



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna | Austria



Diplomarbeit

Entwicklung eines Blutgefäßprüfstands

Ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des Akademischen Grades eines Diplom-
Ingenieurs (Dipl.-Ing oder DI) eingereicht an der TU-Wien, Fakultät für
Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Ludwig E. Fellingner, B.Sc.

Mat.Nr.: 01326131

Gebhard F. Fellingner, B.Sc.

Mat.Nr.: 01326133

unter der Leitung von

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Georg Kartnig

Institut für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung, E307-01

Wien, Februar 2022

Ludwig Fellingner

Gebhard Fellingner

Ich nehme zur Kenntnis, dass ich zur Drucklegung dieser Arbeit nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen von mir selbstständig erstellt wurde. Alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, sind in dieser Arbeit genannt und aufgelistet. Die aus den Quellen wörtlich entnommenen Stellen, sind als solche kenntlich gemacht.

Das Thema dieser Arbeit wurde von mir bisher weder im In- noch Ausland einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt. Diese Arbeit stimmt mit der von den Begutachterinnen/Begutachtern beurteilten Arbeit überein.

Ich nehme zur Kenntnis, dass die vorgelegte Arbeit mit geeigneten und dem derzeitigen Stand der Technik entsprechenden Mitteln (Plagiat-Erkennungssoftware) elektronisch-technisch überprüft wird. Dies stellt einerseits sicher, dass bei der Erstellung der vorgelegten Arbeit die hohen Qualitätsvorgaben im Rahmen der geltenden Regeln zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis „Code of Conduct“ an der TU Wien eingehalten wurden. Zum anderen werden durch einen Abgleich mit anderen studentischen Abschlussarbeiten Verletzungen meines persönlichen Urheberrechts vermieden.

Wien, Februar 2022

Ludwig Fellingner

Wien, Februar 2022

Gebhard Fellingner

Danksagung

Wir möchten uns bei Frau Prof. Dr. Gföhler und Herrn Prof. Dr. Kartnig für die Betreuung unserer Diplomarbeit bedanken. Besonderer Dank gebührt hierbei für die uns in vielen Gesprächen gewidmete Zeit und die daraus resultierenden wertvollen Anregungen. Weiters bedanken wir uns für das entgegengebrachte Vertrauen bei der Abwicklung eines Auftrages im Namen des Instituts für Konstruktionswissenschaften und Produktentwicklung der TU-Wien. Ebenfalls bedanken wir uns bei unserem Auftraggeber Herrn Assoc. Prof. Dr. Sommer vom Institut für Biomechanik der TU-Graz für die gute Zusammenarbeit.

Kurzfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Produktentwicklung eines Blutgefäßprüfstands beschrieben. Der Prüfstand soll im Zuge des Forschungsprojekts „LAESIO“ des Instituts für Biomechanik der TU-Graz betrieben werden. Mit Hilfe des Prüfstands sollen künstlich jene Verletzungen an Proben von Herzkranzgefäßen hervorgerufen werden, wie sie üblicherweise bei der Implantation von Gefäßstützen (Stents) auftreten können. Diese Verletzungen führen zum Einsetzen von Schadensmechanismen, die eine Veränderung der mechanischen Gewebeeigenschaften zur Folge haben. Die Veränderungen der mechanischen Gewebeeigenschaften werden durch den Prüfstand messbar gemacht und dienen zur Erstellung eines mathematischen Schadensmodells. Die Produktentwicklung wird in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2221 durchgeführt. Den Ausgangspunkt der Produktentwicklung bildet dabei eine bestehende Prüfvorrichtung, die im Zuge der Produktentwicklung weiterentwickelt und an veränderte Anforderungen angepasst wird. Zu diesen veränderten Anforderungen zählt die Möglichkeit der Durchführung von mehrwöchigen Prüfvorgängen in steriler Atmosphäre.

Abstract

The purpose of this master thesis is the development of a novel triaxial soft tissue testing device. This testing device is part of a scientific project called “LAESIO” conducted by the institute of biomechanics at Graz University of Technology. The main objective of the project is a deeper understanding of complications following coronary stent implantations. Especially the damage mechanisms provoked by the indentations inside the tissue through coronary stents implantations are of great interest. These damage mechanisms should be described through a mathematical damage model. In order to achieve such a damage model experimental data is needed. At this point the test rig comes to action. It induces artificial damages similar to these occurring whilst the coronary stent implantation and triggers thereby damage mechanisms. These mechanisms change the mechanical properties of the arterial tissue and are recorded by the test rig. In the aftermath these recordings form the base of the mathematical damage model. The actual product development process is done according to the VDI-Guideline 2221.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Aufgabenstellung (Ludwig Fellingner).....	3
2.1	Erklärung Projekt „LAESIO“.....	3
2.2	Erklärung der Aufgabenstellung	8
3	Stand der Technik (Gebhard Fellingner).....	9
3.1	Beschreibung der derzeitigen Prüfmaschine	9
3.2	Prüfvorgang.....	23
4	Phasen der Produktentwicklung (Ludwig Fellingner)	31
5	Planen und Klären der Aufgabe (Ludwig Fellingner).....	33
6	Konzipieren (Gebhard Fellingner).....	41
6.1	Abstraktion	42
6.2	Aufstellen der Funktionsstruktur	44
6.3	Suche nach Wirkprinzipien	53
6.4	Kombinieren von Wirkprinzipien zu Wirkstrukturen.....	66
6.5	Auswählen geeigneter Kombinationen (Wirkstrukturen)	76
6.6	Konkretisieren zu prinzipiellen Lösungsvarianten	78
6.7	Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien	108
7	Entwerfen (Ludwig Fellingner).....	127
7.1	Erkennen gestaltungsbestimmender Anforderungen	129
7.2	Klären der räumlichen Bedingungen	130
7.3	Strukturieren in gestaltungsbestimmende Hauptfunktionsträger	135
7.4	Grobgestalten der gestaltungsbestimmenden Hauptfunktionsträger.....	136
7.5	Versuche mit Vorführmodellen	153
7.6	Auswählen geeigneter Entwürfe	160
7.7	technisch und wirtschaftliche Bewertung	160
7.8	Grobgestalten weiterer gestaltungsbestimmender Hauptfunktionsträger	172
7.9	Grobgestalten weiterer Hauptfunktionsträger	195
7.10	Lösungssuche für Nebenfunktionsträger	204
7.11	Feingestalten der Hauptfunktionsträger.....	209
7.12	Vervollständigen des Gesamtentwurfs	211
7.13	Optimierendes und abschließendes Gestalten	211
7.14	Kontrollieren auf Fehler und Störgrößeneinfluss.....	212
7.15	Vervollständigen des Gesamtentwurfs mit vorläufigen Stücklisten	212
7.16	Gesamtentwurf.....	213
8	Ausarbeiten (Gebhard Fellingner)	215
8.1	Erzeugnisgliederung.....	216

8.2	Detaillieren und Festlegen von Einzelteilen	220
8.3	Zusammenfassung zu Gruppenzeichnungen	222
8.4	Vervollständigen der Fertigungsunterlagen	225
8.5	Prüfung der Fertigungsunterlagen	225
8.6	Kostenabschätzung	225
9	Zusammenfassung und Ausblick	227
10	Literaturverzeichnis	228
11	Tabellenverzeichnis	232
12	Abbildungsverzeichnis	234
13	Anhang	244
	A.) Berechnungen	244
	B.) Fertigungsunterlagen	271

1 Einleitung

Das Institut für Biomechanik der TU-Graz beschäftigt sich im Rahmen des Forschungsprojekts „LAESIO“ mit der Verbesserung von Stents (dt. Gefäßstützen). Im Zuge der Umsetzung des Forschungsprojekts trat der dafür zuständige Projektleiter Assoc.Prof. Dr. Gerhard Sommer an das Institut für Konstruktionswissenschaften und technische Logistik der TU-Wien mit dem Ersuchen heran, hierfür einen Prüfstand zu entwickeln (siehe Abbildung 1).

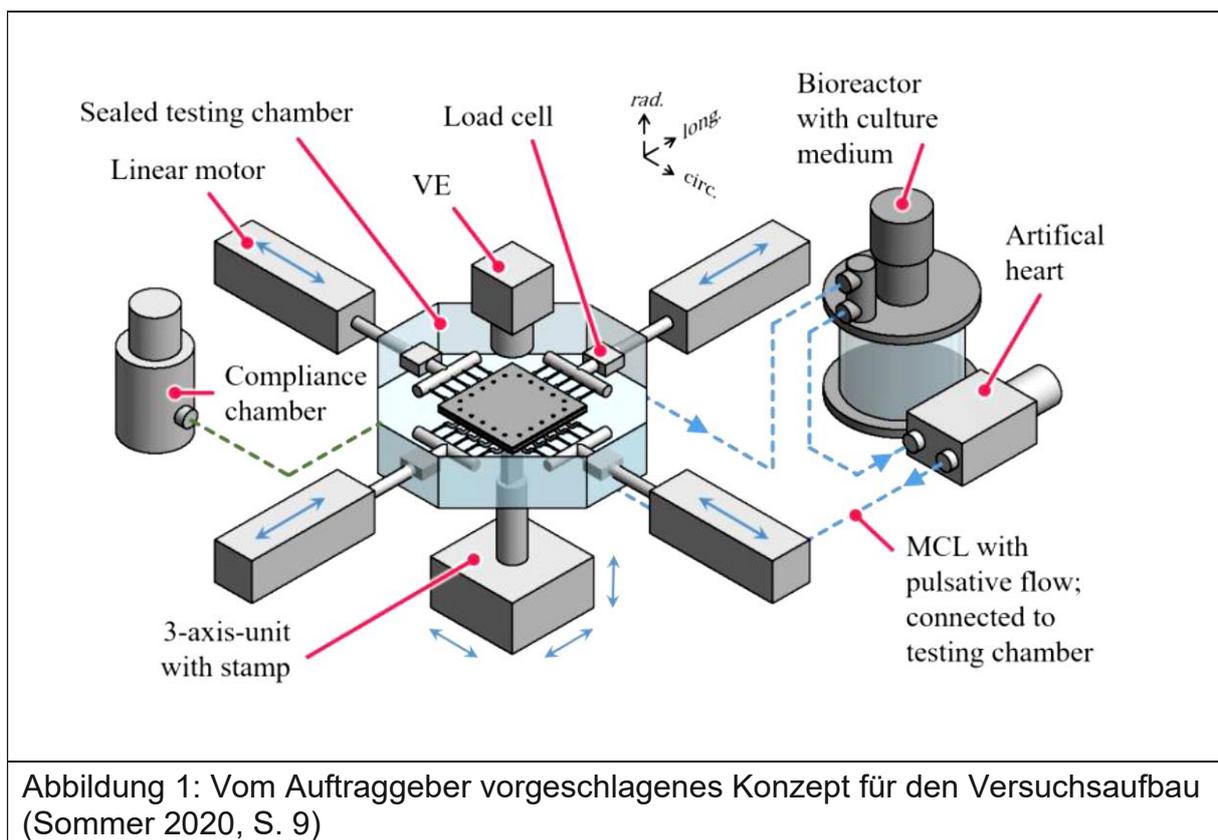
Im Zuge dieser Arbeit soll der Entwicklungs- und Konstruktionsprozess dieses Prüfstands dargelegt werden. Grundlage für die Produktentwicklung bilden die VDI-Richtlinie 2221 sowie VDI-Richtlinie 2222 (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 168).

Diese Richtlinien bieten eine Richtschnur zur methodischen Vorgangsweise bei der Produktentwicklung und können in gewisser Weise als „Kochrezept“ der Produktentwicklung verstanden werden. Bei der Anwendung dieser Richtlinien sollten diese weniger als starre Vorschrift und mehr als Wegweiser angesehen werden. Die darin vorgeschlagene Vorgehensweise sollte immer an die jeweilige Sachlage und die Erfahrung der Anwender angepasst werden (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 189–190).

Wesentlich für die in den Richtlinien vorgeschlagene Vorgehensweise ist die Gliederung des Entwicklungs- bzw. Konstruktionsprozesses in sogenannte Hauptphasen. Diese Hauptphasen lassen sich ihrerseits jeweils wieder in Arbeitsschritte unterteilen (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 194). Dabei können die Grenzen zwischen den einzelnen Hauptphasen bzw. zwischen den Arbeitsschritten innerhalb der Hauptphasen verschwimmen (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 189). Ebenso kann es im Zuge der gestellten Aufgabe vorteilhaft sein, einzelne Arbeitsschritte zu überspringen bzw. deren Reihenfolge zu vertauschen (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 190). Weiters ist es wesentlich an dieser Stelle zu bemerken, dass der Produktentwicklungsprozess grundsätzlich einen sequenziell ablaufenden Lösungsprozess darstellt. Die einzelnen Arbeitsschritte innerhalb der Hauptphasen werden zwar sequenziell durchlaufen, jedoch folgt nach Abschluss einzelner oder mehrerer Arbeitsschritte sehr oft ein Entscheidungsprozess nach. Bei diesem wird entschieden, ob das Ergebnis die gestellten Forderungen erfüllt. Sollte die

Teillösung dieser Überprüfung nicht standhalten, so macht dies das Wiederholen einer oder mehrerer Arbeitsschritte notwendig (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 190–192).

Diese Arbeit umfasst den gesamten Produktentwicklungsprozess, der mit dem Erfassen der Kundenanforderungen beginnt und mit Erstellen von Fertigungsunterlagen abschließt. Zusätzlich schließt der im Rahmen dieser Arbeit beschriebene Produktentwicklungsprozess weitere Tätigkeiten mit ein, die nicht unmittelbar mit den vier Hauptphasen der Produktentwicklung in Verbindung stehen. Eine dieser Tätigkeiten ist beispielsweise das Auswählen einer geeigneten Sicherheitswerkbank, die später das zu entwickelnde Produkt aufnehmen soll und ausreichenden Schutz sowohl dem Bediener als auch der Probe bietet.



2 Aufgabenstellung (Ludwig Fellingner)

2.1 Erklärung Projekt „LAESIO“

Verengungen von Herzkranzgefäßen und die daraus resultierenden Erkrankungen wie Herzinfarkte sind zur Volkskrankheit geworden. Allein in Deutschland leben 6 Millionen Menschen, die von Durchblutungsstörungen an Herzkranzgefäßen betroffen sind und allein im Jahr 2018 wurden in der Bundesrepublik Deutschland über 318000 Stents eingesetzt (Remondis Medison GmbH 2021).

Wie bei vielen medizinischen Behandlungsmethoden, kann es auch bei der Behandlung mittels Stents zu negativen Nachwirkungen kommen. Eine sehr häufige Nachwirkung nach der Implantation von Stents in Herzkranzgefäßen ist beispielsweise die sogenannte „Restenose“. Dabei tritt die durch den Stent behandelte Verengung des Blutgefäßes, im Fachjargon auch Stenose bezeichnet, erneut nach der Behandlung auf. Diese erneute Verengung hervorgerufen durch die Behandlung mit Stents lässt sich bei ungefähr 20% aller Stentbehandlungen an Herzkranzgefäßen diagnostizieren (Sommer 2020, S. 1).

Aufgrund der Häufigkeit des Auftretens dieser Restenose an Hohlorganen, ist es zu einer regen Forschungstätigkeit auf diesem Gebiet gekommen. Vor allem die Tatsache, dass das Ausmaß der Verletzung der Blutgefäßwand in einem direkten Zusammenhang mit dem Auftreten von Restenose steht, stellt sowohl Stenthersteller als auch Forschungsinstitute vor die Herausforderung sicherere Stents zu entwickeln.

Das Institut für Biomechanik der TU-Graz beteiligt sich ebenfalls im Rahmen des Forschungsprojekts „LAESIO“ an der Entwicklung sicherer Stents. Das unmittelbare Forschungsziel des Projekts ist dabei nicht so sehr die Verbesserung des Stents an sich, sondern die Beantwortung folgender Fragen (Sommer 2020, S. 1):

- Wie hoch ist die Kontaktkraft zwischen der Gefäßstütze und der Blutgefäßwand während und nach der Stent-Implantation?
- Wie hängt die Kontaktkraft mit der Schädigung der Blutgefäßwand und der folgenden Restenose zusammen (Sommer 2020, S. 1)?

Zur Beantwortung dieser beiden Fragen wird ein mathematisches Schädigungsmodell angestrebt, das das mechanische Verhalten von Arterienwänden beschreibt. Das

Schädigungsmodell soll dabei auf den Ergebnissen von künstlich im Labor hervorgerufenen Schädigungen an realen Blutgefäßen basieren. Die künstlich hervorgerufenen Schädigungen des Gewebes haben dabei den Zweck, zeit- und lastabhängige Schadensmechanismen in Gang zu setzen. Die Antwort des Gewebes auf die Schädigung ist eine Veränderung der mechanischen Eigenschaften infolge von Schadensmechanismen. Diese Schadensmechanismen sollen indirekt über die Veränderung der messbaren mechanischen Eigenschaften des Arterienwandgewebes fassbar gemacht werden. Die dabei gewonnenen Messergebnisse sollen die Parameter für das mathematische Schadensmodell bilden. Mit dem ferner eine Computersimulation geschaffen werden soll, die die Schadensmechanismen modelliert und damit einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung verbesserter Stents beiträgt (Sommer 2020, S. 1).

Die oben genannten künstlich hervorgerufenen Schädigungen des Gewebes als auch die zugehörigen Messungen, erfolgen außerhalb des lebenden Organismus in einem dafür vorgesehenen Prüfstand.

In dieser Arbeit soll zunächst der Aufbau eines Stents näher erläutert werden. Im Anschluss daran soll näher auf den eigentlichen Implantationsvorgang eines Stents eingegangen werden. Beziehungsweise sollen auch die Kräfte, die während und nach der Implantation zwischen Stent und Blutgefäßwand wirken genauer erklärt werden. Ebenfalls soll die negative Nachwirkung bei der Verwendung von Stents (Restenose) beleuchtet werden.

Grundsätzlich ähnelt die Gestalt eines Stents der eines Strumpfes (siehe Abbildung 2). Der Strumpf wird durch mehrere aufeinander gestapelte Segmente gebildet, die jeweils eine Ähnlichkeit zu einer Krone haben (siehe Abbildung 3). Jedes Segment für sich besteht aus einem zackenförmig gebogenen Metallstreifen, der ringförmig zu einem Kronreif geformt ist. Über schmale Metallstreifen werden diese aufeinander gestapelten Segmente miteinander verbunden. Obwohl ein ganzes Stent-Segment eine Ähnlichkeit zu einer Krone besitzt, wird diese Bezeichnung im Fachjargon nur für die 180° Knickung einer Zackenspitze innerhalb eines Segments verwendet. Die geraden Elemente eines Zackens, die die Kronen miteinander verbinden, werden als Strebe (engl. „strut“) bezeichnet. Als Werkstoffe für Stents eignen sich korrosionsbeständige Materialien wie beispielsweise Edelstahl. Zusätzlich können die zackenförmig gebogenen Metallstreifen mit Löchern bzw. länglichen Kanälen

versehen werde. In diesen werden Medikamente gespeichert, die über längere Zeit in den Körper übergehen.



Abbildung 2: Ansicht eines Stents aus Nitinol. Gut sichtbar sind die längsförmigen Öffnungen zur temporären Aufnahme von Medikamenten (Hsiao et al. 2017, S. 12)

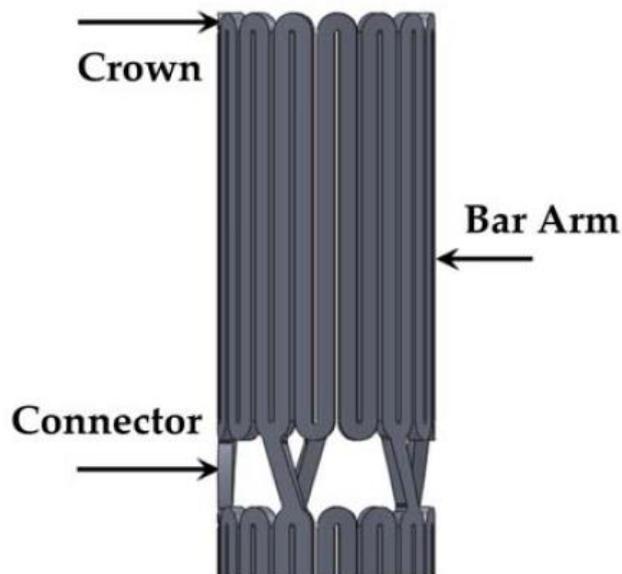


Abbildung 3: Übersicht der wichtigsten Stentelemente. Die 180° Knickung wird als Krone (engl. „crown“) bezeichnet und die Verbindung der Kronen erfolgt über Streben (engl. „struts“ oder „bar arms“). Die Segmente werden über Verbinder (engl. „connectors“) miteinander verbunden. (Hsiao et al. 2017, S. 4)

Der Implantationsvorgang besteht aus zwei Phasen. In der ersten Phase (Expansionsphase) wird der zusammengefaltete Stent auf einem Ballonkatheter an die verengte Stelle des Herzkranzgefäßes geführt. Anschließend wird der Ballon für

wenige Sekunden stark aufgeblasen, um den Stent zu überstrecken und damit auf den gewünschten Durchmesser aufzudehnen. Dieses Überstrecken über den eigentlichen Durchmesser des Blutgefäßes ist deshalb nötig, um dem elastischen Rückfedern des Stents entgegenzuwirken. Nach dem Aufdehnen des Stents wird die Luft aus dem Ballonkatheter entfernt und dieser wieder aus dem Blutgefäß gezogen (siehe Abbildung 4). Die während des Überstreckungsvorgangs zwischen Blutgefäßwand und Stent wirkende Kontaktkraft, kann als konstant angesehen werden. Der pulsierende Blutstrom ist während dieses Vorgangs unterbrochen (Sommer 2020, S. 1).

In der zweiten Phase nach Entfernung des Ballons ist der pulsierende Blutstrom nicht mehr unterbrochen. Der Wert der Kontaktkraft zwischen Stent und Blutgefäßwand hat nun aufgrund des pulsierenden Blutdrucks einen schwelenden Verlauf (siehe Abbildung 5) (Sommer 2020, S. 1).

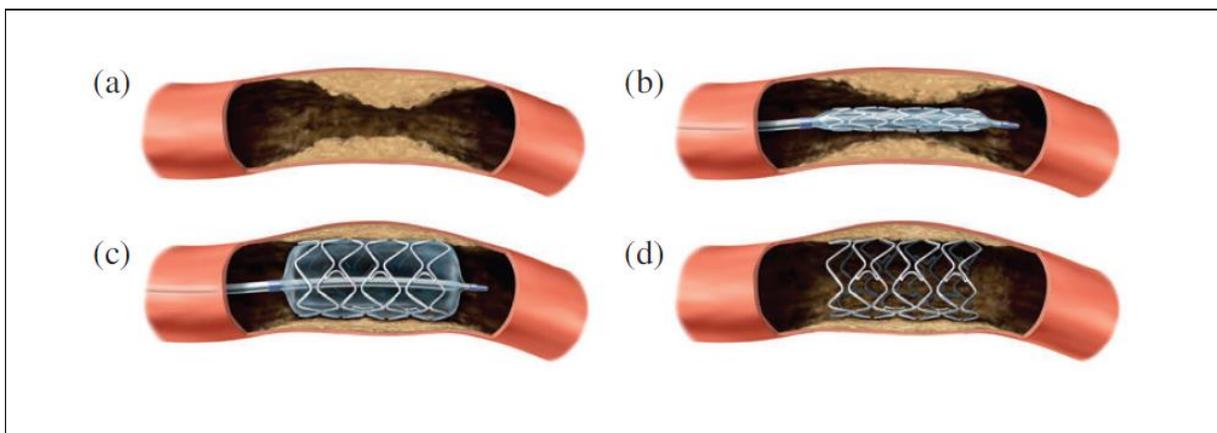


Abbildung 4: Ablauf einer Stentimplantation. a.) Verengtes Blutgefäß b.) Einbringen des Ballonkatheters mit zusammengefaltetem Stent c.) Überdehnen des Stents d.) um elastischen Anteil gestauchter Stent (Nothdurfter 2020, S. 5)

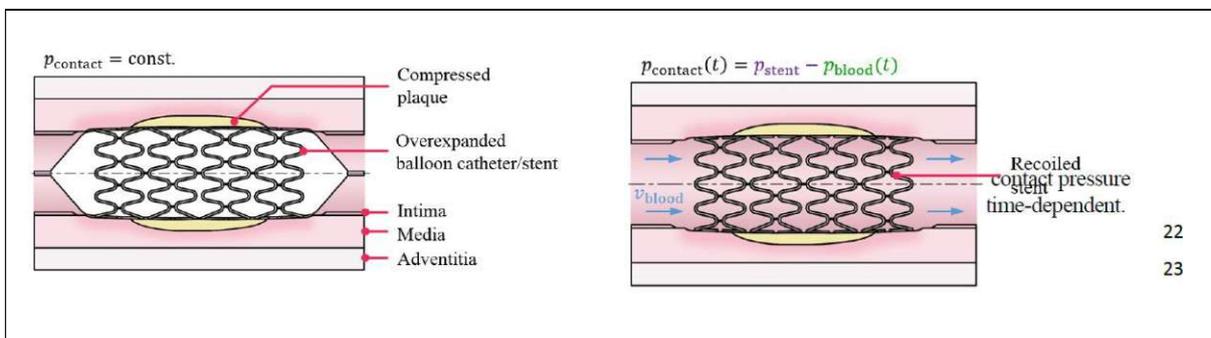
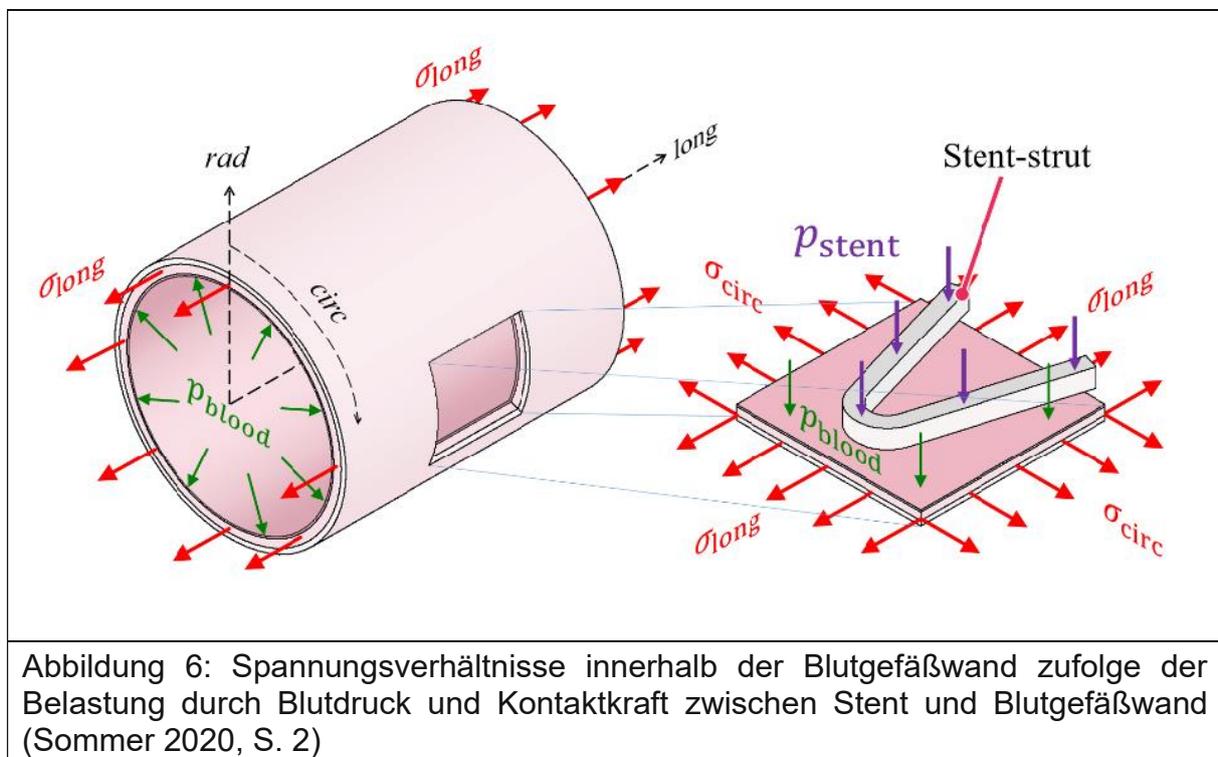


Abbildung 5: Übersicht der zwei Phasen beim Implantieren von Stents. In der ersten Phase bleibt die Kontaktkraft konstant, während sie in der zweiten Phase einen schwelenden Verlauf annimmt. (Sommer 2020, S. 1)

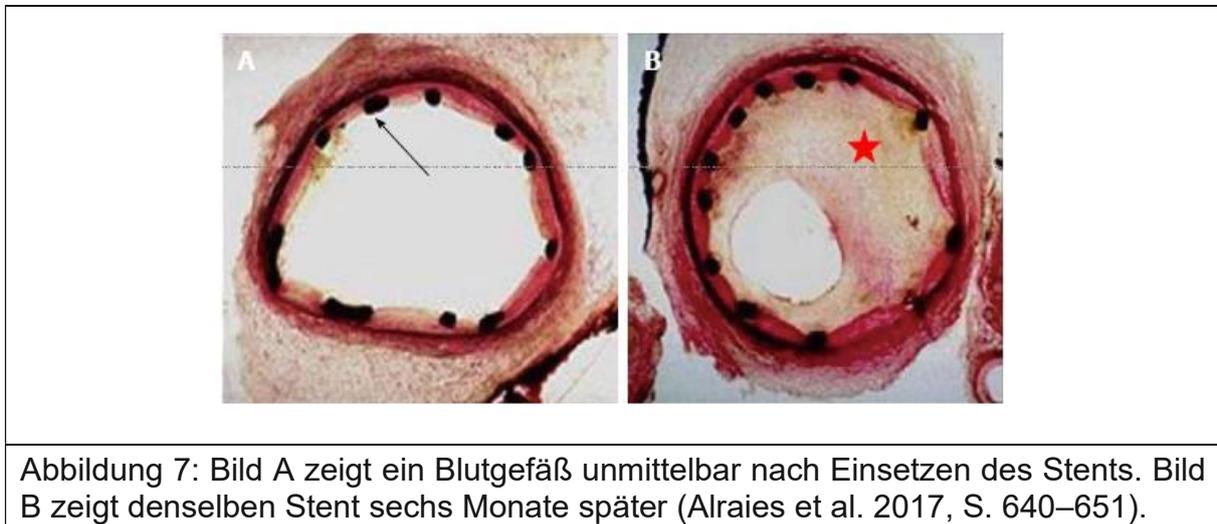
Zufolge der Belastung der Blutgefäßwand durch die Kraft des pulsierenden Blutdrucks sowie durch die Kontaktkraft zwischen Stent und Blutgefäßwand, wirken in dieser entsprechende Spannungen. Die Belastung der Gefäßwand resultiert in Spannungen, die sowohl in Längsrichtung des Blutgefäßes (longitudinal) als auch in Umfangsrichtung (circumferential) wirken (Nothdurfter 2020, S. 6).

Besser verständlich wird der Spannungszustand innerhalb der Blutgefäßwand, wenn symbolhaft ein quadratisches Stück an jenem Ort des Hohlorgans herausgeschnitten wird, an dem dieses durch einen Stent-Strut örtlich belastet wird (siehe Abbildung S.6).



Unter Restenose wird das erneute Verengen von Blutgefäßen, die bereits eine künstliche Erweiterung mittels Stents hinter sich haben, verstanden. Als Ursache werden Verletzungen der Blutgefäßwand gesehen. Einerseits treten diese Verletzungen beim Einbringen des Stents und hier insbesondere beim Überdehnen (engl. „overstretching“) auf. Andererseits treten diese Verletzungen auch später bei der Verwendung des Stents auf, wenn das Metallgeflecht mit schwellender Kontaktkraft im Rhythmus des Herzschlags gegen die Blutgefäßwand drückt. Diese Verletzungen führen zu biomechanischen Prozessen innerhalb der Blutgefäßwand, die auch als Schadensmechanismen (engl. „damage mechanisms“) bezeichnet werden. Im Zuge

dieser Schadensmechanismen kommt es zu einem regen Zellwachstum an den Druckstellen und dieses lässt das Metallgeflecht in die Blutgefäßwand einwachsen (siehe Abbildung 7). Folglich reduziert sich der Durchflussquerschnitt erneut und es kommt zu einer Wiederverengung also einer Re-Stenose (Sommer 2020, S. 2).



2.2 Erklärung der Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung dieser Arbeit besteht darin, einen Nachfolge-Prüfstand für einen bestehenden Prüfstand zu entwickeln. Dieser sollte ebenfalls im Rahmen des „LAESIO“-Forschungsprojekts betrieben werden. Im Unterschied zum bestehenden Prüfstand soll dieser eine tiefgreifendere Untersuchung der Restenose ermöglichen. Insbesondere sollten die Änderungen der mechanischen Gewebeeigenschaften durch das Zellwachstum bei Restenose messbar gemacht werden. Generell bleibt der am neuen Prüfstand beabsichtigte Prüfvorgang gleich zu dem, der bereits an der bestehenden Maschine ausgeführt wird. Im Unterschied zum Testvorgang der bestehenden Maschine wird jedoch die Zeitdauer der Tests verlängert. Dadurch soll das Auftreten bzw. die stärkere Ausprägung der Restenose ermöglicht werden.

3 Stand der Technik (Gebhard Fellingner)

3.1 Beschreibung der derzeitigen Prüfmaschine

3.1.1 Einleitung

Derzeit existiert ein triaxialer Prüfstand an der TU-Graz, der die mechanischen und morphologischen Beschädigungen der Blutgefäßwand beim Einsetzen von Stents künstlich nachstellen und quantifizieren kann. Mit diesem ist es möglich einen dreiachsigen Belastungsfall zu simulieren, der während der Implantation des Stents auftritt. Als Probe wird ein quadratischer Ausschnitt einer Blutgefäßwand verwendet, wobei die Überlebensfähigkeit der verwendeten Probe auf wenige Stunden begrenzt ist.

3.1.2 Aufbau der derzeitigen Maschine

Bevor auf den Aufbau der derzeitigen „LAESIO“-Prüfmaschine eingegangen wird, soll zunächst das zur Beschreibung verwendete Koordinatensystem erläutert werden. Zur Beschreibung wird ein kartesisches Koordinatensystem verwendet, das anstatt der gebräuchlichen Bezeichnungen x , y , z für die Koordinatenrichtungen nun die Buchstaben z , r und θ nutzt. Diese Indizierung wird normalerweise bei Zylinderkoordinatensystemen verwendet und erschwert zunächst das Verständnis. Dieses mit neuen Achsbezeichnungen versehene Koordinatensystem ist in diesem Fall so ausgerichtet, dass die z - bzw. θ -Achse in der Probenebene liegen, während die r -Achse normal aus der Probenebene herauszeigt.

Grundsätzlich besteht die derzeitige Prüfmaschine aus folgenden Einheiten:

- BIAX-Einheit
- TAU-Einheit
- Maschinenrahmen mit Schutzgehäuse
- SPS-Einheit
- Tragevorrichtung
- Videoextensiometer

3.1.2.1 BIAX-Einheit

Die Aufgabe der BIAX-Einheit (engl. „biaxial extension unit“) besteht darin, das abgewickelte Blutgefäß entlang der z und θ -Achse zu belasten. In der Mitte der BIAX-Einheit befindet sich das abgewickelte Blutgefäß, an dessen vier Seitenkanten jeweils vier Haken appliziert sind. Jeder dieser Haken ist über Nähfäden mit je einem der vier Haltearme verbunden. Je zwei Haltearme befinden sich in der z -Richtung bzw. je zwei Haltearme befinden sich in der θ -Richtung (siehe Abbildung 8, 9). Weiters ist jeder dieser vier Haltearme über eine Schraubverbindung mit einer Kraftmessdose verbunden, die wiederum auf einem der vier Präzisionslineartische befestigt ist (siehe Abbildung 10, 11). Diese Präzisionslineartische werden über Spindeltriebe und Schrittmotoren bewegt und können einzeln verfahren werden. Zusätzlich sind die Schrittmotoren mit Handrädern versehen, um manuell die Haltearme translatorisch verfahren zu können. Die Messung der Probenverformung erfolgt über ein Videoextensiometer, das sich unterhalb des Beckens befindet und durch ein Durchsichtfenster im Becken die Verformung aufnimmt (Siehe Abbildung 12, 13). Da nicht alle Proben mit speziellen Markern markiert werden können, die für die Feststellung der Verformung mit einer VE-Kamera notwendig sind, kann die Verformung auch über die Verfahrwege der Schrittmotore bestimmt werden. Aus den Daten der Kraftmessdosen und der gemessenen Verformung kann später das Spannungs-Streckungsverhalten der Probe aufgenommen werden.

Während der gesamten Messung befindet sich das abgewickelte Blutgefäß in einem Becken mit phosphatgepufferter Salzlösung, die die Lebensdauer des Blutgefäßes verlängert. Mit Hilfe eines schlangenförmig ausgeführten Wärmetauschers im Becken wird die Salzlösung auf 37°C erwärmt. Gleichzeitig wird mit Hilfe eines Infusomaten ständig neue Salzlösung nachgeliefert, um verdampfte Salzlösung zu ersetzen.

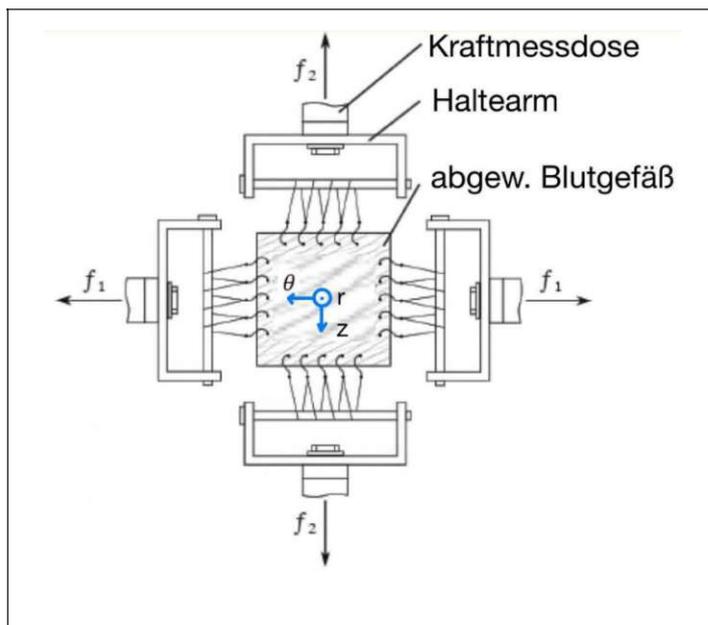


Abbildung 8: Das abgerollte Blutgefäß wird über Haken und Nähfäden mit den Haltearmen verbunden (Nothdurfter 2020, S. 7).

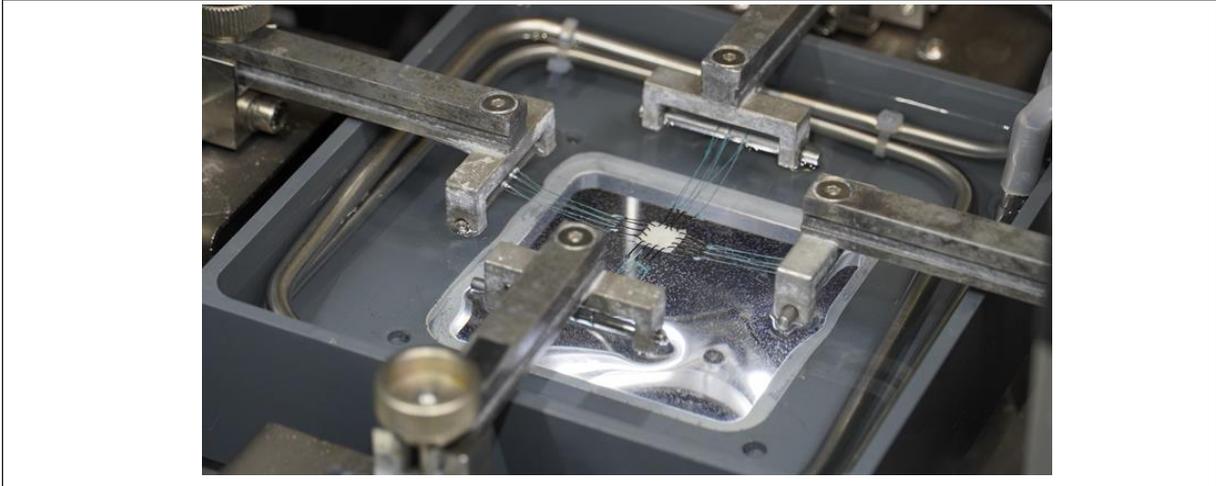


Abbildung 9: Das abgerollte Blutgefäß befindet sich in einer Nährstofflösung. Gut sichtbar ist der schlangenförmige Wärmetauscher.

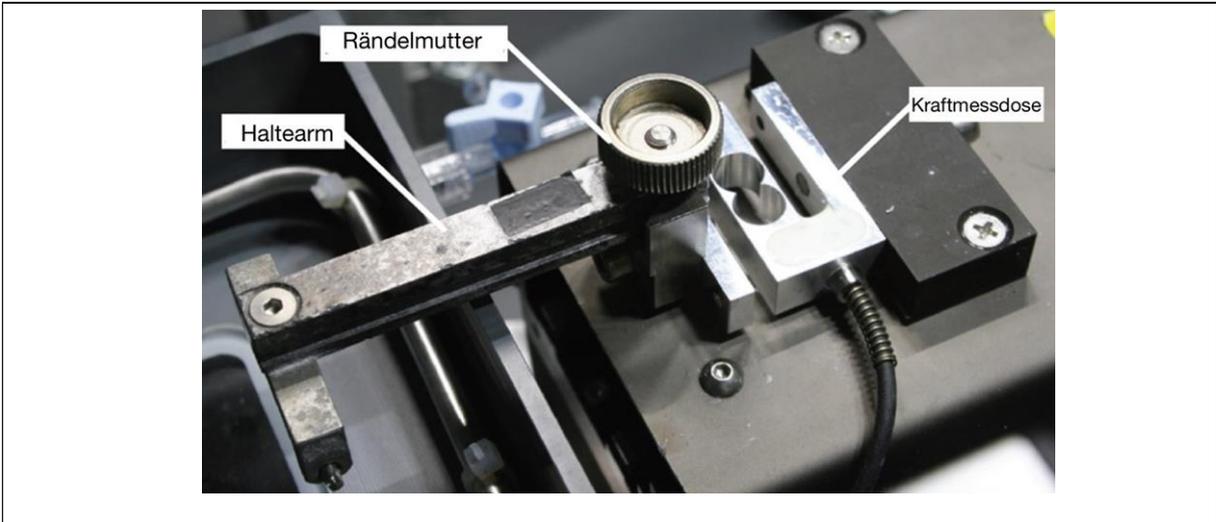


Abbildung 10: Der Haltearm wird über eine kraftschlüssige Verbindung mit der Kraftmessdose verbunden.

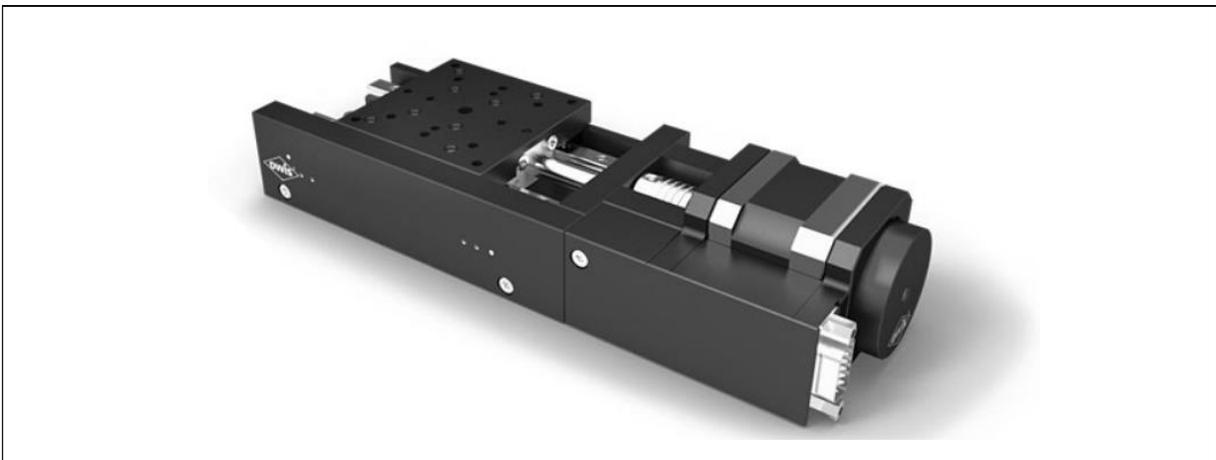


Abbildung 11: Präzisionslineartisch mit eingebautem Schrittmotor und Handrad (OWIS GmbH 2017)

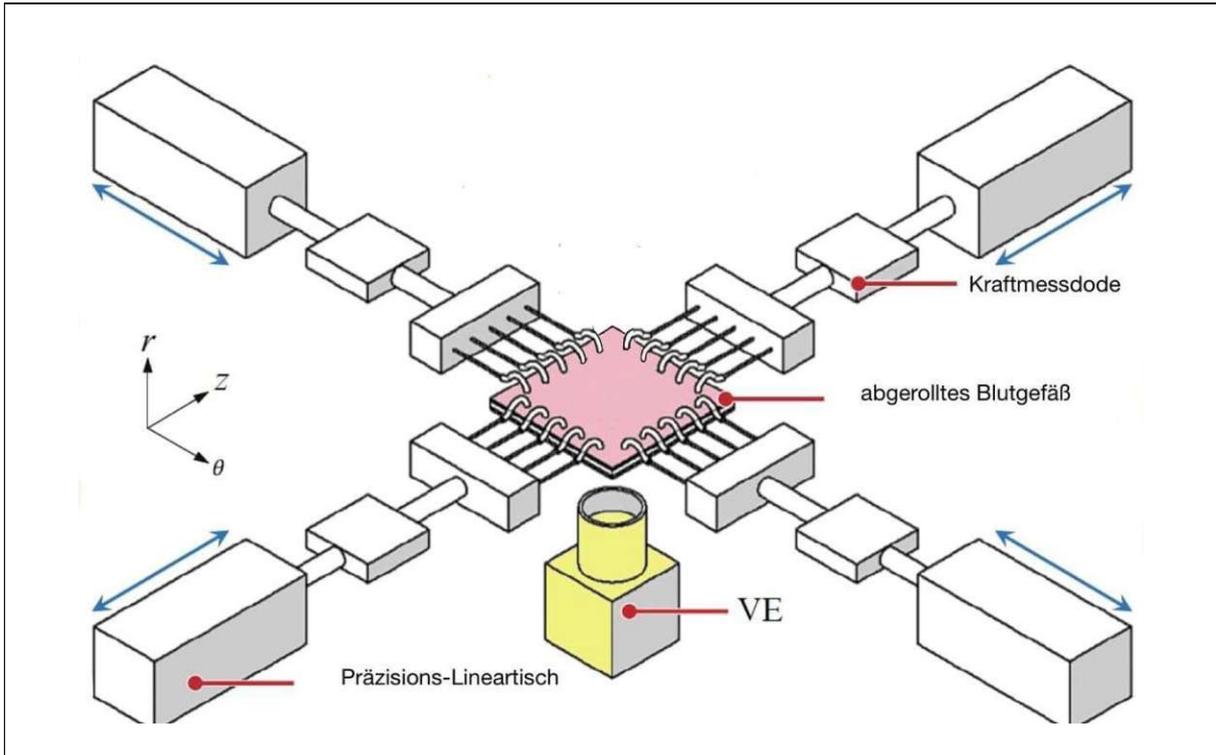


Abbildung 12: Schematischer Aufbau der BIAx-Einheit. Das Becken mit dem Wärmetauscher, der Infusomat sowie die Behälter für die phosphatgepufferte Salzlösung und Formaldehyd fehlen (Nothdurfter 2020, S. 12).

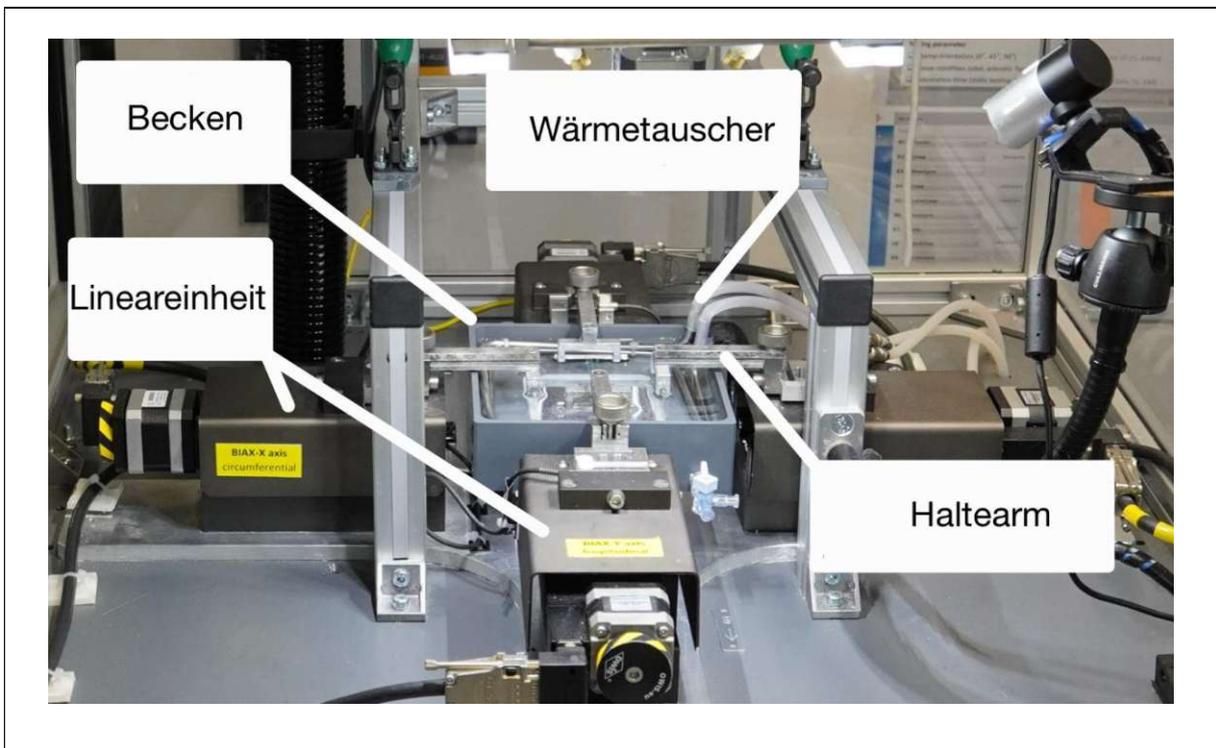


Abbildung 13: Gesamtansicht der BIAx-Einheit. Der Infusomat und die Tanks zur Aufnahme der phosphatgepufferten Salzlösung bzw. des Formaldehyds fehlen.

3.1.3 TAU-Einheit

Die Aufgabe der TAU-Einheit (engl. „triple axis-unit“) besteht darin, das abgewickelte Blutgefäß entlang der r-Achse zu belasten. Die TAU-Einheit besteht aus einem 3-Achs Kraftsensor (engl. „three component force sensor“), einem meisselförmigen Stempel mit Stempelaufnahme, zwei Laserpositionsdioden und drei Linearmotoren mit jeweils zugehörigem Linearencoder zur Wegmessung. Weiters beinhaltet die TAU-Einheit einen Rahmen zur Aufnahme der Linearmotoren und mehrerer Führungsschienen. Die Linearmotoren sind zueinander orthogonal angeordnet (siehe Abbildung 19). Sobald die TAU-Einheit sich in Betriebsstellung über dem Becken befindet, kann der Stempel verschiedene Positionen innerhalb des Beckens anfahren. In ihrem Aufbau ähnelt die TAU-Einheit einem Portalroboter. Der Portalarm besteht aus dem Stempel, der Stempelaufnahme, der Kraftmessdose und zwei Führungsschienen. Die beiden Führungsschienen tragen die Stempelaufnahme mit dem Stempel und verbinden diese mit dem Portalschlitten. Am Portalschlitten bildet eine dieser Führungsschienen gleichzeitig den Läufer eines Linearmotors, während die zweite Führungsschiene in einer Führungsbuchse gelagert ist. Über den Linearmotor lässt sich die Stempelaufnahme mit dem Stempel vertikal verfahren. Der Portalschlitten, der den Portalarm trägt, lässt sich über zwei weitere Linearmotoren in der z- und θ -Richtung verfahren (siehe Abbildung 18). Zusätzlich sind oberhalb der Kraftmessdose zwei Laserdioden angebracht, die mit ihren kreuzenden Laserstrahlen die Stempelspitze beleuchten (siehe Abbildung 17). Damit soll beim Heranfahren des Stempels an die Probe die genaue Positionierung des Stempels erleichtert werden.

Der Stempel besteht aus einem zylindrischen, würfelförmigen und keilförmigen Abschnitt. Der keilförmige Abschnitt schließt mit einer Klinge ab. Diese Klinge ist rechteckig ausgeführt und imitiert einen Stent-Strut. Dieses Rechtecks hat eine Länge von 3mm und eine Breite von 80 μ m (siehe Abbildung 14, 15, 16).

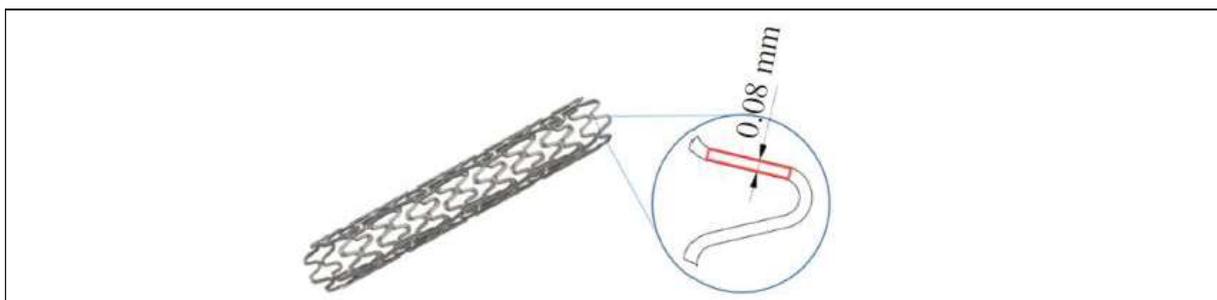
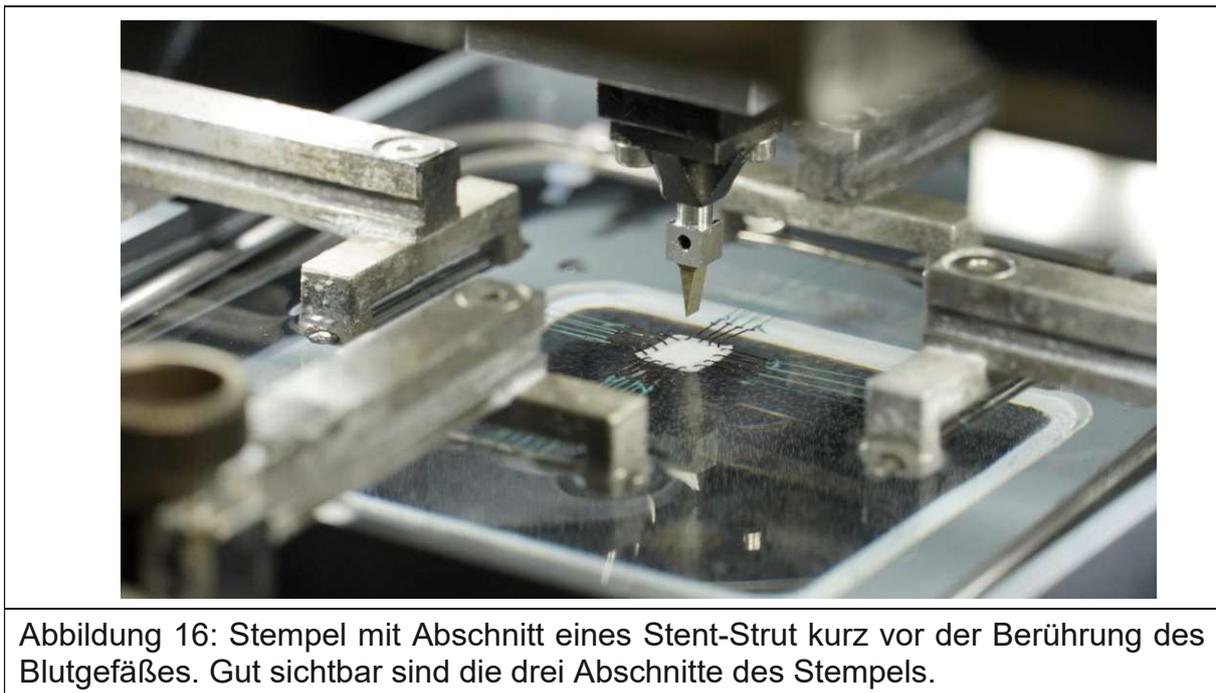
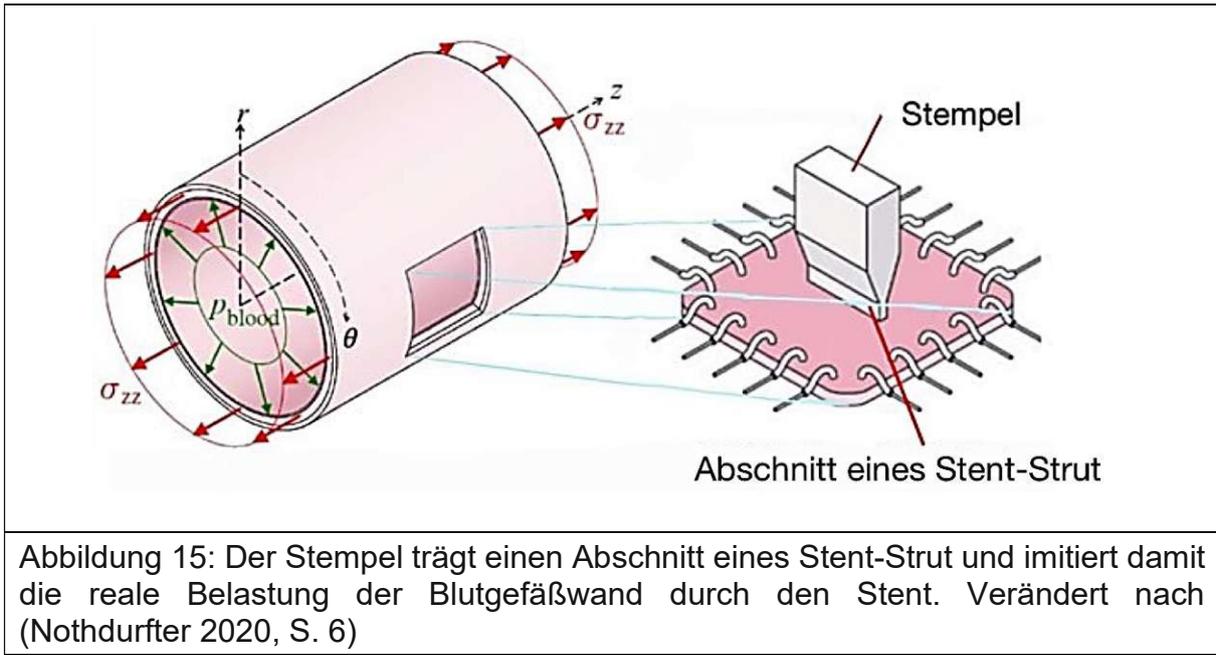


Abbildung 14: Darstellung eines Stent-Strut, der durch eine rechteckige Stempelspitze imitiert wird (Nothdurfter 2020, S. 13).



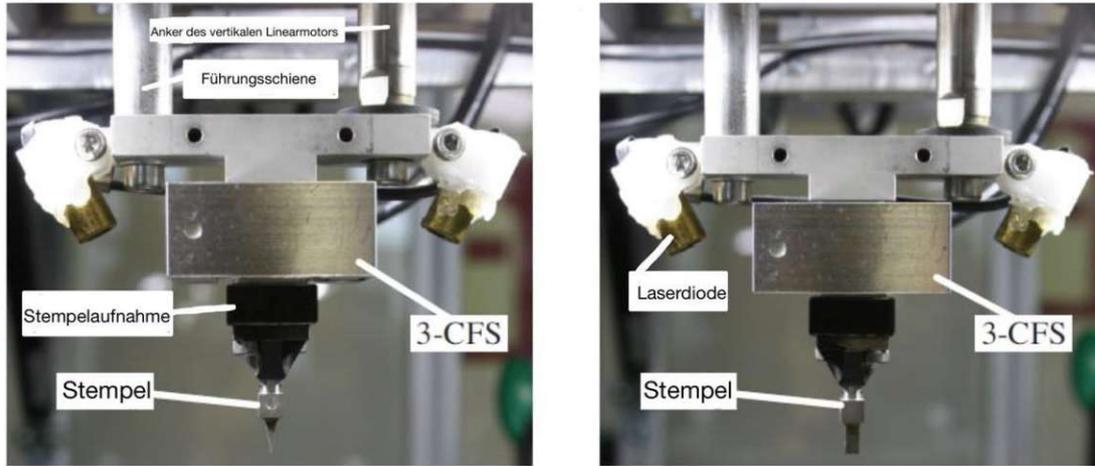


Abbildung 17: Darstellung des Portalarms bestehend aus zwei Führungsschienen, der Dreiachskraftmessdose (engl. „three component force sensor“ oder „3-CFS“), der Stempelaufnahme, dem Stempels und den Laserpositionsdioden (Nothdurfter 2020, S. 13).

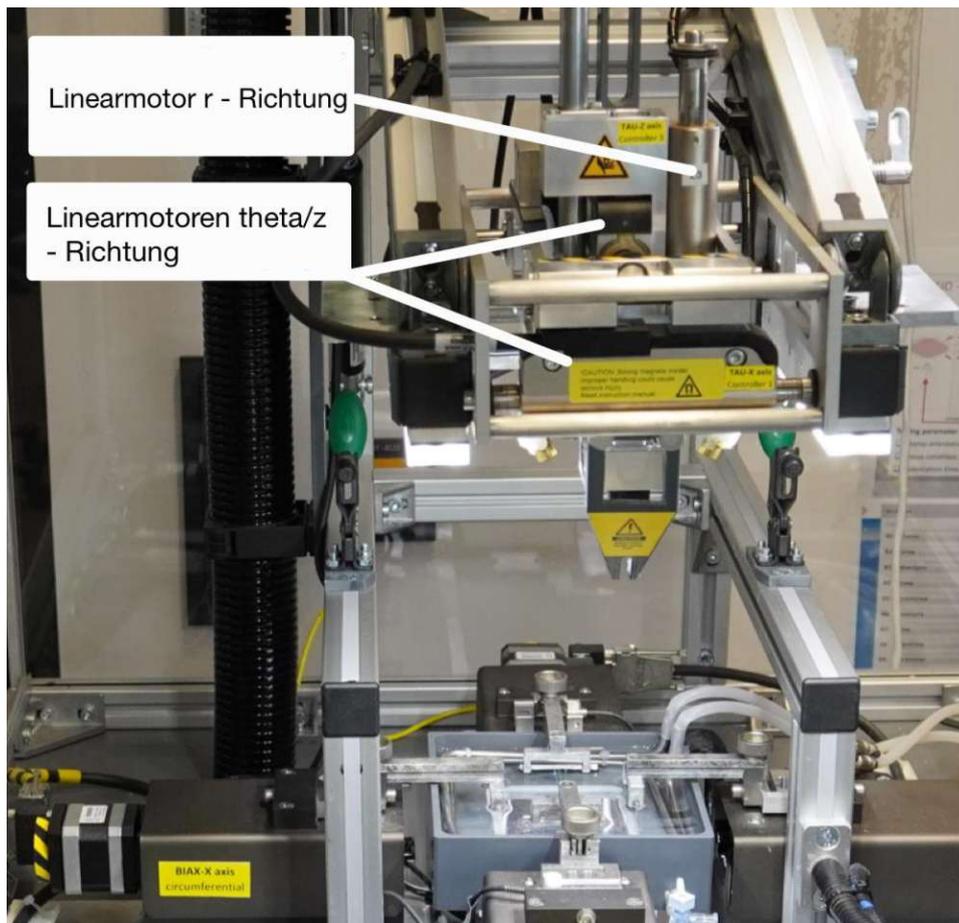


Abbildung 18: Aufbau der TAU-Einheit in der derzeitigen „LAESIO“-Prüfmaschine. Gut sichtbar sind innerhalb des Käfigs die Linearmotoren zum Verfahren des Stempels im Raum.

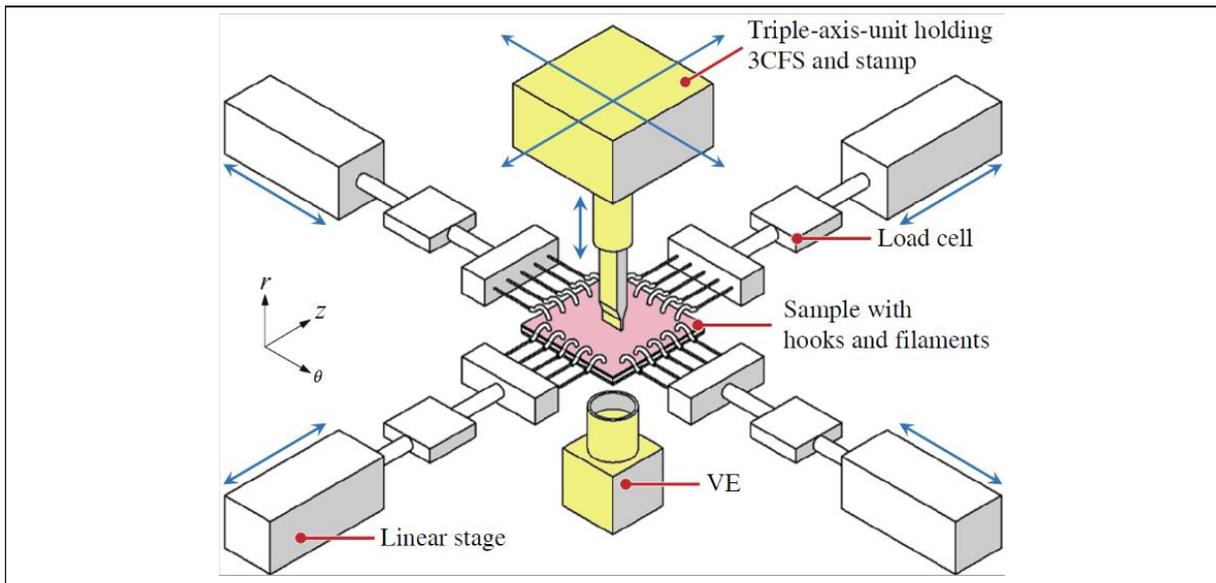


Abbildung 19: Vereinfachte Darstellung der BIAX- und TAU-Einheit. Die BIAX-Einheit verformt das abgerollte Blutgefäß in z- und θ -Richtung. Die TAU-Einheit verformt das Blutgefäß in r-Richtung und nimmt dabei über die Kraftmessdose die wirkenden Kräfte auf (Nothdurfter 2020, S. 12).

3.1.4 Maschinenrahmen mit Schutzgehäuse

Der Maschinenrahmen hat Kastenform und besteht aus vier vertikalen Streben, die über mehrere horizontale Streben miteinander verbunden sind. Auf halber Höhe des Rahmens ist eine Kunststoffplatte eingezogen, die den Maschinenrahmen in zwei Hälften teilt. Diese Kunststoffplatte besitzt mittig eine Öffnung und trägt das Becken, die BIAX-Einheit und ein Podest zum Abstützen der TAU-Einheit. Die obere Hälfte des Maschinenrahmens bildet die Einfassung für transparente Acrylglasplatten und trennt damit die BIAX- und TAU-Einheit von der Umgebung ab. Zur leichteren Zugänglichkeit sind die Seitenwände der Einhausung an drei Seiten ausklappbar. An der Oberseite der Einhausung befindet sich eine Öffnung zum Anschluss einer Absaugvorrichtung. Damit werden aus dem Becken aufsteigende Formaldehyddämpfe abgezogen. Weiters sind am Rahmen vier Anlenkpunkte vorgesehen, die als Gelenke für eine Parallelverschiebung dienen. Mit Hilfe dieser Parallelverschiebung lässt sich die TAU-Einheit aus der unteren Endstellung (Betriebsstellung) entlang einer Kreisbahn nach oben wegklappen (Siehe Abbildung 21). Über eine Gasdruckfeder wird die Abwärtsbewegung der Parallelverschiebung gedämpft bzw. die Aufwärtsbewegung unterstützt. Sowohl die Parallelverschiebung als auch der Maschinenrahmen besteht aus Konstruktionsprofilen. Während des Betriebes ruht die TAU-Einheit auf einem Podest bestehend aus zwei Portalen und kann dort über zwei Kippklemmen

festgeklemmt werden. In der unteren Hälfte des Maschinenrahmens befindet sich eine Industriekamera. Diese ist auf einem Kugelgelenk befestigt und kann zusätzlich in drei Raumrichtungen über Linearachsen verschoben werden (siehe Abbildung 22). Die Kamera blickt durch die kreisförmige Öffnung in der Kunststoffplatte und ein Glasfenster im Becken auf die Probe. Im unteren nicht verglasten Teil des Maschinenrahmens befindet sich die elektrische Ausrüstung zur Steuerung bzw. Regelung des Prüfstands (Siehe Abbildung 20).

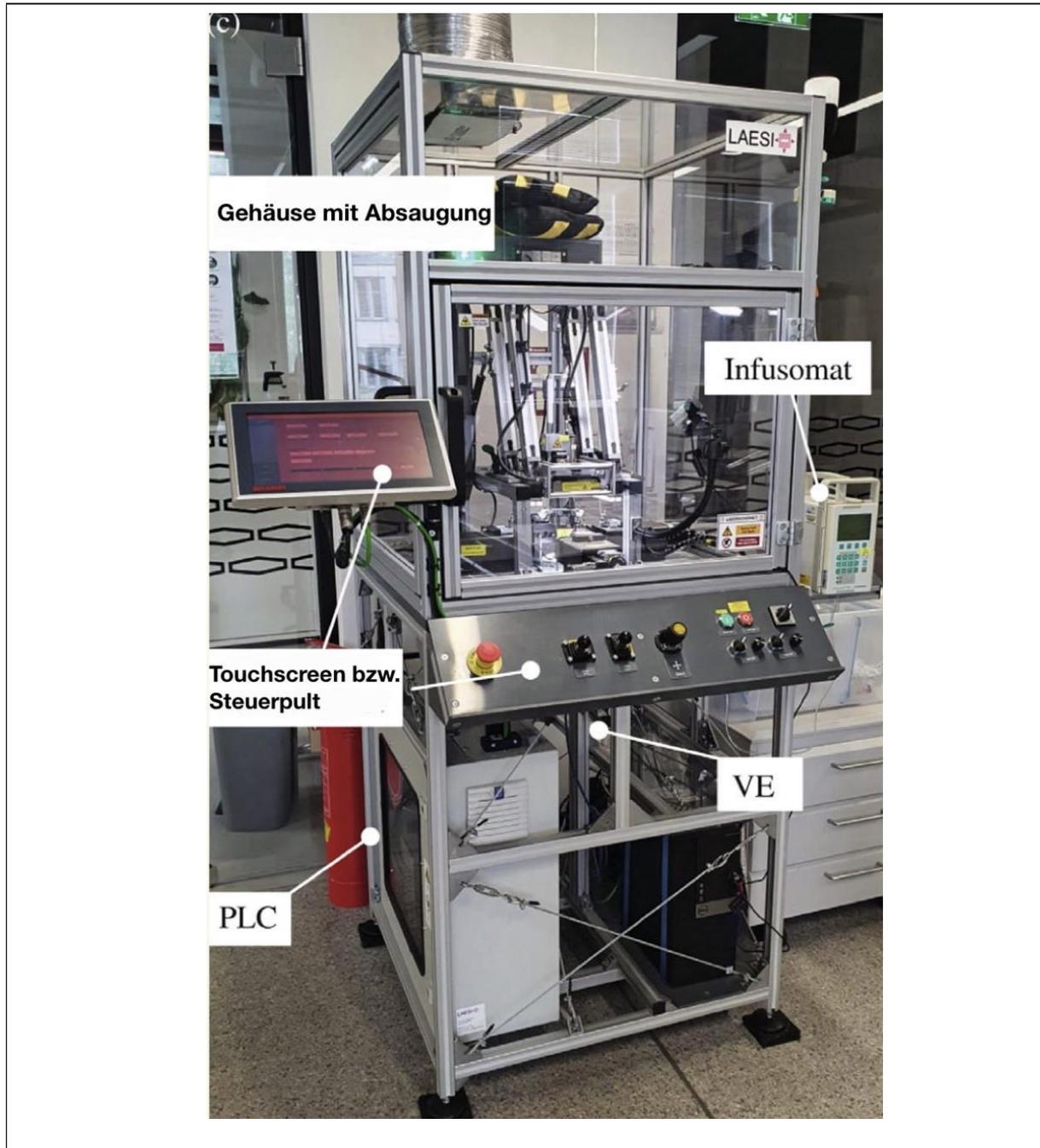


Abbildung 20: Ansicht des aus Konstruktionsprofilen bestehenden Maschinenrahmens. Der obere Teil des Prüfstands ist durch transparente Acrylglasplatten eingehaust (Geith et al. 2020, S. 289).

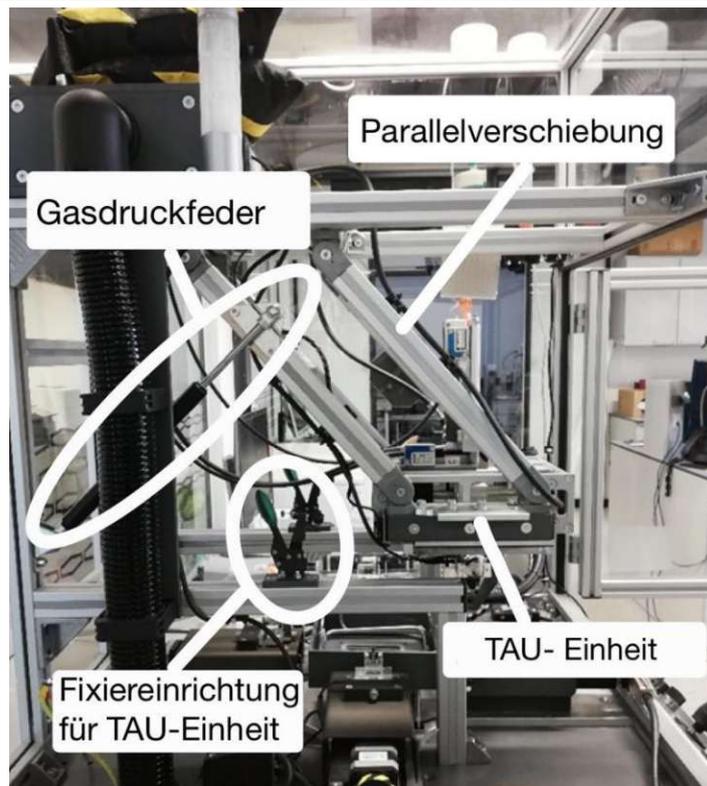


Abbildung 21: Ansicht des Maschinenrahmens mit der Parallelverschiebung. Gut sichtbar sind die zwei Kippklappen zur Fixierung der TAU-Einheit und die Gasdruckfeder, die zur Dämpfung bzw. Unterstützung der Parallelverschiebung dient.



Abbildung 22: Ansicht der Industriekamera mit zugehörigem Kugelgelenk und Kreuztisch

3.1.5 SPS-Einheit

Der derzeitige „LAESIO“-Prüfstand verfügt über eine SPS-Einheit (Speicherprogrammierbare Steuerung). Über diese wird sowohl die BIAX- als auch die TAU-Einheit gesteuert (siehe Abbildung 23). Zusätzlich existieren als Eingabegeräte ein Touch-Panel sowie ein Steuerpult. Mit Hilfe eines Joysticks am Steuerpult lässt sich der Stempel auf der Probe positionieren. Darüber hinaus werden über die SPS-Einheit die Kraftmessdosens ausgelesen bzw. bildet diese die Schnittstelle zu einem externen Rechner zur Auswertung der Messergebnisse (Geith et al. 2020, S. 290).

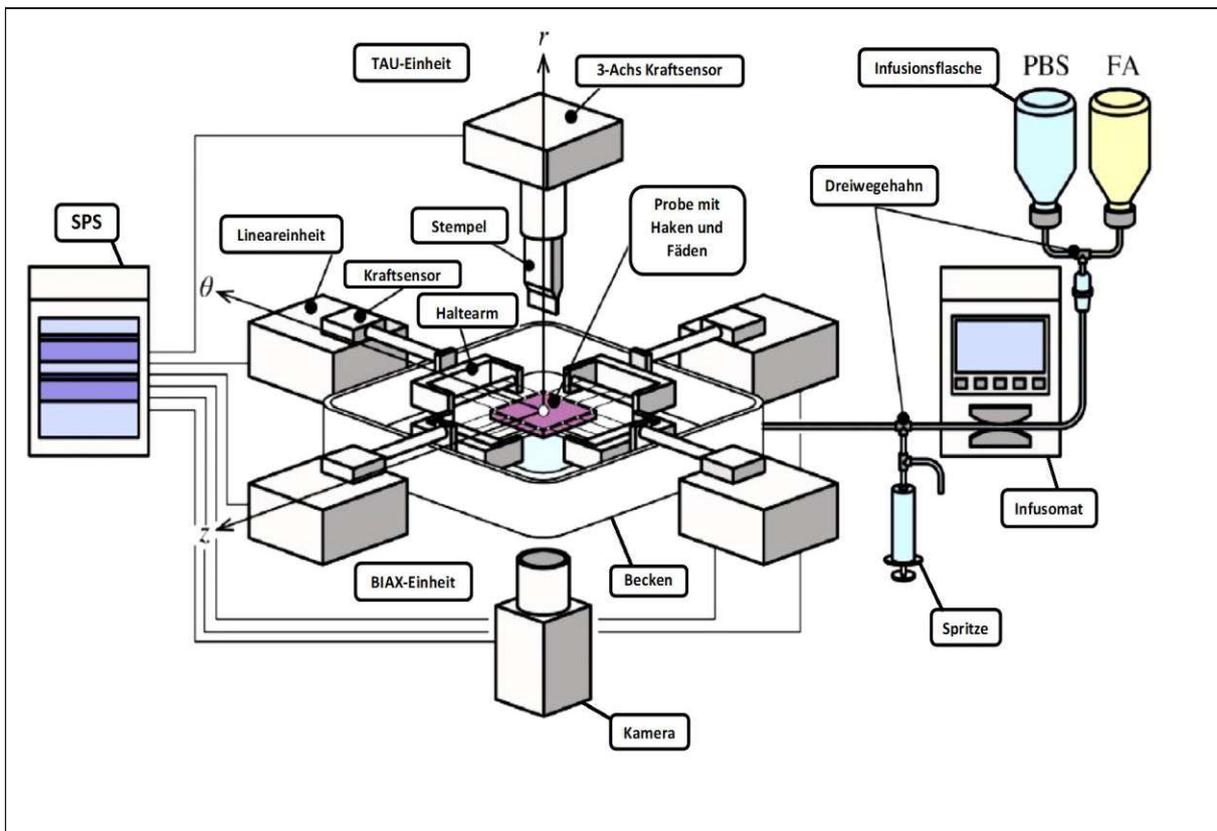


Abbildung 23: Schema des Prüfstands mit elektrischer Ausrüstung. Mit Hilfe des Infusomaten wird die Salzlösung bzw. das Formaldehyd im Becken dosiert (Geith et al. 2020, S. 289).

3.1.6 Videoextensiomter

Das Videoextensiomter besteht aus einer Industriekamera mit Abstandsringen und zugehörigem Objektiv. Mit Hilfe einer Software werden damit die Verschiebungen von Markern (markierte Punkte) auf der Probe nachverfolgt. Damit lassen sich im Weiteren die Verformungen bzw. die Streckungen bestimmen. Die Genauigkeit dieses Messsystems beträgt $\pm 15\mu\text{m}$ (Nothdurfter 2020, S. 11).

3.1.7 Tragevorrichtung mit Untergestell

Bevor die mechanischen Eigenschaften der Probe mit der Prüfmaschine erfasst werden können, muss diese entsprechend vorbereitet werden. D. h. das Blutgefäß muss an den vier Seitenkanten über Haken und Nähfäden mit den vier Haltearmen der BIAX-Einheit verbunden werden. Um das Verbinden der Haken mit den Haltearmen zu erleichtern, existiert eine Tragevorrichtung. Diese Tragevorrichtung hält während des Verbindens die Haltearme in der richtigen Position fest. Darüber hinaus erleichtert die Tragevorrichtung den Transport und den Einbau der Probe in die Prüfmaschine.

Da die Tragevorrichtung durch ihren Aufbau sehr unförmig ist, gibt es zusätzlich ein eigenes Untergestell zur Aufnahme der Tragevorrichtung. Dieses Untergestell trägt die die Tragevorrichtung während des Verbindens des Blutgefäßes mit den Haltearmen (siehe Abbildung 24, 25).

Die Tragevorrichtung selbst besteht aus vier translatorisch verschieblichen Kunststoffplatten, die jeweils die Form eines gleichschenkeligen Trapezes besitzen. Die Schenkel jedes „Kunststoff“-Trapezes schließen mit der Grundseite des Trapezes einen Winkel von 135° bzw. 45° ein. Je zwei dieser vier „Kunststoff“-Trapeze sind parallel zueinander angeordnet und bilden gemeinsam die Form eines Vierecks, das ähnlich zu einem Bilderrahmen, die Probe umgibt (siehe Abbildung 26). Zum Einbau der Haltearme werden diese „Kunststoff“-Trapeze über einen Mechanismus nach außen bewegt, sodass sich zwischen den Schenkeln zweier benachbarter Trapeze ein Spalt ergibt. In diesem Spalt werden die Haltearme eingeschoben. Zur besseren Führung der Haltearme sind deren Berührungsflächen mit jeweils einer Nut versehen. Die Schenkel der „Kunststoff“-Trapeze besitzen das inverse Profil der Haltearmnut. Durch diese Ausführung der Haltearme bzw. der Trapeze, können sich die Haltearme ähnlich zu Schlitten in Gleitführungen axial bewegen. Durch Verringerung des Spaltabstands zwischen den Berührflächen der Haltearme und der „Kunststoff“-Trapeze lässt sich die axiale Beweglichkeit der Haltearme hemmen.

Zum Lösen der kraftschlüssigen Verbindung zwischen den Haltearmen und den Trapezschenkeln werden die trapezförmigen Kunststoffplatten wieder nach außen bewegt.

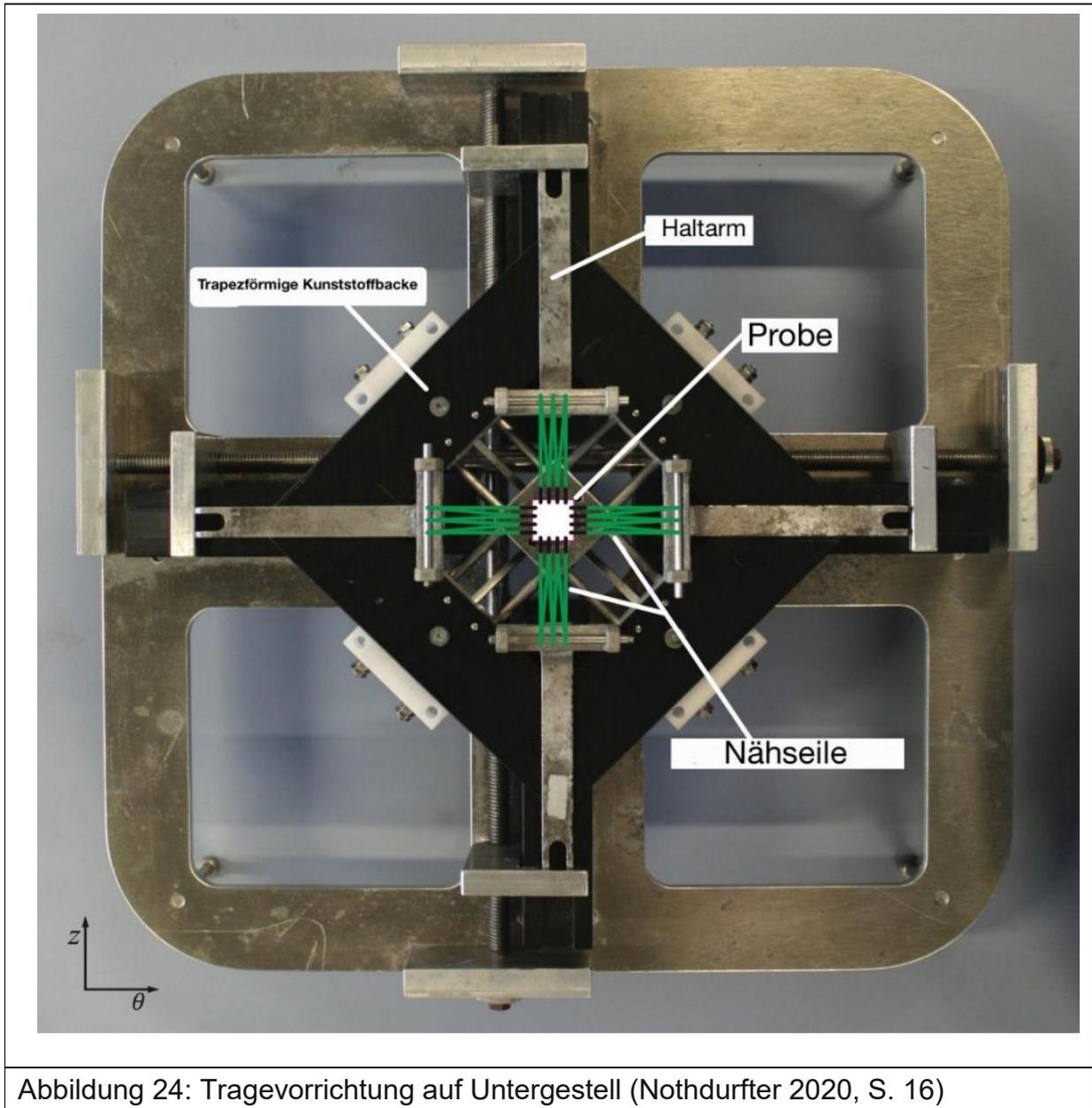


Abbildung 24: Tragevorrichtung auf Untergestell (Nothdurfter 2020, S. 16)

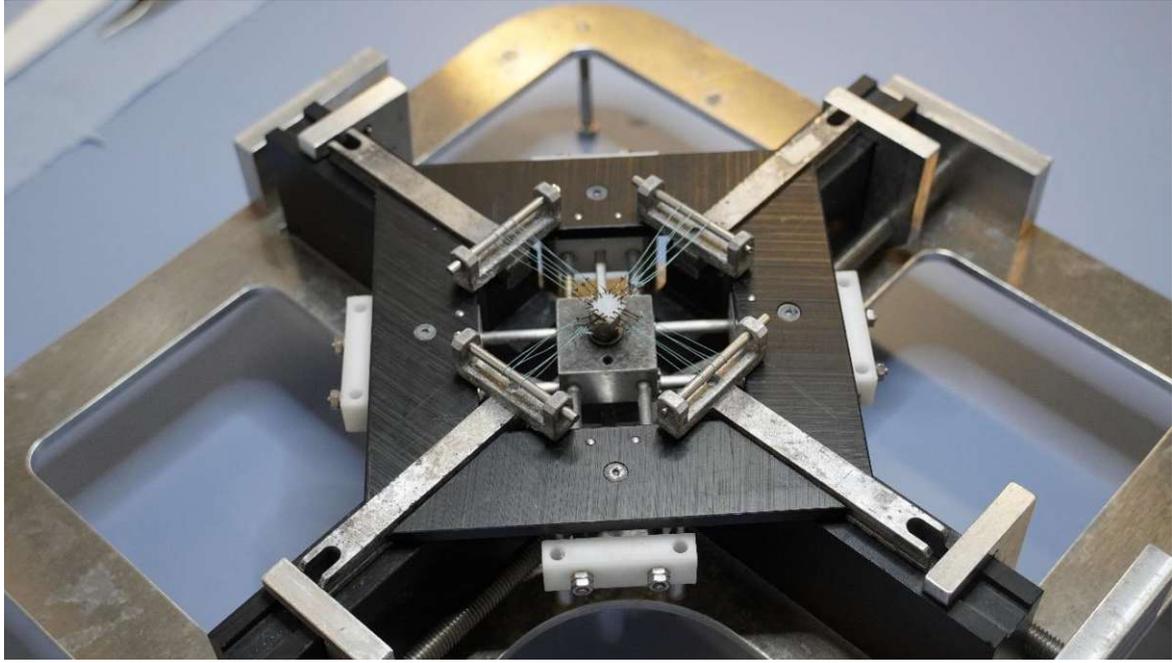


Abbildung 25: Tragevorrichtung auf Untergestell mit eingebauter Probe

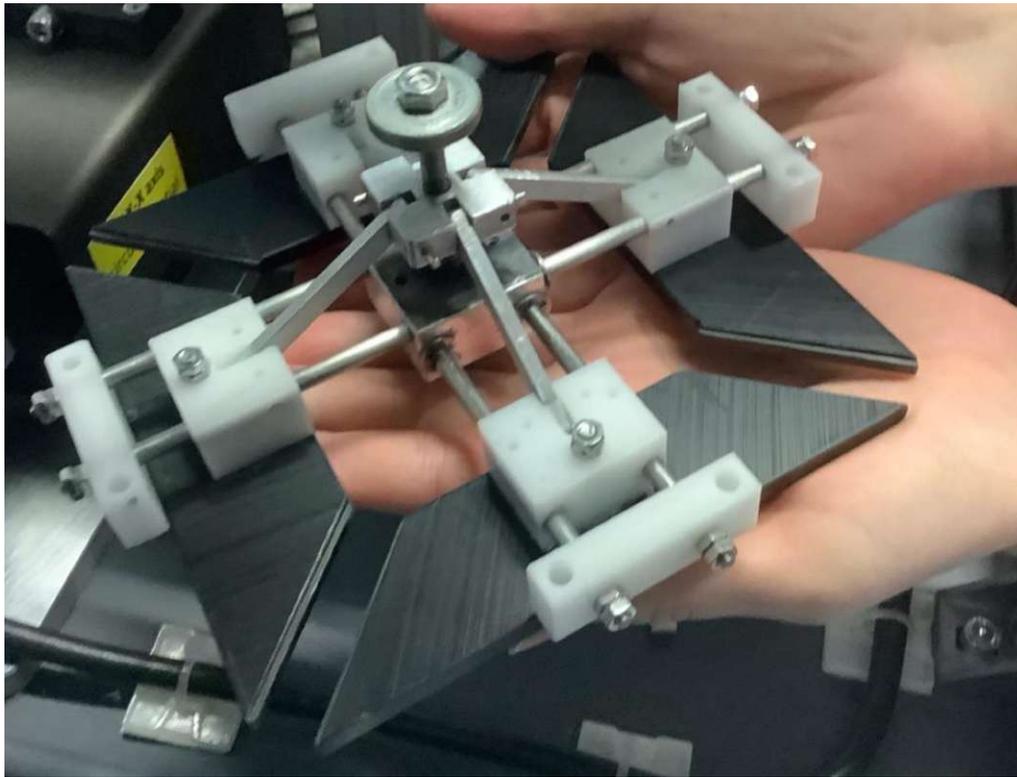


Abbildung 26: Rückansicht der Tragevorrichtung. Gut sichtbar ist der Mechanismus zum Verklemmen der Haltearme durch Verdrehen der Rändelmutter.

3.2 Prüfvorgang

Nach der Beschreibung der Komponenten der derzeitigen „LAESIO“-Prüfmaschine soll nun auf den Betrieb bzw. den Prüfvorgang eingegangen werden. Wie im vorigen Abschnitt bereits erwähnt, werden mit der momentanen Prüfmaschine nur solche mechanische und morphologische Schädigungen der Blutgefäßwand quantifiziert, die unmittelbar beim Einbau des Stents entstehen. Dies bedeutet Schadensmechanismen, wie sie bei der Restenose auftreten, werden derzeit nicht gemessen.

Als Probenkörper werden in der momentanen „LAESIO“-Prüfmaschine Herzkranzgefäße von Schweinen verwendet. Zu diesem Zweck wird vom Herz die rechte Coronararterie (Länge ungefähr 100mm) heruntergelöst und von Fett und Muskelgewebe befreit. Danach wird das Blutgefäß in mehrere 15mm lange Abschnitte zerteilt, die längsseitig aufgeschnitten werden. Im Anschluss werden aus jedem dieser Abschnitte jeweils ein quadratisches Probenstück mit ungefähr 9x9mm Kantenlänge ausgeschnitten (siehe Abbildung 28). Beim Ausschneiden ist darauf zu achten, dass möglichst keine Verästelungen in der quadratischen Probe vorkommen. Um im ausgeschnittenen Zustand die ursprüngliche Orientierung des Gewebes in Längs- und Umfangsrichtung des Blutgefäßes kenntlich zu machen, wird dieses mit entsprechenden Markierungen versehen (Nothdurfter 2020, S. 11). Neben den Markierungen für die ursprüngliche Orientierung der Probe werden noch zusätzlich punktförmige Markierungen auf dem Blutgefäßstück angebracht, diese dienen dazu, die Verformung des Blutgefäßstücks über das optische Messsystem nachverfolgbar zu machen (siehe Abbildung 27).

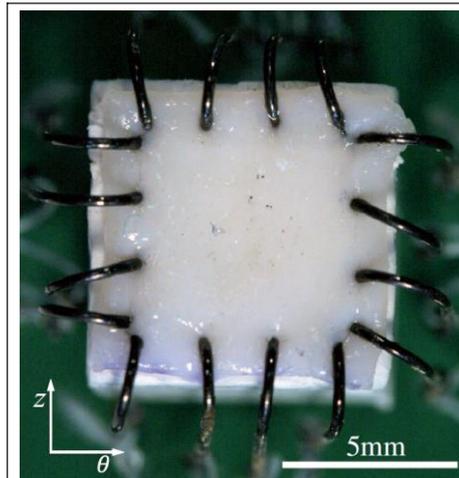


Abbildung 27: Ansicht der mit Haken versehenen Probe. Gut zu erkennen ist die farbliche Markierung am unteren Rand zum Erkennen der ursprünglichen Orientierung im Blutgefäß. Weiters sind die Markierungspunkte für die Bildverarbeitung sichtbar (Nothdurfter 2020, S. 15).

Der Blutgefäßausschnitt wird an seinen vier Seitenkanten mit jeweils vier Fischerhaken versehen. Die vier Fischerhaken jeder Seite werden auf je einem Nähfaden aufgefädelt

und die beiden äußersten davon damit verknötet. Durch diese Vorgangsweise wird die gleiche Kraft an jedem Haken sichergestellt. Der Nähfaden zwischen den einzelnen Haken wird zu drei Schleifen gelegt, die auf dem Querbolzen des Haltearms aufgefädelt werden (siehe Abbildung 29).

Nach den oben genannten Vorbereitungsschritten wird das Blutgefäßstück samt Haltearmen mit Hilfe der Tragevorrichtung zum Prüfstand gebracht. Die Haltearme sind an ihren Enden mit Nuten versehen. Durch diese werden sie an den Haltearmaufnahmen der Kraftmessdosen der BIAX-Einheit festgeschraubt. Anschließend wird das Becken mit 37°C warmen Salzlösung befüllt.

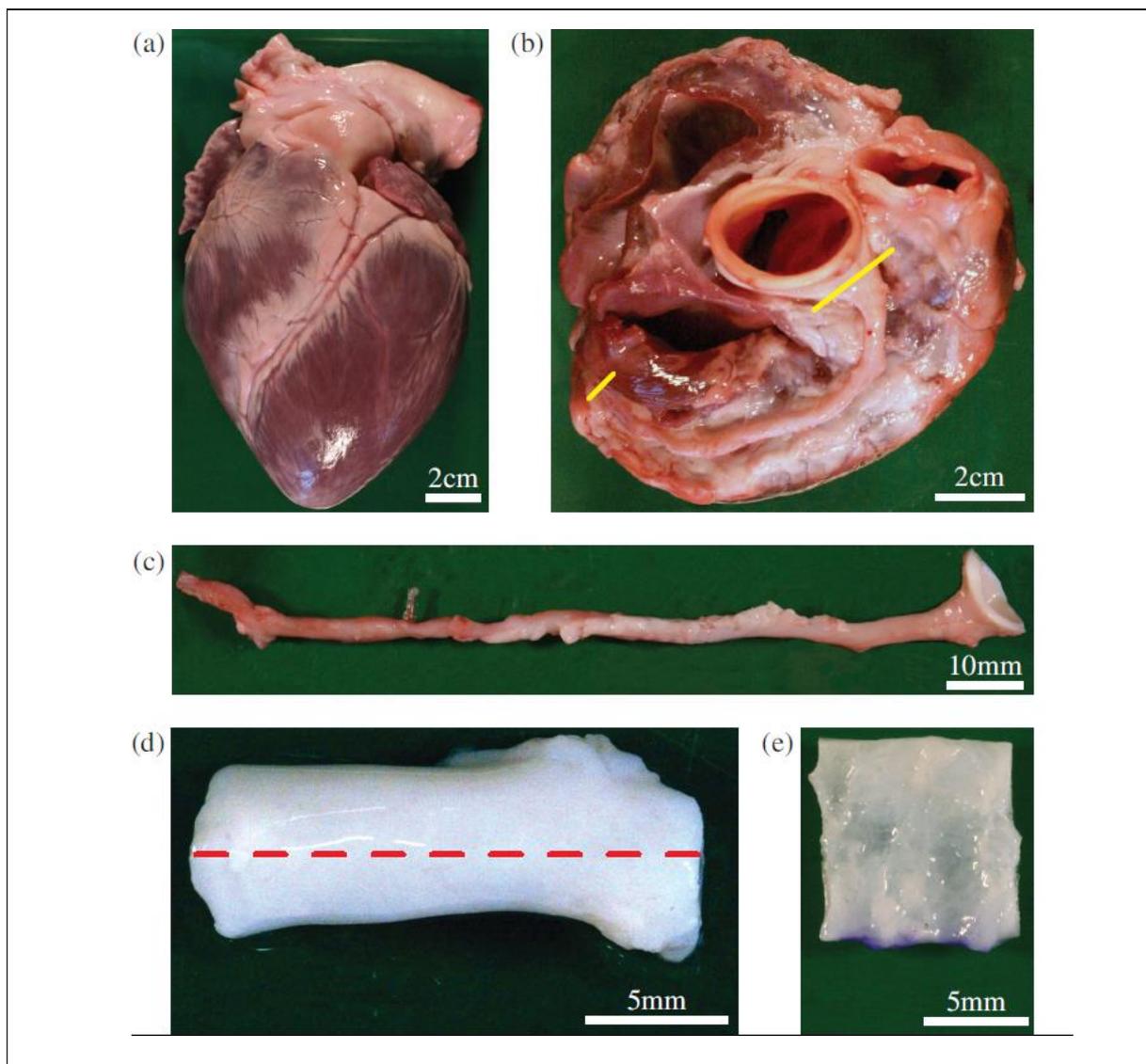


Abbildung 28: (a) Ansicht eines unberührten Schweineherzens, (b) Ansicht der rechten Coronararterie am Herzen (Die gelben Markierung bezeichnen den Anfang und das Ende dieser), (c) Herausgelöste Arterie, (d) 15mm langes Stück einer Arterie, (e) Probenstück mit violetter Marker (Nothdurfter 2020, S. 10)

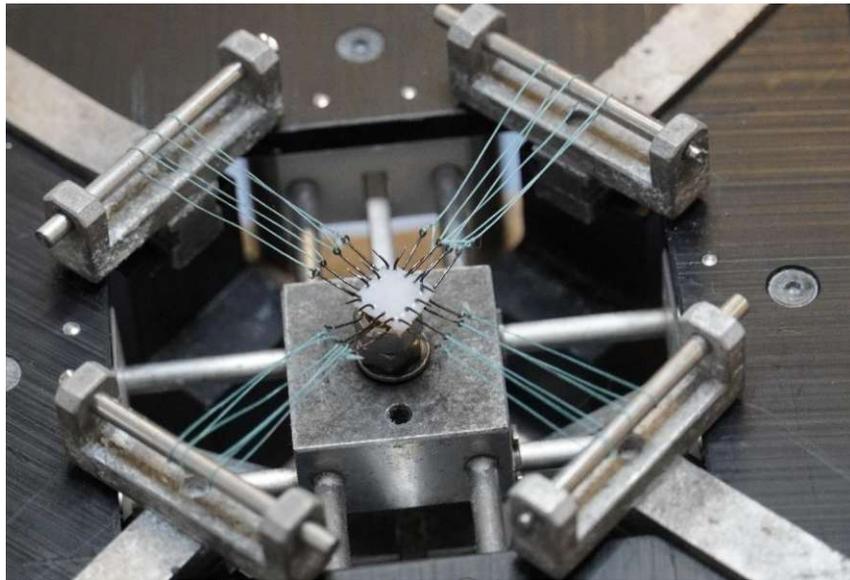


Abbildung 29: Befestigung des Probenstücks an den Haltearmen. Die beiden äußersten Haken sind mit dem Nähfaden verknüpft, während die inneren Haken am Nähfaden aufgefädelt sind.

An der derzeitigen „LAESIO“-Prüfmaschine wird ein Eindrücktest (engl. „indentation test“) durchgeführt. Der Eindrücktest besteht aus folgenden Phasen (Geith et al. 2020, S. 291):

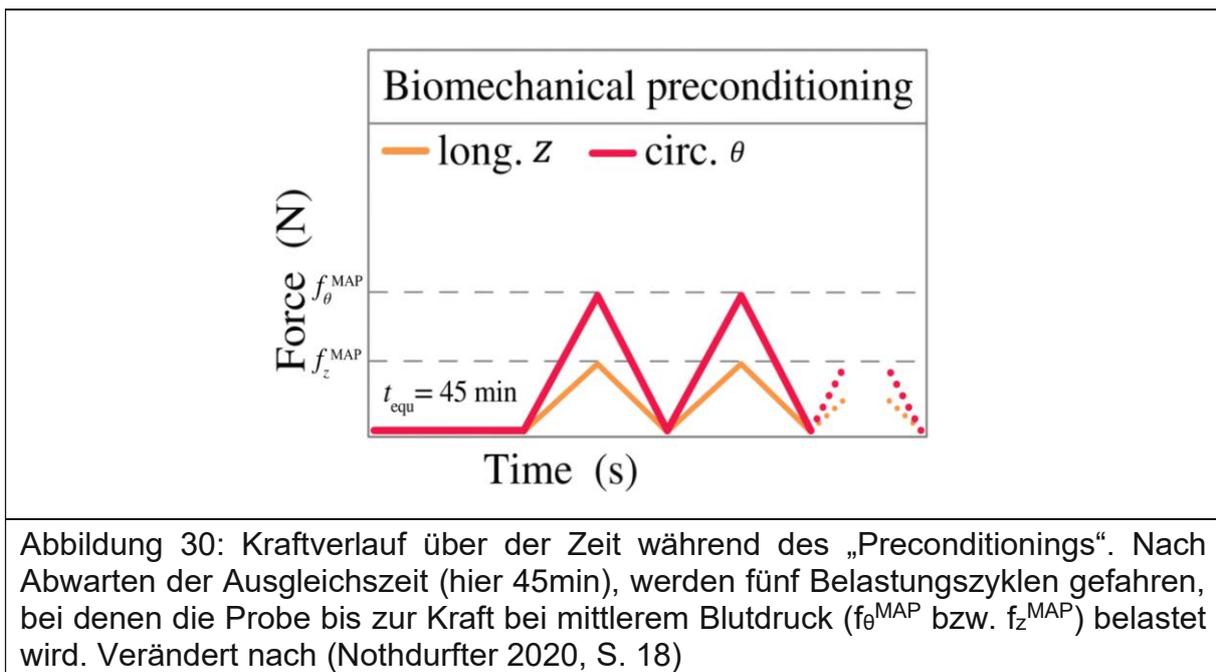
- Ausgleichsphase (engl. „Equilibrium“)
- Vorkonditionieren (engl. „Preconditioning“)
- Erste Messreihe (engl. „Measurement Series I“)
- Stempleindrückvorgang (engl. „Stamp Indentation“)
- Zweite Messreihe (engl. „Measurement Series II“)

3.2.1.1 Ausgleichsphase

Die Ausgleichsphase (engl. „Equilibrium“) hat das Ziel das biochemische Gleichgewicht in der Probe wieder herzustellen. Dieses ist während der Probengewinnung gestört worden. In dieser Phase rastet die Probe in der Nährstofflösung bei einer Vorspannung von 0,01N (Nothdurfter 2020, S. 17; Geith et al. 2020, S. 290). Die Zeitspanne dieses Vorgangs wird über die Ausgleichszeit t_{equ} beschrieben (Geith et al. 2020, S. 291). Diese biochemische Ausgleichsphase bildet die Basis für die später biomechanische Vorbereitung im „Preconditioning“.

3.2.1.2 Vorkonditionieren

Das Vorkonditionieren (engl. „Preconditioning“) muss vor dem eigentlichen Stempleindrücken durchgeführt werden. Gemeinsam mit dem Eintauchen der Probe für die Zeitdauer der Ausgleichszeit t_{equ} stellt dieser Vorgang einen Prozess dar, mit dem die Wiederholbarkeit der Spannungs- Streckungsbeziehungen sichergestellt wird (Sommer 2020, S. 10). Beim „Preconditioning“ durchläuft die Probe kraftgesteuert fünf Zyklen des Streckens und Entlastens. Die Probe wird dabei von den Linearmotoren der BIAX-Einheit mit einer Verfahrensgeschwindigkeit $v_{\text{BIAx}}=1\text{mm/min}$ soweit gestreckt, bis die in der Probe wirkende Kraft, jener bei mittlerem Blutdruck (engl. „Medium Arterial Pressure“ oder „MAP“) entspricht. Anschließend wird wieder soweit entlastet bis nur mehr die Kraft von $0,01\text{N}$ in den Haltearmen wirkt (siehe Abbildung 30) (Geith et al. 2020, S. 290). In dieser Phase werden die ungerichteten Fasern des Gewebes wieder ausgerichtet, aber keine Messwerte gesammelt.



3.2.2 Erste Messreihe

Um die Änderung der mechanischen Eigenschaften vor und nach dem Eindrücken (Einsetzen des Stents) zu erfassen, müssen die mechanischen Eigenschaften davor und danach bekannt sein. Zu diesem Zweck durchläuft die Probe kraftgesteuert fünf Zyklen des Belastens und Entlastens. Die Probe wird dabei im Zuge des Belastens bis zum mittleren Blutdruck („MAP“) belastet und anschließend bis auf eine Vorspannungskraft von $0,01\text{N}$ entlastet (Geith et al. 2020, S. 290). Über ein

Videoextensiometer und Marker werden die während der Belastung auftretenden Verformungen gemessen und damit die Streckungen bestimmt (Nothdurfter 2020, S. 19).

3.2.3 Stempeleindrückvorgang

Nach dieser ersten Messreihe wird der Stempel der TAU-Einheit mit einer Geschwindigkeit von 1mm/min kraftgeregelt soweit eingedrückt, bis eine Kraft von 2N im Stempel erreicht wird (siehe Abbildung 32). Für die Zeitspanne der Relaxationszeit (t_{relax}), die aus Vortests bekannt ist, wird der Stempel mit konstanter Kraft eingedrückt gehalten (Geith et al. 2020, S. 291). Dies bedeutet, sollte die Kraft im Stempel aufgrund von Relaxationserscheinungen in der Probe abfallen, so wird sofort die Position des Stempels nachgeregelt und dieser drückt tiefer in die Probe ein, um die im Stempel wirkende Kraft wieder auf den Sollwert zu erhöhen. Die Lineareinheiten der BIAX-Einheit verändern während des Eindrückvorgangs ihre Position nicht (Nothdurfter 2020, S. 20).

3.2.4 Zweite Messreihe

Sobald die Relaxationszeit abgelaufen ist, beginnt die zweite Messreihe. Hierbei durchläuft die Probe erneut kraftgeregelt fünf Zyklen der Belastung auf mittleren Blutdruck („MAP“) und nachfolgende Entlastung auf Vorspannkraft (siehe Abbildung 31). Analog zur ersten Messreihe wird auch in der zweiten Messreihe die Streckungen der Probe über das Videoextensiometer erfasst (Nothdurfter 2020, S. 20). Um nun die Änderung der mechanischen Eigenschaften vor und nach dem Einsetzen des Stents zu bestimmen, werden die Werte der gemessenen Spannungen bzw. Streckungen der ersten und zweiten Messreihe miteinander verglichen (siehe Abbildung 33, 34, 35) (Geith et al. 2020, S. 291). Die Daten der ersten Messreihe repräsentieren das gesunde Blutgefäß, während die Daten der zweiten Messreihe das geschädigten Blutgefäßes darstellen.

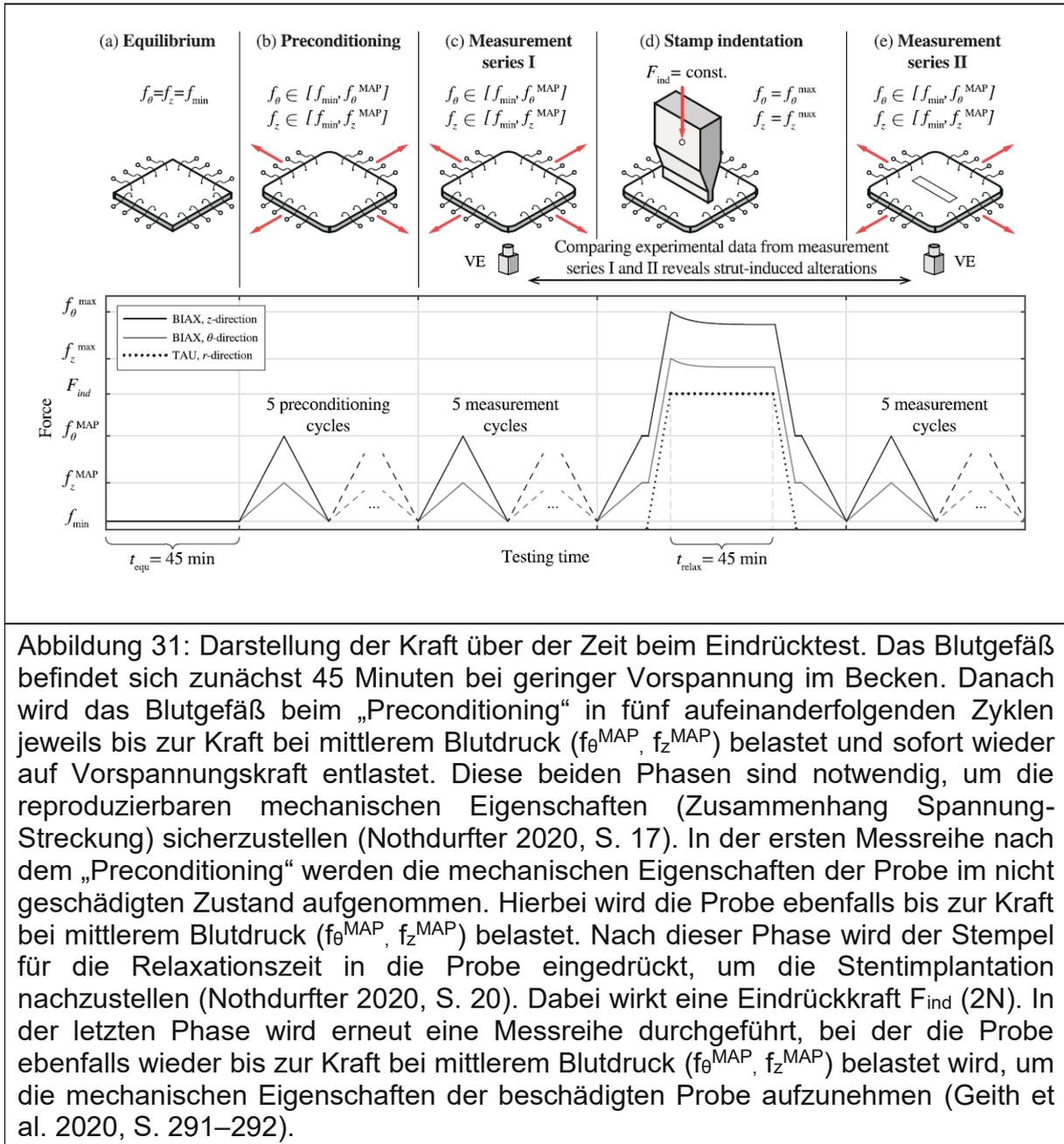


Abbildung 31: Darstellung der Kraft über der Zeit beim Eindrückttest. Das Blutgefäß befindet sich zunächst 45 Minuten bei geringer Vorspannung im Becken. Danach wird das Blutgefäß beim „Preconditioning“ in fünf aufeinanderfolgenden Zyklen jeweils bis zur Kraft bei mittlerem Blutdruck (f_{θ}^{MAP} , f_z^{MAP}) belastet und sofort wieder auf Vorspannungskraft entlastet. Diese beiden Phasen sind notwendig, um die reproduzierbaren mechanischen Eigenschaften (Zusammenhang Spannung-Streckung) sicherzustellen (Nothdurfter 2020, S. 17). In der ersten Messreihe nach dem „Preconditioning“ werden die mechanischen Eigenschaften der Probe im nicht geschädigten Zustand aufgenommen. Hierbei wird die Probe ebenfalls bis zur Kraft bei mittlerem Blutdruck (f_{θ}^{MAP} , f_z^{MAP}) belastet. Nach dieser Phase wird der Stempel für die Relaxationszeit in die Probe eingedrückt, um die Stentimplantation nachzustellen (Nothdurfter 2020, S. 20). Dabei wirkt eine Eindrückkraft F_{ind} (2N). In der letzten Phase wird erneut eine Messreihe durchgeführt, bei der die Probe ebenfalls wieder bis zur Kraft bei mittlerem Blutdruck (f_{θ}^{MAP} , f_z^{MAP}) belastet wird, um die mechanischen Eigenschaften der beschädigten Probe aufzunehmen (Geith et al. 2020, S. 291–292).

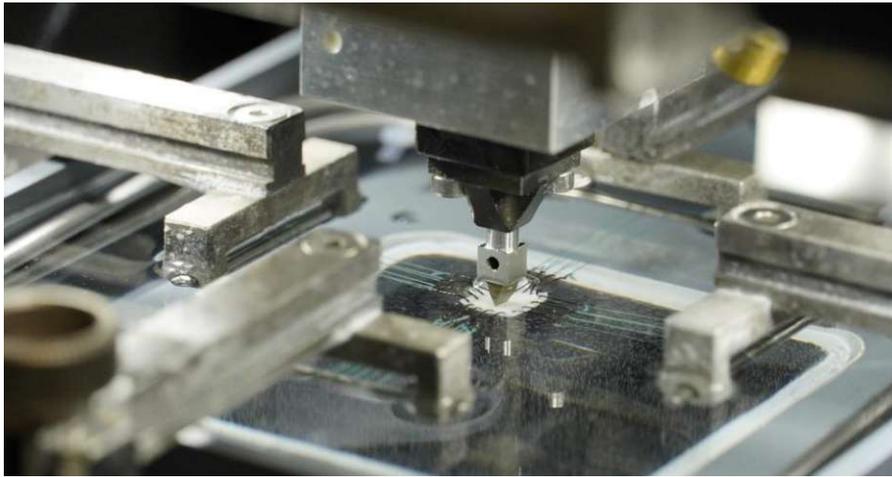


Abbildung 32: Stempel während des Eindrückvorgangs

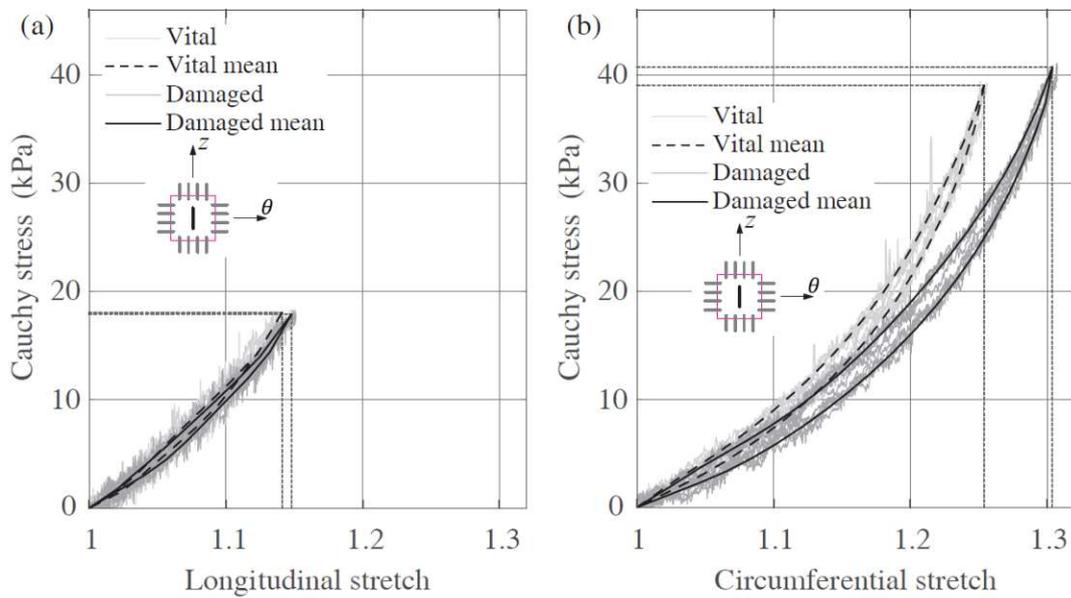
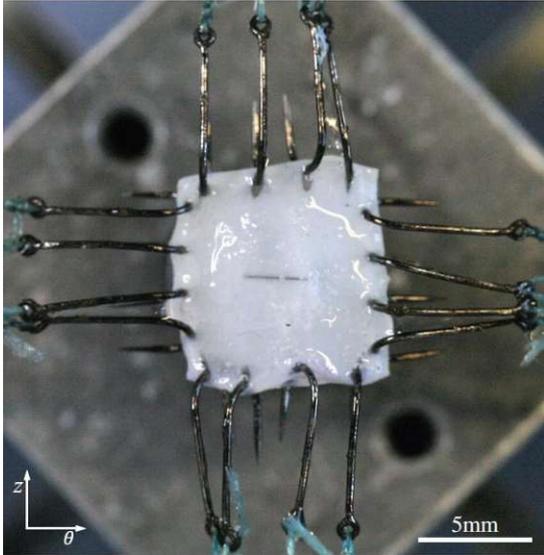
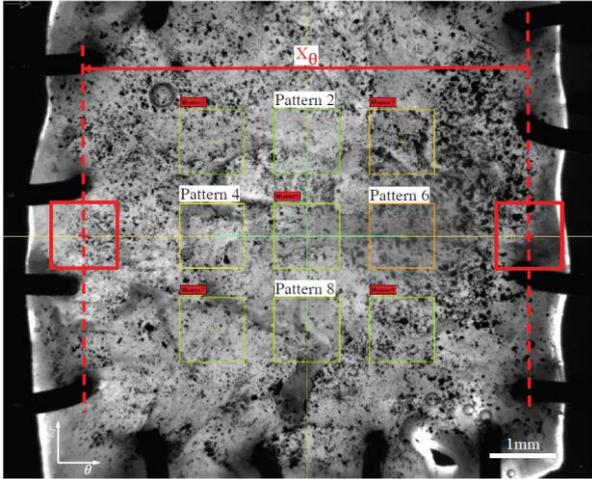


Abbildung 33: Vergleich des Spannung-Streckungszusammenhangs vor und nach der Verletzung durch Eindrücken des Stents. Gut sichtbar ist die Erweichung des Gewebes durch die Schädigung. Dies zeigt sich durch den flacheren Verlauf der Spannungsfunktion einer geschädigten Proben (Nothdurfter 2020, S. 36).

	
<p>Abbildung 34: Probe mit Abdruck nach dem Eindrücken des Stempels (Nothdurfter 2020, S. 26)</p>	<p>Abbildung 35: Ein vom Videoextensiometer aufgenommenes Bild. Über die Position der Marker am Blutgefäß lassen sich die Streckungen bestimmen (Nothdurfter 2020, S. 21).</p>

Am Ende eines Prüfungsvorgangs wird die Probe mit Formaldehyd stabilisiert. Zu diesem Zweck wird mit Hilfe eines Dreivegehahns die Salzlösung aus dem Becken abgelassen und das Becken mit einer 37°C warmen vierprozentigen Formaldehydlösung aufgefüllt. Nach einer Wartezeit von sechs Stunden kann die stabilisierte Probe aus dem Prüfstand entnommen werden (Nothdurfter 2020, S. 24). Während des Stabilisierungsvorgangs wird über den Infusomaten ständig weiteres Formaldehyd nachgeliefert, um verdampfendes Formaldehyd auszugleichen.

4 Phasen der Produktentwicklung

(Ludwig Fellingner)

Der Arbeitsfluss bei der Produktentwicklung des neuen Prüfstands orientiert sich am vorgeschlagenen Arbeitsfluss der VDI-Richtlinie 2221. Dieser Arbeitsfluss schlägt vier Hauptphasen vor, die Hauptarbeitsschritte beinhalten und jeweils durch einen Entscheidungsschritt abgeschlossen werden (siehe Abbildung 36). Mit Hilfe des Entscheidungsschritts wird entschieden, ob die nächste Hauptphase begonnen werden kann oder ob die vorhergehende Hauptphase erneut durchlaufen werden muss (Conrad 2003, S. 65).

Das Resultat jeder Hauptphase besteht aus einer Festlegung (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 193–194). Nachfolgend soll ein Überblick über die vier Hauptphasen mit deren zugehörigen Tätigkeiten und Festlegungen gegeben werden (siehe Tabelle 1).

Hauptphase	Tätigkeit	Festlegung
Planen und Klären	Aufgabenstellung klären	Informative Festlegung
Konzipieren	Konzept entwickeln	Prinzipielle Festlegung
Entwerfen	Entwurfsarbeit durchführen	Gestalterische Festlegung
Ausarbeiten	Unterlagen ausarbeiten	Herstellungstechn. Festlegung

Tabelle 1: Übersicht über die Hauptphasen, Tätigkeiten und Festlegungen der VDI Richtlinie 2221 (Conrad 2003, S. 62)

Weiters ist eine Trennung zwischen den Hauptphasen schwierig, da es oft sinnvoll ist, in frühen Hauptphasen Tätigkeiten aus später folgenden Hauptphasen vorzuziehen (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 194).

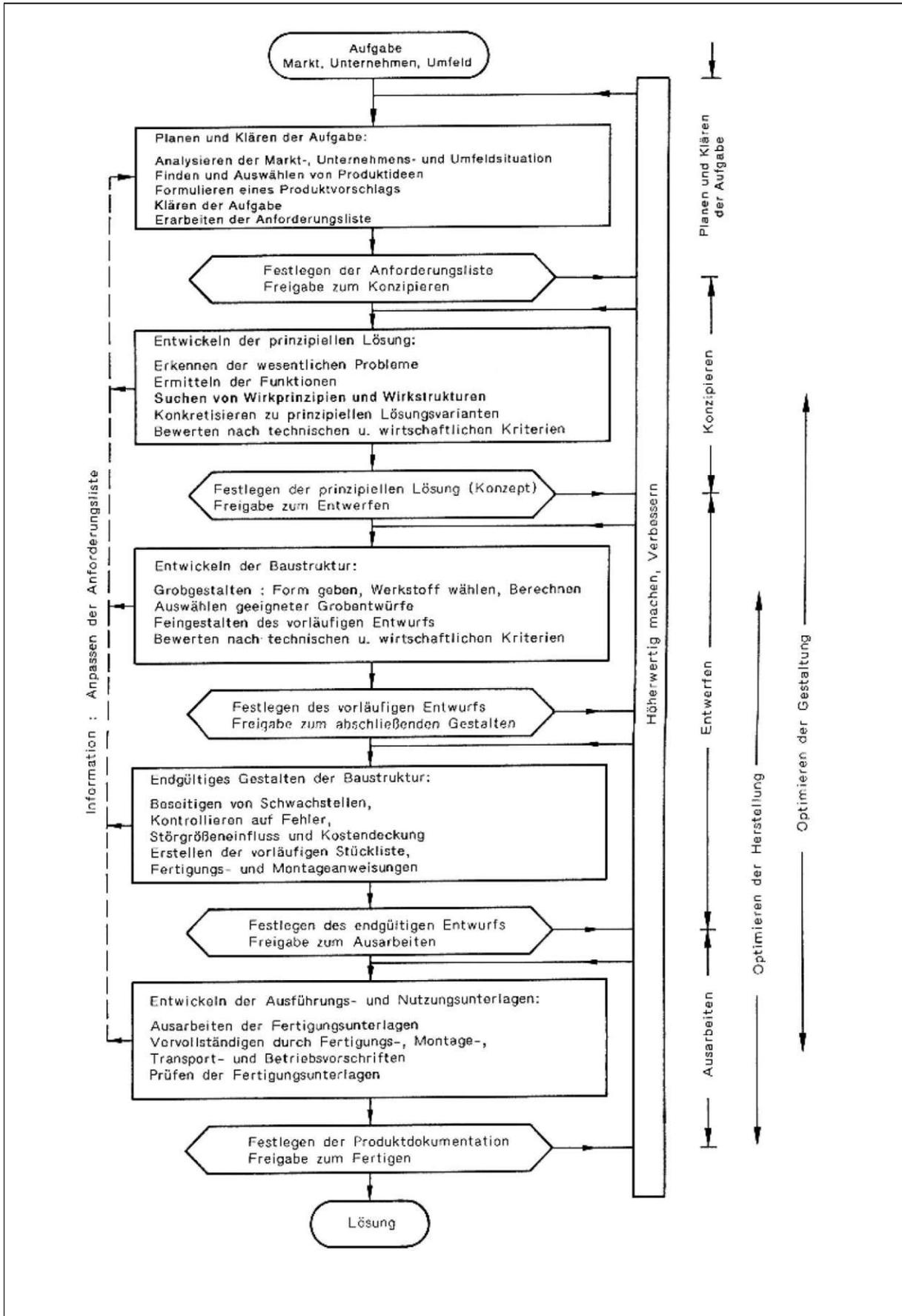


Abbildung 36: Arbeitsfluss bei der Produktentwicklung nach VDI-Richtlinie 2221 (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 198)

5 Planen und Klären der Aufgabe

(Ludwig Fellingner)

Die Hauptarbeitsschritte der ersten Hauptphase „Planen und Klären der Aufgabenstellung“ können entweder dem Planen der Produkte oder dem Klären der Aufgabe zugeordnet werden. Das Planen der Produkte umfasst dabei fünf Hauptarbeitsschritte (Analyse der Situation, Aufstellen von Suchstrategien, Finden von Produktideen, Auswählen von Produktideen, Definieren von Produktideen). Das Klären und Präzisieren der Aufgabe umfasst einen gleichnamigen Hauptarbeitsschritt (Siehe Abbildung 37) (Conrad 2003, S. 69).

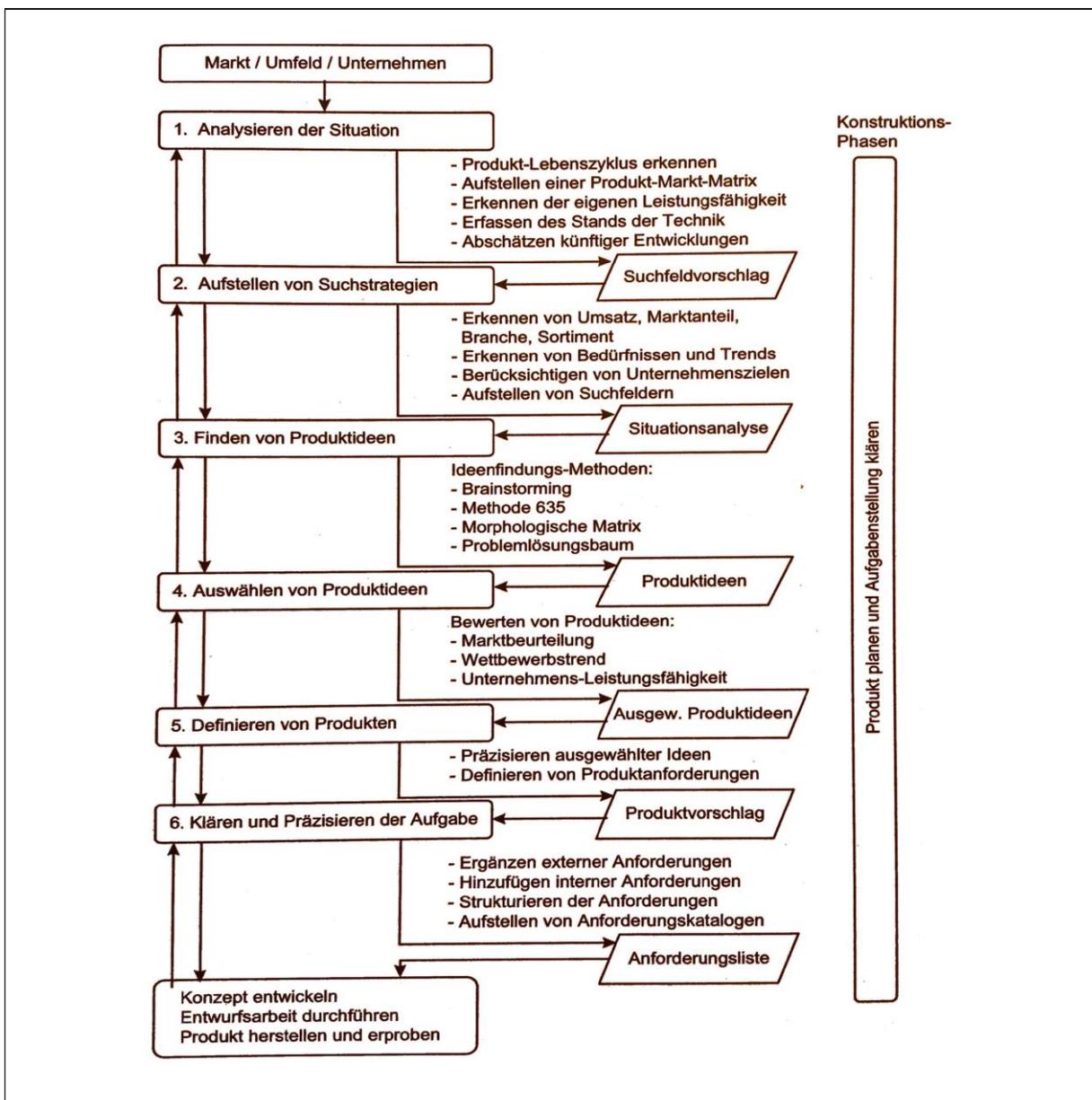


Abbildung 37: Arbeitsfluss der Hauptphase Produkt planen und Klären der Aufgabenstellung (Conrad 2003, S. 68)

5.1.1 Planen der Produkte

Jeder Produktentwicklung geht eine Produktplanung voraus (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 195). Der Auslöser für die Produktplanung kann aus dem Markt, den das Unternehmen bedient, dem Umfeld, das das Unternehmen umgibt oder vom Unternehmen selbst stammen. Ein typischer Impuls durch den Markt ist beispielsweise die Änderungen der Kundenwünsche. Als typische Impulse aus dem Umfeld eines Unternehmens gelten Umweltauflagen oder wirtschaftspolitische Ereignisse, wie beispielsweise Lieferengpässe. Impulse können auch aus dem eigenen Unternehmen stammen. Ein Beispiel hierfür sind Produktideen, die aus dem Wille entstanden sind, das Absatzgebiet durch verbreiterte Produkteigenschaften zu vergrößern (Conrad 2003, S. 69). Das Ergebnis der Produktplanung besteht aus dem Produktvorschlag bzw. Entwicklungsauftrag. Da die Produktplanung nicht unmittelbare Aufgabe der Konstruktionsabteilung ist, wird dieser Bereich der Hauptphase der Produktentwicklung hier nicht weiter verfolgt (Kurz et al. 2009, S. 9).

5.1.2 Klären der Aufgabenstellung

Unabhängig vom Ursprung des Produktvorschlags bzw. Entwicklungsauftrages beginnt die Produktentwicklung für die Konstruktion mit dem Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung. Unter dem Klären der Aufgabenstellung werden alle Tätigkeiten der Informationsbeschaffung verstanden. Ziel dieser Phase ist es, eine informative Festlegung des Entwicklungsauftrages in Form einer Anforderungsliste zu erstellen (Conrad 2003, S. 70).

5.1.2.1 Inhalt der Anforderungsliste

Der Zweck der Anforderungsliste liegt in der systematischen Zusammenstellung aller für die Konstruktion notwendigen Informationen (Conrad 2003, S. 73). Anforderungslisten beinhalten grundsätzlich Forderungen und Wünsche. Forderungen sind dabei unter allen Umständen vom Konstrukteur zu berücksichtigen. Wünsche hingegen können, aber müssen nicht vom Konstrukteur berücksichtigt werden (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 189). Auch wenn Wünsche nicht unbedingt erfüllt werden müssen, sind sie dennoch von hoher Bedeutung, da diese die Kundenzufriedenheit fördern (Conrad 2003, S. 74). Generell sollten die in der Anforderungsliste angeführten Forderungen und Wünsche mit quantitativen und qualitativen Angaben ergänzt werden. Sollte eine quantitative Aussage nicht möglich sein, sollte diese durch eine möglichst klare verbale Aussage ergänzt werden

(Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 215). Auch sollten die genannten Forderungen und Wünsche kurz und eindeutig formuliert sein (Conrad 2003, S. 74). Die Forderungen und Wünsche des Kunden werden in den Anforderungen der Anforderungsliste abgebildet. In der Produktentwicklung werden drei Arten von Anforderungen unterschieden (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 218–219):

- **Grundlegenden Anforderungen:**
Diese Anforderungen sind stets implizite Anforderungen. Mit dem Eigenschaftswort „implizit“ soll verdeutlicht werden, dass diese Anforderungen vom Kunden nicht unmittelbar ausgesprochen, aber stillschweigend vorausgesetzt werden.
- **Technisch kundenspezifische Anforderungen:**
Diese Anforderungen sind explizite Anforderungen. Mit dem Eigenschaftswort „explizit“ soll verdeutlicht werden, dass diese Anforderungen vom Kunden genau quantitativ bzw. qualitativ angegeben werden können.
- **Attraktivitätsanforderungen:**
Diese Anforderungen sind implizite Anforderungen. Der Kunde fordert diese unbewusst ein. Die sich aus den Attraktivitätsanforderungen ergebenden Produkteigenschaften werden vom Kunden gern in Anspruch genommen, dürfen aber keinen finanziellen Nachteil für den Kunden nach sich ziehen (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 218–219).

5.1.2.2 Aufbau der Anforderungsliste

Anforderungslisten liegen meistens als Werksnorm vor. Diese sollten folgende Elemente aufweisen (siehe Tabelle 2) (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 216):

Element	Beschreibung
Benutzer	Bezeichnung des Unternehmens / der Abteilung
Projektbezeichnung	-
Anforderung	Mit Kennzeichnung für Wunsch oder Forderung
Erstellungsdatum	-
Änderungsdatum	-
Versionsnummer	-
Seitenzahl	-

Tabelle 2: Bestandteile einer Anforderungsliste (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 216)

5.1.2.3 Erarbeiten der Anforderungsliste

Diese wird in der Regel in enger Abstimmung mit dem Auftraggeber erstellt (Conrad 2003, S. 73). Das Aufstellen der Anforderungsliste wird durch einen Arbeitsablauf unterstützt (siehe Abbildung 38).

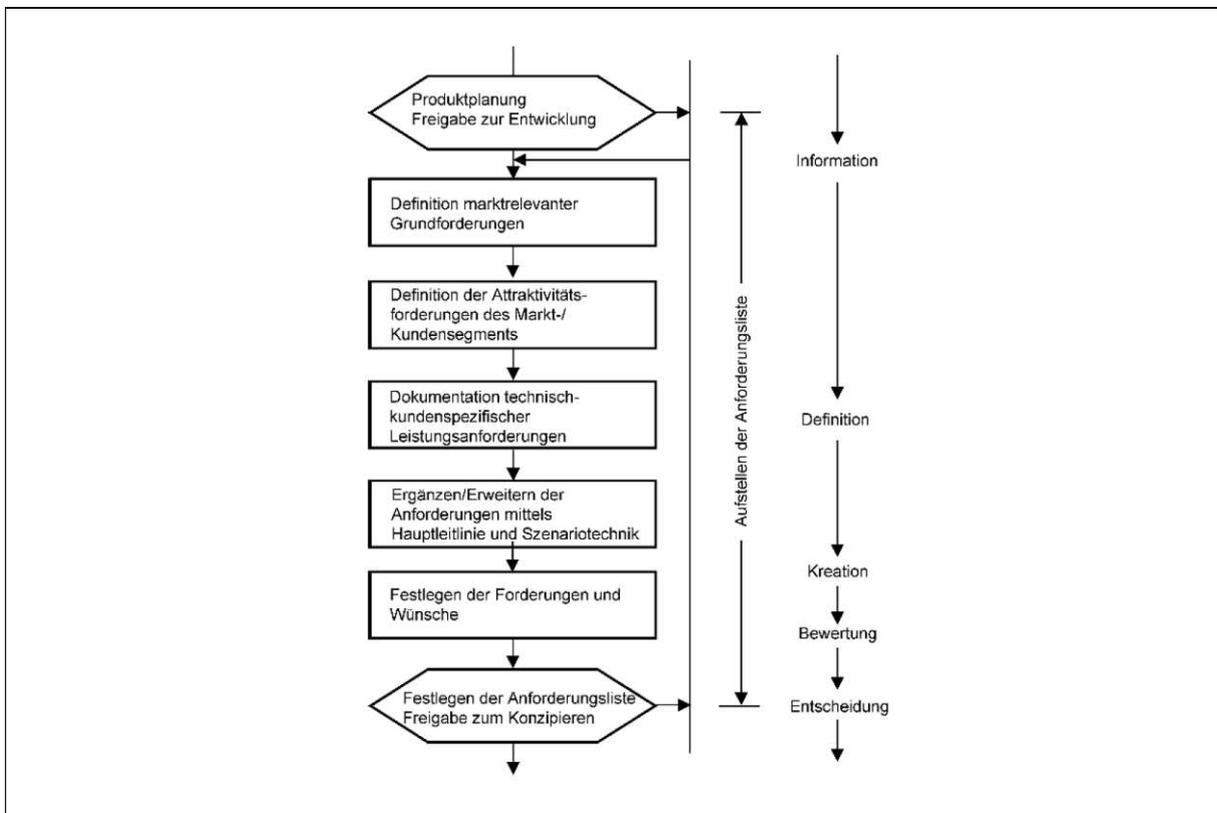


Abbildung 38: Arbeitsfluss beim Erstellen der Anforderungsliste (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 214)

Beim Erarbeiten der Anforderungsliste für den Prüfstand werden die ersten beiden Arbeitsschritte übersprungen. Es wird direkt mit der Dokumentation der technisch-kundenspezifischen Leistungsanforderungen begonnen. Diese werden sowohl aus der schriftlich vorliegenden Projektbeschreibung des Kunden als auch über Gespräche ermittelt (siehe Tabelle 3). Der nächste Arbeitsschritt des Ergänzens/Erweiterns der Anforderungsliste erfolgt mit Hilfe der Hauptmerkmalliste (siehe Abbildung 39). Eine Hauptmerkmalliste ist eine sehr allgemein gehaltene Checkliste. Die darin aufgelisteten Merkmale sollen Assoziationen wecken, aus denen sich weitere Anforderungen ergeben (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 219). Sobald alle Anforderungen gesammelt sind, folgt die Einteilung der Anforderungen in Wünsche und Festforderungen.

Hauptmerkmal	Beispiele
Geometrie	Größe, Höhe, Breite, Länge, Durchmesser, Raumbedarf, Anzahl, Anordnung, Anschluss, Ausbau und Erweiterung
Kinematik	Bewegungsart, Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit, Beschleunigung
Kräfte	Kraftgröße, Krafrichtung, Krafthäufigkeit, Gewicht, Last, Verformung, Steifigkeit, Federeigenschaften, Stabilität, Resonanzen
Energie	Leistung, Wirkungsgrad, Verlust, Reibung, Ventilation, Zustandsgrößen wie Druck, Temperatur, Feuchtigkeit, Erwärmung, Kühlung, Anschlussenergie, Speicherung, Arbeitsaufnahme, Energieumformung
Stoff	Physikalische und chemische Eigenschaften des Eingangs- und Ausgangsprodukts, Hilfsstoffe, vorgeschriebene Werkstoffe (Nahrungsmittelgesetz u. ä.), Materialfluss und -transport
Signal	Eingangs- und Ausgangssignale, Anzeigeart, Betriebs- und Überwachungsgeräte, Signalform
Sicherheit	Unmittelbare Sicherheitstechnik, Schutzsysteme, Betriebs-, Arbeits- und Umweltsicherheit
Ergonomie	Mensch-Maschine-Beziehung: Bedienung, Bedienungsart, Übersichtlichkeit, Beleuchtung, Formgestaltung
Fertigung	Einschränkung durch Produktionsstätte, größte herstellbare Abmessung, bevorzugtes Fertigungsverfahren, Fertigungsmittel, mögliche Qualität und Toleranzen
Kontrolle	Mess- und Prüfmöglichkeit, besondere Vorschriften (TÜV, ASME, DIN, ISO, AD-Merkblätter)
Montage	Besondere Montagevorschriften, Zusammenbau, Einbau, Baustellenmontage, Fundamentierung
Transport	Begrenzung durch Hebezeuge, Bahnprofil, Transportwege nach Größe und Gewicht, Versandart und -bedingungen
Gebrauch	Geräuscharm, Verschleißrate, Anwendung und Absatzgebiet, Einsatzort (z. B. schwefelige Atmosphäre, Tropen,...)
Instandhaltung	Wartungsfreiheit bzw. Anzahl und Zeitbedarf der Wartung, Inspektion, Austausch und Instandsetzung, Anstrich, Säuberung
Recycling	Wiederverwendung, Wiederverwertung, Entsorgung, Endlagerung, Beseitigung
Kosten	Max. zulässige Herstellkosten, Werkzeugkosten, Investition und Amortisation
Termin	Ende der Entwicklung, Netzplan für Zwischenschritte, Lieferzeit

Abbildung 39: Hauptmerkmalliste beim Planen und Klären der Aufgabenstellung mit Beispielen für Assoziationen (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 220)

In der nachfolgenden Anforderungsliste sowie allen weiteren Schritten der Produktentwicklung wird wieder ein kartesisches Koordinatensystem mit den Achsbezeichnungen x, y, z verwendet.

TU Wien E307 Institut für Konstruktionswissen und technische Logistik		Anforderungsliste für Prüfstand		Blatt 1/3
Nr.	F/W	Anforderung	Änder.	Herkunft
Geometrie				
1	F	Prüfstand muss in mikrobiologischer Sicherheitswerkbank (Klasse II) Platz finden.	-	Prof. Sommer
2	F	Aufnahme eines mit Haken und Fäden versehenen Blutgefäßes der Größe 7x7[mm]-20x20[mm] (LxB)	-	Prof. Sommer
3	F	Aufnahme eines Stempels mit Klingensform 0,08x3[mm] (øxL[mm])	-	Prof. Sommer
4	F	quadratisches Becken der Größe 150x150x50[mm] (LxBxH)	-	Prof. Sommer
5	F	Durchsichtöffnung im Beckenboden mit Durchmesser 80[mm]	-	Prof. Sommer
6	F	abgerundete Ecken in Becken (Gefahr der Wirbelbildung)	-	Prof. Sommer
7	F	Überlaufsicherung in Becken vorsehen	-	Prof. Sommer
8	F	Drei-Wegeventil in Becken vorsehen (Bildet Abfluss für Nährstofflösung bzw. für Formaldehyd.)	-	Wallinger
9	F	Vorrichtung zum Fixieren der Haltearme während Anbringung der Haltefäden des Blutgefäßes	-	Prof. Sommer
10	F	Vorrichtung zum Transport der Probe bzw. Ein-/Ausbau	-	Prof. Sommer
11	F	Vorrichtung zum Fixieren der Haltearme während Ein-/Ausbau	-	Prof. Sommer
12	F	Befestigung der Haltefäden an Haltearmen über Bolzen	-	Prof. Sommer
13	F	Industriekamera innerhalb der Sicherheitswerkbank unterbringen	-	Prof. Sommer
14	F	Niedrige Beeinflussung der Messergebnisse durch Trägheitskräfte	-	Prof. Sommer
Kinematik				
15	F	Stempel verformt Blutgefäß entlang der z-Achse 30[mm]	-	Prof. Sommer
16	F	Stempel +-40mm entlang x, y-Achse verfahrbar	-	Prof. Sommer
17	F	gefahrenfreien Ein- bzw. Ausbau der Probe/ des Beckens möglich	-	Prof. Sommer
18	F	Haltearme der Probe unabhängig voneinander translatorisch bewegbar	-	Prof. Sommer
19	F	Verfahrweg der Haltearme +-20mm	-	Prof. Sommer
20	F	Haltearme sollen bei Stromlosschaltung manuell translatorisch bewegbar sein	-	Prof. Sommer

TU Wien E307 Institut für Konstruktionswissen und technische Logistik		Anforderungsliste für Prüfstand		Blatt 2/3
Nr.	F/W	Anforderung	Änder.	Herkunft
21	F	Stempel um 90° um seine Längsachse drehbar	-	Wallinger
22	F	Industriekamera beweglich in allen 6 FHG	-	Prof. Sommer
Kräfte				
-	-	-	-	-
Energie				
23	W	Bewegung der Haltearme mit Linearmotoren der Hersteller SMC, Beckhoff	-	Prof. Sommer
24	W	Verstellgeschwindigkeit der Haltearme: 0.5mm/min-20mm/s	-	Prof. Sommer
25	W	Versorgungsspannung für Prüfstand: 230V	-	Prof. Sommer
26	W	Bewegungen des Stempels normal zur Blutgefäßwand (z-Achse, früher r-Achse) durch Schrittmotor des Herstellers "Beckhoff"	-	Prof. Sommer
27	W	Bewegung des Stempels in der x, y-Achse (früher z-bzw. θ-Achse) durch Schrittmotoren des Herstellers „Beckhoff“ oder Linearmotoren des Herstellers „LinMot“ bzw. „Beckhoff“	-	Prof. Sommer
28	W	Hilfsantrieb für Stempelzustellbewegungen	-	Prof. Sommer
29	F	Im Nährstoffbecken muss eine Strömung erzeugt werden, diese darf aber nur auf der Kamera abgewandten Seite vorherrschen.	-	Prof. Sommer
30	F	Jeder Punkt innerhalb Becken mit Nährstoffzulauf erreichbar	-	Prof. Sommer
Stoff				
31	F	Beckendurchsichtfenster aus Mineralglas	-	Prof. Sommer
32	F	Becken aus korrosionsbeständigem Material	-	Prof. Sommer
33	F	Beckenwerkstoff für Autoklav geeignet	-	Prof. Sommer
34	F	flüssigkeitsführende Leitungen aus korrosionsbeständigem Material	-	Prof. Sommer
Signal				
35	F	axial in Haltearmen wirkende Kraft messbar machen	-	Prof. Sommer
36	F	Verfahrweg der Halterarme mit absolutem Messsystem messbar machen; Messgenauigkeit <10µm;	-	Wallinger
37	F	Am Stempel wirkende Kraft in drei Achsen messbar machen	-	Prof. Sommer
38	F	Kraftmessung im Stempel durch Kraftmessdosen von Hersteller „ME“ vom Typ „K3D40“	-	Prof. Sommer

TU Wien E307 Institut für Konstruktionswissen und technische Logistik		Anforderungsliste für Prüfstand		Blatt 3/3
Nr.	F/W	Anforderung	Änder.	Herkunft
39	F	Messtechnik (Lastzellen, ...) darf nicht mit der Nährstofflüssigkeit in Berührung kommen	-	Prof. Sommer
40	F	Streckungsmessung der Probe über Videoextensiomter; IDS-Imaging, UI-3070CP-C-HQ Rev.2;	-	Prof. Sommer
41	F	Kameraobjektiv; Tamron 1A1HB, 75mm, 2/3"	-	Prof. Sommer
42	F	Abstandsringset für Objektiv; Tamron EXT-7 C-Mount	-	Prof. Sommer
Sicherheit				
43	F	Keine Bewegungen von Maschinenteile zufolge Schwerkraft bei Stromlosschaltung	-	Prof. Sommer
44	F	Stempelschutz vorsehen	-	Prof. Sommer
Ergonomie				
45	F	Gute Einsicht von allen Seiten auf die Probe	-	Prof. Sommer
Fertigung				
46	F	Verwendung von Standardteilen (Bsp. Aluminiumprofile")	-	Institut
Kontrolle				
47	W	Failure Mode and Effects Analysis	-	Institut
Montage				
48	F	Montage IFT-TU-Graz	-	Prof. Sommer
Transport				
49	F	Durch zwei Personen tragbar<100kg	-	Prof. Sommer
Gebrauch				
50	F	Eingeschulte Mitarbeiter	-	Prof. Sommer
51	F	Bestand in korrosiver Atmosphäre	-	Prof. Sommer
Instandhaltung				
52	F	Becken aus Prüfstandmuss für Reinigungszwecke entfernen	-	Prof. Sommer
Recycling				
-	-	-	-	-
Kosten				
53	F	Mikrobiologische Sicherheitswerkbank<15000€ (netto)	-	Prof. Sommer
Termin				
54	W	Abgabe von Werkstattzeichnungen bis Ende 2021	-	Prof. Sommer

Tabelle 3: Anforderungsliste für den Prüfstand

6 Konzipieren (Gebhard Fellingner)

Das Konzipieren ist die zweite Hauptphase nach dem Planen und Klären der Aufgabe. Diese Hauptphase beginnt mit dem Abstrahieren der Anforderungsliste und endet mit einer oder mehreren prinzipiellen Lösungen, die die Grundlage für den späteren Entwurf bilden (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 231). Die Hauptphase des Konzipierens besteht aus 6 Hauptarbeitsschritten, die durch einen Hauptentscheidungsschritt initiiert und durch einen solchen wieder beendet wird (siehe Abbildung 40).

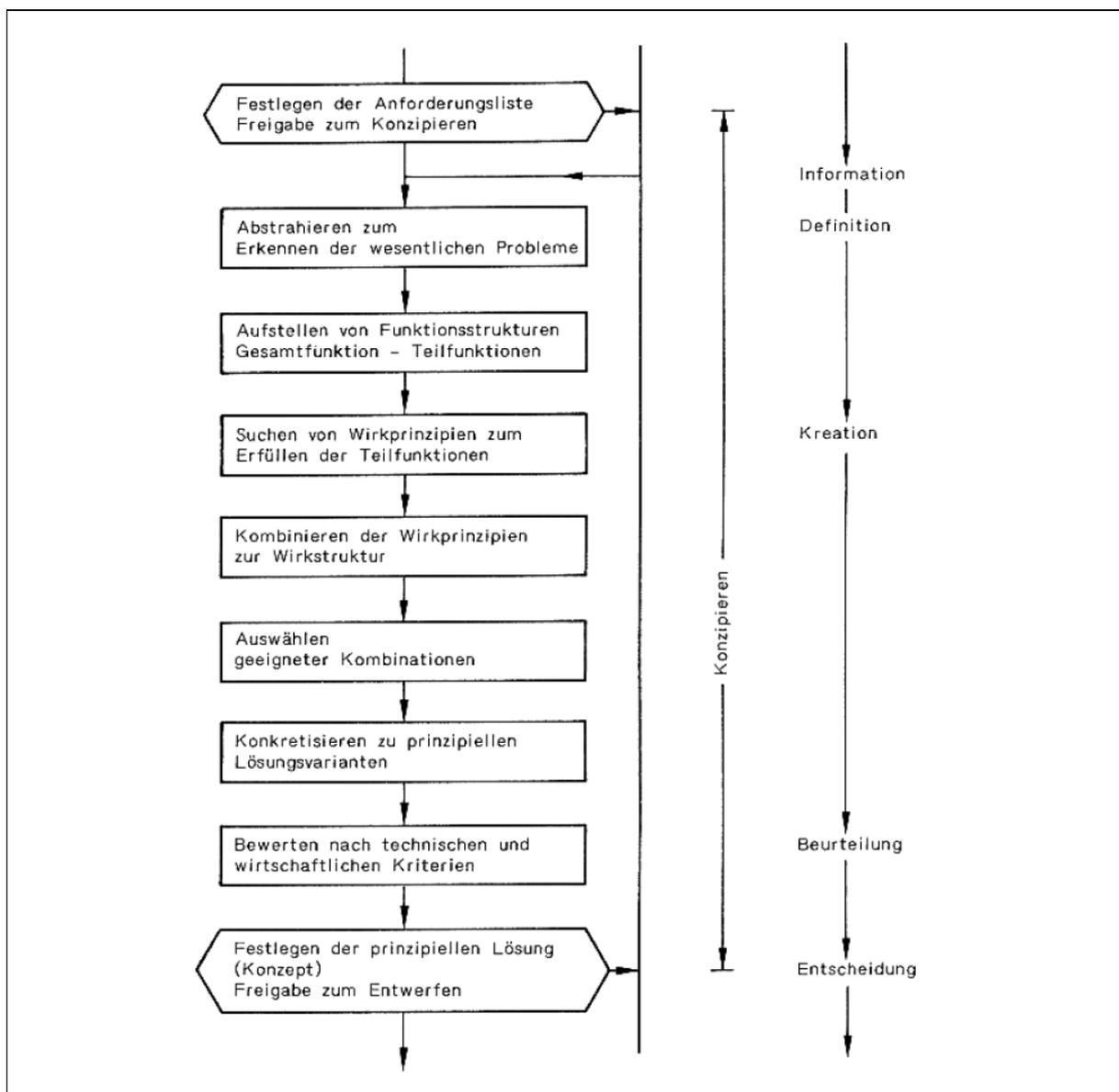


Abbildung 40: Arbeitsfluss in der Hauptphase Konzipieren (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 232)

6.1 Abstraktion

Der Grundgedanke beim Hauptarbeitsschritt Abstraktion liegt darin, sich bei einer Lösung für die Gesamtfunktion nicht von konventionellen Vorstellungen leiten zu lassen und nicht vorschnell eine bestimmte Lösung zu favorisieren. Ziel der Abstraktion ist das Erkennen des Kerns der Aufgabe (Lösung der Gesamtfunktion) mit seinen Bedingungen (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 233).

Beim Abstrahieren wird das Problem verallgemeinert. Dadurch wird der Wesenskern der Aufgabe sichtbar. Für diesen Wesenskern ohne die zufälligen und individuellen Einschränkungen existiert ein breiterer Lösungsraum (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 233; Conrad 2003, S. 98).

Die Abstraktion beginnt mit der Anforderungsliste und endet mit einer lösungsneutralen Problemformulierung (Wesenskern der Aufgabe) als Ergebnis. Die Abstraktion besteht aus fünf Schritten (siehe Tabelle 4) (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 237):

1.Schritt	Gedanklich Wunschforderungen weglassen
2.Schritt	Berücksichtigung nur derjeniger Forderungen, die unmittelbar Funktionen und Bedingungen betreffen.
3.Schritt	Umschreiben von quantitativen Angaben in qualitative Angaben und Reduktion auf wesentliche Aussagen.
4.Schritt	Sinnvolle Erweiterung des Erkannten
5.Schritt	Lösungsneutrale Problemformulierung (Wesenskern der Aufgabe)

Tabelle 4: Schritte der Abstraktion

Ergebnis des 1.Schrittes:

- Nur Festforderungen für die weitere Vorgangsweise beachten.

Ergebnis des 2.Schrittes:

- Berücksichtigung nur derjeniger Forderungen, die unmittelbar Funktionen und Bedingungen betreffen (siehe Tabelle 5).

Nr.	F/W	Anforderung
1	F	Prüfstand muss in mikrobiologischer Sicherheitswerkbank Platz finden.
2	F	Aufnahme eines mit Haken und Fäden versehenen Blutgefäßes der Größe 7x7[mm]-20x20[mm] (LxB)
3	F	Aufnahme eines Stempels mit Klingenform 0,08x3[mm] (øxL[mm])
4	F	quadratisches Becken der Größe 150x150x50[mm] (LxBxH)
15	F	Stempel verformt Blutgefäß entlang der z-Achse 30[mm]
16	F	Stempel +-40mm entlang x, y-Achse verfahrbar
18	F	Haltearme der Probe unabhängig voneinander translatorisch bewegbar
19	F	Verfahrweg der Haltearme +-20mm
35	F	axial in Haltearmen wirkende Kraft messbar machen
36	F	Verfahrweg der Halterarme messbar machen
37	F	Am Stempel wirkende Kraft in drei Achsen messbar machen
40	F	Streckungsmessung der Probe über Videoextensiometer; IDS-Imaging, UI-3070CP-C-HQ Rev.2;

Tabelle 5: Ergebnisse des zweiten Schrittes

Ergebnis des 3.Schrittes:

Umschreiben von quantitativen Angaben in qualitative Angaben (siehe Tabelle 6).

Nr.	Anforderung
1	Prüfstand möglichst kompakt
2	Aufnahme eines mit Haken und Fäden versehenen Blutgefäßes
3	Aufnahme eines Stempels
4	quadratisches Becken vorsehen
15	Stempel verformt Blutgefäß entlang der z-Achse
16	Stempel entlang x, y-Achse verfahrbar
18	Haltearme translatorisch bewegen
19	begrenzter Verfahrweg der Haltearme
34	axial in Haltearmen wirkende Kraft messbar machen
35	Verfahrweg der Halterarme messbar machen
36	Am Stempel wirkende Kraft messen
39	Optische Streckungsmessung der Probe

Tabelle 6: Ergebnisse des dritten Schrittes

Reduktion auf wesentliche Aussagen und Zusammenfassen von Anforderungen (siehe Tabelle 7)

2	Blutgefäß aufnehmen
3,15,16	Blutgefäß entlang der z-Achse mit Hilfe von Stempel verformen
18	Blutgefäß in der Ebene über Haltearme verformen
34	Kräfte am Blutgefäß messen
36	Kräfte am Stempel messen
39	Verformungen des Blutgefäßes in der Ebene messen

Tabelle 7: Ergebnisse des dritten Schrittes nach Reduktion

Ergebnis des 4. Schrittes:

Keine sinnvolle Erweiterung erkannt bzw. nicht notwendig

Ergebnis des 5. Schrittes:

Die wesentlichen Aussagen aus Schritt 3/4 können zur lösungsneutralen Problemformulierung (Wesenskern der Aufgabe) zusammengefasst werden:

„Blutgefäß halten und in der Ebene bzw. normal zur Ebene des Blutgefäßes belasten und auftretende Kräfte bzw. Verformungen messen.“

Ermittelte lösungsneutrale Problemformulierung bzw. Wesenskern der Aufgabe in der Form Hauptwort + aktivem Zeitwort formuliert:

„Blutgefäß in Ebene und normal zur Ebene belasten und Kräfte/Verformungen messen“

6.2 Aufstellen der Funktionsstruktur

6.2.1 Aufstellen der Gesamtfunktion

Im vorhergehenden Hauptarbeitsschritt ist der Wesenskern der Aufgabe erarbeitet worden. Die Lösung dieser Aufgabe ist ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Eingangsgrößen und Ausgangsgrößen (Stoff, Energie und Signal). Dieser Zusammenhang kann durch den Begriff der Funktion beschrieben werden. Die Funktion hat also das Ziel eine Aufgabe zu erfüllen. Ohne sich Gedanken zu machen über die konkrete Ausführung der Lösung entspricht die Funktion der Aufgabe auf einer abstrakten und lösungsneutralen Ebene. Die in diesem Fall vorliegende Aufgabe *„Blutgefäß in Ebene und normal zur Ebene belasten und Kräfte/Verformungen*

messen“ kann in einer abstrakten und lösungsneutralen Ebene durch die gleich lautende (Gesamt-) Funktion „*Blutgefäß in Ebene und normal zur Ebene belasten und Kräfte/Verformungen messen*“ gelöst werden. Diese Funktion wird auch als Gesamtfunktion bezeichnet, da diese die gesamte Aufgabe erfüllt. Diese zunächst sinnlos erscheinende Lösungsformulierung ist deswegen möglich, da man noch abstrakt bleibt und sich nicht um die Vorgänge zur Erfüllung der Gesamtfunktion kümmert. In anderen Worten die Lösung der Aufgabe ist eine Black Box (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 44).

6.2.1.1 Systemgrenze

Die Systemgrenze gibt an, welche Teile der Maschine noch zum betrachteten System gehören. Es wird damit festgelegt, in welcher Form Eingangs- und Ausgangsgrößen vorliegen. Alle Teilfunktionen außerhalb der Systemgrenze werden bei der Weiterentwicklung nicht berücksichtigt.

Die Systemgrenze wird im Rahmen der Masterarbeit so gezogen, dass unter anderem Elemente der Steuer- und Regelungstechnik inkl. Signalleuchte außerhalb der Systemgrenze liegen. Weiters liegt die Aufbereitung der Salzlösung, die Wärmequelle für die Wärmeträgerflüssigkeit, die Einhausung und die Luftreinigung außerhalb der Systemgrenze. Die Tragevorrichtung und das Untergestell befinden sich jedoch innerhalb der Systemgrenze.

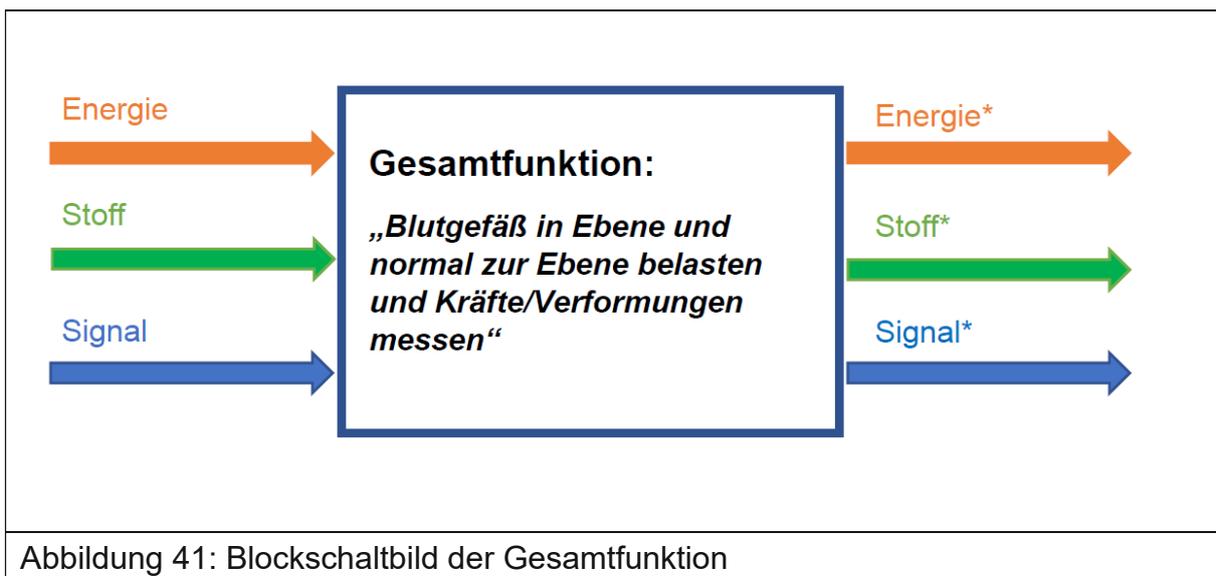
6.2.1.2 Eingangsgrößen:

- Energie:
 - Menschliche Energie
 - Elektrische Energie
- Signal:
 - Steuersignale für Stoffflüsse (Formaldehyd, Nährstoffflüssigkeit)
 - Steuersignale für die Verformung des Blutgefäßes
 - Steuersignale für die Bewegung des Stempels im Raum
- Stoff:
 - Probe
 - Nährstoffflüssigkeit/Formaldehyd

6.2.1.3 Ausgangsgröße:

- Energie*:
 - Lärm
 - Schwingungen
 - Licht
- Signale*:
 - Messsignal für Kraft/Verformung
 - Signal für den Maschinenbetriebszustand
- Stoff*
 - verformte Probe
 - Nährstoffflüssigkeit/Formaldehyd

Die Gesamtfunktion stellt dabei in Blockschaltbilddarstellung den Zusammenhang zwischen Eingangsgrößen und Ausgangsgrößen her (siehe Tabelle 41).



6.2.2 Aufstellen der Teilfunktionen

Die Gesamtfunktion bzw. Gesamtaufgabe kann in Teilfunktionen bzw. Teilaufgaben zerlegt werden (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 44). Diese Teilfunktion haben eine niedrigere Komplexität als die Gesamtfunktion und deren Angabe erfolgt mit Hauptwort + Zeitwort (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 243). Beim Auffinden der Teilfunktionen muss zwischen einer Anpassungskonstruktion oder einer Neukonstruktion unterschieden werden.

Da die Baustruktur, die Baugruppen und Einzelelemente des bestehenden weiterzuentwickelnden Teststandes für Blutgefäße bekannt sind, handelt es sich in diesem Fall um eine Anpassungskonstruktion. Bei Anpassungskonstruktionen lässt sich die Funktionsstruktur durch Analyse der bestehenden weiterzuentwickelnden Maschine ermitteln (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 247). Dies bedeutet, die Teilfunktionen werden durch Funktionsanalyse der Systemelemente (Bauteile) der bestehenden Maschine aufgefunden. Im Rahmen der Funktionsanalyse werden allen Bauteilen innerhalb der Systemgrenze zunächst Aufgaben zugeordnet. Diese werden im nächsten Schritt lösungsneutral formuliert und in allgemeine für den morphologischen Kasten geeignete Formulierungen (Teilfunktionen) überführt (siehe Tabelle 8) (Conrad 2003, S. 101).

6.2.2.1 Übersicht der Funktionsträger/Systemelemente

Nr.	Funktionsträger/Systemelement	Aufgabe Systemelement	Lösungsneutrale Formulierung (Hauptwort + aktives Zeitwort)	Teilfunktion in morph. Kasten
1	Salzlösungsbecken	<ul style="list-style-type: none"> • Enthält Salzlösung/Formaldehyd zum Umgeben der Probe 	<ul style="list-style-type: none"> • Salzlösung/Formaldehyd speichern 	<ul style="list-style-type: none"> • Probe konditionieren
2	Durchsichtfenster für Salzlösungsbecken	<ul style="list-style-type: none"> • Optische Verformungsmessung ermöglichen • gute Beleuchtung der Probe sicherstellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Verformungsmessung ermöglichen 	<ul style="list-style-type: none"> • Verformung messen
3	Wärmetauscher für Salzlösungsbecken	<ul style="list-style-type: none"> • Salzlösung erwärmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Salzlösung erwärmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Probe konditionieren
4	Schlauch für Zu-bzw. Ableitung von Thermofluid für Wärmetauscher	<ul style="list-style-type: none"> • Zu-bzw. Ableiten des Thermofluids 	<ul style="list-style-type: none"> • Thermofluid leiten 	<ul style="list-style-type: none"> • Probe konditionieren
5	Überlauf für Salzlösungsbecken	<ul style="list-style-type: none"> • Salzlösung bei Bedarf aus Becken ableiten 	<ul style="list-style-type: none"> • Salzlösungsstrom steuern 	<ul style="list-style-type: none"> • Probe konditionieren
6	Schlauch für Ableitung von Salzlösung aus Überlauf	<ul style="list-style-type: none"> • Salzlösung von Überlauf weiterleiten 	<ul style="list-style-type: none"> • Salzlösung leiten 	<ul style="list-style-type: none"> • Probe konditionieren
7	Dreiwegeventil für Salzlösungsbecken	<ul style="list-style-type: none"> • Salzlösungs-/Formaldehydstrom absperren/freigeben 	<ul style="list-style-type: none"> • Salz-/Formaldehydstrom steuern 	<ul style="list-style-type: none"> • Probe konditionieren
8	Schlauch für Zu-/Ableitung Salzlösung	<ul style="list-style-type: none"> • Salzlösung von Überlauf weiterleiten 	<ul style="list-style-type: none"> • Salzlösung leiten 	<ul style="list-style-type: none"> • Probe konditionieren
9	Schlauch für Zu-/Ableitung Formaldehyd	<ul style="list-style-type: none"> • Formaldehyd zu- bzw. ableiten 	<ul style="list-style-type: none"> • Formaldehyd leiten 	<ul style="list-style-type: none"> • Probe konditionieren
10	Dreiwegeventil	<ul style="list-style-type: none"> • Steuern des Salzlösungs-/Formaldehydstroms 	<ul style="list-style-type: none"> • Salz-/Formaldehydstrom steuern 	<ul style="list-style-type: none"> • Probe konditionieren
11	Haltearmaufnahme auf Kraftmessdose (BIAX-Einheit)	<ul style="list-style-type: none"> • Kräfte von Kraftmessdose an Haltearm (BIAX-Einheit) übergeben • Haltearm (BIAX-Einheit) aufnehmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Verbindung mit Kraftmessdose herstellen (Kraftmessdose BIAX-Einheit und Haltearm) 	<ul style="list-style-type: none"> • Lösbare Verbindung (mit Haltearm der BIAX-Einheit) herstellen
12	Kraftmessdose (BIAX-Einheit)	<ul style="list-style-type: none"> • Messen der Kraft in der Ebene (BIAX-Einheit) • Kräfte leiten • Aufnahme der Haltearmhalterung (BIAX-Einheit) 	<ul style="list-style-type: none"> • Kräfte messen (BIAX-Einheit) 	<ul style="list-style-type: none"> • Kräfte messen (BIAX-Einheit)

Nr.	Funktionsträger/Systemelement	Aufgabe Systemelement	Lösungsneutrale Formulierung (Hauptwort + aktives Zeitwort)	Teilfunktion in morph. Kasten
13	Verbindungselement zwischen Kraftmessdose (BIAX-Einheit) und Lineartisch (BIAX-Einheit)	<ul style="list-style-type: none"> • Kräfte von Kraftmessdose (BIAX-Einheit) auf Lineartisch (BIAX-Einheit) überleiten • Kraftmessdose (BIAX-Einheit) aufnehmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Verbindung mit Kraftmessdose herstellen (Linearmotor BIAX-Einheit und Haltearm) • Probe (in der Ebene) bewegen 	<ul style="list-style-type: none"> • Kräfte messen (BIAX-Einheit) • Probe (in der Ebene) bewegen
14	Lineartisch (BIAX-Einheit)	<ul style="list-style-type: none"> • Rotat. Bewegung in transl. Bewegung umsetzen • Kräfte zwischen Motor (BIAX-Einheit) und Haltearmaufnahme (BIAX-Einheit) leiten • translatorische Bewegung führen 	<ul style="list-style-type: none"> • Probe in Ebene verformen • Probe (in der Ebene) bewegen 	<ul style="list-style-type: none"> • Kräfte messen (BIAX-Einheit) • Probe (in der Ebene) bewegen
15	Schrittmotoren (BIAX-Einheit)	<ul style="list-style-type: none"> • Elektrische Energie in rotatorische Energie/Bewegung umsetzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Probe in Ebene verformen • Probe (in der Ebene) bewegen 	<ul style="list-style-type: none"> • Kräfte messen (BIAX-Einheit) • Probe (in der Ebene) bewegen
16	Handräder für Schrittmotoren der Lineartische (BIAX-Einheit)	<ul style="list-style-type: none"> • Haltearme (BIAX-Einheit) außer Betrieb manuell translatorisch bewegen 	<ul style="list-style-type: none"> • Probe in Ebene verformen • Probe (in der Ebene) bewegen 	<ul style="list-style-type: none"> • Probe (in der Ebene) bewegen
17	TAU-Einheit (ohne Portalarm): <ul style="list-style-type: none"> • Rahmen mit Geradföhrungen für Portalschlitten • Linearmotoren (Stator mit Anker) für Bewegung des Portalschlittens in x und y-Richtung • Linearmotor (Stator ohne Anker) für Bewegung des Portalarmes in z-Richtung • Linearencoder für x und y-Richtung 	<ul style="list-style-type: none"> • Kräfte von Stempel an Parallelverschiebung übergeben • Portalarm im Raum positionieren • Portalarm aufnehmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Stempel x/y/z-Richtung verfahren 	<ul style="list-style-type: none"> • Stempel x/y/z-Richtung verfahren
18	Portalarm (TAU-Einheit) mit: <ul style="list-style-type: none"> • Führungsschiene • Anker z-Linearmotor • Encoder für z-Richtung • 3-Achs-Kraftmessdose • Sensorshield • Stempelaufnahme • Stempel • Laserpositionsdiode 	<ul style="list-style-type: none"> • Stempel halten • Kräfte von Stempel an TAU-Einheit übergeben • Auf Stempel wirkende Kräfte messen (im Raum) • Optische Positionierungshilfe bieten • Stempelspitze schützen 	<ul style="list-style-type: none"> • Stempel halten • Kräfte messen • Stempel schützen 	<ul style="list-style-type: none"> • Stempel halten • Kräfte messen (TAU-Einheit) • Stempel schützen

Nr.	Funktionsträger/Systemelement	Aufgabe Systemelement	Lösungsneutrale Formulierung (Hauptwort + aktives Zeitwort)	Teilfunktion in morph. Kasten
19	Parallelverschiebung für TAU-Einheit	<ul style="list-style-type: none"> • Bewegung der TAU-Einheit ermöglichen • Kräfte von TAU-Einheit an Maschinenrahmen weitergeben 	<ul style="list-style-type: none"> • TAU-Einheit verfahren 	<ul style="list-style-type: none"> • TAU-Einheit verfahren
20	Maschinenrahmen zur Aufnahme der Parallelverschiebung	<ul style="list-style-type: none"> • Kräfte der Parallelverschiebung aufnehmen 	<ul style="list-style-type: none"> • TAU-Einheit verfahren 	<ul style="list-style-type: none"> • TAU-Einheit verfahren
21	Fundament (Metallkreuz) zur Aufnahme der BIAX-Einheit und des Beckens	<ul style="list-style-type: none"> • Kräfte von Schrittmotoren auf Maschinensockel ableiten • Kräfte von Maschinenrahmen an Maschinensockel ableiten 	<ul style="list-style-type: none"> • Kräfte bei Messung aufnehmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Kräfte messen (BIAX-Einheit)
22	Arretierung für Parallelverschiebung der TAU-Einheit außer Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Position der TAU-Einheit außer Betrieb sicherstellen 	<ul style="list-style-type: none"> • TAU-Einheit verfahren 	<ul style="list-style-type: none"> • TAU-Einheit verfahren
23	Gasdruckfeder für Parallelverschiebung der TAU-Einheit	<ul style="list-style-type: none"> • Verfahren der TAU-Einheit im Raum erleichtern 	<ul style="list-style-type: none"> • TAU-Einheit verfahren 	<ul style="list-style-type: none"> • TAU-Einheit verfahren
24	Arretierung für Parallelverschiebung der TAU-Einheit in Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Kräfte der TAU-Einheit direkt an Maschinenrahmen ableiten 	<ul style="list-style-type: none"> • TAU-Einheit (während Messung) arretieren 	<ul style="list-style-type: none"> • TAU-Einheit (während Messung) arretieren
25	VE-Kamera	<ul style="list-style-type: none"> • Messung der Verformung 	<ul style="list-style-type: none"> • Verformung messen 	<ul style="list-style-type: none"> • Verformung messen
26	Verstellmöglichkeit für Kameraaufnahme	<ul style="list-style-type: none"> • Kamera im Raum positionieren 	<ul style="list-style-type: none"> • Verformung messen 	<ul style="list-style-type: none"> • Verformung messen
27	Beleuchtung (Beleuchtung der Probe von unten/oben, Beleuchtung des Maschineninneraumes)	<ul style="list-style-type: none"> • Innenraum der Maschine ausleuchten • Probe beleuchten 	<ul style="list-style-type: none"> • Verformungsmessung ermöglichen 	<ul style="list-style-type: none"> • Verformung messen
28	Haltearme (BIAX-Einheit) mit Ösen für Bolzenaufnahme	<ul style="list-style-type: none"> • Kräfte von Haltefäden an die Haltearmaufnahme der Kraftmessdosen (BIAX-Einheit) übergeben • Aufnahme der Bolzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Kräfte leiten 	<ul style="list-style-type: none"> • Kräfte messen (BIAX-Einheit)
29	Bolzen für Fadenbefestigung an Haltearmen (BIAX-Einheit)	<ul style="list-style-type: none"> • Kräfte der Haltefäden an die Haltearme (BIAX-Einheit) übergeben 	<ul style="list-style-type: none"> • Kräfte leiten 	<ul style="list-style-type: none"> • Kräfte messen (BIAX-Einheit)
30	Tragevorrichtung	<ul style="list-style-type: none"> • Einbau und Ausbau der Probe in der Maschine erleichtern • Transport der Probe erleichtern 	<ul style="list-style-type: none"> • Probe und Haltearm (während Fadenanbringung) halten 	<ul style="list-style-type: none"> • Probe und Haltearm (während Fadenanbringung) halten • Probe transportieren
31	Untergestell für Tragevorrichtung	<ul style="list-style-type: none"> • Aufnahme der Transportvorrichtung • Tragevorrichtung positionieren 	<ul style="list-style-type: none"> • Tragevorrichtung während Fadenanbringung halten 	<ul style="list-style-type: none"> • Probe und Haltearm (während Fadenanbringung) halten

Tabelle 8: Übersicht der Funktionsträger

Neben den Teilfunktionen aus der Analyse der bestehenden Maschinen können sich auch weitere Teilfunktion durch Berücksichtigung der Anforderungsliste des Prüfstands ergeben (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 247). Nach Durchsicht der Anforderungsliste ergeben sich keine zusätzlichen Teilfunktionen daraus. Es ergeben sich somit 14 Teilfunktionen (Siehe Tabelle 9).

Nr.	Name der Teilfunktion
1	Probe konditionieren
2	Probe (in der Ebene) bewegen
3	Verformung messen
4	Lösbare Verbindung (mit Haltearm der BIAX-Einheit) herstellen
5	Kräfte messen (BIAX-Einheit)
6	Stempel x/y/z-Richtung verfahren
7	Stempel halten
8	Kräfte messen (TAU-Einheit)
9	Stempel schützen
10	TAU-Einheit verfahren
11	TAU-Einheit (während Messung) arretieren
12	TAU-Einheit (während Messung) abstützen
13	Probe und Haltearm (während Fadenanbringung) halten
14	Probe transportieren

Tabelle 9: Übersicht der Teilfunktionen

6.2.3 Aufstellen der Funktionsstruktur

Sobald nun die Teilfunktionen bekannt sind, werden diese zur Funktionsstruktur in Form eines Blockschaltbildes miteinander verknüpft (siehe Abbildung 42). Die Teilfunktionen werden über Energie-/Stoff- oder Signalflüsse miteinander verbunden. Außen wird die Funktionsstruktur über die Systemgrenze abgegrenzt. In diese münden Energie-/Stoff- oder Signalflüsse als Eingangsgrößen ein bzw. verlassen diese Flüsse die Systemgrenze als Ausgangsgrößen (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 40).

Weiters sollten in einer Funktionsstruktur nicht mehr als zehn Teilfunktionen angeführt werden. Sollte sich trotzdem der Bedarf ergeben, mehr als zehn Teilfunktionen in der Funktionsstruktur unterbringen zu müssen, so sollte die Funktionsstruktur in mehrere Ebenen zerteilt werden.

Generell sollte beim Erstellen der Funktionsstruktur größtes Augenmerk auf die Einfachheit gelegt werden. D.h. diese sollte nur soweit ausgeführt werden, soweit sie auch der Zielsetzung dient (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 252).

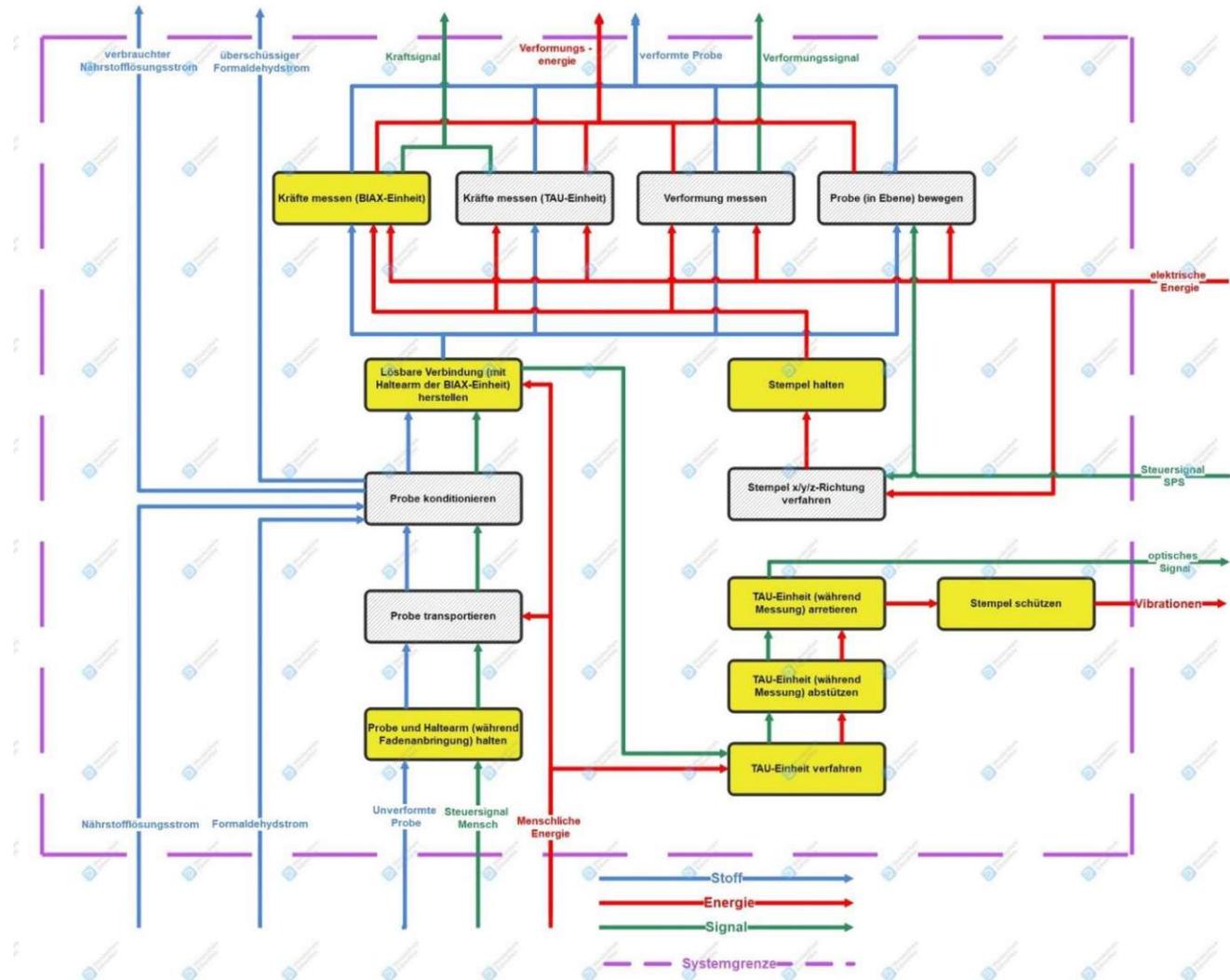


Abbildung 42: Funktionsstruktur der Gesamtfunktion „Blutgefäß in Ebene und normal zur Ebene belasten und Kräfte/Verformungen messen“. Für die grau hinterlegten Teilfunktionen existieren bereits vorgegebene Wirkprinzipien.

6.3 Suche nach Wirkprinzipien

In diesem Schritt werden Wirkprinzipien zur Lösung der Teilfunktionen gesucht. Spezielle Methoden zur Lösungsfindung unterstützen bei der systematischen Suche nach Wirkprinzipien.

Bevor die Suche nach Wirkprinzipien begonnen wird, sollte zunächst die Funktionsstruktur nochmals analysiert werden, ob nicht für bestimmte Teilfunktionen bereits fertige Wirkprinzipien vorliegen. Im Falle des Prüfstands sind für die Teilfunktionen „Probe konditionieren“, „Probe (in der Ebene) bewegen“, „Verformung messen“, „Stempel x/y/z-Richtung verfahren“, „Kräfte messen (TAU-Einheit)“, „Probe transportieren“ bereits erprobte Wirkprinzipien vorhanden und es müssen daher keine Wirkprinzipien für diese Teilfunktionen gesucht werden (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 254).

Im Allgemeinen können bei der systematischen Lösungssuche drei Gruppen von Methoden unterschieden werden (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 121–162):

- Konventionelle Methoden
- Intuitiv betonte Methoden
- Diskursiv betonte Methoden

Die Gruppe der konventionellen, intuitiv- bzw. diskursiv betonten Methoden können weiter unterteilt werden (siehe Tabelle 10):

Konventionelle Methoden	Intuitiv betonte Methoden	Diskursiv betonte Methoden
Kollektionsverfahren	Brainstorming	Systematische Untersuchung des physikalischen Zusammenhangs
Analyse natürlicher Systeme	Methode 635	Systematische Suche mit Hilfe von Ordnungsschemata
Analyse bekannter technischer Systeme	Galeriemethode	Verwendung von Katalogen
Analogiebetrachtung	Delphi-Methode	-
Messung/Modellversuche	Synektik	-
-	Kombinierte Anwendung	-

Tabelle 10: Übersicht der Methoden zur Lösungsfindung für Wirkprinzipien (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 121–162)

Im Zuge dieser Arbeit werden hauptsächlich konventionelle Methoden angewendet. Vor allem das Kollektionsverfahren bzw. die Analyse bekannter technischer Systeme erweisen sich hierbei als sehr ergiebig.

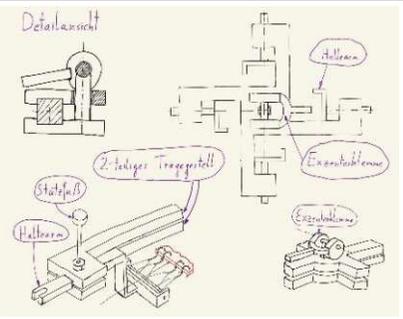
Für folgende Teilfunktionen sind mit den oben genannten Methoden Wirkprinzipien gesucht worden (siehe Tabelle 11).

Nr.	Name der Teilfunktion
1	Probe und Haltearm (während Fadenanbringung) halten
2	Lösbare Verbindung (mit Haltearm der BIAX-Einheit) herstellen
3	Kräfte messen (BIAX-Einheit)
4	TAU-Einheit verfahren
5	Stempel halten
6	TAU-Einheit (während Messung) arretieren
7	TAU-Einheit (während Messung) abstützen
8	Stempel schützen

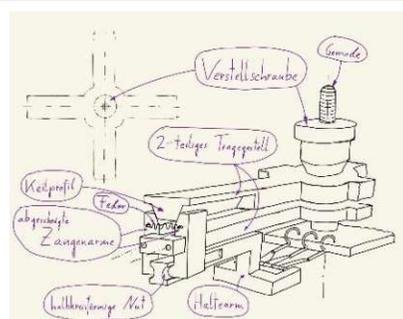
Tabelle 11: Übersicht der Teilfunktionen für die Wirkprinzipien gesucht werden. Teilfunktionen für die bereits Wirkprinzipien existieren werden nicht berücksichtigt.

Nachfolgend wird eine Übersicht über die Teilfunktionen mit ihren zugehörigen Wirkprinzipien gegeben (Tabelle 12-19).

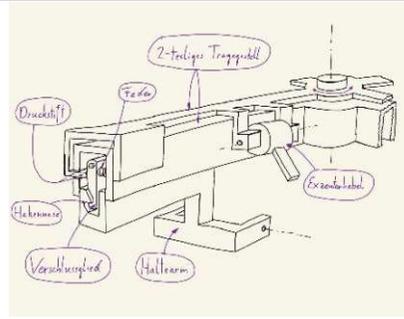
1. Probe und Haltearm (während Fadenanbringung) halten



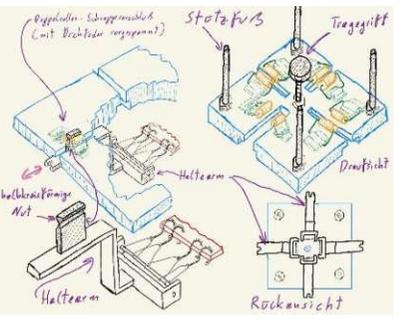
Wirkprinzip 1.1



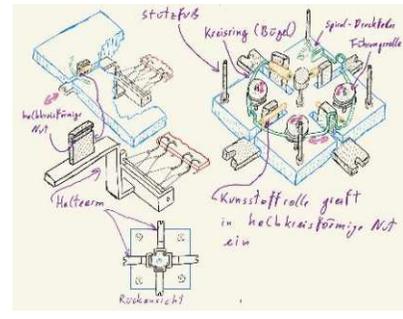
Wirkprinzip 1.2



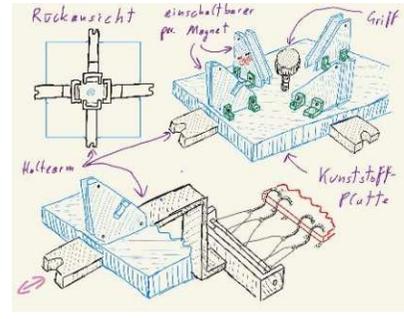
Wirkprinzip 1.3



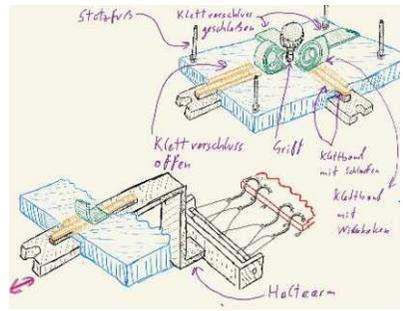
Wirkprinzip 1.4



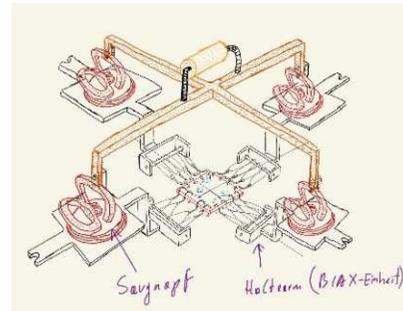
Wirkprinzip 1.5



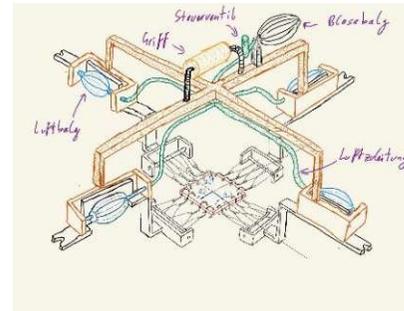
Wirkprinzip 1.6



Wirkprinzip 1.7



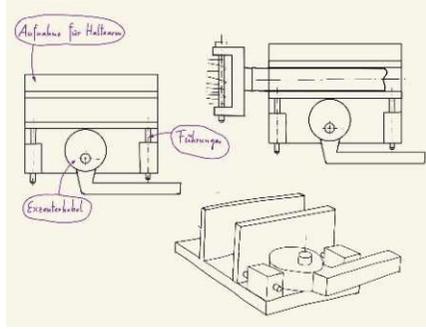
Wirkprinzip 1.8



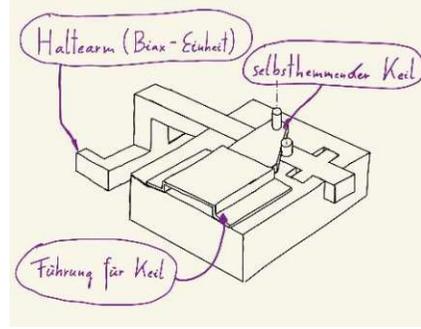
Wirkprinzip 1.9

Tabelle 12: Übersicht für Wirkprinzipien der Teilfunktion 1

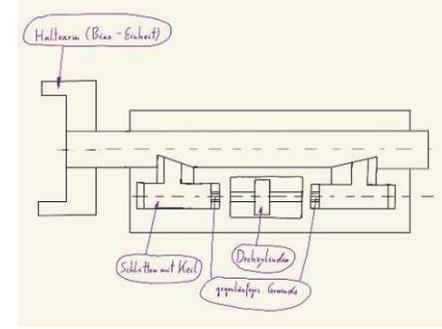
2. Lösbare Verbindung (mit Haltearm der BIAX-Einheit) herstellen



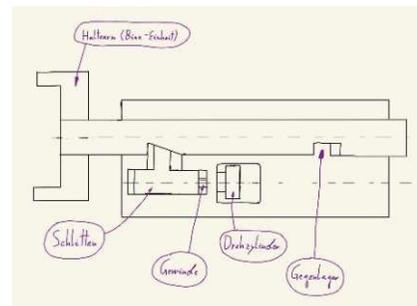
Wirkprinzip 2.1



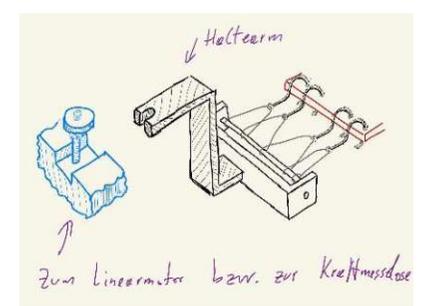
Wirkprinzip 2.2



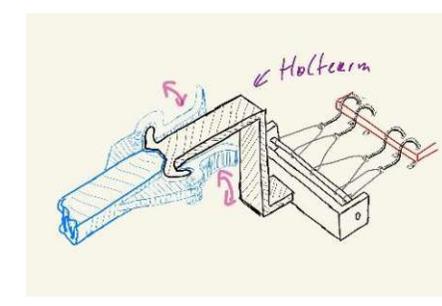
Wirkprinzip 2.3



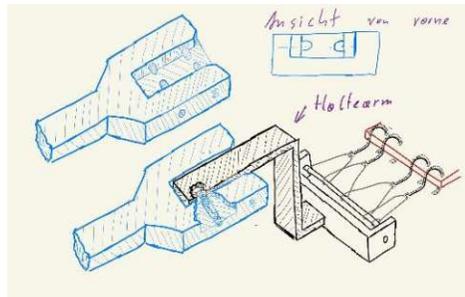
Wirkprinzip 2.4



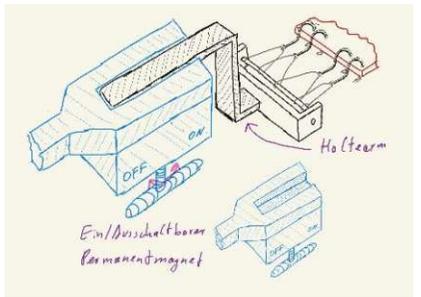
Wirkprinzip 2.5



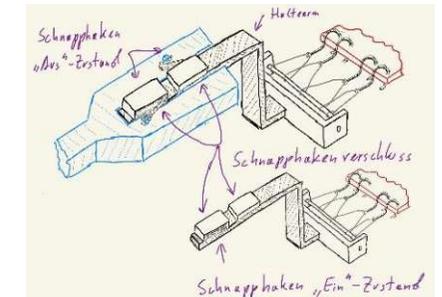
Wirkprinzip 2.6



Wirkprinzip 2.7



Wirkprinzip 2.8

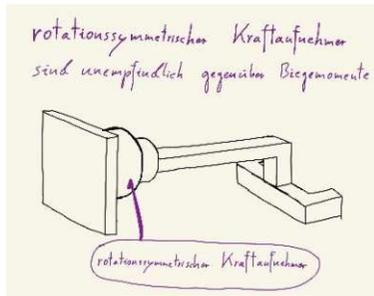


Wirkprinzip 2.9

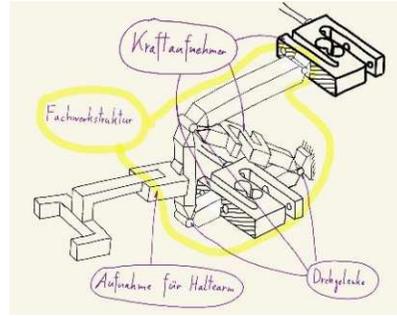
2. Lösbare Verbindung (mit Haltearm der BIAX-Einheit) herstellen (Fortsetzung)		
Wirkprinzip 2.10	Wirkprinzip 2.11	Wirkprinzip 2.12
Wirkprinzip 2.13	Wirkprinzip 2.14	Wirkprinzip 2.15

Tabelle 13: Übersicht für Wirkprinzipien der Teilfunktion 2

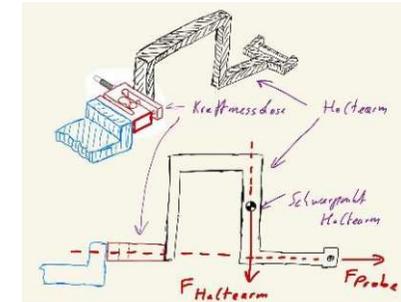
3. Kräfte messen (BIAX-Einheit)



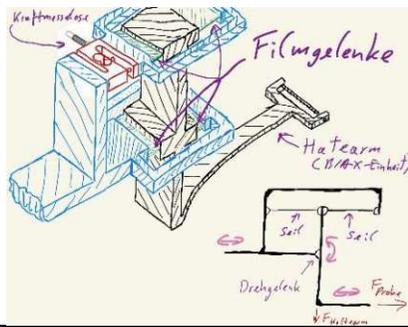
Wirkprinzip 3.1



Wirkprinzip 3.2



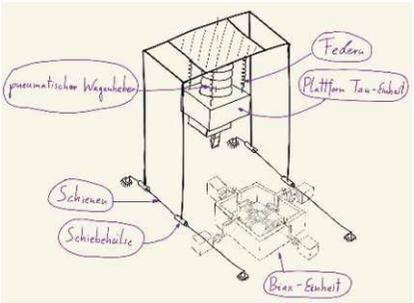
Wirkprinzip 3.3



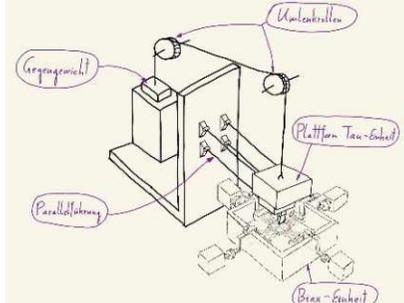
Wirkprinzip 3.4

Tabelle 14: Übersicht für Wirkprinzipien der Teilfunktion 3

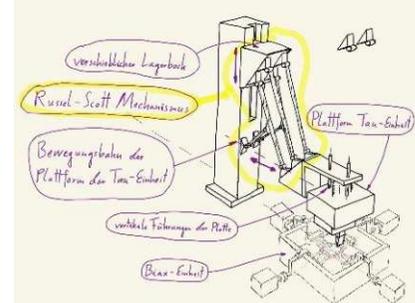
4. TAU-Einheit verfahren



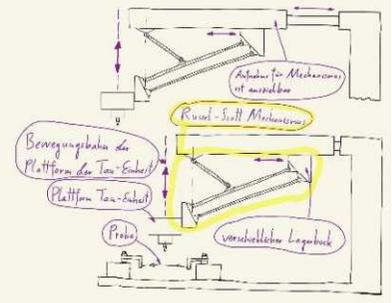
Wirkprinzip 4.1



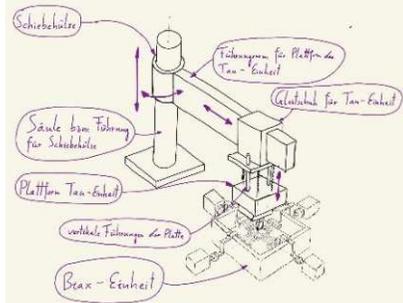
Wirkprinzip 4.2



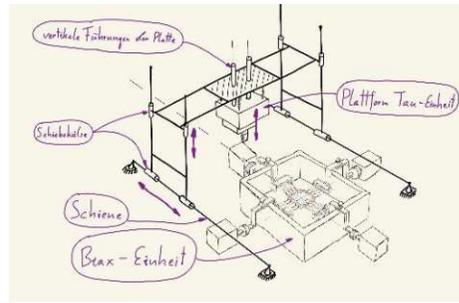
Wirkprinzip 4.3



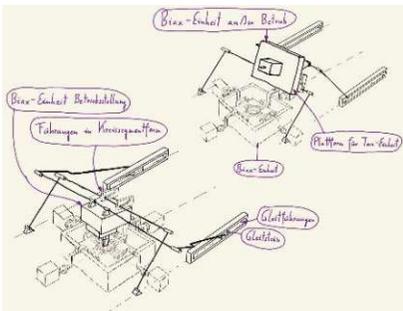
Wirkprinzip 4.4



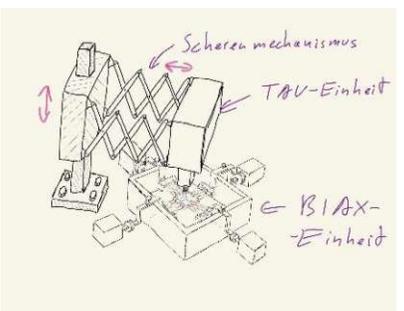
Wirkprinzip 4.5



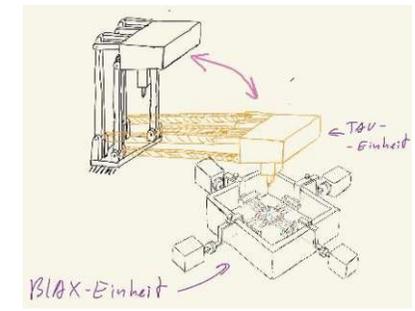
Wirkprinzip 4.6



Wirkprinzip 4.7

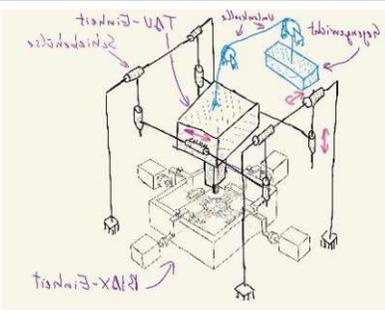


Wirkprinzip 4.8

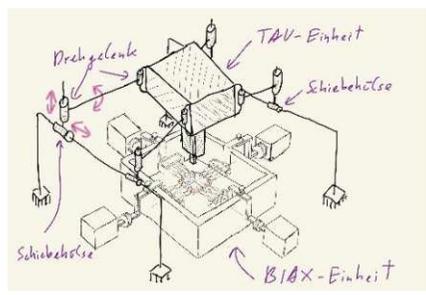


Wirkprinzip 4.9

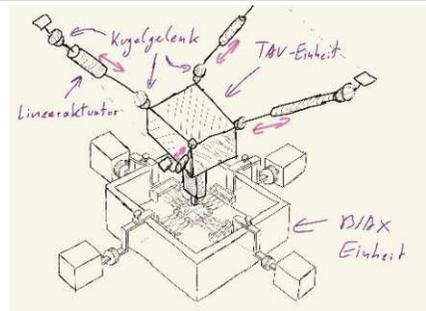
4. TAU-Einheit verfahren (Fortsetzung)



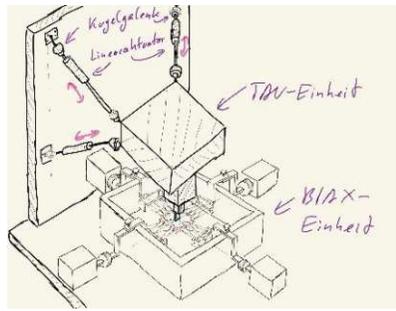
Wirkprinzip 4.10



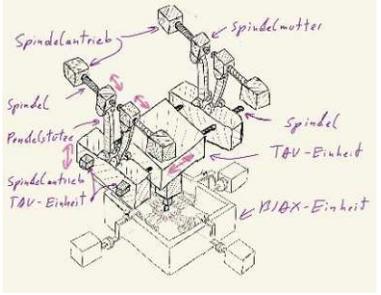
Wirkprinzip 4.11



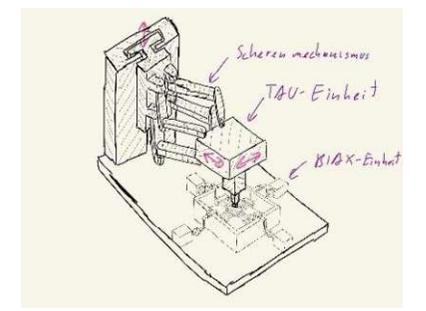
Wirkprinzip 4.12



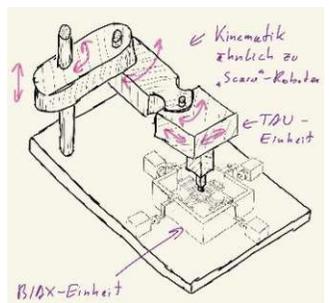
Wirkprinzip 4.13



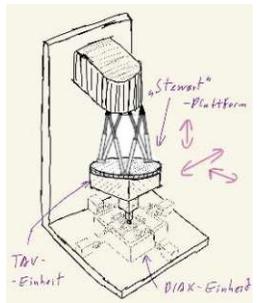
Wirkprinzip 4.14



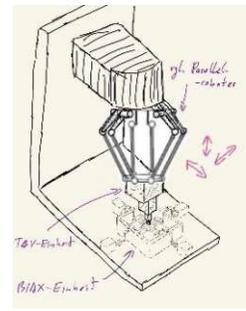
Wirkprinzip 4.15



Wirkprinzip 4.16

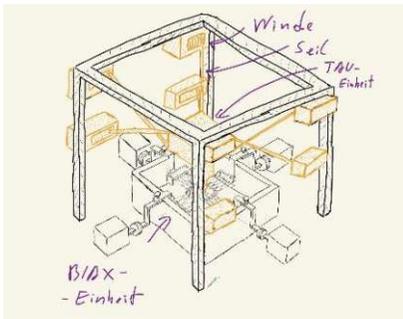


Wirkprinzip 4.17

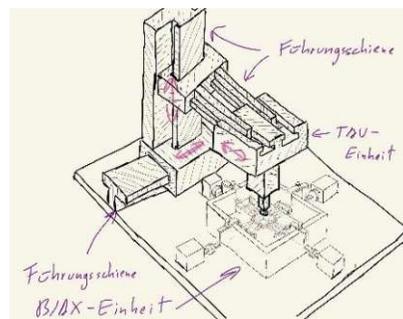


Wirkprinzip 4.18

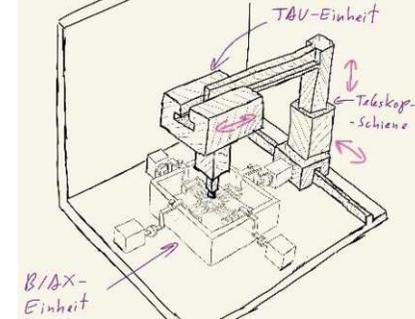
4.TAU-Einheit verfahren (Fortsetzung)



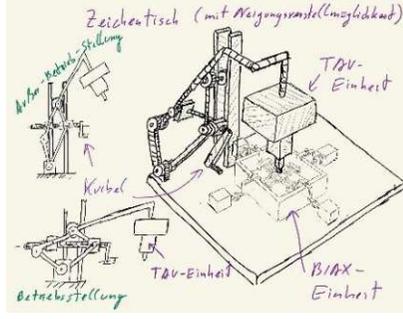
Wirkprinzip 4.19



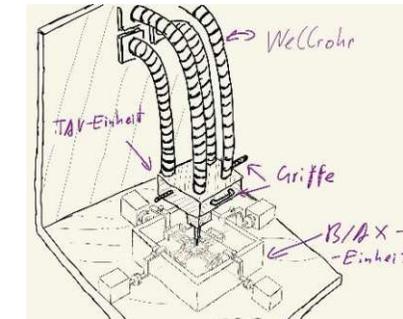
Wirkprinzip 4.20



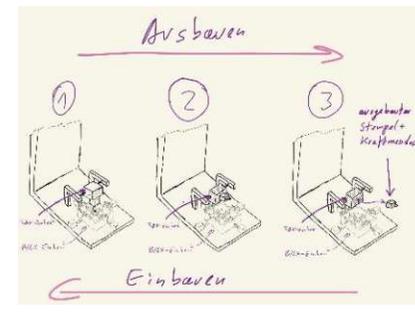
Wirkprinzip 4.21



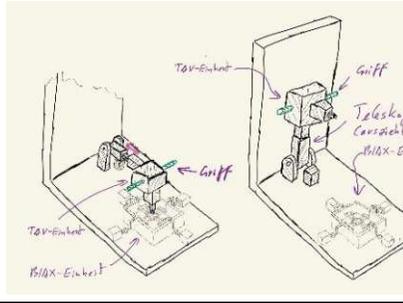
Wirkprinzip 4.22



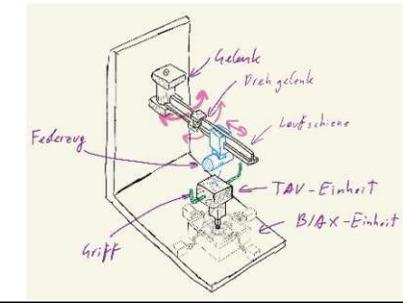
Wirkprinzip 4.23



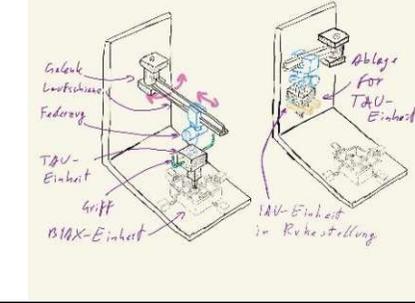
Wirkprinzip 4.24



Wirkprinzip 4.25



Wirkprinzip 4.26



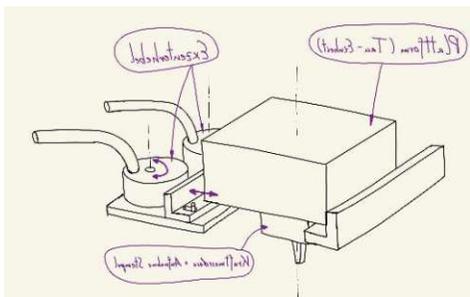
Wirkprinzip 4.27

Tabelle 15: Übersicht für Wirkprinzipien der Teilfunktion 4

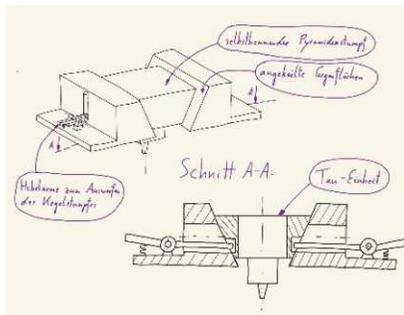
5. Stempel halten		
Wirkprinzip 5.1	Wirkprinzip 5.2	Wirkprinzip 5.3
Wirkprinzip 5.4	Wirkprinzip 5.5	

Tabelle 16: Übersicht für Wirkprinzipien der Teilfunktion 5

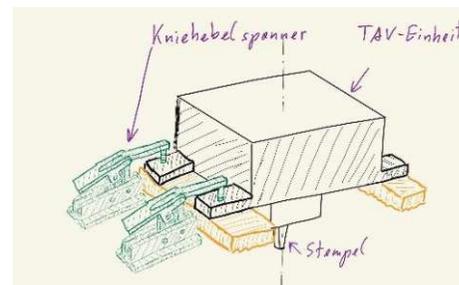
6. TAU-Einheit (während Messung) arretieren



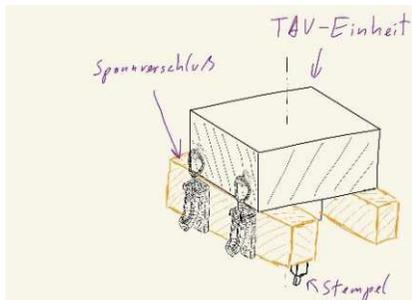
Wirkprinzip 6.1



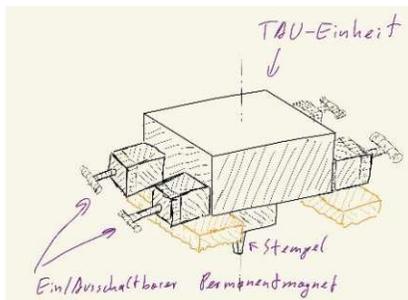
Wirkprinzip 6.2



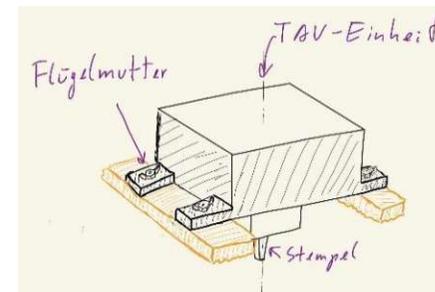
Wirkprinzip 6.3



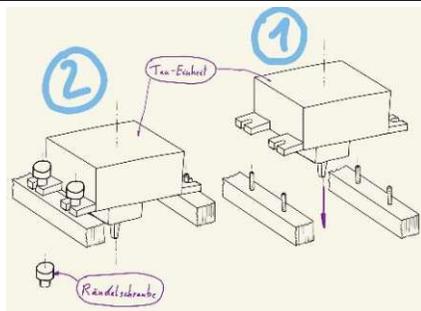
Wirkprinzip 6.4



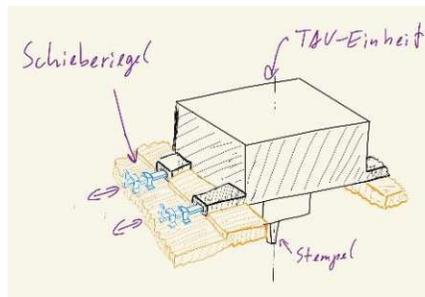
Wirkprinzip 6.5



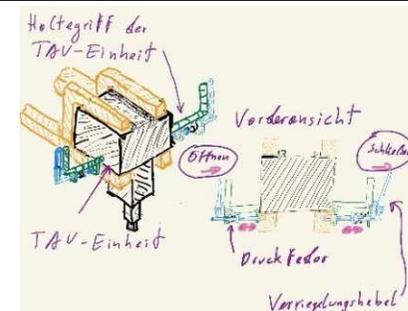
Wirkprinzip 6.6



Wirkprinzip 6.7



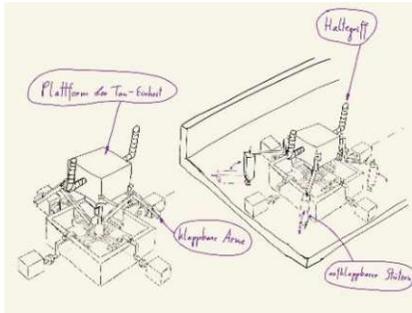
Wirkprinzip 6.8



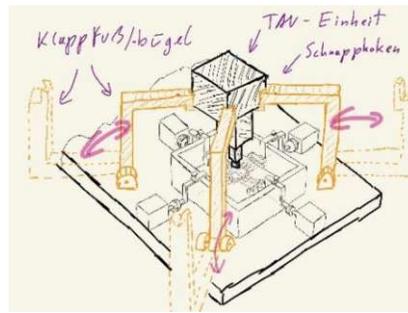
Wirkprinzip 6.9

Tabelle 17: Übersicht für Wirkprinzipien der Teilfunktion 6

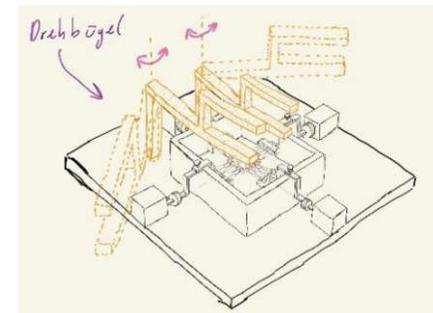
7. TAU-Einheit (während Messung) abstützen



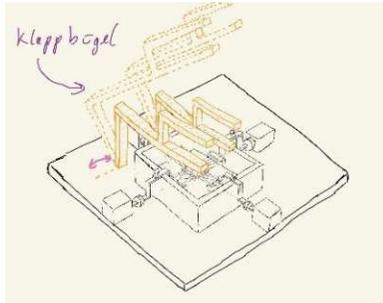
Wirkprinzip 7.1



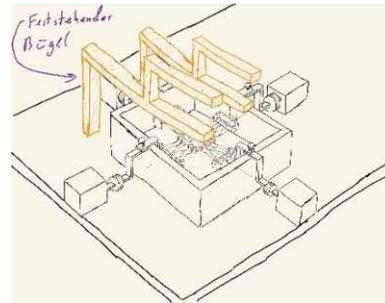
Wirkprinzip 7.2



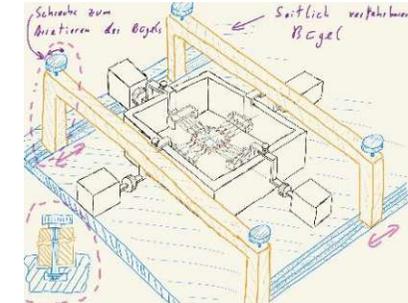
Wirkprinzip 7.3



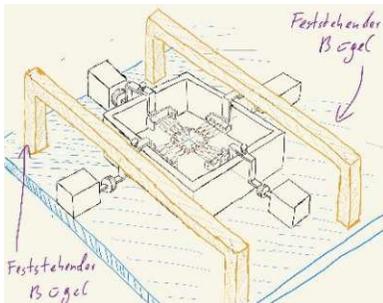
Wirkprinzip 7.4



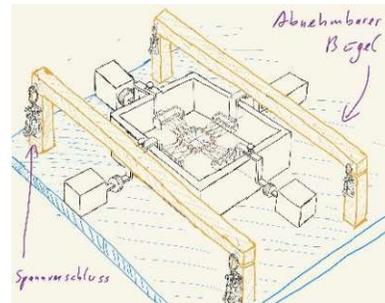
Wirkprinzip 7.5



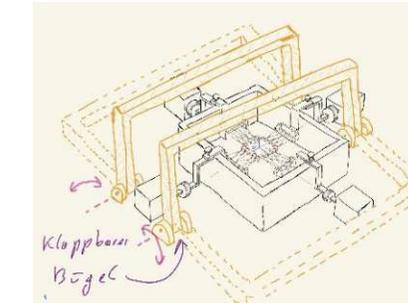
Wirkprinzip 7.6



Wirkprinzip 7.7



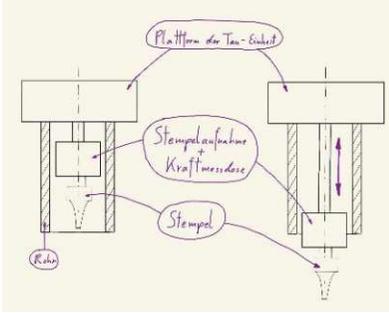
Wirkprinzip 7.8



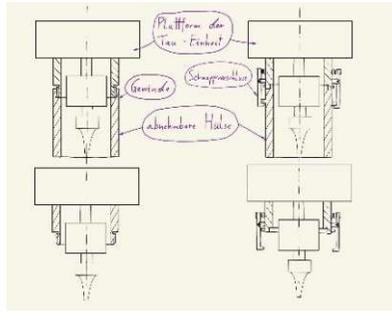
Wirkprinzip 7.9

Tabelle 18: Übersicht für Wirkprinzipien der Teilfunktion 7

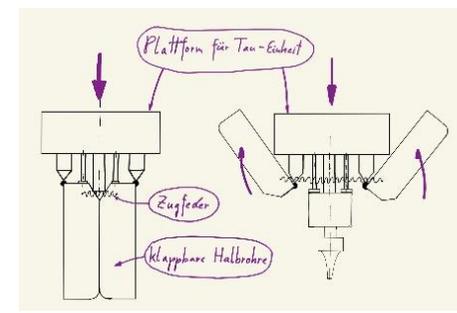
8. Stempelspitze schützen



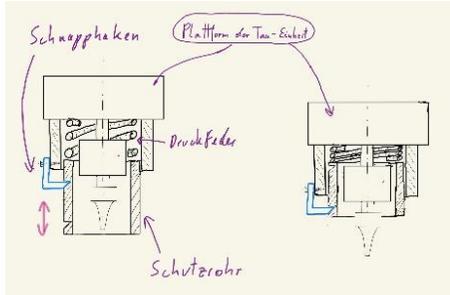
Wirkprinzip 8.1



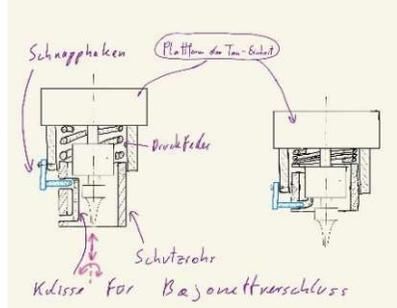
Wirkprinzip 8.2



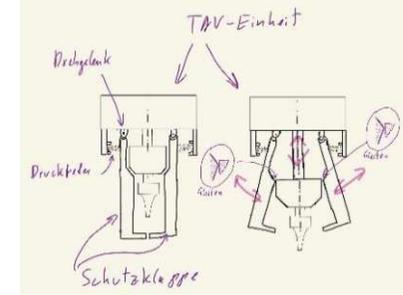
Wirkprinzip 8.3



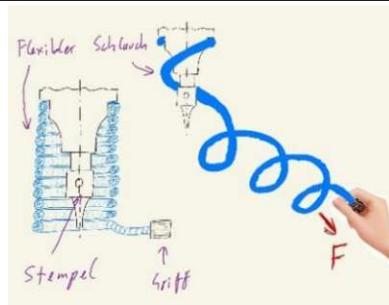
Wirkprinzip 8.4



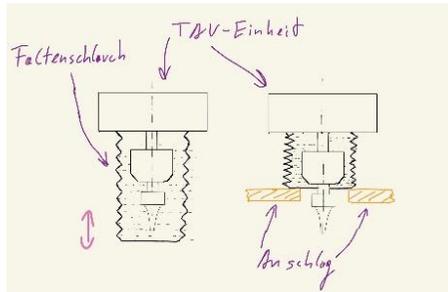
Wirkprinzip 8.5



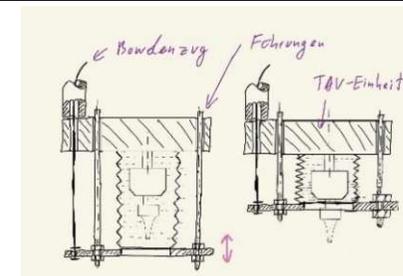
Wirkprinzip 8.6



Wirkprinzip 8.7



Wirkprinzip 8.8



Wirkprinzip 8.9

Tabelle 19: Übersicht für Wirkprinzipien der Teilfunktion 8

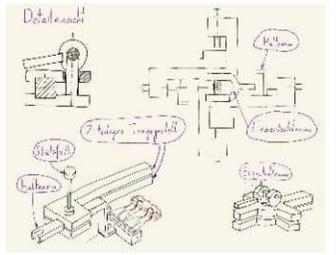
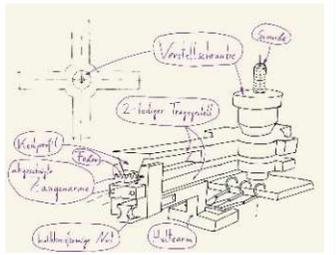
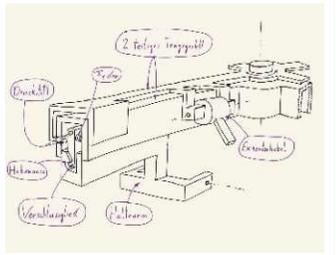
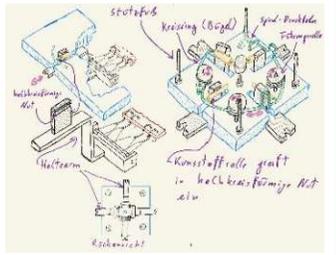
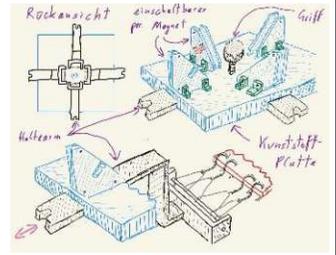
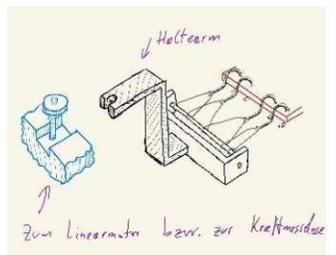
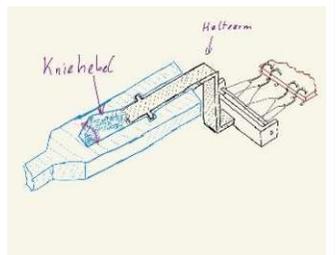
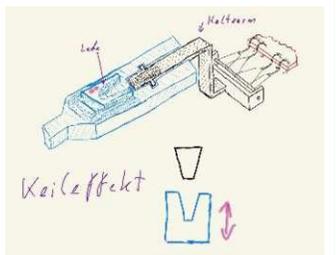
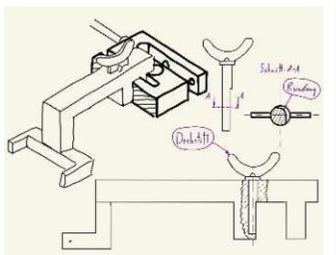
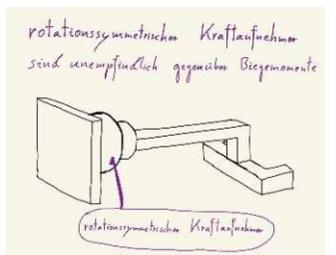
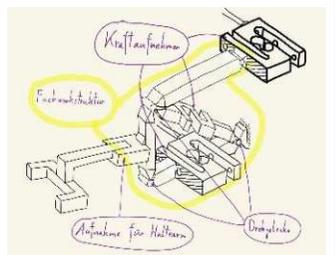
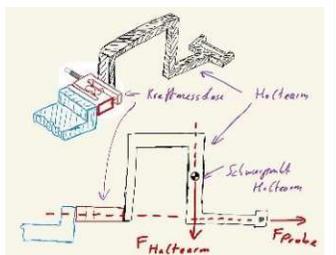
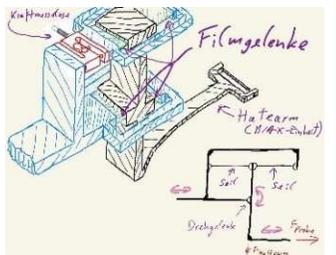
6.4 Kombinieren von Wirkprinzipien zu Wirkstrukturen

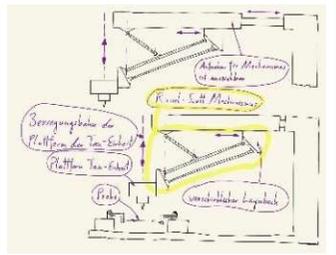
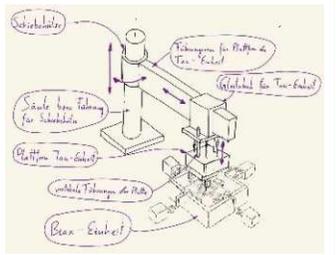
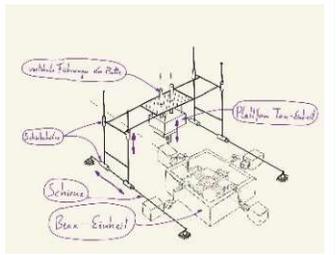
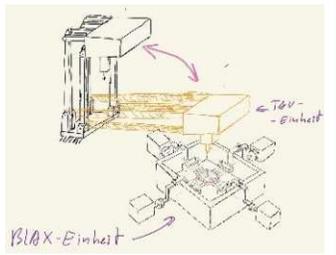
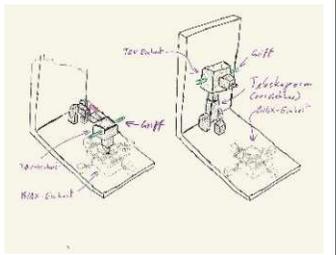
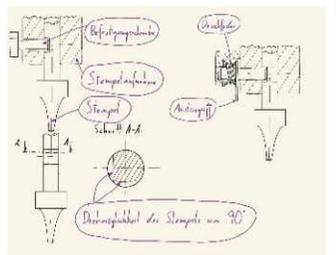
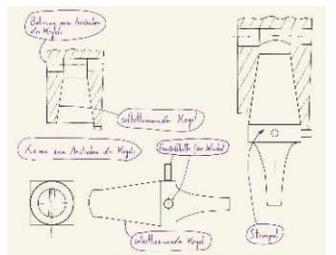
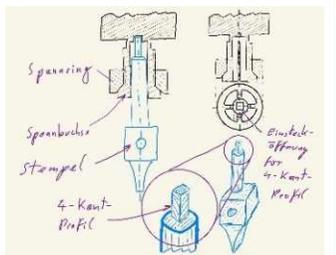
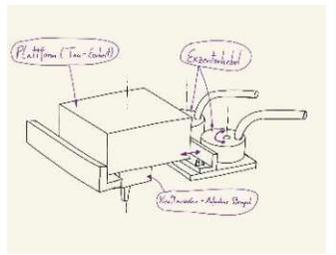
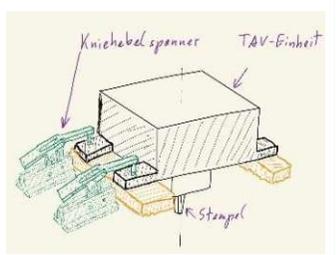
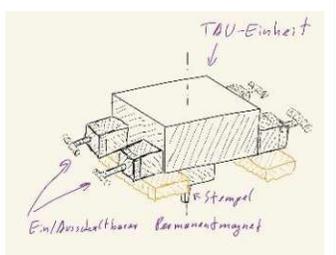
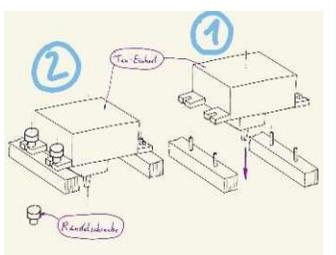
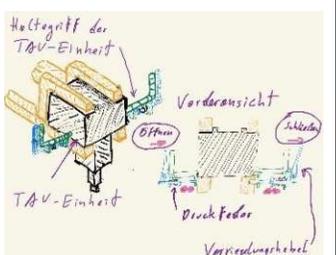
Im folgenden Abschnitt sollen mit Hilfe des morphologischen Kastens unterschiedliche Wirkprinzipien zu Wirkstrukturen kombiniert werden. Dafür muss zunächst ein morphologischer Kasten erstellt werden (siehe Tabelle 20). Der morphologische Kasten besteht aus Zeilen und Spalten. Die äußerst linke Spalte enthält die Teilfunktionen und die Spalten rechts davon enthalten die zugehörigen Wirkprinzipien (Teillösungen). Beim Erstellen einer Wirkstruktur wird jeweils ein Wirkprinzip einer Teilfunktion mit einem Wirkprinzip einer benachbarten Teilfunktion verbunden. Sobald für jede Teilfunktion ein Wirkprinzip ausgewählt worden ist, können diese Wirkprinzipien zu einer Wirkstruktur verbunden werden (siehe Abbildung 43-48). Beim Verknüpfungsprozess ist darauf zu achten, dass die Wirkprinzipien der einzelnen Teilfunktionen miteinander kompatibel sind. Als Hilfestellung kann hierbei die Verträglichkeitsmatrix herangezogen werden (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 160).

Da es sich bei der vorliegenden Produktentwicklung um eine Anpassungskonstruktion handelt und diese in enger Abstimmung mit dem Auftraggeber durchgeführt wird, ist es zweckmäßig, mit dem Kunden eine Vorauswahl der Wirkprinzipien durchzuführen. Mit dieser Vorauswahl sollen nur solche Wirkprinzipien in den morphologischen Kasten übernommen werden, welche von diesem als verfolgenswert erachtet werden.

Die Wirkprinzipien sind sehr ausführlich ausgeführt und entsprechend der technischen Versiertheit angepasst, da der Auftraggeber des Prüfstands nicht unmittelbar aus dem Maschinenbauumfeld kommt. Um das Verständnis der Skizzen zu erleichtern, wird auch der Kontext der Anwendung des Wirkprinzips dargestellt.

Im Zuge der Vorauswahl mit dem Auftraggeber sind nur 36 der 87 Wirkprinzipien in den morphologischen Kasten übernommen worden.

	Wirkprinzip 1	Wirkprinzip 2	Wirkprinzip 3	Wirkprinzip 4	Wirkprinzip 5
1. Probe und Haltarm während Fadenanbringung halten	 WS1; WS2;	 WS3; WS5; WS6;	 WS4;	 WS4;	 WS4;
	Wirkprinzip 1.1	Wirkprinzip 1.2	Wirkprinzip 1.3	Wirkprinzip 1.5	Wirkprinzip 1.6
2. Lösare Verbindung mit (Haltarm der BLAX-Einheit) herstellen	 WS1; WS2; WS3; WS4;	 WS5;	 WS5;	 WS6;	
	Wirkprinzip 2.5	Wirkprinzip 2.11	Wirkprinzip 2.12	Wirkprinzip 2.15	
3. Kräfte messen (BLAX-Einheit)	 WS1; WS2; WS3; WS4; WS5; WS6;	 WS1; WS2; WS3; WS4; WS5; WS6;	 WS1; WS2; WS3; WS4; WS5; WS6;	 WS1; WS2; WS3; WS4; WS5; WS6;	
	Wirkprinzip 3.1	Wirkprinzip 3.2	Wirkprinzip 3.3	Wirkprinzip 3.4	

	Wirkprinzip 1	Wirkprinzip 2	Wirkprinzip 3	Wirkprinzip 4	Wirkprinzip 5
4. TAU-Einheit verfahren	 WS5;	 WS1;	 WS4;	 WS6;	 WS2; WS3;
	Wirkprinzip 4.4	Wirkprinzip 4.5	Wirkprinzip 4.6	Wirkprinzip 4.9	Wirkprinzip 4.25
5. Stempel halten	 WS1; WS2; WS3; WS4;	 WS6;	 WS5;		
	Wirkprinzip 5.1	Wirkprinzip 5.2	Wirkprinzip 5.3		
6. TAU-Einheit (während Messung) arretieren	 WS4; WS6;	 WS1; WS2; WS3; WS5;	 WS5;	 WS6;	 WS6;
	Wirkprinzip 6.1	Wirkprinzip 6.3	Wirkprinzip 6.5	Wirkprinzip 6.7	Wirkprinzip 6.9

	Wirkprinzip 1	Wirkprinzip 2	Wirkprinzip 3	Wirkprinzip 4	Wirkprinzip 5
7. TAU-Einheit während Messung abstützen	<p>WS6;</p>		<p>WS1; WS2;</p>	<p>WS3;</p>	
	Wirkprinzip 7.2	Wirkprinzip 7.3	Wirkprinzip 7.6	Wirkprinzip 7.7	Wirkprinzip 7.9
8. Stempelspitze schützen	<p>WS1; WS2; WS3;</p>	<p>WS5;</p>			<p>WS6;</p>
	Wirkprinzip 8.1	Wirkprinzip 8.2	Wirkprinzip 8.3	Wirkprinzip 8.4	Wirkprinzip 8.5

Tabelle 20: Morphologischer Kasten

Wirkstruktur 1

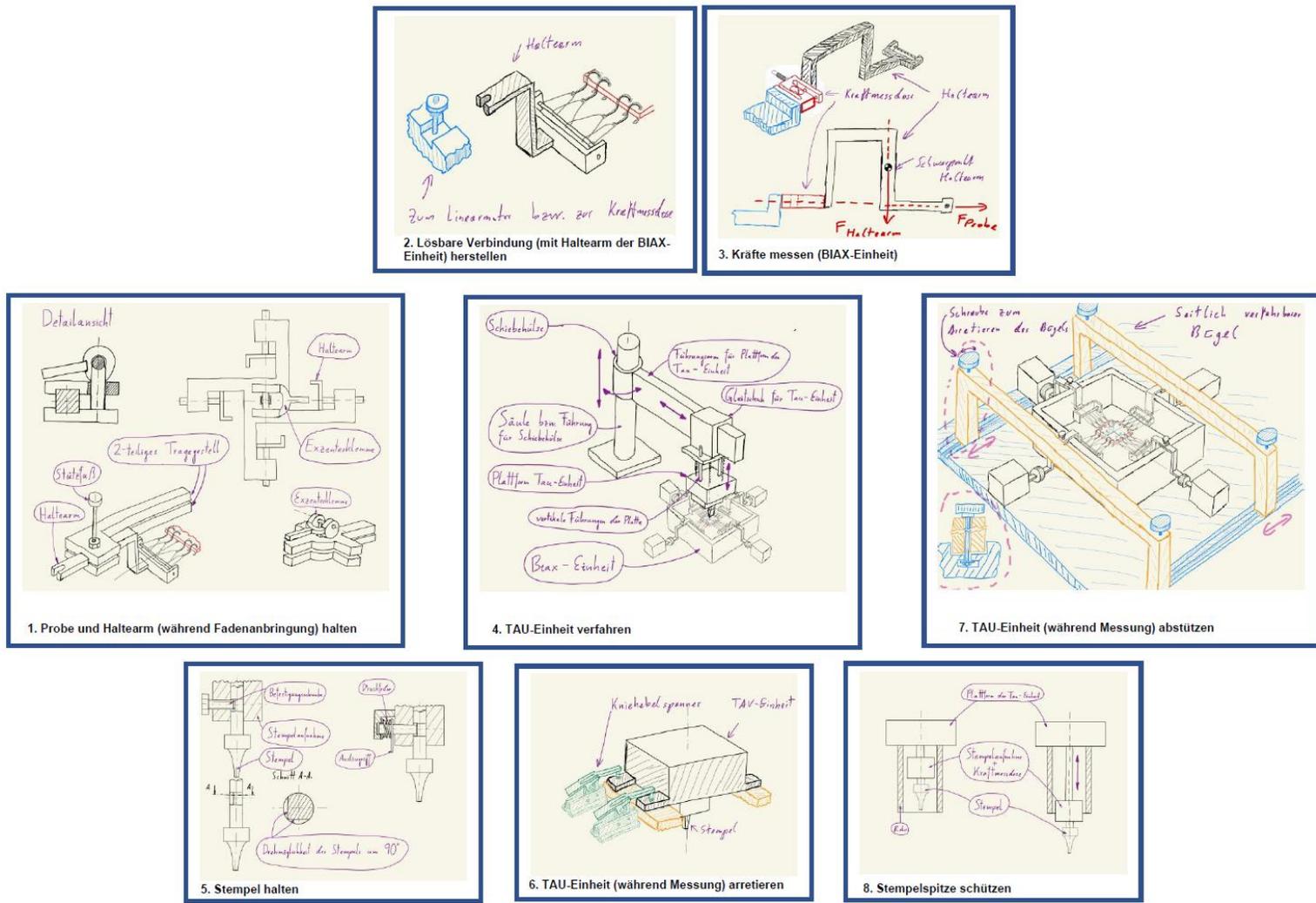


Abbildung 43: Wirkstruktur 1

Wirkstruktur 2

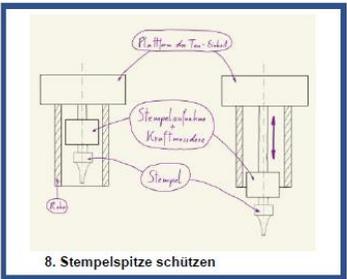
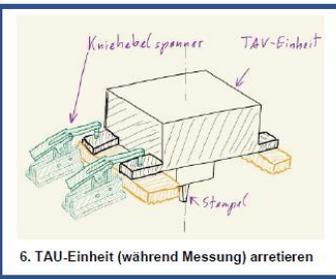
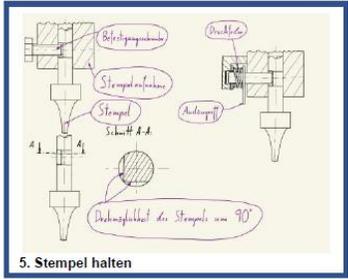
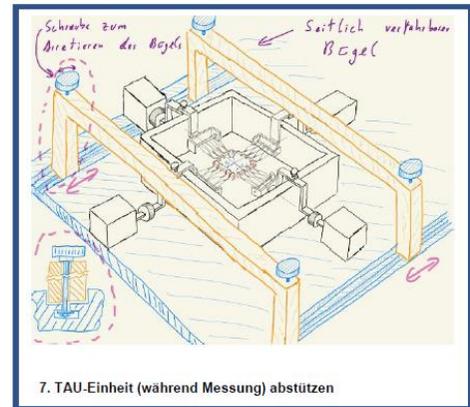
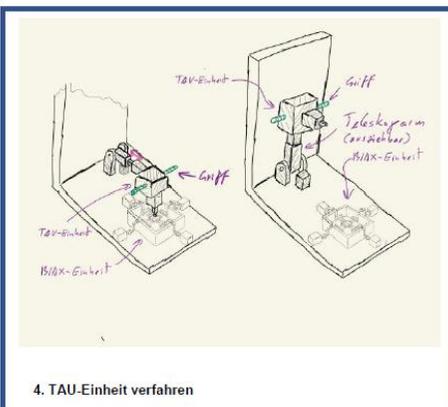
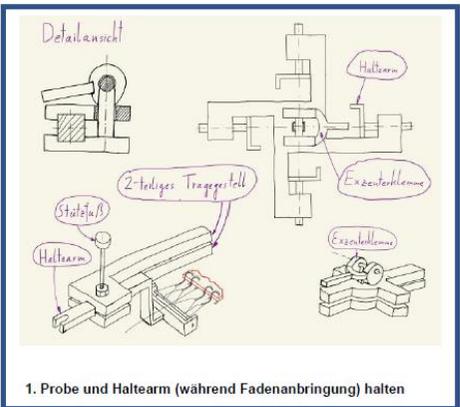
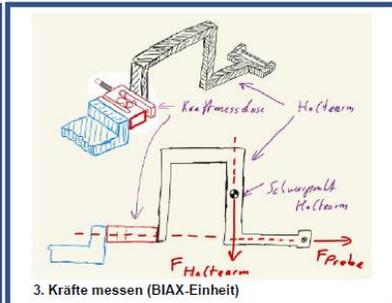
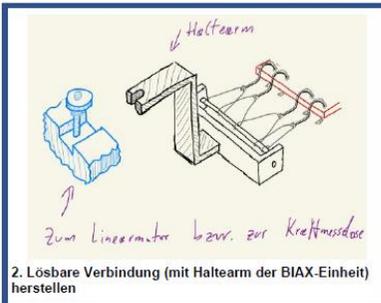


Abbildung 44: Wirkstruktur 2

Wirkstruktur 3

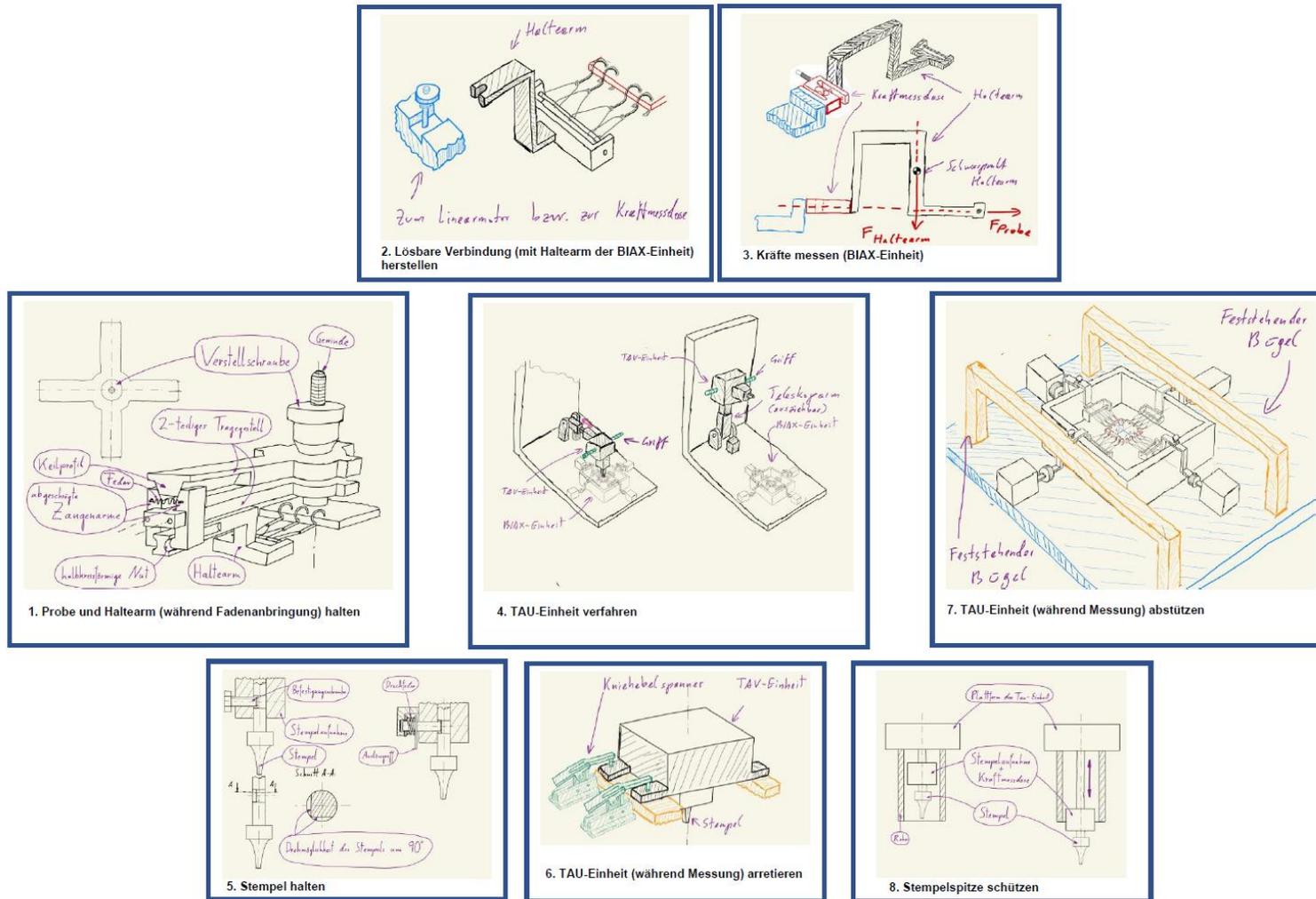


Abbildung 45: Wirkstruktur 3

Wirkstruktur 4

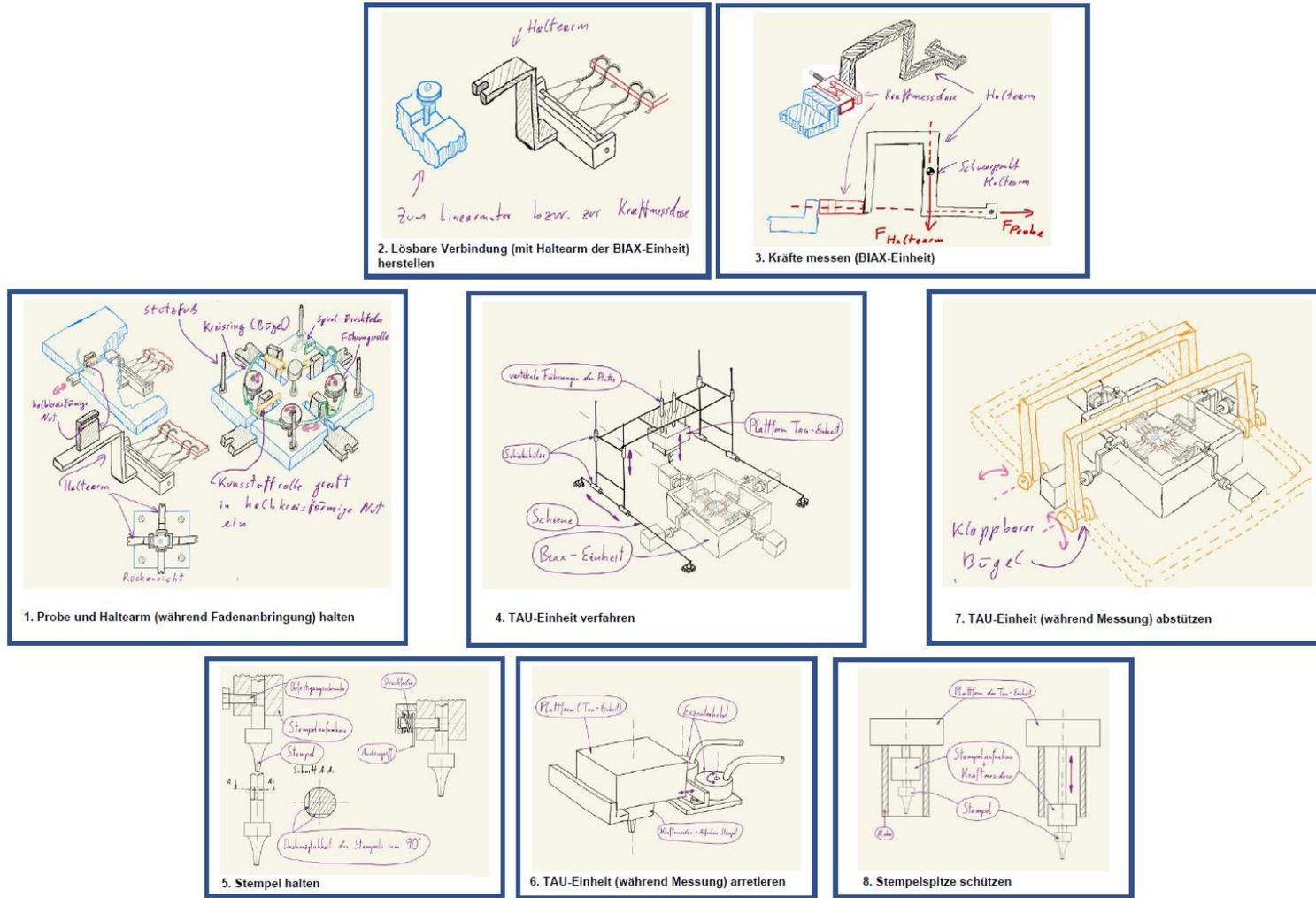


Abbildung 46: Wirkstruktur 4

Wirkstruktur 5

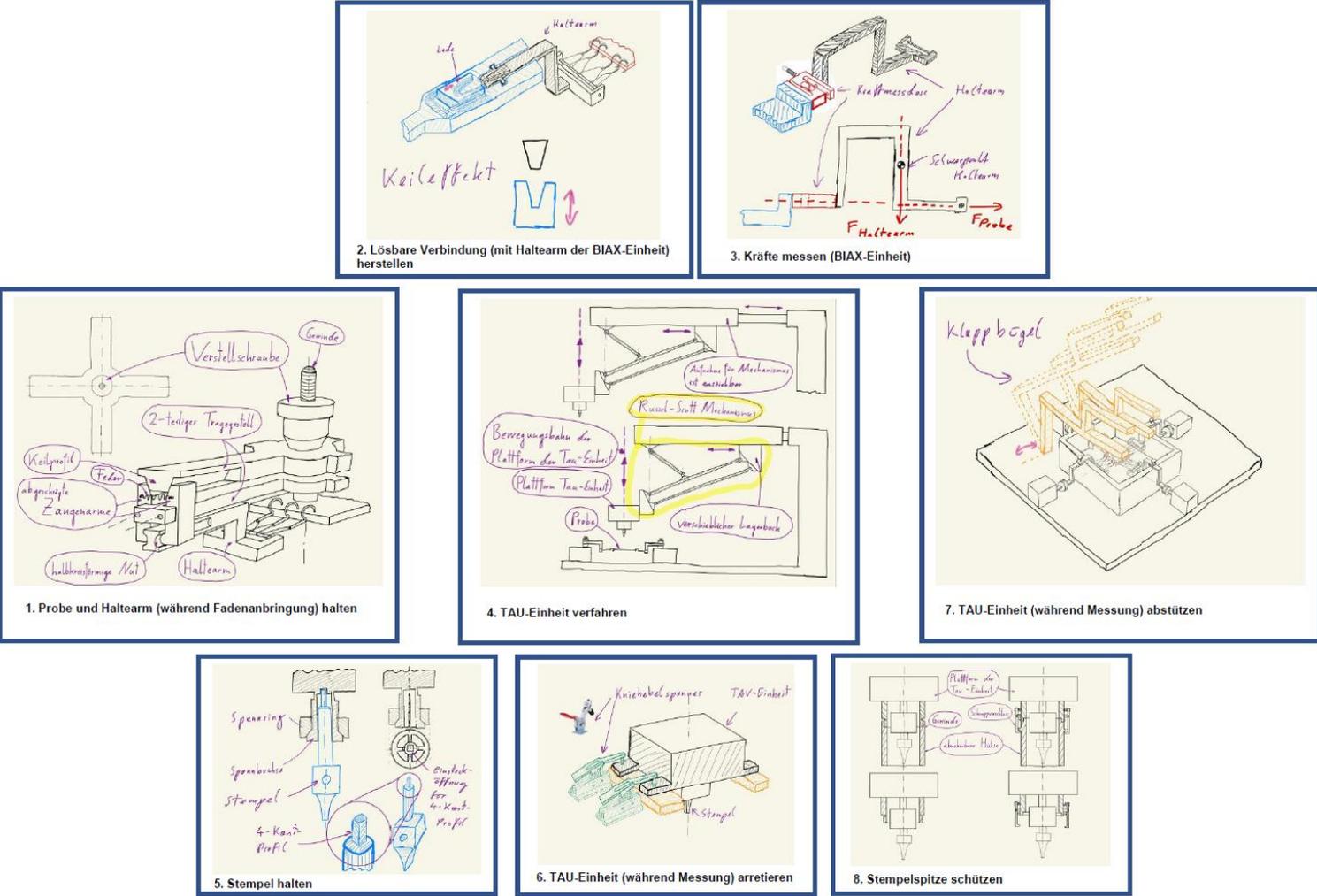


Abbildung 47: Wirkstruktur 5

Wirkstruktur 6

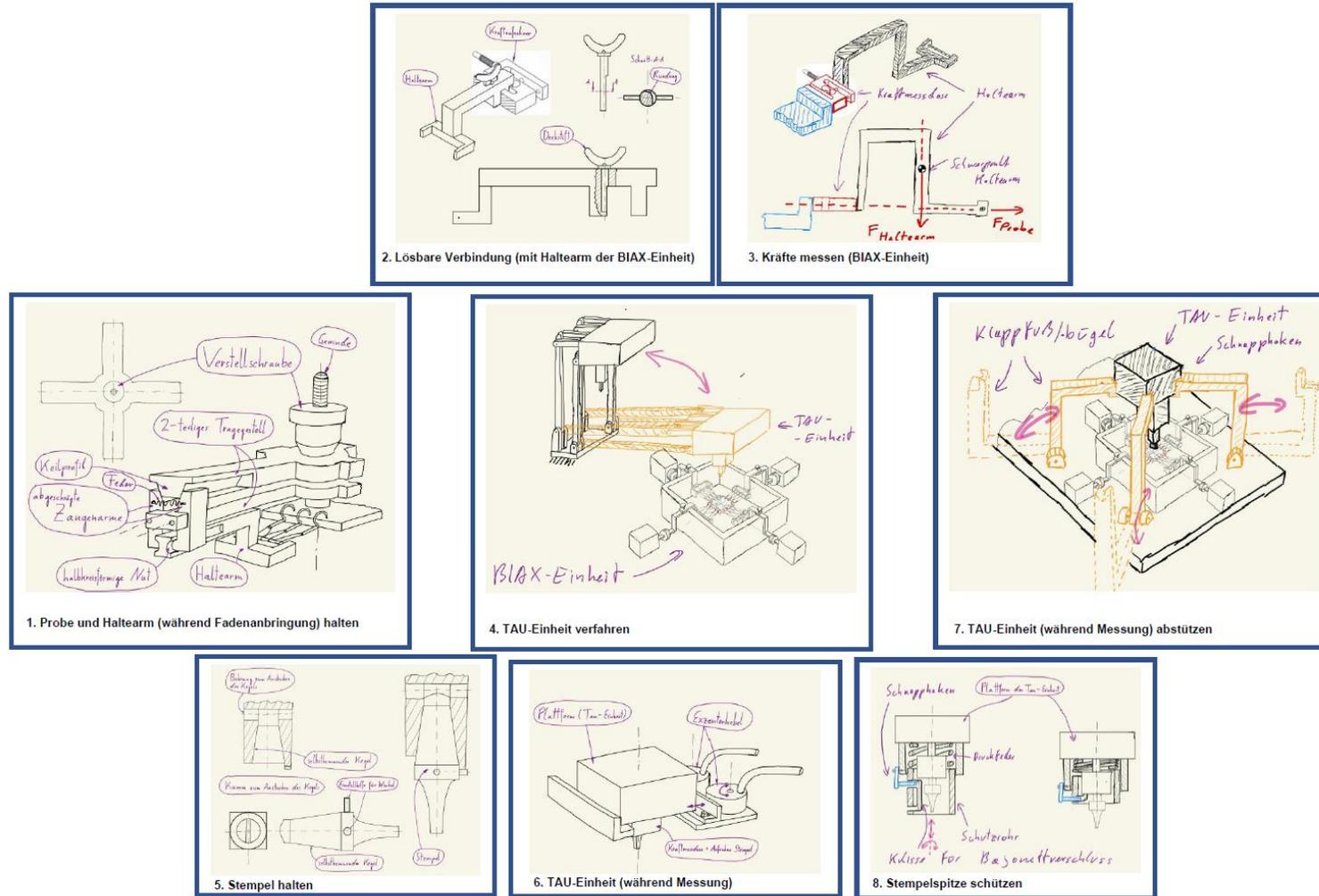


Abbildung 48: Wirkstruktur 6

6.5 Auswählen geeigneter Kombinationen (Wirkstrukturen)

Im Allgemeinen lässt der morphologische Kasten eine Fülle von möglichen Wirkstrukturen zu. Trotz der Reduktion durch die Verträglichkeitsmatrix ergibt sich dennoch eine große Anzahl an Wirkstrukturen. Alle diese Wirkstrukturen weiterzuverfolgen und zu prinzipiellen Lösungen auszuarbeiten, wäre mit sehr großem Aufwand verbunden. Um sicherzustellen, dass wirklich nur erfolgsversprechende Wirkstrukturen weiterverfolgt werden, ist es sinnvoll eine weitere Auswahl der Wirkstrukturen zu treffen. Ein geeignetes Hilfsmittel hierfür ist die Auswahlliste.

Mit Hilfe der Auswahlliste werden Wirkstrukturen hinsichtlich der Erfüllung von Kriterien überprüft (siehe Tabelle 22). Diese Kriterien sind großteils unabhängig von der Produktentwicklung, können aber durch spezifische eigene Kriterien erweitert werden. Die Kriterien lauten dabei geordnet nach deren Wichtigkeit ohne Anspruch auf Vollständigkeit (siehe Tabelle 21) (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 164):

Kriterium	Beschreibung
A	Die Wirkprinzipien einer Wirkstruktur sind untereinander verträglich.
B	Die Wirkstruktur erfüllt die Anforderungsliste.
C	Es besteht eine Realisierungsmöglichkeit der Wirkstruktur betreffend der Größe, Anordnung, ...
D	Die Realisierung ist mit zulässigem Aufwand verbunden.
E	Die Wirkstruktur erfüllt die unmittelbare Sicherheitstechnik.
F	Die Wirkstruktur ist mit eigenem Wissen, Werkstoffen bzw. Arbeitsverfahren umsetzbar.
G	Eigenes Kriterium

Tabelle 21: Auswahlkriterien der Auswahlliste (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 164)

Beim Überprüfen einer Wirkstruktur mit Hilfe der Auswahlliste sollte unbedingt die alphabetische Reihenfolge der Kriterien (A-G) eingehalten werden. Die Überprüfung einer Wirkstruktur sollte nur dann fortgesetzt werden, wenn das jeweilige zuvor überprüfte Kriterium eingehalten wird (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 164).

Mit Hilfe der Auswahlliste werden vier Wirkstrukturen als weiterverfolgenswert erkannt.

Lvs	Lösungsvarianten (Lv) eintragen:							Bemerkungen (Hinweise, Begründungen)	Entscheidung
	A	B	C	D	E	F	G		
<p>Lösungsvarianten (Lv) nach AUSWAHLKRITERIEN beurteilen:</p> <p>(+) ja (-) nein (?) Informationsmangel (!) Anforderungsliste Überprüfen</p>									
<p>Verträglichkeit gegeben</p>									
<p>Forderungen der Anforderungsliste erfüllt</p>									
<p>Grundsätzlich realisierbar</p>									
<p>Aufwand zulässig</p>									
<p>Unmittelbare Sicherheitstechnik gegeben</p>									
<p>Im eigenen Bereich bevorzugt</p>									
<p>ENTSCHEIDEN</p> <p>Lösungsvarianten (Lv) kennzeichnen:</p> <p>(+) Lösung weiter verfolgen (-) Lösung scheidet aus (?) Information beschaffen (Lösung erneut beurteilen) (!) Anforderungsliste auf Änderung prüfen</p>									
1	1	+	+	+	+	+	?	Sehr massive Ausführung der Säule notwendig	+
2	2	+	+	+	+	-	?	Einfluss der Schwerkraft ausgleichen	+
3	3	+	+	+	+	-	?	Zugänglichkeit?; Einfluss der Schwerkraft ausgleichen	+
4	4	+	+	+	+	+	?	Platzbedarf der Schienen klären	+
5	5	+	+	+	-			Aufwändige Kinematik; Einfluss der Schwerkraft ausgleichen	-
6	6	+	+	+	-			Platzbedarf prüfen; Einfluss der Schwerkraft ausgleichen	-
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
Datum : 15.07.2021					Bearbeiter : Fellingner Ludwig				

Tabelle 22: Auswahlliste für Blutgefäßprüfstand. Verändert nach (Czichos und Hennecke 2012, K30)

6.6 Konkretisieren zu prinzipiellen Lösungsvarianten

Nachdem die erfolgversprechendsten Wirkstrukturen bestimmt worden sind, müssen diese nun soweit konkretisiert werden, dass diese im nachfolgenden Hauptarbeitsschritt sinnvoll bewertet werden können. Dies bedeutet eine möglichst objektive Bewertung ist erst möglich, wenn die wichtigsten Eigenschaften der methodischen Leitlinie beim Konkretisieren berücksichtigt worden sind (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 265–266). Die Eigenschaftskategorien der methodischen Leitlinie lauten wie folgt (siehe Tabelle 23):

Eigenschaftskategorie	Beschreibung
Sicherheit	Umfasst Eigenschaften im Sinne der Zuverlässigkeit bzw. Verfügbarkeit.
Ergonomie	Umfasst Eigenschaften der Mensch-Maschine-Beziehung bzw. auch der Formgebung.
Fertigung	Umfasst Eigenschaften der Fertigungsart bzw. der Fertigungsmittel.
Kontrolle	Umfasst Eigenschaften, die eine Kontrolle zu jedem Zeitpunkt der Produktentstehung erlauben.
Montage	Umfasst Eigenschaften des Montageprozesses.
Transport	Umfasst Eigenschaften, die für den innerbetrieblichen bzw. außerbetrieblichen Transport wichtig sind.
Gebrauch	Umfasst Eigenschaften den Betrieb und die Handhabung betreffend.
Instandhaltung	Umfasst Eigenschaften die Wartung und Inspektion betreffend.
Recycling	Umfasst Eigenschaften die Wiederverwertung, Wiederverwendung, usw. betreffend.
Aufwand	Umfasst Eigenschaften die Kosten, Zeiten und Termine betreffend.

Tabelle 23: Übersicht der Eigenschaftskategorien der methodischen Leitlinie (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 58)

Beim Konkretisieren der Wirkstrukturen zu prinzipiellen Lösungen werden die in der methodischen Leitlinie angegebenen Eigenschaften berücksichtigt, soweit dies zweckmäßig erscheint.

Über die Auswahlliste sind die Wirkstrukturen 1-4 ausgewählt worden. Im Rahmen dieses Hauptarbeitsschritts werden aber sechs prinzipiellen Lösungen erarbeitet. Die zwei fehlenden prinzipiellen Lösungen sind durch Diskussion mit dem Betreuer und dem Kunden entstanden.

Alle im Folgenden beschriebenen prinzipiellen Lösungen haben gemeinsam, dass die TAU- bzw. BIAX-Einheit bereits in dieser Hauptphase der Produktentwicklung stark konkretisiert sind (siehe Abbildung 49-52). Diese Vorgehensweise ist eine Abweichung von der VDI-Richtlinie 2221, erscheint aber in diesem Rahmen zweckmäßig. Sowohl die TAU- als auch BIAX-Einheit bestimmen sehr stark die Gestalt der prinzipiellen Lösungen. Die Gestalt beider Einheiten ist aber bereits vor der Konzeption größtenteils vorgegeben. Dies resultiert aus dem Umstand, dass zentrale Komponenten derer in Form, Größe bzw. Anordnung zueinander vorgegeben und unverrückbar sind. Ebenfalls sind die für den Raumbedarf des Prüfstands wichtigen Innenabmessungen der Sicherheitswerkbank bei allen Anbietern ähnlich. Auch ist das Becken zur späteren Aufnahme der Probe durch die Anforderungsliste bereits in seiner Gestalt und Größe vorgegeben. Diese Aspekte sind zwingende Vorgaben und müssen bei der Konkretisierung beachtet werden.

In der nachfolgenden Auflistung der prinzipiellen Lösungen wird jede davon mit drei unterschiedlichen TAU-Einheiten versehen. Jede dieser TAU-Einheiten wird mit Motoren versehen, die hinsichtlich dem Typ bzw. dem Hersteller den Kundenanforderungen entsprechen. Ebenso ist jede dieser prinzipiellen Lösungen dermaßen gestaltet, dass diese in einer durchschnittlichen Werkbank der vorgegebenen Preisklasse (<15000€ Netto) untergebracht werden kann.

Weiters hat sich beim Konkretisieren der prinzipiellen Lösung für Wirkstruktur 1, 4, 5, 6 ergeben, dass sich aufgrund der eingeschränkten Platzverhältnisse innerhalb der Werkbank, die TAU-Einheit nicht mehr vertikal verfahren lässt, wie dies im morphologischen Kasten angedeutet wird. Dies hat zur Folge, dass die Wirkprinzipien für die Teilfunktion 4 (TAU-Einheit verfahren) bzw. 6 (TAU Einheit arretieren) entsprechend der geänderten Möglichkeiten konstruktiv angepasst werden müssen. Darüber hinaus werden die prinzipiellen Lösungen für Wirkstruktur 1, 4, 5, 6 so konkretisiert, dass im Sinne einer Funktionsvereinigung die Teilfunktion 7 (TAU-Einheit abstützen) durch die Teilfunktion 4 (TAU-Einheit verfahren) übernommen wird.

Ebenfalls zeigt sich im Rahmen der Konzeption, dass die Tragevorrichtung zum Transport der Probe des bestehende „LAESIO“-Prüfstands wiederverwendet werden kann. Eine weitere Konkretisierung der in den Wirkstrukturen angedachten Lösungen für die Teilfunktion 1 („Probe und Haltearm während Fadenanbringung halten“) erscheint unverhältnismäßig und wird daher unterlassen.

6.6.1 Übersicht der BIAX-Einheit

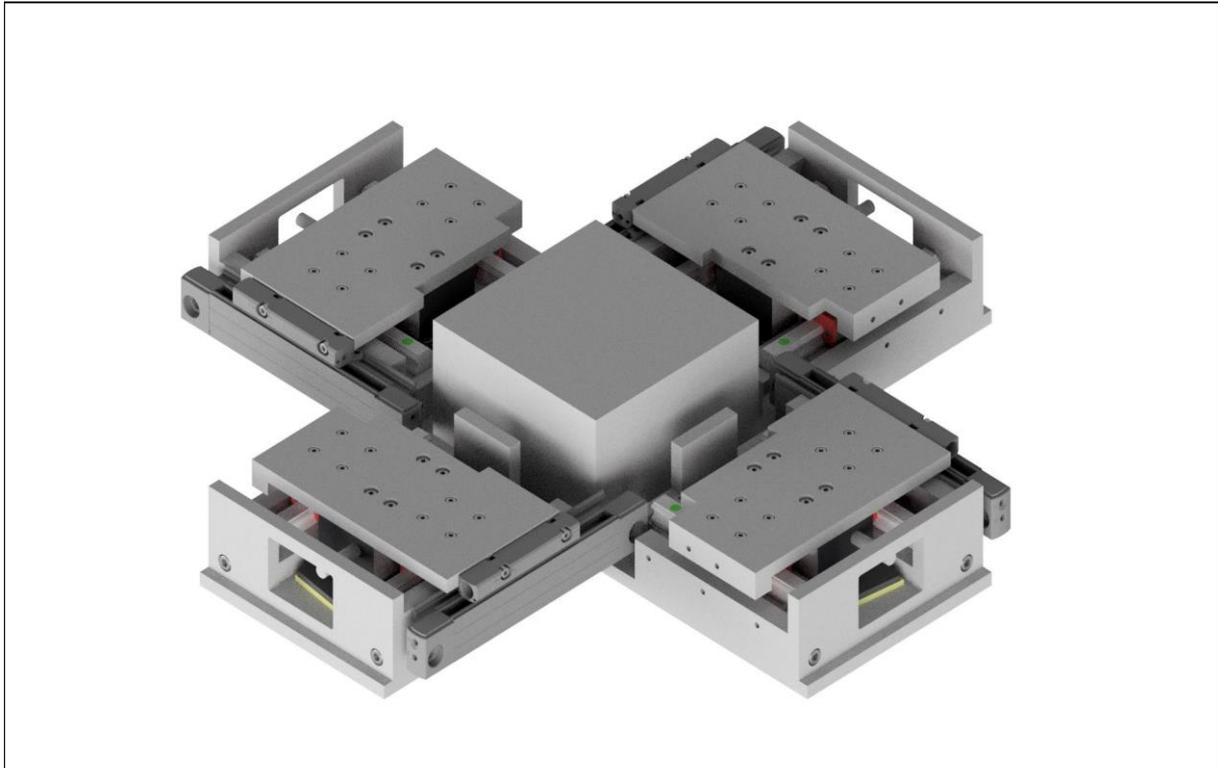


Abbildung 49: Ansicht des Konzepts der BIAX-Einheit. Die elektrische Antriebstechnik (Spulenteil, Magnetplatte), die Lagerung (Laufwägen und Schiene), die Messtechnik (Positionsmesskopf, Magnetmaßstab) und die Anordnung der Lineareinheiten ist durch die Anforderungsliste bereits vorgegeben.

6.6.2 Übersicht der TAU-Einheiten

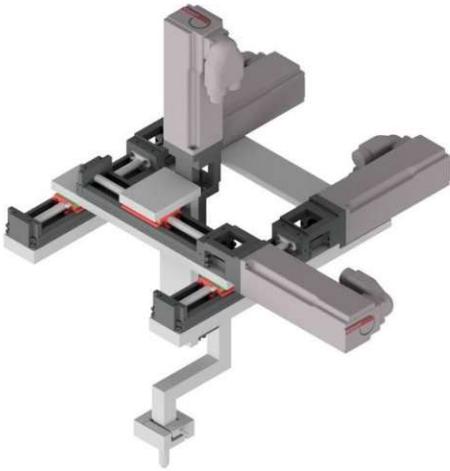


Abbildung 50: TAU-Einheit Version A

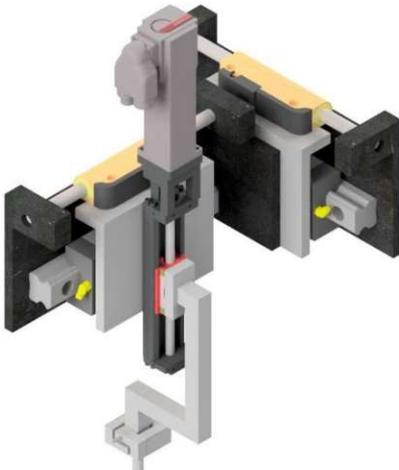


Abbildung 51: TAU-Einheit Version B

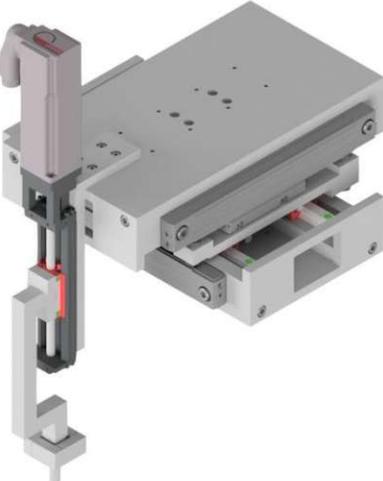


Abbildung 52: TAU-Einheit Version C

6.6.3 Prinzipielle Lösung 1

Die Basis der prinzipiellen Lösung 1 bildet die Wirkstruktur 1.

6.6.3.1 Wesentliches Wirkprinzip

Die prinzipielle Lösung 1 zeichnet sich dadurch aus, dass die TAU-Einheit ähnlich zur Laufkatze eines Säulenkrans aufgehängt ist (siehe Abbildung 53-61).

6.6.3.2 Beschreibung der Gestalt

Grundsätzlich wird die TAU-Einheit an einer Säule mit drehbarem Ausleger aufgehängt. Der gesamte Aufbau zur Aufhängung der TAU-Einheit hat eine Ähnlichkeit zu einem Säulenkran. Die Lagerung der Säule erfolgt durch zwei Wälzlager innerhalb der Säule. Zum Schutz der Lager vor der korrosiven Atmosphäre innerhalb der Werkbank, müssen diese entsprechend abgedichtet werden. Beispielsweise kann diese durch Radialwellendichtringe erfolgen. Zur Erhöhung der Laufruhe beim Schwenken und der Vermeidung von Spiel im Betrieb wird eine vorgespannte Lageranordnung in X- bzw. O-Anordnung angedacht. Grundsätzlich besteht die Säule aus einem feststehenden bzw. aus einem drehbaren Teil. Je nachdem welcher Teil der Säule drehbar bzw. feststehend ist, können zwei verschiedene Varianten unterschieden werden. Bei ersterer Variante stehen die Innenringe der Säulenlager still und die Außenringe sind frei beweglich. Bei zweiterer Variante sind die Innenringe der Säulenlager beweglich und die Außenringe stehen still. Bei beiden Varianten muss der Säulenfuß zur Aufnahme des feststehenden Innenrings bzw. Außenrings mit dem Fundament (Bodenplatte des Prüfstandes) fest verbunden werden. Zusätzlich zur Aufnahme von Normalkräften muss der Säulenfuß eine Momentenbelastung infolge der überhängenden TAU-Einheit an das Fundament ableiten. Weiters besitzt die Säule kraft- oder formschlüssige Sicherungselemente gegen Verdrehen im Betrieb. Dabei ist zu beachten, dass diese Elemente auf keinen Fall Spiel zulassen dürfen.

Auf dem Ausleger sind Profilschienen angebracht bzw. auf der TAU-Einheit sind entsprechende Führungswägen befestigt. Die Führungswägen sind zusätzlich mit Klemmelementen versehen, um die TAU-Einheit gegen ungewolltes axiales Verschieben längs des Auslegers während des Messvorgangs zu sichern. Die in der ursprünglichen Wirkstruktur vorgesehenen verschieblichen Bügel zum Abstützen der TAU-Einheit (Teilfunktion 7) sind infolge der weiteren Konkretisierung eingespart worden, weil sich die TAU-Einheit nun nicht mehr vertikal relativ zum Ausleger des Säulenkrans bewegt.

6.6.3.3 Beschreibung des Gebrauchs

Außerhalb des Betriebs befindet sich die TAU-Einheit im weggeklappten Zustand links von der BIAX-Einheit und gibt damit den Arbeitsbereich oberhalb der BIAX-Einheit vollständig frei. Zur Inbetriebnahme des Prüfstandes muss die Verdrehsicherung der Säule als auch die Verschiebesicherung der TAU-Einheit gelöst werden. Im nächsten Schritt wird die Säule samt TAU-Einheit über die BIAX-Einheit gedreht und die TAU-Einheit entlang des Auslegers soweit verschoben, bis sich der Stempel mittig über dem Becken befindet. In dieser Stellung wird die Säule wieder durch die Verdrehsicherung und die TAU-Einheit durch die Verschiebesicherung gesichert.

6.6.3.4 Prinzipielle Lösung 1 mit TAU-Einheit Variante A

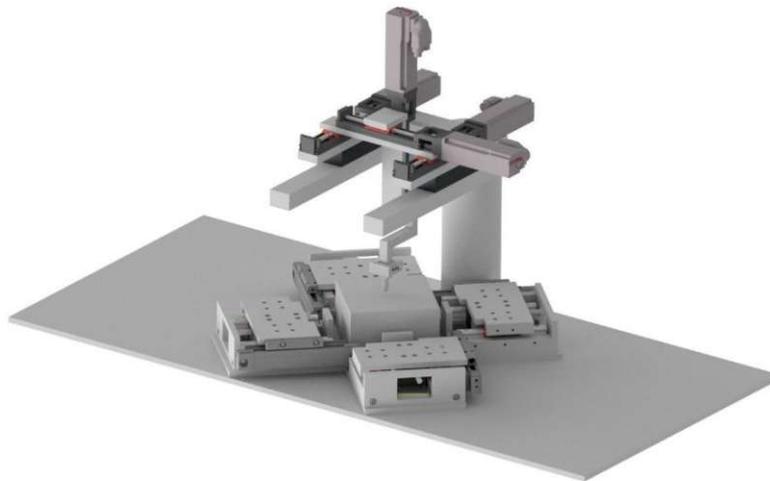


Abbildung 53: Prinzipielle Lösung 1 mit TAU-Einheit Variante A in Betriebsstellung

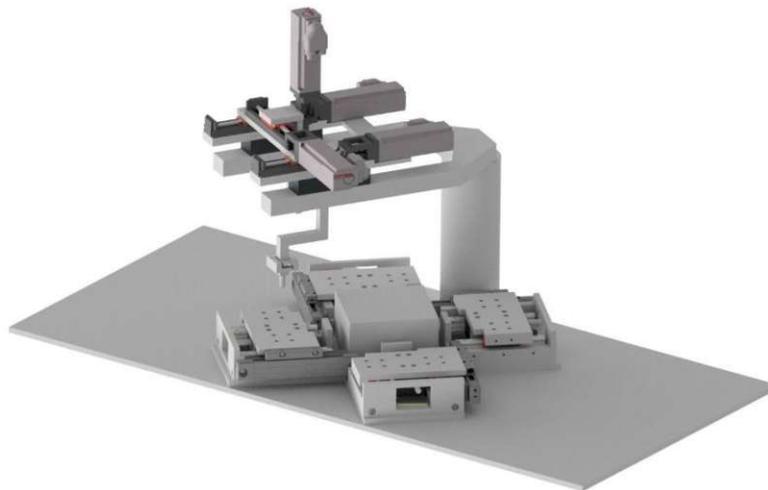


Abbildung 54: Prinzipielle Lösung 1 mit TAU-Einheit Variante A außerhalb Betriebsstellung

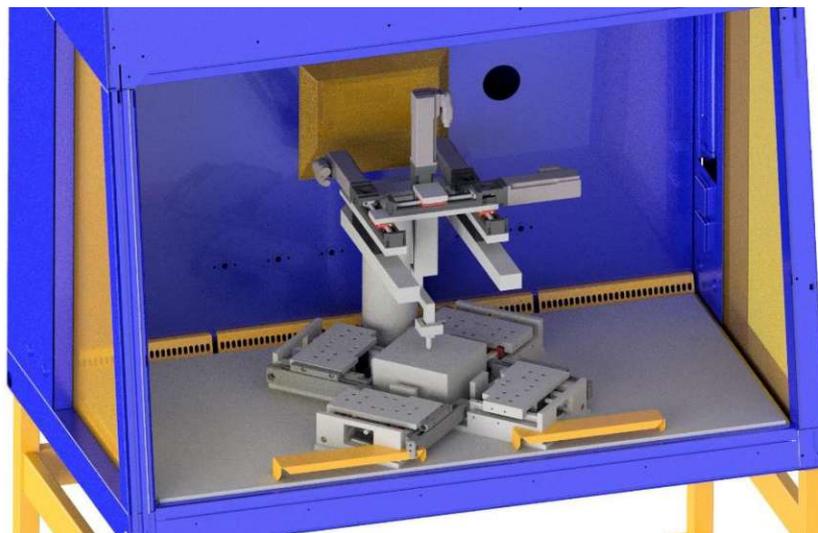


Abbildung 55: Prinzipielle Lösung 1 mit TAU-Einheit Variante A in Sicherheitswerkbank

6.6.3.5 Prinzipielle Lösung 1 mit TAU-Einheit Variante B

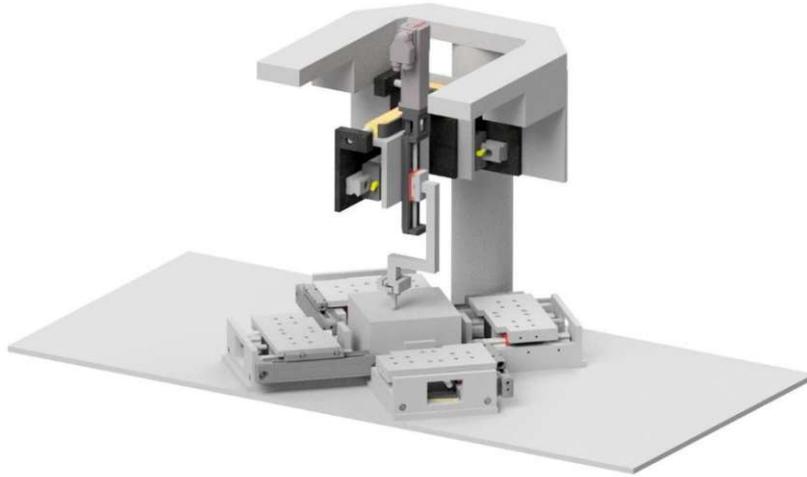


Abbildung 56: Prinzipielle Lösung 1 mit TAU-Einheit Variante B in Betriebsstellung

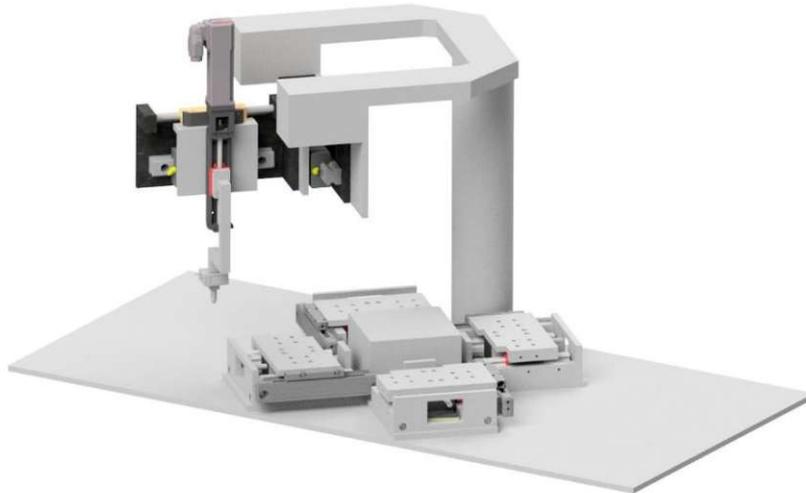


Abbildung 57: Prinzipielle Lösung 1 mit TAU-Einheit Variante B außerhalb Betriebsstellung

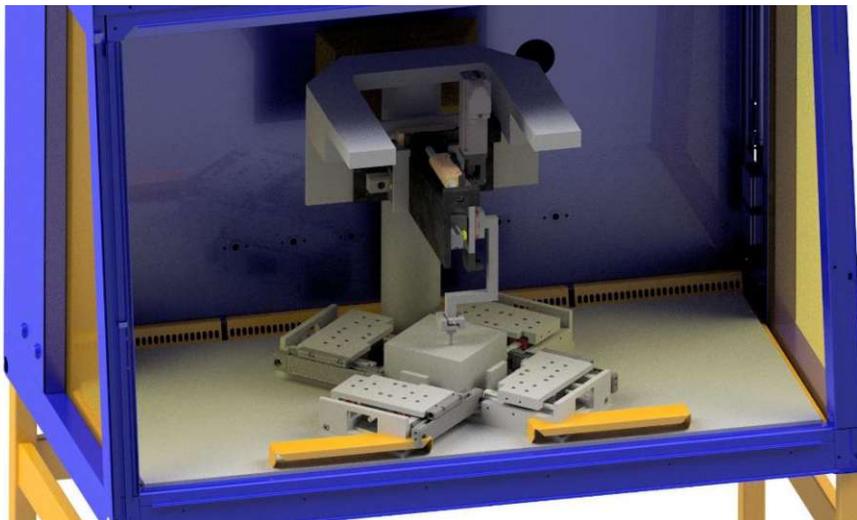


Abbildung 58: Prinzipielle Lösung 1 mit TAU-Einheit Variante B in Sicherheitswerkbank

6.6.3.6 Prinzipielle Lösung 1 mit TAU-Einheit Variante C

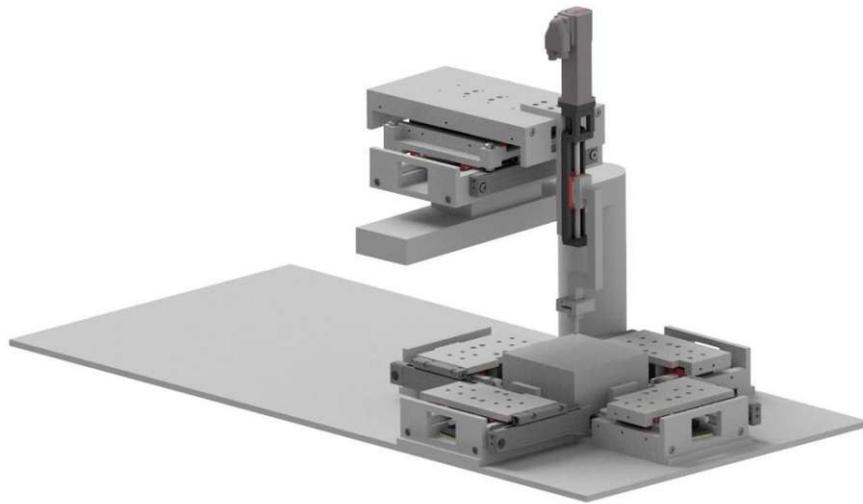


Abbildung 59: Prinzipielle Lösung 1 mit TAU-Einheit Variante C in Betriebsstellung

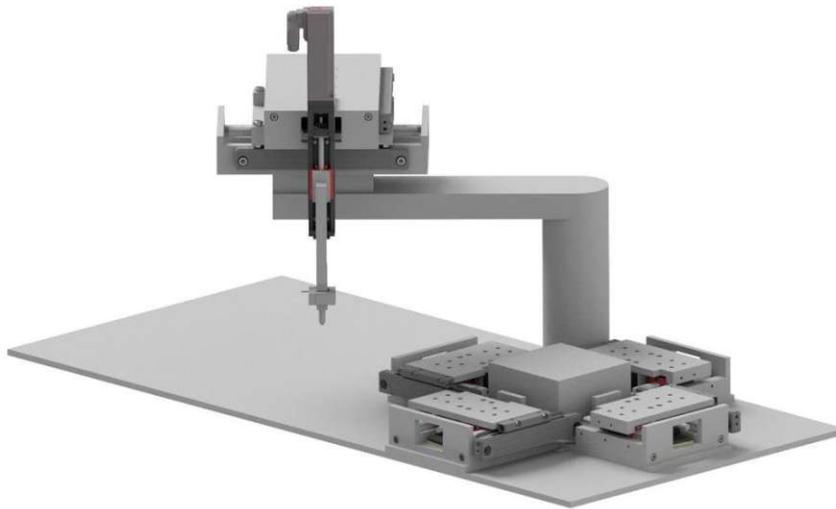


Abbildung 60: Prinzipielle Lösung 1 mit TAU-Einheit Variante C außerhalb Betriebsstellung

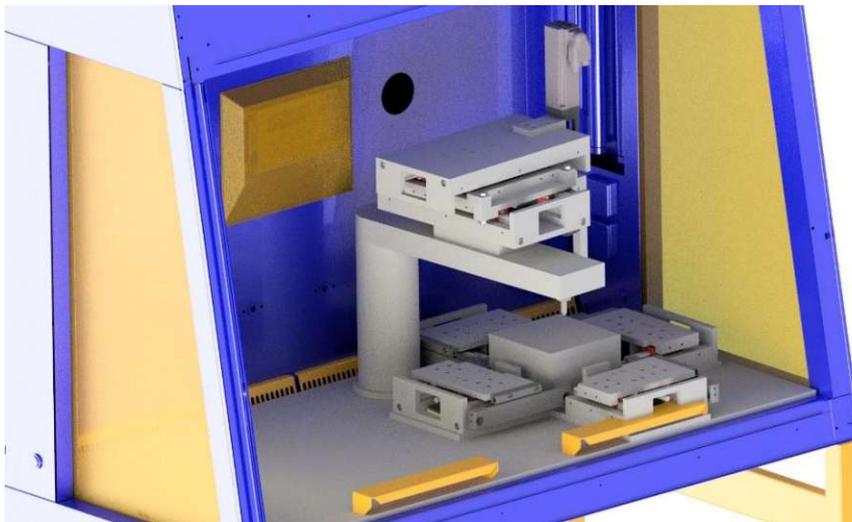


Abbildung 61: Prinzipielle Lösung 1 mit TAU-Einheit Variante C in Sicherheitswerkbank

6.6.4 Prinzipielle Lösung 2

Die Basis der prinzipiellen Lösung 2 bildet die Wirkstruktur 2.

6.6.4.1 Wesentliches Wirkprinzip

Die prinzipielle Lösung 2 zeichnet sich dadurch aus, dass die TAU-Einheit um eine horizontale Achse ähnlich zu einer Klappbrücke gedreht wird (siehe Abbildung 62-70).

6.6.4.2 Beschreibung der Gestalt

Die Vorrichtung zur Aufnahme der TAU-Einheit besteht aus einer Konsole, deren schmale Querseite mit einer horizontalen Achse verbunden ist. An der zweiten schmalen Querseite besitzt diese Konsole einen stufenförmigen Vorsprung. In der horizontalen Stellung der TAU-Einheit wird die Konsole mit Hilfe des Vorsprungs auf einem portalförmigen Bügel abgestützt.

Dieser Bügel besitzt an seinen beiden Enden Führungswägen, die wiederum auf Profilschienen verfahrbar gelagert sind. Die Profilschienen ihrerseits sind parallel zu den schmalen Querseiten der Bodenplatte angeordnet und befinden sich symmetrisch beiderseits der BIAX-Einheit. Die Führungswägen können ihrerseits durch Klemmelemente gesichert werden, um den Bügel gegen axiales Verschieben zu sichern. Auf den Bügeln befinden sich Sicherungselemente in Form von Kniehebeln. Mit diesen kann die Konsole in der heruntergeklappten Stellung kraftschlüssig mit dem Bügel verbunden werden.

Die beiden Säulen zur Aufnahme der horizontalen Konsolendrehachse sind ebenfalls symmetrisch beiderseits der BIAX-Einheit angeordnet. Die Lagerung der horizontalen Drehachse erfolgt durch Wälzlager. Für die Unterbringung der Wälzlager bieten sich zwei Möglichkeiten an. Bei der ersten Möglichkeit befinden sich Lagersitze in den Säulen. Bei der zweiten Möglichkeit werden die Lagersitze sehr nahe an der Konsole angebracht.

In der hochgeklappten Stellung erfolgt die Sicherung der Konsole gegen Verdrehen durch Sicherungselemente. Entsprechend der Anordnung der Lagersitze befinden sich diese Sicherungselemente in unmittelbarer Nähe der Konsole oder an den Säulen. Zusätzlich sind Elemente vorgesehen, die den Bediener beim Hochdrehen der TAU-Einheit unterstützen und die beim Senken der TAU-Einheit dämpfend wirken (vgl. Gasdruckfedern bei Autokofferraum). In der Betriebsstellung erfolgt die Sicherung der

TAU-Einheit gegen Verdrehen durch Klemmhebel, die an den verschieblichen Bügeln angebracht sind.

6.6.4.3 Beschreibung des Gebrauchs

Außerhalb der Betriebsstellung befindet sich die TAU-Einheit tragende Konsole in der hochgeklappten Position. Der portalförmige Bügel zum Abstützen der TAU-Einheit befindet sich in diesem Betriebszustand in der hinteren Endstellung (unterhalb) der Drehachse der Konsole. Zum Inbetriebsetzen bewegt der Bediener zunächst den Bügel in seine vordere Endstellung und sichert in dieser Stellung die Führungswägen über Klemmelemente gegen axiales Verschieben. Anschließend löst der Bediener die Verdrehsicherung der horizontalen Drehachse, um die Konsole samt TAU-Einheit in die untere Endstellung klappen zu können. In der unteren Endstellung wird die Konsole nun durch Kniehebel an den Bügeln kraftschlüssig mit diesen verbunden.

6.6.4.4 Prinzipielle Lösung 2 mit TAU-Einheit Variante A

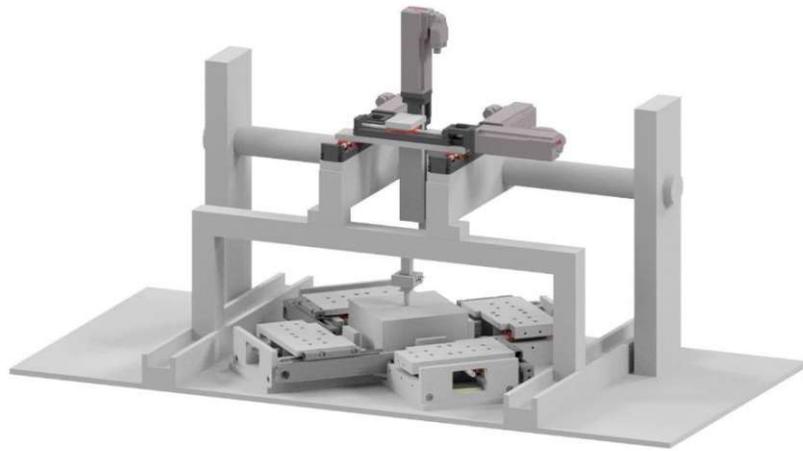


Abbildung 62: Prinzipielle Lösung 2 mit TAU-Einheit Variante A in Betriebsstellung

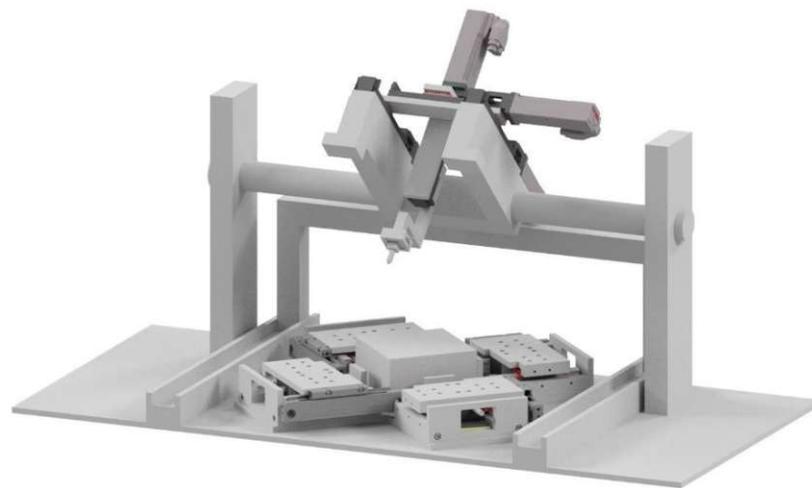


Abbildung 63: Prinzipielle Lösung 2 mit TAU-Einheit Variante A außerhalb Betriebsstellung

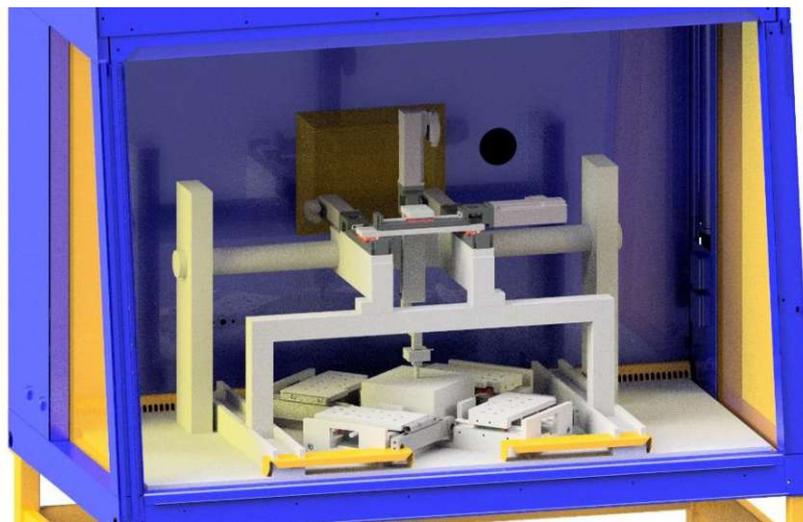


Abbildung 64: Prinzipielle Lösung 2 mit TAU-Einheit Variante A in Sicherheitswerkbank

6.6.4.5 Prinzipielle Lösung 2 mit TAU-Einheit Variante B

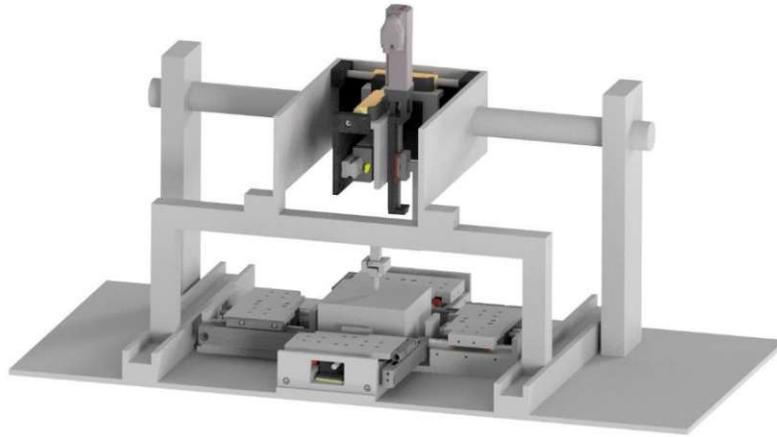


Abbildung 65: Prinzipielle Lösung 2 mit TAU-Einheit Variante B in Betriebsstellung

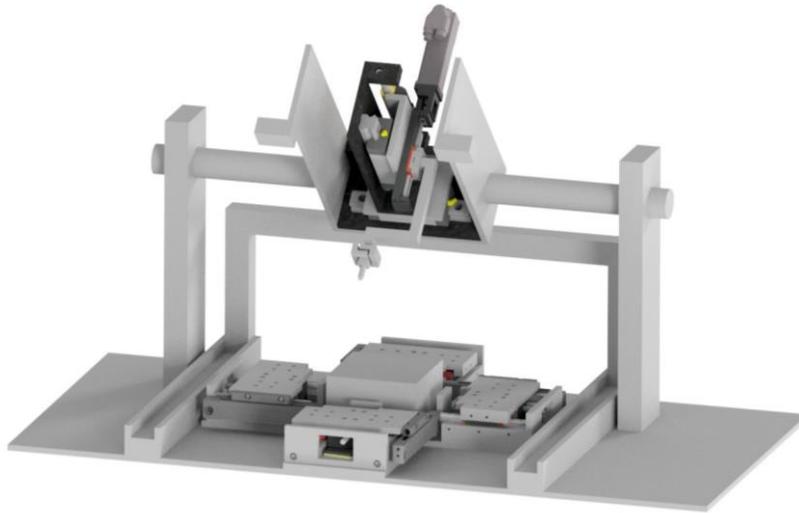


Abbildung 66: Prinzipielle Lösung 2 mit TAU-Einheit Variante B außerhalb Betriebsstellung

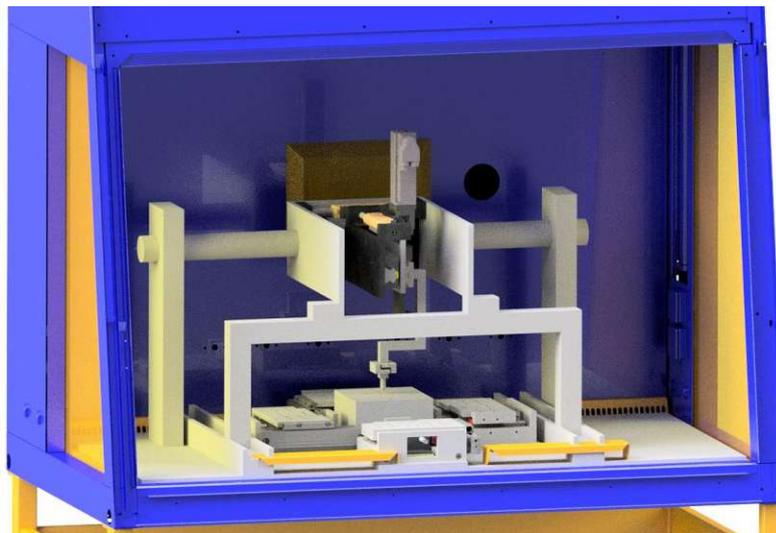


Abbildung 67: Prinzipielle Lösung 2 mit TAU-Einheit Variante B in Sicherheitswerkbank

6.6.4.6 Prinzipielle Lösung 2 mit TAU-Einheit Variante C

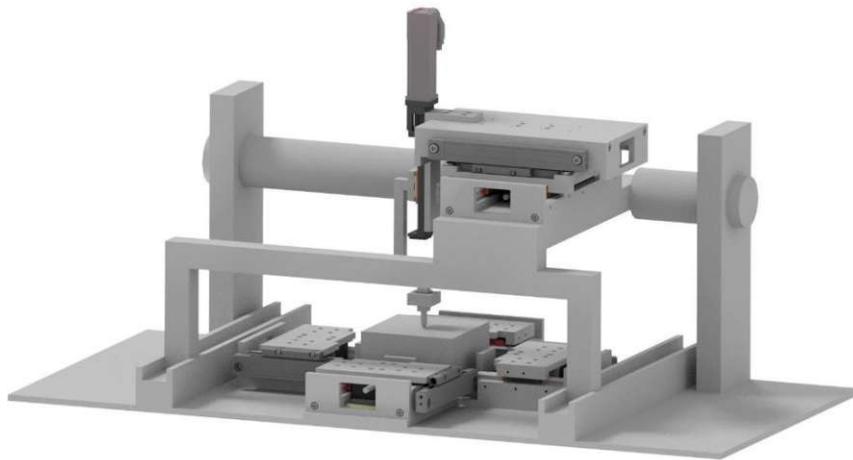


Abbildung 68: Prinzipielle Lösung 2 mit TAU-Einheit Variante C in Betriebsstellung

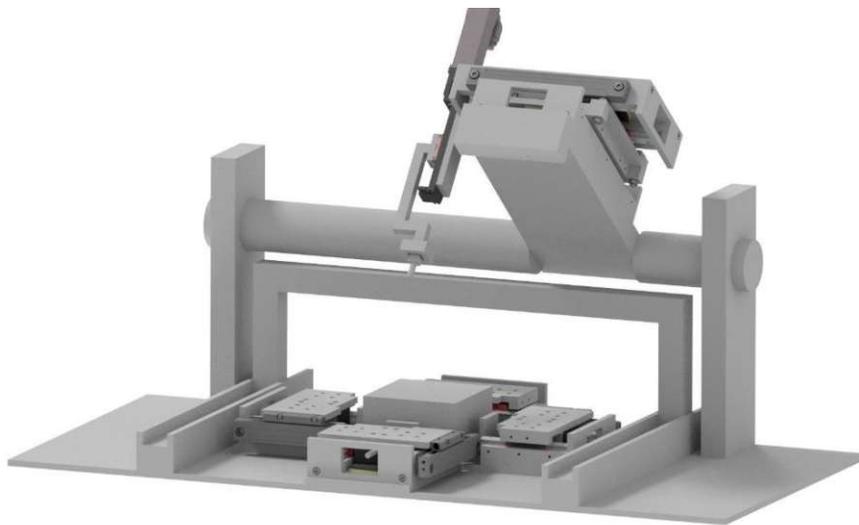


Abbildung 69: Prinzipielle Lösung 2 mit TAU-Einheit Variante C außerhalb Betriebsstellung

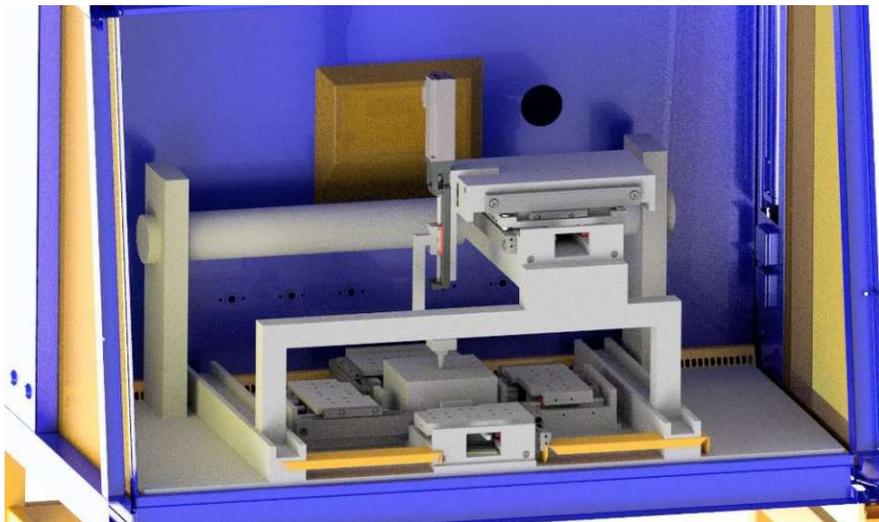


Abbildung 70: Prinzipielle Lösung 2 mit TAU-Einheit Variante C in Sicherheitswerkbank

6.6.5 Prinzipielle Lösung 3

Die Basis der prinzipiellen Lösung 3 bildet die Wirkstruktur 3.

6.6.5.1 Wesentliches Wirkprinzip

Die prinzipielle Lösung 3 zeichnet sich dadurch aus, dass die TAU-Einheit um eine horizontale Achse ähnlich zu einer Klappbrücke gedreht wird (siehe Abbildung 71-79).

6.6.5.2 Beschreibung der Gestalt

Der Aufbau dieser prinzipiellen Lösung ähnelt sehr stark dem der prinzipiellen Lösung 2. Die Vorrichtung zur Aufnahme der TAU-Einheit besteht aus einer Konsole deren schmale Querseite mit einer horizontalen Achse verbunden ist. Die Konsole wird über zwei Stützarme, die jeweils an den Säulen auskragend angebracht sind, abgestützt. Diese Stützarme sind rechtwinkelig ausgeführt und berühren einander nicht. Auf diesen Stützarmen sind Kniehebel angebracht zum Arretieren der TAU-Einheit.

Die horizontale Konsolendrehachse wird durch zwei Säulen, die sich symmetrisch beiderseits der BIAX-Einheit befinden, aufgenommen. Die Lagerung der Achse mittels Wälzlager kann ähnlich zur prinzipiellen Lösung 2 entweder in den beiden Säulen oder nahe an der Konsole untergebracht werden.

In der hochgeklappten Stellung erfolgt die Sicherung der horizontalen Konsolendrehachse gegen Verdrehen ebenfalls durch Sicherungselemente. Zu diesem Zweck wird die Konsolendrehachse kraft- oder formschlüssig mit den Säulen verbunden. Ebenfalls sind Elemente vorgesehen, die den Bediener beim Hochdrehen der TAU-Einheit unterstützen und die beim Senken der TAU-Einheit dämpfend wirken (vgl. Gasdruckfeder bei Autokofferraum)

6.6.5.3 Beschreibung des Gebrauchs

Außerhalb der Betriebsstellung befindet sich die Konsole mit der TAU-Einheit in der hochgeklappten Position. Zur Inbetriebnahme löst der Bediener die Verdrehsicherung der horizontalen Konsolendrehachse und klappt die Konsole mit der TAU-Einheit in die untere Endstellung. In der unteren Endstellung wird die TAU-Einheit über Kniehebel an den abgewinkelten Kragarmen wieder arretiert.

6.6.5.4 Prinzipielle Lösung 3 mit TAU-Einheit Variante A

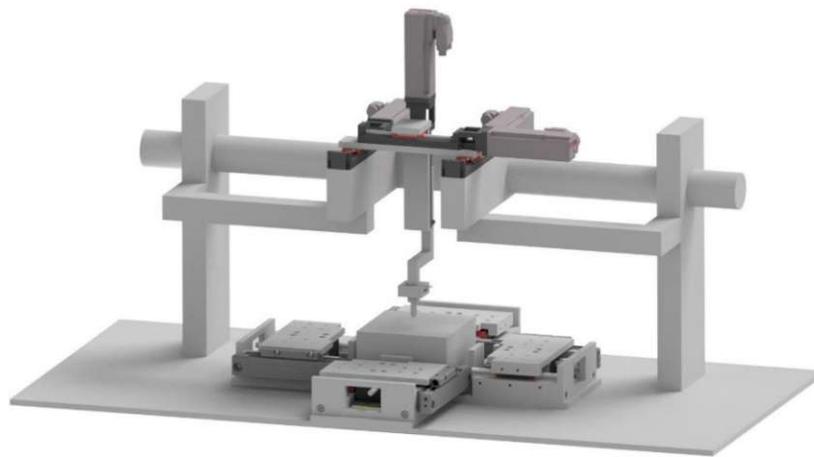


Abbildung 71: Prinzipielle Lösung 3 mit TAU-Einheit Variante A in Betriebsstellung

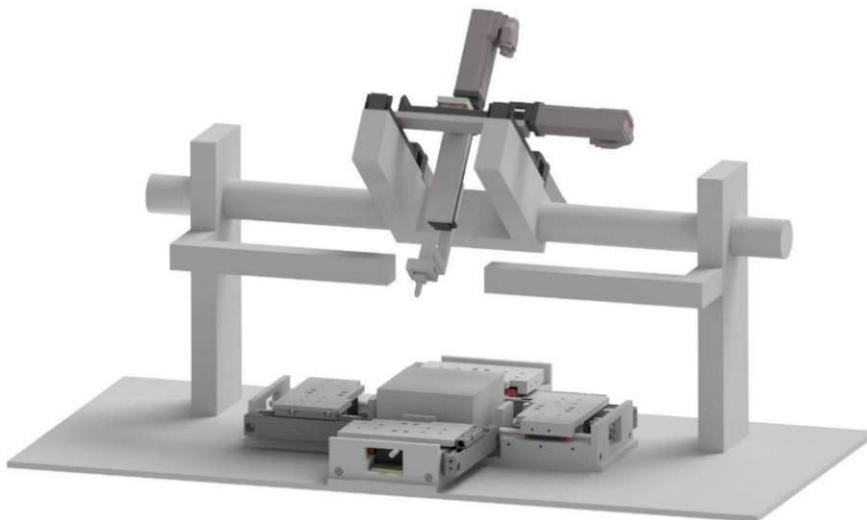


Abbildung 72: Prinzipielle Lösung 3 mit TAU-Einheit Variante A außer Betriebsstellung

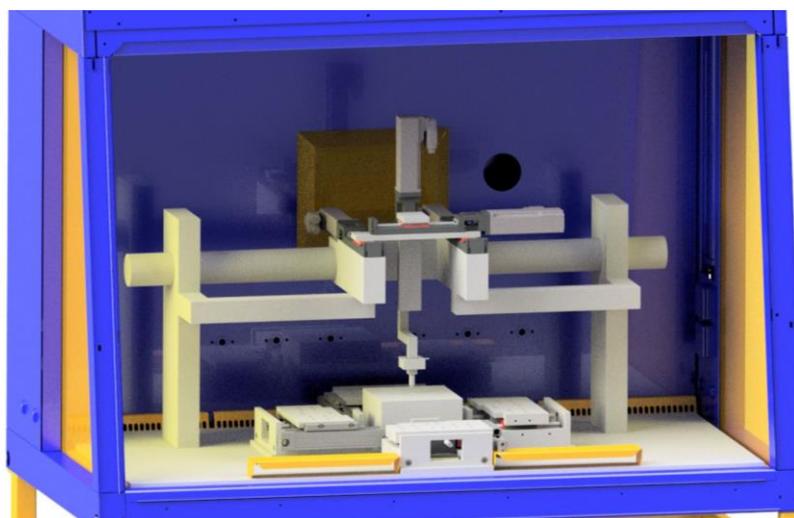


Abbildung 73: Prinzipielle Lösung 3 mit TAU-Einheit Variante A in Sicherheitswerkbank

6.6.5.5 Prinzipielle Lösung 3 mit TAU-Einheit Variante B

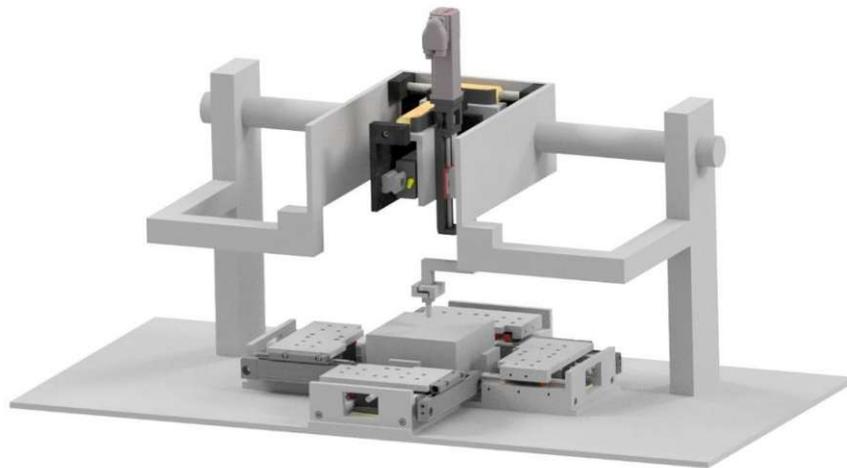


Abbildung 74: Prinzipielle Lösung 3 mit TAU-Einheit Variante B in Betriebsstellung

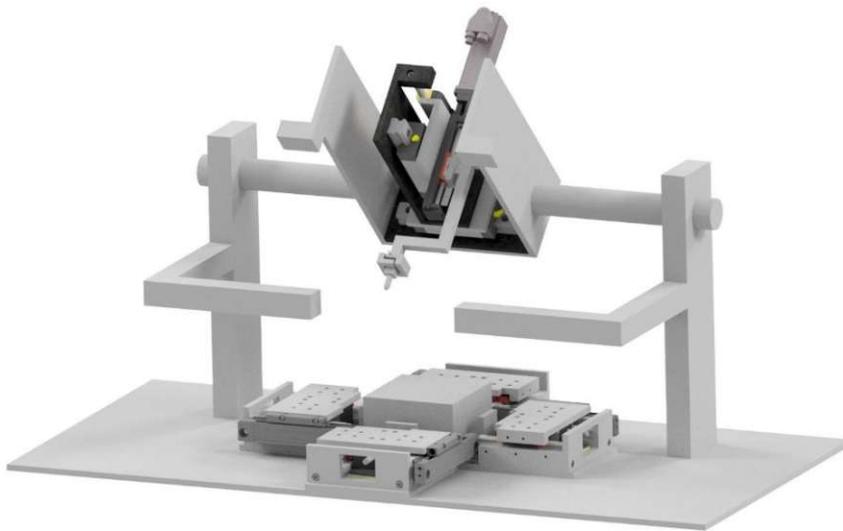


Abbildung 75: Prinzipielle Lösung 3 mit TAU-Einheit Variante B außer Betriebsstellung

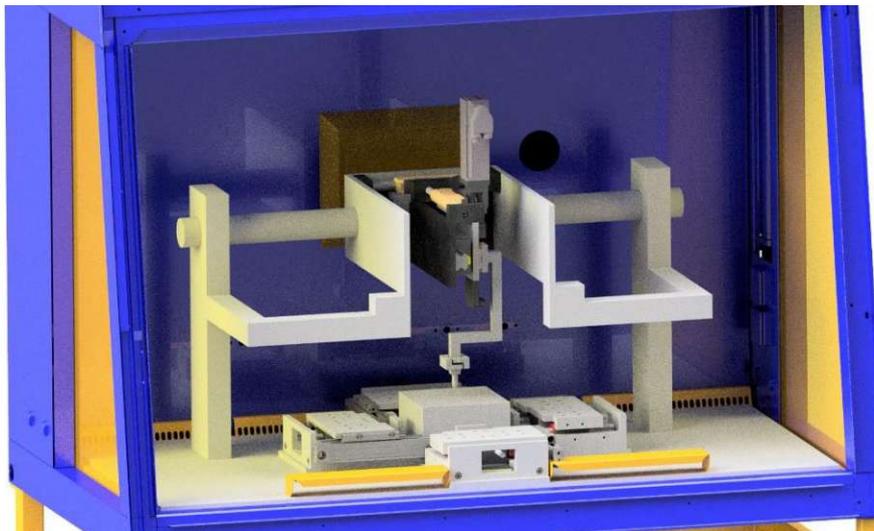


Abbildung 76: Prinzip. Lösung 3 mit TAU-Einheit Variante B in Sicherheitswerkbank

6.6.5.6 Prinzipielle Lösung 3 mit TAU-Einheit Variante C

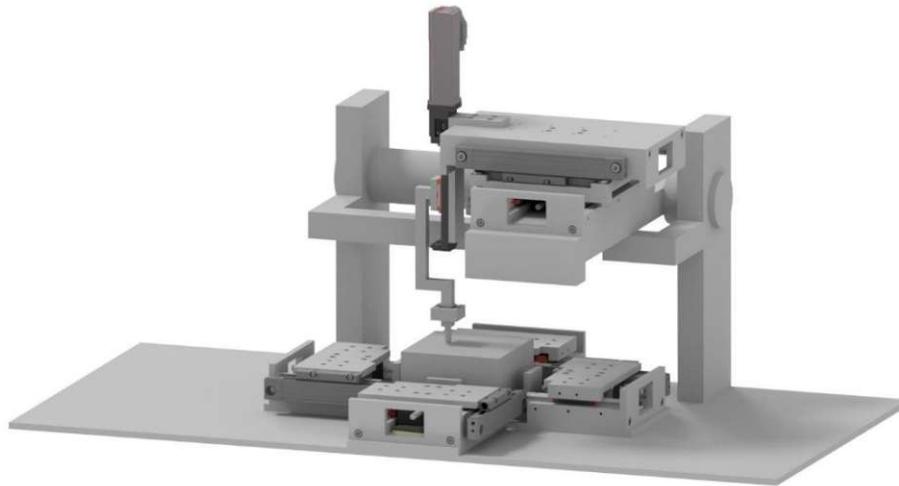


Abbildung 77: Prinzipielle Lösung 3 mit TAU-Einheit Variante C in Betriebsstellung

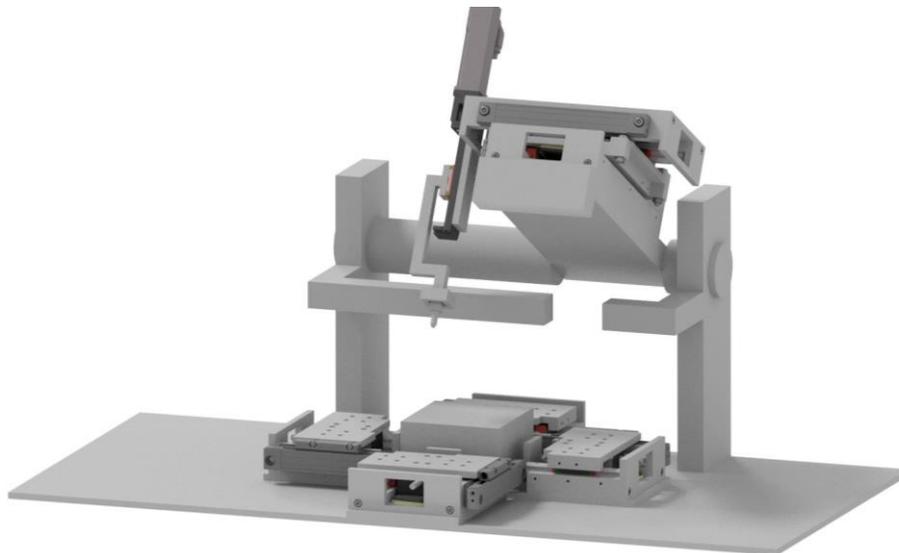


Abbildung 78: Prinzipielle Lösung 3 mit TAU-Einheit Variant C außer Betriebsstellung

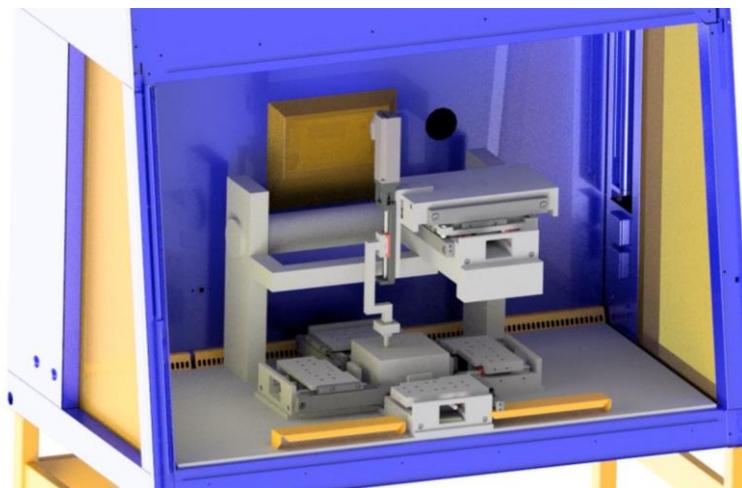


Abbildung 79: Prinzipielle Lösung 3 mit TAU-Einheit Variante C in Sicherheitswerkbank

6.6.6 Prinzipielle Lösung 4

Die Basis für die prinzipielle Lösung 4 bildet die Wirkstruktur 4.

6.6.6.1 Wesentliches Wirkprinzip

Die prinzipielle Lösung 4 zeichnet sich dadurch aus, dass die TAU-Einheit ähnlich zur Laufkatze eines Portalkrans entlang einer Kranbrücke verfährt (siehe Abbildung 80-88).

6.6.6.2 Beschreibung der Gestalt

Die Vorrichtung zum Verfahren der TAU-Einheit hat eine Ähnlichkeit zur Laufkatze eines Portalkrans und verfährt entlang zweier Längsträger, die die Kranbrücke bilden.

Die Längsträger sind mit Schienen versehen und werden an ihren Enden von zwei portalförmigen Rahmen getragen.

Die Schienen können entweder an der Oberseite oder Unterseite der Längsträger angebracht werden.

Die Laufkatze zur Aufnahme der TAU-Einheit besitzt vier Führungswägen mit deren Hilfe kann diese entlang der Längsträger verfahren. Die Gestalt der Laufkatze ist angepasst an die Form der aufzunehmenden TAU-Einheit. Über eine Klemmvorrichtung an den Laufwägen kann die TAU-Einheit gegen axiales Bewegen gesichert werden.

6.6.6.3 Beschreibung des Gebrauchs

Außerhalb der Betriebsstellung befindet sich die Laufkatze zur Aufnahme der TAU-Einheit links außerhalb des Arbeitsbereichs der BIAX-Einheit. Zur Inbetriebnahme wird die TAU-Einheit über die BIAX-Einheit geschoben und mit Hilfe einer Klemmvorrichtung gegen axiales Verschieben gesichert.

6.6.6.4 Prinzipielle Lösung 4 mit TAU-Einheit Variante A



Abbildung 80: Prinzipielle Lösung 4 mit TAU-Einheit Variante A in Betriebsstellung



Abbildung 81: Prinzipielle Lösung 4 mit TAU-Einheit Variante A außer Betriebsstellung

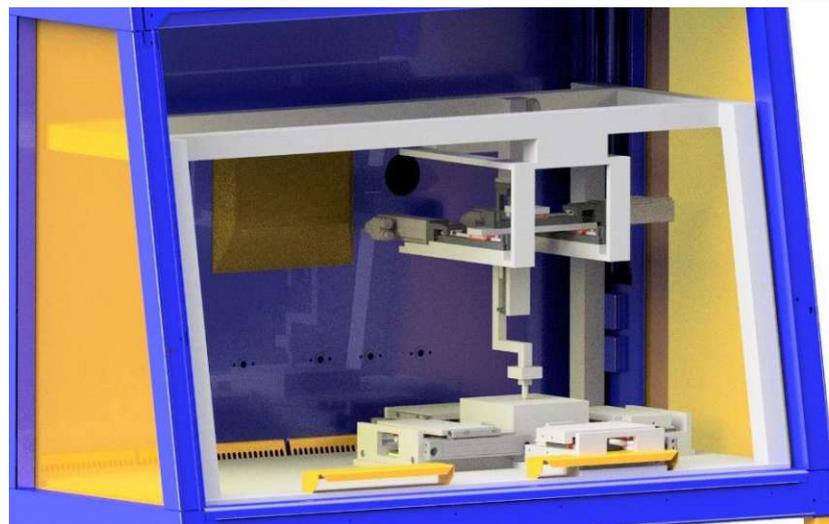


Abbildung 82: Prinzipielle Lösung 4 mit TAU-Einheit Variante A in Sicherheitswerkbank

6.6.6.5 Prinzipielle Lösung 4 mit TAU-Einheit Variante B

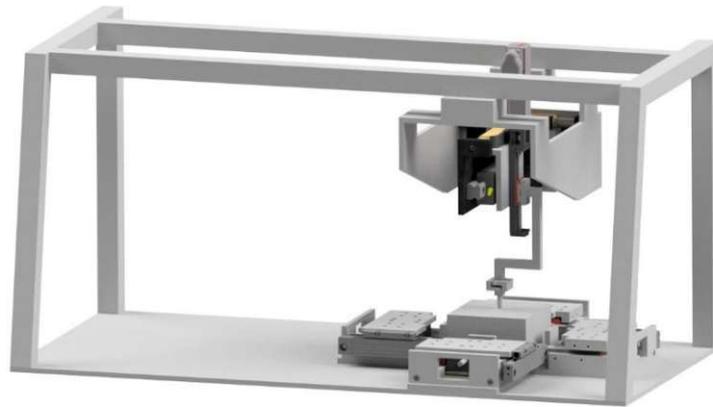


Abbildung 83: Prinzipielle Lösung 4 mit TAU-Einheit Variante B in Betriebsstellung

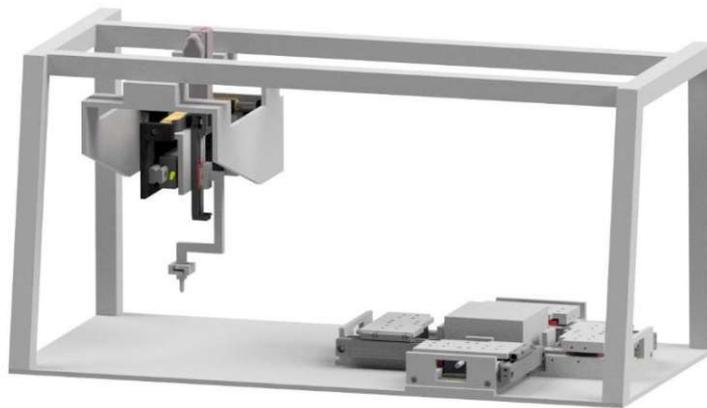


Abbildung 84: Prinzipielle Lösung 4 mit TAU-Einheit Variante B außer Betriebsstellung

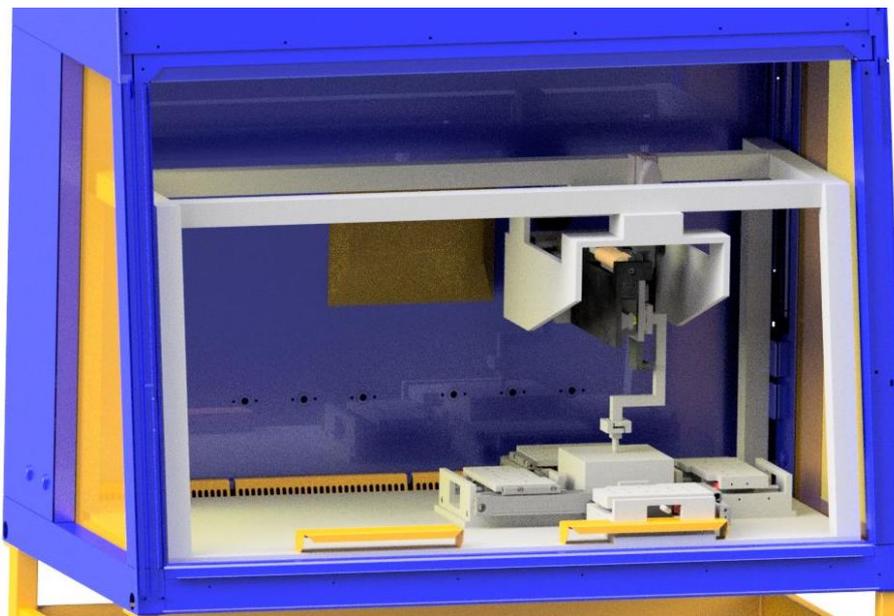


Abbildung 85: Prinzipielle Lösung 4 mit TAU-Einheit Variante B in Sicherheitswerkbank

6.6.6.6 Prinzipielle Lösung 4 mit TAU-Einheit Variante C

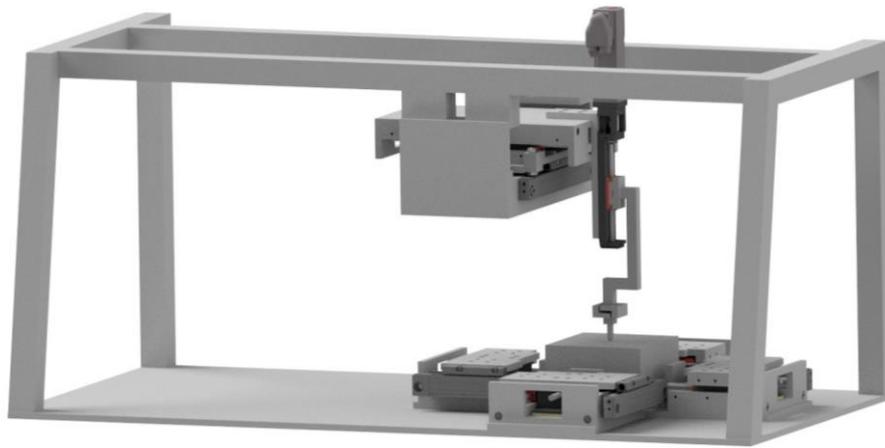


Abbildung 86: Prinzipielle Lösung 4 mit TAU-Einheit Variante C in Betriebsstellung



Abbildung 87: Prinzipielle Lösung 4 mit TAU-Einheit Variante C außer Betriebsstellung

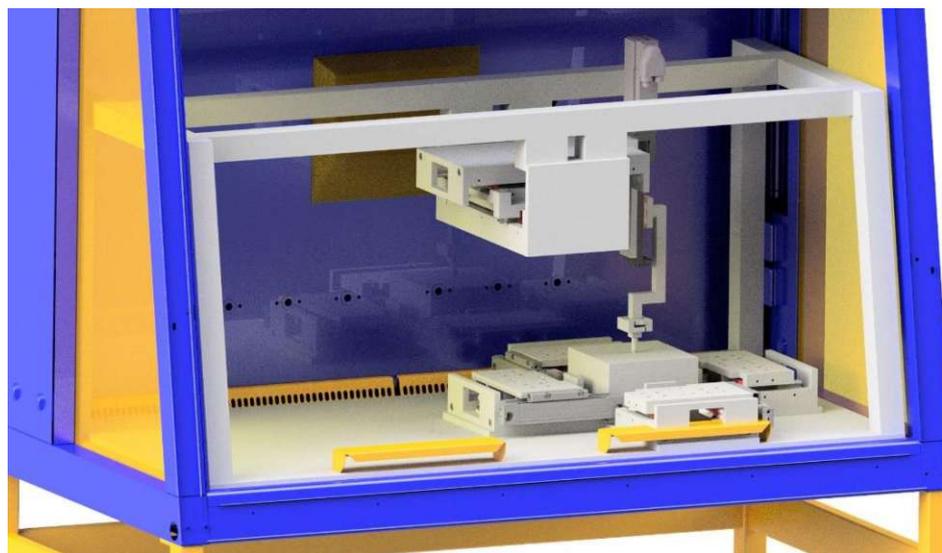


Abbildung 88: Prinzipielle Lösung 4 mit TAU-Einheit Variante C in Sicherheitswerkbank

6.6.7 Prinzipielle Lösung 5

Die Basis für die prinzipielle Lösung 5 bildet die Wirkstruktur 5.

6.6.7.1 Wesentliches Wirkprinzip

Die prinzipielle Lösung 5 zeichnet sich dadurch aus, dass die TAU-Einheit ähnlich zur Laufkatze eines Portalkrans entlang einer Kranbrücke verfährt (siehe Abbildung 89-97).

6.6.7.2 Beschreibung der Gestalt

Die Vorrichtung zum Verfahren der TAU-Einheit hat eine Ähnlichkeit zur Laufkatze eines Portalkrans und verfährt entlang eines Längsträgers, der die Kranbrücke bildet.

Der Längsträger ist mit einer Schiene versehen und wird an seinen Enden von zwei Stützen gehalten. Die Kranbrücke muss neben der Querkraft, dem Biegemoment zusätzlich ein Torsionsmoment aufnehmen, das sich beim Verfahren des Portalarms der TAU-Einheit ergeben kann.

Aus Platzgründen kann die Schiene zum Verfahren der Laufkatze nur seitlich oder an der Unterseite der Kranbrücke angebracht werden.

Die Laufkatze zur Aufnahme der TAU-Einheit besitzt zwei Führungswägen mit deren Hilfe diese entlang der Längsträger verfahren werden kann. Die Gestalt der Laufkatze ist angepasst an die Form der aufzunehmenden TAU-Einheit. Über eine Klemmvorrichtung an den Laufwägen kann die TAU-Einheit gegen axiales Bewegen gesichert werden.

6.6.7.3 Beschreibung des Gebrauchs

Außerhalb der Betriebsstellung befindet sich die Laufkatze zur Aufnahme der TAU-Einheit links außerhalb des Arbeitsbereichs der BIAX-Einheit. Zur Inbetriebnahme wird die TAU-Einheit über die BIAX-Einheit geschoben und mit Hilfe einer Klemmvorrichtung gegen axiales Verschieben gesichert.

6.6.7.4 Prinzipielle Lösung 5 mit TAU-Einheit Variante A

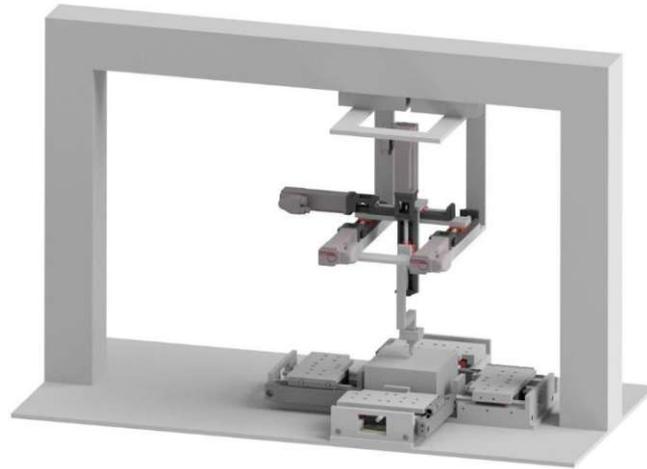


Abbildung 89: Prinzipielle Lösung 5 mit TAU-Einheit Variante A in Betriebsstellung

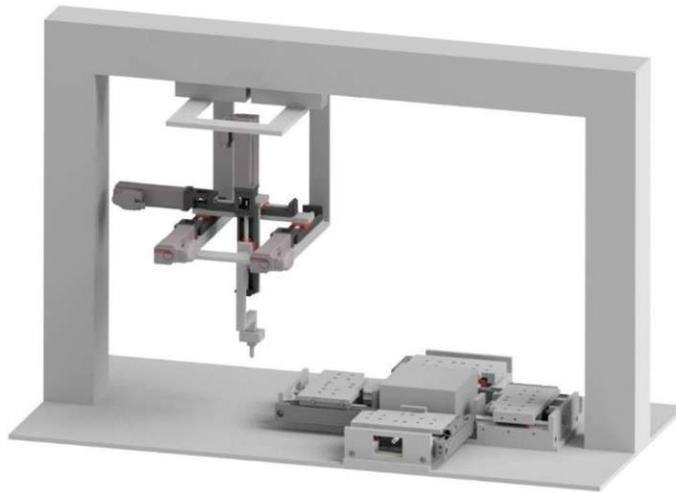


Abbildung 90: Prinzipielle Lösung 5 mit TAU-Einheit Variante A außer Betriebsstellung

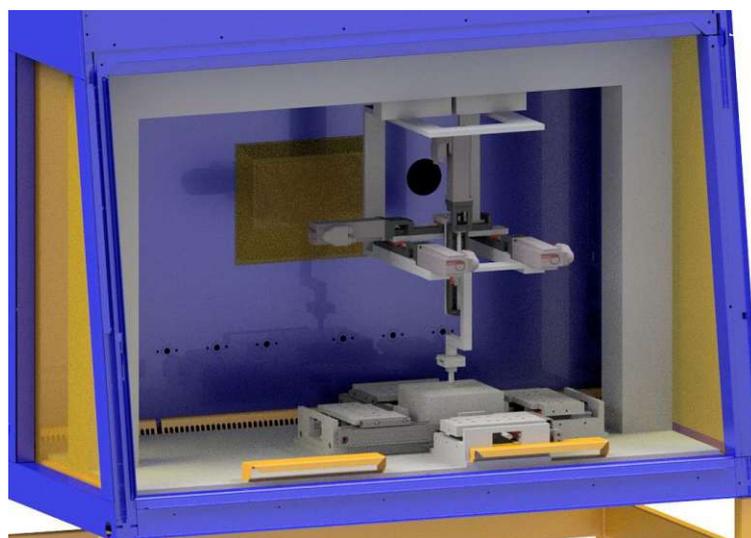


Abbildung 91: Prinzipielle Lösung 5 mit TAU-Einheit Variante A in Sicherheitswerkbank

6.6.7.5 Prinzipielle Lösung 5 mit TAU-Einheit Variante B

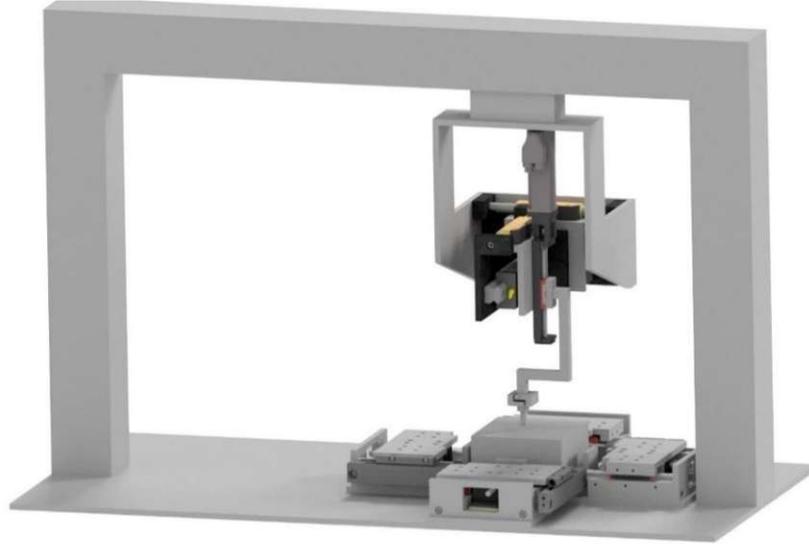


Abbildung 92: Prinzipielle Lösung 5 mit TAU-Einheit Variante B in Betriebsstellung

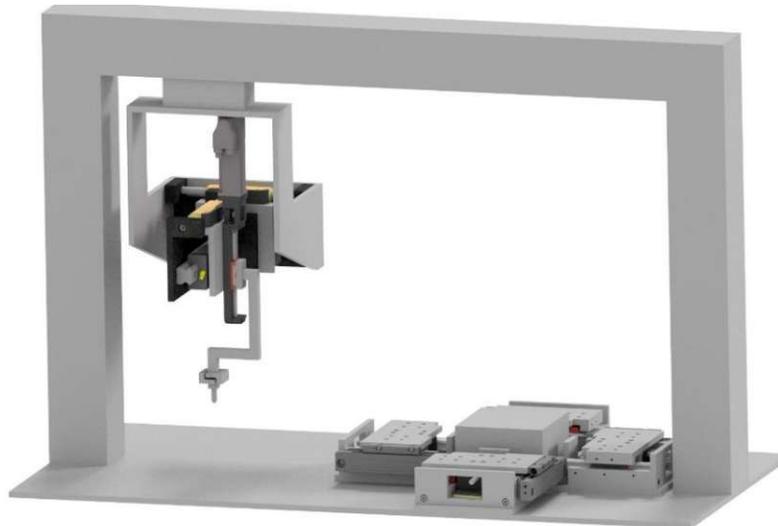


Abbildung 93: Prinzipielle Lösung 5 mit TAU-Einheit Variante B außer Betriebsstellung

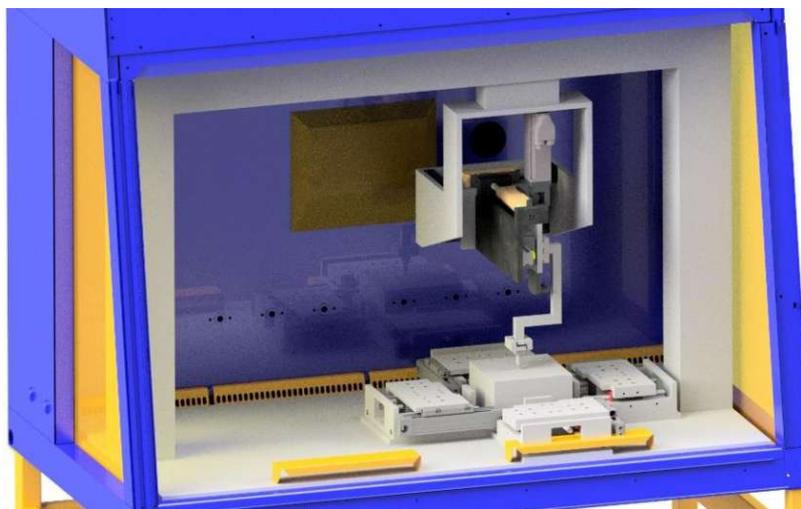


Abbildung 94: Prinzipielle Lösung 5 mit TAU-Einheit Variante B in Sicherheitswerkbank

6.6.7.6 Prinzipielle Lösung 5 mit TAU-Einheit Variante C

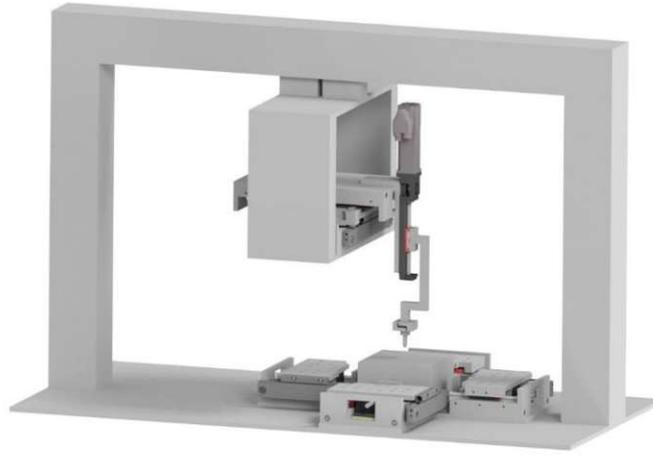


Abbildung 95: Prinzipielle Lösung 5 mit TAU-Einheit Variante C in Betriebsstellung

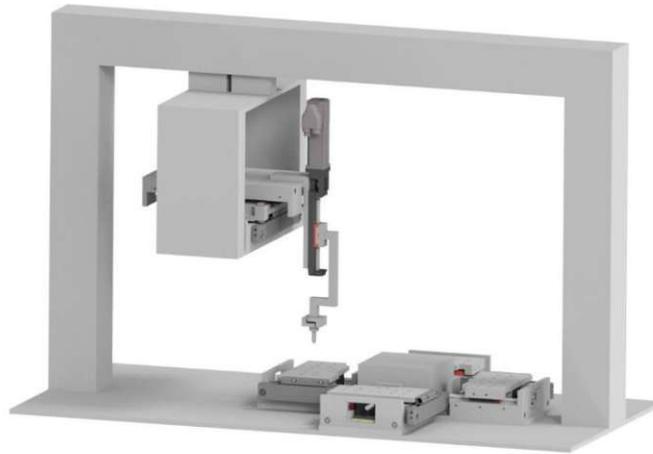


Abbildung 96: Prinzipielle Lösung 5 mit TAU-Einheit Variante C außer Betriebsstellung

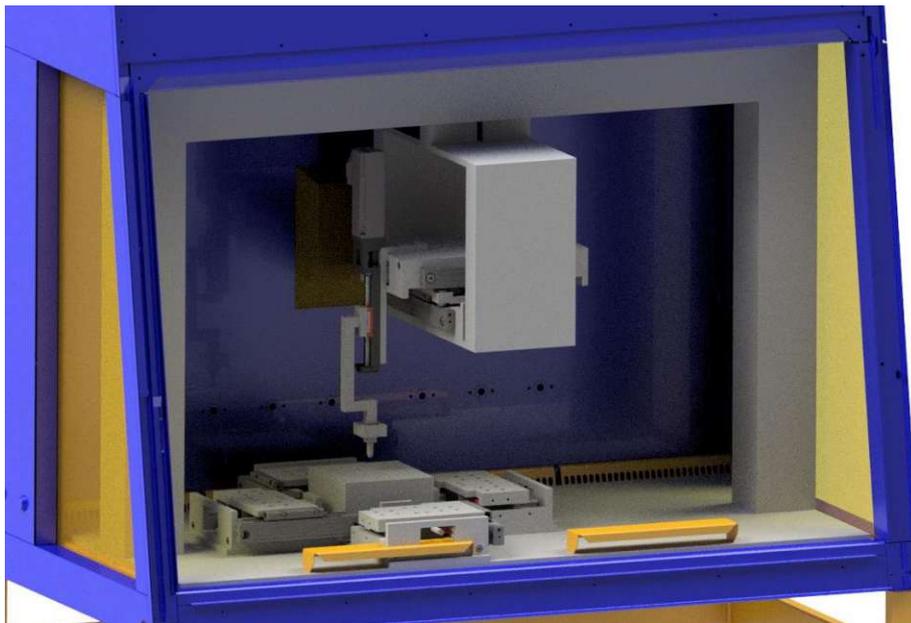


Abbildung 97: Prinzipielle Lösung 5 mit TAU-Einheit Variante C in Sicherheitswerkbank

6.6.8 Prinzipielle Lösung 6

Die Basis für die prinzipielle Lösung 6 bildet die Wirkstruktur 6.

6.6.8.1 Wesentliches Wirkprinzip

Die prinzipielle Lösung 6 zeichnet sich dadurch aus, dass die TAU-Einheit ähnlich zum Fräsupport einer Portalfräsmaschine horizontal verfährt (siehe Abbildung 98-106).

6.6.8.2 Beschreibung der Gestalt

Diese prinzipielle Lösung hat eine Ähnlichkeit zu einer Portalfräsmaschine in Tischbauweise. Anstatt des Fräsupportes verfährt seitlich entlang dem Portallängsträger die Aufnahme der TAU-Einheit.

Der Längsträger des Portals ist über zwei Säulen an beiden Enden mit der Bodenplatte verbunden. Um den Arbeitsbereich oberhalb der BIAX-Einheit möglichst wenig einzuschränken ist das Portal an der hinteren Längsseite der Bodenplatte positioniert. Der Längsträger muss neben der Querkraft und dem Biegemoment zusätzlich ein Torsionsmoment aufnehmen, das durch die auskragende Konsole der TAU-Einheit und den damit außermittigen Kraftangriffspunkt der Schwerkraft entsteht.

Die TAU-Einheit befindet sich auf einer auskragenden Konsole, die mit Hilfe von Führungswägen und Führungsschienen entlang des Portals verfahren werden kann. Die Konsole zur Aufnahme der TAU-Einheit wird durch Klemmvorrichtungen gegen axiales Verschieben entlang der Längsträger gesichert.

6.6.8.3 Beschreibung des Gebrauchs

Außerhalb der Betriebsstellung befindet sich die Laufkatze zur Aufnahme der TAU-Einheit links außerhalb des Arbeitsbereichs der BIAX-Einheit. Zur Inbetriebnahme wird die TAU-Einheit über die BIAX-Einheit geschoben und mit Hilfe einer Klemmvorrichtung gegen axiales Verschieben gesichert.

6.6.8.4 Prinzipielle Lösung 6 mit TAU-Einheit Variante A

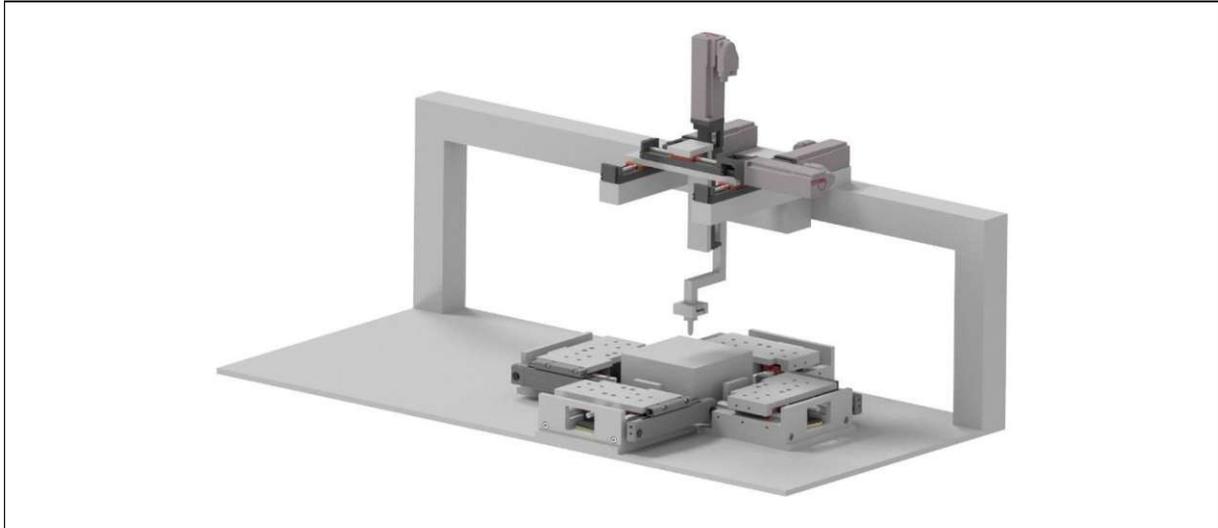


Abbildung 98: Prinzipielle Lösung 6 mit TAU-Einheit Variante A in Betriebsstellung

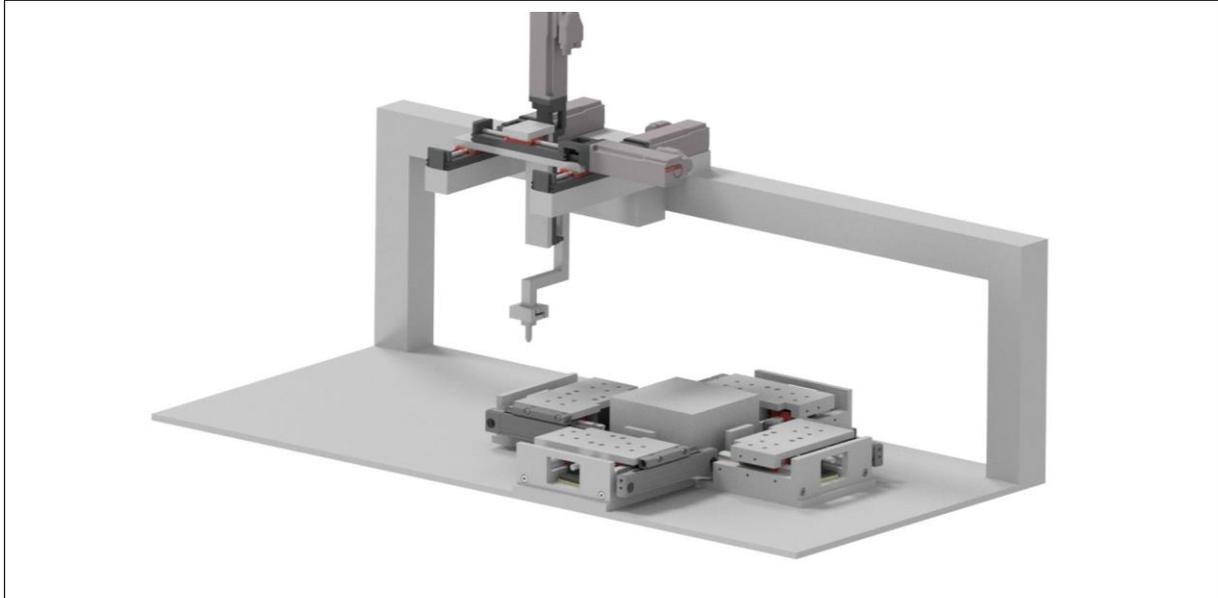


Abbildung 99: Prinzipielle Lösung 6 mit TAU-Einheit Variante A außer Betriebsstellung

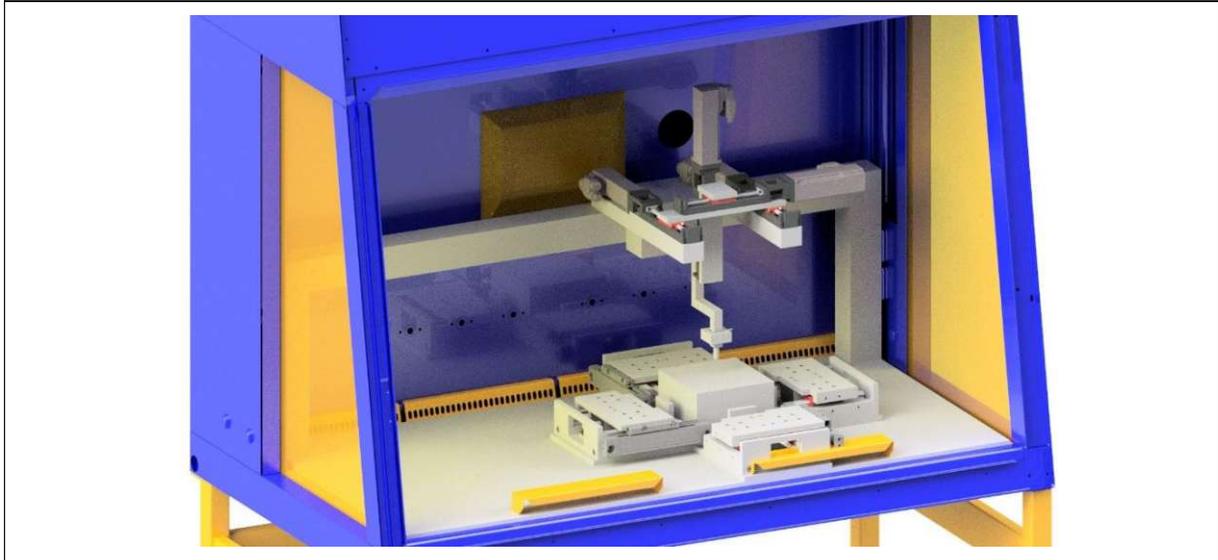


Abbildung 100: Prinzipielle Lösung 6 mit TAU-Einheit Variante A in Sicherheitswerkbank

6.6.8.5 Prinzipielle Lösung 6 mit TAU-Einheit Variante B



Abbildung 101: Prinzipielle Lösung 6 mit TAU-Einheit Variante B in Betriebsstellung

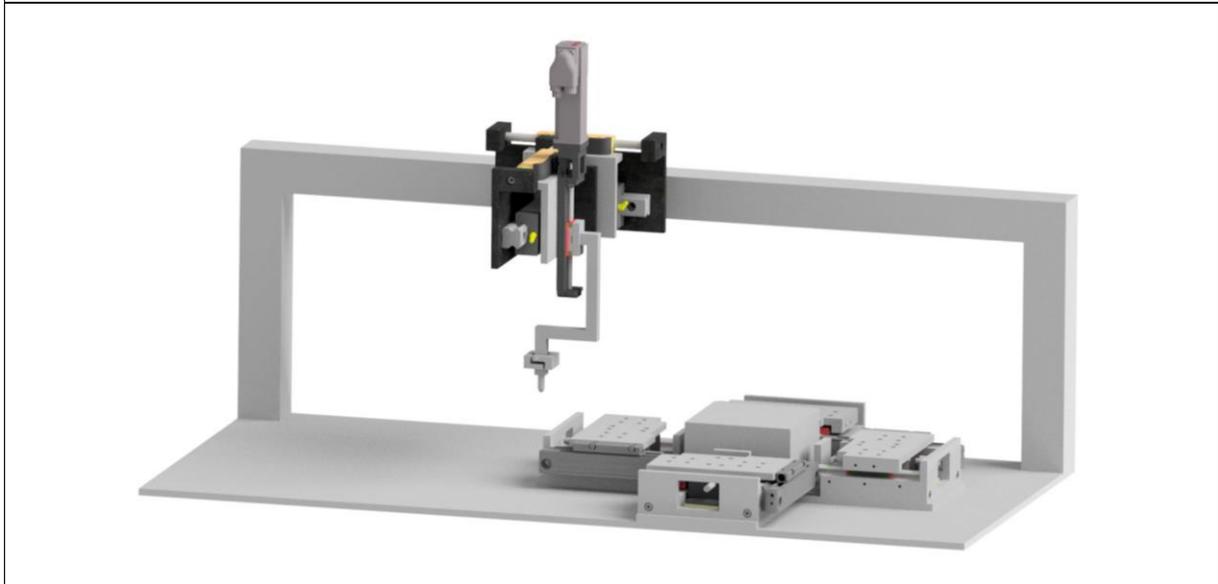


Abbildung 102: Prinzipielle Lösung 6 mit TAU-Einheit Variante B außer Betriebsstellung

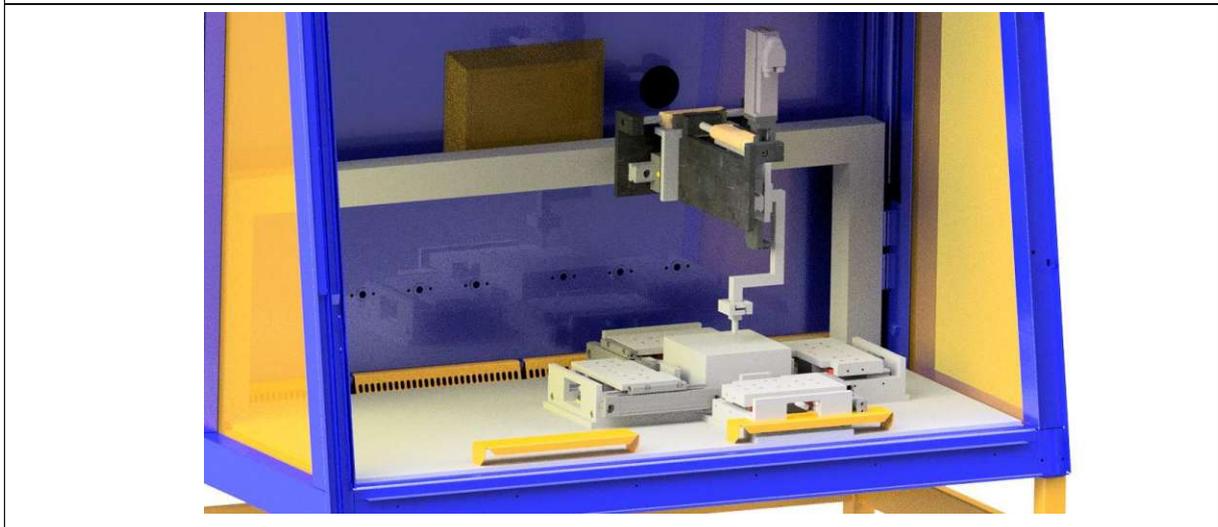


Abbildung 103: Prinzipielle Lösung 6 mit TAU-Einheit Variante B in Sicherheitswerkbank

6.6.8.6 Prinzipielle Lösung 6 mit TAU-Einheit Variante C



Abbildung 104: Prinzipielle Lösung 6 mit TAU-Einheit Variante C in Betriebsstellung



Abbildung 105: Prinzipielle Lösung 6 mit TAU-Einheit Variante C außer Betriebsstellung

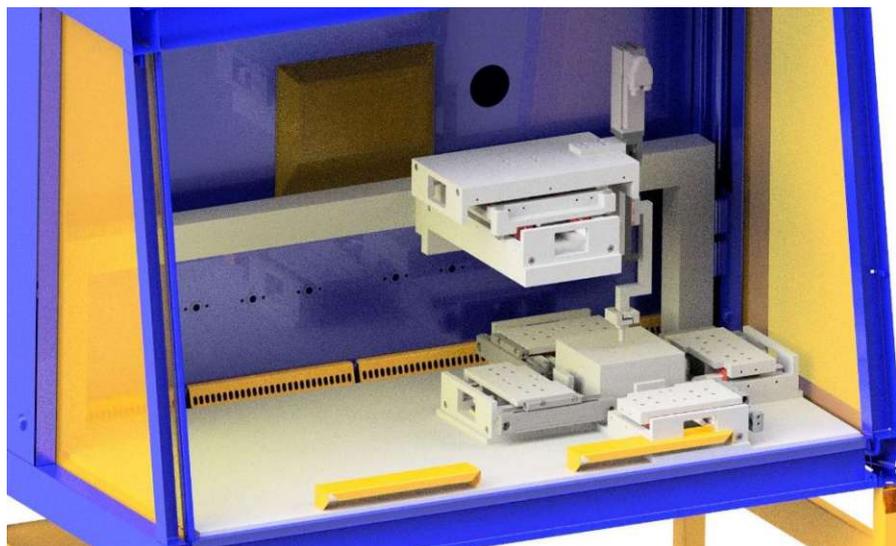


Abbildung 106: Prinzipielle Lösung 6 mit TAU-Einheit Variante C in Sicherheitswerkbank

6.7 Bewerten nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien

Im Allgemeinen wird zum Bewerten der prinzipiellen Lösungen die technisch wirtschaftliche Bewertung nach VDI 2225 (ohne Gewichtung) herangezogen (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 268).

Nachdem 18 prinzipielle Lösungen erarbeitet worden sind, sollen im Weiteren nur mehr sechs davon einer technisch wirtschaftlichen Bewertung unterzogen werden. Die prinzipiellen Lösungen mit TAU-Einheit Variante A und B werden nicht mehr weiterverfolgt, da der Hersteller der elektrischen Ausrüstung von diesen abrät. Die Gründe hierfür liegen bei der TAU-Einheit Version A in der schwierigen Synchronisation zweier Synchronservomotoren und bei TAU-Einheit Version B in Kompatibilitätsproblemen mit den Linearmotoren eines anderen Herstellers (LinMot).

6.7.1 Erkennen von Bewertungskriterien

Bevor eine Bewertung durchgeführt werden kann, müssen die dafür notwendigen Bewertungskriterien bestimmt werden. In der Hauptphase des Konzipierens werden diese aus der Anforderungsliste und aus der Hauptmerkmalliste zum Bewerten in der Konzeptphase entnommen (siehe Abbildung 107). Insgesamt soll die Anzahl der Bewertungskriterien beim Konzipieren im Bereich von acht bis fünfzehn Kriterien liegen. Beim Erkennen der Bewertungskriterien sollte darauf geachtet werden, neben den technischen Kriterien auch wirtschaftliche einfließen zu lassen. Auch wenn diese zu diesem Zeitpunkt nur qualitativ angegeben werden können (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 268–269).

6.7.1.1 Bestimmen der Bewertungskriterien über Hauptmerkmalliste

Beim Auffinden der Bewertungskriterien aus der Hauptmerkmalliste zum Bewerten in der Konzeptphase, wird diese bezüglich der Hauptmerkmale durchgesehen und versucht durch Assoziation mit den Hauptmerkmalen Bewertungskriterien für die eigene Konstruktion abzuleiten (siehe Tabelle 24). Wenn möglich sollte für jedes Hauptmerkmal mindestens ein Bewertungskriterium abgeleitet werden. An dieser Stelle ist bemerkenswert, es existiert für das Bewerten in Konzeptphase und Entwurfsphase eine eigene Hauptmerkmalliste (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 269). Weiters sollen die aufgefundenen Bewertungskriterien positiv formuliert

werden, um später eine eindeutige Zuordnung der Wertvorstellungen zu ermöglichen bzw. eine eindeutige Bewertungsrichtung zu geben. Beispielsweise sollte ein Bewertungskriterium „hoher Wirkungsgrad“ und nicht „große Verluste“ heißen (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 167).

Hauptmerkmal	Beispiele
Funktion	Eigenschaften erforderlicher Nebenfunktionsträger, die sich aus dem gewählten Lösungsprinzip oder aus der Konzeptvariante zwangsläufig ergeben
Wirkprinzip	Eigenschaften des oder der gewählten Prinzipien hinsichtlich einfacher und eindeutiger Funktionserfüllung, ausreichende Wirkung, geringe Störgrößen
Gestaltung	Geringe Zahl der Komponenten, wenig Komplexität, geringer Raumbedarf, keine besonderen Werkstoff- und Auslegungsprobleme
Sicherheit	Bevorzugung der unmittelbaren Sicherheitstechnik (von Natur aus sicher), keine zusätzlichen Schutzmaßnahmen nötig, Arbeits- und Umweltsicherheit gewährleistet
Ergonomie	Mensch-Maschine-Beziehung befriedigend, keine unzulässige Belastung oder Beeinträchtigung, gute Formgestaltung
Fertigung	Wenige und gebräuchliche Fertigungsverfahren, keine aufwendigen Vorrichtungen, geringe Zahl einfacher Teile
Kontrolle	Wenige Kontrollen oder Prüfungen notwendig, einfach und aussagesicher durchführbar
Montage	Leicht, bequem und schnell, keine besonderen Hilfsmittel
Transport	Normale Transportmöglichkeiten, keine Risiken
Gebrauch	Einfacher Betrieb, lange Lebensdauer, geringer Verschleiß, leichte und sinnfällige Bedienung
Instandhaltung	Geringe und einfache Wartung und Säuberung, leichte Inspektion, problemlose Instandsetzung
Recycling	Gute Verwertbarkeit, problemlose Beseitigung
Aufwand	Keine besonderen Betriebs- oder sonstige Nebenkosten, keine Terminrisiken

Abbildung 107: Hauptmerkmalliste zum Auffinden der Bewertungskriterien beim Konzipieren (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 270)

Hauptmerkmal	Bewertungskriterium
Funktion	-
Wirkprinzip	Geringe Beeinflussung der Bewegung zufolge der Schwerkraft
	Geringe Schwingungsanfälligkeit infolge Schwingungsanregung (Anregung von außen oder innen)
Gestaltung	Geringer Raumbedarf
	Hohe Steifigkeit
	Direkter und kurzer Kraftfluss
	Einfach bearbeitbare Werkstoffe
Sicherheit	Erfüllung der unmittelbaren Sicherheitstechnik (von Natur aus sicher)
Ergonomie	Gute Zugänglichkeit
	Niedrige Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände
Fertigung	Geringe Teilevielfalt
	Geringe Teilekomplexität
	Verwendung vieler Norm- bzw. Zukaufteile
	Wenige und gebräuchliche Fertigungsverfahren
Kontrolle	-
Montage	Einfache Montage
Transport	Geringes Gewicht
Gebrauch	Schnelles Herstellen der Betriebsbereitschaft
	Einfache Bedienung
	Geringe Anfälligkeit gegenüber Umwelteinflüssen
Instandhaltung	Leichte Instandhaltung (gewöhnliches Werkzeug, Zugänglichkeit beim Warten, ...)
Recycling	-
Aufwand	-

Tabelle 24: Aus Hauptmerkmalliste zum Bewerten in der Konzeptphase abgeleitete Bewertungskriterien

6.7.1.2 Bestimmen der Bewertungskriterien über Anforderungsliste

Aus der Anforderungsliste können nur solche Anforderungen als Bewertungskriterien gewonnen werden, die als eine Mindestanforderung formuliert sind und es daher anstrebenswert ist, diese möglichst weit zu überschreiten. Als zweite Quelle für Bewertungskriterien können in der Anforderungsliste solche Anforderungen dienen, deren Erfüllung mit Wahrscheinlichkeiten beantwortet werden kann (siehe Tabelle 25) (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 269).

Typ der Anforderung	Nr.	Anforderung aus Anforderungsliste	Abgeleitetes Bewertungskriterium
Mindestanforderung („Umso kleiner umso besser“)	1	Prüfstand muss in mikrobiologischer Sicherheitswerkbank Platz finden	Geringer Raumbedarf
Wahrscheinlichkeit der Erfüllung der Anforderung („Umso wahrscheinlicher umso besser“)	17	Gefahrenfreier Ein- bzw. Ausbau der Probe/des Beckens möglich	Erfüllung der unmittelbaren Sicherheitstechnik (von Natur aus sicher)
Wahrscheinlichkeit der Erfüllung der Anforderung („Umso wahrscheinlicher umso besser“)	45	Gute Einsicht von allen Seiten auf die Probe	Gute Zugänglichkeit
Wahrscheinlichkeit der Erfüllung der Anforderung („Umso wahrscheinlicher umso besser“)	46	Verwendung von Standardteilen	Verwendung vieler Norm- bzw. Zukaufteile
Mindestanforderung („Umso leichter umso besser“)	49	Durch zwei Personen tragbar (<100kg).	Geringes Gewicht

Tabelle 25: Bewertungskriterien aus Anforderungsliste

Alle die oben genannten Anforderungen, die als Bewertungskriterium dienen können, werden bereits durch Bewertungskriterien der Hauptmerkmaliste abgedeckt.

6.7.1.3 Zusammenfassen der Bewertungskriterien

Nachdem die Bewertungskriterien bestimmt worden sind, können diese umsortiert und zusammengefasst werden (siehe Tabelle 26).

Beim Zusammenfassen der Bewertungskriterien ist zu beachten, dass diese möglichst unabhängig voneinander sein sollen. Unabhängigkeit liegt dann vor, wenn Maßnahmen zur Verbesserung eines Bewertungskriteriums andere Bewertungskriterien nicht beeinflussen (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 167).

Ursprüngliches Bewertungskriterium	Vereintes Bewertungskriterium
Geringe Beeinflussung der Bewegung zufolge der Schwerkraft	Niedrige Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände
Niedrige Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände	
Geringe Schwingungsanfälligkeit infolge Schwingungsanregung (Anregung von außen oder innen)	Hohe Steifigkeit
Hohe Steifigkeit	
Geringer Raumbedarf	Geringer Raumbedarf
Direkter und kurzer Kraftfluss	Direkter und kurzer Kraftfluss
Einfach bearbeitbare Werkstoffe	Einfach bearbeitbare Werkstoffe
Erfüllung der unmittelbaren Sicherheitstechnik (von Natur aus sicher)	Hohe unmittelbare Sicherheit
Gute Zugänglichkeit	Gute Zugänglichkeit
Geringe Teilevielfalt	Geringe Teilevielfalt
Geringe Teilekomplexität	Geringe Teilekomplexität
Verwendung vieler Norm- bzw. Zukaufteile	Verwendung vieler Norm- bzw. Zukaufteile
Wenige und gebräuchliche Fertigungsverfahren	Wenige und gebräuchliche Fertigungsverfahren
Einfache Montage	Einfache Montage
Geringes Gewicht	
Schnelles Herstellen der Betriebsbereitschaft	Einfache Bedienung
Einfache Bedienung	
Geringe Anfälligkeit gegenüber Umwelteinflüssen	Geringe Anfälligkeit gegenüber Umwelteinflüssen
Leichte Instandhaltung (gewöhnliches Werkzeug, Zugänglichkeit beim Warten, ...)	Leichte Instandhaltung

Tabelle 26: Zusammenfassung der Bewertungskriterien

6.7.2 Zuordnung von Eigenschaftsgrößen

Obwohl die VDI-Richtlinie 2225 keine tabellarische Zusammenstellung von Eigenschaftsgrößen mit den Bewertungskriterien vorgibt, soll in diesem Arbeitsschritt den Bewertungskriterien Eigenschaftsgrößen zugeordnet werden (siehe Tabelle 27) (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 170). Eigenschaftsgrößen machen die Bewertungskriterien besser bewertbar. Die Eigenschaftsgrößen sollten vorzugsweise quantitativ angegeben werden. Sollte dies nicht möglich sein, so muss man sich auf qualitative Aussagen beschränken. Diese qualitativen Aussagen sollten aber möglichst konkret sein (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 170). Weiters wird in diese Arbeitsschritt auch eine Einteilung in technische und wirtschaftliche Kriterien vorgenommen und ein Urteilsschema aufgestellt (siehe Tabelle 28).

technische Bewertungskriterien	
Vereintes Bewertungskriterium	Eigenschaftsgröße
Hohe Steifigkeit	Steifigkeit
Geringer Raumbedarf	Raumbedarf
Direkter und kurzer Kraftfluss	Kraftfluss
Hohe unmittelbare Sicherheit	unmittelbare Sicherheit
Gute Zugänglichkeit	Zugänglichkeit
Niedrige Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände	Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände
Einfache Montage	Montageaufwand
Einfache Bedienung	Anzahl d. Handgriffe für Wechsel Ruhe/Betriebsstellung
Geringe Anfälligkeit gegenüber Umwelteinflüssen	Umwelteinfluss
Leichte Instandhaltung	Zeitlicher und kostenmäßiger Instandhaltungsaufwand
wirtschaftliche Bewertungskriterien	
Einfach bearbeitbare Werkstoffe	Werkstoffbearbeitbarkeit
Geringe Teilevielfalt	Teilevielfalt
Geringe Teilekomplexität	Teilekomplexität
Verwendung vieler Norm- bzw. Zukaufteile	Anteil der Norm & Zukaufteile
Wenige und gebräuchliche Fertigungsverfahren	Anteil der gebräuchliche Fertigungsverfahren

Tabelle 27: Zuordnung von Eigenschaftsgrößen

6.7.3 Zuordnen von quantitativen bzw. qualitativen Werten den Eigenschaftsgr.

Urteilsschema							
Technische Bewertungskriterien			Werteskala nach VDI 2225				
Bewertungskriterium	Eigenschaftsgröße	Einh.	0	1	2	3	4
Hohe Steifigkeit	Steifigkeit	-	Sehr niedrig	Niedrig	Mittel	Hoch	Sehr hoch
Geringer Raumbedarf	Raubedarf	-	Sehr hoch	Hoch	Mittel	Niedrig	Sehr niedrig
Direkter und kurzer Kraftfluss	Kraftfluss	-	Sehr schlecht	Schlecht	Mittel	Gut	Sehr gut
Hohe unmittelbare Sicherheit	unmittelbare Sicherheit	-	Sehr niedrig	Niedrig	Mittel	Hoch	Sehr hoch
Gute Zugänglichkeit	Zugänglichkeit	-	Sehr schlecht	Schlecht	Mittel	Gut	Sehr gut
Niedrige Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände	Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände	-	Sehr hoch	Hoch	Mittel	Niedrig	Sehr niedrig
Einfache Montage	Montageaufwand	-	Sehr hoch	Hoch	Mittel	Niedrig	Sehr niedrig
Einfache Bedienung	Anzahl d. Handgriffe für Wechsel Ruhe/Betriebsstellung	[1]	>6	6	5	4	<=3
Geringe Anfälligkeit gegenüber Umwelteinflüssen	Umwelteinfluss	-	Sehr hoch	Hoch	Mittel	Niedrig	Sehr niedrig
Leichte Instandhaltung	zeitlicher und kostenmäßiger Instandhaltungsaufwand	-	Sehr hoch	Hoch	Mittel	Niedrig	Sehr niedrig
Wirtschaftliche Bewertungskriterien							
Einfach bearbeitbare Werkstoffe	Werkstoffbearbeitbarkeit	-	Sehr schlecht	Schlecht	Mittel	Gut	Sehr gut
Geringe Teilevielfalt	Teilevielfalt	-	Sehr hoch	Hoch	Mittel	Niedrig	Sehr niedrig
Geringe Teilekomplexität	Teilekomplexität	-	Sehr hoch	Hoch	Mittel	Niedrig	Sehr niedrig
Verwendung vieler Norm- bzw. Zukaufteile	Anteil der Norm & Zukaufteile	-	Sehr niedrig	Niedrig	Mittel	Hoch	Sehr hoch
Wenige und gebräuchliche Fertigungsverfahren	Anteil der gebräuchliche Fertigungsverfahren	-	Sehr niedrig	Niedrig	Mittel	Hoch	Sehr hoch

Tabelle 28: Übersicht der Bewertungskriterien und ihrer Eigenschaftsgrößen mit ihren zugeordneten quantitativen und qualitativen Werten

6.7.4 Beurteilung nach Wertevorstellungen

Mit Hilfe der im vorigen Abschnitt bestimmten Bewertungskriterien, Eigenschaftsgrößen und Werten der Werteskala wird nun die eigentliche Bewertung der prinzipiellen Lösungen durchgeführt. Zu diesem Zweck werden die Eigenschaften der prinzipiellen Lösungen anhand des Urteilsschemas beurteilt und entsprechend Punkte zugeordnet. Diese Bewertung erfolgt sowohl für die technischen als auch wirtschaftlichen Bewertungskriterien. Bei jeder Eigenschaft wird auch eine Begründung angegeben, warum der Wert der Eigenschaftsbewertung entsprechend ausfällt.

6.7.4.1 Bestimmung der technischen und wirtschaftlichen Wertigkeiten

Zur Bestimmung der technischen oder wirtschaftlichen Wertigkeit einer prinzipiellen Lösung werden zunächst die Punktwerte (P_{ij}), die die Erfüllung des i -ten Bewertungskriteriums der j -ten prinzipiellen Lösung beschreiben, zum Gesamtwert $\sum_i P_{ij}$ aufsummiert (siehe Formel 1). Wobei n die Gesamtzahl aller Bewertungskriterien ausdrückt. Wie bereits an einer anderen Stelle angemerkt, wird in der Hauptphase der Konzeption mit den ungewichteten Bewertungskriterien gearbeitet (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 174–176).

$\sum_{i=1}^n P_{ij}$	Gesamtwert der j -ten prinzipiellen Lösung	(1)
-----------------------	--	-----

Neben diesem Gesamtwert muss noch der Gesamtwert P_{max} einer theoretisch idealen prinzipiellen Lösung bestimmt werden. Dieser Wert errechnet sich durch Multiplikation der Anzahl der Bewertungskriterien mit dem Höchstwert der Werteskala nach VDI-Richtlinie 2225 (siehe Formel 2) (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 174–176).

$P_{max} = i * 4$	Gesamtwert der idealen prinzipiellen Lösung	(2)
-------------------	---	-----

Die technische oder wirtschaftliche Wertigkeit ergibt sich als Quotient des Gesamtwerts der j -ten prinzipiellen Lösung zum Gesamtwert der idealen prinzipiellen Lösung (siehe Formel 3) (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 174–176).

$\frac{\sum_{i=1}^n P_{ij}}{P_{max}} = W_j$	Gesamtwert der j-ten prinzipiellen Lösung	(3)
---	---	-----

Sobald die Wertigkeiten der einzelnen Lösungen bekannt sind, kann mit diesen eine Rangfolge der technischen Wertigkeiten und wirtschaftlichen Wertigkeiten erstellt werden.

Darüber hinaus lässt der Betrag der Wertigkeit darauf schließen, inwieweit eine prinzipielle Lösung überhaupt dafür geeignet ist, in die Entwurfsphase weitergeführt zu werden. Die VDI-Richtlinie 2225 bietet dazu folgende Richtwerte an (siehe Tabelle 29) (Conrad 2003, S. 129):

Betrag der technischen Wertigkeit	Bedeutung
$W_j > 0.8$	Sehr gute Lösung
$W_j \approx 0.7$	Gute Lösung
$W_j < 0.6$	Unbefriedigende Lösung

Tabelle 29: Bereiche der technischen Wertigkeit (Conrad 2003, S. 129)

6.7.4.2 Schwachstellenanalyse

Nicht nur die technische bzw. wirtschaftliche Wertigkeit entscheidet über die Güte einer prinzipiellen Lösung, sondern auch das Werteprofil innerhalb einer prinzipiellen Lösung. Mit diesem werden die erreichten Punktezahlen der Bewertungskriterien einer prinzipiellen Lösung dargestellt und untereinander verglichen. Bei einer guten prinzipiellen Lösung sollte dieses Profil ausgeglichen sein und keine Ausreißer im Sinne von sehr niedrigen Punktezahlen aufweisen. Solche Ausreißer weisen auf mögliche Schwachstellen der prinzipiellen Lösung hin (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 274).

Bei der Produktentwicklung des Prüfstands wird auf eine Schwachstellenanalyse verzichtet, da bei den weiterverfolgenswerten prinzipiellen Lösungen das Werteprofil ausgeglichen ist.

6.7.4.3 Technisch und wirtschaftliche Bewertung der prinzipiellen Lösung 1C

Bewertungskriterium	Eigenschaftsgrößen	Einheit	Eigenschaft	Wert	Begründung
Technische Bewertungskriterien					
Hohe Steifigkeit	Steifigkeit	-	Mittel	2	Auskragender Träger
Geringer Raumbedarf	Raumbedarf	-	Mittel	2	Raumbedarf des Schwenkbereichs
Direkter und kurzer Kraftfluss	Kraftfluss	-	Schlecht	1	Aufbau des Säulenkrans
Hohe unmittelbare Sicherheit	unmittelbare Sicherheit	-	Gut	3	Bewegung TAU-Einheit durch Radialbeschleunigung
Gute Zugänglichkeit	Zugänglichkeit	-	Sehr gut	4	Stempel kann vollständig aus dem Arbeitsbereich verfahren werden.
Niedrige Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände	Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände	-	Sehr niedrig	4	Die Schwerkraft steht normal auf die Bewegungsrichtung der TAU-Einheit
Einfache Montage	Montageaufwand	-	Hoch	1	Wälzlagerereinbau
Einfache Bedienung	Anzahl d. Handgriffe für Wechsel Ruhe/Betriebsstellung	[1]	6	1	Säule entsichern, TAU-Einheit entsichern, TAU-Einheit verfahren, Säule drehen, TAU-Einheit verfahren, TAU-Einheit fixieren
Geringe Anfälligkeit gegenüber Umwelteinflüssen	Umwelteinfluss	-	Mittel	2	Verwendung empfindlicher Teile (Wälzlager)
Leichte Instandhaltung	zeitlicher und kostenmäßiger Instandhaltungsaufwand	-	Hoch	1	unzugängliche Teile (Wälzlager)
wirtschaftliche Bewertungskriterien					
Einfach bearbeitbare Werkstoffe	Werkstoffbearbeitbarkeit	-	Sehr gut	4	Keine besonderen Werkstoffe
Geringe Teilevielfalt	Teilevielfalt	-	Mittel	2	Lager, Dichtungen, ...
Geringe Teilekomplexität	Teilekomplexität	-	Hoch	1	Passungen der Lagersitze
Verwendung vieler Norm- und Zukaufteile	Anteil der Norm- und Zukaufteile	-	Niedrig	1	Viele Sonderanfertigungen (Säule, Ausleger)
Wenige und gebräuchliche Fertigungsverfahren	Anteil der gebräuchlichen Fertigungsverfahren	-	Hoch	3	Fräsen, Drehen, Bohren, Sägen

Tabelle 30: Technisch und wirtschaftliche Bewertung der prinzipiellen Lösung 1C

6.7.4.4 Technisch und wirtschaftliche Bewertung der prinzipiellen Lösung 2C

Bewertungskriterium	Eigenschaftsgrößen	Einheit	Eigenschaft	Wert	Begründung
Technische Bewertungskriterien					
Hohe Steifigkeit	Steifigkeit	-	Sehr hoch	4	Zusätzlicher Endanschlag in unterer Endstellung
Geringer Raumbedarf	Raumbedarf	-	Mittel	2	Raumbedarf des Schwenkbereichs
Direkter und kurzer Kraftfluss	Kraftfluss	-	Gut	3	TAU-Einheit wird während Messung abgestützt
Hohe unmittelbare Sicherheit	unmittelbare Sicherheit	-	Niedrig	1	Ohne Gasdruckfeder nicht unmittelbar sicher; TAU-Einheit klappt von selbst nach unten
Gute Zugänglichkeit	Zugänglichkeit	-	Schlecht	1	TAU-Einheit nicht vollständig aus Arbeitsbereich entfernbar
Niedrige Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände	Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände	-	Hoch	1	Anteil der Schwerkraft wirkt entlang der Bewegungsbahn der TAU-Einheit.
Einfache Montage	Montageaufwand	-	Hoch	1	Aufwendiges Einsetzen der Welle
Einfache Bedienung	Anzahl d. Handgriffe für Wechsel Ruhe/Betriebsstellung	[1]	5	2	Bügel nach vorne schieben, Entsichern der Achse, Achse nach unten klappen, TAU-Einheit Arretieren; Bügel arretieren
Geringe Anfälligkeit gegenüber Umwelteinflüssen	Umwelteinfluss	-	Mittel	2	Verwendung empfindlicher Teile (Wälzlager)
Leichte Instandhaltung	zeitlicher und kostenmäßiger Instandhaltungsaufwand	-	Hoch	1	Unzugängliche Teile (Wälzlager)
wirtschaftliche Bewertungskriterien					
Einfach bearbeitbare Werkstoffe	Bearbeitbarkeit	-	Sehr gut	4	Keine besonderen Werkstoffe
Geringe Teilevielfalt	Teilevielfalt	-	Mittel	2	Lager, Dichtungen, Führungswägen, ...
Geringe Teilekomplexität	Teilekomplexität	-	Hoch	1	Passungen der Lagersitze, Verbindung Achse/Welle mit Konsole
Verwendung vieler Norm- und Zukaufteile	Anteil der Norm- und Zukaufteile	-	Niedrig	1	Viele Sonderanfertigungen (Achse, Stützen mit Lagersitz, ...)
Wenige und gebräuchliche Fertigungsverfahren	Anteil der gebräuchlichen Fertigungsverfahren	-	Hoch	3	Fräsen, Drehen, Bohren, Sägen

Tabelle 31: Technisch und wirtschaftliche Bewertung der prinzipiellen Lösung 2C

6.7.4.5 Technisch und wirtschaftliche Bewertung der prinzipiellen Lösung 3C

Bewertungskriterium	Eigenschaftsgrößen	Einheit	Eigenschaft	Wert	Begründung
Technische Bewertungskriterien					
Hohe Steifigkeit	Steifigkeit	-	Mittel	2	Freikragende Stützarme
Geringer Raumbedarf	Raumbedarf	-	Mittel	2	Raumbedarf des Schwenkbereichs
Direkter und kurzer Kraftfluss	Kraftfluss	-	Mittel	2	TAU-Einheit wird während Messung abgestützt, aber Stützarme freikragend
Hohe unmittelbare Sicherheit	unmittelbare Sicherheit	-	Niedrig	1	Ohne Gasdruckfeder nicht unmittelbar sicher; TAU-Einheit klappt von selbst nach unten
Gute Zugänglichkeit	Zugänglichkeit	-	Schlecht	1	TAU-Einheit nicht vollständig aus Arbeitsbereich entfernbar, Stützarme im Arbeitsbereich
Niedrige Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände	Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände	-	Hoch	1	Anteil der Schwerkraft wirkt entlang der Bewegungsbahn der TAU-Einheit.
Einfache Montage	Montageaufwand	-	Hoch	1	Aufwendiges Einsetzen der Welle
Einfache Bedienung	Anzahl d. Handgriffe für Wechsel Ruhe/Betriebsstellung	[1]	3	4	Entsichern der Achse, Achse nach unten klappen, TAU-Einheit Arretieren;
Geringe Anfälligkeit gegenüber Umwelteinflüssen	Umwelteinfluss	-	Mittel	2	Verwendung empfindlicher Teile (Wälzlager)
Leichte Instandhaltung	zeitlicher und kostenmäßiger Instandhaltungsaufwand	-	Hoch	1	Unzugängliche Teile (Wälzlager)
wirtschaftliche Bewertungskriterien					
Einfach bearbeitbare Werkstoffe	Bearbeitbarkeit	-	Sehr gut	4	Keine besonderen Werkstoffe
Geringe Teilevielfalt	Teilevielfalt	-	Mittel	2	Lager, Dichtungen, Führungswägen, ...
Geringe Teilekomplexität	Teilekomplexität	-	Hoch	1	Passungen der Lagersitze, Verbindung Achse/Welle mit Konsole
Verwendung vieler Norm- und Zukaufteile	Anteil der Norm- und Zukaufteile	-	Niedrig	1	Viele Sonderanfertigungen (Achse, ...)
Wenige und gebräuchliche Fertigungsverfahren	Anteil der gebräuchlichen Fertigungsverfahren	-	Hoch	3	Fräsen, Drehen, Bohren, Sägen

Tabelle 32: Technisch und wirtschaftliche Bewertung der prinzipiellen Lösung 3C

6.7.4.6 Technisch und wirtschaftliche Bewertung der prinzipiellen Lösung 4C

Bewertungskriterium	Eigenschaftsgrößen	Einheit	Eigenschaft	Wert	Begründung
technische Bewertungskriterien					
Hohe Steifigkeit	Steifigkeit	-	Hoch	3	Verwendung von zwei Längsträgern und vier Stützen
Geringer Raumbedarf	Raubedarf	-	Hoch	1	Portal benötigt viel Platz
Direkter und kurzer Kraftfluss	Kraftfluss	-	Mittel	2	keine Abstützmöglichkeit während Messung
Hohe unmittelbare Sicherheit	unmittelbare Sicherheit	-	Sehr hoch	4	Keine Beschleunigung von Maschinenteilen zufolge Schwerkraft
Gute Zugänglichkeit	Zugänglichkeit	-	Mittel	2	Längsträger schränkt Arbeitsbereich ein
Niedrige Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände	Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände	-	Sehr niedrig	4	Schwerkraft steht normal auf Bewegungsbahn der TAU-Einheit
Einfache Montage	Montageaufwand	-	Niedrig	3	Unkomplizierter Zusammenbau des Rahmens; mehrere Personen für Montage notwendig
Einfache Bedienung	Anzahl d. Handgriffe für Wechsel Ruhe/Betriebsstellung	[1]	<=3	4	TAU-Einheit verschieben, TAU-Einheit arretieren
Geringe Anfälligkeit gegenüber Umwelteinflüssen	Umwelteinfluss	-	Sehr niedrig	4	Unempfindliche Teile
Leichte Instandhaltung	zeitlicher und kostenmäßiger Instandhaltungsaufwand	-	Sehr niedrig	4	gute Zugänglichkeit
wirtschaftliche Bewertungskriterien					
Einfach bearbeitbare Werkstoffe	Bearbeitbarkeit	-	Sehr gut	4	Keine besonderen Werkstoffe
Geringe Teilevielfalt	Teilevielfalt	-	Mittel	2	Großer Anteil an Normteilen, Rahmen besteht aus wenigen Teilen
Geringe Teilekomplexität	Teilekomplexität	-	Niedrig	4	Einfache Geometrien, keine Lagersitze
Verwendung vieler Norm- und Zukaufteile	Anteil der Norm- und Zukaufteile	-	Sehr hoch	4	Rahmen kann großteils aus „ITEM“-Profilen gebaut werden
Wenige und gebräuchliche Fertigungsverfahren	Anteil der gebräuchlichen Fertigungsverfahren	-	Hoch	3	Fräsen, Drehen, Bohren, Sägen

Tabelle 33: Technisch und wirtschaftliche Bewertung der prinzipiellen Lösung 4C

6.7.4.7 Technisch und wirtschaftliche Bewertung der prinzipiellen Lösung 5C

Bewertungskriterium	Eigenschaftsgrößen	Einheit	Eigenschaft	Wert	Begründung
Technische Bewertungskriterien					
Hohe Steifigkeit	Steifigkeit	-	Mittel	2	Verwendung von einem Längsträger und zwei Stützen
Geringer Raumbedarf	Raumbedarf	-	Hoch	1	Portal benötigt viel Platz
Direkter und kurzer Kraftfluss	Kraftfluss	-	Mittel	2	Keine zusätzliche Abstützmöglichkeit während Messung
Hohe unmittelbare Sicherheit	unmittelbare Sicherheit	-	Sehr hoch	4	Keine Beschleunigung von Maschinenteilen zufolge Schwerkraft
Gute Zugänglichkeit	Zugänglichkeit	-	Sehr gut	4	Kein störender Längsträger im Arbeitsbereich
Niedrige Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände	Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände	-	Sehr niedrig	4	Schwerkraft steht normal auf Bewegungsbahn der TAU-Einheit
Einfache Montage	Montageaufwand	-	Niedrig	3	Unkomplizierter Zusammenbau des Rahmens; mehrere Personen für Montage notwendig
Einfache Bedienung	Anzahl d. Handgriffe für Wechsel Ruhe/Betriebsstellung	[1]	<=3	4	TAU-Einheit verschieben, TAU-Einheit arretieren
Geringe Anfälligkeit gegenüber Umwelteinflüssen	Umwelteinfluss	-	Sehr niedrig	4	Unempfindliche Teile
Leichte Instandhaltung	zeitlicher und kostenmäßiger Instandhaltungsaufwand	-	Sehr niedrig	4	gute Zugänglichkeit
wirtschaftliche Bewertungskriterien					
Einfach bearbeitbare Werkstoffe	Bearbeitbarkeit	-	Sehr gut	4	Keine besonderen Werkstoffe
Geringe Teilevielfalt	Teilevielfalt	-	Mittel	2	Großer Anteil an Normteilen, Rahmen besteht aus wenigen Teilen
Geringe Teilekomplexität	Teilekomplexität	-	Niedrig	4	Einfache Geometrien, keine Lagersitze
Verwendung vieler Norm- und Zukaufteile	Anteil der Norm- und Zukaufteile	-	Sehr hoch	4	Rahmen kann großteils aus „ITEM“-Profilen gebaut werden
Wenige und gebräuchliche Fertigungsverfahren	Anteil der gebräuchlichen Fertigungsverfahren	-	Hoch	3	Fräsen, Drehen, Bohren, Sägen

Tabelle 34: Technisch und wirtschaftliche Bewertung der prinzipiellen Lösung 5C

6.7.4.8 Technisch und wirtschaftliche Bewertung der prinzipiellen Lösung 6C

Bewertungskriterium	Eigenschaftsgrößen	Einheit	Eigenschaft	Wert	Begründung
Technische Bewertungskriterien					
Hohe Steifigkeit	Steifigkeit	-	Mittel	2	Auskragende Konsole mit TAU-Einheit
Geringer Raumbedarf	Raumbedarf	-	Sehr niedrig	4	Geringer Platzbedarf des Portals
Direkter und kurzer Kraftfluss	Kraftfluss	-	Mittel	2	Keine Abstützmöglichkeit der TAU-Einheit während Betrieb
Hohe unmittelbare Sicherheit	unmittelbare Sicherheit	-	Sehr hoch	4	Keine Beschleunigung von Maschinenteilen zufolge Schwerkraft
Gute Zugänglichkeit	Zugänglichkeit	-	Sehr gut	4	Keine Beeinträchtigung des Arbeitsbereichs durch Längsträger
Niedrige Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände	Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände	-	Sehr niedrig	4	Schwerkraft steht normal auf Bewegungsbahn der TAU-Einheit
Einfache Montage	Montageaufwand	-	Niedrig	3	Unkomplizierter Zusammenbau des Rahmens; mehrere Personen für Montage notwendig
Einfache Bedienung	Anzahl d. Handgriffe für Wechsel Ruhe/Betriebsstellung	[1]	<=3	4	TAU-Einheit verschieben, TAU-Einheit arretieren
Geringe Anfälligkeit gegenüber Umwelteinflüssen	Umwelteinfluss	-	Sehr niedrig	4	Unempfindliche Teile
Leichte Instandhaltung	zeitlicher und kostenmäßiger Instandhaltungsaufwand	-	Sehr niedrig	4	gute Zugänglichkeit
wirtschaftliche Bewertungskriterien					
Einfach bearbeitbare Werkstoffe	Bearbeitbarkeit	-	Sehr gut	4	Keine besonderen Werkstoffe
Geringe Teilevielfalt	Teilevielfalt	-	Mittel	2	Großer Anteil an Normteilen, Rahmen besteht aus wenigen Teilen
Geringe Teilekomplexität	Teilekomplexität	-	Niedrig	4	Einfache Geometrien, keine Lagersitze
Verwendung vieler Norm- und Zukaufteile	Anteil der Norm- und Zukaufteile	-	Sehr hoch	4	Rahmen kann größtenteils aus „ITEM“-Profilen gebaut werden
Wenige und gebräuchliche Fertigungsverfahren	Anteil der gebräuchlichen Fertigungsverfahren	-	Hoch	3	Fräsen, Drehen, Bohren, Sägen

Tabelle 35: Technisch und wirtschaftliche Bewertung der prinzipiellen Lösung 6C

6.7.4.9 Technische Bewertung nach VDI-Richtlinie 2225

technische Bewertung nach VDI-Richtlinie 2225														
Bewertungskriterium	Eigenschaftsgröße	Einheit	Prinzipielle Lösung 1C		Prinzipielle Lösung 2C		Prinzipielle Lösung 3C		Prinzipielle Lösung 4C		Prinzipielle Lösung 5C		Prinzipielle Lösung 6C	
			Eigenschaft	Wert										
Hohe Steifigkeit	Steifigkeit	-	Mittel	2	Sehr hoch	4	Mittel	2	Hoch	3	Mittel	2	Mittel	2
Geringer Raumbedarf	Raubedarf	-	Mittel	2	Mittel	2	Mittel	2	Hoch	1	Hoch	1	Sehr niedrig	4
Direkter und kurzer Kraftfluss	Kraftfluss	-	Schlecht	1	Gut	3	Mittel	2	Mittel	2	Mittel	2	Mittel	2
Hohe unmittelbare Sicherheit	unmittelbare Sicherheit	-	Gut	3	Niedrig	1	Niedrig	1	Sehr hoch	4	Sehr hoch	4	Sehr hoch	4
Gute Zugänglichkeit	Zugänglichkeit	-	Sehr gut	4	Schlecht	1	Schlecht	1	Mittel	2	Sehr hoch	4	Sehr gut	4
Niedrige Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände	Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände	-	Sehr niedrig	4	Hoch	1	Hoch	1	Sehr niedrig	4	Sehr niedrig	4	Sehr niedrig	4
Einfache Montage	Montageaufwand	-	Hoch	1	Hoch	1	Hoch	1	Niedrig	3	Niedrig	3	Niedrig	3
Einfache Bedienung	Anzahl d. Handgriffe für Wechsel Ruhe/Betriebsstellung	[1]	6	1	5	2	3	4	<=3	4	<=3	4	<=3	4
Geringe Anfälligkeit gegenüber Umwelteinflüssen	Umwelteinfluss	-	Mittel	2	Mittel	2	Mittel	2	Sehr niedrig	4	Sehr niedrig	4	Sehr niedrig	4
Leichte Instandhaltung	zeitlicher und kostengünstiger Instandhaltungsaufwand	-	Hoch	1	Hoch	1	Hoch	1	Sehr niedrig	4	Sehr niedrig	4	Sehr niedrig	4
Summe				21		18		17		31		32		35
relativer Wert				0,53		0,45		0,43		0,78		0,80		0,88
Reihung				4		5		6		3		2		1
Maximalpunktzahl		40												

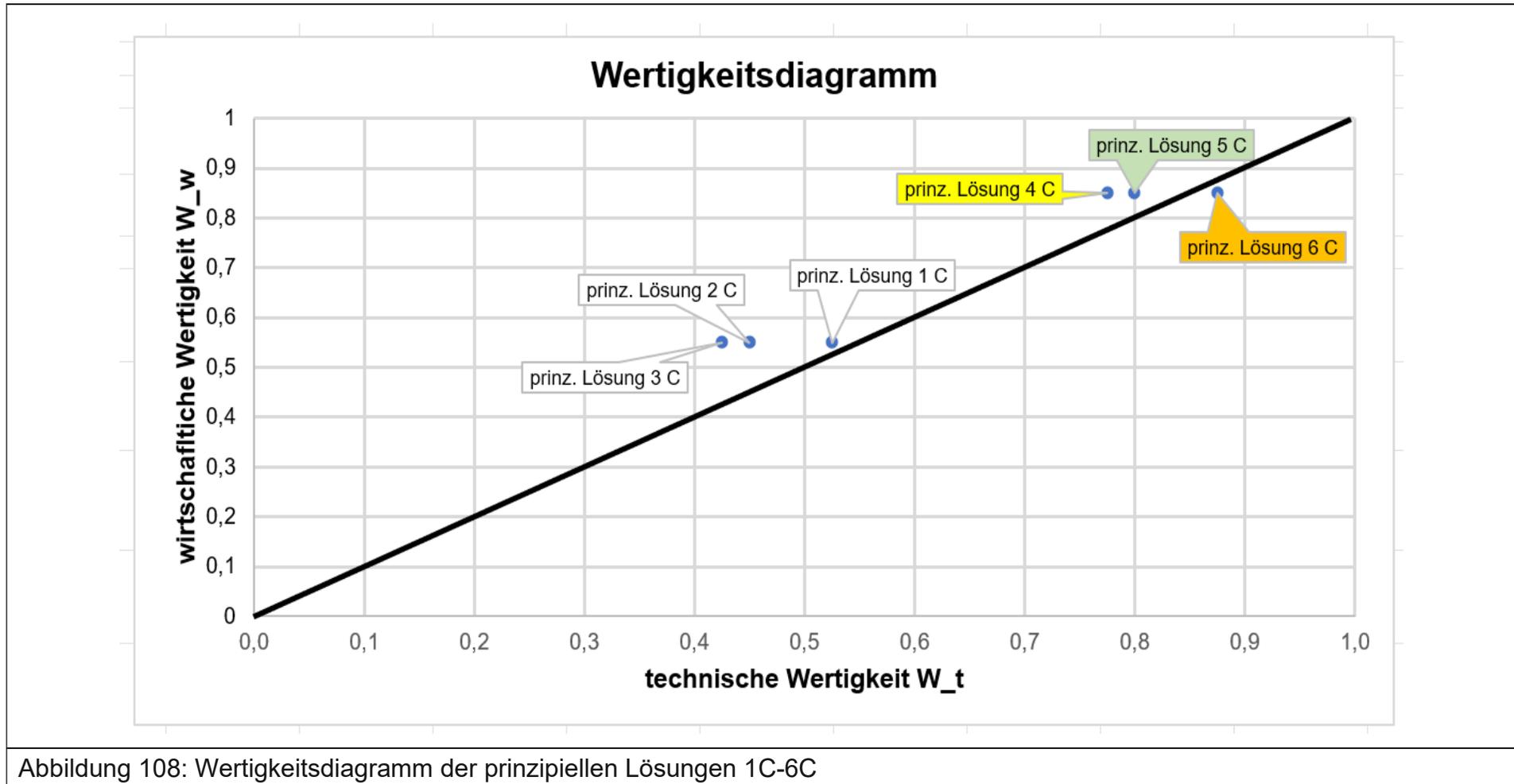
Tabelle 36: Technische Bewertung der prinzipiellen Lösungen 1C-6C nach der VDI-Richtlinie 2225

6.7.4.10 Wirtschaftliche Bewertung nach VDI-Richtlinie 2225

wirtschaftliche Bewertung nach VDI-Richtlinie 2225														
Bewertungskriterium	Eigenschaftsgröße	Einheit	Prinzipielle Lösung 1C		Prinzipielle Lösung 2C		Prinzipielle Lösung 3C		Prinzipielle Lösung 4C		Prinzipielle Lösung 5C		Prinzipielle Lösung 6C	
			Eigenschaft	Wert										
Einfach bearbeitbare Werkstoffe	Werkstoffbearbeitbarkeit	-	Sehr gut	4										
Geringe Teilevielfalt	Teilevielfalt	-	Mittel	2										
Geringe Teilekomplexität	Teilekomplexität	-	Hoch	1	Hoch	1	Hoch	1	Niedrig	4	Niedrig	4	Niedrig	4
Verwendung vieler Norm- und Zukaufteile	Anteil der Norm- und Zukaufteile	-	Niedrig	1	Niedrig	1	Niedrig	1	Sehr hoch	4	Sehr hoch	4	Sehr hoch	4
Wenige und gebräuchliche Fertigungsverfahren	Anteil der gebräuchlichen Fertigungsverfahren	-	Hoch	3										
Summe				11		11		11		17		17		17
relativer Wert				0,55		0,55		0,55		0,85		0,85		0,85
Reihung				4		4		4		1		1		1
Maximalpunktzahl		20												

Tabelle 37: Wirtschaftliche Bewertung der prinzipiellen Lösungen 1C-6C nach VDI-Richtlinie 2225

6.7.4.11 Wertigkeitsdiagramm der technisch und wirtschaftlichen Bewertung



6.7.4.12 Bewertungsergebnisse Konzeption

Die prinzipiellen Lösungen lassen sich im Wertigkeitsdiagramm in zwei Gruppen unterscheiden. Die erste Gruppe bilden die prinzipiellen Lösungen 1C, 2C und 3C deren technische und wirtschaftliche Wertigkeit bei ungefähr 0,5 liegt (siehe Tabelle 36, 37 bzw. Abbildung 108). Die zweite Gruppe bestehend aus den prinzipiellen Lösungen 4C, 5C und 6C besitzt eine technische und wirtschaftliche Wertigkeit von ungefähr 0,80 (siehe Tabelle 36, 37 bzw. Abbildung 108). Die prinzipiellen Lösungen der ersten Gruppe stellen mit ihrer erreichten technischen Wertigkeit deutlich eine unbefriedigende Lösung dar und werden daher in der Hauptphase des Entwurfs nicht mehr weiterverfolgt (Conrad 2003, S. 129).

Die prinzipiellen Lösungen der zweiten Gruppe erreichen ihre hohe technische Wertigkeit u.A. aufgrund ihrer hohen unmittelbaren Sicherheit. Die Schwerkraft steht bei allen prinzipiellen Lösungen der zweiten Gruppe normal auf die Bewegungsrichtung der Gondel. Aus diesem Grund kann es zu keinem unbeabsichtigten Verfahren der Gondel kommen. Weiters heben sich die prinzipiellen Lösungen der zweiten Gruppe hinsichtlich der leichten Instandhaltung bzw. der einfachen Montage hervor. Die prinzipiellen Lösungen 1,2 und 3 besitzen Wälzlager, deren Montage aufwendig ist deren Inspektion und Wartung dementsprechend mit Aufwand verbunden ist.

7 Entwerfen (Ludwig Fellingner)

Die VDI-Richtlinie 2221 sieht in der Hauptphase des Entwerfens eine schrittweise Grob- und Feingestaltung der ausgewählten prinzipiellen Lösungen vor, die nachfolgend bewertet werden (siehe Abbildung 109). Im Anschluss an die Bewertung wird in einem Entscheidungsschritt ein vorläufiger Gesamtentwurf ausgewählt. Dieser wird erneut im Rahmen mehrerer Hauptarbeitsschritte zu einem Gesamtentwurf vervollständigt. In einem abschließenden Entscheidungsschritt wird dieser zum Ausarbeiten freigegeben (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 307). Beim Entwurf des Prüfstands wird von der vorgesehenen Abfolge der Hauptarbeitsschritte abgewichen und bereits nach dem Hauptarbeitsschritt „Auswählen geeigneter Entwürfe“ eine technisch wirtschaftliche Bewertung durchgeführt. Die Motivation hinter dieser Vorgangsweise besteht darin, möglichst bald die Kräfte auf die Gestaltung des Gesamtentwurfs zu konzentrieren und nicht Aufwand in vorläufige Entwürfe zu stecken, die bei der abschließenden Bewertung herausfallen.

Diese Vorgangsweise ist möglich, da zwei der vier gestaltungsbestimmenden Hauptfunktionsträger in allen vorläufigen Entwürfen gleich sind und daher die Bewertung nicht beeinflussen. Dies bedeutet, es werden zunächst nur die gestaltungsbestimmenden Hauptfunktionsträger Gondel und Rahmen grobgestaltet und dann sofort eine Bewertung durchgeführt bzw. ein vorläufiger Gesamtentwurf ausgewählt. Danach wird in einem zusätzlich eingeführten Arbeitsschritt „Grobgestalten weiterer gestaltungsbestimmender Hauptfunktionsträger“ die TAU- bzw. BIAX-Einheit grobgestaltet. Die Hauptarbeitsschritte betreffend der Gestaltung von Nebenfunktionen, der Vervollständigung und die Feingestaltung werden nur einmal am vorläufigen Gesamtentwurf angewendet.

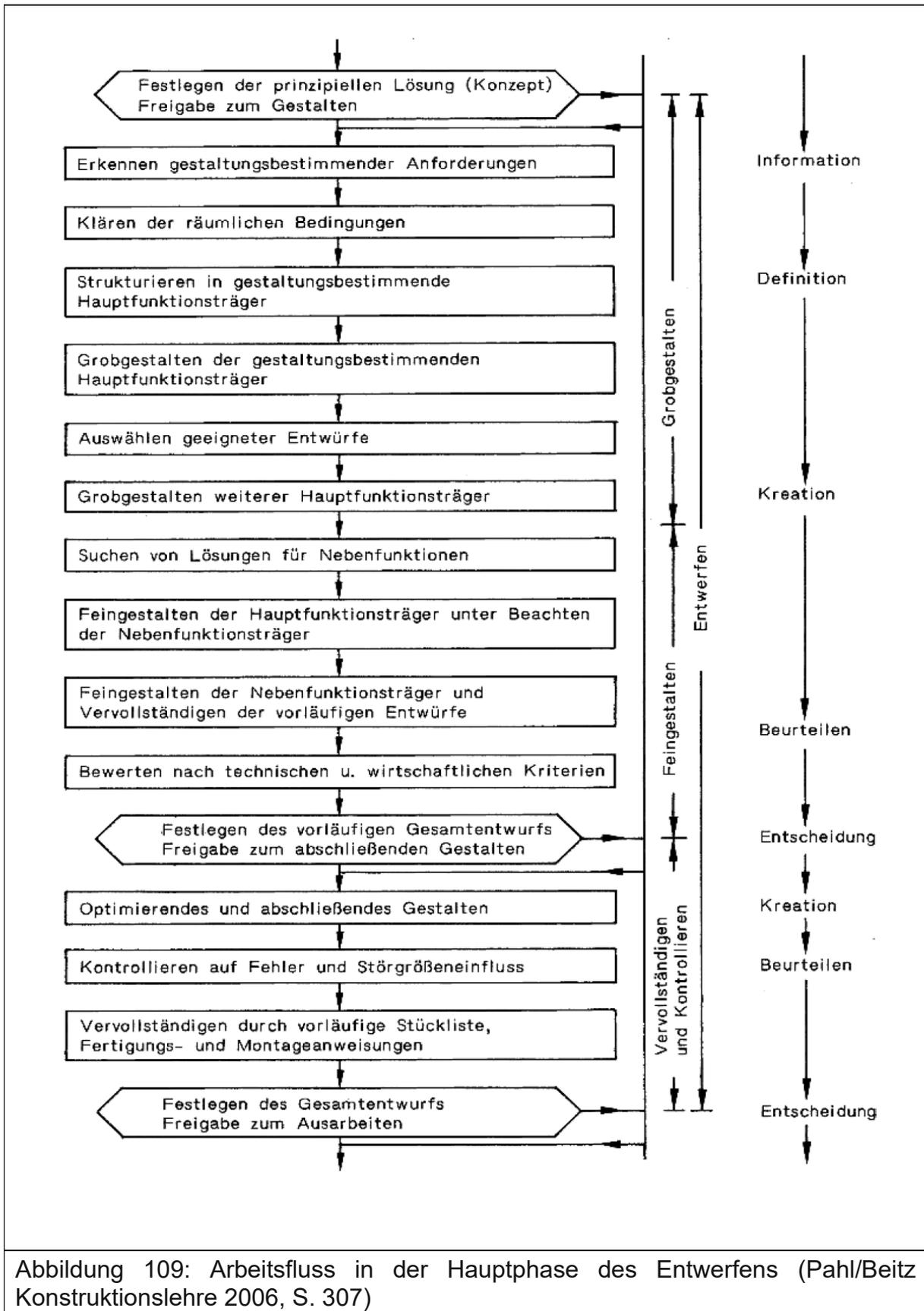


Abbildung 109: Arbeitsfluss in der Hauptphase des Entwerfens (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 307)

7.1 Erkennen gestaltungsbestimmender Anforderungen

In diesem Hauptarbeitsschritt werden aus der Anforderungsliste diejenigen Anforderungen abgelesen, die als besonders gestaltungsbestimmend eingestuft werden. Diese lassen sich in vier Gruppen (abmessungsbestimmende, anordnungsbestimmende, werkstoffbestimmende und sonstige Anforderungen) unterteilen (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 306). Im Fall des Prüfstands ergeben sich folgende besonders beachtenswerte Anforderungen (siehe Tabelle 38):

Nr.	Beschreibung der Anforderung
Abmessungsbestimmende Anforderungen	
2	Aufnahme eines mit Haken und Fäden versehenen Blutgefäßes der Größe 7x7[mm]-20x20[mm] (LxB)
3	Aufnahme eines Stempels mit Klingenform 0,08x3[mm] (øxL[mm])
4	quadratisches Becken der Größe 150x150x50[mm] (LxBxH)
15	Stempel verformt Blutgefäß entlang der z-Achse 30[mm]
16	Stempel +-40mm entlang x, y-Achse verfahrbar
19	Verfahrweg der Haltearme +-20mm
Anordnungsbestimmende Anforderungen	
13	Industriekamera innerhalb der Sicherheitswerkbank unterbringen
17	gefahrenfreien Ein- bzw. Ausbau der Probe/ des Beckens möglich
21	Stempel um 90° um seine Längsachse drehbar
23	Bewegung der Haltearme mit Linearmotoren der Hersteller SMC, Beckhoff
26	Bewegungen des Stempels normal zur Blutgefäßwand (z-Achse, früher r-Achse) durch Schrittmotor des Herstellers "Beckhoff"
27	Bewegung des Stempels in der x, y-Achse (früher z- bzw. θ-Achse) durch Schrittmotoren des Herstellers „Beckhoff“ oder Linearmotoren des Herstellers „LinMot“ bzw. „Beckhoff“
39	Messtechnik (Lastzellen, ...) darf nicht mit der Nährstofflüssigkeit in Berührung kommen
45	Gute Einsicht von allen Seiten auf die Probe
52	Becken aus Prüfstand muss für Reinigungszwecke entfernbar
Werkstoffbestimmende Anforderungen	
32	Becken aus korrosionsbeständigem Material
Sonstige Anforderungen	
46	Verwendung von Standardteilen (Bsp. Aluminiumprofile)

Tabelle 38: Übersicht der gestaltungsbestimmenden Anforderungen

7.2 Klären der räumlichen Bedingungen

Nachdem die wichtigsten gestaltungsbestimmenden Anforderungen bekannt sind, werden in diesem Hauptarbeitsschritt diejenigen Anforderungen angegeben, die die Gestalt des Entwurfs räumlich begrenzen (siehe Tabelle 39) (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 306).

Nr.	Beschreibung der Anforderung
Räumlich begrenzende Anforderungen	
1	Prüfstand muss in mikrobiologischer Sicherheitswerkbank (Klasse II) Platz finden

Tabelle 39: Übersicht der räumlich begrenzenden Anforderungen

Um die Tragweite dieser Bedingung vollständig erfassen zu können soll an dieser Stelle kurz auf mikrobiologische Werkbänke der Klasse II eingegangen werden.

7.2.1 Mikrobiologische Sicherheitswerkbank der Klasse II

Eine mikrobiologische Sicherheitswerkbank der Klasse II zeichnet sich dadurch aus, dass neben dem Produkt in der Werkbank auch der Nutzer geschützt wird (Wikipedia 2021). Innerhalb des Arbeitsbereichs der Werkbank strömt ein laminarer Luftstrom ausgehend von der Werkbankdecke vertikal in Richtung Werkbankboden (siehe Abbildung 110). Am Werkbankboden vereint sich dieser Luftstrom mit einem Luftstrom aus ungefilterter Umgebungsluft, der durch eine Öffnung in der Frontscheibe in die Werkbank eintritt. Durch Öffnungen im Boden der Werkbank, die sich sowohl nahe an der Frontscheibe als auch an der Rückwand befinden, wird dieser Luftstrom in die Werkbank eingesaugt. In der Werkbank wird der Luftstrom hinter dem Arbeitsbereich hochgeleitet bevor er sich in zwei Luftströme aufteilt. Einer dieser Luftströme wird wieder nach Reinigung in einem Filter (HEPA-Filter) zurück in den Arbeitsbereich geleitet, während der zweite Luftstrom ebenfalls einer Reinigung in einem Filter (HEPA-Filter) unterzogen wird und anschließend in die Umgebung abgegeben wird.

SCHEMA DER LUFTSTRÖME

- kontaminierte Luft
- Raumluft
- reine (gefilterte) Luft

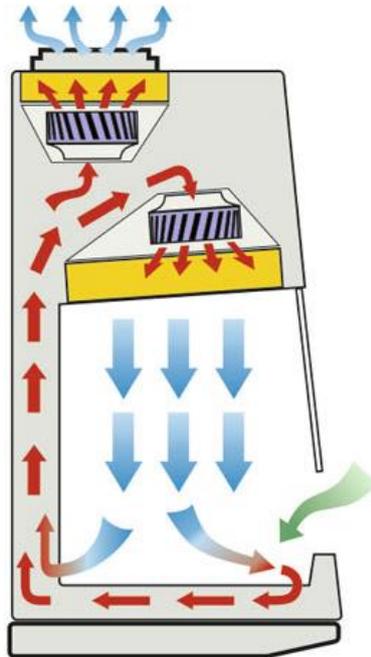


Abbildung 110: Luftströmungen in einer mikrobiologischen Sicherheitswerkbank der Klasse II (UNI-Goettingen 2020)

Moderne Sicherheitswerkbanken dieser Klasse verfügen zudem über Warneinrichtungen, die die ordnungsgemäße Ausbildung des Luftstroms innerhalb des Arbeitsbereichs der Werkbank überwachen. Wird ein zu großer Anteil der Öffnungen in der Arbeitsbereichsgrundplatte verdeckt oder befindet sich ein zu großer Gegenstand im Arbeitsbereich, der zu sehr großen Verwirbelungen führt, so wird ein Warnsignal abgegeben. Damit soll sichergestellt werden, dass die Probe stets von ausreichend steriler Luft umgeben wird.

7.2.2 Ausgewählte Sicherheitswerkbank

Zur Aufnahme des Prüfstands wird eine Sicherheitswerkbank der Baureihe „Herasafe 2030i“ des Herstellers „ThermoFisher“ ausgewählt. Aufgrund der preislichen Vorgaben des Auftraggebers (Nettopreis:<15000€) kann nur die zweitgrößte Werkbank dieser Baureihe mit einer Innenbreite von 1,2m in Betracht gezogen werden.

7.2.2.1 Beschreibung der Werkbank

Die Sicherheitswerkbank ist an der Vorderseite durch eine um 10° geneigte Glasscheibe abgeschlossen (siehe Abbildung 111). Diese kann elektrisch aus geschlossener Position um 20cm nach oben verfahren werden, um eine Arbeitsöffnung für den Bediener freizugeben. Zudem kann der Frontscheibenrahmen samt Frontscheibe und Bedienpanel hochgeklappt werden zur besseren Zugänglichkeit des Arbeitsbereichs der Werkbank. Oberhalb der gläsernen Frontscheibe befindet sich ein Bedienpanel, das u. A. die Luftstromüberwachung übernimmt. An der linken und rechten Seitenwand befinden sich Gummitüllen, sogenannte „Smart Ports“ (siehe Abbildung 144). Mit Hilfe dieser Gummitüllen können Leitungen von außen in den Arbeitsbereich der Werkbank geführt werden. Zur Abtötung von Keimen in der Werkbank können optional in den Seitenwänden UV-Strahler untergebracht werden. An der Rückseite des Arbeitsbereichs gibt es Möglichkeiten zum Anschluss von Medienhähnen (Vakuum, Gase, Wasser, ...). Weiters sind an der Rückwand zwei Steckdosen (230V) untergebracht. Die Arbeitsfläche kann wahlweise aus vier Edelstahlsegmenten oder einer durchgehenden Edelstahlplatte bestehen (siehe Abbildung 112). Die durchgehende Edelstahlplatte kann im Gegensatz zu den Edelstahlsegmenten höhere Lasten tragen und ist daher für die geforderte Anwendung besser geeignet. Sowohl die Edelstahlsegmente als auch die durchgehende Edelstahlplatte besitzen Öffnungen für den Durchtritt der Luft. An der dem Bediener zugewandten Seite befinden sich sechs Lochreihen (Luft Eintrittsgitter) mit einer Gesamttiefe von ungefähr 100mm. An der stufenförmigen vom Bediener abgewandten Seite befindet sich eine weitere einzelne Lochreihe. Ab einer Überdeckung von mehr als 50% der Lüftungsöffnungen kann es zu einer Aktivierung des Warnsystems kommen (Thermofisher Scientific 2018, S. 4–16).

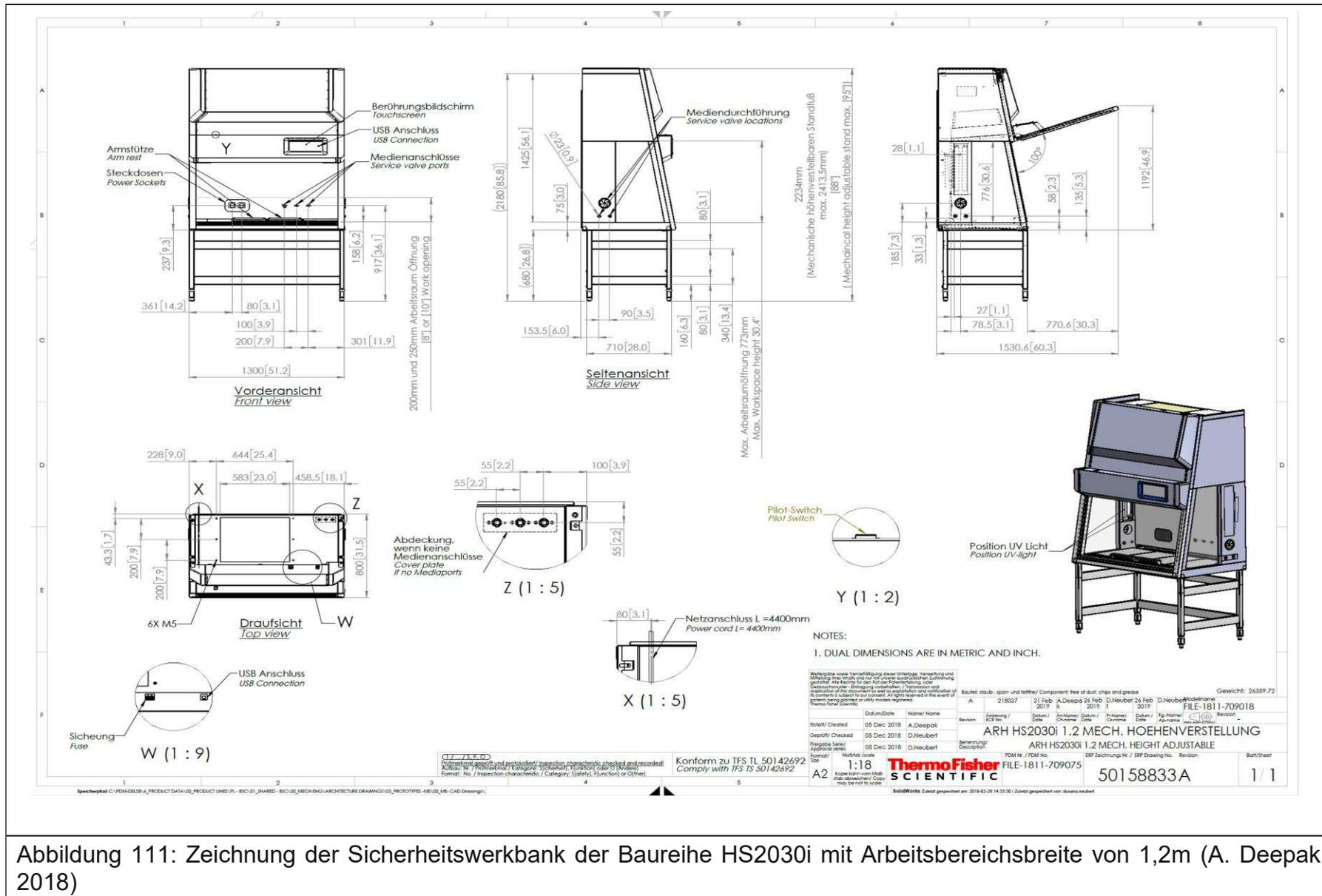
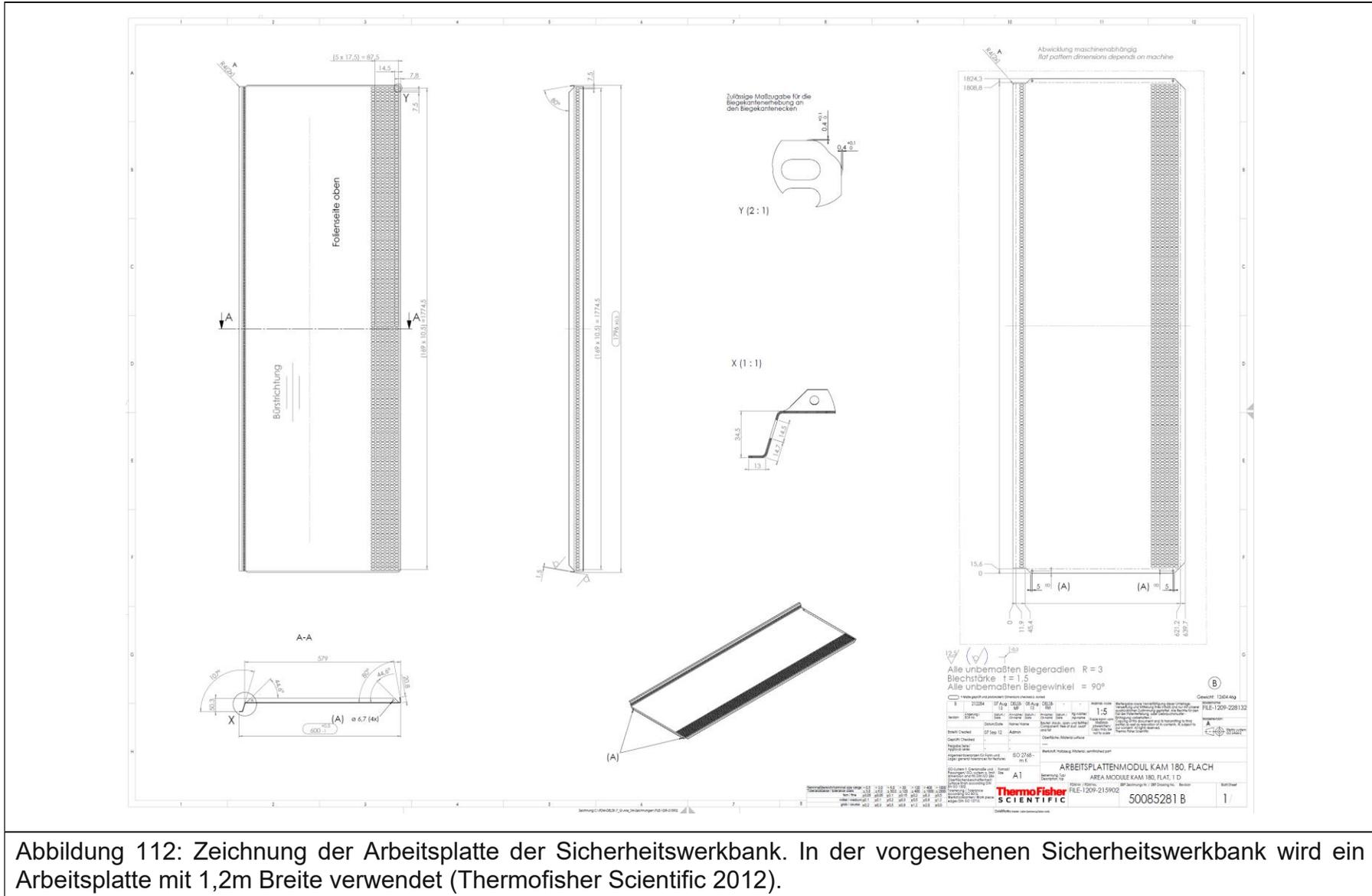


Abbildung 111: Zeichnung der Sicherheitswerkbank der Baureihe HS2030i mit Arbeitsbereichsbreite von 1,2m (A. Deepak 2018)



7.2.3 Abgeleitete Anforderungen

Nachfolgend soll ein Überblick über die räumlichen Bedingungen bei Verwendung einer Sicherheitswerkbank der Baureihe „Herasafe2030i“ mit 1,2m Innenbreite gegeben werden (siehe Tabelle 40).

Räumlich begrenzende Anforderungen
Nutzbare Arbeitsflächentiefe (ohne Lufteintrittsgitter): 465mm
Nutzbare Arbeitsflächentiefe (mit Lufteintrittsgitter): 579mm
Nutzbare Arbeitsflächenbreite: 1200mm
Maximale Höhe der Arbeitsöffnung: 773mm
Position der Medienöffnungen: (siehe Zeichnungen)

Tabelle 40: Übersicht der räumlich begrenzenden Anforderungen (Thermofisher Scientific 2018, S. 4–16)

Nach Kenntnis der ausgewählten Sicherheitswerkbank, können nun auch die anordnungsbestimmenden bzw. abmessungsbestimmenden Anforderungen erweitert werden (siehe Tabelle 41):

Weitere Anordnungsbestimmende Anforderungen
Einbringung der Gewichtskraft auf Arbeitsfläche möglichst als Streckenlast
Weitere Abmessungsbestimmende Anforderungen
Maximale Traglast der Arbeitsfläche: 100kg

Tabelle 41: Übersicht weiterer anordnungs- und anforderungsbestimmender Anforderungen (Thermofisher Scientific 2018, S. 4–16)

7.3 Strukturieren in gestaltungsbestimmende Hauptfunktionsträger

In diesem Hauptarbeitsschritt wird die Frage geklärt, welche Funktionen und zugehörigen Funktionsträger bestimmen wesentlich die Abmessung der Maschine bzw. die Anordnung der Maschinenteile (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 308).

Zum Beantworten dieser Frage werden zunächst die gestaltungsbestimmenden Teilfunktionen in der Funktionsstruktur ausgewählt und anschließend zugehörige gestaltungsbestimmenden Funktionsträger (Hauptfunktionsträger) in den prinzipiellen Lösungen gesucht.

7.3.1 Gestaltungsbestimmende Funktionsträger für prinzipielle Lösung 4C/5C/6C

Wesentliche Teilfunktion	Funktionsträger	Bestimmende Merkmal
Kräfte messen (BIAX-Einheit)	BIAX-Einheit	Verfahrweg
Stempel x/y/z-Richtung verfahren	TAU-Einheit	Verfahrweg
Kräfte messen TAU-Einheit		
TAU-Einheit verfahren	Gondel	LxBxH TAU-Einheit
	Rahmen	Nutzbare Arbeitsflächentiefe,-breite und Arbeitsöffnung der Werkbank

Tabelle 42: Tabelle mit gestaltungsbestimmenden Funktionsträgern

7.4 Grobgestalten der gestaltungsbestimmenden Hauptfunktionsträger

Die Kombination der grobgestalteten Funktionsträger bildet einen vorläufigen Entwurf. Die Funktionsträger BIAX-Einheit und TAU-Einheit werden in den nachfolgenden vorläufigen Entwürfen noch im Reifegrad der Konzeption belassen. Diese werden erst nach der technisch wirtschaftlichen Bewertung und dem Festlegen des vorläufigen Gesamtentwurfs konkretisiert. Der Grund für diese Vorgehensweise liegt darin, dass sowohl die Gestalt der BIAX-Einheit als auch die der TAU-Einheit aufgrund der Kundenvorgaben für die elektrischen Komponenten (hauptsächlich Antrieb) und aufgrund der in der Industrie üblichen Bauform, bereits in Konzeptphase vorgegeben worden ist. Eine individuelle Anpassung der Gestalt der TAU-bzw. BIAX-Einheit an den jeweiligen vorläufigen Entwurf hätte keinen bemerkenswerten Einfluss auf die Gesamtgestalt und damit auf die Bewertung des jeweiligen vorläufigen Entwurfs.

7.4.1 Beachtenswertes beim Gestalten

Bevor mit dem eigentlichen Grobgestalten der Hauptfunktionsträger im Rahmen der vorläufigen Entwürfe begonnen wird, sollen an dieser Stelle Leitlinien und Grundsätze beim Gestalten erwähnt werden (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 312–314).

7.4.1.1 Leitlinie für das Gestalten

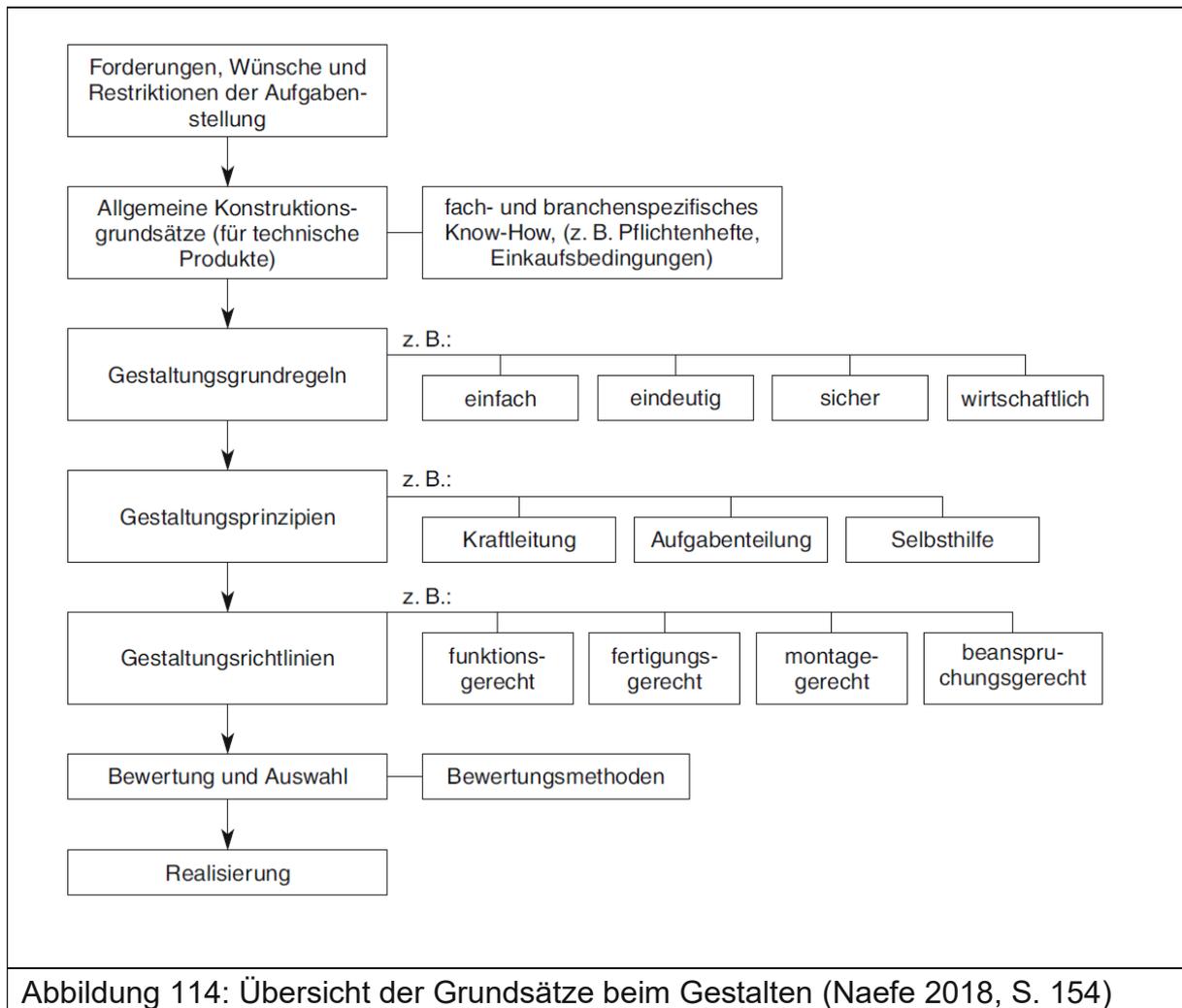
Die Leitlinie besteht aus Hauptmerkmalen und soll helfen beim Gestalten keine generellen Zielsetzungen und allgemeinen Bedingungen unberücksichtigt zu lassen (siehe Abbildung 113). Jedes Hauptmerkmal der Leitlinie soll dem Konstrukteur als Denkanstoß dienen, die eigene Konstruktion bezüglich diesem Hauptmerkmal zu überprüfen (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 312–313). Weiters soll an dieser Stelle bemerkt werden, diese Hauptmerkmaliste gilt speziell in der Hauptphase des Entwerfens.

Hauptmerkmal	Beispiele
Funktion	Wird die vorgesehene Funktion erfüllt ? Welche Nebenfunktionen sind erforderlich ?
Wirkprinzip	Bringen die gewählten Wirkprinzipien den gewünschten Effekt, Wirkungsgrad und Nutzen ? Welche Störungen sind aus dem Prinzip zu erwarten ?
Auslegung	Garantieren die gewählten Formen und Abmessungen mit dem vorgesehenen Werkstoff bei der festgelegten Gebrauchszeit und unter der auftretenden Belastung ausreichende Haltbarkeit, zulässige Formänderung, genügende Stabilität, genügende Resonanzfreiheit, störungsfreie Ausdehnung, annehmbares Korrosions- und Verschleißverhalten ?
Sicherheit	Sind die Betriebs-, Arbeits- und Umweltsicherheit beeinflussenden Faktoren berücksichtigt ?
Ergonomie	Sind die Mensch-Maschine-Beziehungen beachtet ? Sind Belastungen, Beanspruchungen und Ermüdung berücksichtigt ? Wurde auf gute Formgebung (Design) geachtet ?
Fertigung	Sind Fertigungsgesichtspunkte in technologischer und wirtschaftlicher Hinsicht berücksichtigt ?
Kontrolle	Sind die notwendigen Kontrollen während und nach der Fertigung oder zu einem sonst erforderlichen Zeitpunkt möglich und als solche veranlasst ?
Montage	Können alle inner- und außerbetrieblichen Montagevorgänge einfach und eindeutig vorgenommen werden ?
Transport	Sind inner- und außerbetriebliche Transportbedingungen und -risiken überprüft und berücksichtigt ?
Gebrauch	Sind alle beim Gebrauch oder Betrieb auftretenden Erscheinungen, wie z.B. Geräusch, Erschütterung, Handhabung in ausreichendem Maße beachtet ?
Instandhaltung	Sind die für eine Wartung, Inspektion und Instandsetzung erforderlichen Maßnahmen in sicherer Weise durchführ- und kontrollierbar ?
Recycling	Ist Wiederverwendung oder -verwertung ermöglicht worden ?
Kosten	Sind vorgegebene Kostengrenzen einzuhalten ? Entstehen zusätzliche Betriebs- oder Nebenkosten ?
Termin	Sind die Termine einhaltbar ? Gibt es Gestaltungsmöglichkeiten, die die Terminalsituation verbessern können ?

Abbildung 113: Hauptmerkmaliste beim Gestalten(Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 313)

7.4.1.2 Gestaltungsgrundsätze

Die Gestaltungsgrundsätze basieren auf langjähriger Erfahrung einer Vielzahl von Konstrukteuren und lassen sich in Gestaltungsgrundregeln, Gestaltungsprinzipien und Gestaltungsrichtlinien unterteilen (siehe Abbildung 114). Die Gestaltungsgrundsätze bilden die Grundlage für das Entwerfen von Produkten und müssen vom Konstrukteur unbedingt beachtet werden (Conrad 2003, S. 145).



Beim Gestalten der vorläufigen Entwürfe 4C, 5C und 6C wird die Gestaltungsgrundregel „einfach“ u. A. durch die Anwendung von „ITEM“-Profilen berücksichtigt. Diese können als fertiger Baukasten beschafft werden, der unkompliziert im Zusammenbau ist. Weiters findet die Gestaltungsgrundregel „eindeutig“ in den vorläufigen Entwürfen 5C bzw. 6C Anwendung. Die Lagerpaare zum Verfahren der Gondel werden in diesen Entwürfen als Fest-Loslagerpaarung ausgeführt. Die Gestaltungsgrundregel „sicher“ wird in allen Entwürfen beispielsweise durch Überdimensionierung der Lager bzw. des Rahmens berücksichtigt.

7.4.2 Vorläufiger Entwurf 4C

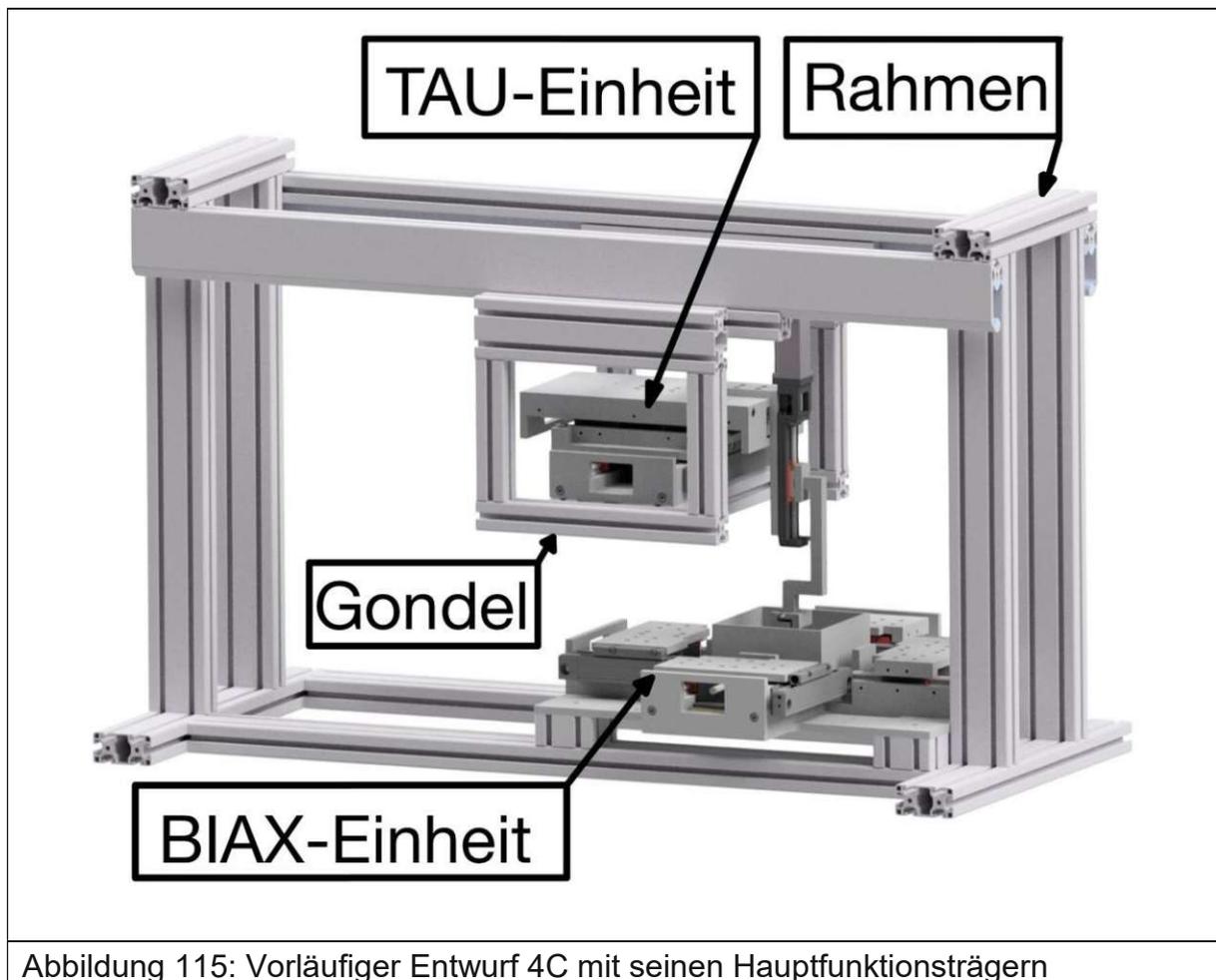
7.4.2.1 Hauptfunktionsträger

Der vorläufige Entwurf 4C besteht aus vier Hauptfunktionsträgern (siehe Abbildung 115).

- TAU-Einheit
- BIAX-Einheit
- Rahmen
- Gondel

Die TAU- bzw. BIAX-Einheit bleiben für die Verwendung in den vorläufigen Entwürfen noch im Reifegrad der prinzipiellen Lösungen.

7.4.2.2 Aufbau



7.4.2.2.1 Beschreibung Rahmen

Der Prüfstandrahmen besteht aus Aluminiumprofilen des Herstellers „ITEM“. Hierbei wird die Baureihe „8“ verwendet, die als Standardprofil in der Industrie verwendet wird und sehr universell anwendbar ist. Es wird die Ausführung „leicht“ der Baureihe „8“ mit den Außenabmessungen 40x80mm gewählt. Diese Ausführung besticht durch niedriges Gewicht bei gleichzeitig hoher Steifigkeit.

Der Rahmen besteht aus einer Bodenplatte und einem Portal (siehe Abbildung 116). Das Portal besteht aus zwei Längsträgern und zwei Säulenpaaren, die jeweils nach oben hin durch einen Querträger abgeschlossen werden. Die Längsträger werden von den Säulenpaaren gestützt und bilden gleichzeitig die Schienen zum Verfahren der Gondel. Die Säulen stehen auf einer Bodenplatte, die ebenfalls aus Konstruktionsprofilen besteht. Der Längsträger auf der bedienerzugewandten Seite ist etwa 100mm in die Tiefe versetzt, um das vordere Lochgitter im Boden der Sicherheitswerkbank freizuhalten. Die Querträger der Bodenplatte erstrecken sich über die gesamte Arbeitsbereichstiefe der Werkbank und verdecken einen Teil des vorderen Lochgitters. Dieser Aufbau trägt zur Verbesserung der Kippeigenschaften des Prüfstands bei und behindert die vertikal von oben herabströmende Luft nur im Randbereich der Werkbank. Weiters befinden sich die vertikalen Stützen nicht an den Enden der Querträger, sondern sind etwas in die Mitte zurückversetzt. Diese Anordnung ist zum einen notwendig, da die Frontscheibe um 10° gekippt ist und andererseits, um die Zugänglichkeit der seitlichen Medienöffnungen der Werkbank zu erhalten.

Zwischen den beiden Längsträgern der Bodenplatte besteht ein Abstand von 280mm. In diesem Bereich findet ein horizontal beweglicher Schlitten Platz, der eine Industriekamera trägt. Auf den zwei Längsträgern der Bodenplatte werden zusätzlich vier 40mm lange Konstruktionsprofile mit quadratischem 80x80mm Querschnitt befestigt. Diese vier Stützen nehmen die BIAX-Einheit auf.

Die zwei Längsträger des Portals, die zugleich die Schienen zum Verfahren der Gondel bilden, werden sowohl an den vertikalen Stützen als auch an den beiden oberen Querträgern befestigt. Durch diese zusätzliche Verbindung wird das Portal verwindungssteifer. Die Längsträger sind Teil eines sogenannten C-Schienensystems des Herstellers „ITEM“ (siehe Abbildung 121). Dieses Schienensystem bietet sich an, da dieses mit den Konstruktionsprofilen desselben Herstellers kompatibel ist. Die Form

der Schiene erinnert an den Buchstaben C und besteht aus einem 40x40mm ITEM-Profil mit einer maulförmigen Öffnung. Im Inneren dieser Öffnung sitzen gegenüberliegend zwei Edelstahlwellen, an denen die Laufrollen der Lagereinheiten abrollen.

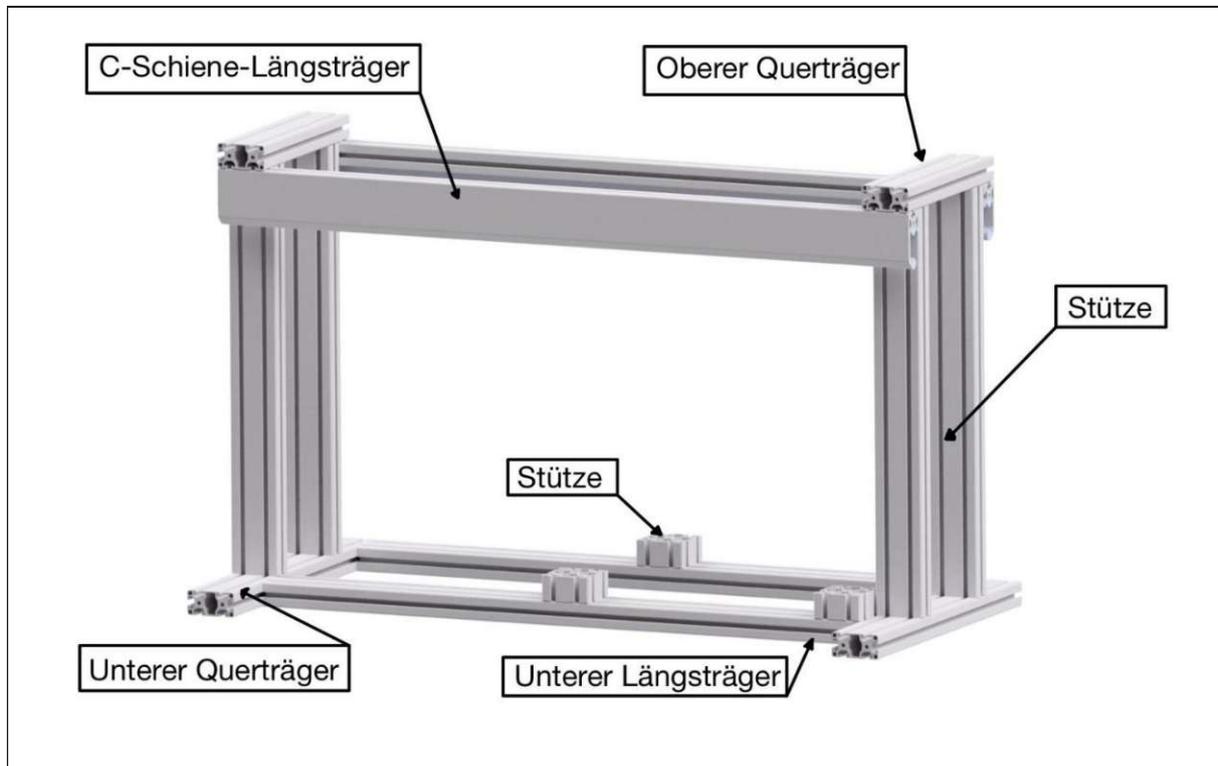
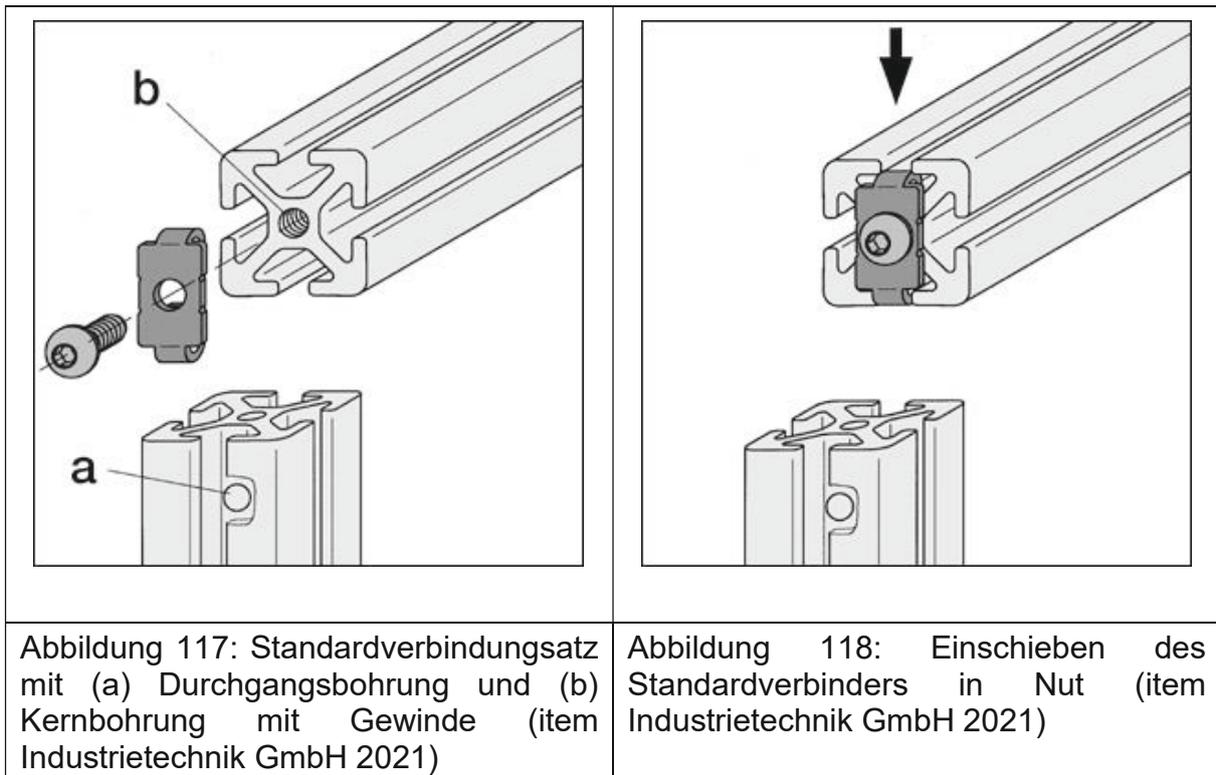


Abbildung 116: Komponenten des Rahmens für vorläufigen Entwurf 4C

Zum Verbinden der Konstruktionsprofile werden sogenannte Standard-Verbindungssätze verwendet. Diese Verbindungssätze zeichnen sich durch hohe Belastbarkeit aus und sind für dauerhafte bzw. ortsfeste Verbindungen geeignet. Der Standardverbindungssatz besteht aus einer Blechklammer und einer zugehörigen Innensechskantschraube. Mit diesem Verbindungssatz können nur Verbindungen von Profilen im rechten Winkel erzeugt werden. Zum Anbringen des Verbinders wird in die axiale Kernbohrung des ersten Profils ein Gewinde eingeschnitten. Anschließend wird die Blechklammer mit Hilfe der Innensechskantschraube in der Kernbohrung locker angeschraubt (siehe Abbildung 117). Nachfolgend wird die Blechklammer in die Längsnut des zweiten Konstruktionsprofils eingefädelt (siehe Abbildung 118). An der Sollposition des Standardverbinders wird normal zur Längsachse des zweiten Profils ein Durchgangsloch gebohrt, durch dieses später der Sechskantschraubendreher

geführt wird. Durch Anziehen der Schraube entsteht eine kraftschlüssige Verbindung der beiden Profile.



7.4.2.2 Beschreibung Gondel

Grundsätzlich besitzt die Gondel Quaderform und ist symmetrisch um eine Raumebenen aufgebaut (siehe Abbildung 119). Sie besteht ebenfalls aus Konstruktionsprofilen der Baureihe „8“. Im Unterschied zum Rahmen werden aber hier größtenteils Profile mit Querschnitt 40x40mm verwendet. Die TAU-Einheit wird auf zwei Gondelquerträger aufgesetzt, die die beiden Rahmenhälften der Gondel verbinden. In den beiden Querträgern sind vier Durchgangsbohrungen inklusive Senkung angebracht, durch die die TAU mit Innensechskantschrauben angeschraubt wird. Darüber hinaus befindet sich oberhalb der TAU-Einheit in der Gondel ein dritter Gondelquerträger zur Erhöhung der Verwindungssteifigkeit. Dieser ist mittig angebracht, um einer Kollision mit dem Synchronservomotor der TAU-Einheit vorzubeugen. Weiters sind im oberen Bereich der Gondel an den beiden Rahmenhälften jeweils ein Schlittenprofil angebracht. In jedem dieser Schlittenprofile werden jeweils zwei Lagersätze à drei Rollen untergebracht (siehe Abbildung 120). Die beiden äußeren Rollen jedes Lagersatzes rollen auf der unteren Edelstahlwelle des C-Schienen-Längsträgers ab (siehe Abbildung 121). Das mittlere Rad jedes Lagersatzes rollt auf der oberen Edelstahlwelle des C-Schienen-Längsträgers ab.

Zusätzlich kann das mittlere Rad vertikal bewegt werden, um damit das vertikale Spiel des Lagersatzes in der C-Schiene einzustellen. Die Schlittenprofile sind etwas länger als die Gondel ausgeführt und stehen einseitig über. Dadurch soll die außermittig an der Gondel angreifende Gewichtskraft der z-Lineareinheit abgefangen werden. Die Enden der Konstruktionsprofile werden mit Abdeckkappen abgeschlossen, die auf die Enden aufgesteckt werden.

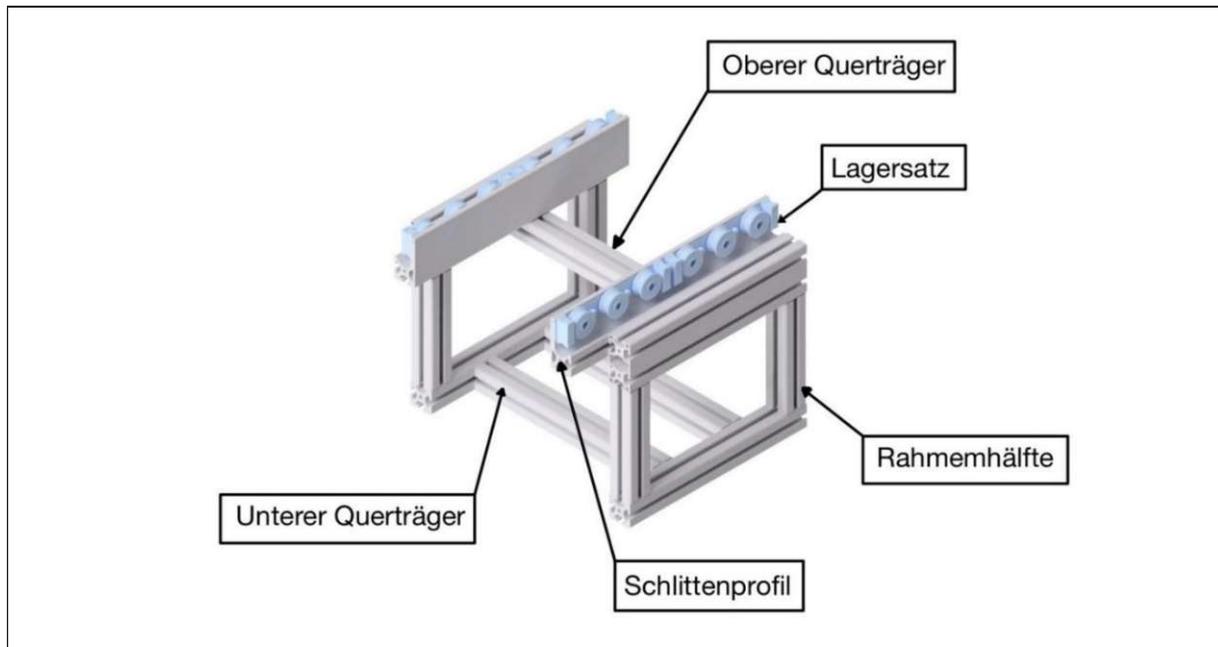


Abbildung 119: Komponenten der Gondel für vorläufigen Entwurf 4C



Abbildung 120: Lagersatz vor Einsetzen in ein Schlittenprofil (item Industrietechnik GmbH 2016, S. 572)



Abbildung 121: C-Schienensystem bestehend aus C-Schiene mit Edelstahlwellen und Schlittenprofil mit eingebautem Lagersatz (item Industrietechnik GmbH 2016, S. 568)

7.4.3 Vorläufiger Entwurf 5C

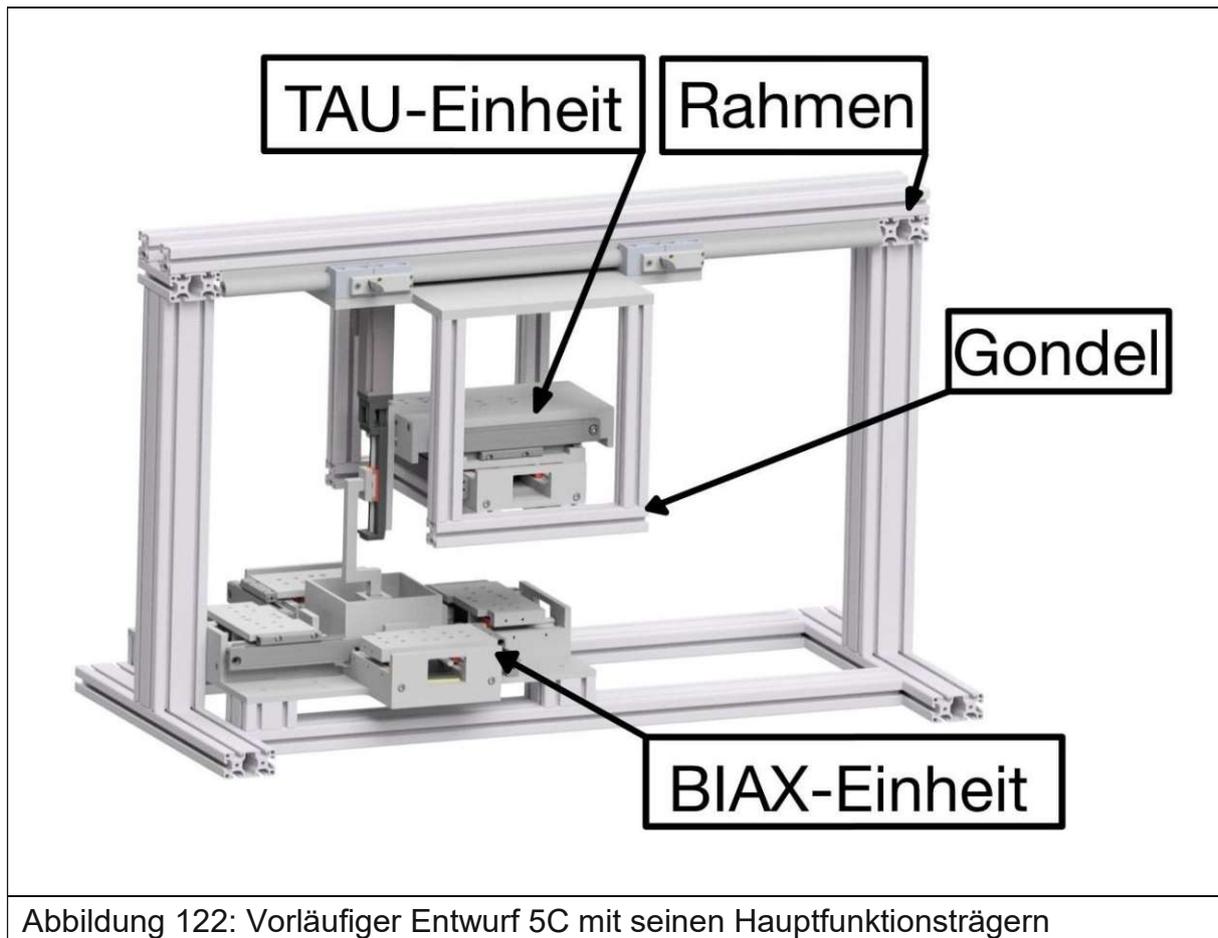
7.4.3.1 Hauptfunktionsträger

Der vorläufige Entwurf 5C besteht aus vier Hauptfunktionsträgern (siehe Abbildung 122)

- TAU-Einheit
- BIAX-Einheit
- Rahmen
- Gondel

Die TAU- bzw. BIAX-Einheit bleiben für die Verwendung in den vorläufigen Entwürfen noch im Reifegrad der prinzipiellen Lösungen.

7.4.3.2 Aufbau



7.4.3.2.1 Beschreibung Rahmen

Der Prüfstandrahmen des vorläufigen Entwurfs 5C besteht ebenfalls aus Aluminiumprofilen der Baureihe „8“ des Herstellers „ITEM“. Ebenfalls wird die Ausführung „leicht“ der Baureihe „8“ gewählt. Es werden drei verschiedene Querschnittsformen dieser Baureihe verwendet.

Auch bei diesem vorläufigen Entwurf besteht der Rahmen aus einem Portal, das auf einer Bodenplatte aufgesetzt ist (siehe Abbildung 123). Das Portal setzt sich aus zwei Stützen mit dem Querschnitt 80x80mm und zwei Längsträgern mit dem Querschnitt 40x40mm zusammen. Diese Längsträger tragen eine runde Doppelschiene des Herstellers „IGUS“. Entsprechend dem Lochbild der Doppelschiene werden die Längsträger mit einem Abstand von 40mm zueinander angeordnet (siehe Abbildung 125). Zum Verbinden der Längsträger mit den Stützen werden zwei Verbindungsstücke mit Querschnitt 80x40mm benötigt. Diese vergrößern die Auflagefläche der Stützen. Der Aufbau der Bodenplatte des Entwurfs 5C ist ident zum Aufbau der Bodenplatte des vorläufigen Entwurfs 4C. Die zwei vertikalen Stützen des Portals sind mittig auf den Querträgern der Bodenplatte positioniert. Diese mittige Anordnung der Stützen ermöglicht zum einen eine gute Zugänglichkeit der Medienöffnungen in der linken bzw. rechten Seitenwand. Andererseits erhöht sich die Zugänglichkeit der Probe selbst, da sich die beiden oberen Längsträger nun tiefer in der Werkbank befinden. Das Schienenprofil wird über Schrauben bzw. Nutensteine in den Profilmuten der beiden Längsträger befestigt.

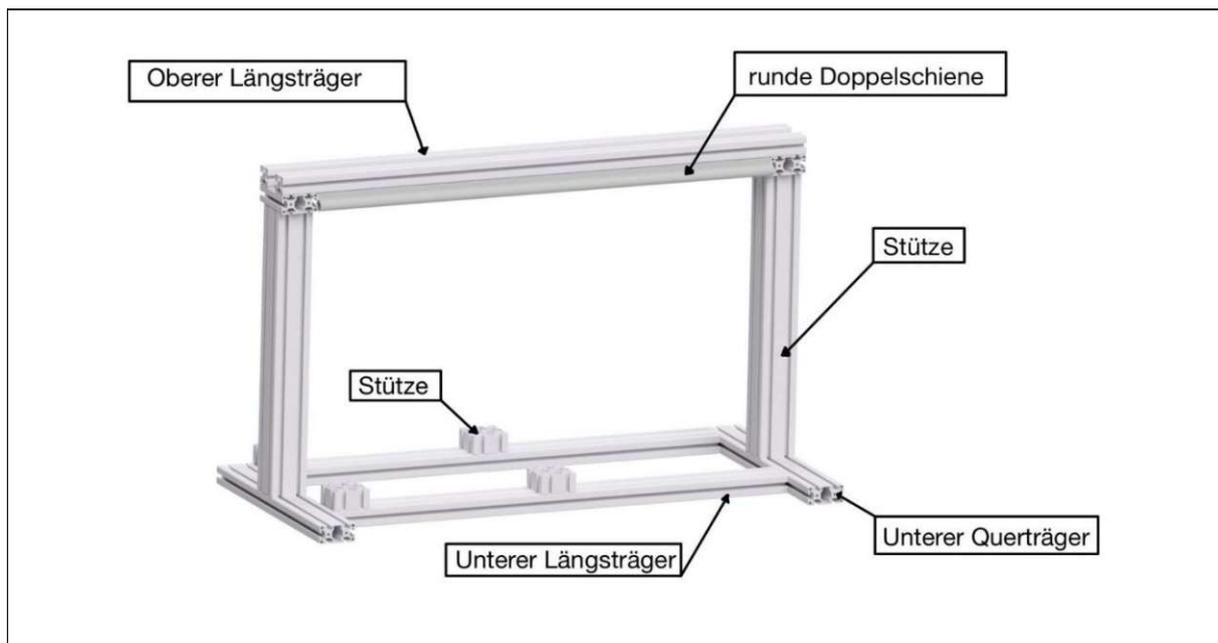


Abbildung 123: Komponenten des Rahmens für vorläufigen Entwurf 5C

7.4.3.2.2 Beschreibung Gondel

Die Gondel zur Aufnahme der TAU-Einheit besitzt Quaderform und ist symmetrisch bezüglich zweier rechtwinklig aufeinander stehender Raumebenen (siehe Abbildung 124). Diese besteht aus einer Gondeldeckenplatte und Konstruktionsprofilen der Baureihe „8“ (Ausführung: leicht) mit Querschnitt 40x40mm. Die TAU-Einheit wird ähnlich zu vorläufigem Entwurf 4C auf zwei Querträgern mittels vier Innensechskantschrauben befestigt. Die zwei Gondelquerträger sind an ihren Enden jeweils mit Gondellängsträgern verbunden. Jeder Gondellängsträger wird wiederum an dessen beiden Enden über Gondelsteher mit der Gondeldeckenplatte verbunden. In der Gondeldeckenplatte sind Durchgangsbohrungen vorgesehen zur Aufnahme von Sechskantschrauben. Die Sechskantschrauben werden in die Kernbohrung der Gondelsteher eingeschraubt und verbinden formschlüssig die Gondeldeckenplatte mit den Konstruktionsprofilen. Die Gondeldeckenplatte besteht aus einer 15mm dicken Aluminiumplatte und ist symmetrisch um drei rechtwinklig aufeinander stehende Raumebenen aufgebaut. Neben den Gondelstehern werden an der Gondeldeckenplatte zusätzlich vier Lineargleitlager angeschraubt. Zur besseren Zugänglichkeit befinden sich die Lineargleitlager auf zwei ausladenden Vorsprüngen. Auf jedem Vorsprung sind jeweils ein Festlager mit integrierter Handklemmung und ein Loslager parallel zueinander angeordnet. Die Länge des Vorsprungs der Gondeldeckenplatte oberhalb der z-Linearachse ist so gewählt, dass die darauf angebrachten Lineargleitlager sich möglichst in der vertikalen Verlängerung der Spindelachse der z-Lineareinheit befinden. Dadurch soll die Momentenbelastung der Gondel zufolge der außermittig angreifenden Gewichtskraft minimiert werden. Alle offenen Querschnitte der Konstruktionsprofile an Rahmen und Gondel werden durch aufsteckbare Abdeckkappen abgeschlossen.

Die Lineargleitlager kommen ebenfalls vom Hersteller „IGUS“ und werden auch als Gehäuselager bezeichnet (siehe Abbildung 126). Dies bedeutet die Lagereinheit besteht aus einem Lagergehäuse und einem darin eingesetzten Lagereinsatz. Das Lagergehäuse ist als Aluminiumdruckgrussteil ausgeführt und ist mit zwei Befestigungsbohrungen versehen. Der Lagereinsatz, der auf der Profilschiene gleitet, ist aus einem Polymerwerkstoff ausgeführt und muss nicht geschmiert werden. Die Unterscheidung zwischen Festlager und Loslager erfolgt bei den Lineargleitlagern über die Größe des Lagerspiels. Bei Festlagern ist das Lagerspiel sehr gering, während bei den Loslagern dieses so groß ist, dass bereits von einem weiteren

Freiheitsgrad gesprochen werden kann. Ein Verklemmen der Gondel zufolge Parallelitätsabweichungen der Schiene wird durch die Fest-Loslager Paarung vermieden (siehe Abbildung 127). Das Verklemmen der Gondel beim horizontalen Verschieben zufolge eines außermittigen Kraftangriffs kann dadurch nicht vermieden werden (siehe Abbildung 128). Hierbei entscheiden einzig und allein die Position des Kraftangriffspunkts und der Betrag des Haftreibungswerts über ein Auftreten von Verklemmen. In diesem Fall empfiehlt der Hersteller den Abstand vom Kraftangriffspunkt zum Festlager nicht größer als den zweifachen Abstand von Festlager zu Festlager zu wählen. Diese Empfehlung gilt bei einem Haftbeiwert $<0,25$ (igus GmbH Germany 2020, S. 963).

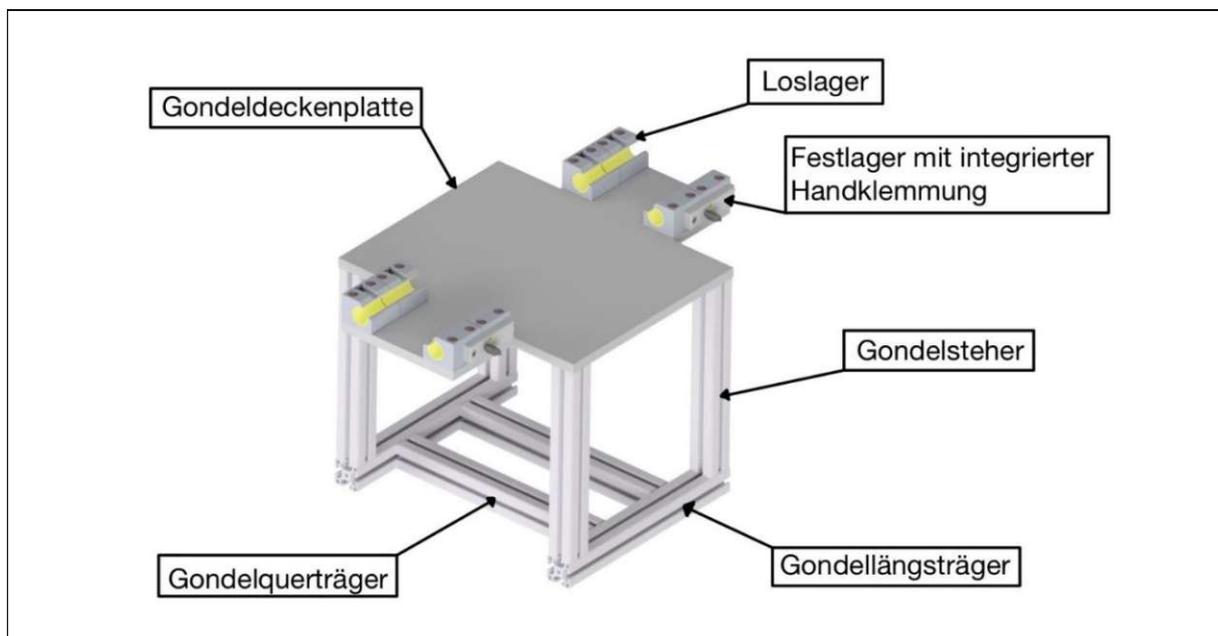


Abbildung 124: Komponenten der Gondel für vorläufigen Entwurf 5C



Abbildung 125: Runde Doppelschiene des Herstellers „IGUS“ (igus GmbH Germany 2020, S. 992)

Abbildung 126: Gehäuselager mit Handklemmung des Herstellers „IGUS“ (igus GmbH Germany 2020, S. 1020)

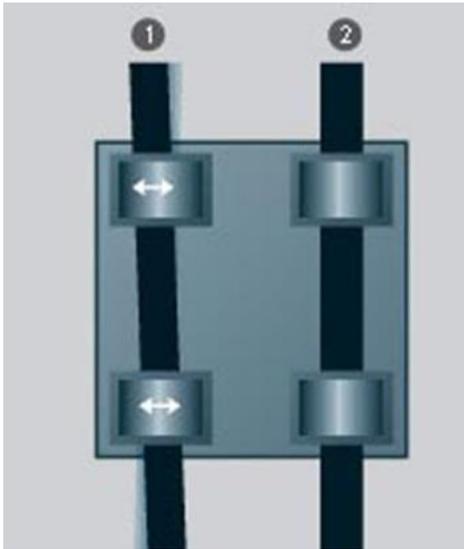


Abbildung 127: Ausgleich von Parallelitätsfehlern durch Fest-Loslager Paarung (igus GmbH Germany 2020, S. 963)

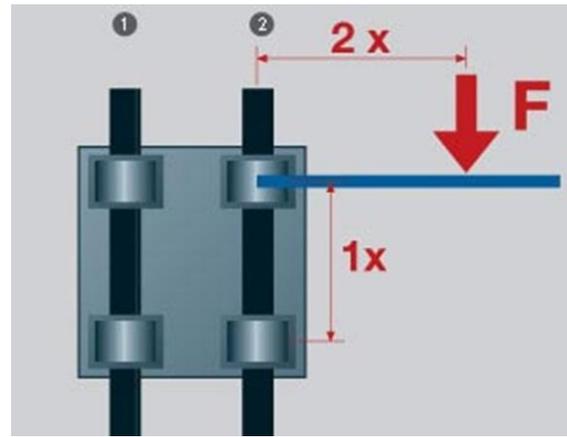


Abbildung 128: Erklärung der 2:1 Regel bei außermittigem Kraftangriffspunkt (igus GmbH Germany 2020, S. 963)

7.4.4 Vorläufiger Entwurf 6C

7.4.4.1 Hauptfunktionsträger

Der vorläufige Entwurf 6C besteht aus vier Hauptfunktionsträgern (siehe Abbildung 129).

- TAU-Einheit
- BIAX-Einheit
- Rahmen
- Gondel

Die TAU- bzw. BIAX-Einheit bleiben für die Verwendung in den vorläufigen Entwürfen noch im Reifegrad der prinzipiellen Lösungen.

7.4.4.2 Aufbau

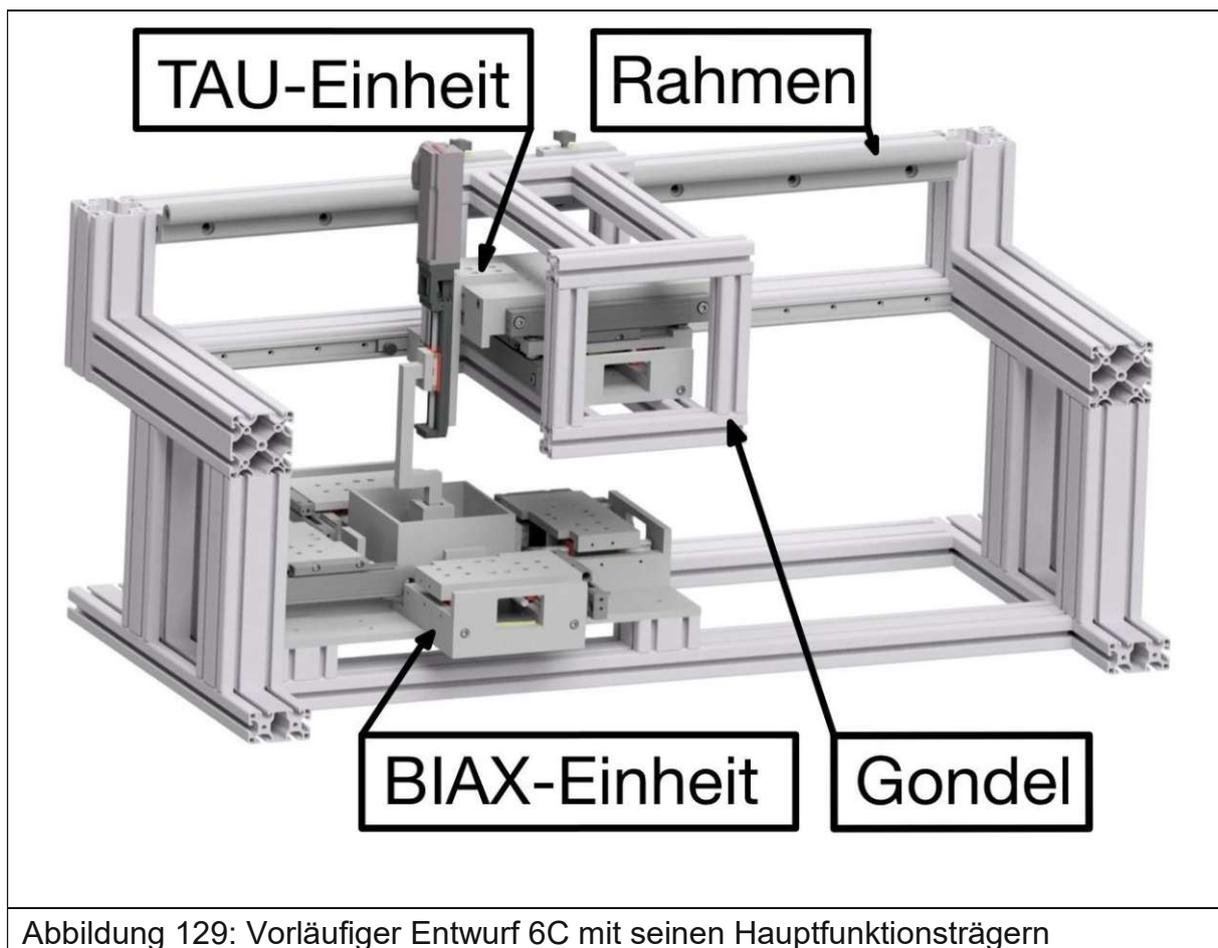


Abbildung 129: Vorläufiger Entwurf 6C mit seinen Hauptfunktionsträgern

7.4.4.2.1 Beschreibung Rahmen

Der Prüfstandrahmen des vorläufigen Entwurfs 6C besteht aus Konstruktionsprofilen des Herstellers „ITEM“. Ähnlich zu den vorangegangenen Entwürfen werden in diesem vorläufigen Entwurf Aluminiumprofile der Baureihe „8“ in Ausführung „leicht“ verwendet. Neben Konstruktionsprofilen mit Querschnitt 40x80mm finden auch Profile mit Querschnitt 80x80mm Anwendung.

Grundsätzlich besteht der Rahmen aus einer Bodenplatte auf der sich ein Portal mit parkbankähnlichem Aufbau befindet (siehe Abbildung 130). Die Stützen des parkbankähnlichen Aufbaus werden von vier vertikalen Aluminiumprofilen mit Querschnitt 80x80mm gebildet. Jeweils zwei dieser Stützen stehen auf einem der unteren Querträger der Bodenplatte und nehmen einen oberen Querträger auf. Der obere und mittlere Längsträger zur Aufnahme der Führungsschienen haben gemeinsam eine Ähnlichkeit zur Lehne einer Parkbank. Beide Längsträger haben einen Querschnitt von 80x40mm und werden an ihren Enden von zwei vertikalen Stützen mit Querschnitt 80x80mm getragen. Die Bodenplatte ist beim vorläufigen Entwurf 6C ident mit der Bodenplatte in den vorangegangenen Entwürfen. Die vier Stützen des parkbankähnlichen Portals sind von den beiden Enden der unteren Querträger etwas nach innen eingerückt. Dieses Einrücken ist zum einen notwendig, da die Frontscheibe der Werkbank um 10° geneigt ist. Zum anderen ist dies notwendig, um die Zugänglichkeit der Medienöffnungen in der linken bzw. rechten Seitenwand zu erhalten. Am oberen Längsträger wird eine runde Einzelschiene des Herstellers „IGUS“ über Nutensteine und Schrauben in der Montagenut des Längsträgers befestigt. Am mittleren Längsträger wird die Führungsschiene einer N-Flachführung desselben Herstellers mit Hilfe von Senkschrauben und Nutensteinen in der Montagenut befestigt. Da der mittlere Längsträger ausschließlich eine horizontal wirkende Kraft aufnimmt wird dieser so angeordnet, dass dessen Flächenträgheitsmoment in Belastungsrichtung am größten ist. Im oberen Längsträger ist die horizontale Belastung ebenfalls höher als dessen vertikale Belastung durch die Gewichtskraft der Gondel. Daher wird dieser ebenfalls so angeordnet, dass dessen Flächenträgheitsmoment in Belastungsrichtung am größten ist.

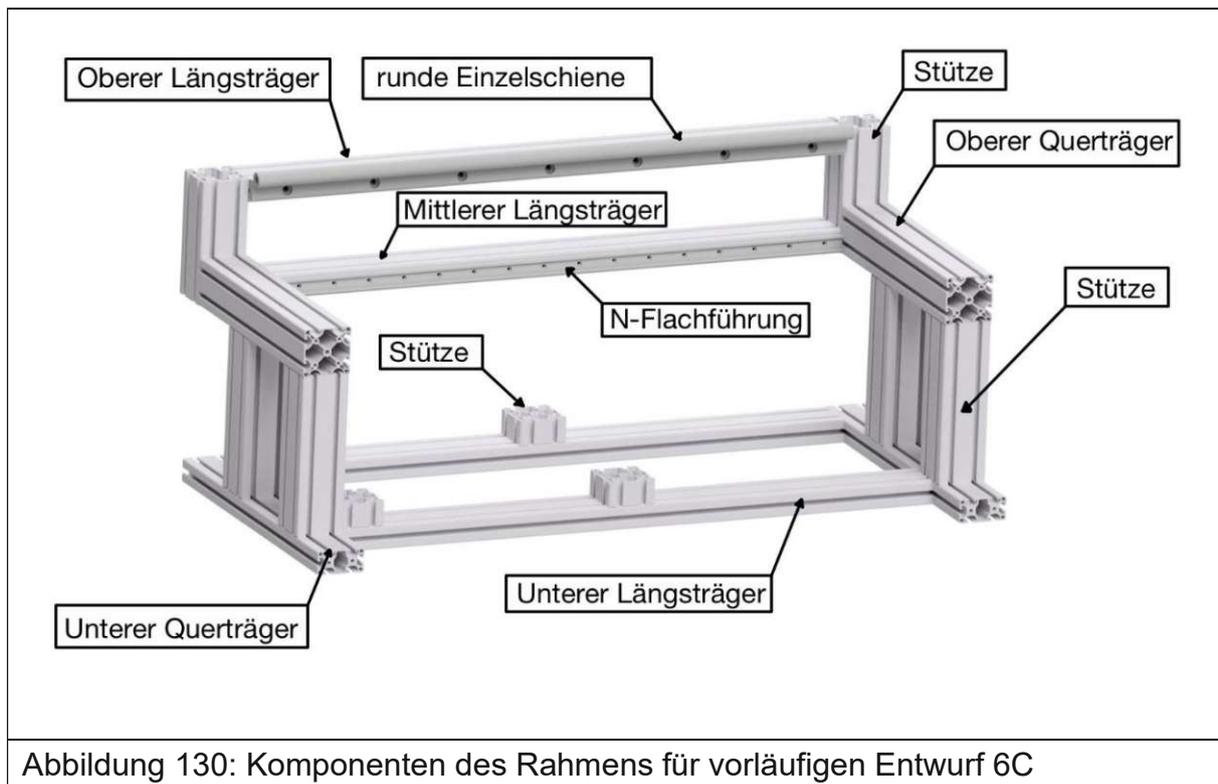


Abbildung 130: Komponenten des Rahmens für vorläufigen Entwurf 6C

7.4.4.2 Beschreibung Gondel

Die Gondel zur Aufnahme der TAU-Einheit besitzt Quaderform und ist um drei rechtwinklig aufeinander stehende Raumebenen symmetrisch aufgebaut (siehe Abbildung 131). Ähnlich zu den Entwürfen 4C bzw. 5C wird auch bei diesem Entwurf die TAU-Einheit an den beiden unteren Gondelquerträgern über vier Durchgangsbohrungen mit Hilfe von Zylinderschrauben angeschraubt. Oberhalb dieser Gondelquerträger befinden sich in einem Abstand von ungefähr 200mm nochmals zwei Gondelquerträger. Sowohl das untere als auch das obere Gondelquerträgerpaar wird an beiden Enden von einem Gondellängsträger abgeschlossen. Je zwei dieser Gondellängsträger werden über zwei Gondelsteher miteinander verbunden. An einer Seite der Gondel werden beide Gondellängsträger mit Lineargleitlagern des Herstellers „IGUS“ versehen. Am oberen Gondellängsträger werden zwei Gehäuselager als Festlager verwendet (siehe Abbildung 133). Dieses sind jeweils mit einer Handklemmung versehen und gleiten entlang einer Einzelschiene (siehe Abbildung 132). Am unteren Gondellängsträger wird ein einwertiges Lager über eine sogenannte „N-Flachführung“ realisiert (siehe Abbildung 134, 135). Dieses besteht aus zwei Schlitten mit integrierter Handklemmung, die auf einer Flachführung gleiten und ein Loslager bilden. Die beiden Schlitten werden über ein Verbindungsteil aus Aluminium mit der Gondel verbunden.

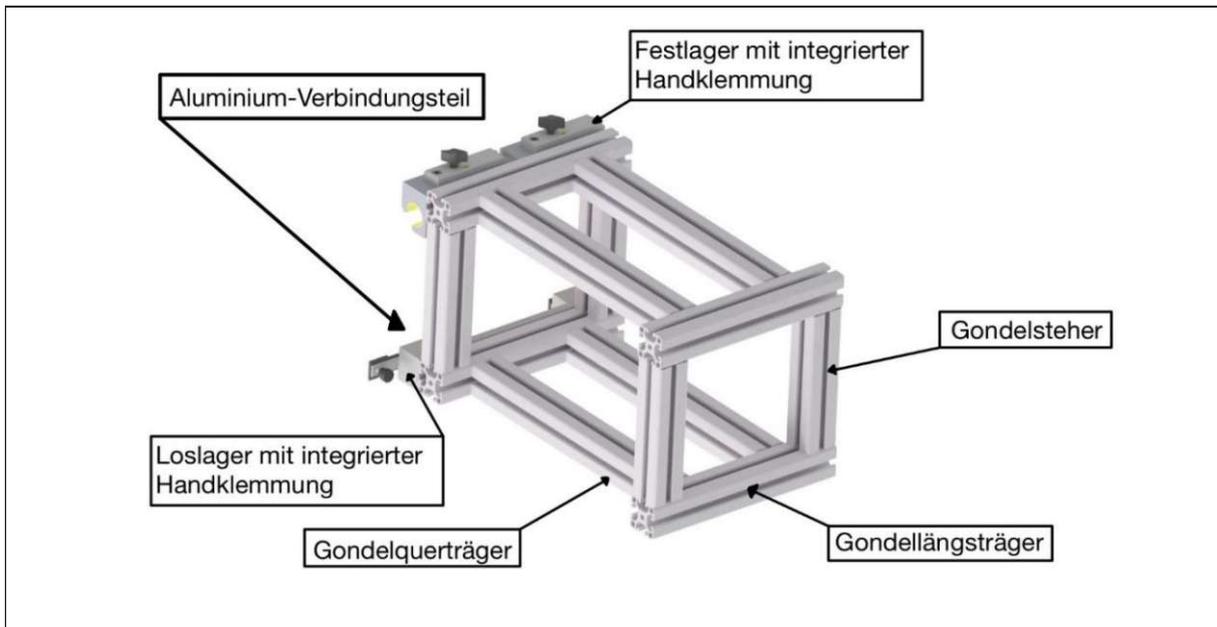


Abbildung 131: Komponenten der Gondel für vorläufigen Entwurf 6C



Abbildung 132: Runde Einzelschiene des Herstellers „IGUS“ (igus GmbH Germany 2020, S. 978)



Abbildung 133: Gehäuselager mit Handklemmung des Herstellers „IGUS“ (igus GmbH Germany 2020, S. 1020)



Abbildung 134: N-Flachführung Führungsschiene des Herstellers „IGUS“ (igus GmbH Germany 2020, S. 1038)



Abbildung 135: N-Flachführung Führungsschlitten des Herstellers „IGUS“ (igus GmbH Germany 2020, S. 1038)

7.5 Versuche mit Vorführmodellen

Moderne Sicherheitswerkbänke verfügen über ein Warnsystem, das die ordnungsgemäße Ausbildung des Luftstroms innerhalb des Arbeitsbereichs der Werkbank überwacht. Dies bedeutet, wird entweder ein zu großer Anteil des Luftgitters in der Grundplatte verdeckt oder befindet sich ein zu großer Gegenstand im Arbeitsbereich, der zu sehr großen Verwirbelungen führt, so wird ein Warnsignal abgegeben. Alle in der Konzeptphase entworfenen prinzipiellen Lösungen erfüllen grundsätzlich beide Bedingungen, die zum Auslösen des Warnsystems führen können. Nun muss die Frage geklärt werden, wie empfindlich ist das System? Vom Hersteller können diesbezüglich keine genauen Angaben gegeben werden. Dieser macht nur Angabe bezüglich der erlaubten Überdeckung der Lüftungsöffnungen in der Grundplatte (siehe Abbildung 146). Die Frage lässt sich nur durch eine CFD-Simulation oder einen Modellversuch beantworten. Im Rahmen der Abschlussarbeit ist der Weg über einen Modellversuch gewählt worden. Zu diesem Zweck wurden Vorführmodelle der vorläufigen Entwürfe 4C bzw. 6C gebaut und in einer Sicherheitswerkbank des beabsichtigten Typs erprobt. Auf ein Modell des vorläufigen Entwurfs 5C ist bewusst verzichtet worden, da dieses sehr große Ähnlichkeiten zum Entwurf 4C besitzt, aber strömungstechnisch durch das Fehlen des zweiten Längsträgers günstiger geformt ist. Dies bedeutet, sollte das Warnsystem beim Test des vorläufigen Entwurfs 4C nicht auslösen, so wird dies auch beim vorläufigen Entwurf 5C nicht aktiv werden. Da der Auftraggeber zum Zeitpunkt der Konzeption noch über keine entsprechende Sicherheitswerkbank verfügt hat, sind die Versuche an der Medizin Universität Graz durchgeführt worden.

7.5.1.1 Bau der Vorführmodelle

7.5.1.1.1 Material

Aus Gründen der Verfügbarkeit und Bearbeitbarkeit sind die Vorführmodelle aus extrudiertem Polystyrol gebaut worden, das auch unter diversen Handelsnamen wie beispielsweise „Styrodur“ des Herstellers „BASF“ bekannt ist.

7.5.1.1.2 Bearbeitung

Da das extrudierte Polystyrol ausschließlich in Plattenform erhältlich ist, musste dieses entsprechend zugeschnitten werden, um damit die Konstruktionsprofile der vorläufigen Entwürfe nachzubilden. Der Zuschnitt erfolgte mittels einer feinzahnigen Säge („Japansäge“), die Ähnlichkeit zu einem Fuchsschwanz hat und deren Sägeblatt nur einseitig durch den Griff begrenzt wird (siehe Abbildung 136). Diese hat in Bezug auf Bügelsägen den Vorteil, dass lange Strecken gesägt werden können, da der Bügel nach einer gewissen gesägten Strecke nicht störend wirkt. Allerdings ist für längere gerade Schnitte eine Führung des Sägeblatts unumgänglich, da dieses nicht durch einen Bügel gespannt wird. Im Rahmen der Abschlussarbeit wurde diese Führung durch eine Lehre realisiert. Die Schneidlehre besteht grundsätzlich aus zwei Holzplatten zwischen denen die Polystyrolplatte eingespannt wird. Die beiden Holzplatten sind etwas versetzt zueinander angeordnet, wobei eine davon mit einer Längsnut versehen ist. Der Abstand zwischen den Holzplatten kann durch Gewindestangen und Flügelmuttern an die Dicke der zu bearbeitenden Polystyrolplatte angepasst werden. Während dem Schnittvorgang wird das Sägeblatt sowohl durch die Nut als auch durch die schmale Stirnfläche der Holzplatte geführt.

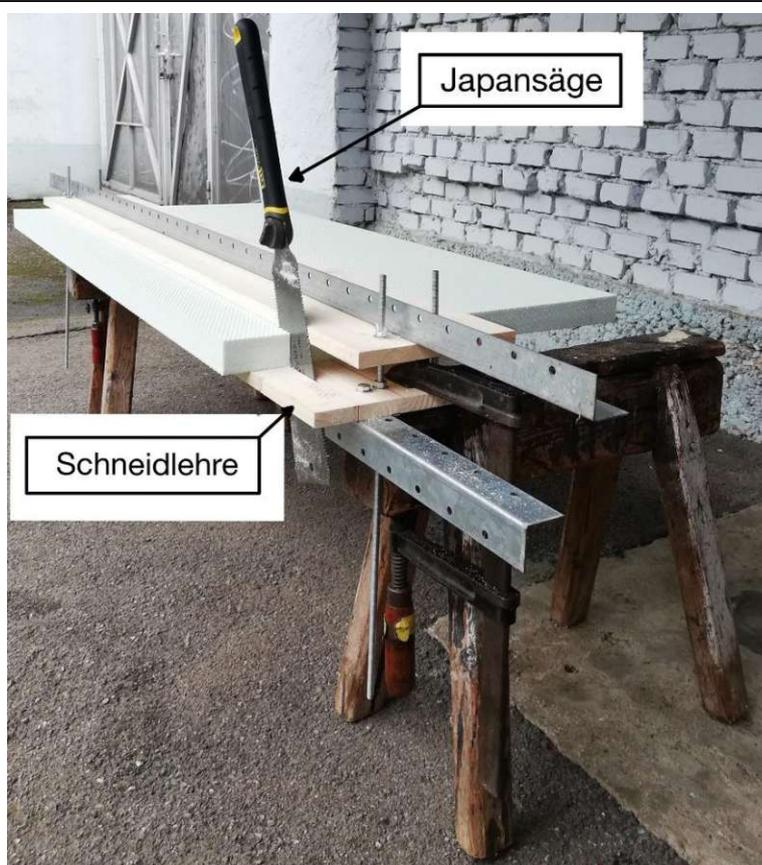


Abbildung 136: Japansäge mit Schneidlehre

Die Verbindungsherstellung zwischen den Polystyrolprofilen erfolgte mittels einer formschlüssigen Verbindung durch Kleben und Schrauben (siehe Abbildung 137, 138). Als Klebstoff wurde Holzleim bzw. als Schrauben wurden Spanplattenschrauben verwendet. Der Anziehvorgang der Spanplattenschrauben musste an die Beschaffenheit der Polystyrolplatten angepasst werden.



Abbildung 137: Mit Holzleim versehene Kontaktfläche

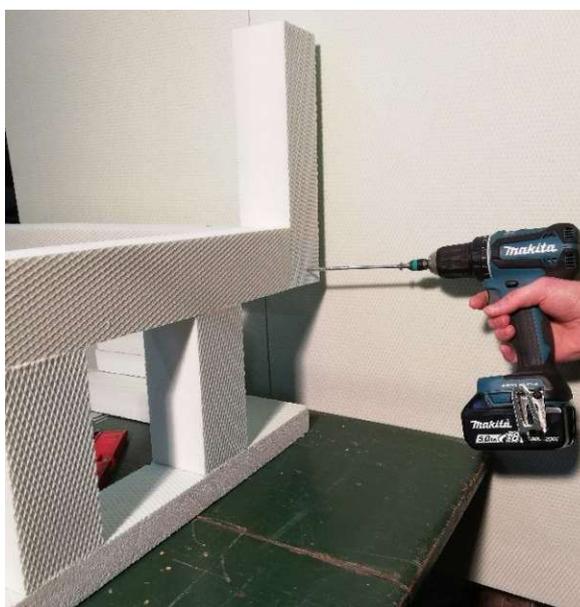


Abbildung 138: Einschraubvorgang der Spanplattenschrauben mittels Akkubohrmaschine

7.5.1.2 Test in Sicherheitswerkbank

Der Test wurden an der Medizin Universität Graz durchgeführt, die über eine Sicherheitswerkbank vom Typ Herasafe 2030i verfügt (siehe Abbildung 145). Nachdem jedes Prüfstandmodell in der Sicherheitswerkbank positioniert worden war, wurde die Sicherheitswerkbank in Betrieb gesetzt und jedes Modell mehrere Minuten lang der Luftströmung ausgesetzt (siehe Abbildung 139-142). Weder beim Modell des vorläufigen Entwurfs 4C noch beim Modell des vorläufigen Entwurfs 6C wurde das Warnsystem aktiv (siehe Abbildung 144).

Neben der Untersuchung des Warnsystemverhaltens konnte auch die Montagefreundlichkeit beim Einbringen und Entfernen des Prüfstands untersucht werden. Diese Untersuchung kam zum Ergebnis, dass die Gummilippen zum Abdichten der aufklappbaren Frontscheibe geringfügig in den Arbeitsbereich

vorstehen und so die Arbeitsflächenbreite beidseitig der Öffnung um mehrere Millimeter verringern. Folglich berührten die Prüfstände beim Einbringen die Gummilippe und diese konnte nur nach Überwinden eines Widerstands eingebracht werden.

7.5.1.2.1 Vorläufiger Entwurf 4C in Sicherheitswerkbank

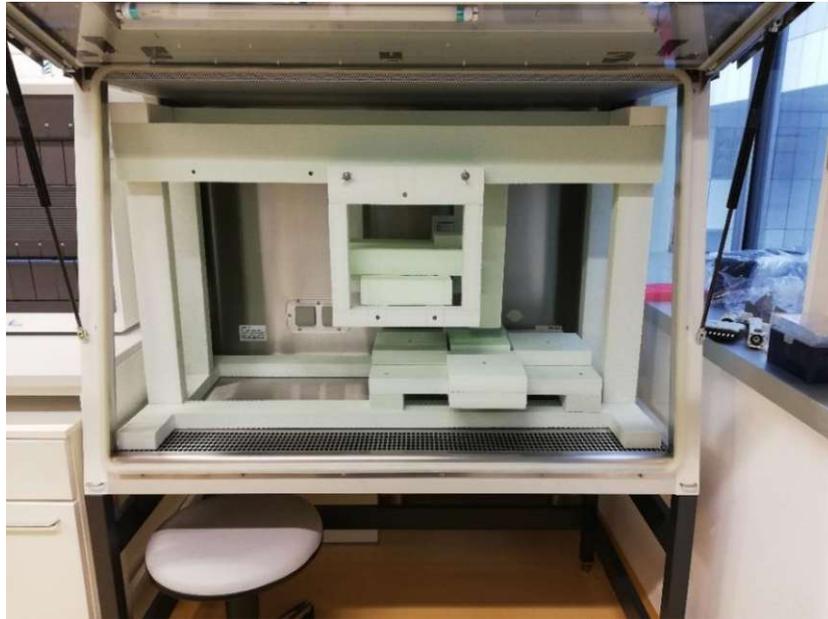


Abbildung 139: Vorführmodell des vorläufigen Entwurfs 4C in Sicherheitswerkbank bei geöffneter Frontscheibe. Beachtenswert ist die weiße Gummilippe, die links und rechts mehrere Millimeter in den Arbeitsbereich ragt.



Abbildung 140: Vorführmodell des vorläufigen Entwurfs 4C in Sicherheitswerkbank bei geschlossener Frontscheibe.

7.5.1.2.2 Vorläufiger Entwurf 6C in Sicherheitswerkbank

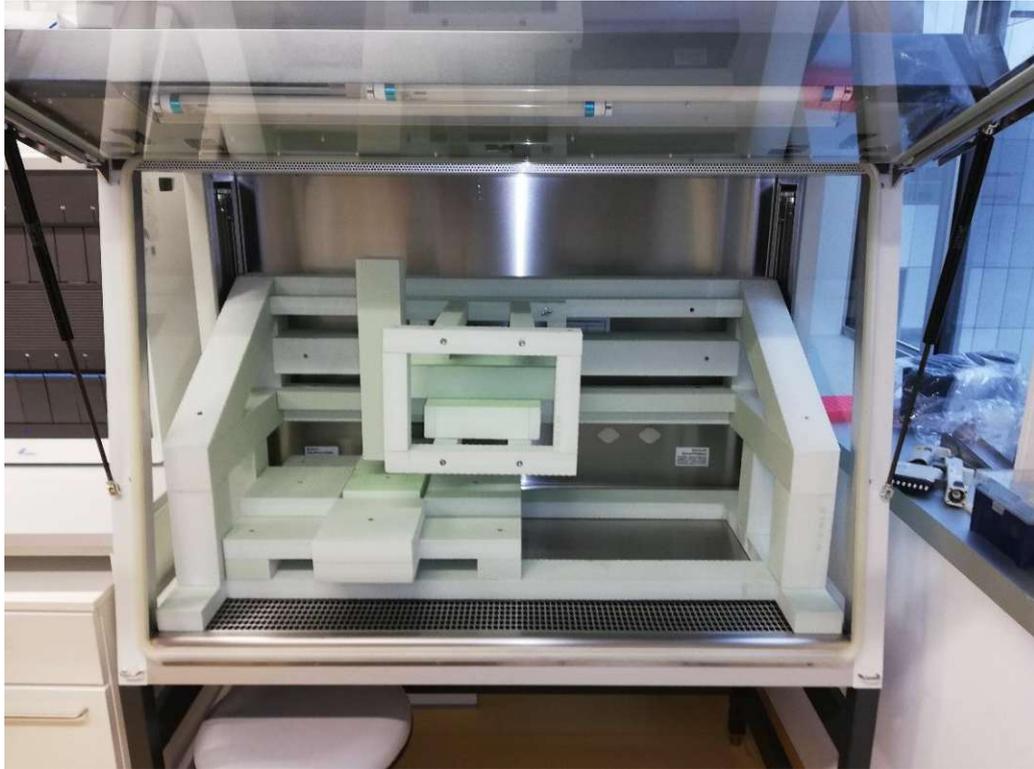


Abbildung 141: Vorfürmodell des vorläufigen Entwurfs 6C in Sicherheitswerkbank bei geöffneter Frontscheibe



Abbildung 142: Vorfürmodell des vorläufigen Entwurfs 4C in Sicherheitswerkbank bei geschlossener Frontscheibe



Abbildung 143: Ansicht der Gummitülle ("Smart Port") bei eingebautem vorläufigem Entwurf 6C

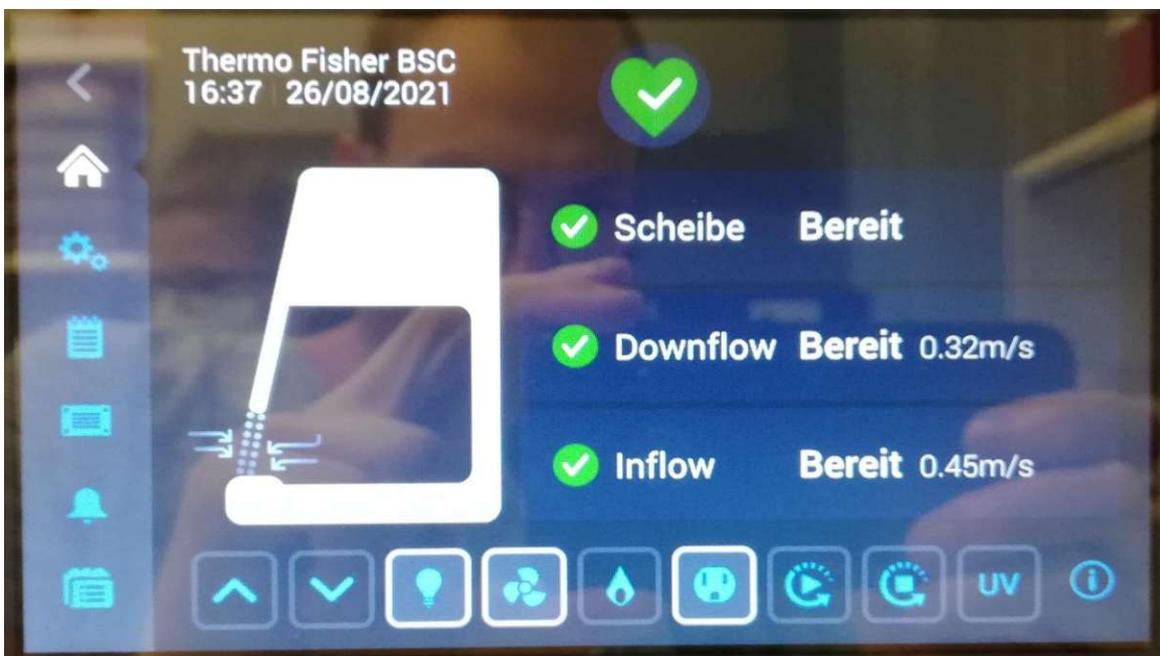


Abbildung 144: Ansicht des Displays während des Prüfvorgangs. Das Warnsystem meldet keine Störungen des Luftstroms.



Abbildung 145: Ansicht der leeren Sicherheitswerkbank bei geöffneter Frontscheibe



Abbildung 146: Ansicht des Arbeitsraums der Sicherheitswerkbank bei geöffneter Frontscheibe. Gut ersichtlich sind die Lüftungsöffnungen vorne und am hinteren Ende der Arbeitsplatte. Ebenfalls sind gut ersichtlich die beiden Gummitüllen ("Smart Ports") links und rechts in der Seitenwand.

7.6 Auswählen geeigneter Entwürfe

Da das Verfahrenssystem bei vorläufigem Entwurf 4C die Zugänglichkeit der BIAX-Einheit zu stark einschränkt, wurde nach Diskussion mit den Betreuern und dem Auftraggeber beschlossen, diesen Entwurf zu verwerfen.

7.7 technisch und wirtschaftliche Bewertung

Zum Bewerten der vorläufigen Entwürfe wird die technisch wirtschaftliche Bewertung nach VDI-Richtlinie 2225 herangezogen.

7.7.1 Erkennen von Bewertungskriterien

Ähnlich zur Konzeptphase werden auch in der Entwurfsphase die Bewertungskriterien aus der Anforderungsliste und aus der Hauptmerkmalliste zum Bewerten in der Entwurfsphase gewonnen. Im Allgemeinen sollten sich beim Bewerten in der Entwurfsphase die Bewertungskriterien schon auf konkretere Eigenschaften beziehen. Dies bedeutet, dass die Herstellkosten, wenn möglich bereits mehr quantitativ als qualitativ angegeben werden sollten (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 514).

7.7.1.1 Bestimmen der Bewertungskriterien über Hauptmerkmalliste

Jedes Hauptmerkmal der Hauptmerkmalliste sollte damit verbundene Assoziationen wecken (siehe Abbildung 147). Aus diesen Assoziationen sollen anschließend Bewertungskriterien abgeleitet werden (siehe Tabelle 43). Wie beim Bewerten in der Konzeptphase sollte auch hier möglichst jedes Hauptmerkmal mit einem Bewertungskriterium vertreten sein (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 515).

Hauptmerkmal	Beispiele
Funktion Wirkprinzip	Erfüllung bei gewähltem Wirkprinzip: Gleichförmigkeit, Dichtigkeit, guter Wirkungsgrad, störunempfindlich, keine Verluste
Gestalt	Größe, Raumbedarf, Gewicht, Anordnung, Lage, Anpassung
Auslegung	Ausnutzung, Haltbarkeit, Verformung, Formänderungsvermögen, Lebens- bzw. Gebrauchsdauer, Verschleiß, Schockfestigkeit, Stabilität, Resonanz
Sicherheit	Unmittelbare Sicherheitstechnik, Arbeitssicherheit, Umweltschutz
Ergonomie	Mensch-Maschine-Beziehung, Arbeitsbelastung, Bedienung, Ästhetische Gesichtspunkte, Formgebung
Fertigung	Risikolose Bearbeitung, kurze Abbindezeit, Wärmebehandlung, Oberflächenbehandlung vermeiden, Toleranzen (soweit durch Herstellkosten nicht erfasst)
Kontrolle	Einhaltung von Qualitätseigenschaften, Prüfbarkeit
Montage	Eindeutig, leicht, bequem, Einstellbarkeit, Nachrüstbarkeit
Transport	Inner- und außerbetrieblich, Versandart, notwendige Verpackung
Gebrauch	Handhabung, Betriebsverhalten, Korrosionseigenschaften, Verbrauch an Betriebsmittel
Instandhaltung	Wartung, Inspektion, Instandsetzung, Austausch
Recycling	Demontage, Verwertbarkeit, Wiederverwendbarkeit
Kosten	Gesondert durch wirtschaftliche Wertigkeit erfasst
Termin	Ablauf- und terminbestimmende Eigenschaften

Abbildung 147: Hauptmerkmale für das Bewerten in der Entwurfsphase (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 514)

Hauptmerkmal	Bewertungskriterium
Funktion	-
Wirkprinzip	Geringe Schwingungsanfälligkeit infolge Schwingungsanregung (Anregung von außen oder innen)
Gestaltung	Geringer Raumbedarf
	Hohe Steifigkeit
	Geringes Gewicht
Auslegung	Verschleiß
Sicherheit	Erfüllung der unmittelbaren Sicherheitstechnik (von Natur aus sicher)
Ergonomie	Gute Zugänglichkeit
	Niedrige Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände
Fertigung	Geringe Teilevielfalt
	Geringe Teilekomplexität
	Verwendung vieler Norm- bzw. Zukaufteile
	Wenige und gebräuchliche Fertigungsverfahren
	Einfach bearbeitbare Werkstoffe
Kontrolle	-
Montage	Einfache Montage
Transport	-
Gebrauch	Schnelles Herstellen der Betriebsbereitschaft
	Einfache Bedienung
	Geringe Anfälligkeit gegenüber Umwelteinflüssen
Instandhaltung	Leichte Instandhaltung (gewöhnliches Werkzeug, Zugänglichkeit beim Warten, ...)
Recycling	-
Kosten	Herstellkosten (Fertigungskosten Sonderteile, Einkaufskosten Zukaufteile)
Termin	-

Tabelle 43: Aus Hauptmerkmalliste zum Bewerten in der Entwurfsphase abgeleitete Bewertungskriterien

7.7.1.2 Bestimmen der Bewertungskriterien über Anforderungsliste

Aus der Anforderungsliste werden keine weiteren Bewertungskriterien für die Bewertung in der Entwurfsphase abgeleitet, da darin hauptsächlich Festforderungen aufgelistet sind, die bereits durch die prinzipiellen Lösungen eingehalten werden. Weiters werden sehr viele Bewertungskriterien der Anforderungsliste bereits durch Bewertungskriterien aus der Hauptmerkmalliste berücksichtigt.

7.7.1.3 Zusammenfassen der Bewertungskriterien

In diesem Schritt werden die Bewertungskriterien umsortiert und zusammengefasst (siehe Tabelle 44). Nach dem Zusammenfassen sollten nur solche Bewertungskriterien vorliegen, die möglichst unabhängig voneinander sind (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 167).

Bewertungskriterium	Vereintes Bewertungskriterium
Geringe Schwingungsanfälligkeit infolge Schwingungsanregung (Anregung von außen oder innen)	Hohe Steifigkeit
Hohe Steifigkeit	
Geringer Raumbedarf	Geringer Raumbedarf
Geringes Gewicht	Geringes Gewicht
Verschleiß	Verschleiß
Erfüllung der unmittelbaren Sicherheitstechnik (von Natur aus sicher)	Hohe unmittelbare Sicherheit
Gute Zugänglichkeit	Gute Zugänglichkeit
Niedrige Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände	Niedrige Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände
Geringe Teilevielfalt	Herstellkosten (Fertigungskosten Sondereile, Einkaufskosten Zukaufteile)
Geringe Teilekomplexität	
Verwendung vieler Norm- bzw. Zukaufteile	
Wenige und gebräuchliche Fertigungsverfahren	
Einfach bearbeitbare Werkstoffe	
Herstellkosten (Fertigungskosten Sondereile, Einkaufskosten Zukaufteile)	
Einfache Montage	Einfache Montage
Schnelles Herstellen der Betriebsbereitschaft	Einfache Bedienung
Einfache Bedienung	
Geringe Anfälligkeit gegenüber Umwelteinflüssen	Geringe Anfälligkeit gegenüber Umwelteinflüssen
Leichte Instandhaltung (gewöhnliches Werkzeug, Zugänglichkeit beim Warten, ...)	Leichte Instandhaltung

Tabelle 44: Zusammenfassung der Bewertungskriterien

7.7.1.4 Zuordnen der Eigenschaftsgrößen

In diesem Arbeitsschritt werden den Bewertungskriterien wieder Eigenschaftsgrößen zugeordnet bzw. wird eine Einteilung in technische und wirtschaftliche Kriterien vorgenommen (siehe Tabelle 45, 46). Die Eigenschaftsgrößen sollten vorzugsweise quantitativ angegeben werden. Sollte dies nicht möglich sein, so muss man sich auf qualitative Aussagen beschränken. Diese qualitativen Aussagen sollten aber möglichst konkret sein (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 170).

technisches Bewertungskriterien		
Vereintes Bewertungskriterium	Eigenschaftsgröße	Einheit
Hohe Steifigkeit	Steifigkeit	-
Geringer Raumbedarf	Verhältnis Raumbedarf Prüfstand zu Raumvolumen Werkbank	%
Geringes Gewicht	Gewicht	kg
Verschleiß	Verschleiß	-
Hohe unmittelbare Sicherheit	unmittelbare Sicherheit	-
Gute Zugänglichkeit	Zugänglichkeit	-
Niedrige Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände	Verhältnis Stellkraft zu maximalen statischen Aktionskraft*	%
Einfache Montage	Montageaufwand	-
Einfache Bedienung	Anzahl d. Handgriffe für Wechsel Ruhe/Betriebsstellung	[1]
Geringe Anfälligkeit gegenüber Umwelteinflüssen	Umwelteinfluss	-
Leichte Instandhaltung	Zeitlicher und kostenmäßiger Instandhaltungsaufwand	-
Wirtschaftliche Bewertungskriterien		
Herstellkosten für Gondel und Rahmen (Fertigungskosten Sonderteile, Einkaufskosten Zukaufteile)	Herstellkosten	Euro

Tabelle 45: Zuordnung von Eigenschaftsgrößen

*Als statische Aktionskraft wird jene Kraft bezeichnet, die vom Bediener auf ein Betriebsmittel übergeben werden kann (DIN-Norm 33411-5, S. 2).

7.7.2 Zuordnen von quantitativen bzw. qualitativen Werten den Eigenschaftsgr.

Urteilsschema							
Technische Bewertungskriterien			Werteskala nach VDI 2225				
Bewertungskriterium	Eigenschaftsgröße	Einh.	0	1	2	3	4
Hohe Steifigkeit	Steifigkeit	-	Sehr niedrig	Niedrig	Mittel	Hoch	Sehr hoch
Geringer Raumbedarf	Verhältnis Raumbedarf Prüfstand zu Raumvolumen Werkbank	%	>=100	99-75	74-50	49-25	24-0
Geringes Gewicht	Gewicht	kg	>=100	99-75	74-50	49-25	24-0
Verschleiß	Verschleiß	-	Sehr hoch	Hoch	Mittel	Niedrig	Sehr niedrig
Hohe unmittelbare Sicherheit	unmittelbare Sicherheit	-	Sehr niedrig	Niedrig	Mittel	Hoch	Sehr hoch
Gute Zugänglichkeit	Zugänglichkeit	-	Sehr schlecht	Schlecht	Mittel	Gut	Sehr gut
Niedrige Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände	Verhältnis Stellkraft zu maximalen statischen Aktionskraft	%	>=100	99-75	74-50	49-25	24-0
Einfache Montage	Montageaufwand	-	Sehr hoch	Hoch	Mittel	Niedrig	Sehr niedrig
Einfache Bedienung	Anzahl d. Handgriffe für Wechsel Ruhe/Betriebsstellung	[1]	>6	6	5	4	>=3
Geringe Anfälligkeit gegenüber Umwelteinflüssen	Umwelteinfluss	-	Sehr hoch	Hoch	Mittel	Niedrig	Sehr niedrig
Leichte Instandhaltung	zeitlicher und kostenmäßiger Instandhaltungsaufwand	-	Sehr hoch	Hoch	Mittel	Niedrig	Sehr niedrig
Wirtschaftliche Bewertungskriterien							
Herstellungskosten für Gondel und Rahmen (Fertigungskosten Sonderteile, Einkaufskosten Zukaufteile)	Herstellungskosten*	€	>=15000	14999-11250	11249-7500	7499-3750	3749-0

Tabelle 46: Übersicht der Bewertungskriterien und Eigenschaftsgrößen mit ihren zugeordneten quantitativen und qualitativen Werten

*Skalierung der Herstellkosten: Es wird die Annahme getroffen, dass die Herstellkosten auf keinen Fall die Anschaffungskosten der Werkbank (15000€ netto) übertreffen dürfen.

7.7.3 Beurteilung nach Wertevorstellungen

7.7.3.1 Technisch und wirtschaftliche Bewertung vorläufiger Entwurf 5C

Bewertungskriterium	Eigenschaftsgrößen	Einheit	Eigenschaft	Wert	Begründung
Technische Bewertungskriterien					
Hohe Steifigkeit	Steifigkeit	-	Sehr hoch	4	Oberer Längsträger wird zusätzlich von runder-Doppelschiene versteift
Geringer Raumbedarf	Verhältnis Raumbedarf Prüfstand zu Raumvolumen Werkbank	%	93	1	Siehe Berechnung im Anhang
Geringes Gewicht	Gewicht	kg	40	3	Siehe Tabelle im Anhang
Verschleiß	Verschleiß	-	Sehr niedrig	4	Gewichtskraft der TAU-Einheit wird auf 8 Gehäuselager verteilt
Hohe unmittelbare Sicherheit	unmittelbare Sicherheit	-	Sehr hoch	4	Die Schwerkraft steht normal auf die Bewegungsrichtung der TAU-Einheit
Gute Zugänglichkeit	Zugänglichkeit	-	Sehr gut	4	Oberer Längsträger in die Tiefe verlegt
Niedrige Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände	Verhältnis Stellkraft zu maximalen statischen Aktionskraft	%	34	3	Siehe Berechnung in Anhang
Einfache Montage	Montageaufwand	-	Niedrig	3	Unkomplizierter Zusammenbau des Rahmens
Einfache Bedienung	Anzahl d. Handgriffe für Wechsel Ruhe/Betriebsstellung	[1]	2	4	TAU-Einheit verschieben, TAU-Einheit arretieren,
Geringe Anfälligkeit gegenüber Umwelteinflüssen	Umwelteinfluss	-	Sehr niedrig	4	Unempfindliche Teile
Leichte Instandhaltung	zeitlicher und kostenmäßiger Instandhaltungsaufwand	-	Sehr niedrig	4	gute Zugänglichkeit
wirtschaftliche Bewertungskriterien					
Herstellungskosten für Gondel und Rahmen (Fertigungskosten Sonderteile, Einkaufskosten Zukaufteile)	Herstellungskosten	Euro	1235	4	Einkaufskosten der Zukaufteile, Fertigungskosten Sonderteile. (Arbeitskosten für Zusammenbau werden nicht miteinbezogen)

Tabelle 47: Bewertung des vorläufigen Entwurfs 5C

7.7.3.2 Technisch und wirtschaftliche Bewertung vorläufiger Entwurf 6C

Bewertungskriterium	Eigenschaftsgrößen	Einheit	Eigenschaft	Wert	Begründung
Technische Bewertungskriterien					
Hohe Steifigkeit	Steifigkeit	-	Mittel	2	Ausragende Konsole mit TAU-Einheit
Geringer Raumbedarf	Verhältnis Raumbedarf Prüfstand zu Raumvolumen Werkbank	%	70	2	Siehe Berechnung im Anhang
Geringes Gewicht	Gewicht	kg	34	3	Siehe Tabelle im Anhang
Verschleiß	Verschleiß	-	Mittel	2	Hohe Belastung der N-Flachführung durch Normalkraft
Hohe unmittelbare Sicherheit	unmittelbare Sicherheit	-	Sehr hoch	4	Die Schwerkraft steht normal auf die Bewegungsrichtung der TAU-Einheit
Gute Zugänglichkeit	Zugänglichkeit	-	Sehr gut	4	Keine Beeinträchtigung des Arbeitsbereichs durch Längsträger
Niedrige Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände	Verhältnis Stellkraft zu maximalen statischen Aktionskraft	%	112	0	Siehe Berechnung in Anhang
Einfache Montage	Montageaufwand	-	Niedrig	3	Unkomplizierter Zusammenbau des Rahmens
Einfache Bedienung	Anzahl d. Handgriffe für Wechsel Ruhe/Betriebsstellung	[1]	2	4	TAU-Einheit verschieben, TAU-Einheit arretieren,
Geringe Anfälligkeit gegenüber Umwelteinflüssen	Umwelteinfluss	-	Mittel	2	In N-Flachführung sammelt sich Flüssigkeit
Leichte Instandhaltung	zeitlicher und kostenmäßiger Instandhaltungsaufwand	-	Mittel	2	Flüssigkeit muss regelmäßig aus N-Flachführung entfernt werden
wirtschaftliche Bewertungskriterien					
Herstellungskosten für Gondel und Rahmen (Fertigungskosten Sonderteile, Einkaufskosten Zukaufteile)	Herstellungskosten	Euro	960	4	Einkaufskosten der Zukaufteile, Fertigungskosten Sonderteile. (Arbeitskosten für Zusammenbau werden nicht miteinbezogen)

Tabelle 48: Bewertung des vorläufigen Entwurfs 6C

7.7.3.3 Technische Bewertung nach VDI-Richtlinie 2225

technische Bewertung nach VDI-Richtlinie 2225									
Bewertungskriterium	Gewichtung	Eigenschaftsgröße	Einheit	vorläufiger Entwurf 5C			vorläufiger Entwurf 6C		
				Eigenschaft	Wert	gew. Wert	Eigenschaft	Wert	gew. Wert
Hohe Steifigkeit	1	Steifigkeit	-	Sehr hoch	4	4	Mittel	2	2
Geringer Raumbedarf	1	Verhältnis Raumbedarf Prüfstand zu Raumvolumen Werkbank	%	93	1	1	70	2	2
Geringes Gewicht	1	Gewicht	kg	40,00	3	3	34,00	3	3
Verschleiß	1	Verschleiß	-	Sehr niedrig	4	4	Mittel	2	2
Hohe unmittelbare Sicherheit	1	unmittelbare Sicherheit	-	Sehr hoch	4	4	Sehr hoch	4	4
Gute Zugänglichkeit	3	Zugänglichkeit	-	Sehr gut	4	12	Sehr gut	4	12
Niedrige Stellwege, Stellkräfte bzw. Widerstände	2	Verhältnis Stellkraft zu maximalen statischen Aktionskraft	%	34	3	6	112	0	0
Einfache Montage	1	Montageaufwand	-	Niedrig	3	3	Niedrig	3	3
Einfache Bedienung	1	Anzahl d. Handgriffe für Wechsel Ruhe/Betriebsstellung	[1]	2	4	4	2	4	4
Geringe Anfälligkeit gegenüber Umwelteinflüssen	1	Umwelteinfluss	-	Sehr niedrig	4	4	Mittel	2	2
Leichte Instandhaltung	1	zeitlicher und kostenmäßiger Instandhaltungsaufwand	-	Sehr niedrig	4	4	Mittel	2	2
Summe					38	49		28	36
relativer Wert					0,86	0,88		0,64	0,64
Reihung					1	1		2	2
Maximalpunktezah		44							
gew. Maximalpunktezah		56							

Tabelle 49: Technische Bewertung der vorläufigen Entwürfe 5C und 6C nach der VDI-Richtlinie 2225

7.7.3.4 Wirtschaftliche Bewertung nach VDI-Richtlinie 2225

wirtschaftliche Bewertung nach VDI-Richtlinie 2225									
Bewertungskriterium	Gewichtung	Eigenschaftsgröße	Einheit	vorläufiger Entwurf 5C			vorläufiger Entwurf 6C		
				Eigenschaft	Wert	gew. Wert	Eigenschaft	Wert	gew. Wert
Herstellungskosten (Fertigungskosten Sonderenteile, Einkaufskosten Zukaufteile)	1	Herstellungskosten	Euro	1235	4	4	960	4	4
Summe					4	4		4	4
relativer Wert					1,00	1,00		1,00	1,00
Reihung					1	1		1	1
Maximalpunktezahl		4							
gew. Maximalpunktezahl		4							

Tabelle 50: Wirtschaftliche Bewertung der vorläufigen Entwürfe 5C und 6C nach VDI-Richtlinie 2225

7.7.3.5 Wertigkeitsdiagramm der Bewertung nach VDI-Richtlinie 2221

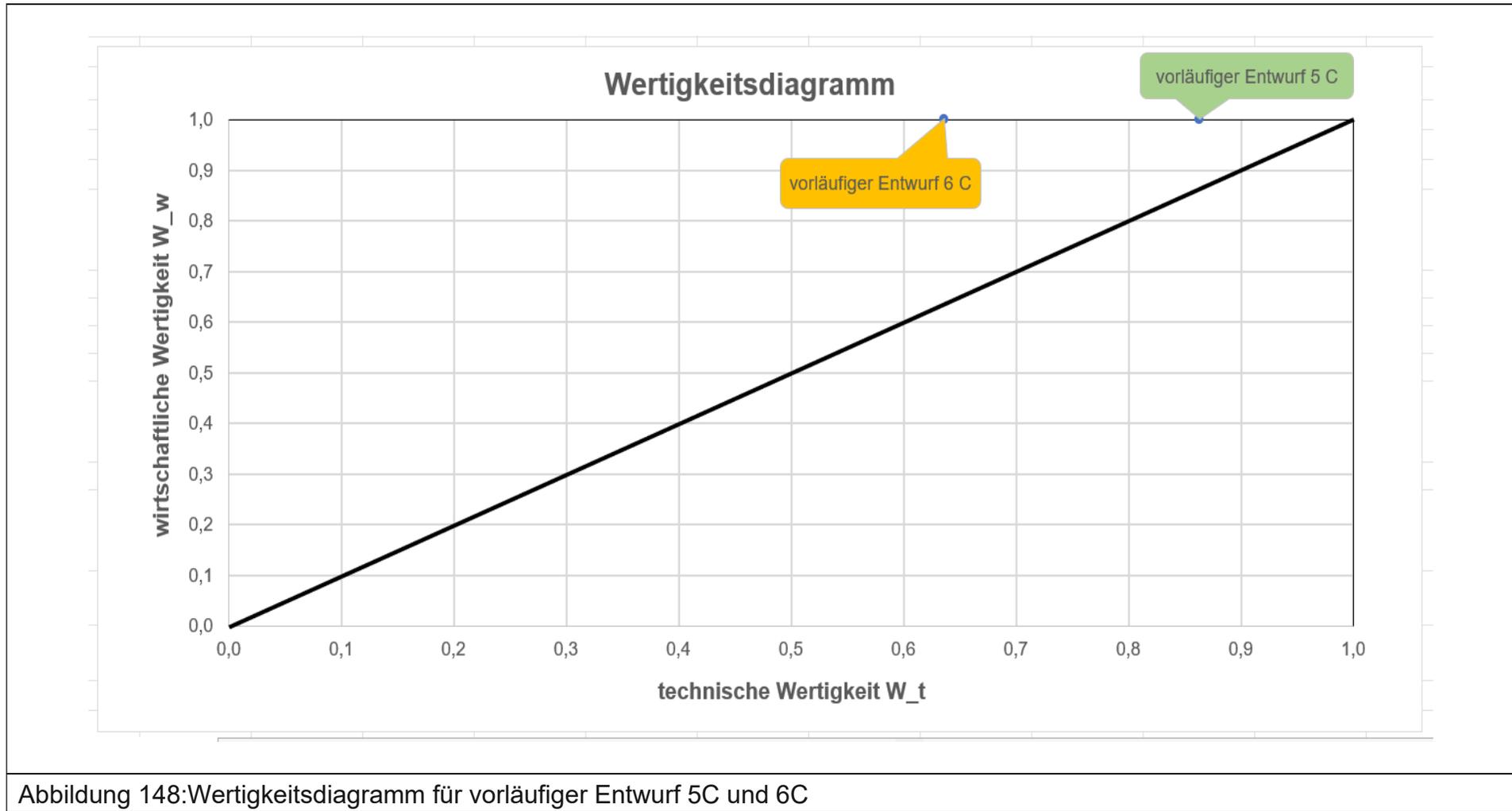


Abbildung 148: Wertigkeitsdiagramm für vorläufiger Entwurf 5C und 6C

7.7.3.6 Bewertungsergebnisse Entwurf

Die technische Wertigkeit des vorläufigen Entwurfs 5C erreicht ungewichtet einen Wert von 0,86 bzw. gewichtet einen Wert von 0,88 (siehe Tabelle 49 und Abbildung 148). Mit dieser technischen Wertigkeit ist dieser vorläufige Entwurf dem vorläufigen Entwurf 6C mit einer technischen Wertigkeit von 0,64 (ungewichtet und ungewichtet) klar überlegen (siehe Tabelle 49 und Abbildung 148). Die wirtschaftliche Bewertung wird nur der Vollständigkeit halber durchgeführt (siehe Tabelle 50). Die Herstellungskosten der Gondel und des Rahmens machen nur einen Bruchteil der Projektkosten aus und erschweren daher eine realistische wirtschaftliche Bewertung. Nach Rücksprache mit den Betreuern wird die Skalierung der Herstellungskosten so festgelegt, dass die Herstellungskosten nicht die Anschaffungskosten der teuersten Komponente (Werkbank) überschreiten dürfen. Aufgrund der im Verhältnis geringen Kosten liegt daher die wirtschaftliche Bewertung beider vorläufiger Entwürfe bei einem eher unrealistischen Wert von 1.

Für die Auswahl des verfolgenswerten vorläufigen Gesamtentwurfs ist nur die technische Wertigkeit von Bedeutung. Der vorläufige Entwurf 5C ist aufgrund seiner technischen Wertigkeit eine sehr gute Lösung und wird daher weiterverfolgt (siehe Abbildung 149).

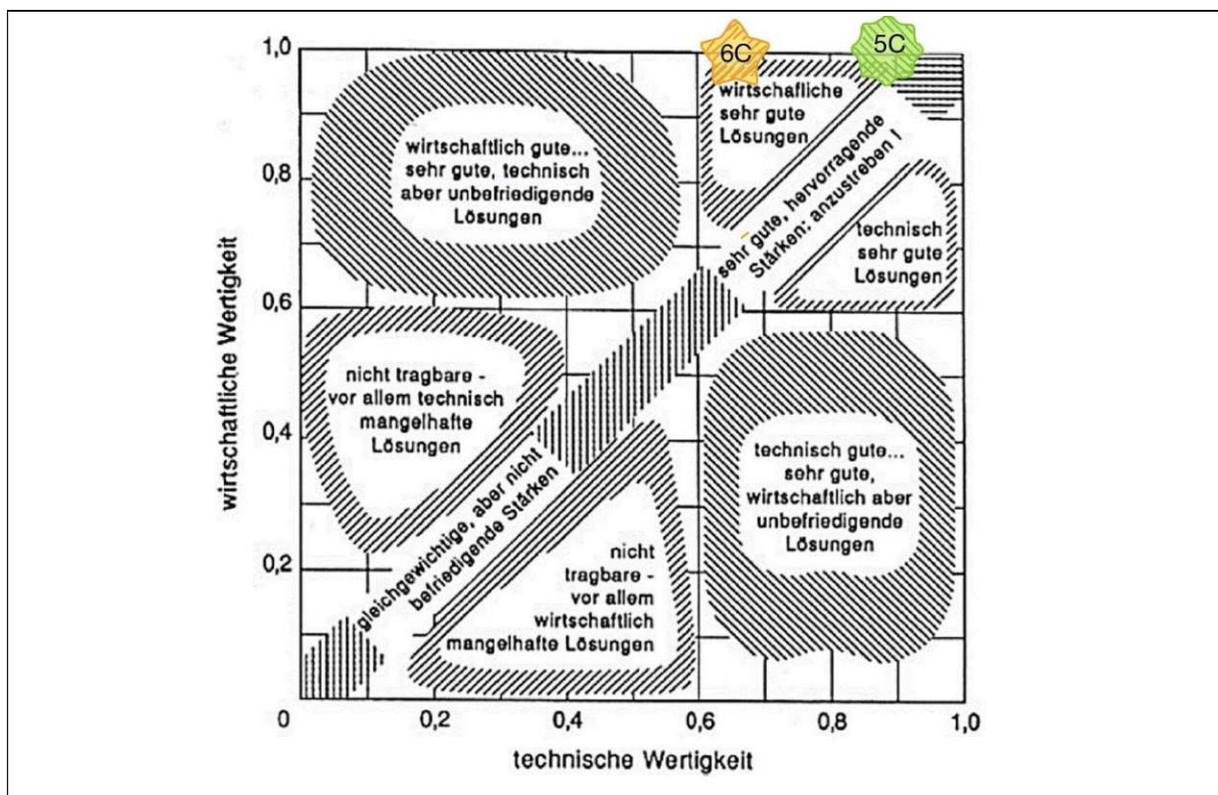


Abbildung 149: Bereiche im Wertigkeitsdiagramm (Naefe 2018, S. 139)

7.8 Grobgestalten weiterer gestaltungsbestimmender Hauptfunktionsträger

Der Hauptarbeitsschritt „Grobgestalten weiterer gestaltungsbestimmender Hauptfunktionsträger“ wird zusätzlich dem Arbeitsfluss der VDI-Richtlinie 2221 hinzugefügt. In diesem Schritt sollen diejenigen Hauptfunktionsträger gestaltet werden, die zwar gestaltungsbestimmend sind, aber keinen Einfluss auf die Bewertung der vorläufigen Entwürfe haben.

In der Hauptphase Konzeption sind bereits detaillierte Konzepte für die TAU- bzw. BIAX-Einheit erstellt worden. Diese ausgewählten Konzepte für die TAU-Einheit und die BIAX-Einheit sollen nun gestaltet werden.

7.8.1 Entwurf TAU-Einheit

Die TAU-Einheit ist in der Gondel des Rahmens untergebracht und verfährt mit Hilfe von Linear- bzw. Servomotoren den Stempel in allen drei Raumrichtungen (x, y, z). Von wesentlicher Bedeutung für die Gestaltung der Lineareinheit sind die gestaltungsbestimmenden Anforderungen, die in Hauptarbeitsschritt 1 der Entwurfsphase ermittelt worden sind.

7.8.1.1 Bestandteile der TAU Einheit

Die TAU-Einheit besteht grundsätzlich aus drei Lineareinheiten. Diese werden entsprechend der jeweiligen Verfahrrichtung bezeichnet (siehe Abbildung 150).

- Lineareinheit x-Richtung
- Lineareinheit y-Richtung
- Lineareinheit z-Richtung

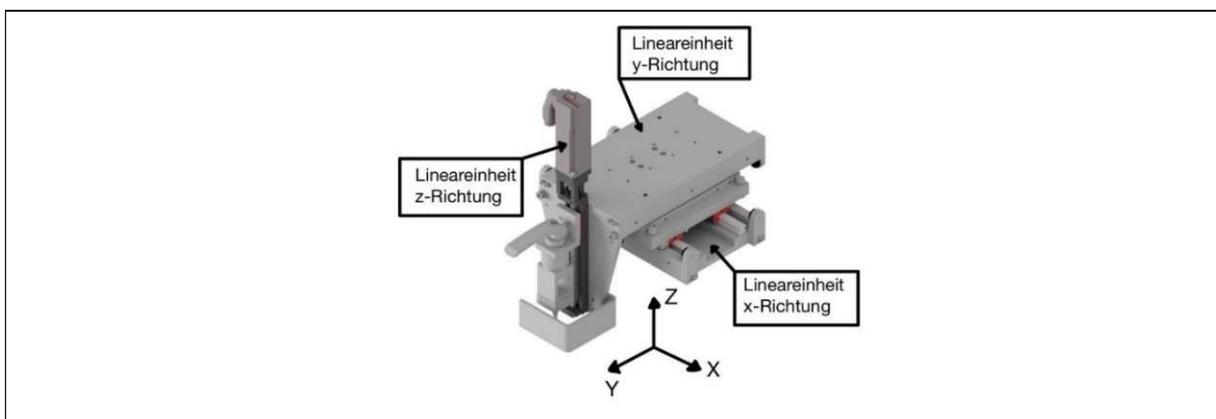


Abbildung 150: TAU-Einheit mit Lineareinheiten zur Bewegung des Stempels

7.8.1.1.1 Lineareinheit x-Richtung

Die Gestaltung der Lineareinheit ist durch gängige und erprobte Bauarten von Lineareinheiten in der Industrie vorgegeben. Die Gestaltungsfreiheit ist daher begrenzt und beschränkt sich auf das Anpassen der Lineareinheit an die konkreten Anforderungen des Prüfstands.

Die Lineareinheit x-Richtung besteht aus folgenden wesentlichen Komponenten (siehe Abbildung 151):

- Maschinenbett
- Schlitten
- Messsystem
- Elektrische Antriebstechnik (Magnetplatte + Spulenteil)
- Lagerung (Führungswagen + Führungsschiene)

Generell besteht bei der Gestaltung der Lineareinheiten x- bzw. y-Richtung die Bestrebung, diese mit möglichst wenigen verschiedenen Teilen zu realisieren, um den Montage- und Fertigungsaufwand zu minimieren. Aus diesem Grund wird die Lineareinheit x- bzw. y-Richtung aus Gleichteilen aufgebaut. Je nach Linearachse werden bestimmte Komponenten entweder am Maschinenbett oder am Schlitten angebracht.

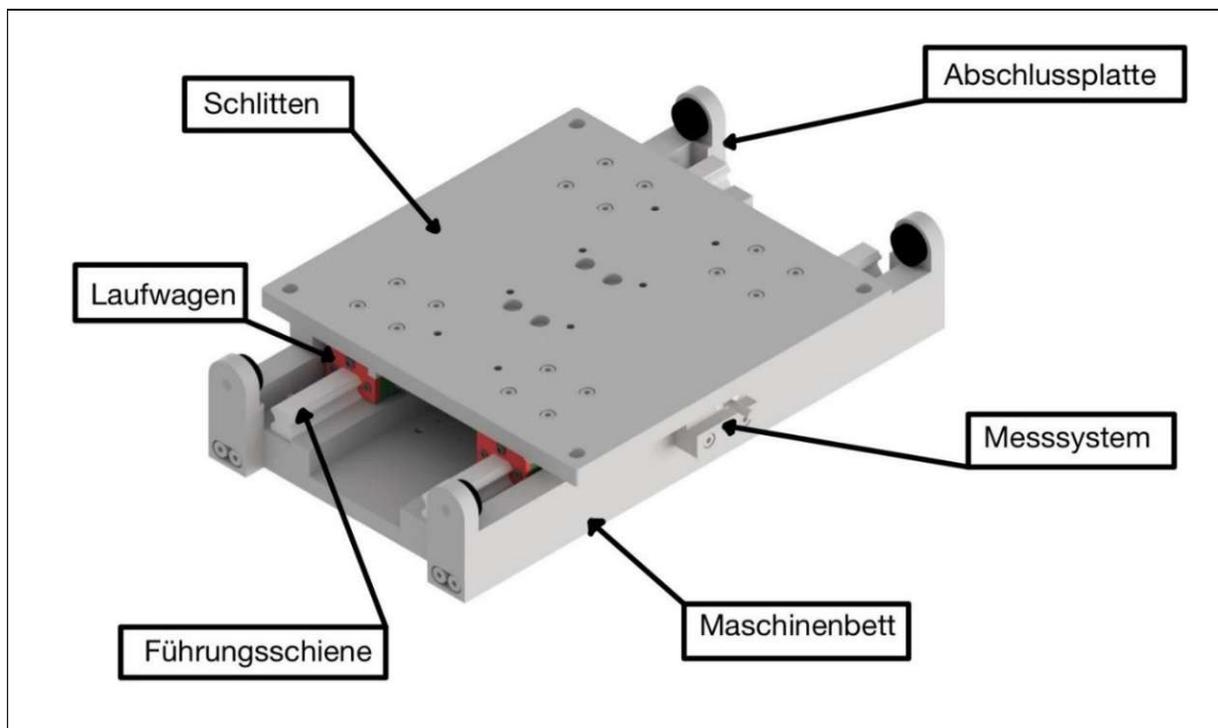
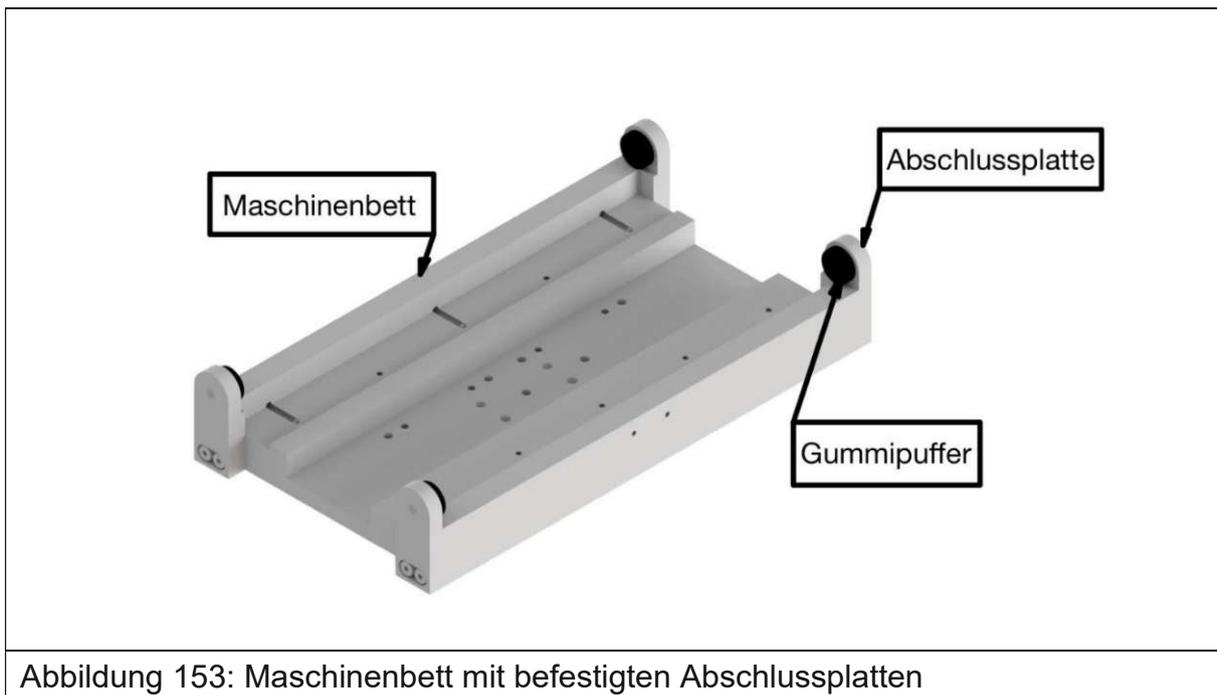
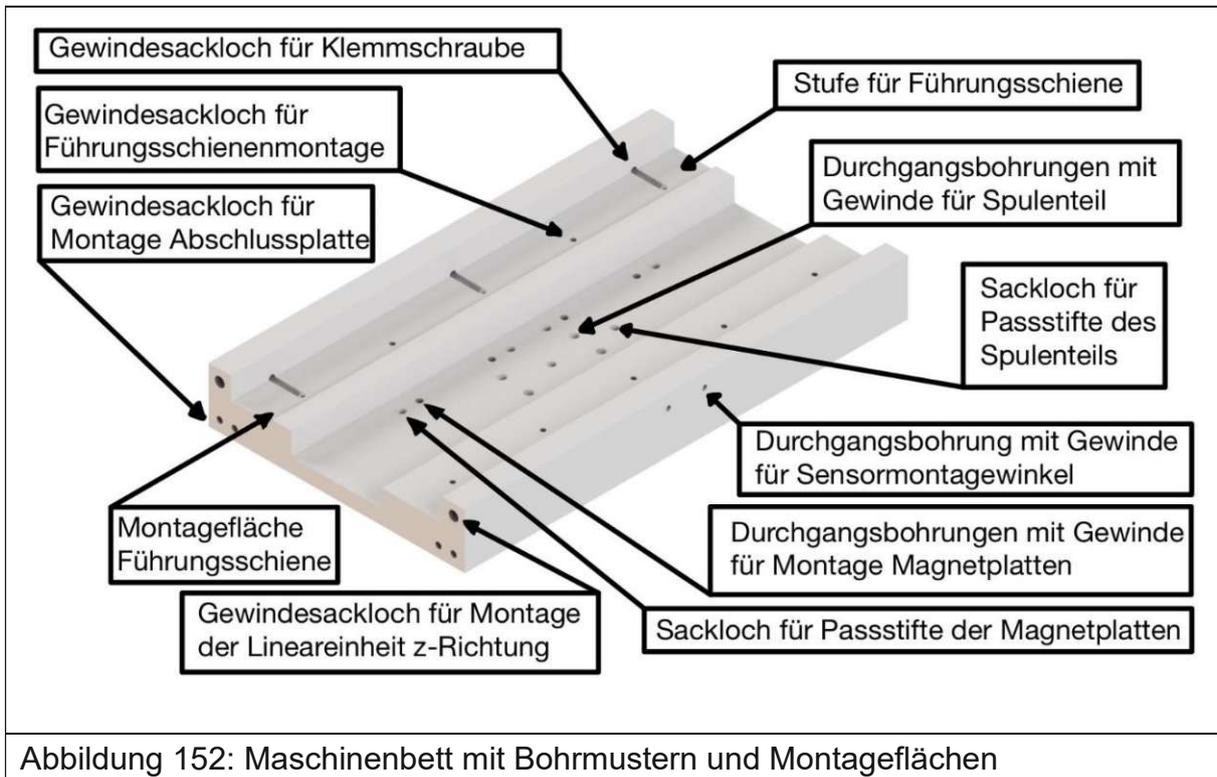


Abbildung 151: Lineareinheit x-Richtung mit seinen Bestandteilen. Die elektrische Antriebstechnik mit Spulenteil und Magnetplatten ist nicht sichtbar.

Maschinenbett

Das Maschinenbett besteht aus Aluminium vom Typ „EN AW 5083“. Diese Aluminiumlegierung ist sehr gut witterungs- und seewasserbeständig und eignet sich daher ideal für die Anwendung in der Sicherheitswerkbank (Wittel et al. 2017b, S. 24). Das Maschinenbett hat einen rechteckigen Grundriss und ist gekennzeichnet durch eine mittige Ausnehmung zur Aufnahme der Spule (siehe Abbildung 152). In der stufenförmigen Nut sind zwei Bohrmuster vorgesehen, mit denen sowohl zwei Magnetplatten oder ein Spulenteil mit dem Maschinenbett verschraubt werden können. Zur Befestigung der beiden Führungsschienen auf den Stufen beiderseits der mittigen Ausnehmung sind insgesamt zehn Gewindefacklöcher vorgesehen. Eine der beiden Führungsschienen wird zusätzlich durch drei Stiftschrauben gegen einen dafür vorgesehenen Anschlag gedrückt. Die zur Aufnahme der Stiftschrauben notwendigen Durchgangslöcher mit Innengewinde befinden sich auf einer Seitenfläche des Maschinenbetts. Auf der gegenüberliegenden Seitenfläche sind mittig ebenfalls zwei Bohrungen vorgesehen. Diese dienen zum Anbringen eines Montagewinkels, der den Sensorkopf des Messsystems trägt. An den beiden Stirnflächen des Maschinenbetts sind vier baugleiche Abschlussplatten angebracht, die über jeweils zwei Innensechskantschrauben an das Maschinenbett angeschraubt werden (siehe Abbildung 153). Zusätzlich sind an jeder Stirnfläche jeweils zwei Sacklöcher mit Innengewinde angebracht. Diese werden am Maschinenbett der Lineareinheit x-Richtung durch die vier Abschlussplatten verdeckt. Diese sind an den Maschinenbetten beider Lineareinheiten vorgesehen, werden aber nur an der Lineareinheit y-Richtung zur Aufnahme der Lineareinheit z-Richtung benötigt. Weiters sind auf der Grundfläche des Maschinenbetts vier Sacklöcher mit Innengewinde vorgesehen zum Anschrauben der Lineareinheit x-Richtung an der Gondel.



Schlitten

Der Schlitten ist ebenfalls aus Aluminium vom Typ „EN AW 5083“ gefertigt. Der Grundriss des Schlittens ist quadratisch aufgebaut (siehe Abbildung 154). Die Oberseite des Schlittens ist plan, während sich auf der Unterseite mehrere rechteckige Erhebungen bzw. Stufen befinden, die als Anschlagkanten (Schultern) oder zur Aufnahme von Durchgangsbohrungen dienen. In den vier Ecken des Schlittens sind Durchgangsbohrungen vorgesehen. Diese Bohrungen nehmen Passschrauben zur Verbindung der Lineareinheit x-Richtung mit der Lineareinheit y-Richtung auf. Ebenfalls befinden sich Bohrmuster zur wahlweisen Aufnahme eines Spulenteils oder von zwei Magnetplatten auf dem Schlitten. Beim Schlitten der Lineareinheit x-Richtung befinden sich die Magnetplatten am Schlitten. Darüber hinaus sind Bohrmuster angebracht zur Befestigung der vier Führungswägen über Zylinderschrauben. Die Berechnung der Schraubenverbindung zwischen den Laufwägen und dem Schlitten erfolgt nach VDI-Richtlinie 2230 und ist im Anhang angegeben (Wittel et al. 2017a, S. 256). Von den drei stufenförmigen Vorsprüngen dienen zwei als Anschlagkanten für den Magnetmaßstab und für Führungswägen. Der höchste stufenförmige Vorsprung ist mit vier Durchgangsbohrungen versehen, durch die vier Stiftschraube geschraubt werden. Mit jeweils zwei der vier Stiftschrauben wird je ein Führungswagen gegen eine Anschlagkante gedrückt.

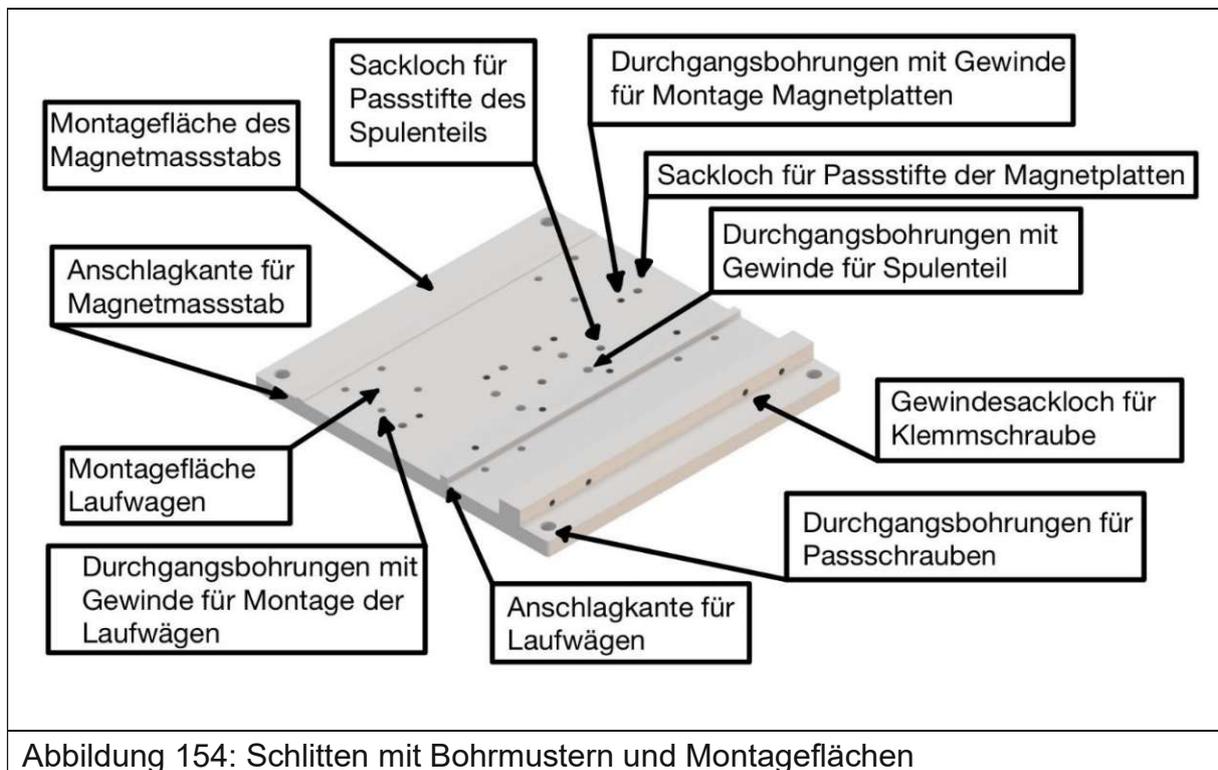


Abbildung 154: Schlitten mit Bohrmustern und Montageflächen

Messsystem

Als Messsystem wird ein induktives Messsystem verwendet, das aus einem Magnetmaßstab und einem magnetischen Positionsmesskopf besteht (siehe Abbildung 155). Beim verwendeten System handelt es sich um ein absolutes Messsystem mit einer Gesamtsystemgenauigkeit (Messkopf plus Magnetmaßstab) von kleiner $10\mu\text{m}$ auf einer Messlänge von 100mm. Das Messsystem wird von der Firma „Bogen-Messtechnik“ bezogen und besteht aus dem Messkopf vom Typ „AKS16“ und dem linearen Magnetmaßstab vom Typ „LMS2“. Aufgrund der Umweltbedingungen innerhalb der Sicherheitswerk können keine optischen Messsysteme verwendet werden. Die hohe Feuchtigkeit (Formaldehydnebel, Nährstoffflüssigkeitsdampf) würde das optische Messsystem stören. Der Vorteil der Unempfindlichkeit gegenüber Schmutz bzw. Feuchtigkeit muss aber durch den Nachteil der Störempfindlichkeit gegenüber magnetischen Feldern erkauft werden. Dies bedeutet, der Magnetmaßstab muss ausreichend vor dem Magnetfeld von Kabeln bzw. Spulen der elektrischen Antriebstechnik abgeschirmt werden. Zu diesem Zweck sollten mehrere Empfehlungen zum Einbau von Magnetmaßstäben neben Spulen bzw. Magnetplatten eingehalten werden. So sollte die Seitenfläche des Magnetmaßstabs mehr als 50mm von der Seitenfläche der Magnetplatte entfernt sein. Darüber hinaus sollte die Längsseite des Magnetmaßstabs mehr als 20mm von der Längsseite der Magnetplatte entfernt sein (siehe Abbildung 156, 157). Auch sollten Leistungskabel nicht unmittelbar am Sensorkopf vorbeigeführt werden und einen gewissen Mindestabstand von 100mm bis 200mm einhalten. Der Messkopf wird auf einem Montagewinkel befestigt, der mittels zwei Innensechskantschrauben am Maschinenbett angeschraubt wird. Zwischen dem Magnetmaßstab und dem Messkopf muss ein Luftspalt von 0,5mm eingehalten werden. Der Luftspalt wird über das Spiel zwischen den Befestigungsschrauben und den Durchgangsbohrungen eingestellt, die zum Anschrauben des Montagewinkels am Bett dienen. Die Unterseite des Magnetmaßstabs ist mit einem doppelseitigem Klebeband versehen und wird damit auf dem Schlitten aufgeklebt. Der Sensorkopf wird durch zwei Zylinderschrauben am Montagewinkel befestigt. Generell bietet die Anordnung mit stillstehendem Positionsmesskopf und beweglichem Magnetmaßstab den Vorteil, dass das Kabel des Positionsmesskopfs sich während der Messung bzw. dem Verfahren des Schlittens nicht bewegt.

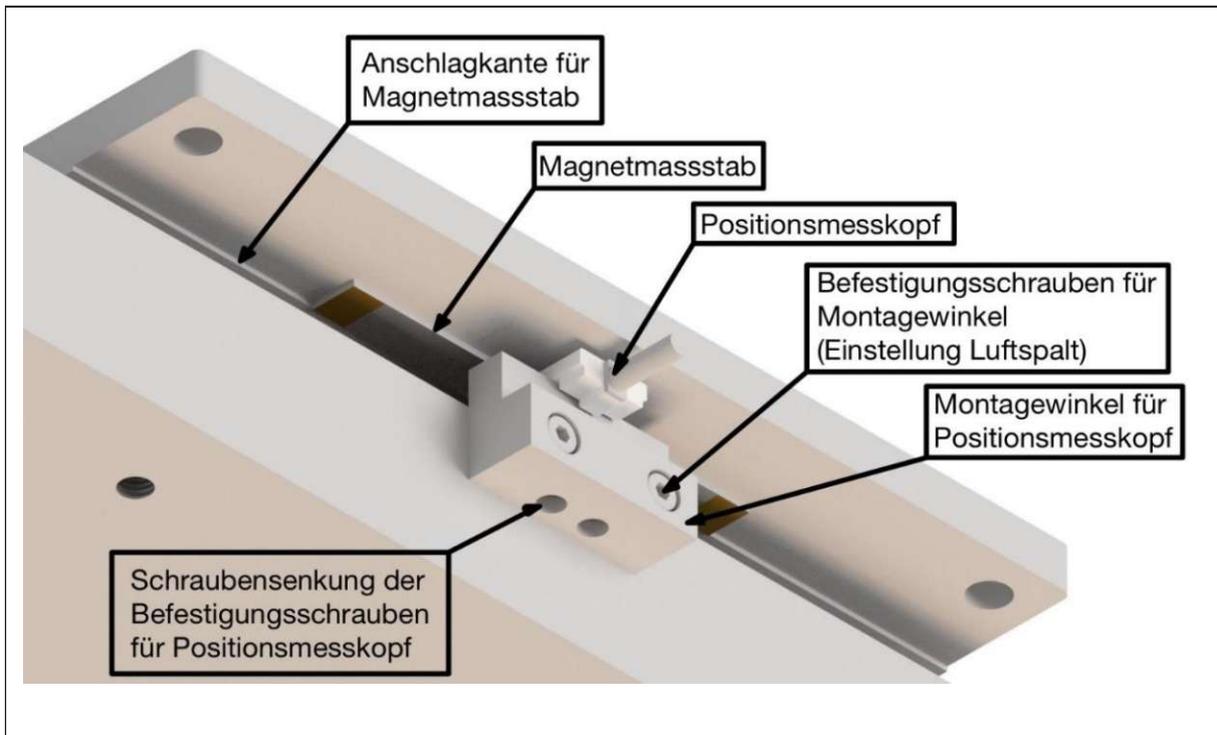


Abbildung 155: Absolutes Positionsmesssystem

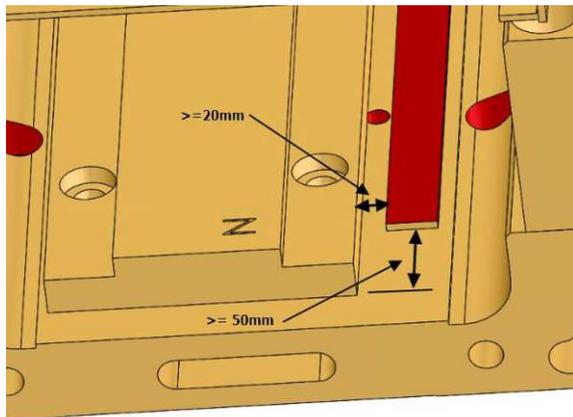


Abbildung 156: Richtige Auswahl und Positionierung des Magnetmaßstabs. Negative Störeinflüsse durch das Spulenmagnetfeld können vermieden werden, wenn die Länge des Magnetmaßstabs kürzer als die der Magnetplatte gewählt wird und ein gewisser Spaltabstand zwischen dem Magnetmaßstab und der Magnetplatte eingehalten wird.

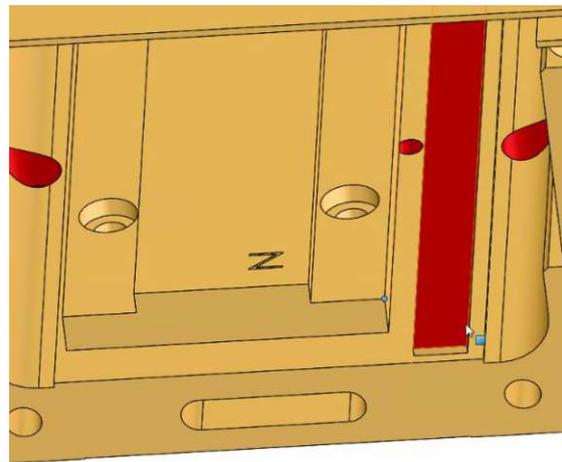


Abbildung 157: Falsche Auswahl und Positionierung des Magnetmaßstabs.

Elektrische Antriebstechnik (Magnetplatte + Spulenteil)

Die Lineareinheit x-Richtung wird durch einen Linearservomotor des Herstellers „Beckhoff“ angetrieben (siehe Abbildung 158). Dieser besteht aus einem Spulenteil vom Typ „AL8021“, das sich entlang zweier Magnetplatten vom Typ „AL8521“ bewegt. Die notwendige Anzahl an Magnetplatten lässt sich über den Verfahrweg bestimmen. Die zugehörige Berechnung befindet sich im Anhang. Der Luftspalt zwischen dem Spulenteil und der Magnetplatte sollte im Idealfall 0,5mm betragen. Der Abstand zwischen der Magnetplatte und dem Spulenteil beeinflusst die Anziehungskraft zwischen den beiden. Wird der vom Hersteller empfohlene Luftspalt zu stark unterschritten, so können sehr hohe Kräfte in der Lagerung auftreten. Das Spulenteil wird mit Hilfe von zwei Passstiften am Maschinenbett positioniert und mit Hilfe von vier Zylinderschrauben am Maschinenbett angeschraubt. Darüber hinaus wird jede Magnetplatte über zwei Passstifte am Schlitten positioniert und mit Hilfe von vier Zylinderschrauben daran festgeschraubt. Ähnlich zur Messeinrichtung bietet die Befestigung des Spulenteils am Maschinenbett den Vorteil, dass das Leistungskabel des Spulenteils während der Verfahrbewegung des Schlittens ruht.

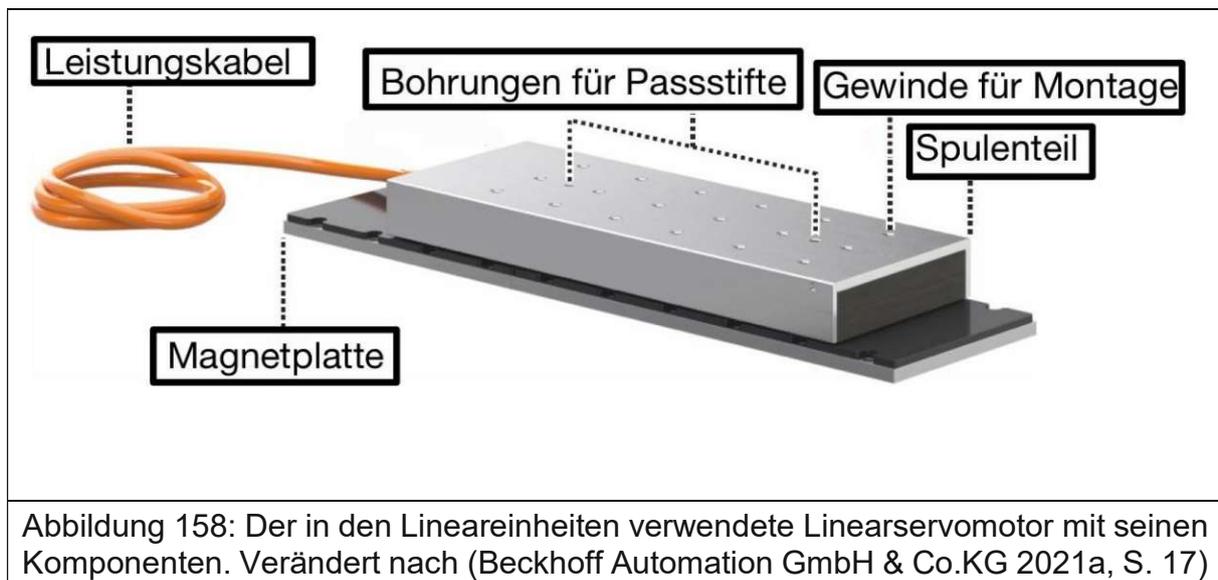
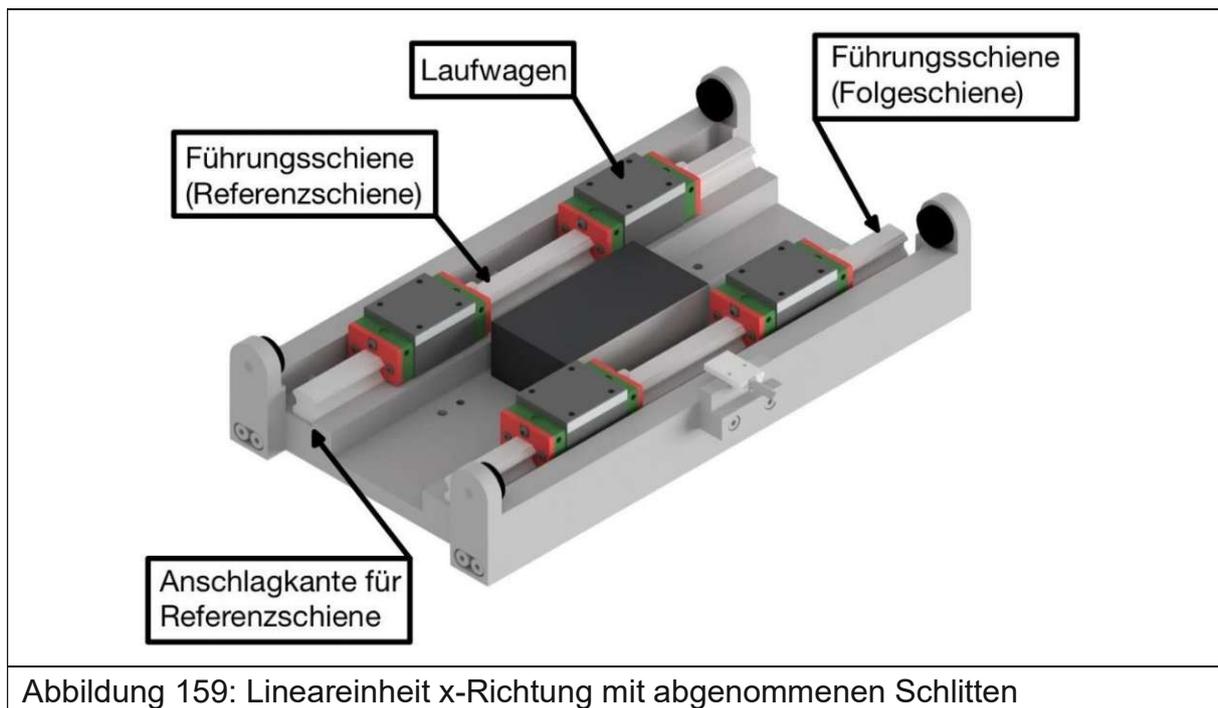


Abbildung 158: Der in den Lineareinheiten verwendete Linearservomotor mit seinen Komponenten. Verändert nach (Beckhoff Automation GmbH & Co.KG 2021a, S. 17)

Lagerung (Führungswagen + Führungsschiene)

Die Lagerung des Schlittens erfolgt über zwei Profilschienenführungen. Zu diesem Zweck trägt der Schlitten vier Führungswagen von denen jeweils zwei Stück auf einer Führungsschiene sitzen (siehe Abbildung 159). Die Profilschienenführungen werden vom Hersteller „HIWIN“ bezogen. Als Führungswagen werden Laufwagen mit der Bezeichnung „QHH15CAZAH“ gewählt. Das Kürzel „QH“ steht für die Baureihe des Laufwagens. Diese Baureihe eignet sich hervorragend für die Anwendung in Schienenpaaren. Der Laufwagen besitzt vier Kugellaufbahnen, die in X-Anordnung angebracht sind und deren Kugeln in Kettenführungen laufen (siehe Abbildung 160) (Hiwin GmbH 2010, S. 30). Die beiden Buchstaben „ZA“ der Bezeichnung stehen für die Vorspannungsklasse „mittel“ des Laufwagens, die aufgrund der hohen Genauigkeitsvorgaben des Messsystems notwendig ist (Hiwin GmbH 2010, S. 33). Bei der mittleren Vorspannung erhöht sich der Rollwiderstand auf 5-8N pro Laufwagen (ohne Vorspannung 2-3N). Der letzte Buchstabe „H“ steht für die Genauigkeitsklasse „hochgenau“ der Paarung von Schiene und Laufwagen. Diese enge Tolerierung ist ebenfalls aufgrund der Messsystemanforderungen notwendig. Die Richtungsabweichung zwischen den parallelen Ebenen der Anschlagfläche des Laufwagens und der zugehörigen Anschlagfläche der Schiene bzw. der Laufwagenoberfläche und der zugehörigen Montagefläche der Schiene wird dadurch beschränkt (Hiwin GmbH 2010, S. 44). An einer Seite der Laufwagen ist jeweils ein Schmiernippel zum Nachschmieren angebracht. Als Führungsschienen werden Schienen mit der Bezeichnung „HGR15R290H“ gewählt. Die Einbausituation ist so gewählt, dass eine Führungsschiene an der Schulter des Maschinenbetts anliegt und die zugehörigen Führungswagen an der Schulter des Schlittens anliegen (Abbildung 161, 162). Beim Montagevorgang werden die beiden Führungsschienen mit den vier zugehörigen Führungswagen auf dem Maschinenbett positioniert und die Befestigungsschrauben der Schienen vorläufig (locker) am Bett angezogen. Dann wird mit Hilfe der Klemmschrauben (Stiftschrauben) eine der Schienen gegen die Schulter am Maschinenbett geschraubt und die Befestigungsschrauben der Schiene am Bett angezogen. Diese bildet die Referenzseite. Anschließend wird der Schlitten aufgesetzt und die beiden Laufwagen der Referenzschiene werden durch die Klemmschrauben des Schlittens an der Anschlagkante des Schlittens angedrückt. Danach werden die Laufwagen der Referenzschiene durch die Befestigungsschrauben fest mit dem Schlitten verschraubt. Die zweite Schiene am Maschinenbett bildet die Folgeschiene.

Die zwei Laufwägen der Führungsschiene und ein Laufwagen der Referenzschiene werden anschließend fest am Schlitten angeschraubt. Nachfolgend wird der Schlitten von einem Ende bis zum anderen Ende der Schienen bewegt. Bei diesem Vorgang richtet sich die Folgeschiene aus. Im letzten Schritt werden die Befestigungsschrauben der Folgeschiene und des „Folgelaufwagens“ fest angezogen (Hiwin GmbH 2010, S. 18–20).



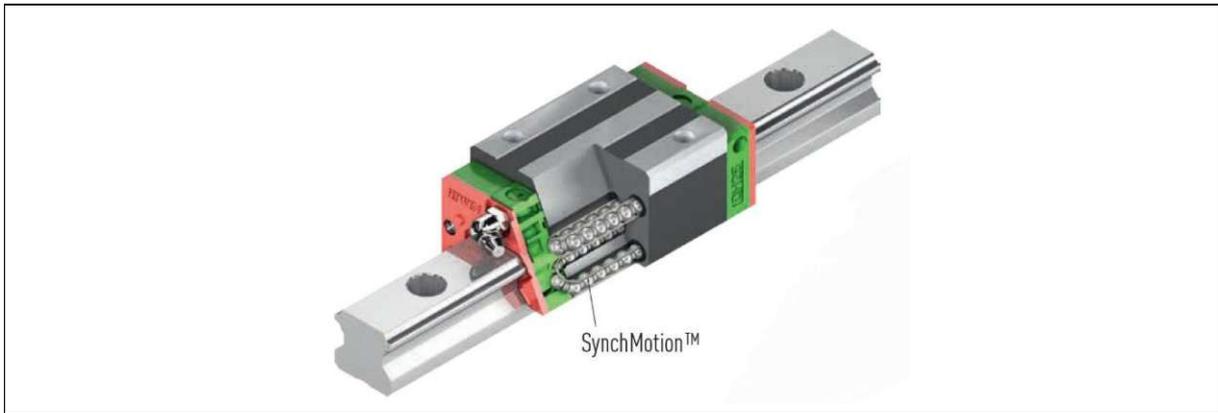


Abbildung 160: Laufwagen mit vier Kugellaufbahnen in X-Anordnung

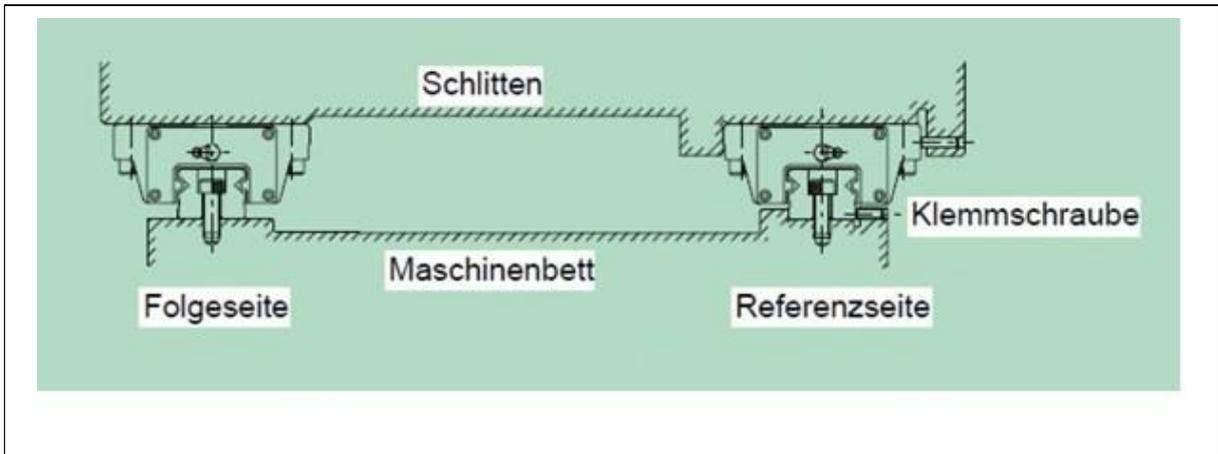


Abbildung 161: Einbausituation der Profilschienenführung. Verändert nach (Hiwin GmbH 2002, S. 19)

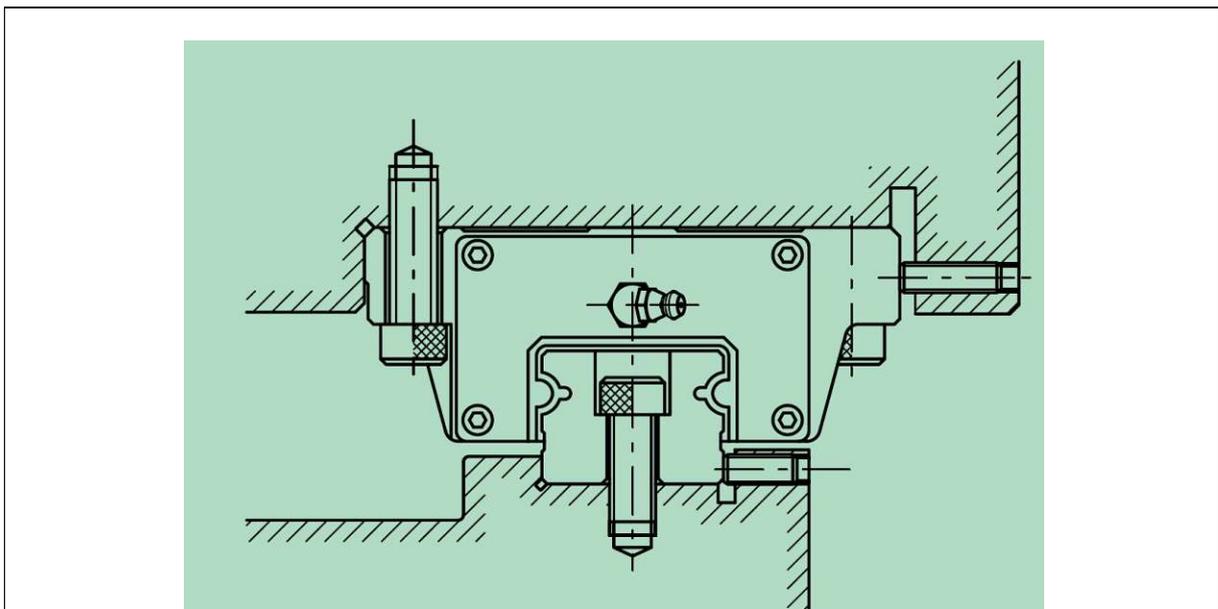
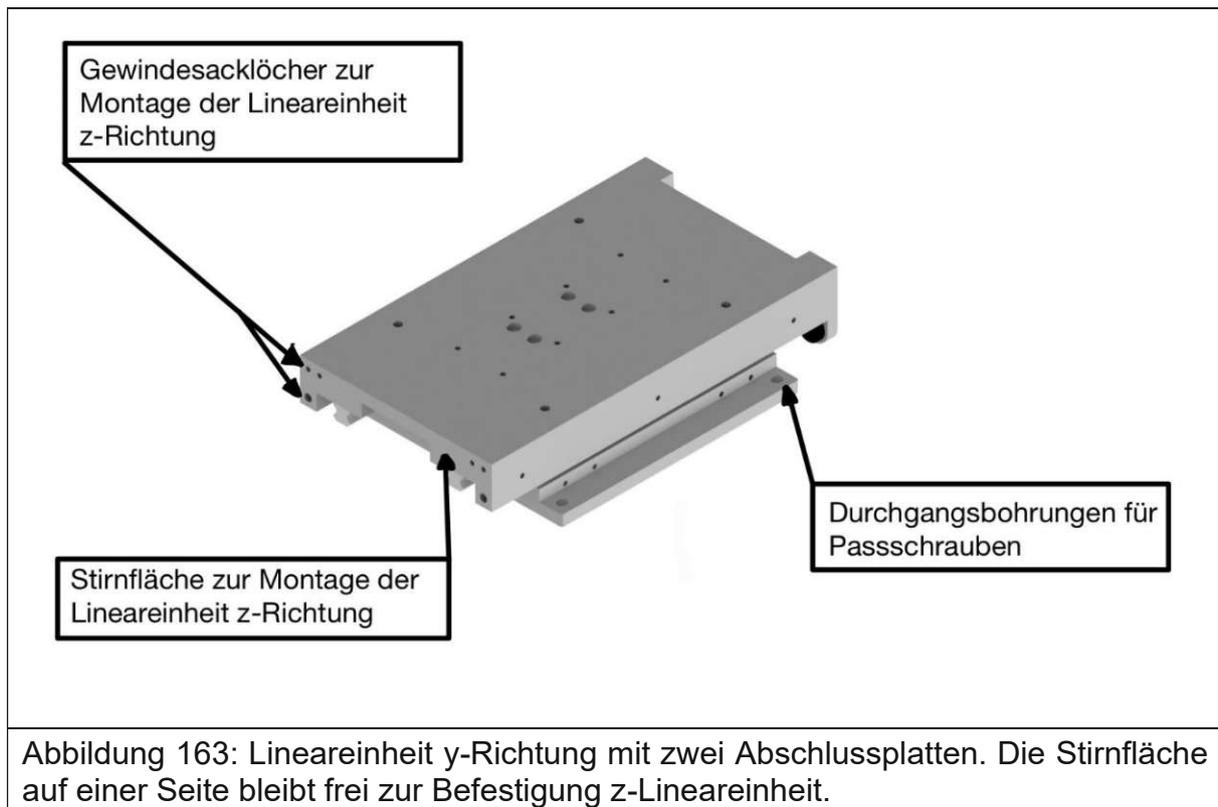


Abbildung 162: Detailansicht der Fixierung der Führungsschiene (Referenzschiene) und des Laufwagens mit Klemmschrauben (Hiwin GmbH 2002, S. 19)

7.8.1.1.2 Lineareinheit y-Richtung

Die Lineareinheit y-Richtung besteht aus den gleichen Komponenten wie die Lineareinheit x-Richtung (siehe Abbildung 163). Im Unterschied zur x-Richtung werden nur zwei der vier Abschlussplatten benötigt. Weiters werden bei der Lineareinheit y-Richtung das Spulenteil am Schlitten und die Magnetplatten am Maschinenbett befestigt. An die freie Stirnfläche der Lineareinheit y-Richtung wird die Lineareinheit z-Richtung über sechs Schrauben angeschraubt. Vier der sechs hierfür notwendigen Gewindesacklöcher werden normalerweise zur Befestigung der Abschlussplatten verwendet.



7.8.1.1.3 Lineareinheit z-Richtung

Die Lineareinheit z-Richtung hat die Aufgabe den Stempel vertikal zu bewegen und die während des Prüfvorgangs im Stempel wirkende Kräfte zu messen.

Die Lineareinheit z-Richtung besteht aus folgenden wesentlichen Komponenten (siehe Abbildung 164):

- Synchronservomotor mit Flansch und Kupplung
- Linearachse
- Verstelleinrichtung
 - Exzentersteller
 - Stempelanbindungswinkel
 - Führungstopf mit Rastscheiben und Druckfeder
- Kraftmessdosenanbindung
- 3D-Kraftmessdose
- Stempelaufnahme
- Stempel
- Linearachsenplatte mit Schutzblech

Die Gestalt der Lineareinheit z-Richtung ist gekennzeichnet durch einen Kompromiss aus Steifigkeit und guter Zugänglichkeit. Da diese sehr weit nach unten frei auskragt, muss diese sehr steif ausgeführt sein, aber dennoch gut zugänglich bleiben, um die Orientierung des Stempels von Hand verändern zu können.

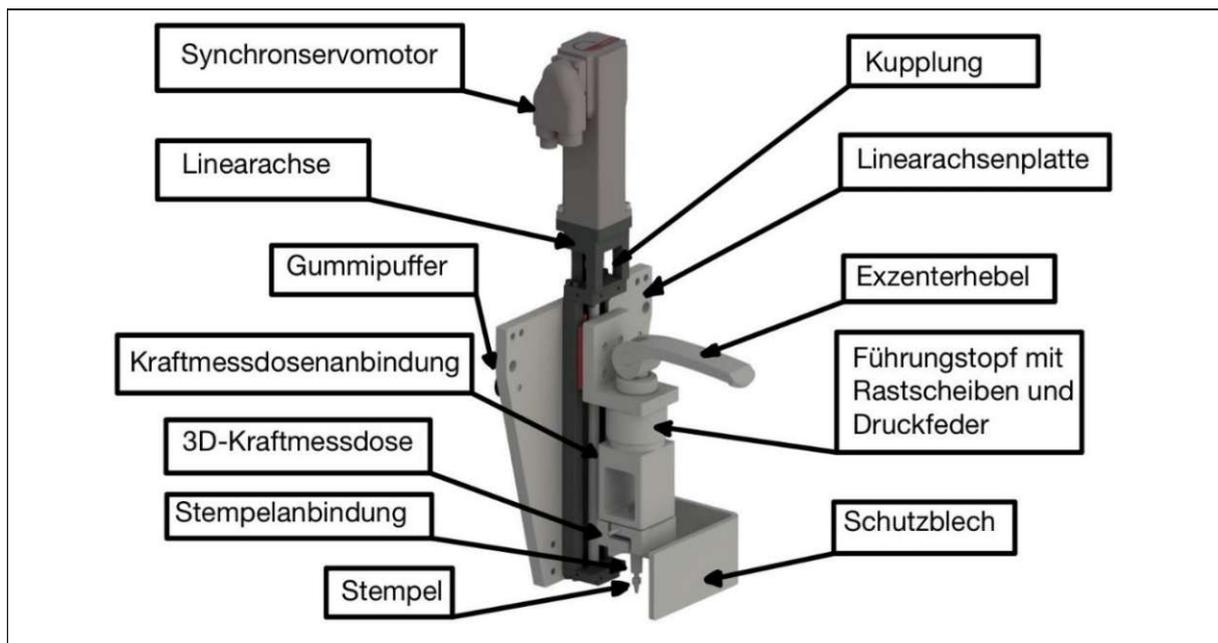


Abbildung 164: Lineareinheit z-Richtung mit seinen Bestandteilen

Synchronservomotor mit Flansch

Zum Antrieb der Trapezspindel der Linearachse wird ein Synchronservomotor vom Typ „AM8111“ des Herstellers „Beckhoff“ verwendet, der zusätzlich eine Permanentmagnethaltebremse besitzt. Dieser wird mit Hilfe eines Motorflansches vom Typ „F1“ an der Spindel festgeschraubt und dessen Motorwelle wird über eine Kupplung mit der Spindel kraftschlüssig verbunden. Als Kupplung wird eine Miniaturmetallbalgkupplung des Herstellers „R+W“ vom Typ „MK1“ ausgewählt. Die mit der Kupplungsauswahl begleitend durchgeführte Berechnung der Resonanzfrequenz ist im Anhang angegeben. Die Kupplungsnaben werden mit Hilfe von radialen Klemmschrauben mit der Motor- bzw. Spindelwelle verbunden (R+W Antriebselement GmbH 2018, S. 52). Die Kupplung gehört zur Klasse der torsionssteifen Kupplungen, die häufig bei Werkzeugmaschinen eingesetzt werden (Wolf et al. 2012, S. 4). Die Schwierigkeit bei der Kupplungsauswahl besteht aus der gleichzeitigen Erfüllung mehrerer Bedingungen. Die Kupplung soll vor allem sehr torsionssteif und gleichzeitig möglichst klein sein, um in der Linearachse Platz zu finden.

Linearachse

Die Linearachse ist das zentrale Element der z-Lineareinheit (siehe Abbildung 165). Es wird eine Linearachse des Herstellers „HIWIN“ mit der Bezeichnung „KK4001P200A1F100“ verwendet. Diese besitzt einen Kugelgewindetrieb mit einer Steigung von 1mm. Da ein Kugelgewindetrieb nicht selbsthemmend ist, muss dieser bei vertikaler Einbaulage extern gebremst werden (Wittel et al. 2017b, S. 568). Dies erfolgt meist, wie im vorliegenden Fall, über eine Haltebremse im Antrieb. Diese Permanentmagnethaltebremse blockiert den Motor sofort bei Stromlosschaltung (Beckhoff Automation GmbH & Co.KG 2021b, S. 17). Durch diese Permanentmagnethaltebremse wird der sehr wichtigen Kundenanforderung nachgekommen, dass sich der Stempel bei einem Notaus der Maschine nicht unkontrolliert nach unten bewegen darf. Der Laufwagen wird durch zwei Kugelbahnen in der Profilschiene der Linearachse gelagert. Insgesamt erlaubt die Linearachse einen maximalen Verfahrweg von 130mm in z-Richtung. Die Linearachse verfügt passend zum Motorflansch ebenfalls über einen Adapterflansch vom Typ „F1“. Der Flansch des Motors wird mit dem Flansch der Linearachse über zwei Zylinderschrauben

verschraubt. Weiters besitzt die Profilschiene sechs Durchgangslöcher mit Senkungen zur Montage an der Linearachsenplatte.

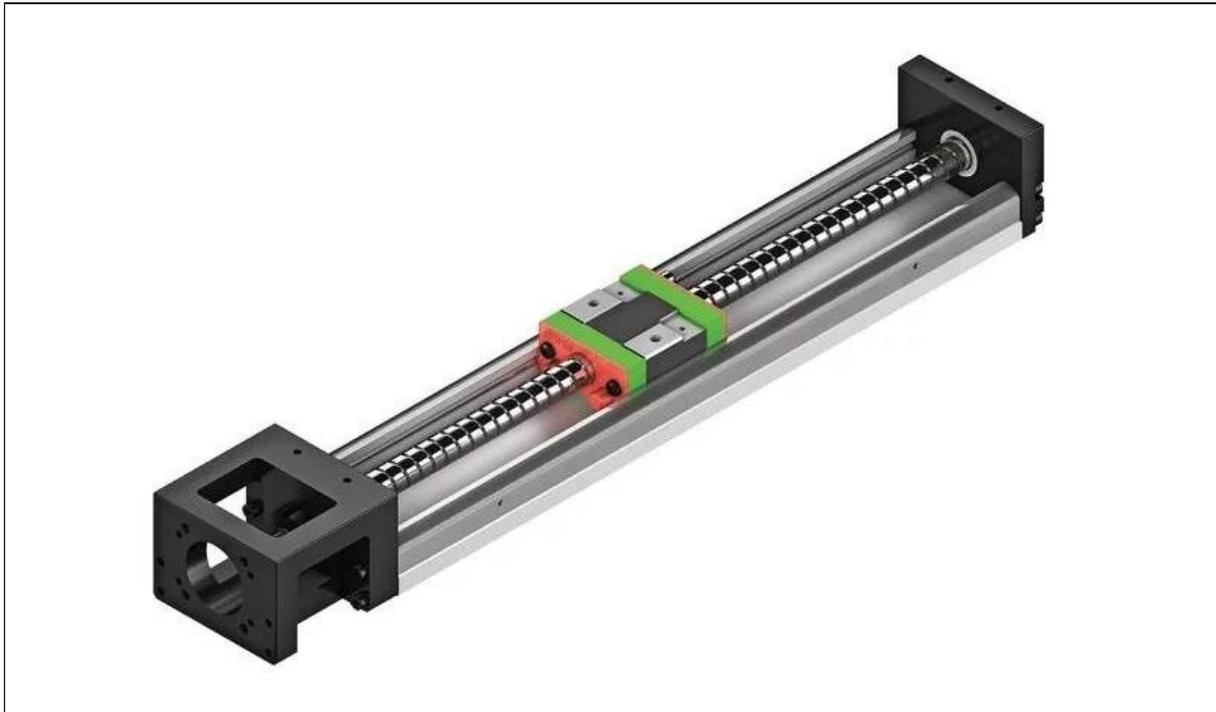


Abbildung 165: Linearachse mit Kugelgewindetrieb (Hiwin GmbH, S. 7)

Verstelleinrichtung

Mit der Verstelleinrichtung wird der Kundenanforderung nachgekommen, dass der Stempel zwischen Prüfvorgängen um 90° gedreht werden kann. Die Verstelleinrichtung besteht im Wesentlichen aus dem Stempelanbindungswinkel, einem Exzenterspanner, dem Führungstopf, zwei Rastscheiben und einer Druckfeder (siehe Abbildung 166). Der Stempelanbindungswinkel wird an einem seiner Winkelschenkel über vier Zylinderschrauben mit dem Schlitten der Linearachse verbunden. Der zweite Winkelschenkel ist mittig mit einer Bohrung versehen. Durch diese Bohrung wird ein Verbindungsbolzen in Form einer Stiftschraube gesteckt. An der Oberseite des Winkelschenkels ist dieser Verbindungsbolzen mit einem Exzenterspanner verschraubt. An der Unterseite des Winkelschenkels schließt ein Führungstopf an, der in sich zwei Rastscheiben aufnimmt und deren radiale Führung übernimmt. Die beiden Rastscheiben werden durch eine kegelige Druckfeder auseinandergehalten. Jede dieser Rastscheiben ist mittig durchbohrt und einseitig ähnlich zu einem Tellerrad verzahnt. Eine dieser Rastscheiben ist mit dem Führungstopf am Stempelanbindungswinkel verschraubt, während die zweite Rastscheibe mit der

Kraftmessdosenanbindung fest verbunden ist. Der Verbindungsbolzen verläuft durch die Bohrungen der beiden Rastscheiben und wird mit seinem zweiten Ende in die Kraftmessdosenanbindung eingeschraubt. Die beiden Rastscheiben bzw. die kegelige Druckfeder auf diesem Verbindungsbolzen gewissermaßen aufgefädelt. In der geöffneten Position befindet sich der Exzenterhebel in vertikaler Stellung und die Druckfeder drückt die beiden Rastscheiben auseinander und löst den Formschluss zwischen diesen beiden auf. Beim Verriegeln wird der Exzenterhebel um 90° gedreht, dabei wird der Verbindungsbolzen um den Hub von 1,5mm nach oben gezogen. Die Kraftmessdosenanbindung bewegt sich bei diesem Vorgang um diesen Hub nach oben und der Spalt zwischen den beiden Rastscheiben verringert sich, sodass die Zähne der beiden Rastscheiben zum Eingriff kommen. Zum Drehen des Stempels wird der Exzenterhebel zurück in die geöffnete Position gedreht. Die Kraftmessdosenanbindung samt Kraftmessdose, Stempelaufnahme und Stempel wird freigegeben und kann um 90° gedreht werden. Danach wird der Exzenterhebel wieder um 90° nach unten gedreht, sodass sich wieder ein Formschluss zwischen den Rastscheiben einstellt.

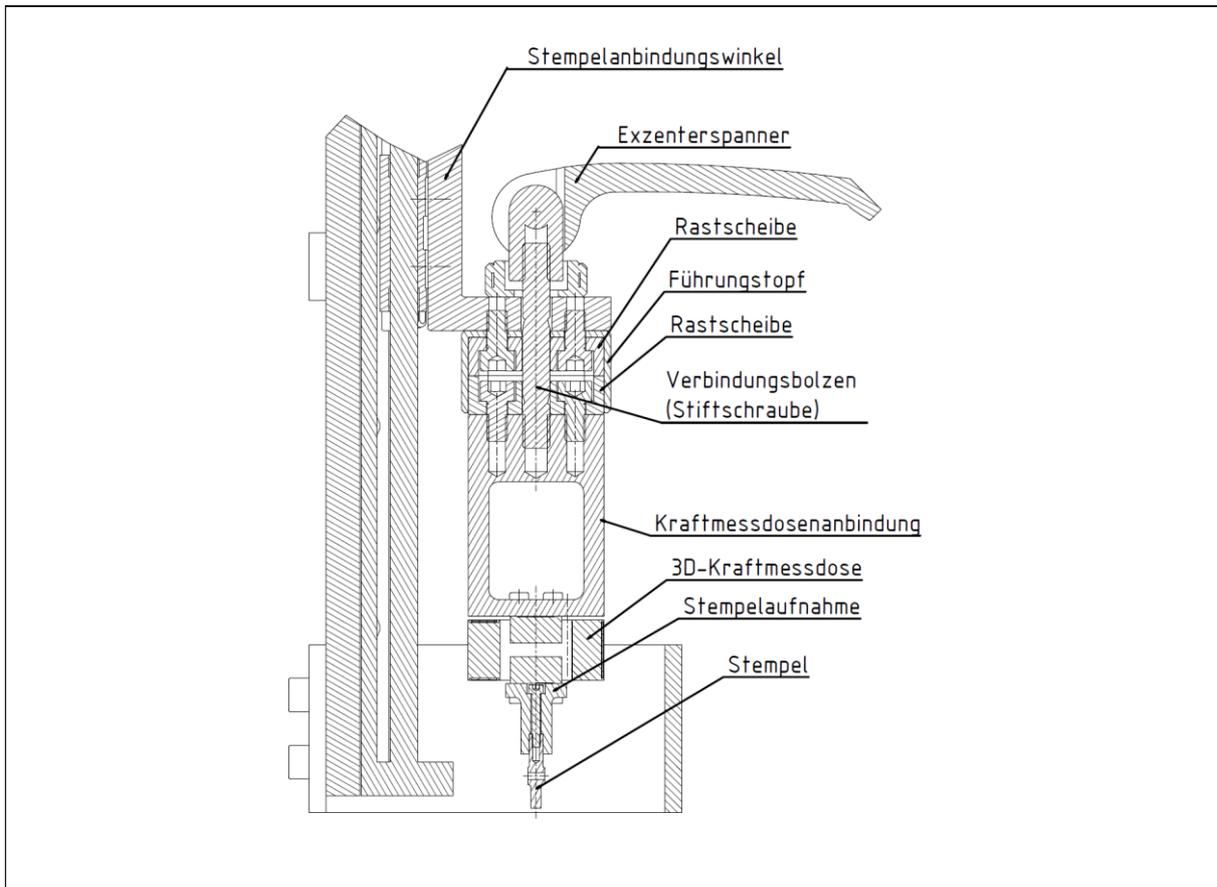


Abbildung 166: Schnitt durch die Verstelleinrichtung der Lineareinheit. Die kegelige Druckfeder fehlt in der Ansicht.

Kraftmessdosenanbindung mit 3D-Kraftmessdose

Die Kraftmessdosenanbindung verbindet die 3D-Kraftmessdose über die Rastscheiben und den Verbindungsbolzen mit dem Stempelanbindungswinkel. Diese ist aus Aluminium vom Typ „EN AW 5083“ gefertigt. Zur Montage der 3D-Kraftmessdose ist diese mit einer rechteckigen Öffnung versehen. Die Kraftmessdosenanbindung besitzt an einem Ende drei Sacklöcher zum Anschrauben des Verbindungsbolzen bzw. der Rastscheibe. Am anderen Ende besitzt diese vier Durchgangsbohrungen zum Anschrauben der 3D-Kraftmessdose.

3D Kraftmessdose

Zur Messung der im Stempel wirkenden Kraft wird ein 3-Achs Kraftsensor vom Typ „K3D40“ des Herstellers „ME-Messsysteme“ verwendet (siehe Abbildung 167). Die Kraftmessdose kann Kräfte in drei senkrecht aufeinander stehende Raumrichtungen mit einer Empfindlichkeit von $0,25\text{mV}/(\text{V}\cdot\text{N})$ messen (ME-Messsysteme GmbH 2021, S. 4). Weiters besitzt diese an der Oberseite und Unterseite jeweils eine Anschraubfläche mit vier Sacklöchern. Die oberer Anschraubfläche wird mit Hilfe von vier Zylinderschrauben mit der Kraftmessdosenanbindung verbunden, während die untere Anschraubfläche ebenfalls über vier Zylinderschrauben mit der Stempelaufnahme verbunden wird.



Abbildung 167: Ansicht der 3D-Kraftmessdose vom Typ "K3D40" des Herstellers "ME-Messsysteme" (ME-Messsysteme GmbH 2021, S. 1)

Stempelaufnahme

Die Stempelaufnahme trägt den Stempel und verbindet den Stempel mit der 3D-Kraftmessdose (siehe Abbildung 168). Diese ist aus Edelstahl vom Typ „EN 1.4571“ gefertigt und besteht aus einem viereckigen Flansch mit aufgesetztem Zylinder. Diese Edelstahlsorte wird im Behälterbau verwendet und ist sehr korrosionsbeständig (Wittel et al. 2017b, S. 8). Der Zylinder ist mit einer Stufenbohrung zur Aufnahme des Stempels und der zugehörigen Befestigungsschraube ausgeführt. Über die Befestigungsschraube und ein im Stempel vorgesehenes Sackloch, wird der Stempel mit formschlüssig mit der Stempelaufnahme verbunden. Weiters befinden sich im viereckigen Flansch der Stempelaufnahme vier Durchgangsbohrungen zur Befestigung an der 3D-Kraftmessdose.

Stempel

Der Stempel ist ebenfalls aus Edelstahl vom Typ „EN 1.4571“ gefertigt und besteht aus drei Geometrien (siehe Abbildung 168). Die Stempelspitze ist zunächst keilförmig ausgeführt, mündet anschließend in einen Würfel und geht dann in einen Zylinder über. Der Keil der Stempelspitze verjüngt sich bis auf einen rechteckigen Querschnitt mit den Maßen von $3 \times 0,08 \text{ mm}$ und soll den Querschnitt eines Stent-Strut imitieren. Der Zylinder ist außen plan gedreht und bildet mit der Bohrung der Stempelaufnahme eine Spielpassung. Zusätzlich ist der Zylinder in der Rotationsachse mit einem Gewindesackloch versehen zur Befestigung an der Stempelaufnahme.

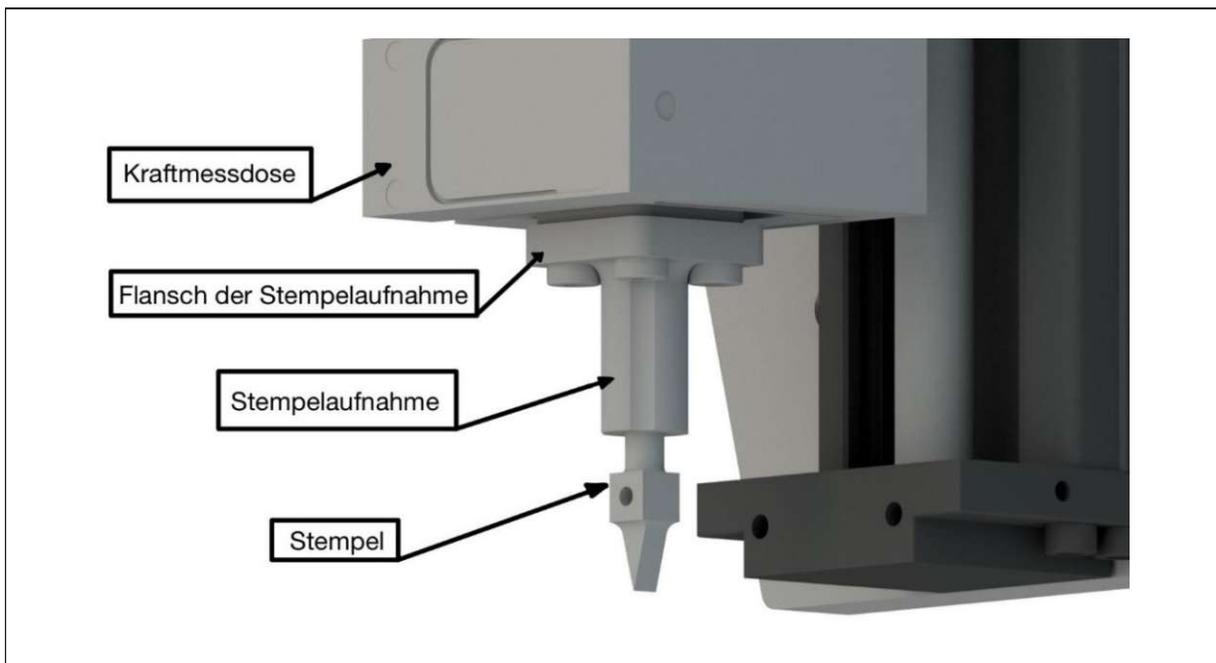
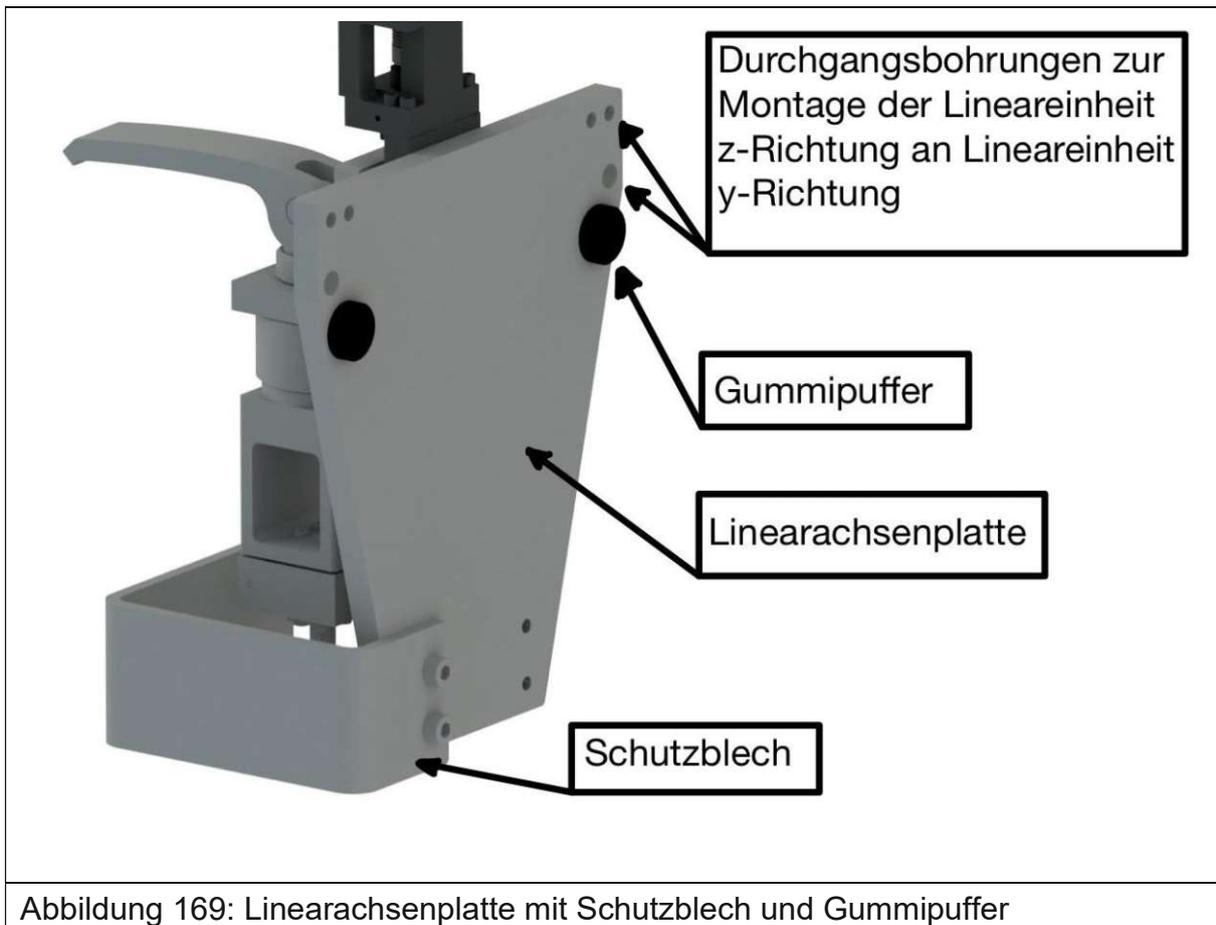


Abbildung 168: Stempel mit Stempelaufnahme

Linearachsenplatte mit Schutzblech

Die Linearachsenplatte besteht aus einer 10mm dicken Aluminiumplatte (vom Typ „EN AW 5083“) und verbindet die Linearachse mit der Lineareinheit y-Richtung (siehe Abbildung 169). Zu diesem Zweck ist diese mit mehreren symmetrischen Bohrmustern versehen. Neben der Linearachse trägt diese zwei Gummipuffer, die einen etwaigen Kontakt der Linearachsenplatte mit dem Schlitten der Lineareinheit y-Richtung dämpfen sollen. Weiters trägt diese ein u-förmiges Schutzblech, das ebenfalls aus Aluminium gleichen Typs gefertigt ist. Dieses soll als Schutzeinrichtung dienen und die empfindliche Stempelklinge vor unbeabsichtigten Berührungen schützen.



7.8.2 Entwurf BIAX-Einheit

Die BIAX-Einheit ruht auf vier Stützen, die auf den zwei Längsträgern der Bodenplatte befestigt sind. Die Aufgabe der BIAX-Einheit liegt darin die Probe in der Ebene zu verformen und die in der Probe wirkenden Kräfte zu messen. Auch bei der Gestaltung der BIAX-Einheit sind wieder die gestaltungsbestimmenden Anforderungen aus Hauptarbeitsschritt 1 von wesentlicher Bedeutung.

7.8.2.1 Bestandteile der BIAX-Einheit

Die BIAX-Einheit ist aus folgenden wesentlichen Bestandteilen aufgebaut (siehe Abbildung 170):

- Lineareinheit
- Grundplatte
- Nährstoffzulauf

Die vier Lineareinheiten der BIAX-Einheit sind kreuzförmig um ein rundes Durchsichtfenster in der Mitte der Grundplatte angeordnet. Zusätzlich ist ein Nährstoffzulauf auf der Grundplatte befestigt.

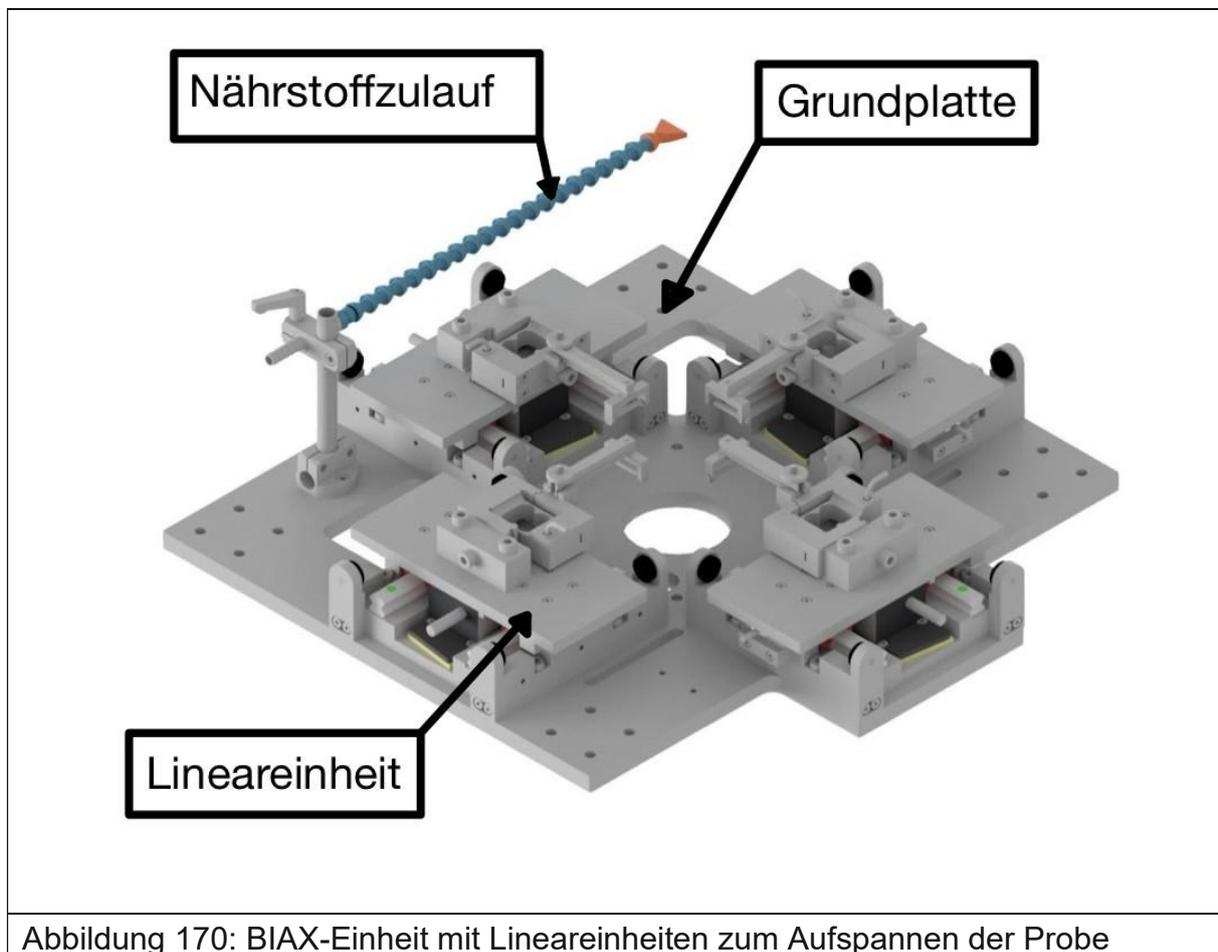


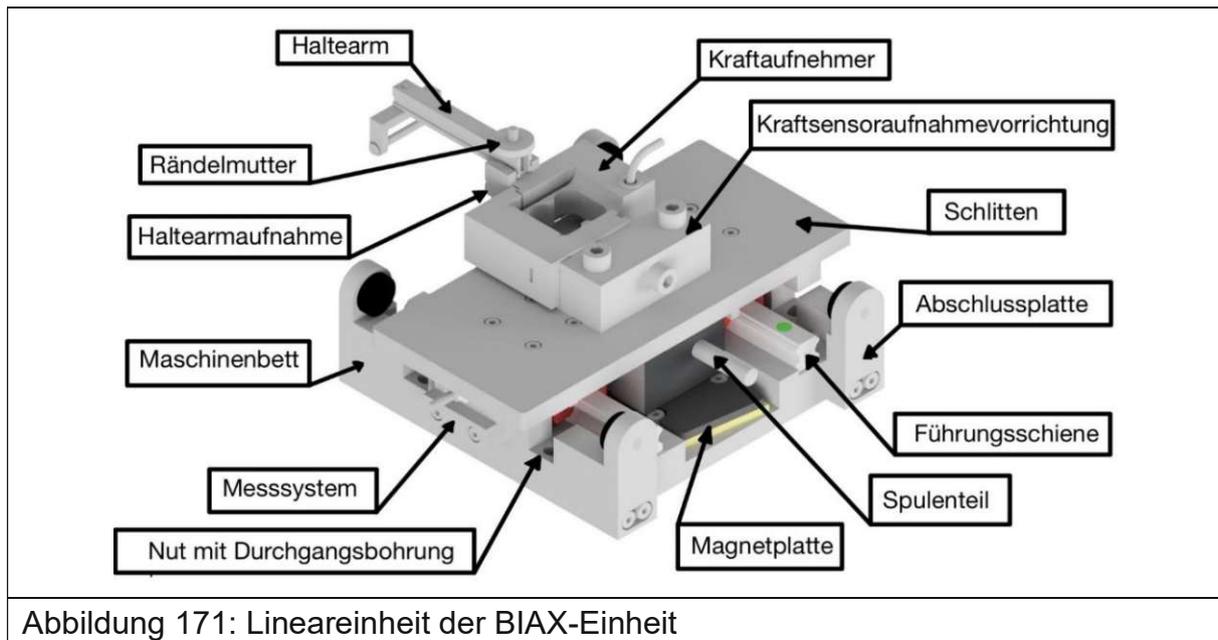
Abbildung 170: BIAX-Einheit mit Lineareinheiten zum Aufspannen der Probe

Lineareinheit

Grundsätzlich sind die einzelnen Lineareinheiten der BIAX-Einheit in der Gestalt sehr ähnlich zu denen der TAU-Einheit aufgebaut (siehe Abbildung 171). Damit werden die gleichen Bestrebungen, wie bei der Lineareinheit x- bzw. y-Richtung verfolgt. Entsprechend dieser Bestrebungen wird das Stirnprofil des Maschinenbetts bzw. des Schlittens gleich zu dem der Lineareinheit der TAU-Einheit gehalten. Es wird ausschließlich deren Länge an die Gegebenheiten der BIAX angepasst. In den beiden stufenförmigen Erhöhungen entlang der Längsseiten sind vier Nuten mit Durchgangsbohrungen angebracht. Diese Durchgangsbohrungen nehmen Zylinderschrauben zur Befestigung der Lineareinheit an der Grundplatte. Die Durchgangsbohrungen sind dabei so positioniert, dass die zugehörigen Zylinderschrauben ohne Abnehmen des Schlittens erreichbar sind, um die Montage bzw. Demontage der Lineareinheiten möglichst einfach zu gestalten. Als elektrischer Antrieb sind ähnlich zur TAU-Einheit ebenfalls ein Linearmotor des Herstellers „Beckhoff“ vorgesehen. Im Unterschied zur TAU-Einheit, reicht aber bei dieser Lineareinheit aufgrund des geringeren Verfahrenweges eine einzelne Magnetplatte aus. Die zugehörige Berechnung zur Bestimmung der Magnetplattenanzahl befindet sich im Anhang. Normalerweise ist es vorteilhafter, das Spulenteil am ruhenden Maschinenteil zu befestigen, damit so auch das zugehörige Leistungskabel ruht und damit ein Scheuern der Kabelhülle vermieden wird. Zu diesem Zweck müsste das Spulenteil am ruhenden Maschinenbett und die Magnetplatte am beweglichen Schlitten positioniert werden. Diese Anordnung ist aber aufgrund der Schlittenlänge und der für den Verfahrenweg notwendigen Magnetplatte nicht möglich. Um die Magnetplatte am Schlitten anbringen zu können, wäre ein längeres Maschinenbett bzw. ein längerer Schlitten notwendig. Für diese reicht aber der Bauraum in der Werkbank nicht aus.

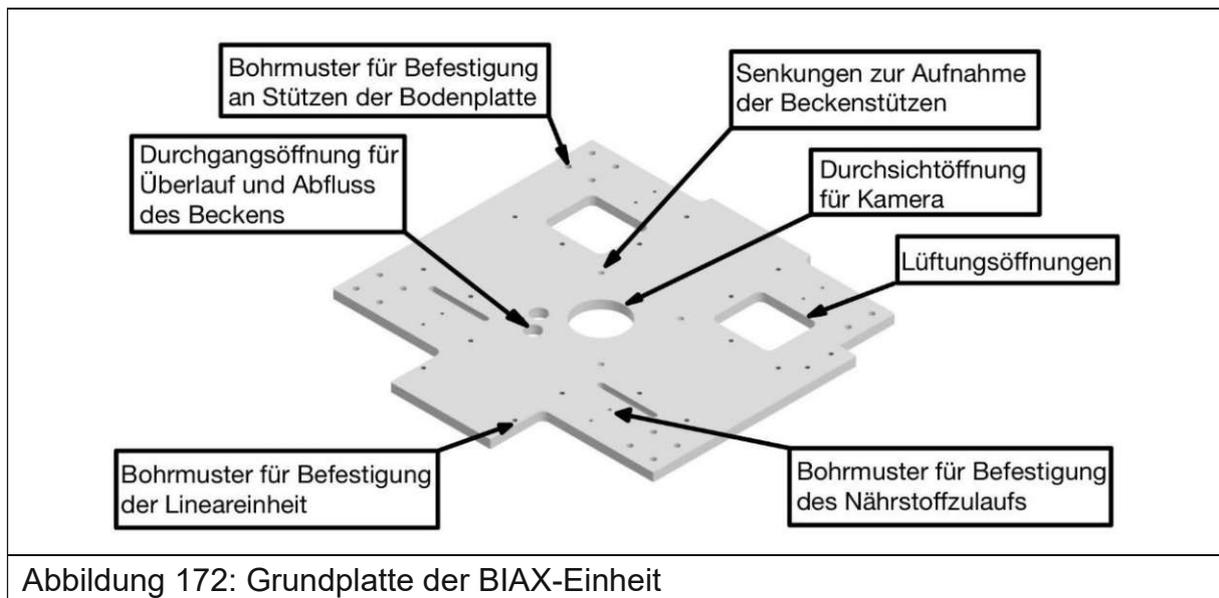
Das Messsystem bleibt ebenfalls gleich zu dem der TAU-Einheit. Obwohl ein geringer Messweg gefordert ist, wird im Sinne der Gleichteileverwendung eine Magnetmaßstablänge von 100mm beibehalten. Ebenfalls wird die Schlittenlagerung mit Hilfe von zwei Profilschienenführungen beibehalten. Im Unterschied zur TAU-Einheit wird bei dieser Lineareinheit pro Führungsschiene nur mehr ein Laufwagen benötigt. Zusätzlich trägt der Schlitten eine quaderförmige Kraftsensoraufnahmevorrichtung, die mittels zwei Zylinderschrauben an diesem angeschraubt wird. Die Kraftsensoraufnahmevorrichtung nimmt einen s-förmigen

Kraftaufnehmer vom Typ „S2M“ des Herstellers „HBM“ mit einer Empfindlichkeit von $0,2 \text{ mV}/(\text{V} \cdot \text{N})$ auf (HBM 2021, S. 3). Am Kraftaufnehmer ist die Haltearmaufnahme aus Edelstahl befestigt. Die Gestalt der Haltearmaufnahme bzw. der Haltearme ist an die Geometrie der bestehenden angepasst, um das bestehende Tragevorrichtung weiterverwenden zu können. Sowohl die Kraftsensoraufnahme als auch die Haltearmaufnahme und der Haltearm bestehen aus Edelstahl vom Typ „EN 1.4571“, da sich diese in unmittelbarer Nähe zum Becken befinden.



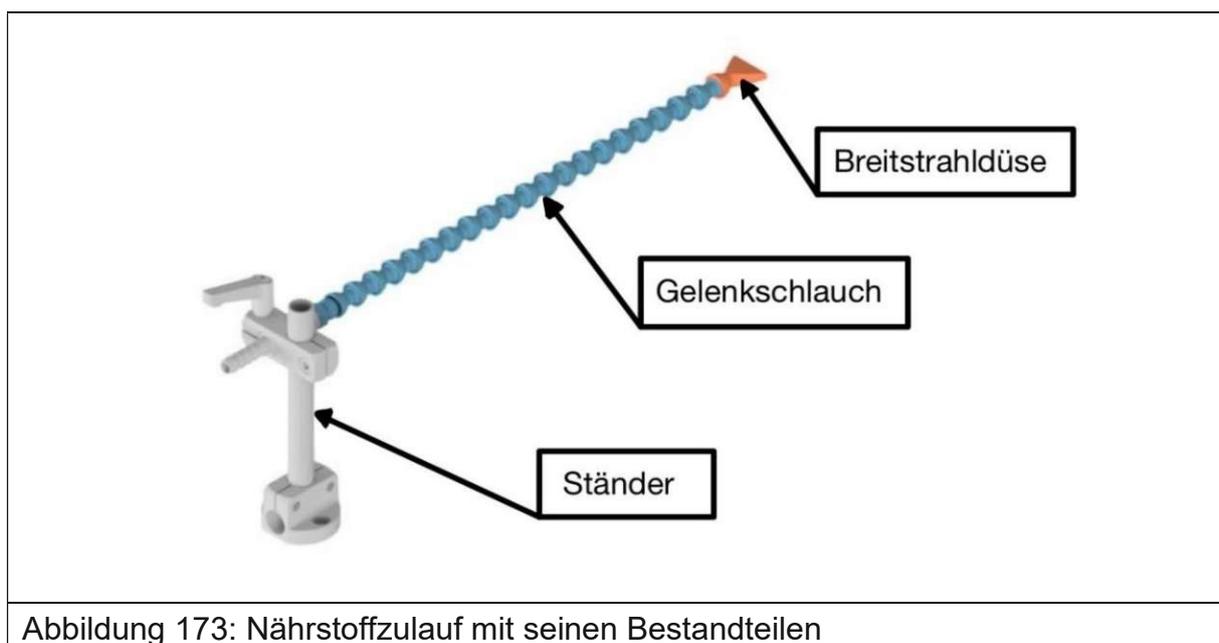
Grundplatte

Die Grundplatte dient zur Aufnahme der vier Lineareinheiten bzw. der Nährstoffzufuhr und des Beckens. Diese besteht aus einer 15mm dicken Aluminiumplatte (EN AW 5083), die mit verschiedenen Öffnungen und Bohrmustern versehen ist (siehe Abbildung 172). In der Mitte der Aluminiumplatte befindet sich eine zentrale Durchsichtöffnung, die der Kamera eine Sicht auf die Probe ermöglichen soll. Um die Durchsichtöffnungen befinden sich vier weitere Öffnungen, die quadratisch bzw. schlitzförmig ausgeführt sind. Diese dienen besserer Luftführung und sollen die Umströmung des Bereichs unterhalb der Grundplatte verbessern.



Nährstoffzulauf

Der Nährstoffzulauf dient dazu, die Probe des Prüfvorgangs gezielt mit frischer Nährstofflösung zu umspülen. Der Nährstoffzulauf besteht vollständig aus Normteilen, die normalerweise für die Schmierung von Werkstücken in Werkzeugmaschinen verwendet werden (siehe Abbildung 173). Das zentrale Element des Nährstoffzulaufs bildet der Gelenkschlauch, der an einem Ende eine Breitstrahldüse trägt und von einem Ständer getragen wird. Die Grundplatte ist mit einem Bohrmuster versehen, das ermöglicht den Ständer des Nährstoffzulaufs wahlweise an vier verschiedenen Positionen zu befestigen.



7.9 Grobgestalten weiterer Hauptfunktionsträger

Nach dem Entwurf der gestaltungsbestimmenden Hauptfunktionsträger im vorigen Hauptarbeitsschritt, werden in diesem Hauptarbeitsschritt weitere Hauptfunktionsträger entworfen, die keinen wesentlichen Einfluss auf die Gestalt des vorläufigen Gesamtentwurfs haben. Im Falle des Prüfstands sind dies das Becken und der Kamerawagen.

7.9.1 Entwurf Becken

Das Becken nimmt die Nährstoffflüssigkeit auf, die notwendig ist, um die Blutgefäßprobe über längere Zeit am Leben zu erhalten. Die Geometrie ist indirekt durch die Anordnung und Größe der Lineareinheiten der BIAX-Einheit, durch die geforderten Verfahrenswege der Haltearme und durch die Position der Kamera am Prüfstand vorgegeben. Direkte Anforderungen betreffend den Beckenwerkstoff und den Glastyp können direkt aus der Anforderungsliste abgelesen werden.

7.9.1.1 Bestandteile des Beckens

Das Becken ist aus folgenden wesentlichen Bestandteilen aufgebaut (siehe Abbildung 174, 175)

- Wanne
- Deckflansch
- Dichtungen
- Schauglas
- Stützen
- Kleinteile (Verbindungsstücke, 3-Wegeventil, Schläuche)

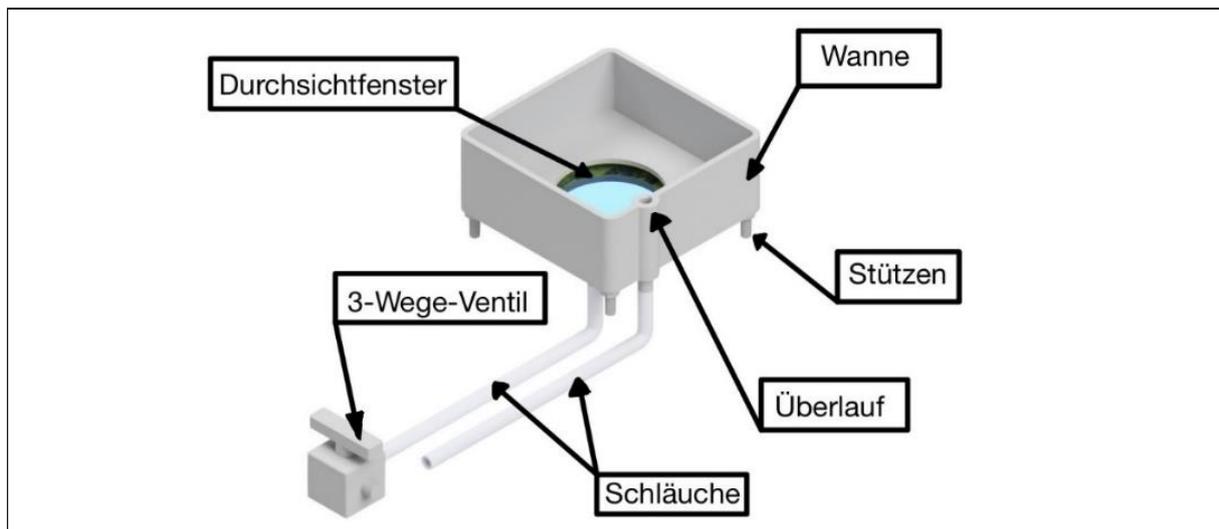


Abbildung 174: Becken mit seinen Bestandteilen

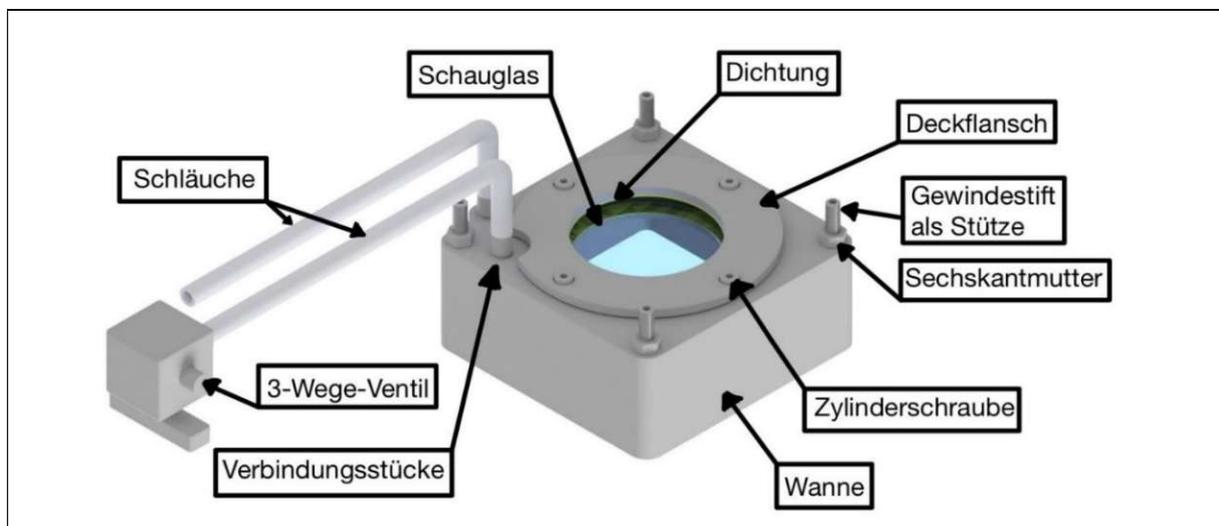


Abbildung 175: Rückansicht des Beckens. Die beiden PTFE-Dichtungen sind gelb dargestellt.

Wanne

Die Wanne hat einen quadratischen Grundriss und ist aus Edelstahl vom Typ „EN 1.4571“ ausgeführt. Der Boden sowie die Wand der Wanne bilden ein zusammenhängendes Teil, das aus einem vollen Edelstahlblock gefräst wird. Der Boden der Wanne ist 14mm dick und besitzt mittig eine runde Öffnung zur Aufnahme des Durchsichtfensters. Weiters ist der Überlauf des Beckens direkt in die Wand integriert und die Ecken der Wand sind rund ausgeführt, um die Reinigung des Beckens zu erleichtern. Darüber hinaus sind im Boden Bohrmuster zur Aufnahme des Deckflansches, der Stützen und der beiden Einschraubverbindungsstücke zum Schlauchanschluss vorgesehen.

Dichtung

Es werden zwei Dichtungen zum Abdichten des Schauglases verwendet. Die erste Dichtung befindet sich zwischen dem Schauglas und dem Wannenboden. Die zweite Dichtung befindet sich zwischen dem Schauglas und dem Deckflansch (siehe Abbildung 175). Beide Dichtungen bestehen aus PTFE. Dieser Werkstoff widersteht sowohl der hohen Temperatur im Autoklav (120°) als auch den korrosiven Eigenschaften des Formaldehyds.

Deckflansch

Mit Hilfe des Deckflansches wird die für die Dichtwirkung der Dichtungen notwendige Druckkraft aufgebracht. Der Deckflansch besteht aus einer runden Edelstahlronde, die mittig eine Öffnung für das Durchsichtfenster besitzt und mit vier Durchgangsbohrungen versehen ist (siehe Abbildung 175). Dieser besteht ebenfalls aus Edelstahl vom Typ „EN 1.4571“.

Schauglas

Das Schauglas hat einen Durchmesser von 100mm und ist 10mm stark (siehe Abbildung 175). Da dieses kratzfest, temperaturbeständig und beständig gegen die aggressiven Eigenschaften des Formaldehyds sein soll, wird dieses aus Borsilikatglas ausgeführt. Dieses Glas ist genormt nach der DIN 7080 und wird häufig bei Schauglasarmaturen in der chemischen Industrie verwendet.

Stützen

Die Wanne des Beckens wird durch vier Stützen gehalten (siehe Abbildung 175). Diese sind als Edstahlgewindestifte ausgeführt, die direkt in Sacklöcher in der Wanne eingeschraubt werden können und durch jeweils eine Sechskantmutter gegen Verdrehen gesichert werden.

Kleinteile

In die Wanne werden zwei Einschraubverbindungsstücke eingeschraubt, an diese PTFE-Schläuche für den Ablauf bzw. den Überlauf angeschlossen werden (siehe Abbildung 175). Der PTFE-Schlauch des Abflusses mündet in ein 3-Wegeventil, das ebenfalls aus PTFE besteht. Dieses ist notwendig, um den Formaldehydstrom oder Nährstoffflüssigkeitsstrom zu steuern.

7.9.2 Entwurf Kamerawagen

Der Kamerawagen befindet sich zwischen den beiden Längsträgern der Bodenplatte und trägt eine Industriekamera. Diese Kamera beobachtet die Probe über einen Umlenkspiegel unter dem Durchsichtfenster im Wannenboden. Mit den Messdaten der Kamera und der zugehörigen Software werden die Streckungen der Probe bestimmt. Vor allem die Anforderung der Beweglichkeit der Kamera in sechs Freiheitsgraden bestimmt den Entwurf des Kamerawagens.

7.9.2.1 Bestandteile des Kamerawagens

Der Kamerawagen ist aus folgenden wesentlichen Baugruppen aufgebaut (siehe Abbildung 176):

- Wagengestell
- Zweiachssystem
- Kamerahalterung
- Spiegeleinheit
- Messeinrichtung

Der Kamerawagen lässt sich entlang zweier Führungsschienen soweit unter die BIAX-Einheit schieben, bis sich der Umlenkspiegel unter der zentralen Öffnung der BIAX-Einheit befindet. In dieser Stellung wird der Umlenkspiegel fest mit der BIAX-Einheit verbunden. Die Position der Kamera samt dem Objektiv lässt sich über einen Gelenkkopf und drei Linearmodule in sechs Freiheitsgraden verstellen.

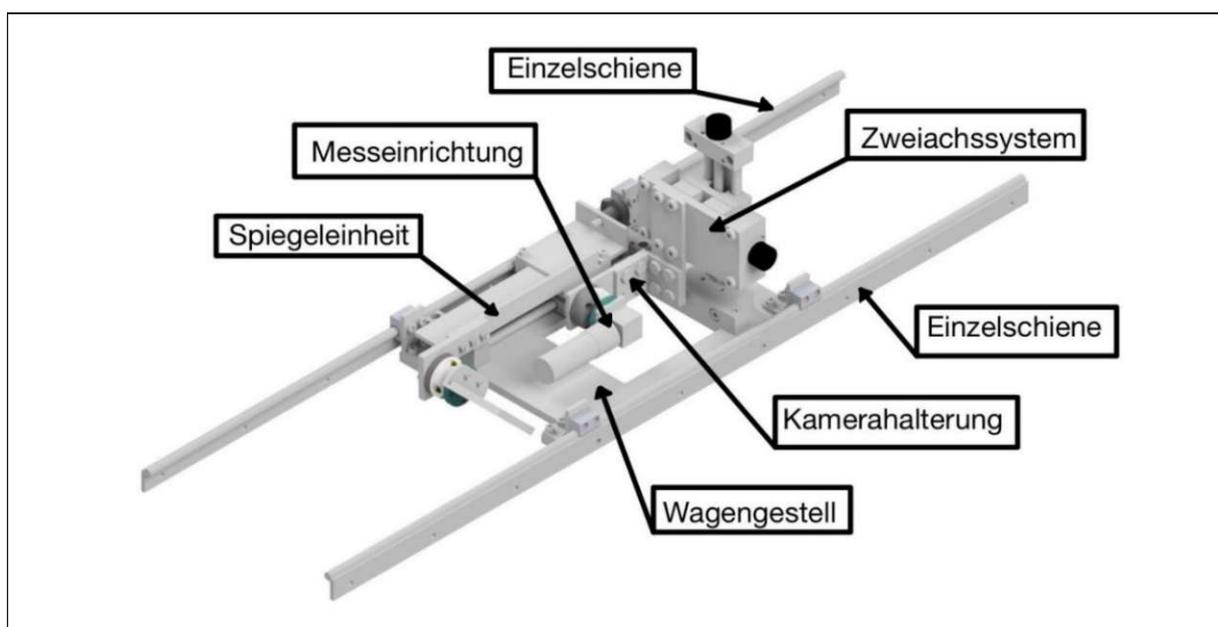


Abbildung 176: Baugruppen und Einzelteile des Kamerawagens

Wagengestell

Das zentrale Element des Kamerawagens bildet das Wagengestell. Dieses besteht aus einer 10mm dicken Aluminiumplatte vom Typ „EN AW 5083“, die auf ihrer Oberseite vier Lineargleitlager des Herstellers „IGUS“ trägt (Abbildung 177). Die Lineargleitlager sind als Gehäuselager ausgeführt und werden zudem in zwei Festlager bzw. Loslager unterschieden. Jeweils zwei Loslager bzw. zwei Festlager gleiten entlang einer runden Einzelschiene. Bei der Anordnung bzw. Auswahl der Lager muss unbedingt eine mögliche Funktionsbehinderung durch Verklemmen bedacht werden. Der rechnerische Nachweis hierfür befindet sich im Anhang. Die Einzelschienen befinden sich an den Innenseiten der beiden Längsträger der Bodenplatte des Rahmens. Dort werden diese über Nutensteine und Zylinderschrauben in der Profilmutter der Längsträger befestigt. Die Gehäuselager werden über Winkelprofile mit der Wagengrundplatte verbunden. In der Mitte der Wagengrundplatte befindet sich eine rechteckige Öffnung, um den nötigen Freiraum zur Höheneinstellung der Kamera zu erreichen. An einem Ende der Wagengrundplatte ist zudem ein Bügelgriff befestigt, mit dem der Kamerawagen manuell bewegt werden kann. Die Länge der Wagengrundplatte ist so gewählt, dass der zusammengebaute Kamerawagen nachträglich in den Freiraum zwischen der BIAX-Einheit und dem rechten Rahmenstützen eingesetzt werden kann.

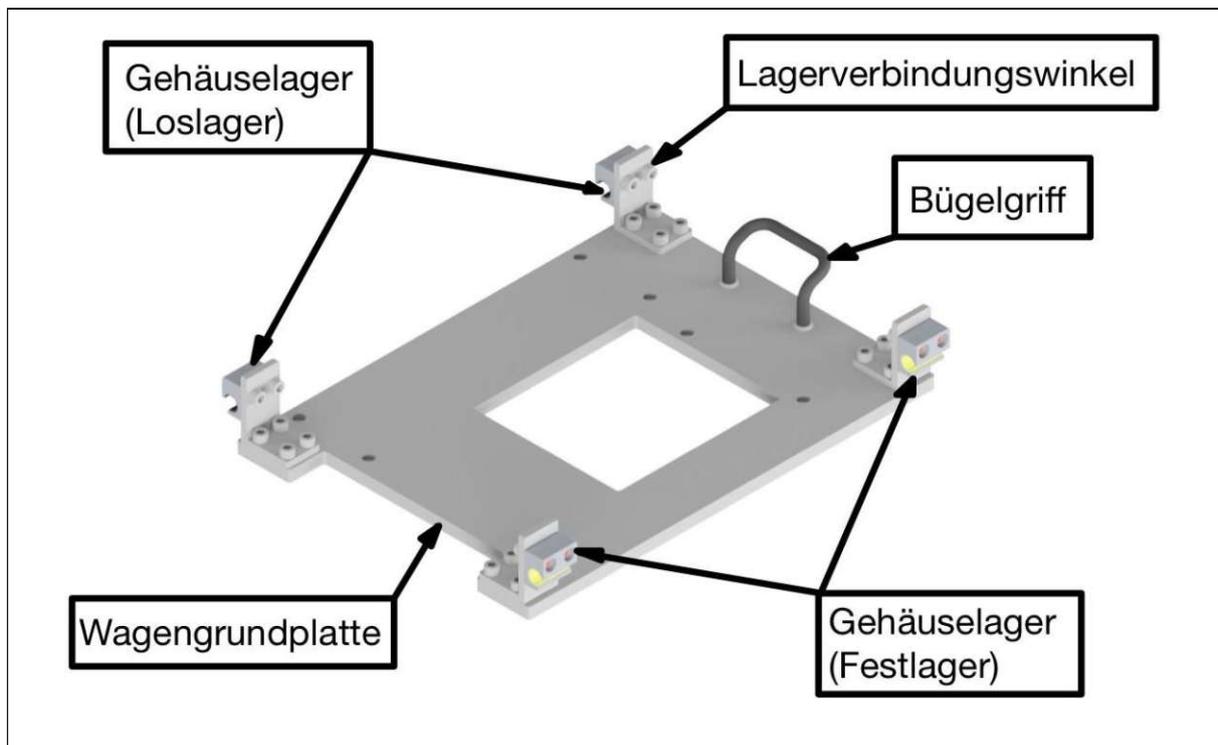
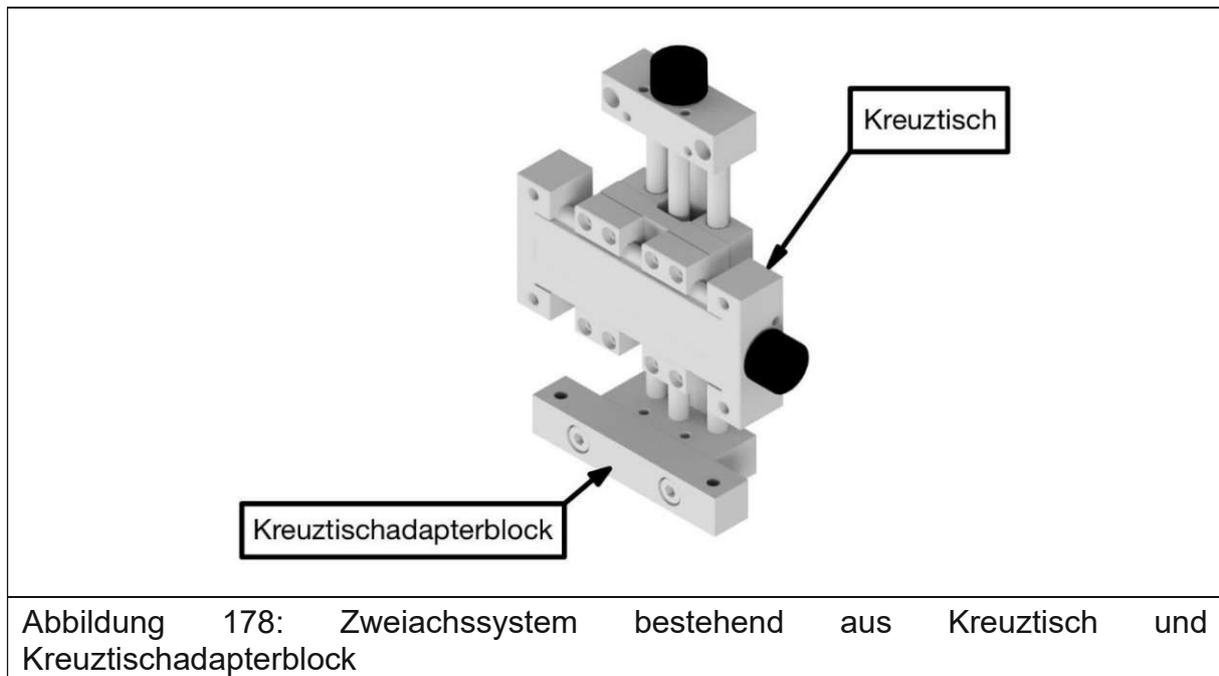


Abbildung 177: Wagengestell mit seinen Bestandteilen

Zweiachssystem

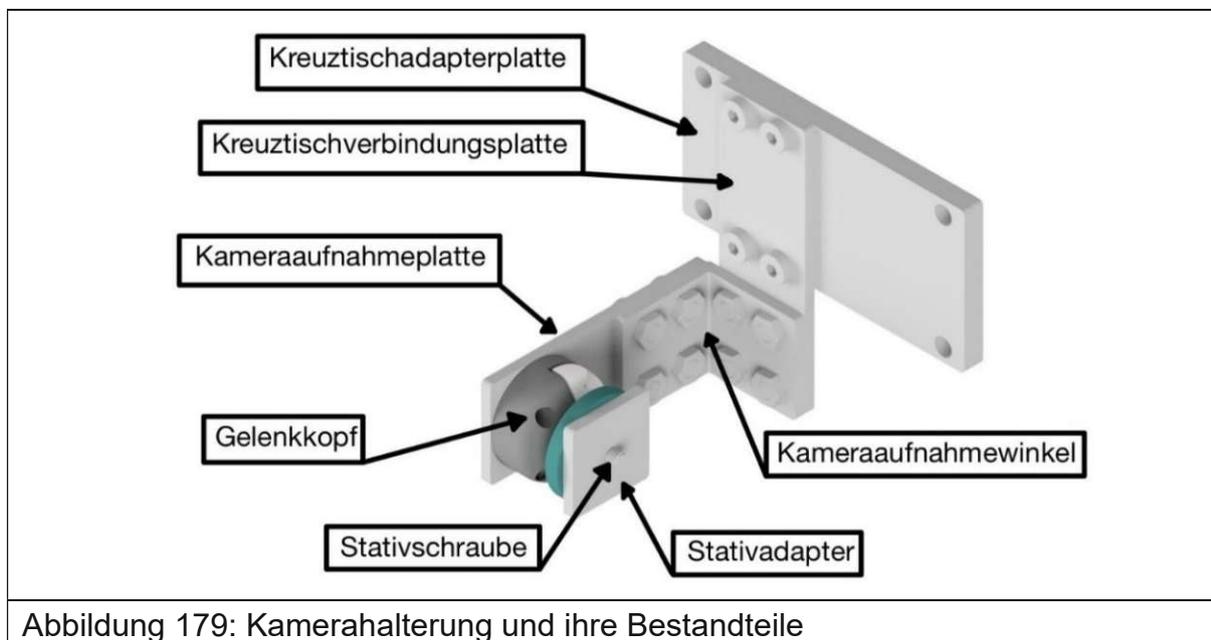
Das Zweiachssystem besteht aus zwei Linearmodulen mit Trapezspindeln des Herstellers „IGUS“, die kreuzförmig miteinander verbunden sind (siehe Abbildung 178). Mit diesem kann die Kamera horizontal 30mm (+-15mm) und vertikal 90mm (+-45mm) verfahren werden. Über einem Kreuztischadapterblock und Zylinderschrauben wird das Zweiachssystem mit dem Wagengestell verschraubt.



Kamerahalterung

Aufgrund des vorgegebenen Abstands zwischen dem Kameraobjektiv und der Probe, muss die Kamera unter der Grundplatte der BIAX-Einheit Platz finden. Das zum horizontalen bzw. vertikalen Positionieren der Kamera notwendige Zweiachssystem wäre aber zu groß, um dieses ebenfalls unterhalb der BIAX-Einheit unterzubringen. Aus diesem Grund ist eine winkelförmige Verbindung zwischen dem Gelenkkopf der Kamera und dem Zweiachssystem zu schaffen, die das vertikale bzw. horizontale Verfahren der Kamera unterhalb der BIAX-Einheit ermöglicht. Diese Verbindung wird durch die Kamerahalterung hergestellt (siehe Abbildung 179). Die Kamerahalterung besteht aus einer Kreuztischadapterplatte, einer Kreuztischverbindungsplatte, einem Kameraaufnahmewinkel, einer Kameraaufnahmeplatte und einem Gelenkkopf. Weiters ist die Kamerahalterung so gestaltet, dass diese aus vielen aber dafür geometrisch sehr einfachen Bauteilen besteht, die mit einem sehr niedrigem Fertigungsaufwand verbunden sind. Diese Bauteile sind ausschließlich Lochplatten

bzw. Winkel, die durch Schrauben miteinander verbunden werden. Der Abstand zwischen der Probe und dem Objektiv kann über das Linearmodul verändert. Im Betriebspunkt beträgt der Abstand von dem Objektiv zur Probe 246mm. Dieser Abstand kann auf einen Minimalabstand von 196mm reduziert werden oder auf einen Maximalabstand von 296mm erhöht werden.



Spiegeleinheit

Die Spiegeleinheit trägt den Umlenkspiegel und ermöglicht das Einstellen des Abstands zwischen Probe zu Kameraobjektiv (siehe Abbildung 180). Während des Verstellvorgangs ist die Spiegeleinheit formschlüssig mit der BIAX-Einheit verbunden und das Wagengestell mit dem Zweiachssystem und der Kamerahalterung bewegt sich relativ dazu. Die Spiegeleinheit besteht aus einem Umlenkspiegel, einer Spiegelbefestigung, einem Gelenkkopf, einem Spiegeladapter, einer Versteifung, einer Zwischenplatte, einem Linearmodul, einer Griffhalterung und einem Dreisterngriff. Der Umlenkspiegel ist auf der Spiegelbefestigung festgeklebt. Diese ist wiederum mit dem Gelenkkopf verschraubt, der eine Bewegung des Spiegels in drei Freiheitsgraden ermöglicht. Der Gelenkkopf ist auf einem Spiegeladapter befestigt, die als Lochplatte ausgeführt ist. Mit Hilfe von drei Zylinderschrauben wird der Spiegeladapter an einer Versteifung, die aus einem Winkelprofil besteht, festgeschraubt. Die Versteifung wird zusammen mit der Zwischenplatte und der Griffhalterung am Schlitten des Linearmoduls des Herstellers „IGUS“ angeschraubt. Die Griffhalterung ist winkelförmig ausgeführt und nimmt einen Dreisterngriff auf.

Dieser Dreisterngriff ist mit einem Gewinde versehen und verschraubt die Griffhalterung mit einem Anschlag an der BIAX-Einheit. Der Anschlag ist ein winkelförmiges Profil, das an einem Schenkel mit einer Gewindedurchgangsbohrung versehen ist und am zweiten Schenkel zwei Bohrungen zur Befestigung an der BIAX-Grundplatte besitzt. Das Linearmodul der Spiegeleinheit wird mit vier Zylinderschrauben am Wagengestell festgeschraubt.

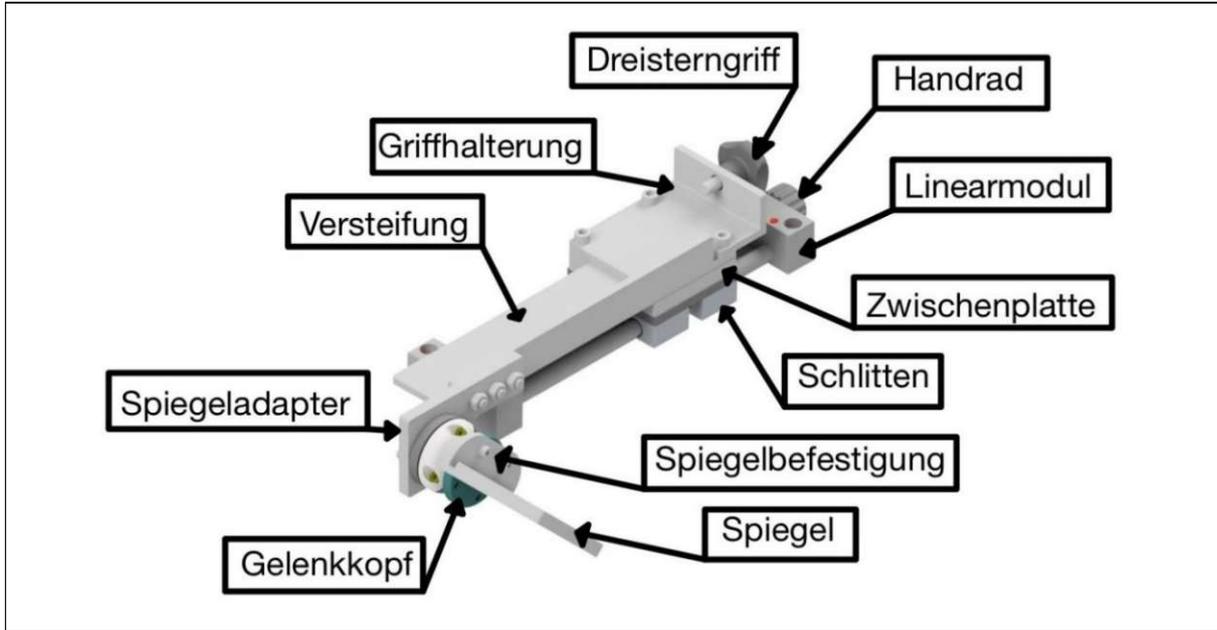


Abbildung 180: Spiegeleinheit und ihre Bestandteile

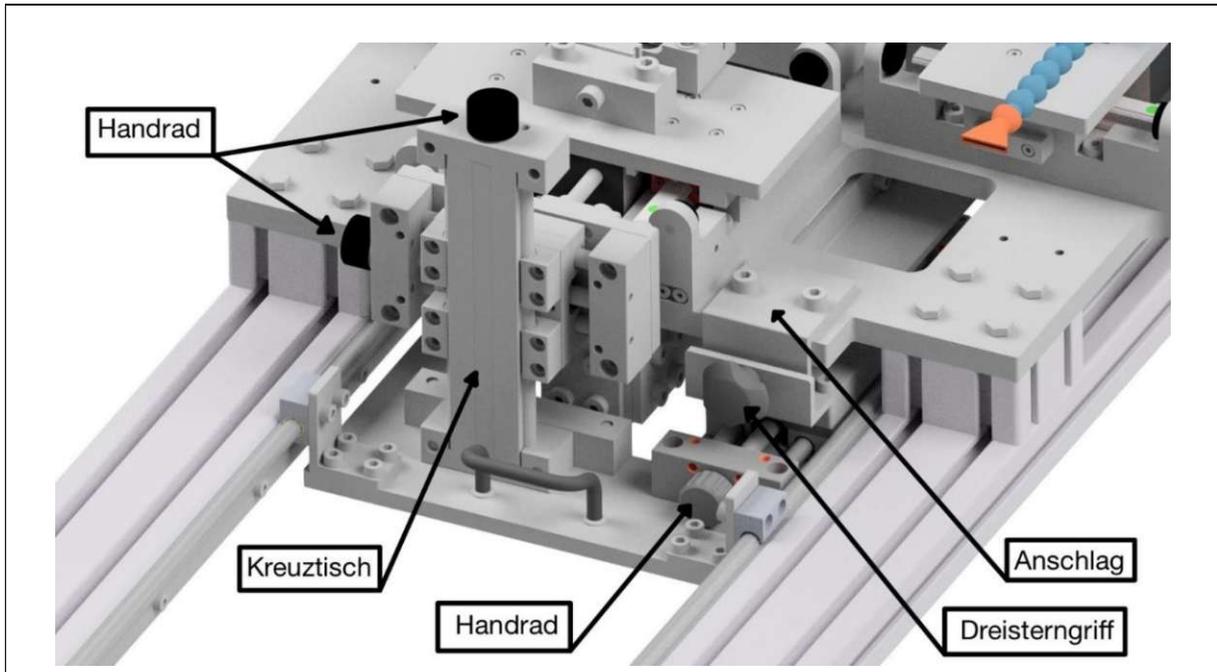


Abbildung 181: Kamerawagen in Betriebsstellung. Mit Hilfe des Dreisterngriffs wird der Kamerawagen an der Grundplatte der BIAX-Einheit festgeschraubt.

Die zum Fokussieren der Kamera notwendige Abstand zwischen der Probe und dem Objektiv, lässt sich durch das Handrad am Linearmodul einstellen (siehe Abbildung 181). Beim Einstellvorgang bleibt der Spiegel ortsfest unter der BIAX-Einheit stehen, während sich der Kamerawagen einschließlich Kamera relativ zum Spiegel bewegt.

Messeinrichtung

Die Messeinrichtung besteht aus einer Industriekamera vom Typ „UI3070CP-M-HQ-Rev.2“ des Herstellers „IDS-Imaging“ (siehe Abbildung 182). An diese wird ein Objektiv vom Typ „1A1HB“ des Herstellers „Tamron“ mit einer Brennweite von 75mm und einem maximalen Bildkreis von 2/3“ angeschraubt. Zur Verbindung des Objektivs mit der Kamera wird zusätzlich ein Zwischenringset des gleichen Herstellers benötigt. Um die Kamera mit dem Gelenkkopf der Kamerahalterung verbinden zu können wird darüber hinaus ein Stativadapter vom Typ „USB3/GigE CP Rev.2“ mit zölliger Innensechskantschraube benötigt.

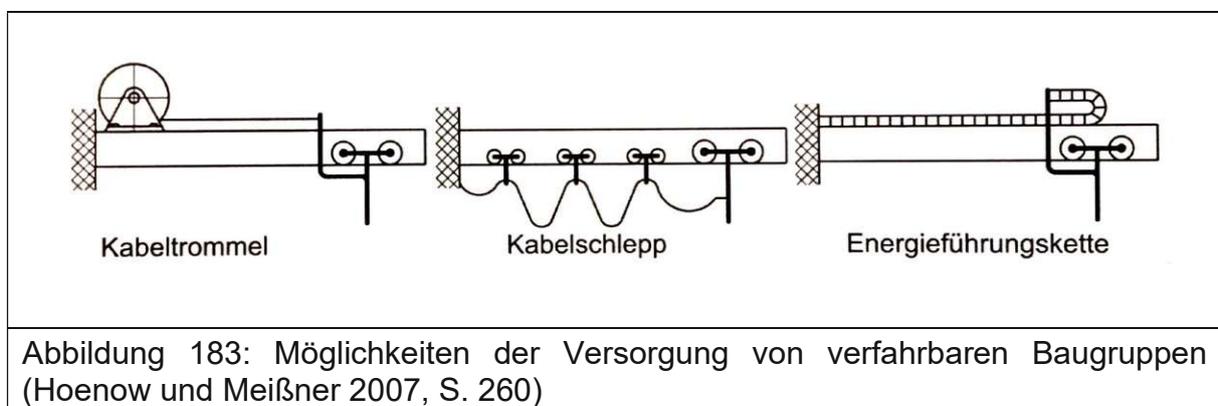


7.10 Lösungssuche für Nebenfunktionsträger

In diesem Hauptarbeitsschritt sollen diejenigen Funktionsträger gestaltet werden, die nicht unmittelbar zur Erfüllung der Gesamtfunktion beitragen. Die Unterscheidung zwischen Haupt- und Nebenfunktion ist oft nicht sehr eindeutig (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 45–46). Weiters wäre es falsch anzunehmen, Nebenfunktionen wären unwichtige bzw. unnötige Funktionen. Alle Funktionen des Systems sind wichtig. Die Unterscheidung zwischen Haupt-bzw. Nebenfunktion soll wiedergeben, wie viel Aufwand bei Lösungssuche und Gestaltung dafür notwendig ist (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 255). Im Fall des Prüfstands sind der Gondelpuffer und die Kabelführung Nebenfunktionsträger. Generell gilt für die Gestaltung der Nebenfunktionsträger, dass sich diese an die Gestalt der Hauptfunktionsträger anpassen müssen (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 45).

7.10.1 Entwurf Kabelführung

Die Energieführungskette ist das zentrale Bauteil der Kabelführung und stellt die Versorgung der TAU-Einheit sicher. Im Allgemeinen gibt es drei Möglichkeiten der Versorgung von beweglichen Baugruppen (siehe Abbildung 183). So kann zwischen Kabeltrommel, Kabelschlepp und Energieführungskette unterschieden werden. Für kleine Maschinen, wie im Fall des Prüfstands, eignet sich am besten eine Energieführungskette. Als Position der Energiekette ist der Längsträger an der vom Bediener abgewandten Seite der Bodenplatte ausgewählt worden. An dieser Stelle wird durch den Einbau der Energiekette die Zugänglichkeit der BIAX-Einheit und des Kamerawagens am wenigsten eingeschränkt.



7.10.1.1 Bestandteile der Kabelführung

Die Kabelführung des Prüfstands besteht aus folgenden wesentlichen Komponenten (siehe Abbildung 184):

- Energiekette
- Mitnehmerprofil
- Ablegeplatte und Ablegeplattenstütze

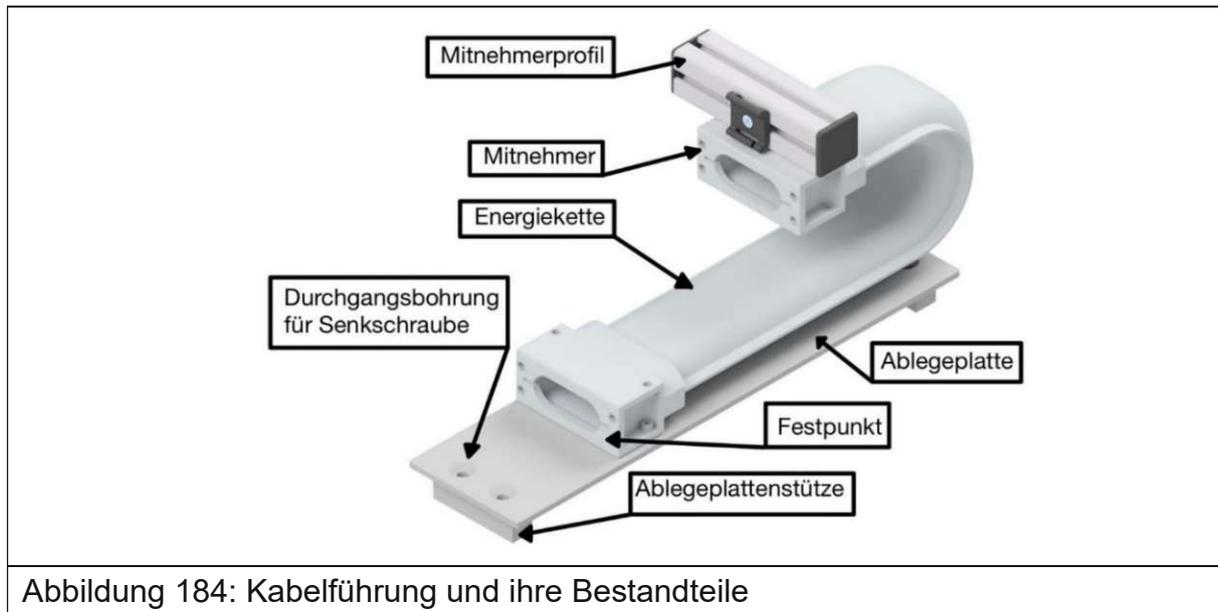


Abbildung 184: Kabelführung und ihre Bestandteile

Energiekette

Als Energiekette wird eine Kette des Herstellers „IGUS“ der Serie „SKS“ gewählt. Diese eignet sich besonders für Reinraumanwendungen und ist vollständig geschlossen. Da in der Energiekette sowohl Leistungskabel als auch Messkabel geführt werden, ist es zweckmäßig, den Abstand zwischen den verschiedenen Kabeltypen in der Energiekette möglichst groß zu halten. Zu diesem Zweck werden sogenannte Innenaufteilungselemente verwendet (siehe Abbildung 185). Diese bestehen aus einer Ober- bzw. Unterschale mit angegossenen vertikalen Trennsteg und einsteckbarem Zwischenboden. Diese

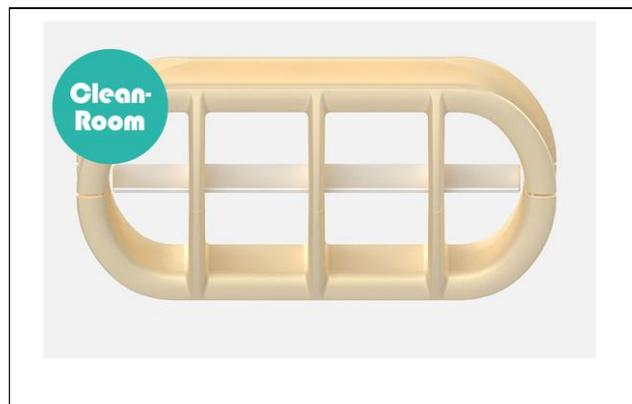


Abbildung 185: Innenaufteilungselement bestehend aus einer Ober- bzw. Unterschale mit Trennsteg und Zwischenboden (igus GmbH Germany 2021a)

Innenaufteilungselemente werden in äquidistanten Abständen in der Energiekette eingesetzt. Am beweglichen Ende der Energiekette befindet sich der Mitnehmer und am feststehenden Ende der Festpunkt. Sowohl der Mitnehmer als auch der Festpunkt besitzen Durchgangsbohrungen für die Befestigung an Maschinenteilen. Beim Gestalten der Energieführung ist besonders darauf zu achten, dass es bei freitragenden Anwendungen durch die Vorspannung der Energiekette zu einer Überhöhung des Obertrums kommt (siehe Abbildung 186). Dies bedeutet, die Einbauhöhe des Mitnehmers bleibt konstant, aber das Obertrum erhöht sich über die nominelle Einbauhöhe (H) des Mitnehmers. Die Überhöhung hängt von der horizontalen Position des Mitnehmers ab (igus GmbH Germany 2021b, S. 113). Weiters ist bei der Auswahl der Energiekette auch auf den minimalen Biegeradius der Kette zu achten. Wird dieser unterschritten, so kommt es zu großen Abnützerserscheinungen (igus GmbH Germany 2021b, S. 823). Weiters muss der Biegeradius der Leitungen in der Energiekette ebenfalls beachtet werden. Die für die Bestellung der Kette notwendigen Berechnungen sind im Anhang angegeben.

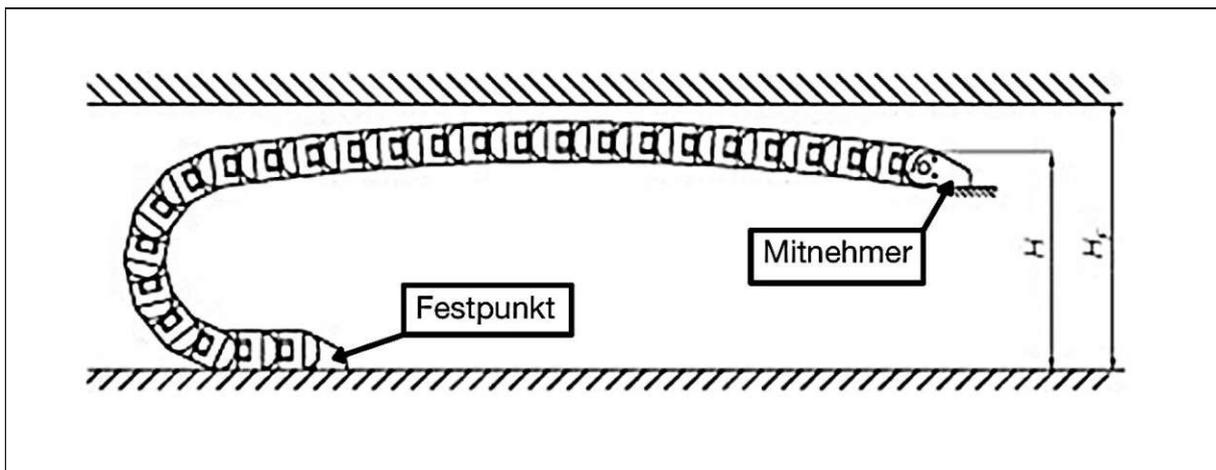


Abbildung 186: Überhöhung des Obertrums durch die Vorspannung über die nominelle Höhe (H). Bei der Gestaltung ist besonders darauf zu achten, dass die erforderliche Einbauhöhe (H_f) eingehalten wird. Verändert nach (igus GmbH Germany 2021b, S. 113).

Mitnehmerprofil

Das Mitnehmerprofil besteht aus einem Konstruktionsprofil des Herstellers „ITEM“ und wird mittels zwei Winkelsätzen am unteren Gondellängsträger befestigt. Der Mitnehmer der Energiekette wird über Schrauben und Nutensteine in der Profilmutter des Mitnehmerprofils befestigt.

Ablegeplatte und Ablegeplattenstütze

Die Ablage dient als Auflagefläche auf dem das Untertrum der Energiekette abrollen kann. Diese besteht aus einer 5mm dicken Aluminiumplatte vom Typ „EN AW 5083“, die über zwei Ablegeplattenstützen und vier Senkschrauben am Prüfstandrahmen befestigt wird. Weiters wird der Festpunkt der Energiekette über zwei Zylinderschrauben an der Ablage festgeschraubt. Die Ablage hat Rechteckform, ist aber zusätzlich mit einer Tasche versehen, um die Zugänglichkeit des Dreisterngriffs zu erhöhen.

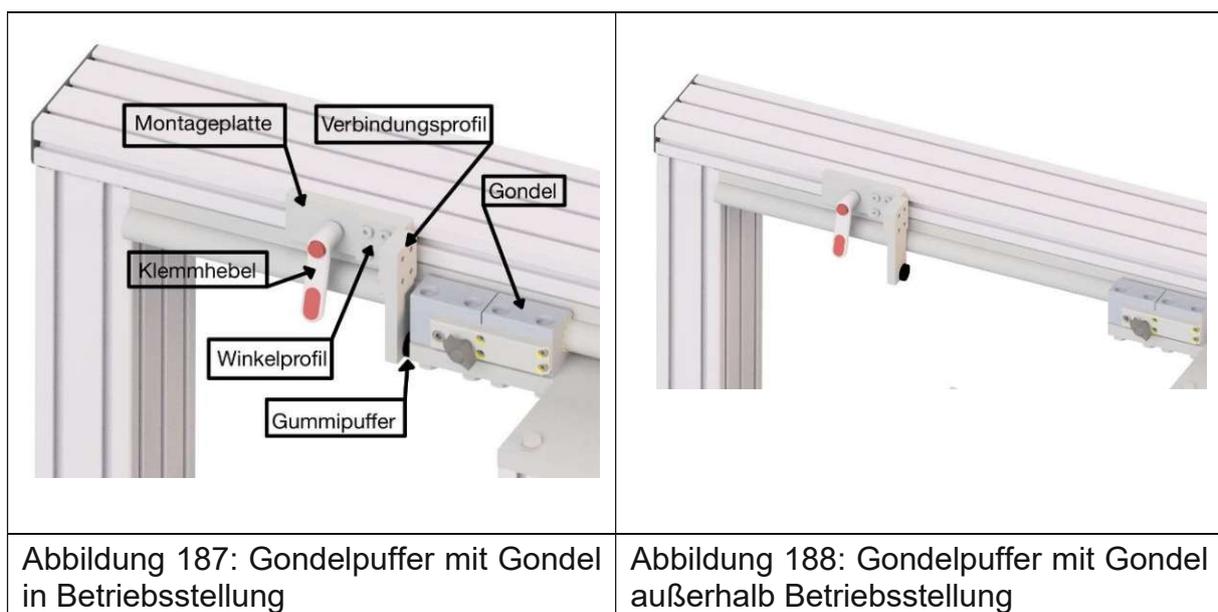
7.10.2 Entwurf Gondelpuffer

Der Gondelpuffer ist ebenfalls ein Nebenfunktionsträger. Mit Hilfe des Gondelpuffers soll das schnelle Positionieren der Gondel mitsamt der TAU-Einheit über der Probe ermöglicht werden. Die Bestrebung bei der Gestaltung sind vor allem die Verwendung einfacher Komponenten bzw. bereits verwendeter Komponenten. Darüber hinaus muss dieser mit dem bestehenden Rahmen kompatibel und gut zugänglich sein.

7.10.2.1 Bestandteile des Gondelpuffers

Der Gondelpuffer besteht aus folgenden wesentlichen Komponenten (siehe Abbildung 187, 188):

- Montageplatte
- Winkelprofil
- Verbindungsprofil mit Gummipuffer



Montageplatte

Die Montageplatte wird durch ein Aluminiumfrästeil aus Aluminium vom Typ „EN AW 5083“ gebildet. Auf einer Seite trägt diese zwei Vorsprünge, um damit in der Profilnut des oberen Rahmenlängsträger verfahren werden zu können. Zusätzlich ist die Montageplatte mit fünf Bohrungen versehen. Eine dieser Bohrungen befindet sich in der Symmetrieachse der Montageplatte. Durch diese wird ein Klemmhebel durchgeführt. Dieser Klemmhebel trägt an seinem Gewinde einen Nutenstein, der ebenfalls in der Profilnut des oberen Rahmenlängsträgers gleitet. Durch Anziehen des Klemmhebels lässt sich eine kraftschlüssige Verbindung zwischen Montageplatte und Rahmen herstellen. Die übrigen vier Bohrungen der Montageplatte sind mit Gewinden versehen zur Befestigung des Montagewinkels an der Montageplatte angeschraubt.

Montagewinkel

Der Montagewinkel ist ein Winkelprofil (40x40x5mm) und besteht wie die Montageplatte aus Aluminium vom Typ „EN AW 5083“. Die beiden Schenkel sind mit jeweils vier Durchgangsbohrungen versehen. Das Winkelprofil verbindet über Zylinderschrauben die Montagplatte mit dem Verbindungsprofil. Bei der Gestaltung ist darauf geachtet worden, dass der Schraubentyp bereits an einer Stelle Verwendung gefunden hat.

Verbindungsprofil mit Gummipuffer

Das Verbindungsprofil ebenfalls aus Aluminium vom Typ „EN AW 5083“ wird an den Montagewinkel angeschraubt und trägt einen Gummipuffer. Dieser ist vom gleichen Typ, wie jene die bereits in den Lineareinheiten der TAU- bzw. BIAX-Einheit verwendet werden.

7.11 Feingestalten der Hauptfunktionsträger

In diesem Hauptarbeitsschritt wird eine Feingestaltung der Hauptfunktionsträger Rahmen und Gondel durchgeführt. Auch wird in diesem Arbeitsschritt unter Beachtung der Nebenfunktionsträger eine Feingestaltung der BIAX-Einheit durchgeführt. Der Nebenfunktionsträger Kabelführung hat Auswirkungen auf den Hauptfunktionsträger BIAX-Einheit. Die Aufgabe dieses Arbeitsschrittes ist es nun, gewisse Bereiche der Hauptfunktionsträger konstruktiv an die Nebenfunktionsträger anzupassen (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 308–309).

7.11.1 Feingestaltung Rahmen und Gondel

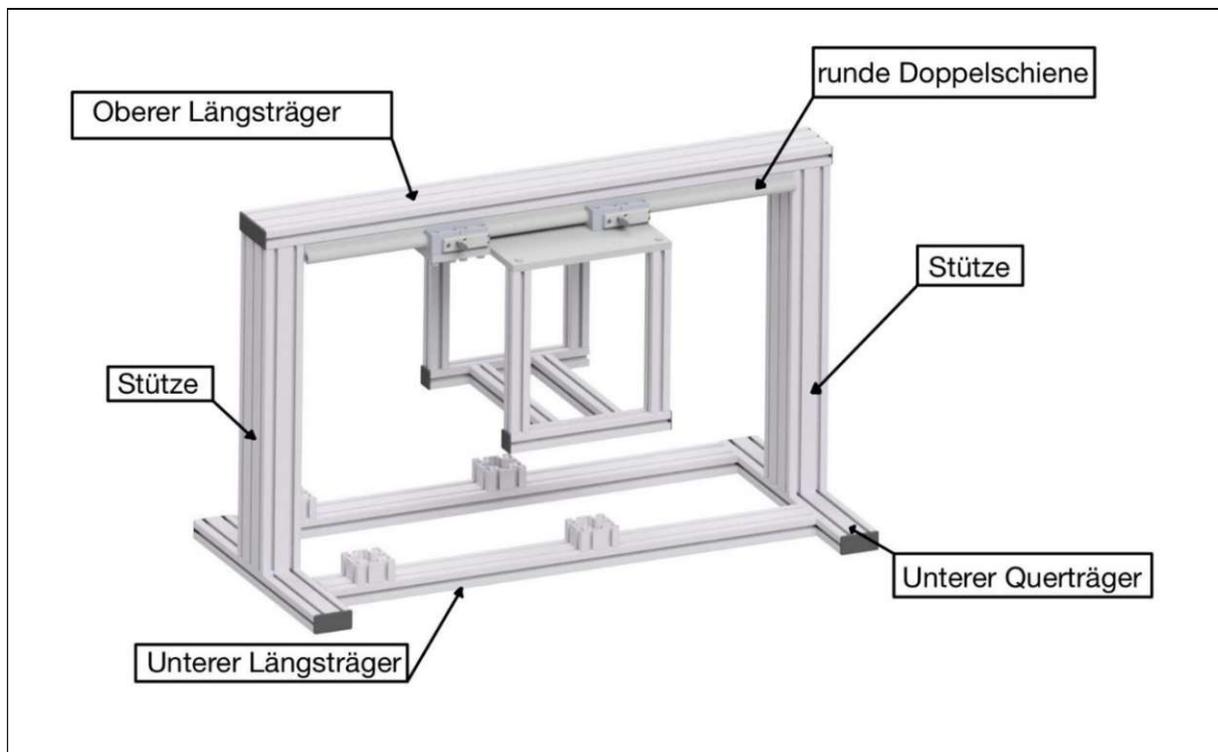


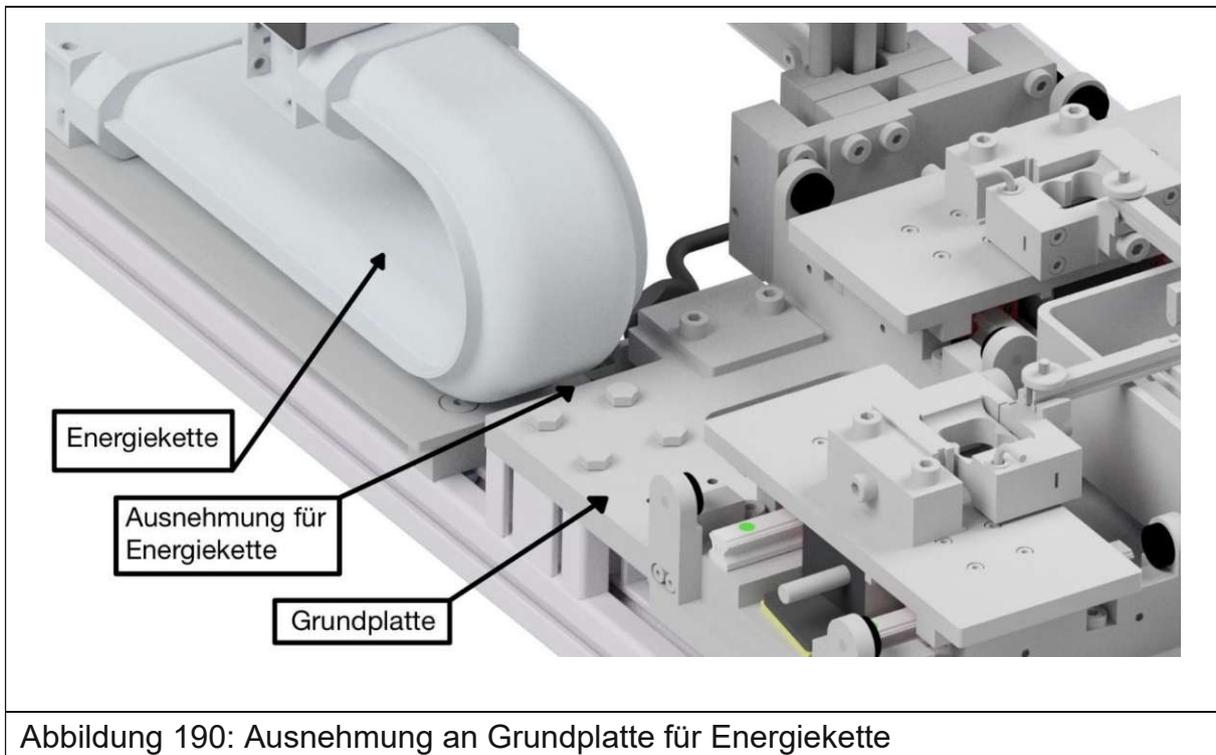
Abbildung 189: Feingestaltung des Rahmens und der Gondel

Im Zuge der Feingestaltung des Rahmens werden die zwei Längsträger zur Aufnahme der runden-Doppelschiene durch ein einzelnes Konstruktionsprofil des Herstellers „ITEM“ mit einem Querschnitt von 120x40mm ersetzt (siehe Abbildung 189). Auch wird der Querschnitt der beiden vertikalen Stützen von 80x80mm auf 120x80mm erhöht. Weiters wird die Gondeldeckenplatte verkürzt und einer der beiden Vorsprünge zur Aufnahme der Gehäuselager weggelassen. Dadurch wird ein größerer Verfahrensweg der Gondel ermöglicht.

Ergänzende Berechnungen bezüglich der Durchbiegung des Längsträgers, der Eigenkreisfrequenz des Rahmens und der Gehäuselager sind im Anhang angegeben.

7.11.2 Feingestaltung der BIAX-Einheit

Um den notwendigen Bauraum zur Unterbringung der Energiekette zwischen der Grundplatte und Gondel zu erreichen, muss das Untertrum der Energiekette sehr tief positioniert werden. Dies führt in Betriebsstellung der Gondel zu einer Berührung der Energiekette mit der Grundplatte der BIAX-Einheit. Um etwaigen Beschädigungen der Energiekette durch Kontakt mit der Grundplattenkante vorzubeugen, wird die Grundplatte im betroffenen Bereich so angepasst, dass diese Berührung ausgeschlossen werden kann (siehe Abbildung 190).



7.12 Vervollständigen des Gesamtentwurfs

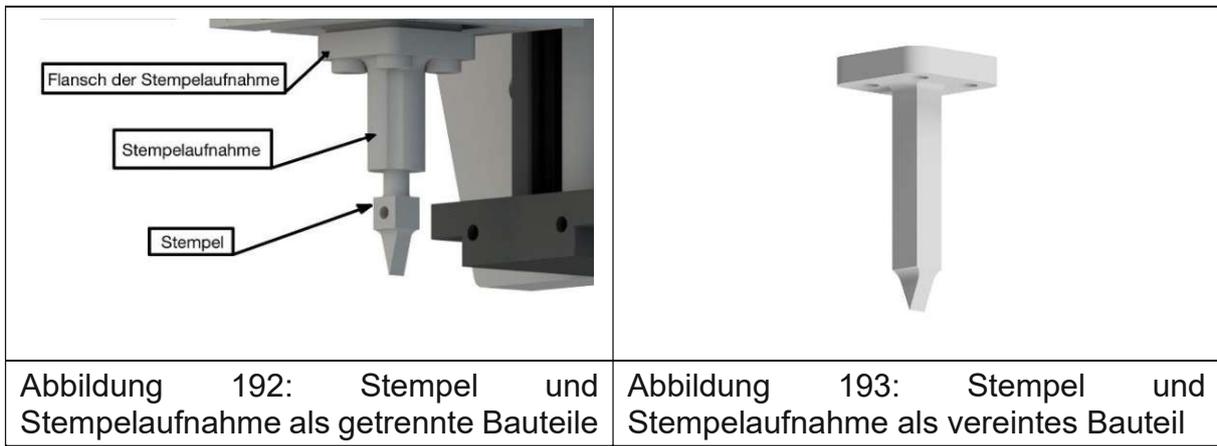
Beim Vervollständigen des Gesamtentwurfs werden eventuell fehlende Komponenten ergänzt. Im Falle des Prüfstands sind dies Universalhalter mit Klettband des Herstellers „ITEM“ (siehe Abbildung 191). Mit Hilfe dieser Halter können die Leistungs- bzw. Sensor-kabel am Rahmen und der Gondel befestigt werden. Dieser besteht aus einem Kunststoffgehäuse, Senkschraube mit Innensechskant und Klettband.



Abbildung 191: Anwendung des Universalhalters. Dieser wird mit Hilfe einer Senkschraube und einem Nutzenstein in der Profilnut befestigt.(item Industrietechnik GmbH 2016, S. 509)

7.13 Optimierendes und abschließendes Gestalten

In diesem Hauptarbeitsschritt werden die beim Bewerten erkannten Schwachstellen optimiert (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 309). Im Falle des Prüfstandentwurfs wird auf diese Analyse verzichtet. Jedoch lässt sich im Zuge dieses Schritts Optimierungspotential an der TAU-Einheit bzw. am Rahmen erkennen. So besteht beispielsweise an der TAU-Einheit die Möglichkeit die Stempelaufnahme und den Stempel zu einem Bauteil zu vereinigen (siehe Abbildung 192,193). Bzw. bietet es sich ebenfalls an, die vollflächige Lastübertragung zwischen Rahmen und Werkbank durch eine Einlage aus Kunststoff mit Handelsnamen „Sylomer“ zu verbessern.



7.14 Kontrollieren auf Fehler und Störgrößeneinfluss

Nach Optimierung des Entwurfs, sieht der Ablaufplan nach VDI-Richtlinie 2221 eine Kontrolle des Entwurfs auf Fehler und Störgrößen vor. Als Stütze für die Durchführung der Kontrolle kann die Hauptmerkmalliste beim Gestalten herangezogen werden. Alle in dieser Liste aufgelistete Hauptmerkmale können als Anregungen für mögliche Kriterien bei der Kontrolle dienen (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 309). Die Kontrolle des Prüfstands konzentriert sich vor allem auf die Hauptmerkmale Funktion und Fertigung. Bei der Überprüfung werden mit Hilfe der CAD-Software alle 3D-Modelle hinsichtlich der Funktionserfüllung und der Gestalt überprüft.

7.15 Vervollständigen des Gesamtentwurfs mit vorläufigen Stücklisten

Dieser Hauptarbeitsschritt umfasst das Vervollständigen des Gesamtentwurfs durch die Erstellung vorläufiger Montage und Fertigungsanweisungen bzw. einer vorläufigen Stückliste (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 309).

Die Erstellung von Fertigungsanweisungen erscheint im Falle des Prüfstands als nicht zweckmäßig, da die selbst zu fertigenden Teile von einfacher Geometrie sind und sehr viele Normteile verwendet werden. Darüber hinaus wird die Erstellung von vorläufigen Montageanweisungen ebenfalls übersprungen und durch Explosionsdarstellungen in der Hauptphase Ausarbeiten nachgeholt. Die Erstellung einer gesamten vorläufigen Stückliste in Form einer Baukasten- oder Strukturstückliste wird in diesem Schritt noch

nicht umgesetzt. Stattdessen werden Stücklisten für die Hauptfunktionsträger (TAU-Einheit, ...) mit Hilfe von Excellisten erstellt.

7.16 Gesamtentwurf

Nachfolgend werden Bilder des Gesamtentwurfs angeführt (siehe Abbildung 194-197):

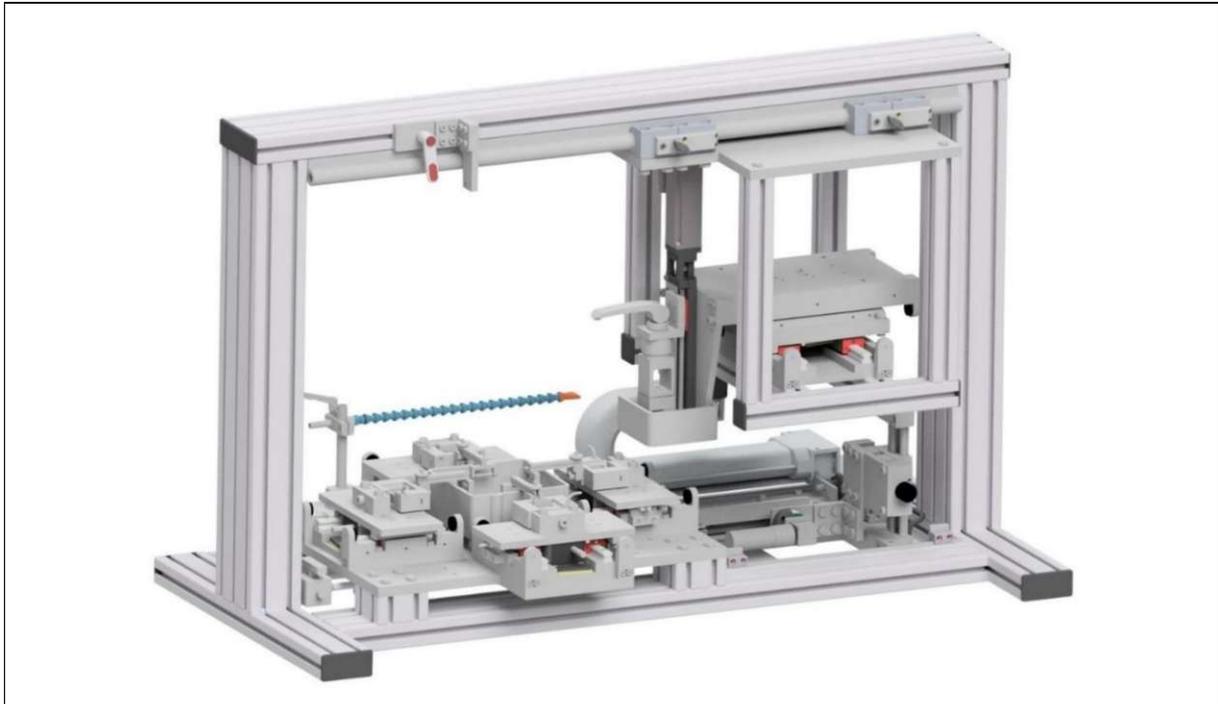


Abbildung 194: Gesamtentwurf mit Gondel außerhalb Betriebsstellung

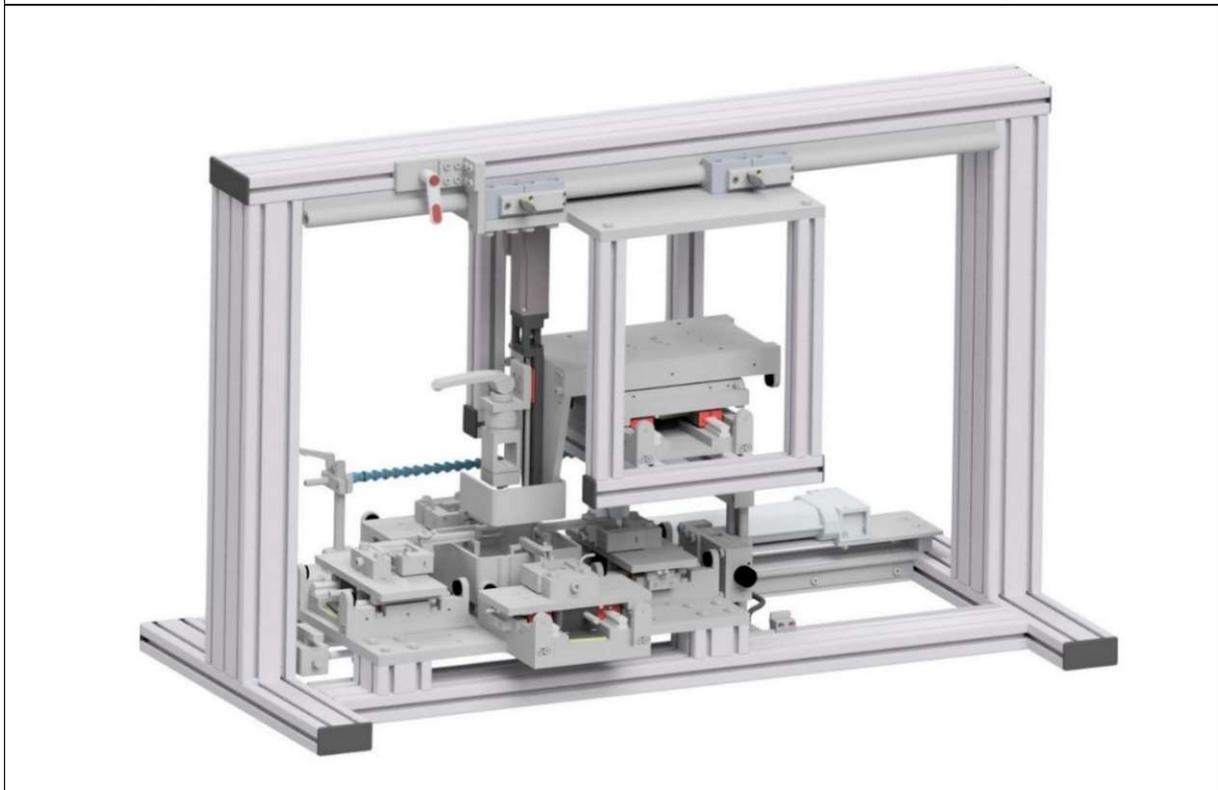


Abbildung 195: Gesamtentwurf mit Gondel in Betriebsstellung (Vorderansicht)

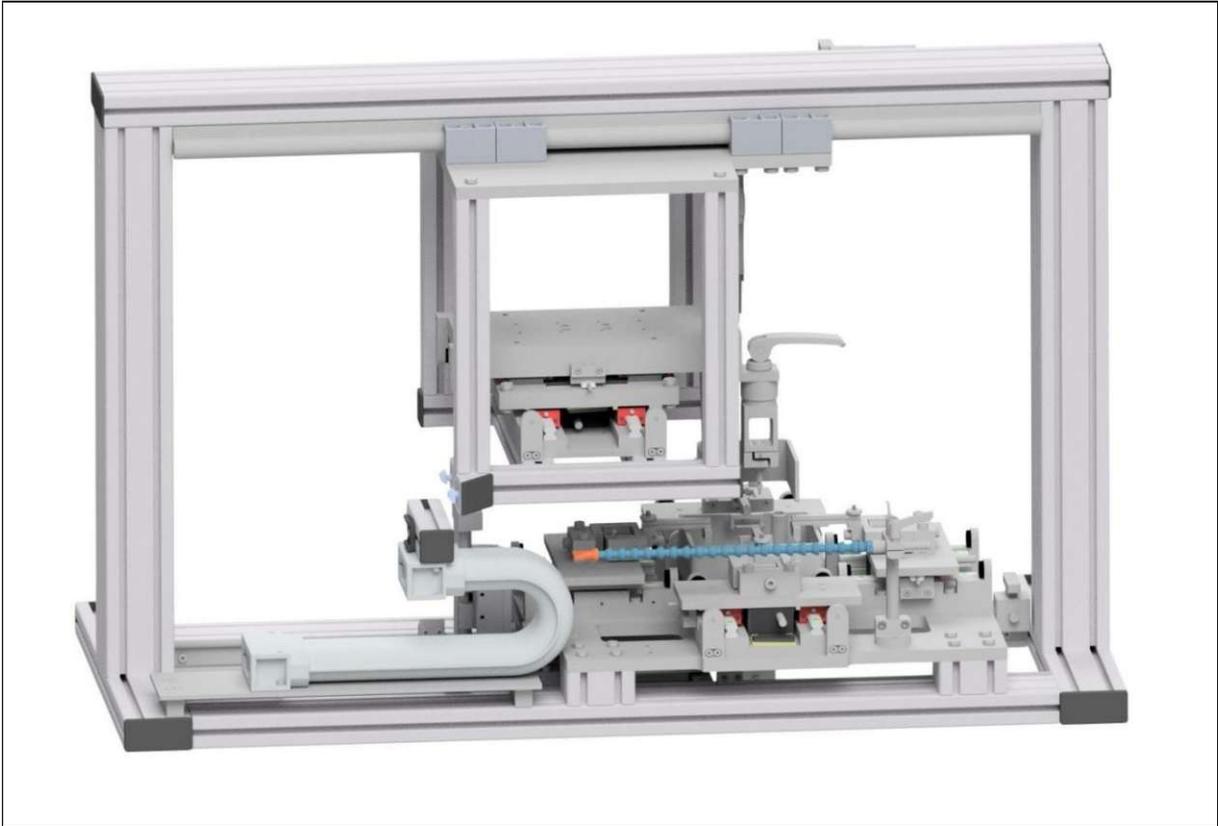


Abbildung 196: Gesamtentwurf mit Gondel in Betriebsstellung (Rückansicht)

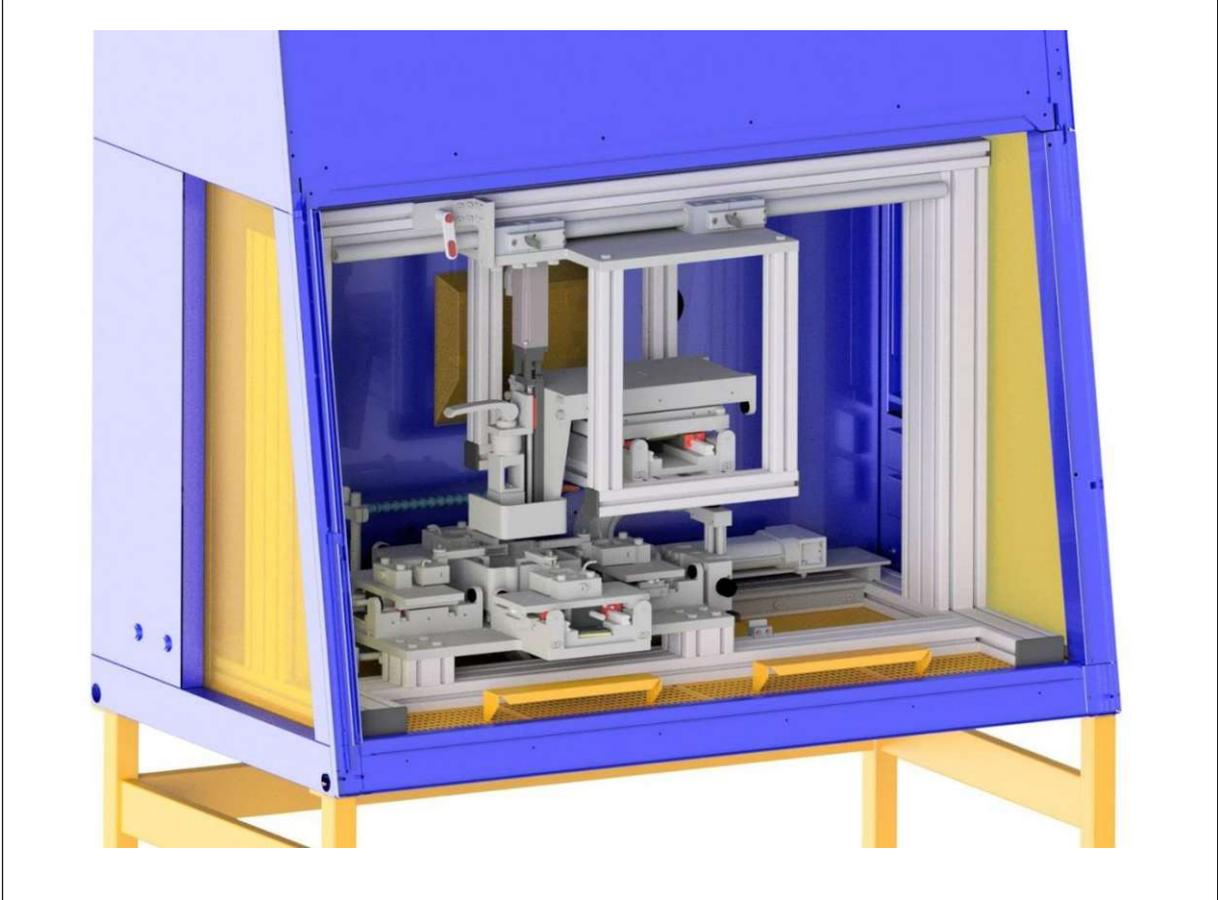


Abbildung 197: Gesamtentwurf in Werkbank mit Gondel in Betriebsstellung

8 Ausarbeiten (Gebhard Fellingner)

In der Hauptphase des Ausarbeitens werde alle Informationen des Gesamtentwurfs so aufbereitet, dass damit ein Produkt erstellt werden kann (siehe Abbildung 198). Am Ende dieser Hauptphase sollen Stücklisten, Zeichnungen und Montage-bzw. Betriebsanleitungen des Erzeugnisses vorliegen (Conrad 2003, S. 225).

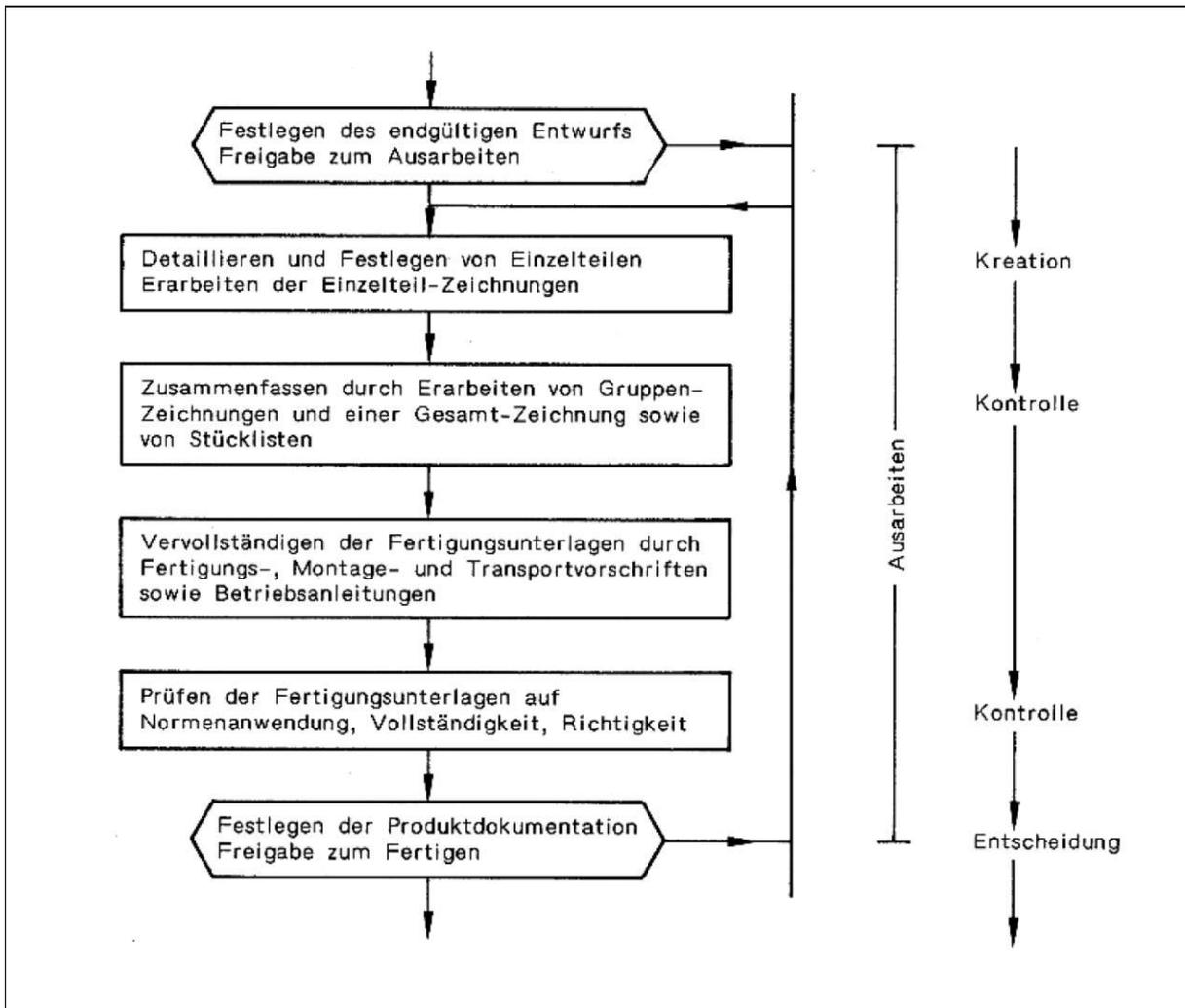


Abbildung 198: Arbeitsfluss in der Hauptphase Ausarbeiten (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 552)

8.1 Erzeugnisgliederung

Bevor mit dem Hauptarbeitsschritt des Ausarbeitens begonnen werden kann, muss eine Erzeugnisgliederung durchgeführt werden (siehe Abbildung 199). Im Rahmen der Erzeugnisgliederung wird das Erzeugnis mit fortlaufender Auflösung immer weiter in Baugruppen bzw. Einzelteile zerteilt. Die so entstandenen Baugruppen bzw. Einzelteile werden Gliederungsebenen zugeordnet, sogenannten Strukturstufen. Die Vorgehensweise beim Auflösen kann entweder funktionsorientiert- oder fertigungs- bzw. montageorientiert erfolgen (Conrad 2003, S. 227–229).

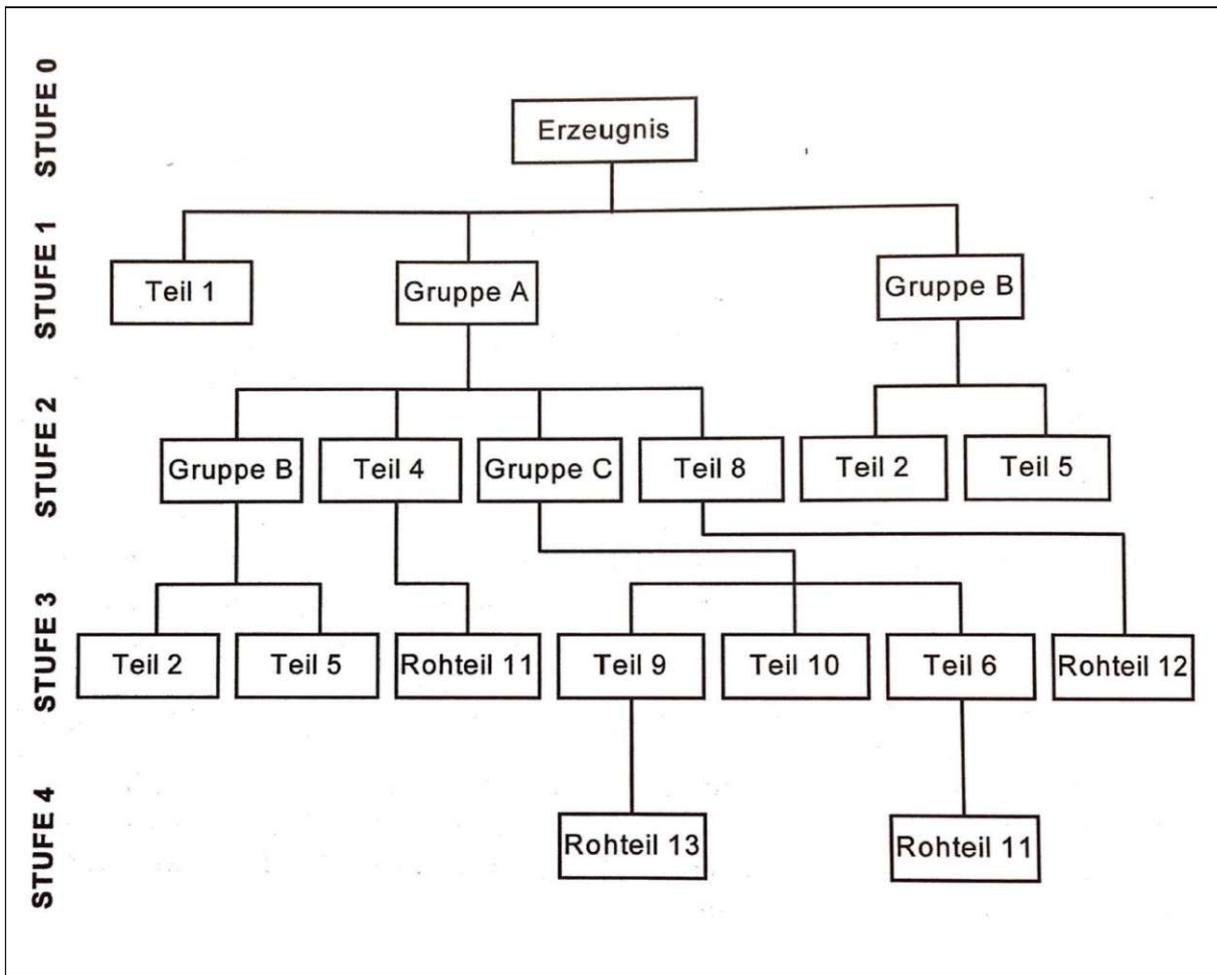


Abbildung 199: Beispiel einer fertigungs- bzw. montageorientierten Erzeugnisstruktur (Conrad 2003, S. 228)

Die Erzeugnisgliederung des Prüfstandentwurfs erfolgt fertigungs- bzw. montageorientiert und teilt diesen in vier Stufen auf (siehe Tabelle 51).

	Stufe 0 (Erzeugnis)		Stufe 1 (Baugruppe/Teile)		Stufe 2 (Baugruppe/Teile)		Stufe 3 (Baugruppe/Teile)	Firma; Bezeichnung; Artikelnummer	Menge [Stck]	Bemerkung
0	Blutgefäßprüfstand	0	BIAX-Einheit	0	Lineareinheit	0	Positionsmesskopf	Bogen; Sensorkopf AKS16-02P1,5C1 (90 Grad verdreht); Artikelnr.: 00053106	4 (1 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		1	Schraubverbindung Positionsmesskopf - Montagewinkel	Zylinderschraube ISO 4762- M2.5x20 - A2 - 70	8 (2 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		2	Montagewinkel		4 (1 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		3	Schraubverbindung Montagewinkel - Bett	Zylinderschraube ISO-4762- M4x16 - A2 - 70	8 (2 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		4	Kabel	Bogen; 2m-Kabel AKS16/17; Artikelnr.: 00053063	4 (1 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		5	Bett		4 (1 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		6	Schraubverbindung Magnetplatte - Bett	Zylinderschraube DIN-7984 M5x10 - A2 - 70	24 (6 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		7	Magnetplatte	Beckhoff; Magnetplatte (l=144mm) AL 8522; Artikelnr.: 222683	4 (1 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		8	Passtifte Magnetplatte- Bett	Zylinderstift ISO-8734-5x8 - C1	8 (2 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		9	Schraubverbindung Abschlussplatte-Bett	Zylinderschraube DIN 7984 M5x25 - A2 - 70	32 (8 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		10	Abschlussplatte		16 (4 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		11	Puffer	Norelem; Gummipuffer Stahl, Typ D; Artikelnr.: 26106- 02000555	16 (4 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		12	Führungsschiene	Hiwin; Führungsschiene; Artikelnr.: HGR15R150H	8 (2 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		13	Gewindestift Führungsschiene - Anschlagkante	Gewindestift mit Innensechskant ISO 4026- M5x25 - A2 - 21H	8 (2 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		14	Schraubverbindung Führungsschiene - Bett	Zylinderschraube ISO-4762- M4x20 - A2 - 70	6 Stck/Lineareinheit	
0		0		0		15	Magnetmaßstab	Bogen; Linearer Magnetmaßstab LMS2-N1.5- 32-L95-W10-A03-K; Artikelnr.: 00058654	4 (1 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		16	Spulenteil	Beckhoff; Spule AL8021; Artikelnr.: 222572	4 (1 Stck/Lineareinheit)	

Tabelle 51: Ausschnitt aus der Erzeugnisgliederung für den Blutgefäßprüfstand (Vollständige Gliederung befindet sich im Anhang)

8.1.1 Nummerierung

Sobald die Erzeugnisgliederung durchgeführt worden ist, kann eine Nummerierung der Baugruppen und Einzelteile durchgeführt werden. Der Zweck der Nummerierung liegt vor allem in der Identifizierung, Klassifizierung, Information und Kontrolle (Conrad 2003, S. 249). Grundsätzlich kann die Nummernart in Identifizierungsnummer oder Klassifizierungsnummer unterschieden werden. Mit Hilfe der Identifizierungsnummer kann ein Gegenstand eindeutig und unverwechselbar bezeichnet werden. Mit Hilfe der Klassifizierungsnummer lassen sich Gegenstände nach bestimmten Gesichtspunkten (gemeinsame Merkmale) einteilen (Conrad 2003, S. 248). Darüber hinaus gibt es Nummernsysteme. Diese beschreiben Gesetzmäßigkeiten für die Bildung von Nummern und geben einen formalen Aufbau der Nummern vor (Conrad 2003, S. 251).

8.1.1.1 Sachnummernsystem

Eine Sachnummer dient dazu alle Unterlagen bzw. Gegenstände im produzierenden Betrieb zu klassifizieren und zu identifizieren (Conrad 2003, S. 254). Ein Sachnummernsystem ist ein Nummernsystem und bildet eine Vorschrift zur Bildung von Sachnummern. Das Sachnummernsystem besteht aus Klassifizierungsnummern und Identnummern, wobei die daraus gebildete Sachnummer an sich eine Identifizierungsnummer ist. Weiters besitzt das Sachnummernsystem drei Systeme zur Bildung von Sachnummern. Es beinhaltet das Klassifizierungssystem, Verbundnummernsystem und das Parallelnummernsystem (Conrad 2003, S. 255).

Im Falle des Prüfstands wird ein Verbundnummernsystem gewählt. Dieses System zeichnet sich dadurch aus, dass die Sachnummer zur eindeutigen Identifizierung eines Gegenstands (Baugruppe, Einzelteil) sowohl aus einem klassifizierenden Anteil (Klassifizierungsnummer) als auch einem identifizierenden Anteil (Identifizierungsnummer) besteht. Mit Hilfe der Klassifizierungsnummer werden die Gegenstände zunächst in Klassen eingeteilt. Innerhalb der Klasse werden die Gegenstände dann mit Hilfe der Identifizierungsnummer durchnummeriert. Als Beispiel für dieses Nummernsystem kann die Versicherungsnummer herangezogen werden. Die Versicherungsnummer an sich ist eine Identifizierungsnummer, besteht aber aus einem klassifizierenden Anteil (Klassifizierungsnummer), der durch das Geburtsdatum repräsentiert wird und einem identifizierenden Anteil (Identifizierungsnummer), der durch eine laufende Zählnummer wiedergegeben wird (Conrad 2003, S. 253).

Entsprechend der Erzeugnisgliederung besteht die Sachnummer eines Prüfstandgegenstands aus der Aneinanderreihung von bis zu vier Ziffern bzw. Ziffernpaaren, die jeweils durch einen Unterstrich voneinander getrennt werden (siehe Abbildung 200). Mit Ausnahme der letzten Ziffer bzw. des letzten Ziffernpaars, stellt jede dieser Ziffern bzw. Ziffernpaare eine Klasse in der Erzeugnisgliederung dar. Die letzte Ziffer bzw. das letzte Ziffernpaar ist für die Identifizierungsnummer innerhalb der Klasse reserviert. Weiters gibt die Position der Ziffer bzw. des Ziffernpaars Auskunft über die Stufe innerhalb der Erzeugnisgliederung. D.h. die erste Ziffer bzw. das erste Ziffernpaar steht für die Klasse innerhalb der Stufe 0 (Gesamterzeugnis), die zweite Ziffer bzw. das zweite Ziffernpaar steht für die Klasse innerhalb der Stufe 1 (Baugruppe/Einzelteil), die dritte Ziffer bzw. das dritte Ziffernpaar steht für die Klasse innerhalb der Stufe 2 (Baugruppe/Einzelteil) und die letzte Ziffer bzw. das letzte Ziffernpaar steht für die laufende Zählnummer des Gegenstand (Baugruppe/Einzelteil) innerhalb der Klasse.

Darüber hinaus hat die Sachnummer keine fixe Länge. Entsprechend der Stufenzugehörigkeit des Gegenstands (Baugruppe, Einzelteil) innerhalb der Erzeugnisgliederung kann die Länge der Sachnummer variieren.

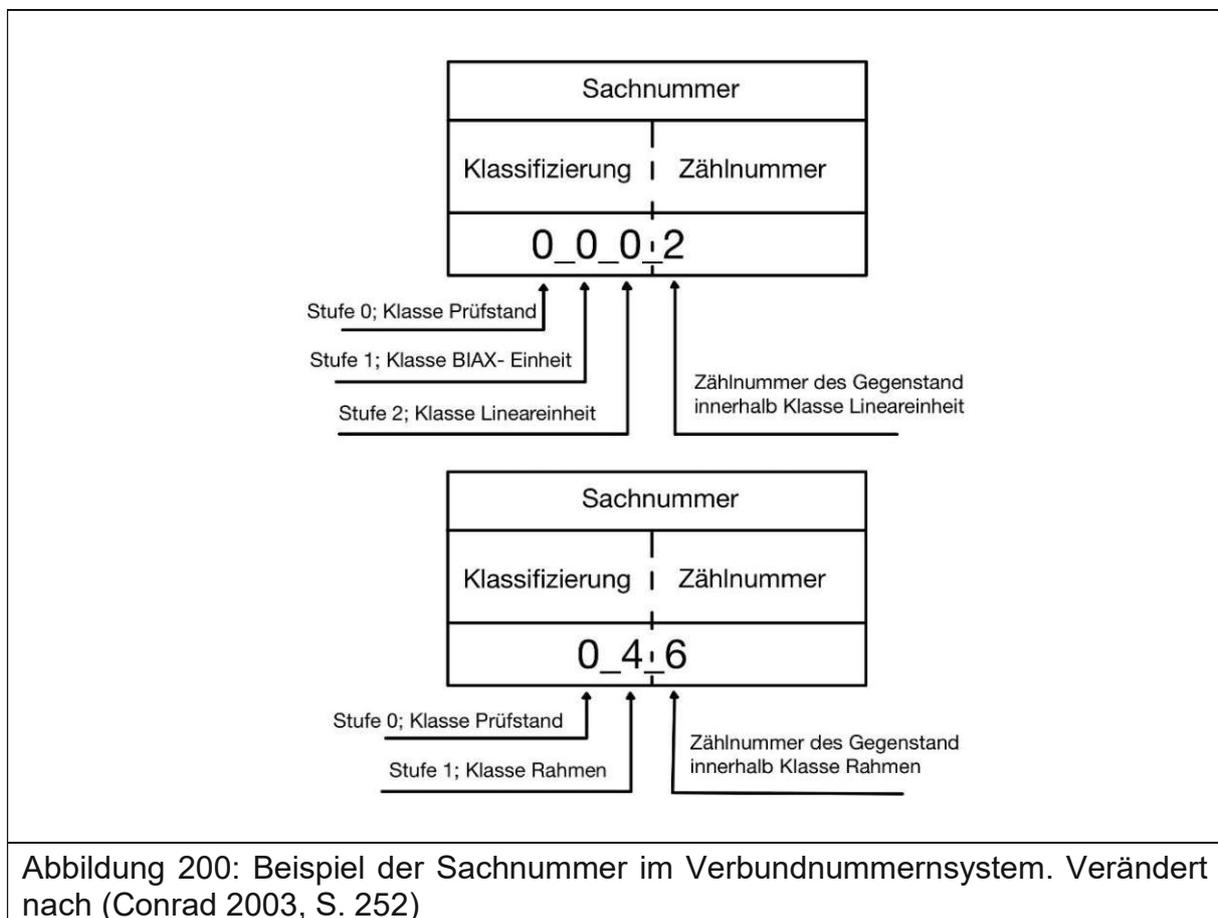


Abbildung 200: Beispiel der Sachnummer im Verbundnummernsystem. Verändert nach (Conrad 2003, S. 252)

8.2 Detaillieren und Festlegen von Einzelteilen

Im Rahmen dieses Arbeitsschrittes werden die Einzelteilzeichnungen angefertigt (siehe Abbildung 201). Hierbei werden auch weitere Festlegungen bezüglich der Toleranzen, Oberflächen, Kanten und der Werkstoffwahl getroffen (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 552).

Bei der Ausarbeitung der Unterlagen für den Prüfstand werden nur Einzelteilzeichnungen für Eigenteile erstellt. Jeder Zeichnung wird eine Zeichnungsnummer zugeordnet, die gleichzeitig der Sachnummer des Gegenstands entspricht.

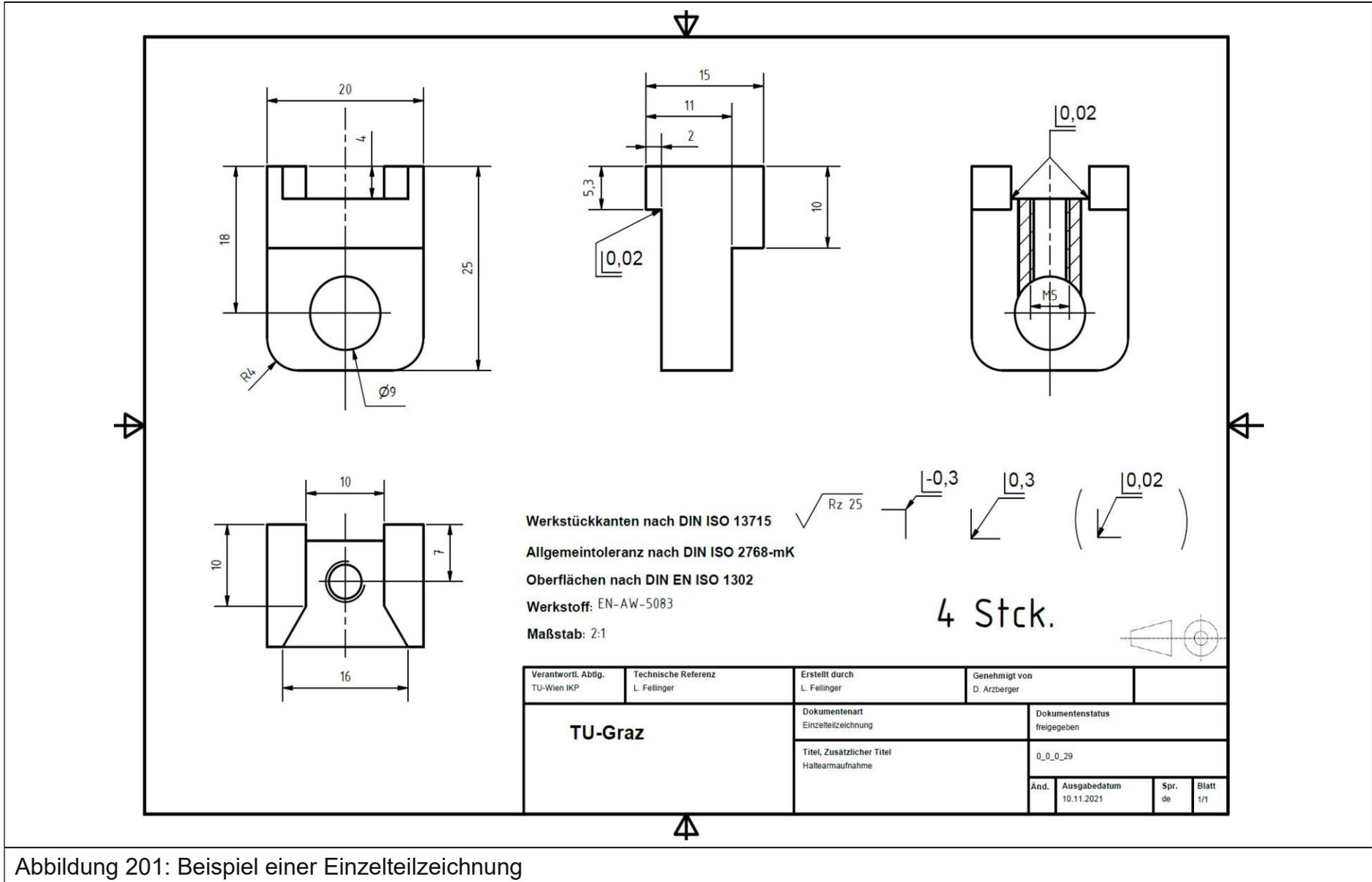


Abbildung 201: Beispiel einer Einzelteilzeichnung

8.3 Zusammenfassung zu Gruppenzeichnungen

Dieser Hauptarbeitsschritt umfasst die Erarbeitung von Gruppenzeichnungen, Gesamtzeichnungen und die Erstellung von Stücklisten (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 552).

8.3.1 Stückliste

Es werden drei Grundformen von Stücklisten unterschieden. Dies sind die Mengenübersichtsstückliste, die Baukastenstückliste und die Strukturstückliste (Conrad 2003, S. 245). Im Rahmen der Ausarbeitung des Prüfstands erscheint eine Baukastenstückliste als auch eine Mengenübersichtsstückliste als zweckmäßig. Die Baukastenstückliste ist einstufig und enthält nur Baugruppen und Teile der nächsten untergeordneten Stufe. Jede Baugruppe besitzt eine zugehörige Stückliste. Die darin genannten Mengenangaben beziehen sich unmittelbar auf die Baugruppe (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 563). Die Gesamtheit aller Stücklisten ergeben einen Stücklistensatz (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 560). Die Struktur des Stücklistensatzes wird durch die Erzeugnisgliederung vorgegeben. Da für den Einkauf der Zukaufteile eine Stückliste von Vorteil ist, die es erlaubt einen guten Überblick über alle Komponenten des Prüfstands zu bekommen, wird zusätzlich eine Mengenübersichtsstückliste erstellt (siehe Tabelle 52). Diese enthält alle Komponenten eines Erzeugnisses in Listenform. Mehrfach im Erzeugnis vorkommende Komponenten werden nur einmal genannt, wobei sich die Mengenangabe des betreffenden Teils entsprechend erhöht (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 561).

Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer	Norm - Kurzbezeichnung	Werkstoff	Lieferant	Artikelnummer
1	1	Stck.	Rahmen	0_4	-	-	-	-
2	1	Stck.	BIAX - Einheit	0_0	-	-	-	-
3	1	Stck.	Becken	0_5	-	-	-	-
4	16	Stck.	Sechskantschraube	0_1	ISO 4017 - M8 x 25 - A2 - 70	-	-	-
5	1	Stck.	TAU - Einheit	0_2	-	-	-	-
6	4	Stck.	Zylinderschraube	0_3	DIN 7984 - M8 x 40 - A2 - 70	-	-	-
7	1	Stck.	Kamerawagen	0_10	-	-	-	-
8	18	Stck.	Zylinderschraube	0_12	DIN 7984 - M6 x 16 - A2 - 70	-	-	-
9	18	Stck.	Nutenstein V8 St M6, verzinkt	0_11	-	-	ITEM	0.0.480.50
10	1	Stck.	Kabelfuehrung	0_6	-	-	-	-
11	4	Stck.	Nutenstein 8 St M8, verzinkt	0_9	-	-	ITEM	0.0.026.18
12	4	Stck.	Senkschraube	0_8	ISO 10642 - M8 x 40 - A2 - 70	-	-	-
13	2	Stck.	Winkelsatz 8 40 x 40	0_7	-	-	ITEM	0.0.411.15

Tabelle 52: Beispiel der Baukastenstückliste des Gesamterzeugnisses

8.3.2 Zeichnungssatz

Der Zeichnungssatz beschreibt die Gesamtheit aller Zeichnungen eines Erzeugnisses (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 558). Die Struktur des Zeichnungssatzes ergibt sich durch die Erzeugnisgliederung. Grundsätzlich besteht ein Zeichnungssatz aus einer Gesamtzeichnung, mehreren Gruppenzeichnungen und mehreren Einzelteilzeichnungen (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 557).

Der Zeichnungssatz des Prüfstands beinhaltet 39 Einzelteilzeichnungen, 20 Gruppenzeichnungen und eine Gesamtzeichnung. Alle Gruppenzeichnungen sind als Explosionsdarstellungen ausgeführt (siehe Abbildung 202).

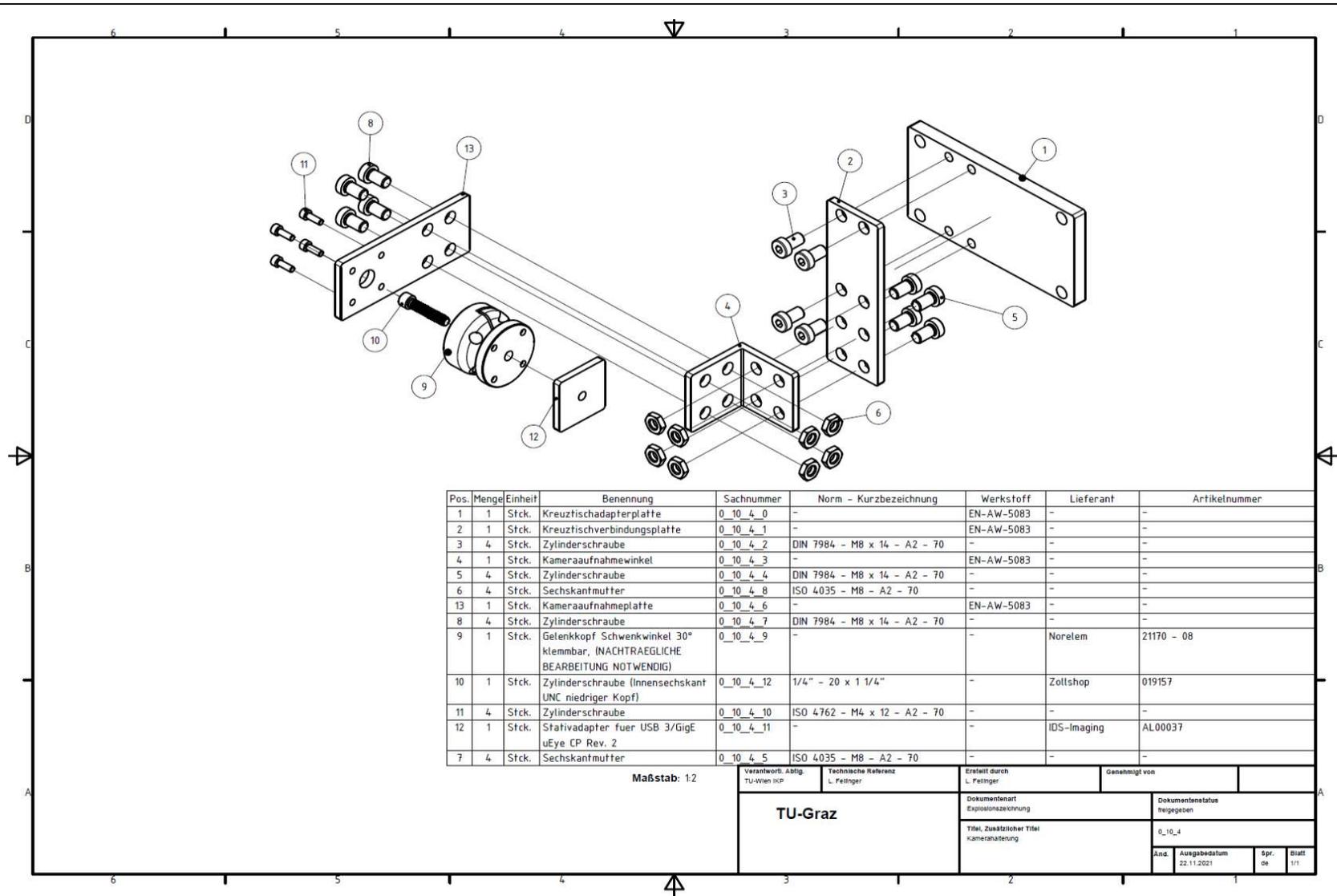


Abbildung 202: Beispiel einer Gruppenzeichnung als Explosionsdarstellung

8.4 Vervollständigen der Fertigungsunterlagen

Unter dem Vervollständigen der Fertigungsunterlagen wird beispielsweise das Erstellen von Vorschriften für die Fertigung, Montage und den Transport verstanden. Ebenso können in diesem Schritt etwaige Betriebsanleitungen verfasst werden (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 552–553).

Im vorliegenden Fall umfasst dieser Hauptarbeitsschritt die Erstellung von STEP bzw. DXF-Dateien, die als Grundlage für Steuerungsprogramme von Werkzeugmaschinen dienen.

8.5 Prüfung der Fertigungsunterlagen

Der Schwerpunkt der Prüfung in diesem Schritt liegt auf den Einzelteilzeichnungen und den Stücklisten. Die Einzelteilzeichnungen müssen vor allem eindeutig und fertigungsgerecht bemaßt sein und alle weiteren für die Fertigung erforderlichen Fertigungsangaben enthalten (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 553). Die Prüfung der Einzelteilzeichnungen erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Institut für Fertigungstechnik der TU-Graz. Zu diesem Zweck sind die Einzelteilzeichnungen von einem Institutsmitarbeiter durchgesehen und auf Vollständigkeit geprüft worden. Bei der Prüfung der Stücklisten lag das Hauptaugenmerk auf der Kontrolle der richtigen Baugruppenzugehörigkeit der Komponenten bzw. auf der Überprüfung der Bezeichnung und der Mengenangaben.

8.6 Kostenabschätzung

Nachdem vollständige Stücklisten erstellt worden sind, kann eine genau Kostenabschätzung durchgeführt werden. Hierbei ist vor allem die Mengenübersichtsstückliste von großer Bedeutung. In dieser sind Eigenteile, Fremtteile und Normteile aufgeführt. Entsprechend dieser Einteilung konnten Angebote von Zulieferern für Fremd- und Normteile eingeholt werden. Da die Eigenteile am Institut für Fertigungstechnik der TU-Graz gefertigt werden und die Kosten intern zwischen den Instituten der TU-Graz abgerechnet werden, fehlt hier die Einsicht und es werden stattdessen konservative Schätzungen angestellt (siehe Tabelle 53).

Gesamtkostenabschätzung Stand 04.01.2022						
Nr.	Angebot Firma	Beschreibung	Position laut Mengenübersichtsstückliste	Lieferzeit	Preis Brutto	Bemerkung Preis
1	Reca	Verbindungselemente	1-49	????	100	-
2	Zollshop	Verbindungselemente	50	????	10	-
3	Hennlich	Komponenten für Becken	51,52	2 Wochen	100	-
4	Schmachtl	Metallbalgkupplung	53	16 Wochen	120	-
5	Norelem	Normteile	54,55	2 Wochen	235	-
6	Nordlock	Schraubensicherung	56,57	0 Wochen	0	-
7	ME - Messsysteme	3D-Kraftmessdose	58	4-6 Wochen	1200	-
8	ITEM (Haberhorn)	Aluminiumprofile	59-77	5 Wochen	851	-
9	IGUS	Energiekette	78	12-14 Tage	120	-
10	IGUS	Lineartechnik	79-86	3-4 Wochen	890	-
11	IDS-Imaging	optische Messtechnik	87-90	20 Wochen	1000	-
12	Hiwin	Lineartechnik	91-94	18 Tage	1500	-
13	HBM-Messtechnik	Kraftmessdose (BIAX-Einheit)	95	2 Wochen	3200	-
14	Elesa+Ganter	Normteile	96-109	0 Wochen	0	-
15	Bola	Fittings, Schläuche für Nährstofflösung	110-112	????	450	-
16	Bogen-Messtechnik	Induktives Positionsmesssystem	113-115	6 Wochen	2300	-
17	Beckhoff	elektrische Antriebstechnik	116-119	16 Wochen	15000	-
18	TU-Graz IFT	Einzelteile aus Aluminium/Edelstahl	120-155	????	10000	Schätzung
19	Zimmermann-CNC	Becken, Deckflansch	156,157	2 Wochen	500	Schätzung
20	Glas Meisl	Spiegel	158	1 Woche	30	-
21	Moving Bits	Programmierung, laut Angebot aus 23.01. 2018	-	-	25000	-
24	Carlo Erba	Werkbank	-	-	18000	-
25	Bartelt	Bioreaktor, laut Angebot aus 23.01. 2018	-	-	21000	-
	Bruttopreis	-	-	-	101606	-
	Bruttopreis mit Sicherheitsfaktor 1,2	Sicherheitsfaktor 1,2	-	-	121927,2	-

Tabelle 53: Kostenabschätzung basierend auf Angeboten und Schätzungen

9 Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wird der vollständige Produktentwicklungsprozess eines Blutgefäßprüfstands beschrieben. Die Produktentwicklung erfolgt dabei nach der VDI-Richtlinie 2221. Der Blutgefäßprüfstand ist Teil des „LAESIO“-Forschungsprojekts der TU-Graz und dient zur Erfassung von Messdaten bei der künstlichen Schädigung von Blutgefäßwänden. Dabei wird die Implantation eines Stents nachgestellt und die Antwort des Gewebes hinsichtlich der Veränderung der Materialeigenschaften gemessen. Diese Messdaten sollen später die Grundlage für ein mathematisches Schädigungsmodell bilden und so zum besseren Verständnis der negativen Nachwirkungen von Stentimplantationen beizutragen.

Das Ergebnis der Produktentwicklung ist ein triaxialer Prüfstand, der im Unterschied zum bestehenden Blutgefäßprüfstand dem Institut für Biomechanik der TU-Graz neue Möglichkeiten hinsichtlich der Versuchsdurchführung bietet. Der neue Prüfstand ermöglicht, die Versuchsdauer von derzeit wenigen Stunden auf mehrere Tage oder sogar Wochen auszudehnen. Damit wird den biomechanischen Prozessen bzw. den Schadensmechanismen die Zeit sowie die notwendige Umgebung geboten, sich stärker auszuprägen. Die im Rahmen des Forschungsprojekts gestellten Fragestellungen können dadurch besser beantwortet werden. Der Prüfstand schafft hierfür in zweierlei Hinsicht die notwendigen Voraussetzungen. Zum einen kann dieser in einer sterilen Atmosphäre einer Sicherheitswerkbank untergebracht werden. Zum anderen kann der Prüfstand an einem Bioreaktor angeschlossen werden, der die Nährstoffversorgung und damit das Überleben der Probe über längere Dauer sicherstellt. Weiters werden in diesem auch die Erfahrungen und Verbesserungsvorschläge aus dem bestehenden Prüfstand berücksichtigt. So werden beispielsweise Verbesserungen hinsichtlich der Ergonomie und der Bediener-sicherheit umgesetzt. Die Fertigung der Einzelteile ist bereits angelaufen und wird großteils vom Institut für Fertigungstechnik der TU-Graz übernommen. Der Zusammenbau des Prüfstands wird ebenfalls von der TU-Graz übernommen und soll voraussichtlich bis Mitte des Jahres 2022 abgeschlossen werden. Mit Ende des Jahres 2022 kann mit ersten Messergebnissen aus dem Prüfstands-betrieb gerechnet werden.

10 Literaturverzeichnis

- A. Deepak (2018): ARH HS2030i 1.2 MECH. HOEHENVERSTELLUNG. ARH HS2030i 1.2 MECH. HEIGHT ADJUSTABLE. Hg. v. Thermofisher Scientific (50158833).
- Beckhoff Automation GmbH & Co.KG (2021a): Beckhoff New Automation Technology. Original-Betriebsanleitung AL8000 Linear Servomotoren. Version 1.2. Hg. v. Beckhoff Automation GmbH & Co.KG.
- Beckhoff Automation GmbH & Co.KG (2021b): Original-Betriebsanleitung AM 8100. Synchron-Serovmotoren für die kompakte Antriebstechnik. 2.3. Hg. v. Beckhoff Automation GmbH & Co.KG. Verl.
- Conrad, Klaus-Jörg (2003): Grundlagen der Konstruktionslehre. Methoden und Beispiele für den Maschinenbau ; mit 74 Tabellen, zahlreichen Kenntnisfragen und Aufgabenstellungen mit Lösungen. 2., verb. und erw. Aufl. München, Wien: Hanser.
- Czichos, Horst; Hennecke, Manfred (2012): HÜTTE - Das Ingenieurwissen. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Geith, Markus A.; Nothdurfter, Laurenz; Heiml, Manuel; Agrafiotis, Emmanouil; Gruber, Markus; Sommer, Gerhard et al. (2020): Quantifying stent-induced damage in coronary arteries by investigating mechanical and structural alterations. In: *Acta biomaterialia* 116, S. 285–301. DOI: 10.1016/j.actbio.2020.08.016.
- HBM (2021): S2M Kraftaufnehmer. Charakteristische Merkmale. Hg. v. HBM. Darmstadt (B03593_01_G00_04).
- Hiwin GmbH: Positioniersysteme. Linearachsen KK/KF. Hg. v. Hiwin GmbH (KK-05-1-DE-2109-K).
- Hiwin GmbH (2002): Profilschienenführungen. Linear Guideways. Hg. v. Hiwin GmbH. Offenburg.
- Hiwin GmbH (2010): Linearführungen. Profilschienenführungen Zubehör. Hg. v. Hiwin GmbH. Offenburg (GW-11-0-DE-2010-K).
- Hoenow, Gerhard; Meißner, Thomas (2007): Konstruktionspraxis im Maschinenbau. Vom Einzelteil zum Maschinendesign. Leipzig: Fachbuchverlag Leipzig.

- Hsiao, Hao-Ming; Lin, Cheng-Han; Shen, Yung-Kang; Chou, Tzu-Yun; Hsu, Yen-Yu (2017): Rhombic-Shaped Channel Stent with Enhanced Drug Capacity and Fatigue Life. In: *Micromachines* 9 (1). DOI: 10.3390/mi9010003.
- IDS Imaging Development Systems GmbH (2022): UI-3070CP-M-GL Rev.2 (AB00967). Hg. v. IDS Imaging Development Systems GmbH. 74182 Obersulm.
- igus GmbH Germany (2020): dry-tech...Lagertechnik...2020. Polymergleitlager. Hg. v. igus GmbH Germany. igus GmbH Germany. Köln (MAT0070571).
- igus GmbH Germany (2021a): Ringförmige Innenaufteilung für die e-skin. Minimale Partikelemission, maximale Lebensdauer. Hg. v. igus GmbH Germany. Köln. Online verfügbar unter <https://www.igus.de/info/eskin-ring-shaped-interior-separator>, zuletzt geprüft am 02.01.2022.
- igus GmbH Germany (2021b): e-ketten und -systeme...2021...plastics for longer life. Hg. v. igus GmbH Germany. igus GmbH Germany. Köln (MAT0072320).
- item Industrietechnik GmbH (2016): MB Systembaukasten 9. Der Gesamtkatalog. Hg. v. item Industrietechnik GmbH. Solingen.
- item Industrietechnik GmbH (2021): Standardverbindingssatz 5, verzinkt. 0.0.370.08. Hg. v. item Industrietechnik GmbH. Solingen. Online verfügbar unter <https://product.item24.de/produkte/produktkatalog/produktetails/products/standard-verbindingssaetze-1001012015/standard-verbindingssatz-5-verzinkt-37008/>, zuletzt geprüft am 23.12.2021.
- DIN-Norm 33411-5, November 1999: Körperkräfte des Menschen.
- Kurz, Ulrich; Hintzen, Hans; Laufenberg, Hans (2009): Konstruieren, Gestalten, Entwerfen. Ein Lehr- und Arbeitsbuch für das Studium der Konstruktionstechnik. 4., erweiterte Auflage. Wiesbaden: Vieweg + Teubner (Studium).
- ME-Messsysteme GmbH (2021): K3D40+-2N. Hg. v. ME-Messsysteme GmbH. Henningsdorf.
- Naefe, Paul (2018): Methodisches Konstruieren. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Nothdurfter, Laurenz (2020): LAESIO-Biomechanical Investigation of Coronary Arteries to Stenting and Microstructural Analysis using Multiphoton Microscopy Imaging. Master's Thesis. TU Graz, Graz. Institute of Biomechanics.

OWIS GmbH (2017): Präzisions-Lineartische LTM 60. Hg. v. OWIS GmbH. Stufen i. Br. Online verfügbar unter <https://www.owis.eu/produkte/manuelle-positioniersysteme/produktgruppe/lineartische/produkt/120/productview/Main/>, zuletzt geprüft am 16.04.2021.

Pahl/Beitz Konstruktionslehre (2006). 7. Aufl. Berlin: Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. KG.

R+W Antriebselement GmbH (2018): Präzisionskupplungen. 07/2018.

Remondis Medison GmbH (Hg.) (2021): Über 300000 Stents-Implantate pro Jahr in Deutschland. Online verfügbar unter <https://www.abfallmanager-medizin.de/zahl-des-monats/ueber-300-000-stents-implantate-pro-jahr-in-deutschland/>, zuletzt geprüft am 02.12.2021.

Sommer, Gerhard (2020): FWF Stand-Alone Project LAESIO. Quantification of Vascular Damage and Cell Proliferation: A Unique Investigation of Stent Implantation. Resubmission II. Hg. v. TU Graz Institut für Biomechanik. TU Graz. Graz.

Thermofisher Scientific (Hg.) (2012): Arbeitsplattenmodul KAM 180, FLACH. AREA MODULE KAM 180, FLAT, 1D.

Thermofisher Scientific (Hg.) (2018): Thermo Scientific Herasafe und Maxisafe 2030i Biologische Sicherheitswerkbänke. Neue Maßstäbe für Biologische Sicherheitswerkbänke (50085281). Online verfügbar unter <https://hemotec.ch/files/Prospekt-Safe-MaxiSafe-2030i.pdf>, zuletzt geprüft am 21.12.2021.

UNI-Goettingen (Hg.) (2020): MSW_II_luftstroeme_quelle_lamsystems. UNI-Goettingen. Online verfügbar unter http://sicherheitswesen-umweltschutz.newsletter.uni-goettingen.de/wp-content/uploads/sites/20/2020/02/MSW_II_luftstroeme_quelle_lamsystems.jpg, zuletzt geprüft am 21.12.2021.

Wikipedia (Hg.) (2021): Sicherheitswerkbank. Mikrobiologische Werkbank. Wikipedia. Online verfügbar unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Sicherheitswerkbank>, zuletzt aktualisiert am 19.11.2021, zuletzt geprüft am 21.12.2021.

Wittel, Herbert; Jannasch, Dieter; Voßiek, Joachim; Spura, Christian (2017a):
Roloff/Matek Maschinenelemente. Normung-Berechnung-Gestaltung.
Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Wittel, Herbert; Jannasch, Dieter; Voßiek, Joachim; Spura, Christian (2017b):
Roloff/Matek Maschinenelemente. Tabellenbuch. Wiesbaden: Springer
Fachmedien Wiesbaden.

Wolf, Tobias; Rimpel, Andreas; Wöber, Michael (2012): Präzisionskupplungen und
Gelenkwellen. Hochgenaue Verbindungselemente für die Antriebstechnik. 3.
Aufl. München: Verlag Moderne Industrie (Bibliothek der Technik, 297).

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die Hauptphasen, Tätigkeiten und Festlegungen der VDI Richtlinie 2221 (Conrad 2003, S. 62)	31
Tabelle 2: Bestandteile einer Anforderungsliste (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 216)	36
Tabelle 3: Anforderungsliste für den Prüfstand.....	40
Tabelle 4: Schritte der Abstraktion.....	42
Tabelle 5: Ergebnisse des zweiten Schrittes	43
Tabelle 6: Ergebnisse des dritten Schrittes	43
Tabelle 7: Ergebnisse des dritten Schrittes nach Reduktion.....	44
Tabelle 8: Übersicht der Funktionsträger.....	50
Tabelle 9: Übersicht der Teilfunktionen	51
Tabelle 10: Übersicht der Methoden zur Lösungsfindung für Wirkprinzipien (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 121–162)	53
Tabelle 11: Übersicht der Teilfunktionen für die Wirkprinzipien gesucht werden. Teilfunktionen für die bereits Wirkprinzipien existieren werden nicht berücksichtigt.....	54
Tabelle 12: Übersicht für Wirkprinzipien der Teilfunktion 1	55
Tabelle 13: Übersicht für Wirkprinzipien der Teilfunktion 2	57
Tabelle 14: Übersicht für Wirkprinzipien der Teilfunktion 3	58
Tabelle 15: Übersicht für Wirkprinzipien der Teilfunktion 4	61
Tabelle 16: Übersicht für Wirkprinzipien der Teilfunktion 5	62
Tabelle 17: Übersicht für Wirkprinzipien der Teilfunktion 6	63
Tabelle 18: Übersicht für Wirkprinzipien der Teilfunktion 7	64
Tabelle 19: Übersicht für Wirkprinzipien der Teilfunktion 8	65
Tabelle 20: Morphologischer Kasten	69
Tabelle 21: Auswahlkriterien der Auswahlliste (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 164).....	76
Tabelle 22: Auswahlliste für Blutgefäßprüfstand. Verändert nach (Czichos und Hennecke 2012, K30)	77
Tabelle 23: Übersicht der Eigenschaftskategorien der methodischen Leitlinie (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 58)	78
Tabelle 24: Aus Hauptmerkmalliste zum Bewerten in der Konzeptphase abgeleitete Bewertungskriterien	110
Tabelle 25: Bewertungskriterien aus Anforderungsliste.....	111
Tabelle 26: Zusammenfassung der Bewertungskriterien.....	112
Tabelle 27: Zuordnung von Eigenschaftsgrößen	113
Tabelle 28: Übersicht der Bewertungskriterien und ihrer Eigenschaftsgrößen mit ihren zugeordneten quantitativen und qualitativen Werten	114
Tabelle 29: Bereiche der technischen Wertigkeit (Conrad 2003, S. 129)	116
Tabelle 30: Technisch und wirtschaftliche Bewertung der prinzipiellen Lösung 1C	117

Tabelle 31: Technisch und wirtschaftliche Bewertung der prinzipiellen Lösung 2C	118
Tabelle 32: Technisch und wirtschaftliche Bewertung der prinzipiellen Lösung 3C	119
Tabelle 33: Technisch und wirtschaftliche Bewertung der prinzipiellen Lösung 4C	120
Tabelle 34: Technisch und wirtschaftliche Bewertung der prinzipiellen Lösung 5C	121
Tabelle 35: Technisch und wirtschaftliche Bewertung der prinzipiellen Lösung 6C	122
Tabelle 36: Technische Bewertung der prinzipiellen Lösungen 1C-6C nach der VDI-Richtlinie 2225	123
Tabelle 37: Wirtschaftliche Bewertung der prinzipiellen Lösungen 1C-6C nach VDI-Richtlinie 2225	124
Tabelle 38: Übersicht der gestaltungsbestimmenden Anforderungen	129
Tabelle 39: Übersicht der räumlich begrenzenden Anforderungen	130
Tabelle 40: Übersicht der räumlich begrenzenden Anforderungen (Thermofisher Scientific 2018, S. 4–16)	135
Tabelle 41: Übersicht weiterer anordnungs- und anforderungsbestimmender Anforderungen (Thermofisher Scientific 2018, S. 4–16)	135
Tabelle 42: Tabelle mit gestaltungsbestimmenden Funktionsträgern	136
Tabelle 43: Aus Hauptmerkmalliste zum Bewerten in der Entwurfsphase abgeleitete Bewertungskriterien	162
Tabelle 44: Zusammenfassung der Bewertungskriterien	163
Tabelle 45: Zuordnung von Eigenschaftsgrößen	164
Tabelle 46: Übersicht der Bewertungskriterien und Eigenschaftsgrößen mit ihren zugeordneten quantitativen und qualitativen Werten	165
Tabelle 47: Bewertung des vorläufigen Entwurfs 5C	166
Tabelle 48: Bewertung des vorläufigen Entwurfs 6C	167
Tabelle 49: Technische Bewertung der vorläufigen Entwürfe 5C und 6C nach der VDI-Richtlinie 2225	168
Tabelle 50: Wirtschaftliche Bewertung der vorläufigen Entwürfe 5C und 6C nach VDI-Richtlinie 2225	169
Tabelle 51: Ausschnitt aus der Erzeugnisgliederung für den Blutgefäßprüfstand (Vollständige Gliederung befindet sich im Anhang)	217
Tabelle 52: Beispiel der Baukastenstückliste des Gesamterzeugnisses	222
Tabelle 53: Kostenabschätzung basierend auf Angeboten und Schätzungen	226

12 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vom Auftraggeber vorgeschlagenes Konzept für den Versuchsaufbau (Sommer 2020, S. 9).....	2
Abbildung 2: Ansicht eines Stents aus Nitinol. Gut sichtbar sind die längsförmigen Öffnungen zur temporären Aufnahme von Medikamenten (Hsiao et al. 2017, S. 12)	5
Abbildung 3: Übersicht der wichtigsten Stentelemente. Die 180° Knickung wird als Krone (engl. „crown“) bezeichnet und die Verbindung der Kronen erfolgt über Streben (engl. „struts“ oder „bar arms“). Die Segmente werden über Verbinder (engl. „connectors“) miteinander verbunden. (Hsiao et al. 2017, S. 4)	5
Abbildung 4: Ablauf ein Stentimplantation. a.) Verengtes Blutgefäß b.) Einbringen des Ballonkatheters mit zusammengefaltetem Stent c.) Überdehnen des Stents d.) um elastischen Anteil gestauchter Stent (Nothdurfter 2020, S. 5).....	6
Abbildung 5: Übersicht der zwei Phasen beim Implantieren von Stents. In der ersten Phase bleibt die Kontaktkraft konstant, während sie in der zweiten Phase einen schwellenden Verlauf annimmt.(Sommer 2020, S. 1)	6
Abbildung 6: Spannungsverhältnisse innerhalb der Blutgefäßwand zufolge der Belastung durch Blutdruck und Kontaktkraft zwischen Stent und Blutgefäßwand (Sommer 2020, S. 2).....	7
Abbildung 7: Bild A zeigt ein Blutgefäß unmittelbar nach Einsetzen des Stents. Bild B zeigt denselben Stent sechs Monate später (Alraies et al. 2017, S. 640–651).....	8
Abbildung 8: Das abgerollte Blutgefäß wird über Haken und Nähfäden mit den Haltearmen verbunden (Nothdurfter 2020, S. 7).....	10
Abbildung 9: Das abgerollte Blutgefäß befindet sich in einer Nährstofflösung. Gut sichtbar ist der schlangenförmige Wärmetauscher.	11
Abbildung 10: Der Haltearm wird über eine kraftschlüssige Verbindung mit der Kraftmessdose verbunden.	11
Abbildung 11: Präzisionslineartisch mit eingebautem Schrittmotor und Handrad (OWIS GmbH 2017).....	11
Abbildung 12: Schematischer Aufbau der BIAX-Einheit. Das Becken mit dem Wärmetauscher, der Infusomat sowie die Behälter für die phosphatgepufferte Salzlösung und Formaldehyd fehlen (Nothdurfter 2020, S. 12).	12
Abbildung 13: Gesamtansicht der BIAX-Einheit. Der Infusomat und die Tanks zur Aufnahme der phosphatgepufferten Salzlösung bzw. des Formaldehyds fehlen.	12
Abbildung 14: Darstellung eines Stent-Strut, der durch eine rechteckige Stempelspitze imitiert wird (Nothdurfter 2020, S. 13).....	13
Abbildung 15: Der Stempel trägt einen Abschnitt eines Stent-Strut und imitiert damit die reale Belastung der Blutgefäßwand durch den Stent. Verändert nach (Nothdurfter 2020, S. 6)	14

Abbildung 16: Stempel mit Abschnitt eines Stent-Strut kurz vor der Berührung des Blutgefäßes. Gut sichtbar sind die drei Abschnitte des Stempels.....	14
Abbildung 17: Darstellung des Portalarms bestehend aus zwei Führungsschienen, der Dreiachskraftmessdose (engl. „three component force sensor“ oder „3-CFS“), der Stempelaufnahme, dem Stempels und den Laserpositionsdiode (Nothdurfter 2020, S. 13).	15
Abbildung 18: Aufbau der TAU-Einheit in der derzeitigen „LAESIO“-Prüfmaschine. Gut sichtbar sind innerhalb des Käfigs die Linearmotoren zum Verfahren des Stempels im Raum.....	15
Abbildung 19: Vereinfachte Darstellung der BIAX- und TAU-Einheit. Die BIAX-Einheit verformt das abgerollte Blutgefäß in z- und θ -Richtung. Die TAU-Einheit verformt das Blutgefäß in r-Richtung und nimmt dabei über die Kraftmessdose die wirkenden Kräfte auf (Nothdurfter 2020, S. 12).....	16
Abbildung 20: Ansicht des aus Konstruktionsprofilen bestehenden Maschinenrahmens. Der obere Teil des Prüfstands ist durch transparente Acrylglasplatten eingehaust (Geith et al. 2020, S. 289).	17
Abbildung 21: Ansicht des Maschinenrahmens mit der Parallelverschiebung. Gut sichtbar sind die zwei Kippklappen zur Fixierung der TAU-Einheit und die Gasdruckfeder, die zur Dämpfung bzw. Unterstützung der Parallelverschiebung dient.	18
Abbildung 22: Ansicht der Industriekamera mit zugehörigem Kugelgelenk und Kreuztisch	18
Abbildung 23: Schema des Prüfstands mit elektrischer Ausrüstung. Mit Hilfe des Infusomaten wird die Salzlösung bzw. das Formaldehyd im Becken dosiert (Geith et al. 2020, S. 289).	19
Abbildung 24: Tragevorrichtung auf Untergestell (Nothdurfter 2020, S. 16)	21
Abbildung 25: Tragevorrichtung auf Untergestell mit eingebauter Probe	22
Abbildung 26: Rückansicht der Tragevorrichtung. Gut sichtbar ist der Mechanismus zum Verklemmen der Haltearme durch Verdrehen der Rändelmutter. ...	22
Abbildung 27: Ansicht der mit Haken versehenen Probe. Gut zu erkennen ist die farbliche Markierung am unteren Rand zum Erkennen der ursprünglichen Orientierung im Blutgefäß. Weiters sind die Markierungspunkte für die Bildverarbeitung sichtbar (Nothdurfter 2020, S. 15).	23
Abbildung 28: (a) Ansicht eines unberührten Schweineherzens, (b) Ansicht der rechten Coronararterie am Herzen (Die gelben Markierung bezeichnen den Anfang und das Ende dieser), (c) Herausgelöste Arterie, (d) 15mm langes Stück einer Arterie, (e) Probenstück mit violetter Marker (Nothdurfter 2020, S. 10)	24
Abbildung 29: Befestigung des Probenstücks an den Haltearmen. Die beiden äußersten Haken sind mit dem Nähfaden verknotet, während die inneren Haken am Nähfaden aufgefädelt sind.....	25
Abbildung 30: Kraftverlauf über der Zeit während des „Preconditionings“. Nach Abwarten der Ausgleichszeit (hier 45min), werden fünf Belastungszyklen gefahren, bei denen die Probe bis zur Kraft bei mittlerem Blutdruck (f_{θ}^{MAP} bzw. f_z^{MAP}) belastet wird. Verändert nach (Nothdurfter 2020, S. 18).....	26
Abbildung 31: Darstellung der Kraft über der Zeit beim Eindrückttest. Das Blutgefäß befindet sich zunächst 45 Minuten bei geringer Vorspannung im Becken.	

Danach wird das Blutgefäß beim „Preconditioning“ in fünf aufeinanderfolgenden Zyklen jeweils bis zur Kraft bei mittlerem Blutdruck (f_{θ}^{MAP} , f_z^{MAP}) belastet und sofort wieder auf Vorspannungskraft entlastet. Diese beiden Phasen sind notwendig, um die reproduzierbaren mechanischen Eigenschaften (Zusammenhang Spannung-Streckung) sicherzustellen (Nothdurfter 2020, S. 17). In der ersten Messreihe nach dem „Preconditioning“ werden die mechanischen Eigenschaften der Probe im nicht geschädigten Zustand aufgenommen. Hierbei wird die Probe ebenfalls bis zur Kraft bei mittlerem Blutdruck (f_{θ}^{MAP} , f_z^{MAP}) belastet. Nach dieser Phase wird der Stempel für die Relaxationszeit in die Probe eingedrückt, um die Stentimplantation nachzustellen (Nothdurfter 2020, S. 20). Dabei wirkt eine Eindrückkraft F_{ind} (2N). In der letzten Phase wird erneut eine Messreihe durchgeführt, bei der die Probe ebenfalls wieder bis zur Kraft bei mittlerem Blutdruck (f_{θ}^{MAP} , f_z^{MAP}) belastet wird, um die mechanischen Eigenschaften der beschädigten Probe aufzunehmen (Geith et al. 2020, S. 291–292)..... 28

Abbildung 32: Stempel während des Eindrückvorgangs.....	29
Abbildung 33: Vergleich des Spannung-Streckungszusammenhangs vor und nach der Verletzung durch Eindrücken des Stents. Gut sichtbar ist die Erweichung des Gewebes durch die Schädigung. Dies zeigt sich durch den flacheren Verlauf der Spannungsfunktion einer geschädigten Proben (Nothdurfter 2020, S. 36).	29
Abbildung 34: Probe mit Abdruck nach dem Eindrücken des Stempels (Nothdurfter 2020, S. 26)	30
Abbildung 35: Ein vom Videoextensiometer aufgenommenes Bild. Über die Position der Marker am Blutgefäß lassen sich die Streckungen bestimmen (Nothdurfter 2020, S. 21).	30
Abbildung 36: Arbeitsfluss bei der Produktentwicklung nach VDI-Richtlinie 2221 (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 198)	32
Abbildung 37: Arbeitsfluss der Hauptphase Produkt planen und Klären der Aufgabenstellung (Conrad 2003, S. 68).....	33
Abbildung 38: Arbeitsfluss beim Erstellen der Anforderungsliste (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 214).....	36
Abbildung 39: Hauptmerkmaliste beim Planen und Klären der Aufgabenstellung mit Beispielen für Assoziationen (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 220)	37
Abbildung 40: Arbeitsfluss in der Hauptphase Konzipieren (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 232).....	41
Abbildung 41: Blockschaltbild der Gesamtfunktion	46
Abbildung 42: Funktionsstruktur der Gesamtfunktion „Blutgefäß in Ebene und normal zur Ebene belasten und Kräfte/Verformungen messen“. Für die grau hinterlegten Teilfunktionen existieren bereits vorgegebene Wirkprinzipien.	52
Abbildung 43: Wirkstruktur 1.....	70
Abbildung 44: Wirkstruktur 2.....	71
Abbildung 45: Wirkstruktur 3.....	72
Abbildung 46: Wirkstruktur 4.....	73

Abbildung 47: Wirkstruktur 5.....	74
Abbildung 48: Wirkstruktur 6.....	75
Abbildung 49: Ansicht des Konzepts der BIAX-Einheit. Die elektrische Antriebstechnik (Spulenteil, Magnetplatte), die Lagerung (Laufwägen und Schiene), die Messtechnik (Positionsmesskopf, Magnetmaßstab) und die Anordnung der Lineareinheiten ist durch die Anforderungsliste bereits vorgegeben.....	80
Abbildung 50: TAU-Einheit Version A.....	81
Abbildung 51: TAU-Einheit Version B.....	81
Abbildung 52: TAU-Einheit Version C.....	81
Abbildung 53: Prinzipielle Lösung 1 mit TAU-Einheit Variante A in Betriebsstellung	84
Abbildung 54: Prinzipielle Lösung 1 mit TAU-Einheit Variante A außerhalb Betriebsstellung	84
Abbildung 55: Prinzipielle Lösung 1 mit TAU-Einheit Variante A in Sicherheitswerkbank.....	84
Abbildung 56: Prinzipielle Lösung 1 mit TAU-Einheit Variante B in Betriebsstellung	85
Abbildung 57: Prinzipielle Lösung 1 mit TAU-Einheit Variante B außerhalb Betriebsstellung	85
Abbildung 58: Prinzipielle Lösung 1 mit TAU-Einheit Variante B in Sicherheitswerkbank.....	85
Abbildung 59: Prinzipielle Lösung 1 mit TAU-Einheit Variante C in Betriebsstellung	86
Abbildung 60: Prinzipielle Lösung 1 mit TAU-Einheit Variante C außerhalb Betriebsstellung	86
Abbildung 61: Prinzipielle Lösung 1 mit TAU-Einheit Variante C in Sicherheitswerkbank.....	86
Abbildung 62: Prinzipielle Lösung 2 mit TAU-Einheit Variante A in Betriebsstellung	89
Abbildung 63: Prinzipielle Lösung 2 mit TAU-Einheit Variante A außerhalb Betriebsstellung	89
Abbildung 64: Prinzipielle Lösung 2 mit TAU-Einheit Variante A in Sicherheitswerkbank.....	89
Abbildung 65: Prinzipielle Lösung 2 mit TAU-Einheit Variante B in Betriebsstellung	90
Abbildung 66: Prinzipielle Lösung 2 mit TAU-Einheit Variante B außerhalb Betriebsstellung	90
Abbildung 67: Prinzipielle Lösung 2 mit TAU-Einheit Variante B in Sicherheitswerkbank.....	90
Abbildung 68: Prinzipielle Lösung 2 mit TAU-Einheit Variante C in Betriebsstellung	91
Abbildung 69: Prinzipielle Lösung 2 mit TAU-Einheit Variante C außerhalb Betriebsstellung	91
Abbildung 70: Prinzipielle Lösung 2 mit TAU-Einheit Variante C in Sicherheitswerkbank.....	91
Abbildung 71: Prinzipielle Lösung 3 mit TAU-Einheit Variante A in Betriebsstellung	93
Abbildung 72: Prinzipielle Lösung 3 mit TAU-Einheit Variante A außer Betriebsstellung	93

Abbildung 73: Prinzipielle Lösung 3 mit TAU-Einheit Variante A in Sicherheitswerkbank.....	93
Abbildung 74: Prinzipielle Lösung 3 mit TAU-Einheit Variante B in Betriebsstellung	94
Abbildung 75: Prinzipielle Lösung 3 mit TAU-Einheit Variante B außer Betriebsstellung	94
Abbildung 76: Prinzip. Lösung 3 mit TAU-Einheit Variante B in Sicherheitswerkbank	94
Abbildung 77: Prinzipielle Lösung 3 mit TAU-Einheit Variante C in Betriebsstellung	95
Abbildung 78: Prinzipielle Lösung 3 mit TAU-Einheit Variant C außer Betriebsstellung	95
Abbildung 79: Prinzipielle Lösung 3 mit TAU-Einheit Variante C in Sicherheitswerkbank.....	95
Abbildung 80: Prinzipielle Lösung 4 mit TAU-Einheit Variante A in Betriebsstellung	97
Abbildung 81: Prinzipielle Lösung 4 mit TAU-Einheit Variante A außer Betriebsstellung	97
Abbildung 82: Prinzipielle Lösung 4 mit TAU-Einheit Variante A in Sicherheitswerkbank.....	97
Abbildung 83: Prinzipielle Lösung 4 mit TAU-Einheit Variante B in Betriebsstellung	98
Abbildung 84: Prinzipielle Lösung 4 mit TAU-Einheit Variante B außer Betriebsstellung	98
Abbildung 85: Prinzipielle Lösung 4 mit TAU-Einheit Variante B in Sicherheitswerkbank.....	98
Abbildung 86: Prinzipielle Lösung 4 mit TAU-Einheit Variante C in Betriebsstellung	99
Abbildung 87: Prinzipielle Lösung 4 mit TAU-Einheit Variante C außer Betriebsstellung	99
Abbildung 88: Prinzipielle Lösung 4 mit TAU-Einheit Variante C in Sicherheitswerkbank.....	99
Abbildung 89: Prinzipielle Lösung 5 mit TAU-Einheit Variante A in Betriebsstellung	101
Abbildung 90: Prinzipielle Lösung 5 mit TAU-Einheit Variante A außer Betriebsstellung	101
Abbildung 91: Prinzipielle Lösung 5 mit TAU-Einheit Variante A in Sicherheitswerkbank.....	101
Abbildung 92: Prinzipielle Lösung 5 mit TAU-Einheit Variante B in Betriebsstellung	102
Abbildung 93: Prinzipielle Lösung 5 mit TAU-Einheit Variante B außer Betriebsstellung	102
Abbildung 94: Prinzipielle Lösung 5 mit TAU-Einheit Variante B in Sicherheitswerkbank.....	102
Abbildung 95: Prinzipielle Lösung 5 mit TAU-Einheit Variante C in Betriebsstellung	103
Abbildung 96: Prinzipielle Lösung 5 mit TAU-Einheit Variante C außer Betriebsstellung	103

Abbildung 97: Prinzipielle Lösung 5 mit TAU-Einheit Variante C in Sicherheitswerkbank.....	103
Abbildung 98: Prinzipielle Lösung 6 mit TAU-Einheit Variante A in Betriebsstellung	105
Abbildung 99: Prinzipielle Lösung 6 mit TAU-Einheit Variante A außer Betriebsstellung	105
Abbildung 100: Prinzipielle Lösung 6 mit TAU-Einheit Variante A in Sicherheitswerkbank.....	105
Abbildung 101: Prinzipielle Lösung 6 mit TAU-Einheit Variante B in Betriebsstellung	106
Abbildung 102: Prinzipielle Lösung 6 mit TAU-Einheit Variante B außer Betriebsstellung	106
Abbildung 103: Prinzipielle Lösung 6 mit TAU-Einheit Variante B in Sicherheitswerkbank.....	106
Abbildung 104: Prinzipielle Lösung 6 mit TAU-Einheit Variante C in Betriebsstellung	107
Abbildung 105: Prinzipielle Lösung 6 mit TAU-Einheit Variante C außer Betriebsstellung	107
Abbildung 106: Prinzipielle Lösung 6 mit TAU-Einheit Variante C in Sicherheitswerkbank.....	107
Abbildung 107: Hauptmerkmalliste zum Auffinden der Bewertungskriterien beim Konzipieren (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 270).....	109
Abbildung 108: Wertigkeitsdiagramm der prinzipiellen Lösungen 1C-6C	125
Abbildung 109: Arbeitsfluss in der Hauptphase des Entwerfens (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 307).....	128
Abbildung 110: Luftströmungen in einer mikrobiologischer Sicherheitswerkbank der Klasse II (UNI-Goettingen 2020).....	131
Abbildung 111: Zeichnung der Sicherheitswerkbank der Baureihe HS2030i mit Arbeitsbereichsbreite von 1,2m (A. Deepak 2018).....	133
Abbildung 112: Zeichnung der Arbeitsplatte der Sicherheitswerkbank. In der vorgesehenen Sicherheitswerkbank wird ein Arbeitsplatte mit 1,2m Breite verwendet (Thermofisher Scientific 2012).....	134
Abbildung 113: Hauptmerkmalliste beim Gestalten(Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 313)	137
Abbildung 114: Übersicht der Grundsätze beim Gestalten (Naefe 2018, S. 154)...	138
Abbildung 115: Vorläufiger Entwurf 4C mit seinen Hauptfunktionsträgern	139
Abbildung 116: Komponenten des Rahmens für vorläufigen Entwurf 4C	141
Abbildung 117: Standardverbindungsatz mit (a) Durchgangsbohrung und (b) Kernbohrung mit Gewinde (item Industrietechnik GmbH 2021).....	142
Abbildung 118: Einschieben des Standardverbinders in Nut (item Industrietechnik GmbH 2021)	142
Abbildung 119: Komponenten der Gondel für vorläufigen Entwurf 4C	143
Abbildung 120: Lagersatz vor Einsetzen in ein Schlittenprofil (item Industrietechnik GmbH 2016, S. 572).....	143

Abbildung 121: C-Schienensystem bestehend aus C-Schiene mit Edelstahlwellen und Schlittenprofil mit eingebautem Lagersatz (item Industrietechnik GmbH 2016, S. 568)	143
Abbildung 122: Vorläufiger Entwurf 5C mit seinen Hauptfunktionsträgern	144
Abbildung 123: Komponenten des Rahmens für vorläufigen Entwurf 5C	145
Abbildung 124: Komponenten der Gondel für vorläufigen Entwurf 5C	147
Abbildung 125: Runde Doppelschiene des Herstellers „IGUS“ (igus GmbH Germany 2020, S. 992)	147
Abbildung 126: Gehäuselager mit Handklemmung des Herstellers „IGUS“ (igus GmbH Germany 2020, S. 1020)	147
Abbildung 127: Ausgleich von Parallelitätsfehlern durch Fest-Loslager Paarung (igus GmbH Germany 2020, S. 963)	148
Abbildung 128: Erklärung der 2:1 Regel bei außermittigem Kraftangriffspunkt (igus GmbH Germany 2020, S. 963)	148
Abbildung 129: Vorläufiger Entwurf 6C mit seinen Hauptfunktionsträgern	149
Abbildung 130: Komponenten des Rahmens für vorläufigen Entwurf 6C	151
Abbildung 131: Komponenten der Gondel für vorläufigen Entwurf 6C	152
Abbildung 132: Runde Einzelschiene des Herstellers „IGUS“ (igus GmbH Germany 2020, S. 978)	152
Abbildung 133: Gehäuselager mit Handklemmung des Herstellers „IGUS“ (igus GmbH Germany 2020, S. 1020)	152
Abbildung 134: N-Flachführung Führungsschiene des Herstellers „IGUS“ (igus GmbH Germany 2020, S. 1038).....	152
Abbildung 135: N-Flachführung Führungsschlitten des Herstellers „IGUS“ (igus GmbH Germany 2020, S. 1038)	152
Abbildung 136: Japansäge mit Schneidlehre.....	154
Abbildung 137: Mit Holzleim versehene Kontaktfläche	155
Abbildung 138: Einschraubvorgang der Spanplattenschrauben mittels Akkubohrmaschine	155
Abbildung 139: Vorführmodell des vorläufigen Entwurfs 4C in Sicherheitswerkbank bei geöffneter Frontscheibe. Beachtenswert ist die weiße Gummilippe, die links und rechts mehrere Millimeter in den Arbeitsbereich ragt.....	156
Abbildung 140: Vorführmodell des vorläufigen Entwurfs 4C in Sicherheitswerkbank bei geschlossener Frontscheibe.	156
Abbildung 141: Vorführmodell des vorläufigen Entwurfs 6C in Sicherheitswerkbank bei geöffneter Frontscheibe	157
Abbildung 142: Vorführmodell des vorläufigen Entwurfs 4C in Sicherheitswerkbank bei geschlossener Frontscheibe	157
Abbildung 143: Ansicht der Gummitülle ("Smart Port") bei eingebautem vorläufigen Entwurf 6C	158
Abbildung 144: Ansicht des Displays während des Prüfvorgangs. Das Warnsystem meldet keine Störungen des Luftstroms.....	158
Abbildung 145: Ansicht der leeren Sicherheitswerkbank bei geöffneter Frontscheibe	159

Abbildung 146: Ansicht des Arbeitsraums der Sicherheitswerkbank bei geöffneter Frontscheibe. Gut ersichtlich sind die Lüftungsöffnungen vorne und am hinteren Ende der Arbeitsplatte. Ebenfalls sind gut ersichtlich die beiden Gummitüllen ("Smart Ports") links und rechts in der Seitenwand.....	159
Abbildung 147: Hauptmerkmale für das Bewerten in der Entwurfsphase (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 514).....	161
Abbildung 148: Wertigkeitsdiagramm für vorläufiger Entwurf 5C und 6C	170
Abbildung 149: Bereiche im Wertigkeitsdiagramm (Naefe 2018, S. 139)	171
Abbildung 150: TAU-Einheit mit Lineareinheiten zur Bewegung des Stempels.....	172
Abbildung 151: Lineareinheit x-Richtung mit seinen Bestandteilen. Die elektrische Antriebstechnik mit Spulenteil und Magnetplatten ist nicht sichtbar.....	173
Abbildung 152: Maschinenbett mit Bohrmustern und Montageflächen	175
Abbildung 153: Maschinenbett mit befestigten Abschlussplatten	175
Abbildung 154: Schlitten mit Bohrmustern und Montageflächen	176
Abbildung 155: Absolutes Positionsmesssystem.....	178
Abbildung 156: Richtige Auswahl und Positionierung des Magnetmaßstabs. Negative Störeinflüsse durch das Spulenmagnetfeld können vermieden werden, wenn die Länge des Magnetmaßstabs kürzer als die der Magnetplatte gewählt wird und ein gewisser Spaltabstand zwischen dem Magnetmaßstab und der Magnetplatte eingehalten wird.	178
Abbildung 157: Falsche Auswahl und Positionierung des Magnetmaßstabs.....	178
Abbildung 158: Der in den Lineareinheiten verwendete Linearservomotor mit seinen Komponenten. Verändert nach (Beckhoff Automation GmbH & Co.KG 2021a, S. 17)	179
Abbildung 159: Lineareinheit x-Richtung mit abgenommenen Schlitten	181
Abbildung 160: Laufwagen mit vier Kugellaufbahnen in X-Anordnung	182
Abbildung 161: Einbausituation der Profilschienenführung. Verändert nach (Hiwin Gmbh 2002, S. 19).....	182
Abbildung 162: Detailansicht der Fixierung der Führungsschiene (Referenzschiene) und des Laufwagens mit Klemmschrauben (Hiwin Gmbh 2002, S. 19)	182
Abbildung 163: Lineareinheit y-Richtung mit zwei Abschlussplatten. Die Stirnfläche auf einer Seite bleibt frei zur Befestigung z-Lineareinheit.	183
Abbildung 164: Lineareinheit z-Richtung mit seinen Bestandteilen	184
Abbildung 165: Linearachse mit Kugelgewindetrieb (Hiwin Gmbh, S. 7).....	186
Abbildung 166: Schnitt durch die Verstelleinrichtung der Lineareinheit. Die kegelige Druckfeder fehlt in der Ansicht.	187
Abbildung 167: Ansicht der 3D-Kraftmessdose vom Typ "K3D40" des Herstellers "ME-Messsysteme" (ME-Messsysteme GmbH 2021, S. 1)	188
Abbildung 168: Stempel mit Stempelaufnahme	189
Abbildung 169: Linearachsenplatte mit Schutzblech und Gummipuffer	190
Abbildung 170: BIAX-Einheit mit Lineareinheiten zum Aufspannen der Probe.....	191
Abbildung 171: Lineareinheit der BIAX-Einheit.....	193
Abbildung 172: Grundplatte der BIAX-Einheit.....	194

Abbildung 173: Nährstoffzulauf mit seinen Bestandteilen.....	194
Abbildung 174: Becken mit seinen Bestandteilen.....	196
Abbildung 175: Rückansicht des Beckens. Die beiden PTFE-Dichtungen sind gelb dargestellt.	196
Abbildung 176: Baugruppen und Einzelteile des Kamerawagens	198
Abbildung 177: Wagengestell mit seinen Bestandteilen	199
Abbildung 178: Zweiachssystem bestehend aus Kreuztisch und Kreuztischadapterblock.....	200
Abbildung 179: Kamerahalterung und ihre Bestandteile.....	201
Abbildung 180: Spiegeleinheit und ihre Bestandteile.....	202
Abbildung 181: Kamerawagen in Betriebsstellung. Mit Hilfe des Dreisterngriffs wird der Kamerawagen an der Grundplatte der BIAX-Einheit festgeschraubt.	202
Abbildung 182: Industriekamera zur Messung der Streckungen der Probe (IDS Imaging Development Systems GmbH 2022, S. 1–2).....	203
Abbildung 183: Möglichkeiten der Versorgung von verfahrbaren Baugruppen (Hoenow und Meißner 2007, S. 260).....	204
Abbildung 184: Kabelführung und ihre Bestandteile.....	205
Abbildung 185: Innenaufteilungselement bestehend aus einer Ober-bzw. Unterschale mit Trennstegen und Zwischenboden (igus GmbH Germany 2021a) ...	205
Abbildung 186: Überhöhung des Obertrums durch die Vorspannung über die nominelle Höhe (H). Bei der Gestaltung ist besonders darauf zu achten, dass die erforderliche Einbauhöhe (H_F) eingehalten wird. Verändert nach (igus GmbH Germany 2021b, S. 113).....	206
Abbildung 187: Gondelpuffer mit Gondel in Betriebsstellung.....	207
Abbildung 188: Gondelpuffer mit Gondel außerhalb Betriebsstellung	207
Abbildung 189: Feingestaltung des Rahmens und der Gondel.....	209
Abbildung 190: Ausnehmung an Grundplatte für Energiekette.....	210
Abbildung 191: Anwendung des Universalhalters. Dieser wird mit Hilfe einer Senkschraube und einem Nutenstein in der Profilnut befestigt.(item Industrietechnik GmbH 2016, S. 509).....	211
Abbildung 192: Stempel und Stempelaufnahme als getrennte Bauteile	212
Abbildung 193: Stempel und Stempelaufnahme als vereintes Bauteil.....	212
Abbildung 194: Gesamtentwurf mit Gondel außerhalb Betriebsstellung.....	213
Abbildung 195: Gesamtentwurf mit Gondel in Betriebsstellung (Vorderansicht).....	213
Abbildung 196: Gesamtentwurf mit Gondel in Betriebsstellung (Rückansicht)	214
Abbildung 197: Gesamtentwurf in Werkbank mit Gondel in Betriebsstellung	214
Abbildung 198: Arbeitsfluss in der Hauptphase Ausarbeiten (Pahl/Beitz Konstruktionslehre 2006, S. 552).....	215
Abbildung 199: Beispiel einer fertigungs- bzw. montageorientierten Erzeugnisstruktur (Conrad 2003, S. 228)	216
Abbildung 200: Beispiel der Sachnummer im Verbundnummernsystem. Verändert nach (Conrad 2003, S. 252).....	219

Abbildung 201: Beispiel einer Einzelteilzeichnung..... 221
Abbildung 202: Beispiel einer Gruppenzeichnung als Explosionsdarstellung..... 224

13 Anhang

A.) Berechnungen

a.) Berechnung der notwendigen Stellkraft von vorläufigen Entwurf 5C

Bestimmung der Lagerkraft pro Gehäuselager

$g := 9.81 \frac{m}{s^2}$	Erdbeschleunigung
$m_{Gondel} := 50 \text{ kg}$	Masse Gondel (Schätzung)
$n_{Lager} := 8$	Lagerzahl
$F_{Gondel} := m_{Gondel} \cdot g = 490.5 \text{ N}$	Gewichtskraft Gondel
$F_{Lager} := \frac{F_{Gondel}}{8} = 61.313 \text{ N}$	Lagerkraft pro Gehäuselager

Kennwerte Gehäuselager

$\mu_{J200} := 0.17$	Gleitreibbeiwert von Iglidur J200 gegen Stahl (igus GmbH Germany 2020, S. 33)
----------------------	---

Bestimmung der Gleitreibungskraft pro Gehäuselager

$$F_{Gleit} := \mu_{J200} \cdot F_{Lager} = 10.423 \text{ N}$$

Bestimmung der Stellkraft

$$F_{Verst.} := n_{Lager} \cdot F_{Gleit} = 83.385 \text{ N}$$

Verhältnis Stellkraft zu maximaler statischer Aktionskraft

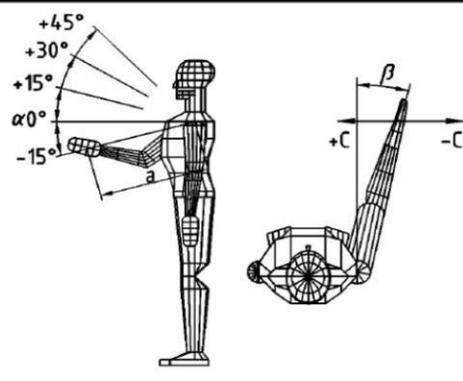
$C_{minus_einh.} := 120 \text{ N}$	einhändige maximale statische Aktionskraft, bei 60% Armreichweite, Seitenwinkel $\beta = 15^\circ$ und Höhenwinkel $\alpha = -15^\circ$, die von 95% der Bevölkerung mindestens erreicht wird. (DIN-Norm 33411-5, S. 21)
-------------------------------------	---

$C_{minus_beidh.} := 2 \cdot C_{minus_einh.} = 240 \text{ N}$	vereinfachte Annahme für beidhändige maximale statische Aktionskraft
---	--

$\delta_{Verstell} := \frac{F_{Verst.}}{C_{minus_beidh.}} = 34.744\%$	Verhältnis aus Verstellkraft zu beidhändiger maximaler statischer Aktionskraft
--	--

Maximale statische Aktionskräfte in Krafrichtung $\pm C$

Körperstellung Stehen, Beine gestreckt, Rumpf aufrecht, einhändige Kraftausübung an senkrechtem Griff mit bevorzugter Hand, Seitenwinkel $\beta = 15^\circ$, Fußstellung nebeneinander, Probandenkollektiv 1



Krafrichtung	Armreichweite a %	Kraftper- zentile	Kraftwerte N Höhenwinkel α			
			- 15°	+ 15°	+ 30°	+ 45°
+ C (horizontal, senkrecht zur Körpersymme- trieebene hin)	40	5.	91	83	100	112
		10.	143	137	128	130
		15.	163	142	132	134
		50.	213	191	176	170
		95.	367	362	323	332
	60	5.	125	103	107	99
		10.	139	120	112	113
		15.	148	129	116	116
		95.	232	187	180	163
80	5.	110	111	113	92	
	10.	118	114	120	104	
	15.	133	122	124	114	
	50.	205	180	188	182	
	95.	631	359	343	389	
- C (horizontal, senkrecht von der Körpersym- metrieebene weg)	40	5.	114	117	118	110
		10.	135	121	126	117
		15.	144	130	138	125
		50.	181	183	186	182
		95.	254	373	465	418
	60	5.	120	105	101	104
		10.	134	119	112	118
		15.	140	123	124	125
		50.	183	166	173	186
		95.	367	469	492	418
	80	5.	113	105	102	94
		10.	128	113	106	106
15.		134	118	113	117	
95.		192	204	196	214	
					456	

Tabelle: Maximale statische Aktionskräfte, abhängig von der Armreichweite, dem Seitenwinkel und dem Höhenwinkel (DIN-Norm 33411-5, S. 21)

b.) Berechnung der notwendigen Stellkraft von vorläufigen Entwurf 6C

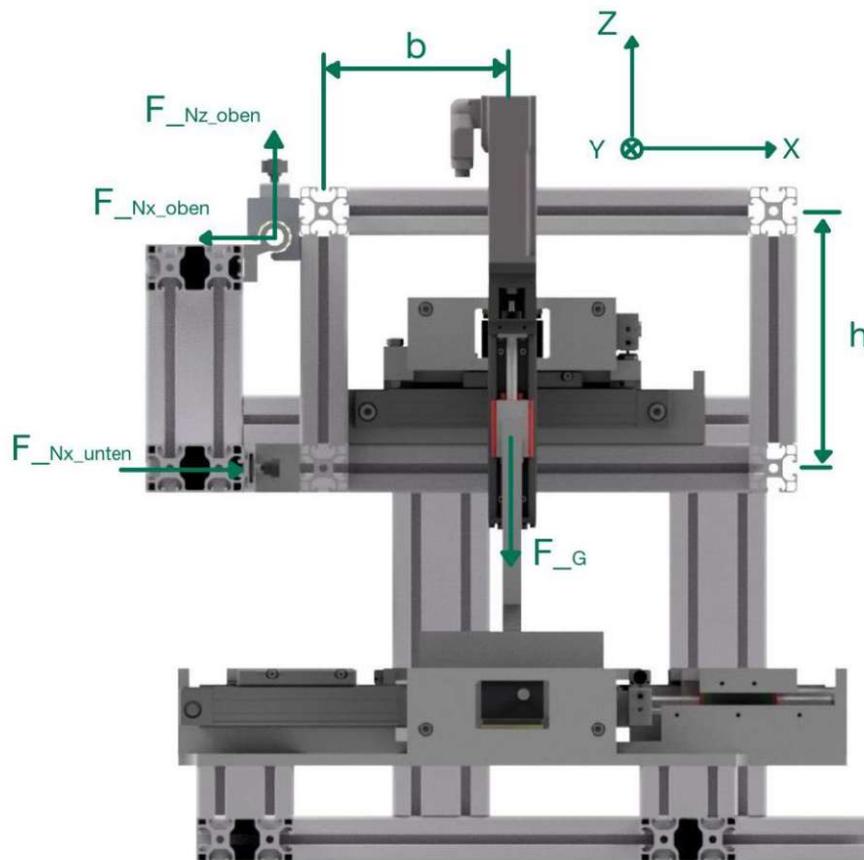


Abbildung: Zwischen Rahmen und Gondel wirkende Kräfte

$$h := 170 \text{ mm}$$

$$b := 250 \text{ mm}$$

$$n_{\text{Lager}} := 2 \quad \text{Anzahl der Lager pro Führungsschiene}$$

Bestimmung der Gewichtskraft der Gondel

$$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{Erdbeschleunigung}$$

$$m_{\text{Gondel}} := 50 \text{ kg} \quad \text{Masse Gondel (Schätzung)}$$

$$F_{\text{Gondel}} := m_{\text{Gondel}} \cdot g = 490.5 \text{ N} \quad \text{Gewichtskraft Gondel}$$

Bestimmung der Lagerkraft in Gehäuselager

$$F_{N_{x_oben}} := \frac{F_{Gondel} \cdot b}{n_{Lager} \cdot h} = 360.662 \text{ N}$$

$$F_{N_{z_oben}} := \frac{F_{Gondel}}{n_{Lager}} = 245.25 \text{ N}$$

$$F_{N_{oben}} := \sqrt{F_{N_{x_oben}}^2 + F_{N_{z_oben}}^2} = 436.147 \text{ N}$$

Bestimmung der Lagerkraft in N-Führungsschiene

$$F_{N_{unten}} := F_{N_{x_oben}} = 360.662 \text{ N}$$

Kennwerte Gehäuselager und Lager der N-Führungsschiene

$$\mu_{J200} := 0.17$$

Gleitreibbeiwert von Iglidur J200 gegen Stahl (igus GmbH Germany 2020, S. 33)

Bestimmung der Gleitreibungskraft pro Gehäuselager

$$F_{Gleit_oben} := \mu_{J200} \cdot F_{N_{oben}} = 74.145 \text{ N}$$

Bestimmung der Gleitreibungskraft pro Lager der N-Führungsschiene

$$F_{Gleit_unten} := \mu_{J200} \cdot F_{N_{unten}} = 61.313 \text{ N}$$

Bestimmung der Verstellkraft

$$F_{Verst.} := (F_{Gleit_unten} + F_{Gleit_oben}) \cdot n_{Lager} = 270.915 \text{ N}$$

Verhältnis Stellkraft zu maximaler statischer Aktionskraft

$$C_{minus_einh.} := 120 \text{ N} \quad \text{einhändige maximale statische Aktionskraft, bei 60\% Armreichweite, Seitenwinkel } \beta = 15^\circ \text{ und Höhenwinkel } \alpha = -15^\circ, \text{ die von 95\% der Bevölkerung mindestens erreicht wird. (DIN-Norm 33411-5, S. 21)}$$

$$C_{minus_beidh.} := 2 \cdot C_{minus_einh.} = 240 \text{ N} \quad \text{vereinfachte Annahme für beidhändige maximale statische Aktionskraft}$$

$$\delta_{Verstell} := \frac{F_{Verst.}}{C_{minus_beidh.}} = 112.881\% \quad \text{Verhältnis aus Verstellkraft zu beidhändiger maximaler statischer Aktionskraft}$$

c.) Berechnung des Volumenverhältnisses von vorläufigen Entwurf 5C bzw. 6C

Volumen vorläufiger Entwurf 5C

Abmessungen vorläufiger Entwurf 5C

$H := 0.73 \text{ m}$ Höhe vorläufiger Entwurf 5C

$T := 0.55 \text{ m}$ Tiefe vorläufiger Entwurf 5C

$L := 1.18 \text{ m}$ Länge vorläufiger Entwurf 5C

$V_{5C} := H \cdot T \cdot L = 0.474 \text{ m}^3$ Volumen vorläufiger Entwurf 5C

$V_{Werkbank} := 0.507 \text{ m}^3$ Volumen Sicherheitswerkbank Herasafe 2030i

Verhältnis Raumbedarf Prüfstand zu maximalem Raumvolumen Werkbank

$$Q_{5C_Werkbank} := \frac{V_{5C}}{V_{Werkbank}} = 93\%$$

Volumen vorläufiger Entwurf 6C

Abmessungen vorläufiger Entwurf 6C

$H := 0.506 \text{ m}$ Höhe vorläufiger Entwurf 6C

$T := 0.591 \text{ m}$ Tiefe vorläufiger Entwurf 6C

$L := 1.18 \text{ m}$ Länge vorläufiger Entwurf 6C

$V_{6C} := H \cdot T \cdot L = 0.353 \text{ m}^3$ Volumen vorläufiger Entwurf 6C

$V_{Werkbank} := 0.507 \text{ m}^3$ Volumen Sicherheitswerkbank Herasafe 2030i

Verhältnis Raumbedarf Prüfstand zu maximalem Raumvolumen Werkbank

$$Q_{6C_Werkbank} := \frac{V_{6C}}{V_{Werkbank}} = 70\%$$

d.) Berechnung der Gesamtmasse von vorläufigen Entwurf 5C

Massenberechnung für vorläufigen Entwurf 5C (exkl. TAU- bzw. BIAX-Einheit)							
Stufe 1 (Baugruppe/Teile)	Stufe 2 (Baugruppe/Teile)	Firma; Bezeichnung; Artikelnummer; Werkstoff	Länge [m]	Menge [Stck]	Gewicht pro Meter [kg/m]	Gewicht [kg]	Bemerkung
Bodenplatte	Längsträger	ITEM; Profil 8 80x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.34; Länge: 1020mm	1,02	2,00	3,04	6,20	Haberkorn Onlineshop
	Querträger	ITEM; Profil 8 80x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.34; Länge: 550mm	0,55	2,00	3,04	3,34	Haberkorn Onlineshop
	Abdeckkappe (80x40)	ITEM; Abdeckkappe 8 80x40, schwarz; Artikelnr.: 0.0.026.02	0,00	8,00	0,00	0,00	Vernachlässigt
	Standardverbinder	ITEM; Standard- Verbindungssatz 8, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.026.07	0,00	8,00	0,00	0,00	Vernachlässigt
Rahmen	Längsträger	ITEM; Profil 8 40x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.33; Länge: 1180mm	1,18	2,00	1,74	4,11	Haberkorn Onlineshop
	Stütze	ITEM; Profil 8 80x80 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.265.80; Länge: 613mm	0,61	2,00	5,33	6,53	Haberkorn Onlineshop
	Verbindungsquerträger	ITEM; Profil 8 80x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.34; Länge: 120mm	0,12	2,00	3,04	0,73	Haberkorn Onlineshop
	Abdeckkappe (40x40)	ITEM; Abdeckkappe 8 40x40, schwarz; Artikelnr.: 0.0.026.01	0,00	4,00	0,00	0,00	Vernachlässigt
	Abdeckkappe (80x40)	ITEM; Abdeckkappe 8 80x40, schwarz; Artikelnr.: 0.0.026.02	0,00	8,00	0,00	0,00	Vernachlässigt
	Standardverbinder	ITEM; Standard- Verbindungssatz 8, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.026.07	1,00	20,00	0,00	0,00	Vernachlässigt
	W-Doppelschiene	IGUS; drylin® W Doppelschienen WS; Artikelnr.: WS-25-120; Länge: 1020mm	1,02	1,00	5,80	5,92	IGUS Onlineshop
	Verbindungselemente (Schrauben,...)	-	0,00	1,00	0,00	0,00	Vernachlässigt
Gondel	Gehäuselager mit Handklemmung	IGUS; drylin® W Gehäuselager mit Handklemmung WHKA; Artikelnr.: WHKA-25	0,00	2,00	0,00	0,00	Vernachlässigt
	Gehäuselager	IGUS; drylin® W Gehäuselager WJ200UM-01- AL; Artikelnr.: WJ200UM-01- 25-AL	0,00	4,00	0,00	0,00	Vernachlässigt
	Gondeldeckenplatte	Aluminium EN AW 5083;	1,00	1,00	7,38	7,38	Geschätzt
	Gondelsteher	ITEM; Profil 8 40x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.33; Länge: 330mm	0,33	4,00	1,74	2,30	Haberkorn Onlineshop
	Gondellängsträger	ITEM; Profil 8 40x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.33; Länge: 330mm	0,33	2,00	1,74	1,15	Haberkorn Onlineshop
	Gondelquerträger	ITEM; Profil 8 40x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.33; Länge: 330mm	0,33	2,00	1,74	1,15	Haberkorn Onlineshop
	Standardverbinder	ITEM; Standard- Verbindungssatz 8, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.026.07	0,00	8,00	0,00	0,00	Vernachlässigt
	Verbindungselemente (Schrauben,...)	-	0,00	1,00	0,00	0,00	Vernachlässigt
Podest	Stütze	ITEM; Profil 8 80x80 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.265.80; Länge: 40mm	0,04	4,00	5,33	0,85	Haberkorn Onlineshop
	Standardverbinder	ITEM; Standard- Verbindungssatz 8, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.026.07	0,00	16,00	0,00	0,00	Vernachlässigt
Gesamtgewicht						39,66	

e.) Berechnung der Gesamtmasse von vorläufigen Entwurf 6C

Massenberechnung für vorläufigen Entwurf 6C (exkl. TAU- bzw. BIAX-Einheit)								
Stufe 1 (Baugruppe/Teile)	Stufe 2 (Baugruppe/Teile)	Firma; Bezeichnung; Artikelnummer; Werkstoff	Länge [m]	Menge [Stck]	Gewicht pro Meter [kg/m]	Gewicht [kg]	Bemerkung	
Bodenplatte	Längsträger	ITEM; Profil 8 80x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.34; Länge: 1020mm	1,02	2,00	3,04	6,20	Haberkorn Onlineshop	
	Querträger	ITEM; Profil 8 80x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.34; Länge: 550mm	0,55	2,00	3,04	3,34	Haberkorn Onlineshop	
	Abdeckkappe (80x40)	ITEM; Abdeckkappe 8 80x40, schwarz; Artikelnr.: 0.0.026.02	0,00	8,00	0,00	0,00	Vernachlässigt	
	Standardverbinder	ITEM; Standard- Verbindungssatz 8, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.026.07	0,00	8,00	0,00	0,00	Vernachlässigt	
Rahmen	Längsträger	ITEM; Profil 8 80x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.34; Länge: 1020mm	1,02	2,00	3,04	6,20	Haberkorn Onlineshop	
	Stütze oben	ITEM; Profil 8 80x80 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.265.80; Länge: 203,5mm	0,20	2,00	5,33	2,17	Haberkorn Onlineshop	
	Querträger	ITEM; Profil 8 80x80 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.265.80; Länge: 425mm	0,43	2,00	5,33	4,53	Haberkorn Onlineshop	
	Stütze unten	ITEM; Profil 8 80x80 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.265.80; Länge: 263mm	0,24	2,00	5,33	2,52	Haberkorn Onlineshop	
	Abdeckkappe (80x80)	ITEM; Abdeckkappe 8 80x80, schwarz; Artikelnr.: 0.0.026.37	0,00	6,00	0,00	0,00	Vernachlässigt	
	Standardverbinder	ITEM; Standard- Verbindungssatz 8, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.026.07	0,00	48,00	0,00	0,00	Vernachlässigt	
Führung	Einzelschiene	IGUS; drylin® W- Einzelschiene WS; Artikelnr.: WS-25; Länge: 1020mm	1,02	1,00	2,03	2,07	IGUS Onlineshop	
	Führungsschiene	IGUS; drylin® N Führungsschiene, Baugröße 27; Artikelnr.: NS-01-27; Länge: 1020mm	1,02	1,00	0,29	0,30	IGUS Onlineshop	
	Verbindungselemente (Schrauben,...)	-	0,00	1,00	0,00	0,00	Vernachlässigt	
	Gondel	Gehäuselager mit Handklemmung	IGUS; drylin® W Gehäuselager mit Handklemmung WHKA; Artikelnr.: WHKA-25	0,00	2,00	0,00	0,00	Vernachlässigt
	Führungsschlitten mit Handklemmung	IGUS; drylin® N Handklemmung, Baugröße 27; Artikelnr.: NW-12-27-80- HKA	0,00	2,00	0,00	0,00	Vernachlässigt	
Adapterschiene Gondel	Aluminium EN AW 5083	1,00	1,00	0,46	0,46	Geschätzt		
Gondel	Gondelsteher	ITEM; Profil 8 40x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.33; Länge: 170mm	0,17	4,00	1,74	1,18	Haberkorn Onlineshop	
	Gondellängsträger	ITEM; Profil 8 40x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.33; Länge: 250mm	0,25	4,00	1,74	1,74	Haberkorn Onlineshop	
	Gondelquerträger	ITEM; Profil 8 40x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.33; Länge: 325mm	0,33	4,00	1,74	2,26	Haberkorn Onlineshop	
	Standardverbinder	ITEM; Standard- Verbindungssatz 8, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.026.07	0,00	16,00	0,00	0,00	Vernachlässigt	
	Verbindungselemente (Schrauben,...)	-	0,00	1,00	0,00	0,00	Vernachlässigt	
	Podest	Stütze	ITEM; Profil 8 80x80 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.265.80; Länge: 40mm	0,04	4,00	5,33	0,85	Haberkorn Onlineshop
	Standardverbinder	ITEM; Standard- Verbindungssatz 8, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.026.07	0,00	16,00	0,00	0,00	Vernachlässigt	
Gesamtgewicht						33,83		

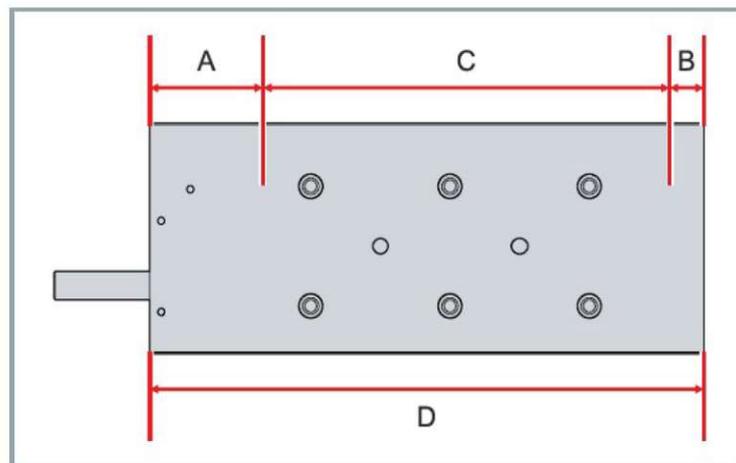
f.) Berechnung der Kosten von vorläufigen Entwurf 5C

Kostenberechnung für vorläufigen Entwurf 5C (exkl. TAU- bzw. BIAX-Einheit)							
Stufe 1 (Baugruppe/ Teile)	Stufe 2 (Baugruppe/Teile)	Firma; Bezeichnung; Artikelnummer; Werkstoff	Menge [Stck]	Preis pro Stck. (netto) [€]	Preis (netto)	Preis insgesamt [€]	Bemerkung
Bodenplatte	Längsträger	ITEM; Profil 8 80x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.34; Länge: 1020mm	2	24,86€/m	25,33	50,66	Haberkorn Onlineshop
	Querträger	ITEM; Profil 8 80x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.34; Länge: 550mm	2	24,86€/m	13,65	27,3	Haberkorn Onlineshop
	Abdeckkappe (80x40)	ITEM; Abdeckkappe 8 80x40, schwarz; Artikelnr.: 0.0.026.02	8	0,9€/Stck.	0,9	7,2	Haberkorn Onlineshop
	Standardverbinder	ITEM; Standard- Verbindungssatz 8, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.026.07	8	2,23€/Stck.	2,23	17,84	Haberkorn Onlineshop
Rahmen	Längsträger	ITEM; Profil 8 40x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.33; Länge: 1180mm	2	13,87€/m	16,36	32,72	Haberkorn Onlineshop
	Stütze	ITEM; Profil 8 80x80 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.265.80; Länge: 613mm	2	45,68€/m	28,32	56,64	Haberkorn Onlineshop
	Verbindungsquerträger	ITEM; Profil 8 80x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.34; Länge: 120mm	2	24,86€/m	2,98	5,96	Haberkorn Onlineshop
	Abdeckkappe (40x40)	ITEM; Abdeckkappe 8 40x40, schwarz; Artikelnr.: 0.0.026.01	4	0,55€/Stck.	0,55	2,2	Haberkorn Onlineshop
	Abdeckkappe (80x40)	ITEM; Abdeckkappe 8 80x40, schwarz; Artikelnr.: 0.0.026.02	8	0,9€/Stck.	0,9	7,2	Haberkorn Onlineshop
	Standardverbinder	ITEM; Standard- Verbindungssatz 8, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.026.07	20	2,23€/Stck.	2,23	44,6	Haberkorn Onlineshop
	W-Doppelschiene	IGUS; drylin® W Doppelschiene WS; Artikelnr.: WS-25-120; Länge: 1020mm	1	155,8€/m	158,92	158,92	IGUS Onlineshop
	Verbindungselemente (Schrauben....)	-	1	-	50	50	Schätzung
Gondel	Gehäuselager mit Handklemmung	IGUS; drylin® W Gehäuselager mit Handklemmung WHKA; Artikelnr.: WHKA-25	2	59,4€/Stck.	59,4	118,8	IGUS Onlineshop
	Gehäuselager	IGUS; drylin® W Gehäuselager WJ200UM-01-AL; Artikelnr.: WJ200UM-01-25-AL	4	33,2€/Stck.	33,2	132,8	IGUS Onlineshop
	Gondeldeckenplatte	Aluminium EN AW 5083	1	400€/Stck.	400	400	Schätzung
	Gondelsteher	ITEM; Profil 8 40x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.33; Länge: 330mm	4	13,87€/m	4,58	18,32	Haberkorn Onlineshop
	Gondellängsträger	ITEM; Profil 8 40x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.33; Länge: 330mm	2	13,87€/m	4,58	9,16	Haberkorn Onlineshop
	Gondelquerträger	ITEM; Profil 8 40x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.33; Länge: 330mm	2	13,87€/m	4,58	9,16	Haberkorn Onlineshop
	Standardverbinder	ITEM; Standard- Verbindungssatz 8, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.026.07	8	2,23€/Stck.	2,23	17,84	Haberkorn Onlineshop
	Verbindungselemente (Schrauben....)	-	1	-	25	25	Schätzung
Podest	Stütze	ITEM; Profil 8 80x80 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.265.80; Länge: 40mm	4	45,68€/m	1,83	7,32	Haberkorn Onlineshop
	Standardverbinder	ITEM; Standard- Verbindungssatz 8, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.026.07	16	2,23€/Stck.	2,23	35,68	Haberkorn Onlineshop
Gesamtsumme (netto)						1235,32	

g.) Berechnung der Kosten von vorläufigen Entwurf 6C

Kostenberechnung für vorläufigen Entwurf 6C (exkl. TAU-bzw. BIAX-Einheit)							
Stufe 1 (Baugruppe/Teile)	Stufe 2 (Baugruppe/Teile)	Firma; Bezeichnung; Artikelnummer; Werkstoff	Menge [Stck]	Preis pro Stck. (netto) [€]	Preis (netto)	Preis insgesamt [€]	Bemerkung
Bodenplatte	Längsträger	ITEM; Profil 8 80x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.34; Länge: 1020mm	2	24,86€/m	25,33	50,66	Haberkorn Onlineshop
	Querträger	ITEM; Profil 8 80x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.34; Länge: 550mm	2	24,86€/m	13,65	27,3	Haberkorn Onlineshop
	Abdeckkappe (80x40)	ITEM; Abdeckkappe 8 80x40, schwarz; Artikelnr.: 0.0.026.02	8	0,9€/Stck.	0,9	7,2	Haberkorn Onlineshop
	Standardverbinder	ITEM; Standard- Verbindungssatz 8, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.026.07	8	2,23€/Stck.	2,23	17,84	Haberkorn Onlineshop
Rahmen	Längsträger	ITEM; Profil 8 80x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.34; Länge: 1020mm	2	24,86€/m	25,33	50,66	Haberkorn Onlineshop
	Stütze oben	ITEM; Profil 8 80x80 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.265.80; Länge: 203,5mm	2	45,68€/m	9,59	19,18	Haberkorn Onlineshop
	Querträger	ITEM; Profil 8 80x80 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.265.80; Länge: 425mm	2	45,68€/m	19,65	39,3	Haberkorn Onlineshop
	Stütze unten	ITEM; Profil 8 80x80 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.265.80; Länge: 263mm	2	45,68€/m	12,33	24,66	Haberkorn Onlineshop
	Abdeckkappe (80x80)	ITEM; Abdeckkappe 8 80x80, schwarz; Artikelnr.: 0.0.026.37	6	1,55€/Stck.	1,55	9,3	Haberkorn Onlineshop
	Standardverbinder	ITEM; Standard- Verbindungssatz 8, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.026.07	48	2,23€/Stck.	2,23	107,04	Haberkorn Onlineshop
	Einzelsschiene	IGUS; drylin® W-Einzelsschiene WS; Artikelnr.: WS-25	1	53,8€/m	54,88	54,88	IGUS Onlinshop
	Führungsschiene	IGUS; drylin® N Führungsschiene, Baugröße 27; Artikelnr.: NS-01-27	1	20,13€/m	20,53	20,53	IGUS Onlinshop
	Verbindungselemente (Schrauben,...)	-	1	-	50	50	Schätzung
Gondel	Gehäuselager mit Handklemmung	IGUS; drylin® W Gehäuselager mit Handklemmung WHKA; Artikelnr.: WHKA-25	2	59,4€/Stck.	59,4	118,8	IGUS Onlinshop
	Führungsschlitten mit Handklemmung	IGUS; drylin® N Handklemmung, Baugröße 27; Artikelnr.: NW-12-27-80-HKA	2	8,92€/Stck.	8,92	17,84	IGUS Onlinshop
	Adapterschiene Gondel	Aluminium EN AW 5083	1	200€/Stck.	200	200	Schätzung
	Gondelsteher	ITEM; Profil 8 40x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.33; Länge: 170mm	4	13,88€/m	2,36	9,44	Haberkorn Onlineshop
	Gondellängsträger	ITEM; Profil 8 40x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.33; Länge: 250mm	4	13,88€/m	3,47	13,88	Haberkorn Onlineshop
	Gondelquerträger	ITEM; Profil 8 40x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.33; Länge: 325mm	4	13,88€/m	4,48	17,92	Haberkorn Onlineshop
	Standardverbinder	ITEM; Standard- Verbindungssatz 8, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.026.07	16	2,23€/Stck.	2,23	35,68	Haberkorn Onlineshop
	Verbindungselemente (Schrauben,...)	-	1	-	25	25	Schätzung
Podest	Stütze	ITEM; Profil 8 80x80 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.265.80; Länge: 40mm	4	45,68€/m	1,83	7,32	Haberkorn Onlineshop
	Standardverbinder	ITEM; Standard- Verbindungssatz 8, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.026.07	16	2,23€/Stck.	2,23	35,68	Haberkorn Onlineshop
Gesamtsumme (netto)						960,11	

h.) Berechnung der notwendigen Magnetplattenanzahl der TAU-Einheit



Position	Bedeutung
A	Passiver Teil der Kabelseite
B	Passiver Teil der Endseite
C	Effektiver Bereich
D	Gehäuselänge = Summe aus A + B + C

Abbildung: Übersicht der Spulenbereiche des AL8021 Spulenteils (Beckhoff Automation GmbH & Co.KG 2021, S.63)

Bestimmung der Magnetplattenanzahl

$C := 76 \text{ mm}$ Effektiver Spulenbereich des AL8021 Spulenteils (Beckhoff Automation GmbH & Co.KG 2021, S.64)

$l_{\text{Verfahr}} := 80 \text{ mm}$ Verfahrweg des Spulenteils in TAU-Einheit

$l_{\text{Magnetplatte}} := 96 \text{ mm}$ Länge der AL8521 Magnetplatte (Beckhoff Automation GmbH & Co.KG 2021, S.34)

$z_{\text{Magnet}} := \frac{l_{\text{Verfahr}} + C}{l_{\text{Magnetplatte}}} = 1.625$ es werden zwei Magnetplatten benötigt (Beckhoff Automation GmbH & Co.KG 2021, S.63)

i.) Berechnung der Schraubenverbindung

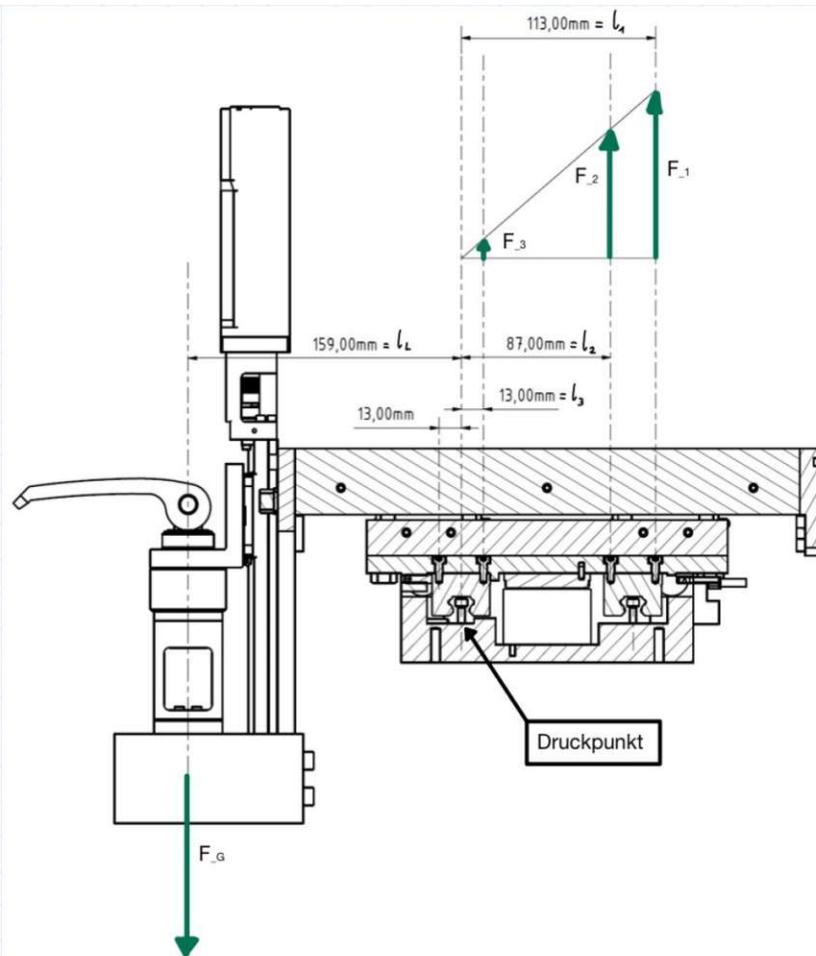


Abbildung: Modellierung der Lineareinheit y-Richtung als Konsole, wobei sich der Druckpunkt in der Führungsschiene befindet. Weiters wird die Annahme linear veränderlicher Schraubenkräfte getroffen (Wittel et al. 2017a, S. 284).

Bestimmung der Betriebskräfte in Schrauben

$$m_{z_Linear} := 5 \text{ kg}$$

Masse der z-Lineareinheit

$$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Erdbeschleunigung

$$F_L := m_{z_Linear} \cdot g = 49.05 \text{ N}$$

Gewichtskraft der z-Lineareinheit

$$z := 4$$

Anzahl der maximal beanspruchten Schrauben

$$l_1 := 113 \text{ mm}$$

maximaler Abstand von Druckpunkt zu Angriffspunkt der maximalen Schraubenkraft

$l_2 := 87 \text{ mm}$ Abstand von Druckpunkt zu Angriffspunkt der Schraubenkraft

$l_3 := 13 \text{ mm}$ minimaler Abstand von Druckpunkt zu Angriffspunkt der minimalen Schraubenkraft

$l_L := 159 \text{ mm}$ Abstand von Druckpunkt zu Angriffspunkt der Gewichtskraft der z-Lineareinheit

$$F_B := \frac{F_L \cdot l_L \cdot l_1}{z \cdot (l_1^2 + l_2^2 + l_3^2)} = 10.744 \text{ N} \quad \text{Betriebskraft in Schraube (Wittel et al. 2017a, S. 284)}$$

Bestimmung der Nachgiebigkeit der Schaftschraube

Schraubenbezeichnung: Zylinderschraube DIN 7984-M4x10-A2-70

Maße des ISO-Gewindes (Wittel et al. 2017b, S. 133-152)

$d := 4 \text{ mm}$ Gewindeaußendurchmesser

$d_W := 7 \text{ mm}$ Außendurchmesser ebene Kopfauflage, entspricht dem Kopfdurchmesser der Zylinderschraube

$d_h := 4.5 \text{ mm}$ Durchmesser des Durchgangsloches nach DIN974-1

$d_2 := 3.545 \text{ mm}$ Flankendurchmesser

$d_3 := 3.141 \text{ mm}$ Kerndurchmesser

$P := 0.7 \text{ mm}$ Gewindesteigung des Schraubengewindes

$\mu_G := 0.12$ Reibungszahl Gewinde

Schrauben und Bauteilwerkstoff (Wittel et al. 2017b, S. 24)

$R_{p0.2} := 450 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ Streckgrenze Schraubenwerkstoff

$E_S := 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ Elastizitätsmodul Schraubenwerkstoff

$E_M := 70000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ Elastizitätsmodul des Bauteils in das das Gewinde der Schraube geschraubt wird

Längenzuschläge Innensechskantschraube (Wittel et al. 2017a, S. 258)

$l_{Ko} := 0.4 \cdot d = 1.6 \text{ mm}$ Längenzuschlag für Innensechskantschraubenkopf

$l_{Ge} := 0.5 \cdot d = 2 \text{ mm}$ Längenzuschlag für eingeschraubtes Gewinde

$l_M := 0.33 \cdot d = 1.32 \text{ mm}$ Längenzuschlag für Einschraubgewindebereich

$l_G := 5 \text{ mm}$ freies belastetes Gewinde

Nennquerschnitt des Schraubenschafts (Wittel et al. 2017a, S. 258)

$$A_N := \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 12.566 \text{ mm}^2 \quad \text{Nennquerschnitt des Schraubenschafts (Wittel et al. 2017a, S. 258)}$$

$$A_3 := 7.749 \text{ mm}^2 \quad \text{Kernquerschnitt des Gewindes des M4 Schraubens (Wittel et al. 2017b, S. 133)}$$

$$A_S := 8.78 \text{ mm}^2 \quad \text{Spannungsquerschnitt des M4 Schraubens (Wittel et al. 2017b, S. 133)}$$

$$A_p := 17.6 \text{ mm}^2 \quad \text{Kopfauffläche M4 Schraube (Wittel et al. 2017b, S. 140-141)}$$

$$\delta_S := \frac{1}{E_S} \cdot \left(\frac{l_{Ko}}{A_N} + \frac{l_{Ge}}{A_3} + \frac{l_G}{A_3} \right) + \frac{l_M}{E_M \cdot A_N} = (6.409 \cdot 10^{-6}) \frac{\text{mm}}{N} \quad \text{Nachgiebigkeit der Schraube (Wittel et al. 2017a, S. 258)}$$

Bestimmung der Nachgiebigkeit des Flansches

$$l_k := 5 \text{ mm} \quad \text{Klemmlänge der verspannten Teile}$$

$$D_A > d_W + l_k \quad \text{eingehaltene Bedingung (Wittel et al. 2017a, S. 259)}$$

$$D_A := d_W + l_k = 12 \text{ mm} \quad \text{Außendurchmesser der verspannten Teile (Wittel et al. 2017a, S. 259)}$$

Ersatzquerschnitt des Hohlzylinders (Wittel et al. 2017a, S. 259)

$$A_{ers} := \frac{\pi}{4} \cdot (d_W^2 - d_h^2) + \frac{\pi}{8} \cdot d_W \cdot (D_A - d_W) \cdot \left(\left(\sqrt[3]{\frac{l_k \cdot d_W}{D_A^2}} + 1 \right)^2 - 1 \right) = 45.088 \text{ mm}^2$$

$$\delta_T := \frac{l_k}{A_{ers} \cdot E_M} = (1.584 \cdot 10^{-6}) \frac{\text{mm}}{N} \quad \text{Nachgiebigkeit des Hohlzylindermodells (Wittel et al. 2017a, S. 259)}$$

Bestimmung des Vorspannungskraftverlustes

$$f_Z := 0.0011 \text{ mm} \quad \text{Setzbetrag (Wittel et al. 2017b, S. 144)}$$

$$F_Z := \frac{f_Z}{\delta_S + \delta_T} = 137.625 \text{ N} \quad \text{Vorspannungskraftverlust (Wittel et al. 2017a, S. 264)}$$

Bestimmung der Klemmkraft

$$F_{KI} := 10 \text{ N} \quad \text{Klemmkraft zwischen den Bauteilen bei Betriebskraft (Annahme)}$$

Bestimmung des Kraftverhältnisses

$n := 0.7$ Krafteinleitungsfaktor (Wittel et al. 2017a, S. 262)

$\Phi_K := \frac{\delta_T}{\delta_S + \delta_T} = 0.198$ Kraftverhältnis der Krafteinleitung in Ebenen parallel zur Schraubenkopfauflage (Wittel et al. 2017a, S. 262)

$\Phi := n \cdot \Phi_K = 0.139$ Kraftverhältnis (Wittel et al. 2017a, S. 262)

Bestimmung der Montagevorspannungskraft

$k_A := 2.5$ Anziehungsfaktor bei Anziehen mit Drehmomentschlüssel (Wittel et al. 2017b, S. 145)

$F_{VM} := k_A \cdot (F_{Kl} + F_B \cdot (1 - \Phi) + F_Z) = 392.195 \text{ N}$ Montagevorspannungskraft (Wittel et al. 2017a, S. 270)

Bestimmung der Spannkraft

$d_0 := \frac{(d_2 + d_3)}{2} = 3.343 \text{ mm}$ kleinster zum Spannungsquerschnitt gehörender Durchmesser (Wittel et al. 2017a, S. 271)

$\sigma_M := \frac{0.9 \cdot R_{p0.2}}{\sqrt[2]{1 + 3 \cdot \left(\frac{3}{d_0} \cdot (0.159 \cdot P + 0.577 \cdot \mu_G \cdot d_2)\right)^2}} = 354.189 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ Montagezugspannung (Wittel et al. 2017a, S. 271)

$F_{sp} := \sigma_M \cdot A_S = 3109.783 \text{ N}$ Spannkraft (Wittel et al. 2017a, S. 271)

Überprüfung

$F_{sp} > F_{VM} = 1$ Erfüllung Ungleichung (Wittel et al. 2017a, S. 275)

Bestimmung des Anziehungsmoments

$\mu_K := 0.18$ Reibungszahl in der Auflagefläche (Wittel et al. 2017b, S. 147)

$d_K := 1.3 \cdot d = 5.2 \text{ mm}$ wirksamer Reibungsdurchmesser des Schraubenkopfs (Wittel et al. 2017a, S. 267)

Für unterschiedliche Reibungszahl in Gewinde und der Schraubenkopfauflage

$M_A := F_{VM} \cdot \left(0.159 \cdot P + 0.577 \cdot \mu_G \cdot d_2 + \mu_K \cdot \frac{d_K}{2}\right) = 0.323 \text{ N} \cdot \text{m}$ Anziehungsmoment (Wittel et al. 2017a, S. 258)

Bestimmung der stat. Sicherheit

$$\sigma_{z_max} := \frac{(F_{sp} + \Phi \cdot F_B)}{A_S} = 354.359 \frac{N}{mm^2} \quad \text{maximale Zugspannung im Schrauben (Wittel et al. 2017a, S. 273)}$$

$$\tau_{t_max} := \frac{F_{sp} \cdot (0.159 \cdot P + 0.577 \cdot \mu_G \cdot d_2)}{\pi \cdot \frac{d_0^3}{16}} = 151.238 \frac{N}{mm^2} \quad \text{maximale Torsionsspannung im Schrauben (Wittel et al. 2017a, S. 273)}$$

$$k_\tau := 0.5 \quad \text{Reduktionskoeffizient (Wittel et al. 2017a, S. 273)}$$

$$\sigma_{red} := \sqrt{\sigma_{z_max}^2 + 3 \cdot (k_\tau \cdot \tau_{t_max})^2} = 377.79 \frac{N}{mm^2} \quad \text{Vergleichsspannung (Wittel et al. 2017a, S. 272)}$$

$$S_F := \frac{R_{p0.2}}{\sigma_{red}} = 1.191 \quad \text{statische Sicherheit (Wittel et al. 2017a, S. 272)}$$

$$S_F \geq 1 = 1 \quad \text{statische Sicherheit wird eingehalten (Wittel et al. 2017a, S. 272)}$$

Überprüfung der zulässigen Flächenpressung der Auflagefläche

$$p := \left(\frac{F_{sp}}{A_p \cdot 0.9} \right) = 196.325 \frac{N}{mm^2} \quad \text{Flächenpressung Kopfauflage (Wittel et al. 2017a, S. 273)}$$

$$p_G := 225 \frac{N}{mm^2} \quad \text{Grenzflächenpressung (Wittel et al. 2017b, S. 144)}$$

$$p \leq p_G = 1 \quad \text{zulässige Grenzflächenpressung wird nicht überschritten (Wittel et al. 2017a, S. 272)}$$

j.) Berechnung der Resonanzfrequenz der z-Linearachse

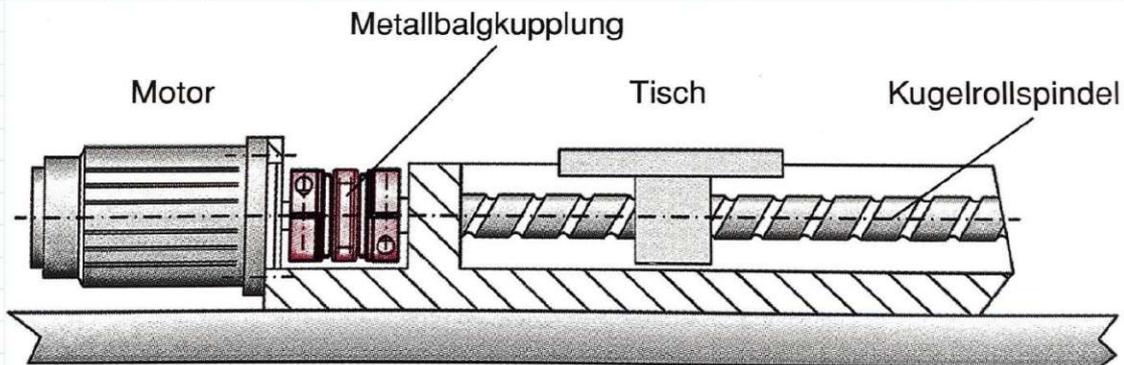


Abbildung: Metallbalgkupplung zum Verbinden einer Kugelumlaufspindel mit einem Servomotor (Wolf et al. 2012, S. 31)

Bestimmung Trägheitsmoment der Antriebsseite

$J_{Kupplung} := 1.1 \cdot 10^{-7} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ Trägheitsmoment Kupplung (R+W Antriebselement GmbH 2018, S.11)

$J_{Motor} := 5.21 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ Trägheitsmoment Motor (Beckhoff Automation GmbH & Co.KG 2021b, S.31)

$J_{An} := \frac{J_{Kupplung}}{2} + J_{Motor} = (5.265 \cdot 10^{-6}) \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ Trägheitsmoment der Antriebsseite
(Rotor des Motors und Kupplungshälfte)

Bestimmung Trägheitsmoment der Abtriebsseite

Bestimmung Trägheitsmoment Spindel der Linearachse

$D_{Spindel} := 8 \text{ mm}$ Durchmesser Spindel (Hiwin GmbH, S.15)

$L_{Spindel} := 226 \text{ mm}$ Länge der Spindel (Hiwin GmbH, S.17)

$\rho_{Stahl} := 7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ Dichte Stahl

$J_{Spindel} := \frac{D_{Spindel}^4 \cdot \pi \cdot L_{Spindel} \cdot \rho_{Stahl}}{32} = (7.089 \cdot 10^{-7}) \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ Trägheitsmoment Spindel

$J_{Ab} := \frac{J_{Kupplung}}{2} + J_{Spindel} = (7.639 \cdot 10^{-7}) \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ Trägheitsmoment der Abtriebsseite
(Spindel und Kupplungshälfte)

Bestimmung Eigenfrequenz des Zweimassensystems

2-Massen-System

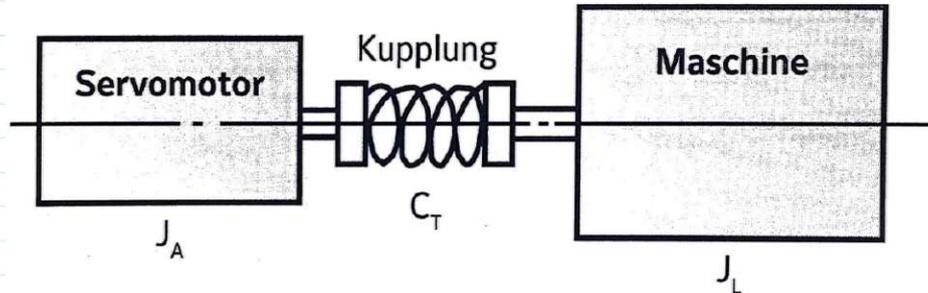


Abbildung: Ersatzmodell eines Zweimassensystems (R+W Antriebselement GmbH 2018, S.11)

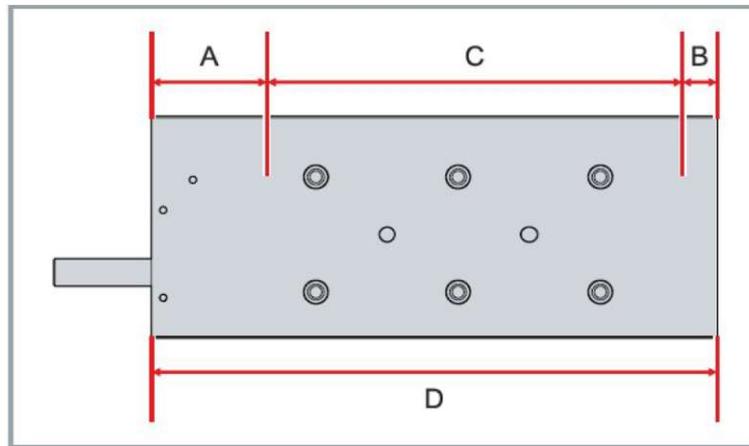
$$c_T := 280 \frac{(N \cdot m)}{rad} \quad \text{Torsionssteifigkeit der Kupplung (R+W Antriebselement GmbH 2018, S.52)}$$

$$f_e := \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{c_T \cdot \frac{(J_{An} + J_{Ab})}{J_{An} \cdot J_{Ab}}} = 3260.691 \frac{1}{s} \quad \text{Eigenfrequenz des Zweimassensystems (Wolf et al. 2012, S. 24)}$$

$$f_{err_nenn} := 67 \frac{1}{s} \quad \text{Erregerfrequenz bei Nenndrehzahl von 4000U/min (Beckhoff Automation GmbH & Co.KG 2021b, S.31)}$$

$$f_e > 2 \cdot f_{err_nenn} = 1 \quad \text{Eigenfrequenz liegt oberhalb der Erregerfrequenz}$$

k.) Berechnung der notwendigen Magnetplattenanzahl der BIAX-Einheit



Position	Bedeutung
A	Passiver Teil der Kabelseite
B	Passiver Teil der Endseite
C	Effektiver Bereich
D	Gehäuselänge = Summe aus A + B + C

Abbildung: Übersicht der Spulenbereiche des AL8021 Spulenteils (Beckhoff Automation GmbH & Co.KG 2021, S.63)

Bestimmung der Magnetplattenanzahl

$$C := 76 \text{ mm}$$

Effektiver Spulenbereich des AL8021 Spulenteils (Beckhoff Automation GmbH & Co.KG 2021, S.64)

$$l_{\text{Verfahr}} := 40 \text{ mm}$$

Verfahrweg des Spulenteils in TAU-Einheit

$$l_{\text{Magnetplatte}} := 144 \text{ mm}$$

Länge der AL8522 Magnetplatte (Beckhoff Automation GmbH & Co.KG 2021, S.34)

$$z_{\text{Magnet}} := \frac{l_{\text{Verfahr}} + C}{l_{\text{Magnetplatte}}} = 0.806$$

es wird eine Magnetplatte benötigt (Beckhoff Automation GmbH & Co.KG 2021, S.63)

I.) Nachweis für Vermeidung von Klemmen des Kamerawagens

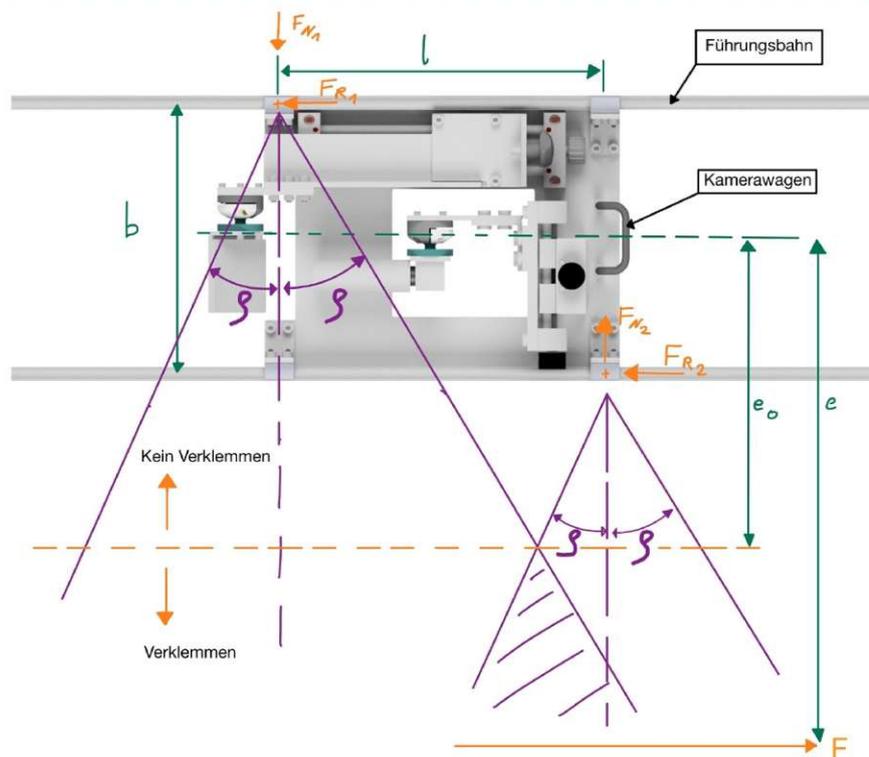


Abbildung: Lage der Reibkegel

$$l_{Lager} := 320 \text{ mm}$$

Lagerabstand der Gehäuselager längs der Führungsschiene

$$\mu_{Haft_J200} := 0.34$$

Haftreibungskoeffizient von Iglidur J200 gegen Stahl (geschätzt)

Bestimmung der Grenzlänge für exzentrische und achsparallele Kraft

$$e_{Linearachse} := 91 \text{ mm}$$

Abstand Kraftangriffspunkt (Linearachse) zu Symmetrieachse Kamerawagen

$$2 \cdot e \cdot \mu_{Haft_J200} \geq l_{Lager}$$

Klemmbedingung

$$e_0 := \frac{l_{Lager}}{2 \cdot \mu_{Haft_J200}} = 470.588 \text{ mm}$$

Grenzlänge für Verklemmen

$$e_{Linearachse} < e_0 = 1$$

Kein Auftreten von Verklemmen

m.) Längenberechnung der Energiekette

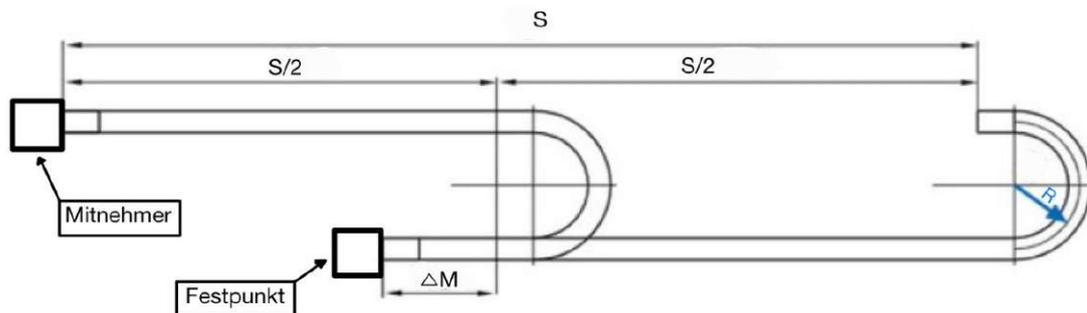


Abbildung: Prinzipskizze für Berechnung einer Energiekette (igus GmbH Germany 2021b, S. 113)

Vorgegebene Werte

$s := 304 \text{ mm}$	Verfahrweg
$K_{Biege} := 266 \text{ mm}$	Zuschlag Biegeradius (igus GmbH Germany 2021b, S. 823)
$l_{Element} := 112 \text{ mm}$	Länge eines Kettengliedes

Abweichung des Festpunkts zur geometrischen Mitte des Verfahrens

$a_{Elemente_1} := 3$	Anzahl der Kettenglieder
$l_{k_1} := a_{Elemente_1} \cdot l_{Element} = 336 \text{ mm}$	Kettenlänge
$\Delta M_{k_1} := l_{k_1} - K_{Biege} - \frac{s}{2} = -82 \text{ mm}$	Abweichung des Festpunkts zur Mitte. Der Festpunkt befindet sich zu nahe an BIAX-Einheit. (igus GmbH Germany 2021b, S. 113)

Abweichung des Festpunkt zur geometrischen Mitte des Verfahrwegs

$a_{Elemente_2} := 4$	Anzahl der Kettenglieder
$l_{k_2} := a_{Elemente_2} \cdot l_{Element} = 448 \text{ mm}$	Kettenlänge
$\Delta M_{k_2} := l_{k_2} - K_{Biege} - \frac{s}{2} = 30 \text{ mm}$	Abweichung des Festpunkts zur Mitte (igus GmbH Germany 2021b, S. 113)

Abweichung des Festpunkt zur geometrischen Mitte des Verfahrenswegs

$$a_{Elemente_3} := 5$$

Anzahl der Kettenglieder

$$l_{k_3} := a_{Elemente_3} \cdot l_{Element} = 560 \text{ mm}$$

Kettenlänge

$$\Delta M_{k_3} := l_{k_3} - K_{Biege} - \frac{s}{2} = 142 \text{ mm}$$

Abweichung des Festpunkts zur Mitte.

Der Festpunkt befindet sich zu nahe an der Seitenwand der Sicherheitswerkbank. (igus GmbH Germany 2021b, S. 113)

Bestellangaben

$$s := 304 \text{ mm}$$

Verfahrensweg

$$\Delta M := 30 \text{ mm}$$

Abweichung des Festpunkts zur Mitte

n.) Berechnung der Eigenfrequenz des Rahmens

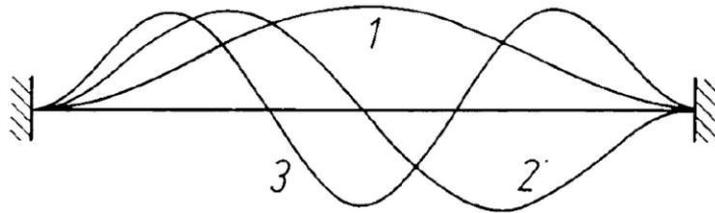


Abbildung: beidseitig eingespannter Biegestab mit den ersten drei Eigenschwingungsformen (Czichos und Hennecke 2012, E.55)

$k_{Ord n.} := 1$	Ordnung der Eigenschwingungsform
$l_{Balken} := 1200 \text{ mm}$	Länge oberer Längsträger
$E_{Alu} := 70000 \frac{N}{mm^2}$	Elastizitätsmodul Aluminium
$I_{y_{ITEM_IGUS}} := (1.382 \cdot 10^6) \text{ mm}^4$	gemeinsames Flächenträgheitsmoment von ITEM-Konstruktionsprofil und runde Doppelschiene
$\mu_{ITEM} := 4.4 \frac{kg}{m}$	Massenbelegung ITEM-Konstruktionsprofil (item Industrietechnik GmbH 2016, S. 34)
$\mu_{IGUS} := 5.8 \frac{kg}{m}$	Massenbelegung runde Doppelschiene (igus GmbH Germany 2020, S. 992)

Bestimmung der Eigenfrequenz der ersten Eigenschwingung

$$f_{k-1} := \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left(k_{Ord n.} + \frac{1}{2} \right)^2 \cdot \left(\frac{\pi}{l_{Balken}} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{(E_{Alu} \cdot I_{y_{ITEM_IGUS}})}{\mu_{ITEM} + \mu_{IGUS}}} = 239.025 \frac{1}{s} \quad \text{erste Eigenfrequenz (Czichos und Hennecke 2012, E.55)}$$

$$f_{er} := 2 \frac{1}{s} \quad \text{Annahme für mögliche zukünftige Erregerfrequenz des Antriebs. Basis dafür bildet Herzschlagfrequenz eines Menschen in Belastungssituationen.}$$

$$2 f_{er} \leq f_{k-1} = 1 \quad \text{Die Erregerfrequenz liegt weit unter der ersten Eigenfrequenz des Systems}$$

o.) Berechnung der Durchbiegung des oberen Längsträgers

Bestimmung Flächenschwerpunkt runde Doppelschiene

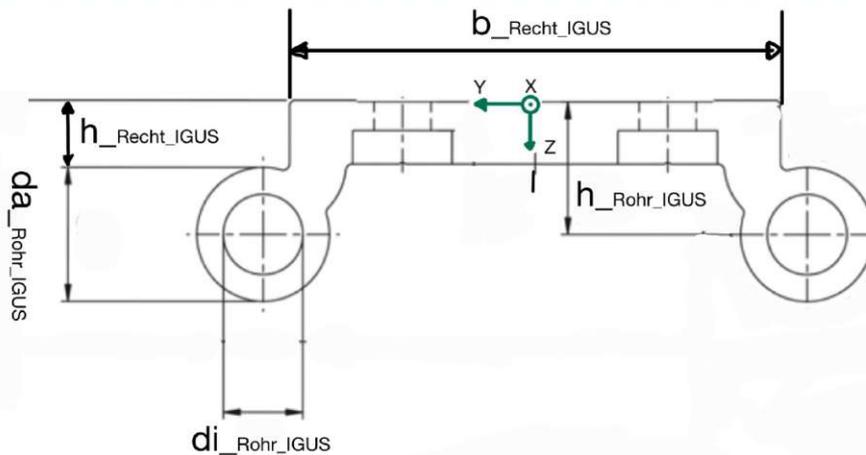


Abbildung: runde Doppelschiene von IGUS (igus GmbH Germany 2020, S. 992)

Abmessungen der runden Doppelschiene (igus GmbH Germany 2020, S. 992)

$b_{\text{Recht_IGUS}} := 120 \text{ mm}$	Rechteckbreite der runden Doppelschiene von IGUS
$h_{\text{Recht_IGUS}} := 11.5 \text{ mm}$	Rechteckhöhe der runden Doppelschiene von IGUS
$d_{a_Rohr_IGUS} := 25 \text{ mm}$	Außendurchmesser des Schienenprofils der Doppelschiene
$d_{i_Rohr_IGUS} := 14 \text{ mm}$	Innendurchmesser des Schienenprofils der Doppelschiene
$h_{\text{Rohr_IGUS}} := 25 \text{ mm}$	Höhe Mittelpunkt des Schienenprofils der Doppelschiene

$$A_{\text{Rohr_IGUS}} := d_{a_Rohr_IGUS}^2 \cdot \frac{\pi}{4} - d_{i_Rohr_IGUS}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 336.936 \text{ mm}^2 \quad \text{Fläche Rohrquerschnitt}$$

$$A_{\text{Recht_IGUS}} := b_{\text{Recht_IGUS}} \cdot h_{\text{Recht_IGUS}} = (1.38 \cdot 10^3) \text{ mm}^2 \quad \text{Fläche Rechteckquerschnitt}$$

$$A_{\text{IGUS}} := A_{\text{Rohr_IGUS}} \cdot 2 + A_{\text{Recht_IGUS}} = (2.054 \cdot 10^3) \text{ mm}^2 \quad \text{Gesamtfläche IGUS-Profil}$$

$$z_{\text{IGUS}} := \frac{\left(h_{\text{Rohr_IGUS}} \cdot A_{\text{Rohr_IGUS}} \cdot 2 + \frac{h_{\text{Recht_IGUS}}}{2} \cdot A_{\text{Recht_IGUS}} \right)}{A_{\text{IGUS}}} = 12.066 \text{ mm} \quad \text{Flächenschwerpunkt}$$

Bestimmung Flächenschwerpunkt ITEM-Konstruktionsprofil

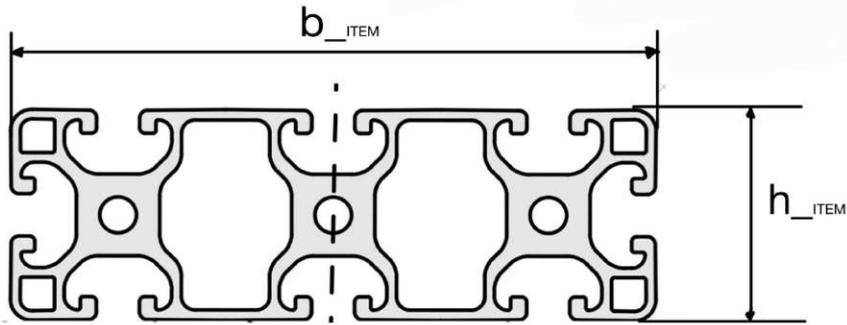


Abbildung: ITEM-Konstruktionsprofil. Verändert nach (item Industrietechnik GmbH 2016, S. 30)

$h_{ITEM} := 40 \text{ mm}$ Höhe ITEM-Konstruktionsprofil (item Industrietechnik GmbH 2016, S. 30)

$z_{ITEM} := \frac{h_{ITEM}}{2} = 20 \text{ mm}$ Flächenschwerpunkt ITEM-Konstruktionsprofil

Gesamtflächenschwerpunkt von Doppelschiene und Konstruktionsprofil

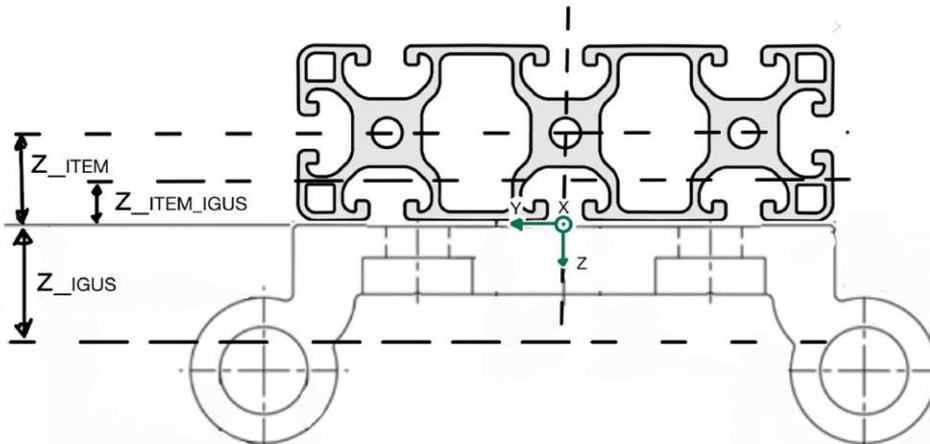


Abbildung: Querschnitt oberer Längsträger bestehend aus ITEM-Konstruktionsprofil und runde Doppelschiene (item Industrietechnik GmbH 2016, S. 30; igus GmbH Germany 2020, S. 992)

$A_{ITEM} := 1631 \text{ mm}^2$ Querschnittsfläche ITEM-Konstruktionsprofil (item Industrietechnik GmbH 2016, S. 34)

$z_{ITEM_IGUS} := \frac{(z_{IGUS} \cdot A_{IGUS} - z_{ITEM} \cdot A_{ITEM})}{A_{ITEM} + A_{IGUS}} = -2.127 \text{ mm}$ Gesamtflächenschwerpunkt

Gemeinsames Flächenträgheitsmoment

$I_{y_ITEM} := 24.88 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$ Flächenträgheitsmoment ITEM Konstruktionsprofil (item Industrietechnik GmbH 2016, S. 34)

$I_{y_IGUS} := 215 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$ Flächenträgheitsmoment runde Doppelschiene (igus GmbH Germany 2020, S. 992)

$I_{y_ITEM_IGUS} := I_{y_ITEM} + (z_{ITEM} + z_{ITEM_IGUS})^2 \cdot A_{ITEM} + I_{y_IGUS} + (z_{IGUS} - z_{ITEM_IGUS})^2 \cdot A_{IGUS} = (1.399 \cdot 10^6) \text{ mm}^4$

Bestimmung Durchbiegung des Längsträgers

$g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ Erdbeschleunigung

$m_{Gondel} := 50 \text{ kg}$ Masse Gondel (Schätzung)

$l_{Balken} := 1200 \text{ mm}$ Länge Längsträger

$F_{Gondel} := m_{Gondel} \cdot g = 490.5 \text{ N}$ Gewichtskraft Gondel

$E_{Alu} := 70000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ Elastizitätsmodul Aluminium

$z_{Gondel} := \frac{F_{Gondel} \cdot \left(\frac{l_{Balken}}{2}\right)^3}{E_{Alu} \cdot I_{y_ITEM_IGUS} \cdot 192} = 0.006 \text{ mm}$ Durchbiegung Längsträger (Annahme Träger beidseitig eingespannt)

Bestimmung Randfaserspannungen im Längsträger

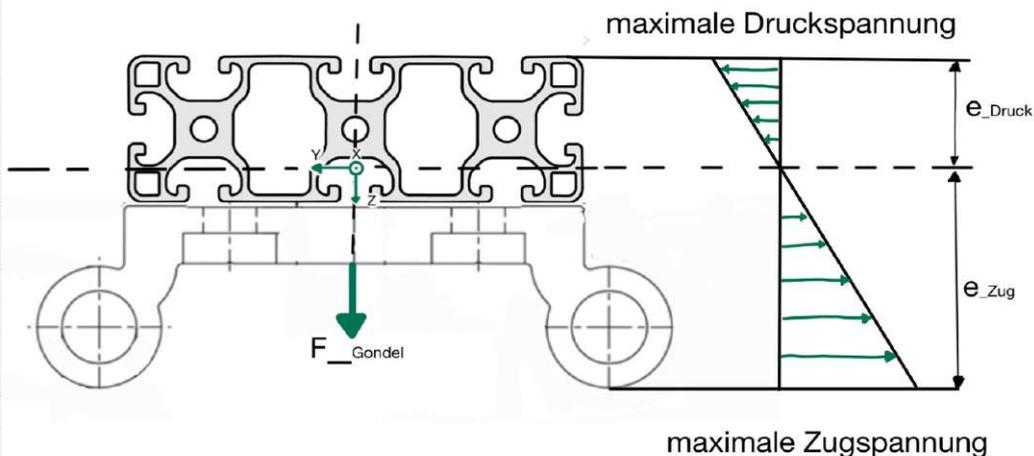


Abbildung: Querschnitt oberer Längsträger bestehend aus ITEM-Konstruktionsprofil und runde Doppelschiene (item Industrietechnik GmbH 2016, S. 30; igus GmbH Germany 2020, S. 992)

$$e_{Druck} := h_{ITEM} + z_{ITEM_IGUS} = 37.873 \text{ mm}$$

Randfaserabstand Obergurt

$$e_{Zug} := h_{Rohr_IGUS} - z_{ITEM_IGUS} + \frac{d_{a_Rohr_IGUS}}{2} = 39.627 \text{ mm}$$

Randfaserabstand Untergurt

$$M_{Gondel} := \frac{F_{Gondel} \cdot l_{Balken}}{4} = (1.472 \cdot 10^5) \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Biegemoment in Trägermitte

$$\sigma_{Zug_max} := \frac{(M_{Gondel} \cdot e_{Zug})}{I_{y_ITEM_IGUS}} = 4.169 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Maximale Zugspannung in Untergurt

$$\sigma_{Druck_max} := \frac{(M_{Gondel} \cdot e_{Druck})}{I_{y_ITEM_IGUS}} = 3.985 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Maximale Druckspannung in Obergurt

$$\sigma_{Rp0.2} := 110 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Streckgrenze Aluminium

$$\sigma_{Zug_max} > \sigma_{Druck_max} = 1$$

Zugspannung größer als Druckspannung

$$\sigma_{Zug_max} < \sigma_{Rp0.2} = 1$$

keine plastische Verformung gegeben

p.) Lagerberechnung der Gondel

Bestimmung der Lagerkraft pro Gehäuselager

$g := 9.81 \frac{m}{s^2}$	Erdbeschleunigung
$m_{Gondel} := 50 \text{ kg}$	Masse Gondel (Schätzung)
$n_{Lager} := 8$	Lageranzahl
$F_{Gondel} := m_{Gondel} \cdot g = 490.5 \text{ N}$	Gewichtskraft Gondel
$F_{Lager} := \frac{F_{Gondel}}{n_{Lager}} = 61.313 \text{ N}$	Lagerkraft pro Gehäuselager

Vergleich mit Lagertragfähigkeit

$F_{zul_Lager} := 4800 \text{ N}$	zulässige Lagerkraft pro Lager (igus GmbH Germany 2020, S. 980)
$F_{Lager} < F_{zul_Lager} = 1$	zulässige Lagerkraft pro Lager wird unterschritten

B.) Fertigungsunterlagen

Die Fertigungsunterlagen bestehen aus:

- Erzeugnisgliederung
- Mengenübersichtsstückliste
- Zeichnungssatz

Erzeugnisgliederung

	Stufe 0 (Erzeugnis)		Stufe 1 (Baugruppe/Teile)		Stufe 2 (Baugruppe/Teile)		Stufe 3 (Baugruppe/Teile)	Firma; Bezeichnung; Artikelnummer	Menge [Stck]	Bemerkung
0	Blutgefäßprüfstand	0	BIAX-Einheit	0	Lineareinheit	0	Positionsmesskopf	Bogen; Sensorkopf AKS16-02P1,5C1 (90 Grad verdreht); Artikelnr.: 00053106	4 (1 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		1	Schraubverbindung Positionsmesskopf - Montagewinkel	Zylinderschraube ISO 4762- M2.5x20 - A2 - 70	8 (2 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		2	Montagewinkel		4 (1 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		3	Schraubverbindung Montagewinkel - Bett	Zylinderschraube ISO-4762- M4x16 - A2 -70	8 (2 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		4	Kabel	Bogen; 2m-Kabel AKS16/17; Artikelnr.: 00053063	4 (1 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		5	Bett		4 (1 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		6	Schraubverbindung Magnetplatte - Bett	Zylinderschraube DIN-7984 M5x10 - A2 -70	24 (6 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		7	Magnetplatte	Beckhoff; Magnetplatte (l=144mm) AL 8522; Artikelnr.: 222683	4 (1 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		8	Passstifte Magnetplatte- Bett	Zylinderstift ISO-8734-5x8 - C1	8 (2 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		9	Schraubverbindung Abschlussplatte-Bett	Zylinderschraube DIN 7984 M5x25 - A2 - 70	32 (8 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		10	Abschlussplatte		16 (4 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		11	Puffer	Norelem; Gummipuffer Stahl, Typ D; Artikelnr.: 26106- 02000555	16 (4 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		12	Führungsschiene	Hiwin; Führungsschiene; Artikelnr.: HGR15R150H	8 (2 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		13	Gewindestift Führungsschiene - Anschlagkante	Gewindestift mit Innensechskant ISO 4026-M5x25 - A2 -21H	8 (2 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		14	Schraubverbindung Führungsschiene - Bett	Zylinderschraube ISO-4762- M4x20 - A2 - 70	6 Stck/Lineareinheit	
0		0		0		15	Magnetmaßstab	Bogen; Linearer Magnetmaßstab LMS2-N1.5-32-L95-W10-A03-K; Artikelnr.: 00058654	4 (1 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		16	Spulenteil	Beckhoff; Spule AL8021; Artikelnr.: 222572	4 (1 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		17	Schraubverbindung Spulenteil - Schlitten	Zylinderschraube DIN 7984 M5x10 - A2 - 70	16 (4 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		18	Passstift Spulenteil - Bett	Zylinderstift ISO 8734-5x8 - C1	8 (2 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		19	Schlitten		4 (1 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		20	Führungswagen	Hiwin; Führungswagen; Artikelnr.: QHH15CA	8 (2 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		21	Gewindestift Führungswagen - Anschlagkante	Gewindestift mit Innensechskant ISO 4026- M5x16 - A2 -21H	8 (2 Stck/Lineareinheit)	

0		0		0		22	Schraubverbindung Führungswagen - Schlitten	Zylinderschraube ISO 4762-M4x10 - A2 -70	32 (8 Stck/Lineareinheit)	
0		0		0		23	Haltearmlaengsteil		4 (1 Stck/Lineareinheit)	Edelstahl
0		0		0		24	Haltearmquerteil		4 (1 Stck/Lineareinheit)	Edelstahl
0		0		0		25	Schraubverbindung Haltearmquerteil - Haltearmlaengsteil	Senkschraube ISO 10642-M3x16 - A2 - 70	4 (1 Stck/Lineareinheit)	Edelstahl
0		0		0		26	Haltearmstift	Bolzen ISO 2341-A-4x40 - A2	4 (1 Stck/Lineareinheit)	Edelstahl
0		0		0		27	Kraftsensor	HBM-Messsysteme; Kraftaufnehmer S2M; Artikelnr.: K-S2M-MONT-010N-06M0-Y-S	4 (1 Stck/Lineareinheit)	vgl. Angebot von HBM
0		0		0		28	Haltearmaufnahmebolzen	Stiftschraube DIN 835-M5x27 - A2 - 70	4 (1 Stck/Lineareinheit)	Edelstahl
0		0		0		29	Haltearmaufnahme		4 (1 Stck/Lineareinheit)	Edelstahl
0		0		0		30	Schraubverbindung Haltearmaufnahme - Kraftsensor	Zylinderschraube ISO 4762 - M8x16 - A2 - 70	4 (1 Stck/Lineareinheit)	Edelstahl
0		0		0		31	Rändelmutter - Haltearmaufnahme	Rändelmutter DIN 467-M5-A2-70	4 (1 Stck/Lineareinheit)	Edelstahl
0		0		0		32	Kraftsensoraufnahmevorrichtung		4 (1 Stck/Lineareinheit)	Edelstahl
0		0		0		33	Schraubverbindung Kraftsensor - Kraftsensoraufnahmevorrichtung	Zylinderschraube ISO 4762 - M8x35- A2 - 70	4 (1 Stck/Lineareinheit)	Edelstahl
0		0		0		34	Schraubverbindung Kraftsensoraufnahmevorrichtung - Schlitten	Zylinderschraube ISO 4762 - M8x35 - A2 - 70	8 (2 Stck/Lineareinheit)	Edelstahl
0		0		1	Schraubverbindung Lineareinheit - Grundplatte	0		Zylinderschraube DIN 7984 - M8x30 - A2 - 70	16 (4 Stck/Lineareinheit)	
0		0		2	Grundplatte	0			1	
0		0		3	Anschlag	0			1	
0		0		4	Schraubverbindung Anschlag - Grundplatte	0		Zylinderschraube DIN 4762 - M8x12- A2 - 70	2	
0		0		5	Nährstoffzulauf	0	Fuß-Klemmhalter	Elesa+Ganter; Fuß-Klemmhalter; Artikelnr.: GN 473-B15-MT	1	
0		0		5		1	Haltestange	Elesa+Ganter; Haltestange; Artikelnr.: GN 480.1-D15-150-NI-OS	1	
0		0		5		2	Kreuz-Klemmhalter	Elesa+Ganter; Kreuz-Klemmhalter; Artikelnr.: GN 474-B15-B15-MT	1	
0		0		5		3	Klemmhebelset	Elesa+Ganter; Klemmhebelset (Klemmhebel für Kreuzklemmhalter); Artikelnr.:GN 511-M6-20	1	
0		0		5		4	Schlauchadapter	Elesa+Ganter; Edelstahl Schlauchadapter; Artikelnr.:GN 480.7-D15-G1/8-9	1	

0		0		5		5	Verbindungsstück mit Gewinde	Elesa+Ganter; Verbindungsstück mit Gewinde; Artikelnr.: FHJ.1/4-1/8-BSPT	1	
0		0		5		6	Segmentschlauch	Elesa+Ganter; Segmentschlauch 30,8cm ; Artikelnr.: FHT.1/4	1	
0		0		5		7	Flachdüse mit Breitstrahl	Elesa+Ganter; Flachdüse für Breitstrahl; Artikelnr.:FHN.1/4-P25	1	
0		0		6	Schraubverbindung Nährstoffzulauf - Grundplatte	0		Zylinderschraube ISO 4762 - M6x12 - A2 - 70	2	
0		1	Schraubverbindung Rahmen-BIAX-Einheit	0		0		Sechskantschraube ISO 4017-M8x25 - A2 - 70	16	
0		2	TAU-Einheit	0	Lineareinheit x-Richtung	0	Positionsmesskopf	Bogen; Sensorkopf AKS16-02P1,5C1 (90 Grad verdreht); Artikelnr.: 00053106	1	
0		2		0		1	Schraubverbindung Positionsmesskopf - Montagewinkel	Zylinderschraube ISO 4762 - M2.5x20 - A2 - 70	2	
0		2		0		2	Montagewinkel		1	
0		2		0		3	Schraubverbindung Montagewinkel-Bett	Zylinderschraube ISO 4762 - M4x16 - A2 - 70	2	
0		2		0		4	Kabel	Bogen; 2m-Kabel AKS16/17; Artikelnr.: 00053063	1	
0		2		0		5	Bett		1	
0		2		0		6	Spulenteil	Beckhoff; Spule AL8021; Artikelnr.: 222572	1	
0		2		0		7	Schraubverbindung Spulenteil - Bett	Zylinderschraube DIN 7984 - M5x10 - A2 - 70	4	
0		2		0		8	Passstifte Spulenteil - Bett	Zylinderstift ISO 8734-5x8 - C1	2	
0		2		0		9	Schraubverbindung Abschlussplatte - Bett	Zylinderschraube DIN 7984 - M5x25 - A2 - 70	8	
0		2		0		10	Abschlussplatte		4	
0		2		0		11	Puffer	Norelem; Gummipuffer Stahl, Typ D; Artikelnr.: 26106-02000555	4	
0		2		0		12	Führungsschiene	Hiwin; Führungsschiene; Artikelnr.: HGR15R290H	2	
0		2		0		13	Gewindestift Führungsschiene - Anschlagkante	Gewindestift mit Innensechskant ISO 4026-M5x25 - A2 - 21H	3	
0		2		0		14	Schraubverbindung Führungsschiene - Bett	Zylinderschraube ISO 4762 - M4x20 - A2 - 70	10	
0		2		0		15	Magnetmaßstab	Bogen; Linearer Magnetmaßstab LMS2-N1.5-32-L95-W10-A03-K; Artikelnr.:00058654	1	
0		2		0		16	Schraubverbindung Magnetplatte - Schlitten	Zylinderschraube DIN 7984 - M5x10 - A2 - 70	8	
0		2		0		17	Magnetplatte	Beckhoff; Magnetplatte (l=96mm) AL 8521; Artikelnr.: 222676	2	

0		2		0		18	Passstifte Magnetplatte - Schlitten	Zylinderstift ISO 8734-5x8 - C1	4	
0		2		0		19	Schlitten		1	
0		2		0		20	Führungswagen	Hiwin; Führungswagen; Artikelnr.: QHH15CA	4	
0		2		0		21	Gewindestift Führungswagen - Anschlagkante	Gewindestift mit Innensechskant ISO 4026-M5x16 - A2 -21H	4	
0		2		0		22	Schraubverbindung Führungswagen - Schlitten	Zylinderschraube ISO 4762-M4x10 - A2 -70	16	
0		2		1	Lineareinheit y-Richtung	0	Positionsmesskopf	Bogen; Sensorkopf AKS16-02P1,5C1 (90 Grad verdreht); Artikelnr.: 00053106	1	
0		2		1		1	Schraubverbindung Positionsmesskopf - Montagewinkel	Zylinderschraube ISO 4762-M2.5x20 - A2 - 70	2	
0		2		1		2	Montagewinkel		1	
0		2		1		3	Schraubverbindung Montagewinkel - Bett	Zylinderschraube ISO 4762-M4x16 - A2 - 70	2	
0		2		1		4	Kabel	Bogen; 2m-Kabel AKS16/17; Artikelnr.: 00053063	1	
0		2		1		5	Bett		1	
0		2		1		6	Schraubverbindung Magnetplatte - Bett	Zylinderschraube DIN 7984 M5x10 - A2 - 70	8	
0		2		1		7	Magnetplatte	Beckhoff; Magnetplatte (l=96mm) AL 8521; Artikelnr.: 222676	2	
0		2		1		8	Passstifte Magnetplatte - Bett	Zylinderstift ISO 8734 - 5x8 - C1	4	
0		2		1		9	Schraubverbindung Abschlussplatte - Bett	Zylinderschraube DIN 7984 M5x25 - A2 - 70	4	
0		2		1		10	Abschlussplatte		2	
0		2		1		11	Puffer	Norelem; Gummipuffer Stahl, Typ D; Artikelnr.: 26106-02000555	2	
0		2		1		12	Führungsschiene	Hiwin; Führungsschiene; Artikelnr.: HGR15R290H	2	
0		2		1		13	Gewindestift Führungsschiene - Anschlagkante	Gewindestift mit Innensechskant ISO 4026 - M5x25 - A2 - 21H	3	
0		2		1		14	Schraubverbindung Führungsschiene - Bett	Zylinderschraube ISO 4762-M4x20 - A2 - 70	10	
0		2		1		15	Magnetmaßstab	Bogen; Linearer Magnetmaßstab LMS2-N1.5-32-L95-W10-A03-K; Artikelnr.: 00058654	1	
0		2		1		16	Spulenteil	Beckhoff; Spule AL8021; Artikelnr.: 222572	1	
0		2		1		17	Schraubverbindung Spulenteil - Schlitten	Zylinderschraube DIN 7984 M5x10 - A2 - 70	4	
0		2		1		18	Passstifte Spulenteil - Schlitten	Zylinderstift ISO 8734 - 5x8 - C1	2	

0		2		1		19	Schlitten			1	
0		2		1		20	Führungswagen	Hiwin; Führungswagen; Artikelnr.: QHH15CA		4	
0		2		1		21	Gewindestift Führungswagen - Anschlagkante	Gewindestift mit Innensechskant ISO 4026- M5x16 - A2 -21H		4	
0		2		1		22	Schraubverbindung Führungswagen - Schlitten	Zylinderschraube ISO 4762- M4x10 - A2 -70		16	
0		2		2	Schraubverbindung Lineareinheit x-Richtung - Lineareinheit y- Richtung	0		Passschraube DIN 609 - M8x1x28 - A2 - 70		4	
0		2		3	Schraubverbindung Lineareinheit x-Richtung - Lineareinheit y- Richtung	0		Sechskantmutter ISO 4032 - M8 - 10 - A2 - 70		4	
0		2		4	Schraubverbindung Lineareinheit x-Richtung - Lineareinheit y- Richtung	0		Nordlock;Keilsicherungsscheibe; NLX8sp; Artikelnr.: 2374		4	
0		2		5	Lineareinheit z-Richtung	0	Linearachsenplatte			1	
0		2		5		1	Puffer	Norelem; Gummipuffer Stahl, Typ D; Artikelnr.: 26106- 02000555		2	
0		2		5		2	Schutzblech			1	
0		2		5		3	Schraubverbindung Schutzblech - Linearachsenplatte	Zylinderschraube ISO - 4762- M6x12 - A2 - 70 (Achtung Gewinde bis zum Kopf)		2	
0		2		5		4	Linearachse	Hiwin; Linearachse Artikelnr.: KK4001P200A1F100		1	
0		2		5		5	Schraubverbindung Linearachse - Linearachsenplatte	Zylinderschraube ISO 4762 - M3x12 - A2 - 70		6	
0		2		5		6	Synchronservomotor	Beckhoff; Synchronservomotor AM8111; Artikelnr.: 217341		1	
0		2		5		7	Schraubverbindung Synchronservomotor - Linearachse	Zylinderschraube ISO 4762 - M4x12 - A2 - 70		2	
0		2		5		8	Kupplung	R+W; Metallbalgkupplung MK1/5/20/4/8mm; Artikelnr.:		1	
0		2		5		9	Stempelanbindungswinkel			1	
0		2		5		10	Exzenterspanner	Elesa + Ganter; Edelstahlexzenterspanner mit Innengewinde; Artikelnr.: GN 927.7-101-M8-A		1	
0		2		5		11	Verbindungsbolzen	Stiftschraube DIN 835-M8x45 - A2 - 70		1	
0		2		5		12	Rastscheibe	Elesa + Ganter; Rastscheibe; Artikelnr.: GN-187.4-40-60-B-NI		2	
0		2		5		13	Schraubverbindung Rastscheibe - Stempelanbindungswinkel	Zylinderschraube ISO 4762 - M6x12 - A2 - 70		2	

0		2		5		14	Druckfeder	Elesa + Ganter; Druckfeder Rastscheiben Zubehör; Artikelnr.: GN 187.2-29	1	
0		2		5		15	Führungstopf	Elesa + Ganter; Führungstopf Edelstahl für Rastscheibe; GN_187.1-40-NI	1	
0		2		5		16	Schraubverbindung Rastscheibe-3D-Kraftmessdosenanbindung	Zylinderschraube ISO 4762 - M6x12 - A2 - 70	2	
0		2		5		17	Schraubverbindung Stempelanbindungswinkel - Linearachse	Zylinderschraube ISO 4762 - M3x10 - A2 - 70	4	
0		2		5		18	3D-Kraftmessdosenanbindung		1	
0		2		5		19	3D-Kraftmessdose	ME-Messsysteme; 3-Achs Sensor; K3D40 ±2N	1	
0		2		5		20	Schraubverbindung 3D-Kraftmessdose - 3D-Kraftmessdosenanbindung	Zylinderschraube DIN 7984 - M3x10 - A2 - 70	4	
0		2		5		21	Stempelaufnahme		1	
0		2		5		22	Schraubverbindung Stempelaufnahme - 3D-Kraftmessdose	Zylinderschraube DIN 7984 - M3x10 - A2 - 70	4	
0		2		5		23	Stempel		1	
0		2		5		24	Schraubverbindung Stempel - Stempelaufnahme	Zylinderschraube ISO 4762 - M2,5x16 - A2 - 70	1	
0		2		6	Schraubverbindung Lineareinheit z-Richtung - Lineareinheit y-Richtung	0		Zylinderschraube ISO 4762 - M5x40 - A2 - 70 (Achtung Gewinde bis zum Kopf)	4	
0		2		7	Schraubverbindung Lineareinheit z-Richtung - Lineareinheit y-Richtung	0		Zylinderschraube ISO 4762 - M8x50 - A2 - 70 (Achtung Gewinde bis zum Kopf)	2	
0		2		8	Schraubverbindung Lineareinheit z-Richtung - Lineareinheit y-Richtung	0		Nordlock; Keilsicherungsscheibe; NLX8sp; Artikelnr.: 2374	2	
0		3	Schraubverbindung TAU-Einheit - Rahmen (Gondel)	0		0		Zylinderschraube DIN 7984 - M8x40 - A2 - 70	4	
0		4	Rahmen	0	Portal	0	Längsträger	ITEM; Profil 8 120x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.416.66; Länge: 1170mm	1	
0		4		0		1	Steher	ITEM; Profil 8 120x80 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.416.65; Länge: 660mm	2	
0		4		0		2	Standardverbindingssatz 8, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.026.07		12	
0		4		0		3	Abdeckkappe	ITEM; Abdeckkappe 8 120x40, schwarz; Artikelnr.: 0.0.418.54	2	

0		4		1	W-Doppelschiene	0		IGUS; drylin® W Doppelschien WS, Länge 1005mm, (NACHTRÄGLICHE BEARBEITUNG NOTWENDIG); Artikelnr.: WS-25- 120-UNGEBOHRT	1	
0		4		2	Schraubverbindung W- Doppelschiene - Portal	0		Zylinderschraube ISO 4762 - M8x20 - A2 - 70	14	
0		4		3	Schraubverbindung W- Doppelschiene - Portal	0		ITEM; Nutenstein 8 St M8, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.026.18	14	
0		4		4	Bodenplatte	0	Längsträger	ITEM; Profil 8 80x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.34; Länge: 1010mm	2	
0		4		4		1	Querträger	ITEM; Profil 8 80x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.34; Länge: 550mm	2	
0		4		4		2	Standardverbindingssatz	ITEM; Standard-Verbindungssatz 8, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.026.07	24	
0		4		4		3	Abdeckkappe	ITEM; Abdeckkappe 8 80x40, schwarz; Artikelnr.: 0.0.026.02	4	
0		4		4		4	Steher	ITEM; Profil 8 80x80 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.265.80; Länge: 40mm	4	
0		4		5	Standardverbindingssatz (Verbindung Portal - Bodenplatte)	0		ITEM; Standard-Verbindungssatz 8, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.026.07	12	
0		4		6	Gondel	0	Gondellängsträger	ITEM; Profil 8 40x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.33; Länge: 330mm	2	
0		4		6		1	Gondelquerträger	ITEM; Profil 8 40x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.33; Länge: 330mm	2	
0		4		6		2	Gondelsteher	ITEM; Profil 8 40x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.33; Länge: 330mm	4	
0		4		6		3	Gondeldeckenplatte	Platte-Gondel oben; Dicke 15mm; Alu	1	
0		4		6		4	Festlagerhandklemmung	IGUS; drylin® W25 Handklemmung; Festlager; Artikelnr.: WHKA-25	2	
0		4		6		5	Keilsicherungsscheibe	Nordlock; Keilsicherungscheibe; NLX10sp; Artikelnr.: 2621	16	
0		4		6		6	Schraubverbindung Gondeldeckenplatte - Festlagerhandklemmung	Sechskantschraube ISO 4017 - M10x55 - A2 - 70	16	
0		4		6		7	Schraubverbindung Gondeldeckenplatte - Gondelsteher	Sechskantschraube ISO 4017 - M8x40 - A2 - 70	4	
0		4		6		8	Loslager	IGUS; drylin® W25 Gehäuselager; Loslager; Artikelnr.: WJ200UM-01- 25-LL	4	

0		4		6		9	Schraubverbindung Gondeldeckenplatte - Loslager	Sechskantschraube ISO 4017 - M10x55 - A2 - 70	8	
0		4		6		10	Standardverbindingssatz	ITEM; Standard-Verbindungssatz 8, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.026.07	8	
0		4		6		11	Abdeckkappe	ITEM; Abdeckkappe 8 40x40, schwarz; Artikelnr.: 0.0.026.01	3	
0		4		7	Gondelpuffer	0	Winkelprofil		1	
0		4		7		1	Schraubverbindung Winkelprofil - Montageplatte	Zylinderschraube DIN 7984 - M6x12 - A2 - 70	4	
0		4		7		2	Verbindungsprofil		1	
0		4		7		3	Schraubverbindung Winkelprofil - Verbindungsprofil	Zylinderschraube DIN 7984 - M6x12 - A2 - 70	4	
0		4		7		4	Montageplatte		1	
0		4		7		5	Gummipuffer	Norelem; Gummipuffer Stahl; Artikelnr.: 26106-02000555	1	
0		4		8	Schraubverbindung Gondelpuffer-Portal	0		ITEM; Klemmhebel Pi 60 M8x20,weißaluminum ähnlich RAL 9006; Artikelnr.: 0.0.684.71	1	
0		4		9	Schraubverbindung Gondelpuffer-Portal	0		ITEM; Nutenstein 8 St M8, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.026.18	1	
0		5	Becken	0	Wanne	0			1	
0		5		1	Deckflansch	0			1	
0		5		2	Dichtung	0		Hennlich; Hennlich Flachdichtung aus Multi-X \varnothing 100x80x1mm; Artikelnr.: VARI.10	6	
0		5		3	Schauglas	0		Hennlich; Hennlich Runde Schauglasplatte DIN 7080 Abmessung: \varnothing 100x10mm (0,8); Artikelnr.: BOR 100X10	1	
0		5		4	Stuetzen	0		Gewindestift ISO 4026 - M8x30 - A2 - 21H	4	
0		5		5	Stuetzensicherung	0		Sechskantmutter ISO 4032 - M8 - A2 - 70	4	
0		5		6	Schraubverbindung Wanne-Deckflansch	0		Zylinderschraube DIN 7984 - M6x10 - A2 - 70	4	
0		5		7	Einschraubverbindungsstück	0		Bola; Bola Einschraub-Verbindungs-Stück, PTFE; Artikelnr.: D518-36	2	
0		5		8	Schlauch	0		Bola; Schläuche, PTFE; Artikelnr.: S1810-56; Länge 6m	1	
0		5		9	Dreiwegehahn	0		Bola; 3 Wege-Kegel-Hahn, PTFE; Artikelnr.: E654-08	1	
0		6	Kabelführung	0	Energiekette	0		IGUS; e-skin® Soft; Artikelnr.: 0.448m SKS28.068.02.1 + SK280.068.12.1.A	1	

0		6		1	Schraubverbindung Energiekette - Ablegeplatte	0		Zylinderschraube ISO 4762 - M5x20 - A2 - 70	2	
0		6		2	Schraubverbindung Energiekette - Ablegeplatte	0		Sechskantmutter ISO 4032 - M5 - A2 - 70	2	
0		6		3	Mitnehmerprofil	0		ITEM; Profil 8 40x40 leicht, natur; Artikelnr.: 0.0.026.33; Länge: 143mm	1	
0		6		4	Abdeckkappe	0		ITEM; Abdeckkappe 8 40x40, schwarz; Artikelnr.: 0.0.026.01	2	
0		6		5	Schraubverbindung Energiekette - Mitnehmerprofil	0		Zylinderschraube ISO 4762 - M5x16 - A2 - 70	2	
0		6		6	Schraubverbindung Energiekette - Mitnehmerprofil	0		ITEM; Nutenstein V8 St M5, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.480.54	2	
0		6		7	Ablegeplatte	0			1	
0		6		8	Ablegeplattenstütze	0			1	
0		6		9	Universalhalter	0		Item; Universal-Halter mit Klettband 8 180, schwarz; Artikelnr.: 0.0.627.90	10	
0		7	Winkelsatz-Kabelführung-Rahmen (Gondel)	0		0		ITEM; Winkelsatz 8 40x40; Artikelnr.: 0.0.411.15	2	
0		8	Schraubverbindung Kabelführung-Rahmen (Bodenplatte)	0		0		Senkschraube ISO 10642 - M8x40 - A2 - 70	4	
0		9	Schraubverbindung Kabelführung-Rahmen (Bodenplatte)	0		0		ITEM; Nutenstein St M8, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.026.18	4	
0		10	Kamerawagen	0	Wagengestell	0	Wagengrundplatte		1	
0		10		0		1	Buegelgriff	Elesa + Ganter; Bügelgriff; Artikelnr.: GN 425.1-8-64-SW	1	
0		10		0		2	Schraubverbindung Buegelgriff - Wagengrundplatte	Zylinderschraube ISO 4762 - M4x12 - A2 - 70	2	
0		10		0		3	Loslager	IGUS; drylin W Gehäuselager; Artikelnr.: WJ200UM-01-10-LL	2	
0		10		0		4	Festlager	IGUS; drylin W Gehäuselager; Artikelnr.: WJ200UM-01-10	2	
0		10		0		5	Schraubverbindung Lagerverbindungswinkel - Fest/Loslager	Zylinderschraube ISO 4762 - M6x12 - A2 - 70	8	
0		10		0		6	Lagerverbindungswinkel		4	
0		10		0		7	Schraubverbindung Lagerverbindungswinkel - Wagengrundplatte	Zylinderschraube ISO 4762 - M6x12 - A2 - 70	16	
0		10		1	Einzelachse	0		IGUS; drylin® W Profilverbindung Einzelachse; Artikelnr.: WS-10-1005	2	
0		10		2	Zweiachssystem	0	Kreuztisch	IGUS; Kreuztisch; Artikelnr.: SLW XY 1040 L 90 30 HR	1	

0		10		2		1	Schraubverbindung Kreuztisch - Kreuztischadapterblock	Zylinderschraube ISO 4762 - M8x40 - A2 - 70	2	
0		10		2		2	Kreuztischadapterblock		1	
0		10		3	Schraubverbindung Zweiachssystem - Wagengestell	0		Zylinderschraube DIN 7984 - M8x25 - A2 - 70	2	
0		10		4	Kamerahalterung	0	Kreuztischadapterplatte		1	
0		10		4		1	Kreuztischverbindungsplatte		1	
0		10		4		2	Schraubverbindung Kreuztischverbindungsplatte - Kreuztischadapterplatte	Zylinderschraube DIN 7984 - M8x14 - A2 - 70	4	
0		10		4		3	Kameraaufnahmewinkel		1	
0		10		4		4	Schraubverbindung Kreuztischverbindungsplatte - Kameraaufnahmewinkel	Zylinderschraube DIN 7984 - M8x14 - A2 - 70	4	
0		10		4		5	Schraubverbindung Kreuztischverbindungsplatte - Kameraaufnahmewinkel	Sechskantmutter ISO 4035 - M8 - A2 - 70	4	
0		10		4		6	Kameraaufnahmeplatte		1	
0		10		4		7	Schraubverbindung Kameraaufnahmewinkel - Kameraaufnahmeplatte	Zylinderschraube DIN 7984 - M8x14 - A2 - 70	4	
0		10		4		8	Schraubverbindung Kameraaufnahmewinkel - Kameraaufnahmeplatte	Sechskantmutter ISO 4035 - M8 - A2 - 70	4	
0		10		4		9	Gelenkkopf	Norelem; Gelenkkopf Schwenkwinkel 30° klemmbar; (NACHTRÄGLICHE BEARBEITUNG NOTWENDIG); Artikelnr.:21170- 08	1	
0		10		4		10	Schraubverbindung Gelenkkopf - Kameraaufnahmeplatte	Zylinderschraube ISO 4762 - M4x12 - A2 - 70	4	
0		10		4		11	Stativadapter (inkl. Schrauben)	IDS-Imgaging; Stativadapter für USB 3/GigE uEye CP Rev.2; Artikelnr.: AL00037	1	
0		10		4		12	Schraubverbindung Gelenkkopf - Stativadapter	1/4 Zoll - 20 x 1 1/4 Zoll Länge 31,75 mm Innensechskantschraube UNC niedriger Kopf	1	
0		10		5	Schraubverbindung Kamerahalterung - Zweiachssystem	0		Zylinderschraube DIN 7984 - M8x25 - A2 - 70	4	
0		10		6	Spiegeleinheit	0	Spiegel		1	
0		10		6		1	Klebstoff zum Verbinden Spiegel mit Spiegelbefestigung	Henkel	1	
0		10		6		2	Spiegelbefestigung		1	
0		10		6		3	Gelenkkopf	Norelem; Gelenkkopf Schwenkwinkel 30° klemmbar; Artikelnr.:21170-08	1	

0		10		6		4	Schraubverbindung Gelenkkopf - Spiegelbefestigung	Zylinderschraube ISO 4762 - M4x10 - A2 - 70	2	
0		10		6		5	Spiegeladapter		1	
0		10		6		6	Schraubverbindung Gelenkkopf - Spiegeladapter	Zylinderschraube ISO 4762 - M4x16 - A2 - 70	4	
0		10		6		7	Schraubverbindung Spiegeladapter - Versteifung	Zylinderschraube ISO 4762 - M6x20 - A2 - 70	3	
0		10		6		8	Schraubverbindung Spiegeladapter - Versteifung	Sechskantmutter ISO 4032 - M6 - A2 - 70	3	
0		10		6		9	Versteifung		1	
0		10		6		10	Schraubverbindung Versteifung - Linearmodul	Zylinderschraube ISO 4762 - M6x40 - A2 - 70	3	
0		10		6		11	Zwischenplatte		1	
0		10		6		12	Linearmodul	IGUS; drylin® SLW Linearmodule ; Artikelnr.: SLW-1040-06-151-HR	1	
0		10		6		13	Griffhalterung		1	
0		10		6		14	Dreisterngriff	Ganter; Dreisterngriff; Artikelnr.: VTT.40-SST-p-M8x16	1	
0		10		7	Schraubverbindung Spiegeleinheit - Wagengestell	0		Zylinderschraube DIN 7984 - M8x20 - A2 - 70	4	
0		10		8	Messeinrichtung	0	Kamera	IDS-Imaging; Industriekamera UI-3070CP-Rev.2; Artikelnr.: UI-3070CP-C-HQ Rev.2:AB00968	1	
0		10		8		1	Objektiv	IDS-Imaging; Objektiv Tamron 1A1HB, 75mm,2/3"; Artikelnr.: AE.0051.2.06500.01	1	
0		10		8		2	Zwischenringset	Tamron; Tamron EX-7 Extension Ring Set for CCTV CS/S-Mount Lenses;	1	
0			11	Schraubverbindung Kamerawagen - Rahmen (Bodenplatte)	0	0		ITEM; Nutenstein V 8 St M6, verzinkt; Artikelnr.: 0.0.480.50	18	
0			12	Schraubverbindung Kamerawagen - Rahmen (Bodenplatte)	0	0		Zylinderschraube DIN 7984 - M6x16 - A2 - 70	18	

Legende	
Farbe	Bedeutung
	Einzelteilzeichnung vorhanden
	zusammengehörende Baugruppe in Stufe 1
	zusammengehörende Baugruppe in Stufe 2

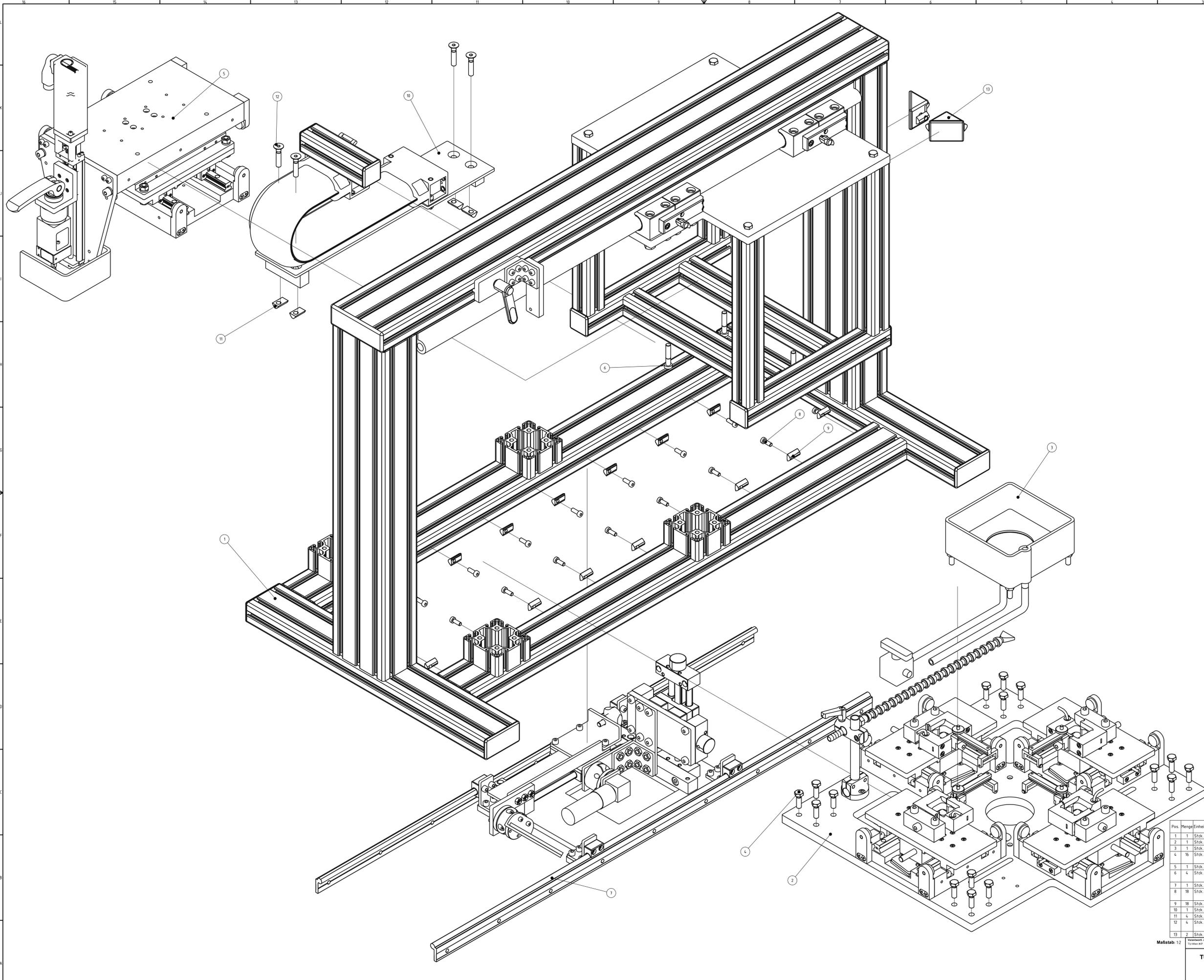
Mengenübersichtsstückliste

Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer	Werkstoff	Norm - Kurzbezeichnung	Lieferant	Artikelnummer
1	4	Stck.	Senkschraube	0_8	-	ISO 10642 - M8 x 40 - A2 - 70	Reca	-
2	4	Stck.	Senkschraube	0_0_0_25	-	ISO 10642 - M3 x 16 - A2 - 70	Reca	-
3	28	Stck.	Zylinderstift	0_2_1_8; 0_2_0_8; 0_0_0_18; 0_2_1_18; 0_0_0_8; 0_2_0_18	-	ISO 8734 - 5 x 8 - C1	Reca	-
4	2	Stck.	Zylinderschraube	0_2_7	-	ISO 4762 - M8 x 50 - A2 - 70	Reca	-
5	2	Stck.	Zylinderschraube	0_10_2_1	-	ISO 4762 - M8 x 40 - A2 - 70	Reca	-
6	12	Stck.	Zylinderschraube	0_0_0_34; 0_0_0_33	-	ISO 4762 - M8 x 35 - A2 - 70	Reca	-
7	14	Stck.	Zylinderschraube	0_4_2	-	ISO 4762 - M8 x 20 - A2 - 70	Reca	-
8	4	Stck.	Zylinderschraube	0_0_0_30	-	ISO 4762 - M8 x 16 - A2 - 70	Reca	-
9	2	Stck.	Zylinderschraube	0_0_4	-	ISO 4762 - M8 x 12 - A2 - 70	Reca	-
10	3	Stck.	Zylinderschraube	0_10_6_10	-	ISO 4762 - M6 x 40 - A2 - 70	Reca	-
11	3	Stck.	Zylinderschraube	0_10_6_7	-	ISO 4762 - M6 x 20 - A2 - 70	Reca	-
12	32	Stck.	Zylinderschraube	0_0_6; 0_10_0_5; 0_10_0_7; 0_2_5_3; 0_2_5_16; 0_2_5_13	-	ISO 4762 - M6 x 12 - A2 - 70	Reca	-
13	4	Stck.	Zylinderschraube	0_2_6	-	ISO 4762 - M5 x 40 - A2 - 70	Reca	-
14	2	Stck.	Zylinderschraube	0_6_1	-	ISO 4762 - M5 x 20 - A2 - 70	Reca	-
15	44	Stck.	Zylinderschraube	0_0_0_14; 0_2_1_14; 0_2_0_14	-	ISO 4762 - M4 x 20 - A2 - 70	Reca	-
16	16	Stck.	Zylinderschraube	0_0_0_3; 0_10_6_6; 0_2_1_3; 0_2_0_3	-	ISO 4762 - M4 x 16 - A2 - 70	Reca	-
17	8	Stck.	Zylinderschraube	0_10_4_10; 0_10_0_2; 0_2_5_7 0_10_6_4; 0_0_0_22; 0_2_1_22;	-	ISO 4762 - M4 x 12 - A2 - 70	Reca	-
18	66	Stck.	Zylinderschraube	0_2_0_22	-	ISO 4762 - M4 x 10 - A2 - 70	Reca	-
19	6	Stck.	Zylinderschraube	0_2_5_5	-	ISO 4762 - M3 x 12 - A2 - 70	Reca	-
20	4	Stck.	Zylinderschraube	0_2_5_17	-	ISO 4762 - M3 x 10 - A2 - 70	Reca	-
21	1	Stck.	Zylinderschraube	0_2_5_24	-	ISO 4762 - M2,5 x 16 - A2 - 70	Reca	-
22	12	Stck.	Zylinderschraube	0_0_0_1; 0_2_1_1; 0_2_0_1	-	ISO 4762 - M2,5 x 20 - A2 - 70	Reca	-
23	2	Stck.	Zylinderschraube	0_6_5	-	ISO 4742 - M5 x 16 - A2 - 70	Reca	-
24	4	Stck.	Zylinderschraube	0_3	-	DIN 7984 - M8 x 40 - A2 - 70	Reca	-
25	16	Stck.	Zylinderschraube	0_0_1	-	DIN 7984 - M8 x 30 - A2 - 70	Reca	-
26	6	Stck.	Zylinderschraube	0_10_3; 0_10_5	-	DIN 7984 - M8 x 25 - A2 - 70	Reca	-
27	4	Stck.	Zylinderschraube	0_10_7	-	DIN 7984 - M8 x 20 - A2 - 70	Reca	-
28	12	Stck.	Zylinderschraube	0_10_4_4; 0_10_4_7; 0_10_4_2	-	DIN 7984 - M8 x 14 - A2 - 70	Reca	-
29	18	Stck.	Zylinderschraube	0_12	-	DIN 7984 - M6 x 16 - A2 - 70	Reca	-
30	8	Stck.	Zylinderschraube	0_4_7_1; 0_4_7_3	-	DIN 7984 - M6 x 12 - A2 - 70	Reca	-
31	4	Stck.	Zylinderschraube	0_5_6	-	DIN 7984 - M6 x 10 - A2 - 70	Reca	-
32	44	Stck.	Zylinderschraube	0_0_0_9; 0_2_1_9; 0_2_0_9 0_0_0_6; 0_2_1_6; 0_2_0_7; 0_0_0_17; 0_2_1_17; 0_2_0_16	-	DIN 7984 - M5 x 25 - A2 - 70	Reca	-
33	64	Stck.	Zylinderschraube	0_0_0_17; 0_2_1_17; 0_2_0_16	-	DIN 7984 - M5 x 10 - A2 - 70	Reca	-
34	8	Stck.	Zylinderschraube	0_2_5_22; 0_2_5_20	-	DIN 7984 - M3 x 10 - A2 - 70	Reca	-
35	8	Stck.	Sechskantmutter	0_10_4_5; 0_10_4_8	-	ISO 4035 - M8 - A2 - 70	Reca	-
36	8	Stck.	Sechskantmutter	0_5_5; 0_2_3	-	ISO 4032 - M8 - A2 - 70	Reca	-
37	3	Stck.	Sechskantmutter	0_10_6_8	-	ISO 4032 - M6 - A2 - 70	Reca	-
38	2	Stck.	Sechskantmutter	0_6_2	-	ISO 4032 - M5 - A2 - 70	Reca	-
39	4	Stck.	Gewindestift	0_5_4	-	ISO 4026 - M8 x 30 - A2 - 21H	Reca	-
40	18	Stck.	Gewindestift	0_0_0_13; 0_2_1_13; 0_2_0_13	-	ISO 4026 - M5 x 25 - A2 - 21H	Reca	-

41	16	Stck.	Gewindestift	0_0_0_21; 0_2_1_21; 0_2_0_21	-	ISO 4026 - M5 x 16 - A2 - 21H	Reca	-
42	16	Stck.	Sechskantschraube	0_4_6_6	-	ISO 4017 - M10 x 55 - A2 - 70	Reca	-
43	4	Stck.	Sechskantschraube	0_4_6_7	-	ISO 4017 - M8 x 40 - A2 - 70	Reca	-
44	16	Stck.	Sechskantschraube	0_1	-	ISO 4017 - M8 x 25 - A2 - 70	Reca	-
45	4	Stck.	Haltearmstift	0_0_0_26	-	ISO 2341 - A - 4 x 40 - A2	Reca	-
46	1	Stck.	Stiftschraube	0_2_5_11	-	DIN 835 - M8 x 45 - A2 - 70	Reca	-
47	4	Stck.	Stiftschraube	0_0_0_28	-	DIN 835 - M5 x 27 - A2 - 70	Reca	-
48	4	Stck.	Passschraube	0_2_2	-	DIN 609 - M8 x 1 x 21 - A2 - 70	Reca	-
49	4	Stck.	Raendelmutter	0_0_0_31	-	DIN 467 - M5 - A2 - 70	Reca	-
50	1	Stck.	Zylinderschraube (Innensechskant UNC niedriger Kopf)	0_10_4_12	-	1/4" - 20 x 1 1/4"	Zollshop	019157
51	1	Stck.	Schauglasplatte Durchm. 100 x 10mm (0.8)	0_5_3	Borsilikat	DIN 7080	Hennlich	BOR 100X10
52	2	Stck.	Flachdichtung Durchm. 100 x 80 x 1mm	0_5_2	Multi-X	-	Hennlich	VARI.10
53	1	Stck.	Metallbalgkupplung MK1 005/20-04/08	0_2_5_8	-	-	Schmachtl	MK1 005/20-04/08
54	25	Stck.	Gummipuffer	0_4_7_5; 0_0_0_11; 0_2_5_1; 0_2_1_11; 0_2_0_11	-	-	Norelem	26106 - 02000555
55	2	Stck.	Gelenkkopf Schwenkwinkel 30° klemmbar	0_10_6_3; 0_10_4_9	-	-	Norelem	21170 - 08
56	16	Stck.	Keilsicherungsscheibe NLX10sp	0_4_6_5	-	-	Nord Lock	2621
57	6	Stck.	Keilsicherungsscheibe NLX8sp	0_2_8; 0_2_4	-	-	Nord Lock	2374
58	1	Stck.	3D-Kraftmessdose K3D40+-2N	0_2_5_19	-	-	ME Messsysteme	K3D40+-2N
59	56	Stck.	Standardverbindingssatz 8, verzinkt	0_4_6_9; 0_4_5; 0_4_4_2; 0_4_0_2	-	-	ITEM	0.0.026.07
60	18	Stck.	Nutenstein V8 St M6, verzinkt	0_11	-	-	ITEM	0.0.480.50
61	2	Stck.	Nutenstein V8 St M5, verzinkt	0_6_6	-	-	ITEM	0.0.480.54
62	19	Stck.	Nutenstein 8 St M8, verzinkt	0_9; 0_4_9; 0_4_3	-	-	ITEM	0.0.026.18
63	4	Stck.	Steher Profil 8 80 x 80 leicht, natur, Laenge 40mm	0_4_4_4	-	-	ITEM	0.0.265.80
64	2	Stck.	Gondelquertraeger Profil 8 40 x 40, leicht, natur, Laenge 330mm	0_4_6_1	-	-	ITEM	0.0.026.33
65	2	Stck.	Gondellaengstraeger Profil 8 40 x 40, leicht, natur, Laenge 330mm	0_4_6_0	-	-	ITEM	0.0.026.33
66	5	Stck.	Abdeckkappe 8 40 x 40, schwarz	0_4_6_10; 0_6_4	-	-	ITEM	0.0.026.01
67	2	Stck.	Abdeckkappe 8 120 x 40, schwarz	0_4_0_3	-	-	ITEM	0.0.418.54
68	4	Stck.	Abdeckkappe 8 80 x 40, schwarz	0_4_4_3	-	-	ITEM	0.0.026.02
69	2	Stck.	Winkelsatz 8 40 x 40	0_7	-	-	ITEM	0.0.411.15
70	10	Stck.	Universalhalter	0_6_9	-	-	ITEM	0.0.627.90
71	2	Stck.	Steher Profil 8 120 x 80 leicht, natur, Laenge 660mm	0_4_0_1	-	-	ITEM	0.0.416.65
72	2	Stck.	Quertraeger Profil 8 80 x 40 leicht, natur, Laenge 550mm	0_4_4_1	-	-	ITEM	0.0.026.34
73	1	Stck.	Mitnehmerprofil Profil 8 40 x 40 leicht, natur, Laenge 143mm	0_6_3	-	-	ITEM	0.0.026.33
74	1	Stck.	Laengstraeger Profil 8 120 x 40 leicht, natur, Laenge 1170mm	0_4_0_0	-	-	ITEM	0.0.416.66
75	2	Stck.	Laengstraeger Profil 8 80 x 40 leicht, natur, Laenge 1010mm	0_4_4_0	-	-	ITEM	0.0.026.34
76	1	Stck.	Klemmhebel Pi 60 M8 x 20	0_4_8	-	-	ITEM	0.0.026.18

77	4	Stck.	Gondelsteher Profil 8 40 x 40 leicht, natur, Laenge 330mm	0_4_6_2	-	-	ITEM	0.0.026.33
78	1	Stck.	Energiekette Eskin soft	0_6_0	-	-	IGUS	0.448m SKS28.068.02.1 + SK280.068.12.1.A
79	1	Stck.	Kreuztisch	0_10_2_0	-	-	IGUS	SLW - XY - 1040 - L90 - 30 - HR
80	2	Stck.	drylin W Gehaeuselager	0_10_0_3	-	-	IGUS	WJ200UM - 01 - 10 - LL
81	2	Stck.	drylin W Gehaeuselager	0_10_0_4	-	-	IGUS	WJ200UM - 01 - 10
82	1	Stck.	drylin W-Doppelschiene WS, Laenge 1005mm, (NACHTRAEGLICHE BEARBEITUNG NOTWENDIG)	0_4_1	-	-	IGUS	WS - 25 - 120 - UNGEBOHRT
83	2	Stck.	drylin W25 Handklemmung	0_4_6_4	-	-	IGUS	WHKA-25
84	2	Stck.	drylin W Profilfeuehrung Einzelschiene, Laenge 1005mm	0_10_1	-	-	IGUS	WS - 10 - 1005
85	1	Stck.	drylin SLW Linearmodul	0_10_6_12	-	-	IGUS	SLW - 1040 - 06 - 151 - HR
86	4	Stck.	drylin W Gehaeuselager	0_4_6_8	-	-	IGUS	WJ200UM - 01 - 25 - LL
87	1	Stck.	Stativadapter fuer USB 3/GigE uEye CP Rev. 2	0_10_4_11	-	-	IDS-Imaging	AL00037
88	1	Stck.	Objektiv Tamron 1A1HB, 75mm, 2/3"	0_10_8_1	-	-	IDS-Imaging	AE.0051.2.06500.01
89	1	Stck.	Industriekamera UI - 3070CP - M - GL Rev.2	0_10_8_0	-	-	IDS-Imaging	UI - 3070CP - C - HQ Rev.2
90	1	Stck.	Tamron EX-7 extension ring set for CCTV CS/S-Mount Lenses	0_10_8_2	-	-	IDS-Imaging	-
91	16	Stck.	Fuehrungswagen	0_0_0_20; 0_2_1_20; 0_2_0_20	-	-	Hiwin	QHH15CA
92	1	Stck.	Linearachse	0_2_5_4	-	-	Hiwin	KK4001P200A1F100
93	8	Stck.	Fuehrungsschiene	0_0_0_12	-	-	Hiwin	HGR15R150H
94	4	Stck.	Fuehrungsschiene	0_2_1_12; 0_2_0_12	-	-	Hiwin	HGR15R290H
95	4	Stck.	Kraftsensor S2M	0_0_0_27	-	-	HBM Messsysteme	K-S2M-MONT-010N-06M0-Y-S
96	1	Stck.	Verbindungstueck mit Gewinde	0_0_5_5	-	-	Elesa + Ganter	FHJ.1/4-1/8-BSPT
97	1	Stck.	Segementschlauch	0_0_5_6	-	-	Elesa + Ganter	FHT.1/4
98	1	Stck.	Schlauchadapter	0_0_5_4	-	-	Elesa + Ganter	GN 480.7 - D15 - G1/8 - 9
99	2	Stck.	Rastscheibe	0_2_5_12	-	-	Elesa + Ganter	GN 187.4-40-60-B-NI
100	1	Stck.	Kreuz - Klemmhalter	0_0_5_2	-	-	Elesa + Ganter	GN 474 - B15 - B15 - MT
101	1	Stck.	Klemmhebelset	0_0_5_3	-	-	Elesa + Ganter	GN 511 - M6 - 20
102	1	Stck.	Haltestange	0_0_5_1	-	-	Elesa + Ganter	GN 480.1 - D15 - 150 - NI - OS
103	1	Stck.	Fuss - Klemmhalter	0_0_5_0	-	-	Elesa + Ganter	GN 473 - B15 - MT
104	1	Stck.	Fuehrungstopf	0_2_5_15	-	-	Elesa + Ganter	GN 187.1-40-Ni
105	1	Stck.	Flachduese mit Breitstrahl	0_0_5_7	-	-	Elesa + Ganter	FHN.1/4-P25
106	1	Stck.	Exzenterspanner	0_2_5_10	-	-	Elesa + Ganter	GN 927.7-101-M8-A
107	1	Stck.	Druckfeder	0_2_5_14	-	-	Elesa + Ganter	GN 187.2 - 29
108	1	Stck.	Dreisterngriff	0_10_6_14	-	-	Elesa + Ganter	VTT.40 - SST - p - 8 x 16
109	1	Stck.	Buegelgriff	0_10_0_1	-	-	Elesa + Ganter	GN 425.1 - 8 - 62 - SW
110	2	Stck.	Schlauch, Laenge 6m	0_5_8	PTFE	-	BOLA	S1810 - 56
111	2	Stck.	Einschraub-Verbindungs-Stueck	0_5_7	PTFE	-	BOLA	D518 - 36
112	1	Stck.	3 Wege-Kegel-Hahn	0_5_9	PTFE	-	BOLA	E654 - 08
113	6	Stck.	Magnetmassstab LMS2-N1.5-32-L95-W10-A03-K	0_2_0_15; 0_0_0_15; 0_2_1_15	-	-	Bogen Messtechnik	00058654
114	6	Stck.	Positionsmesskopf AKS16-02P1.5C1	0_2_1_0; 0_2_0_0; 0_0_0_0	-	-	Bogen Messtechnik	00053106
115	6	Stck.	Kabel AKS16/17, Laenge 2m	0_2_1_4	-	-	Bogen Messtechnik	00053063
116	4	Stck.	Magnetplatte AL8521	0_2_0_17; 0_2_1_7	-	-	Beckhoff	222676

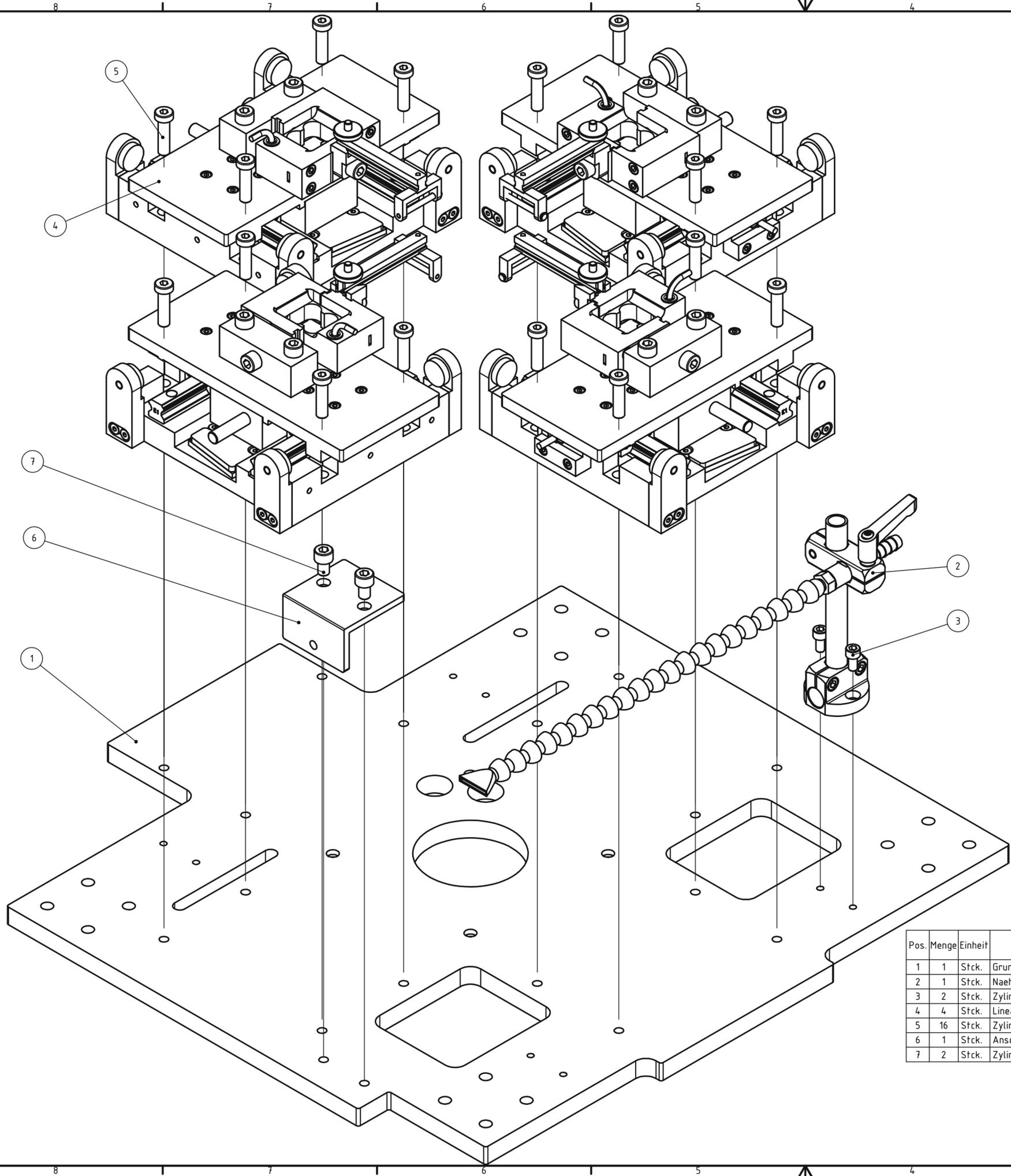
117	6	Stck.	Spulenteil AL8021	0_2_0_6; 0_2_1_16; 0_0_0_16	-	-	Beckhoff	222572
118	4	Stck.	Magnetplatte AL8522	0_0_0_7	-	-	Beckhoff	222683
119	1	Stck.	Synchronservomotor AM8111	0_2_5_6	-	-	Beckhoff	217341
120	4	Stck.	Lagerverbindungswinkel	0_10_0_6	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
121	1	Stck.	Kreuztischverbindungsplatte	0_10_4_1	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
122	1	Stck.	Kreuztischadapterplatte	0_10_4_0	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
123	1	Stck.	Kameraaufnahmewinkel	0_10_4_3	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
124	1	Stck.	Kameraaufnahmeplatte	0_10_4_6	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
125	1	Stck.	Grundplatte	0_0_2	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
126	1	Stck.	Griffhalterung	0_10_6_13	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
127	1	Stck.	Gondeldeckenplatte	0_4_6_3	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
128	4	Stck.	Bett	0_0_0_5	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
129	2	Stck.	Bett	0_2_1_5; 0_2_0_5	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
130	1	Stck.	Anschlag	0_0_3	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
131	22	Stck.	Abschlussplatte	0_0_0_10; 0_2_1_10; 0_2_0_10	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
132	2	Stck.	Ablegeplattenstuetze	0_6_8	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
133	1	Stck.	Ablegeplatte	0_6_7	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
134	1	Stck.	Linearachsenplatte	0_2_5_0	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
135	1	Stck.	3D-Kraftmessdosenanbindung	0_2_5_18	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
136	4	Stck.	Schlitten	0_0_0_19	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
137	2	Stck.	Schlitten	0_2_1_19; 0_2_0_19	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
138	1	Stck.	Zwischenplatte	0_10_6_11	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
139	1	Stck.	Winkelprofil	0_4_7_0	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
140	1	Stck.	Wagengrundplatte	0_10_0_0	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
141	1	Stck.	Versteifung	0_10_6_9	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
142	1	Stck.	Verbindungsprofil	0_4_7_2	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
143	4	Stck.	Haltearmaufnahme	0_0_0_29	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
144	1	Stck.	Stempelanbindungswinkel	0_2_5_9	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
145	1	Stck.	Spiegelbefestigung	0_10_6_2	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
146	1	Stck.	Spiegeladapter	0_10_6_5	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
147	1	Stck.	Schutzblech	0_2_5_2	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
148	4	Stck.	Kraftsensoraufnahmevorrichtung	0_0_0_32	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
149	6	Stck.	Montagewinkel	0_0_0_2; 0_2_1_2; 0_2_0_2	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
150	1	Stck.	Montageplatte	0_4_7_4	EN-AW-5083	-	IFT TU-Graz	-
151	4	Stck.	Haltearmlaengsteil	0_0_0_23	EN 1.4571	-	IFT TU-Graz	-
152	1	Stck.	Stempelaufnahme	0_2_5_21	EN 1.4571	-	IFT TU-Graz	-
153	1	Stck.	Stempel	0_2_5_23	EN 1.4571	-	IFT TU-Graz	-
154	1	Stck.	Kreuztischadapterblock	0_10_2_2	EN 1.4571	-	IFT TU-Graz	-
155	4	Stck.	Haltearmquerteil	0_0_0_24	EN 1.4571	-	IFT TU-Graz	-
156	1	Stck.	Wanne	0_5_0	EN 1.4571	-	Zimmermann CNC	-
157	1	Stck.	Deckflansch	0_5_1	EN 1.4571	-	Zimmermann CNC	-
158	1	Stck.	Spiegel	0_10_6_0	Glas beschichtet	-	Glas Meisl	-
159	1	Stck.	Klebstoff	0_10_6_1	-	-	-	-



Pos.	Menge/ Einheit	Benennung	Sachnummer	Norm - Kurzbezeichnung	Werkstoff	Lieferant	Artikelnummer
1	1 Stk.	Rahmen	0_4	-	-	-	-
2	1 Stk.	Blax - Einheit	0_0	-	-	-	-
3	1 Stk.	Backen	0_5	-	-	-	-
4	16 Stk.	Sechskantschraube	0_1	ISO 4017 - M8 x 25 - A2 - 70	-	-	-
5	1 Stk.	TAU - Einheit	0_2	-	-	-	-
6	4 Stk.	Zylinderschraube	0_3	DIN 7984 - M8 x 4,0 - A2 - 70	-	-	-
7	1 Stk.	Kamerawagen	0_10	-	-	-	-
8	18 Stk.	Zylinderschraube	0_12	DIN 7984 - M5 x 16 - A2 - 70	-	-	-
9	18 Stk.	Nutstein V8 St M6, verzinkt	0_11	-	-	ITEM	0.0.480.50
10	1 Stk.	Kabelfuehrung	0_6	-	-	-	-
11	4 Stk.	Nutstein 8 St M8, verzinkt	0_9	-	-	ITEM	0.0.026.18
12	4 Stk.	Senkschraube	0_8	ISO 10642 - M8 x 4,0 - A2 - 70	-	-	-
13	2 Stk.	Winkelsatz 8 4,0 x 4,0	0_7	-	-	ITEM	0.0.411.15

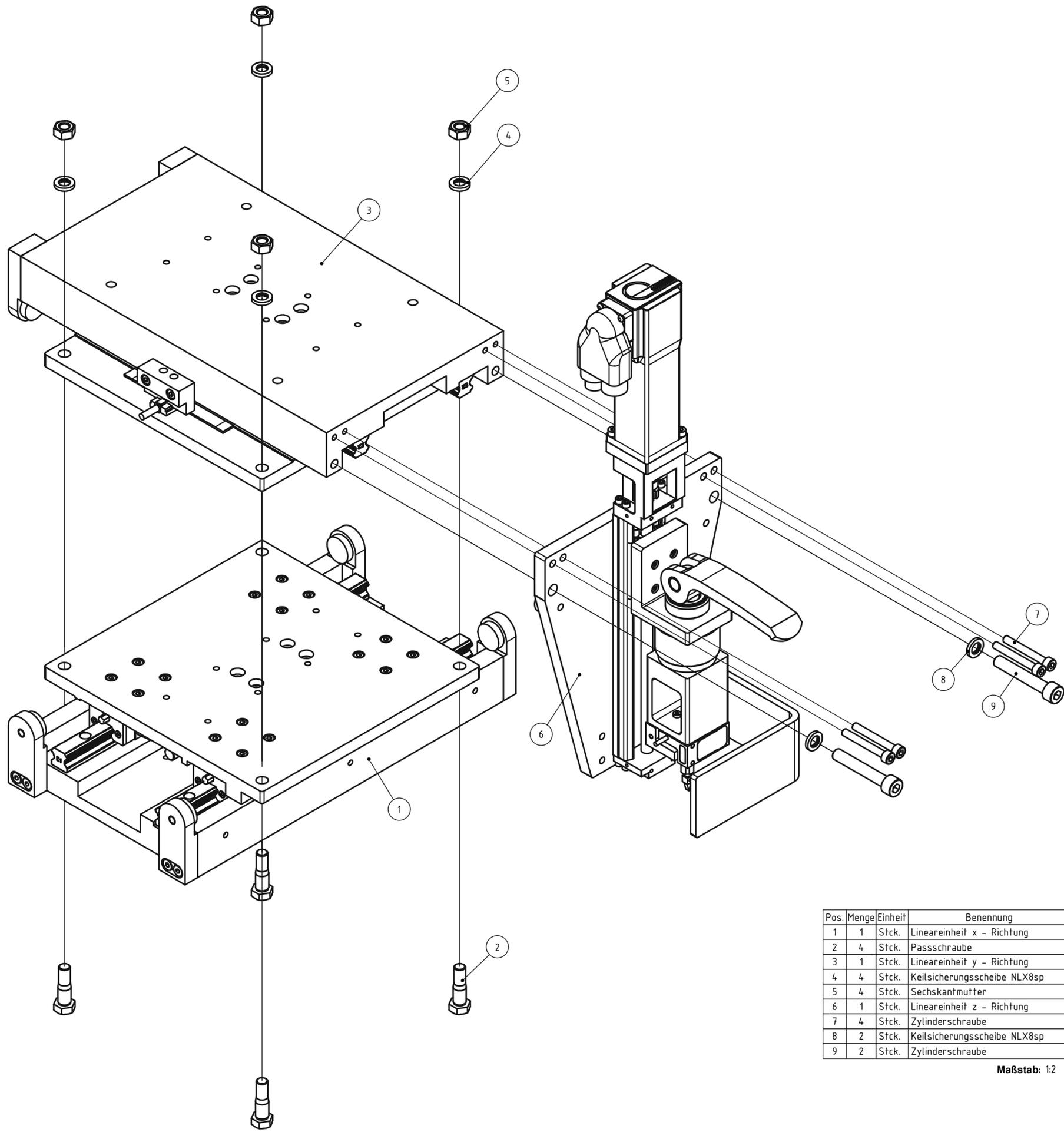
Maßstab 1:2		Technische Referenz	Erstellt durch	Genehmigt von
Vorname Nachname	Titel	Dr. Freilinger	Dr. Freilinger	Dr. Freilinger
TU-Graz		Dr. Freilinger	Dr. Freilinger	Dr. Freilinger
TU-Graz		Dr. Freilinger	Dr. Freilinger	Dr. Freilinger
TU-Graz		Dr. Freilinger	Dr. Freilinger	Dr. Freilinger
Aut.	Angledatum	Dr.	Dr.	Dr.
20.11.2021	Dr.	Dr.	Dr.	Dr.

Baugruppe	Sachnummer d. Baugruppe	Stufe
Blutgefäßprüfstand	0	0
Zeichnungsname	Sachnummer	
BIAX-Einheit	0_0	1
TAU-Einheit	0_2	1
Rahmen	0_4	1
Becken	0_5	1
Kabelführung	0_6	1
Kamerawagen	0_10	1



Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer	Norm - Kurzbezeichnung	Werkstoff	Lieferant	Artikelnummer
1	1	Stck.	Grundplatte	0_0_2	-	EN-AW-5083	-	-
2	1	Stck.	Naehrstoffzulauf	0_0_5	-	-	-	-
3	2	Stck.	Zylinderschraube	0_0_6	ISO 4762 - M6 x 12 - A2 - 70	-	-	-
4	4	Stck.	Lineareinheit	0_0_0	-	-	-	-
5	16	Stck.	Zylinderschraube	0_0_1	DIN 7984 - M8 x 30 - A2 - 70	-	-	-
6	1	Stck.	Anschlag	0_0_3	-	EN-AW-5083	-	-
7	2	Stck.	Zylinderschraube	0_0_4	ISO 4762 - M8 x 12 - A2 - 70	-	-	-

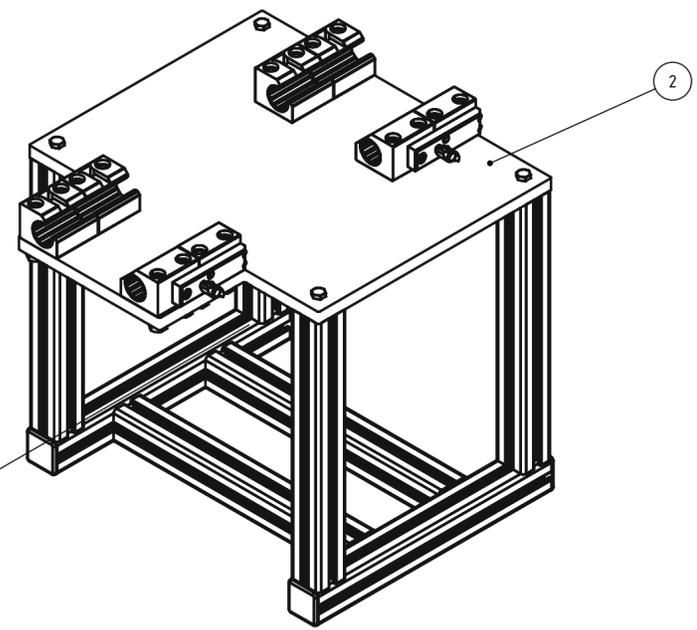
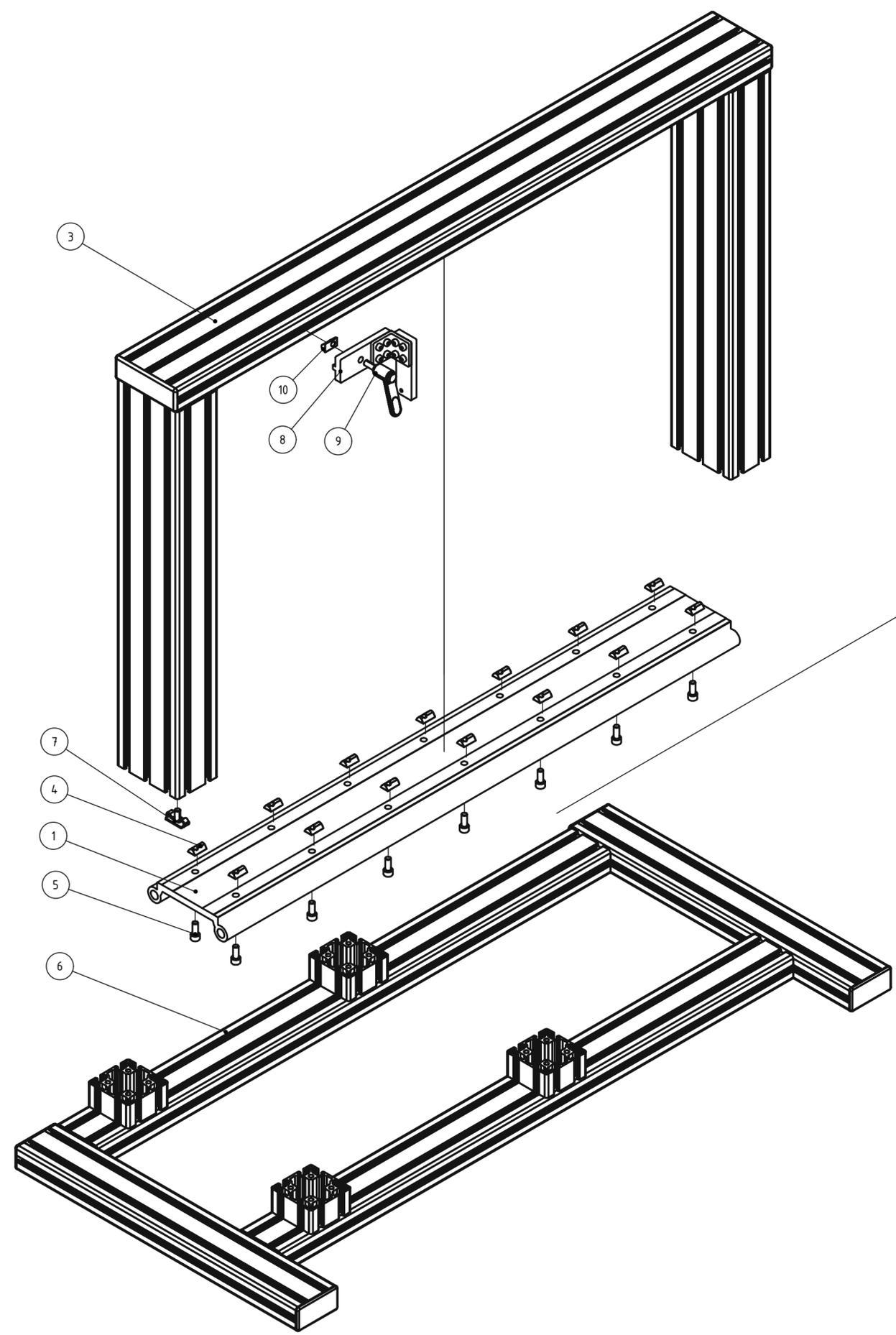
Maßstab: 1:2		Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von
TU-Graz			Dokumentenart Explosionszeichnung	Dokumentenstatus freigegeben	
			Titel, Zusätzlicher Titel BIAx-Einheit		
Änd.	Ausgabedatum 22.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1		



Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer	Norm - Kurzbezeichnung	Werkstoff	Lieferant	Artikelnummer
1	1	Stck.	Lineareinheit x - Richtung	0_2_0	-	-	-	-
2	4	Stck.	Passschraube	0_2_2	DIN 609 - M8 x 1 x 21 - A2 - 70	-	-	-
3	1	Stck.	Lineareinheit y - Richtung	0_2_1	-	-	-	-
4	4	Stck.	Keilsicherungsscheibe NLX8sp	0_2_4	-	-	Nord Lock	2374
5	4	Stck.	Sechskantmutter	0_2_3	ISO 4032 - M8 - A2 - 70	-	-	-
6	1	Stck.	Lineareinheit z - Richtung	0_2_5	-	-	-	-
7	4	Stck.	Zylinderschraube	0_2_6	ISO 4762 - M5 x 40 - A2 - 70	-	-	-
8	2	Stck.	Keilsicherungsscheibe NLX8sp	0_2_8	-	-	Nord Lock	2374
9	2	Stck.	Zylinderschraube	0_2_7	ISO 4762 - M8 x 50 - A2 - 70	-	-	-

Maßstab: 1:2

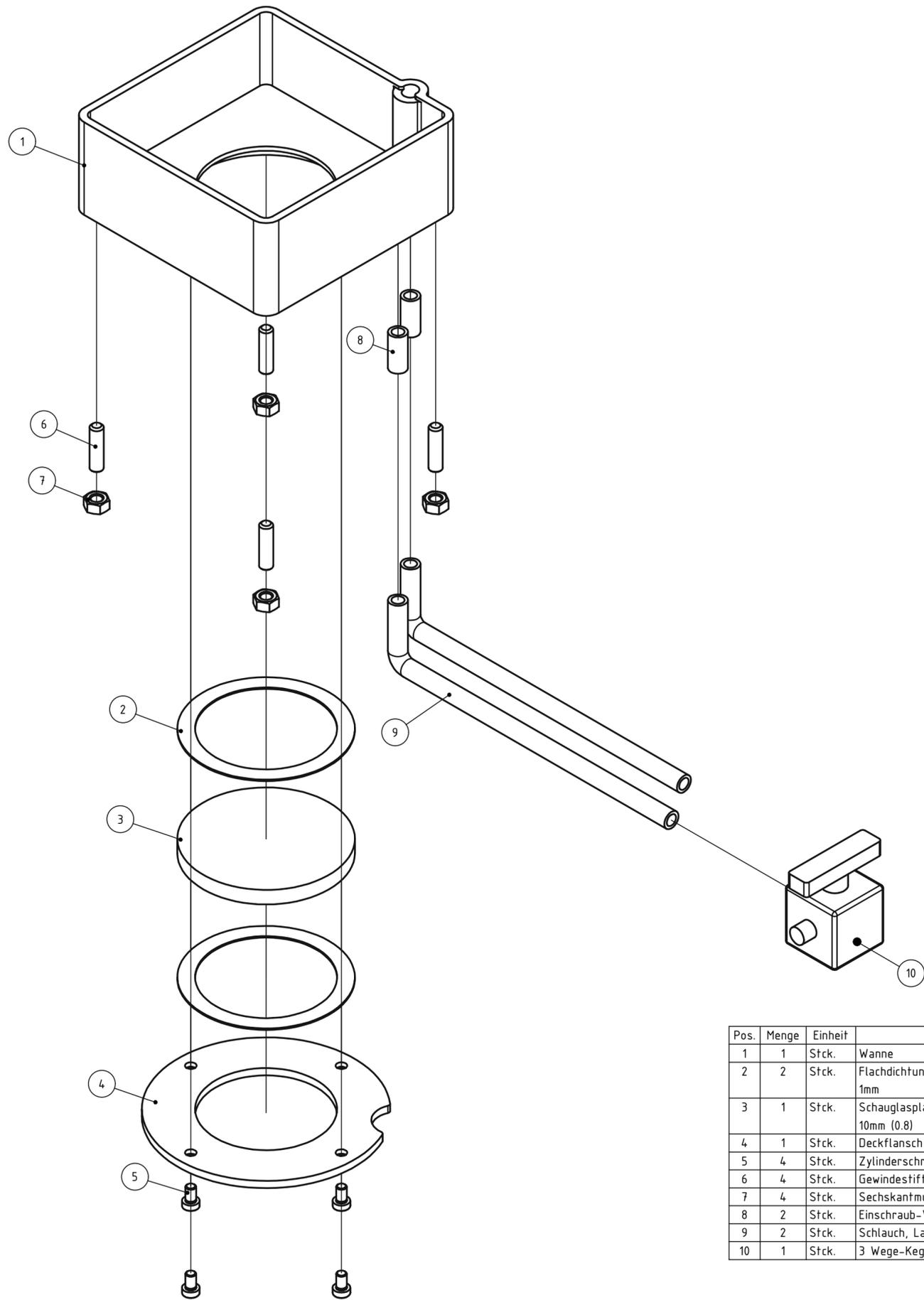
Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz L. Fellingner	Erstellt durch L. Fellingner	Genehmigt von
TU-Graz		Dokumentenart Explosionszeichnung	Dokumentenstatus nicht freigegeben
		Titel, Zusätzlicher Titel TAU-Einheit	
		0_2	
Änd.	Ausgabedatum 22.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1



Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer	Norm - Kurzbezeichnung	Werkstoff	Lieferant	Artikelnummer
1	1	Stck.	drylin W-Doppelschiene WS, Laenge 1005mm, (NACHTRAEGLICHE BEARBEITUNG NOTWENDIG)	0_4_1	-	-	IGUS	WS - 25 - 120 - UNGEBOHRT
2	1	Stck.	Gondel	0_4_6	-	-	-	-
3	1	Stck.	Portal	0_4_0	-	-	-	-
4	14	Stck.	Nutenstein 8 St M8, verzinkt	0_4_3	-	-	ITEM	0.0.026.18
5	14	Stck.	Zylinderschraube	0_4_2	ISO 4762 - M8 x 20 - A2 - 70	-	-	-
6	1	Stck.	Bodenplatte	0_4_4	-	-	-	-
7	12	Stck.	Standardverbindingssatz 8, verzinkt	0_4_5	-	-	ITEM	0.0.026.07
8	1	Stck.	Gondelpuffer	0_4_7	-	-	-	-
9	1	Stck.	Klemmhebel Pi 60 M8 x 20	0_4_8	-	-	ITEM	0.0.026.18
10	1	Stck.	Nutenstein 8 St M8, verzinkt	0_4_9	-	-	ITEM	0.0.026.18

Maßstab: 1:1

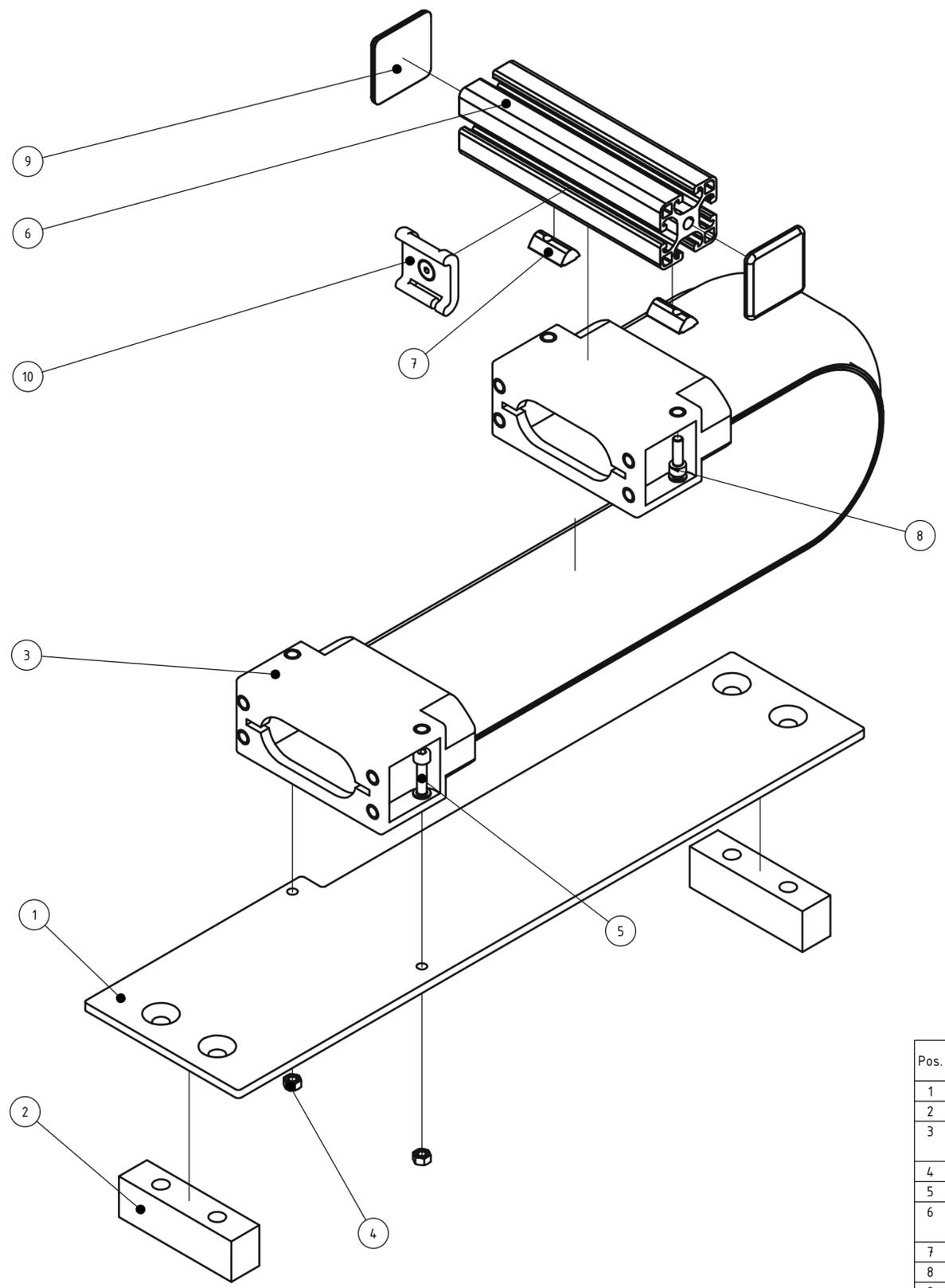
Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von
TU-Graz		Dokumentenart Explosionszeichnung	Dokumentenstatus freigegeben
		Titel, Zusätzlicher Titel Rahmen	
Änd.	Ausgabedatum 22.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1



Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer	Norm - Kurzbezeichnung	Werkstoff	Lieferant	Artikelnummer
1	1	Stck.	Wanne	0_5_0	-	EN 1.4571	-	-
2	2	Stck.	Flachdichtung Durchm. 100 x 80 x 1mm	0_5_2	-	Multi-X	Hennlich	VARI.10
3	1	Stck.	Schauglasplatte Durchm. 100 x 10mm (0.8)	0_5_3	DIN 7080	Borsilikat	Hennlich	BOR 100X10
4	1	Stck.	Deckflansch	0_5_1	-	EN 1.4571	-	-
5	4	Stck.	Zylinderschraube	0_5_6	DIN 7984 - M6 x 10 - A2 - 70	-	-	-
6	4	Stck.	Gewindestift	0_5_4	ISO 4026 - M8 x 30 - A2 - 21H	-	-	-
7	4	Stck.	Sechskantmutter	0_5_5	ISO 4032 - M8 - A2 - 70	-	-	-
8	2	Stck.	Einschraub-Verbindungs-Stueck	0_5_7	-	PTFE	BOLA	D518 - 36
9	2	Stck.	Schlauch, Laenge 6m	0_5_8	-	PTFE	BOLA	S1810 - 56
10	1	Stck.	3 Wege-Kegel-Hahn	0_5_9	-	PTFE	BOLA	E654 - 08

Maßstab: 1:2

Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz L. Fellingner	Erstellt durch L. Fellingner	Genehmigt von
TU-Graz		Dokumentenart Explosionszeichnung	Dokumentenstatus freigegeben
		Titel, Zusätzlicher Titel Becken	
Änd.	Ausgabedatum 22.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1



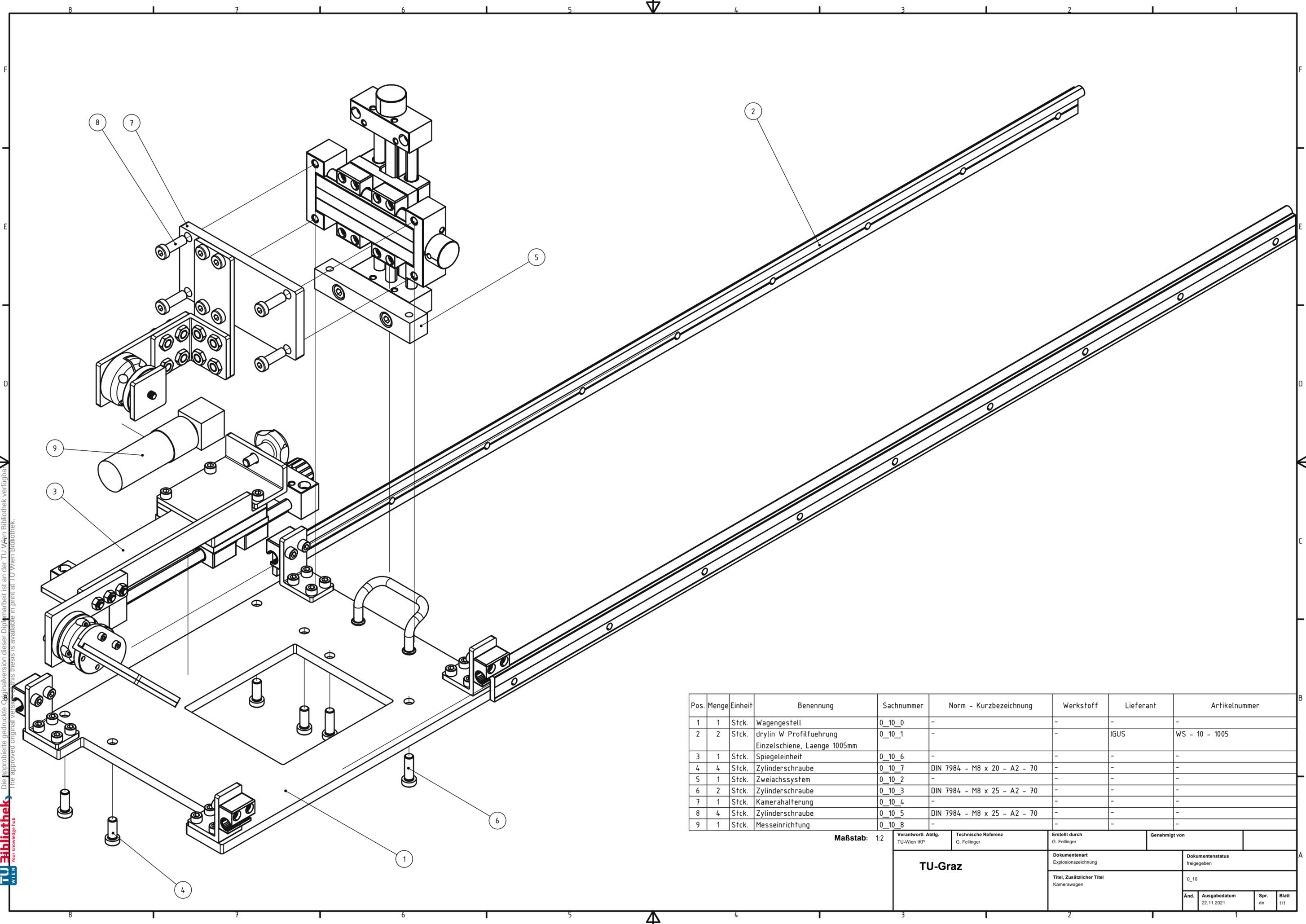
Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer	Norm - Kurzbezeichnung	Werkstoff	Lieferant	Artikelnummer
1	1	Stck.	Ablegeplatte	0_6_7	-	EN-AW-5083	-	-
2	2	Stck.	Ablegeplattenstuetze	0_6_8	-	EN-AW-5083	-	-
3	1	Stck.	Energiekette Eskin soft	0_6_0	-	-	IGUS	0.448m SKS28.068.02.1 + SK280.068.12.1.A
4	2	Stck.	Sechskantmutter	0_6_2	ISO 4032 - M5 - A2 - 70	-	-	-
5	2	Stck.	Zylinderschraube	0_6_1	ISO 4762 - M5 x 20 - A2 - 70	-	-	-
6	1	Stck.	Mitnehmerprofil Profil 8 40 x 40 leicht, natur, Laenge 143mm	0_6_3	-	-	ITEM	0.0.026.33
7	2	Stck.	Nutenstein V8 St M5, verzinkt	0_6_6	-	-	ITEM	0.0.480.54
8	2	Stck.	Zylinderschraube	0_6_5	ISO 4742 - M5 x 16 - A2 - 70	-	-	-
9	2	Stck.	Abdeckkappe 8 40 x 40, schwarz	0_6_4	-	-	ITEM	0.0.026.01
10	1	Stck.	Universalhalter	0_6_9	-	-	ITEM	0.0.627.90

Maßstab: 1:2

Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von
TU-Graz		Dokumentenart Explosionszeichnung	Dokumentenstatus freigegeben
		Titel, Zusätzlicher Titel Kabeluehrung	
Änd.	Ausgabedatum 22.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
 The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.





Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer	Norm - Kurzbezeichnung	Werkstoff	Lieferant	Artikelnummer
1	1	Stck.	Wagengestell	0_10_0	-	-	-	-
2	2	Stck.	drylin W Profilverfuehrung Einzelschiene, Laenge 1005mm	0_10_1	-	-	IGUS	WS - 10 - 1005
3	1	Stck.	Spiegeleinheit	0_10_6	-	-	-	-
4	4	Stck.	Zylinderschraube	0_10_7	DIN 7984 - M8 x 20 - A2 - 70	-	-	-
5	1	Stck.	Zweiachsensystem	0_10_2	-	-	-	-
6	2	Stck.	Zylinderschraube	0_10_3	DIN 7984 - M8 x 25 - A2 - 70	-	-	-
7	1	Stck.	Kamerahalterung	0_10_4	-	-	-	-
8	4	Stck.	Zylinderschraube	0_10_5	DIN 7984 - M8 x 25 - A2 - 70	-	-	-
9	1	Stck.	Messeinrichtung	0_10_8	-	-	-	-

Maßstab: 1:2

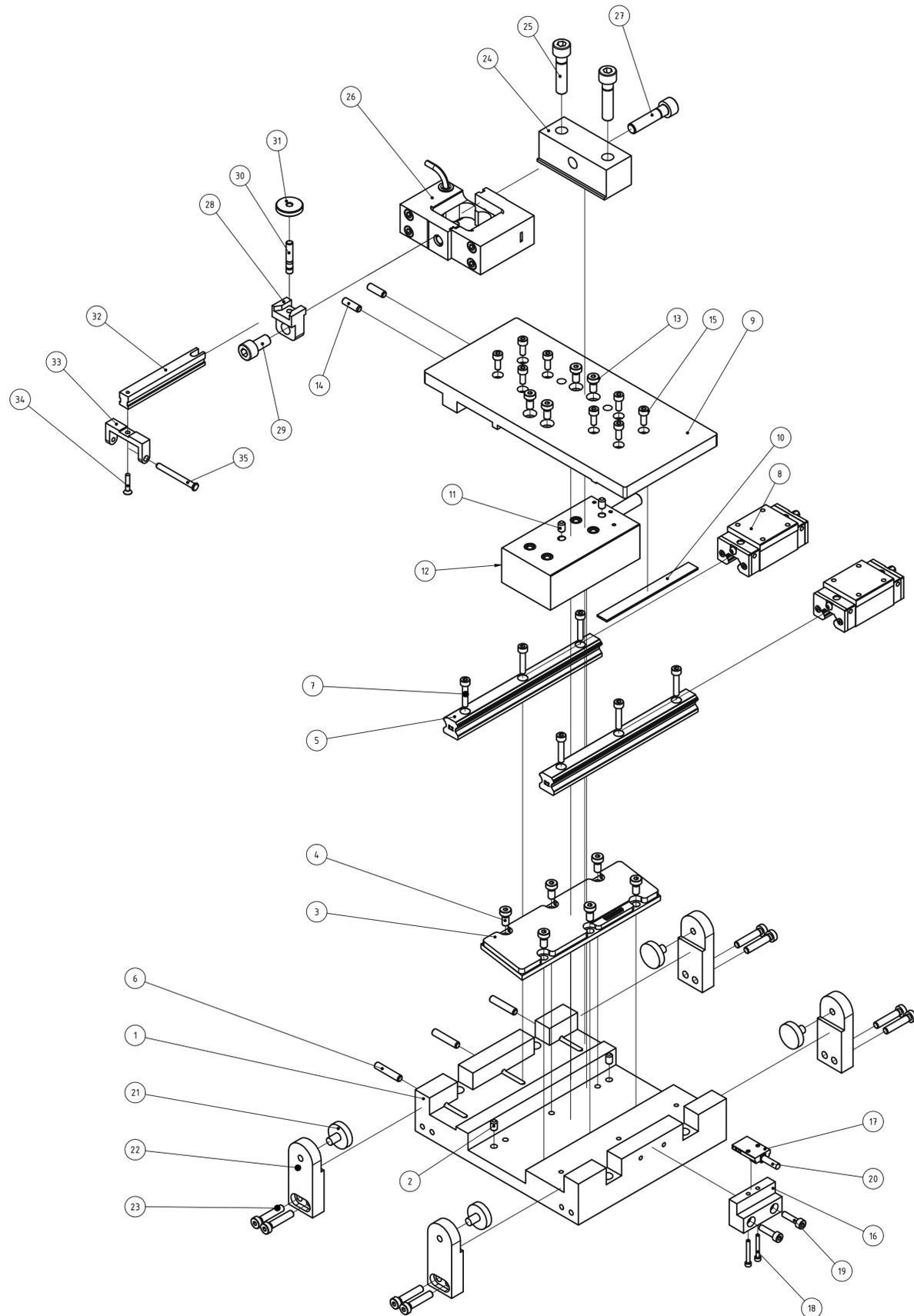
Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von
------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------	---------------

TU-Graz		Dokumentenart Explosionszeichnung	Dokumentenstatus freigegeben
----------------	--	--------------------------------------	---------------------------------

Titel, Zusätzlicher Titel Kamerawagen		0_10	
--	--	------	--

Änd.	Ausgabedatum 22.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1
------	----------------------------	------------	--------------

Baugruppe	Sachnummer d. Baugruppe	Stufe
BIAX-Einheit	0_0	1
Zeichnungsname	Sachnummer	
Lineareinheit	0_0_0	2
Grundplatte	0_0_2	2
Anschlag	0_0_3	2
Nährstoffzulauf	0_0_5	2

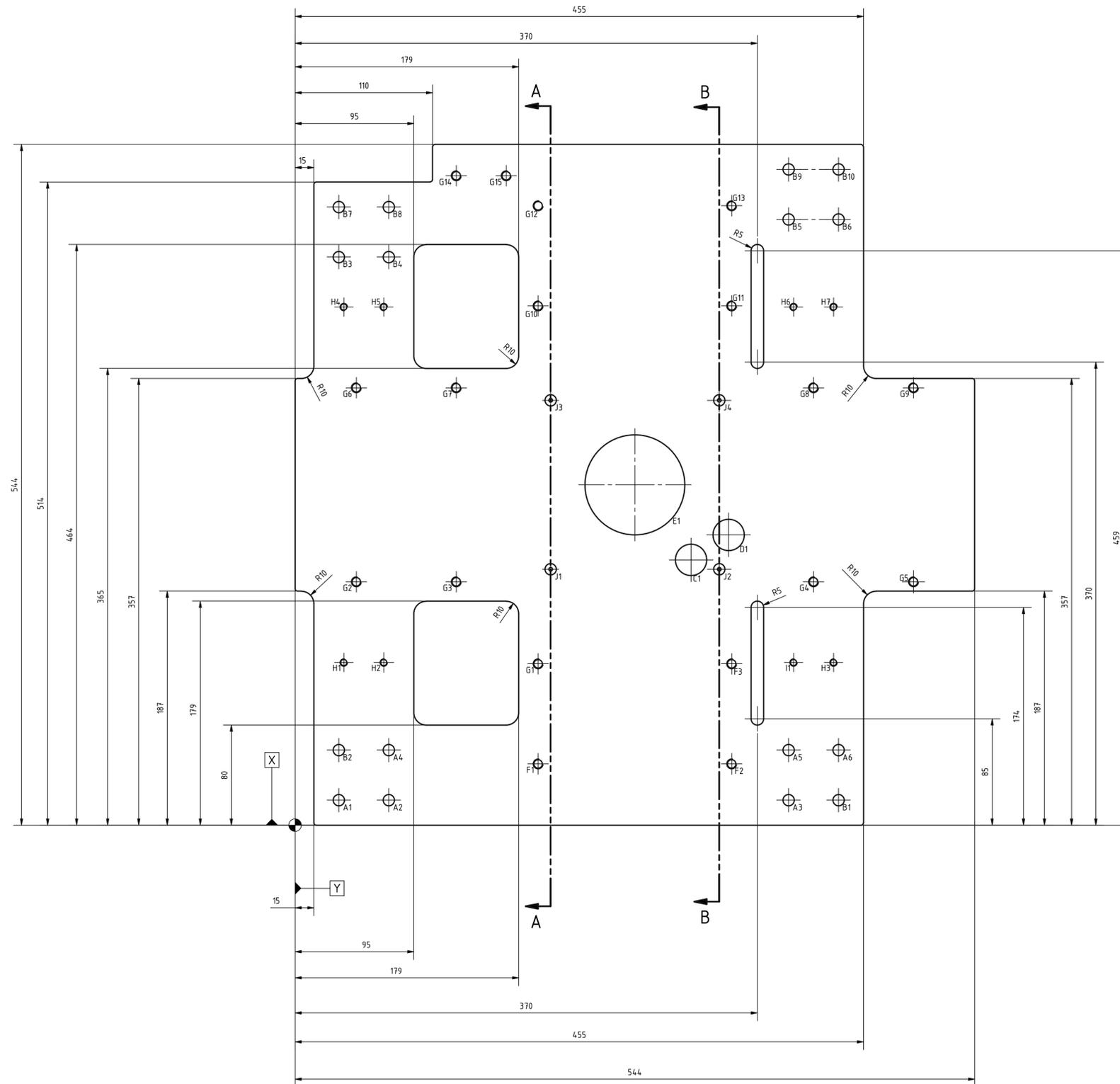
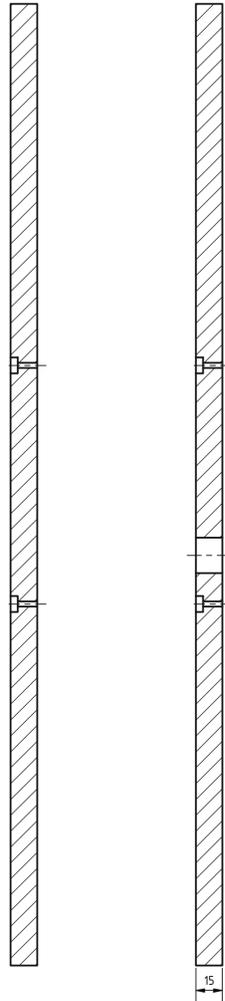


Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer	Norm - Kurzbezeichnung	Werkstoff	Lieferant	Artikelnummer
1	1	Stck.	Belt	0_0_0_5	-	EN-AW-5083	-	-
2	2	Stck.	Zylinderstift	0_0_0_8	ISO 8734 - 5 x 8 - C1	-	-	-
3	1	Stck.	Magnetplatte AL8522	0_0_0_7	-	-	Beckhoff	222683
4	6	Stck.	Zylinderschraube	0_0_0_6	DIN 7984 - M5 x 10 - A2 - 70	-	-	-
5	2	Stck.	Fuehrungsschiene	0_0_0_12	-	-	Hiwin	HGR15R150H
6	3	Stck.	Gewindestift	0_0_0_13	ISO 4026 - M5 x 25 - A2 - 21H	-	-	-
7	6	Stck.	Zylinderschraube	0_0_0_14	ISO 4762 - M4 x 20 - A2 - 70	-	-	-
8	2	Stck.	Fuehrungswagen	0_0_0_20	-	-	Hiwin	QHH15CA
9	1	Stck.	Schlitzen	0_0_0_19	-	EN-AW-5083	-	-
10	1	Stck.	Magnetmassstab LMS2-N1,5-32-L95-W10-A03-K	0_0_0_15	-	-	Bogen Messtechnik	00058654
11	2	Stck.	Zylinderstift	0_0_0_18	ISO 8734 - 5 x 8 - C1	-	-	-
12	1	Stck.	Spulenteil AL8021	0_0_0_16	-	-	Beckhoff	222572
13	4	Stck.	Zylinderschraube	0_0_0_17	DIN 7984 - M5 x 10 - A2 - 70	-	-	-
14	2	Stck.	Gewindestift	0_0_0_21	ISO 4026 - M5 x 16 - A2 - 21H	-	-	-
15	8	Stck.	Zylinderschraube	0_0_0_22	ISO 4762 - M4 x 10 - A2 - 70	-	-	-
16	1	Stck.	Montagewinkel	0_0_0_2	-	EN-AW-5083	-	-
17	1	Stck.	Positionsmesskopf AKS16-02P1.5C1	0_0_0_0	-	-	Bogen Messtechnik	00053106
18	2	Stck.	Zylinderschraube	0_0_0_1	ISO 4762 - M2,5 x 20 - A2 - 70	-	-	-
19	2	Stck.	Zylinderschraube	0_0_0_3	ISO 4762 - M4 x 16 - A2 - 70	-	-	-
20	1	Stck.	Kabel AKS16/17, Laenge 2m	0_2_1_4	-	-	Bogen Messtechnik	00053063
21	4	Stck.	Gummipuffer	0_0_0_11	-	-	Norelem	26106 - 02000555
22	4	Stck.	Abschlussplatte	0_0_0_10	-	EN-AW-5083	-	-
23	8	Stck.	Zylinderschraube	0_0_0_9	DIN 7984 - M5 x 25 - A2 - 70	-	-	-
24	1	Stck.	Kraftsensoraufnahmeverrichtung	0_0_0_32	-	EN-AW-5083	-	-
25	2	Stck.	Zylinderschraube	0_0_0_34	ISO 4762 - M8 x 35 - A2 - 70	-	-	-
26	1	Stck.	Kraftsensor S2M	0_0_0_27	-	-	HBM Messsysteme	K-S2M-MONT-010N-06M0-Y-S
27	1	Stck.	Zylinderschraube	0_0_0_33	ISO 4762 - M8 x 35 - A2 - 70	-	-	-
28	1	Stck.	Haltearmaufnahme	0_0_0_29	-	EN-AW-5083	-	-
29	1	Stck.	Zylinderschraube	0_0_0_30	ISO 4762 - M8 x 16 - A2 - 70	-	-	-
30	1	Stck.	Stiftschraube	0_0_0_28	DIN 835 - M5 x 27 - A2 - 70	-	-	-
31	1	Stck.	Raendelmutter	0_0_0_31	DIN 467 - M5 - A2 - 70	-	-	-
32	1	Stck.	Haltearmlaengsteil	0_0_0_23	-	EN 1.4571	-	-
33	1	Stck.	Haltearmquerteil	0_0_0_24	-	EN 1.4571	-	-
34	1	Stck.	Senkschraube	0_0_0_25	ISO 10642 - M3 x 16 - A2 - 70	-	-	-
35	1	Stck.	Haltearmstift	0_0_0_26	ISO 2341 - A - 4 x 4,0 - A2	-	-	-

Maßstab: 1:2

Vereinw. Abtg. TU-Wien IRP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von
TU-Graz		Dokumententyp Explosionszeichnung	Dokumentenstatus Insgesamt
Titel, Zusätzlicher Titel Lineardruck		0_0_0	Änd.
Ausgabedatum 20.11.2021		Spr. de	Blatt 1/1

A-A (1:2) B-B (1:2)

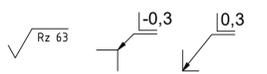


BOHRUNGSTABELLE

BOHRUNG	XBEM	YBEM	BESCHREIBUNG
A1	35,00	20,00	∅9
A2	75,00	20,00	∅9
A3	395,00	20,00	∅9
A4	75,00	60,00	∅9
A5	395,00	60,00	∅9
A6	435,00	60,00	∅9
B1	435,00	20,00	∅9
B2	35,00	60,00	∅9
B3	35,00	454,00	∅9
B4	75,00	454,00	∅9
B5	395,00	484,00	∅9
B6	435,00	484,00	∅9
B7	35,00	494,00	∅9
B8	75,00	494,00	∅9
B9	395,00	524,00	∅9
B10	435,00	524,00	∅9
C1	317,00	212,00	∅25
D1	347,00	232,00	∅25
E1	272,00	272,00	∅80
F1	194,50	49,00	M8
F2	349,50	49,00	M8
F3	349,50	129,00	M8
G1	194,50	129,00	M8
G2	49,00	194,50	M8
G3	129,00	194,50	M8
G4	415,00	194,50	M8
G5	495,00	194,50	M8
G6	49,00	349,50	M8
G7	129,00	349,50	M8
G8	415,00	349,50	M8
G9	495,00	349,50	M8
G10	194,50	415,00	M8
G11	349,50	415,00	M8
G12	194,50	495,00	M8
G13	349,50	495,00	M8
G14	129,00	519,00	M8
G15	169,00	519,00	M8
H1	39,00	130,00	M6
H2	71,00	130,00	M6
H3	431,00	130,00	M6
H4	39,00	414,00	M6
H5	71,00	414,00	M6
H6	399,00	414,00	M6
H7	431,00	414,00	M6
I1	399,00	130,00	M6
J1	204,50	204,50	∅3 DURCH DIN 974 - ∅9 X 4
J2	339,50	204,50	∅3 DURCH DIN 974 - ∅9 X 4
J3	204,50	339,50	∅3 DURCH DIN 974 - ∅9 X 4
J4	339,50	339,50	∅3 DURCH DIN 974 - ∅9 X 4

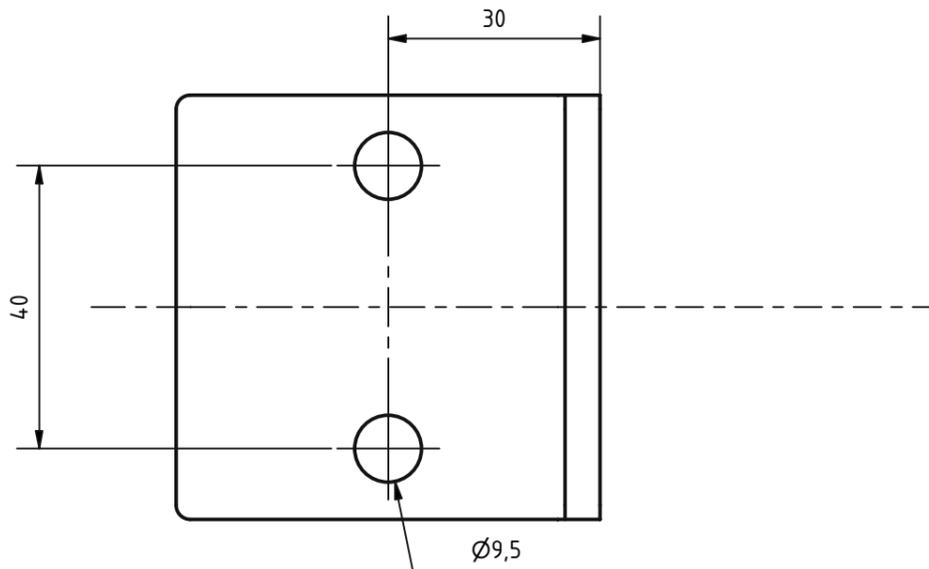
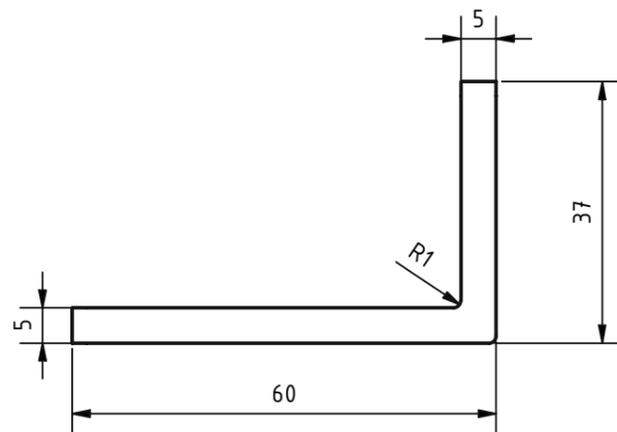
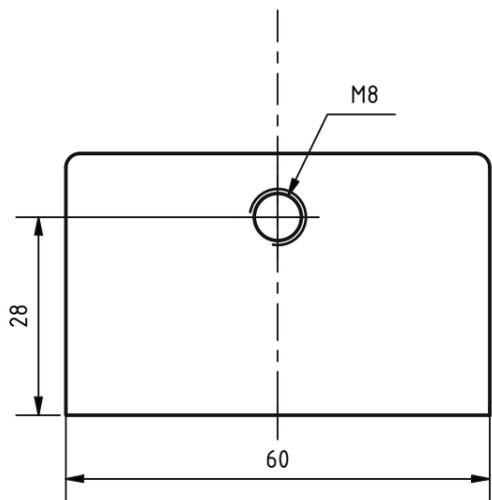
nicht bemaßte Radien R2
Werkstückkanten nach DIN ISO 13715
Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302
Werkstoff: EN-AW-5083

Maßstab: 1:2



1 Stck.

Verantwortl. Abt. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Auzberger
TU-Graz		Dokumententart Einzeldruckzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben
		Titel, Zusätzlicher Titel Grundplatte	
Ausg. 10.11.2021		0_0_2	Blatt 1/1



nicht bemaßte Radien R2

Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

Werkstoff: EN-AW-5083

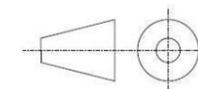
Maßstab: 1:1

$\sqrt{\text{Rz 63}}$

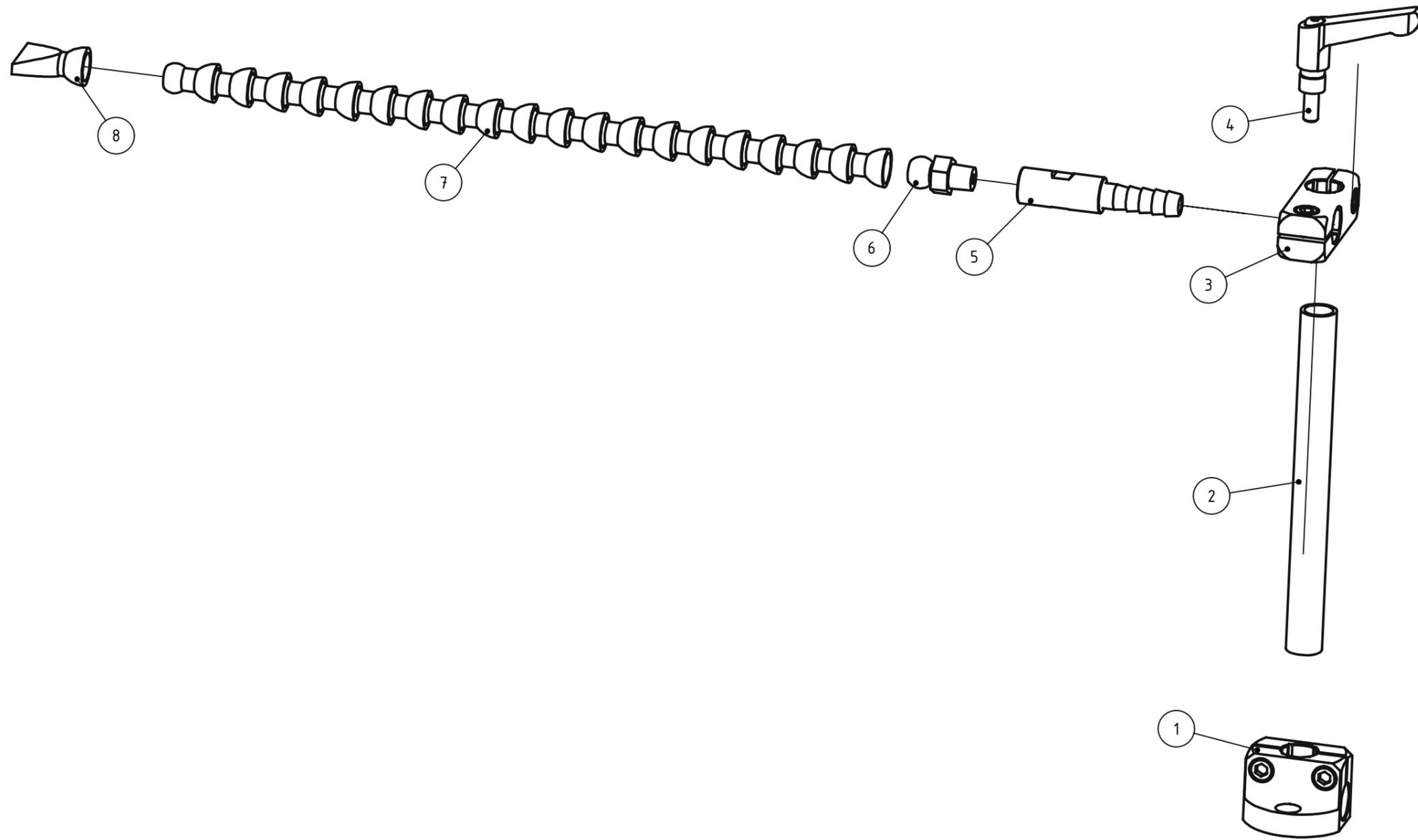
$-0,3$

$+0,3$

1 Stck.



Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger	
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung		Dokumentenstatus freigegeben
		Titel, Zusätzlicher Titel Anschlag		0_0_3
Änd.	Ausgabedatum 11.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1	

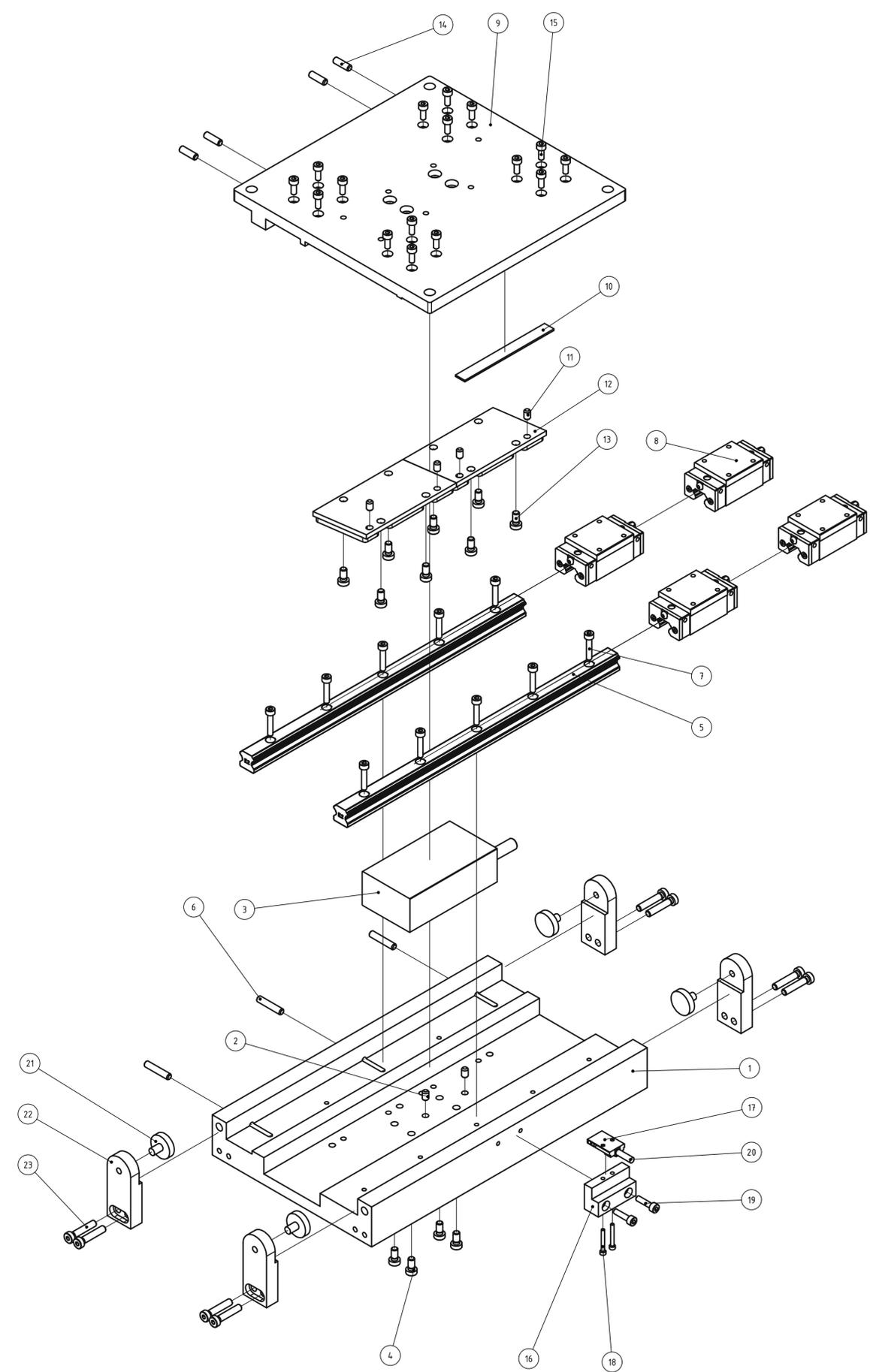


Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer	Norm - Kurzbezeichnung	Werkstoff	Lieferant	Artikelnummer
1	1	Stck.	Fuss - Klemmhalter	0_0_5_0	-	-	Elesa + Ganter	GN 473 - B15 - MT
2	1	Stck.	Haltestange	0_0_5_1	-	-	Elesa + Ganter	GN 480.1 - D15 - 150 - NI - OS
3	1	Stck.	Kreuz - Klemmhalter	0_0_5_2	-	-	Elesa + Ganter	GN 474 - B15 - B15 - MT
4	1	Stck.	Klemmhebelset	0_0_5_3	-	-	Elesa + Ganter	GN 511 - M6 - 20
5	1	Stck.	Schlauchadapter	0_0_5_4	-	-	Elesa + Ganter	GN 480.7 -D15 - G1/8 - 9
6	1	Stck.	Verbindungstueck mit Gewinde	0_0_5_5	-	-	Elesa + Ganter	FHJ.1/4-1/8-BSPT
7	1	Stck.	Segementschlauch	0_0_5_6	-	-	Elesa + Ganter	FHT.1/4
8	1	Stck.	Flachduese mit Breitstrahl	0_0_5_7	-	-	Elesa + Ganter	FHN.1/4-P25

Maßstab: 1:2

Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz L. Fellingner	Erstellt durch L. Fellingner	Genehmigt von	
TU-Graz		Dokumentenart Explosionszeichnung	Dokumentenstatus freigegeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel Naehrstoffzulauf		0_0_5
Änd.	Ausgabedatum 20.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1	

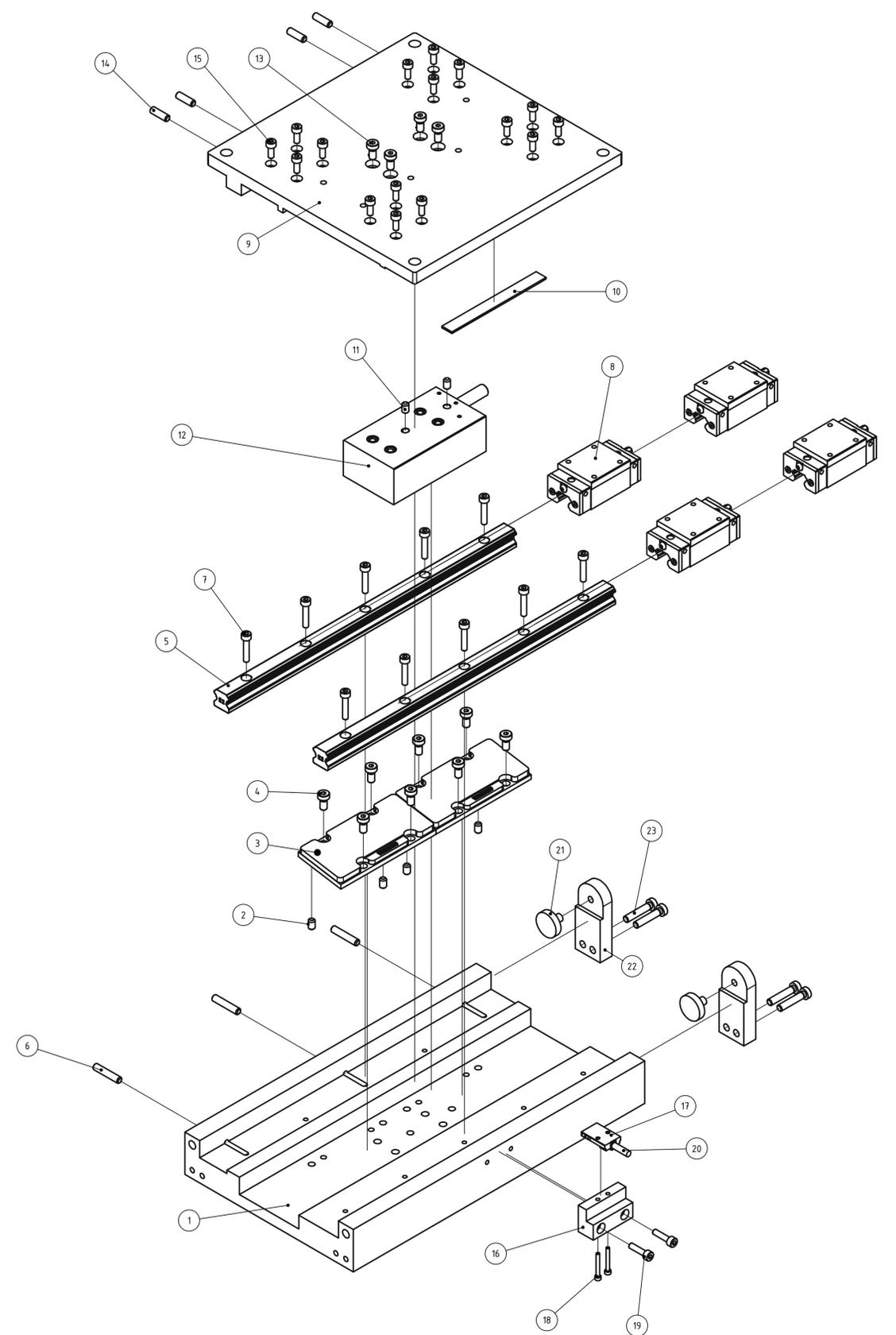
Baugruppe	Sachnummer d. Baugruppe	Stufe
TAU-Einheit	0_2	1
Zeichnungsname	Sachnummer	
Lineareinheit x-Richtung	0_2_0	2
Lineareinheit y-Richtung	0_2_1	2
Lineareinheit z-Richtung	0_2_5	2



Pos	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer	Norm - Kurzbezeichnung	Werkstoff	Lieferant	Artikelnummer
1	1	Stck.	Bett	0_2_0_5	-	EN-AW-5083	-	-
2	2	Stck.	Zylinderstift	0_2_0_18	ISO 8734 - 5 x 8 - C1	-	-	-
3	1	Stck.	Spulenteil AL8021	0_2_0_6	-	-	Beckhoff	222572
4	4	Stck.	Zylinderschraube	0_2_0_7	DIN 7984 - M5 x 10 - A2 - 70	-	-	-
5	2	Stck.	Fuehrungsschiene	0_2_0_12	-	-	Hiwin	HGR15R290H
6	3	Stck.	Gewindestift	0_2_0_13	ISO 4026 - M5 x 25 - A2 - 21H	-	-	-
7	10	Stck.	Zylinderschraube	0_2_0_14	ISO 4762 - M4 x 20 - A2 - 70	-	-	-
8	4	Stck.	Fuehrungswagen	0_2_0_20	-	-	Hiwin	QHH15CA
9	1	Stck.	Schlitten	0_2_0_19	-	EN-AW-5083	-	-
10	1	Stck.	Magenmassstab LMS2-N15-32-L95-W10-A03-K	0_2_0_15	-	-	Bogen Messtechnik	00058654
11	4	Stck.	Zylinderstift	0_2_0_8	ISO 8734 - 5 x 8 - C1	-	-	-
12	2	Stck.	Magnetplatte AL8521	0_2_0_17	-	-	Beckhoff	222676
13	8	Stck.	Zylinderschraube	0_2_0_16	DIN 7984 - M5 x 10 - A2 - 70	-	-	-
14	4	Stck.	Gewindestift	0_2_0_21	ISO 4026 - M5 x 16 - A2 - 21H	-	-	-
15	16	Stck.	Zylinderschraube	0_2_0_22	ISO 4762 - M4 x 10 - A2 - 70	-	-	-
16	1	Stck.	Montagewinkel	0_2_0_2	-	EN-AW-5083	-	-
17	1	Stck.	Positionsmesskopf AKS16-02P15C1	0_2_0_0	-	-	Bogen Messtechnik	00053106
18	2	Stck.	Zylinderschraube	0_2_0_1	ISO 4762 - M2,5 x 20 - A2 - 70	-	-	-
19	2	Stck.	Zylinderschraube	0_2_0_3	ISO 4762 - M4 x 16 - A2 - 70	-	-	-
20	1	Stck.	Kabel AKS16/17, Laenge 2m	0_2_1_4	-	-	Bogen Messtechnik	00053063
21	4	Stck.	Gummipuffer	0_2_0_11	-	-	Norelem	26106 - 02000555
22	4	Stck.	Abschlussplatte	0_2_0_10	-	EN-AW-5083	-	-
23	8	Stck.	Zylinderschraube	0_2_0_9	DIN 7984 - M5 x 25 - A2 - 70	-	-	-

Maßstab: 1:2

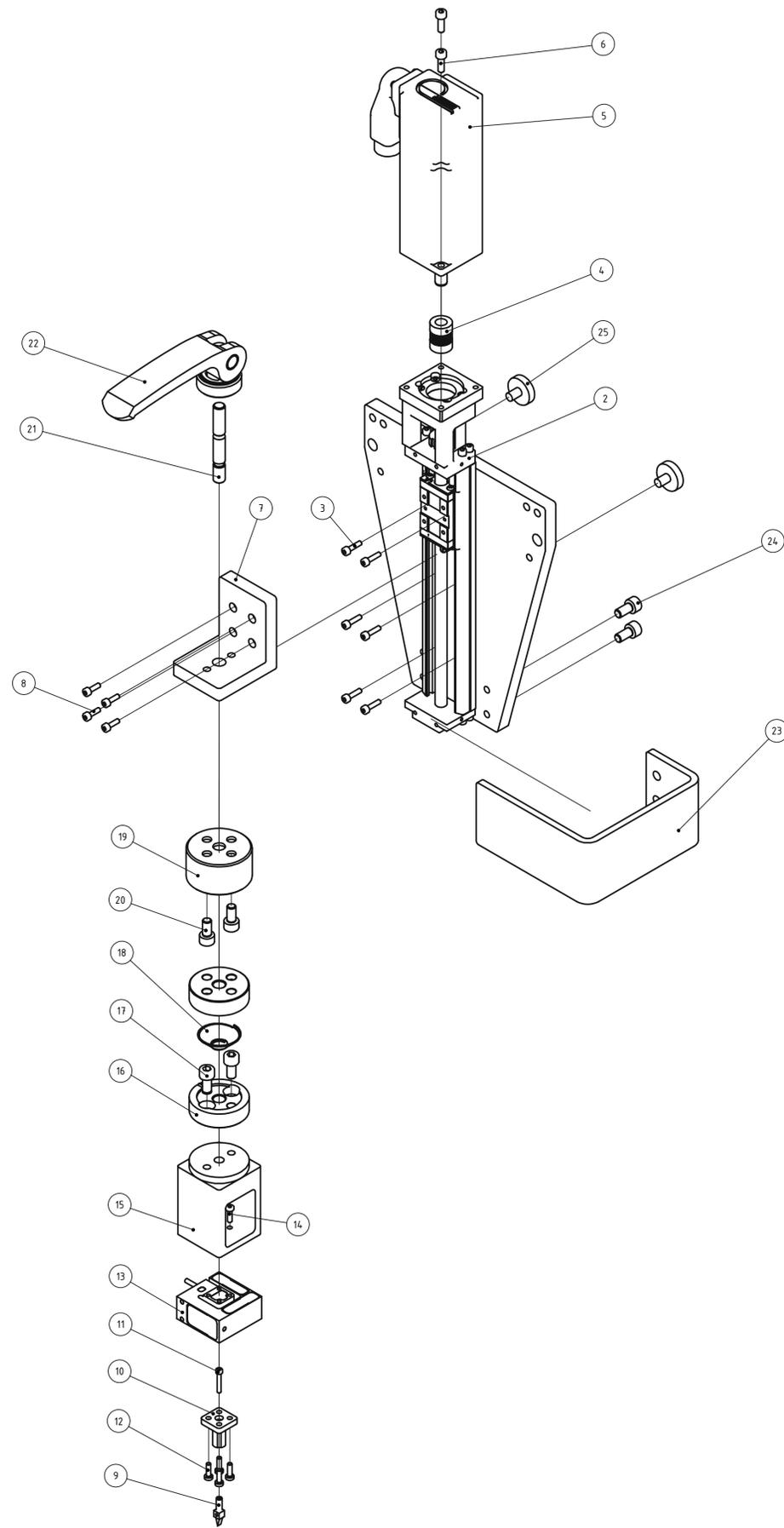
Verantwortl. Abtg. TU-Wien IIRP	Technische Referenz G. Fellinger	Erstellt durch G. Fellinger	Genehmigt von
TU-Graz		Dokumententart Explosionszeichnung	Dokumententstatus freigegeben
		Titel, Zusätzlicher Titel Linienreißer x-Richtung	
Ausgabedatum 21.11.2021		Spr. de	Blatt 1/1



Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer	Norm - Kurzbezeichnung	Werkstoff	Lieferant	Artikelnummer
1	1	Stck.	Bett	0_2_1_5	-	EN-AW-5083	-	-
2	4	Stck.	Zylindersstift	0_2_1_8	ISO 8734 - 5 x 8 - C1	-	-	-
3	2	Stck.	Magnetplatte AL8521	0_2_1_7	-	-	Beckhoff	222676
4	8	Stck.	Zylinderschraube	0_2_1_6	DIN 7984 - M5 x 10 - A2 - 70	-	-	-
5	2	Stck.	Fuehrungsschiene	0_2_1_12	-	-	Hiwin	HGR15R290H
6	3	Stck.	Gewindestift	0_2_1_13	ISO 4026 - M5 x 25 - A2 - 21H	-	-	-
7	10	Stck.	Zylinderschraube	0_2_1_14	ISO 4762 - M4 x 20 - A2 - 70	-	-	-
8	4	Stck.	Fuehrungswagen	0_2_1_20	-	-	Hiwin	QHH15CA
9	1	Stck.	Schlitzen	0_2_1_19	-	EN-AW-5083	-	-
10	1	Stck.	Magnetmassstab LMS2-N15-32-L95-W10-A03-K	0_2_1_15	-	-	Bogen Messtechnik	00058654
11	2	Stck.	Zylindersstift	0_2_1_18	ISO 8734 - 5 x 8 - C1	-	-	-
12	1	Stck.	Spulenteil AL8021	0_2_1_16	-	-	Beckhoff	222572
13	4	Stck.	Zylinderschraube	0_2_1_17	DIN 7984 - M5 x 10 - A2 - 70	-	-	-
14	4	Stck.	Gewindestift	0_2_1_21	ISO 4026 - M5 x 16 - A2 - 21H	-	-	-
15	16	Stck.	Zylinderschraube	0_2_1_22	ISO 4762 - M4 x 10 - A2 - 70	-	-	-
16	1	Stck.	Montagewinkel	0_2_1_2	-	EN-AW-5083	-	-
17	1	Stck.	Positionsmesskopf AKS16-02P15C1	0_2_1_0	-	-	Bogen Messtechnik	00053106
18	2	Stck.	Zylinderschraube	0_2_1_1	ISO 4762 - M2,5 x 20 - A2 - 70	-	-	-
19	2	Stck.	Zylinderschraube	0_2_1_3	ISO 4762 - M4 x 16 - A2 - 70	-	-	-
20	1	Stck.	Kabel AKS16/17, Laenge 2m	0_2_1_4	-	-	Bogen Messtechnik	00053063
21	2	Stck.	Gummipuffer	0_2_1_11	-	-	Norelem	26106 - 02000555
22	2	Stck.	Abschlussplatte	0_2_1_10	-	EN-AW-5083	-	-
23	4	Stck.	Zylinderschraube	0_2_1_9	DIN 7984 - M5 x 25 - A2 - 70	-	-	-

Maßstab: 2:1

Verantwortl. Abtg. TU-Wien IIP	Technische Referenz L. Fellinger	Erstellt durch L. Fellinger	Genehmigt von
TU-Graz		Dokumententyp Explosionszeichnung	Dokumentenstatus freigegeben
Titel, Zusätzlicher Titel Linienrichtung y-Richtung		9_2_1	And.
Ausgabedatum 21.11.2021		Spr. de	Blatt 1/1

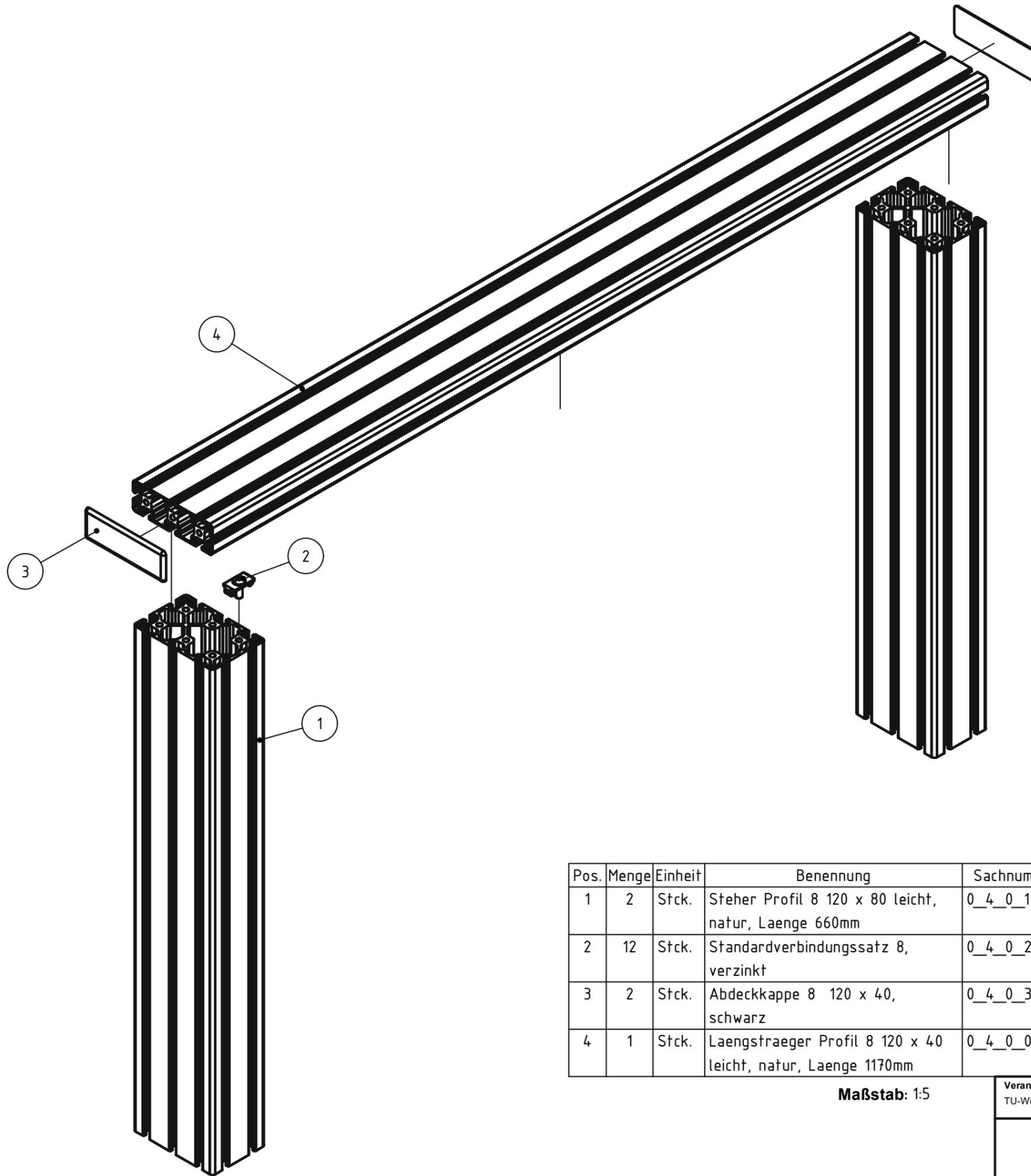


Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer	Norm - Kurzbezeichnung	Werkstoff	Lieferant	Artikelnummer
1	1	Stck.	Linearachsenplatte	0_2_5_0	-	EN-AW-5083	-	-
2	1	Stck.	Linearachse	0_2_5_4	-	-	Hiwin	KK400IP200AIF100
3	6	Stck.	Zylinderschraube	0_2_5_5	ISO 4762 - M3 x 12 - A2 - 70	-	-	-
4	1	Stck.	Metallbalgkupplung MK1 005/20-04/08	0_2_5_8	-	-	Schmachtl	MK1 005/20-04/08
5	1	Stck.	Synchronservomotor AM8111	0_2_5_6	-	-	Beckhoff	217341
6	2	Stck.	Zylinderschraube	0_2_5_7	ISO 4762 - M4 x 12 - A2 - 70	-	-	-
7	1	Stck.	Stempelbindungswinkel	0_2_5_9	-	EN-AW-5083	-	-
8	4	Stck.	Zylinderschraube	0_2_5_17	ISO 4762 - M3 x 10 - A2 - 70	-	-	-
9	1	Stck.	Stempel	0_2_5_23	-	EN 14571	-	-
10	1	Stck.	Stempel Aufnahme	0_2_5_21	-	EN 14571	-	-
11	1	Stck.	Zylinderschraube	0_2_5_24	ISO 4762 - M2.5 x 16 - A2 - 70	-	-	-
12	4	Stck.	Zylinderschraube	0_2_5_22	DIN 7984 - M3 x 10 - A2 - 70	-	-	-
13	1	Stck.	3D-Kraftmessdose K3D40+-2N	0_2_5_19	-	-	ME Messsysteme	K3D40+-2N
14	4	Stck.	Zylinderschraube	0_2_5_20	DIN 7984 - M3 x 10 - A2 - 70	-	-	-
15	1	Stck.	3D-Kraftmessdosenanbindung	0_2_5_18	-	EN-AW-5083	-	-
16	2	Stck.	Rastscheibe	0_2_5_12	-	-	Elesa + Ganter	GN 187.4-40-60-B-NI
17	2	Stck.	Zylinderschraube	0_2_5_16	ISO 4762 - M6 x 12 - A2 - 70	-	-	-
18	1	Stck.	Druckfeder	0_2_5_14	-	-	Elesa + Ganter	GN 187.2 - 29
19	1	Stck.	Fuehrungstopf	0_2_5_15	-	-	Elesa + Ganter	GN 187.1-40-Ni
20	2	Stck.	Zylinderschraube	0_2_5_13	ISO 4762 - M6 x 12 - A2 - 70	-	-	-
21	1	Stck.	Stiftschraube	0_2_5_11	DIN 835 - M8 x 4.5 - A2 - 70	-	-	-
22	1	Stck.	Exzentranspanner	0_2_5_10	-	-	Elesa + Ganter	GN 927.7-101-M8-A
23	1	Stck.	Schutzblech	0_2_5_2	-	EN-AW-5083	-	-
24	2	Stck.	Zylinderschraube	0_2_5_3	ISO 4762 - M6 x 12 - A2 - 70	-	-	-
25	2	Stck.	Gummipuffer	0_2_5_1	-	-	Norelem	26106 - 02000555

Maßstab: 1:2

Vereinw. Abtg. TU-Wien IRP	Technische Referenz G. Fellinger	Erstellt durch G. Fellinger	Genehmigt von
TU-Graz		Dokumententyp Explosionszeichnung	Dokumentenstatus freigegeben
		Titel, Zusätzlicher Titel Linienheit z-Rechtung	
Ausgabedatum 21.11.2021		Spr. de	Blatt 1/1

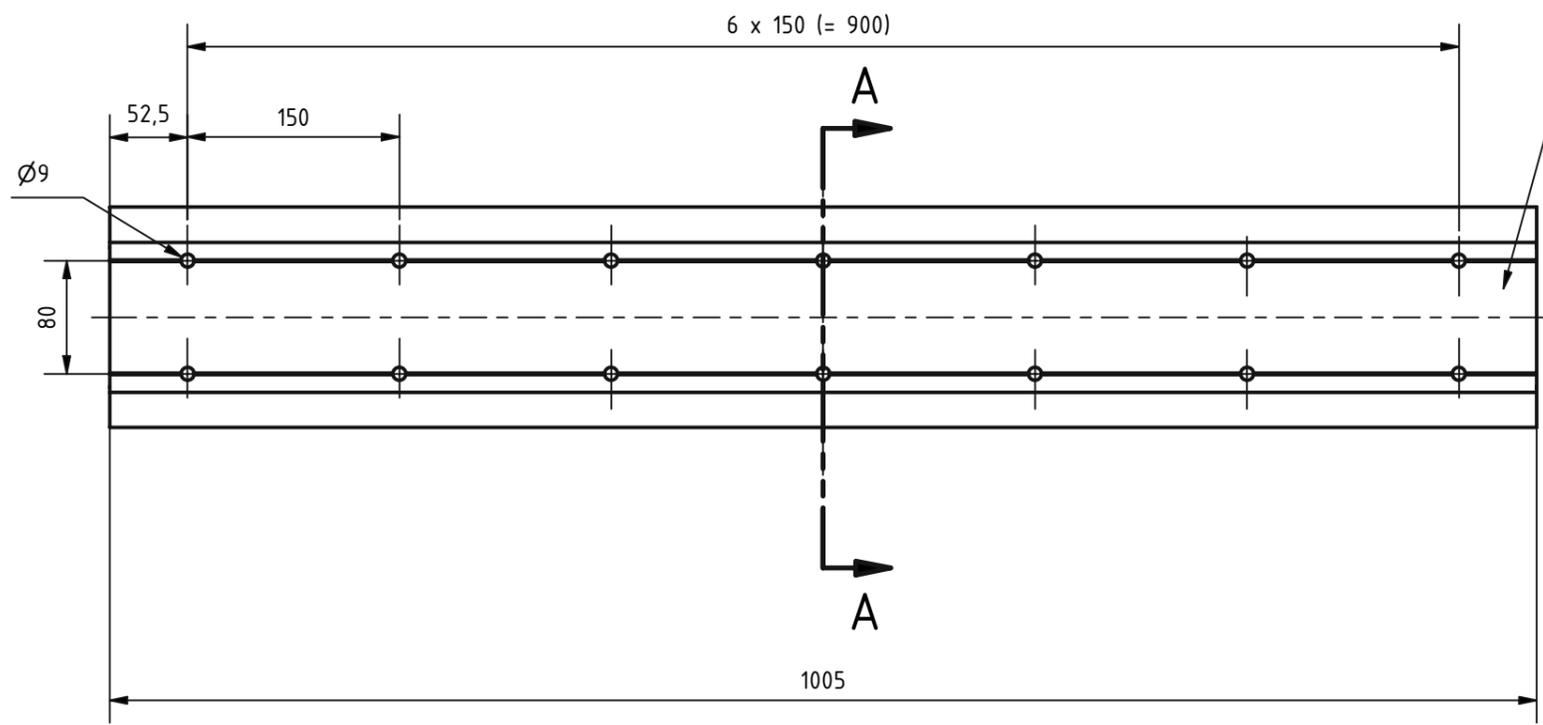
Baugruppe	Sachnummer d. Baugruppe	Stufe
Rahmen	0_4	1
Zeichnungsname	Sachnummer	
Portal	0_4_0	2
W-Doppelschiene	0_4_1	2
Bodenplatte	0_4_4	2
Gondel	0_4_6	2
Gondelpuffer	0_4_7	2



Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer	Norm - Kurzbezeichnung	Werkstoff	Lieferant	Artikelnummer
1	2	Stck.	Steher Profil 8 120 x 80 leicht, natur, Laenge 660mm	0_4_0_1	-	-	ITEM	0.0.416.65
2	12	Stck.	Standardverbindingssatz 8, verzinkt	0_4_0_2	-	-	ITEM	0.0.026.07
3	2	Stck.	Abdeckkappe 8 120 x 40, schwarz	0_4_0_3	-	-	ITEM	0.0.418.54
4	1	Stck.	Laengstraeger Profil 8 120 x 40 leicht, natur, Laenge 1170mm	0_4_0_0	-	-	ITEM	0.0.416.66

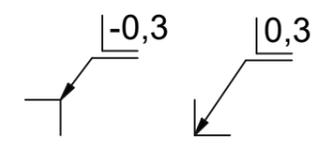
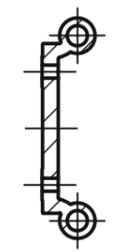
Maßstab: 1:5

Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz L. Fellingner	Erstellt durch L. Fellingner	Genehmigt von
TU-Graz		Dokumentenart Explosionszeichnung	Dokumentenstatus nicht freigegeben
		Titel, Zusätzlicher Titel Portal	
Änd.	Ausgabedatum 21.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1



drylin W-Doppelschiene WS - 25 - 120 - UNGEBOHRT mit Bohrungen nachträglich versehen

A-A (1 : 5)

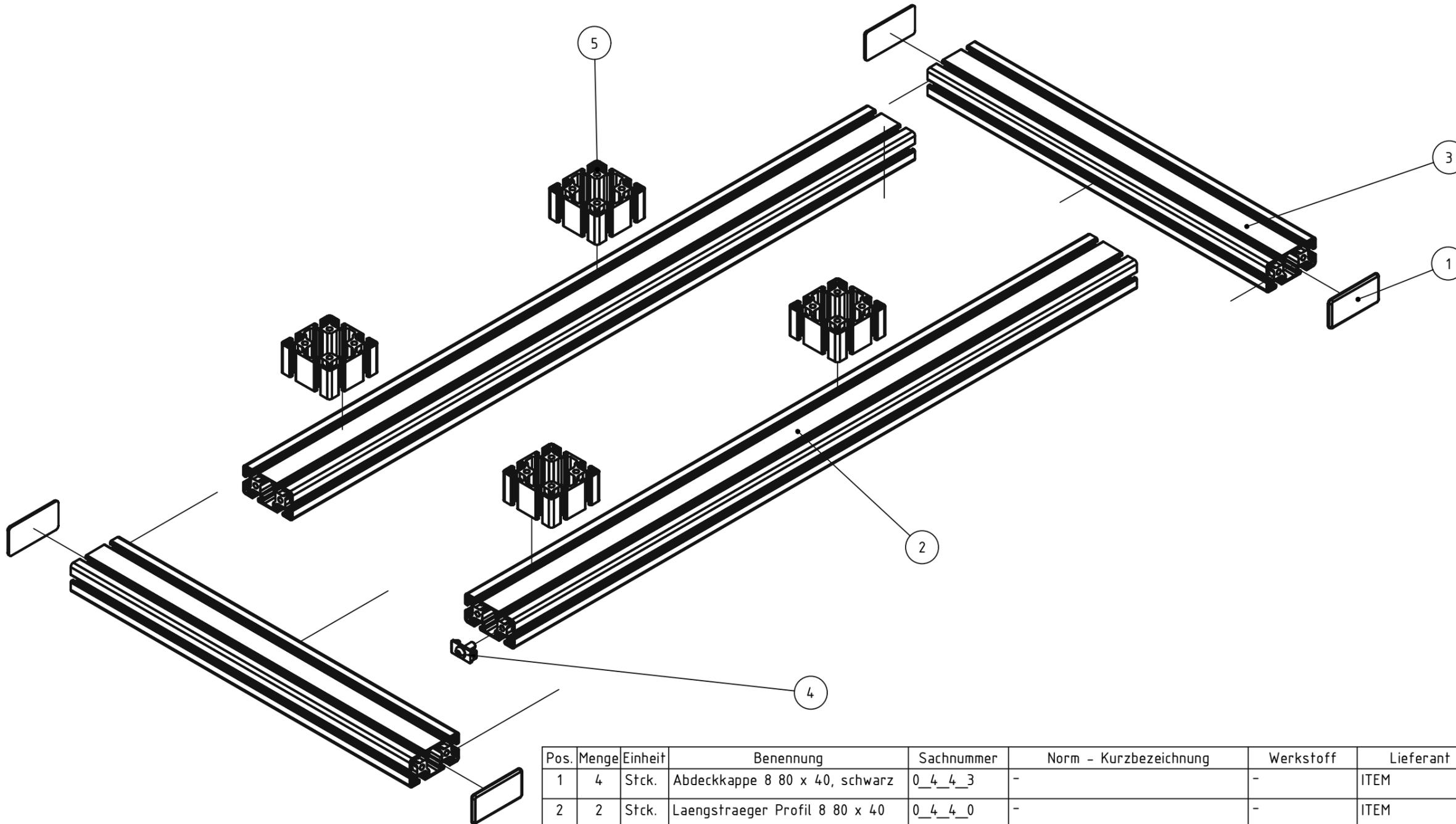


Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

Maßstab: 1:5

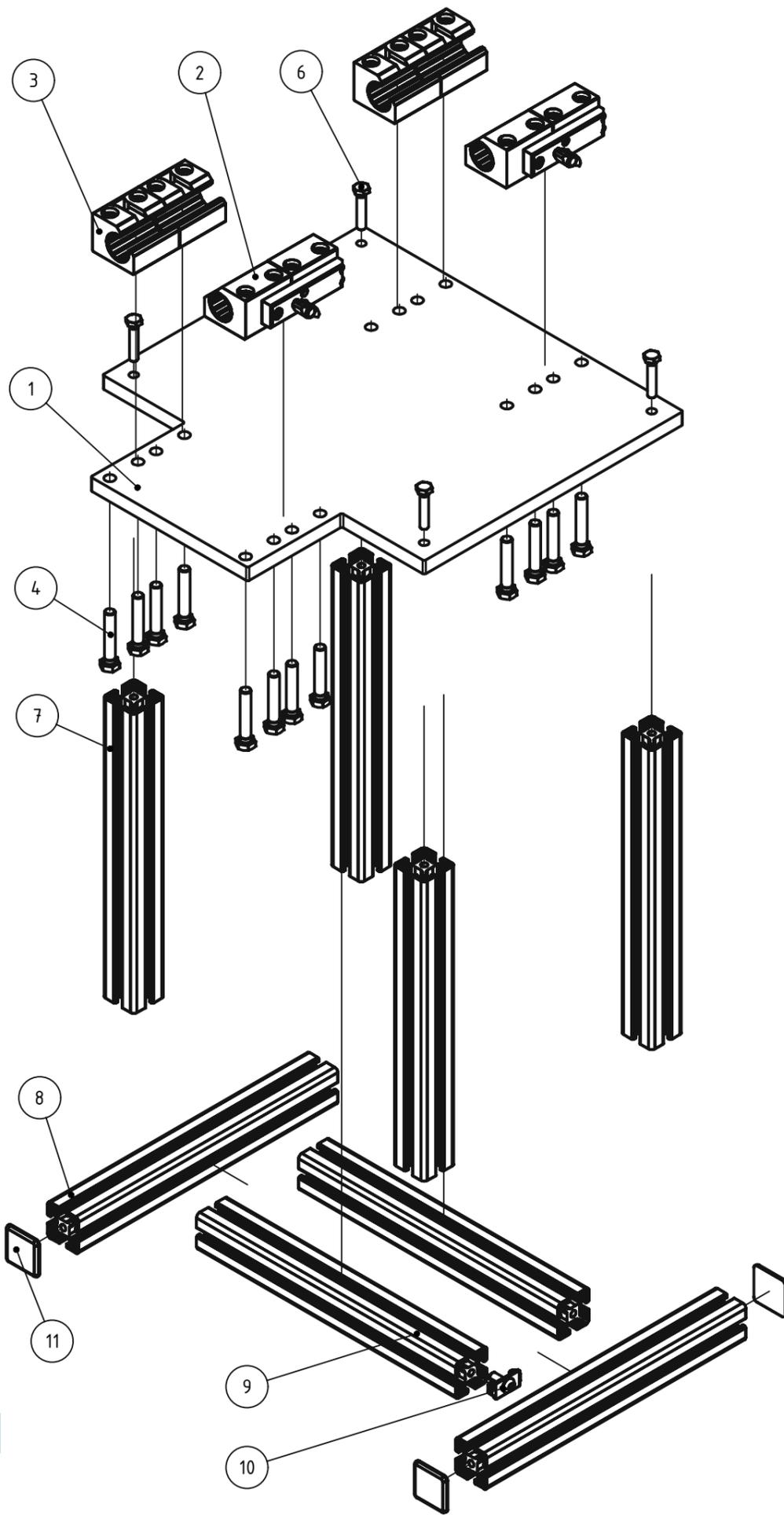
Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger	
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel drylin W-Doppelschiene WS, Laenge 1005mm		0_4_1
Änd.	Ausgabedatum 26.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1	



Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer	Norm - Kurzbezeichnung	Werkstoff	Lieferant	Artikelnummer
1	4	Stck.	Abdeckkappe 8 80 x 40, schwarz	0_4_4_3	-	-	ITEM	0.0.026.02
2	2	Stck.	Laengstraeger Profil 8 80 x 40 leicht, natur, Laenge 1010mm	0_4_4_0	-	-	ITEM	0.0.026.34
3	2	Stck.	Quertraeger Profil 8 80 x 40 leicht, natur, Laenge 550mm	0_4_4_1	-	-	ITEM	0.0.026.34
4	12	Stck.	Standardverbindingssatz 8, verzinkt	0_4_4_2	-	-	ITEM	0.0.026.07
5	4	Stck.	Steher Profil 8 80 x 80 leicht, natur, Laenge 40mm	0_4_4_4	-	-	ITEM	0.0.265.80

Maßstab: 1:5

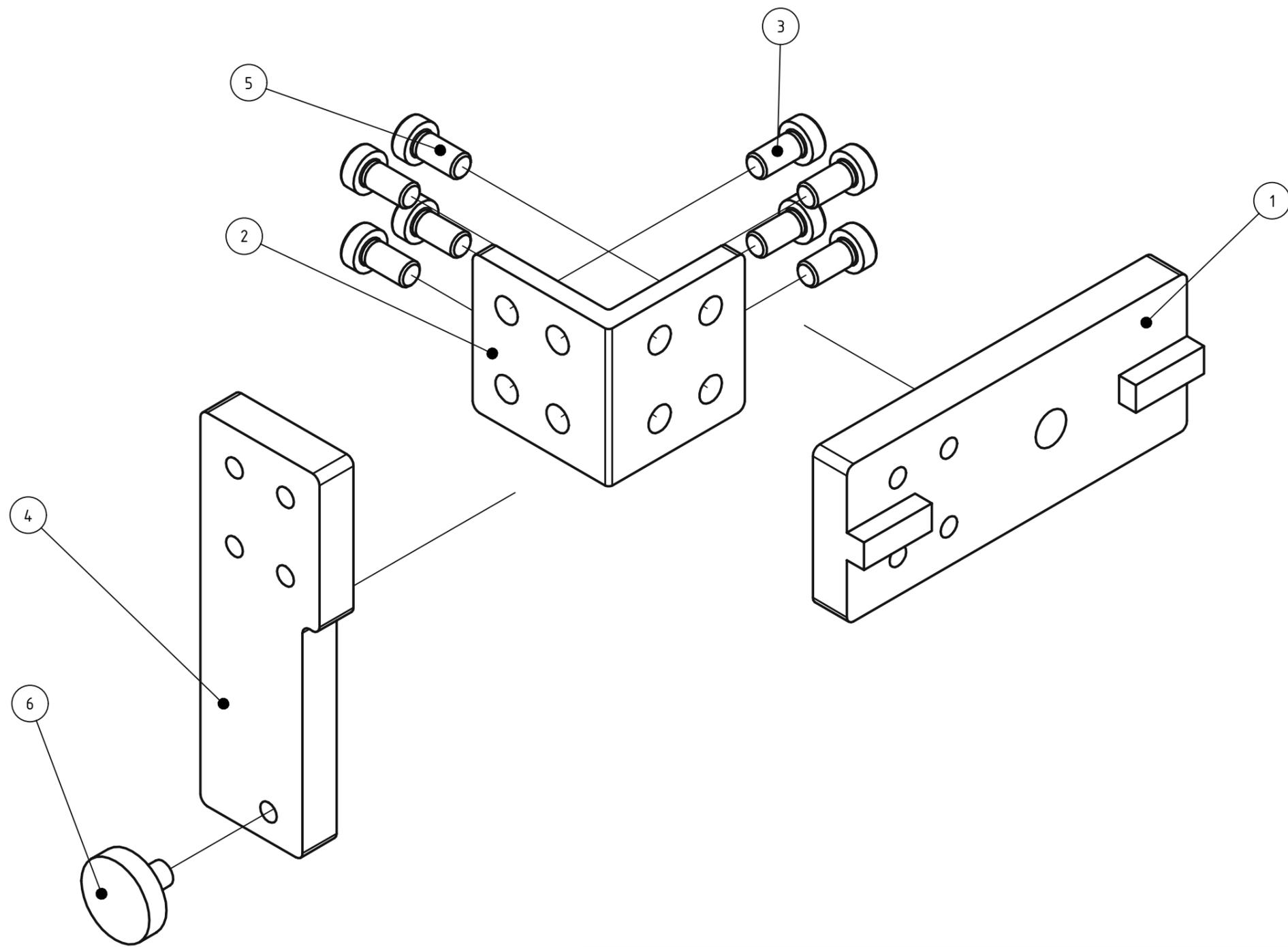
Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von
TU-Graz		Dokumentenart Explosionszeichnung	Dokumentenstatus freigegeben
		0_4_4	
		Änd.	Ausgabedatum 21.11.2021
		Spr. de	Blatt 1/1



Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer	Norm - Kurzbezeichnung	Werkstoff	Lieferant	Artikelnummer
1	1	Stck.	Gondeldeckenplatte	0_4_6_3	-	EN-AW-5083	-	-
2	2	Stck.	drylin W25 Handklemmung	0_4_6_4	-	-	IGUS	WHKA-25
3	4	Stck.	drylin W Gehäuselager	0_4_6_8	-	-	IGUS	WJ200UM - 01 - 25 - LL
4	16	Stck.	Sechskantschraube	0_4_6_6	ISO 4017 - M10 x 55 - A2 - 70	-	-	-
5	16	Stck.	Keilsicherungsscheibe NLX10sp	0_4_6_5	-	-	Nord Lock	2621
6	4	Stck.	Sechskantschraube	0_4_6_7	ISO 4017 - M8 x 40 - A2 - 70	-	-	-
7	4	Stck.	Gondelsteher Profil 8 40 x 40 leicht, natur, Laenge 330mm	0_4_6_2	-	-	ITEM	0.0.026.33
8	2	Stck.	Gondellaengstraeger Profil 8 40 x 40, leicht, natur, Laenge 330mm	0_4_6_0	-	-	ITEM	0.0.026.33
9	2	Stck.	Gondelquertraeger Profil 8 40 x 40, leicht, natur, Laenge 330mm	0_4_6_1	-	-	ITEM	0.0.026.33
10	8	Stck.	Standardverbindingssatz 8, verzinkt	0_4_6_9	-	-	ITEM	0.0.026.07
11	3	Stck.	Abdeckkappe 8 40 x 40, schwarz	0_4_6_10	-	-	ITEM	0.0.026.01

Maßstab: 1:5

Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von	
TU-Graz		Dokumentenart Explosionszeichnung	Dokumentenstatus nicht freigegeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel Gondel		0_4_6
Änd.	Ausgabedatum 21.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1	

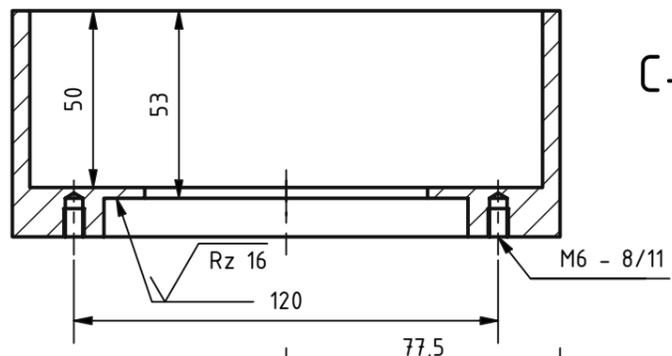
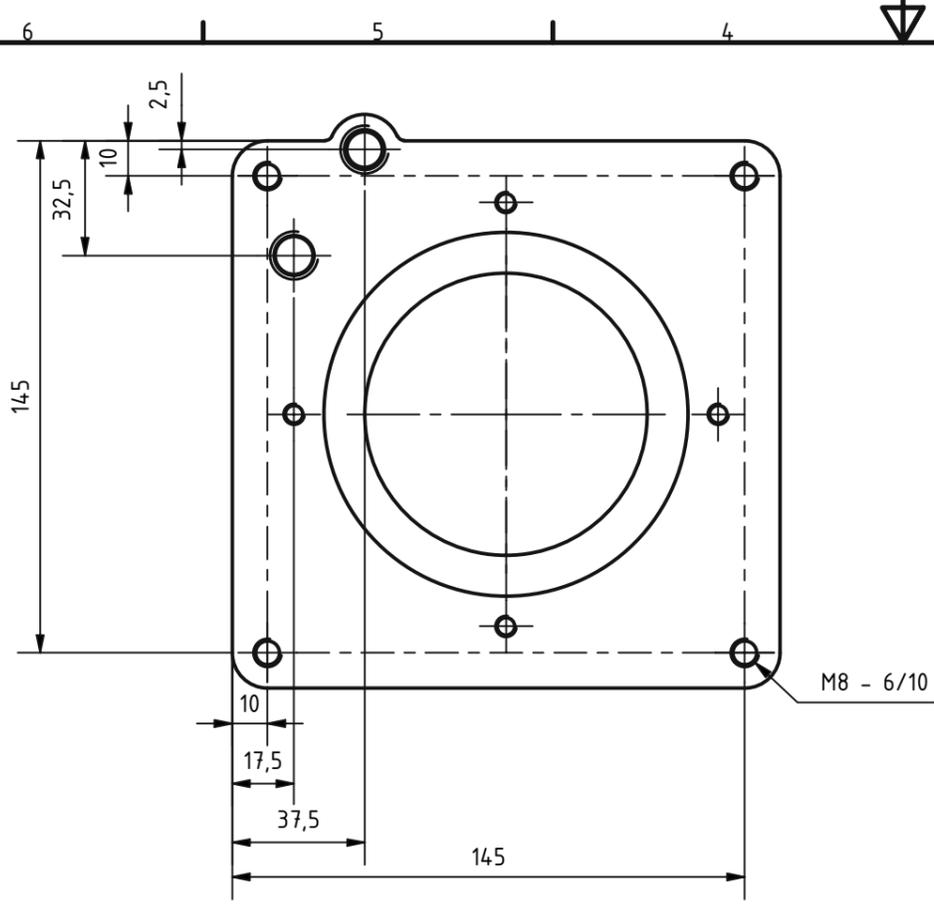


Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer	Norm - Kurzbezeichnung	Werkstoff	Lieferant	Artikelnummer
1	1	Stck.	Montageplatte	0_4_7_4	-	EN-AW-5083	-	-
2	1	Stck.	Winkelprofil	0_4_7_0	-	EN-AW-5083	-	-
3	4	Stck.	Zylinderschraube	0_4_7_3	DIN 7984 - M6 x 12 - A2 - 70	-	-	-
4	1	Stck.	Verbindungsprofil	0_4_7_2	-	EN-AW-5083	-	-
5	4	Stck.	Zylinderschraube	0_4_7_1	DIN 7984 - M6 x 12 - A2 - 70	-	-	-
6	1	Stck.	Gummipuffer	0_4_7_5	-	-	Norelem	26106 - 0200555

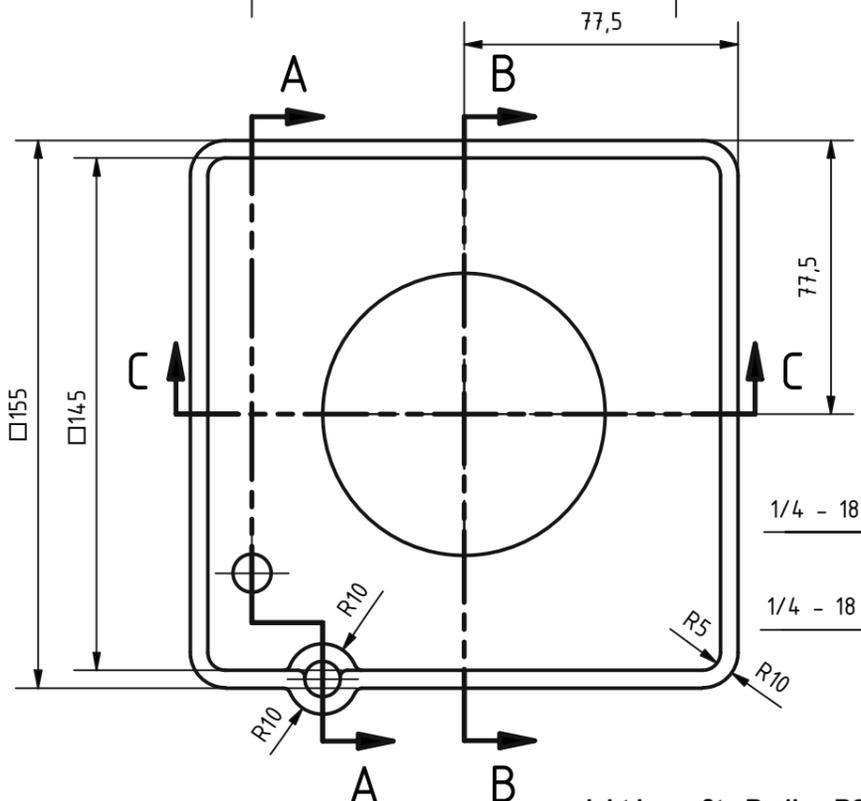
Maßstab:

Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von	
TU-Graz		Dokumentenart Explosionszeichnung	Dokumentenstatus nicht freigegeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel Gondelpuffer		0_4_7
Änd.	Ausgabedatum 22.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1	

Baugruppe	Sachnummer d. Baugruppe	Stufe
Becken	0_5	1
Zeichnungsname	Sachnummer	
Wanne	0_5_0	2
Deckflansch	0_5_1	2

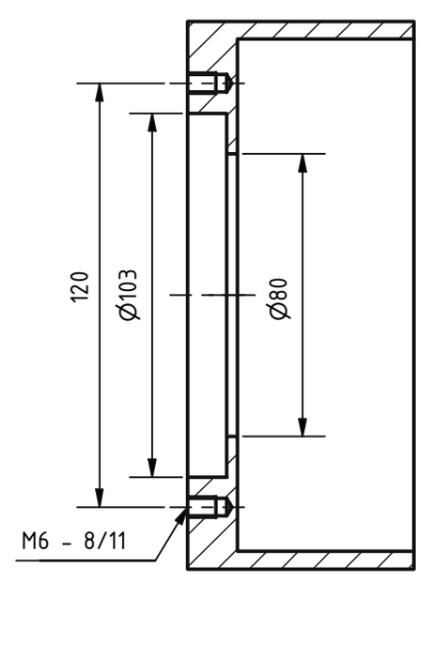
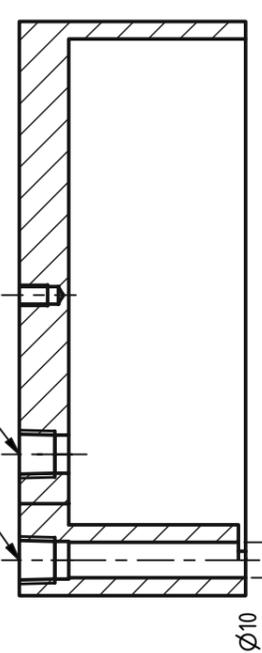


C-C (1 : 2)

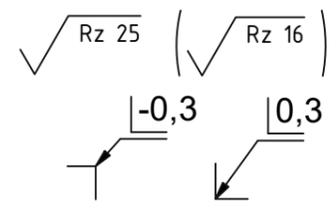


A-A (1 : 2)

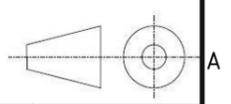
B-B (1 : 2)



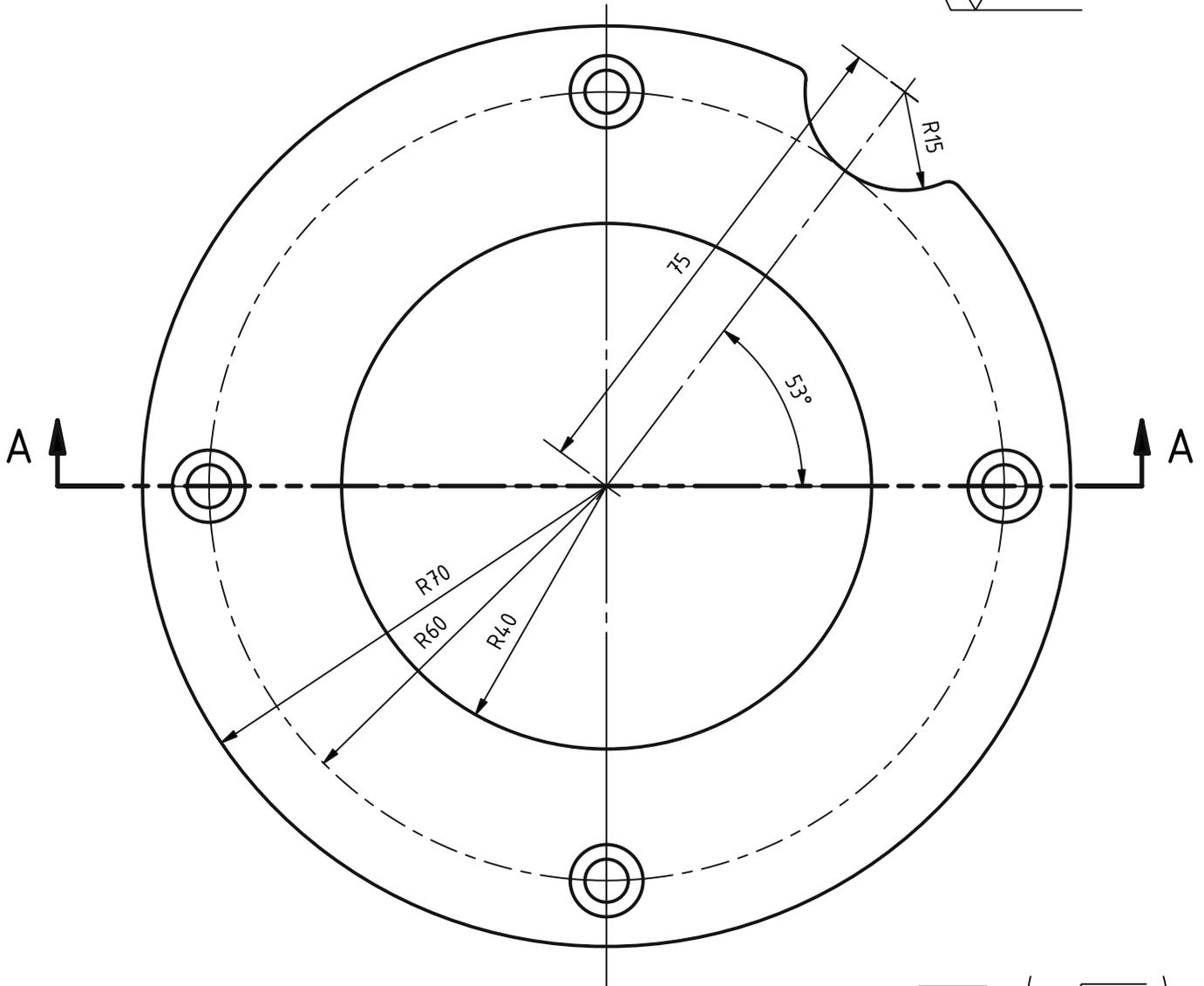
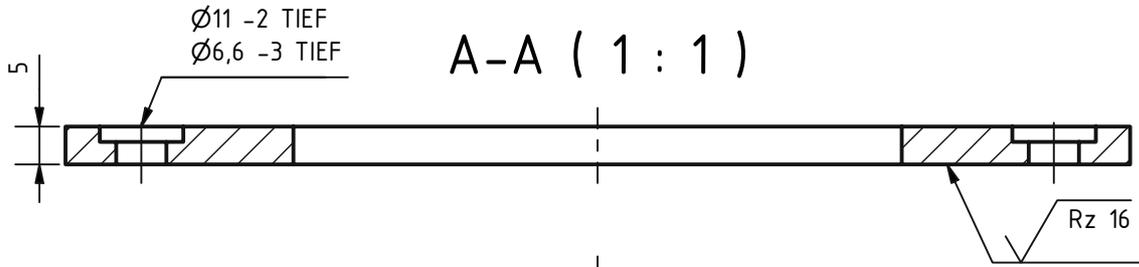
nicht bemaßte Radien R2
Werkstückkanten nach DIN ISO 13715
Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302
Werkstoff: EN 1.4571
Maßstab: 1:2



1 Stck.



Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz L. Fellingner	Erstellt durch L. Fellingner	Genehmigt von B. & T. Zimmermann
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben
		Titel, Zusätzlicher Titel Wanne	
Änd.	Ausgabedatum 11.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1



nicht bemaßte Radien R2

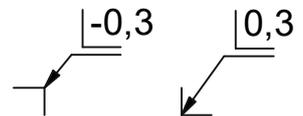
Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

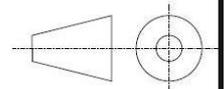
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

Werkstoff: EN-1.4571

Maßstab: 1:1

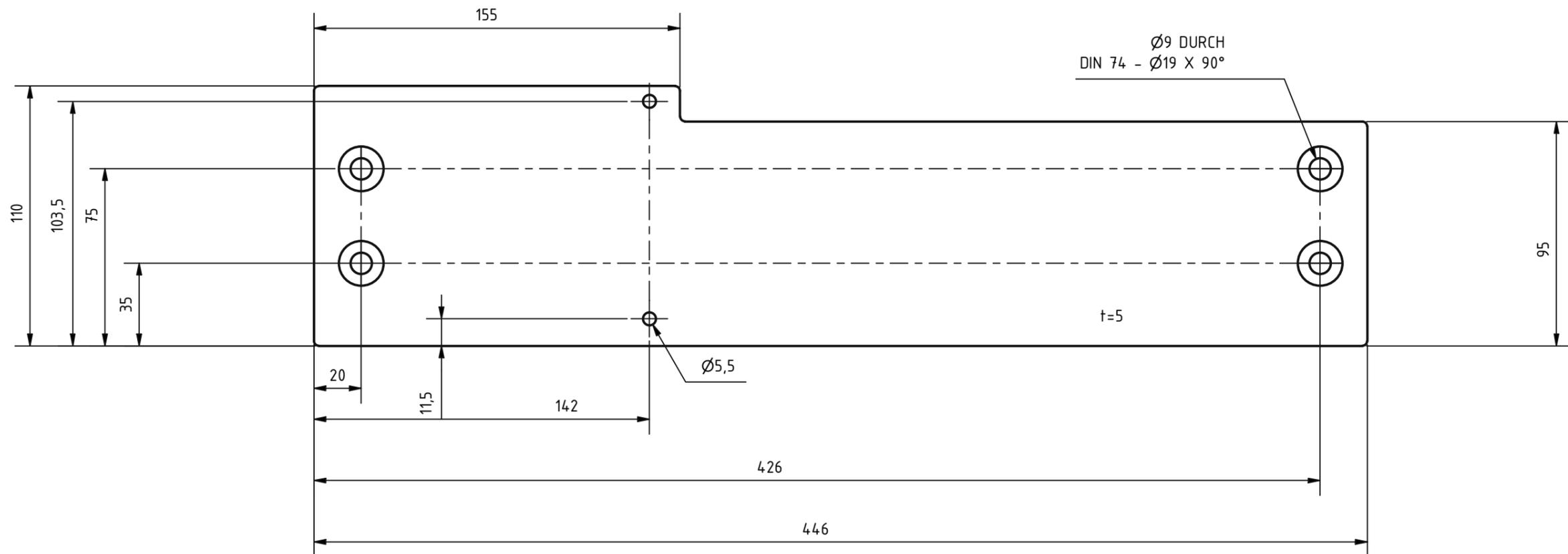


1 Stck.



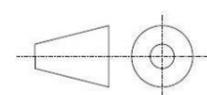
Verantw. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz L. Fellingner	Erstellt durch L. Fellingner	Genehmigt von B. & T. Zimmermann		
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben		
		Titel, Zusätzlicher Titel Deckflansch	0_5_1		
		Änd.	Ausgabedatum 11.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1

Baugruppe	Sachnummer d. Baugruppe
Kabelführung	0_6
Zeichnungsname	Sachnummer
Ablegeplatte	0_6_7
Ablegeplattenstütze	0_6_8

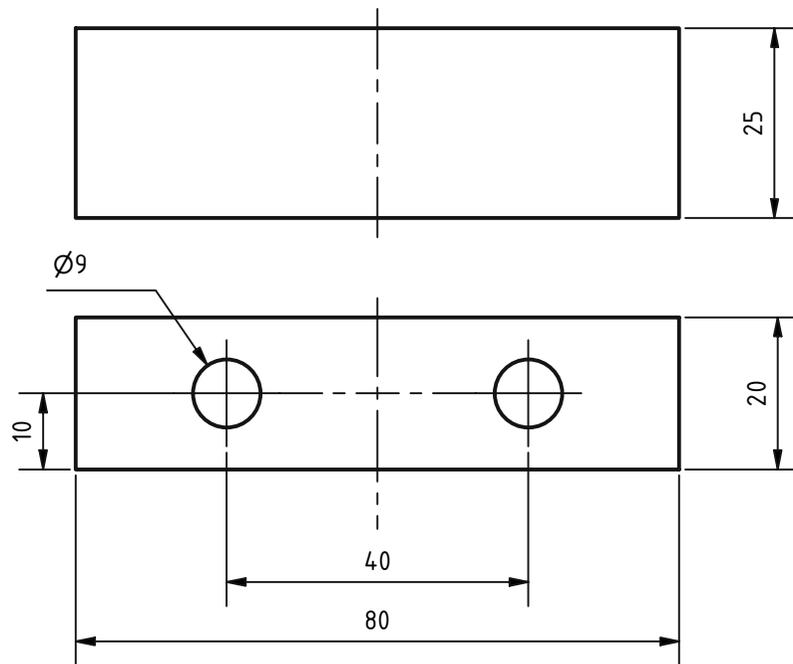


nicht bemaßte Radien R2
 Werkstückkanten nach DIN ISO 13715
 Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK
 Oberflächen nach DIN EN ISO 1302
 Werkstoff: EN-AW-5083
 Maßstab: 1:2

$\sqrt{Rz\ 63}$ $-0,3$ $0,3$
1 Stck.



Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger		
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben		
		Titel, Zusätzlicher Titel Ablegeplatte	0_6_7		
Änd.	Ausgabedatum 10.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1		



Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

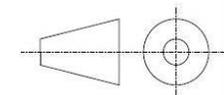
Werkstoff: EN-AW-5083

Maßstab: 1:1

$\sqrt{\text{Rz 63}}$

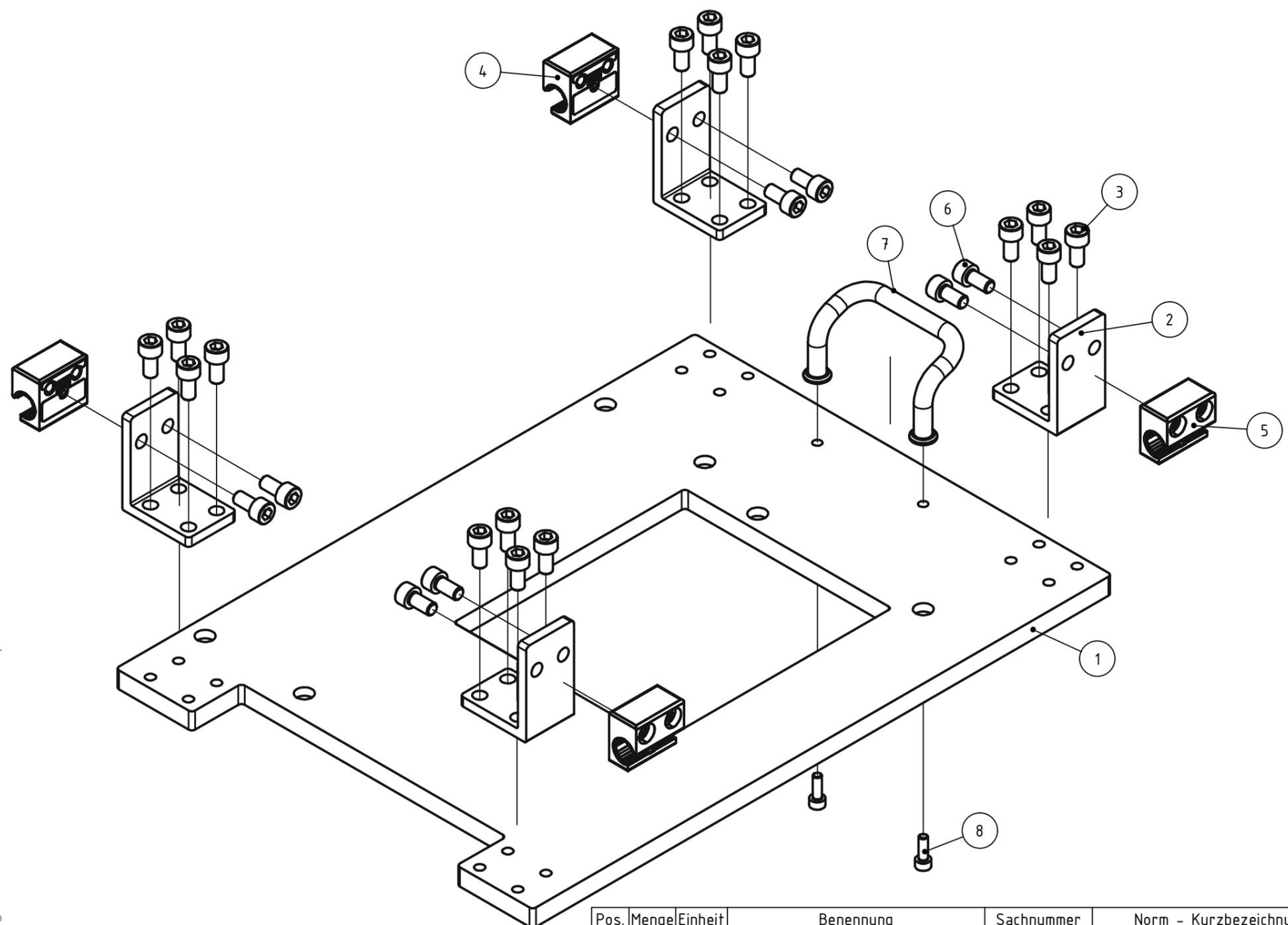
$-0,3$ $0,3$

2 Stck.



Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger	
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel Ablegeplattenstütze	0_6_8	
		Änd.	Ausgabedatum 10.11.2021	Spr. de
				Blatt 1/1

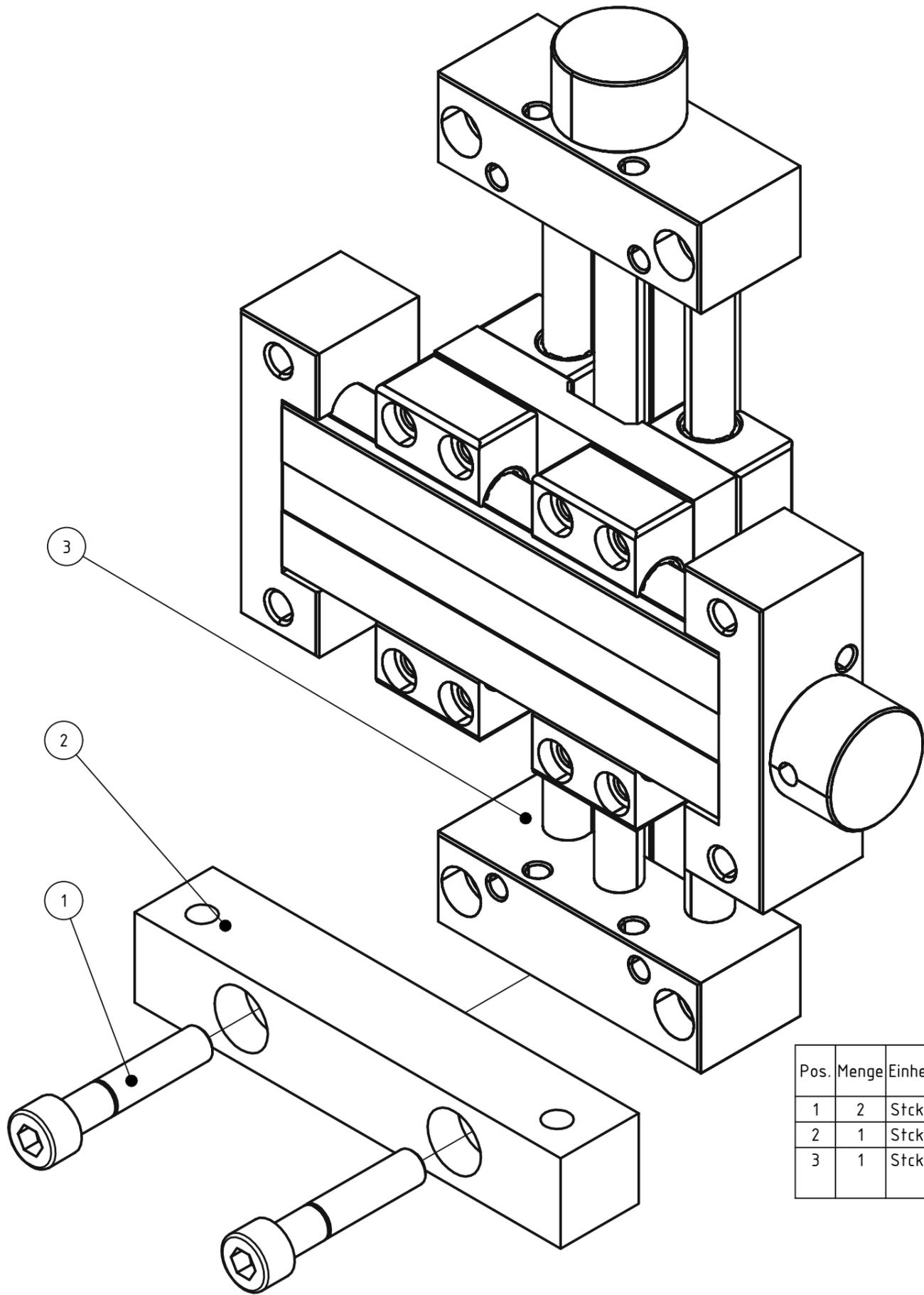
Baugruppe	Sachnummer d. Baugruppe	Stufe
Kamerawagen	0_10	1
Zeichnungsname	Sachnummer	
Wagengestell	0_10_0	2
Zweiachssystem	0_10_2	2
Kamerahalterung	0_10_4	2
Spiegeleinheit	0_10_6	2
Messeinrichtung	0_10_8	2



Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer	Norm - Kurzbezeichnung	Werkstoff	Lieferant	Artikelnummer
1	1	Stck.	Wagengrundplatte	0_10_0_0	-	EN-AW-5083	-	-
2	4	Stck.	Lagerverbindungswinkel	0_10_0_6	-	EN-AW-5083	-	-
3	16	Stck.	Zylinderschraube	0_10_0_7	ISO 4762 - M6 x 12 - A2 - 70	-	-	-
4	2	Stck.	drylin W Gehäuselager	0_10_0_4	-	-	IGUS	WJ200UM - 01 - 10
5	2	Stck.	drylin W Gehäuselager	0_10_0_3	-	-	IGUS	WJ200UM - 01 - 10 - LL
6	8	Stck.	Zylinderschraube	0_10_0_5	ISO 4762 - M6 x 12 - A2 - 70	-	-	-
7	1	Stck.	Buegelgriff	0_10_0_1	-	-	Elesa + Ganter	GN 425.1 - 8 - 62 - SW
8	2	Stck.	Zylinderschraube	0_10_0_2	ISO 4762 - M4 x 12 - A2 - 70	-	-	-

Maßstab: 1:2

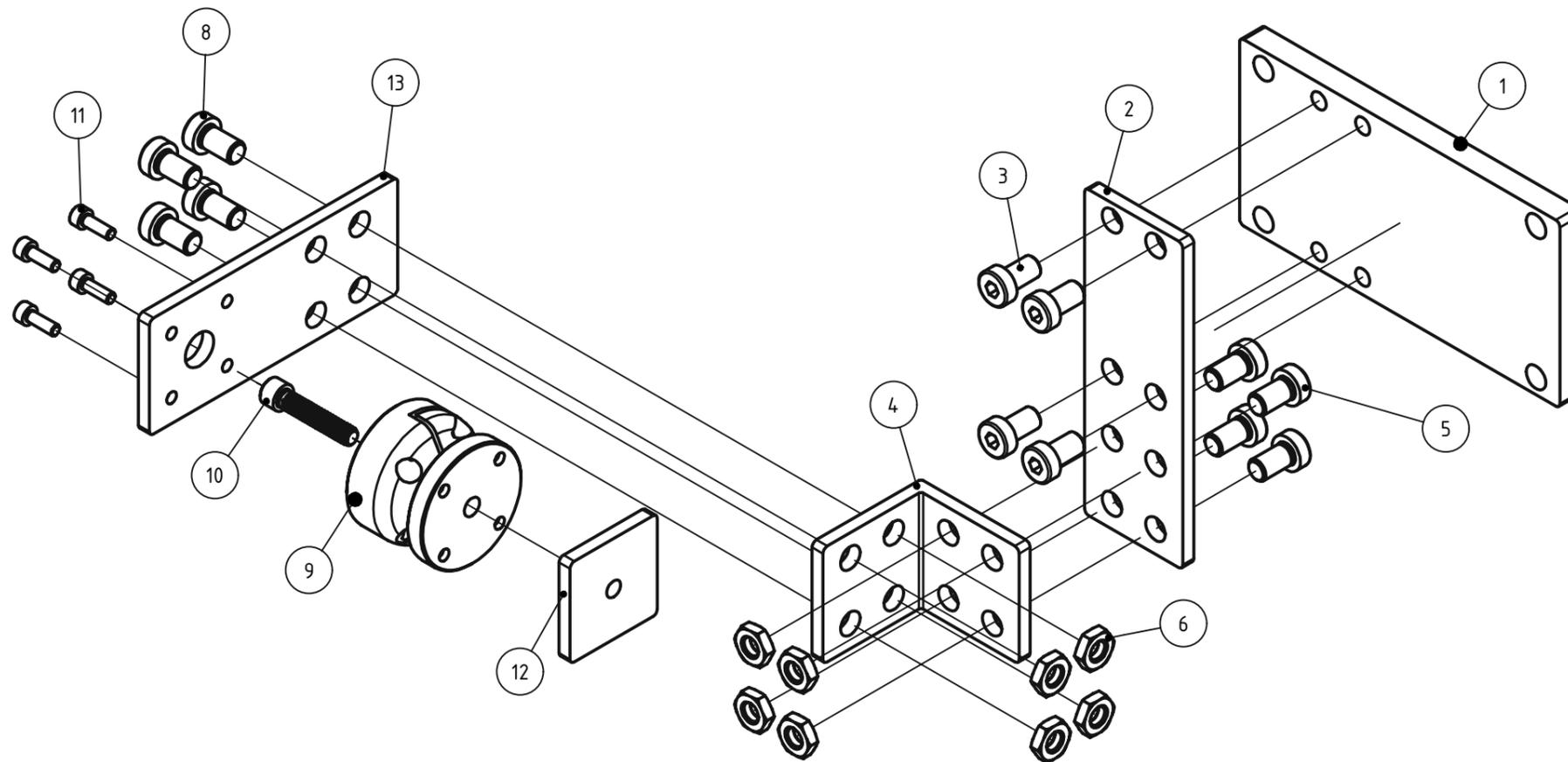
Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz L. Fellingner	Erstellt durch L. Fellingner	Genehmigt von	
TU-Graz		Dokumentenart Explosionszeichnung	Dokumentenstatus nicht freigegeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel Wagengestell		0_10_0
Änd.	Ausgabedatum 22.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1	



Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer	Norm - Kurzbezeichnung	Werkstoff	Lieferant	Artikelnummer
1	2	Stck.	Zylinderschraube	0_10_2_1	ISO 4762 - M8 x 40 - A2 - 70	-	-	-
2	1	Stck.	Kreuztischadapterblock	0_10_2_2	-	EN 1.4571	-	-
3	1	Stck.	Kreuztisch	0_10_2_0	-	-	IGUS	SLW - XY - 1040 - L90 - 30 - HR

Maßstab:

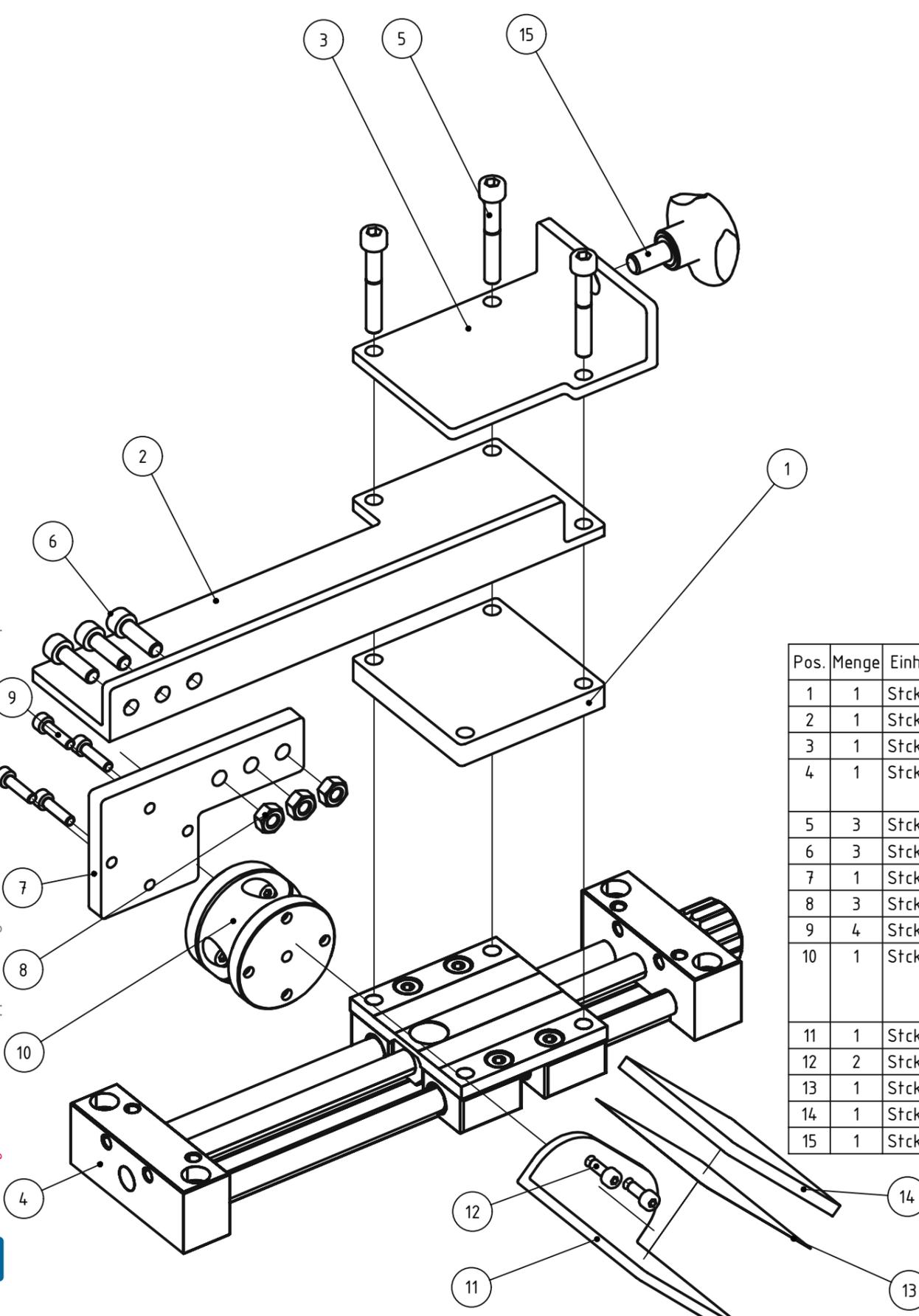
Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von
TU-Graz		Dokumentenart Explosionszeichnung	Dokumentenstatus freigegeben
		Titel, Zusätzlicher Titel Zweiachssystem	
Änd.	Ausgabedatum 22.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1



Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer	Norm - Kurzbezeichnung	Werkstoff	Lieferant	Artikelnummer
1	1	Stck.	Kreuztischadapterplatte	0_10_4_0	-	EN-AW-5083	-	-
2	1	Stck.	Kreuztischverbindungsplatte	0_10_4_1	-	EN-AW-5083	-	-
3	4	Stck.	Zylinderschraube	0_10_4_2	DIN 7984 - M8 x 14 - A2 - 70	-	-	-
4	1	Stck.	Kameraaufnahmewinkel	0_10_4_3	-	EN-AW-5083	-	-
5	4	Stck.	Zylinderschraube	0_10_4_4	DIN 7984 - M8 x 14 - A2 - 70	-	-	-
6	4	Stck.	Sechskantmutter	0_10_4_8	ISO 4035 - M8 - A2 - 70	-	-	-
13	1	Stck.	Kameraaufnahmeplatte	0_10_4_6	-	EN-AW-5083	-	-
8	4	Stck.	Zylinderschraube	0_10_4_7	DIN 7984 - M8 x 14 - A2 - 70	-	-	-
9	1	Stck.	Gelenkkopf Schwenkwinkel 30° klemmbar, (NACHTRAEGLICHE BEARBEITUNG NOTWENDIG)	0_10_4_9	-	-	Norelem	21170 - 08
10	1	Stck.	Zylinderschraube (Innensechskant UNC niedriger Kopf)	0_10_4_12	1/4" - 20 x 1 1/4"	-	Zollshop	019157
11	4	Stck.	Zylinderschraube	0_10_4_10	ISO 4762 - M4 x 12 - A2 - 70	-	-	-
12	1	Stck.	Stativadapter fuer USB 3/GigE uEye CP Rev. 2	0_10_4_11	-	-	IDS-Imaging	AL00037
7	4	Stck.	Sechskantmutter	0_10_4_5	ISO 4035 - M8 - A2 - 70	-	-	-

Maßstab: 1:2

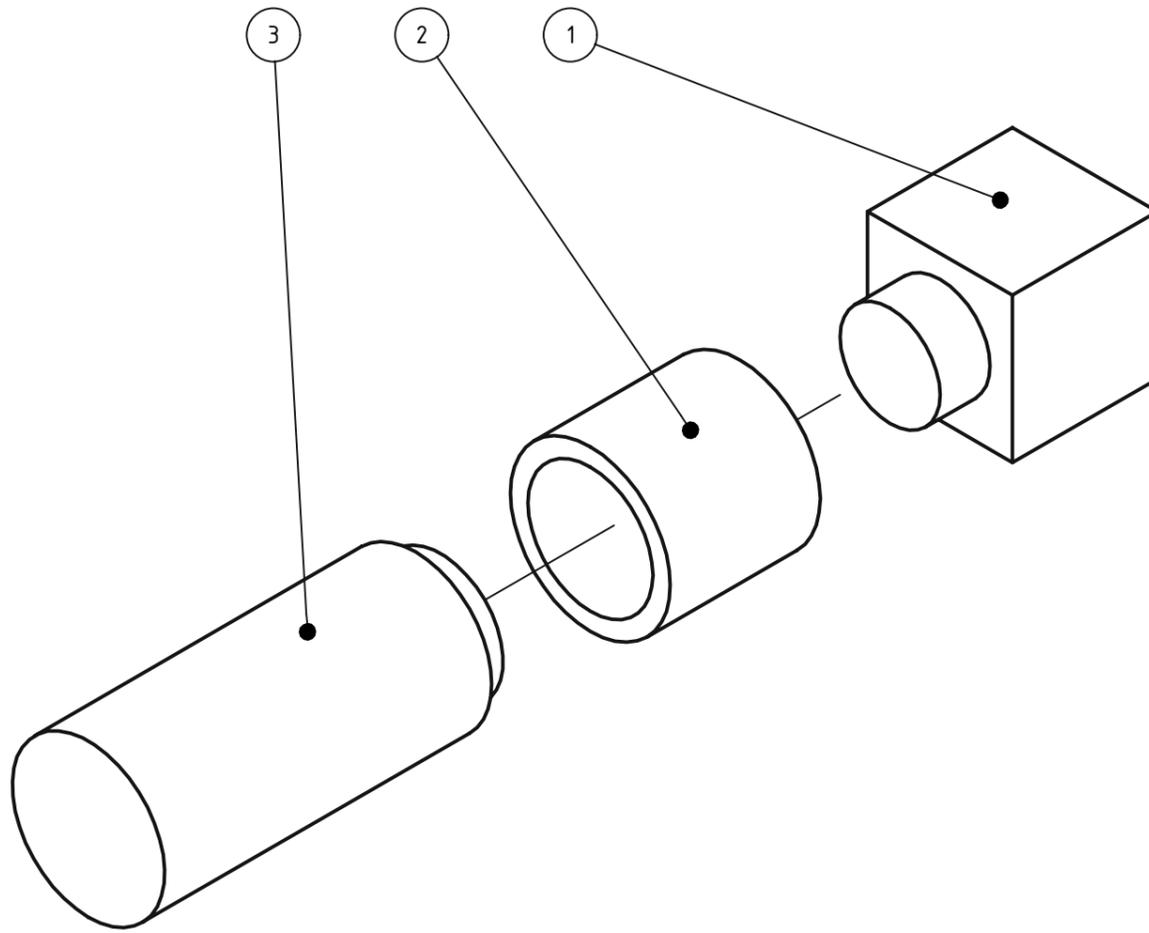
Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz L. Fellingner	Erstellt durch L. Fellingner	Genehmigt von	
TU-Graz		Dokumentenart Explosionszeichnung	Dokumentenstatus freigegeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel Kamerahalterung		0_10_4
Änd.	Ausgabedatum 22.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1	



Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer	Werkstoff	Norm - Kurzbezeichnung	Lieferant	Artikelnummer
1	1	Stck.	Zwischenplatte	0_10_6_11	EN-AW-5083	-	-	-
2	1	Stck.	Versteifung	0_10_6_9	EN-AW-5083	-	-	-
3	1	Stck.	Griffhalterung	0_10_6_13	EN-AW-5083	-	-	-
4	1	Stck.	drylin SLW Linearmodul	0_10_6_12	-	-	IGUS	SLW - 1040 - 06 - 151 - HR
5	3	Stck.	Zylinderschraube	0_10_6_10	-	ISO 4762 - M6 x 40 - A2 - 70	-	-
6	3	Stck.	Zylinderschraube	0_10_6_7	-	ISO 4762 - M6 x 20 - A2 - 70	-	-
7	1	Stck.	Spiegeladapter	0_10_6_5	EN-AW-5083	-	-	-
8	3	Stck.	Sechskantmutter	0_10_6_8	-	ISO 4032 - M6 - A2 - 70	-	-
9	4	Stck.	Zylinderschraube	0_10_6_6	-	ISO 4762 - M4 x 16 - A2 - 70	-	-
10	1	Stck.	Gelenkkopf Schwenkwinkel 30° klemmbar	0_10_6_3	-	-	Norelem	21170 - 08
11	1	Stck.	Spiegelbefestigung	0_10_6_2	EN-AW-5083	-	-	-
12	2	Stck.	Zylinderschraube	0_10_6_4	-	ISO 4762 - M4 x 10 - A2 - 70	-	-
13	1	Stck.	Klebstoff	0_10_6_1	-	-	-	-
14	1	Stck.	Spiegel	0_10_6_0	Glas beschichtet	-	-	-
15	1	Stck.	Dreisterngriff	0_10_6_14	-	-	Elesa + Ganter	VTT.40 - SST - p - 8 x 16

Maßstab: 1:1

Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von	
TU-Graz		Dokumentenart Explosionszeichnung	Dokumentenstatus freigegeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel Spiegeleinheit		0_10_6
Änd.	Ausgabedatum 22.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1	



Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer	Norm - Kurzbezeichnung	Werkstoff	Lieferant	Artikelnummer
1	1	Stck.	Industriekamera UI - 3070CP - M - GL Rev.2	0_10_8_0	-	-	IDS-Imaging	UI - 3070CP - M - GL Rev.2:
2	1	Stck.	Tamron EX-7 extension ring set for CCTV CS/S-Mount Lenses	0_10_8_2	-	-	-	-
3	1	Stck.	Objektiv Tamron 1A1HB, 75mm, 2/3"	0_10_8_1	-	-	IDS-Imaging	AE.0051.2.06500.01

Maßstab: 1:1

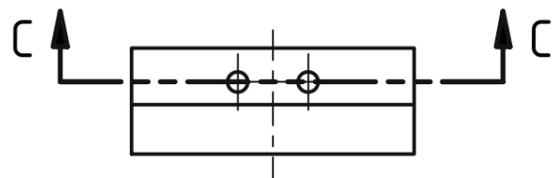
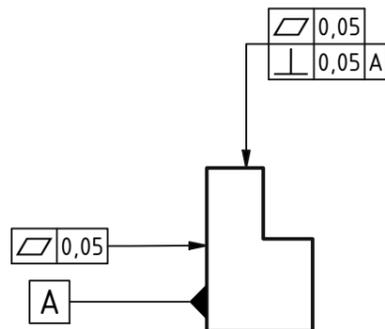
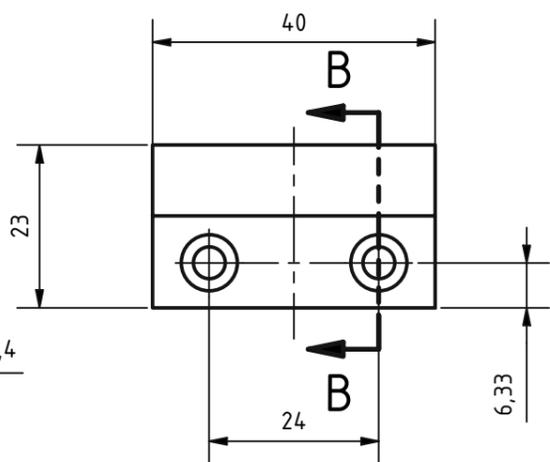
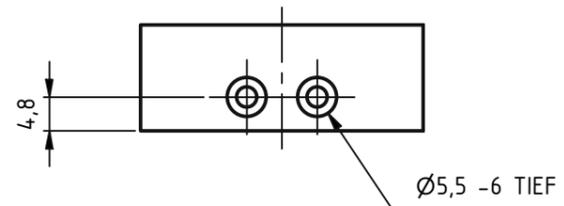
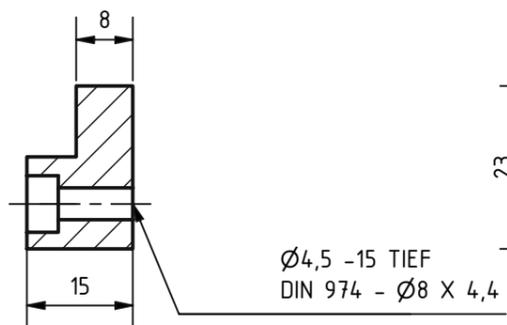
Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von	
TU-Graz		Dokumentenart Explosionszeichnung	Dokumentenstatus freigegeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel Messeinrichtung		0_10_8
Änd.	Ausgabedatum 22.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1	

Baugruppe	Sachnummer d. Baugruppe	Stufe
Lineareinheit	0_0_0	2
Zeichnungsname	Sachnummer	
Montagewinkel	0_0_0_2	3
Bett	0_0_0_5	3
Abschlussplatte	0_0_0_10	3
Schlitten	0_0_0_19	3
Haltearmlängsteil	0_0_0_23	3
Haltearmquerteil	0_0_0_24	3
Haltearmstift	0_0_0_26	3
Haltearmaufnahme	0_0_0_29	3
Kraftsensoraufnahmevorrichtung	0_0_0_32	3

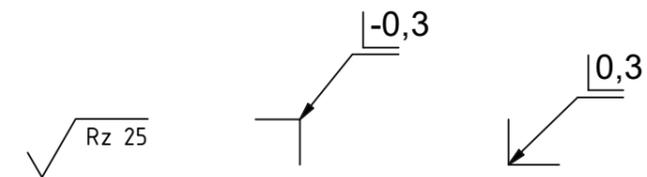
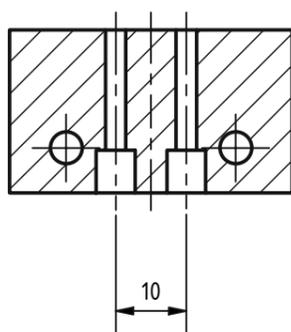
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
 The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



B-B (1 : 1)



C-C (1 : 1)



nicht bemaßte Radien R2

Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

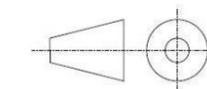
Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

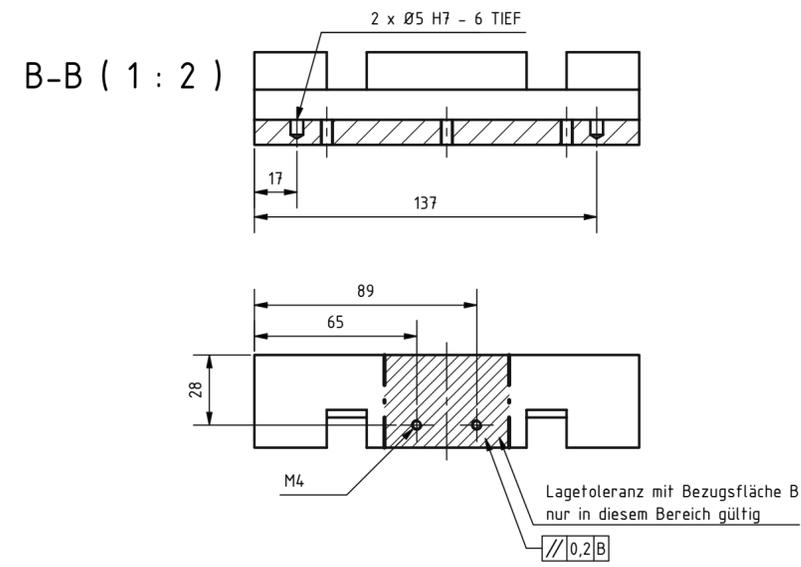
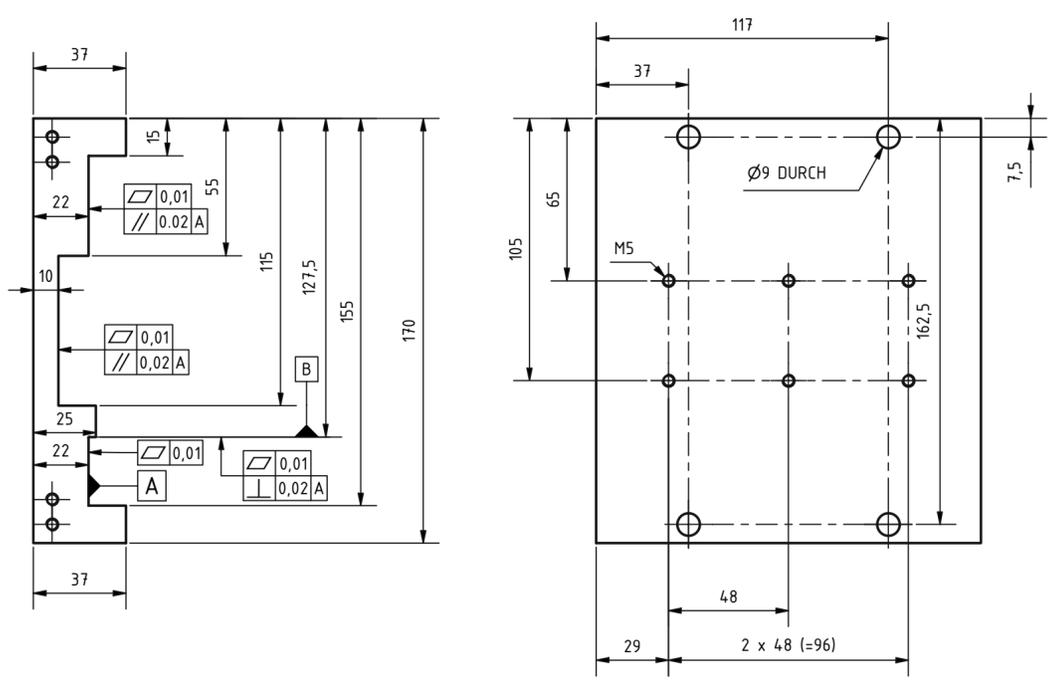
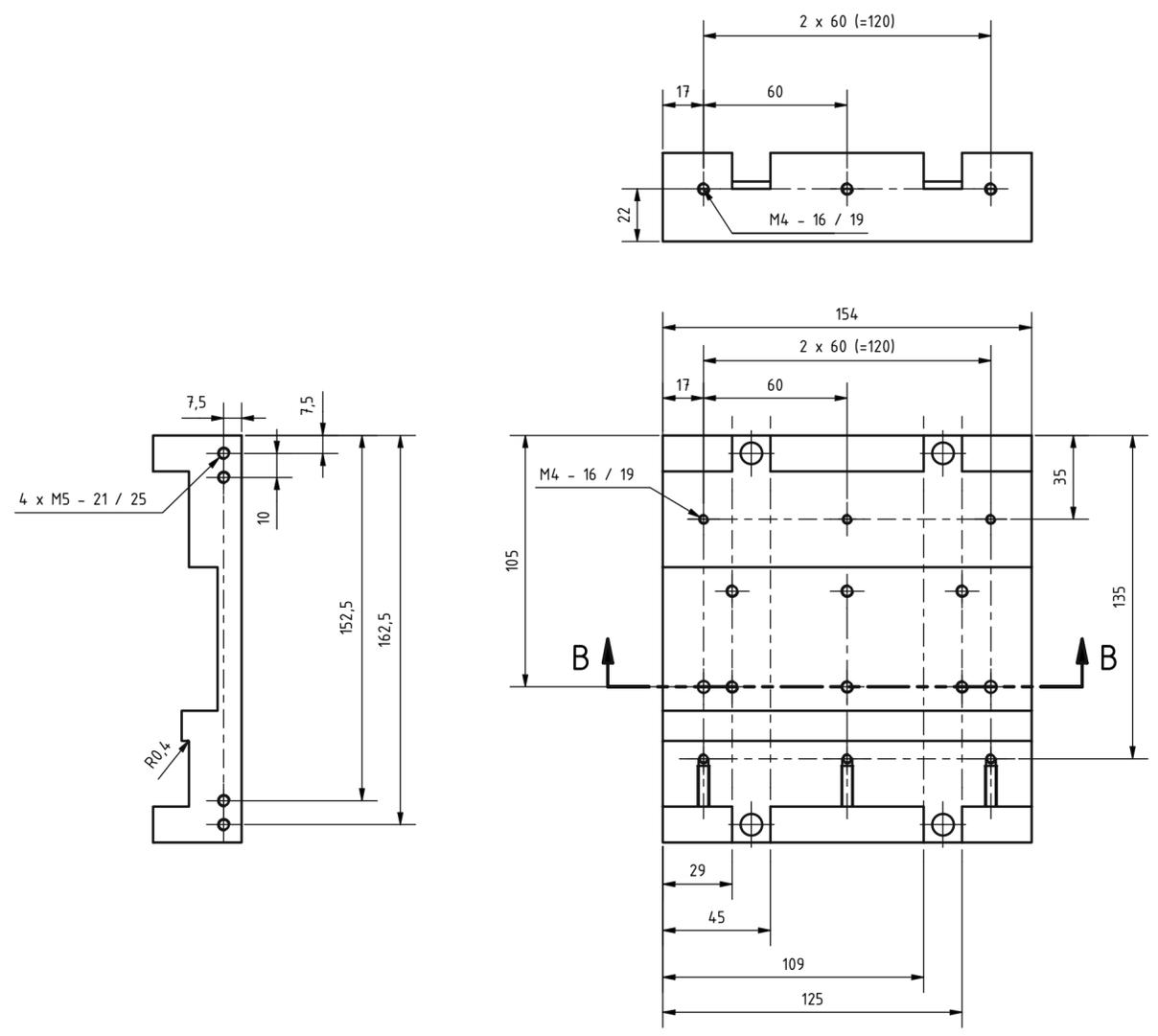
Werkstoff: EN-AW-5083

Maßstab: 1:1

6 Stck.



Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger		
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben		
		Titel, Zusätzlicher Titel Montagewinkel		0_0_0_2	
Änd.	Ausgabedatum 09.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1		

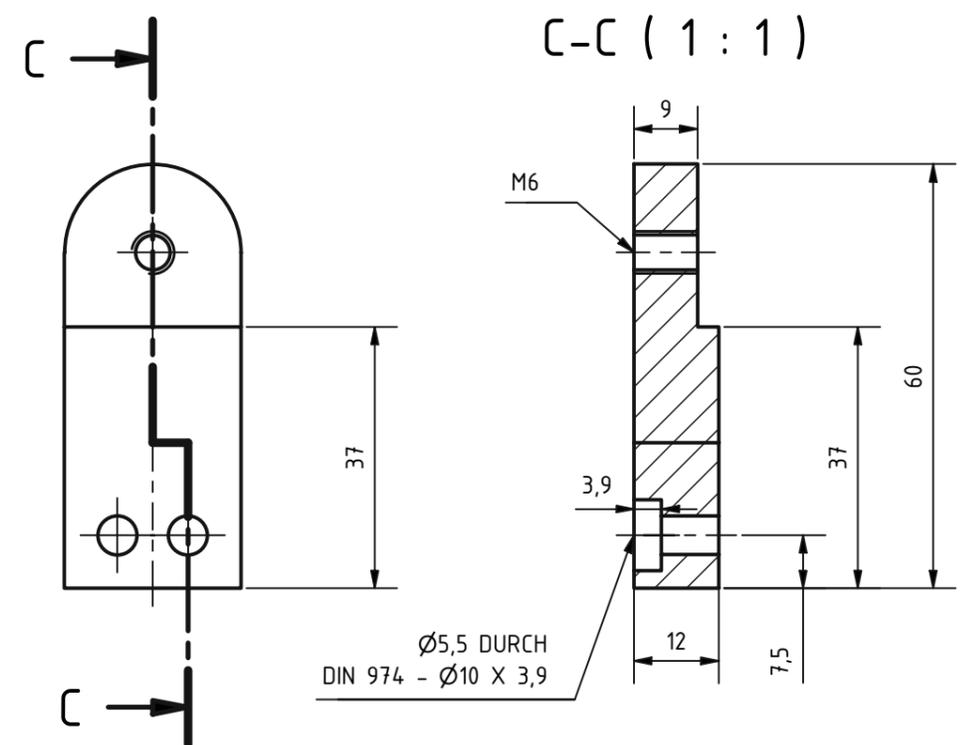
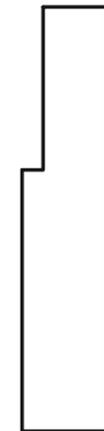
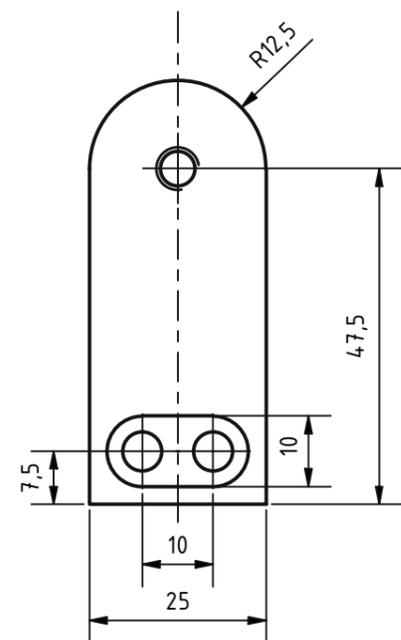


Werkstückkanten nach DIN ISO 13715
 Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK
 Oberflächen nach DIN EN ISO 1302
 Werkstoff: EN-AW-5083
 Maßstab: 1:2

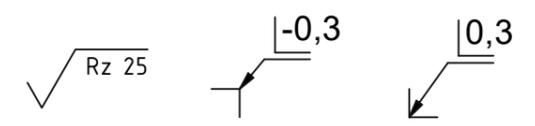
Rz 25
 -0,3
 0,3

4 Stck.

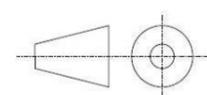
Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz L. Fellingner	Erstellt durch L. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben
		Titel, Zusätzlicher Titel Bett	
Änd.	Ausgabedatum 09.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1



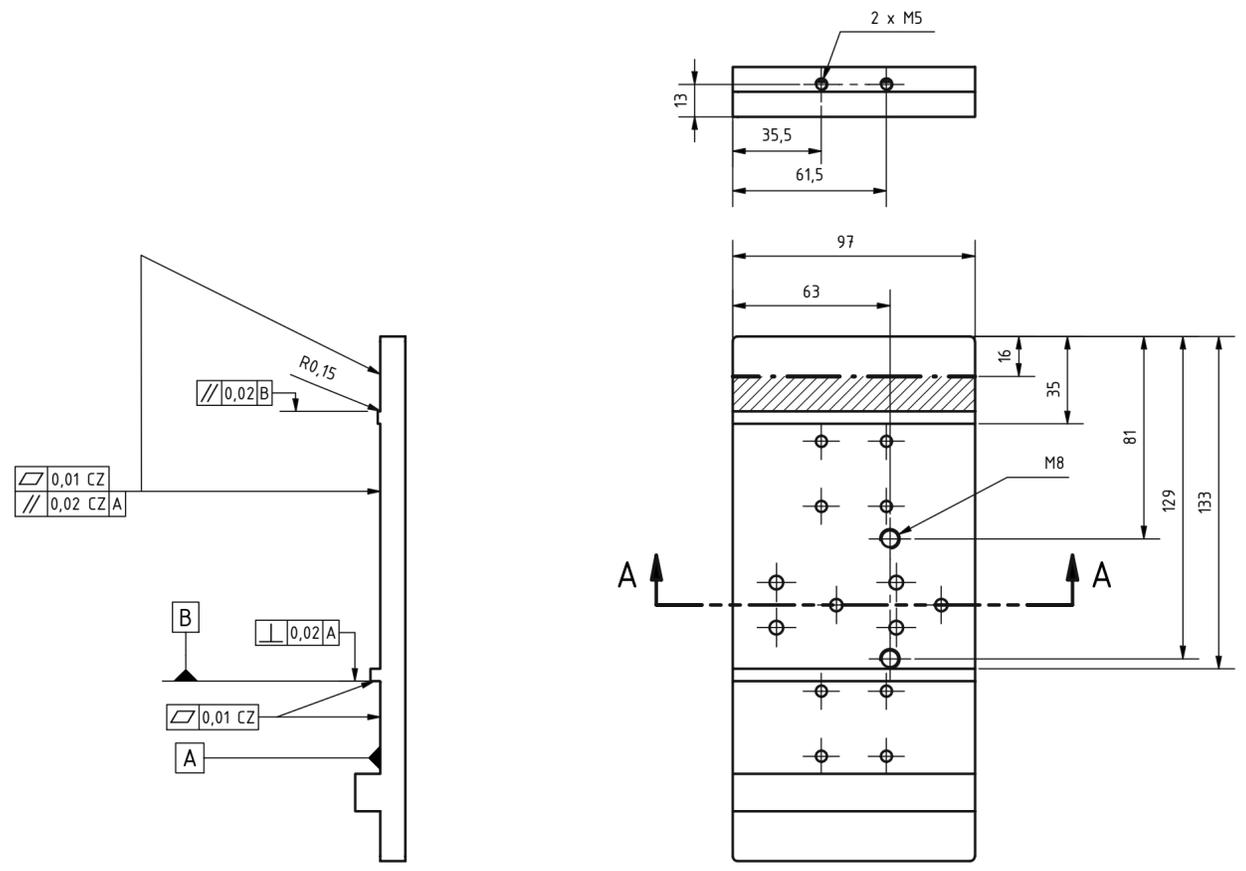
nicht bemaßte Radien R2
 Werkstückkanten nach DIN ISO 13715
 Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK
 Oberflächen nach DIN EN ISO 1302
 Werkstoff: EN-AW-5083
 Maßstab: 1:1



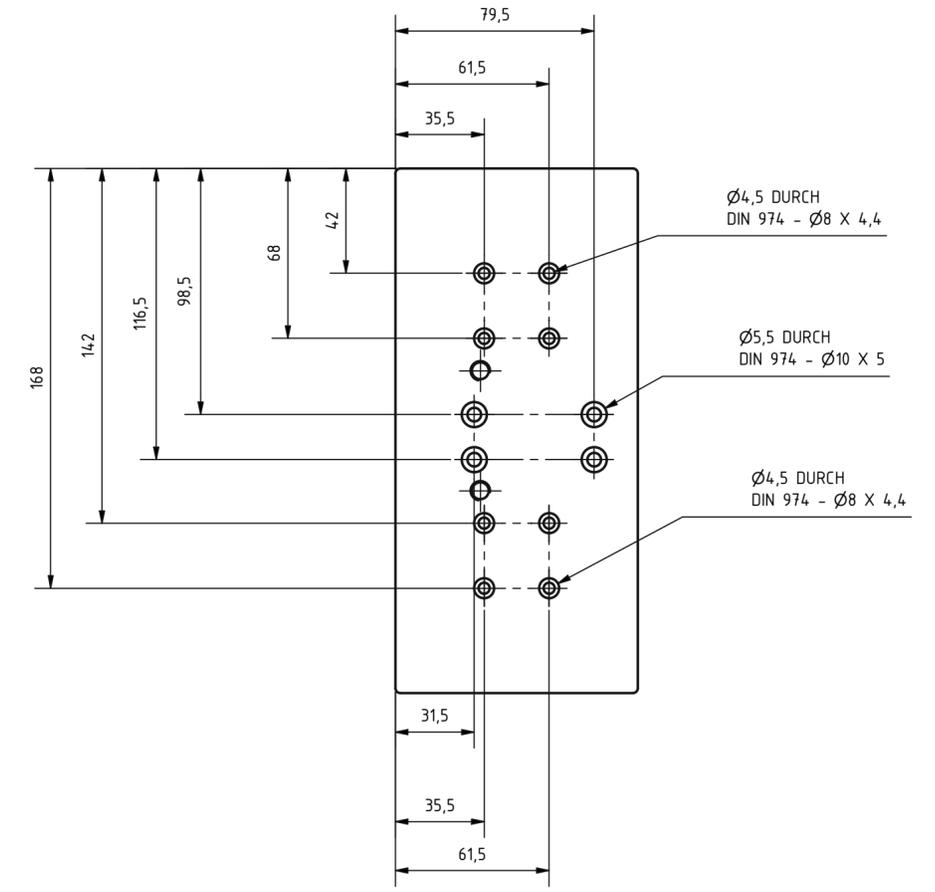
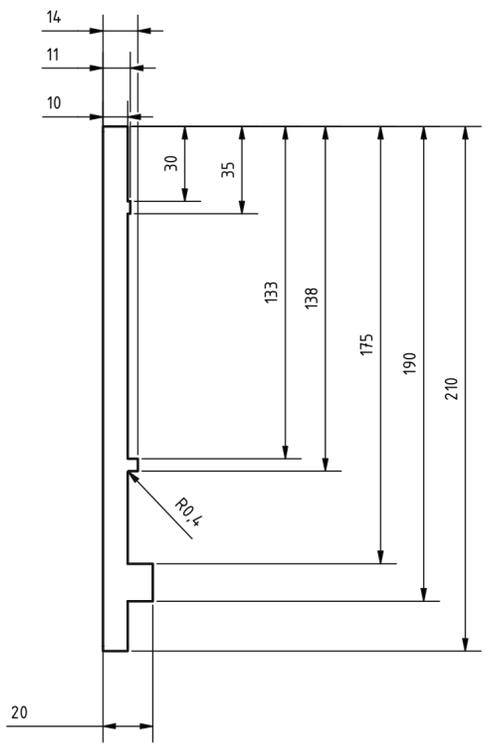
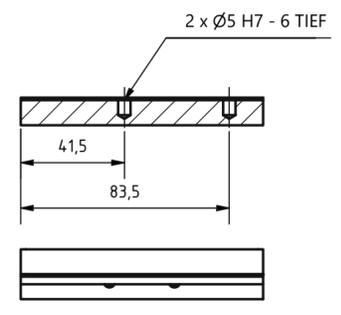
22 Stck.



Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben
		Titel, Zusätzlicher Titel Abschlussplatte	
Änd.	Ausgabedatum 09.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1



A-A (1 : 2)

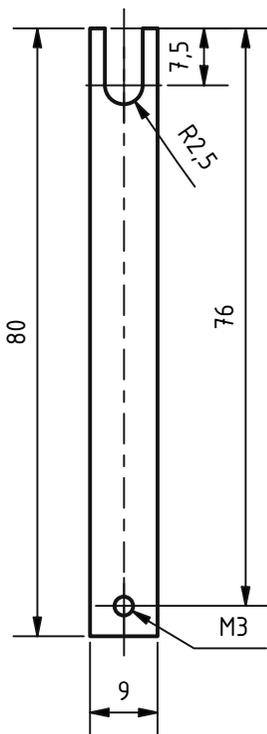
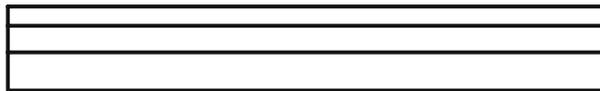
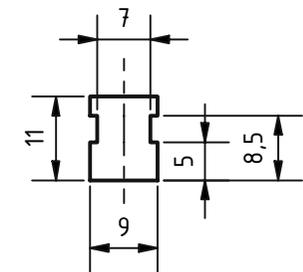


Rz 25
-0,3
0,3

nicht bemaßte Radien R2
Werkstückkanten nach DIN ISO 13715
Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302
Werkstoff: EN-AW-5083
Maßstab: 1:2

4 Stck.

Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger
TU-Graz		Dokumententart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben
		Titel, Zusätzlicher Titel Schlitten	
Änd.	Ausgabedatum 09.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1



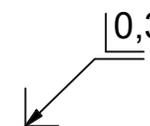
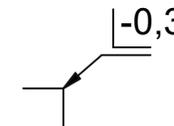
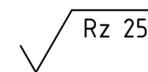
Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

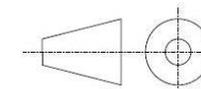
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

Werkstoff: EN 1.4571

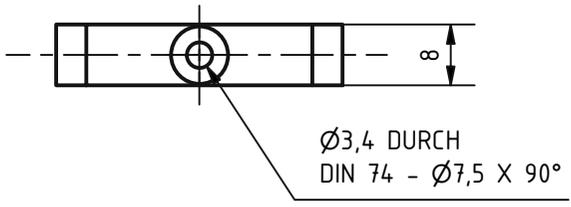
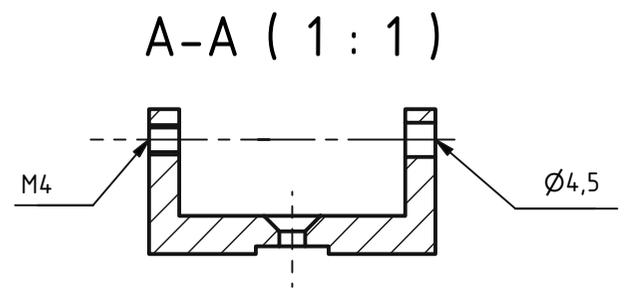
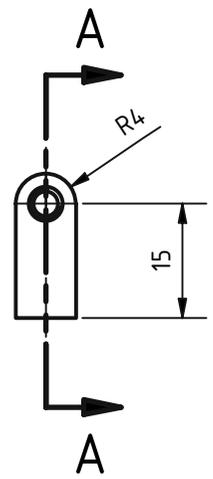
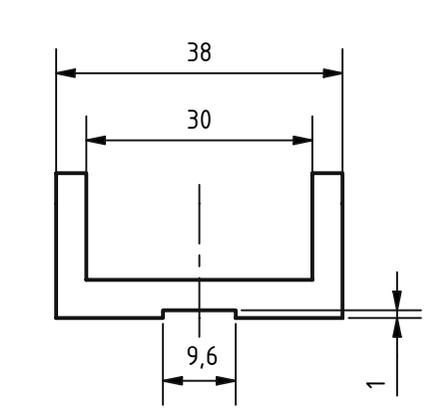
Maßstab: 1:1



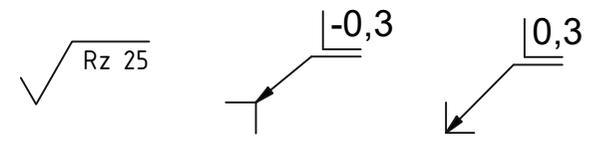
4 Stck.



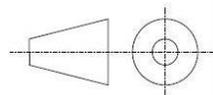
Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger	
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung		Dokumentenstatus freigegeben
		Titel, Zusätzlicher Titel Haltearmlängsteil		0_0_0_23
		Änd.	Ausgabedatum 10.11.2021	Spr. de
				Blatt 1/1



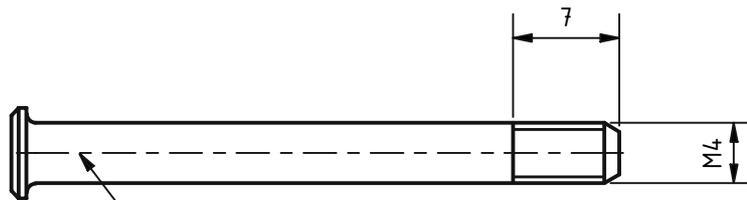
Werkstückkanten nach DIN ISO 13715
Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302
Werkstoff: EN 1.4571
Maßstab: 1:1



4 Stck.



Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellinger	Erstellt durch G. Fellinger	Genehmigt von D. Arzberger			
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben			
		Titel, Zusätzlicher Titel Haltearmquerteil		0_0_0_24		
		Änd.	Ausgabedatum 10.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1	



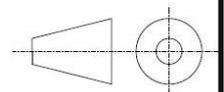
Bolzen ISO 2341-A-4 x 40-A2 wird mit Gewinde versehen

4 Stck.

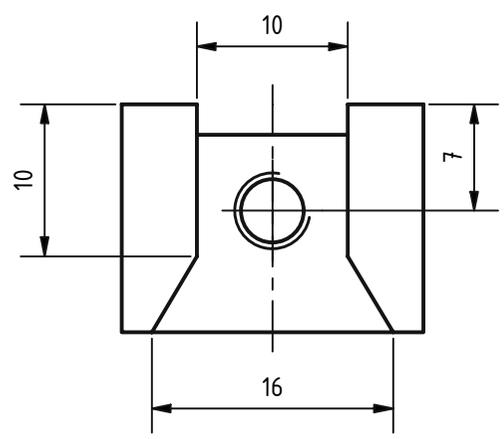
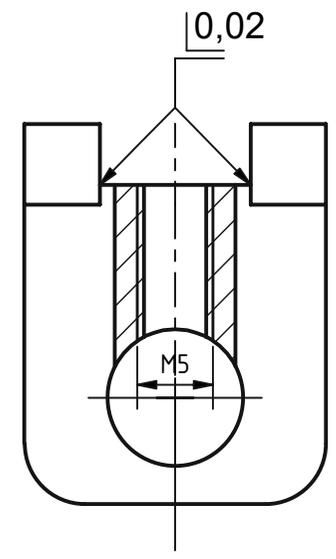
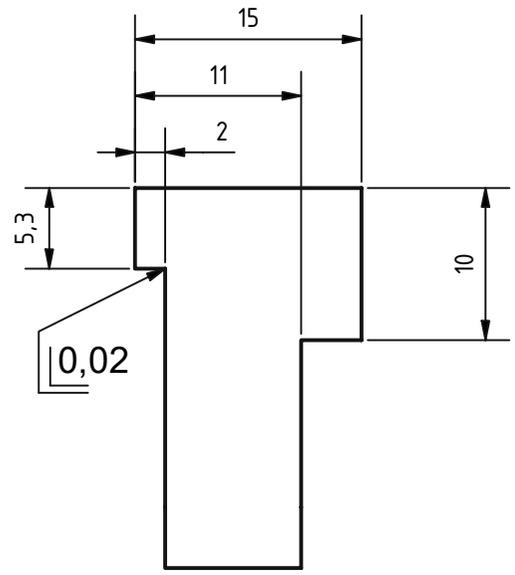
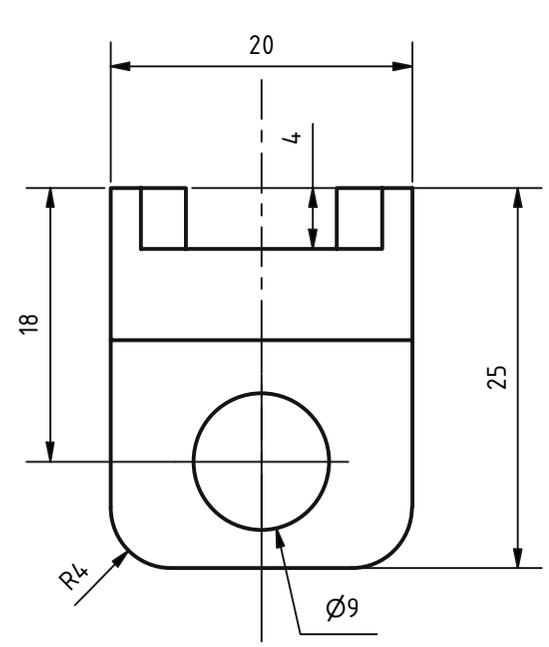
Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

Werkstoff: nichtrostender Stahl

Maßstab: 2:1



Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger	
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel Haltearmstift	0_0_0_26	
		Änd.	Ausgabedatum 16.11.2021	Spr. de
				Blatt 1/1



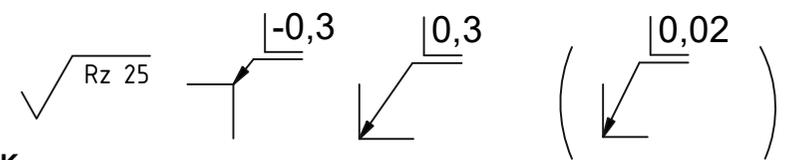
Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

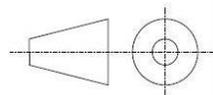
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

Werkstoff: EN-AW-5083

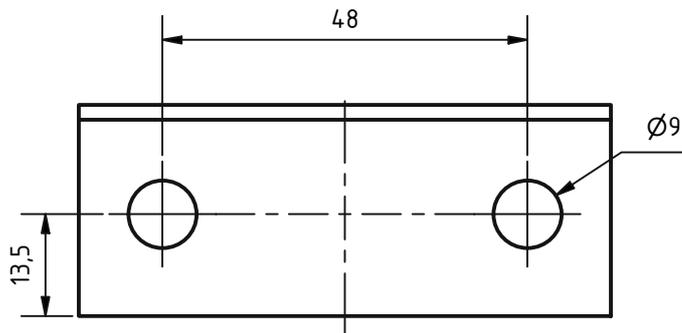
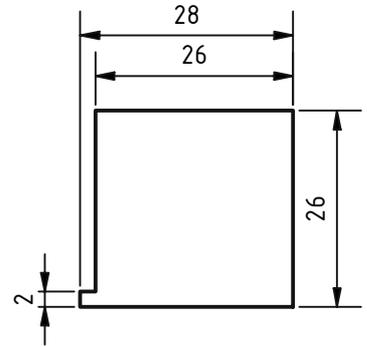
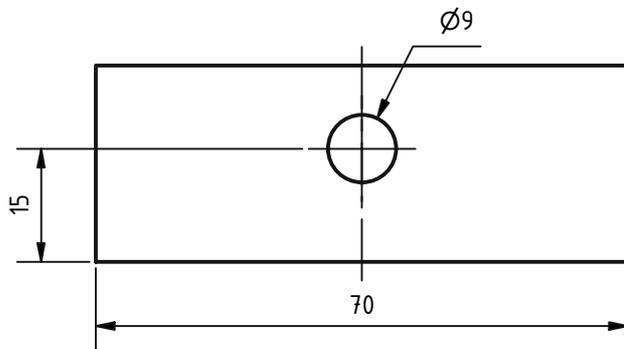
Maßstab: 2:1



4 Stck.



Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz L. Fellingner	Erstellt durch L. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger	
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung		Dokumentenstatus freigegeben
		Titel, Zusätzlicher Titel Haltearmaufnahme		0_0_0_29
		Änd.	Ausgabedatum 10.11.2021	Spr. de



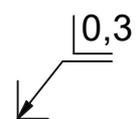
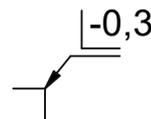
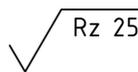
Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

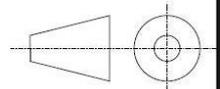
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

Werkstoff: EN-AW-5083

Maßstab: 1:1

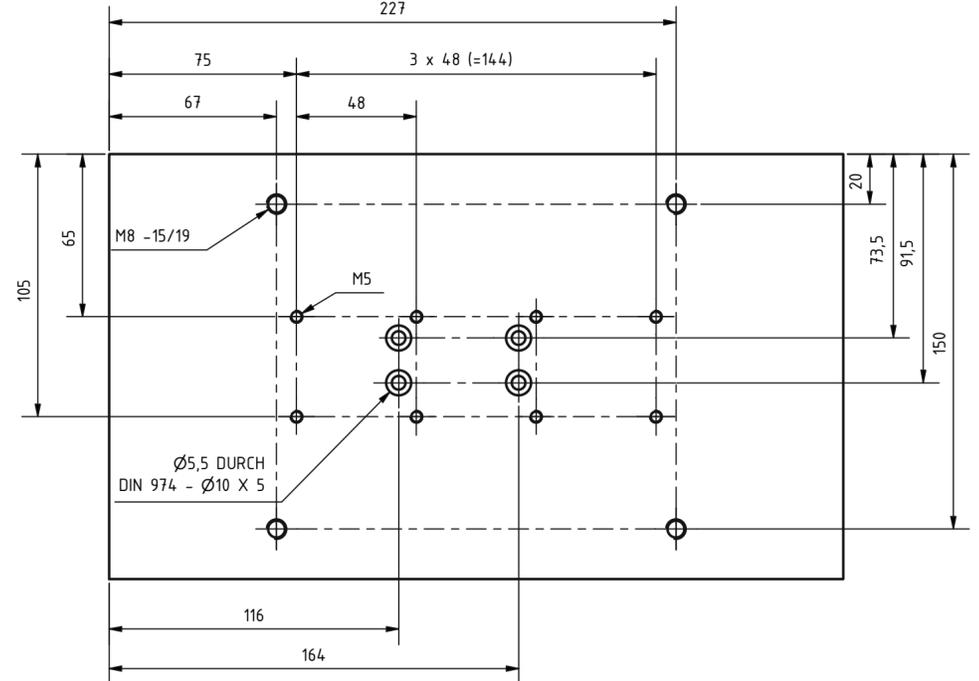
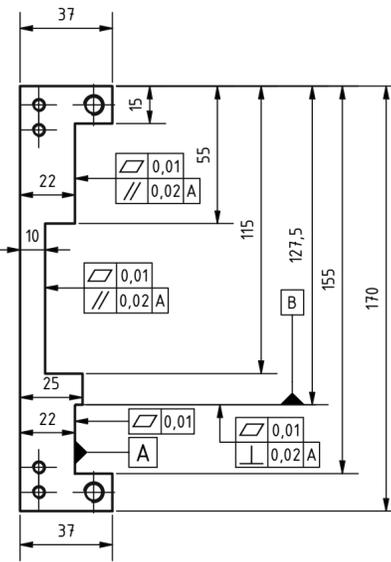
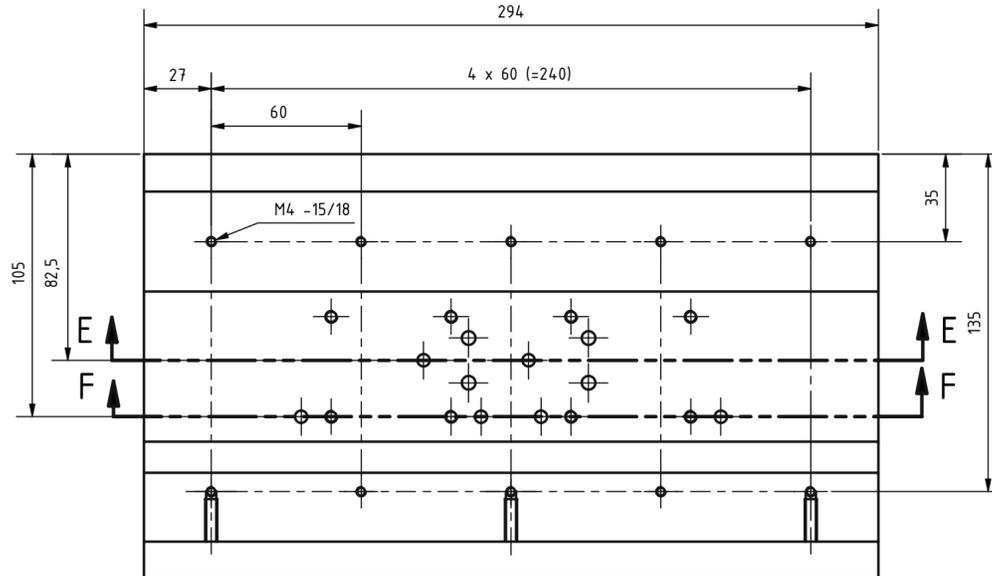
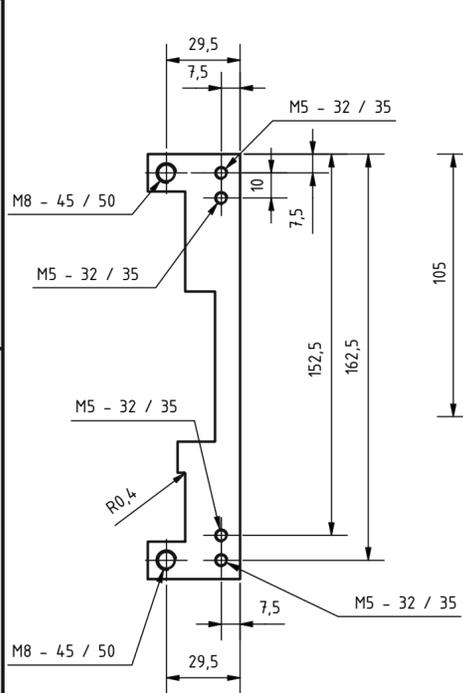
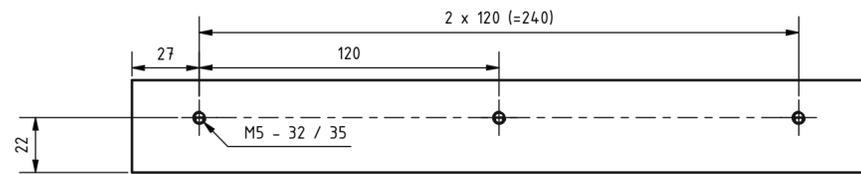


4 Stck.

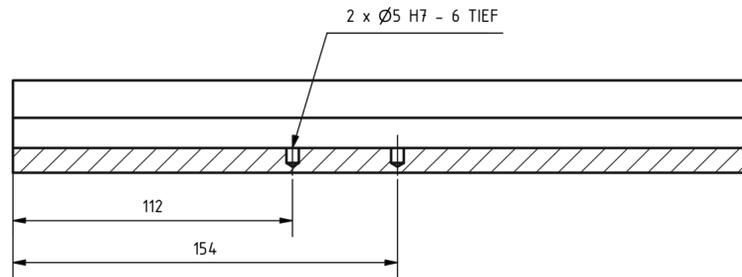


Verantw. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger	
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel Kraftsensoraufnahmevorrichtung		0_0_0_32
	Änd.	Ausgabedatum 10.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1

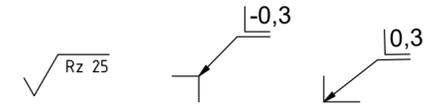
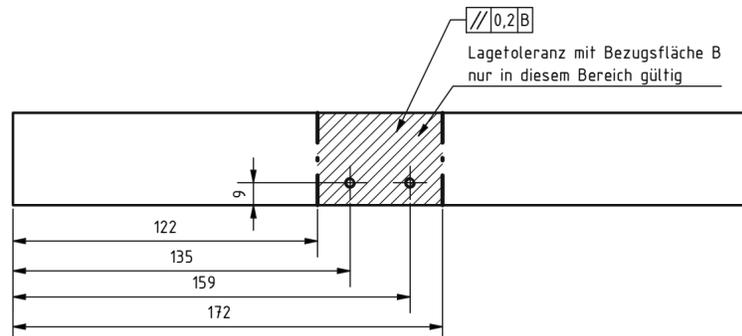
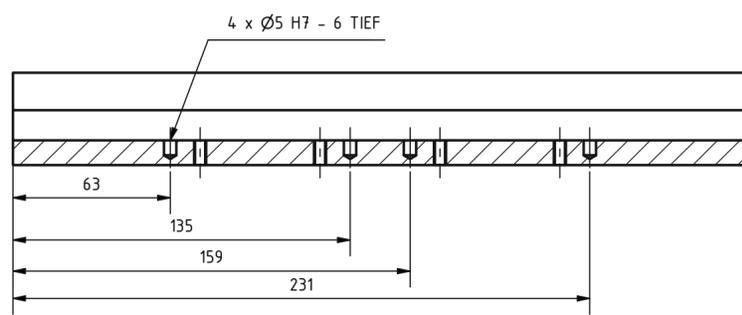
Baugruppe	Sachnummer d. Baugruppe	Stufe
Lineareinheit x-Richtung	0_2_0	2
Zeichnungsname	Sachnummer	
Montagewinkel	0_2_0_2 → Siehe 0_0_0_2	3
Bett	0_2_0_5	3
Abschlussplatte	0_2_0_10 → Siehe 0_0_0_10	3
Schlitten	0_2_0_19	3



E-E (1 : 2)



F-F (1 : 2)



Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

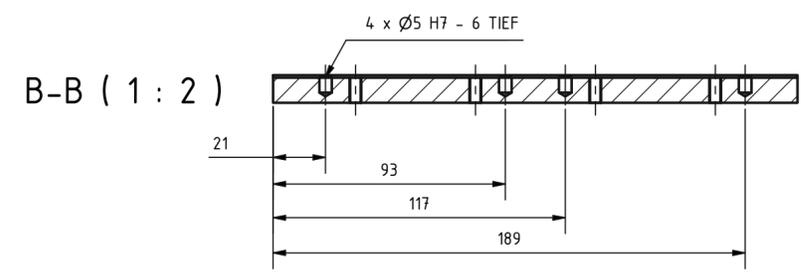
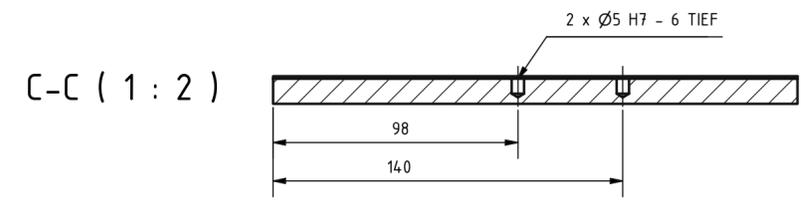
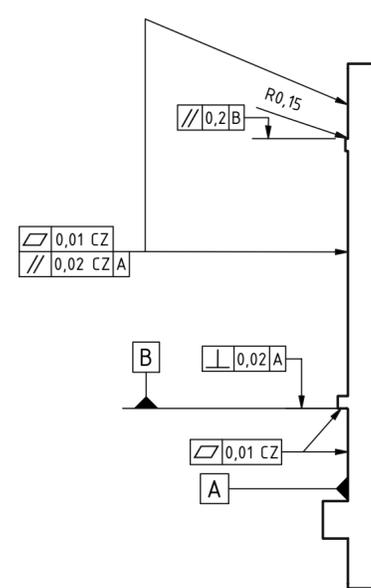
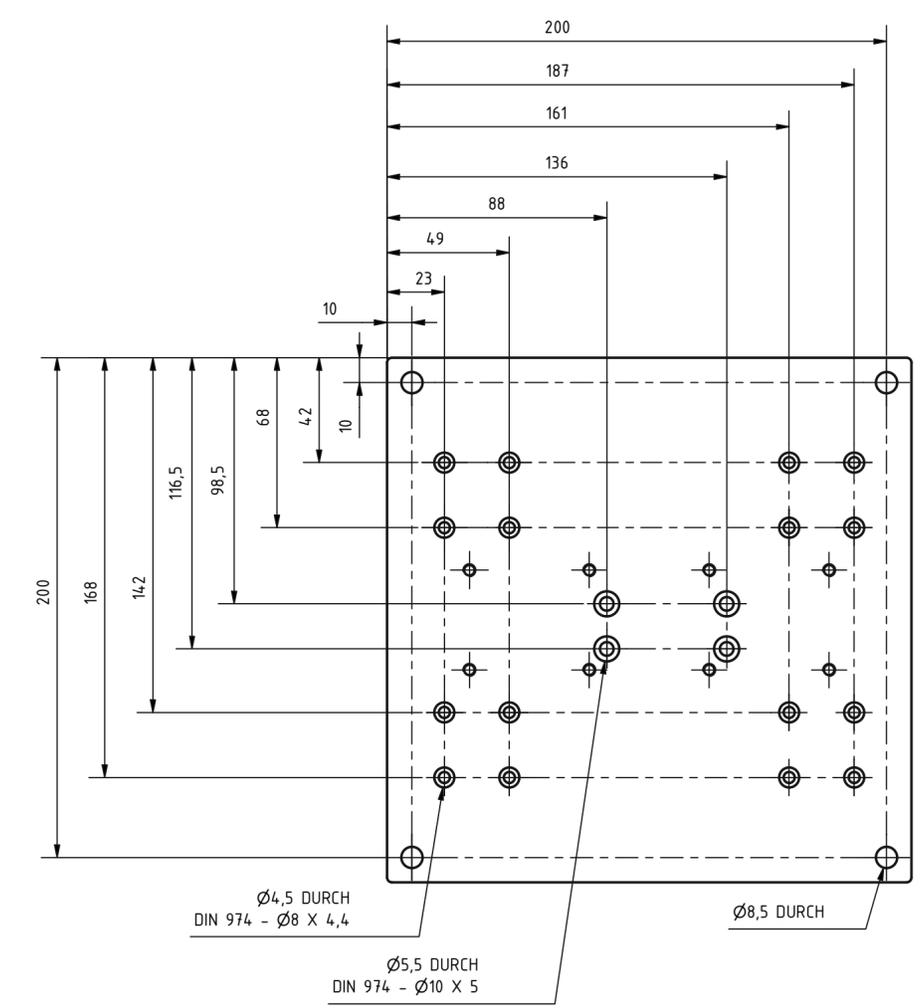
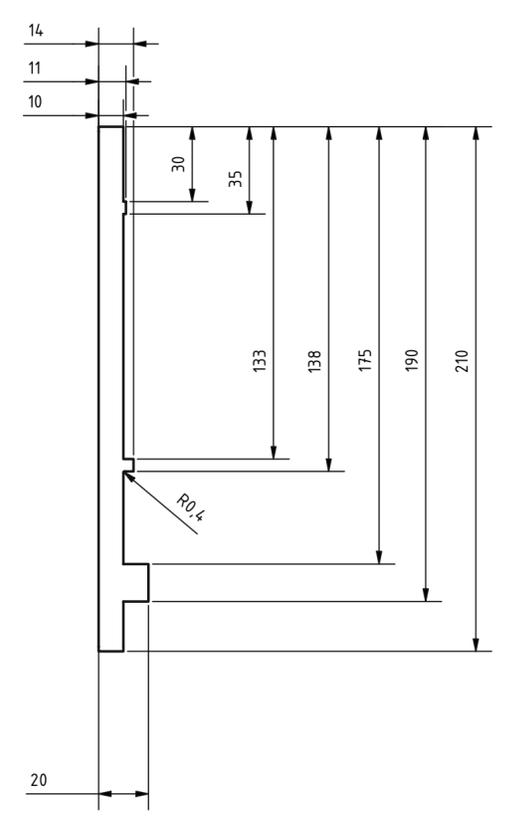
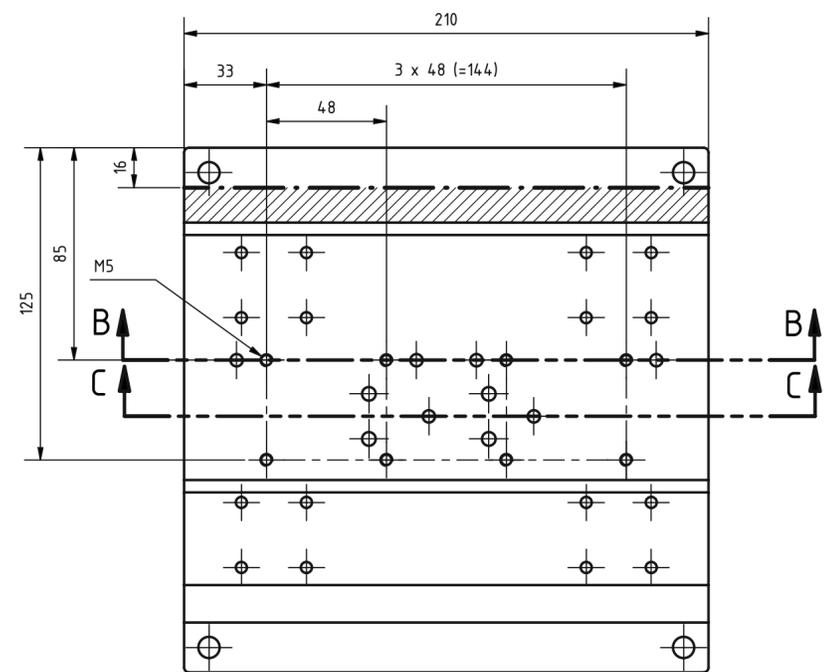
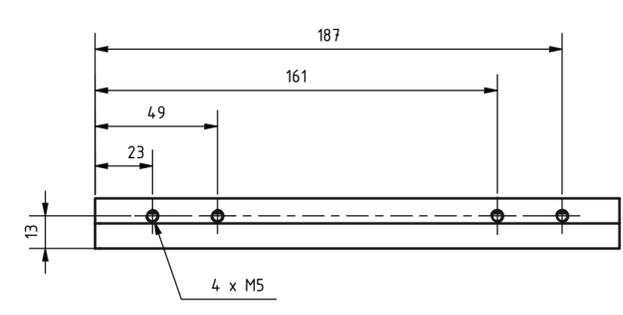
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

Werkstoff: EN-AW-5083

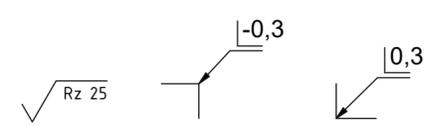
Maßstab: 1:2

2 Stck.

Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben
		Titel, Zusätzlicher Titel Bett	
Änd.	Ausgabedatum 09.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1



nicht bemaßte Radien R2
 Werkstückkanten nach DIN ISO 13715
 Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK
 Werkstoff: EN-AW-5083
 Maßstab: 1:2

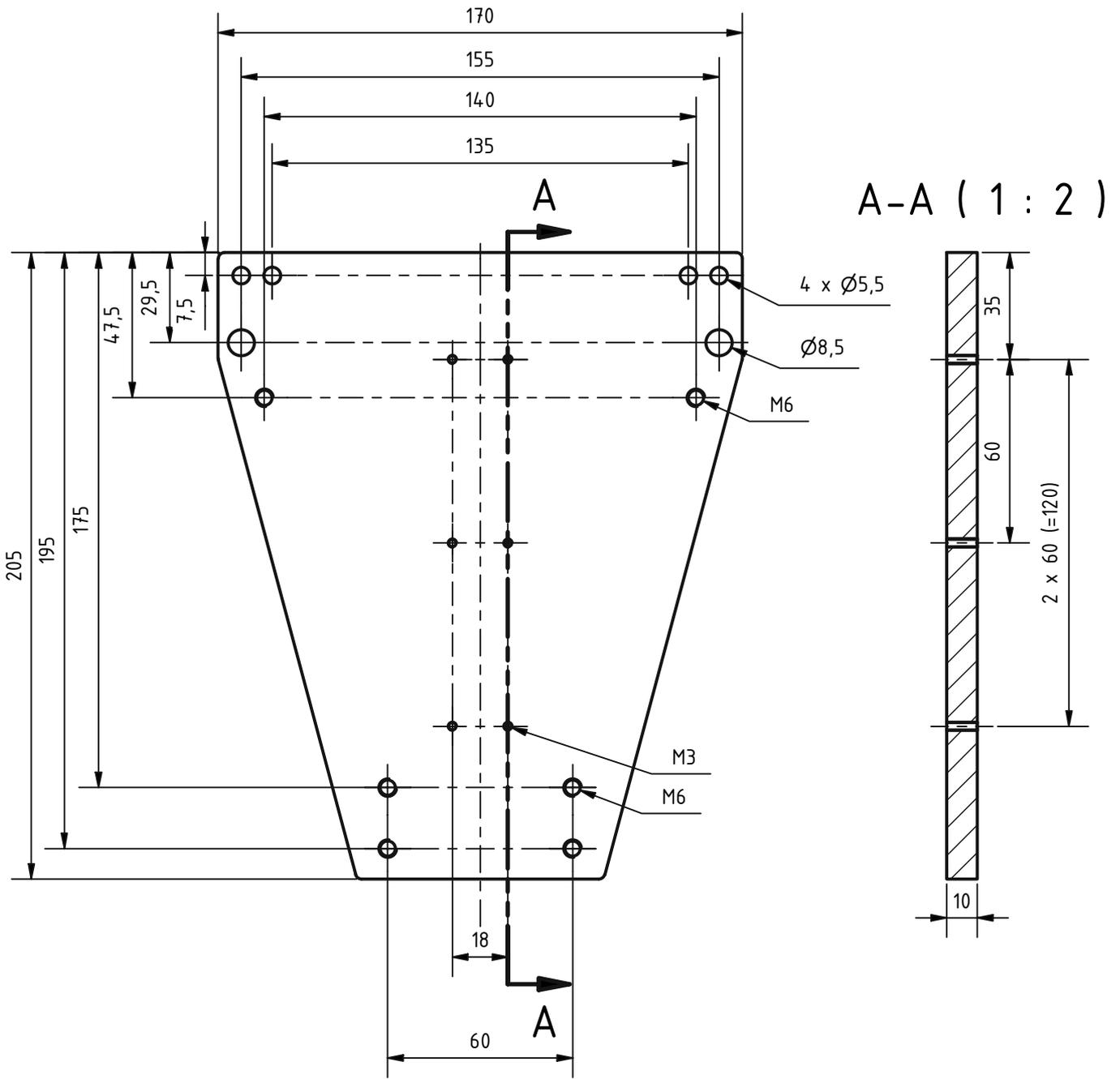


2 Stck.

Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger
TU-Graz		Dokumententyp Einzelteilzeichnung	Dokumententyp freigegeben
		Titel, Zusätzlicher Titel Schlitten	
Änd.	Ausgabedatum 09.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1

Baugruppe	Sachnummer d. Baugruppe	Stufe
Lineareinheit y-Richtung	0_2_1	2
Zeichnungsname	Sachnummer	
Montagewinkel	0_2_1_2 → Siehe 0_0_0_2	3
Bett	0_2_1_5 → Siehe 0_2_0_5	3
Abschlussplatte	0_2_1_10 → Siehe 0_0_0_10	3
Schlitten	0_2_1_19 → Siehe 0_2_0_19	3

Baugruppe	Sachnummer d. Baugruppe	Stufe
Lineareinheit z-Richtung	0_2_5	2
Zeichnungsname	Sachnummer	
Linearachsenplatte	0_2_5_0	3
Schutzblech	0_2_5_2	3
Stempelanbindungswinkel	0_2_5_9	3
3D-Kraftmessdosenanbindung	0_2_5_18	3
Stempelaufnahme	0_2_5_21	3
Stempel	0_2_5_23	3



nicht bemaßte Radien R2

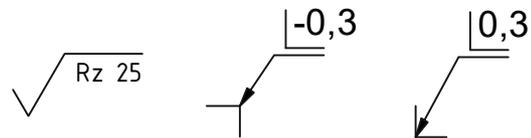
Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

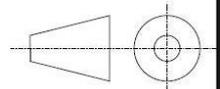
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

Werkstoff: EN-AW-5083

Maßstab: 1:2

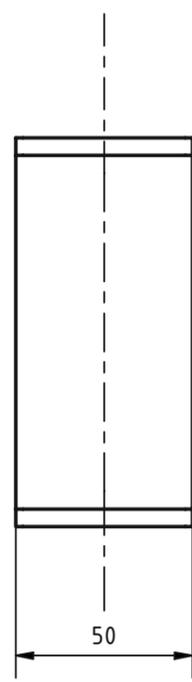
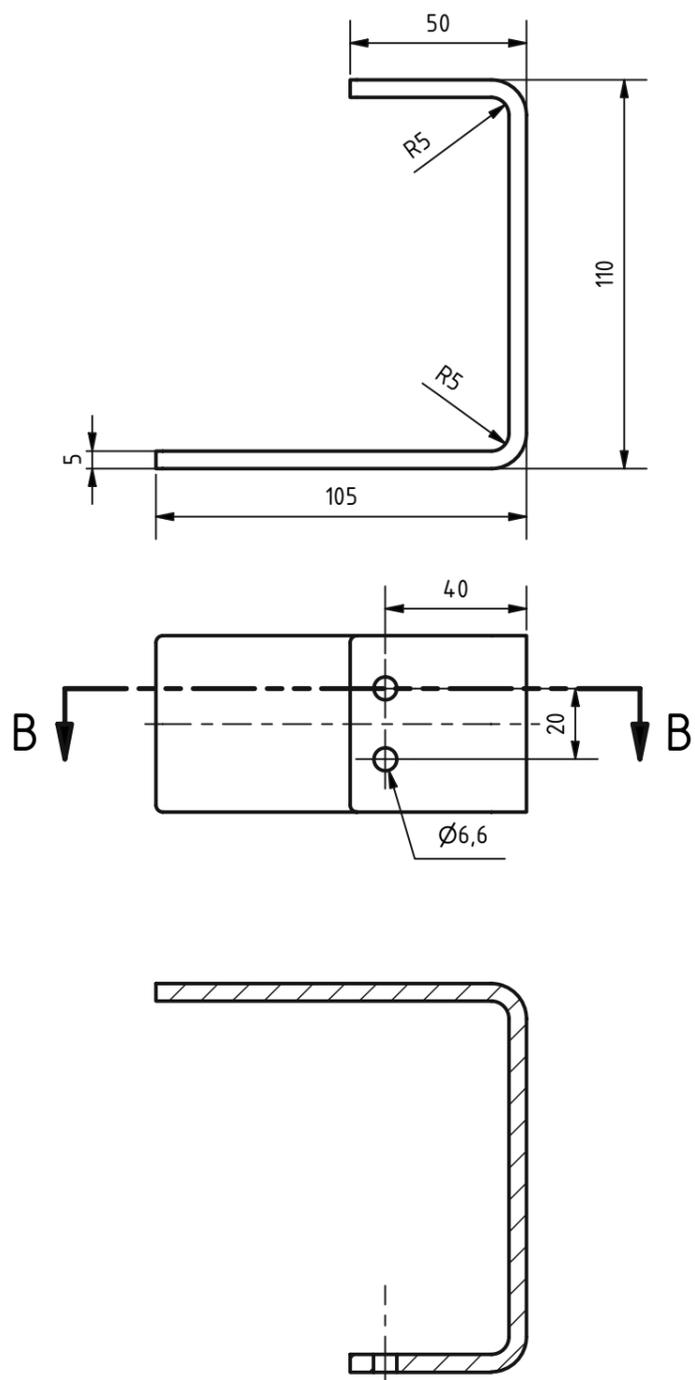


1 Stck.



Verantw. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz L. Fellingner	Erstellt durch L. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger	
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung		Dokumentenstatus freigegeben
		Titel, Zusätzlicher Titel Linearachsenplatte		0_2_5_0
		Änd.	Ausgabedatum 10.11.2021	Spr. de
				Blatt 1/1

B-B (1 : 2)



nicht bemaßte Radien R2

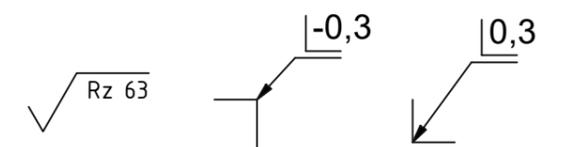
Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

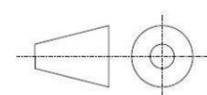
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

Werkstoff: EN-AW-5083

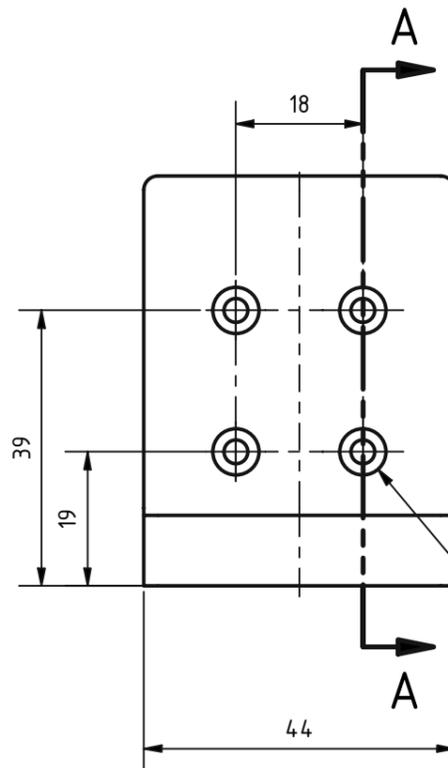
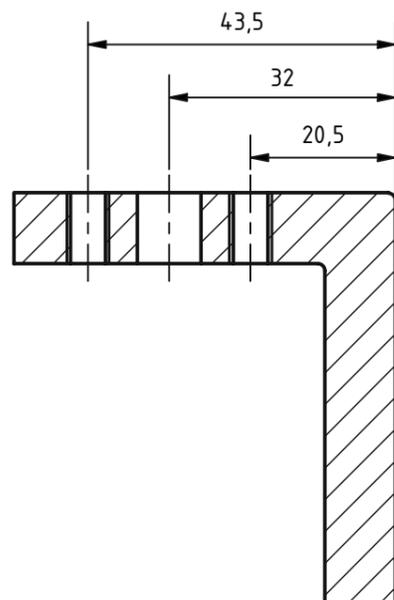
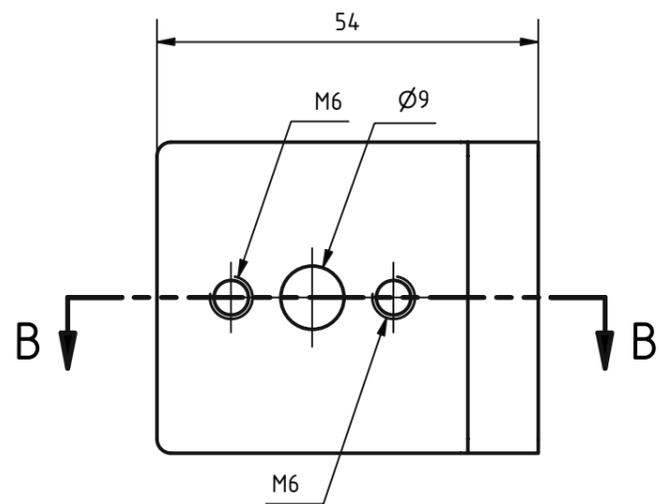
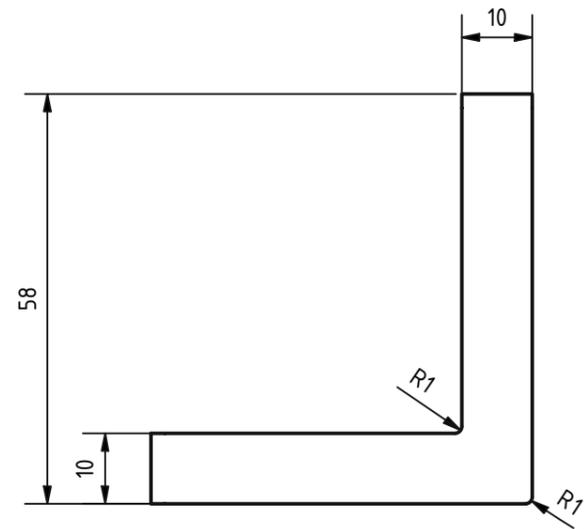
Maßstab: 1:2



1 Stck.



Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger		
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben		
		Titel, Zusätzlicher Titel Schutzblech		0_2_5_2	
Änd.	Ausgabedatum 10.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1		



A-A (1 : 1)

Ø3,4 DURCH
DIN 974 - Ø6,5 X 4

nicht bemaßte Radien R2

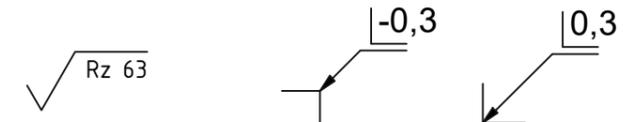
Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

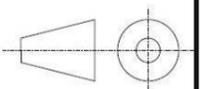
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

Werkstoff: EN-AW-5083

Maßstab: 1:1

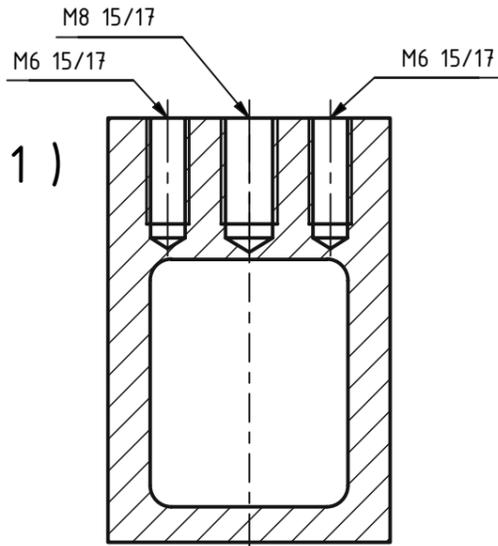


1 Stck.

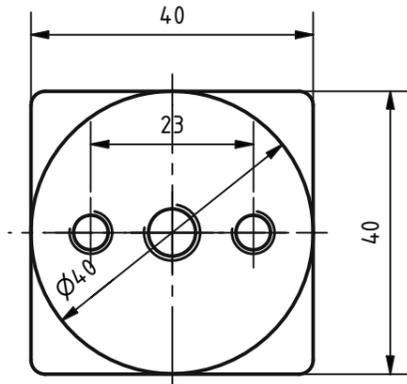
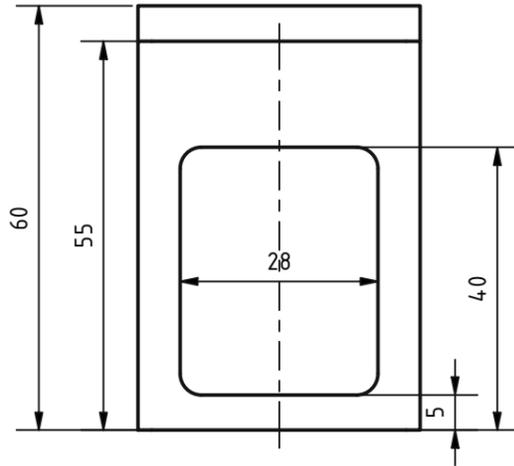
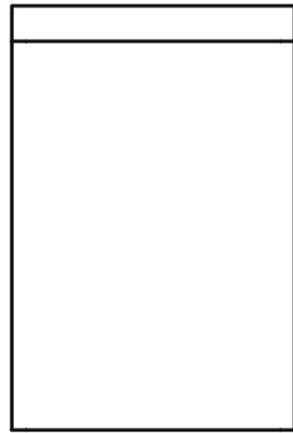
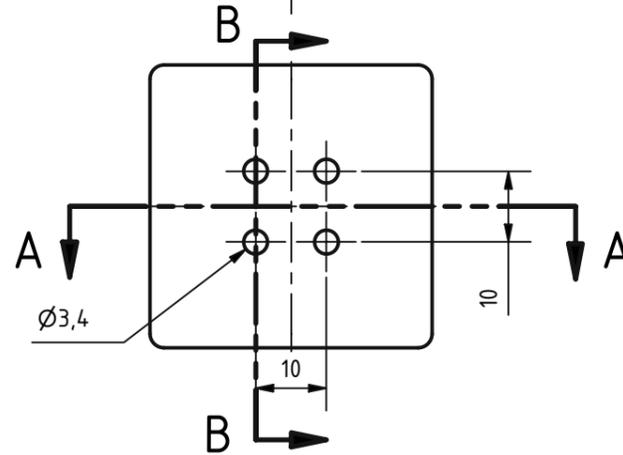
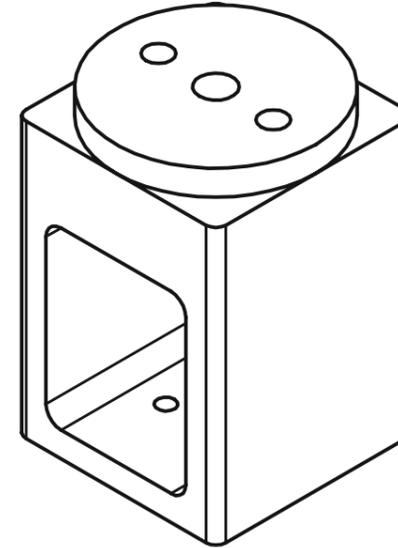
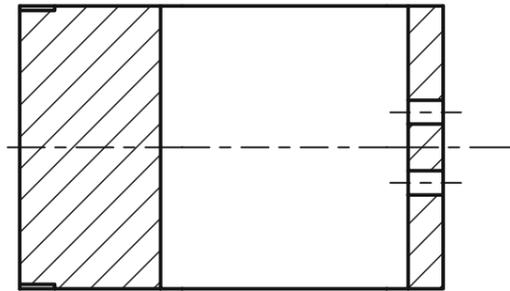


Verantwortl. Abtlig. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger	
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel Stempelanbindungswinkel		0_2_5_9
Änd.	Ausgabedatum 10.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1	

A-A (1:1)



B-B (1:1)



nicht bemaßte Radien R2

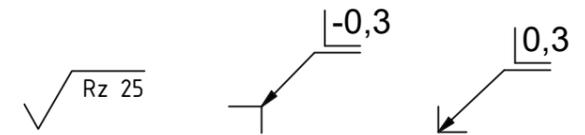
Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

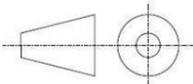
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

Werkstoff: EN-AW-5083

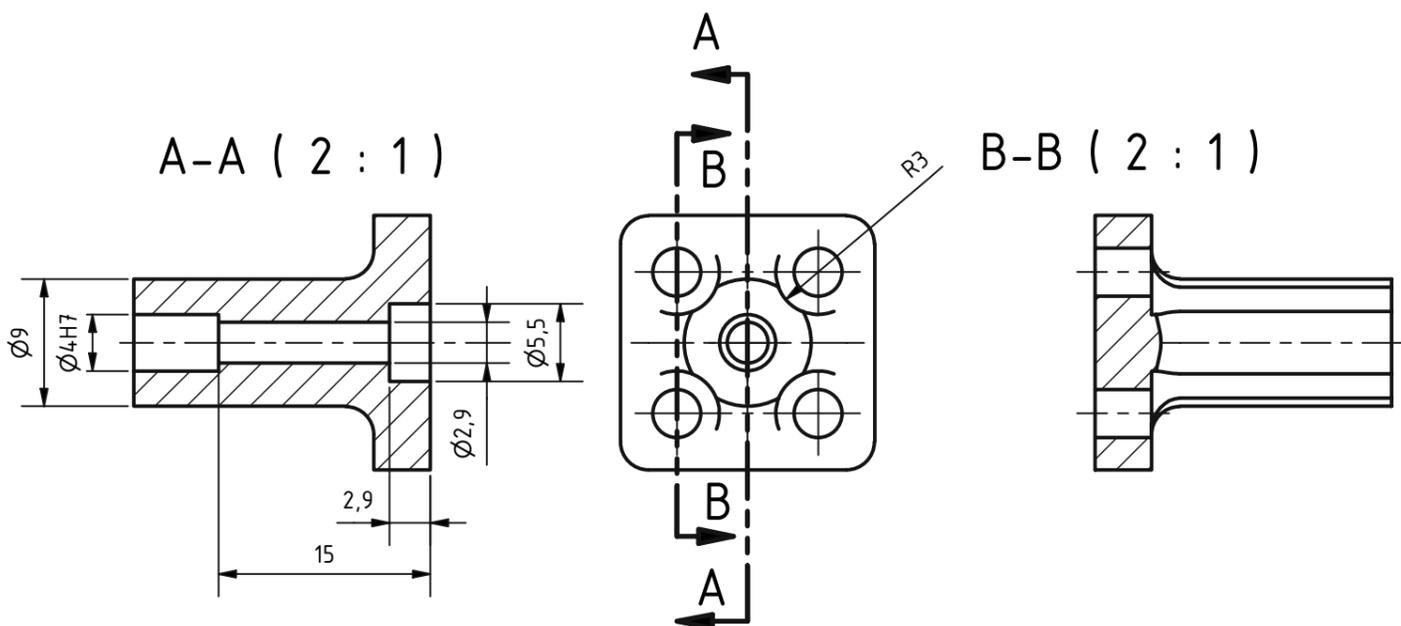
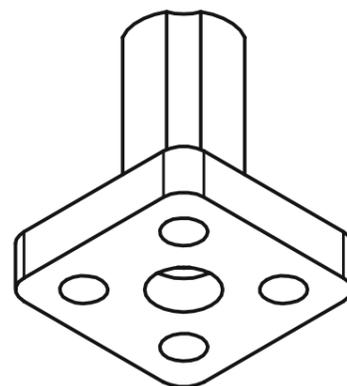
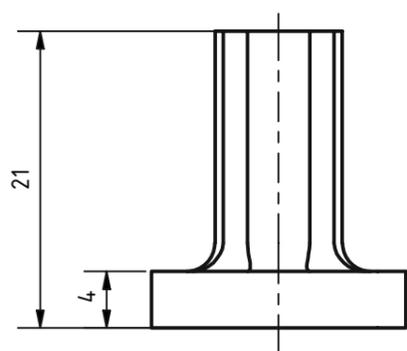
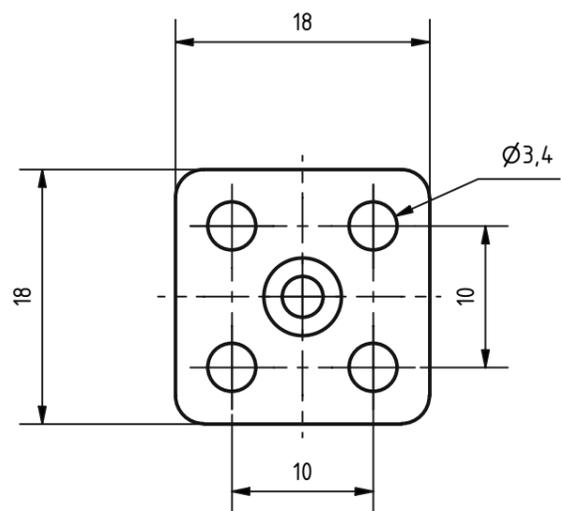
Maßstab: 1:1



1 Stck.



Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger		
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben		
		Titel, Zusätzlicher Titel 3D-Kraftmessdosenanbindung		0_2_5_18	
Änd.	Ausgabedatum 10.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1		



nicht bemaßte Radien R2

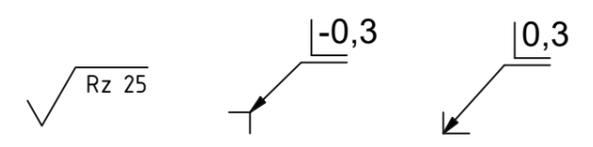
Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

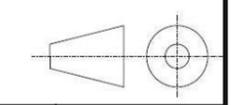
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

Werkstoff: EN 1.4571

Maßstab: 2:1

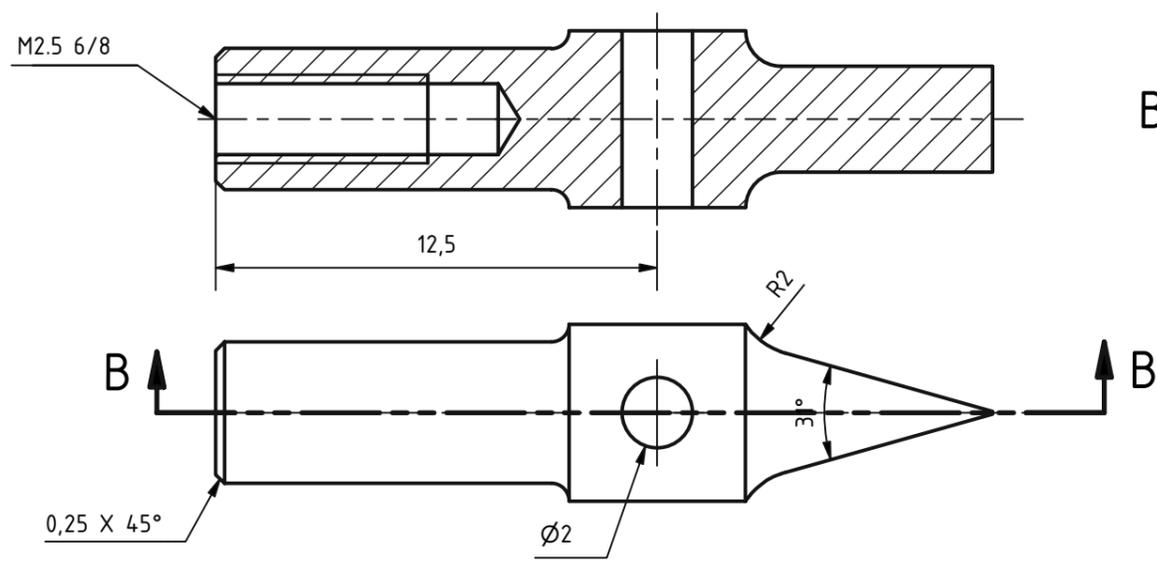
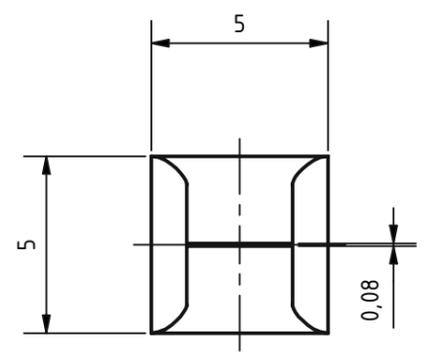
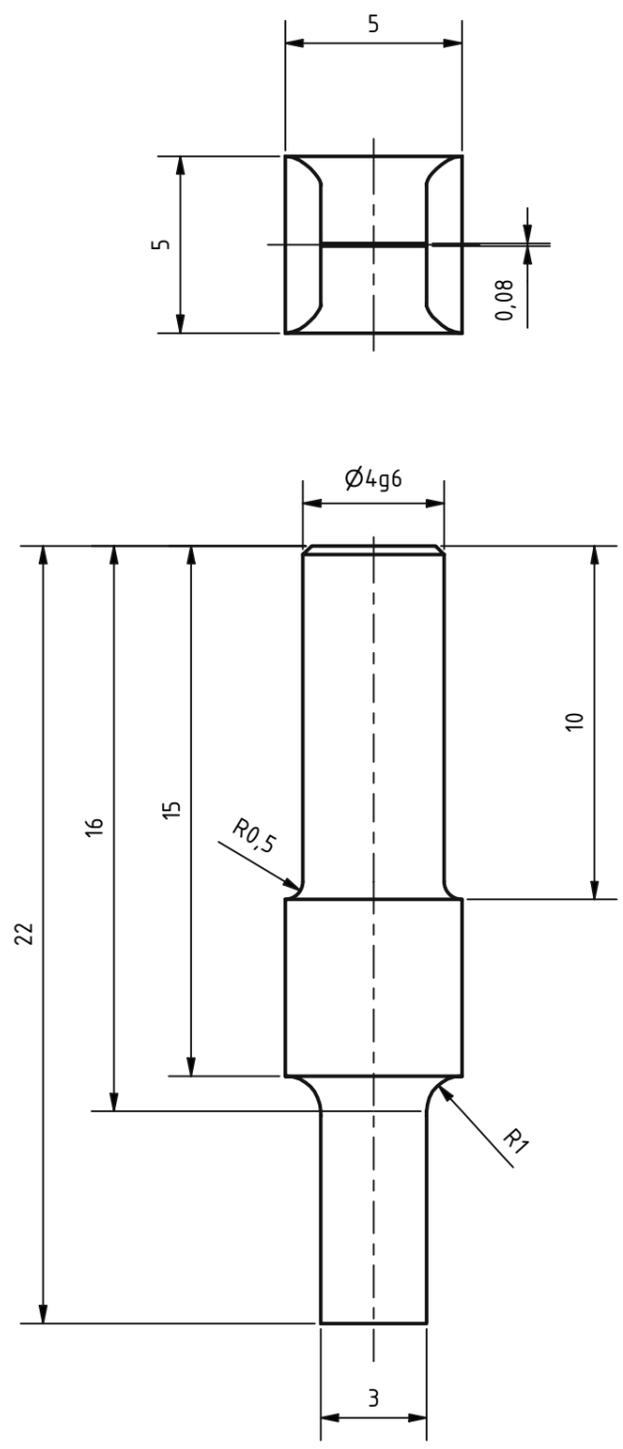


1 Stck.

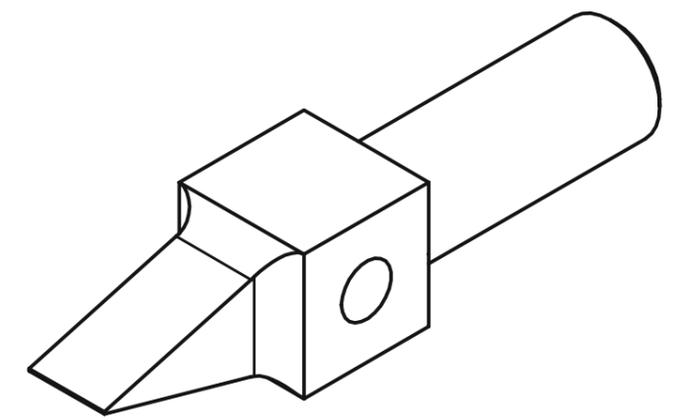


Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger	
TU-Graz		Dokumentenart Einzeltteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel Stempelaufnahme		0_2_5_21
Änd.	Ausgabedatum 10.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1	

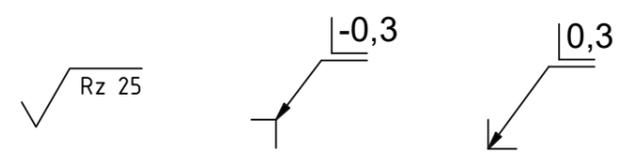
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
 The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



B-B (5 : 1)



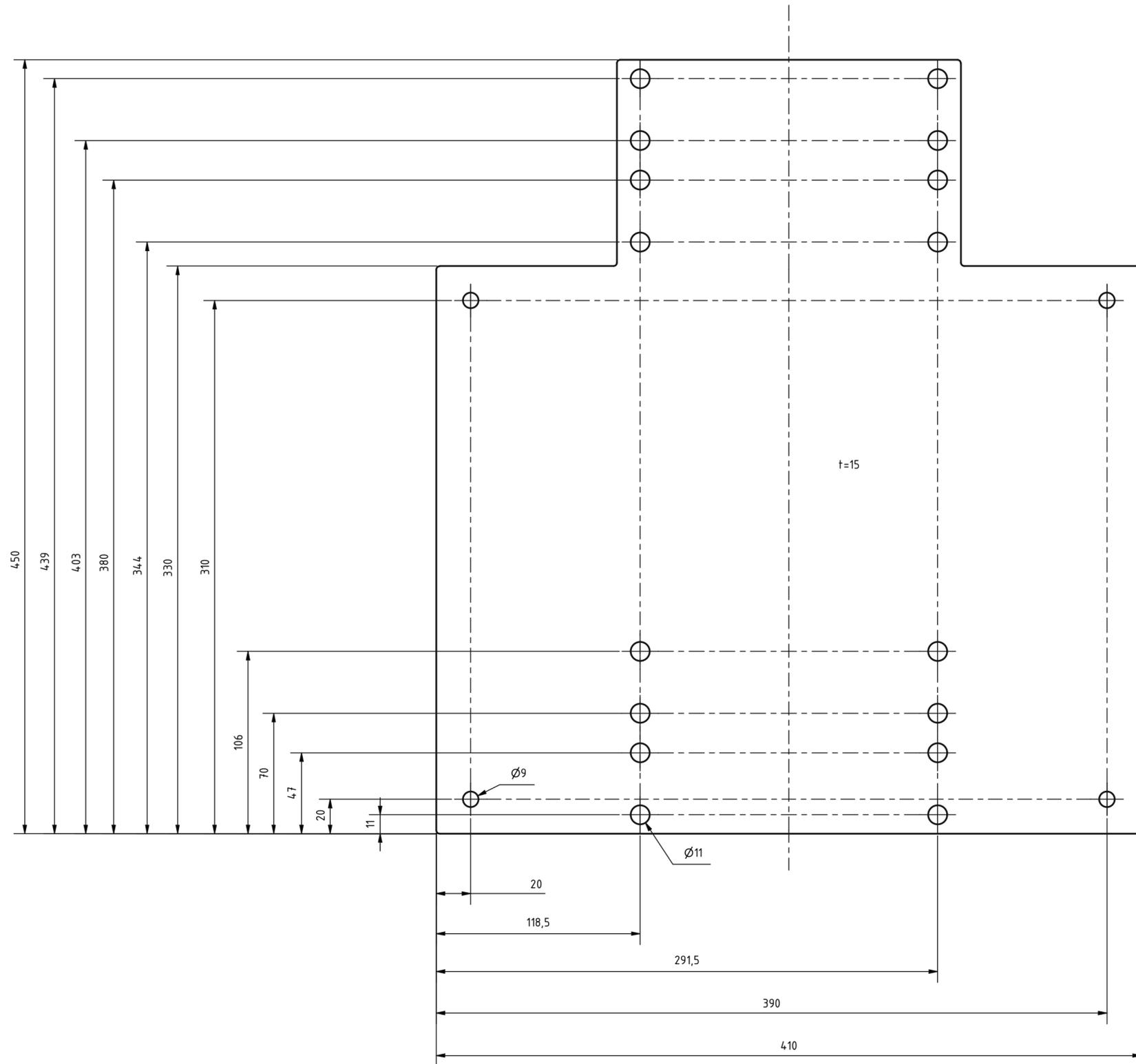
Werkstückkanten nach DIN ISO 13715
Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302
Werkstoff: EN 1.4571
Maßstab: 5:1



1 Stck.

Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger		
TU-Graz		Dokumentenart Einzerteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben		
		Titel, Zusätzlicher Titel Stempel	0_2_5_23		
	Änd.	Ausgabedatum 10.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1	

Baugruppe	Sachnummer d. Baugruppe	Stufe
Gondel	0_4_6	2
Zeichnungsname	Sachnummer	
Gondeldeckenplatte	0_4_6_3	3



nicht bemaßte Radien R2

Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

Werkstoff: EN-AW-5083

Maßstab: 1:2

$\sqrt{Rz\ 63}$

$\sqrt{0,3}$

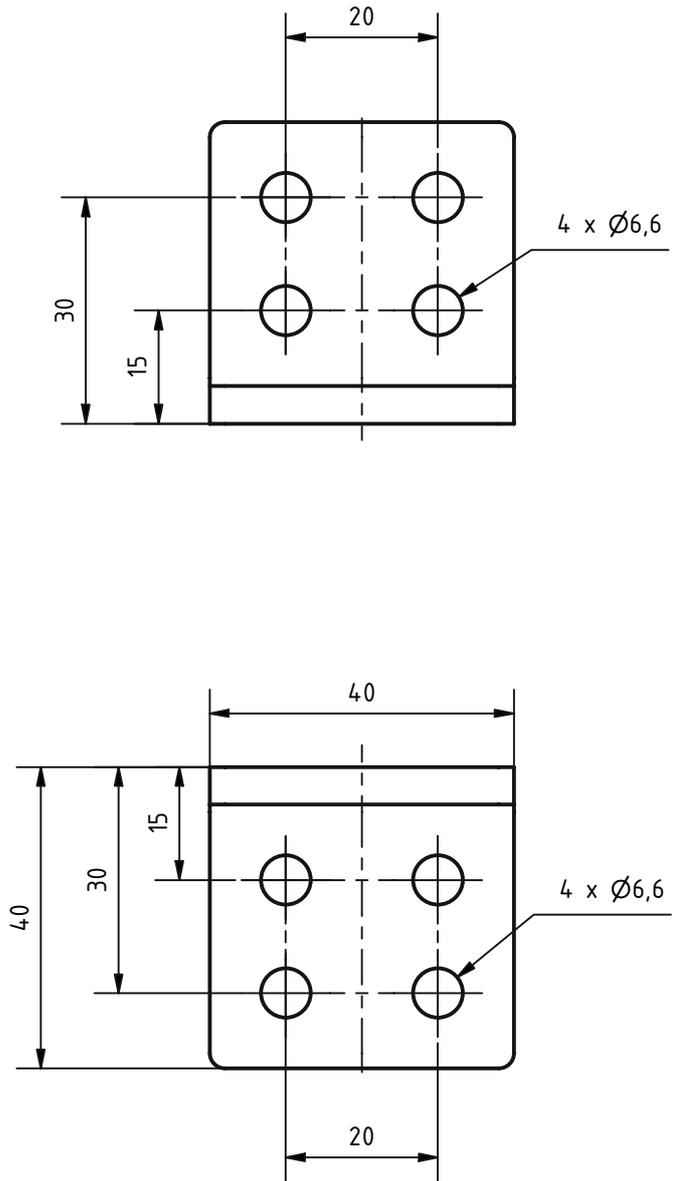
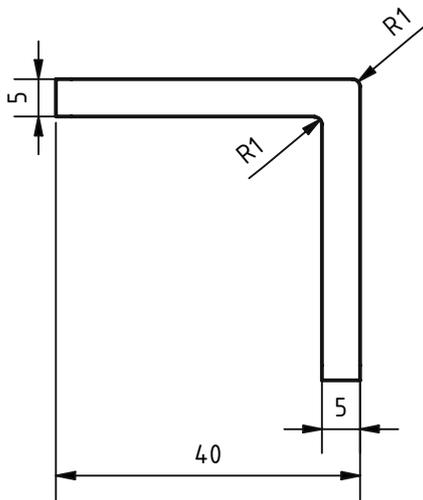
$\sqrt{0,3}$

1 Stck.



Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben
		Titel, Zusätzlicher Titel Gondeldeckenplatte	
Änd.	Ausgabedatum 10.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1

Baugruppe	Sachnummer d. Baugruppe	Stufe
Gondelpuffer	0_4_7	2
Zeichnungsname	Sachnummer	
Winkelprofil	0_4_7_0	3
Verbindungsprofil	0_4_7_2	3
Montageplatte	0_4_7_4	3



nicht bemaßte Radien R2

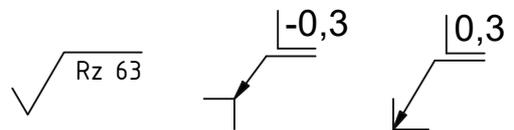
Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

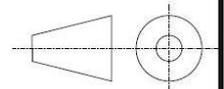
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

Werkstoff: EN-AW-5083

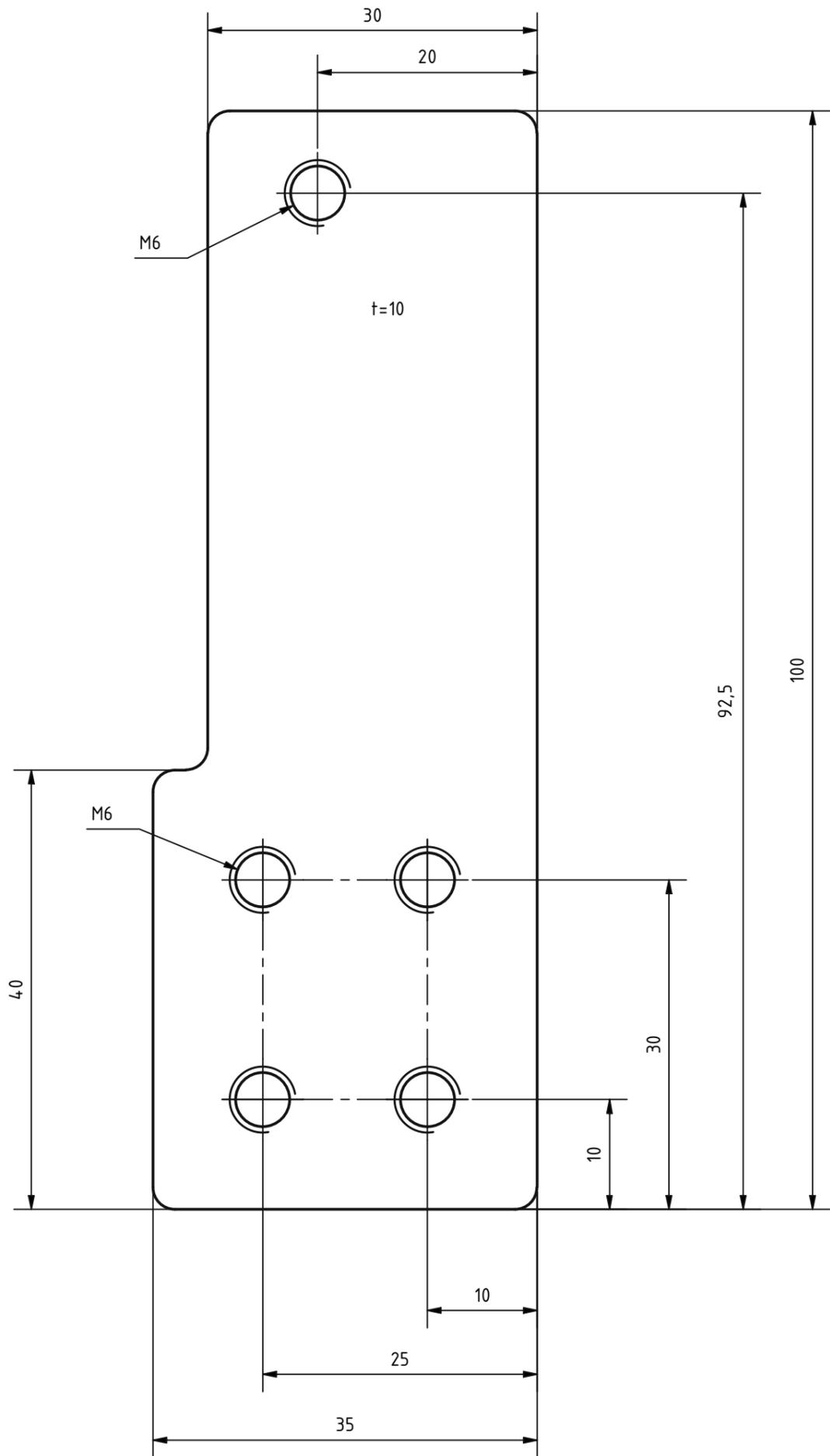
Maßstab: 1:1



1 Stck.



Verantw. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz L. Fellingner	Erstellt durch L. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger	
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel Verbindungswinkel		0_4_7_0
		Änd.	Ausgabedatum 10.11.2021	Spr. de
				Blatt 1/1



nicht bemaßte Radien R2

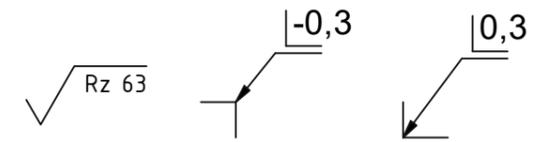
Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

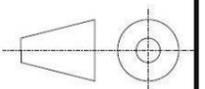
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

Werkstoff: EN-AW-5083

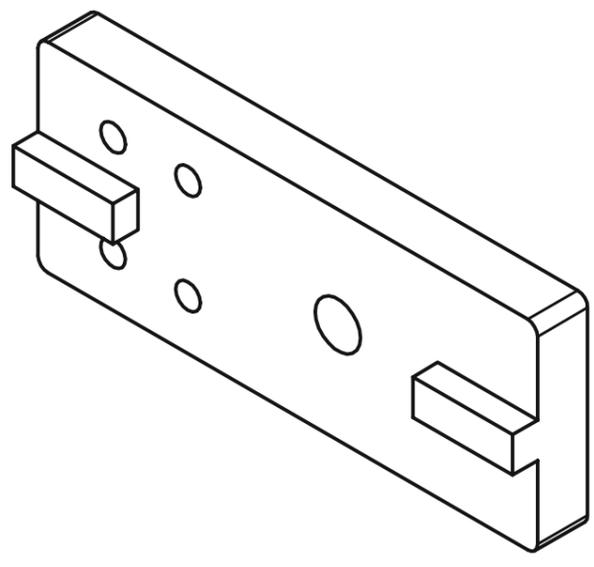
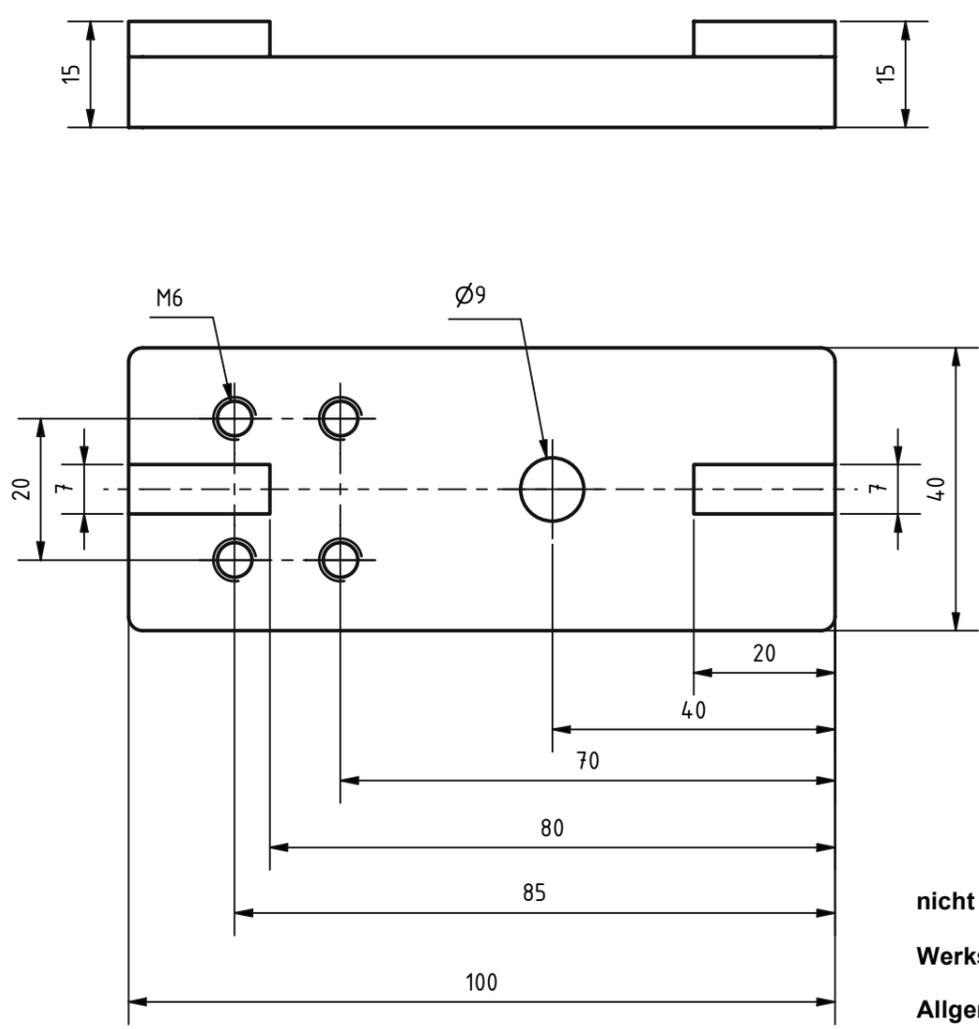
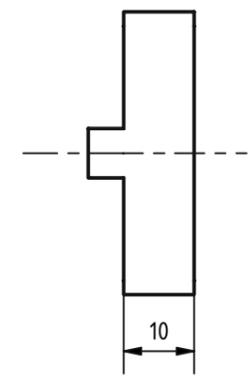
Maßstab: 2:1



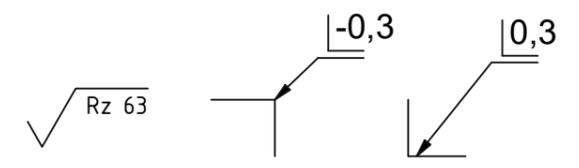
1 Stck.



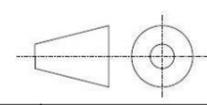
Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger		
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben		
		Titel, Zusätzlicher Titel Verbindungsprofil		0_4_7_2	
Änd.	Ausgabedatum 10.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1		



nicht bemaßte Radien R2
Werkstückkanten nach DIN ISO 13715
Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302
Werkstoff: EN-AW-5083
Maßstab: 1:1

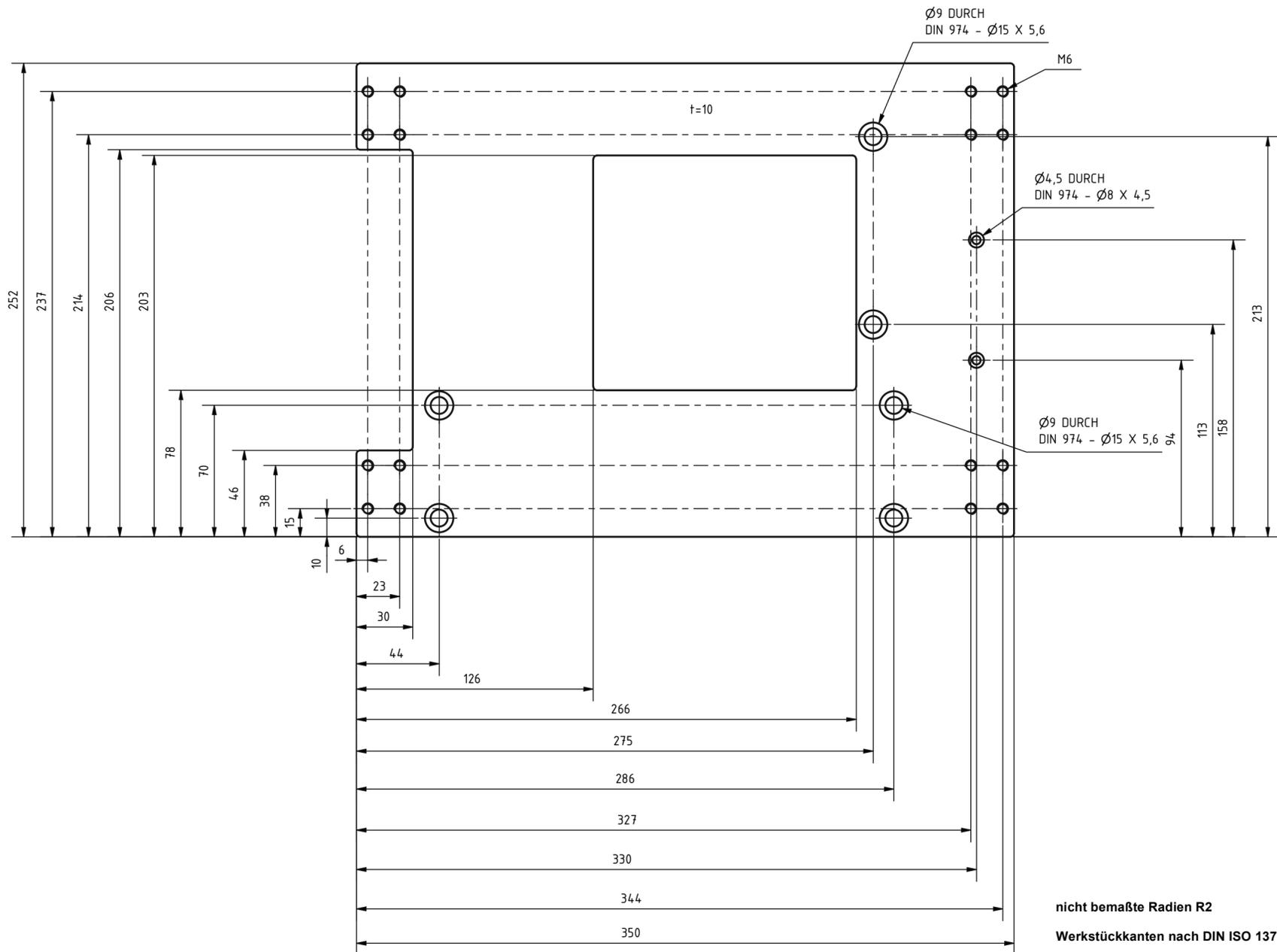


1 Stck.



Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger		
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben		
		Titel, Zusätzlicher Titel Montageplatte		0_4_7_4	
Änd.	Ausgabedatum 10.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1		

Baugruppe	Sachnummer d. Baugruppe	Stufe
Wagengestell	0_10_0	2
Zeichnungsname	Sachnummer	
Wagengrundplatte	0_10_0_0	3
Lagerverbindungswinkel	0_10_0_6	3



nicht bemaßte Radien R2

Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

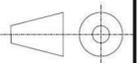
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

Werkstoff: EN-AW-5083

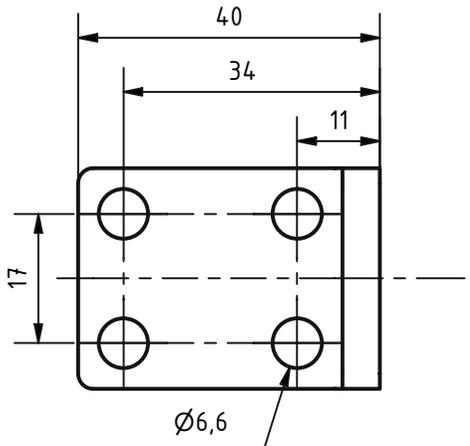
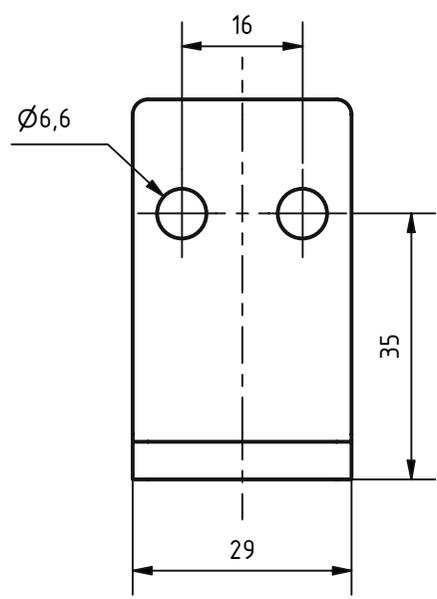
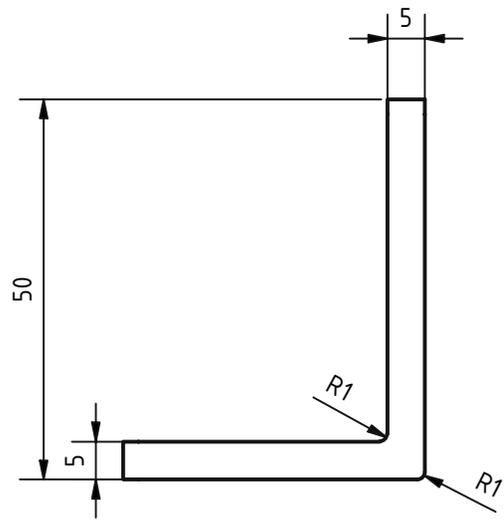
Maßstab: 1:2

$\sqrt{Rz\ 63}$
 $\sqrt{-0,3}$
 $\sqrt{0,3}$

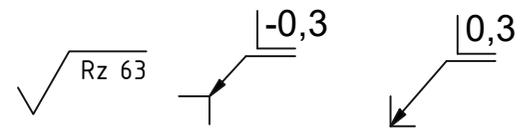
1 Stck.



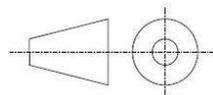
Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger	
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel Wagengrundplatte		0_10_0_0
Änd.	Ausgabedatum 11.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1	



nicht bemaßte Radien R2
Werkstückkanten nach DIN ISO 13715
Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302
Werkstoff: EN-AW-5083
Maßstab: 1:1

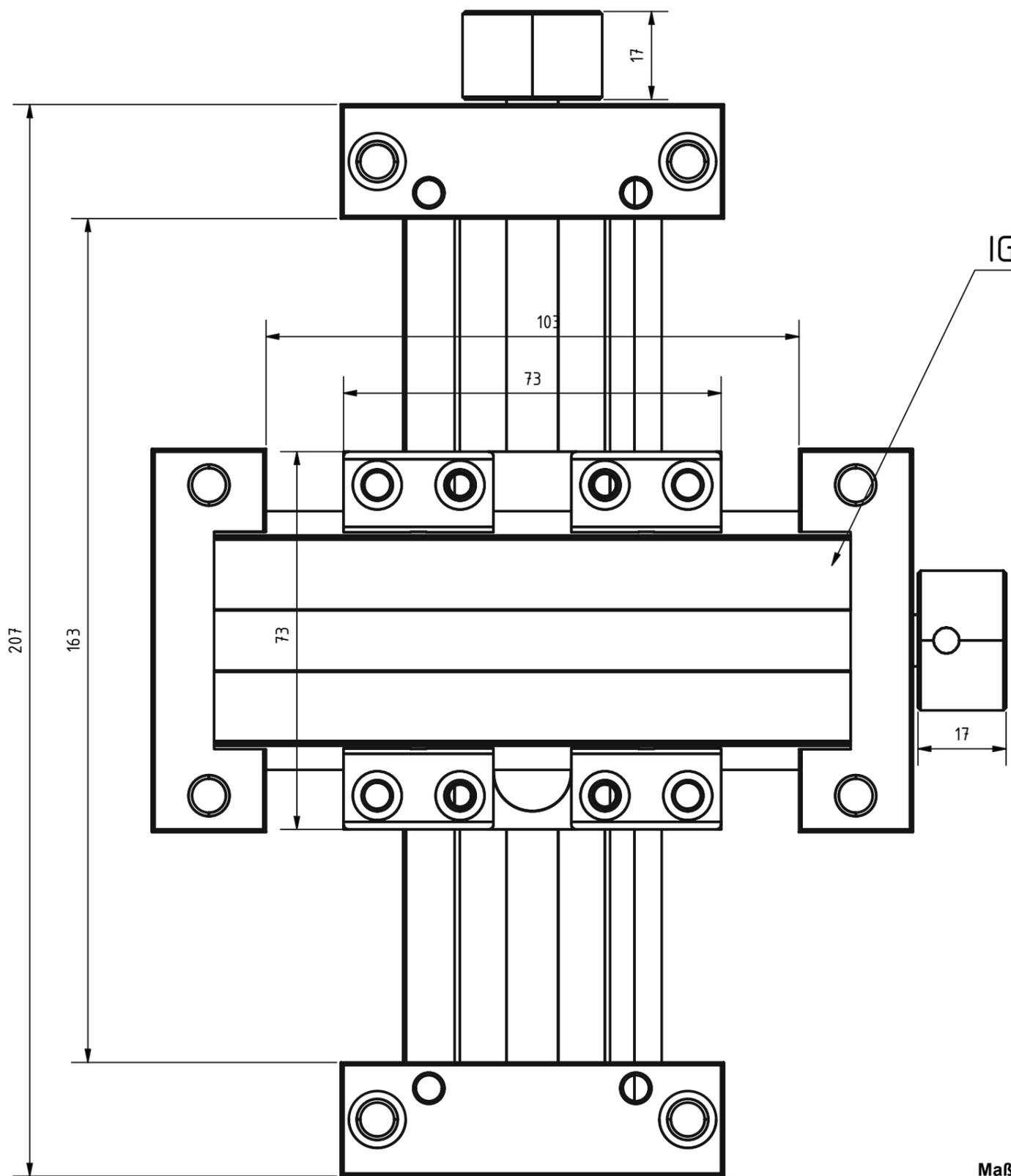


4 Stck.



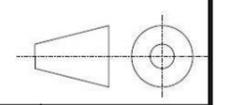
Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger	
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung		Dokumentenstatus freigegeben
		Titel, Zusätzlicher Titel Lagerverbindungswinkel		0_10_0_6
		Änd.	Ausgabedatum 11.11.2021	Spr. de

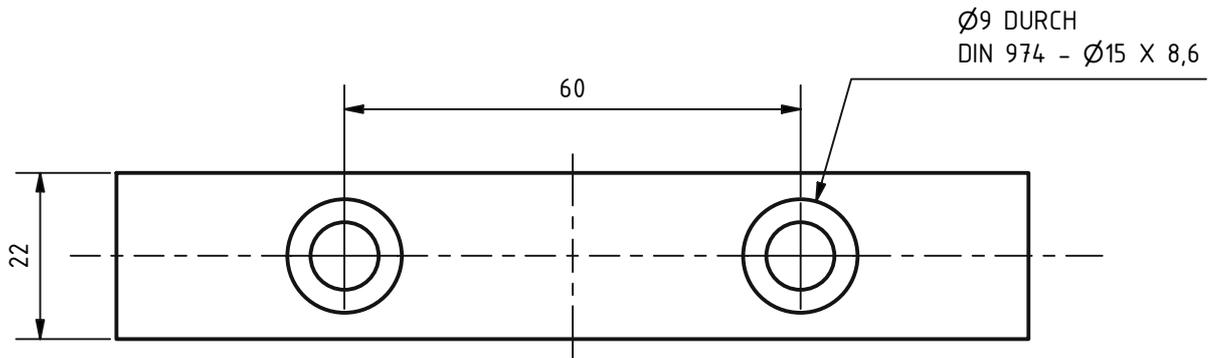
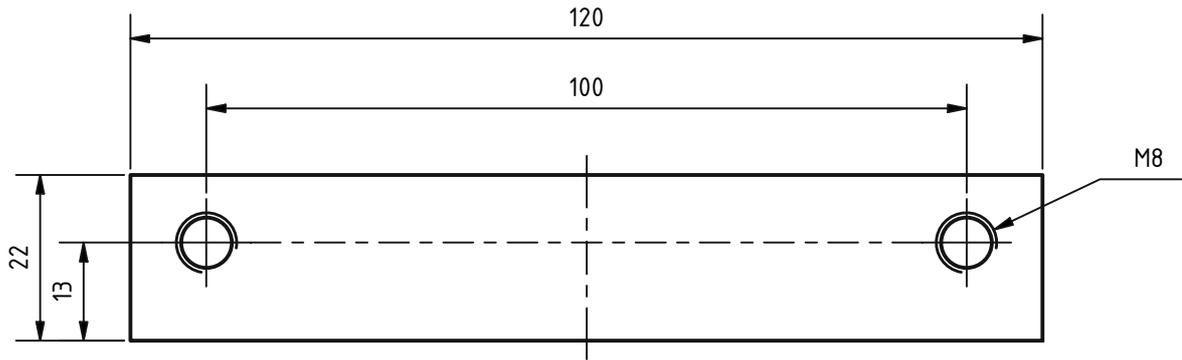
Baugruppe	Sachnummer d. Baugruppe	Stufe
Zweiachssystem	0_10_2	2
Zeichnungsname	Sachnummer	
Kreuztisch	0_10_2_0	3
Kreuztischadapterblock	0_10_2_2	3



Maßstab: 1:1

Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz L. Fellingner	Erstellt durch L. Fellingner	Genehmigt von	
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel Kreuztisch		0_10_2_0
Änd.	Ausgabedatum 26.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1	





Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

Werkstoff: EN 1.4571

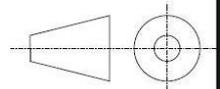
Maßstab: 1:1

$\sqrt{\text{Rz 25}}$

$\sqrt{\text{-0,3}}$

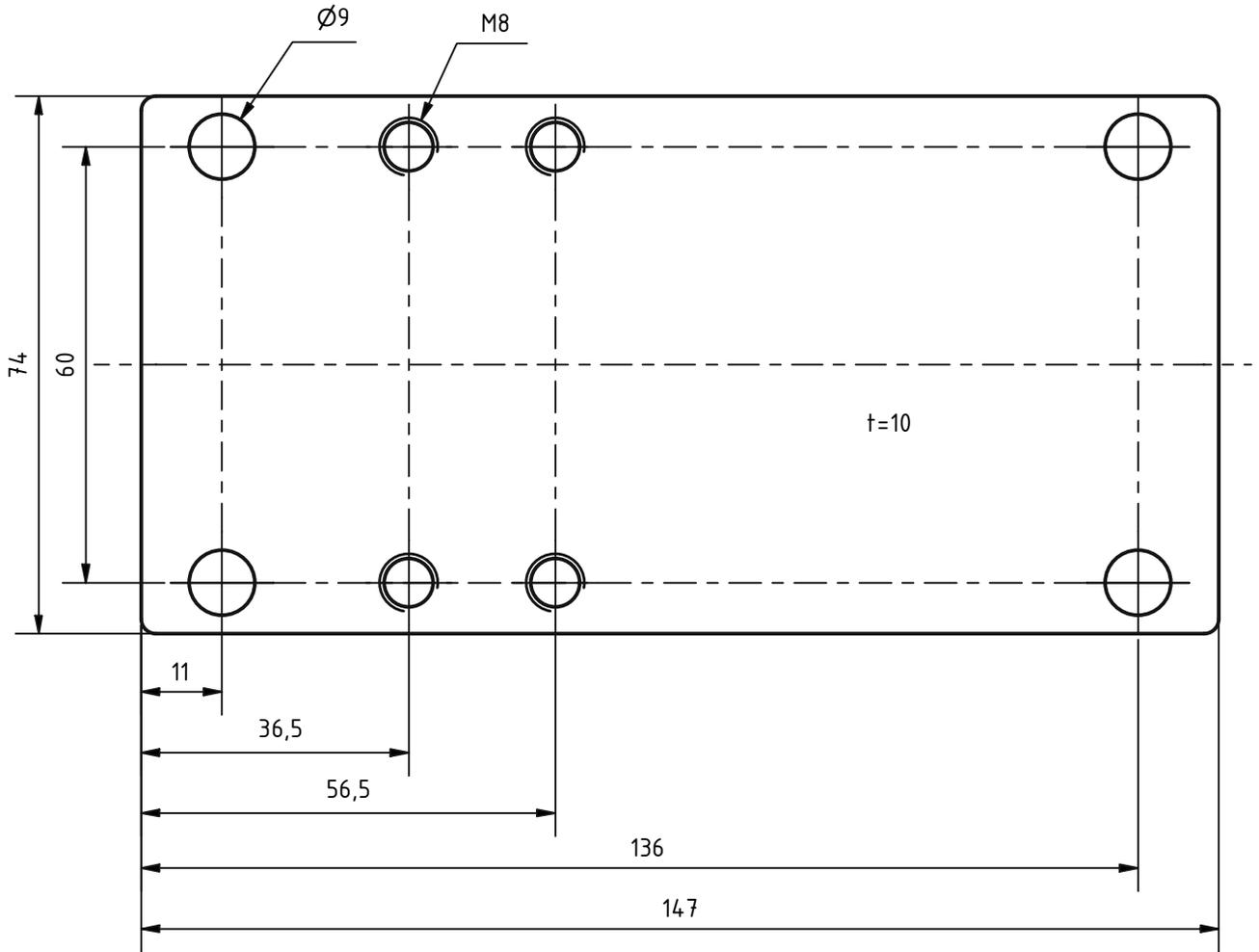
$\sqrt{\text{0,3}}$

1 Stck.



Verantw. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger	
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel Kreuztischadapterblock		0_10_2_2
		Änd.	Ausgabedatum 11.11.2021	Spr. de
				Blatt 1/1

Baugruppe	Sachnummer d. Baugruppe	Stufe
Kamerahalterung	0_10_4	2
Zeichnungsname	Sachnummer	
Kreuztischadapterplatte	0_10_4_0	3
Kreuztischverbindungsplatte	0_10_4_1	3
Kameraaufnahmewinkel	0_10_4_3	3
Kameraaufnahmeplatte	0_10_4_6	3
Gelenkkopf	0_10_4_9	3



nicht bemaßte Radien R2

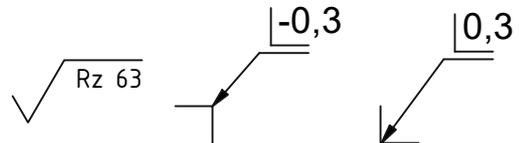
Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

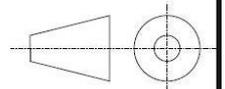
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

Werkstoff: EN-AW-5083

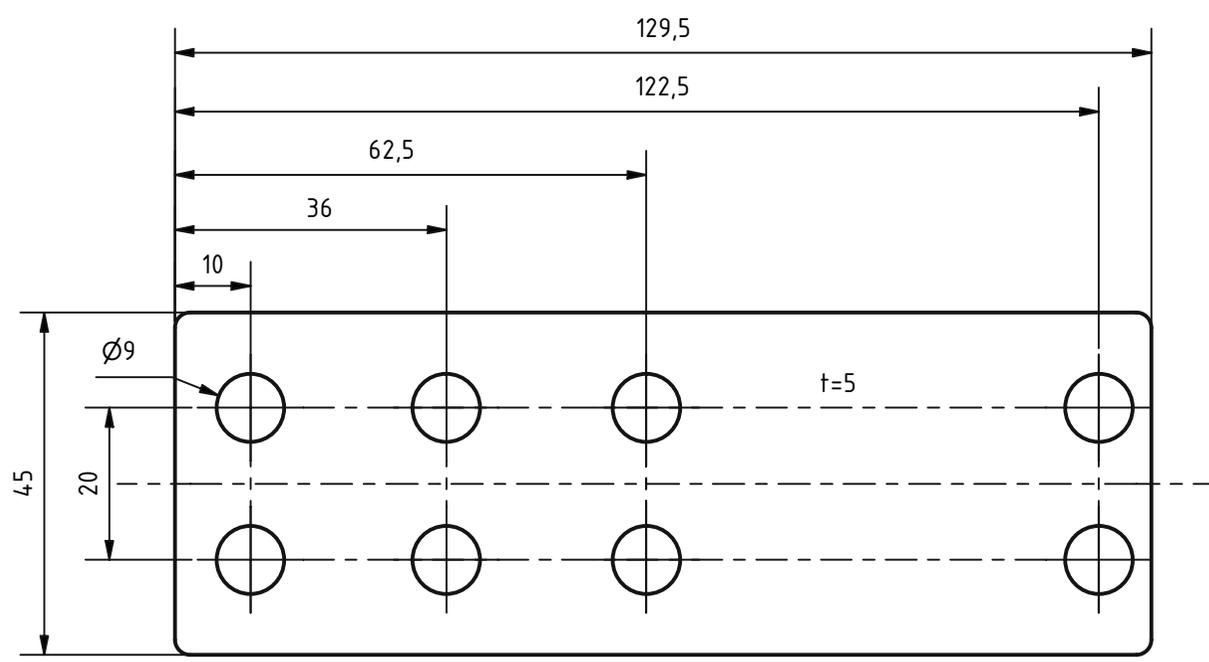
Maßstab: 1:1



1 Stck.



Verantw. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger	
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel Kreuztischadapterplatte		0_10_4_0
		Änd.	Ausgabedatum 11.11.2021	Spr. de
				Blatt 1/1



nicht bemaßte Radien R2

Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

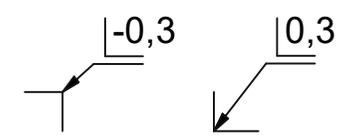
Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

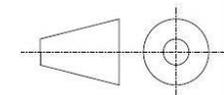
Werkstoff: EN-AW-5083

Maßstab: 1:1

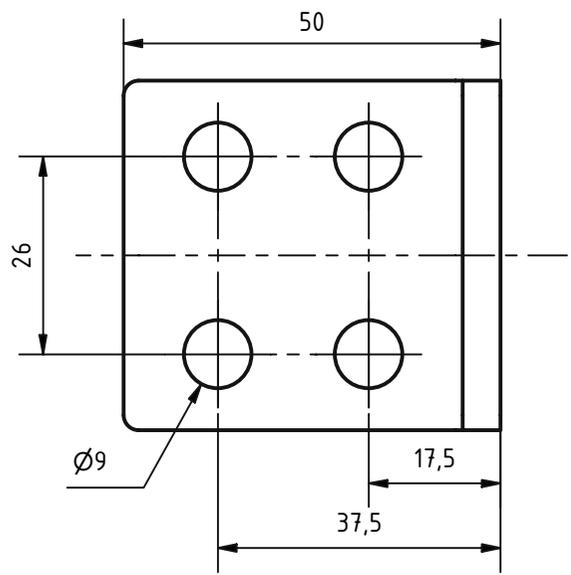
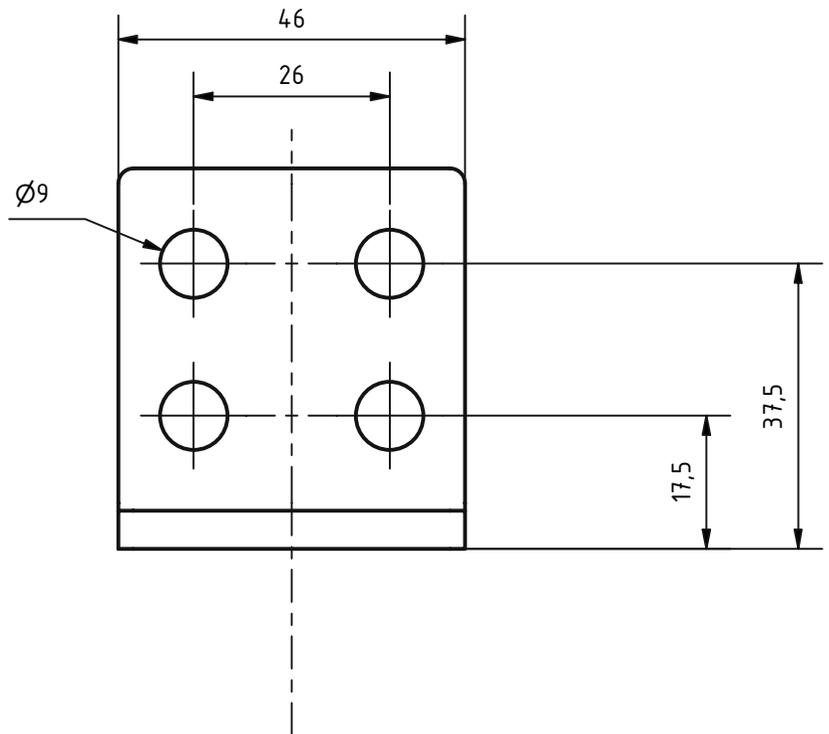
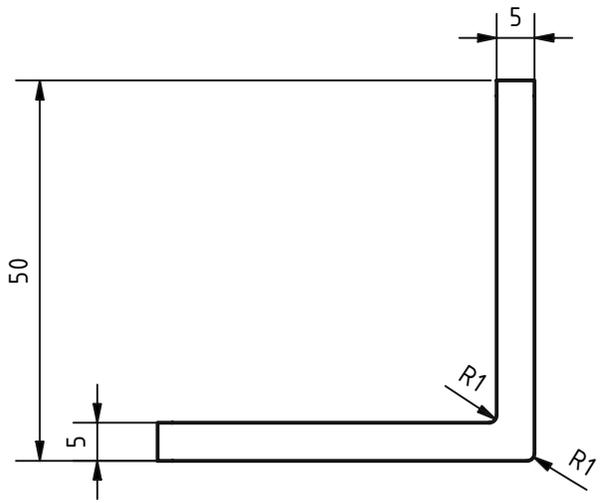
$\sqrt{\text{Rz 63}}$



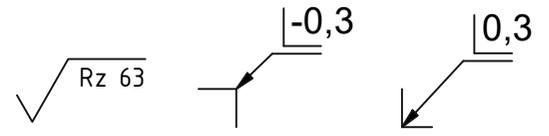
1 Stck.



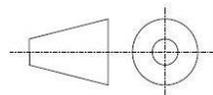
Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger	
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung		Dokumentenstatus freigegeben
		Titel, Zusätzlicher Titel Kreuztischverbindungsplatte		0_10_4_1
		Änd.	Ausgabedatum 11.11.2021	Spr. de
				Blatt 1/1



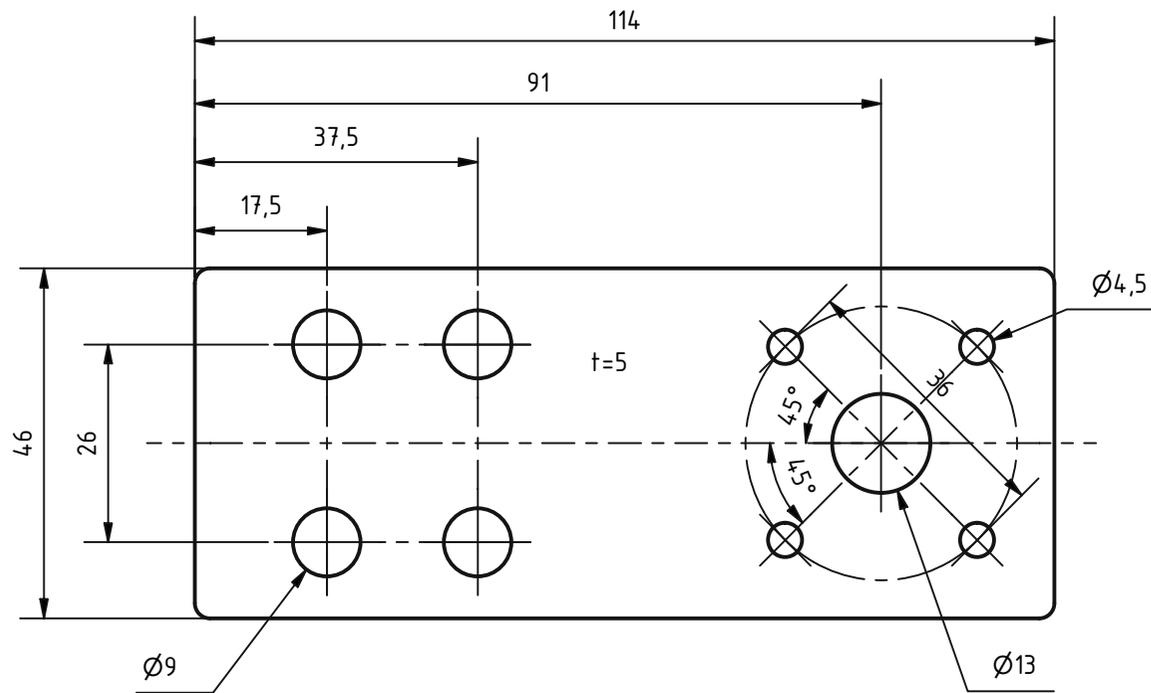
nicht bemaßte Radien R2
Werkstückkanten nach DIN ISO 13715
Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302
Werkstoff: EN-AW-5083
Maßstab: 1:1



1 Stck.



Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger	
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel Kameraaufnahmewinkel		0_10_4_3
	Änd.	Ausgabedatum 11.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1



nicht bemaßte Radien R2

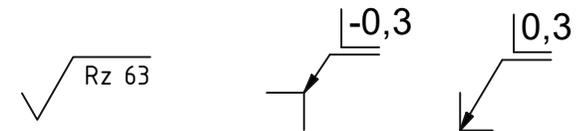
Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

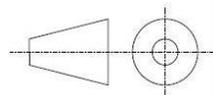
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

Werkstoff: EN-AW-5083

Maßstab: 1:1

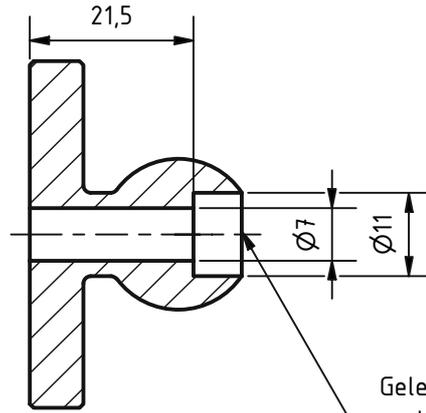
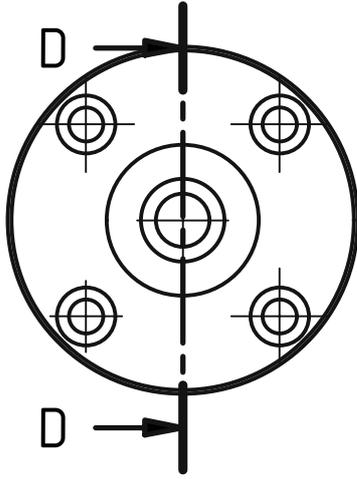


1 Stck.

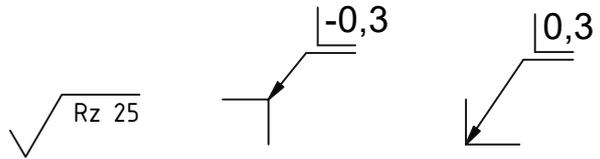
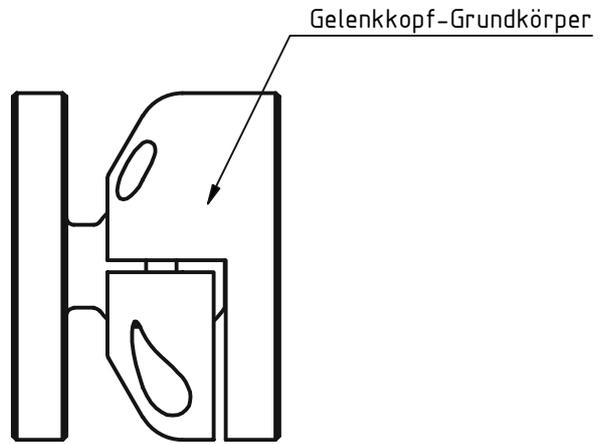
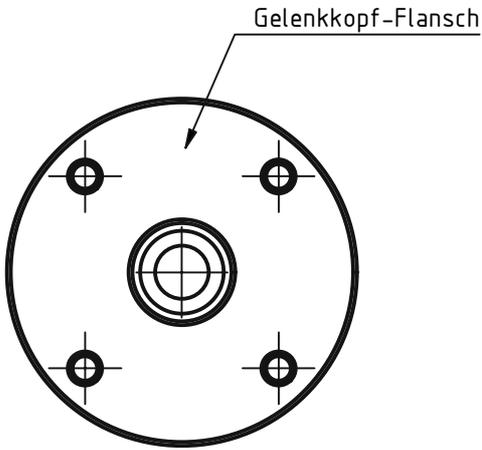


Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger	
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel Kameraaufnahmeplatte		0_10_4_6
		Änd.	Ausgabedatum 11.11.2021	Spr. de
				Blatt 1/1

D-D (1 : 1)



Gelenkkopf-Flansch
nachtraeglich aufgebohrt

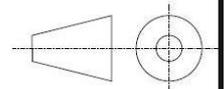


Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

Gelenkkopf Schwenkwinkel 30° klemmbar nachtraeglich aufbohren

Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

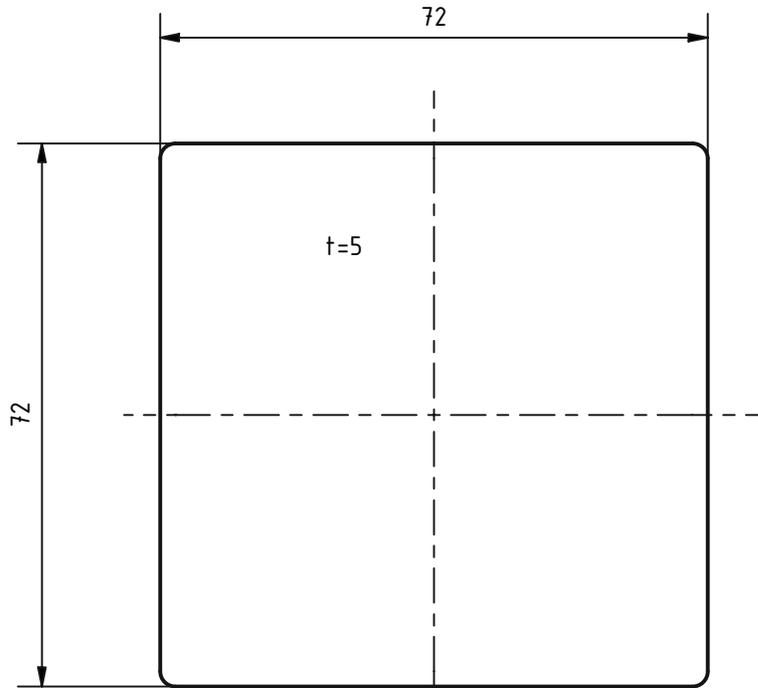
Maßstab: 2:1



Verantw. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger	
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung		Dokumentenstatus freigegeben
		Titel, Zusätzlicher Titel Gelenkkopf		0_10_4_9
		Änd.	Ausgabedatum 15.11.2021	Spr. de
				Blatt 1/1



Baugruppe	Sachnummer d. Baugruppe	Stufe
Spiegeleinheit	0_10_6	2
Zeichnungsname	Sachnummer	
Spiegel	0_10_6_0	3
Spiegelbefestigung	0_10_6_2	3
Spiegeladapter	0_10_6_5	3
Versteifung	0_10_6_9	3
Zwischenplatte	0_10_6_11	3
Griffhalterung	0_10_6_13	3

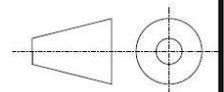


nicht bemaßte Radien R2

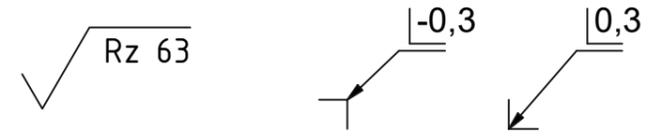
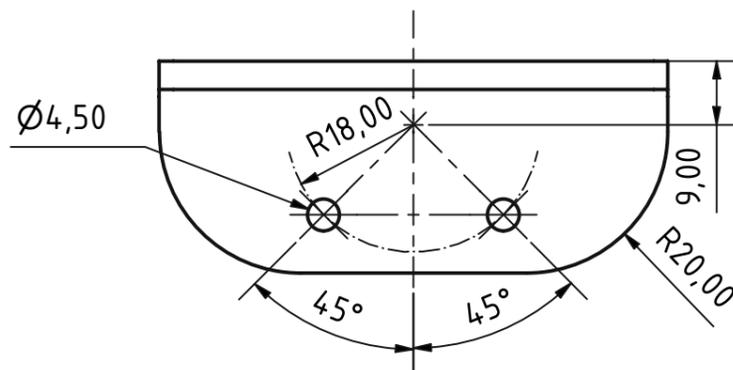
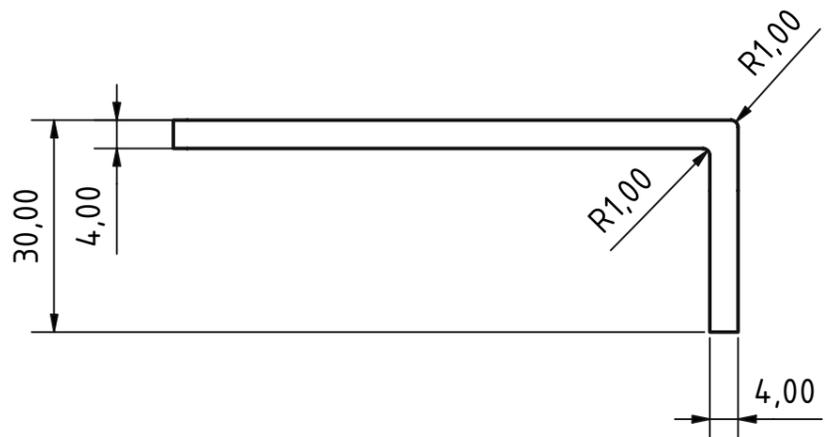
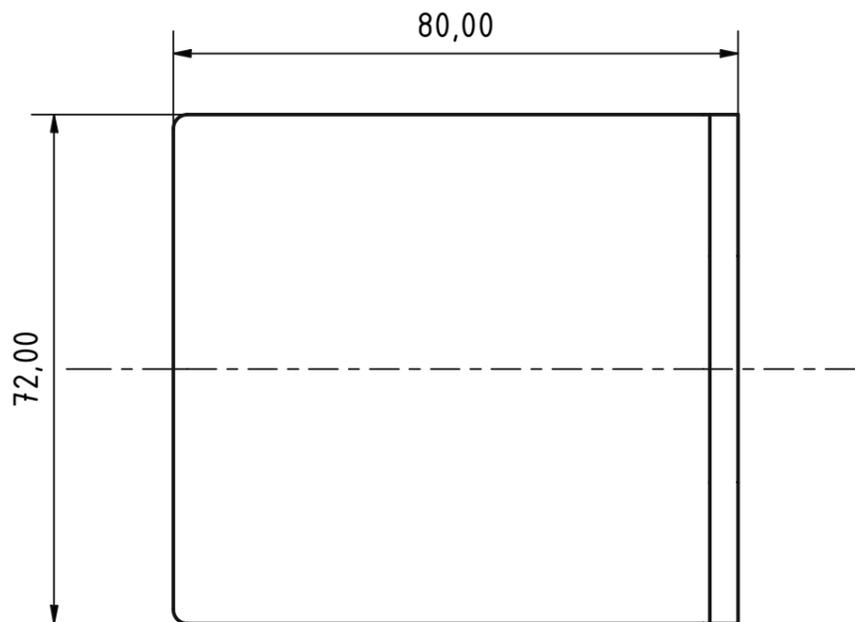
Werkstoff: beschichtetes Glas

Maßstab: 1:1

1 Stck.



Verantw. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger		
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben		
		Titel, Zusätzlicher Titel Spiegel	0_10_6_0		
		Änd.	Ausgabedatum 11.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1



nicht bemaßte Radien R2

Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

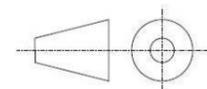
Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

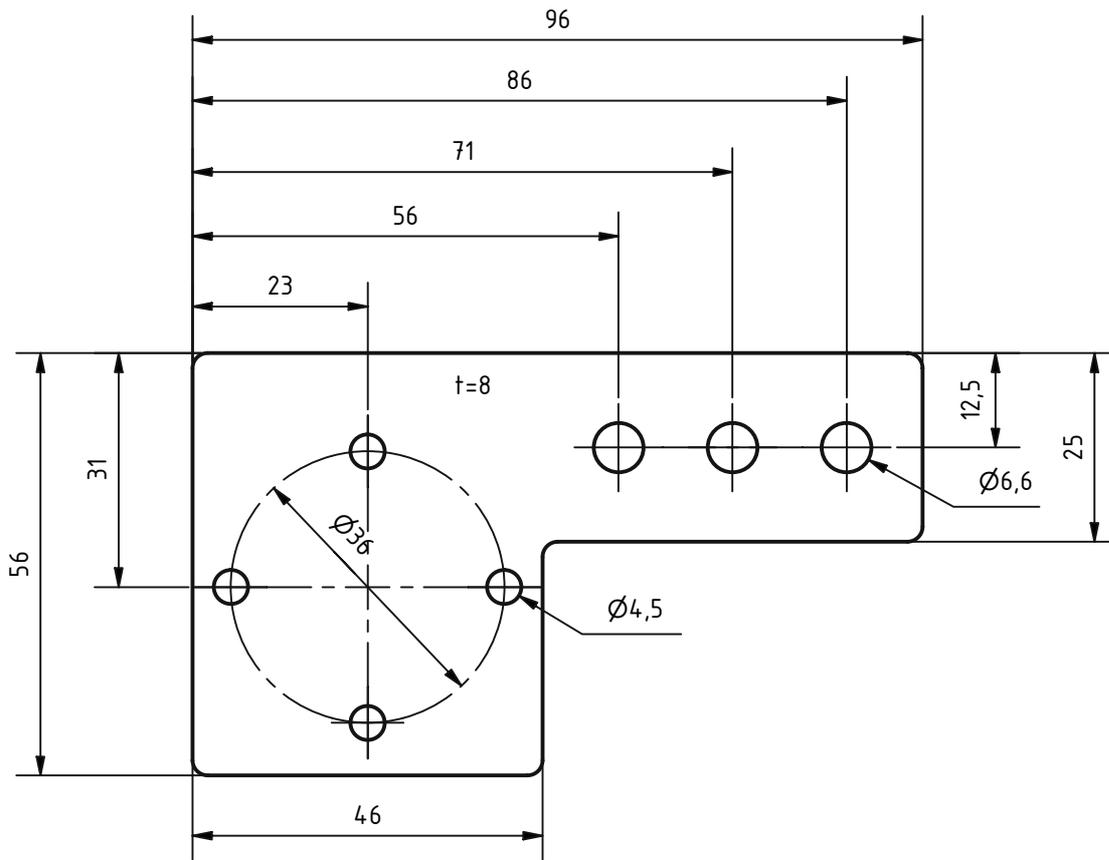
Werkstoff: EN-AW-5083

Maßstab: 1:1

1 Stck.



Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger	
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel Spiegelbefestigung		0_10_6_2
Änd.	Ausgabedatum 11.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1	



nicht bemaßte Radien R2

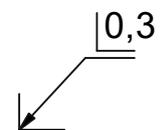
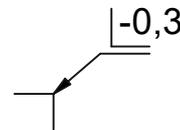
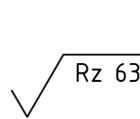
Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

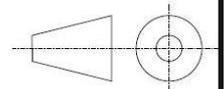
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

Werkstoff: EN-AW-5083

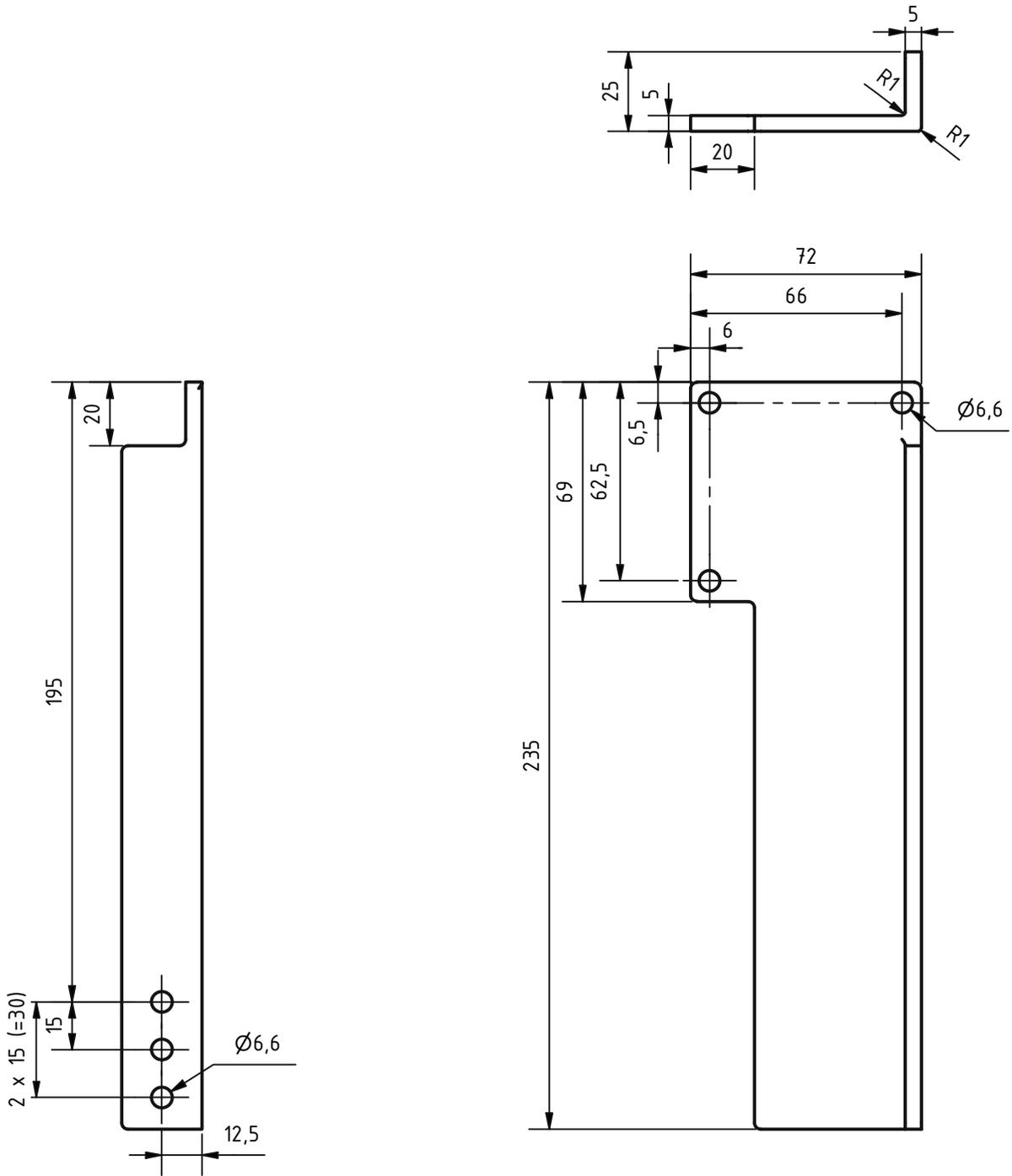
Maßstab: 1:1



1 Stck.



Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger	
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel Spiegeladapter		0_10_6_5
		Änd.	Ausgabedatum 11.11.2021	Spr. de
				Blatt 1/1



nicht bemaßte Radien R2

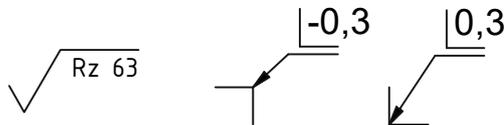
Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

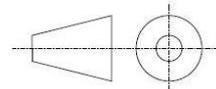
Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

Werkstoff: EN-AW-5083

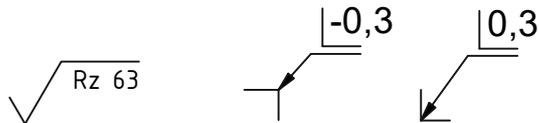
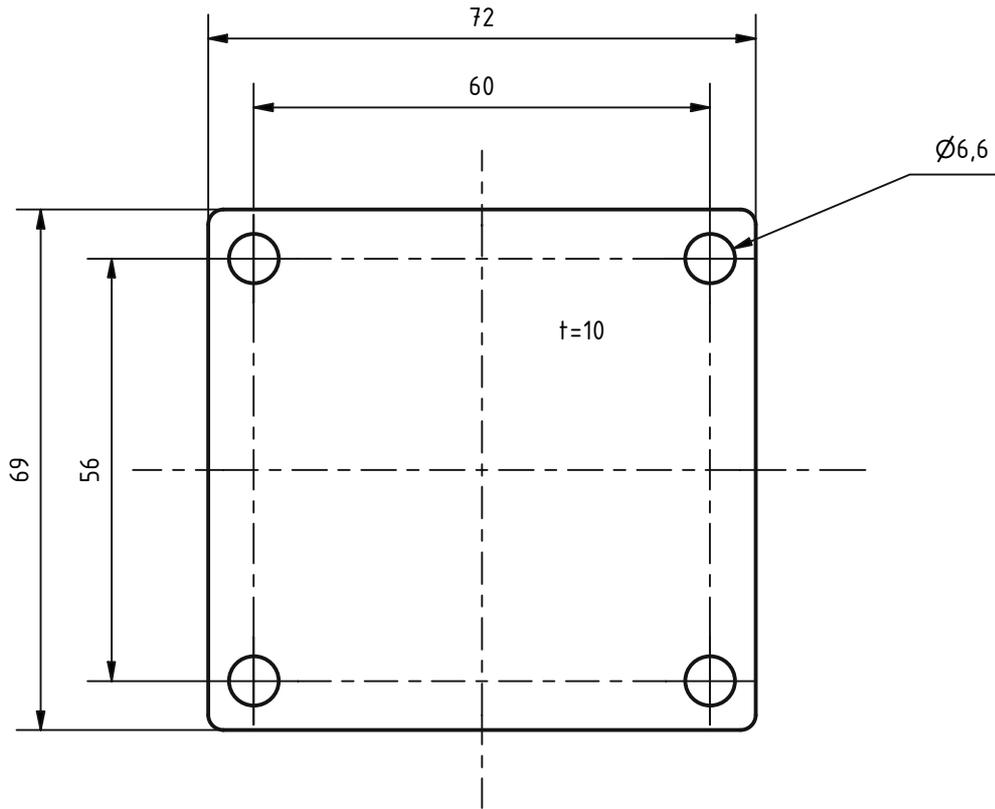
Maßstab: 1:1



1 Stck.



Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz L. Fellingner	Erstellt durch L. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger	
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel Versteifung		0_10_6_9
		Änd.	Ausgabedatum 11.11.2021	Spr. de
				Blatt 1/1



nicht bemaßte Radien R2

Werkstückkanten nach DIN ISO 13715

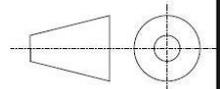
Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK

Oberflächen nach DIN EN ISO 1302

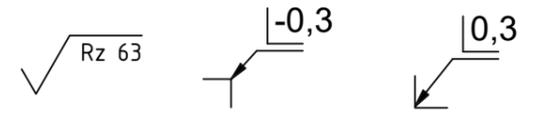
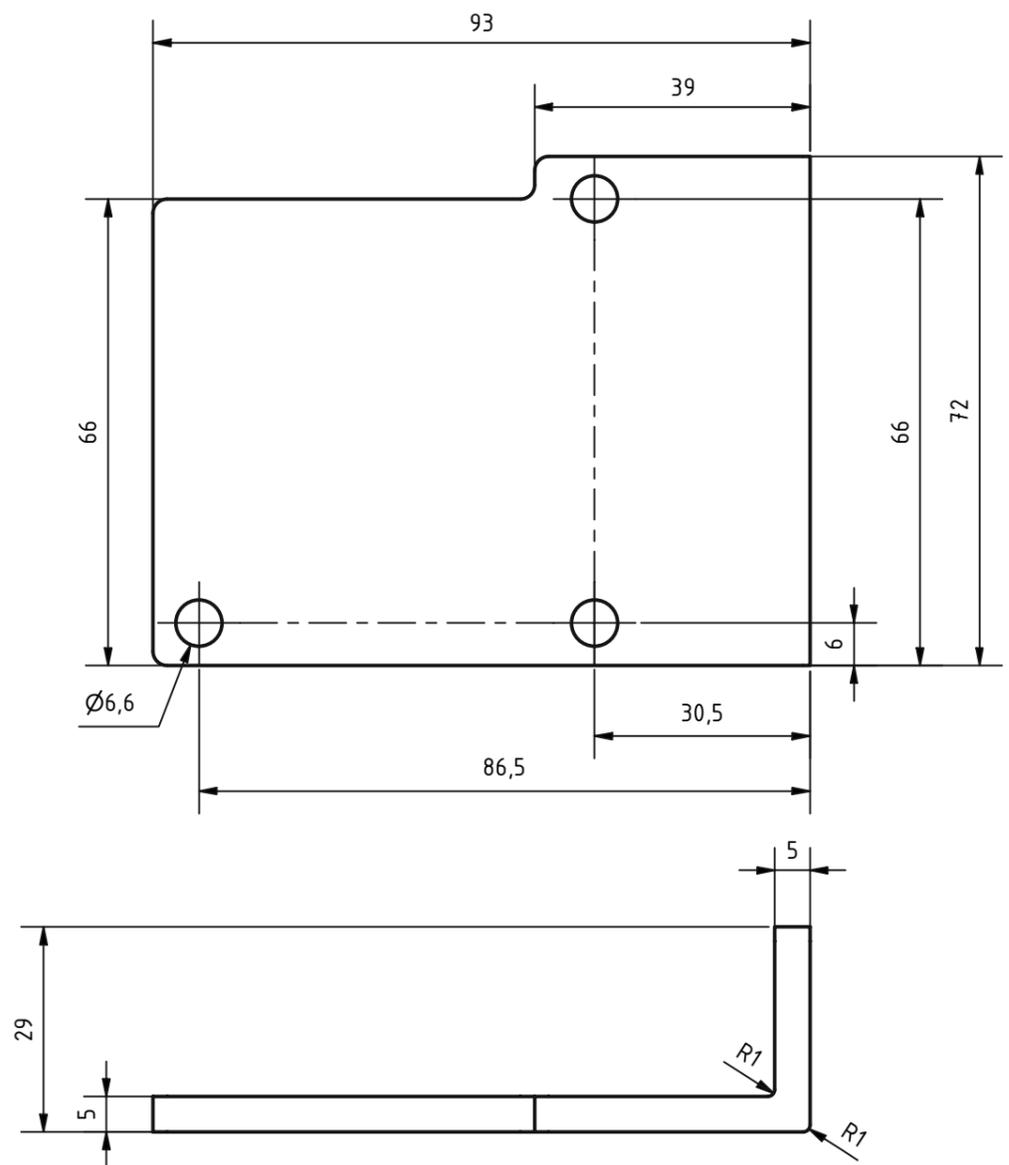
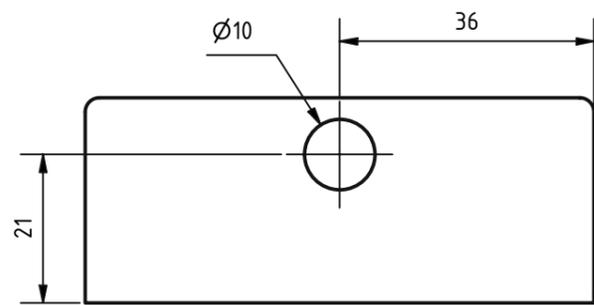
Werkstoff: EN-AW-5083

Maßstab: 1:1

1 Stck.

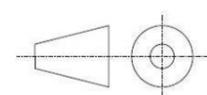


Verantw. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger	
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung	Dokumentenstatus freigegeben	
		Titel, Zusätzlicher Titel Zwischenplatte		0_10_6_11
		Änd.	Ausgabedatum 11.11.2021	Spr. de
				Blatt 1/1



nicht bemaßte Radien R2
 Werkstückkanten nach DIN ISO 13715
 Allgemeintoleranz nach DIN ISO 2768-mK
 Oberflächen nach DIN EN ISO 1302
 Werkstoff: EN-AW-5083
 Maßstab: 1:1

1 Stck.



Verantwortl. Abtlg. TU-Wien IKP	Technische Referenz G. Fellingner	Erstellt durch G. Fellingner	Genehmigt von D. Arzberger	
TU-Graz		Dokumentenart Einzelteilzeichnung		Dokumentenstatus freigegeben
		Titel, Zusätzlicher Titel Griffhalterung		0_10_6_13
Änd.	Ausgabedatum 11.11.2021	Spr. de	Blatt 1/1	