswagen	Führungsschiene L (mm)														
			75	80	100	125	150	175	200	250	300	350(340)*	400(390)*	450(440)*	500(490)*	550(540)*	600(590)*
LX15	02/02C	Lang 1 Stk.	23/23	-	24/24	25/25	26/26	27/27	28/28	-	-	-	-	-	-	-	-
	01/01C	Lang 1 Stk.	-	47/47	49/49	-	53/53	-	58/58	-	-	-	-	-	-	-	-
LX20	01/01C	Lang 2 Stk.	-	-	-	-	-	59/58	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	05/05C	Lang 1 Stk.	-	-	54/59	-	59/63	-	63/68	68/73	73/77	-	-	-	-	-	-
LX26	05/05C	Lang 2 Stk.	-	-	-	-	-	69/78	74/83	78/86	-	-	-	-	-	-	-
	02/02C	Lang 1 Stk.	-	-	140/141	-	155/156	-	169/170	184/185	198/199	-	-	-	-	-	-
	02/02C	Lang 2 Stk.	-	-	-	-	-	-	186/188	200/202	-	-	-	-	-	-	-
	05/05C	Lang 1 Stk.	-	-	-	-	166/173	-	180/188	194/202	209/216	223/231	238/245	-	-	-	-
	05/05C	Lang 2 Stk.	-	-	-	-	-	-	207/222	222/237	236/251	251/266	-	-	-	-	-
	10/10C	Lang 1 Stk.	-	-	-	-	204/234	-	219/249	233/283	248/278	262/292	277/307	-	-	-	-
LX30	05/05C	Lang 1 Stk.	-	-	-	436/452	454/471	-	481/507	528/544	565/581	602/618	639/655	675/692	712/729	749/765	786/802
	05/05C	Lang 2 Stk.	-	-	-	-	-	-	-	584/617	621/654	659/691	695/728	732/764	768/801	805/838	
	05/05C	Kurz, 1 Stk.	-	-	-	428/436	446/455	-	483/492	520/528	557/565	594/602	630/638	667/676	704/713	741/750	778/787
	05/05C	Kurz, 2 Stk.	-	-	-	-	474/475	-	484/512	531/548	568/585	605/622	642/659	679/696	716/733	753/770	789/807
	10/10C	Lang 1 Stk.	-	-	-	-	513/579	-	550/616	587/653	624/690	661/727	698/764	735/800	772/837	808/874	845/911
	10/10C	Lang 2 Stk.	-	-	-	-	-	-	-	702/833	738/970	776/907	812/944	849/981	886/1018	923/1054	
LX45	10/10C	Kurz, 1 Stk.	-	-	-	-	482/516	-	518/553	555/590	592/626	629/663	666/700	703/737	740/774	777/811	813/848
	10/10C	Kurz, 2 Stk.	-	-	-	-	591/596	-	564/633	601/670	638/707	675/743	712/780	749/817	785/854	822/891	859/928
	10/10C	Lang 1 Stk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2528/2674	2723/2869	2918/3064	3113/3259	3308/3454
	10/10C	Lang 2 Stk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2762/3053	2957/3249	3152/3444	3347/3639	3543/3834
	10/10C	Kurz, 1 Stk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2429/2507	2624/2702	2820/2897	3015/3092	3210/3287
	10/10C	Kurz, 2 Stk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2565/2720	2760/2915	2955/3110	3150/3305	3345/3500
LX45	20/20C	Lang 1 Stk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3242/3825	3437/4020	3632/4215	3827/4410	4022/4605
	20/20C	Lang 2 Stk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4179/5344	4374/5539	4569/5734	4764/5929	4959/6124
	20/20C	Kurz, 1 Stk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2847/3157	3042/3352	3237/3547	3432/3742	3627/3937
	20/20C	Kurz, 2 Stk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3389/4008	3584/4203	3779/4399	3974/4594	4169/4789

* () ist die Länge der Schiene LX45.

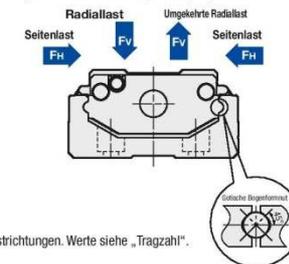
Lastrichtungen

In die Schienen sind doppelte Bogenformuten eingearbeitet, und sie sind kompakt und flach ausgeführt.

Schematische Darstellung



Vergrößerte Querschnittsdarstellung: Zweireihige Bogenformuten



• Führungsschiene

Die Tragzahl ist in allen vier Richtungen gleich: Radial-, umgekehrte Radiallast sowie beide laterale Lastrichtungen. Werte siehe „Tragzahl“.

• Kugelgewindtrieb

Die Vorlast wird mit einem Präzisions-Kugelgewindtrieb angewandt. Führungswagenintegration und eine Spindelmutter ermöglichen die Anwendung von Lasten in Achsrichtung. Erforderliche Tragzahl in Achsrichtung siehe „Tragzahl“.

• Lager (Festlagerseite)

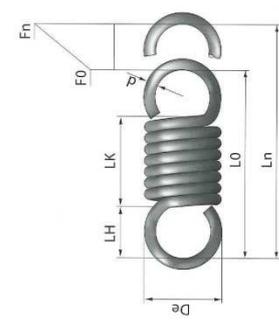
In der Motorhalterung sind Schrägkugellager integriert, die das Aufbringen von Lasten in Achsrichtung ermöglichen. Erforderliche Tragzahl in Achsrichtung siehe „Tragzahl“.

1.4310 Edelstahl rostfrei, V2A

Baugrößen		Federwege und -kräfte						Bestelldaten					
d	De	L0	LK	LH	R	Ln	sn	F0	N	Fn	M	Artikel	Preis
mm	mm	mm	mm	mm	N/mm	mm	mm	N	N	N	g	Nr.	Nr.
0,28	1,8	6,8	4,4	1,2	1,08	10,5	3,6	0,50	4,4	3,7	0,97/10	516	516
		8,5	6,1	1,2	0,76	13,7	5,1			5,12	0,97/10	516	516
		10,8	8,3	1,1	0,55	17,9	7,1			0,07	0,37/72	517	517
		14,1	11,7	0,9	0,39	24,3	10,1			9,77	0,37/73	517	517
		19,8	17,3	0,8	0,26	34,9	15,1			0,14	0,37/74	518	518
		25,4	22,9	0,7	0,19	45,5	20,1			0,19	0,37/75	519	519
0,30	2,2	7,9	4,7	1,6	0,73	13,1	5,2	0,50	4,3	5,34	0,38/10	515	515
		9,7	6,5	1,5	0,51	17,1	7,4			7,34	0,38/11	515	515
		12,1	8,9	1,4	0,37	22,4	10,3			0,10	0,38/12	515	515
		15,7	11,7	1,3	0,26	30,3	14,6			0,14	0,38/13	516	516
		21,7	18,5	1,2	0,19	41,6	20,1			0,19	0,38/14	517	517
		27,7	24,5	1,1	0,13	56,2	29,0			0,27	0,38/15	518	518
0,30	2,7	10,2	6,5	1,9	0,26	22,1	12,0	0,35	3,4	9,27	0,39/11	515	515
		12,6	8,9	1,8	0,18	29,2	16,6			0,13	0,39/12	515	515
		16,2	12,5	1,5	0,13	39,8	23,6			0,18	0,39/13	516	516
		22,2	18,5	1,3	0,09	57,5	35,3			0,26	0,39/14	517	517
		28,2	24,5	1,2	0,06	75,2	47,0			0,35	0,39/15	518	518
0,30	3,2	8,0	3,5	2,3	0,28	16,9	8,9	0,30	2,8	6,11	0,37/10	515	515
		9,2	4,7	2,0	0,20	21,5	12,3			8,14	0,37/10	515	515
		11,0	6,5	1,8	0,14	28,4	17,4			0,11	0,37/13	515	515
		13,4	9,3	1,6	0,10	37,9	23,9			0,15	0,37/14	516	516
		17,0	12,5	1,4	0,07	51,4	34,4			0,29	0,37/16	517	517
		21,5	17,0	1,2	0,05	68,7	47,1			0,37	0,37/17	518	518
		26,1	21,5	1,0	0,04	85,9	59,8			0,47	0,37/18	519	519
		32,1	27,5	0,9	0,03	108,9	76,8			0,14	0,48/10	516	516
0,40	3,2	10,4	6,2	2,1	0,72	18,9	8,5	0,83	6,9	0,19	0,48/11	515	515
		12,9	8,6	1,8	0,51	24,8	12,0			0,26	0,48/12	515	515
		16,1	11,8	1,6	0,37	32,7	16,6			0,37	0,48/13	516	516
		20,9	16,6	1,4	0,26	44,5	23,7			0,54	0,48/14	517	517
		26,9	22,4	1,2	0,17	64,2	35,3			0,72	0,48/15	518	518
		34,7	29,7	1,0	0,11	84,2	47,1			0,94	0,48/16	519	519
0,40	3,8	13,9	8,6	2,6	0,28	31,8	17,0	0,63	5,7	0,63	0,49/12	515	515
		17,1	11,8	2,1	0,20	41,9	24,8			0,32	0,49/13	516	516
		21,9	16,6	1,8	0,14	57,2	35,3			0,45	0,49/14	517	517
		29,9	24,6	1,6	0,10	82,6	52,7			0,66	0,49/15	518	518
		37,9	32,7	1,4	0,07	108,0	70,1			0,87	0,49/16	519	519
0,40	4,6	15,3	8,6	3,3	0,15	43,1	27,8	0,43	4,6	0,29	0,47/10	515	515
		18,5	11,8	2,8	0,11	57,1	38,6			0,39	0,47/12	515	515
		23,3	16,6	2,4	0,08	78,2	54,9			0,55	0,47/13	516	516
		30,3	24,6	2,0	0,05	113,3	82,0			0,81	0,47/14	517	517
		39,0	32,6	1,7	0,04	148,4	111,1			1,07	0,47/15	518	518
0,40	5,6	16,3	11,8	3,8	0,08	60,2	43,7	0,26	3,7	0,26	0,47/10	515	515
		19,5	16,6	3,4	0,06	80,2	60,7			0,49	0,47/12	515	515
		24,3	24,6	2,9	0,04	110,6	86,3			0,68	0,47/13	516	516
		32,3	32,6	2,4	0,03	161,2	128,9			1,01	0,47/14	517	517
		40,3	32,6	2,0	0,02	211,8	171,5			1,33	0,47/15	518	518
0,40	7,0	18,5	8,6	5,0	0,04	91,3	72,8	0,11	2,9	0,45	0,47/12	515	515
		21,7	11,8	4,3	0,03	122,9	101,2			0,62	0,47/12	516	516
		26,5	16,6	3,7	0,02	170,4	143,8			0,86	0,47/13	517	517
		34,5	24,6	3,0	0,01	249,4	214,9			1,28	0,47/14	518	518
		42,5	32,6	2,5	0,01	328,4	285,9			1,69	0,47/15	519	519

1.4310 Edelstahl rostfrei, V2A

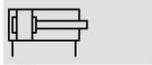
Baugrößen		Federwege und -kräfte						Bestelldaten					
d	De	L0	LK	LH	R	Ln	sn	F0	N	Fn	M	Artikel	Preis
mm	mm	mm	mm	mm	N/mm	mm	mm	N	N	N	g	Nr.	Nr.
0,50	3,5	15,8	10,8	2,5	1,01	26,7	10,9	1,02	12,0	0,32	0,57/11	515	515
		19,8	14,8	2,5	0,72	35,0	15,1			0,44	0,57/12	515	515
		25,8	20,8	2,5	0,51	47,3	21,5			0,61	0,57/13	515	515
		35,9	30,9	2,5	0,34	68,0	32,2			0,81	0,57/14	515	515
		45,9	40,9	2,5	0,26	88,7	42,8			1,20	0,57/14	516	516
		55,9	50,9	2,5	0,21	109,3	53,4			1,49	0,57/15	517	517
0,50	4,5	16,9	10,8	3,1	0,43	36,3	19,3	0,78	9,0	0,43	0,58/11	515	515
		20,9	14,8	3,1	0,31	47,8	26,9			0,59	0,58/12	515	515
		27,0	20,8	3,1	0,22	62,2	39,2			0,82	0,58/13	515	515
		37,0	30,8	3,1	0,14	82,9	51,4			1,14	0,58/14	516	516
		47,0	40,8	3,1	0,11	122,9	75,9			1,60	0,58/14	516	516
		57,0	50,8	3,1	0,09	151,8	94,8			1,99	0,58/15	517	517
0,50	5,5	18,7	10,8	4,0	0,22	48,8	30,1	0,65	7,2	0,54	0,59/11	515	515
		22,7	14,8	4,0	0,16	64,5	41,8			0,73	0,59/12	515	515
		28,7	20,8	4,0	0,11	88,1	59,5			1,02	0,59/13	516	516
		38,7	30,8	4,0	0,07	127,5	88,8			1,51	0,59/13	517	517
		48,7	40,8	4,0	0,06	166,9	118,2			2,00	0,59/14	518	518
		58,7	50,8	4,0	0,04	206,3	147,5			2,49	0,59/15	519	519
0,50	6,5	20,4	10,8	4,8	0,13	63,5	43,1	0,57	6,0	0,64	0,57/10	516	516
		24,4	14,8	4,8	0,09	85,9	61,4			0,83	0,57/10	517	517
		30,5	20,8	4,8	0,06	115,6	85,9			1,14	0,57/11	518	518
		40,5	30,8	4,8	0,04	162,7	127,2			1,81	0,57/13	518	518
		50,5	40,8	4,8	0,03	219,7	169,3			2,40	0,57/14	519	519
		60,5	50,8	4,8	0,03	271,8	211,3			2,98	0,57/15	520	520
0,50	7,5	21,2	10,8	5,2	0,08	80,2	59,0	0,46	5,1	0,75	0,57/11	517	517
		25,2	14,8	5,2	0,06	107,2	82,1			1,02	0,57/11	518	518
		31,2	20,8	5,2	0,04	147,8	116,6			1,43	0,57/12	518	518
		41,2	30,8	5,2	0,03	215,4	174,2			2,12	0,57/13	519	519
		51,2	40,8	5,2	0,02	283,0	231,8			2,80	0,57/14	520	520
		61,2	50,8	5,2	0,02	350,9	289,4			3,48	0,57/15	521	521
0,50	8,5	22,2	10,8	6,0	0,04	133,2	106,6	0,43	4,5	1,17	0,57/12	518	518
		26,8	14,8	6,0	0,04	184,1	151,3			1,64	0,57/12	519	519
		32,8	20,8	6,0	0,03	268,8	226,0			2,42	0,57/13	520	520
		42,8	30,8	6,0	0,02	368,8	300,7			3,20	0,57/14	521	521
		52,8	40,8	6,0	0,01	353,5	300,7			3,98	0,57/15	522	522
		62,8	50,8	6,0	0,01	438,2	375,4						



Kurzhubzylinder ADVC

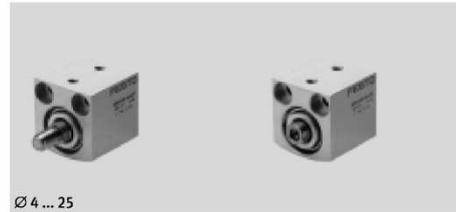
Datenblatt Doppeltwirkend – ohne Positionserkennung

FESTO

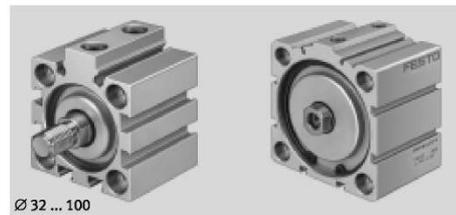


Ø - Durchmesser
4 ... 100 mm

l - Hublänge
2,5 ... 25 mm



Ø 4 ... 25



Ø 32 ... 100

Allgemeine Technische Daten													
Kolben-Ø	4	6	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100
Pneumatischer Anschluss	M3	M3	M5	M5	M5	M5	M5	G½	G½	G½	G½	G½	G½
Kolbenstange mit Innengewinde	-	-	-	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Kolbenstange mit Außengewinde	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Kolbenstange ohne Gewinde	■	■	■	■	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Betriebsmedium	Druckluft nach ISO 8573-1:2010 [7:4:4]												
Hinweis zum Betriebs-/Steuermedium	geölter Betrieb möglich (im weiteren Betrieb erforderlich)												
Konstruktiver Aufbau	Kolben Kolbenstange												
Dämpfung	elastische Dämpfungsringe/-platten beidseitig												
Befestigungsart	mit Durchgangsbohrung						mit Durchgangsbohrung						
	-						mit Zubehör						
Einbaulage	beliebig												

Betriebsbedingungen													
Kolben-Ø	4	6	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100
Betriebsdruck [bar]	2 ... 8	1,5 ... 8	1 ... 8	1 ... 10				0,6 ... 10					
Umgebungstemperatur [°C]	-20 ... +80												
Korrosionsbeständigkeit KBK ¹⁾	1												

1) Korrosionsbeständigkeitsklasse 1 nach Festo Norm 940 070

Bauteile mit geringer Korrosionsbeanspruchung. Transport- und Lagerschutz. Teile ohne vorrangig dekorative Anforderung an die Oberfläche z. B. im nicht sichtbaren Innenbereich oder hinter Abdeckungen

Kurzhubzylinder ADVC

Datenblatt Doppelwirkend – ohne Positionserkennung

FESTO

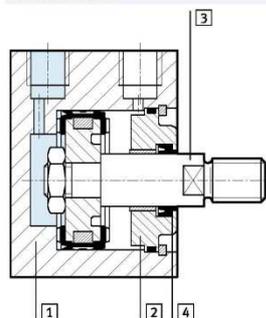
Kräfte [N] und Aufprallenergie [J]													
Kolben-Ø	4	6	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100
theoretische Kraft bei 6 bar, Vorlauf	7,5	17	47	68	121	189	295	483	754	1 178	1 870	3 016	4 712
theoretische Kraft bei 6 bar, Rücklauf	5,7	13	40	51	91	141	247	415	686	1 056	1 750	2 847	4 418
max. Aufprallenergie in den Endlagen	0,003	0,005	0,03	0,06	0,10	0,14	0,18	0,26	0,36	0,60	0,64	0,90	1,20

Produktgewicht [g]													
Hub [mm]	Kolben-Ø												
	4	6	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100
2,5	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
5	4,5	12,5	23	34	68	112	135	280	350	–	–	–	–
10	–	16	26	42	76	124	150	300	380	470	600	1 570	2 480
15	–	–	–	–	84	136	165	320	410	505	650	1 655	2 570
20	–	–	–	–	92	148	180	340	440	540	700	1 740	2 660
25	–	–	–	–	100	160	195	360	470	575	750	1 825	2 750

Bewegte Masse [g]													
Hub [mm]	Kolben-Ø												
	4	6	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100
2,5	0,2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
5	0,25	1,2	2,8	6,6	11	22	27	46	69	–	–	–	–
10	–	1,5	3,3	7,7	13	25	30	51	74	127	178	339	719
15	–	–	–	–	15	28	33	56	79	135	186	351	739
20	–	–	–	–	17	31	36	61	84	143	194	363	759
25	–	–	–	–	19	34	39	66	89	151	202	375	779

Werkstoffe

Funktionsschnitt



Kurzhubzylinder	Ø 4	Ø 6 ... 100
1 Zylinderrohr	Aluminium, eloxiert	Aluminium, eloxiert
2 Deckel	Aluminium, eloxiert	Aluminium, eloxiert
3 Kolbenstange	Aluminium, eloxiert	Stahl, hochlegiert
4 Stangendichtung	Nitrilkautschuk	Polyurethan
Werkstoffhinweis	Kupfer-, PTFE- und silikonfrei	Kupfer-, PTFE- und silikonfrei

Kurzhubzylinder ADVC

Datenblatt Doppelwirkend – ohne Positionserkennung



Abmessungen		Download CAD-Daten → www.festo.com
<p>∅ 4 ... 25 mm</p>		
<p>ADVC-...-I-P Kolbenstange mit Innengewinde</p>		<p> Hinweis</p> <p>∅ 4 mm Zulässige Einschraubtiefe von 3 mm und zulässiges Anziehdrehmoment von 0,7 Nm nicht überschreiten</p> <p>∅ 10 mm Je nach Toleranzlage kann der Lagerdeckel bis zu 0,65 mm überstehen</p>
<p>ADVC-...-A-P Kolbenstange mit Außengewinde</p>		<p>∅ 12 mm Je nach Toleranzlage kann der Lagerdeckel bis zu 0,35 mm überstehen</p>
<p>ADVC-...-P Kolbenstange ohne Gewinde</p>		<p>1 Bei ∅ 4/6/10 kein Freistich vorhanden.</p>

Kurzhubzylinder ADVC

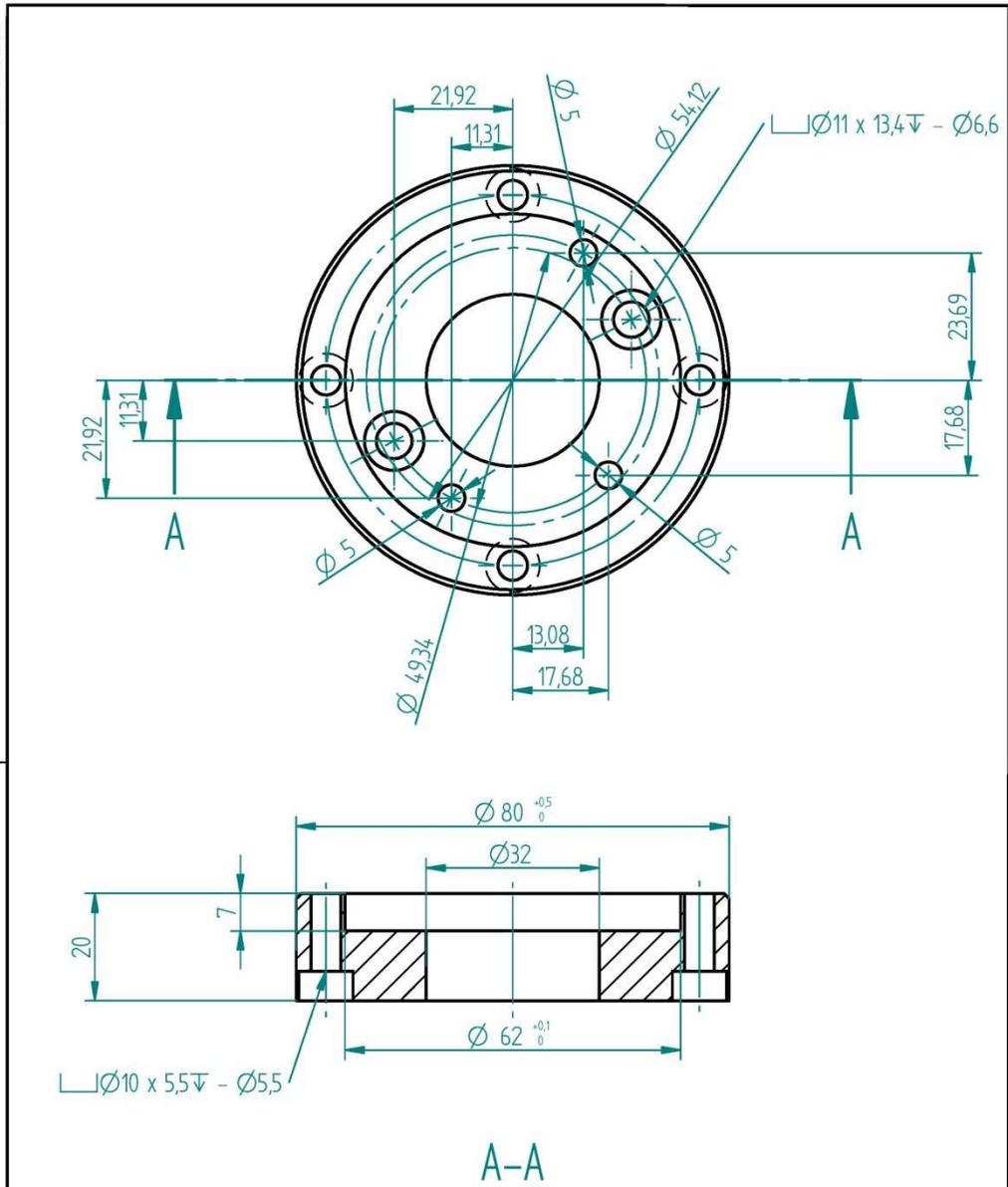
Datenblatt Doppelwirkend – ohne Positionserkennung



∅ [mm]	Hub [mm]	AF min.	AM -0,5	D1 ∅ max.	D2 ∅	E max.	EE	FB ∅	KF	KK	L2 +0,2	L3
4	2,5	-	6	-	3,3 +0,1	10	M3	1,8	-	M2	13	1,8
	5										15,5	
6	5	-	6	-	5 +0,1	13	M3	2,9	-	M3	16	2,9
	10										21	
10	5	-	8	7,5	5,8 +0,1	18	M5	3,4	-	M4	21	3,4
	10										24	
12	5	8	8	10,7	6 H13	20	M5	3,4	M3	M5	23	3,4
	10										28	
16	5	10	12	-	8 H13	25	M5	4,5	M4	M6	23	4,6
	10										28	
	15										33	
	20										38	
	25										43	
20	5	12	12	-	10 H13	32	M5	5,5	M5	M8	27	5,7
	10										32	
	15										37	
	20										42	
	25										47	
25	5	12	12	-	10 H13	38	M5	5,5	M5	M8	27,5	5,7
	10										32,5	
	15										37,5	
	20										42,5	
	25										47,5	

∅ [mm]	Hub [mm]	L4	L5	L6 max.	MM ∅	P1	PL	T4	TG ±0,1	UO max.	WH	ZJ ±0,8	≤S1
4	2,5	4	6,5	-	2	3,7	3,2	-	5,8	10	1	14	-
	5											16,5	
6	5	6	9	-	3	4,7	3	-	7	14	1	17	-
	10											22	
10	5	8	11,5	0,7	4	5,2	5,2	-	11	19	1,5	22,5	-
	10					6	5,5					25,5	
12	5	9	13	0,4	6	5,75	5,75	1,5	13	22	4	27	5
	10					9	6					32	
16	5	11,5	16,5	-	8	6	6	2	15	27	4	27	7
	10					32							
	15					37							
	20					42							
	25					47							
20	5	15	21	-	10	7,5	7	2	20	34	5	32	9
	10											37	
	15											42	
	20											47	
	25											52	
25	5	15,5	21,5	-	10	8	6,5	2	26	37	5	32,5	9
	10											37,5	
	15											42,5	
	20											47,5	
	25											52,5	

B. Technische Zeichnungen



Projekt / PROJECT		Arbeitspaket / WORKPACKAGE		Gruppe / GROUP		Ers.für / REPLACES		Ers.durch / REPLACED BY	
Gewicht / WEIGHT 0,171 kg		Halbzeug / SEMIFINISHED PRODUCT				Werkstoff / MATERIAL EN AW-5754 (AlMg3)		Format/Size A4	
Alg. Toleranzen / ISO 2768 GENERAL TOLERANCES ISO 13920 Tolerierungsgrundsatz / FUNDAMENTAL TOLERANCING PRINCIPLE ISO 8015 Oberflächenkenngrößen / ISO 1302 SURFACE TEXTURE 4287, 4288		 Toleranzklasse / TOLERANCE CLASS		Maßstab / SCALE Maßstab Teile-ID / PART-ID SE000886534		Titel / TITLE Adapter-zum-Greifer			
© DESY. DESY behält sich alle Rechte vor. Schutzvermerk ISO 16016 beachten. Für Rückfragen bitte an -IT- wenden Tel. +49-40-8998-3675. © DESY. ALL RIGHTS RESERVED. REFER TO PROTECTION NOTICE ISO 16016. FOR FURTHER ENQUIRIES PLEASE CONTACT -IT- TEL. +49-40-8998-3675.		Datum / DATE 24.07.2015 Name / NAME bisyks		Gepr. REV. Freig. REL. Gepr. APR.		Dokument-Nr. / DOCUMENT NO.		Blatt SHEET 1 von von 1 Status STATUS 0-Verfügbar	
				Zeichn.-ID DRAW.-ID SE000888315		Rev. REV.		Ver. VER.	

Weitere Zeichnungen sind auf der beiliegenden CD zu finden.