

# DIPLOMARBEIT

Gesamtprojekt

## Förderanlage - Verbindung von zwei Linearrobotern

**Teamkoordination, Konstruktion und Ausführung von pneumatisch angesteuerten Greifern, unter Verwendung vorhandener Komponenten, mit denen beide Linearroboter Übungsobjekte vom Bandförderer auf- und abgeben können**

Florian Ertl (fe)

5AHMBT

Betreuer:

DI Dr. Johannes Riezinger  
Dipl.-Päd. BEd Josef Hager

**Konstruktion und Ausführung eines Bandförderers zur Verknüpfung von zwei Linearrobotern, unter Verwendung vorhandener Komponenten**

Lukas Peterka (lp)

5AHMBT

Betreuer:

DI Dr. Johannes Riezinger  
Dipl.-Päd. BEd Josef Hager

**Konstruktion und Ausführung eines stabilen und unterfahrbaren Maschinengestells für einen dreiachsigen Raumportal Roboter der Firma Festo**

Florian Scheiner (fs)

5AHMBT

Betreuer:

DI Dr. Johannes Riezinger  
Dipl.-Päd. BEd Josef Hager

**Konstruktion und Ausführung einer Transportpalette inklusive Montage auf dem Bandförderer für den Transport von Testobjekten**

Lukas Teier (lt)

5AHMBT

Betreuer:

DI Dr. Johannes Riezinger  
Dipl.-Päd. BEd Josef Hager

ausgeführt im Schuljahr 2016/17

---

Abgabevermerk:

Datum: 31.03.2017

übernommen von:

## Eidesstattliche Erklärung

„Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.“

Verfasser/in

Florian Ertl (fe):

Wien, am 31.03.2017

Unterschrift

Verfasser/in

Lukas Peterka (lp):

Wien, am 31.03.2017

Unterschrift

Verfasser/in

Florian Scheiner (fs):

Wien, am 31.03.2017

Unterschrift

Verfasser/in

Lukas Teier (lt):

Wien, am 31.03.2017

Unterschrift

## Vorwort

Diese Arbeit widmen wir unseren Eltern, die unsere schulische Ausbildung ermöglicht und über all die Jahre mit viel Mitgefühl unterstützt haben.

Wir bedanken uns recht herzlich bei den Verantwortlichen unseres Kooperationspartners, dem Verein Practical Robotics Institute Austria, kurz PRIA, und im speziellen bei unserem Ansprechpartner, Herrn Prof. Mag. Erhard List BSc, der uns mit seinen Informationen sehr behilflich war.

Herzlichen Dank auch an unseren Betreuer, Herrn DI Dr. Johannes Riezinger, der für unsere Anliegen immer ein offenes Ohr hatte und uns sehr professionell zum Abschluss dieser Arbeit geführt hat.

Wir bedanken uns ebenfalls bei unserem Betreuer aus der Werkstätte, Herrn Fachlehrer Dipl.-Päd. BEd Josef Hager und seinen Kollegen Dipl.-Päd. BEd Christian Eisenhut, Dipl.-Päd. BEd Markus Halicki, Fachlehrer Harald Seidl und Dipl.-Päd. BEd Erich List die uns bei der Arbeitsvorbereitung und auch bei der Fertigung zur Seite gestanden sind. Auch sie hatten immer Zeit für unsere Anliegen.

Auch ein herzliches Dankeschön an alle anderen Lehrkräfte die uns bei diversen fachlichen Fragen mit Tipps und ihrer Erfahrung zu Hilfe kamen, und auch während der letzten Monate viel Verständnis für den großen Zeitaufwand unseres Projektes aufgebracht haben.

Ebenfalls ein großes Dankeschön an die Firma Frankstahl, die uns die Formrohre für unsere Diplomarbeit kostenlos zur Verfügung gestellt hat.

|  |  |
|--|--|
|  | HTBLVA Wien XX   |
|  | Fachrichtung: Maschinenbau<br>Ausbildungsschwerpunkt: Anlagentechnik |

## DIPLOMARBEIT DOKUMENTATION

|                           |  |
|---------------------------|--|
| Namen der Verfasser/innen | Florian Ertl (fe)<br>Lukas Peterka (lp)<br>Florian Scheiner (fs)<br>Lukas Teier (lt) |
| Jahrgang, Schuljahr       | 5AHMBT, 2016/17  |
| Thema der Diplomarbeit    | Förderanlage - Verbindung von zwei Linearrobotern                                    |
| Kooperationspartner       | PRIA Practical Robotics Institute Austria  |

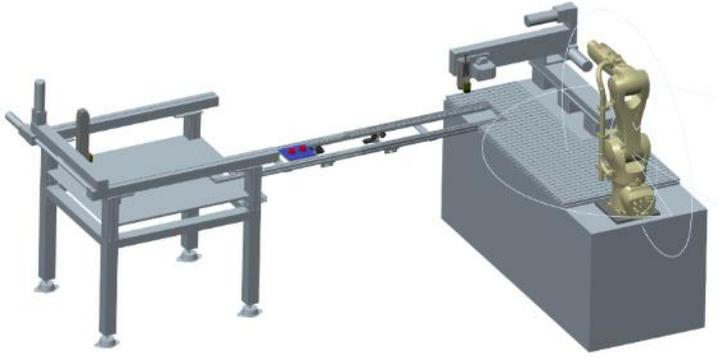
|                  |   |
|------------------|---|
| Aufgabenstellung | <p>Im Rahmen dieses Projektes sollen zwei Linearroboter im Labor des Auftraggebers mit einem Bandförderer verbunden werden. Mit einer eigens zu fertigenden Palette sollen damit Übungstücke von einem Roboter zum anderen transportiert werden. Zusätzlich müssen beide Linearroboter mit einem für die Übungstücke geeigneten Pneumatik-Greifer ausgerüstet werden. Dazu sind vorhandene Greifer mit Aufnahmen auszustatten. Damit das Förderband horizontal ausgeführt werden kann, muss das derzeitige Maschinengestell des Raumportalroboters der Firma Festo adaptiert oder ein neuer Tisch konstruiert und gebaut werden. Dieses Gestell soll zusätzlich die Durchfahrt von 500 mm hohen mobilen Robotern ermöglichen. Die gesamte Anlage ist mit einer einfachen Steuerung auszurüsten, sodass Übungstücke vom ersten Roboter über das Band zum zweiten Roboter umgeschlagen werden können.</p> |
|------------------|---|

|  |  |
|--|--|
|  | HTBLVA Wien XX   |
|  | Fachrichtung: Maschinenbau<br>Ausbildungsschwerpunkt: Anlagentechnik |

|              |   |
|--------------|---|
| Realisierung | <p>Nach dem Erheben des Ist-Zustandes durch die Besichtigung und einer Maßaufnahme des vorhandenen Aufbaus und der vorhandenen Anlagenteile, wurden die Baugruppen den einzelnen Teammitgliedern zugeteilt. Durch ein Treffen mit dem Auftraggeber und unserem Projektbetreuer wurden die Anforderungen festgelegt und im Lastenheft festgehalten. Mit Hilfe von Skizzen und Bewertungstabellen wurden Konzepte der einzelnen Baugruppen entwickelt und dann dreidimensional konstruiert. Danach wurde das erforderliche Material besorgt und die Teile sowohl gefertigt als auch zusammgebaut. Anschließend wurde die in enger Abstimmung mit dem Auftraggeber konzipierte Steuerung programmiert und realisiert. Zuletzt wurden noch mehrere Funktionstests der Förderanlage durchgeführt und überprüft, ob alle Anforderungen erfüllt sind. Die Übernahme der funktionstüchtigen Anlage hat der Auftraggeber mit einem Übernahmeprotokoll bestätigt.</p> |
|--------------|---|

|            |  |
|------------|--|
| Ergebnisse | <p>Es wurde eine Förderanlage konstruiert und gebaut, welche das Umschlagen von Übungsobjekten ermöglicht. Mit Hilfe dieser Anlage kann SchülerInnen der Aufbau einer Fertigungsstraße leicht verständlich gemacht werden. In weiterführenden Laborübungen können auch unterschiedliche Handhabungsaufgaben programmiert werden.</p> |
|------------|--|

|  |  |
|--|--|
|  | HTBLVA Wien XX   |
|  | Fachrichtung: Maschinenbau<br>Ausbildungsschwerpunkt: Anlagentechnik |

|   |  |
|---|--|
| Typische Grafik, Foto etc.<br>(mit Erläuterung) |  <p>Gesamtanlagenschaubild</p> |
|---|--|

|   |   |
|---|---|
| Möglichkeiten der<br>Einsichtnahme in die<br>Arbeit | ab ..... in der Verwaltungsadministration (Raum H425) |
|---|---|

|                                      |                 |  |
|--------------------------------------|-----------------|--|
| Approbation<br>(Datum, Unterschrift) | Prüfer/Prüferin | Direktor/Direktorin<br><br>Abteilungsvorstand/Abteilungsvorständin |
|--------------------------------------|-----------------|--|

|  |  |                        |
|--|--|------------------------|
|  | HTBLVA Wien XX<br>COLLEGE of ENGINEERING |                        |
|  | Department:                              | Mechanical Engineering |
|  | Educational focus:                       | Systems Engineering    |

## DIPLOMA THESIS DOCUMENTATION

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Author(s)             | Florian Ertl (fe)<br>Lukas Peterka (lp)<br>Florian Scheiner (fs)<br>Lukas Teier (lt) |
| Form<br>Academic year | 5AHMBT, 2016/17  |
| Topic                 | Förderanlage - Verbindung von zwei Linearrobotern                                    |
| Co-operation partners | PRIA Practical Robotics Institute Austria  |

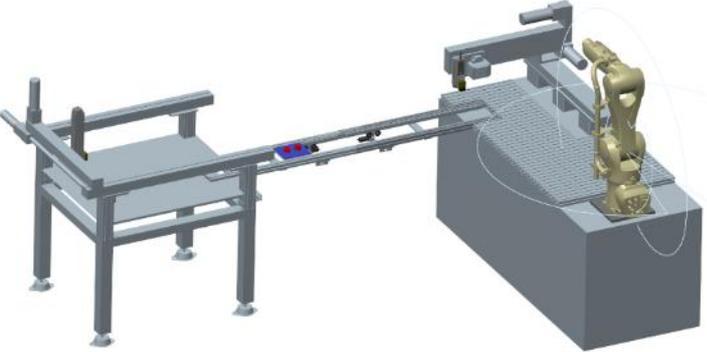
|                     |   |
|---------------------|---|
| Assignment of tasks | <p>As part of this project, two linear robots are to be connected with a belt conveyor in the laboratory of the customer. With a pallet specially designed for this purpose, test objects are supposed to be transported from one robot to another.</p> <p>Furthermore, both linear robots have to be fitted with pneumatic grippers, which are suitable for the test objects. Therefore, gripping parts are mounted on existing grippers. To ensure that the belt conveyor is operated horizontally, the existing machine frame of the Festo robot has to be adapted or redesigned and then constructed. This frame is also intended to allow a 500 mm high mobile robots to pass through. The entire system is to be equipped with a simple control so that test objects from the first robot can be turned over to the second.</p> |
|---------------------|---|

|  |                        |                        |
|--|------------------------|------------------------|
|  | HTBLVA Wien XX         |                        |
|  | COLLEGE of ENGINEERING |                        |
|  | Department:            | Mechanical Engineering |
|  | Educational focus:     | Systems Engineering    |

|             |  |
|-------------|--|
| Realisation | <p>After ascertaining the actual state by inspecting and measuring the existing structure and the existing parts of the system, the modules were assigned to the individual team members.</p> <p>Through a meeting with the client and our coordinator, the requirements were defined and recorded in the specification. By drawing sketches and evaluation tables, concepts of the components were developed and then designed in a 3D program. Afterwards, material was acquired and the parts were both manufactured and assembled.</p> <p>Subsequently, the control system, which was designed in close coordination with the customer, was programmed and implemented. Lastly, several functional tests of the conveyor system were carried out, as well as checks to determine whether all requirements had been met. The customer has confirmed the transfer of the operating plant with a transfer protocol.</p> |
|-------------|--|

|         |  |
|---------|--|
| Results | <p>A conveyor system has been designed and built which allows the transportation of test objects. It helps of, students to easily understand the structure of a production line in a factory and even learn and change things in the programming. In addition, different handling tasks can be programmed in further laboratory exercises.</p> |
|---------|--|

|  |  |                        |
|--|--|------------------------|
|  | HTBLVA Wien XX<br>COLLEGE of ENGINEERING |                        |
|  | Department:                              | Mechanical Engineering |
|  | Educational focus:                       | Systems Engineering    |

|  |  |
|--|--|
| Illustrative graph, photo<br>(incl. explanation) |  |
|  | Picture of the whole system assembled  |

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| Accessibility of diploma thesis | The diploma thesis can be inspected in the administration office of the department (room H425) from .....2017 |
|---------------------------------|---|

|                               |          |                    |
|-------------------------------|----------|--------------------|
| Approval<br>(date /signature) | Examiner | Head of College    |
|                               |          | Head of Department |

## Inhaltsverzeichnis

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Einleitung (fe, lp, fs, lt) .....                                | 17 |
| 1.1   | Aufgabenstellung .....   | 17 |
| 1.2   | Zielsetzung .....  | 18 |
| 2     | Projektorganisation und Planung (fe, lp, fs, lp) .....           | 18 |
| 2.1   | Projektteam .....  | 20 |
| 2.1.1 | Florian Ertl (fe) .....  | 20 |
| 2.1.2 | Lukas Peterka (lp) .....   | 20 |
| 2.1.3 | Florian Scheiner (fs) .....                                      | 21 |
| 2.1.4 | Lukas Teier (lt) .....   | 21 |
| 2.2   | Projektbetreuer (fe) .....                                       | 21 |
| 2.3   | Kooperationspartner (lt) .....                                   | 21 |
| 2.3.1 | Auftraggeber .....   | 21 |
| 2.4   | Lastenheft (fe, lp, fs, lt) .....                                | 22 |
| 2.4.1 | Einführung (lt) .....  | 22 |
| 2.4.2 | Phasenplan (fs) .....  | 22 |
| 2.4.3 | Ist-Zustand (lp) .....   | 23 |
| 2.4.4 | Soll-Zustand (fe) .....  | 23 |
| 2.4.5 | Dokumentation .....  | 24 |
| 2.5   | Kooperationsvereinbarung (Prof. Riezinger, fe, lp, fs, lt) ..... | 25 |
| 2.6   | Realisierungsstudie (fe, lp, fs, lt) .....                       | 26 |
| 2.6.1 | Realisierungsstudie für das gesamte Projekt (fe, lt) .....       | 27 |
| 2.6.2 | Realisierungsstudie Florian Ertl (fe) .....                      | 28 |
| 2.6.3 | Realisierungsstudie Lukas Peterka (lp) .....                     | 29 |
| 2.6.4 | Realisierungsstudie Florian Scheiner (fs) .....                  | 30 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 2.6.5 | Realisierungsstudie Lukas Teier (lt) .....                | 31 |
| 2.7   | Zusammenarbeit und Kommunikation .....                    | 32 |
| 2.7.1 | Kommunikation im Team (fe) .....                          | 32 |
| 2.7.2 | Kommunikation mit dem Projektbetreuer (fs).....           | 32 |
| 2.7.3 | Meilensteine .....  | 33 |
| 2.8   | Tätigkeitsbericht (lp).....                               | 34 |
| 2.8.1 | Tätigkeitsbericht Zusammenfassung .....                   | 34 |
| 2.8.2 | Eingabe Tätigkeitsbericht .....                           | 35 |
| 2.8.3 | Grafik .....  | 35 |
| 2.8.4 | Zeitaufwand-Grafik.....                                   | 36 |
| 2.8.5 | Leistungsgrafik .....                                     | 37 |
| 2.9   | Werkstättenlogbuch (lt) .....                             | 38 |
| 2.10  | Projektstagebuch (fs).....                                | 39 |
| 2.11  | Qualitätssicherung und Controlling (fe, lp, fs, lt) ..... | 40 |
| 3     | Konzeptentwicklung (fe, lp, fs, lt).....                  | 41 |
| 3.1   | Einleitung.....   | 41 |
| 3.2   | Abstrahieren der Problemstellung.....                     | 41 |
| 4     | Literaturrecherche.....                                   | 42 |
| 4.1   | Literaturrecherche Pneumatik (fe) .....                   | 42 |
| 4.1.1 | SCHUNK Parallelgreifer .....                              | 42 |
| 4.1.2 | Ventilinseln .....  | 42 |
| 4.1.3 | Ventile.....  | 43 |
| 4.1.4 | Doppeltwirkende Zylinder .....                            | 43 |
| 4.2   | Literaturrecherche Förderband (lp).....                   | 44 |
| 4.2.1 | Förderhöhe .....  | 45 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.2.2 | Zahnriemen .....                                       | 45 |
| 4.2.3 | Antriebsmotor .....                                    | 47 |
| 4.3   | Literaturrecherche Maschinengestelle (fs).....         | 49 |
| 4.3.1 | Definition .....                                       | 49 |
| 4.3.2 | Anforderungen an das Gestell.....                      | 49 |
| 4.3.3 | Gestellbauarten .....                                  | 50 |
| 4.3.4 | Anforderungen an Gestellwerkstoffe .....               | 50 |
| 4.3.5 | Belastungen auf das Gestell .....                      | 53 |
| 4.3.6 | Charakteristische Eigenschwingungen des Gestells ..... | 54 |
| 4.4   | Literaturrecherche Palette (lt) .....                  | 55 |
| 4.4.1 | Definition .....                                       | 55 |
| 4.4.2 | Anforderungen unserer Palette .....                    | 55 |
| 4.4.3 | Palettenbauarten .....                                 | 56 |
| 4.4.4 | Bewertung von Lösungsvarianten.....                    | 58 |
| 4.4.5 | Vergleich der Lösungsvarianten .....                   | 59 |
| 4.4.6 | Kombination von Lösungen.....                          | 59 |
| 5     | Konzeptfindung .....                                   | 60 |
| 5.1   | Instandsetzung Bandförderer (lp) .....                 | 60 |
| 5.1.1 | Ist-Zustand Bandförderer .....                         | 60 |
| 5.1.2 | Konzepte für den neuen Riementrieb .....               | 62 |
| 5.1.3 | Bewertung der Konzepte.....                            | 65 |
| 5.1.4 | Auswahl eines Konzepts und Begründung .....            | 66 |
| 5.2   | Neukonstruktion Maschinengestell (fs) .....            | 66 |
| 5.2.1 | Stahlkonstruktion (Variante 1).....                    | 66 |
| 5.2.2 | Aluminiumprofil Konstruktion (Variante 2).....         | 68 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 5.2.3 | Mischkonstruktion (Stahl/Aluminium) (Variante 3) .....  | 70 |
| 5.2.4 | Bewertung der Gestellkonstruktionen.....                | 72 |
| 6     | Entwerfen.....  | 74 |
| 6.1   | Testobjekte (fe) .....                                  | 74 |
| 6.2   | Greiferfinger (fe).....                                 | 74 |
| 6.2.1 | Festlegung der Abmessungen .....                        | 75 |
| 6.2.2 | Werkstoffauswahl und Fertigungsverfahren.....           | 75 |
| 6.2.3 | Auslegung .....   | 76 |
| 6.2.4 | Versionen .....   | 76 |
| 6.3   | Adapterplatte für die Greifer (fe).....                 | 77 |
| 6.3.1 | Festlegung der Abmessungen .....                        | 78 |
| 6.3.2 | Werkstoffauswahl .....                                  | 78 |
| 6.4   | Elektronischer und Pneumatischer Schaltkasten (fe)..... | 78 |
| 6.4.1 | Elektronische Steuerung .....                           | 78 |
| 6.4.2 | Pneumatische Steuerung .....                            | 79 |
| 6.5   | Auswahl von Zukaufteilen (fe) .....                     | 79 |
| 6.6   | Bandförderer (lp) .....                                 | 79 |
| 6.6.1 | Festlegung der Abmessungen .....                        | 79 |
| 6.6.2 | Werkstoffauswahl .....                                  | 80 |
| 6.6.3 | Auslegung des Zahnriemenförderers .....                 | 80 |
| 6.6.4 | Auswahl von Zukaufteilen .....                          | 80 |
| 6.7   | Maschinengestell (fs) .....                             | 80 |
| 6.7.1 | Festlegung der Abmessungen .....                        | 80 |
| 6.7.2 | Werkstoffauswahl .....                                  | 81 |
| 6.7.3 | Auslegung .....   | 81 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 6.7.4 | Baugruppen .....  | 81  |
| 6.7.5 | Auswahl von Zukaufteilen .....                          | 81  |
| 6.8   | Transportpalette (lt) .....                             | 81  |
| 6.8.1 | Designstudie.....                                       | 81  |
| 6.8.2 | Festlegung der Abmessungen .....                        | 85  |
| 6.8.3 | Werkstoffauswahl .....                                  | 85  |
| 6.8.4 | Auslegung .....   | 85  |
| 6.8.5 | Auswahl von Zukaufteilen.....                           | 85  |
| 7     | Ausarbeitung.....                                       | 86  |
| 7.1   | Konstruktion der Einzelteile (fe, lp, fs, lt) .....     | 86  |
| 7.2   | Technische Berechnungen .....                           | 86  |
| 7.2.1 | Berechnung des Pneumatiksystems (fe) .....              | 86  |
| 7.2.2 | Berechnungen der Festigkeit der Greiferfinger (fe)..... | 90  |
| 7.2.3 | Berechnungen für den Zahnriemenförderer (lp) .....      | 93  |
| 7.2.4 | Berechnungen für das Maschinengestell (fs).....         | 97  |
| 7.2.5 | Berechnung für die Palette (lt).....                    | 108 |
| 7.3   | Zusammenbauzeichnungen.....                             | 113 |
| 7.3.1 | Zusammenbauzeichnung Greifer (fe) .....                 | 114 |
| 7.3.2 | Zusammenbauzeichnung Bandförderer (lp) .....            | 116 |
| 7.3.3 | Zusammenbauzeichnung Maschinengestell (fs).....         | 117 |
| 7.3.4 | Zusammenbauzeichnung Palette (lt).....                  | 118 |
| 8     | Fertigung.....  | 119 |
| 8.1   | Arbeitsvorbereitung (fs).....                           | 119 |
| 8.2   | Bestellung und Einkauf (fe, lp, fs, lt).....            | 119 |
| 8.2.1 | Rohmaterial.....  | 119 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 8.2.2  | Zukaufteile .....   | 120 |
| 8.3    | Kostenvorkalkulation (fe, lp, fs, lt).....                                  | 122 |
| 8.4    | Fertigungsdokumentation .....   | 123 |
| 8.4.1  | Greiferfinger (fe).....   | 123 |
| 8.4.2  | Adapterplatte (fe).....   | 124 |
| 8.4.3  | Elektronischer Steuerkasten (fe).....                                       | 125 |
| 8.4.4  | Pneumatischer Steuerkasten (fe).....  | 128 |
| 8.4.5  | Programm zur Steuerung (fe).....  | 131 |
| 8.4.6  | Transportpalette (lt) .....   | 140 |
| 8.4.7  | Antriebsmotor des Zahnriemenförderers (lp) .....                            | 147 |
| 8.4.8  | Zahnriemenscheiben für Bandförderer (lp) .....                              | 148 |
| 8.4.9  | Zusammenbau des Bandförderers (lp).....                                     | 158 |
| 8.4.10 | Verbindungselemente für das Maschinengestell (fs).....                      | 159 |
| 8.4.11 | Bodenplatten des Maschinengestells (fs).....                                | 160 |
| 8.4.12 | Abschlussplatten des Maschinengestells (fs).....                            | 161 |
| 8.4.13 | Untergestell (fs) .....   | 162 |
| 8.4.14 | Obergestell (fs).....   | 164 |
| 8.4.15 | Tischplatte für das Maschinengestell des Festo-Roboters (fs) .....          | 165 |
| 8.4.16 | Endmontage des Maschinengestells (fs).....                                  | 166 |
| 8.5    | Zeitaufwand der Fertigung (fe, lp, fs, lt).....                             | 168 |
| 8.5.1  | Zeitaufwand der Fertigung für die Greifersysteme und der Steuerung (fe).... | 168 |
| 8.5.2  | Zeitaufwand der Fertigung für den Zahnriemenförderer (lp) .....             | 168 |
| 8.5.3  | Zeitaufwand der Fertigung für das Maschinengestell (fs).....                | 169 |
| 8.5.4  | Zeitaufwand der Fertigung für die Transportpalette (lt).....                | 169 |
| 8.6    | Qualitätssicherung der Fertigung (lt).....                                  | 169 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 8.7    | Zusätzlich erbrachte Leistungen (fe, lp, fs, lt) .....  | 170 |
| 9      | Ergebnisse.....   | 171 |
| 9.1    | Produktbeschreibung (fe).....                           | 171 |
| 9.2    | Kosten-Nachkalkulation (fe, lp, fs, lt) .....           | 172 |
| 9.3    | Bedienungsanleitung (fe).....                           | 172 |
| 9.3.1  | Starten der Anlage.....                                 | 172 |
| 9.3.2  | Bedienen des Bandförderers .....                        | 173 |
| 9.3.3  | Bedienen der Pneumatik .....                            | 173 |
| 9.3.4  | Aktivieren der einzelnen pneumatischen Kreisläufe ..... | 173 |
| 9.3.5  | Entlüften der Anlage .....                              | 173 |
| 9.3.6  | Fehlerfall .....  | 173 |
| 9.4    | Funktionstests (lp).....                                | 173 |
| 10     | Evaluation, Zusammenfassung.....                        | 174 |
| 10.1   | Einleitung (fs) .....                                   | 174 |
| 10.2   | Wertschöpfung (finanziell und ideell) (fs).....         | 174 |
| 10.3   | Individuelle Wertschöpfung.....                         | 175 |
| 10.3.1 | Florian Ertl .....                                      | 175 |
| 10.3.2 | Lukas Peterka.....                                      | 175 |
| 10.3.3 | Florian Scheiner .....                                  | 176 |
| 10.3.4 | Lukas Teier .....                                       | 176 |
| 11     | Schlussbetrachtung (lt) .....                           | 178 |
| 12     | Literaturverzeichnis .....                              | 179 |

## 1 Einleitung (fe, lp, fs, lt)

Im PRIA Labor wird Unterricht für die 4. und 5. Klassen in Bezug auf Roboter programmieren angeboten. Hierbei lernen die Schüler die ersten Grundbegriffe für das Programmieren. Zurzeit steht ein Kuka-Roboter mit drei rotatorischen Achsen und ein Festo-Roboter mit drei translatorischen Achsen zum Üben und Ausprobieren zur Verfügung. Ein dritter Roboter, ebenfalls mit translatorischen Achsen, ist noch nicht einsatzbereit, wird allerdings in den nächsten Monaten einsatzbereit gemacht.

Um besser zu veranschaulichen wie Roboter in einer Fertigungsstraße eingesetzt werden, sollen die beiden translatorisch betriebenen Roboter mit einem Bandförderer verbunden werden. Dadurch soll die Möglichkeit geschaffen werden, bestehende Übungsobjekte zwischen den Robotern umzuschlagen. Es soll veranschaulicht werden, wie wichtig es ist, dass alle Elemente einer Fertigungsstraße miteinander interagieren, so dass ein kontinuierlicher Fertigungsstrom entsteht.

### 1.1 Aufgabenstellung

Im Rahmen dieses Projektes sollen zwei Linearroboter mit einem Bandförderer verbunden werden. Mit diesem Bandförderer sollen, auf einer eigens zu fertigenden Palette, Übungstücke von einem Roboter zum anderen transportiert werden. Zusätzlich müssen beide Linearroboter mit einem für die Übungstücke geeigneten Pneumatik-Greifer ausgerüstet werden. Dazu sind vorhandene Greifer mit Aufnahmen auszustatten. Für die pneumatisch betätigten Greifer und Linearachsen sind die Anforderungen bezüglich des erforderlichen Luftvolumens zu ermitteln. Damit das Förderband horizontal ausgeführt werden kann, muss das derzeitige Maschinengestell des Festo-Roboters adaptiert oder ein neuer Tisch konstruiert und gebaut werden. Dieses Gestell soll zusätzlich die Durchfahrt von 500 mm hohen mobilen Robotern ermöglichen.

## 1.2 Zielsetzung

- Beide translatorisch betriebenen Roboter sollen mit pneumatischen Greifern ausgestattet werden
- Zu den Greifern müssen passende Finger konstruiert werden, welche die Übungsobjekte greifen können
- Das benötigte Luftvolumen, für Zylinder und Greifer, muss ausgelegt werden
- Ein bereits vorhandener Bandförderer muss überholt und wieder in Gang gesetzt werden
- Es soll eine Transportpalette konstruiert werden, auf welcher die Übungsobjekte transportiert werden
- Das Maschinengestell des Festo-Roboter muss neu konstruiert werden, damit es auf derselben Höhe mit dem anderen Gestell ist und es soll von einem mobilen Roboter unterfahren werden können.

## 2 Projektorganisation und Planung (fe, lp, fs, lp)

Im Rahmen dieses Projektes wurden folgende projektbegleitende Maßnahmen und Hilfsmittel eingesetzt. Zu Beginn des Projektes wurde in Absprache mit unserem Auftraggeber ein Lastenheft erstellt. Alle Anforderungen wurden in einer Realisierungsstudie aufgeteilt und mit Zeitbalken versehen, dies unter Berücksichtigung vorgegebener Meilensteine für die Zwischenabgaben. Alle im Rahmen des Projektes umgesetzten Aufgaben werden mit einer Zeitangabe im Tätigkeitsbericht festgehalten. Besprechungen in der Gruppe, mit dem Betreuer oder dem Auftraggeber werden im Projekttagbuch aufgezeichnet.

Für die Kommunikation in der Gruppe schrieben wir uns Emails, SMS bzw. besprechen wir uns in der Schule. Für den Datenverkehr nutzen wir einen Projektordner auf dem Schulserver, welcher für das Projekt erstellt wurde.

Damit die Arbeitsanteile den einzelnen Schülern individuell zugeordnet werden können, sind die einzelnen Kapitel jedem Schüler per Initialen zugeordnet zB.: (lt) für Lukas Teier und mit Initialen und Prozentsatz, bei einer gemeinsamen Bearbeitung.

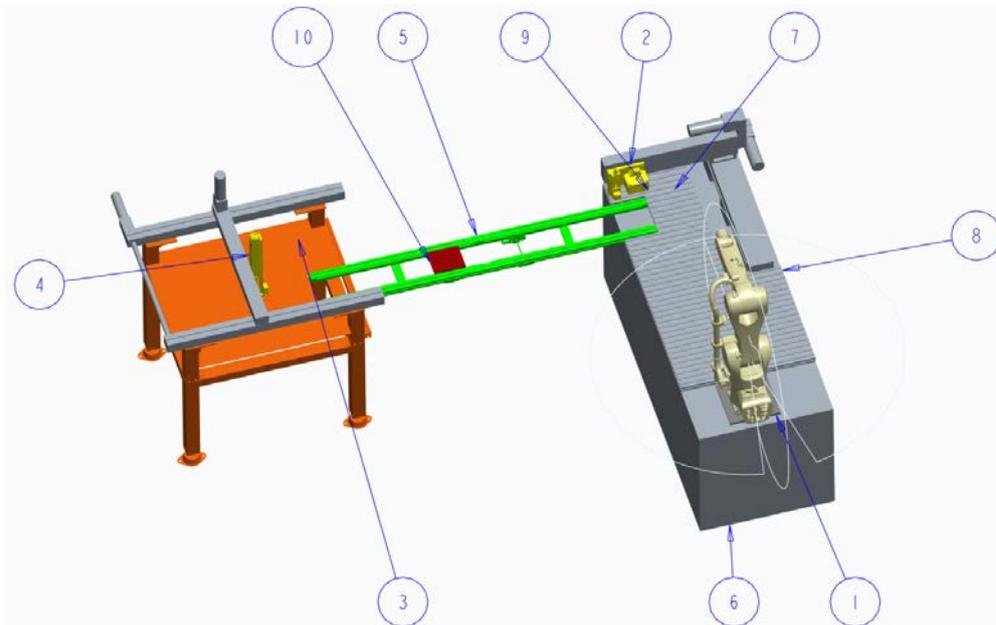


Abbildung 2-1: Zusammenbau mittels Creo 2.0

1. Kuka-Roboter
2. Festo-Flächenportalroboter inkl. Greifer (fe)
3. Maschinengestell (fs)
4. Festo-Raumportalroboter inkl. Greifer (fe)
5. Förderband (lp)
6. Tisch
7. Tischholm kurz
8. Tischholm lang
9. Tischholm mittel
10. Transportpalette (lt)

## 2.1 Projektteam

### 2.1.1 Florian Ertl (fe)

Hauptverantwortlicher Schüler (lt. Diplomarbeits-DB)

Subthema: Teamkoordination Konstruktion und Ausführung von pneumatisch angesteuerten Greifern, unter Verwendung vorhandener Komponenten, mit denen beide Linearroboter Übungsobjekte vom Bandförderer auf- und abgeben können.

Zusätzlich übernommene Aufgaben:

- Die Geschwindigkeit des Bandförderers kann über die Ansteuerung verändert werden.
- Erstellen eines Steuerkastens für die Pneumatiksysteme beider Roboter, sowie elektrische Ansteuerung des Bandförderers mit Steuerkasten.

E-Mail: [fertl@student.tgm.ac.at](mailto:fertl@student.tgm.ac.at)

### 2.1.2 Lukas Peterka (lp)

Subthema: Konstruktion und Ausführung eines Bandförderers zur Verknüpfung von zwei Linearrobotern, unter Verwendung vorhandener Komponenten.

Zusätzlich übernommene Aufgaben:

- Versteifung des Bandförderers mittels zwei zusätzlicher Längsverbinder.
- Integrieren des Bandförderers in die Tischplatte des Festo-Roboters bzw. in den Maschinentisch des Flächenportalroboters.

E-Mail: [lpeterka@student.tgm.ac.at](mailto:lpeterka@student.tgm.ac.at)

### 2.1.3 Florian Scheiner (fs)

Subthema: Konstruktion und Ausführung eines stabilen und unterfahrbaren Maschinengestells für einen dreiachsigen Raumportal Roboter der Firma Festo.

Zusätzlich übernommene Aufgaben:

- Neukonstruktion der Befestigungsplatten für den Festo-Roboter für normgerechte Befestigung.
- Optionale Befüllung der Fußholme des Gestells mit Sand für eine bessere Standsicherheit.

E-Mail: [fscheiner@student.tgm.ac.at](mailto:fscheiner@student.tgm.ac.at)

### 2.1.4 Lukas Teier (lt)

Subthema: Konstruktion und Ausführung einer Transportpalette inklusive Montage auf dem Bandförderer für den Transport von Testobjekten.

Zusätzlich übernommene Aufgaben:

- Austauschbare Adapterpaletten für den Transport der Testobjekte.
- Passende Montage der Anlage um ausreichend Platz für Erweiterungen zu schaffen.

E-Mail: [lteier@student.tgm.ac.at](mailto:lteier@student.tgm.ac.at)

## 2.2 Projektbetreuer (fe)

1. Betreuer: Prof. DI Dr. Johannes Riezinger
2. Betreuer: Dipl.-Päd. BEd Josef Hager

## 2.3 Kooperationspartner (lt)

### 2.3.1 Auftraggeber

PRIA, Wexstraße 19-23, A-1200 Wien

Ansprechpartner: Prof. Mag. Erhard List BSc

## 2.4 Lastenheft (fe, lp, fs, lt)

### 2.4.1 Einführung (lt)

Im Rahmen dieses Projektes sollen zwei Linearroboter mit einem Bandförderer verbunden werden. Mit diesem Bandförderer sollen, auf einer eigens zu fertigenden Palette, Übungstücke von einem Roboter zum anderen transportiert werden. Zusätzlich müssen beide Linearroboter mit einem für die Übungstücke geeigneten Pneumatik-Greifer ausgerüstet werden. Dazu sind vorhandene Greifer mit Aufnahmen auszustatten. Für die pneumatisch betätigten Greifer und Linearachsen sind die Anforderungen bezüglich des erforderlichen Luftvolumens zu ermitteln. Damit das Förderband horizontal ausgeführt werden kann, muss das derzeitige Maschinengestell des Festo-Roboters adaptiert oder ein neuer Tisch konstruiert und gebaut werden. Dieses Gestell soll zusätzlich die Durchfahrt von 500 mm hohen mobilen Robotern ermöglichen.

Nach der Fertigstellung und der Präsentation des Projektes wird die Förderanlage im PRIA-Labor für Unterrichtszwecke und Laboreinsätze bereitgestellt.

Die Kosten für Material und Zukaufteile sollten 1.000,00 € nicht überschreiten und werden vom Auftraggeber übernommen.

### 2.4.2 Phasenplan (fs)

| <b>Meilensteine</b> | <b>Aufgabe</b>   |
|---------------------|--|
| 27.09.2016          | Lastenheft, Realisierungsstudie  |
| 18.10.2016          | Fertige Literaturrecherche, Skizzen, Entwürfe, Auslegungen, Diskussion der Ergebnisse                    |
| 22.11.2016          | Fertige Konstruktion (3D-CAD), fertige Fertigungszeichnungen und Berechnungen, allg. Zwischenbeurteilung |
| 13.12.2016          | Vollendete Arbeitsvorbereitung und Bestellung, allgemeine Zwischenbeurteilung                            |
| 14.02.2017          | V1 DA-Abgabe in Mappe, wissenschaftliche Dokumentation   |

|            |  |
|------------|--|
| 28.02.2017 | Abschluss der Fertigung, der Montage und der Funktionstests, V2 DA-Abgabe in Mappe, für Vorkorrektur |
| 07.03.2017 | Präsentation der DA in Exnersaal mit PPP und A1-Plakat im Team                                       |
| 14.03.2017 | Fertige DA-Abgabe in Mappe und elektronisch, Endbewertung  |
| 31.03.2017 | Abgabe der gebundenen Diplomarbeit   |

### 2.4.3 Ist-Zustand (Ip)

Im Roboterlabor des Auftraggebers sind derzeit zwei Linearroboter unterschiedlicher Hersteller im Inselbetrieb aufgestellt. Der erste Roboter ist ein elektrisch angesteuerter, dreiachsiger Raumportal Roboter der Firma Festo. Der zweite Roboter (im Folgenden als Flächenportalroboter bezeichnet) besitzt eine pneumatisch und zwei elektrisch betätigte Linearachsen ohne Steuerung. Bei beiden Robotern sind keine geeigneten Greifer montiert.

### 2.4.4 Soll-Zustand (fe)

Mit diesem Projekt soll der mechanische Aufbau einer Förderkette bestehend aus zwei Linearrobotern verbunden mit einem Bandförderer realisiert werden. Damit können in weiterer Folge komplexere Aufgaben realisiert werden. Diese Anlage soll unter anderem in Laborübungen höherer Jahrgänge unterschiedlicher Abteilungen eingesetzt werden.

### *Musskriterien*

- Transport von Testobjekten von Flächenportalroboter zu Raumportalroboter mit einem Bandförderer
- Adaptierung des Maschinengestells des Flächenportalroboters auf eine Höhe, die es ermöglicht beide Roboter mit einem horizontalen Förderband zu verbinden
- Bedienkonsole für die grundlegende Steuerungsmöglichkeit des Förderbands mit einer Visualisierung (z.B. Leuchtdioden) bei aktiven Endschaltern
- Einbindung des Bandförderers in das bereits vorhandene Sicherheitssystem
- Ansteuerung des Greifers des Raumportalroboters mit der Bedienkonsole von Festo
- Befestigung des Förderbands auf den Maschinengestellen

- Ausreichende Fixierung des Maschinengestells des Raumportalroboters z.B. durch Bodenmontage oder Abstützungen gegen die Wand
- Einbindung des Endschalters auf der Seite des Bandförderers zur Positionsbestimmung in die Steuerung des Raumportalroboters
- Maximale Transportzeit von 60 Sekunden für das Befördern der Testobjekte mit dem Bandförderer von der Aufgabe- bis zur Abgabeposition
- Funktionsgerechte und optisch ansprechende Verlegung der Luftleitungen
- Die Umbau- und Erweiterungsarbeiten an der Anlage sollen den Unterricht so wenig wie möglich einschränken.

### **Wunschkriterien**

- Visualisierung (z.B. mit Leuchtdioden) beim Überfahren der Palette bei halber Länge des Bandförderers.
- Geschwindigkeitsregelung des Bandförderers
- BUS-Anbindung der Antriebssteuerung des Bandförderers an die Steuerung des Raumportalroboters zur Programmierung über die Bedienkonsole des Roboters
- Austauschbarer Palettenaufsatz um verschiedene Testobjekte transportieren zu können

### **Abgrenzungskriterien**

- Die Steuerung der horizontalen Achse des Flächenportalroboters ist nicht Teil dieses Projektes.

### **2.4.5 Dokumentation**

Um eine nachvollziehbare und brauchbare Dokumentation zu erlangen, muss jeder Arbeitsschritt schriftlich festgehalten werden und mit Berechnungen und Konstruktionsplänen in die schriftliche Diplomarbeit eingebunden werden.

Damit der Fortschritt ersichtlich ist, wird der Ist-Zustand und Soll-Zustand in einer Realisierungsstudie erfasst.

Ein projektbegleitendes Tagebuch muss verfasst werden, um die Inhalte abgehaltener Besprechungen im Team, mit dem Betreuer und dem Auftraggeber festzuhalten.

## 2.5 Kooperationsvereinbarung (Prof. Riezinger, fe, lp, fs, lt)



# Kooperationsvereinbarung

Zwischen dem Auftraggeber:

Practical Robotics Institute Austria (PRIA)  
Mag. Erhard List  
Wexstraße 19-23  
A-1200 Wien

und den am Projekt beteiligten Schülern und Lehrern (s. u.) des TGM, Wexstraße 19-23, 1200 Wien

### Zielsetzung dieser Vereinbarung:

#### 1.) rechtliche Absicherung der Schüler und Lehrer

Es wird vereinbart, dass sich die Schüler im Rahmen ihrer abschließenden schulischen Arbeit „Diplomarbeit“ an der Entwicklung, der Konstruktion und dem Bau einer Förderanlage - Verknüpfung von zwei Linearrobotern mit einem Bandförderer unter der Anleitung des Auftraggebers umsetzen.

Die Schüler und Lehrer übernehmen mit Rücksicht auf den Ausbildungscharakter dieses Vorhabens keinerlei Gewährleistung für die Qualität und die Richtigkeit der Ergebnisse und keinerlei Haftung für sich ergebende Schäden oder Folgeschäden. Außerdem wird festgehalten, dass es sich bei der vorliegenden Anlage um eine sogenannte Laboranlage handelt.

Der Auftraggeber bleibt in jedem Fall der Hersteller und in Inverkehrbringer des entwickelten Produktes. Daher ist er für alle erforderlichen Zertifizierungen und die Einhaltung der Anforderungen der Maschinensicherheitsrichtlinie verantwortlich. Ebenso war die Projektgruppe nicht für die Einbindung in die gesamten Anlage verantwortlich.

#### 2) Veröffentlichung von Projekteinhalten

- Der Auftraggeber erklärt sich damit Einverstanden, dass die aus diesem Projekt hervorgehende Abschlussarbeit oder Teile daraus für Werbezwecke der Schule in Publikationen oder auf der Webseite der Schule veröffentlicht werden darf.

Für das Practical Robotics Institute Austria (PRIA)  
Erhard List (Auftraggeber):

Ort: WIEN

Datum: 4.10.16

U: [Signature]

Schüler:

Florian Ertl

[Signature]

Florian Scheiner

[Signature]

Lukas Peterka

[Signature]

Lukas Teier

[Signature]

Projektbetreuer (Lehrer):

Johannes Riezinger

[Signature]

Josef Hager

[Signature]

Abbildung 2-2: Kooperationsvereinbarung

## 2.6 Realisierungsstudie (fe, lp, fs, lt)

Um alle Anforderungen, die im Lastenheft angeführt sind, etwas präziser einteilen zu können, haben wir eine Realisierungsstudie erstellt. Hierbei ist die Zuordnung der einzelnen Aufgaben zu einem Teammitglied ersichtlich bzw. gibt es auch Arbeiten, welche von der ganzen Gruppe erledigt werden. Es wurden ebenso alle Zwischenabgaben eingetragen, damit man eine Vorstellung bekommt, wann die einzelnen Phasen abgeschlossen sein sollen. Da das Projekt aus sehr vielen Abschnitten besteht, haben wir uns entschlossen für jedes Teammitglied eine einzelne individuelle Realisierungsstudie zu erstellen. Die erste nachfolgende Tabelle ist die Realisierungsstudie der ganzen Gruppe, alle Weiteren sind die Individuellen für die Teammitglieder.

### 2.6.1 Realisierungsstudie für das gesamte Projekt (fe, It)

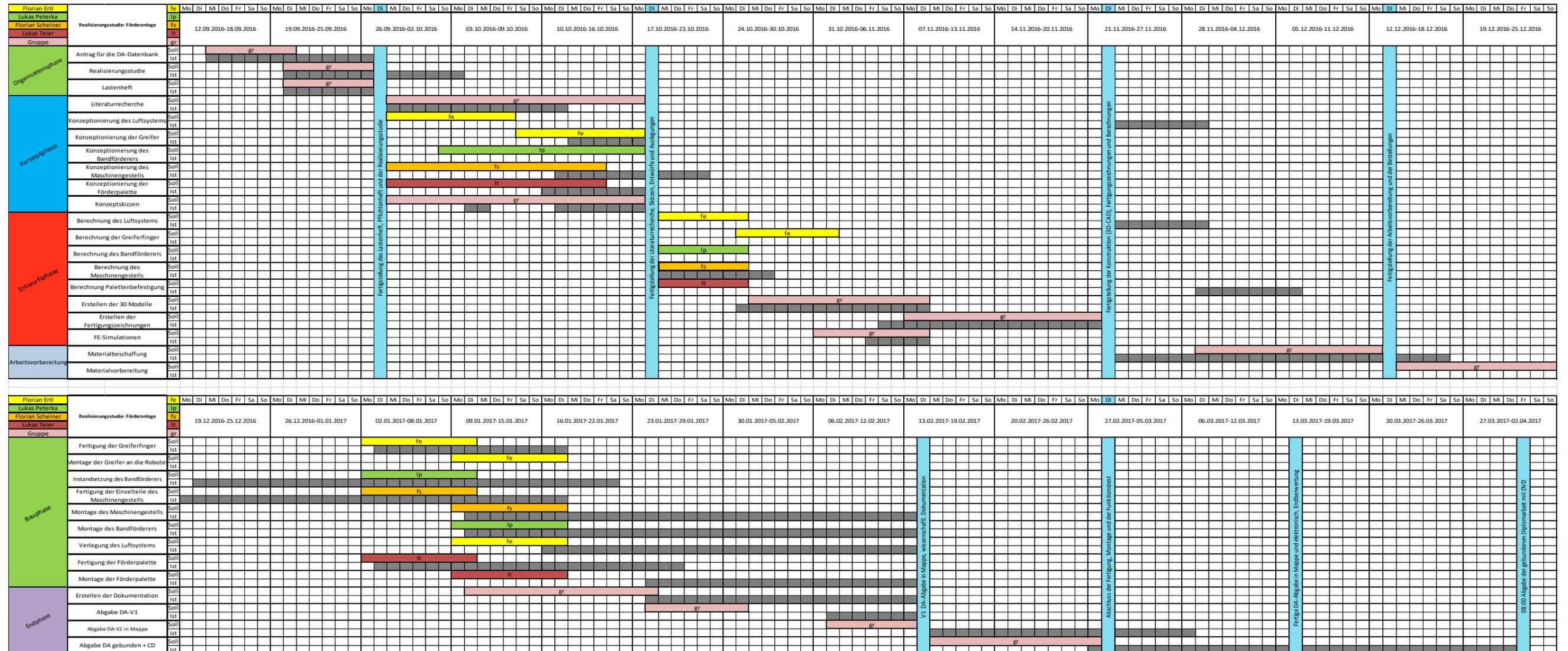


Abbildung 2-3: Realisierungsstudie für das gesamte Projekt

### 2.6.2 Realisierungsstudie Florian Ertl (fe)

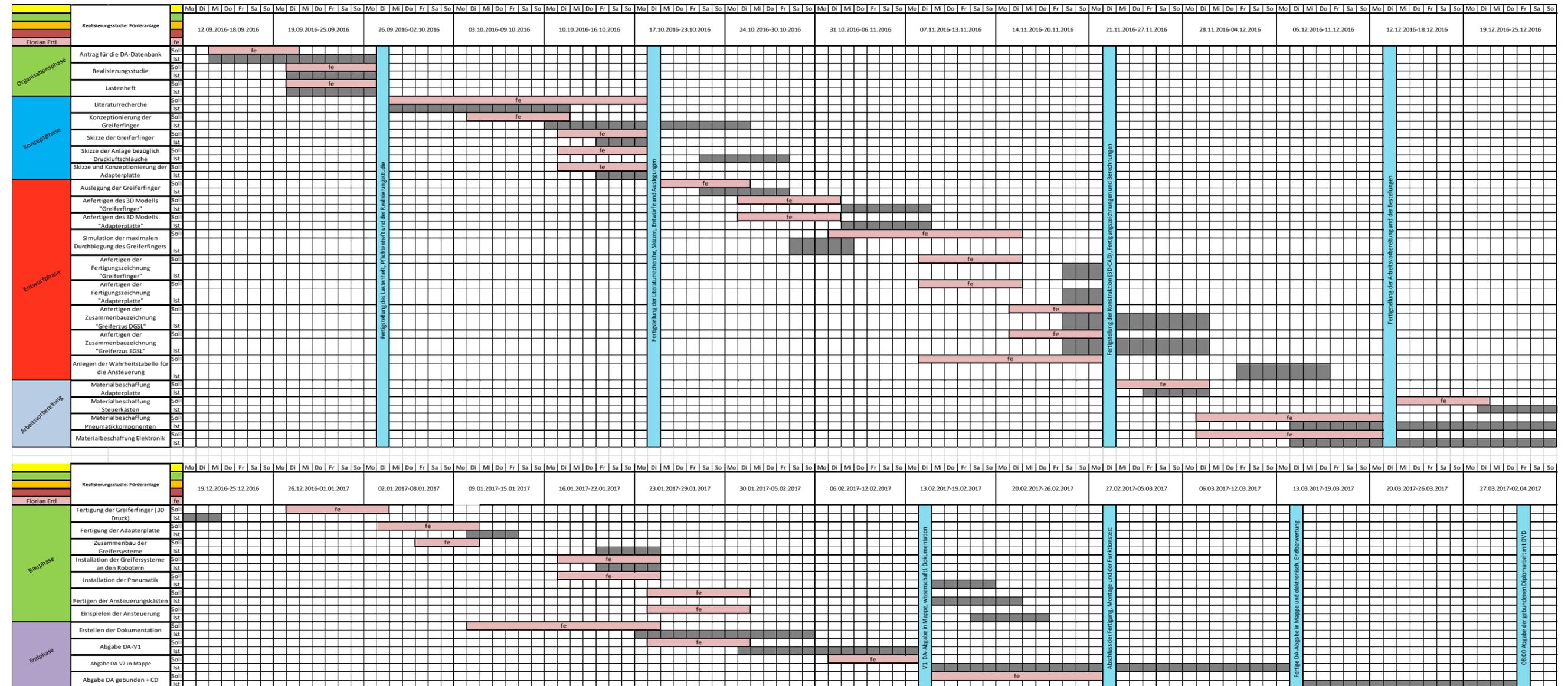


Abbildung 2-4: Realisierungsstudie Florian Ertl

2.6.3 Realisierungsstudie Lukas Peterka (Ip)

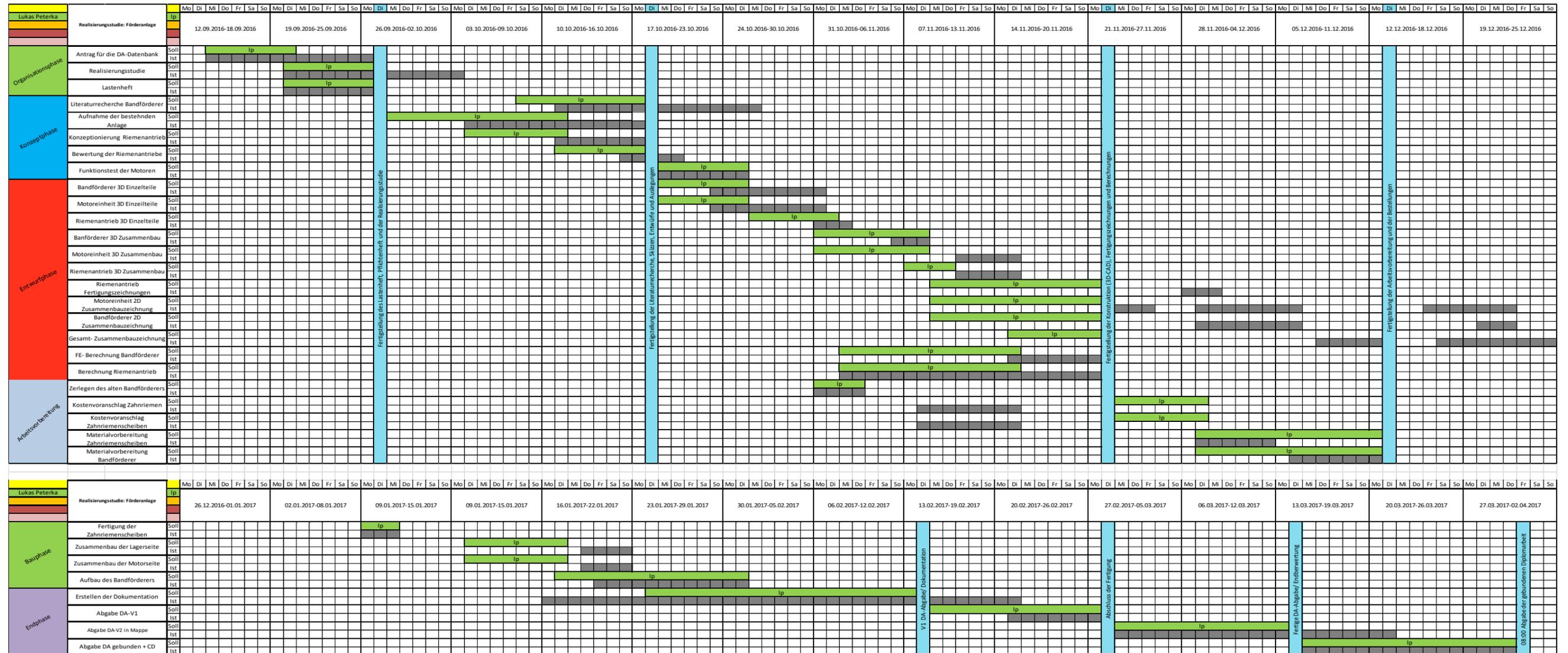


Abbildung 2-5: Realisierungsstudie Lukas Peterka

### 2.6.4 Realisierungsstudie Florian Scheiner (fs)

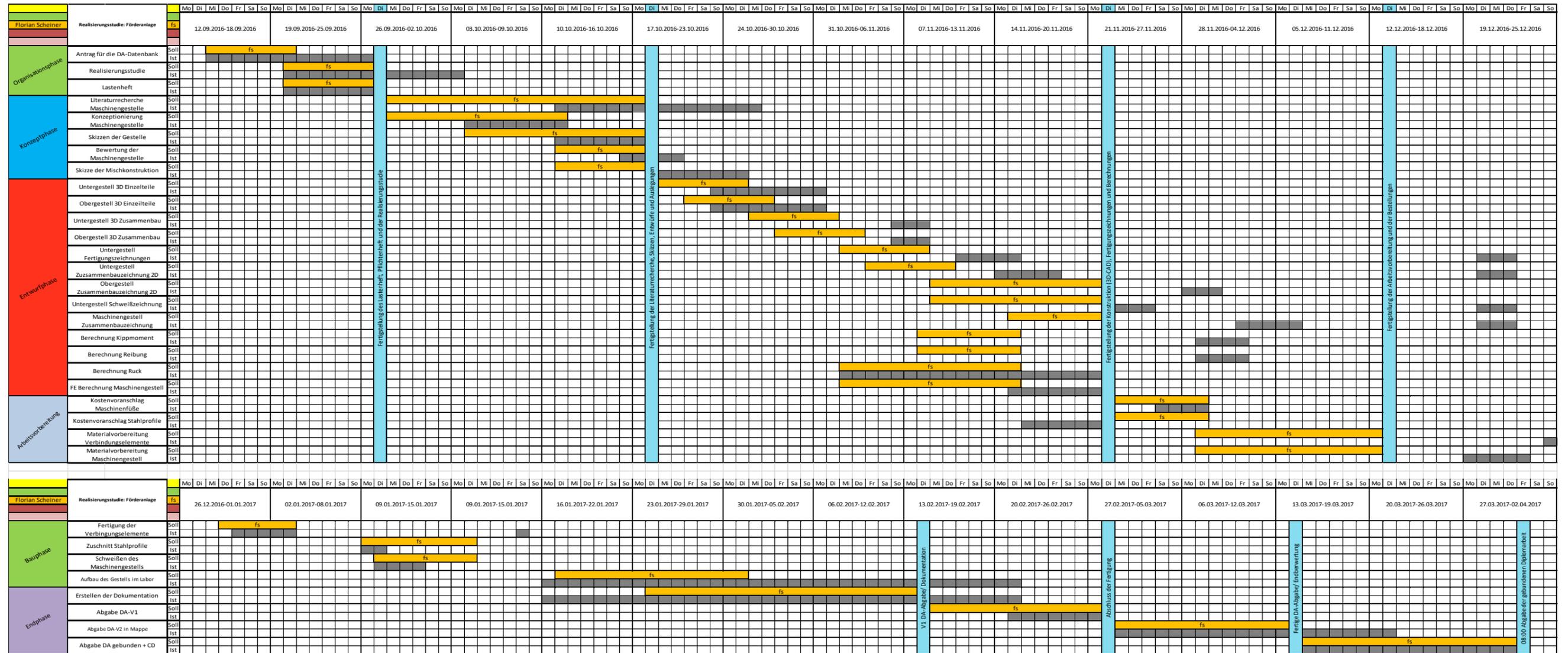


Abbildung 2-6: Realisierungsstudie Florian Scheiner

### 2.6.5 Realisierungsstudie Lukas Teier (It)

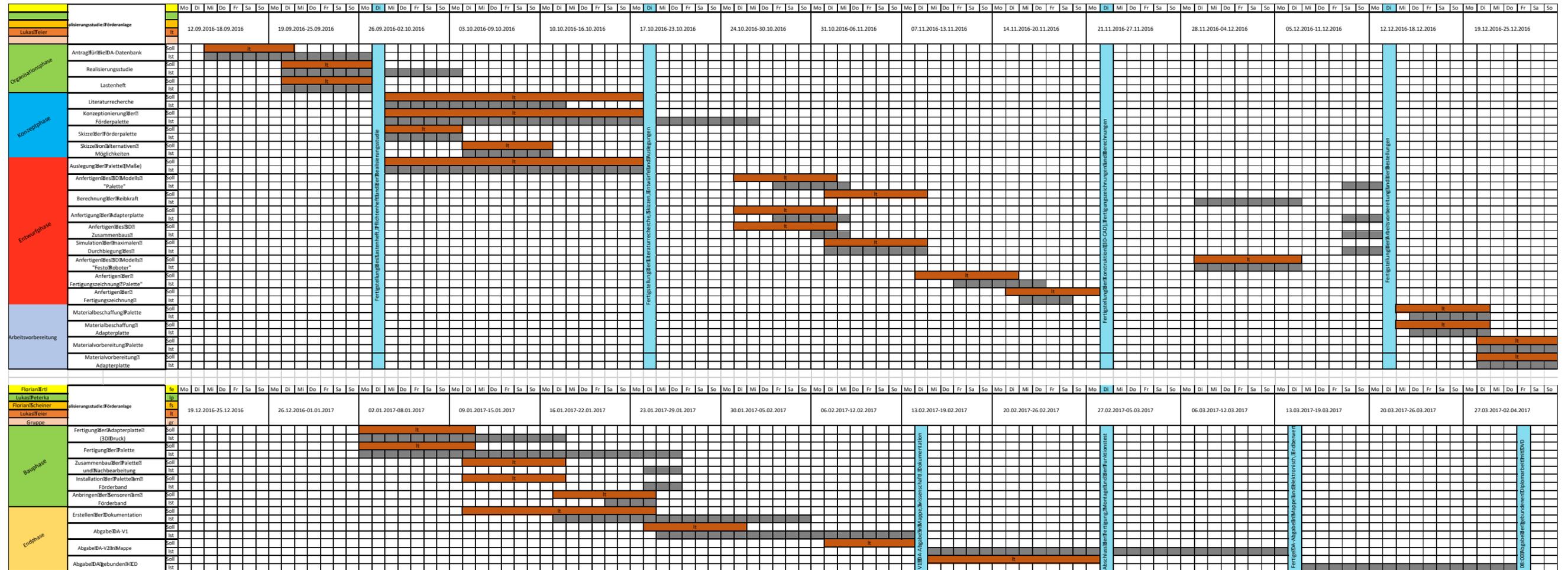


Abbildung 2-7: Realisierungsstudie Lukas Teier

## **2.7 Zusammenarbeit und Kommunikation**

### **2.7.1 Kommunikation im Team (fe)**

Um das Projekt voranzutreiben und um die Zusammenarbeit im Team zu fördern wurden einige Informationswege eingerichtet.

Für Kurzinformationen haben wir eine „WhatsApp“ Gruppe erstellt, hier werden kurze Nachrichten über den aktuellen Stand des Projektes weitergegeben, auch werden auf diesem Weg diverse Treffen der Gruppe organisiert.

Unser Projektbetreuer, Herr Prof. Riezinger, hat uns ein Laufwerk auf dem Schulserver eingerichtet damit wir die Daten an einem gemeinsamen Ort sammeln können. Dieses Laufwerk dient uns als direkter Speicherort auf welchen wir auch von zu Hause aus zugreifen können. Der Zugriff wird über eine VPN-Verbindung erstellt, welche man sich auf den Privatrechner installieren kann.

Unser Gruppenkoordinator, Florian Ertl, hat ebenfalls einen Projektordner auf OneDrive erstellt, hier verwalten wir unser Backup, welches von unserem Koordinator immer wieder aktualisiert wird.

Sollten irgendwelche wichtigen Entscheidungen zu treffen sein, werden diese in einer Gruppenbesprechung getroffen, da hier alle Teammitglieder besser an der Diskussion teilnehmen können.

### **2.7.2 Kommunikation mit dem Projektbetreuer (fs)**

Die wichtigsten Informationen besprechen wir mit unserem Betreuer in der wöchentlichen Besprechung im Unterricht. In einem E-Learning Kurs, welcher von Prof. Riezinger erstellt wurde, hat er uns eine Vielzahl an projektrelevanten Unterlagen zur Verfügung gestellt. Hierbei handelt es sich um Hilfestellungen für die Einreichung, Gestaltung der Diplomarbeit und diverse andere Formulare und Arbeitsbehelfe. Die Abgaben der Meilensteine hat ebenfalls über den E-Learning Kurs stattgefunden. Damit man unseren Projektstatus verfolgen kann stellen wir alle zwei Wochen einen Tätigkeitsbericht bereit.

### 2.7.3 Meilensteine

-  bis 20.9.2016 Fertige Aufgabenstellung in DA-Datenbank
-  1. Meilenstein 27.9.16: Lastenheft, Pflichtenheft, Realisierungsstudie
-  2. Meilenstein 22.10.2016: fertige Literaturrecherche, Skizzen, Entwürfe, Auslegungen, Diskussion der bisherigen Ergebnisse
-  3. Meilenstein 22.11.2016: fertige Konstruktion (3D-CAD), Fertigungszeichnungen und Berechnungen, allg. Zwischenbeurteilung
-  4. Meilenstein 13.12.2016: fertige Arbeitsvorbereitung und Bestellung, allg. Zwischenbeurteilung
-  5. Meilenstein 14.2.2017: V1 DA-Abgabe in Mappe, wissenschaftl. Dokumentation
-  6. Meilenstein 28.2.2017: Fertiges Produkt, V2 DA-Abgabe in Mappe, für Vorkorrektur
-  7. Meilenstein 14.3.2017: Fertige DA-Abgabe in Mappe und elektronisch, Endbewertung
-  8. Meilenstein 31.3.2017 8:00 Abgabe der gebundenen Diplomarbeit mit DVD

Abbildung 2-8: Meilensteine über E- Learning (Riezinger, 2017)

## 2.8 Tätigkeitsbericht (lp)

Im Tätigkeitsbericht werden alle Tätigkeiten der Teammitglieder in einer Excel-Tabelle zusammengefasst, damit die Tätigkeiten mit deren Dauer und Ausführungstag dokumentiert sind. Die Unterteilung erfolgt in Unterrichtszeit und Freizeit, außerdem muss die Tätigkeit genau beschrieben werden und auch einer Datei zugeordnet werden.

### 2.8.1 Tätigkeitsbericht Zusammenfassung

|  |            |              |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|------------|--------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Stunden  | Freizeit   | 600,0        |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | Unterricht | 185,0        |  |  |  |  |  |  |  |  |
| gesamt Stunden                                   |            | <b>785,0</b> |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | Abwesend   | 0,0          |  |  |  |  |  |  |  |  |
| u Unterrichtszeit<br>f Freizeit<br>a Abwesenheit |            |              | <b>fe</b><br>f 147,0<br>u 47,5<br>a 0,0<br>Summe 194,5 |  | <b>lp</b><br>f 159,0<br>u 46,0<br>a 0,0<br>Summe 205,0 |  | <b>fs</b><br>f 163,0<br>u 45,5<br>a 0,0<br>Summe 208,5 |  | <b>lt</b><br>f 131,0<br>u 46,0<br>a 0,0<br>Summe 177,0 |  |
|  |            |              | Florian Ertl   |  | Lukas Peterka  |  | Florian Scheiner                                       |  | Lukas Teier  |  |

Abbildung 2-9: Zusammenfassung des Tätigkeitsberichts

## 2.8.2 Eingabe Tätigkeitsbericht

Der gesamte Tätigkeitsbericht befindet sich im Anhang A1 Eingabe Tätigkeitsbericht

|    |                  |   |                 |
|----|------------------|---|-----------------|
| fe | Florian Ertl     | u | Unterrichtszeit |
| lp | Lukas Peterka    | f | Freizeit        |
| fs | Florian Scheiner | a | Abwesenheit     |
| lt | Lukas Teier      |   |                 |

|                |    |      |          | 668,5   | <b>Tätigkeitsbericht</b>  |  |
|----------------|----|------|----------|---|---|--|
| Datum          | Bz | Name | Zeit [h] | Tätigkeit   | Dokument  |  |
| Di. 17.01.2017 | u  | lp   | 3,5      | Weiterarbeiten an den Fertigungszeichnungen und der 2D-Zusammenbauzeichnung   | t8_lp_ls-zahniemenscheibe-a.drw<br>t8_lp_erodier-elektrode-a.drw<br>t8_lp_as-zahniemenscheibe-a.drw<br>t8_lp_as-distanzscheibe-a.drw<br>t8_lp_ls-press4kant-a.drw<br>t8_lp_zus-forderband-a.drw |  |
| Di. 17.01.2017 | u  | fs   | 3,5      | Verbessern der Schweißzeichnung und der 2D-Zusammenbauzeichnungen   | t8_fs_schweiss-untergestell-b.drw<br>t8_fs_maschinengestell-a.drw<br>t8_fs_stahl-untergestell-a.drw   |  |
| Mi. 18.01.2017 | f  | fe   | 3        | Erstellen der Wahrheitstabelle für die Beschaltung  | T8_Ertl-100_Wahrheitstabelle-Beschaltung_5AHMBT1617-C.xlsx  |  |
| Mi. 18.01.2017 | f  | lt   | 1        | Erstellen einer 3D Zusammenstellungszeichnung der gesamten Anlage   | t8_lt_anlagezus_5ahmbt1617.asm  |  |
| Do. 19.01.2017 | f  | fe   | 2        | Konstruktion Verbindungsplatte Flächenroboter zu Zylinder   | T8_fe_Verblaeuchrob-a.prt   |  |
| Do. 19.01.2017 | f  | fe   | 2        | Zusammenbau Einzelteile von Greifervorrichtung, Montage Greifer auf Flächenroboter  | T8_fe_Greifvorrichtung-a.asm  |  |
| Sa. 21.01.2017 | f  | fe   | 5        | Montieren der Greiferadapterplatten, Zusammenbau und Wartung des Bandförderers, Abbauen und Zusammenbauen des Linearroboters mit Maschinengestell | siehe Projekttagebuch   |  |
| Sa. 21.01.2017 | f  | lp   | 5        |   |   |  |
| Sa. 21.01.2017 | f  | fs   | 5        |   |   |  |
| Sa. 21.01.2017 | f  | lt   | 5        |   |   |  |
| Sa. 21.01.2017 | f  | lp   | 3        | Anfertigen von neuen Stahl-Winkeln auf Grund von Ungenauigkeiten  | siehe Projekttagebuch   |  |
| Sa. 21.01.2017 | f  | fs   | 3        |   |   |  |
| Sa. 21.01.2017 | f  | lp   | 2        | Lackieren und Grundieren der Stahl-Winkel   |   |  |
| So. 22.01.2017 | f  | fe   | 2        | Übersetzung Aufgabenstellung und Realisierung in Englisch   | T8_Ertl-100_Übersetzungen_5AHMBT1617-A  |  |
| So. 22.01.2017 | f  | fe   | 2        | Überarbeitung Greiferfinger + weitere Varianten   | t8_fe_finger_mpg-d.prt<br>t8_fe_finger_mpg-e.prt<br>t8_fe_finger_mpg-f.prt  |  |

Abbildung 2-10: Ausschnitt aus dem Tätigkeitsbericht

## 2.8.3 Grafik

In der Abbildung 2-11 ist die Anzahl der gearbeiteten Stunden pro Projektgruppenmitglied angeführt.

Im ersten Balken eines jeden Teammitgliedes ist die Gesamtstundenanzahl ersichtlich.

Darunter sind die Arbeitsstunden in der Freizeit, im Unterricht und die Abwesenheitsstunden im Unterricht angeführt.

Die Grafik bezieht sich auf die eingegebenen Informationen im Tätigkeitsbericht.

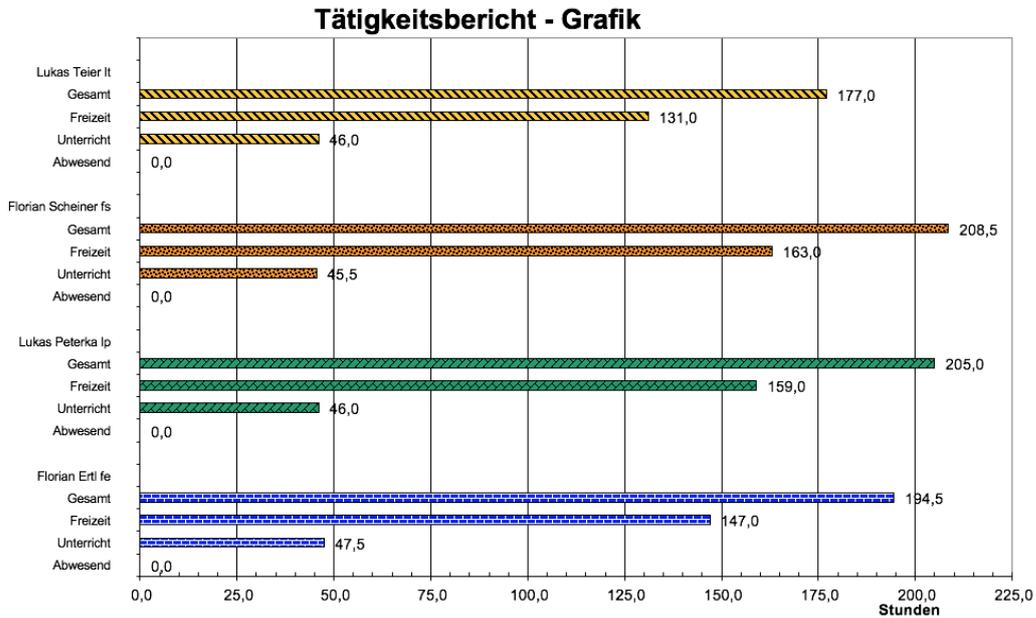


Abbildung 2-11: Arbeitszeit als Grafik zusammengefasst

### 2.8.4 Zeitaufwand-Grafik

In der unten abgebildeten Grafik ist die Arbeitszeit der einzelnen Gruppenmitglieder ersichtlich, aber auch der Zeitaufwand, welchen die ganze Gruppe in die Diplomarbeit gesteckt hat.

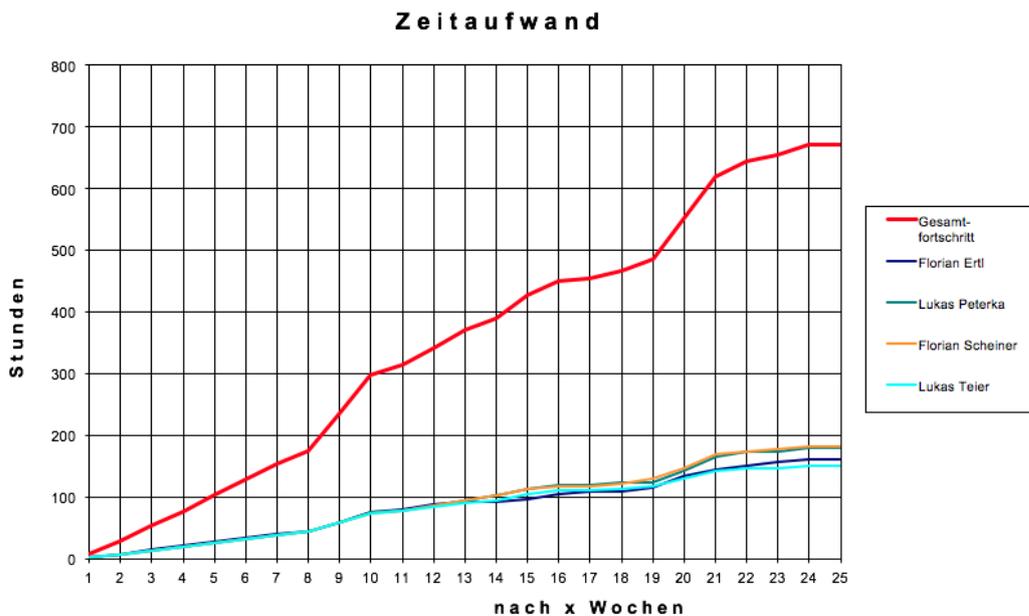


Abbildung 2-12: Zeitaufwand-Grafik

### 2.8.5 Leistungsgrafik

In der untenstehenden Grafik wird die Stundenleistung der einzelnen Teammitglieder, sowie der ganzen Gruppe pro Woche aufgelistet.

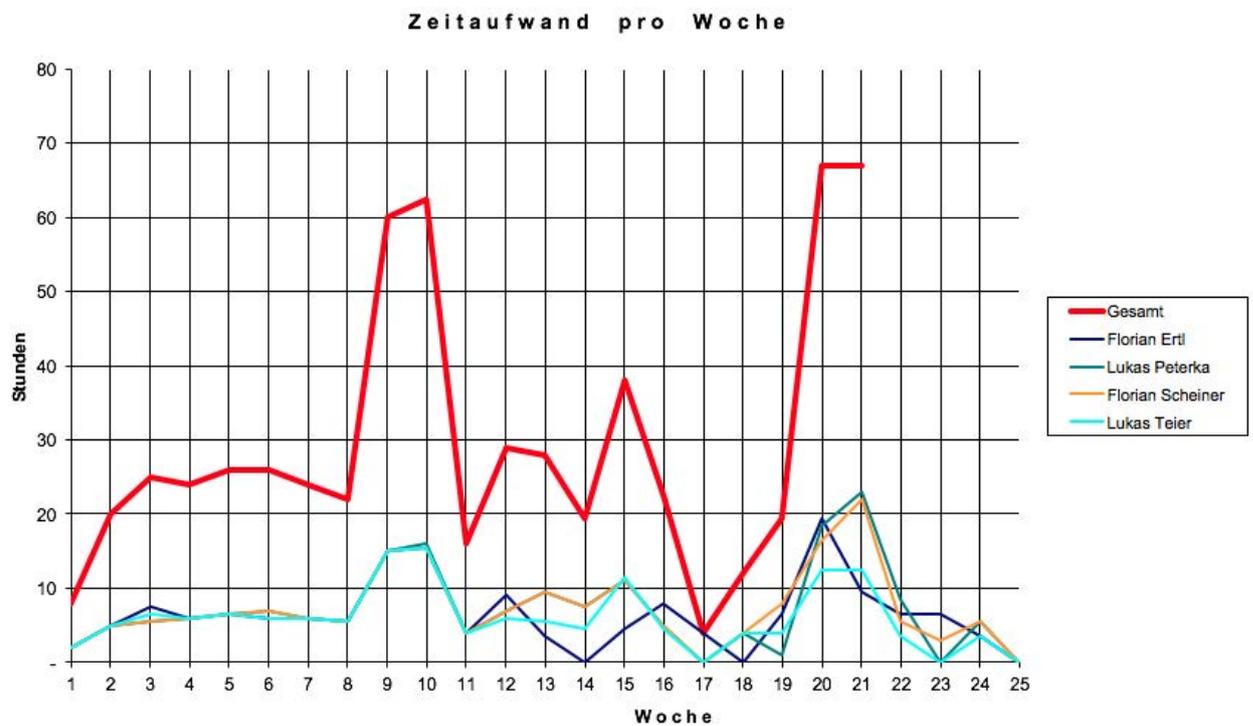


Abbildung 2-13: Leistungsgrafik

## 2.9 Werkstättenlogbuch (lt)

Im Werkstättenlogbuch werden alle Tätigkeiten, welche in der Werkstatt des TGM stattgefunden haben, festgehalten. Dieses Logbuch soll die praktischen Arbeitsanteile, welche während der Diplomarbeit geleistet wurden, festhalten. Hierzu wird jeder Diplomarbeit eine Auftragsnummer zugeordnet. Diese wurde mit dem im Anhang befindlichen Antrag (Ausstellung eines Werkstättenauftrags; siehe Anhang Kapitel A4 Werkstättenlogbuch) bezogen. Im Logbuch werden andere relevante Daten, wie zum Beispiel Datum des Arbeitstages, Werkstättenbezeichnung oder Raumnummer der Werkstatt vermerkt. Die durchgeführten Arbeiten wurden kurz beschrieben und die Arbeitszeit wurde ebenfalls festgehalten. Der betreuende Fachlehrer in dieser Zeit bestätigt die Arbeit mit seiner Unterschrift.

**Zeiterfassungssystem Diplomarbeitprojekt**

**tgm**  
Die Schule der Technik

| Bsp.: !!! | PJ              | Abt. | Datum      | WKST. | Raum | Durchgeführte Arbeiten/ Verwendete Maschinen | Dauer (h, min) | U: Lehrer   |
|-----------|-----------------|------|------------|-------|------|--|----------------|-------------|
|           | <del>1667</del> | HMB  | 24. Sep    | KT    | W153 | Schleifen der Grundplatte                    | 1h 12min       | [Signature] |
|           | 1667            | HMB  | 15.12.2016 | FWB   | W120 | Dreh-/Fräs-/Erodierarbeiten                  | 10h            | [Signature] |
|           | 1667            | HMB  | 9.1.2017   | SW    | W020 | Zuschmittarbeiten                            | 3h             | [Signature] |
|           | 1667            | HMB  | 10.1.2017  | SW    | W020 | Schweißarbeiten                              | 5h             | [Signature] |
|           | 1667            | HMB  | 10.1.2017  | FWB   | W120 | Fräsarbeiten                                 | 4h             | [Signature] |
|           | 1667            | HMB  | 16.01.2017 | SW    | W020 | Schleifarbeiten                              | 2h             | [Signature] |
|           | 1667            | HMB  | 17.01.2017 | SW    | W020 | Schleifarbeiten                              | 3h             | [Signature] |
|           | 1667            | HMB  | 21.01.2017 | FWB   | W234 | Sägearbeiten                                 | 4,5h 3h        | [Signature] |
|           | 1667            | HMB  | 24.01.2017 | FWB   | W720 | Bolz-/Fräsarbeiten                           | 4h             | [Signature] |
|           | 1667            | HMB  | 31.01.2017 | FWB   | W120 | " "  | 4h             | [Signature] |
|           | 1667            | HMB  | 15.02.2017 | MT    | W26  | Sägearbeiten                                 | 1h             | [Signature] |
|           | 1667            | HMB  | 19.02.2017 | SW    | W020 | Zuschmittarbeiten                            | 1,5h           | [Signature] |
|           | 1667            | HMB  | 21.02.2017 | MT    | W26  | " "  | 2h             | [Signature] |
|           | 1667            | HMB  | 21.02.2017 | MT    | W26  | Bearbeitungsarbeiten Tischplatte             | 2h             | [Signature] |
|           | 1667            | HMB  | 21.02.2017 | MT    | W26  | Massivholzteiler                             | 2h             | [Signature] |
|           | 1667            | HMB  | 21.02.2017 | MT    | W26  | " "  | 2h             | [Signature] |

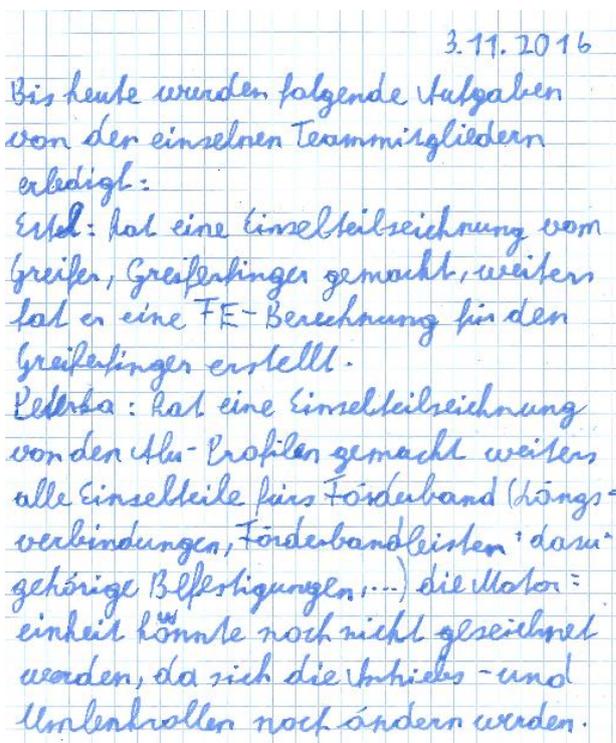
Abbildung 2-14: Zeiterfassung der durchgeführten Arbeiten in der Werkstätte

## 2.10 Projekttagbuch (fs)

Im Projekttagbuch wurden alle Besprechungen die mit dem Auftraggeber, dem Projektbetreuer als auch in der Gruppe geführt worden sind protokolliert. Es wurde ebenso die fortlaufende Entwicklung des Projektes beschrieben, als auch Vorhaben welche wir uns für einen gewissen Zeitraum vorgenommen haben.

In Abbildung 2-15 ist ein beispielhafter Auszug aus dem Projekttagbuch zu sehen.

Das gesamte Projekttagbuch wird zur Diplomarbeit beigelegt.



3.11.2016

Bis heute wurden folgende Aufgaben von den einzelnen Teammitgliedern erledigt:

Ertl: hat eine Einzelteilzeichnung vom Greifer, Greiferfinger gemacht, weiters hat er eine FE-Berechnung für den Greiferfinger erstellt.

Peterka: hat eine Einzelteilzeichnung von den Alu-Profilen gemacht weiters alle Einzelteile fürs Förderband (Längsverbindungen, Förderbandleisten + dazugehörige Befestigungen, ...) die Motor-einheit konnte noch nicht gezeichnet werden, da sich die Antriebs- und Umkehrrollen noch ändern werden.

Abbildung 2-15: Auszug aus dem Projekttagbuch

## 2.11 Qualitätssicherung und Controlling (fe, lp, fs, lt)

Die Qualitätssicherung unserer Arbeit erfolgte in mehreren Ebenen.

**Eigenverantwortlichkeit:** Jedes Teammitglied hatte die Verpflichtung sich selbstständig in die Projektarbeit einzubringen. Von unserem Projektbetreuer DI Dr. Johannes Riezinger wurde auch von Anfang an klargestellt, dass jeder Schüler entsprechend der Qualität seiner Arbeit individuell beurteilt wird.

**Interne Qualitätssicherung:** Gleich zu Beginn wurde vom Team Herr Florian Ertl als Teamkoordinator bestimmt. Der Austausch der Informationen erfolgte wöchentlich in Teambesprechungen in der Schule. Über eine eigens eingerichtete „WhatsApp“ Gruppe kommunizierten die Teammitglieder auch miteinander. Am Anfang des Projektes wurden in einer Realisierungsstudie „Realisierungsstudie der Gruppe (2.6.1)“, die Aufgaben erfasst und den Teammitgliedern zugeteilt. Eine Feinabstimmung der Aufgabenverteilung und ein gegenseitiger Austausch (internes Controlling) erfolgte bei den wöchentlichen Treffen. Eine begleitende Maßnahme der Qualitätssicherung war die Führung eines Projekttagbuchs. In diesem wurden alle Termine und Besprechungen protokolliert. Parallel zur Umsetzung der Aufgabenstellung wurde die Diplomarbeit geschrieben, damit diverse Details nicht in Vergessenheit geraten.

Um einen Überblick über die Arbeitsleistung jedes Gruppenmitgliedes zu erhalten, wurden alle Tätigkeiten der Teammitglieder in einem Tätigkeitsbericht dokumentiert (siehe Anhang A1 Eingabe Tätigkeitsbericht ).

**Externe Qualitätssicherung (Controlling):** Der aktuelle Tätigkeitsbericht musste dem Projektbetreuer alle zwei Wochen abgegeben werden. Von dem Projektbetreuer wurden am Anfang des Jahres acht Meilensteine festgelegt. Entsprechend unserer Realisierungsstudie mussten bei diesen Terminen individuelle Zwischenberichte vorgelegt und präsentiert werden. Zusätzlich gab es wöchentlich die Gelegenheit mit unserem Projektbetreuer auftretende Probleme zu besprechen.

## 3 Konzeptentwicklung (fe, lp, fs, lt)

### 3.1 Einleitung

„Das methodische Vorgehen beim Konstruieren erfolgt nach Regeln und Ansätzen, die allgemein verwendbar sind [...]. Folgende Voraussetzungen müssen [...] beim methodischen Vorgehen erfüllt werden: Ziele definieren [...], Bedingungen aufzeigen [...], Vorteile auflösen, beseitigen [...], Lösungsvarianten suchen [...], beurteilen [...] und Entscheidungen fällen.“ (Conrad, Grundlagen der Konstruktionslehre, 1993)

### 3.2 Abstrahieren der Problemstellung

In der ersten Phase der Diplomarbeit, der Konzeptentwicklung, sind einige sehr bedeutende Fragen aufgetreten:

- Wie gestalten wir die pneumatische bzw. elektrische Ansteuerung der Greifer und des Bandförderers?
- Wie können wir den vorhandenen Zahnriemenförderer für diese Aufgabe adaptieren und in Gang setzen?
- Welche Konstruktion verwenden wir bei der Neukonzipierung des Maschinengestells?
- Wie gestalten wir die Transportpalette für die Übungsobjekte?

Durch eine individuelle Literaturrecherche für jedes Problem konnten die Lösungsmöglichkeiten begrenzt werden und durch eine Bewertung der einzelnen Konzepte letztendlich auch Entscheidungen gefällt werden. Dies geschah natürlich immer unter Absprache mit unserem Projektbetreuer bzw. auch mit dem Auftraggeber. Durch diese Besprechungen konnten wir eventuell auftretende Probleme bereits in der Entwicklungsphase erkennen und auch schon die nötigen Gegenmaßnahmen einleiten.

## 4 Literaturrecherche

### 4.1 Literaturrecherche Pneumatik (fe)

#### 4.1.1 SCHUNK Parallelgreifer

Parallelgreifer der Marke SCHUNK der Serie MPG gibt es in folgenden Varianten:

- Ohne Greifkraftherhaltung
- Mit Greifkraftherhaltung „Außengreifend“
- Mit Greifkraftherhaltung „Innengreifend“
- Hochtemperatur-Version

„Die Modelle mit Greifkraftherhaltung bewirken bei einem Druckverlust im System in der jeweiligen Variante entweder das Festhalten des Bauteils von außen, oder von innen.“

Vgl. (SCHUNK, 2017) S.6

#### 4.1.2 Ventilinseln

„Eine Ventilinsel verbindet mehrere Ventile zusammen auf einen Block, welche mit einer Vielzahl von verschiedenen elektrischen Anschlusstechniken angesteuert werden können. Dies funktioniert von der Ansteuerung von Einzelventilen durch High/Low Signale bis hin zur BUS-Ansteuerung. Die Ventilinseln besitzen Ventilblöcke die problemlos ausgetauscht werden können, in unserem Fall verwenden wir 4 5/2-Wegeventile.“ Vgl. (Festo, 2017) S. 3



Abbildung 4-1: Magnetventilinsel, (<https://infosys.beckhoff.com>, 2017)

### 4.1.3 Ventile

#### *Magnetventile*

"Magnetventile besitzen einen Anker der auf einem Hohlschaft sitzt, welcher durch Spulen in eine bestimmte Position gezogen werden. Dies wird entweder mit einer externen Luftversorgung verstärkt oder die Magnetventilinsel bezieht aus der Hauptarbeitsluft die Betätigungsluft." Vgl. (PNEUMAX, 2017) S. 6

#### *Bistabile Ventile*

„Bistabile Ventile brauchen zum Betrieb zwei externe Signale. Die Ventile bleiben so lange in ihrer Stellung bis das Gegensignal eintrifft, ergo stellen sie sich nicht wie monostabile Ventile nach abschalten des Signals zurück.“ Vgl. (PNEUMAX, 2017) S. 5

### 4.1.4 Doppeltwirkende Zylinder

„Doppeltwirkende Zylinder brauchen für jede Bewegungsrichtung Druckluft. Sowohl das Ausfahren als auch das Einfahren wird mit Druckluft ausgeführt. Die einfachste Ansteuerung eines doppelt wirkenden Zylinders ist mit einem 5/2-Wegeventil.“ Vgl. (Festo Wiki, 2017)

## 4.2 Literaturrecherche Förderband (lp)

„Stetigförderer sind mechanische, pneumatische oder hydraulische Fördereinrichtungen, bei denen das Fördergut auf festgelegtem Förderweg von Aufgabe- zu Abgabestelle stetig mit wechselnder Geschwindigkeit oder im Takt bewegt wird. Sie werden ortsfest, fahrbar, tragbar oder rückbar ausgeführt und für die Förderung von Schüttgut oder Stückgut eingesetzt [DIN-15201].“ Vgl.

(<http://www.fml.mw.tum.de>, 2017)

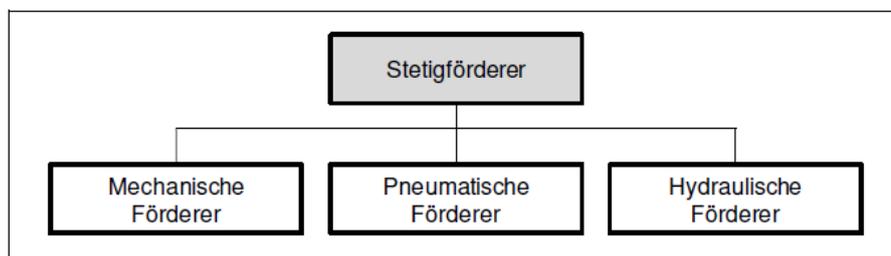


Abbildung 4-2: Einteilung der Stetigförderer (<http://www.fml.mw.tum.de>, 2017)

„Die Mechanischen Förderer gliedern sich nach der DIN 15201 Teil 1 in die Förderer mit und ohne Zugmittel. Der Riemenförderer gehört zur Gruppe der Bandförderer und somit zu den mechanischen Förderern mit Zugmittel.“ Vgl.

(<http://www.fml.mw.tum.de>, 2017)

| Mechanische Förderer   |   |   |   |
|--|---|---|---|
| mit Zugmittel  |   | ohne Zugmittel  |   |
| <b>Bandförderer</b><br>- Gurtförderer<br>- Stahlbandförderer<br>- Drahtgurtförderer<br>- Riemenförderer<br>- Seilförderer<br><br><b>Becherwerke</b><br>- Gurtbecherwerke<br>- Kettenbecherwerke<br>- Pendelbecherwerke | <b>Kettenförderer</b><br>- Kratzerförderer<br>- Trogkettenförderer<br>- Stauscheibeförderer<br>- Gliederbandförderer<br>- Schleppkettenförderer<br>- Tragkettenförderer<br>- Schaukelförderer<br>- Umlaufförderer<br>- Taschenförderer<br><br><b>Hängeförderer</b><br>- Kreisförderer<br>- Schleppkreisförderer<br>- Elektrohängebahn | <b>Förderer mit Schnecken</b><br>- Schneckenförderer<br>- Schneckenrohrförderer<br>- Schraubeförderer<br><br><b>Schwingförderer</b><br>- Schüttelrutsche<br>- Schwingrinne<br>- Schubstangenförderer<br>- Hubbalkenförderer<br>- Pendelbalkenförderer | <b>Rollen- und Kugelbahnen</b><br>- Rollenbahn<br>- Röllchenbahn<br>- Rollenstauförderer<br>- Kugelbahn<br><br><b>Fallrohre und Rutschen</b><br>- Rutsche<br>- Fallrohr |

Abbildung 4-3: Einteilung der mechanischen Förderer (<http://www.fml.mw.tum.de>, 2017)

#### 4.2.1 Förderhöhe

„Der Niveauunterschied zwischen Aufgabe- und Abwurfstelle ist die Förderhöhe; sie liegt mit der Wahl der Förderstrecke fest. Es ist jedoch jeweils zu prüfen, ob der Steigungswinkel die Förderleistung der Anlage nicht gefährdet.“ Vgl. (Salzer, 1968)

Entsprechend den Anforderungen des Lastenhefts (Kapitel 2.4) ist der Bandförderer horizontal ausgeführt. Dies vereinfacht die Montage dieses Zahnriemenförderers und ist schöner zu betrachten als ein leicht geneigter Förderer. Zusätzlich soll der Bandförderer auf Wunsch des Auftraggebers in die Arbeitsebene des Roboters eingelassen werden. Dadurch können Schäden durch eine falsche Bedienung des Roboters eingeschränkt werden, da der Bediener mit dem Roboterwerkzeug nicht so leicht an dem Bandförderer hängen bleiben kann.

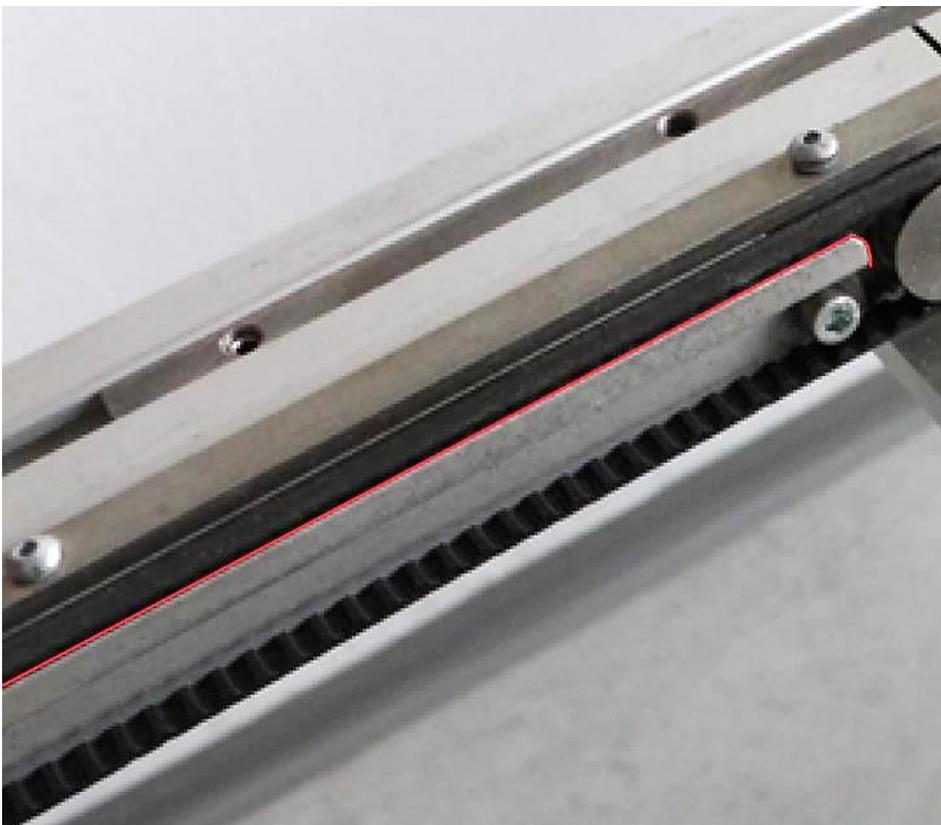
#### 4.2.2 Zahnriemen

„Zahnriemen sind Synchronriemen und haben eine ein- oder beidseitige Verzahnung mit der sie die Kräfte der Zahnscheibe formschlüssig ohne Schlupf übertragen. Der Riemenkörper besteht aus Neoprene oder Polyurethan mit Zugsträngen aus beispielsweise Stahl. Synchronriemen benötigen unter richtigen Einstellungen keine Schmierung und laufen wartungsfrei. Um den Riemen Aufzulegen und zu Spannen sollte eine Welle oder Spannwellen radial beweglich sein. Falls der Wellenabstand fest ist, so müssen die Zahnscheiben gemeinsam mit dem aufgelegten Riemen montiert werden. Bei den ebenen Getrieben müssen die Zahnriemen über beidseitige Borde gesichert werden. Entweder der Zahnriemen wird über eine Zahnriemenscheibe mit beidseitigem Bord gesichert oder er wird über zwei einzelne Zahnriemenscheiben gesichert, die jeweils einen Bord aufweisen.“ Vgl. (Grote & Feldhusen, 2007)

„Das gemeinsame Merkmal einer Vielzahl von mechanischen Stetigförderern ist ein endlos umlaufendes Zugmittel (Zm) – sU1.1.3. Es ist ein Teil des eigentlichen Fördermittels, das außerdem noch Einrichtungen zur Aufnahme des Fördergutes (Schüttgut oder Stückgut) besitzt, das Tragmittel (Tm). Das Zm übernimmt die beim Fördervorgang auftretenden Widerstände und überträgt diese auf den Antrieb.“ Vgl. (Grote & Feldhusen, 2007)

„Häufig bilden Zug- und Tragmittel eine Einheit, wie z.B. der Gurt eines Gurtförderers.“ Vgl. (Grote & Feldhusen, 2007)

„Der bestehende Bandförderer besitzt ein endloses umlaufendes Zugmittel. Der Zahnriemen ist zugleich Zugmittel und Tragmittel für die Palette. Da keine großen Massen befördert werden kann der Zahnriemen auf dem glatten Bandträger gleiten und benötigt keine Stützrollen. Je nachdem ob das Band von Rollen gestützt wird oder nicht entstehen die verschiedensten Reibungsverhältnisse.“ Vgl. (Grote & Feldhusen, 2007)



*Abbildung 4-4: Zahnriemen (schwarz) gleitet auf Bandträger (rot), verwendeter Zahnriemenförderer*

Alternativ wären auch folgende Ausführungen denkbar.

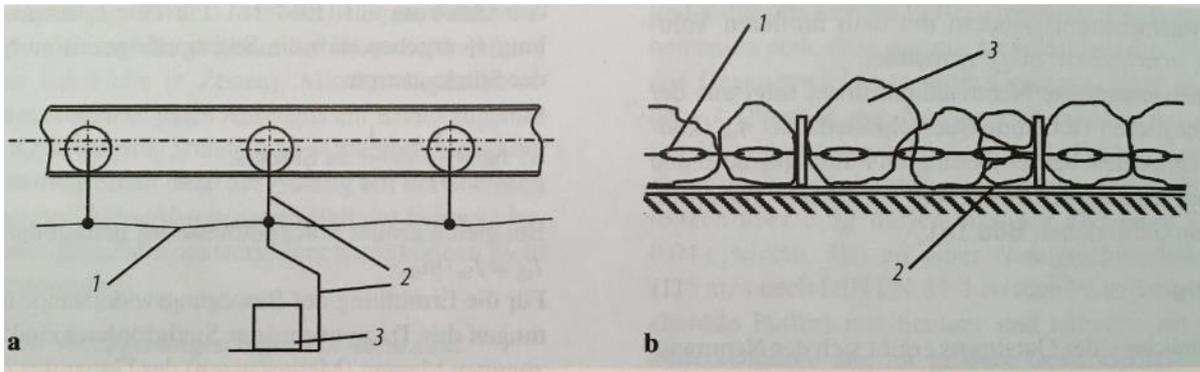


Abbildung 4-5: Förderer mit (a) Kreisförderer) und ohne (b) Kratzförderer) umlaufenden Tragmittel.  
1 Zugmittel (Zm), 2 Tragmittel (Tm), 3 Fördergut (Grote & Feldhusen, 2007)

### 4.2.3 Antriebsmotor

Unter Kleinmotoren versteht man in der Regel elektrische Maschinen bis zu einer Leistung von 1 kW;(…) (Grote & Feldhusen, 2007)

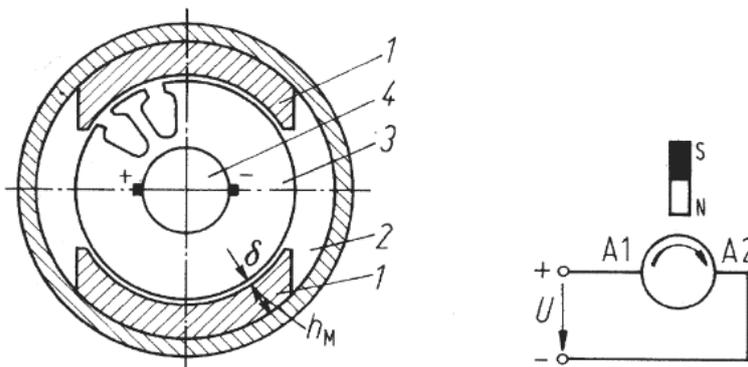


Abbildung 4-6: Aufbau und Schaltbilder von Kommutator-Kleinmotoren. a Ferritmagnet-Gleichstrommotor für 14 V, 1 Magnetssegment, 2 Eisenrückschluss, 3 Anker, 4 Kommutator mit aufliegenden Bürsten (Grote & Feldhusen, 2007)

Zum Antrieb des gering belasteten Riemens wurde bisher ein Gleichstrom-Kleinmotor von Faulhaber (3257L036CR) verwendet. Dieser hat den Vorteil, dass er das notwendige Moment ohne Getriebe aufbringen kann, einen geringen Platzbedarf hat und über ein kleines Netzteil mit der richtigen Gleichspannung von bis zu 36 Volt versorgt werden kann. Die genauen Daten des Motors befinden sich im Anhang (siehe A 5.13).



Abbildung 4-7: Vorhandener Gleichstrommotor (Faulhaber 3257L036CR)

Für den verwendeten Motor wurde leider keine Kennlinie gefunden. Allerdings wurde für einen ähnlichen Motor aus derselben Serie ein Betriebsbereichsschaubild gefunden, welches auch für den von mir verwendeten Motor geltend ist.

„Angabe ist der Bereich der möglichen Arbeitspunkte der Antriebe bei einer Umgebungstemperatur von 22°C.

Das Diagramm beschreibt die empfohlenen Drehzahlbereiche in Abhängigkeit vom Wellendrehmoment. Die Darstellung beinhaltet sowohl den Betrieb im thermisch isolierten als auch im gekühlten Zustand ( $R_{th2}$  um 50% reduziert).

Die Nennspannungskurve beschreibt die Betriebspunkte bei  $U_N$  im ungekühlten und gekühlten Zustand. Betriebspunkte oberhalb dieser Kurven benötigen eine Versorgungsspannung  $> U_N$ , Betriebspunkte unterhalb dieser Kurven  $< U_N$ .“

(fmcc.faulhaber.com, 2016)

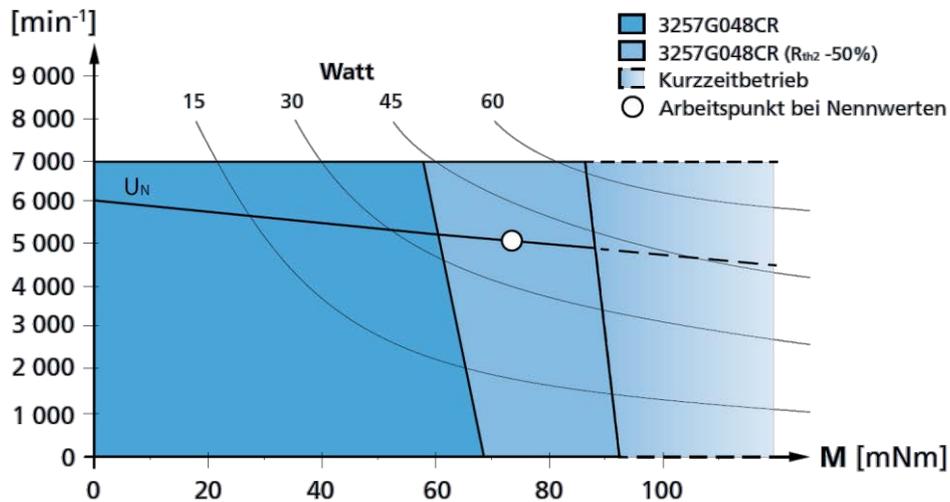


Abbildung 4-8: Beispiel für empfohlene Betriebsbereiche (fmcc.faulhaber.com, 2016)

## 4.3 Literaturrecherche Maschinengestelle (fs)

### 4.3.1 Definition

„Das Gestell einer Werkzeugmaschine verbindet einzelne Bauteile durch Führungen, damit sie untereinander relativ beweglich sind, oder durch Schrauben und Stifte, damit sie fest verbunden sind. Die wichtigste Forderung an Gestelle: Einhaltung einer genauen Lage einzelner Bauteile zueinander in belastetem und unbelastetem Zustand, eine „steife Ausführung“.“ Vgl. (Conrad, Taschenbuch der Werkzeugmaschinen, 2015)

### 4.3.2 Anforderungen an das Gestell

„Die wichtigsten Anforderungen an das Maschinengestell für den Festo-Roboter sind hohen statische und dynamische Steifigkeit. Dies wird benötigt um den Belastungen der Maschine standhalten zu können bzw. sollte das Gestell sogar ein wenig dämpfend wirken. Weiters muss die Vorrichtung richtig gestaltet werden damit die gewünschten Anforderungen für den Betrieb erfüllt wird.

Ein weiterer Gesichtspunkt bei der Gestaltung des Gestells ist die Ergonomie, hierbei soll der Arbeiter welcher die Maschine betreut, möglichst schonend die Bedienarbeiten erledigen können. Für den Anwender könnte auch die ästhetische Gestalt eine Rolle spielen.“ Vgl. (Schmid, 2001)

### 4.3.3 Gestellbauarten

„In der nachstehenden Abbildung werden verschiedene Gestellbauarten dargestellt. Für die Auswahl des richtigen Gestells müssen viele verschiedene Gesichtspunkte in Betracht gezogen werden. Wichtige Kriterien sind zum Beispiel der Kraftfluss im Gestell und die daraus resultierende Durchbiegung, ein weiterer Gesichtspunkt wäre wie ergonomisch das Gestell für den Anwender ist.

Bei Bettgestellen können große und schwere Werkstücke bearbeitet werden, da es sich um eine sehr kompakte Bauweise handelt. Der Nachteil ist, dass auf Grund der niedrigen Bauweise das Spannen nicht ergonomisch für den Arbeiter ist.

So genannte Winkelgestelle sind im Prinzip Bettgestelle welche in eine Richtung gekippt wurden. Hierbei können große Belastungen nicht so gut aufgenommen werden, dafür ist die Handhabung einfacher.

Bei den C-Gestellen handelt es sich um einen Sockel welcher als Arbeitstisch dient, welcher mit einem darüber liegenden Aufbau für die Arbeitsmaschine verbunden ist. Bei dieser Bauweise ist eine gute Arbeitshaltung gegeben, durch den C-Förmigen Aufbau kann es allerdings zur Durchbiegung kommen was sich wiederum auf die Genauigkeit auswirkt.

Wenn ein C-Gestell durch einen zusätzlichen Träger geschlossen wird spricht man von einem O-Gestell. Dieses hat alle Vorteile des C-Gestells und zusätzlich ist die Durchbiegung sehr gering. Portalgestelle sind im Allgemeinen O-Gestelle mit größerem Arbeitsbereich.“ Vgl. (Schmid, 2001)

### 4.3.4 Anforderungen an Gestellwerkstoffe

#### *Werkstofftechnische Anforderungen*

„Der Werkstoff muss die Belastungen der Maschine so aufnehmen können, dass es zu keiner plastischen Verformung oder zum Bruch kommen kann. Hierbei muss man in erster Linie auf die Streckgrenze bzw. die Dauerfestigkeit des Werkstoffes achten. Ein weiteres Kriterium für ein Gestell ist sein spezifisches Gewicht, hierbei muss das Beschleunigungsverhalten der Maschine beachtet werden, sowie auch auf die Masseverteilung, weil sich diese auf das statische und dynamische Verhalten auswirkt. Weiters sollten die Werkstoffe auch eine gewisse Dämpfung aufweisen damit die

Maschine nicht in einen Schwingbereich kommt. Hier sind der Elastizitätsmodul und der Gleitmodul wichtige Größen welchen beachtet werden sollten. Zu Letzt sollte auch ein jahrelanger Einsatz des Gestells möglich sein, dass bedeutet es müssen Eigenspannungen sowie Kriechneigungen beachtet werden.“ Vgl. (Weck, 2001)

### ***Fertigungstechnische Anforderungen***

„Aus fertigungstechnischer Sicht muss eine geeignete Bearbeitung für das Gestell gefunden werden damit die auftretenden Belastungen während der Bearbeitung aufgenommen werden können.

Eine weitere Unterscheidung findet zwischen Schweiß- und Gusskonstruktion statt. Hierbei muss auf eine geeignete Gussform geachtet werden bzw. bei einer Schweißkonstruktion auf den Verzug geachtet werden.“ Vgl. (Weck, 2001)

### ***Wirtschaftliche Anforderungen***

„Aus wirtschaftlicher Sicht sind die Materialkosten so gering wie möglich zu halten. Es soll aber ebenfalls ein Gestell für eine wirtschaftliche Fertigung, zum Beispiel Einbau in eine Fertigungsstraße, zustande kommen.“ Vgl. (Weck, 2001)

*Vor- und Nachteile von verschiedenen Werkstoffen*

| <b>Werkstoff</b>         | <b>Vorteile</b>   | <b>Nachteile</b>   |
|--------------------------|---|--|
| <b>Grauguss</b>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>-freizügig gestaltbar</li> <li>-gute Dämpfung</li> <li>-preisgünstig</li> <li>-korrosionsbeständig</li> <li>-gut zerspanbar</li> </ul>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>-geringe Steifigkeit</li> <li>-geringe Festigkeit</li> <li>-geringe Verschleißbeständigkeit</li> <li>-lange Beschaffungszeiten</li> <li>-Modellkosten</li> </ul>                                    |
| <b>Stahlguss</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>-freizügig gestaltbar</li> <li>-hohe Steifigkeit</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-sehr geringe Dämpfung</li> <li>-lange Beschaffungszeit</li> <li>-Modellkosten</li> </ul>   |
| <b>Stahl, geschweißt</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-hohe Steifigkeit</li> <li>-hohe Festigkeit</li> <li>-schnell verfügbar</li> <li>-einfach änderbar</li> <li>-kein Modell erforderlich</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-eingeschränkte Gestaltung</li> <li>-geringe Dämpfung</li> <li>-Schweißverzug</li> <li>-Dauerbruchgefahr</li> </ul>   |
| <b>Polymerbeton</b>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>-sehr gute Dämpfung</li> <li>-große Wärmeträgheit</li> <li>-gut gestaltbar</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-sehr geringe Steifigkeit</li> <li>-geringe Festigkeit</li> <li>-unsicheres Langzeitverhalten</li> <li>-schwierige Verarbeitung</li> <li>-nicht änderbar</li> <li>-schwierige Entsorgung</li> </ul> |

Abbildung 4-9: Vor- und Nachteile verschiedener Gestellwerkstoffe (Weck, 2001)

### 4.3.5 Belastungen auf das Gestell

#### Statische Belastungen

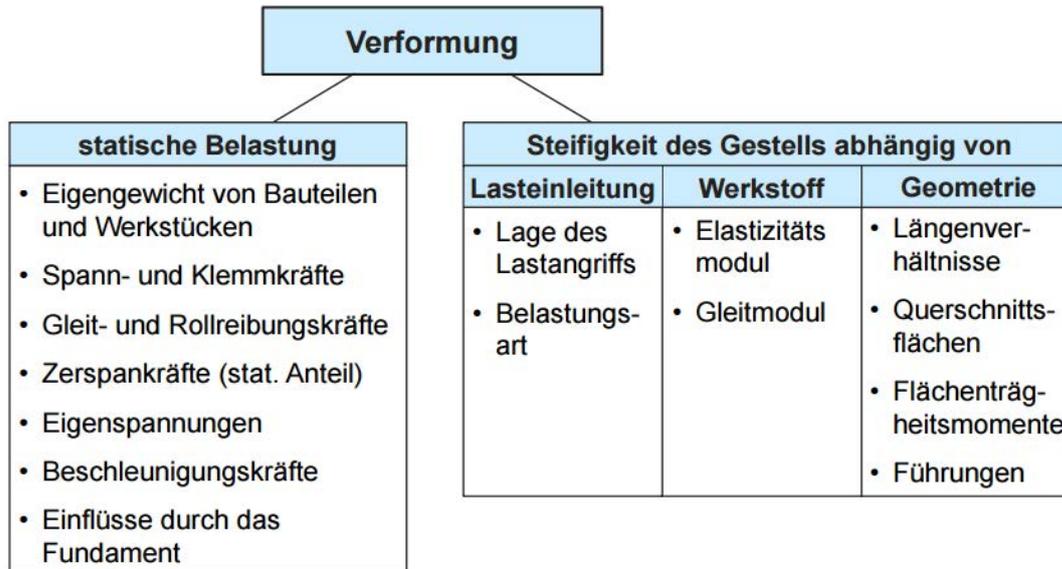


Abbildung 4-10: Statische Belastungen auf das Gestell (Weck, 2001)

#### Dynamische Belastungen

- Dynamische Belastungen führen zu Schwingungen der gesamten Werkzeugmaschine
- Beeinflusst durch:
  - Schwingungsfähige Massen
  - Masseverteilung
  - Dämpfung: Materialdämpfung, Dämpfung in Fügestellen
  - Steifigkeit
- Kenngößen:
  - Eigenfrequenzen
  - Dämpfung
  - Eigenschwingungsformen
  - Dynamische Nachgiebigkeit (frequenzabhängig)

Abbildung 4-11: Dynamische Belastungen auf das Gestell (Weck, 2001)

### 4.3.6 Charakteristische Eigenschwingungen des Gestells

„In der nachstehenden Abbildung werden die verschiedenen Eigenschwingungen aufgezeigt, hierbei wird zwischen Schwingungen nur über eine Achse oder über mehrere Achsen unterschieden.“ Vgl. (Weck, 2001)

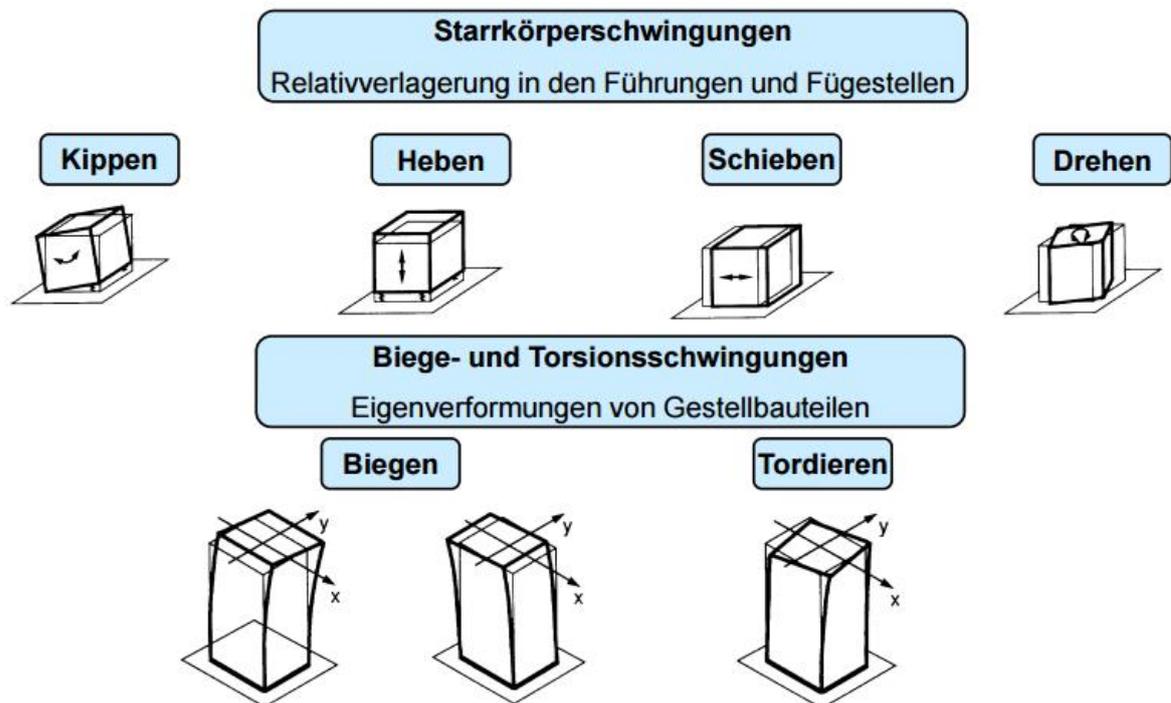


Abbildung 4-12: Mögliche Eigenschwingungen des Gestells (Weck, 2001)

## 4.4 Literaturrecherche Palette (It)

### 4.4.1 Definition

„Unter einer Palette versteht man Plattformen verschiedenster Formen, mit oder ohne Aufbauten, die das Zusammenfassen von mehreren gleichen oder verschiedenen Fördergütern ermöglichen. Es ist durch geeignete Auswahl der Palettenform bzw. durch Befestigen der Last darauf zu achten, dass vom Fördergut nichts hinunterfallen kann. [...]

Paletten werden vielfach aus Holz (meist Weichholz) hergestellt. Bei mehrfach verwendeten Paletten werden die stärker beanspruchten Stellen, wie z.B. die Auflagerklötze, häufig aus Hartholz ausgeführt.

Stahlpaletten haben eine größere Festigkeit und Lebensdauer und werden daher besonders bei häufiger Verwendung eingesetzt. Die Nachteile sind ein größeres Gewicht und ein geringer Reibungskoeffizient zwischen Palette und Boden.

Daneben gibt es Paletten aus Kunststoff, Leichtmetall und auch aus Wellpappe. Besonders letztere für leichtes Fördergut und als Wegwerfpalette (verlorene Palette oder auch Einwegpalette). [...]

Auf einer Flachpalette wird das Fördergut auf eine ebene Palette aufgelegt und wenn erforderlich, befestigt.“ Vgl. (Hoffmann, 2012)

### 4.4.2 Anforderungen unserer Palette

In unserem Fall geht es weniger um die Anordnung großer Mengen. Vielmehr muss eine genaue Positionierung der Übungsobjekte auf der Palette gewährleistet werden.

Zusätzlich muss die Palette der maximalen Kraft der Vertikalachse des Roboters während des Betriebs standhalten, und ein Auftreten von bleibende Schäden und Verformungen verhindern. Des Weiteren muss die Palette eine Zentrier-Möglichkeit für die Übungsobjekte aufweisen. Dies soll in einem Übungsbetrieb eine erhöhte Wiederholgenauigkeit des Beladungs- und Entladungsprozesses schaffen, wobei Schüler den Betrieb der gesamten Anlage erlernen. Aufgrund in Zukunft wechselnder Übungsobjekte muss diese Zentrier-Möglichkeit auch wechselbar ausgeführt werden um beispielsweise Würfel zu transportieren. Hierbei setze ich auf eine Two-Layer Konstruktion der Palette mit Bolt-On Adaptern. Bei der

Palette ist auch die Ästhetik ein wesentlicher Gesichtspunkt somit wird das Design symmetrisch entworfen und mit möglichst wenig hervorragenden Bauteilen erfolgen und folglich werden Senkungen für die Verschraubung eingeplant.

Die Palette soll folgende Anforderungen erfüllen:

- kostengünstig,
- leicht adaptierbar,
- geringe Eigenmasse
- kompakte Abmessungen

#### 4.4.3 Palettenbauarten

Für den konstruktiven Aufbau der Palette wurden unterschiedliche Varianten in Betracht gezogen.

##### *Variante 1*

Variante 1 besteht aus einer, aus dem Vollen gefrästen Palette (Abbildung 4-13).

Sie weist keine Adapterplatte auf und kann somit auch nur eine einzige Übungsobjektform aufnehmen.

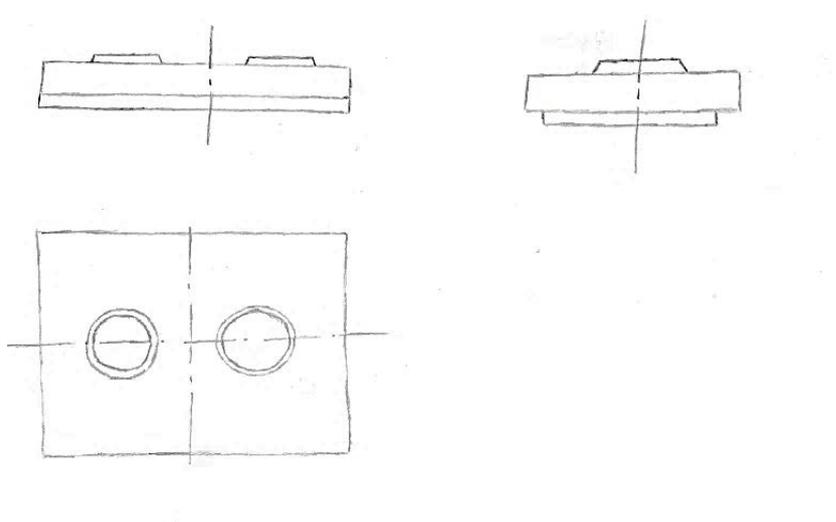


Abbildung 4-13: Variante 1 der Transportpalette

### Variante 2

Diese Variante besteht aus einer Grundplatte aus Stahl und einer Adapterplatte aus Kunststoff (Abbildung 4-14).

Die Adapterplatte ist an der Grundplatte angeschraubt und kann somit heruntergenommen und getauscht werden.

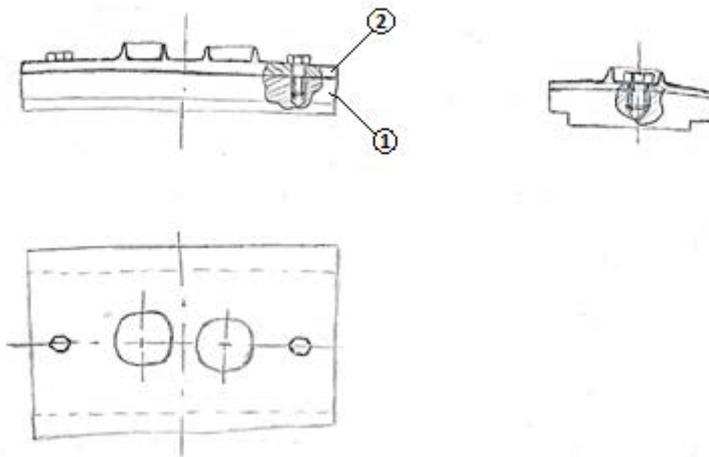


Abbildung 4-14: Variante 2 der Transportpalette (1 Grundpalette, 2 Adapterplatte)

#### 4.4.4 Bewertung von Lösungsvarianten

##### Bewertungstabelle

| Bewertungskriterien für die Palette                  |  |                             |  |
|--|--|-----------------------------|--|
| <b>Ausgangslage:</b>                                 | Im PRIA Labor wird eine Transportpalette für Übungsobjekte gebraucht.<br>Möglicherweise ändern sich im Laufe der kommenden Jahre die zu transportierenden Übungsobjekte.<br>Wahl zwischen Aluminium oder Stahl bzw Paarung aus Aluminium und RP-Aufnahmen.<br>Punktevergabe erfolgt durch das Team und auf Grund der Literaturrecherche. |                             |  |
| <b>Punktevergabe:</b>                                | 5 Punkte → Kriterium wird erfüllt<br>0 Punkt → Kriterium wird nicht erfüllt  |                             |  |
| <b>Bewertung:</b>                                    |  |                             |  |
| <b>Bewertungskriterien</b>                           | <b>Stahlanfertigung</b>  | <b>Aluminiumanfertigung</b> | <b>Modularer Aufbau (Stahl und Kunstst</b> |
| einfache Fertigung                                   | 4  | 4                           | 5  |
| adaptierbarkeit                                      | 0  | 0                           | 5  |
| Gewicht (weniger ist besser)                         | 3  | 4                           | 5  |
| Anzahl der Teile (weniger ist besser)                | 5  | 5                           | 3  |
| Materialkosten                                       | 5  | 3                           | 4  |
| <b>Gesamtpunkte</b>                                  | <b>17</b>  | <b>16</b>                   | <b>22</b>                                  |
| <b>Die Mischanfertigung wird gewählt (25 Punkte)</b> |  |                             |  |
| <b>Wichtigsten Argumente:</b>                        | adaptierbarkeit; RP-Material bereits vorhanden;  |                             |  |

Abbildung 4-15: Bewertungstabelle der Palettenkonstruktion

Aufgrund des Auswertungsbogens entschied ich mich für den modularen Aufbau, da bei dieser Variante die Adaptierbarkeit für unterschiedliche Übungsobjekte und Anordnungen auf der Palette gegeben ist.

##### Umweltrelevante Aspekte

Verwendung von ABS da es beständig gegen Witterungseinflüsse und Alterung ist und da es bei sauberer Trennung wieder problemlos eingeschmolzen und wiederverwendet werden kann.

Verwendung von Stahl als Trägerpalette nachdem Aluminium als krebserregend eingestuft wurde und Jugendliche damit arbeiten sollen.

#### 4.4.5 Vergleich der Lösungsvarianten

##### *Monoblock*

- Der Vorteil einer Monoblockversion ist eine höhere Festigkeit und Steifigkeit der Palette aufgrund größerer Querschnitte. Daraus folgend eine geringere Gefahr einer Beschädigung bei falscher Bedienung des Roboters, wenn es zu einer Kollision kommt.

Nachteilig ist ein höheres Gewicht, keine Adaptierbarkeit an andere Übungskörper oder an eine andere Form und/oder Position dieser.

Die Fertigung der Übungsobjektaufnahme gestaltet sich sehr schwierig und teuer.

- Die Vorteile der modular aufgebauten adaptierbaren Konstruktion (Variante 3 der Bewertungstabelle) sind:
  - geringeres Gewicht und wechselbare Aufsätze im Falle einer Abänderung der Übungsobjekte
  - und eine einfache und günstige Fertigung der Aufnahmeplatte mit einem 3D-Drucker.

#### 4.4.6 Kombination von Lösungen

Die Konstruktion wird als Baugruppe ausgeführt um die Adaptionmöglichkeit sicherzustellen.

Sie wird mit vier Gewindebohrungen versehen um eine genaue Positionierung zwischen den zwei Paletten zu gewährleisten.

In der derzeit gefertigten Version kommen zwei Kreisringe auf die Adapterpalette die aus dem Teil herausragen und genug Höhe aufweisen um die Übungsobjekte sicher zu zentrieren, sodass sie beim Transport nicht verrutschen können.

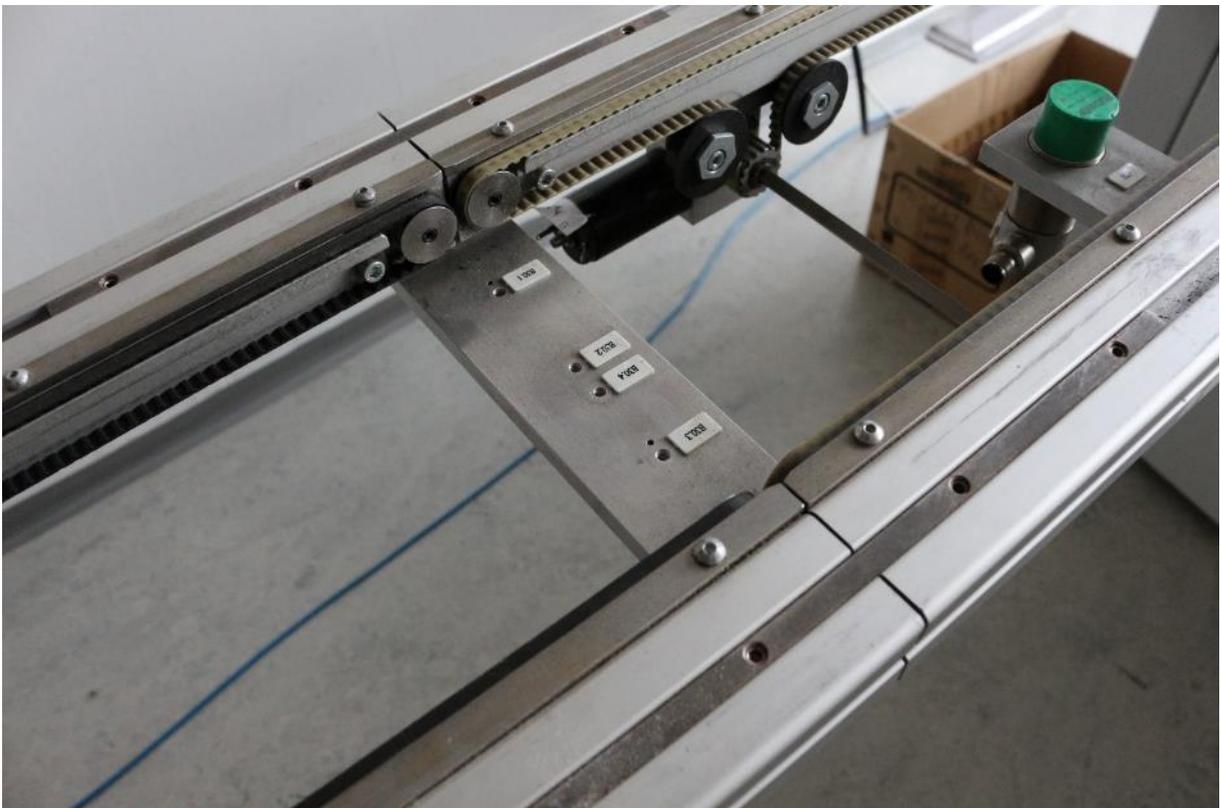
Die Entscheidung für eine Stahlpalette als Trägerplatte erfolgt nachdem ein Kostenvoranschlag von 70,00 € für ein Aluminiumblech von der Projektgruppe aus Kostengründen abgelehnt wurde. Das Material wird uns von der Schlosserei „ALREG“ kostenlos zur Verfügung gestellt.

## 5 Konzeptfindung

### 5.1 Instandsetzung Bandförderer (lp)

#### 5.1.1 Ist-Zustand Bandförderer

Für die Entwicklung des Fördersystems für die Paletten, mit dem die beiden Roboter verknüpft werden sollen, stand uns ein ausgemusterter zweiteiliger Bandförderer zur Verfügung.



*Abbildung 5-1: Zahnriemenförderer alt, Istzustand*

Da die Zahnriemen der alten Anlage, die als Träger für die Paletten verwendet werden, spröde Stellen und Risse aufwiesen, mussten diese ersetzt werden.



Abbildung 5-2: Zahnriemen alt, Beschädigungen

Jedoch hat sich gezeigt, dass die Erneuerung des bisherigen Zahnriemens sehr teuer kommen würde, weil es sich um ein Produkt mit hohem Industriestandard handelt. Deshalb wurde in Abstimmung mit dem Auftraggeber beschlossen, auf ein günstigeres System umzusteigen. Dies ermöglichte auch eine flexiblere Gestaltung der neuen Anlage.

Die folgenden Skizzen beschreiben die Anlage und ihre Bestandteile:

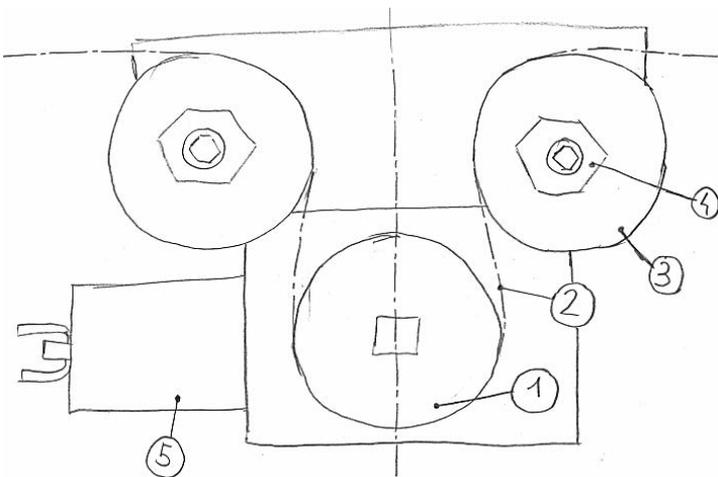


Abbildung 5-3 Bestandteile Antrieb (1 Zahnriemenscheibe, 2 Zahnriemen, 3 Spannrolle, 4 Exzentrerspanner, 5 DC-Motor)

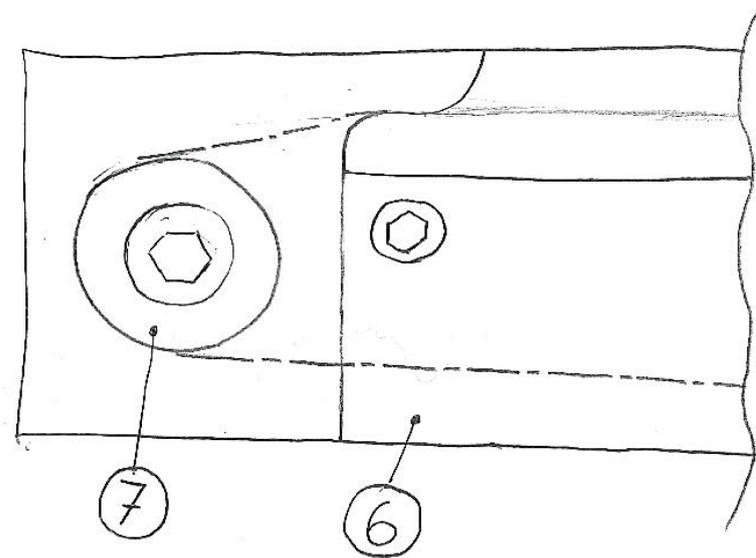


Abbildung 5-4 Bestandteile Umlenkung (6 Bandträger, 7 Umlenkrolle)

### 5.1.2 Konzepte für den neuen Riementrieb

#### **Konzept 1:**

Im ersten Konzept werden vier neue Riemen (2) mit einer Breite von 6 mm benötigt. Die Zahnform ist ein MGT-Profil (runde Zahnform) mit einem 5 mm Abstand zwischen den Zahnmitten, welches eine veränderte Version des HTD-Profiles ist. Aufgrund der neuen Zahnform werden auch vier neue Antriebsrollen (1) benötigt. Dies führt zu einem geringen Tausch Aufwand, da in dieser Version nur vier Zahnriemen und vier Antriebsrollen getauscht werden müssen. Weiter Informationen im Anhang (A5.12.1).

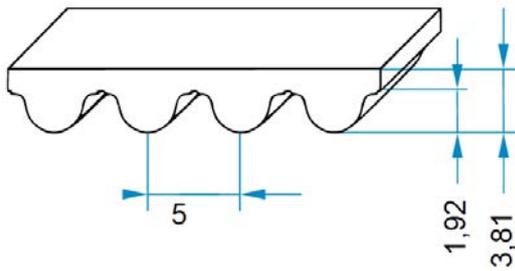


Abbildung 5-5: Zahnriemen MGT-Profil (Artikelnr.: 512938) (<https://www.zahnriemen24.de>, 2016)



Abbildung 5-6 Zahnriemenscheibe MGT-Profil (Artikelnr.: 410475) (<https://www.zahnriemen24.de>, 2016)

| Kosten und Fertigungszeit - Konzept 1 |                  |           |              |
|---------------------------------------|------------------|-----------|--------------|
| Objekt                                | Kosten pro Stück | Stückzahl | Objektkosten |
| Zahnriemen                            | € 30,30          | 4         | € 121,20     |
| Antriebsrollen                        | € 4,32           | 4         | € 17,28      |
| Versandkosten                         |                  |           | € 6,90       |
| Gesamt                                |                  |           | € 145,38     |
| geschätzte Fertigungszeit in Stunden: |                  |           | 6            |

Abbildung 5-7: Konzept 1, Kosten und Fertigungszeit

### Konzept 2:

Für das zweite Konzept werden vier neue Riemen (2) mit einer Breite von 10 mm benötigt. Die erhältliche Zahnform für diese Breite weist ein T5-Profil auf. Dieses ist ein Trapezprofil mit einem Abstand zwischen den Trapezmitten von 5 mm. Der Vorteil dieser Variante ist, dass die Antriebsrollen (1) weiterhin verwendet werden können, da die passenden Zahnriemenscheiben bereits auf der bestehenden Anlage verwendet wurden. Zu tauschen wären alle acht Spannrollen (3) und auch alle acht Umlenkrollen (7). Diese Rollen müssen nur aufgebohrt werden und sind dadurch relativ einfach zu fertigen. Allerdings sind in diesem Konzept 16 Stück zu fertigen. Dafür ergäbe sich eine größere Auflagefläche für die Palette durch die breiteren Riemen. Weitere Informationen im Anhang (A5.12.2).

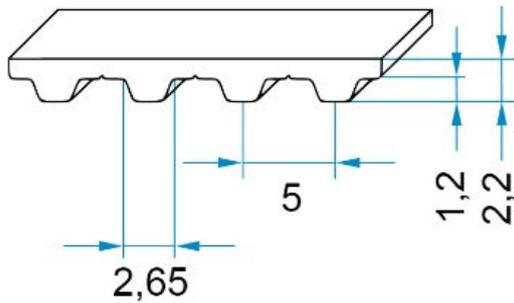


Abbildung 5-8: T5 Profil (Artikelnr.: 513043) (<https://www.zahnriemen24.de>, 2016)



Abbildung 5-9: Zahnriemenscheibe T5-Profil (Artikelnr.: 410920) (<https://www.zahnriemen24.de>, 2016)

| Kosten und Fertigungszeit - Konzept 2 |                  |           |              |
|---------------------------------------|------------------|-----------|--------------|
| Objekt                                | Kosten pro Stück | Stückzahl | Objektkosten |
| Zahnriemen                            | € 29,67          | 4         | € 118,68     |
| Spannrollen                           | € 7,44           | 8         | € 59,52      |
| Umlenkrollen                          | € 7,44           | 8         | € 59,52      |
| Versandkosten                         |                  |           | € 6,90       |
| Gesamt                                |                  |           | € 244,62     |
| geschätzte Fertigungszeit in Stunden: |                  |           | 7            |

Abbildung 5-10: Konzept 2, Kosten und Fertigungszeit

### Konzept 3:

Im dritten Konzept werden vier neue Riemen (2) mit einer Breite von 6 mm benötigt. Die Zahnform wäre ein T2,5-Profil. Dies weist wie in Konzept 2 ein Trapezprofil auf, allerdings mit einem Trapezmittenabstand von 2,5 mm. Durch die geringere Breite in der diese Zahnriemen erhältlich sind, können die bestehenden Umlenk- und Spannrollen (7, 3) weiterverwendet werden. Allerdings müssen wegen der anderen Trapezmittenabstände die vier Antriebs-Zahnriemenscheiben (1) getauscht werden. Weitere Informationen im Anhang (A5.12.3).

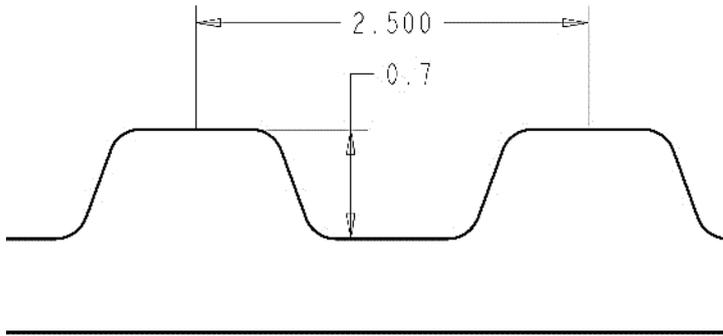


Abbildung 5-11 Zahnriemen T2,5 Profil (Artikelnr.: 16060000) (www.maedler.de, 2016)



Abbildung 5-12 Zahnriemenscheibe T2,5-Profil (Artikelnr.: 16023000) (www.maedler.de, 2016)

| Kosten und Fertigungszeit - Konzept 3 |                  |           |              |
|---------------------------------------|------------------|-----------|--------------|
| Objekt                                | Kosten pro Stück | Stückzahl | Objektkosten |
| Zahnriemen                            | € 76,62          | 4         | € 306,48     |
| Riemenschweißung                      | € 15,00          | 4         | € 60,00      |
| Antriebsrollen                        | € 5,52           | 8         | € 44,16      |
| Versandkosten                         |                  |           | unklar       |
| Gesamt                                |                  |           | € 410,64     |
| geschätzte Fertigungszeit in Stunden: |                  |           | 6            |

Abbildung 5-13: Konzept 3, Kosten und Fertigungszeit

### 5.1.3 Bewertung der Konzepte

Die Wichtigkeit der Kriterien ist in der Auflistung von oben nach unten fallend und jedes Konzept wurde zu jedem Kriterium mit einer Punktezahl zwischen 5 und 1 bewertet, wobei 5 Punkte sehr brauchbar und 1 Punkt wenig brauchbar bedeutet.

Die Kosten stehen im Vordergrund, aber auch die Einfachheit der Fertigung. Der Umfang der Fertigung ist ebenfalls für den Fertigungsaufwand ausschlaggebend. Also ergibt sich der Fertigungsaufwand aus der Fertigungszeit pro Stück und der Anzahl der zu fertigenden Teile. Die Zugfestigkeit der Riemen ist auf dieser Anlage nicht das wichtigste Kriterium, da nur sehr kleine Massen mit relativ wenig Geschwindigkeit bewegt werden. Das führt dazu, dass die in Konzept 3 verwendeten Zahnriemen, aufgrund deren Stahleinlage zwar eine höhere Zugfestigkeit haben, diese sich aber nur geringfügig auf die Gesamtbewertung auswirkt.

| Bewertungskriterien       | Gewichtung | Konzept 1    | Konzept 2    | Konzept 3    |
|---------------------------|------------|--------------|--------------|--------------|
| Kosten                    | 1,60       | 5,00         | 3,00         | 1,00         |
| Fertigungsaufwand         | 1,40       | 3,00         | 5,00         | 3,00         |
| Zugfestigkeit der Riemen  | 1,00       | 2,00         | 2,00         | 5,00         |
| <b>Gewichtete Summe</b>   |            | <b>14,20</b> | <b>13,80</b> | <b>10,80</b> |
| <b>Gewichtetes Mittel</b> |            | <b>4,73</b>  | <b>4,60</b>  | <b>3,60</b>  |

Abbildung 5-14: Bewertung der Konzepte

#### 5.1.4 Auswahl eines Konzepts und Begründung

Die Entscheidung fiel auf das Konzept 1, da die Gesamtkosten für den Riementrieb (Material: 145,38 €; geschätzte Fertigungszeit: 6 Stunden) am geringsten sind. Der Fertigungsaufwand setzt sich zusammen aus der Einfachheit der Teile, aber auch aus der Anzahl der Einzelteile. Hier würde zwar das Konzept 2 besser abschneiden, aber in Summe liegt das erste Konzept vorne. Die Zugfestigkeit des ersten Konzepts ist für diese Anlage ausreichend und wurde deswegen zwar schlechter bewertet, aber weniger stark gewichtet. Das führt dazu, dass das Konzept 1 in Summe das beste Konzept für den Riementrieb der Anlage darstellt.

## 5.2 Neukonstruktion Maschinengestell (fs)

Für den Festo-Roboter soll ein neues Maschinengestell konstruiert und gefertigt werden. Basierend auf den örtlichen Gegebenheiten und der Literaturrecherche siehe Kap. 4.3 habe ich folgende drei Varianten verglichen.

### 5.2.1 Stahlkonstruktion (Variante 1)

Bei der Stahlkonstruktion wird das komplette Maschinengestell aus Formrohren zusammengeschweißt werden, hierbei ist der Fertigungsaufwand mit 20 Stunden im Vergleich

zu den anderen Varianten relativ hoch. Diese Konstruktion hätte eine hohe Steifigkeit und eine hohe spezifische Masse, welche für die Kippsicherheit und die Standfestigkeit gegen Verrutschen des Gestells günstig wäre. Auf der anderen Seite ist das Konzept relativ unflexibel, sprich die Höhe der Tischplatte kann auf Grund der fix eingeschweißten Querholme nicht variiert werden. Nachteilig sind auch höhere Kosten, weil wir alle dazu notwendigen Formrohre zukaufen müssten, da keine im Bestand des PRIA-Labors befinden. Der Materialbedarf würde zu Kosten in der Höhe von ca. 250,00 € führen.

### Skizze der Stahlkonstruktion

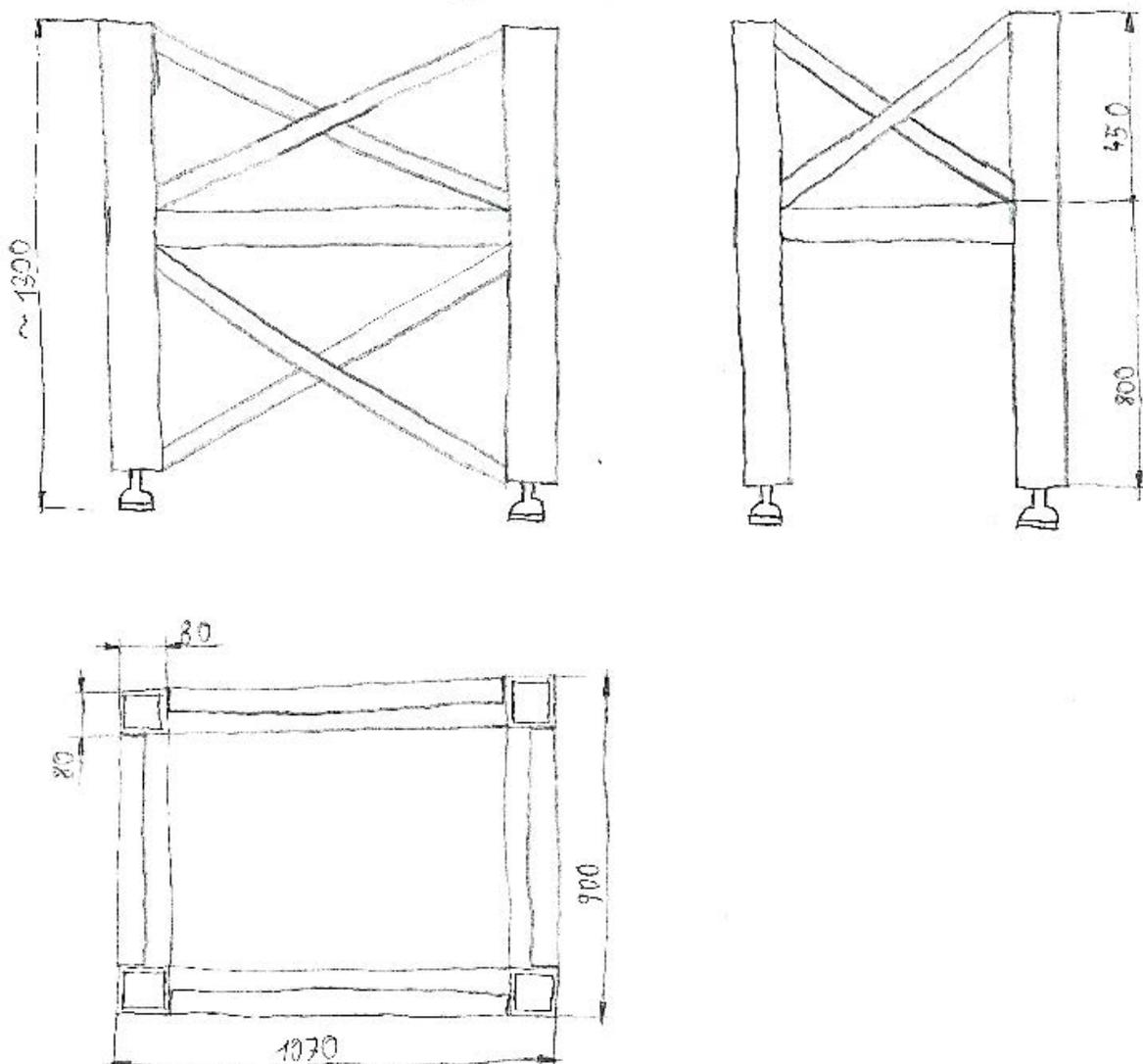


Abbildung 5-15: Skizze Stahlkonstruktion

### **Abschätzung des Materialbedarfs**

Materialbedarf: (zu kaufen)

Formrohr: 80x80x3; 4 Stk. 1250mm lang = 5m  
Formrohr: 80x60x3; 2 Stk. 910mm lang  
2 Stk. 740mm lang = 3,3m  
Formrohr: 40x40x3; 2 Stk. 1185mm lang  
2 Stk. 1060mm lang  
2 Stk. 1015mm lang  
2 Stk. 865mm lang = 8,25m

Abbildung 5-16: Materialbedarf Stahlkonstruktion

### **5.2.2 Aluminiumprofil Konstruktion (Variante 2)**

Bei den vorgesehenen Aluminiumprofilen handelt es sich um quadratische Profile der Firma Bosch, Typ: Strebenprofil 40 x 40L, welche auf jeder Seite eine Nut besitzen (siehe Abbildung 5-17 Querschnitt Aluminiumprofil). Mittels Nutensteinen können über diese Nuten weitere Profile oder Winkel befestigt werden. Da bei dieser Variante nur der Zuschnitt der Profile notwendig wäre ist der Fertigungsaufwand mit geschätzten 12 Stunden eher gering. Diese variable Anordnung der Nutensteine ermöglicht eine relativ flexible Konstruktion. Die Verbindung der einzelnen Holme würde mittels Winkel vorgenommen werden. Ein Nachteil dieser Aluminiumprofile ist die geringere Festigkeit im Vergleich zur Stahlkonstruktion, weiters wäre das Gewicht ebenfalls geringer und somit auch die Standfestigkeit. Im Bestand des PRIA-Labors befinden sich noch einige 40 x 40 mm Profile, welche für die Verstreben verwendet werden können. Die Fußholme, welche zurzeit aus Strebenprofilen 90 x 90 mm bestehen, sind nicht mehr in ausreichender Länge vorhanden. Somit mussten wir diese Profile zukaufen, was sich als sehr kostspielig erweisen würde. Der Materialbedarf würde zu Kosten in der Höhe von ca. 325,00 € führen.

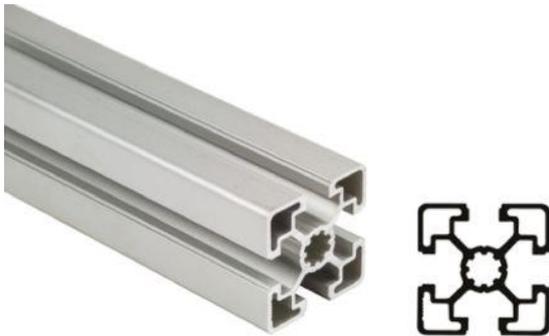


Abbildung 5-17: Querschnitt Aluminiumprofil

**Skizze der Aluminium- Profil Konstruktion**

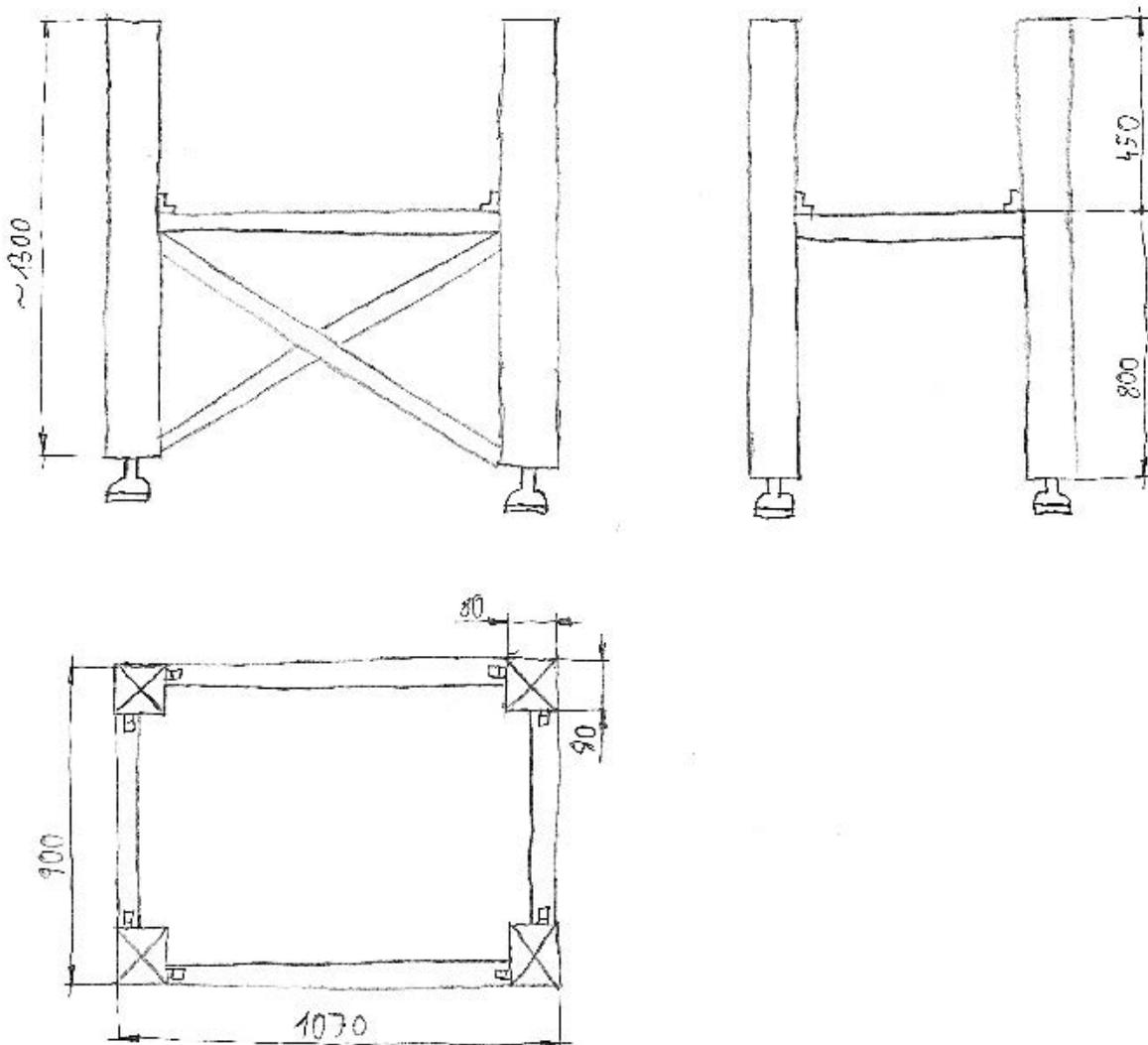


Abbildung 5-18: Skizze Aluminium Profilkonstruktion

### **Abschätzung des Materialbedarfs**

Materialbedarf: (zu kaufen)

Profil: 80x80 ; 4 Stk. 1250 mm lang = 5 m

Materialbedarf: (bereits vorhanden)

Profil: 40x40 ; 2 Stk. 910 mm lang

2 Stk. 740 mm lang

2 Stk. 1185 mm lang

2 Stk. 1060 mm lang = 7,79 m

Verbindungswinkel: Winkel 30x30 30 mm lang  
8 Stk.

Abbildung 5-19: Materialbedarf Aluminium Profilkonstruktion

### **5.2.3 Mischkonstruktion (Stahl/Aluminium) (Variante 3)**

Bei der Mischkonstruktion würde das Untergestell aus Formrohren geschweißt und das Obergestell aus Aluminiumprofilen zusammengebaut werden. Bei dieser Variante würde sich der Fertigungsaufwand mit ca. 15 Stunden im Mittelfeld der Varianten aufhalten. Hierbei hätten wir ein relativ schweres Untergestell, welches auch sehr steif ausgeführt werden kann. Das Obergestell wäre hingegen durch die Verschraubung mit Hilfe der Nuten in den Aluminiumprofilen immer noch variabel (siehe Abbildung 5-20). Bei dieser Variante müssten wir die Formrohre für das Untergestell kaufen, die Aluminiumprofile für das Obergestell wären im Bestand im PRIA-Labor. Auch derzeit verwendete Aluminiumprofile der Fußholme können verwendet werden da diese für das Obergestell in ausreichender Länge vorhanden sind. Der Materialbedarf für die dritte Variante würde zu Kosten in der Höhe von ca. 160,00 € führen.

*Skizze der Mischkonstruktion (Untergestell)*

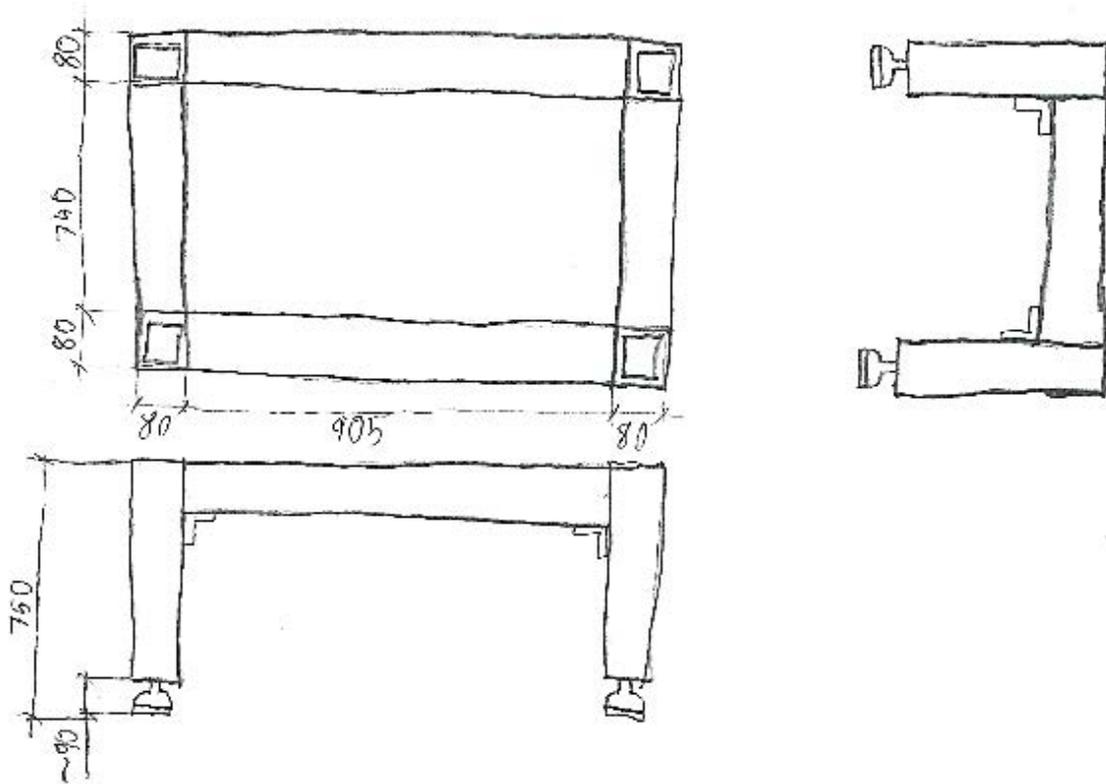
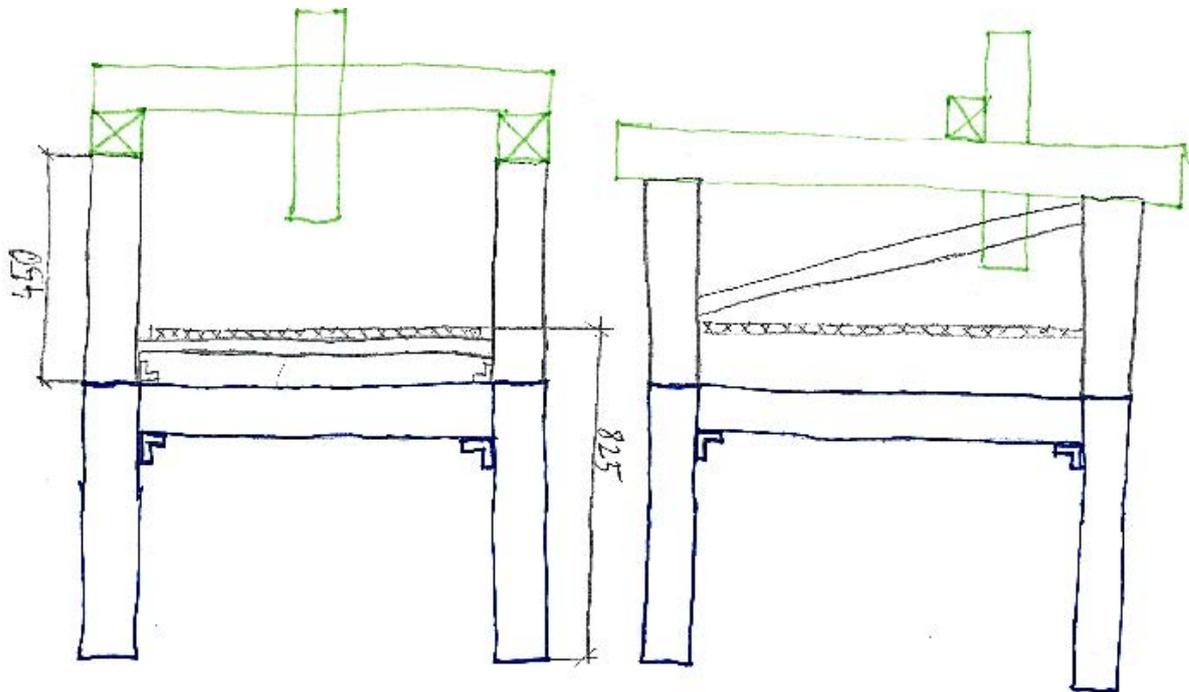


Abbildung 5-20: Skizze Mischkonstruktion (Untergestell)

### Skizze der Mischkonstruktion (Obergestell)



— Roboterbestandteile  
— Untergestell

Abbildung: 5-21: Skizze Mischkonstruktion (Obergestell)

#### 5.2.4 Bewertung der Gestellkonstruktionen

Es wurden die drei zuvor vorgestellten Varianten bewertet. Die Bewertung wurde für:

- die Fertigungsschwierigkeit
- den Zusammenbau
- die Masse der einzelnen Gestelle
- die Flexibilität Konstruktion
- Kosten für das PRIA-Labor

Die Punktevergabe erfolgte folgendermaßen:

1 Punkt → eher unbrauchbar

5 Punkte → sehr empfehlenswert

| Bewertungskriterien   | Stahlkonstruktion | Alu-Profilkonstruktion | Mischkonstruktion |
|-----------------------|-------------------|------------------------|-------------------|
| einfache Fertigung    | 3                 | 5                      | 4                 |
| einfacher Zusammenbau | 5                 | 3                      | 4                 |
| Gewicht (mehr besser) | 3                 | 5                      | 4                 |
| Veränderungen (Umbau) | 3                 | 5                      | 5                 |
| Materialkosten        | 4                 | 2                      | 5                 |
| Punkte Summe:         | 18                | 20                     | 22                |

Abbildung 5-22: Bewertung der Konzepte

Meine Wahl fällt mit 22 Punkten auf die Variante 3, Mischkonstruktion aus (Stahl und Aluminium) mit 22 Punkten.

Die wichtigsten Argumente für die Entscheidung waren der geringe Aufwand für Umbauten und des Weiteren die geringen Materialkosten (Zukauf der Formrohre). Diese Entscheidung wurde natürlich auch mit unserem Auftraggeber und unserem Projektbetreuer abgesprochen und von Beiden bewilligt.

## 6 Entwerfen

### 6.1 Testobjekte (fe)

Das folgende Testobjekt wird auf der Palette transportiert und von den Linearrobotern mit Hilfe der Parallelgreifer umgeschlagen.



*Abbildung 6-1: Testobjekt*

### 6.2 Greiferfinger (fe)

Beide Linearroboter (siehe Abbildung 2-1) werden im Rahmen dieses Projekts mit Greifern erweitert. Diese Greifer müssen von mir, mit selbst konstruierten und gefertigten Fingern, ausgestattet werden.

Die Aufgabe der Greiferfinger ist es, die Testobjekte (siehe Abbildung 6-1) zu greifen und auch zu halten ohne dass diese beim Verfahren des Roboters hinunterfallen. Es standen uns ein Greifer der Firma Festo und zwei Greifer der Firma Schunk zur Verfügung. Um einen Mehraufwand durch zwei unterschiedliche Systeme zu vermeiden, wurden die zwei Schunk Greifer verwendet, obwohl der Festo Greifer leichter auf die vertikale Achse der Roboter zu montieren gewesen wäre.

### 6.2.1 Festlegung der Abmessungen

Das Verfahren bei der Konstruktion und Bewertung der unterschiedlichen Greiferfinger lief immer gleich ab. Zuerst wurden die Maße des Greifers aufgenommen und der fehlende Abstand der Backen auf den Durchmesser des Übungsobjektes berechnet. Danach kam es zu einem Brainstorming mit meinem Team und möglichen Konstruktionsskizzen. Diese wurde dann mit PTC Creo 2.0 gezeichnet und anschließend mit Autodesk Inventor 2017 in einer FEM-Simulation getestet.

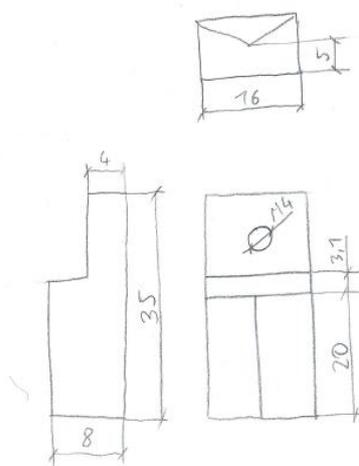


Abbildung 6-2: Greiferfinger Schunk Version A Skizze

### 6.2.2 Werkstoffauswahl und Fertigungsverfahren

Die Auswahl des Werkstoffes belief sich auf Stahl, Alu oder Kunststoffe und deren Fertigung konnte mittels Fräsen oder 3D-Druck realisiert werden. Da bei Fehlern von Schülern die Greiferfinger kaputtgehen könnten und diese notfalls nachgeben, wurde für 3D gedruckte Finger entschieden. Diese können jederzeit mit dem Programm nachgedruckt werden.

Die Werkstoffwahl der Greiferfinger endete mit der Entscheidung ABS zu verwenden, da die Optik und Haptik der Finger nicht ausschlaggebend waren, sondern eine höhere Festigkeit erwünscht war, um Verschleiß oder Ausbrechen von Kanten in Bereichen mit hohen Spannungen entgegenzuwirken.

Für die Fertigung konnte ich auf einen 3D-Drucker (Zortax M200) unserer Abteilung zurückgreifen. Dieser arbeitet mit dem FDM-Verfahren, bei dem ABS-Kunststoff über eine Düse schichtweise aufgetragen wird.

### 6.2.3 Auslegung

Ausgehend von den erforderlichen geometrischen Abmessungen lt. Kapitel 6.2.1 wurde der Greifer schrittweise verbessert. Teilweise wurden die unterschiedlichsten Versionen mit dem 3D-Drucker gefertigt und einem Praxistest unterzogen.

Zusätzlich wurden die zu erwartenden Spannungen mit einer FE-Analyse (siehe Kapitel 7.2.2) untersucht.

Getestet wurden hierbei die auftretenden Spannungen bei einer Schließkraft von 145 N (siehe A 5.11). Nach und nach wurden weitere Verbesserungen hinzugefügt, bis schlussendlich die finale Version gedruckt wurde.

### 6.2.4 Versionen

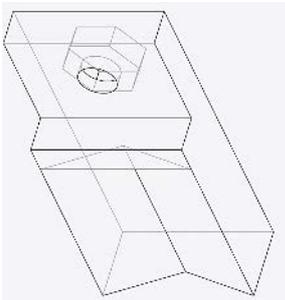


Abbildung 6-3: Version B

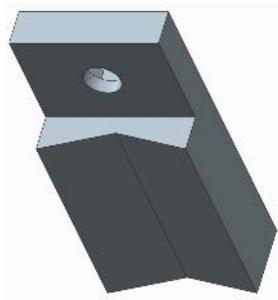


Abbildung 6-4: Version C



Abbildung 6-5: Version F

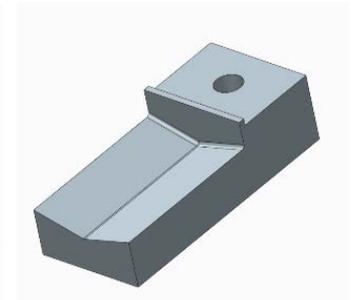


Abbildung 6-6: Version G

Die Version A wurde mit einer Ausnehmung für die Aufnahme einer Sechskantmutter ergänzt (siehe Abbildung 6-3).

Da die quer verlaufende Kante den Finger in der Höhe einschränkt, wurde diese in Version C entfernt (siehe Abbildung 6-4).

Die Varianten D und F basieren auf C und stellen nur sicher, dass die Greiferfinger weiter auseinander fahren um ein Positionieren leichter bewerkstelligen zu können. Version F hatte

eine abgerundete Greiffläche. Diese gaben den Übungsobjekten jedoch nicht ausreichend Halt. Nach Rücksprache mit den Betreuern wurde diese Variante verworfen. Mit der Version E wurde durch die Verminderung der Kerbwirkungen noch eine höhere Belastbarkeit erzielt und zuletzt wurden auf Wunsch des Auftraggebers der Abstand zwischen den Fingern in geöffneter Lage vergrößert. Dies ergab Variante G (siehe Abbildung 6-6).

### 6.3 Adapterplatte für die Greifer (fe)

Um den Greifer auf der vertikalen Achse des Roboters befestigen zu können, ist eine Adapterplatte erforderlich.

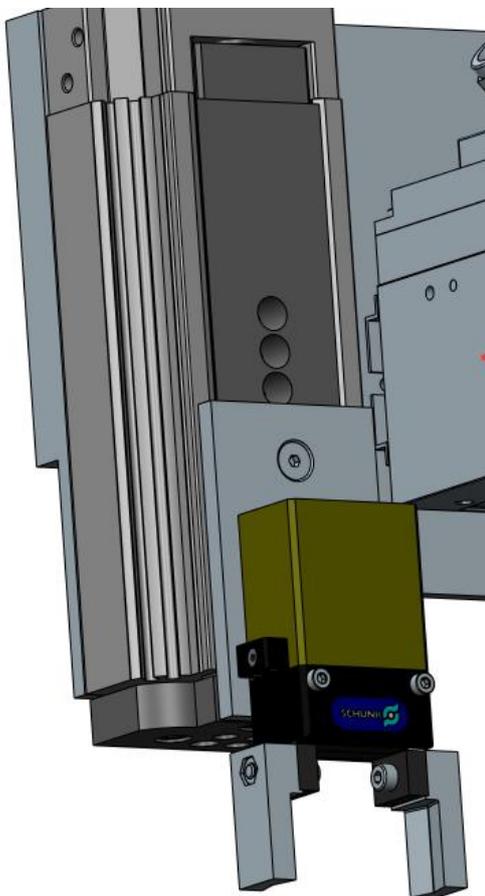


Abbildung 6-7: Greifervorrichtung Flächenportalroboter

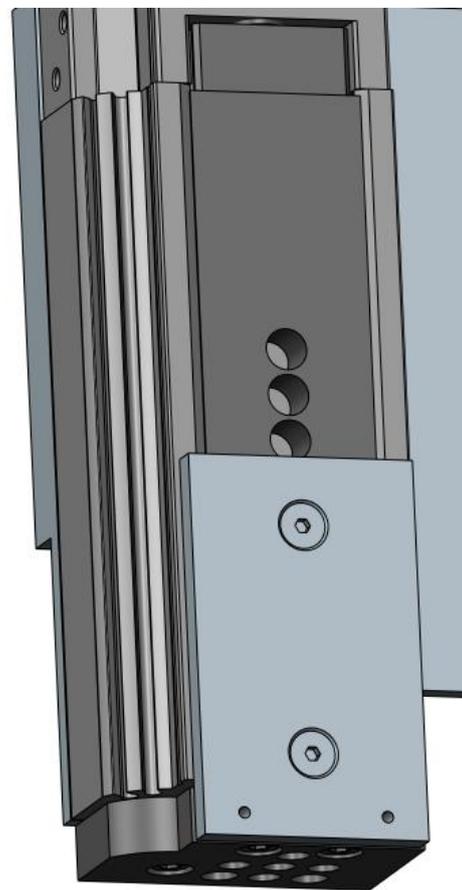


Abbildung 6-8: Adapterplatte

### 6.3.1 Festlegung der Abmessungen

Mit Hilfe der 3D Dateien, welche aus dem Online Downloadportal bezogen wurden, für den Zylinder von Festo und den Greifern von Schunk wurde eine Adapterplatte entworfen. Diese ermöglicht die Befestigung der Greifer an die Zylinder der Roboter, und gleichen somit auch Höhenunterschiede aus.

### 6.3.2 Werkstoffauswahl

Zur Auswahl standen die Werkstoffe Stahl und Aluminium. Die Zylinder sollen nicht zu viel Last heben sollen. Da die Greifer selbst schon ein gewisses Gewicht haben und aufgrund der besseren Zerspanbarkeit wurde Aluminium gewählt. Dies ist auch optisch ansprechend und wir vermeiden eine bei Stahl erforderliche Oberflächenbehandlung.

## 6.4 Elektronischer und Pneumatischer Schaltkasten (fe)

### 6.4.1 Elektronische Steuerung

Das Ziel ist es, einen elektronischen Schaltkasten zu entwerfen, der zukünftige Erweiterungen zulässt. Er soll eine SPS enthalten, welche die Eingaben über Tastern und Hebeln verarbeitet und die gewünschten Informationen an eine Magnetventilinsel, beziehungsweise an einen Motortreiber, der die Signale mit Pulsweitenmodulation an die Kleinmotoren schickt, weitergibt.

Als SPS war ursprünglich ein Raspberry Pi gedacht, da dieser einfacher zu programmieren ist. Da die Magnetventile jedoch auch von der SPS geschaltet werden sollten, müsste ein Relais verwendet werden, da die erforderlichen Spannungen nicht ausgegeben werden könnten. Deswegen wird schlussendlich ein Controllino MAXI verwendet, der auch bereits vorrätig ist.

### *Funktionsweise der Steuerung*

Zur Betätigung des Förderbands wird ein Signal mit einem Taster ausgelöst, welches veranlasst, dass sich die Motoren in die gewünschte Richtung drehen. Das geht so lange bis die Palette an den Endschalter gelangt, oder man mit der gleichen Taste die Bewegung stoppt. Zusätzlich soll von Anfang an ein Fehler angezeigt werden, der vor der ersten Fahrt zu quittieren ist. Ebenso dient dieser Schalter als Schutzschalter beim Ausfall einer der beiden

Endschalter. Falls einer oder beide Endschalter eine Fehlfunktion aufweisen, geht das System in den Fehlermodus. Nach der Analyse des Fehlers muss erst wieder die Fehlermeldung quittiert werden, bevor ein weiterer Betrieb möglich ist.

## **6.4.2 Pneumatische Steuerung**

Bei der Ansteuerung der pneumatischen Systeme wird eine Magnetventilinsel verwendet. Diese bekommt durch die Betätigung des Hebelschalters Signale durch jeweils zwei Relais. Ein Ventilblock verwendet für jede Stellung (oben/unten bzw. auf/zu) ein Relais. Diese werden gegengleich geschaltet. Die SPS schließt mit Relais, falls erwünscht, den 24V Stromkreis.

Der pneumatische Steuerkasten soll mit drei Absperrhähnen ermöglichen, einzelne Leitungen zu sperren, falls nicht alle Kreise (Raumportalroboter, Kuka-Roboter, Flächenportalroboter) verwendet werden sollen. Diese funktionieren rein mechanisch, ohne jede Elektrik.

## **6.5 Auswahl von Zukaufteilen (fe)**

Wie in der Aufgabenstellung erwünscht, konnten fast alle Bauteile aus den Vorräten des PRIA-Labors entnehmen werden. Somit mussten keine pneumatischen Teile zugekauft werden. Freundlicherweise wurden uns von Fachlehrer Hager eine Magnetventilinsel und einige Schläuche bereitgestellt. In Gegenzug erhält er bei Bedarf eine Magnetventilinsel mit BUS-Schnittstelle vom PRIA-Labor.

## **6.6 Bandförderer (lp)**

### **6.6.1 Festlegung der Abmessungen**

Da die Längs-Abmessungen des vorhandenen Bandförderers den Anforderungen entsprechen musste er diesbezüglich nicht angepasst werden. Die Spurbreite des Bandförderers konnte leicht variiert werden und ich entschied mich für einen Mitten-Abstand der Aluminiumprofile von 220 mm. Die Länge des Bandförderers beträgt 2 Meter mit einer nutzbaren Förderlänge von 1,97 Meter.

### 6.6.2 Werkstoffauswahl

Die Werkstoffe des Bandförderers sind größtenteils durch den Bestand gegeben. Die Werkstoffauswahl ist für den Bandförderer wenig relevant, da es sich hier nur um geringe Anforderungen handelt. Durch das geringe Gewicht der tragenden Aluminium-Profile ist der Bandförderer leicht zu montieren. Weiters wurde bei der Bestellung darauf geachtet, dass der Zahnriemenrücken keine glatte Beschichtung hat. Somit erreichen wir eine möglichst große Reibung zwischen Transportpalette und Zahnriemen, um diese ohne auf dem Zahnriemen zu rutschen befördern zu können. Genaue Angaben über den Reibwert des Zahnriemenrückens werden vom Hersteller auch auf Anfrage nicht bekanntgegeben.

### 6.6.3 Auslegung des Zahnriemenförderers

Es wurde darauf geachtet, dass alle Anforderungen des Auftraggebers erfüllt werden. Der Bandförderer ist gereinigt worden und vollständig auf Funktion geprüft worden. Vor allem auf die Lager und auf eine möglichst geringe Verspannung der Antriebseinheit wurde geachtet. Insbesondere wurde aber auch darauf geachtet, dass der Bandförderer als Ganzes sehr steif ist. Wichtig ist uns auch, dass die Riemen langlebig sind. Deswegen wurden diese ohne Stahleinlage bestellt, was für eine höhere Flexibilität sorgt. Somit kann erreicht werden, dass diese, nicht so wie die bestehenden Zahnriemen, knicken und dadurch reißen.

### 6.6.4 Auswahl von Zukaufteilen

Da die vorherigen Zahnriemen sehr spröde und rissig waren, war von vornherein klar, dass diese durch neue ersetzt werden müssen. Allerdings können diese nicht selbst gefertigt werden und müssen deswegen zugekauft werden. Ebenfalls mussten, wie im Kapitel 5.1 bereits beschrieben, die passenden Zahnriemenscheiben bestellt werden.

## 6.7 Maschinengestell (fs)

### 6.7.1 Festlegung der Abmessungen

Die Abmessungen für das neue Maschinengestell wurden durch die Spurbreite des Roboters fixiert. Somit konnten auch die Maße von bisherigen Gestell beibehalten werden.

### **6.7.2 Werkstoffauswahl**

Die Werkstoffauswahl wurde bereits bei den verschiedenen Konzepten mitberücksichtigt. Es müssten somit keine zusätzlichen Überlegungen für die Werkstoffzuordnung der einzelnen Bauteile getroffen werden. Hierbei kam uns ebenfalls der Aluminium-Profil Bestand des PRIA-Labors zugute.

### **6.7.3 Auslegung**

Die Auslegung der einzelnen Bauteile erfolgte so, dass alle Anforderung die vom Auftraggeber gestellt worden sind auch erfüllt werden können. Da die Wahl des Konzeptes auf die Mischkonstruktion gefallen ist, wurde versucht das Untergestell aus möglichst massiven Stahlprofilen zu entwerfen, damit die Kippgefahr geringer ist und die Masse des Gestells höher ist um ein verrutschen der Konstruktion zu verhindern. Das Obergestell aus Aluminium-Profilen hat den Vorteil das Einbauten, wie zum Beispiel die Tischplatte, einfach auf eine andere Höhe versetzt werden können.

### **6.7.4 Baugruppen**

Um die Realisierung des Gestells einfacher zu gestalten wurde es in zwei Baugruppen unterteilt. Die genauere Beschreibung der Baugruppen wurde bereits im Kapitel 5.2.3 erledigt.

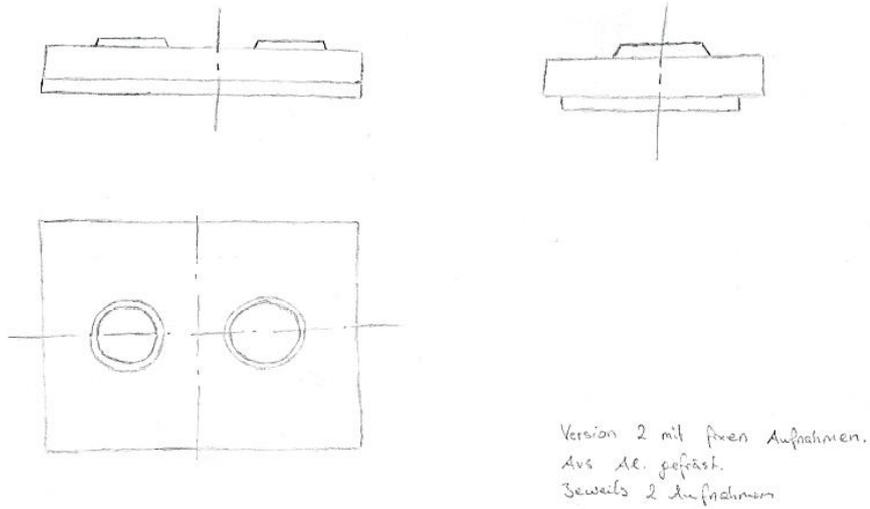
### **6.7.5 Auswahl von Zukaufteilen**

Die Zukaufteile für das Maschinengestell beschränken sich auf das Rohmaterial (Formrohre) für das Untergestell und die Maschinenfüße. Es wurde in Verbindung mit den Auftraggeber besprochen, dass dämpfende Maschinenfüße zugekauft werden können.

## **6.8 Transportpalette (It)**

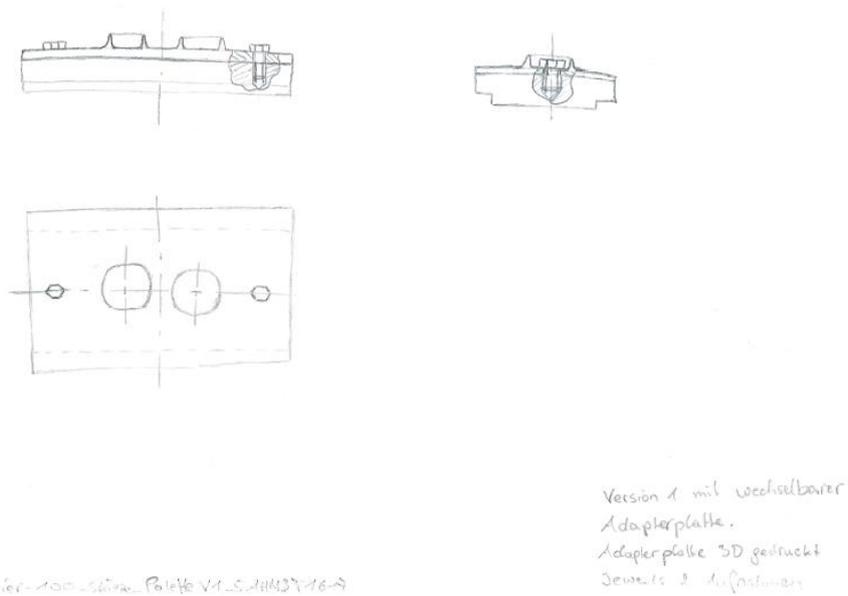
### **6.8.1 Designstudie**

Zu Beginn gab es erstmalige Entwürfe der verschiedenen Konzepte, mit und ohne Adapterplatte.



T6 - Teier-100 - Skizze - Palette V2 - 5/11/18/10/19

Abbildung 6-9: Konzept V1 der Palette; nicht adaptierbare Palette



T6 - Teier-100 - Skizze - Palette V1 - 5/11/18/10/19

Abbildung 6-10: Konzept V2 der Palette; adaptierbare Palette

Das Grundkonzept der Transportpalette war weitgehendst vorgegeben:

- Die Palette sollte rechteckig sein und eine ausreichende Länge haben, um eine gute Führung auf dem Bandförderer durch die seitlichen Führungsleisten zu ermöglichen.
  - Sie sollte einen Absatz an der Unterseite aufweisen, um sich auf dem Bandförderer zu zentrieren und um ihre Spur während des Verfahrens beizubehalten.
  - Die Palette benötigt zwei 5 mm breite Nuten, um über die Bordscheiben der Zahnriemen-Führungsrollen ungehindert gleiten zu können.
- Dies ergab sich erst nachdem der Zahnriemen feststand. Die Palettenkonstruktion musste daher nachträglich an diese Vorgaben angepasst werden.

Für die Befestigung der Adapterplatte (siehe Abbildung 6-12) wurden vier M5 Senkkopfschrauben vorgesehen.

Zuerst wurde die Befestigung der Adapterplatte mit zwei Schrauben auf der Symmetriellängsachse der Palette vorgesehen.

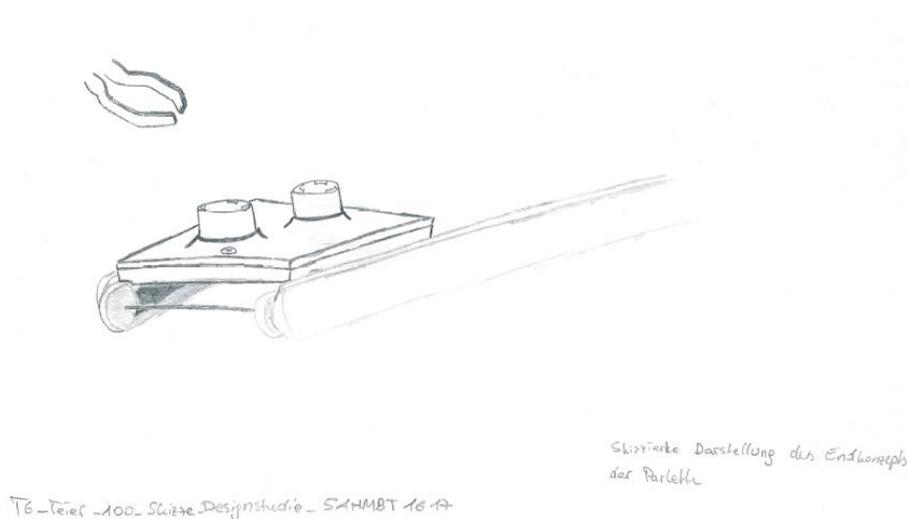


Abbildung 6-11: Designstudie des adaptiven Konzepts

Aufgrund mangelnder Positioniergenauigkeit und dem fertigungsbedingten Verzug der Adapterplatte (wegen der dünnen, aber flächenmäßig großen Platte kam es bei der Produktion mit dem 3D-Drucker zu dem Warp-Effekt) wurde die Montage schlussendlich mit M5 Schrauben geändert. Es wurden Senkkopfschrauben verwendet, um auch einen sauberen Abschluss zwischen Trägerplatte und Adapterplatte gewährleisten zu können.

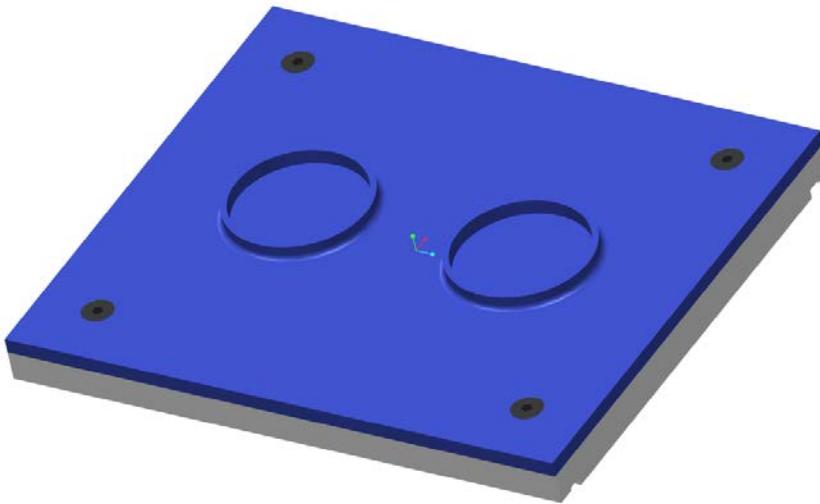


Abbildung 6-12: Transportpalette B

Auch bei der Adapterplatte gab es einige Funktionen die gewährleistet werden mussten:

- Erfüllung von Positionierungsgenauigkeiten bei Testbetrieb
- Leichte Reproduzierbarkeit bei:
  - Schadensfall während eines Testbetriebs und
  - Abänderung der Testobjekte
- Einfache Montage und Demontage
- Versenkung der Befestigungsschrauben in der Adapterplatte
- Zentrierung der Übungsobjekte um den Beladevorgang so einfach wie möglich zu gestalten

Somit gab es auch eine Recherche, um die besten Rapid-Prototyping Werkstoffe für sowohl unsere Maschinen am TGM als auch für die Fertigungsteile zu finden.

Hierbei sind wir zu dem Endschluss gekommen und haben uns für ABS entschieden.

Dessen Vorteile sprechen für sich:

- hohe Festigkeitswerte
- gute Medienbeständigkeit
- hohe Härte
- und gute Kratzfestigkeit

Wegen einer zuerst viel zu kleinen Fläche an seitlicher Stützstruktur löste sich der erste Prototyp aufgrund zu hoher Eigenspannung schon während des Druckens, wobei wir den Druck aus Materialsparmaßnahmen abbrechen mussten.

Nach einer Verkürzung der Palette um 15 mm in Längsrichtung war die Stützstruktur ausreichend genug um den Eigenspannungen Stand zu halten.

### **6.8.2 Festlegung der Abmessungen**

Die Abmessungen ergeben sich aus der Breite des Zwischenraums zwischen den Riemen des Bandförderers. Dieser beträgt 160 mm. Um ein Verkanten zu verhindern ist die Breite der Palette 158 mm.

Die Absätze und Nuten an der Unterseite der Palette haben eine Breite von 5 mm.

Die Länge der Palette verkürzt sich nach dem ersten Fehldruck der Adapterplatte von 200 mm auf 185 mm.

### **6.8.3 Werkstoffauswahl**

Die Werkstoffauswahl wurde bereits bei der Konzeptauswahl berücksichtigt. Es mussten somit keine weiteren Überlegungen für die Werkstoffzuordnung der einzelnen Bauteile getroffen werden.

### **6.8.4 Auslegung**

Die Auslegung der einzelnen Bauteile erfolgte so, dass alle Anforderungen die vom Auftraggeber gestellt wurden auch erfüllt werden können. Dies wurde in Kapitel 7.2.5 realisiert.

### **6.8.5 Auswahl von Zukaufteilen**

Die Zukaufteile für die Transportpalette beschränken sich auf das Rohmaterial für die Trägerpalette und vier M5x8 Senkkopfschrauben.

## 7 Ausarbeitung

### 7.1 Konstruktion der Einzelteile (fe, Ip, fs, It)

Alle Einzelteile und Baugruppen werden mit Creo Parametric 2.0 dreidimensional konstruiert. Die Abmessungen vorhandener Bauteile wurden aufgenommen und in Skizzen übertragen. Die Dimensionierung von neuen Bauteilen erfolgte mit MathCad.

### 7.2 Technische Berechnungen

#### 7.2.1 Berechnung des Pneumatiksystems (fe)

Im folgenden Abschnitt soll überprüft werden, ob der zu Verfügung gestellte Kompressor genug Leistung hat. Dazu wird das benötigte Luftvolumen der einzelnen pneumatischen Komponenten ermittelt und die maximale Anzahl der Zyklen pro Minuten berechnet.

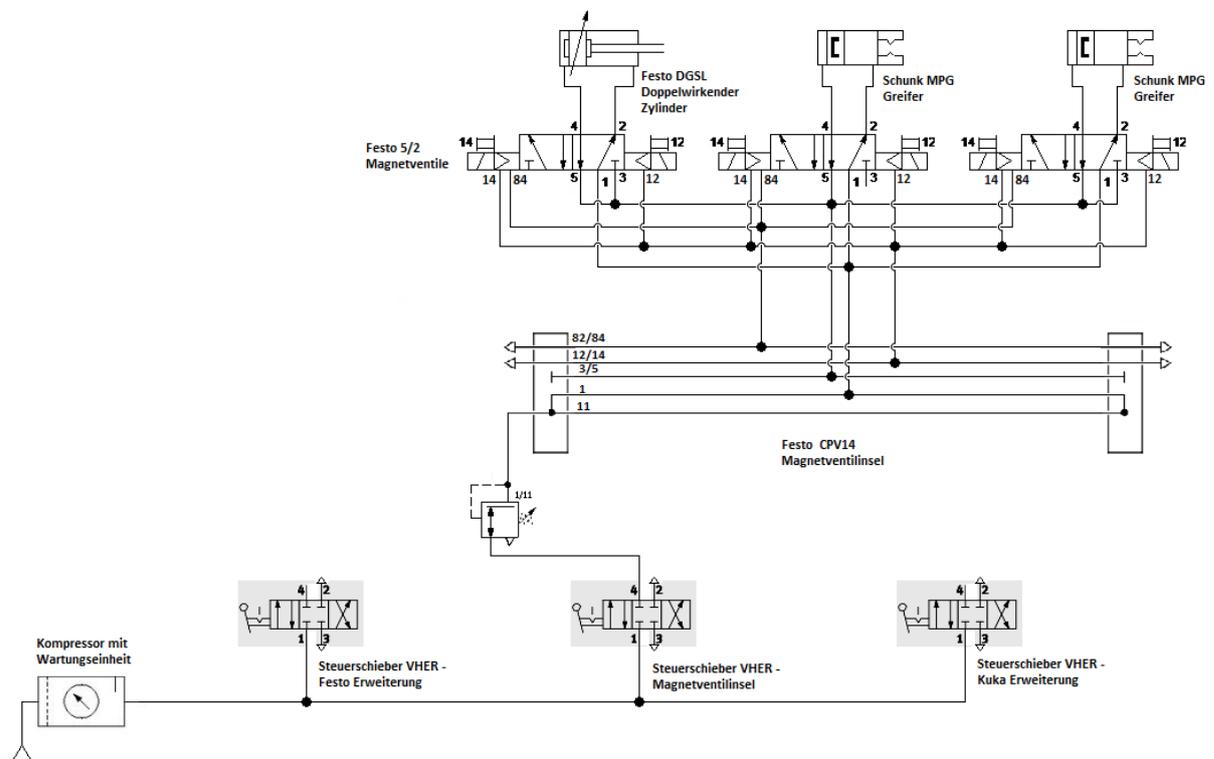


Abbildung 7-1: Anlagenschaubild Pneumatik

### Verbrauch der pneumatischen Komponenten

|  |  |
|--|--|
| VerbrauchArbeitszyklus Schunk MPG 40-AS      | $V_G := 10.4\text{cm}^3$                   |
| VerbrauchArbeitszyklus Festo D GSL-16-80-Y3A | $V_Z := 0.39\text{L}$                      |
| Verbrauch der pneumatischen Anlage           | $V_A := V_Z + 4 \cdot V_G = 0.432\text{L}$ |

Als erstes wurde der Verbrauch von Druckluft pro Zyklus aus Datenblättern (siehe A 5.8, 5.9, 5.11) vom Hersteller ausgelesen, beziehungsweise beim Festo Zylinder mit einem Programm (Abbildung 7-2) ausgerechnet.

### Cylinder Air Consumption

Operating mode double acting

Size 16 mm Feder ausschneiden

NOTE: Using estimated piston rod diameter of 6 mm.

Number of cycles 2 1/min

Stroke/Length 150 mm

Clear table
Delete row
Add

| Selected cylinders and their air consumption |               |          |            |          |          | Air Consumption |            |
|--|---------------|----------|------------|----------|----------|-----------------|------------|
| Size   | Stroke/Length | Op. Mode | Piston Rod | Pressure | Cycles   | per Cycle       | per Minute |
| 16 mm  | 150 mm        | double   | standard   | 6,00 bar | 1,00/min | 0,39 l          | 0,39       |

**Utilization**

Working pressure 6 bar

Working hours per day 8 h

**Resulting air consumption**

Air consumption per minute 0 m<sup>3</sup>

Air consumption per day 0,2 m<sup>3</sup>

NOTE: The air consumption values determined in this way are only guide values. Particularly with high cycle speeds, pressurised chambers are not fully exhausted, which means that actual air consumption may be significantly lower.

Copyright Festo AG & Co. KG 2010

Abbildung 7-2: Luftverbrauch DGSL durch Programm AIR Consumption von Festo

Da der Verbrauch des Schunk Greifers pro Doppelhub angegeben ist und zweimal vorhanden ist, musste dieser 4-mal multipliziert werden.

Somit konnte ich mir den gesamten Verbrauch der Anlage ausrechnen.

### *Anzahl der möglichen Zyklen pro Minute*

Luftvolumen Kompressor

$$V_K := 150L$$

Anzahl der Zyklen pro Minute

$$Z := \frac{V_K}{V_A} = 347.544$$

Mit Hilfe des Leistungsblattes (siehe A 5.7) konnte die maximale Anzahl der Zyklen pro Minute ausgerechnet werden. Rund 347 Mal pro Minute ist hierbei mehr als genug, da die Anforderung in 30 Sekunden das Objekt von einem Linearroboter zum anderen zu befördern ausreichend erfüllt ist.

### *Druckverlust der Rohrleitungen*

Als nächstes wurden die einzelnen Parameter wie Rohrrinnendurchmesser, Rohrrinnenfläche, Länge der Rohre, etc. ermittelt.

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Rohrinnendurchmesser 1            | $d_{11} := 2.6\text{mm}$   |
| Rohrinnendurchmesser 2            | $d_{12} := 4\text{mm}$   |
| Rohrinnendurchmesser 3            | $d_{13} := 5.7\text{mm}$   |
| Rohrinnenfläche 1                 | $A_{i1} := \left(\frac{d_{11}}{2}\right)^2 \cdot \pi = 5.309 \cdot \text{mm}^2$  |
| Rohrinnenfläche 2                 | $A_{i2} := \left(\frac{d_{12}}{2}\right)^2 \cdot \pi = 12.566 \cdot \text{mm}^2$ |
| Rohrinnenfläche 3                 | $A_{i3} := \left(\frac{d_{13}}{2}\right)^2 \cdot \pi = 25.518 \cdot \text{mm}^2$ |
| Rohrleitungslänge 1               | $L_1 := 0\text{m}$   |
| Rohrleitungslänge 2               | $L_2 := 8.580\text{m}$   |
| Rohrleitungslänge 3               | $L_3 := 26.4\text{mm}$   |
| Volumenstrom                      | $V_S := 0.5 \frac{1}{\text{min}}$  |
| Strömungsgeschwindigkeit 1        | $c_1 := \frac{V_S}{A_{i1}} = 1.5696 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$             |
| Strömungsgeschwindigkeit 2        | $c_2 := \frac{V_S}{A_{i2}} = 0.6631 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$             |
| Strömungsgeschwindigkeit 3        | $c_3 := \frac{V_S}{A_{i3}} = 0.3266 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$             |
| Reibungskoeffizient der Schläuche | $\lambda := 0.0015$  |
| Dichte der Luft                   | $\rho := 1.2041 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$                                    |

Der verbrauchte Volumenstrom der Komponenten wurde dabei auf 0,5 l/min gerundet.

Mit diesen wurde dann die Strömungsgeschwindigkeit berechnet und durch weitere Parameter in die Formel des Druckverlustes in einer Rohrleitung eingesetzt.

$$\begin{aligned} \text{Druckverlust 1} \quad \Delta p_1 &:= \frac{\lambda \cdot L_1 \cdot \rho \cdot c_1^2}{d_1 \cdot 2} = 0 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\ \text{Druckverlust 2} \quad \Delta p_2 &:= \frac{\lambda \cdot L_2 \cdot \rho \cdot c_2^2}{d_2 \cdot 2} = 851.86 \times 10^{-9} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\ \text{Druckverlust 3} \quad \Delta p_3 &:= \frac{\lambda \cdot L_3 \cdot \rho \cdot c_3^2}{d_3 \cdot 2} = 446.08 \times 10^{-12} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \end{aligned}$$

Abbildung 7-3: Formel für den Druckverlust einer Rohrleitung (Schweizer, 2017)

Zum Schluss wurden noch die auf den Durchmesser bezogenen Druckverluste addiert um den gesamten Verlust zu bestimmen.

$$\text{Gesamtdruckverlust} \quad \Delta p := \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 = 852.31 \times 10^{-9} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

## 7.2.2 Berechnungen der Festigkeit der Greiferfinger (fe)

Zuerst wurde die maximale Schließkraft des SCHUNK MPG Greifers aus dem Datenblatt des Greifers ermittelt.

| Bezeichnung              |      | MPG 40  | MPG 40-AS | MPG 40-IS |
|--------------------------|------|---------|-----------|-----------|
| Ident.-Nr.               |      | 0340012 | 0340042   | 0340062   |
| Hub pro Backe            | [mm] | 6       | 6         | 6         |
| Schließ- / Öffnungskraft | [N]  | 110/90  | 145/-     | -/115     |

Abbildung 7-4: Schließkraft MPG 40-AS

Der Greifer ist dabei rein auf das Greifen von Objekten von außen ausgelegt und somit besitzt er nur eine Schließkraft von  $F_s=145 \text{ N}$ .

Anschließend wird nachgewiesen, dass die 3D-gedruckten Kunststoffgreifer dieser Belastung standhalten.

Dafür wird das Modell des Greiferfingers in das CAD Programm Autodesk Inventor 2017 geladen. Als nächsten Schritt müssen die Lagerungen, das Material und die Lasten definiert werden.

Die Befestigung übernimmt in diesem Fall die Verschraubung mit den Fingern des Greifers mit der Zylinderschraube und der Sechskantmutter. Das Werkstück ist der für den 3D Druck geeignete Kunststoff ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer). Die Belastung ist die Schließkraft  $F_s$ .

Das Ziel der Analyse ist die Berechnung der Vergleichsspannungsverteilung innerhalb des Bauteils und die maximale Verschiebung der unteren Kante.

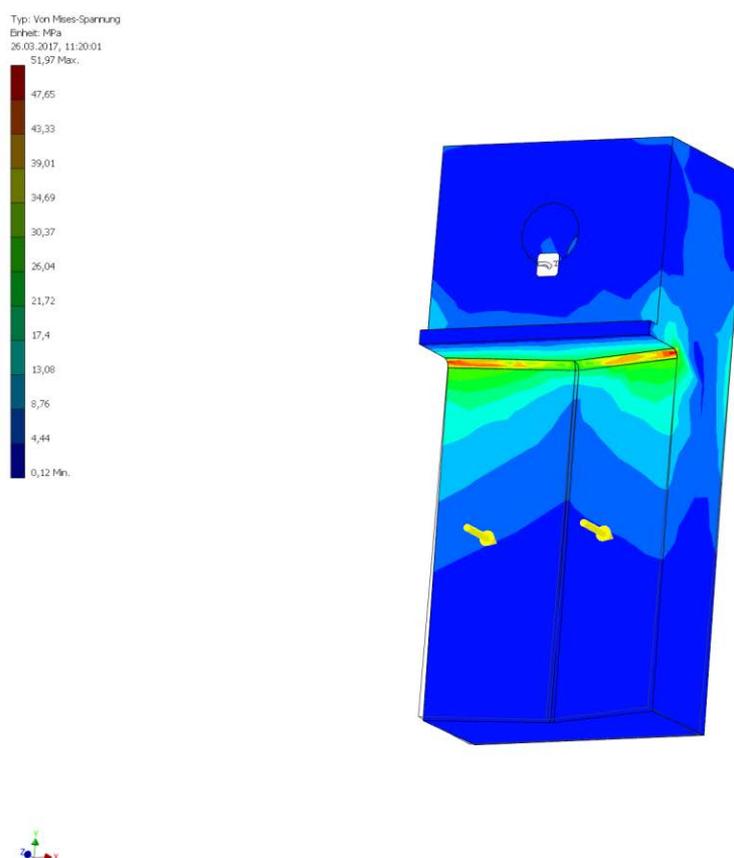


Abbildung 7-5: Auftretende Vergleichsspannung nach Mises

Die auftretende Spannung von rund  $48 \text{ N/mm}^2$  liegt unter der Bruchfestigkeit von  $70 \text{ N/mm}^2$  (laut Abbildung 7-6) in dem sicheren Bereich der Festigkeit von ABS. Die maximale Verschiebung von  $0,6 \text{ mm}$  ist dabei auch akzeptabel.

Mechanisch-physikalische Eigenschaften

| Eigenschaften                                      | ABS    | PLA    |
|--|--------|--------|
| Bruchfestigkeit<br>[MPa]                           | ~ 70   | ~ 60   |
| E-Modul<br>[MPa]                                   | ~ 2300 | ~ 3500 |
| Kerbschlagzähigkeit (IZOD)<br>[kJ/m <sup>2</sup> ] | 5 - 50 | 2 - 40 |

Abbildung 7-6: Mechanische Eigenschaften 3D Druck (www.3druck.com, 2017)

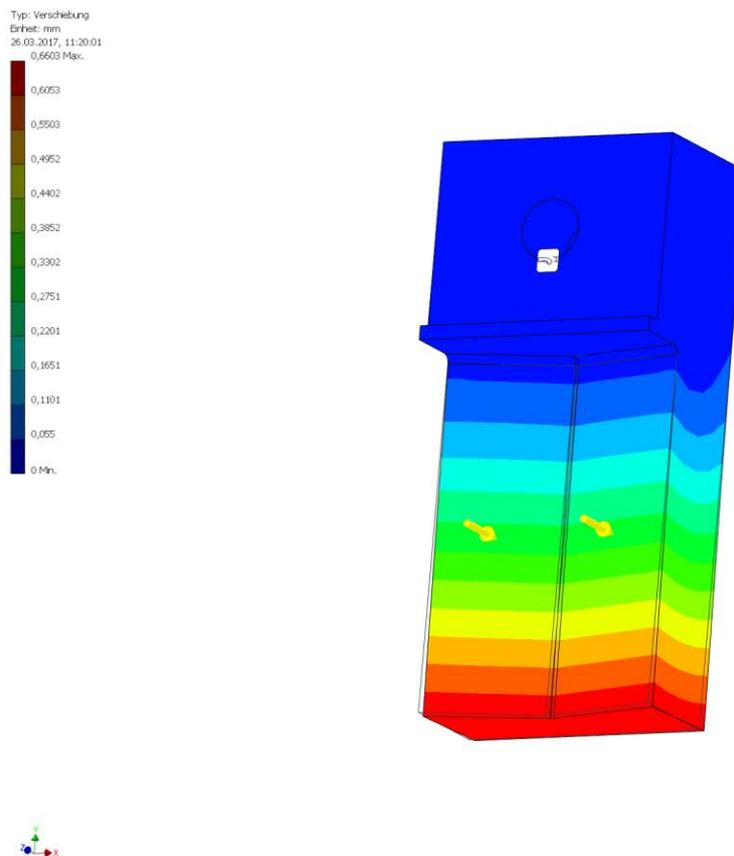
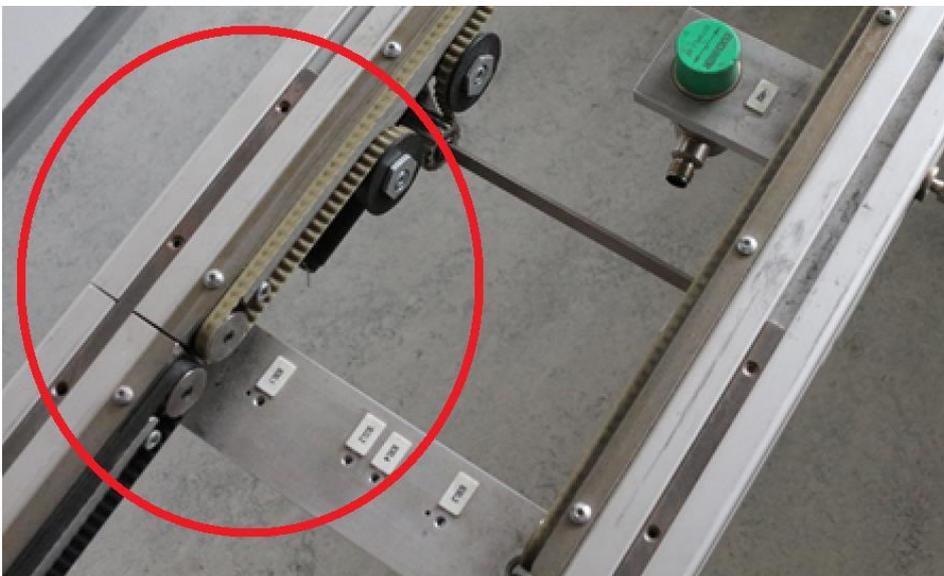


Abbildung 7-7: Auftretende Verschiebung

### 7.2.3 Berechnungen für den Zahnriemenförderer (Ip)

#### *Absenkung des Bandförderers und Spannung in den Längsverbindern*

Da sich die bestehende Bandfördererkonstruktion, welche mit nur einem Längsverbinder an der Oberseite befestigt war, in der Mitte (Zusammenstoß der Längsprofile) um mehrere Millimeter abgesenkt hat, wurden eine Berechnung der Durchbiegung und eine Berechnung der Spannungen in den Längsverbindern durchgeführt. Anschließend wurde dieselbe Berechnung nochmals durchgeführt, allerdings mit ober- und unterseitigen Längsverbindern. Berechnet wird jeweils ein Längsprofil-Strang (siehe Abbildung 7-9).



*Abbildung 7-8: Zusammenstoß der Längsprofile mit dem in die Nut eingesetzten Längsverbinder*

Die Teile wurden auf PTC Creo 2.0 konstruiert und die FE-Analyse wurde mit PTC Creo Simulate durchgeführt. Da es zu Beginn der Berechnung Probleme mit der Materialzuweisung und der Zuweisung des Arbeitsspeichers für das Berechnungsprogramm gab, fragte ich Herrn Prof. Riezinger um Hilfe. Nach der raschen Beseitigung des Problems war es möglich die Materialzuweisung durchzuführen. Den Alu-Profilen wurde der Aluminiumwerkstoff „G-ALMG5SI“ und dem Längsverbinder wurde der unlegierte Baustahl „S355JR“ zugewiesen. Die Kraft von 100 N greift direkt in der Mitte an. Die Konstruktion ist mit einem Festlager (Abbildung 7-9, links) und einem Loslager (Abbildung 7-9, rechts) an zwei Stellen gelagert und statisch bestimmt. Die Flächen zwischen dem Längsverbinder und der Nut wurden als „aneinander haftend“ definiert.

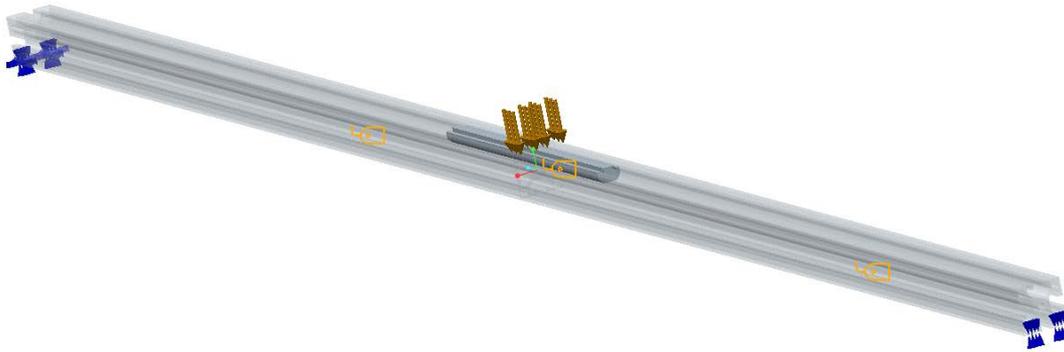


Abbildung 7-9: Zwei Längsprofile, mit einem oberseitigem Längsverbinder verbunden



Abbildung 7-10: Zwei Längsverbinder in den Nuten des Längsprofils (Schnittdarstellung)

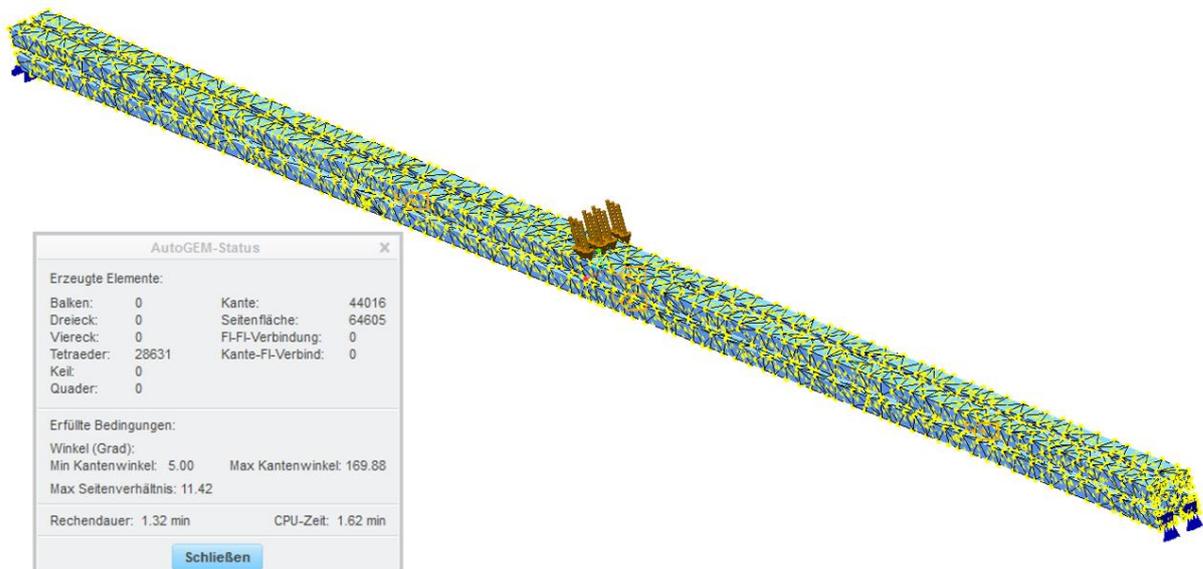


Abbildung 7-11: Erzeugtes FE-Netz für die Berechnung

Für die Berechnung wurde die Vergleichsspannung von Mises gebildet. Dabei wird deutlich, dass ein einzelner Längsverbinder an der Oberseite sehr ungünstig ist. Die Spannung reduziert sich durch den Einbau eines zweiten Längsverbinders auf etwa 1/10. Die maximale Spannung beträgt bei einem Längsverbinder etwa 778 MPa. Bei zwei Längsverbindern tritt eine Spannung von etwa 72 MPa an den ungünstigsten Stellen auf. (siehe Abbildung 7-12 und Abbildung 7-13)

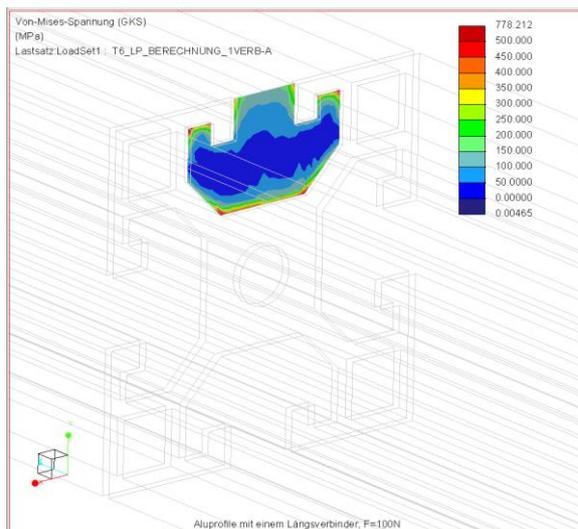


Abbildung 7-12: Spannung im Querschnitt bei einem Längsverbinder

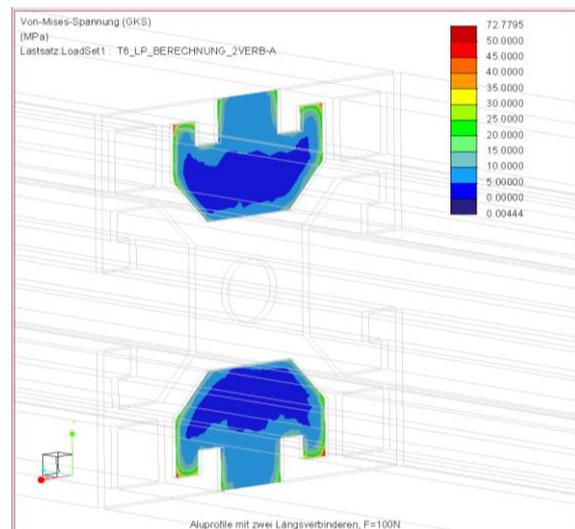


Abbildung 7-13: Spannung im Querschnitt bei zwei Längsverbinder

Das Ausschlaggebende ist allerdings die Durchbiegung in der Mitte des Bandförderers. Diese wird ebenfalls mit einem und auch mit zwei Längsverbindern ausgewertet und miteinander verglichen. Bei einem Längsverbinder entsteht eine rechnerische Absenkung von etwa 2,1 mm. Bei zwei Längsverbindern reduziert sich diese auf etwa 1/3, also 0,71 mm. (siehe Abbildung 7-14 und Abbildung 7-15)

Verschiebung Betrag (GKS)  
(mm)  
Verformt  
Max Versch 2.1247E+00  
Skala 9.4179E+01  
Lastsatz LoadSet1 : T6\_LP\_BERECHNUNG\_1VERB-A

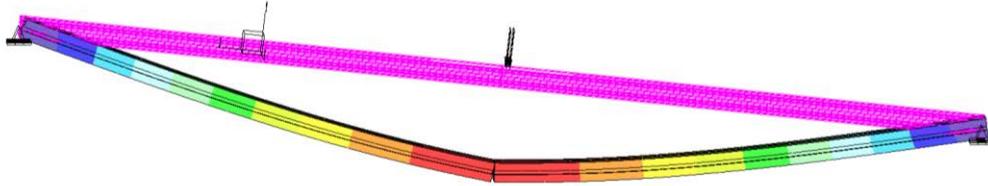
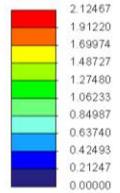


Abbildung 7-14: Absenkung mit einem Längsverbinder

Verschiebung Betrag (GKS)  
(mm)  
Verformt  
Max Versch 7.1010E-01  
Skala 2.8179E+02  
Lastsatz LoadSet1 : T6\_LP\_BERECHNUNG\_2VERB-A

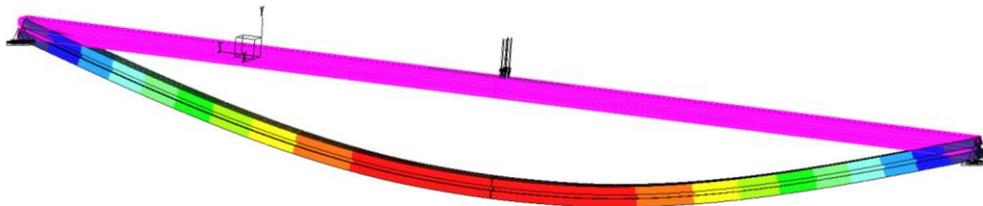
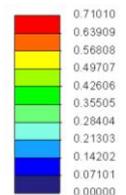


Abbildung 7-15: Absenkung mit zwei Längsverbindern

Das Ergebnis der Absenkung mit einem Längsverbinder kommt der Realität sehr nahe. Ich habe deswegen beschlossen, dass bei beiden Längsprofilsträngen jeweils ein Längsverbinder an der Oberseite und einer an der Unterseite montiert wird um der Durchbiegung entgegenzuwirken.

### Antriebsleistung und Verlustwiderstände des Riementriebs

Die benötigte Antriebsleistung ist stark von der Fördergutmasse pro Zeiteinheit und den Verlustwiderständen abhängig. Für eine ordnungsgemäße Auslegung wurden die Erklärungen

aus dem Buch „Fördertechnik: Maschinensätze, Fördermittel, Tragkonstruktionen, Logistik“ (Hoffmann, 2012). Dabei stieß ich aber auf mehrere Probleme.

Bandförderer, die eine Förderlänge von unter 80 Metern aufweisen werden als eher kleine Anlagen bezeichnet. Weiters werden diese sehr häufig für Schüttgüter verwendet. Die zu konstruierende Anlage weist eine Förderlänge von zwei Metern auf und muss nur ein Stück (Transportpalette) transportieren.

Die technischen Anforderungen sind also so gering, dass keine Stützrollen, sondern ein Gleiten des Zahnriemens auf dem Bandträger angewandt wird. Dieser Reibungsfall wird in der verwendeten Literatur nicht erläutert. Es wurde trotzdem in die dort angeführten Gleichungen eingesetzt und es ergab sich eine benötigte Antriebsleistung von etwa einem Watt. Dies entspricht sicher nicht der realen benötigten Antriebsleistung, da der Motor beim Testen bei einer angelegten Spannung von 24 Volt rund 1,9 Ampere Stromstärke benötigte. Das ergäbe eine benötigte Leistung der Motoren von je 45,6 Watt.

Da keine Berechnung durchgeführt werden konnte habe ich eine Last von 3 kg auf die Zahnriemen gelegt und mit Herrn Professor List das Verhalten der Motoren untersucht. Die Motoren hatten genug Kraft um die Masse zu beschleunigen.

#### **7.2.4 Berechnungen für das Maschinengestell (fs)**

##### ***Belastungen auf den Roboter***

In den ersten Schritten der Berechnung wurden die Belastungen welche am Roboter bzw. am Maschinengestell anliegen ermittelt. Hierzu wurden die Beschleunigungen der Roboterachsen mit den bewegten Massen multipliziert.

Da es sich bei den Roboterbewegungen um sehr ruckartige Bewegungen handelt, haben wir uns entschieden das Untergestell sehr massiv zu gestalten um das Rutschen und Kippen des Roboters zu verhindern.

$$m_{\text{Roboterachse}} := 45 \cdot \text{kg}$$

... Masse der bewegten Schlitten des Roboters aus dem Datenblatt

$$a_{\text{Roboter}} := 6 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

... Beschleunigung des Roboters aus Roboter Datenblatt

$$F_k := m_{\text{Roboterachse}} \cdot a_{\text{Roboter}}$$

$$F_k = 270 \cdot \text{N}$$

### Überschlägige Massenberechnung Untergestell

Um eine ungefähre Vorstellung der Masse des Untergestells zu bekommen wurde eine Berechnung der Masse durchgeführt. In die Berechnung ist nur die Masse der Formrohre eingeflossen, ohne jegliche Zukaufteile wie zum Beispiel die Maschinenfüße zu berücksichtigen.

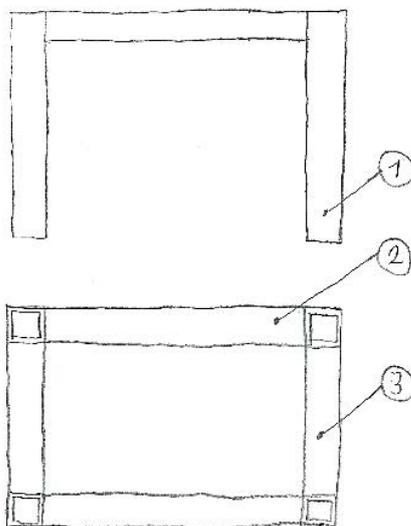


Abbildung 7-16: Skizze Untergestell

Positionsnummern:

1. Fußholm
2. Längsholm
3. Querholm

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

$$A_{80 \times 80} := (80 \cdot \text{mm} \cdot 80 \cdot \text{mm}) - (74 \cdot \text{mm} \cdot 74 \cdot \text{mm})$$

$$A_{80 \times 80} = 9.24 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{80 \times 60} := (80 \cdot \text{mm} \cdot 60 \cdot \text{mm}) - (74 \cdot \text{mm} \cdot 54 \cdot \text{mm})$$

$$A_{80 \times 60} = 8.04 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Masse Fußholm (Positionsnummer 1):

$$m_{\text{FH}} := A_{80 \times 80} \cdot 650 \cdot \text{mm} \cdot \rho_{\text{Stahl}}$$

$$m_{\text{FH}} = 4.685 \text{ kg}$$

Masse Längsholm (Positionsnummer 2):

$$m_{\text{LH}} := A_{80 \times 60} \cdot 910 \cdot \text{mm} \cdot \rho_{\text{Stahl}}$$

$$m_{\text{LH}} = 5.707 \text{ kg}$$

Masse Querholm (Positionsnummer 3):

$$m_{\text{QH}} := A_{80 \times 60} \cdot 740 \cdot \text{mm} \cdot \rho_{\text{Stahl}}$$

$$m_{\text{QH}} = 4.641 \text{ kg}$$

Masse Untergestell:

$$m_{\text{UG}} := 4m_{\text{FH}} + 2m_{\text{LH}} + 2m_{\text{QH}}$$

$$m_{\text{UG}} = 39.434 \text{ kg}$$

### *Berechnung der Kippgefahr*

Da der Roboter auf einer gewissen Höhe arbeitet und die Beschleunigungen sehr ruckartig sein können, musste die Kippgefahr auch nachgerechnet werden. Hierbei wurde das Moment der Beschleunigungskräfte mit dem Moment der Gewichtskraft verglichen.

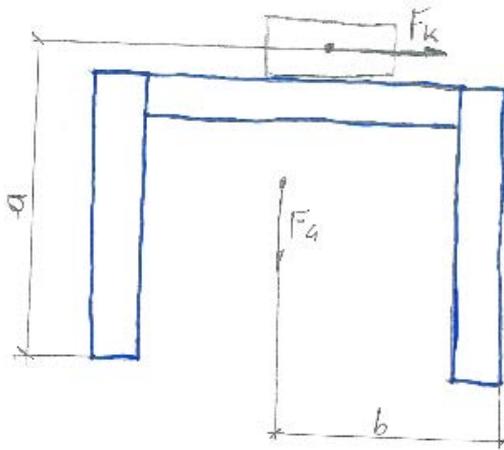


Abbildung 7-17: Skizze Gestell Kippmoment

$a := 1.0\text{-m}$

... Normalabstand der Kraft  $F_k$

$b := 0.45\text{-m}$

... Abstand der Gewichtskraft zur Kippkante

$m_{OG} := 15\text{-kg}$

... Masse des Obergestells

$m_{Gestell} := m_{UG} + m_{OG}$

$m_{Gestell} = 54.434\text{ kg}$

$F_G := (3m_{Roboterachse} + m_{Gestell}) \cdot g$

$F_G = 1.858 \times 10^3\text{ N}$

$F_k = 270\text{ N}$

$M_s := F_G \cdot b$

$M_s = 835.969\text{ N}\cdot\text{m}$  ... Standmoment

$M_k := F_k \cdot a$

$M_k = 270\text{ N}\cdot\text{m}$  ... Kippmoment

$S := \frac{M_s}{M_k}$

$S = 3.096$  ... Sicherheit gegen Kippen

$S < 1$  .... Konstruktion kippt

$S = 1$  .... Konstruktion beginnt zu kippen

$S > 1$  .... Konstruktion steht sicher

In unserem Fall gibt es keinen Grund das Gestell zu fixieren, da die Sicherheit gegen Kippen über 1 liegt.

### *Berechnung der Rutschgefahr*

Im folgenden Abschnitt wird untersucht ob es, durch das Verfahren des unteren Schlittens, zu einem Verrutschen des Gestells auf dem Boden kommen kann. Der Boden des Labors ist mit einem Kunststoffbelag ausgelegt, der gegenüber Stahl einen geschätzten Reibwert von 0,25 aufweist.

$$F_G := (m_{\text{Roboterachse}} + m_{\text{Gestell}}) \cdot g \qquad F_G = 975.111 \text{ N}$$

$$\mu_0 = 0.25 \qquad \dots \mu \text{ von } 0.25 \text{ zwischen Boden und Maschinenfuß}$$

$$F_R := F_G \cdot \mu_0 \qquad \dots \text{ maximal übertragbare Reibkraft}$$

$$F_k = 270 \text{ N}$$

$$F_R = 243.778 \text{ N} \qquad F_R < F_k \qquad \dots \text{ Reibkraft ist geringer als anliegende Kraft, das bedeutet das Gestell wird verrutschen}$$

Das größere Problem im Vergleich zum Kippen dürfte das Rutschen sein. Da der Reibbeiwert zwischen Boden und Gestell nicht groß ist, rutscht das Gestell bevor es zu kippen beginnt. Somit sollte man auch hier den Roboter anschrauben um diesen Problem entgegenzuwirken.

Maßnahmen gegen die Rutschgefahr:

- Reibwert zwischen Boden und Gestell erhöhen, zum Beispiel Gummimatten unterlegen oder Doppelseitiges Klebeband.
- Maschinenfüße am Boden fixieren. Dafür wurden Füße zugekauft, die eine Montage am Boden ermöglichen.

### *Messung der tatsächlichen Roboterkräfte (fe-25; lp-25; fs-25; lt-25)*

Um die tatsächlich im Betrieb auftretenden Kräfte des Roboters zu erfassen wurde der Weg des Schlittens direkt ausgelesen. Um hohe Belastungen hervorzurufen wurde ein Programm mit möglichst kurzen aber ruckhaften Bewegungen durchfahren. Diese periodischen

Aufzeichnungen wurden in einen Weg-Zeit Diagramm grafisch dargestellt. Im nachfolgenden Diagramm sieht man den zurückgelegten Weg  $s$  in m des Schlittens über die Zeit  $t$  in s.

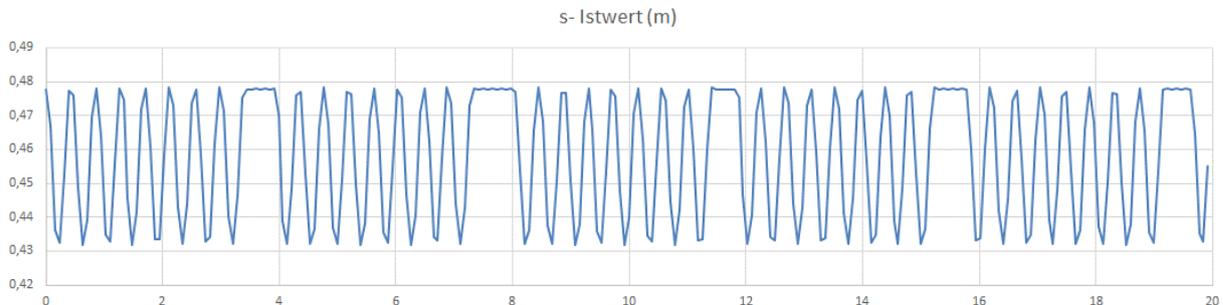


Abbildung 7-18: Messung des zurückgelegten Wegs des unteren horizontalen Schlittens

Näherungsweise wurden aus den gemessenen Weg Daten durch Bildung des Differenzenquotienten für jeden Zeitschritt die jeweils mittlere Geschwindigkeit des Roboters berechnet. Nachfolgend ist eine beispielhafte Berechnung der Geschwindigkeit durchgeführt worden.

$$s_1 := 7.9826523\text{-mm}$$

... gemessener Weg Messpunkt 1

$$s_2 := 19.7255402\text{-mm}$$

... gemessener Weg nach  $\Delta t$  Messpunkt 2

$$\Delta t := 0.0390625\text{-s}$$

... Zeitintervall der Wegmessungen

$$v_2 := \frac{s_2 - s_1}{\Delta t}$$

$$v_2 = 0.301 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Dies wurde für alle Zeitschritte durchgeführt. Damit erhält man folgendes Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm.

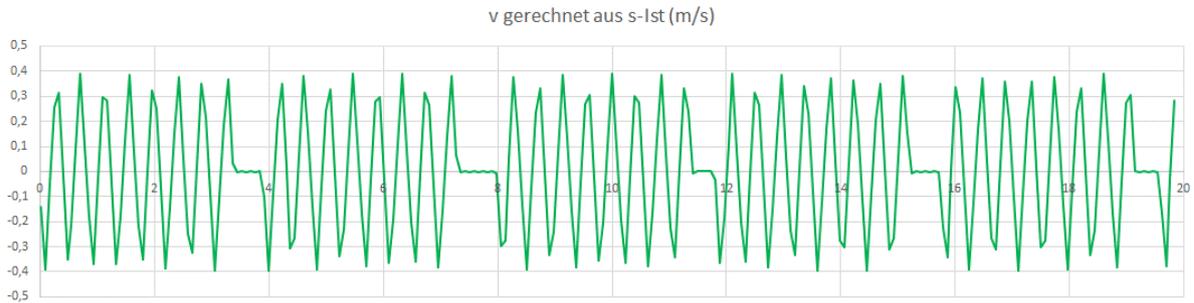


Abbildung 7-19: Errechnete Geschwindigkeit des Roboters

Durch erneute Berechnung des Differenzenquotienten der Geschwindigkeit über der Zeit wurde für jeden Zeitabschnitt wieder die mittlere Beschleunigung berechnet. Diese wurde wieder an einer Stelle beispielhaft berechnet.

$$v_1 := 0.091345742 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

... berechnete Geschwindigkeit, ein  $\Delta t$  zuvor

$$a_2 := \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$$

$$a_2 = 5.357 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

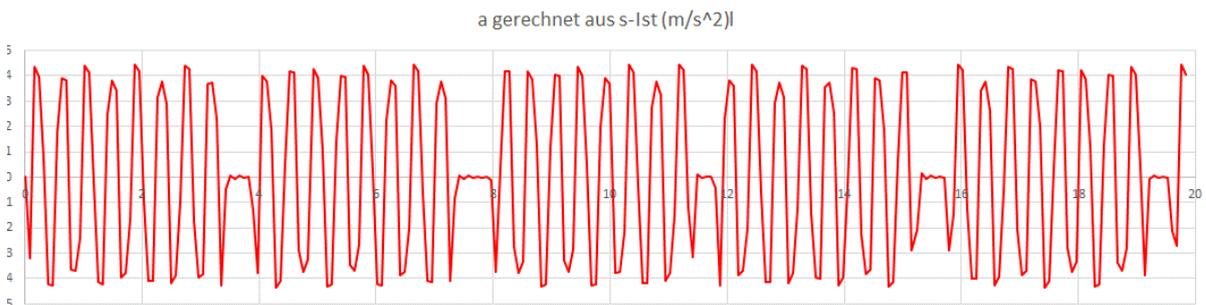


Abbildung 7-20: Errechnete Beschleunigung des Roboters

Aus dem Beschleunigungs-Zeit-Diagramm ist zu erkennen, dass die maximale Beschleunigung von 6 m/s<sup>2</sup> laut Herstellerangaben auf der zur Verfügung stehenden Strecke gar nicht erreicht wird.

### *FE- Berechnung der Verbindungselemente des Gestells*

Die Verbindung des Untergestells, mit dem Obergestell erfolgt mit Winkel, welche auf der einen Seite an das geschweißte Untergestell geschraubt werden und auf der anderen Seite mittels Nutensteine in der Nut der Aluminium-Profile des Obergestells geschraubt werden.

Für die Verbindung können aus konstruktiver Sicht ein bis (drei) vier Winkel eingesetzt werden. Welche Lösung anzustreben ist, wurde mit einer Finite Elemente (FE) Analyse ermittelt.

Bei der ersten Variante mit einem Winkel wird der Holm mit einer Kraft von 110 N an der oberen Kante belastet. Durch diese Belastung entsteht eine maximale Vergleichsspannung von ca. 140 N/mm<sup>2</sup> am Winkel und die Verschiebung der Oberkante des Holms beträgt 0,8 mm (siehe Abbildung 7-21 und Abbildung 7-22).

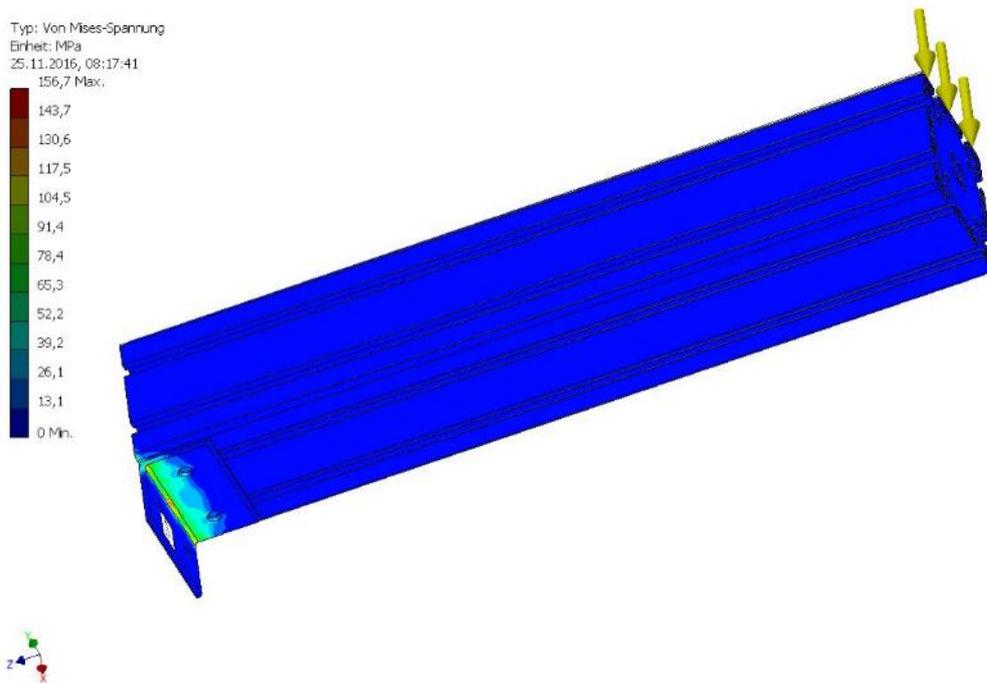


Abbildung 7-21: Auftretende Spannung bei einem Winkel

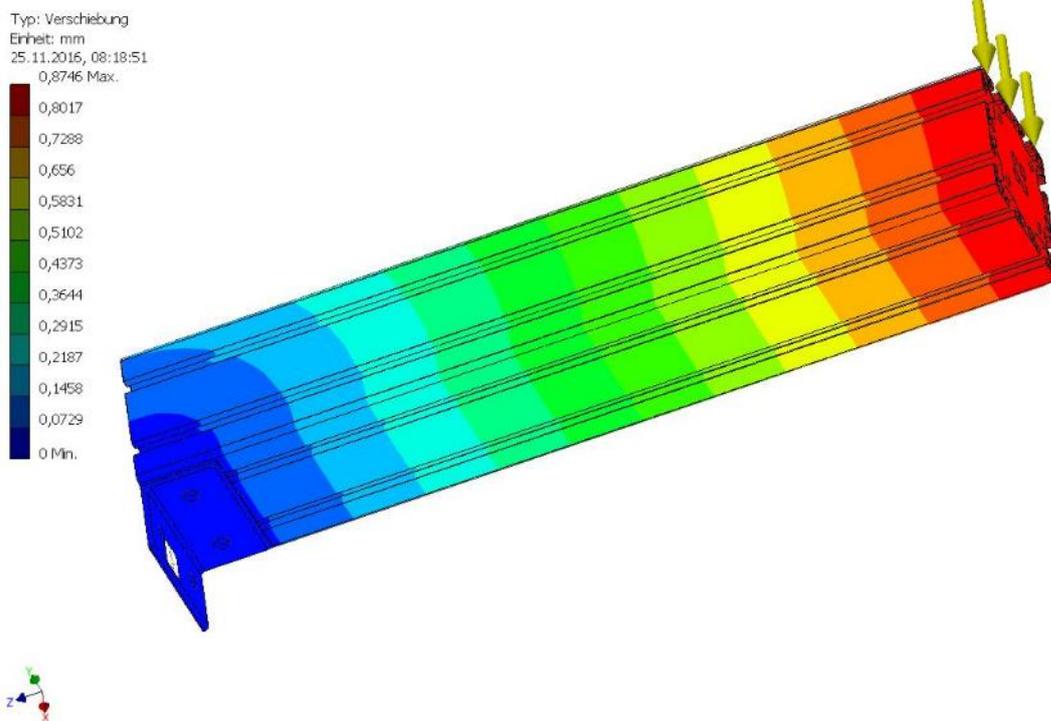


Abbildung 7-22: Auftretende Verschiebung bei einem Winkel

Bei der zweiten Variante wurden zwei um  $90^\circ$  versetzte Winkel für die Befestigung verwendet. Die anliegende Kraft blieb mit 110 N gleich.

Bei dieser Variante waren die entstehenden Spannungen deutlich geringer, so entstand eine maximale Spannung von ca.  $17 \text{ N/mm}^2$  am Winkel und auch die Verschiebung der Oberkante des Holms hat sich halbiert auf 0,4 mm (siehe Abbildung 7-23 und Abbildung 7-24).

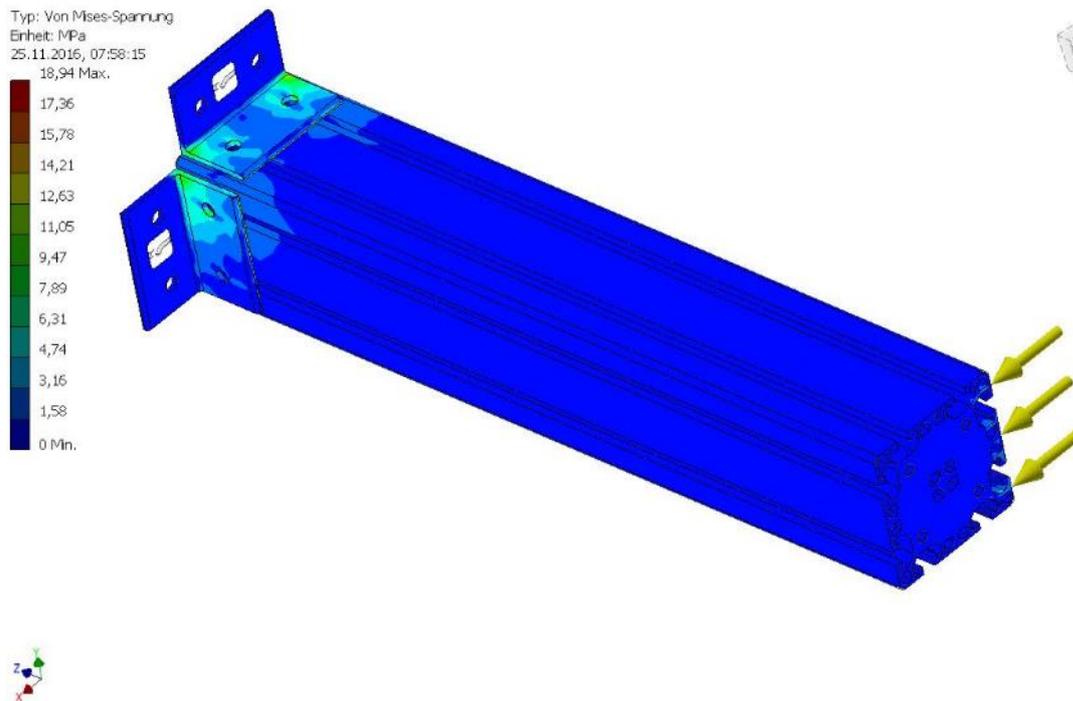


Abbildung 7-23: Auftretende Spannung bei zwei Winkel

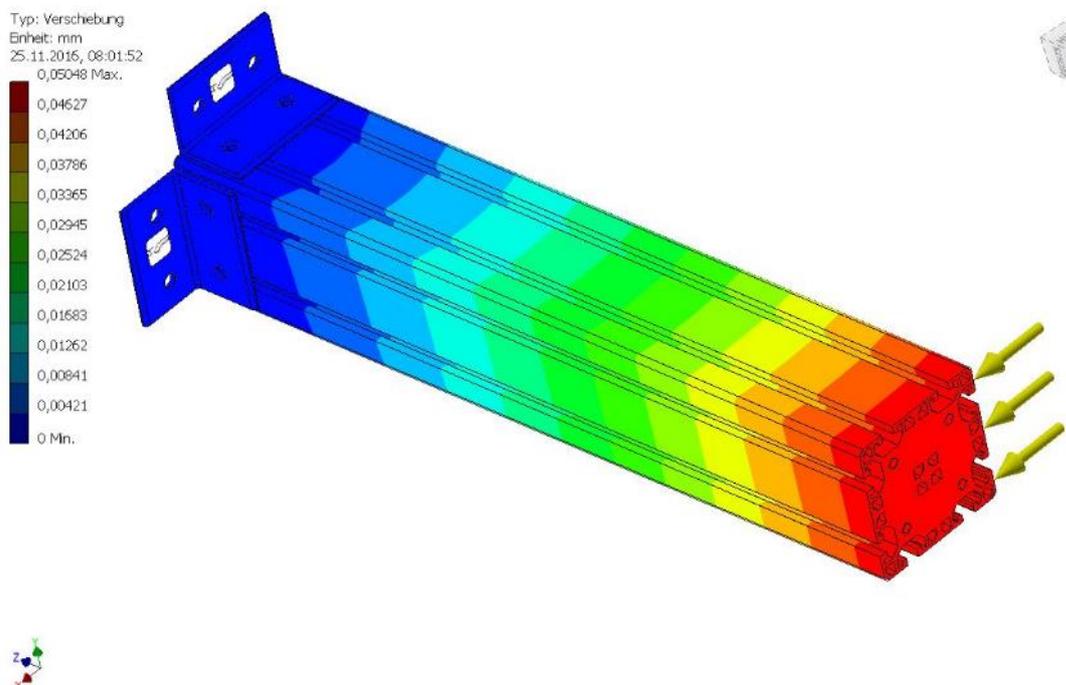


Abbildung 7-24: Auftretende Verschiebung bei zwei Winkel

Bei der dritten Variante wurden vier Winkel für die Verbindung verwendet. In der Praxis wäre diese Variante nicht mit vier Winkeln ausgeführt worden, sondern mit zwei Winkeln und zwei seitlichen Platten. Die anliegende Kraft war auch hier wieder gleich mit 110 N. Es entstand eine maximale Vergleichsspannung von ca. 7 N/mm<sup>2</sup> am Winkel (siehe Abbildung 7-25). Die Verschiebung der Oberkante würde 0,2 mm betragen (siehe Abbildung 7-26).

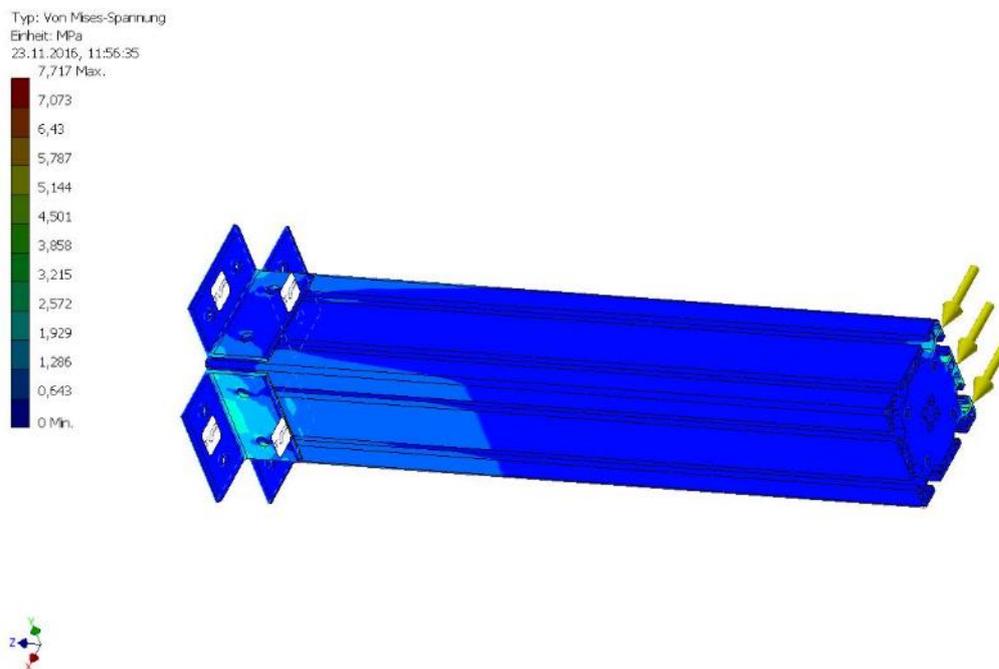


Abbildung 7-25: Auftretende Spannung bei vier Winkel

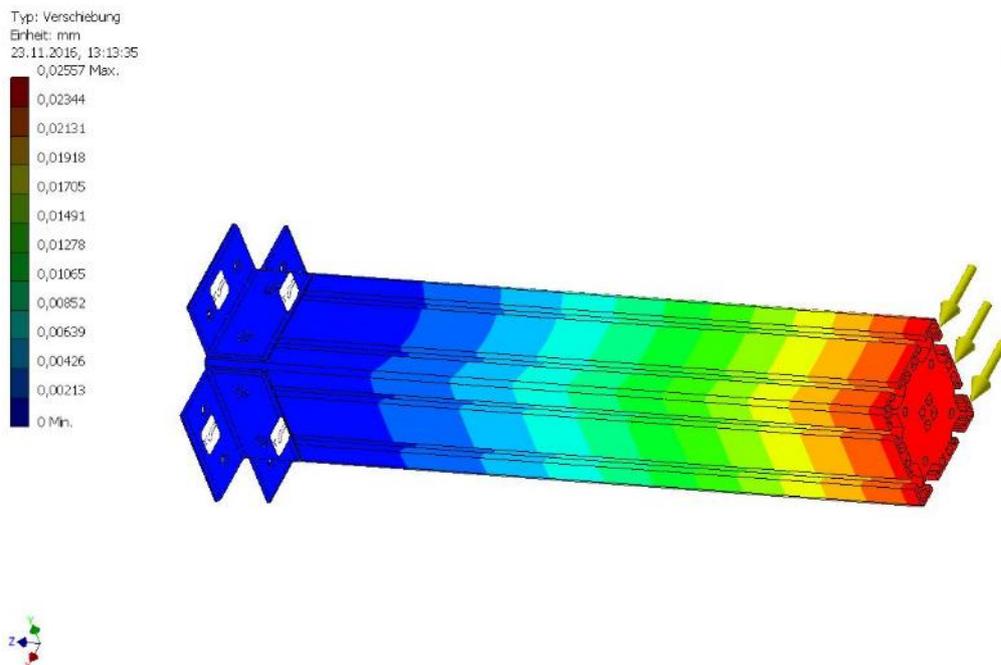


Abbildung 7-26: Auftretende Verschiebung bei vier Winkel

Es wurde daher die zweite Variante mit zwei Winkel gewählt.

### *Diskussion der Ergebnisse der FE-Analyse*

Die Verwendung von zwei Winkel gegenüber einem Winkel brachte eine Reduktion der maximalen Vergleichsspannung von 140 auf 17 N/mm<sup>2</sup> und eine Halbierung der Verschiebung bei doppelt so hohen Fertigungsaufwand für die Verbinder.

### **7.2.5 Berechnung für die Palette (It)**

#### *Berechnung auf Spannungen und Verschiebung der vertikalen Roboterachse bei einer Fehlbedienung*

Bei der Palette treten im Fall einer falschen Bedienung durch einen der Roboter vertikale Kräfte auf die Palette auf. Da die pneumatische Achse des ersten Linearroboters durch einen Anschlag begrenzt wurde, gilt es die Palette für ein Aufprallen des Festo-Roboters und dessen vertikaler Achse zu berechnen.

$$M := 4\text{-kg}$$

Maximale Last, die die z-Achse des Roboters heben kann

$$v_{0z\text{achse}} := 0.75 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Maximale Geschwindigkeit, die die z-Achse des Roboters erreicht

$$a_{\text{maxzachse}} := 6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Maximale Beschleunigung, die die z-Achse des Roboters erreicht

$$\text{Hub} := 150\text{mm}$$

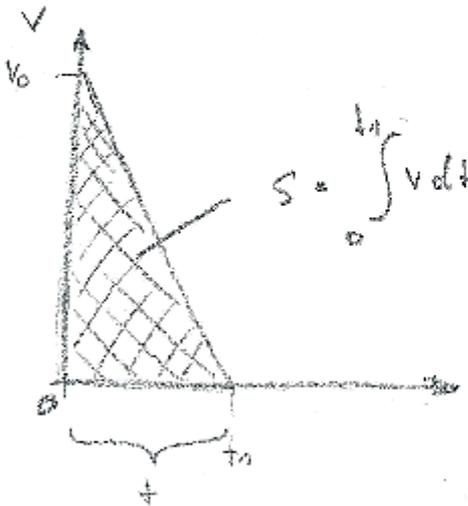
Maximaler Hub der z-Achse des Roboters

$$t_{\text{Sto\ss}} := 0.01\text{s}$$

Annahme der Stoßzeit

$$s_{\text{Bandf}} := 2\text{mm}$$

Annahme der maximalen Absetzung durch die Elastizität des Zahnriemens.



Unter Annahme einer konstanten Verzögerung zwischen Aufprall und Stillstand erhalte ich folgende Gleichung:

$$v := \frac{-v_0}{t_1} \cdot t + v_0 \quad \text{Gleichung 1}$$

Integriert man Gleichung 1 nach der Zeit, erhält man Gleichung 2 für den Weg.

$$s := \frac{-v_0 \cdot t_1}{2} \quad \text{Gleichung 2}$$

Aus der Gleichung 2 errechne ich die Zeit bis zum Stillstand ( $t_1$ ).

Durch die Annahme der konstanten Beschleunigung ist die Beschleunigung die Steigung der Geschwindigkeit.

$$a := \frac{-v_0}{t_1} \quad a := \frac{-v_0^2}{2 \cdot s} \quad \text{Gleichung 3}$$

Die Verzögerung beim Aufprall wird durch diese Gleichung berechnet

$$a_{\text{Verz}} := \frac{v_{0z\text{achse}}^2}{2 \cdot s_{\text{Bandf}}} = 140.625 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Aus der Gleichung Kraft=Masse x Beschleunigung bekommt man den Wert der Kraft für eine FE-Analyse

$$F_{\text{Sto\ss}} := M \cdot a_{\text{Verz}} = 562.5 \text{ N}$$

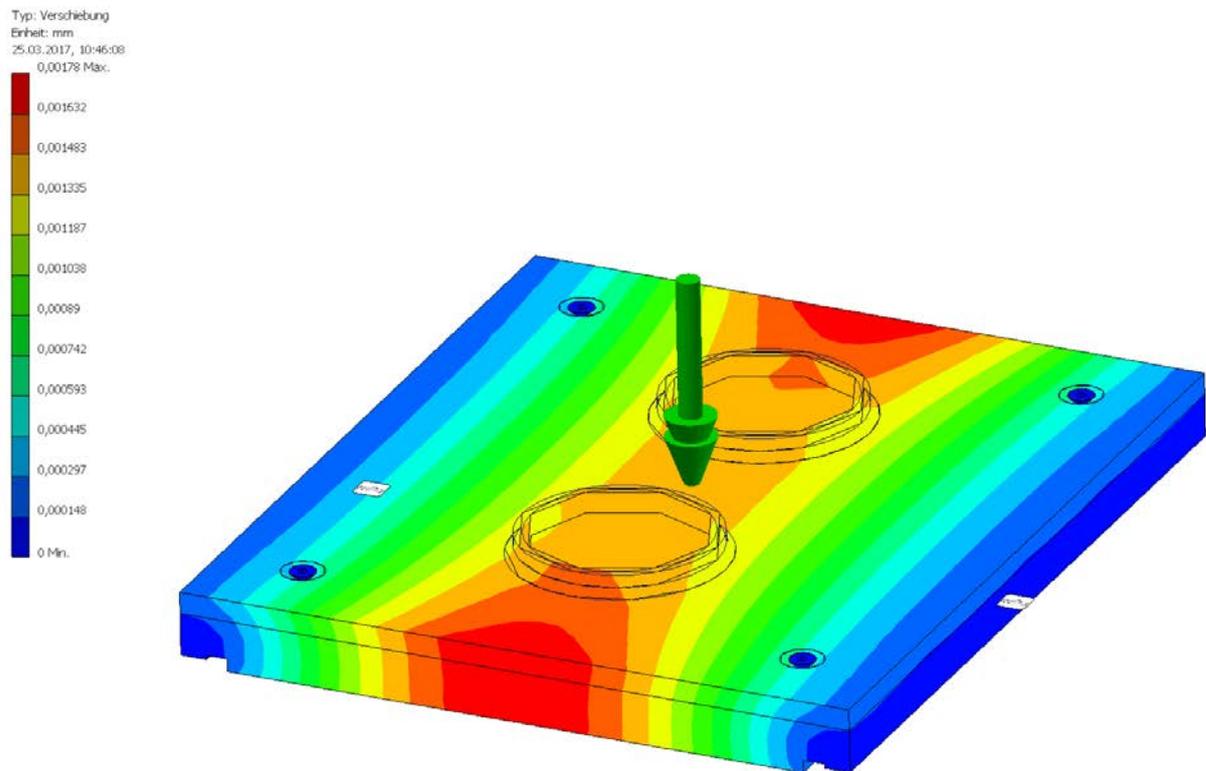


Abbildung 7-27: Belastungsanalyse mittels Autodesk Inventor 2010 auf Durchbiegung und die resultierende Verschiebung

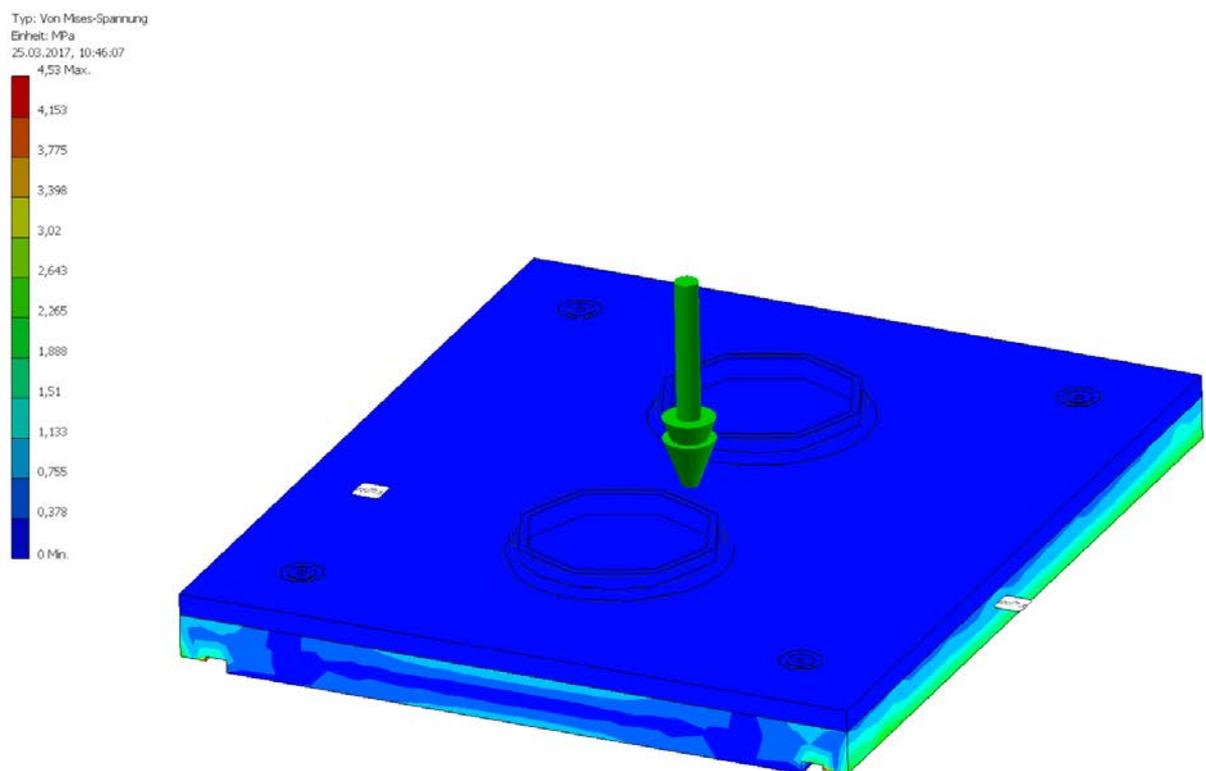


Abbildung 7-28: Belastungsanalyse mittels Autodesk Inventor 2010 auf Spannungen

$$\sigma_{\text{Auftretend}} := 4.53 \text{MPa} = 4.53 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$R_e := 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S := \frac{R_e}{\sigma_{\text{Auftretend}}} = 51.876$$

Maximal auftretende Spannung ermittelt durch eine FE-Analyse

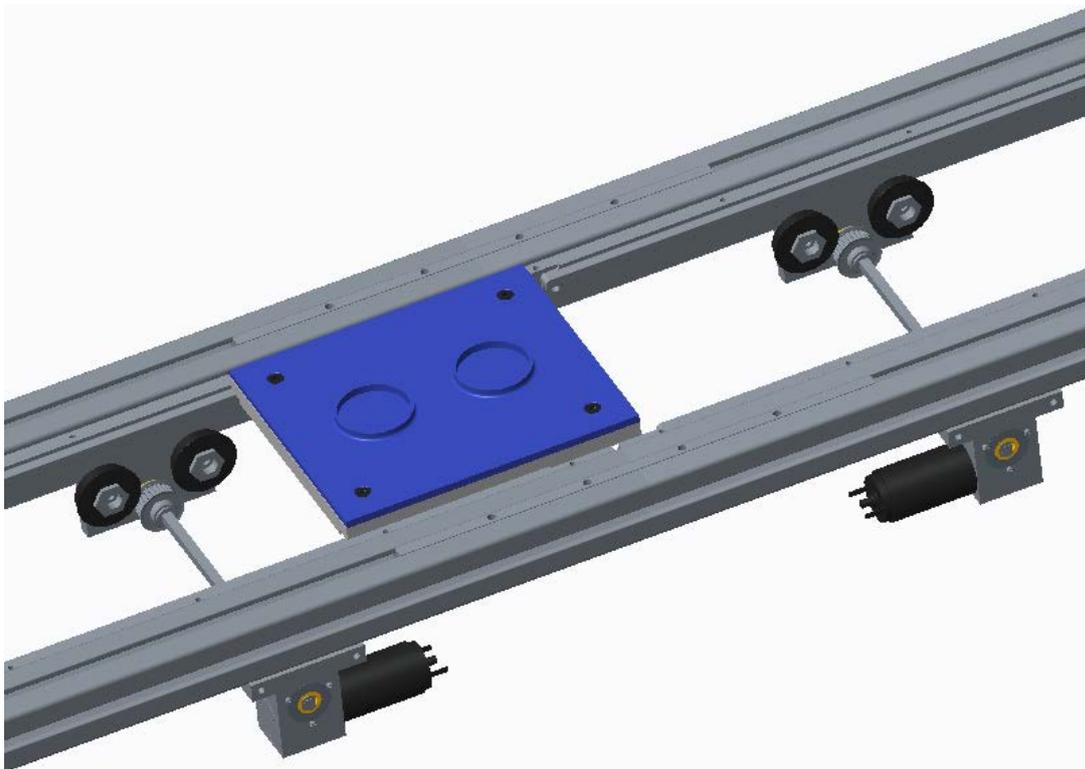
Maximale Streckgrenze von S235JR

Berechnete Sicherheit der Palette gegen Überschreiten der maximalen Streckgrenze

Bei der FE-Berechnung der Spannung und Durchbiegung wird die Palette auf den Flächen auf denen sie am Riemen aufliegt als gelenkig gelagert modelliert. Danach lässt man die ermittelte Stoßkraft von ca. 563 N auf die Mitte der Palette drücken. Die ermittelte maximale Verformung der Palette von etwa 0.002 mm spielt für den Anwendungsfall keine Rolle. Die ermittelten Vergleichsspannungen von  $\sigma_v=4.53 \text{ N/mm}^2$  zeigen eine nennenswerte Größe. Die Sicherheit gegenüber der Streckgrenze beträgt bei dieser Berechnung  $S \approx 51$ . Somit wird die Palette den ungünstigsten Fall, in welchem die vertikale Roboterachse ungebremst auf die Palette stößt, unbeschadet überstehen.

### *Berechnung der Haftreibung zwischen Palette und Bandförderriemen*

Ein weiteres wichtiges Kriterium ist, die Palette auf ein Rutschen beim Anfahren des Bandförderriemens nachzurechnen, da ein Anfahren ohne Schlupf erreicht werden soll. Wie in Abbildung 7-29 zu sehen ist, liegt diese nur durch ihr Eigengewicht auf den Förderriemen auf.



*Abbildung 7-29: Palette auf dem Bandförderer*

$$\mu := 0.5$$

Aus dem Roloff/Matek Anhang TB 4-1

$$m := 2.600\text{kg}$$

$$F_N := m \cdot g = 25.497\text{N}$$

$$F_R := F_N \cdot \mu = 12.749\text{N}$$

Aus dem Roloff/Matek Gleichung 4.1

Ergibt eine maximale Reibkraft von 10.199 N!

Aus der Gleichung:  $F_R = m \cdot a$  folgt:

$$a := \frac{F_R}{m} = 4.903 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

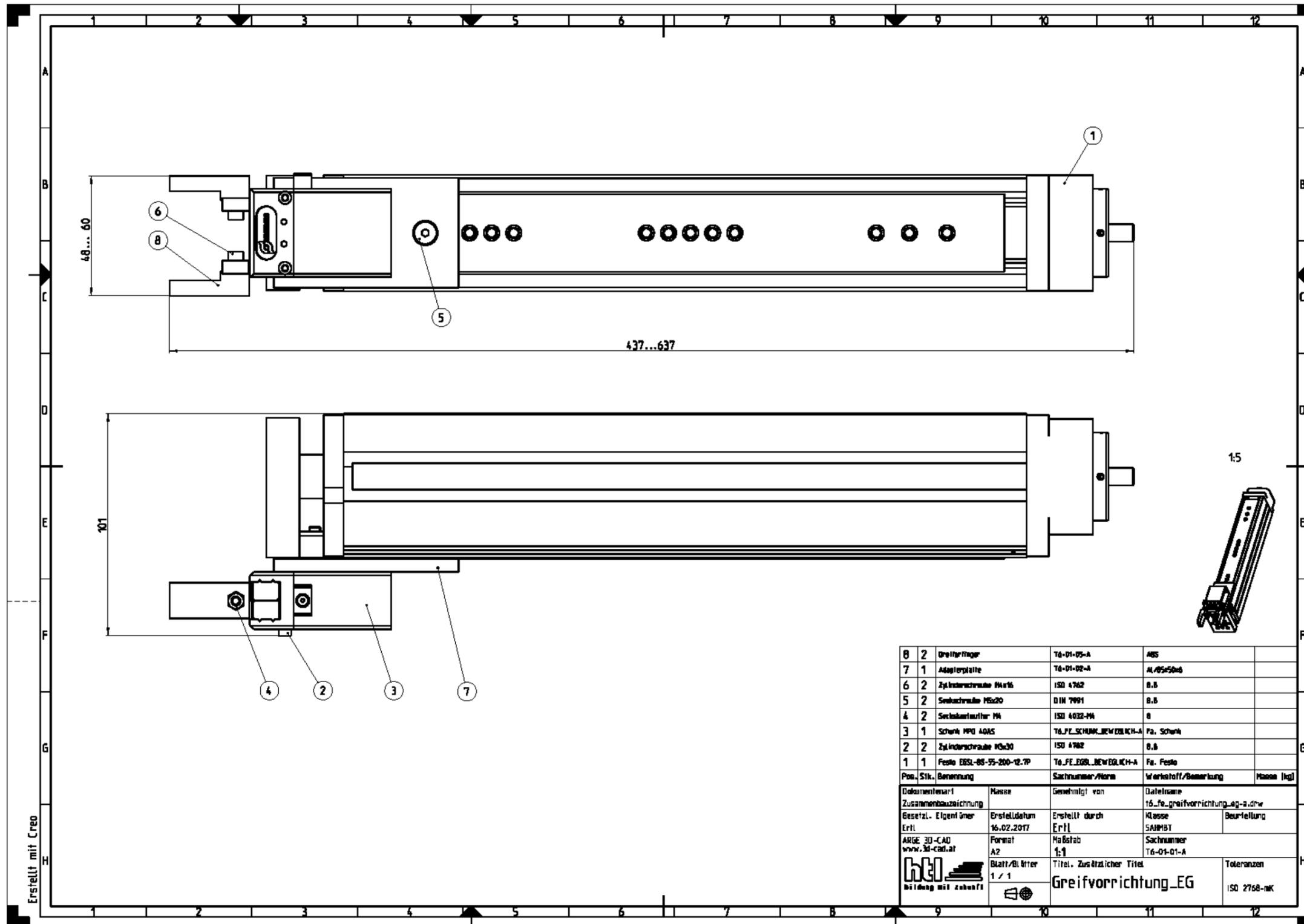
Daraus folgt eine maximale zulässige Beschleunigung von ca 5 m/s<sup>2</sup>

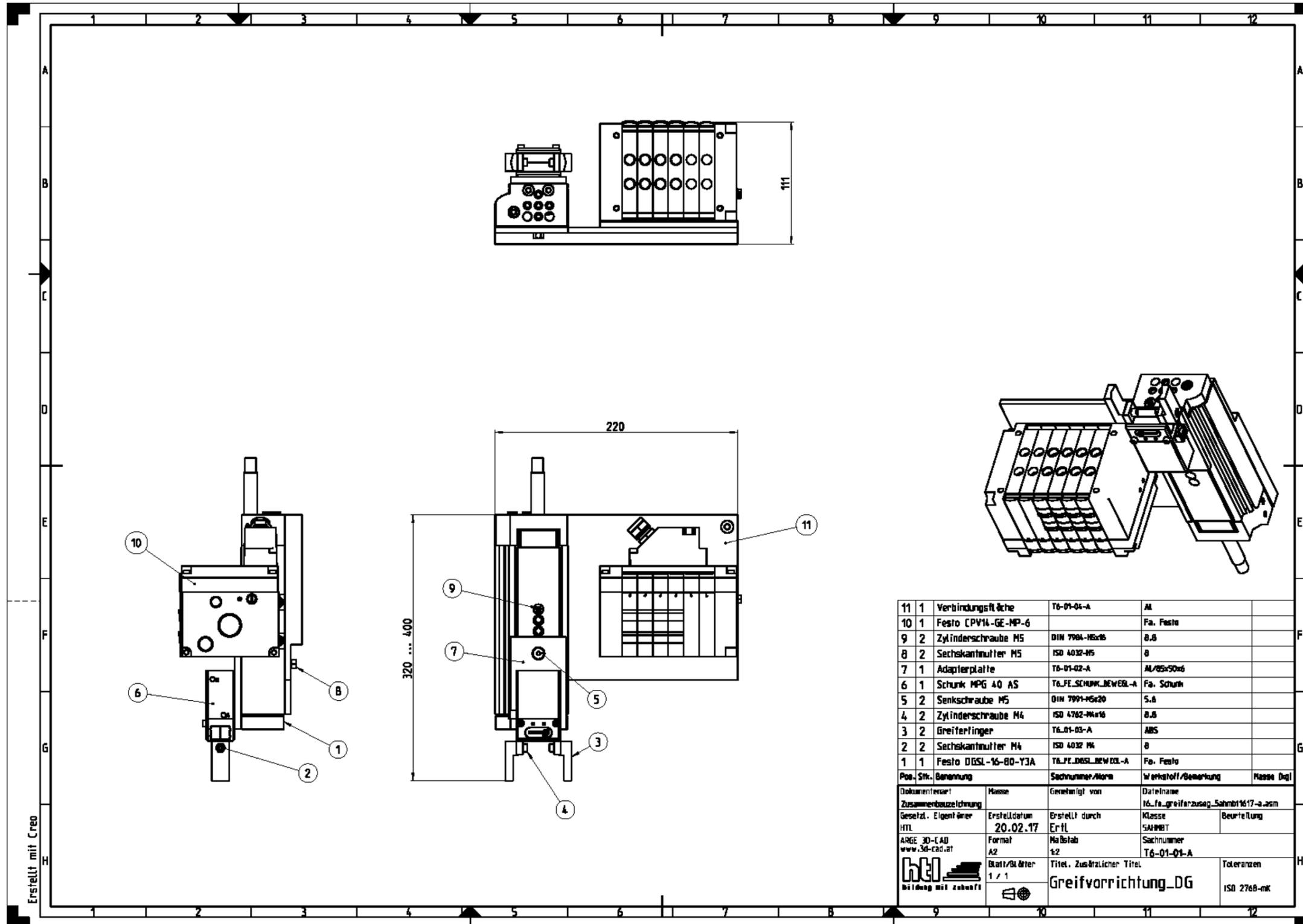
Durch durchgeführte Messungen kommen wir auf eine Beschleunigung des Bandförderers von etwa 0,5 m/s<sup>2</sup>. Somit wird ein Anfahren ohne Schlupf gewährleistet.

### 7.3 Zusammenbauzeichnungen

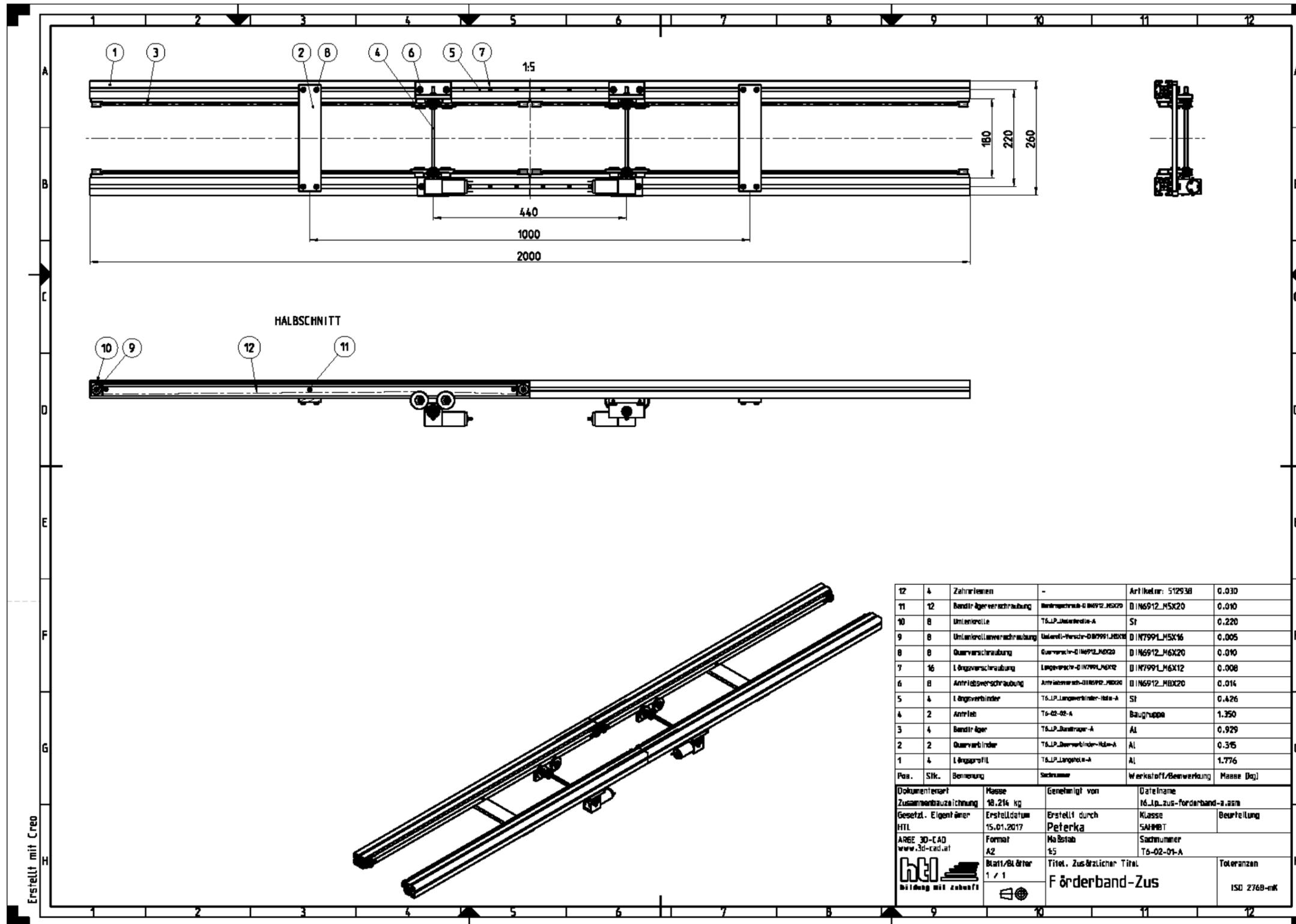
Alle weiteren Baugruppenzeichnungen und Fertigungszeichnungen befinden sich im Anhang unter „A6 Zeichnungen“.

7.3.1 Zusammenbauzeichnung Greifer (fe)

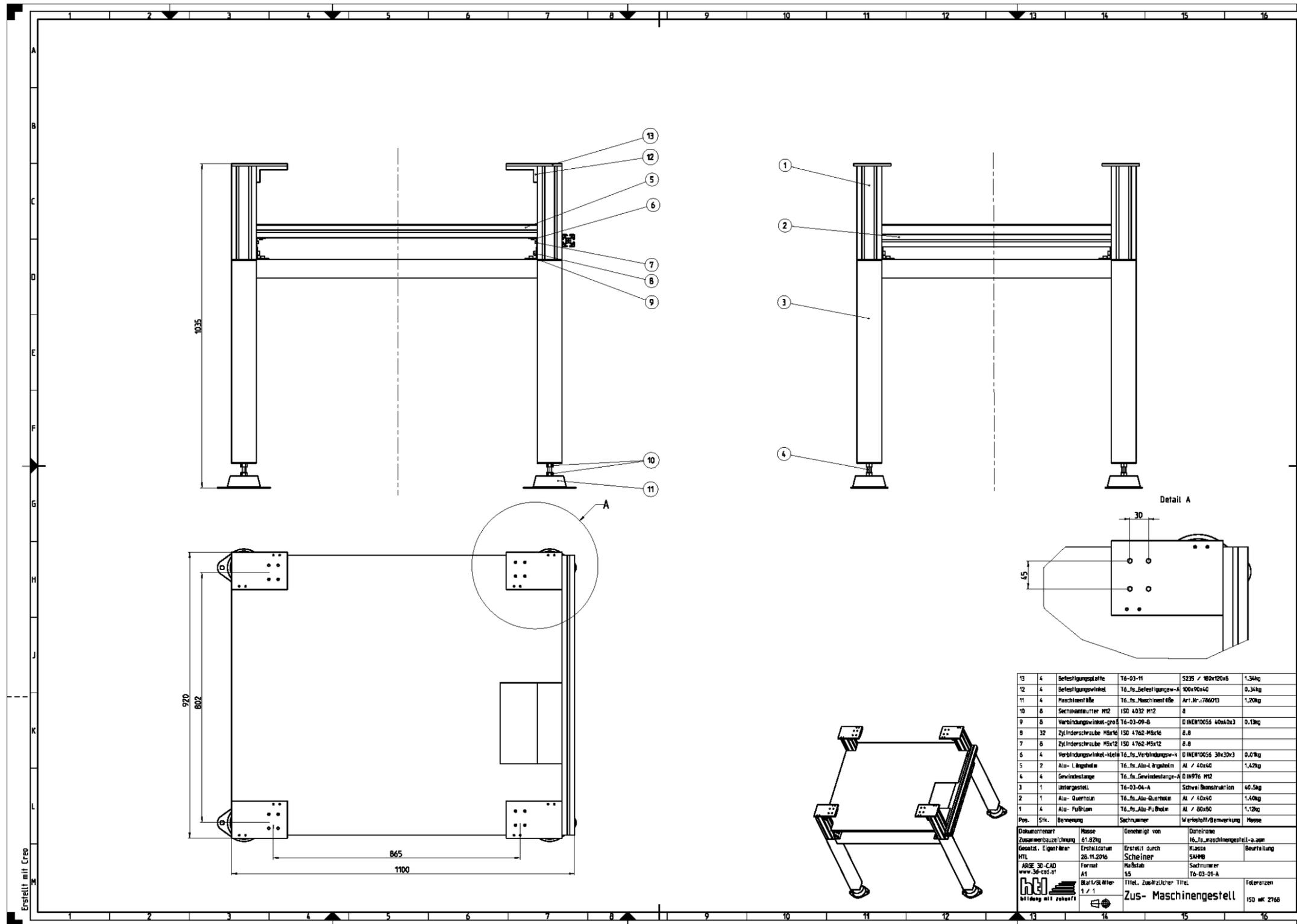




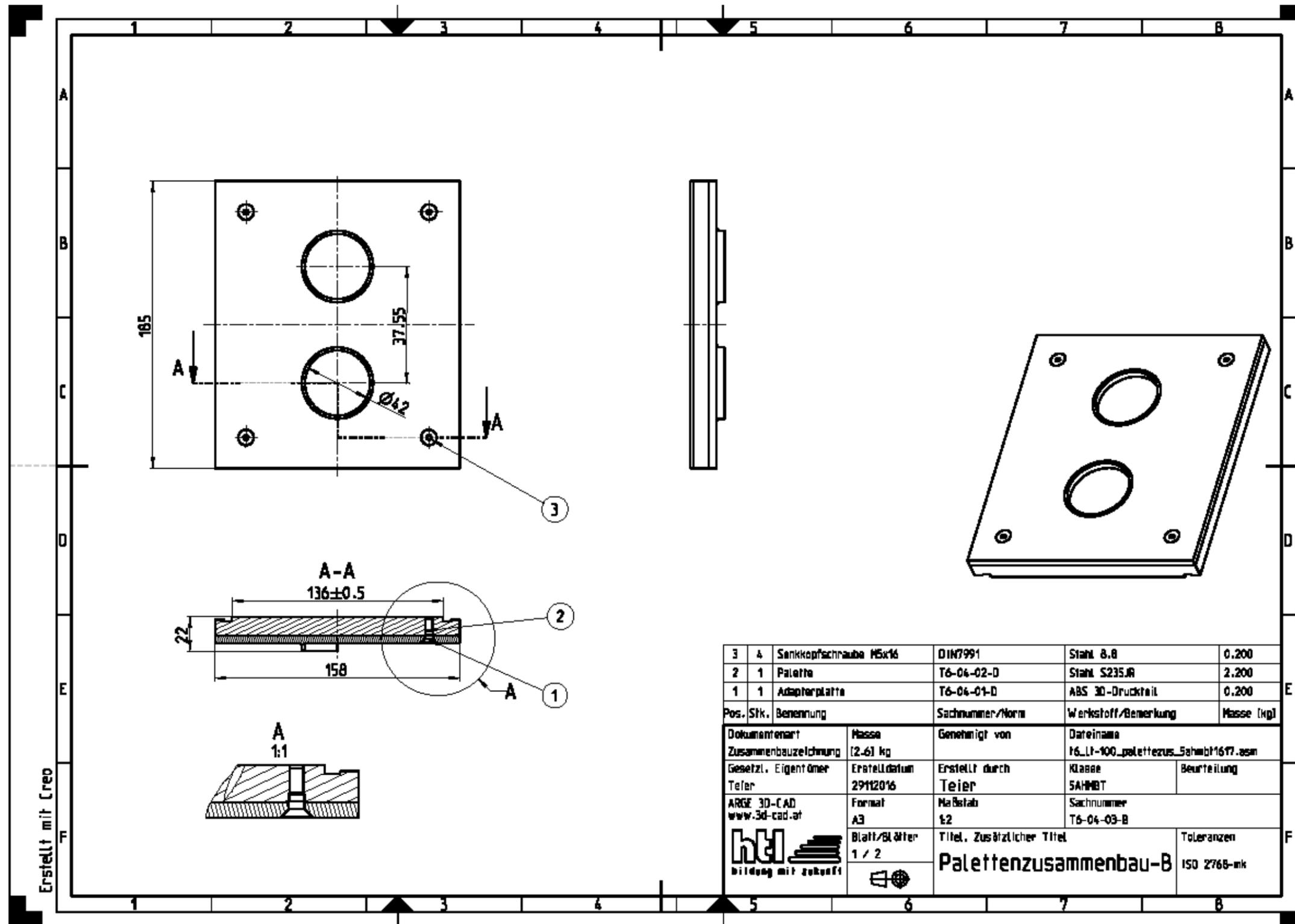
7.3.2 Zusammenbauzeichnung Bandförderer (lp)



7.3.3 Zusammenbauzeichnung Maschinengestell (fs)



7.3.4 Zusammenbauzeichnung Palette (It)



## 8 Fertigung

### 8.1 Arbeitsvorbereitung (fs)

Bevor wir mit der Fertigung starten konnten, mussten diverse Arbeiten erledigt werden. Da die Planungsphase bereits abgeschlossen war, und alle Teile dimensioniert waren, konnten wir mit der Bestellung der Rohmaterialien und der Zukaufteile beginnen. Für alle Bestellungen wurde zuerst ein Kostenvoranschlag eingeholt, welcher mit den Betreuern und dem Auftraggeber besprochen wurde. Nach Einholung der Genehmigung des Auftraggebers konnten wir bestellen.

### 8.2 Bestellung und Einkauf (fe, lp, fs, lt)

#### 8.2.1 Rohmaterial

##### *Material für das Maschinengestell (fs)*

Das Material für das Maschinengestell wurde bei der Firma Frankstahl bestellt. Die Firma Frankstahl ist ein langjähriger Kooperationspartner der Schule. Dieses Material konnte dankenswerterweise über die Abteilungsvorständin Frau Schachinger kostenlos besorgt werden. In der nachfolgenden Auflistung sieht man unseren bestellten Materialbedarf. Zusätzlich erhielten wir an Überschuss 2 Stk. 3 m Formrohr mit 80x80x3 mm und 2 Stk. 3m Formrohr mit 80x60x3 mm.

Formrohre:

- 4Stk. 80x80x3 mm, 800 mm lang
- 2Stk. 80x60x3 mm, 905 mm lang
- 2Stk. 80x60x3 mm, 740 mm lang

##### *Material für die Transportpalette (lt)*

Auf Anfrage von uns an die Firma „Frankstahl“ konnte man uns nicht den Werkstoff Aluminium in den Abmaßen l x b x h /200x160x15 mm anbieten, den sie in ihrem Produktblatt bewerben.

Nach einigen Anfragen und Angeboten, entschieden wir uns für den günstigeren Eisenwerkstoff S235JR.

Diesen bekamen wir großzügiger Weise kostenlos, von der in meinem Heimatort ansässigen Schlosserei ALREG, zur Verfügung gestellt.

## 8.2.2 Zukaufteile

### *Zukaufteile für den Bandförderer (lp)*

#### Zahnriemen:

Für den Bandförderer wurden entsprechend der Konzeptfindung (5.1 Instandsetzung Bandförderer (lp)) folgende Zahnriemen bestellt:

4 Stk. „Gates POWERGRIP® GT3 2100-5MGT-6 mm“

Diese wurden über die Website „[www.zahnriemen24.de](http://www.zahnriemen24.de)“ bestellt und von der Firma „GATES“ hergestellt. Sie bestehen aus einer Kombination aus Glasfaserzugsträngen, Elastomerzähnen und -rücken und Nylongewebe.

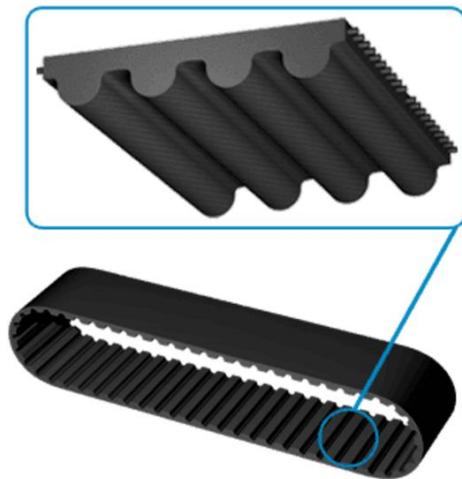


Abbildung 8-1: Beispielhafte Abbildung des Zahnriemens (<https://www.zahnriemen24.de>, 2017)

### Zahnriemenscheibe:

Für die Kraftübertragung zwischen dem Antrieb und dem Riemen benötigt man eine passende Zahnriemenscheibe die von der Zahnform, Breite und Teilung mit dem Zahnriemen kompatibel ist.

Deswegen wurde ebenfalls über die Webseite „[www.zahnriemen24.de](http://www.zahnriemen24.de)“ bestellt. Zugehörig zu den gewählten Zahnriemen wurden folgende Zahnriemenscheiben gewählt:

4 Stk. „Zahnscheibe 14-5M-09“

Diese besitzen eine Vorbohrung die zur Zentrierung für die Weiterbearbeitung genutzt werden kann.



*Abbildung 8-2: Beispielhafte Abbildung der Zahnriemenscheibe (<https://www.zahnriemen24.de>, 2017)*

### **Zukaufteile für das Maschinengestell (fs)**

Für das Maschinengestell wurden nur die Maschinenfüße zugekauft. Hierbei handelt es sich um dämpfende Füße, welche die Schwingungen des Roboters ausgleichen sollen. Die genauen Daten zu den Maschinenfüßen befinden sich im Anhang A5.2 Auswahltabelle Maschinenfüße

Bestellt wurde:

Maschinenfuß: K0687.092060, ohne Abreißsicherung; Firma: Lenhart& Hasenöhrl



*Abbildung 8-3: Dämpfender Maschinenfuß für das Gestell*

### 8.3 Kostenvorkalkulation (fe, lp, fs, lt)

| Kostenvorkalkulation            |       |             |             |  |                     |
|---------------------------------|-------|-------------|-------------|--|---------------------|
| Material- Einzelkosten          | Stück | Einzelpreis | Gesamtpreis |  | Preis pro Baugruppe |
| <b><u>Bandförderer:</u></b>     |       |             |             |  |                     |
| Zahnriemen                      | 4     | 35 €        | 140 €       |  |                     |
| Zahnriemenscheiben              | 4     | 10 €        | 40 €        |  | 180 €               |
| <b><u>Maschinengestell:</u></b> |       |             |             |  |                     |
| Formrohr 80x80x3 4m             | 1     | 80 €        | 80 €        |  |                     |
| Formrohr 80x60x3 4m             | 1     | 80 €        | 80 €        |  |                     |
| Maschinenfüße                   | 4     | 45 €        | 180 €       |  |                     |
| Grundierlack                    | 2     | 10 €        | 20 €        |  |                     |
| Lack                            | 2     | 10 €        | 20 €        |  | 380 €               |
| <b><u>Transportpalette:</u></b> |       |             |             |  |                     |
| Flachaluminium 185x160x15       | 1     | 60 €        | 60 €        |  | 60 €                |
| <b><u>Greifer:</u></b>          |       |             |             |  |                     |
| Flachaluminium 60x50x5          | 2     | 5 €         | 10 €        |  | 10 €                |
|                                 |       |             |             |  |                     |
|                                 |       |             |             |  |                     |
| <b>Gesamtsumme</b>              |       |             |             |  | <b>630 €</b>        |

## 8.4 Fertigungsdokumentation

### 8.4.1 Greiferfinger (fe)

Die mit Creo dreidimensional konstruierten Greiferfinger wurden anschließend für das 3D-Drucken vorbereitet.

Die Datei der Finger wurde als Stereolithografie Datei (Rekonstruieren einer Form mithilfe von Dreiecken) exportiert und mit der Slicing Software Z-Suite des Zortrax Druckers aufbereitet (siehe Abbildung 8-5). Dort wurden die Parameter wie Material, Schichtdicke, Randlagen und Füllung eingestellt und als G-Code gespeichert. Diesen spielt man in den Drucker und nach der Kalibrierung der Platte kann der Druck selbstständig gestartet werden. Als Material kam ABS (Kunststoff) zum Einsatz, dass mit dem FDM-Verfahren (Fused Deposition Modeling) schichtweise aufgebracht wird. In der Abbildung 8-4 sind die Finger während des Druckes, auf der Heizplatte zu sehen. Auf dieser ist zur besseren Anhaftung eine Stützschiicht aufgetragen.



Abbildung 8-4: Füllung der Finger während des Drucks

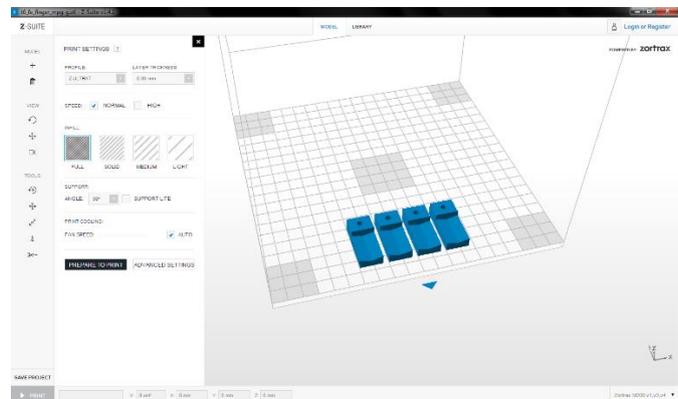


Abbildung 8-5: Vorbereitung der Datei für den Druck

### 8.4.2 Adapterplatte (fe)

Das Rohmaterial für die Adapterplatte wurde uns aus dem Materiallager des TGM in passender Länge zur Verfügung gestellt. Zuerst wurden die Stirnflächen plangefräst und danach auf die richtige Länge bearbeitet. Die Dicke musste nicht bearbeitet werden, da das Material bereits die richtige Abmessung hatte. Nach dem Fräsen wurde ein Werkzeug zur Kalibrierung der Achsen verwendet um die Bohrung genau zu positionieren, um später Fehler bei der Montage zu vermeiden.

Anschließend wurden die Bohrungen entgratet und mit einem Gewinde, beziehungsweise mit einer Senkung, versehen.

Da in der zweiten Woche der Fertigung ein Fachlehrer erkrankte, kamen wir auf ein Angebot des Fachlehrers Eisenhut zurück und ließen uns die Zentrierungen mit einem kurzen CNC-Bohrprogramm machen. Danach konnten mit einer gewöhnlichen Standbohrmaschine die Bohrungen und die Senkungen durchgeführt werden.



Abbildung 8-6: Stirnfräsen der Adapterplatte



Abbildung 8-7: Kantentaster

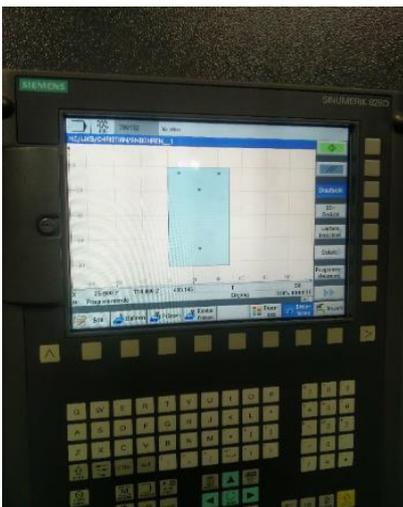


Abbildung 8-8: Bohrschablone

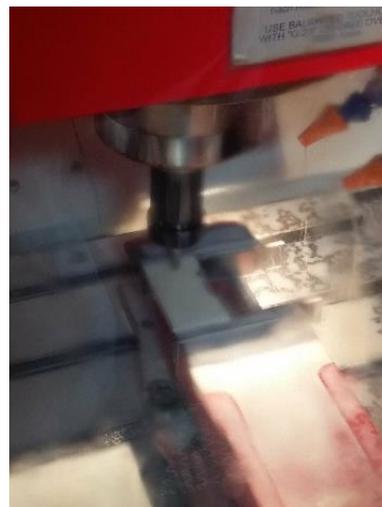


Abbildung 8-9: Zentrierbohren



Abbildung 8-10: Fertige Zentrierbohrungen

### 8.4.3 Elektronischer Steuerkasten (fe)

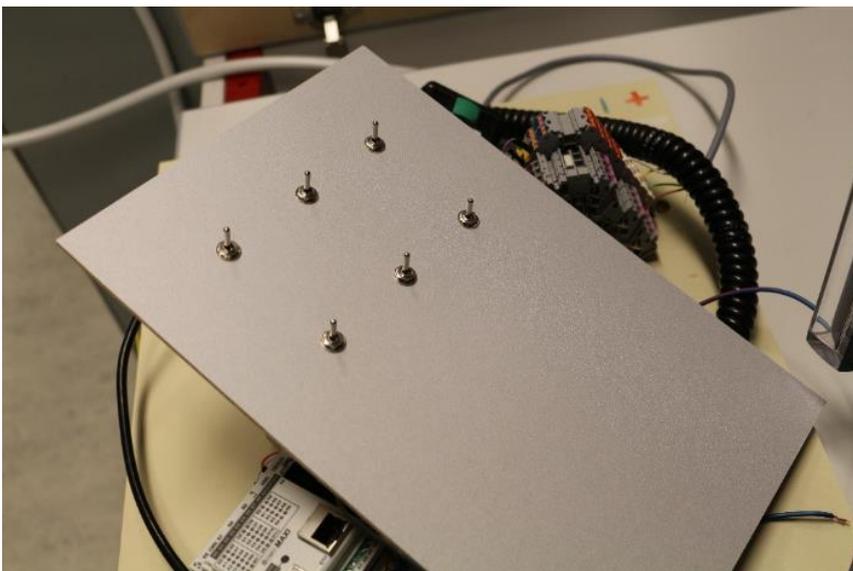
Um die Ansteuerung optisch ansprechender zu gestalten, wird die Elektronik in einem Steuerkasten zusammengefasst. Im Deckel wurden dabei sechs Taster und sechs Hebelschalter, mehr als derzeit erforderlich, eingebaut. Dies ermöglicht die Ansteuerung zu erweitern.

Das Material für die Abdeckung wurde vom Auftraggeber besorgt und in der Modellbauschlerei auf Maß zugeschnitten und mit Bohrungen für die Bedienelemente versehen (siehe Abbildung 8-12).



*Abbildung 8-11: geleimter Rahmen*

Anschließend wurde ein Kasten aus Massivholz entworfen und ebenfalls in der Modellbauschlerei zugeschnitten, geleimt und zuletzt gehobelt.



*Abbildung 8-12: Einsetzen der Hebel*

Danach wurde die Befestigungsschiene des Controllinos, der Spannungsminderer und der Motortreiber eingeschraubt. Anschließend wurden die Bauteile inklusive Verteiler für 24 V, 12 V und die Masse auf die Schiene geklemmt. Zum Schluss wurden noch Löcher für die Kabel in den Rahmen gebohrt und alle Kabel verlötet und angeschlossen.

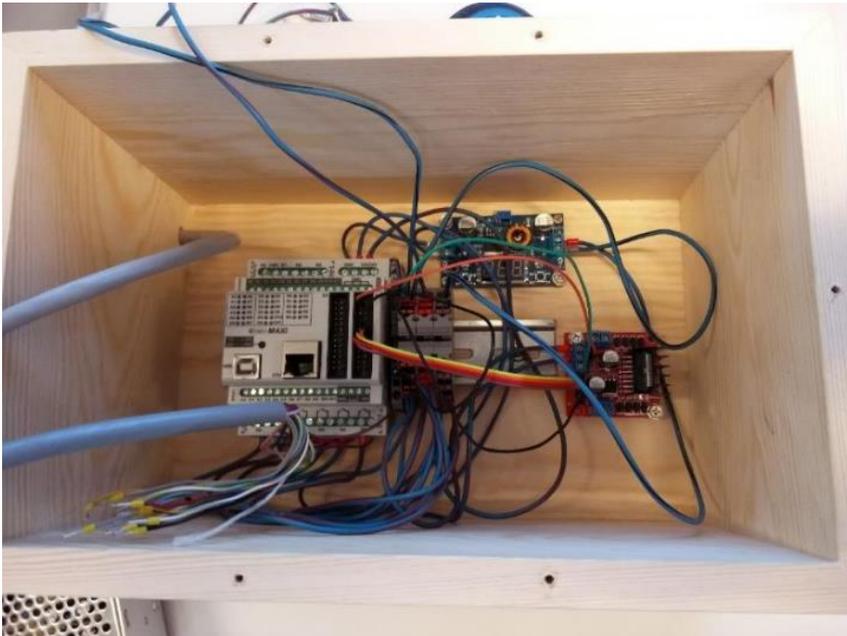


Abbildung 8-13: Verkabelung der Ansteuerung

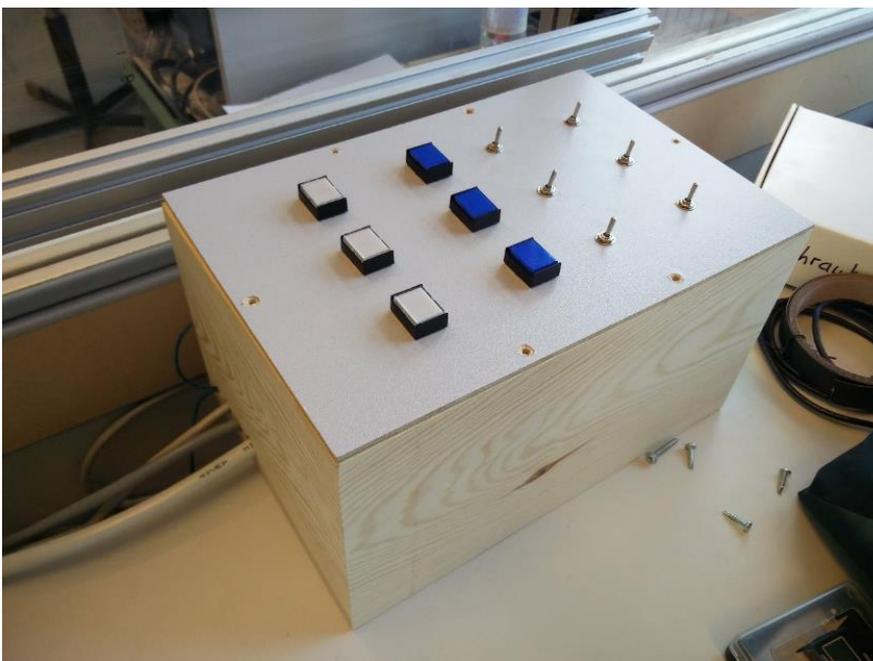


Abbildung 8-14: Fertiger Elektrischer Schaltkasten

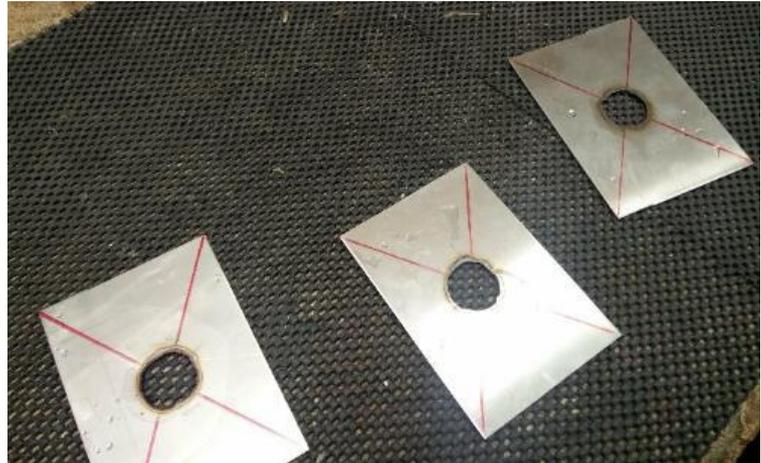
#### 8.4.4 Pneumatischer Steuerkasten (fe)

Der Ablauf der Fertigung des pneumatischen Steuerkastens lief in etwa so ab, wie der des elektronischen Steuerkastens. Der pneumatische Schaltkasten wurde als zusätzliche Erweiterung eingebaut. Dabei wurde auch eine zukünftige Einbeziehung des Kuka-Roboters und einer zusätzlichen Magnetventilinsel berücksichtigt. Er besitzt die Aufgabe, nicht benötigte Leitungen von der Druckluftversorgung zu trennen.

Die Dimensionen gegenüber dem elektrischen Steuerkasten sind leicht abgeändert und der Inhalt besteht lediglich aus drei pneumatischen Absperrhähnen um einzelne Kreisläufe zu sperren. Die Hähne sind relativ schwer zu drehen. Das könnte auf längere Zeit die dünne Holzplatte zerstören, die als Deckel des pneumatischen Steuerkastens dient. Deshalb wurden drei Unterlagen aus Blech angefertigt. Das Material stellte mir mein Vater zur Verfügung. Erst beim Zuschneiden zeigte sich, dass es sich um Edelstahlbleche handelt. In diese mussten jeweils eine 30 mm große Bohrung in der Mitte des Bleches angefertigt werden. Hierfür gab es aber kein geeignetes Werkzeug in der Werkstätte des TGM. Deswegen habe ich die Bleche zuhause mit einem Plasmaschneider vorbearbeitet. Dieser verwendet einen Lichtbogen zwischen dem Werkstück und der Düse, der das Grundmaterial aufschmilzt. Gleichzeitig wird durch eine Düse Druckluft geblasen. Diese bläst das geschmolzene Material weg und erzeugt somit einen Schnitt im Blech.



*Abbildung 8-15: Plasmaschneiden der Bohrungen*



*Abbildung 8-16: Fertige Bohrungen*

Anschließend wurden die vorgefertigten Bohrungen mit einer Kreisschablone rund angezeichnet. Danach wurde das Werkstück mit einem pneumatischen Schleifer geschliffen und die Oberfläche poliert.

Damit sich der Absperrhebel nicht verdreht wurde eine Nut in die Bohrung gefeilt und die Hebel eingepasst und befestigt.

Schlussendlich wurden die drei Blechplatten durch Schrauben in der Abdeckplatte des pneumatischen Schaltkastens befestigt. Für die Pneumatikschläuche wurden Löcher gebohrt und anschließend durch den Kasten verlegt.

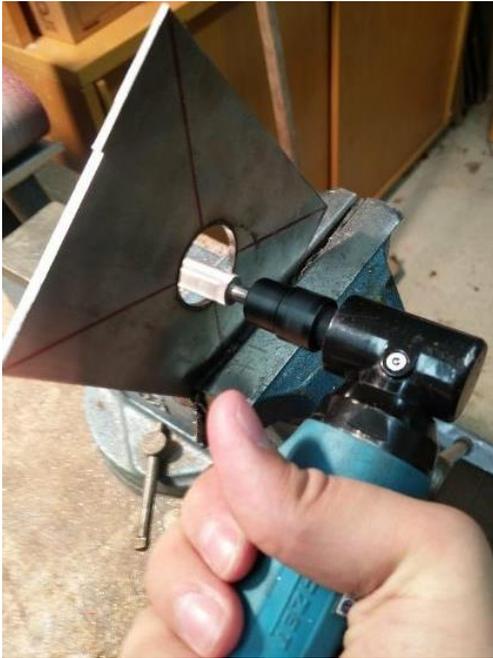


Abbildung 8-17: Rundschleifen des Lochs



Abbildung 8-18: Verschraubter Absperrhahn

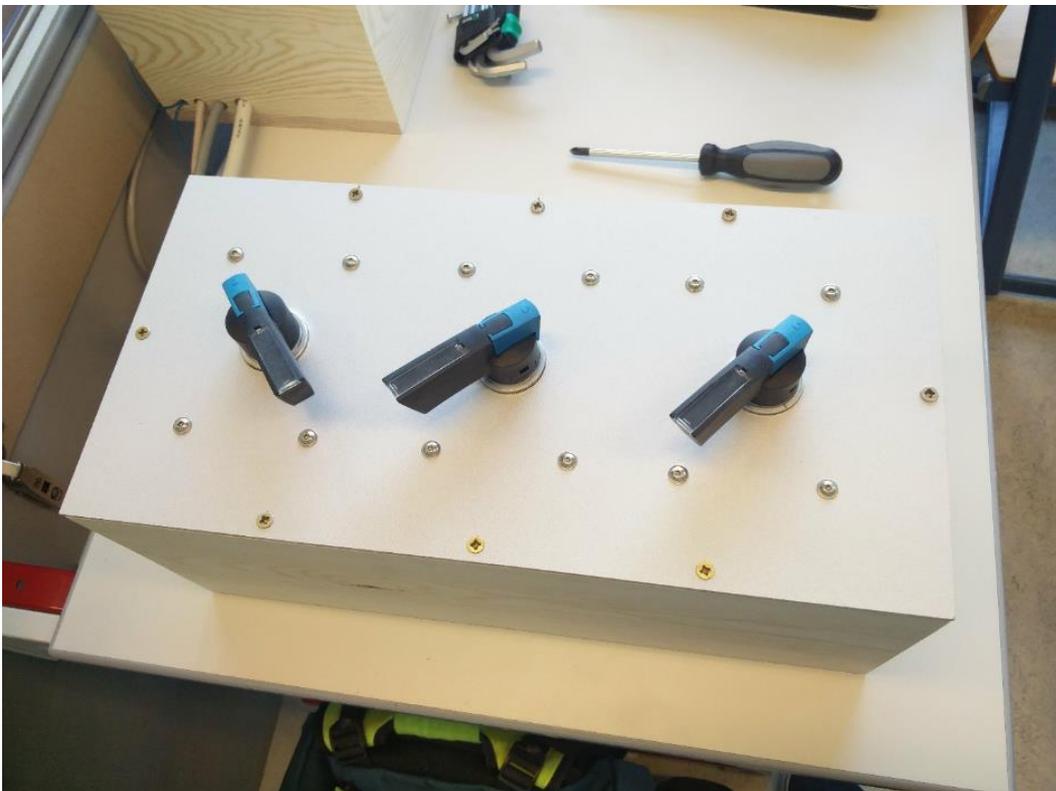


Abbildung 8-19: Fertiger Pneumatischer Schaltkasten

### 8.4.5 Programm zur Steuerung (fe)

Die Aufgabe dieser ist, den Motortreiber für den Bandförderer und die Magnetventilinsel zu steuern.

Das folgende Programm wurde mit der Software von Arduino geschrieben und danach auf den Controllino MAXI gespielt.

Im ersten Schritt wird dabei die Bibliothek dieses Controllers in das Programm eingebunden. Dies geschieht mit dem Befehl „`#include`“. Dieser enthält wichtige Verknüpfungen und Zuweisungen von Eingängen und Ausgängen.

Anschließend werden die Eingänge und Ausgänge mit dem Befehl „`const int`“ benannt, um im Programm später nicht immer die volle Bezeichnung des Ports verwenden zu müssen. Links vom „`=`“ kommt die neue Variable hin (Großbuchstaben) und Rechts wird der Port des Controllinos verwiesen.

z.B.: `const int G1 = CONTROLLINO_A5`

Hier gibt es 3 Arten von Ports:

- Relais  
Dieser Port beinhaltet ein Relais, das auf Wunsch geschlossen oder geöffnet wird
- A (Eingänge)  
Dieser Port empfängt Signale von Taster, Sensoren, usw. und verarbeitet diese
- D (Ausgänge)  
Dieser Port gibt Signale an Aktoren wie Motoren, LED's, etc.

Grundlegende Variablen sind hierbei:

- G1, G2, ZA:  
Hier werden die Hebelschalter verbunden, die die Pneumatischen Komponenten steuern
- EL, ER  
Diese Eingänge bekommen Signale der Endschalter

- TL, TR:  
Diese Eingänge werden mit Tastern verbunden, die das Signal für die Bewegungsrichtung liefern
- XR:  
Dieser Eingang setzt die Fehlerdiode zurück
- EN:  
Dieser Ausgang entscheidet im Motortreiber, ob die Motoren aktiv sind oder nicht
- IN1, IN2, IN3, IN4:  
Diese Ausgänge regeln die Drehrichtung der Motoren A und B. Dabei sind IN1 und IN2 beziehungsweise IN3 und IN4 zusammengehörig
- X:  
Dieser Ausgang ist die Fehlerdiode, die bei fehlerhaften Endschaltern das System stoppt
- LL, LR:  
Diese Ausgänge steuern Dioden an, die die Fahrtrichtung visualisieren

Im Programmcode sieht das dann so aus:

```
#include <Controllino.h>

//Pneumatik Ausgänge
const int GREIFER1_AUF = CONTROLLINO_R0;
const int GREIFER1_ZU = CONTROLLINO_R1;
const int GREIFER2_AUF = CONTROLLINO_R2;
const int GREIFER2_ZU = CONTROLLINO_R3;
const int ZACHSE_HINAUF = CONTROLLINO_R4;
const int ZACHSE_HINUNTER = CONTROLLINO_R5;

//Taster Eingänge für Pneumatik
const int G1 = CONTROLLINO_A5;
const int G2 = CONTROLLINO_A6;
const int ZA = CONTROLLINO_A7;

//Elektronik Ausgänge
const int EN = CONTROLLINO_D0;
const int IN1 = CONTROLLINO_D1;
const int IN2 = CONTROLLINO_D2;
const int IN3 = CONTROLLINO_D3;
const int IN4 = CONTROLLINO_D4;
const int X = CONTROLLINO_D5;

const int LL = CONTROLLINO_D6;
const int LR = CONTROLLINO_D7;

//Elektronik Eingänge
const int EL = CONTROLLINO_A0;
const int ER = CONTROLLINO_A1;
const int TL = CONTROLLINO_A2; // Braun Ground / Blau Input
const int TR = CONTROLLINO_A3; // Braun Ground / Grau Input
const int XR = CONTROLLINO_A4; // Braun Ground / Weiß Input
```

Im nächsten Schritt werden für den Systemstart die Variablen auf einen definierten Wert gesetzt. Die Variablen besitzen den Datentyp „BOOL“, der entweder TRUE oder FALSE (1/0) Zustände zulässt. Beim Anschalten der Ansteuerung soll hierbei die Fehlerlampe aktiv sein, damit, bevor das Förderband in Bewegung versetzt wird, zur Sicherheit der „Fehler“ quittiert werden muss. Auch jegliche Bewegungen und Dioden sollen deaktiviert sein.

```
//Merker
bool x = true; // Fehlerlampe
bool en = false;
bool dir = false; // true = links, false = rechts
bool g1 = false;
bool g2 = false;
bool za = false;

bool fahrelinks = false;
bool fahrerechts = false;
bool tlpresed = false;
bool trpressed = false;

bool ll = false;
bool lr = false;
```

Mit dem Befehl „void setup()“ werden die Ports definiert als Output oder Input. Der Befehl „Serial.begin(9600)“ wird in dem Programm zu Testzwecken verwendet, um während des Programms zu sehen welche Zustände die Variablen besitzen, ohne den Controllino an jegliche Ausgänge anzuschließen.

```
void setup() {
  pinMode(EN, OUTPUT);
  pinMode(IN1, OUTPUT);
  pinMode(IN2, OUTPUT);
  pinMode(IN3, OUTPUT);
  pinMode(IN4, OUTPUT);
  pinMode(X, OUTPUT);
  pinMode(EL, INPUT);
  pinMode(ER, INPUT);
  pinMode(TL, INPUT);
  pinMode(TR, INPUT);
  pinMode(XR, INPUT);
  pinMode(GREIFER1_AUF, OUTPUT);
  pinMode(GREIFER1_ZU, OUTPUT);
  pinMode(GREIFER2_AUF, OUTPUT);
  pinMode(GREIFER2_ZU, OUTPUT);
  pinMode(ZACHSE_HINAUF, OUTPUT);
  pinMode(ZACHSE_HINUNTER, OUTPUT);
  pinMode(G1, INPUT);
  pinMode(G2, INPUT);
  pinMode(ZA, INPUT);
  pinMode(LL, OUTPUT);
  pinMode(LR, OUTPUT);
  //Serial.begin(9600);
}
```

Der Befehl „void ()“ kann als Referenz verwendet werden, um im Programm ein gewisses Unterprogramm laufen zu lassen. In weiterer Folge werden die Unterprogramme für die pneumatischen Komponenten und das Förderband definiert.

```
void band() {  
    if (dir) {  
        digitalWrite(IN1, HIGH);  
        digitalWrite(IN2, LOW);  
        digitalWrite(IN3, HIGH);  
        digitalWrite(IN4, LOW);  
    } else {  
        digitalWrite(IN1, LOW);  
        digitalWrite(IN2, HIGH);  
        digitalWrite(IN3, LOW);  
        digitalWrite(IN4, HIGH);  
    }  
}  
  
void greifer1() {  
    if (g1) {  
        digitalWrite(GREIFER1_AUF, HIGH);  
        digitalWrite(GREIFER1_ZU, LOW);  
    } else {  
        digitalWrite(GREIFER1_AUF, LOW);  
        digitalWrite(GREIFER1_ZU, HIGH);  
    }  
}
```

```
void greifer2() {  
    if (g2) {  
        digitalWrite(GREIFER2_AUF, HIGH);  
        digitalWrite(GREIFER2_ZU, LOW);  
    } else {  
        digitalWrite(GREIFER2_AUF, LOW);  
        digitalWrite(GREIFER2_ZU, HIGH);  
    }  
}  
  
void zylinder() {  
    if (za) {  
        digitalWrite(ZACHSE_HINAUF, HIGH);  
        digitalWrite(ZACHSE_HINUNTER, LOW);  
    } else {  
        digitalWrite(ZACHSE_HINAUF, LOW);  
        digitalWrite(ZACHSE_HINUNTER, HIGH);  
    }  
}
```

Alles was in dem Befehl „void loop()“ steht, wird nach dem Setup zyklisch abgearbeitet. Die Befehle „bool xx = digitalRead(XX) == True/False“ definieren, wann eine Variable True und False ist, nämlich dann, wenn das Signal High (12 V) oder Low (0 V) ist. Die ersten Zeilen sind da, um die Änderung der Taster Links und Rechts zu erkennen. Dies funktioniert durch einen Vergleich mit dem vorhergehenden Zustand („xxpressed“). Der untere Programmteil definiert den Ablauf bei einem Fehlerzustand. Das ist zum Beispiel der Fall, wenn beide Endschalter aktiv sind. Dann muss ein Fehler vorliegen und alle Bewegungen müssen gestoppt werden. Bei Aktivierung der Taste XR wird der Fehlerzustand wieder auf False gesetzt.

```
void loop() {

    bool el = digitalRead(EL) == LOW;
    bool er = digitalRead(ER) == LOW;
    bool tl = digitalRead(TL) == HIGH;
    if (tl) {
        tl = !tlpressed;
        tlpressed = true;
    } else {
        tlpressed = false;
    }
    bool tr = digitalRead(TR) == HIGH;
    if (tr) {
        tr = !trpressed;
        trpressed = true;
    } else {
        trpressed = false;
    }
    bool xr = digitalRead(XR) == HIGH;

    g1 = digitalRead(G1) == HIGH;
    g2 = digitalRead(G2) == HIGH;
    za = digitalRead(ZA) == HIGH;

    //Ausgang X
    if (el && er) {
        x = true;
        en = false;
        fahrelinks = false;
        fahrerrechts = false;
    }

    //Zurücksetzen des Fehlers
    if (xr) {
        x = false;
    }
}
```

Die folgenden Eingaben sind die Befehlsverarbeitung ob das Förderband nach links fahren soll oder nach rechts. Ganz unten ist die Aktivierung der Unterprogramme.

```
if (!x) {
  if (tl && !fahrerechts) {
    if (fahrelinks) {
      en = false;
      fahrelinks = false;
      //Serial.print(" jetzt nimma links ");
      //Serial.println(en);
    } else {
      dir = true;
      en = true;
      fahrelinks = true;
      //Serial.print(" jetzt links ");
      //Serial.println(en);
    }
  }
  if (tr && !fahrelinks) {
    if (fahrerechts) {
      en = false;
      fahrerechts = false;
      //Serial.print(" jetzt nimma rechts ");
      //Serial.println(en);
    } else {
      dir = false;
      en = true;
      fahrerechts = true;
      //Serial.print(" jetzt rechts ");
      //Serial.println(en);
    }
  }
  if (el && fahrelinks) {
    en = false;
    fahrelinks = false;
    // Serial.print("Endschalter links");
  }
  if (er && fahrerechts) {
    en = false;
    fahrerechts = false;
    // Serial.print("Endschalter rechts");
  }
}
//Serial.print("EN: ");
// Serial.println(en);
// delay(200);

//Ausgang aktivierung|
greifer1();
greifer2();
zylinder();
band();
```

Die letzten Teile des Programms befassen sich mit der Schaltung der Dioden, welche die Fahrtrichtung visualisieren. Zusätzlich werden die Ausgänge für die Fehlerlampe, die Richtungslampen und das Aktivierungssignal des Motortreibers auf den richtigen Wert mit dem Befehl „digitalWrite()“ gesetzt.

```
if (dir == en) {
  ll = true;
} else {
  ll = false;
}

if (!dir == en) {
  lr = true;
} else {
  lr = false;
}

digitalWrite(EN, en ? HIGH : LOW);
// Fehlerlampe setzen
digitalWrite(X, x ? HIGH : LOW); // x?HIGH:LOW heißt: if (x == true) { HIGH } else { LOW }
digitalWrite(LL, ll ? HIGH : LOW);
digitalWrite(LR, lr ? HIGH : LOW);
```

Mit diesem selbst erstellten Programm kann somit folgendes gesteuert werden:

- Der Greifer des Raumportalroboters
- Der Greifer des Flächenportalroboters
- Der Zylinder des Flächenportalroboters
- Die zwei Förderbandmotoren

Die Bedienung der Steuerung erfolgt in der Bedienungsanleitung in Kapitel. 9.3.

### 8.4.6 Transportpalette (It)

Die Transportpalette besteht aus:

1. Senkkopfschraube M5x8 mm
2. Adapterplatte
3. Palette

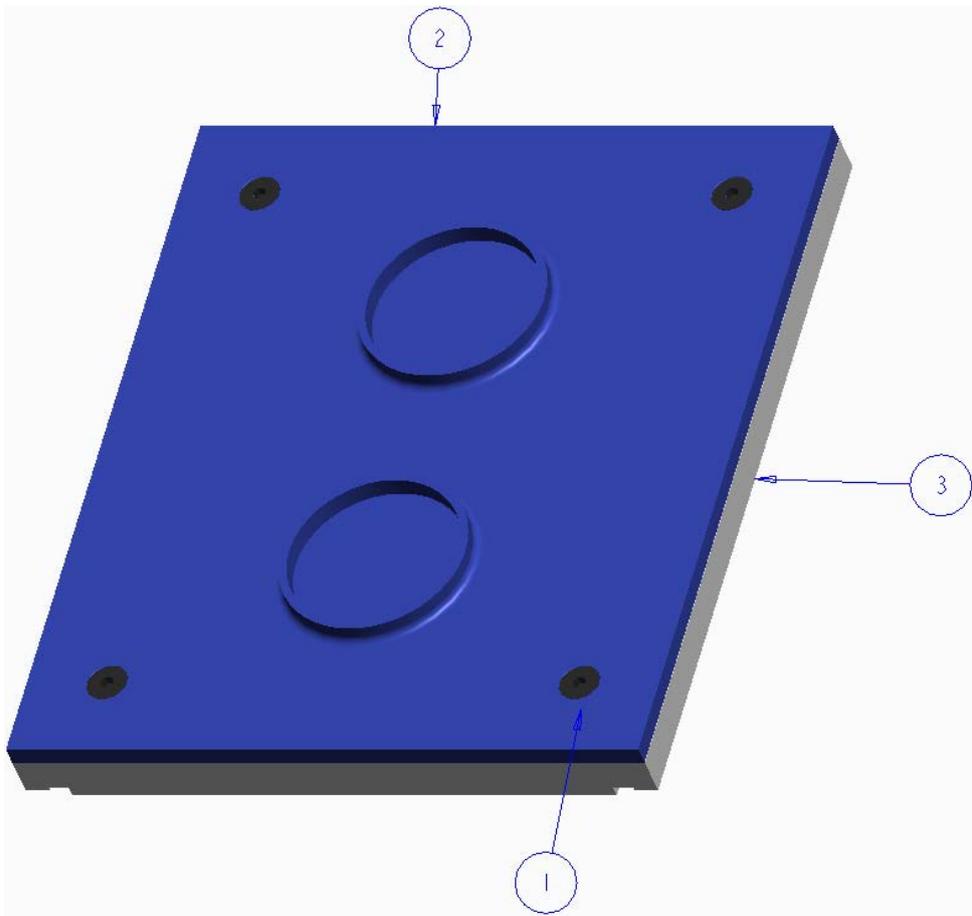


Abbildung 8-20: Transportpalette mit Positionsnummern

*Trägerpalette (Fertigungszeichnung s. Anhang A58)*



*Abbildung 8-21: Zurechtschneiden mit Hilfe einer Bandsäge*

Die Trägerpalette wurde aus einer Stahlplatte 200x160x20 mm Werkstoff S235JR gefertigt.

Das Fertigen der Palette erfolgt mit einer konventionellen Fräsmaschine Deckel FP1.

Da aufgrund des Alters der Maschine diese schon ein größeres Spindel Spiel aufweist, wurden möglichst alle Flächen mit Gegenlaufräsen bearbeitet.

Zuerst wurden mit einer Bandsäge zwei parallele Seiten geschnitten, um diese nachher auf dem Schraubstock der Fräse sauber aufspannen zu können. Außerdem wurde auf eine Maßzugabe von +2 mm gegenüber dem Nennmaß geachtet, um nicht zu viel Fräsen zu müssen.



Abbildung 8-22: Planfräsen mittels Wendepplattenfräser



Abbildung 8-23: Planfräsen der Stirnseiten mithilfe HSS-Stirnfräser

Es wurden alle vier Stirnseiten der Palette plan gefräst, um eine Maßgenauigkeit und eine Form und Lagetoleranz nach ISO mk-2768 zu gewährleisten. Als Werkzeuge kamen ein HSS Stirnfräser als auch ein Hartmetall Wendeschneidplattenfräser zum Einsatz.



Abbildung 8-24: Planfräsen der Ober- und Unterseite mittels Wendepplattenfräser

Danach wurde die Ober- und Unterseite der Stahlplatte abgefräst um die Dicke auf das gewünschte Maß zu bringen und die Oxidschicht („Rost“) zu beseitigen.

Aufgrund von einer Anfangsdicke von 20 Millimeter und einem angepeilten Endmaß von 12 Millimeter, dauerte diese Bearbeitung fünf Stunden.



*Abbildung 8-25: Planfräsen der Platte*

Danach wurden die Führungen mit einem Hartmetallfräser (Durchmesser 5 mm) gefertigt.

Die Bohrungen für die vier M5 Innengewinde wurden mithilfe digitalen Längenanzeigesystems der Fräsmaschine gebohrt. Davor musste man den Nullpunkt von zwei Kanten des Werkstückes bestimmen und konnte dann genau bohren.

Um die Palette vor Korrosion zu schützen, wurde sie anschließend von mir in RAL 9016 und zwei Schichten Klarlack lackiert.



Abbildung 8-26: Lackierte Trägerpalette

### **Adapterplatte (Fertigungszeichnung s. Anhang A5.9)**

Die Adapterplatte wurde mittels FDM (Fused Deposition Molding) Verfahren erzeugt. Das ist ein Rapid Prototyping Verfahren bei dem das Werkstück schichtweise aus Kunststoff Material (bei uns ABS) aufgebaut wird. Der Kunststoff wird mit einer Düse im teigigen Zustand aufgebracht, um ihn fest mit der unteren Schicht zu verbinden, und dabei trotzdem die Form stabil zu halten. Dies wird durch einen Extruder erreicht, der den zu verarbeitenden Kunststoff auf die Arbeitstemperatur bringt und ihn ausbringt. Um den Bauteil auf dem Drucker zu fixieren, kommen hierbei speziell bei ABS-Drucken beheizte Druckplatten zum Einsatz. Diese sollen verhindern, dass das Material der ersten Schichten zu sehr abkühlt, wodurch zu große Wärmespannungen vermieden werden. Zusätzlich ist die Wärmeplatte des verwendeten Druckers Zortrax M200 perforiert um mehr Halt des Bauteils auf besagter Platte zu gewährleisten. Die Neigung des Materials zum Abheben oder Aufwölben nennt man Warp-Effekt.



Abbildung 8-27: 3D-Drucker Zortrax M200 (<https://c1.staticflickr.com>, 2017)

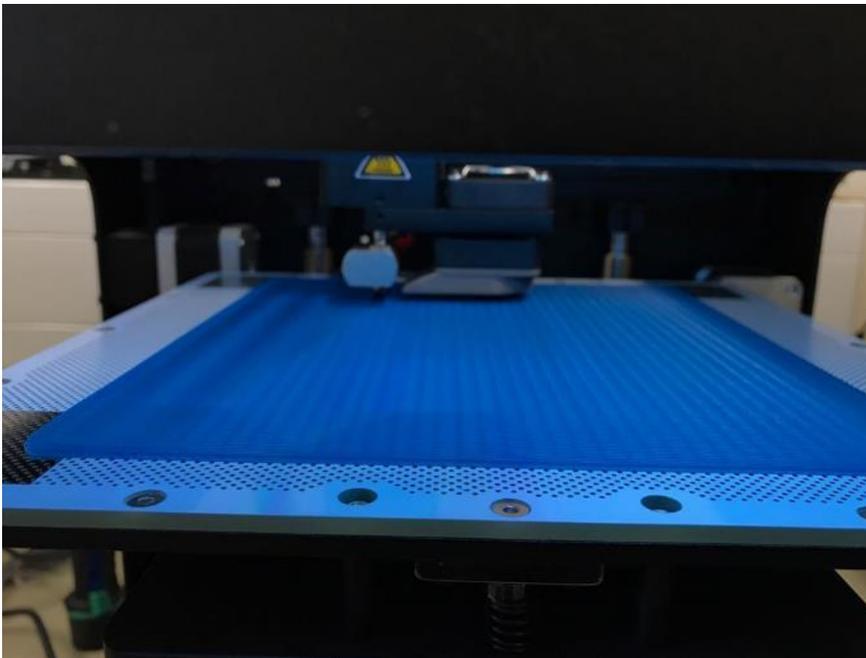
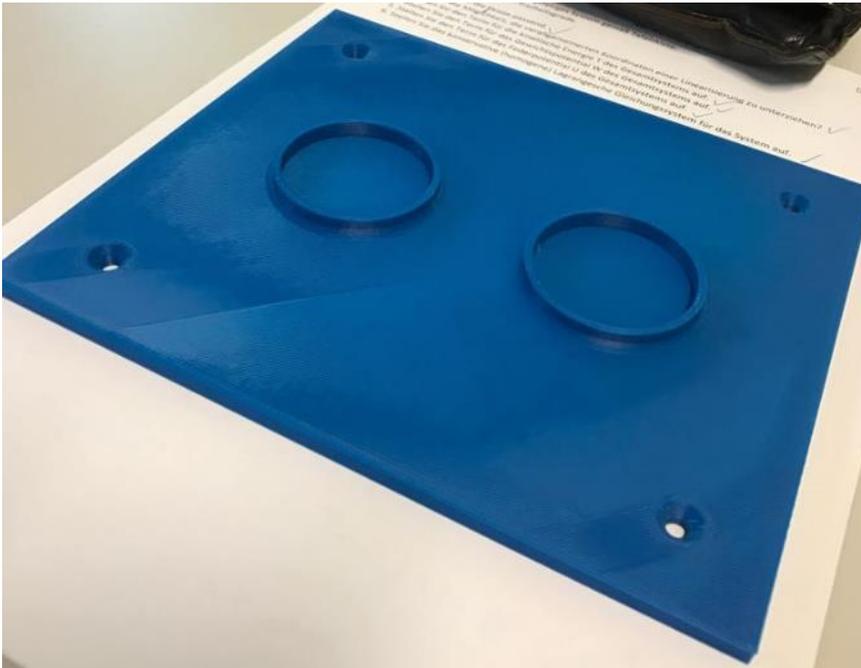


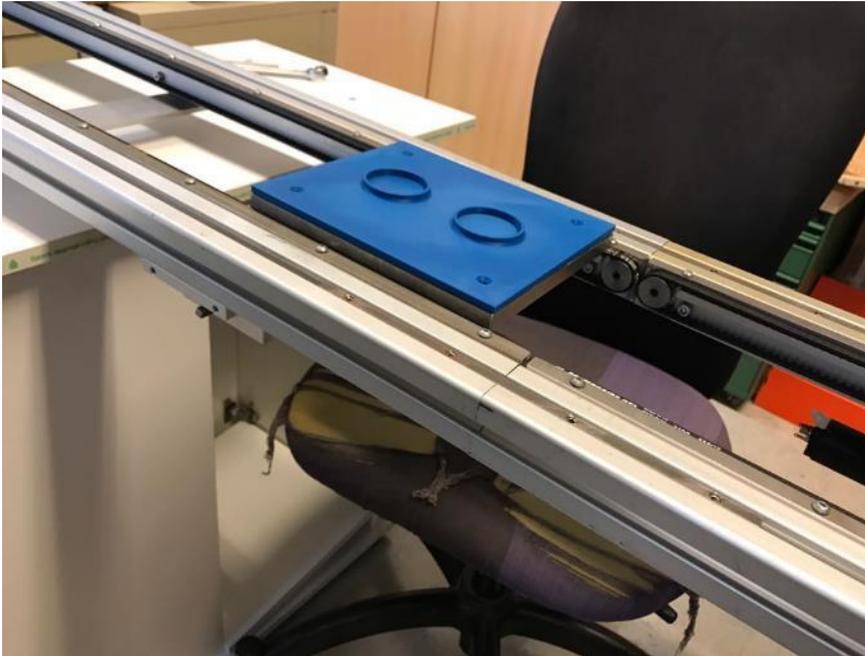
Abbildung 8-28: Aufbringen der Stützstruktur

In der Abbildung 8-28 sieht man wie der 3D-Drucker seine Stützstruktur aufbaut, damit sich das zu fertigende Werkstück nicht verzieht oder ablöst (Warp-Effekt). Wegen der großflächigen Ausdehnung der Platte, kam es bei jedem zweiten Druckversuch zum Ablösen der Platte.



*Abbildung 8-29: Fertige Adapterplatte*

In der Abbildung 8-29 sieht man die fertige Adapterplatte inkl. Senkungen für die Senkkopfschrauben und den Zentrierungen für die Testobjekte.



*Abbildung 8-30: Testlauf des Förderbands mit Palette*

Nachdem die Adapterplatte nach 8h fertiggedruckt war, gab es den ersten schematischen Testlauf. Dieser war erfolgreich und die Palette fuhr von Anfang bis Ende ohne Probleme.

#### **8.4.7 Antriebsmotor des Zahnriemenförderers (Ip)**

Bevor die Adaptierung des Bandförderers in Angriff genommen werden konnte, musste zuvor noch nachgewiesen werden, dass die Gleichstrommotoren des Typs „Faulhaber 3257L036CR“ einsatzbereit sind. Mittels Netzteil konnte das Funktionieren der beiden Gleichstrommotoren erfolgreich geprüft werden.



Abbildung 8-31: Gleichstrommotor (Faulhaber 3257L036CR) für den Antrieb des Zahnriemens

#### 8.4.8 Zahnriemenscheiben für Bandförderer (Ip)

Die neuen Zahnriemen haben eine andere Zahnform als die alten und deswegen müssen passende Zahnriemenscheiben verbaut werden um das Drehmoment des Motors auf den Riemen übertragen zu können. Hierzu wurden vier Stück Zahnriemenscheiben gemeinsam mit den Zahnriemen bestellt. Der gesamte Bandförderer ist auf zwei voneinander unabhängige Bandförderer aufgeteilt, welche jeweils eine Förderlänge von einem Meter aufweisen. Jeder der beiden einzelnen Zahnriemenförderer besitzt einen Antrieb. Dieser gliedert sich in zwei Seiten die mit einer Antriebswelle verbunden sind. Die eine Seite, auf welcher sich der Antriebsmotor befindet, wird im Folgenden als „Antriebsseite“ (siehe links in der Abbildung 8-33) bezeichnet. Genau gegenüberliegend und mit der Antriebswelle verbunden befindet sich die sogenannte „Lagerseite“ (siehe rechts in der Abbildung 8-33). Diese überträgt durch die Antriebswelle das vom Antriebsmotor erzeugte Moment auf die zweite Zahnriemenbahn.

Die neuen Zahnriemenscheiben sind 14 zahnige Zahnscheiben mit einem Außendurchmesser von 25 mm, einer Breite von 20 mm und einer nicht durchgängigen Zentrierung auf beiden Seiten (mehr Details im Anhang A5.12.1).



Abbildung 8-32: Zahnriemenscheibe (<https://www.zahnriemen24.de>, 2017)



Abbildung 8-33: Montierter Antrieb

### *Antriebsseite (lp)*

Das Moment wird vom DC-Motor erzeugt und über einen Einsatz im Lager auf die Vierkantwelle übertragen. Auf dieser Welle befindet sich die antriebsseitige Zahnscheibe. Um das Moment von der Vierkantwelle nun auf die Zahnscheibe übertragen zu können wird ein passendes Vierkantloch mittels Erodier-Verfahren gefertigt.

Die E-Wirkfläche ist in unserem Fall  $0,36 \text{ cm}^2$  was uns zum Generatorcode 10 bringt. Die Elektrode „reißt“ dann, unter Berücksichtigung der angegebenen Parameter, mittels elektrischen Strom kleinste Teile des Stahls aus dem Material und es bildet sich ein Loch mit der Form der Elektrode. Hierbei ist es annähernd egal wie hart der Werkstoff ist, solange er elektrisch leitet. Das Loch wird geringfügig größer als die Elektrode, was auf den angegebenen Funkenspalt zurückzuführen ist. Hierzu wurde mit Herrn FL Halicki besprochen, dass eine Bronze-Elektrode mit einer Länge von etwa 60 mm und einem quadratischen Querschnitt mit 5,9 mm Seitenlänge gefertigt werden muss. Somit kann der angegebene Funkenspalt von 0,5 mm pro Seite ausgeglichen werden.

Das Stangenmaterial mit quadratischem Querschnitt und einer Seitenlänge von 8 mm wurde nach einer Länge von 62 mm mit einer Handsäge abgeschnitten.



*Abbildung 8-34: Zuschneiden der Bronze-Elektrode*

Anschließend wurde die Elektrode in den Schraubstock der Fräsmaschine eingespannt und auf der ersten Seite gefräst, entgratet und umgedreht wieder eingespannt. Dann wurde die gegenüberliegende Seite auf Maß gefräst. Dies wurde bei dem anderen Seiten-Paar ebenfalls durchgeführt und somit erreicht man 4 schöne Längsseiten mit dem passenden Querschnitt. Gefräst wurde unter Zugabe von Schneidöl. Im letzten Schritt wurden 2 mm der Stirnseite abgetragen um eine rechtwinklige und glatte Stirnseite zu erhalten. Dies ist wichtig, da über die Stirnseite der Materialabtrag stattfindet.



Abbildung 8-35: Fräsen der Erodier-Elektrode

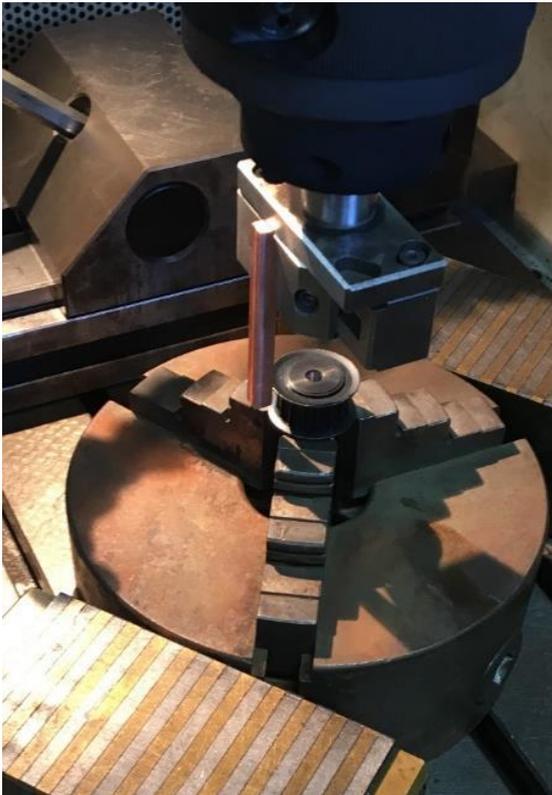
Damit beim Erodiervorgang nicht unnötig viel Material abgetragen werden muss, wurden die beiden Zahnriemenscheiben mit einem Durchmesser von 5,5 mm vorgebohrt.



Abbildung 8-36: Vorbohren der Zahnriemenscheibe

Anschließend wurde die Elektrode in die Werkzeugaufnahme der Erodiermaschine eingespannt und die erste Zahnriemenscheibe wurde in einer Werkstückspanneinrichtung befestigt. Um ein mittiges Loch zu gewährleisten wird ein Antastvorgang auf allen 4 Seiten des Werkstückes durchgeführt. Hierbei fährt die Maschine mit der Elektrode bis zum Werkstück und berührt dieses aber nicht, da sie dank der Suchstromfunktion sehr knapp davor

anhält. Dann wird die jeweilige Achse auf 0 gesetzt und man fährt die gegenüberliegende Seite an. Hat der Antastvorgang funktioniert so bleibt die Maschine wieder sehr knapp vor dem Werkstück stehen und man kann den neuen Wert der bewegten Achse auslesen. Diesen Wert halbiert man und positioniert so die Elektrode mittig. Ebenso verfährt man in Richtung der zweiten Achse. So kann die Elektrode auf die Rotationsachse der Zahnriemenscheibe zentriert werden.



*Abbildung 8-37: Antasten der Zahnriemenscheibe (Zentrierung)*

Die Parameter aus der Tabelle (siehe Abbildung 8-38) werden auf der Maschine eingegeben und der Arbeitsbereich wird mit Petroleum geflutet. Anschließend fährt die Elektrode Stück für Stück ruckweise nach unten und wieder ein kleines Stück nach oben. Erreicht die Elektrode eine Distanz zum Werkstück die gering genug ist, dass der Funken überspringen kann, so beginnt der Materialabtrag.

| Tabelle 001                              |                   | Cu-St. verschleißarm               |    |    |    |    |    | Normal                           |            |            |            |                 |   |     |  |
|--|-------------------|------------------------------------|----|----|----|----|----|----------------------------------|------------|------------|------------|-----------------|---|-----|--|
| Elektrode: + Kupfer                      |                   | Werkstück: - Stahl (16MnCr5)       |    |    |    |    |    |                                  |            |            |            |                 |   |     |  |
| E- Wirk-<br>fläche<br>(cm <sup>2</sup> ) | Generator<br>Code | Mittlerer<br>Arbeits-<br>strom [A] | Ip | Iz | Uz | Ti | Tp | Abtrag<br>(mm <sup>3</sup> /min) | ϕ<br>Vol % | Ra<br>(µm) | Rt<br>(µm) | Fel<br>d<br>Nr. | Funktenspalt (µm)<br>pro Seite<br>Front Auslenken |     |  |
|  | 0                 | 0.5                                | 0  | 1  | -3 | 2  | 2  | 0.1                              | 25         | 0.4        | 4          | 12              | 5   | 3   |  |
|  | 1                 | 0.5                                | 0  | 2  | -3 | 3  | 3  | 0.15                             | 20         | 0.5        | 5          | 14              | 8   | 5   |  |
|  | 2                 | 0.7                                | 0  | 3  | -3 | 4  | 4  | 0.2                              | 20         | 0.7        | 7          | 17              | 15  | 10  |  |
|  | 4                 | 0.5                                | 0  | 1  | 3  | 2  | 2  | 0.4                              | 12         | 1.1        | 10         | 21              | 10  | 5   |  |
|  | 5                 | 1                                  | 0  | 2  | 3  | 3  | 3  | 0.5                              | 9          | 1.4        | 14         | 23              | 15  | 10  |  |
|  | 6                 | 2                                  | 0  | 3  | 3  | 4  | 3  | 0.8                              | 5          | 1.8        | 18         | 25              | 25  | 15  |  |
| <0.1                                     | 8                 | 2                                  | 0  | 4  | 3  | 7  | 5  | 3.5                              | 1.2        | 3.2        | 32         | 30              | 40  | 25  |  |
| 0.1                                      | 9                 | 3                                  | 2  | 4  | 3  | 9  | 6  | 5.8                              | 0.1        | 4.2        | 42         | 32              | 55  | 35  |  |
| 0.3                                      | 10                | 5                                  | 4  | 4  | 2  | 11 | 7  | 15                               | 0.1        | 5.5        | 55         | 34              | 80  | 50  |  |
| 0.5                                      | 11                | 8                                  | 7  | 4  | 2  | 12 | 7  | 30                               | 0.1        | 7.8        | 78         | 37              | 110   | 70  |  |
| 1  | 12                | 13                                 | 9  | 4  | 2  | 13 | 7  | 52                               | 0.1        | 10         | 100        | 40              | 150   | 90  |  |
| 1.5                                      | 13                | 15                                 | 10 | 4  | 2  | 14 | 7  | 62                               | 0.1        | 11         | 110        | 41              | 160   | 100 |  |
| 2  | 14                | 21                                 | 12 | 4  | 2  | 14 | 7  | 95                               | 0.1        | 13         | 130        | 42              | 190   | 120 |  |

Abbildung 8-38: Ausschnitt der Erodier-Maschinenparameter aus der Werkstätte für Formen- und Werkzeugbau



Abbildung 8-39: Erodiervorgang unter Petroleumflutung



Abbildung 8-40: Eingestellte Maschinenparameter



Abbildung 8-41: Erodierter Zahnriemenscheibe

### **Lagerseite (lp)**

Auf derselben Welle, auf der auch die antriebsseitige Zahnriemenscheibe befestigt ist, befindet sich die lagerseitige Zahnriemenscheibe. Bei der bestehenden Anlage bestand der Zahnkörper mit dem Lagersitz aus einem Teil. Da dieses Teil, welches aus Aluminium besteht, nicht mehr benötigt wird, aber außerordentlich gut in das Lager passt, wurde

entschieden den Teil so zu bearbeiten, dass der Lagersitz erhalten bleibt und die neue Zahnriemenscheibe auf dieses Teil aufgedrückt werden kann. Somit kann die Kraft von der Welle auf die Zahnriemenscheibe übertragen werden.



*Abbildung 8-42: Ursprüngliche Zahnriemenscheibe mit linksseitigem Lagersitz*

Zuerst wurden die beiden lagerseitigen Zahnriemenscheiben auf einen Durchmesser von 10 mm aufgebohrt. Anschließend wurden die beiden Teile entgratet und gereinigt.



*Abbildung 8-43: Aufbohren der Zahnriemenscheibe*

Dann wurden die alten Zahnriemenscheibe auf das Maß 10,03 mm gedreht und mit Schleifpapier fertigbearbeitet. Ein Teil des Zahnkörpers wurde als Anpressschulter stehen gelassen.

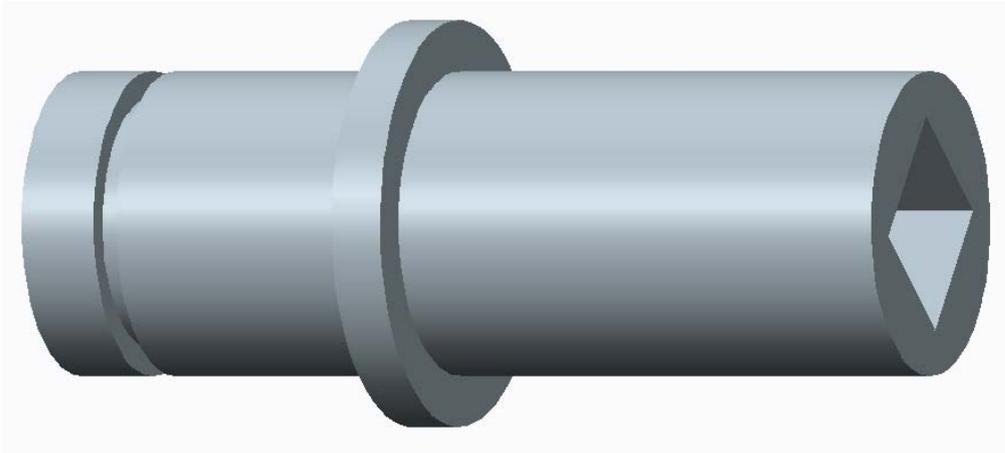


Abbildung 8-44: Ursprüngliche Zahnriemenscheibe auf welche die Zahnriemenscheibe aufgespresst wird

Auch diese beiden Teile wurden entgratet, gereinigt und anschließend mit etwas Schmierfett in die Zahnriemenscheibe, mit einem Übermaß von 0,03 mm eingepresst.



Abbildung 8-45: Aufgespresste lagerseitige Zahnriemenscheibe

#### 8.4.9 Zusammenbau des Bandförderers (Ip)

Vor dem Zusammenbau des Bandförderers wurden alle Einzelteile gereinigt, da diese durch die Vornutzung schon stark verschmutzt waren. Der Abstand der beiden Vierkantwellen wurde mit 440 mm gewählt, da somit die Verkabelung leichter fällt. Um die Spurweite zu positionieren, wurden drei Querverbindungen mittels Nutensteinen angeschraubt. Damit das Förderband auch in Längsrichtung gerade bleibt und sich nicht wesentlich durchbiegt, wurden vier Längsverbinder in die Nuten der Alu-Profile eingesetzt und mit Wurmschrauben verschraubt.



Abbildung 8-46: Zusammenbau der Einzelteile



Abbildung 8-47: Montierter Bandförderer

#### 8.4.10 Verbindungselemente für das Maschinengestell (fs)

Hierbei handelt es sich um die Winkel, welche das Untergestell mit dem Obergestell des Festo-Roboters verbinden. Als erstes wurden die acht Winkel vom Stangenmaterial auf die richtige Länge zugeschnitten.



Abbildung 8-48: Zugeschnittenen Verbindungswinkel



Abbildung 8-49: Bohren der Verbindungswinkel

Anschließend wurden die Winkel gereinigt und entgratet, so dass man die Bohrungen anreißen konnte. Im nächsten Schritt wurde die Position der Bohrungen gekörnt, so dass der Bohrer beim Anbohren zentriert wird.

Als letzten Schritt wurden die Bohrungen noch leicht angesenkt.

#### 8.4.11 Bodenplatten des Maschinengestells (fs)

Damit die Fußholme des Maschinengestells verschlossen sind und damit die Maschinenfüße befestigt werden können werden Bodenplatten benötigt. Die Platten werden aus einem Flachstahl auf die richtige Länge gesägt. Nach dem Reinigen und Entgraten der Platten wird mittig eine 12mm Bohrung erzeugt. Weiters werden die Ecken abgerundet, da das Formrohr auch leicht gerundete Ecken hat. Ebenfalls mittig wird eine M12 Mutter angeschweißt, an die Maschinenfüße befestigt werden können.



Abbildung 8-50: Bodenplatten der Fußholme

#### 8.4.12 Abschlussplatten des Maschinengestells (fs)

Um den Fußholm auch auf der anderen Seite zu verschließen, werden diese Abschlussplatten gefertigt. Dazu werden wiederum Platten aus Flachstahl auf die richtige Länge gesägt.

Anschließend werden die Platten wieder gereinigt, entgratet, die Ecken werden abgerundet und in der Mitte wird eine quadratische Öffnung 40x40 mm für die Befüllung mit Sand, zur Erhöhung der Standsicherheit, freigelassen.



Abbildung 8-51: Abschlussplatten der Fußholme

### 8.4.13 Untergestell (fs)

Für das Untergestell aus Stahl-Formrohren wurden im ersten Schritt die Formrohre auf die richtige Länge gesägt und entgratet. Dies wurde mit der Kreissäge in der Schweißerei durchgeführt.



Abbildung 8-52: Zuschnitt der Formrohre

Nach dem Zuschnitt der Formrohre wurden die bereits vorhandenen Bodenplatten und Abschlussplatten an die Fußholme angeschweißt. Danach wurden die Schweißnähte an den Berührflächen verschliffen.



Abbildung 8-53: Verschweißen der Bodenplatte



Abbildung 8-54: Verschweißen der Abschlussplatte

Im nächsten Schritt wurden Bohrungen in die Längs- und Querholme gemacht. Auf diese Bohrungen wird auf der Innenseite des Formrohrs eine Mutter angeschweißt. Diese Muttern dienen zum Befestigen der Verbindungswinkel bzw. des Obergestells.



Abbildung 8-55: Einschweißen von Muttern

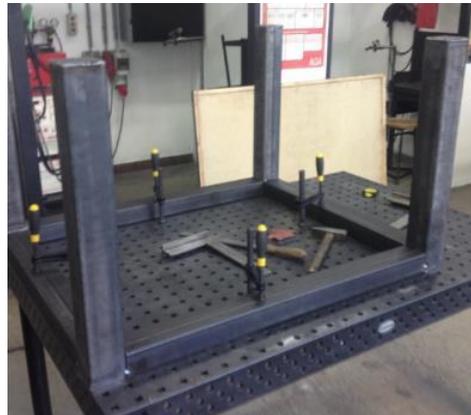


Abbildung 8-56: Aufspannen des Gestells

Da alle Einzelteile des Gestells jetzt vorbereitet sind können diese auf einem Montagetisch aufgespannt werden. Anschließend werden die einzelnen Teile gehäftet und danach nochmals ausgerichtet. Nach dem Ausrichten kann das ganze Gestell verschweißt werden. Hierbei werden die Kehlnähte noch im verspannten Zustand am Montagetisch geschweißt, danach wird das Gestell auf die Füße gestellt und es werden alle anderen Verbindungen entsprechend der Schweißzeichnung im Anhang A6.5 Schweißzeichnung geschweißt.



Abbildung 8-57: Häften des Gestells



Abbildung 8-58: Verschleifen der Schweißnähte

Nach dem Schweißen wurden alle Schweißnähte verschliffen um eine schönere Oberfläche für das Lackieren zu erhalten. Bevor das Gestell lackiert wurde, haben wir es gereinigt und grundiert. Der Grundier-Lack und der Lack wurden nach Absprache mit dem Betreuer und Auftraggeber gekauft und die Kosten wurden vom PRIA-Labor getragen.



Abbildung 8-59: Lackieren der Verbindungselemente

#### 8.4.14 Obergestell (fs)

Als das Untergestell fertig lackiert war, wurde die alte Anlage zerlegt um an das Material für das Obergestell zu kommen. Es wurden die Aluminium-Profile für die Längs- und Querholme sowie für die Fußholme zugeschnitten. Der Zuschnitt der Aluminium-Profile erfolgte, wie unter in der Abbildung zu sehen ist, mittels einer Kappsäge.



Abbildung 8-60: Zuschnitt der Aluminium Profile

Beim Zusammenbau des Ober- und Untergestells sind zwei Probleme aufgetreten. Das erste Problem war, dass die Verbindungswinkel zu ungenau gebohrt waren und somit nicht mit den Bohrungen am Gestell übereinstimmten. Die Konsequenz war, dass neue Winkel gefertigt

werden mussten. Das zweite Problem war, das auf Grund eines Messfehlers die Spurbreite des Untergestells um drei Zentimeter schmaler war als die Spurbreite des Roboters. Um diesen Fehler auszugleichen, wurde in Absprache mit dem Auftraggeber eine neue Befestigungsplatte für den Roboter gefertigt. Bei der neuen Befestigungsplatte wurden zusätzliche Bohrungen gemacht, um den Roboter mit zwei Klemmen pro Holm zu befestigen. Dies entspricht damit den Montagevorschriften der Firma Festo und verbessert die Stabilität der Befestigung gegenüber der bisherigen Ausführung erheblich.



Abbildung 8-61: Alte Befestigungsplatte (wurde neu gefertigt)

Anschließend wurde die Anlage provisorisch zusammengebaut um den weiteren Laborbetrieb zu ermöglichen. Zu dieser Zeit jedoch noch ohne Maschinenfüße und neuer Tischplatte.

#### **8.4.15 Tischplatte für das Maschinengestell des Festo-Roboters (fs)**

Bevor also die endgültige Montage der Anlage stattfinden kann, muss die Tischplatte gekauft und zugeschnitten werden. Die Tischplatte wurde wiederum nach Absprache mit dem Auftraggeber von uns gekauft und in der Modelltischlerei zugeschnitten. Des Weiteren wurde an den Seiten der Platte eine Dickkante angeleimt.



Abbildung 8-62: Fertigung der Tischplatte

#### 8.4.16 Endmontage des Maschinengestells (fs)

(Siehe A6.2)

Nachdem mit der Tischplatte alle Einzelteile für das Maschinengestell fertig sind, konnten die abschließenden Montageschritte durchgeführt werden. Es wurden noch die Maschinenfüße mittels Gewindestange an das Untergestell befestigt, des Weiteren wurde der Querholm mit einer Wasserwaage so ausgerichtet, dass der Bandförderer waagrecht montiert werden konnte. Die beiden Längsholme wurden ebenfalls waagrecht ausgerichtet, so dass die Tischplatte mit dem Förderband bündig einschließt. Anschließend wurden alle Holme verschraubt. Der letzte Schritt war die Befestigung des Festo-Roboters mittels der Klemmbacken an der Befestigungsplatte des Gestells.



*Abbildung 8-63: Montage des Gestells*

## 8.5 Zeitaufwand der Fertigung (fe, lp, fs, lt)

Der Zeitaufwand für die Fertigung wird in Tabellen festgehalten und mit einem Stundensatz von 40,00 € pro Mannstunde multipliziert. Die Stunden wurden aber unter der Berücksichtigung einer realen Fertigung eingetragen. Das heißt es wurde nur die reine Fertigungszeit eingetragen ohne die Zeiten die an Fehlproduktionen gearbeitet wurde und auch ohne diverser anderer Zeitverzögerungen (z.B. Warten auf das Freiwerden von besetzten Maschinen). Der Maschinenstundensatz wurde in der Rechnung nicht berücksichtigt. Die Materialkosten entsprechen nicht genau dem Ist-Zustand, da uns viele der benötigten Teile aus diversen Beständen zu Verfügung gestellt/gesponsert wurden.

### 8.5.1 Zeitaufwand der Fertigung für die Greifersysteme und der Steuerung (fe)

| Fertigungsschritt                                    | Zeitaufwand der Fertigung | Fertigungskosten (1 Stunde = 40€) |
|--|---------------------------|-----------------------------------|
| Fräsen der Adapterplatten                            | 3h                        | 120,00 €                          |
| Positionieren und Bohren der Adapterplatten          | 2h                        | 80,00 €                           |
| 3D Druck der Greiferfinger                           | 3h                        | 120,00 €                          |
| Schneiden der Verbindungsplatte Flächenportalroboter | 0,5h                      | 20,00 €                           |
| Zuschneiden der Platten für die Steuerkästen         | 1h                        | 40,00 €                           |
| Verleimen der Steuerkästen                           | 2h                        | 80,00 €                           |
| Verkabeln der Elektronik                             | 5h                        | 200,00 €                          |
| Verkabelung der Pneumatik                            | 2h                        | 80,00 €                           |
| Programmieren der Ansteuerung                        | 4h                        | 160,00 €                          |
| <b>Summen</b>  | <b>22,5h</b>              | <b>900,00 €</b>                   |

Abbildung 8-64: Fertigungszeit und Fertigungskosten der Greifersysteme und Steuerung

### 8.5.2 Zeitaufwand der Fertigung für den Zahnriemenförderer (lp)

| Fertigungsschritt                           | Zeitaufwand der Fertigung | Fertigungskosten (1Stunde= 40€) |
|---|---------------------------|---------------------------------|
| Prüfen der Gleichstrommotoren               | 0,5h                      | 20,00 €                         |
| Anfertigen der Erodier-Elektrode            | 2,5h                      | 100,00 €                        |
| Vorbohren der antriebsseitigen Zahnscheiben | 0,5h                      | 20,00 €                         |
| Vorbereiten des Erodier-Vorgangs            | 1h                        | 40,00 €                         |
| Bohren der lagerseitigen Zahnscheiben       | 1h                        | 40,00 €                         |
| Drehen der bestehenden Zahnscheiben         | 2h                        | 80,00 €                         |
| Aufpressen der lagerseitigen Zahnscheibe    | 0,5h                      | 20,00 €                         |
| Zusammenbau der Antriebseinheit             | 0,5h                      | 20,00 €                         |
| Zusammenbau und Montage des Bandförderers   | 0,5h                      | 20,00 €                         |
| <b>Summen</b>                               | <b>9h</b>                 | <b>360,00 €</b>                 |

Abbildung 8-65: Fertigungszeit und Fertigungskosten des Bandförderers

### 8.5.3 Zeitaufwand der Fertigung für das Maschinengestell (fs)

| Fertigungsschritt                        | Zeitaufwand der Fertigung | Fertigungskosten (1Stunde= 40€) |
|--|---------------------------|---------------------------------|
| Zuschnitt der Verbindungswinkel          | 0,5h                      | 20,00 €                         |
| Bohren der Verbindungswinkel             | 1h                        | 40,00 €                         |
| Zuschnitt der Abschlussplatten           | 0,5h                      | 20,00 €                         |
| Bohren der Abschlussplatten              | 2h                        | 80,00 €                         |
| Zuschnitt der Bodenplatten               | 0,5h                      | 20,00 €                         |
| Bohren der Bodenplatten                  | 0,5h                      | 20,00 €                         |
| Schweißen der Bodenplatten               | 0,5h                      | 20,00 €                         |
| Zuschnitt der Holme                      | 1,5h                      | 60,00 €                         |
| Bohren der Holme                         | 0,5h                      | 20,00 €                         |
| Einschweißen von Muttern                 | 1h                        | 40,00 €                         |
| Anschweißen der Bodenplatten             | 0,5h                      | 20,00 €                         |
| Anschweißen der Abschlussplatten         | 0,5h                      | 20,00 €                         |
| Zusammenschweißen des Maschinengestells  | 3,5h                      | 140,00 €                        |
| Verschleifen der Schweißnähte            | 1,5h                      | 60,00 €                         |
| Lackieren des Gestells+ Verbindungsteile | 3h                        | 120,00 €                        |
| Zuschnitt der Aluminium Profile          | 2h                        | 80,00 €                         |
| Zuschnitt der Befestigungsplatten        | 1h                        | 40,00 €                         |
| Bohren der Befestigungsplatten           | 1,5h                      | 60,00 €                         |
| <b>Summen</b>                            | <b>22h</b>                | <b>880,00 €</b>                 |

Abbildung 8-66: Fertigungszeit und Fertigungskosten des Maschinengestells

### 8.5.4 Zeitaufwand der Fertigung für die Transportpalette (lt)

| Fertigungsschritt            | Zeitaufwand der Fertigung (h) | Fertigungskosten (1Stunde= 40€) |
|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Zuschnitt der Trägerpalette  | 0,5                           | 20,00 €                         |
| Fräsen der Trägerpalette     | 7                             | 280,00 €                        |
| Bohren der Trägerpalette     | 0,5                           | 20,00 €                         |
| Lackieren der Trägerpalette  | 5                             | 200,00 €                        |
| 3D-Drucken der Adapterplatte | 8                             | 320,00 €                        |
| <b>Summen</b>                | <b>22h</b>                    | <b>840,00 €</b>                 |

Abbildung 8-67: Fertigungszeit und Fertigungskosten der Transportpalette

## 8.6 Qualitätssicherung der Fertigung (lt)

Bei der Fertigung der Bauteile waren immer mindestens zwei Schüler anwesend, die sich gegenseitig auf Richtigkeit der Fertigung kontrollieren. Nach jedem Arbeitsschritt wurde die Maßhaltigkeit des gefertigten Teils im Vergleich zur Fertigungszeichnung überprüft. Zur Qualitätssicherung setzen wir Messschieber, Bügelmessschraube und eine Winkellehre ein.

## 8.7 Zusätzlich erbrachte Leistungen (fe, lp, fs, lt)

- Die Längsholme des Bandförderers wurden zusätzlich mit zwei Längsverbindern an der Unterseite versteift. Dadurch wurde die Durchbiegung verringert. Die Verbinder an der Unterseite wurden, genauso wie an der Oberseite mittels Wurmschrauben in der Nut des Aluminium-Profiles verschraubt. (lp)
- Die Befestigungsplatten für den Festo-Roboter am Gestell wurden neu konstruiert. Hierbei wurde die neue Platte so gefertigt, dass der Roboter mit jeweils zwei Klemmen befestigt werden kann. Somit ist der Roboter jetzt laut Betriebsanleitung befestigt und nicht wie bisher nur mit einer Klemme. (fs)
- Die Fußholme wurden so gestaltet, dass sie optional mit Sand gefüllt werden können, um die Masse des Gestells zu erhöhen. Hierzu wurde die obere Abschlussplatte der Fußholme mit einer viereckigen Öffnung ausgestattet. (fs)
- Es ist möglich die Geschwindigkeit des Bandförderers über die Ansteuerung zu verändern. Dazu muss nur die anliegende Spannung am Motortreiber verändert werden. (fe)
- Für die Transportpalette aus Stahl gibt es die Möglichkeit die 3D-gedruckten Adapterplatten auszutauschen. Dies ermöglicht es auch andere Testobjekte zu transportieren. (lt)
- Der Bandförderer wurde auf der Seite des Festo-Roboters in die Tischplatte eingearbeitet. Auf der Seite des Flächenportalroboters wurde der Förderer ebenfalls in die Befestigungsprofile integriert, so können die Roboter ungehindert verfahren ohne dass die Greifer mit dem Bandförderer unabsichtlich kollidieren. (lp)
- Die Anlage wurde so montiert, dass genügend Platz für diverse Erweiterungsmöglichkeiten besteht, wie zum Beispiel einen vertikalen Aufzug für die Bestückung eines mobilen Roboters. (lt)
- Es wurde versucht die Ansteuerung des Bandförderers mit der Ansteuerung des Flächenportalroboters zu verbinden. Da allerdings die beiden Ansteuerungen mit verschiedenen Protokollen arbeiten war dies leider nicht möglich. (fe)
- Pneumatische Steuerbox auch für den Kuka-Roboter. (fe)
- Programmierbare elektronische Steuerung. (fe)

## 9 Ergebnisse

### 9.1 Produktbeschreibung (fe)

Mit der Verbindung von mehreren Robotern mit einem Bandförderer kann eine Fertigungsstraße simuliert werden. An dieser Anlage können Laborübungen mit SchülernInnen durchgeführt werden. Bisher konnten die Roboter nur einzeln verwendet werden, das bedeutet, es konnte zwar das Programmieren der Roboter im Laborunterricht gelehrt werden, aber die Verknüpfung mehrerer Anlagenkomponenten konnte nicht gezeigt werden. Um diese Anlage für den Laborbetrieb zu schaffen, mussten beide Robotertische auf dieselbe Höhe gebracht werden, dazu wurde das Gestell des Festo-Roboters neu gebaut. Des Weiteren wurden beide Roboter mit einem Bandförderer verbunden, dieser wurde erst wieder funktionsbereit gemacht da einige Teile getauscht werden mussten. Auf dem Bandförderer fährt eine Palette hin und her, auf welcher ein austauschbarer Aufsatz für verschiedene Testobjekte verschraubt ist. Von den Robotern werden die Testobjekte mittels pneumatischer Greifer von der Palette gehoben und können mit den linear-Achsen der Roboter bewegt werden.

Um die Verletzungsgefahr zu verringern und die Optik zu verbessern, wurde der Bandförderer in die Maschinentische der Roboter versenkt.

## 9.2 Kosten-Nachkalkulation (fe, lp, fs, lt)

In folgender Tabelle sind die tatsächlichen Kosten für Materialien und Zukaufteile für das gesamte Projekt erfasst.

| Kostennachkalkulation        |       |             |             |  |                     |                                  |
|------------------------------|-------|-------------|-------------|--|---------------------|----------------------------------|
| Material- Einzelkosten       | Stück | Einzelpreis | Gesamtpreis |  | Preis pro Baugruppe | Bemerkung                        |
| <b>Bandförderer:</b>         |       |             |             |  |                     |                                  |
| Zahnriemen                   | 4     | 30,30 €     | 121,20 €    |  |                     |                                  |
| Zahnriemenscheiben           | 4     | 4,32 €      | 17,28 €     |  |                     |                                  |
| Versand                      | 1     | 6,90 €      | 6,90 €      |  | 145,38 €            | Bei "Zahnriemen 24" bestellt     |
| <b>Maschinengestell:</b>     |       |             |             |  |                     |                                  |
| Formrohr 80x80x3 4m          | 1     | - €         | - €         |  |                     |                                  |
| Formrohr 80x60x3 4m          | 1     | - €         | - €         |  |                     | Von "Frankstahl" gesponsert      |
| Maschinenfüße                | 4     | 24,37 €     | 97,48 €     |  |                     |                                  |
| Versand                      | 1     | 6,72 €      | 6,72 €      |  |                     | Bei "Lenhart&Hasenöhr!" bestellt |
| Grundierlack                 | 3     | 9,99 €      | 29,97 €     |  |                     |                                  |
| Lack                         | 3     | 6,49 €      | 19,47 €     |  | 154,14 €            | Bei "Bauhaus" gekauft            |
| <b>Transportpalette:</b>     |       |             |             |  |                     |                                  |
| Flachstahl 185x160x15        | 1     | - €         | - €         |  | - €                 | Von "Alreg" gesponsert           |
| <b>Greifer:</b>              |       |             |             |  |                     |                                  |
| Flachaluminium 60x50x5       | 2     | - €         | - €         |  | - €                 |                                  |
| Kabel Ymm 5x2,5 H0,5VV-F 10m | 1     | - €         | - €         |  | - €                 | Aus Materiallager ausgefasst     |
| <b>Gesamtsumme</b>           |       |             |             |  | <b>299,52 €</b>     |                                  |

Mit diesen Kosten haben wir den Kostenrahmen von 1.000,00 € weit unterschritten.

## 9.3 Bedienungsanleitung (fe)

### 9.3.1 Starten der Anlage

Nach dem Anstecken des Netzteils, muss durch das Betätigen des Fehlerknopfes der Fehler quittiert werden. Erst danach kann der Bandförderer nicht bewegt werden. Durch den Hebelschalter des Lüfters wird dieser aktiviert. Dies verhindert ein Überhitzen des Motortreibers. Durch die Beschriftung der einzelnen Bedienelemente sind zur Bedienung keine weiteren Erklärungen notwendig.

### 9.3.2 Bedienen des Bandförderers

Durch das Drücken des jeweiligen Knopfes, kann der Bandförderer in eine gewisse Richtung bewegt werden. Die Bewegung wird dabei entweder durch das Erreichen des Endschalters oder durch ein erneutes Drücken des Richtungsknopfes gestoppt.

### 9.3.3 Bedienen der Pneumatik

Mit den jeweiligen Hebelschaltern wird eine der beiden Richtungen der drei pneumatischen Komponenten aktiviert.

### 9.3.4 Aktivieren der einzelnen pneumatischen Kreisläufe

Zum Aktivieren der Kreisläufe ist der jeweilige Steuerschieber gegen den Uhrzeigersinn zu drehen.

### 9.3.5 Entlüften der Anlage

Falls Änderungen an den pneumatischen Komponenten durchgeführt werden wollen, oder die Anlage außer Betrieb gesetzt werden soll, ist der Steuerschieber des jeweiligen Kreislaufes im Uhrzeigersinn zu drehen.

### 9.3.6 Fehlerfall

Bei dem Aufleuchten der Fehlerlampe sind die Endschalter zu überprüfen. Falls die Endschalter keine Fehler aufweisen, sollten die Kabel auf Durchgang geprüft werden. Nach dem Austauschen der fehlerhaften Komponente wird mit dem Fehlerknopf der Fehler quittiert.

## 9.4 Funktionstests (Ip)

Die Funktionstests haben sich zu Beginn nur auf die Ansteuerung einzelner Komponenten bezogen. Hierbei lag die Aufmerksamkeit darauf, alle Bauteile der Steuerung einzubauen und richtig anzusteuern

Als die Montage der Anlage abgeschlossen war, konnten alle Sensoren und Aktoren an der geplanten Stelle montiert werden. Anschließend wurde die komplette Anlage verkabelt und es konnten die gesamte Anlage getestet werden. Nach dem beheben einer Verklemmung und der

Motorantriebswellen konnten mehrere Funktionstests im Beisein des Auftraggebers erfolgreich absolviert werden. Zufolge dieser positiven Funktionstests wurde die Anlage vom Auftraggeber abgenommen.

## 10 Evaluation, Zusammenfassung

### 10.1 Einleitung (fs)

Aufgabenstellung seitens des Verein PRIA war es, eine Förderanlage für den Laborbetrieb zu entwickeln und zu fertigen. Hierbei sollen zwei bereits vorhandene Roboter mittels Bandförderer verbunden werden. Um diese Verbindung durchzuführen muss das Robotergestell des Festo-Roboters neu konstruiert werden. Bei der Neukonstruktion soll die Möglichkeit bestehen mit einem selbstfahrenden Roboter das Gestell zu unterfahren. Des Weiteren sollen Testobjekte auf diesen Förderer transportiert werden, dazu wird ein Trägermittel benötigt. Die Objekte werden mittels pneumatischer Greifern vom Bandförderer gehoben, für diese Greifer ist eine passende Ansteuerung zu gestalten.

Um diese Anforderungen zu erfüllen wurde das Robotergestell neu konstruiert, des Weiteren wurde ein bereits vorhandener Bandförderer wieder in Gang gesetzt. Auf diesen fährt eine Transportpalette mit auswechselbaren Aufsätzen, damit verschiedene Testobjekte transportiert werden können. Diese Objekte werden mittels pneumatischer Greifer von der Palette gehoben. Die Greifer wurden durch eigens gefertigte Adapterplatten an den Robotern befestigt. Ein weiterer Punkt war die Erstellung der Ansteuerung für den Bandförderer und die Betätigung der Greifer.

Es wurden während der Projektarbeit alle Punkte der Aufgabenstellung und des Lastenheftes abgearbeitet. Darüber hinaus wurden auch noch einige zusätzliche Leistungen erbracht. Die Anlage konnte daher im Sinne des Lastenheftes voll funktionsfähig übergeben werden.

### 10.2 Wertschöpfung (finanziell und ideell) (fs)

Durch die Diplomarbeit können zukünftige Schüler den Aufbau einer Fertigungsstraße in Realität sehen und testen. Weiters wird den Schülern im Zuge des Laborunterrichts die Möglichkeit gegeben die Programmierung der Anlage selbstständig zu verändern oder zu

erweitern. Deswegen wurden auch diverse Möglichkeiten offen gelassen die Anlage zu erweitern. Es besteht zum Beispiel die Möglichkeit einen selbstfahrenden Roboter in die Anlage zu integrieren.

Die Kosten von 300,00 € für den Umbau der Anlage wurden zum Großteil von dem Auftraggeber PRIA getragen. Die Kostenannahme von 1.000,00 € wurde somit eingehalten. Zusätzlich wurden uns einige Kleinteile von der Schule zur Verfügung gestellt. Das Rohmaterial für das neue Gestell wurde von der Firma Frankstahl für die Diplomarbeit gesponsert. Es sei hier auch erwähnt, dass wir Schüler unentgeltlich gearbeitet haben. Der Umbau konnte somit sehr günstig durchgeführt werden.

## 10.3 Individuelle Wertschöpfung

### 10.3.1 Florian Ertl

Durch dieses Projekt wurde mir bewusst, dass es bei einer Arbeit von diesem Ausmaß wichtig ist von Anfang an organisiert und terminiert vorzugehen. Das hilft bei der Einhaltung von zeitlichen Fristen und lässt keine Unwissenheit im Team zu. Zusätzlich habe ich bemerkt, dass manche Arbeiten zuerst kleiner erscheinen als sie schlussendlich sind. Daher auch diese mit vollem Ernst angegangen werden.

Eine Gruppeninterne Kommunikation ist äußerst wichtig, da so Meetings vereinbart werden, oder der Fortschritt der Teammitglieder gut mitgeteilt werden kann. Auch die Interaktion mit den Lehrkräften war oft sehr von Vorteil um eine fachlich kompetente Meinung zu erhalten. Bei einem Projekt dieser Größe kann es beim Auftreten von Problemen auch zu Streitigkeiten innerhalb der Gruppe kommen. Doch nach einer Aussprache, kann auch dies für eine bessere Gruppendynamik sorgen. Ich danke meinen Teamkollegen vor allem für die konstruktive Zusammenarbeit und Expertise. Ich habe sehr viel Nützliches von Euch gelernt.

### 10.3.2 Lukas Peterka

Anhand einer solchen Diplomarbeit sind verschiedenste Problemstellungen aufgetreten und ich habe gelernt diese zu bearbeiten. Vor allem ein funktionierendes Zeitmanagement zu entwickeln, welches vor allem auch mit dem zusätzlich anfallenden Schulstress funktioniert war eine Herausforderung für sich. Ich habe somit gelernt alle Termine im Überblick zu behalten und auch in den stressigen Zeiten die vorgesetzten Ziele zu verfolgen. Weiters habe

ich gelernt, dass die Stunden die man im Vorhinein für die Planung investiert, sich im Nachhinein vielfach ausgezahlt haben. Auch die Gruppendynamik war etwas Neues. Um aus den vier Teilaufgaben eine funktionierende Anlage zu erhalten, benötigt man verlässliche Teamkollegen und viel Kommunikation. Vor allem die wöchentlichen Teambesprechungen waren sehr sinnvoll. Diese Erkenntnisse werde ich für zukünftige Projekte mit mehreren Teammitgliedern mitnehmen. Auch meine Kreativität beim Finden neuer technischer Lösungen wurde stark gefördert. Sehr wichtig ist es mir auch meinem Projektteam für die wunderbare Zusammenarbeit zu danken und ich freue mich so viel von Euch gelernt haben zu dürfen.

### **10.3.3 Florian Scheiner**

Durch die Diplomarbeit ist mir klargeworden, dass das Planen und Erstellen so einer Anlage nicht immer ganz einfach ist, und man auf viele Kleinigkeiten stößt die sich schnell zu Problemen entwickeln. Vor allem das Zusammensetzen der einzelnen Komponenten der Anlage war eine große Herausforderung.

Weiters hat mir das Projekt gezeigt, dass es wichtig ist im Team gut zusammen zu arbeiten. Hierbei ist in erster Linie ein guter Informationsfluss zur Förderung der Zusammenarbeit wichtig. Es war auch immer sehr hilfreich die bisherigen Ergebnisse der Gruppe zu präsentieren und die weitere Vorgehensweise zu besprechen, um immer ein Ziel vor Augen zu haben.

Trotz der kleinen Probleme die während der Diplomarbeit entstanden sind war es doch sehr lehrreich und ich konnte viele neue Erkenntnisse gewinnen. Ein großes Dankeschön möchte ich meinen Teamkollegen aussprechen, welche mir immer zur Seite gestanden sind wenn ein Problem aufgetreten ist.

### **10.3.4 Lukas Teier**

Durch dieses Diplomprojekt wurde mir klar, wie wichtig eine gute Realisierungsstudie und eine gute Zeitplanung ist. Jedoch ist es nicht einfach gewesen eine reale Abschätzung der Prozessdauern zu treffen. Immer wieder hat sich gezeigt wie wichtig gute, zuverlässige flexible und kompetente Teammitglieder sind.

Auch wenn es zeitweise Gruppeninterne Kommunikationsschwierigkeiten und Probleme gab, hatten wir doch einen festen Zusammenhalt der Gruppe und die Probleme konnten erfolgreich gelöst werden.

Des Weiteren hat sich gezeigt wie wichtig es ist, sich an die Realisierungsstudie und die Meilensteine zu halten. Verzögert sich zum Beispiel die Entwicklung der verschiedenen Bauteile, kann man diese auch nicht fertigen, nicht montieren und zu guter Letzt gibt es auch keine fertige Anlage.

Zuletzt möchte ich mich noch bei meinen Teamkollegen für den guten Zusammenhalt im Team bedanken, durch den wir es geschafft haben das Projekt erfolgreich zu absolvieren.

## 11 Schlussbetrachtung (It)

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Fertigungsstraße für den Laborunterricht im PRIA-Labor entwickelt, gefertigt und aufgebaut, welche alle Anforderungen des Auftraggebers und alle Punkte des Lastenheftes erfüllt. Ebenso wurden alle individuellen Aufgabenstellungen im vollen Umfang umgesetzt.

Bisher waren die zwei Roboter nicht verbunden und konnten nur einzeln verwendet bzw. programmiert werden. Auch waren auf den Robotern keine Werkzeuge für das Auf- und Abgeben von Objekten montiert.

Jetzt ist es möglich beide Roboter samt dem Bandförderer als ganze Anlage oder auch einzeln zu steuern. Dies ermöglicht die Umsetzung von komplexen Aufgaben bei denen es auf das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten der Anlage ankommt.

Aus unserer Sicht gibt es auch noch Erweiterungsmöglichkeiten für die Anlage. So könnte beispielsweise, ein am Boden selbstfahrender Roboter mittels einer zusätzlichen vertikalen Achse in die Anlage eingebunden werden. Weiter ist durch die austauschbare Adapterplatte die Möglichkeit gegeben, dass andere Testobjekte transportiert werden.

Abschließend können wir mit Stolz sagen, dass die von uns erstellte Anlage zur Gänze funktionsfähig ist, und von PRIA wie gewünscht verwendet werden kann.

## 12 Literaturverzeichnis

AutorNN, A. (2013). *Testtitel*. Wien: Springer.

Conrad, K.-J. (1993). *Grundlagen der Konstruktionslehre*. Hannover: Hanser.

Conrad, K.-J. (2015). *Taschenbuch der Werkzeugmaschinen*. Leipzig: Hanser.

Festo. (2017). *Festo CPV*. Von Festo CPV. abgerufen

*Festo Wiki*. (2017). Von Festo Wiki:

[https://www.festo.com/wiki/de/Pneumatikzylinder#doppeltwirkende\\_Zylinder](https://www.festo.com/wiki/de/Pneumatikzylinder#doppeltwirkende_Zylinder)  
abgerufen

*fmcc.faulhaber.com*. (16. 02 2016). Von fmcc.faulhaber.com:

[https://fmcc.faulhaber.com/resources/img/DE\\_3257\\_CR\\_DFF.PDF](https://fmcc.faulhaber.com/resources/img/DE_3257_CR_DFF.PDF) abgerufen

Grote, K.-H., & Feldhusen, J. (2007). *Dubbel*. Berlin Heidelberg New York: Springer.

Hoffmann, K. S. (2012). *Fördertechnik*. Wien: VERITAS.

<http://www.fml.mw.tum.de>. (13. 01 2017). Von <http://www.fml.mw.tum.de>:

<http://www.fml.mw.tum.de/fml/images/Publikationen/Tilke.pdf> abgerufen

<https://c1.staticflickr.com>. (01. 01 2017). Von <https://c1.staticflickr.com>:

[https://c1.staticflickr.com/1/490/19288847633\\_44af513fab\\_b.jpg](https://c1.staticflickr.com/1/490/19288847633_44af513fab_b.jpg) abgerufen

<https://de.wikipedia.org>. (15. 11 2015). Von <https://de.wikipedia.org>:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Anschlagwinkel#/media/File:Werkstattwinkel.svg>  
abgerufen

<https://de.wikipedia.org>. (10. 3 2017). Von <https://de.wikipedia.org>:

[https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Mahr\\_Micromar\\_40A\\_0-  
25\\_mm\\_Micrometer.jpg#filelinks](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Mahr_Micromar_40A_0-25_mm_Micrometer.jpg#filelinks) abgerufen

<https://de.wikipedia.org>. (15. 02 2017). Von <https://de.wikipedia.org>:

[https://de.wikipedia.org/wiki/Messschieber#/media/File:Vernier\\_caliper\\_legends\\_de.s  
vg](https://de.wikipedia.org/wiki/Messschieber#/media/File:Vernier_caliper_legends_de.svg) abgerufen

<https://de.wikipedia.org>. (04. 02 2017). Von <https://de.wikipedia.org>:

[https://de.wikipedia.org/wiki/Größenordnung\\_\(Beschleunigung\)#1.C2.A0m.2Fs2\\_bis\\_10.C2.A0m.2Fs2](https://de.wikipedia.org/wiki/Größenordnung_(Beschleunigung)#1.C2.A0m.2Fs2_bis_10.C2.A0m.2Fs2) abgerufen

<https://de.wikipedia.org>. (09. 03 2017). Von <https://de.wikipedia.org>:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Fr%C3%A4sen> abgerufen

<https://infosys.beckhoff.com>. (2017).

[https://infosys.beckhoff.com/index.php?content=../content/1031/fbb-io-mod/html/fbb\\_3rdpp\\_valvecluster.htm&id=](https://infosys.beckhoff.com/index.php?content=../content/1031/fbb-io-mod/html/fbb_3rdpp_valvecluster.htm&id=). Von

[https://infosys.beckhoff.com/index.php?content=../content/1031/fbb-io-mod/html/fbb\\_3rdpp\\_valvecluster.htm&id=](https://infosys.beckhoff.com/index.php?content=../content/1031/fbb-io-mod/html/fbb_3rdpp_valvecluster.htm&id=):

[https://infosys.beckhoff.com/index.php?content=../content/1031/fbb-io-mod/html/fbb\\_3rdpp\\_valvecluster.htm&id=](https://infosys.beckhoff.com/index.php?content=../content/1031/fbb-io-mod/html/fbb_3rdpp_valvecluster.htm&id=) abgerufen

<https://www.zahnriemen24.de>. (12. 12 2016). Von <https://www.zahnriemen24.de>:

<https://www.zahnriemen24.de/zahnriemen/gates-powergrip-gt3/5m-gt3/#/gates-powergrip%C2%AE-gt3-2100-5mgt-~breite~/breite=6> abgerufen

<https://www.zahnriemen24.de>. (14. 01 2017). Von <https://www.zahnriemen24.de>:

<https://www.zahnriemen24.de/zahnriemen/gates-powergrip-gt3/5m-gt3/#/gates-powergrip%C2%AE-gt3-2100-5mgt-~breite~/breite=6> abgerufen

<https://www.zahnriemen24.de>. (14. 01 2017). Von <https://www.zahnriemen24.de>:

<https://www.zahnriemen24.de/raeder-und-scheiben/zahnscheiben-m/5m-zahnriemenscheibe/#/zahnscheibe-14-5m-09/> abgerufen

PNEUMAX. (2017). Von [http://www.pneumax.de/pneumax\\_technik.php](http://www.pneumax.de/pneumax_technik.php) abgerufen

Riezinger, J. (10. 03 2017). *Elearning*. Von [www.elearning.tgm.ac.at](http://www.elearning.tgm.ac.at) abgerufen

Salzer, G. (1968). *Schüttgutförderer*. Mainz: Krausskopf.

Schmid, D. (2001). *Industrielle Fertigung Fertigungsverfahren, Mess- und Prüftechnik*. Aachen: Springer.

SCHUNK. (2017). *Datenblatt MPG 40AS*. Von Datenblatt MPG 40AS:

[http://de.schunk.com/de\\_de/services/tools-downloads/datenblaetter/list/products/MPG%2040-AS/2423-0340042-mpg-40-as](http://de.schunk.com/de_de/services/tools-downloads/datenblaetter/list/products/MPG%2040-AS/2423-0340042-mpg-40-as)  
abgerufen

Schweizer. (2017). *Schweizer FN*. Von <http://www.schweizer-fn.de/stroemung/druckverlust/druckverlust.php> abgerufen

Weck, M. (2001). *Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme 3*. Aachen: Springer.

[www.3druck.com](http://www.3druck.com). (15. 01 2017). Von [www.3druck.com](http://www.3druck.com): <https://3druck.com/lieferanten-haendler/fdm-3d-druck-abs-oder-pla-sind-die-unterschiede-2020380/> abgerufen

[www.maedler.de](http://www.maedler.de). (2016). Von [www.maedler.de](http://www.maedler.de):  
<http://www.maedler.de/product/1643/1616/945/zahnriemen-meterware-pu-profil-t?result=16060000> abgerufen

# DIPLOMARBEIT - ANHANG

Gesamtprojekt

## **Förderanlage - Verbindung von zwei Linearrobotern**

**Teamkoordination Konstruktion und Ausführung von pneumatisch angesteuerten Greifern, unter Verwendung vorhandener Komponenten, mit denen beide Linearroboter Übungsobjekte vom Bandförderer auf- und abgeben können.**

Florian Ertl (fe)

5AHMBT

Betreuer:

DI Dr. Johannes Riezinger  
Dipl.-Päd. BEd Josef Hager

**Konstruktion und Ausführung eines Bandförderers zur Verknüpfung von zwei Linearrobotern, unter Verwendung vorhandener Komponenten**

Lukas Peterka (lp)

5AHMBT

Betreuer:

DI Dr. Johannes Riezinger  
Dipl.-Päd. BEd Josef Hager

**Konstruktion und Ausführung eines stabilen und unterfahrbaren Maschinengestells für einen dreiachsigen Raumportal Roboter der Firma Festo**

Florian Scheiner (fs)

5AHMBT

Betreuer:

DI Dr. Johannes Riezinger  
Dipl.-Päd. BEd Josef Hager

**Konstruktion und Ausführung einer Transportpalette inklusive Montage auf dem Bandförderer für den Transport von Testobjekten**

Lukas Teier (lt)

5AHMBT

Betreuer:

DI Dr. Johannes Riezinger  
Dipl.-Päd. BEd Josef Hager

ausgeführt im Schuljahr 2016/17

---

Wien, am 31.03.2017

## Inhalt Anhang A

|        |   |      |
|--------|---|------|
| A1     | Eingabe Tätigkeitsbericht .....             | A-4  |
| A2     | Meilensteine .....                          | A-17 |
| A2.1   | 1. Meilenstein 27.09.2016.....              | A-17 |
| A2.2   | 2. Meilenstein 22.10.2016.....              | A-17 |
| A2.3   | 3. Meilenstein 22.11.2016.....              | A-18 |
| A2.4   | 4. Meilenstein 13.12.2016.....              | A-18 |
| A2.5   | 5. Meilenstein 14.02.2017.....              | A-19 |
| A2.6   | 6. Meilenstein 28.02.2017.....              | A-19 |
| A2.7   | 7. Meilenstein 14.03.2017.....              | A-19 |
| A2.8   | 8. Meilenstein 31.03.2017.....              | A-19 |
| A3     | Tabellen und Diagramme .....                | A-21 |
| A3.1   | Messdaten des Festo-Roboters.....           | A-21 |
| A4     | Werkstättenlogbuch .....                    | A-26 |
| A5     | Prospekte und Auswahltabellen.....          | A-27 |
| A5.1   | Auswahltabellen Stahlprofile.....           | A-27 |
| A5.2   | Auswahltabelle Maschinenfüße .....          | A-28 |
| A5.3   | Auswahltabelle Frankstahl der Palette.....  | A-29 |
| A5.3.1 | Aluminium .....                             | A-29 |
| A5.3.2 | Stahl .....                                 | A-30 |
| A5.4   | Adapterplattenmaterial.....                 | A-31 |
| A5.5   | Pneumax Monostabile /Bistabile Ventile..... | A-33 |
| A5.6   | Pneumax Magnetventile.....                  | A-34 |
| A5.7   | Datenblatt Kompressor .....                 | A-35 |

|         |   |      |
|---------|---|------|
| A5.8    | Datenblatt Festo DGSL.....                                    | A-36 |
| A5.9    | Datenblatt Festo EGSL .....                                   | A-37 |
| A5.10   | Datenblatt Festo CPV .....                                    | A-38 |
| A5.11   | Datenblatt Schunk MPG.....                                    | A-42 |
| A5.12   | Zahnriemen und Zahnriemenscheiben der einzelnen Konzepte..... | A-44 |
| A5.12.1 | Konzept 1 .....   | A-44 |
| A5.12.2 | Konzept 2 .....   | A-45 |
| A5.12.3 | Konzept 3 .....   | A-46 |
| A5.13   | Antriebsmotor.....  | A-47 |
| A6      | Konstruktionszeichnungen .....                                | A-48 |
| A6.1    | Sachnummernliste.....   | A-48 |
| A6.2    | Zusammenbauzeichnungen.....                                   | A-49 |
| A6.3    | Baugruppenzeichnungen.....                                    | A-54 |
| A6.4    | Fertigungszeichnungen .....                                   | A-57 |
| A6.5    | Schweißzeichnung .....  | A-74 |
| A7      | Weiteres Dokumentationsmaterial (CD-ROMs, ....) .....         | A-75 |

## A1 Eingabe Tätigkeitsbericht

|    |                  |
|----|------------------|
| fe | Florian Ertl     |
| lp | Lukas Peterka    |
| fs | Florian Scheiner |
| lt | Lukas Teier      |

|   |                 |
|---|-----------------|
| u | Unterrichtszeit |
| f | Freizeit        |
| a | Abwesenheit     |

|                |    |      |          | 668,5  | <b>Tätigkeitsbericht</b>  |  |
|----------------|----|------|----------|--|---|--|
| Datum          | Bz | Name | Zeit [h] | Tätigkeit  | Dokument  |  |
| Do. 08.09.2016 | f  | fe   | 2        | Durch nicht Vorhandensein unseres Projets bei der Einteilung ⇒ Rücksprache mit Betreuer, Auftraggeber und Abteilungsvorständin (Adaptierung und neuen abteilungsinternen Antrag) | T6_Ertl-25_Peterka-25_Scheiner-25_Teier-25_Projektvorschlag_DA_5AHMBT516  |  |
| Do. 08.09.2016 | f  | lp   | 2        |  |   |  |
| Do. 08.09.2016 | f  | fs   | 2        |  |   |  |
| Do. 08.09.2016 | f  | lt   | 2        |  |   |  |
| Mi. 14.09.2016 | f  | fe   | 5        | Anfertigen eines Word Dokuments für die Einreichung in der Datenbank für Diplomarbeiten (individuelle Aufgabenstellungen, Ausgangslage, Zielsetzung, usw.)                       | T6_Ertl-25_Peterka-25_Scheiner-25_Teier-25_Diplomantrag_5AHMBT1617-A.docx |  |
| Mi. 14.09.2016 | f  | lp   | 5        |  |   |  |
| Mi. 14.09.2016 | f  | fs   | 5        |  |   |  |
| Mi. 14.09.2016 | f  | lt   | 5        |  |   |  |
| Mo. 19.09.2016 | f  | fe   | 1,5      | Rücksprache mit Betreuer über den Inhalt des Diplomantrages. Änderungen in der Formulierung  | T6_Ertl-25_Peterka-25_Scheiner-25_Teier-25_Diplomantrag_5AHMBT1617-B.docx |  |
| Mo. 19.09.2016 | f  | lp   | 1,5      |  |   |  |
| Mo. 19.09.2016 | f  | fs   | 1,5      |  |   |  |
| Mo. 19.09.2016 | f  | lt   | 1,5      |  |   |  |
| Di. 20.09.2016 | u  | fe   | 1        | Einreichung des Antrags in der Diplomarbeitdatenbank   | T6_Ertl-25_Peterka-25_Scheiner-25_Teier-25_Diplomantrag_5AHMBT1617-B.docx |  |
| Di. 20.09.2016 | u  | fe   | 1        | Erstellen der Realisierungsstudie  | T6_Ertl-50_Teier-50_Realisierungsstudie_5AHMBT1617-A.docx                 |  |
| Di. 20.09.2016 | u  | lt   | 1        |  |   |  |
| So. 25.09.2016 | f  | fe   | 4        | Verfassen des Lastenhefts inkl. Pflichtenheft  | T6_Ertl-25_Peterka-25_Scheiner-25_Teier-25_Lastenheft_5AHMBT1617-A.doc    |  |
| So. 25.09.2016 | f  | lp   | 4        |  |   |  |
| So. 25.09.2016 | f  | fs   | 4        |  |   |  |
| So. 25.09.2016 | f  | lt   | 4        |  |   |  |

|                |   |    |     |  |  |
|----------------|---|----|-----|--|--|
| Di. 27.09.2016 | u | fe | 1,5 | Überarbeitung des DA-Antrags, aufgrund Rückweisung AV (zu unspezifische Aufteilung)                        | T6_Ertl-25_Peterka-25_Scheiner-25_Teier-25_Diplomantrag_5AHMBT1617-C.docx        |
| Di. 27.09.2016 | u | lp | 1,5 |  |  |
| Di. 27.09.2016 | u | fs | 1,5 |  |  |
| Di. 27.09.2016 | u | lt | 1,5 |  |  |
| Di. 27.09.2016 | u | fe | 1,5 | Weiterarbeiten an der Realisierungsstudie und Einfügen der Meilensteine                                    | T6_Ertl-25_Peterka-25_Scheiner-25_Teier-25_Realisierungsstudie_5AHMBT1617-B.xlsx |
| Di. 27.09.2016 | u | lp | 1,5 |  |  |
| Di. 27.09.2016 | u | fs | 1,5 |  |  |
| Di. 27.09.2016 | u | lt | 1,5 |  |  |
| Di. 27.09.2016 | f | fe | 3   | Erstellen der Realisierungsstudie mit Meilensteinen und Zuteilungen zu Gruppenmitgliedern                  | T6_Ertl-25_Peterka-25_Scheiner-25_Teier-25_Realisierungsstudie_5AHMBT1617-C.xlsx |
| Di. 27.09.2016 | f | lp | 3   |  |  |
| Di. 27.09.2016 | f | fs | 3   |  |  |
| Di. 27.09.2016 | f | lt | 3   |  |  |
| Di. 04.10.2016 | u | fe | 3   | Ausmessen des bestehenden Aufbaus im Labor und Anfertigen einer Lageskizze mit Konzepterstellung für Umbau | T6_Teier-100_Loagkizze_5AHMBT1617-A.pdf  |
| Di. 04.10.2016 | u | lp | 3   |  |  |
| Di. 04.10.2016 | u | fs | 3   |  |  |
| Di. 04.10.2016 | u | lt | 3   |  |  |
| Di. 04.10.2016 | u | fe | 0,5 | Änderung der Realisierungsstudie (Meilensteine wurden geändert AV)   | T6_Ertl-25_Peterka-25_Scheiner-25_Teier-25_Realisierungsstudie_5AHMBT1617-D.xlsx |
| Di. 04.10.2016 | u | lp | 0,5 |  |  |
| Di. 04.10.2016 | u | fs | 0,5 |  |  |
| Di. 04.10.2016 | u | lt | 0,5 |  |  |
| Di. 04.10.2016 | f | fe | 1   | Rücksprache mit Auftraggeber wegen Fragen beim Ausmessen und Konzipieren                                   | /  |
| Di. 04.10.2016 | f | lp | 1   |  |  |
| Di. 04.10.2016 | f | fs | 1   |  |  |
| Di. 04.10.2016 | f | lt | 1   |  |  |
| Sa. 08.10.2016 | f | fe | 2   | Literaturrecherche für Parallelgreifer   | T6_Ertl-100_Parallelgreifer_hapt_5AHMBT1617.pdf                                  |

|                |   |    |     |  |   |
|----------------|---|----|-----|--|---|
| Sa. 08.10.2016 | f | lt | 2   | Literaturrecherche für Palettenmaterial  | T6_Teier-<br>100_Palettenmaterial_5AHMBT1617<br>A.pdf   |
| So. 09.10.2016 | f | lp | 2   | Literaturrechere für neuen Zahnriemen und Antriebsmotor  | T6_Potorka-<br>100_Zahnriemen_5AHMBT1617-<br>A.pdf<br>T6_Potorka-<br>100_Bandförderormotor_5AHMBT16<br>17-A   |
| So. 09.10.2016 | f | fs | 2   | Literaturrechere für Maschinengestellsprofile  | T6_Scheiner-<br>100_Aluprofile_5AHMBT1617-A.pdf   |
| Di. 11.10.2016 | u | fe | 2,5 | Besprechung mit Projektbetreuer (Realisierungsstudie, Maschinengestellsbefestigung, Raumzugänge, Materialbestellung) | ziehe Projekttagebuch   |
| Di. 11.10.2016 | u | lp | 2,5 |  |   |
| Di. 11.10.2016 | u | fs | 2,5 |  |   |
| Di. 11.10.2016 | u | lt | 2,5 |  |   |
| Di. 11.10.2016 | u | fe | 1   | Anfertigen von Skizzen   | T6_Scheiner-100_Skizze-0-<br>Marchquertoll_5AHMBT1617-A.pdf<br>t6_teier-<br>100_rkizze_darignstudie_5ahmbt161<br>7-AT6_Scheiner-100_Skizze-U-<br>Marchquertoll_5AHMBT1617-A.pdf |
| Di. 11.10.2016 | u | lp | 1   |  |   |
| Di. 11.10.2016 | u | fs | 1   |  |   |
| Di. 11.10.2016 | u | lt | 1   |  |   |
| Do. 13.10.2016 | f | lp | 3,5 | Anfertigen von Skizzen   | T6_Teier-100_Skizze-<br>Palette_5AHMBT1617-A.pdf<br>T6_Potorka-<br>100_Lagoplan_5AHMBT1617-A.pdf<br>T6_Ertl-100_Skizze-<br>Übungsobjekt_5AHMBT-A.pdf                            |
| Do. 13.10.2016 | f | fs | 3,5 |  |   |
| Fr. 14.10.2016 | f | lt | 2,5 |  |   |
| Sa. 15.10.2016 | f | fe | 2,5 |  |   |
| Di. 18.10.2016 | u | fe | 3,5 | 3D-Zeichnung des Übungsobjekts   | T6_Ertl-<br>100_Übungsobjekt_5AHMBT1617.prt   |
| Di. 18.10.2016 | u | lp | 3,5 | Ermitteln der auftretende Beschleunigungskräfte (Maschinengestell)   | T6_Potorka-50_Scheiner-<br>50_Berechnung-<br>Marchinonquertoll_5AHMBT1617-<br>A.pdf   |
| Di. 18.10.2016 | u | fs | 3,5 |  |   |
| Di. 18.10.2016 | u | lt | 3,5 | Fertigstellung der Skizze für die Palette  | T6_Teier-<br>100_Skizze_PaletteV1_5AHMBT1617<br>A.pdf<br>T6_Teier-<br>100_Skizze_PaletteV2_5AHMBT161<br>7-A.pdf   |

|                |   |    |     |   |  |
|----------------|---|----|-----|---|--|
| Do. 20.10.2016 | f | fe | 2,5 | Bestandsaufnahme des vorhandenen Materials im Labor (Achsen, Motoren, Greifer,...) und Datenrecherche für Luftkompressor          | T6_Ertl-50_Teier-50_Inventarliste_5AHMBT1617-A.xlsx  |
| Do. 20.10.2016 | f | lt | 2,5 |   |  |
| Sa. 22.10.2016 | f | lp | 2,5 | Auswahl einer Maschinengestellsvariante   | T6_Scheiner-100_Bewertung-Maschinengestell_5AHMBT1617-A.xlsx   |
| So. 23.10.2016 | f | fs | 2,5 |   |  |
| Di. 25.10.2016 | u | fe | 1,5 | Teambesprechung mit Projektbetreuer (Lastenheft, Vorlage für DA,...)  | ziehe Projekttagebuch  |
| Di. 25.10.2016 | u | lp | 1,5 |   |  |
| Di. 25.10.2016 | u | fs | 1,5 |   |  |
| Di. 25.10.2016 | u | lt | 1,5 |   |  |
| Di. 25.10.2016 | u | fe | 1,5 | Bestandsaufnahme des vorhandenen Materials im Labor (Profile, Winkel, Nutzensteine, usw.)   | T6_Ertl-50_Teier-50_Inventarliste_5AHMBT1617-A.xlsx  |
| Di. 25.10.2016 | u | lp | 1,5 |   |  |
| Di. 25.10.2016 | u | fs | 1,5 |   |  |
| Di. 25.10.2016 | u | lt | 1,5 |   |  |
| Di. 25.10.2016 | u | fe | 1   | Teambesprechung ohne Projektbetreuer (Einteilung der Arbeiten für die schulautonomen Tage)  | ziehe Projekttagebuch  |
| Di. 25.10.2016 | u | lp | 1   |   |  |
| Di. 25.10.2016 | u | fs | 1   |   |  |
| Di. 25.10.2016 | u | lt | 1   |   |  |
| Mi. 26.10.2016 | f | lt | 1,5 | Bewertung und Auswahl der verschiedenen Palettenvarianten   | T6_Teier-100_Bewertung-Palette_5AHMBT1617-A.xlsx   |
| Mi. 26.10.2016 | f | fe | 1,5 | Organisatorische Gruppenangelegenheiten (Kopien anfertigen und scannen, Projektmappe ordnen, erstellen des Projektgruppenordners) |  |
| Do. 27.10.2016 | f | lp | 1,5 | Ermitteln der auftretende Beschleunigungskräfte (Maschinengestell)  | T6_Peterka-50_Scheiner-50_Berechnung-Maschinengestell_5AHMBT1617-A.pdf   |
| Do. 27.10.2016 | f | fs | 1,5 |   |  |
| Di. 01.11.2016 | f | lp | 3   | Erstellen von 3D-Zeichnungen  | t6_fe_finqr_mpg-a.prt<br>t6_lp_bandraqr-a.prt<br>t6_lp_fardorbnd-a.arm t6_fz_stahl-badenplatte-a.prt t6_fz_stahl-fuzhalm-a.prt t6_fz_stahl-lsngqhalm-a.prt t6_fz_stahl-querhalm-a.prt t6_fz_alu-fuzhalm-a.prt t6_lt_adapterplatte-a.prt t6_lt_palotte-a.prt t6_lt_palottezusammenbau-a.arm |
| Di. 01.11.2016 | f | fs | 3   |   |  |
| Di. 01.11.2016 | f | lt | 3   |   |  |
| Mi. 02.11.2016 | f | fe | 3   |   |  |

|                |   |    |     |   |   |
|----------------|---|----|-----|---|---|
| Do. 03.11.2016 | f | fe | 4   | Arbeiten im PRIA-Labor (Zerlegen des Förderbandes in Einzelteile zum Zeichnen, Montageüberlegungen für die Greifer, Ablängen des Zahnriemens, Durchgangsmessung der Gleichstrommotoren des Bandförderers und anschließendes Ausprobieren mittels Netzgerät) |   |
| Do. 03.11.2016 | f | lp | 4   |   |   |
| Do. 03.11.2016 | f | fs | 4   |   |   |
| Do. 03.11.2016 | f | lt | 4   |   |   |
| Sa. 05.11.2016 | f | fe | 8   | Anfertigen von 3D-Zeichnungen   | t6_lp_halm-farborband-a.prt<br>t6_lp_farborb-lanqvorbindung-<br>a.prt<br>t6_fr_alu-laonqrhalm-a.prt<br>t6_fr_alu-querhalm-a.prt<br>t6_fr_alu-aborqortoll-a.arm<br>t6_fr_qouindortanqo-a.prt<br>t6_fr_marchinonfuozz-a.prt<br>t6_fr_marchinonqortoll-a.arm<br>t6_fr_tirchplatte-a.prt<br>t6_fr_untorqortoll-a.arm<br>t6_fr_untorqortoll-fuzz-a.arm<br>t6_fr_verbindungquinkel-qrazz-a.prt<br>t6_fr_verbindungquinkel-kloin-a.prt<br>t6_fr_dockplatte-a.prt |
| Sa. 05.11.2016 | f | lp | 8   |   |   |
| Sa. 05.11.2016 | f | fs | 8   |   |   |
| Sa. 05.11.2016 | f | lt | 8   |   |   |
| Sa. 05.11.2016 | f | lt | 8   |   |   |
| Di. 08.11.2016 | u | fe | 1   | Projektbesprechung in der Gruppe bezüglich des Fortschritts in den Herbstferien   | siehe Projekttagebuch   |
| Di. 08.11.2016 | u | lp | 1   |   |   |
| Di. 08.11.2016 | u | fs | 1   |   |   |
| Di. 08.11.2016 | u | lt | 1   |   |   |
| Di. 08.11.2016 | u | fe | 2,5 | Literaturrechere Datenblatt und Bedienungsanleitung Greifer   | T6_Ertl-<br>100_MPG40AS_Datenblatt_5AHMB<br>T1617-A.pdf<br>T6_Ertl-<br>100_MPG40AS_Botriobranleitung_5<br>AHMBT1617-A.pdf   |
| Di. 08.11.2016 | u | lp | 1,5 | Erstellen des Tätigkeitsberichts  | T6_20161108_Taotiqkeit_5AHMBT1617.xlsx  |
| Di. 08.11.2016 | u | lp | 1,5 | Anfertigen von 3D-Zeichnungen   | t6_lp_farborband-a.arm  |
| Di. 08.11.2016 | u | fs | 2,5 | Anfertigen von FE-Analysen für die Palette und das Maschinengestell   | T6_Teior-100_Borochnung-<br>Platte_5AHMBT1617-A.dacc<br>T6_Teior-100_Borochnung-<br>Platte_5AHMBT1617-B.dacc  |
| Di. 08.11.2016 | u | lt | 2,5 |   |   |
| Di. 08.11.2016 | f | fe | 1   | Projektbesprechung mit Professor List zur bestehenden Anlage  | siehe Projekttagebuch   |
| Di. 08.11.2016 | f | lp | 1   |   |   |
| Di. 08.11.2016 | f | fs | 1   |   |   |
| Di. 08.11.2016 | f | lt | 1   |   |   |

|                |   |    |   |  |  |
|----------------|---|----|---|--|--|
| Di. 08.11.2016 | f | fe | 4 | Messung von Weg/Zeit und Geschwindigkeit/Zeit auf kurze und lange Strecken (Festo-Roboter)   | Achro-1_Traco-S-Kurz-A.Fdx<br>Achro-1_Traco-S-Long-A.Fdx<br>Achro-1_Traco-V-Kurz-A.Fdx<br>Achro-1_Traco-V-Long-A.Fdx<br>Achro-1_Traco-S-Kurz-A.Fdx<br>Achro-1_Traco-S-Long-A.Fdx<br>Achro-1_Traco-V-Kurz-A.Fdx<br>Achro-1_Traco-V-Long-A.Fdx<br>Achro-2_Traco-S-Kurz-A.Fdx<br>Achro-2_Traco-S-Long-A.Fdx<br>Achro-2_Traco-V-Kurz-A.Fdx<br>Achro-2_Traco-V-Long-A.Fdx |
| Di. 08.11.2016 | f | lp | 4 |  |  |
| Di. 08.11.2016 | f | fs | 4 |  |  |
| Di. 08.11.2016 | f | lt | 4 |  |  |
| Fr. 11.11.2016 | f | fe | 3 | Messung von Weg/Zeit und Geschwindigkeit/Zeit auf kurze und lange Strecken (Festo-Roboter) mit richtiger Geschwindigkeit                             | Achro-1_Traco-S-Kurz-B.Fdx<br>Achro-1_Traco-S-Long-B.Fdx<br>Achro-1_Traco-V-Kurz-B.Fdx<br>Achro-1_Traco-V-Long-B.Fdx<br>Achro-1_Traco-S-Kurz-B.Fdx<br>Achro-1_Traco-S-Long-B.Fdx<br>Achro-1_Traco-V-Kurz-B.Fdx<br>Achro-1_Traco-V-Long-B.Fdx<br>Achro-2_Traco-S-Kurz-B.Fdx<br>Achro-2_Traco-S-Long-B.Fdx<br>Achro-2_Traco-V-Kurz-B.Fdx<br>Achro-2_Traco-V-Long-B.Fdx |
| Fr. 11.11.2016 | f | lp | 3 |  |  |
| Fr. 11.11.2016 | f | fs | 3 |  |  |
| Fr. 11.11.2016 | f | lt | 3 |  |  |
| Sa. 12.11.2016 | f | fe | 3 | Messung von Weg/Zeit und Geschwindigkeit/Zeit auf kurze und lange Strecken (Festo-Roboter) mit richtiger Geschwindigkeit und erhöhter Transportmasse | Achro-1_Traco-S-Kurz-C.Fdx<br>Achro-1_Traco-S-Long-C.Fdx<br>Achro-1_Traco-V-Kurz-C.Fdx<br>Achro-1_Traco-V-Long-C.Fdx<br>Achro-1_Traco-S-Kurz-C.Fdx<br>Achro-1_Traco-S-Long-C.Fdx<br>Achro-1_Traco-V-Kurz-C.Fdx<br>Achro-1_Traco-V-Long-C.Fdx<br>Achro-2_Traco-S-Kurz-C.Fdx<br>Achro-2_Traco-S-Long-C.Fdx<br>Achro-2_Traco-V-Kurz-C.Fdx<br>Achro-2_Traco-V-Long-C.Fdx |
| Sa. 12.11.2016 | f | lp | 3 |  |  |
| Sa. 12.11.2016 | f | fs | 3 |  |  |
| Sa. 12.11.2016 | f | lt | 3 |  |  |
| Sa. 12.11.2016 | f | fe | 1 | Aufbereitung der Messungen in Excel-Dateien  | T6_Ertl-25_Peterka-25_Scheiner-25_Teier-25_Dynamikdaten-Ferta_5AHMBT1617-A.xlsx<br>T6_Ertl-25_Peterka-25_Scheiner-25_Teier-25_Dynamikdaten-Ferta_5AHMBT1617-B.xlsx<br>T6_Ertl-25_Peterka-25_Scheiner-25_Teier-25_Dynamikdaten-Ferta_5AHMBT1617-C.xlsx  |
| Sa. 12.11.2016 | f | lp | 1 |  |  |
| Sa. 12.11.2016 | f | fs | 1 |  |  |
| Sa. 12.11.2016 | f | lt | 1 |  |  |
| Mo. 14.11.2016 | f | fe | 4 | Überarbeitung der Greiferfinger  | t6_fa_fingor_mpq-b.prt   |
| Di. 15.11.2016 | f | lp | 4 | Anfertigen von 3D-Zeichnungen  | t6_lp_bandraqor-a.prt<br>t6_lp_fardorb-querverbindung-a.prt<br>t6_lp_fardorb-a.arm   |
| Mi. 16.11.2016 | f | fs | 4 | Anfertigen von Fertigungszeichnungen   | t6_lt_adaptorplatte-a.dru<br>t6_lt_palatte-a.dru<br>t6_lt_palatte-b.dru  |
| Mi. 16.11.2016 | f | lt | 4 |  |  |
| Di. 22.11.2016 | u | fe | 3 | Überarbeitung der Greiferfinger und 3D-Druck   | t6_fa_fingor_mpq-b.prt<br>t6_fa_fingor_mpq-b.stl   |
| Di. 22.11.2016 | u | lp | 3 | Erstellen des Tätigkeitsberichts   | T6_20161129_Taetigkeit_5AHMBT1617.xlsx   |

|                |   |    |     |  |  |
|----------------|---|----|-----|--|--|
| Di. 22.11.2016 | u | fs | 3   | Erstellen von FE-Analysen für das Maschinengestell   | T6_Scheiner-100_FE-Berechnung_Marchgart_5AHMBT-A.zip   |
| Di. 22.11.2016 | u | lt | 3   |  |  |
| Do. 24.11.2016 | f | lp | 4   | Anfertigen einer Gegenüberstellung der verschiedenen Riemensysteme                             | T6_Peterka-50_Scheiner-50_Zahriemenantrieb_5AHMBT1617-A.docx   |
| Do. 24.11.2016 | f | fs | 4   |  |  |
| Fr. 25.11.2016 | f | lt | 3   | Anfertigen von FE-Analysen für die Palette und das Maschinengestell                            | T6_Teier-100_Berechnung-Platte_5AHMBT1617-C.docx   |
| Sa. 26.11.2016 | f | fe | 3   | Berechnung des Druckverlustes in den Pneumatikleitungen  | T6_Ertl-100_Druckverlust_5AHMT1617-A.xlsx  |
| Sa. 26.11.2016 | f | fe | 3   | Auslegen des Luftvolumens und Berechnung der Zyklen pro Zeit + Überarbeitung der Greiferfinger | T6_Ertl-100_Luftvolumen_5AHMT1617-A.xlsx<br>t6_fe_finger_mpgq-b.prt  |
| Di. 29.11.2016 | u | fe | 0,5 | Vorbereitung der Ausdrucke für die Zwischenabgabe-Besprechung                                  | T6_Ertl_Zürchenabgabe_29.11.2016_5AHMBT1617-A.zip<br>T6_Peterka_Zürchenabgabe_29.11.2016_5AHMBT1617-A.zip<br>T6_Scheiner_Zürchenabgabe_29.11.2016_5AHMBT1617-A.zip<br>T6_Teier_Zürchenabgabe_29.11.2016_5AHMBT1617-A.zip   |
| Di. 29.11.2016 | u | lp | 0,5 |  |  |
| Di. 29.11.2016 | u | fs | 0,5 |  |  |
| Di. 29.11.2016 | u | lt | 0,5 |  |  |
| Di. 29.11.2016 | u | fe | 3   | Zwischenabgabe-Besprechung mit Projektbetreuer   | siehe Projekttagbuch   |
| Di. 29.11.2016 | u | lp | 3   |  |  |
| Di. 29.11.2016 | u | fs | 3   |  |  |
| Di. 29.11.2016 | u | lt | 3   |  |  |
| Do. 01.12.2016 | f | lp | 6   | Anfertigen von 3D-Zeichnungen  | T6_LP_LS-PRESSKART-A.PRT<br>T6_LP_LS-ZAHNKORPER-A.PRT<br>T6_LP_LS-ZAHNKRANZ-A.PRT<br>T6_LP_LS-ZAHNSCHEIBSATZ-DICK-A.PRT<br>T6_LP_LS-ZAHNSCHEIBSATZ-DUNN-A.PRT<br>T6_LP_AS-ZAHNKORPER-A.PRT<br>T6_LP_AS-ZAHNKRANZ-A.PRT<br>T6_LP_LANGSHOLM-A.PRT<br>T6_LP_LANGSVERBINDER-HOLM-A.PRT<br>T6_LP_BANDTRAGER-A.PRT |
| Do. 01.12.2016 | f | fs | 6   | Erstellen von FE-Analysen für das Maschinengestell (wegen Komplikationen mit Creo -> Inventor) | T6_Scheiner-100_FE-Berechnung_Marchgart_5AHMBT-B.zip   |
| Do. 01.12.2016 | f | fe | 2   |  |  |
| So. 04.12.2016 | f | lt | 2   | Anpassen der Realisierungsstudie mit Eintragung der Daten                                      | T6_Realisierungsstudie_5AHMBT1617-F.xlsx   |

|                |   |    |     |  |  |
|----------------|---|----|-----|--|--|
| Mo. 05.12.2016 | f | lt | 1   | Berechnung der Reibkraft und der maximal zulässigen Beschleunigung zwischen Palette und Förderband | T6_Teilor100_Berechnung<br>Reibkraft_5AHMBT1617-A.xmcd<br>T6_Teilor100_Berechnung<br>Reibkraft-Entwurf_5AHMBT1516.pdf  |
| Di. 06.12.2016 | u | lp | 3,5 | Anfertigen von 3D-Zeichnungen  | T6_LP_AS-ZAHNSCHEIBSATZ-DICK-A.PRT<br>T6_LP_AS-ZAHNSCHEIBSATZ-DUNN-A.PRT<br>T6_LP_AS-DISTANZSCHEIBE-A.PRT<br>T6_LP_ZUS-FORDERBAND-A.ASM<br>T6_LP_ANTRIEBSSEITE-FESTO-A.ASM<br>T6_LP_ANTRIEBSSEITE-PNEUM-A.ASM<br>T6_LP_LS-ZAHNRIEMENSCHLEIBE-A.ASM<br>T6_LP_AS-ZAHNRIEMENSCHLEIBE-A.ASM                |
| Di. 06.12.2016 | u | fs | 3,5 | Anfertigen von Fertigungszeichnungen   | t6_fr_verbindungsinkel-graz-a.dru.<br>t6_fr_stahl-querhalm-a.dru.<br>t6_fr_stahl-laenghalm-a.dru.<br>t6_fr_stahl-furzalm-a.dru.<br>t6_fr_stahl-bodenplatte-a.dru.  |
| Di. 06.12.2016 | u | lt | 3,5 | Anfertigung eines Schemahaften Festo Linearroboter   | lt_festoraboter_zur_5ahmbt1516.asm<br>lt_raboterachse_a_5ahmbt1516.a.prt<br>lt_raboterachse_x_5ahmbt1516.a.prt.1<br>lt_raboterachse_y_5ahmbt1516.a.prt.<br>lt_raboterachse_x_5ahmbt1516.prt  |
| Mi. 07.12.2016 | f | lp | 4   | Anfertigen von 3D-Zeichnungen  | t6_lp_ar-distanzscheibe-a.dru<br>t6_lp_lr-zahnriemenscheibe-a.dru<br>t6_lp_lr-proz4kant-a.dru<br>t6_lp_ar-zahnriemenscheibe-a.dru<br>t6_lp_oradior-olektrode-a.dru   |
| Mi. 07.12.2016 | f | fs | 4   | Anfertigen von Fertigungszeichnungen   | t6_fr_schweißunterquertoll-a.dru<br>t6_fr_stahl-unterquertoll-a.dru<br>t6_fr_marschienenquertoll-a.dru<br>t6_fr_alu-aberquertoll-a.dru<br>t6_fr_verbindungsinkel-graz-b.dru<br>t6_fr_stahl-querhalm-b.dru<br>t6_fr_stahl-laenghalm-b.dru<br>t6_fr_stahl-furzalm-b.dru<br>t6_fr_stahl-bodenplatte-b.dru |
| Mo. 12.12.2016 | f | lt | 2   | Neukonzept der Palette   | t6_lt_palette-a.dru  |
| Di. 13.12.2016 | u | fe | 3,5 | Anfertigen von Fertigungszeichnungen   | t6_fe_adaptorplatte-a.dru<br>t6_fe_finqr-mp.a.dru  |

|                |   |    |     |   |   |
|----------------|---|----|-----|---|---|
| Di. 13.12.2016 | u | lt | 3,5 | Anfertigen von Fertigungszeichnungen  | T6_LP_palettezusammenbau-b.arm<br>T6_LP_palette-c.dru<br>T6_LP_adaptorplatte-c.prt  |
| Di. 13.12.2016 | f | lp | 5   | Erodieren der Zahnriemenscheiben um ein Moment zu übertragen (Vierkant)                     | siehe Lackbuch  |
| Di. 13.12.2016 | f | fs | 5   |   |   |
| Mi. 14.12.2016 | f | fe | 1   | Besprechung mit Auftraggeber (Bestellungen und Ist-Zustand des Projekts)                    | siehe Projekttagebuch   |
| Mi. 14.12.2016 | f | lp | 1   |   |   |
| Mi. 14.12.2016 | f | fs | 1   |   |   |
| Mi. 14.12.2016 | f | lt | 1   |   |   |
| Do. 15.12.2016 | f | lp | 5   | Erodieren der Zahnriemenscheiben um ein Moment zu übertragen (Vierkant)                     | siehe Lackbuch  |
| Do. 15.12.2016 | f | fs | 5   |   |   |
| Do. 15.12.2016 | f | lt | 3   | Anfertigen der persönlichen Realisierungsstudie   | T6_Teier_Realisierungsstudie_5AHM<br>BT1617.xlsx  |
| Fr. 16.12.2016 | f | fe | 2   | Ordnen der Projektmappe   | siehe Projektmappe  |
| Fr. 16.12.2016 | f | lt | 2   | Ergänzung des derzeitigen Ist-Zustands in der Realisierungsstudie                           | T6_Realisierungsstudie_5AHM BT161<br>7-G.xlsx   |
| Di. 20.12.2016 | u | fe | 1   | Besprechung mit Projektbetreuer (Materialbestellungen, Fertigung, Ist-Zustand des Projekts) | siehe Projekttagebuch   |
| Di. 20.12.2016 | u | lp | 1   |   |   |
| Di. 20.12.2016 | u | fs | 1   |   |   |
| Di. 20.12.2016 | u | lt | 1   |   |   |
| Di. 20.12.2016 | u | fe | 2,5 | Zusammenbau des Hubzylinders  | T6_fe_dgrL_boweflich-a.arm  |
| Di. 20.12.2016 | u | lp | 2,5 | Anfertigen von 3D-Zeichnungen   | T6_LP_QUERVERBINDER-HOLM-<br>A.PRT<br>T6_LP_AS-MONTAGEPLATTE-<br>A.PRT<br>T6_LP_AS-LAGERBLOCK-A.PRT<br>T6_LP_AS-MOTOR-A.PRT<br>T6_LP_AS-LAGER-A.PRT<br>T6_LP_AS-LAGER4KANT-A.PRT<br>LAGERBLOCKVERSCHL_SCHEIBE_<br>A_3_2.PRT<br>LAGERBLOCKVERSCHRAUB_D920_<br>M2X5.PRT<br>T6_LP_EXZENTERSPANNER-A.PRT<br>T6_LP_ROLLE-SPANNER-A.PRT<br>MOTORVERSCHRAUB_DIN964_M2_<br>S10.PRT<br>T6_LP_LS-MONTAGEWINKEL-A.PRT<br>T6_LP_LS-LAGER-A.PRT<br>T6_LP_UHLENKROLLE-A.PRT<br>T6_LP_ANTRIEB-4KANT-A.PRT<br>T6_LP_4KANT-POSITIONIERUNG-<br>A.PRT<br>T6_LP_SCHEIBE-4KANT-POSITION-<br>A.PRT<br>T6_LP_LS-WELLE-SICHERUNG-<br>RING-A.PRT<br>T6_LP_ZUS-FORDERBAND-A.ASM<br>T6_LP_SPANNROLLE-A.ASM<br>T6_LP_LAGERSEITE-A.ASM |

|                |   |    |     |  |   |
|----------------|---|----|-----|--|---|
| Di. 20.12.2016 | u | fs | 2,5 | Verbessern der Fertigungszeichnungen (Zusammenbau)           | t6_fr_schweizr-untergestell-a.dru<br>t6_fr_stahl-untergestell-a.dru<br>t6_fr_marchionengestell-a.dru<br>t6_fr_aluobergestell-a.dru      |
| Di. 20.12.2016 | u | lt | 2   | Verbessern der Fertigungszeichnungen                         | t6_lt_palette-zusammenbau-b.arm<br>t6_lt_palette-c.dru<br>t6_lt_adapterplatte-c.prt   |
| Do. 22.12.2016 | f | fe | 3   | Besprechung der Ansteuerung                                  | T6_Ertl-<br>100_Besprechung_Ansteuerung-<br>A.pdf   |
| Fr. 23.12.2016 | f | fe | 1,5 | Überarbeitung des Tätigkeitsberichts                         | T6_20161220_Taetigkeit_5AHMBT16<br>17.xlsx  |
| Fr. 23.12.2016 | f | lp | 1,5 |  |   |
| Fr. 23.12.2016 | f | fs | 1,5 |  |   |
| Fr. 23.12.2016 | f | lt | 1,5 |  |   |
| Di. 27.12.2016 | f | fe | 4   | Schreiben des Abstracts auf Deutsch und Englisch             | T6_Ertl-100_Abtract_5AHMBT1617-<br>A<br>T6_Ertl-<br>100_Abtract_Englürch_5AHMBT161<br>7-A.docx  |
| Mo. 02.01.2017 | f | lp | 4   | Zusammenbau der 3D Einzelteile (Bandförderer)                | t6_lp_antriebszeite-fueter-a.arm<br>t6_lp_antriebszeite-pneum-a.arm<br>t6_lp_arszahnriemenruehbe-a.arm<br>t6_lp_rpannalte-a.arm         |
| Di. 03.01.2017 | f | fs | 4   | Fertigen der Kleinteile für das Maschinengestell             | ziehe Projekttagbuch  |
| Fr. 06.01.2017 | f | lt | 4   | Neukonzept der Palette (wegen fehlerhaften 3D-Erstdruck)     | t6_lt_palette-d.dru<br>t6_lt_palette-d.prt<br>t6_lt_adapterplatte-c.prt<br>t6_lt_adapterplatte-d.dru<br>t6_lt_palette-zusammenbau-c.arm |
| Mo. 09.01.2017 | f | fs | 3   | Zuschneiden des Materials für das Maschinengestell           | ziehe Projekttagbuch  |
| Di. 10.01.2017 | f | fs | 5   | Schweißen des Maschinengestells                              | ziehe Projekttagbuch  |
| Di. 10.01.2017 | f | fe | 4   | Fertigen der Adapterplatte des Greifers                      | ziehe Lackbuch  |
| Di. 10.01.2017 | f | lt | 4   | Fertigen der Palette   |   |
| Di. 10.01.2017 | f | lp | 1   | Weiterzeichnen an der 3D-Zusammenbauzeichnung (Bandförderer) | t6_lp_zur-förderband-a.arm  |
| Sa. 14.01.2017 | f | fe | 2,5 | Erstellen einer Wahrheitstabelle für die Beschaltung         | T6_Ertl-100_Wahrheitstabelle-<br>Beschaltung_5AHMBT1617-A.xlsx  |
| Mo. 16.01.2017 | f | lp | 4,5 | Lackieren des Maschinengestells (Grundierung)                | ziehe Projekttagbuch  |
| Mo. 16.01.2017 | f | fs | 4,5 |  |   |
| Di. 17.01.2017 | f | lp | 0,5 | Lackieren des Maschinengestells (Lack)                       | ziehe Projekttagbuch  |
| Di. 17.01.2017 | f | fs | 0,5 |  |   |

|                |   |    |      |  |   |
|----------------|---|----|------|--|---|
| Di. 17.01.2017 | u | fe | 1    | Druck der neuen Greiferfinger  | t6_fa_fingor_mpg-c.zxcad  |
| Di. 17.01.2017 | u | fe | 2,5  | Ausmessen des Flächenroboters  |   |
| Di. 17.01.2017 | u | lt | 3,5  |  |   |
| Di. 17.01.2017 | u | lp | 3,5  | Weiterarbeiten an den Fertigungszeichnungen und der 2D-Zusammenbauzeichnung  | t6_lp_brzahnriemenscheibe-a.dru<br>t6_lp_oradierr-olektrade-a.dru<br>t6_lp_arzahnriemenscheibe-a.dru<br>t6_lp_ar-dütkanzscheibe-a.dru<br>t6_lp_br-proz4kont-a.dru<br>t6_lp_zur-förderband-a.dru |
| Di. 17.01.2017 | u | fs | 3,5  | Verbessern der Schweißzeichnung und der 2D-Zusammenbauzeichnungen  | t6_fr_schweiß-untorqzoll-b.dru<br>t6_fr_marchionenzoll-a.dru<br>t6_fr_stahl-untorqzoll-a.dru  |
| Mi. 18.01.2017 | f | fe | 3    | Erstellen der Wahrheitstabelle für die Beschaltung   | T6_Ertl-100_Wahrheitstabelle-<br>Beschaltung_5AHMBT1617-C.xlsx  |
| Mi. 18.01.2017 | f | lt | 1    | Erstellen einer 3D Zusammenstellungszeichnung der gesamten Anlage  | t6_lt_anlagezuw_5ahmbt1617.arm  |
| Do. 19.01.2017 | f | fe | 2    | Konstruktion Verbindungsplatte Flächenroboter zu Zylinder  | T6_fa_Vorbflaochrab-a.prt   |
| Do. 19.01.2017 | f | fe | 2    | Zusammenbau Einzelteile von Greifervorrichtung, Montage Greifer auf Flächenroboter   | T6_fa_Greifvorrichtung-a.arm  |
| Sa. 21.01.2017 | f | fe | 5    | Montieren der Greiferadapterplatten, Zusammenbau und Wartung des Bandförderers, Abbauen und Zusammenbauen des Linearroboters mit Maschinengestell              | siehe Projekttagbuch  |
| Sa. 21.01.2017 | f | lp | 5    |  |   |
| Sa. 21.01.2017 | f | fs | 5    |  |   |
| Sa. 21.01.2017 | f | lt | 5    |  |   |
| Sa. 21.01.2017 | f | lp | 3    | Anfertigen von neuen Stahl-Winkeln auf Grund von Ungenauigkeiten   | siehe Projekttagbuch  |
| Sa. 21.01.2017 | f | fs | 3    |  |   |
| Sa. 21.01.2017 | f | lp | 2    | Lackieren und Grundieren der Stahl-Winkel  |   |
| So. 22.01.2017 | f | fe | 2    | Übersetzung Aufgabenstellung und Realisierung in Englisch  | T6_Ertl-<br>100_Übersetzungen_5AHMBT1617-A  |
| So. 22.01.2017 | f | fe | 2    | Überarbeitung Greiferfinger + weitere Varianten  | t6_fa_fingor_mpg-d.prt<br>t6_fa_fingor_mpg-a.prt<br>t6_fa_fingor_mpg-f.prt  |
| So. 22.01.2017 | f | lt | 3    | Verbessern der Fertigungszeichnungen und Zusammenbauzeichnungen der Paletten und der Adapterplatte   | t6_lt_adapterplatte-d.prt<br>t6_lt_adapterplatte-d.dru<br>t6_lt_palette-d.dru<br>t6_lt_palette-d.prt<br>t6_lt_palettezurammenbau-b.arm<br>t6_lt_palettezur-b.dru                                |
| Mo. 23.01.2017 | f | fe | 2    | Verbessern der 3D-Zeichnungen der Greiferfinger + 3D-Druck   | t6_fa_fingor_mpg-a.prt<br>t6_fa_fingor_mpg-a2.rtf   |
| Mo. 23.01.2017 | f | lp | 11,5 | Analysieren der aufgetretenen Probleme und Finden einer Lösung, Maßkontrolle und Anfertigen von Skizzen, Organisieren von Material und Fertigungsmöglichkeiten | siehe Projekttagbuch  |
| Mo. 23.01.2017 | f | fs | 11,5 |  |   |

|                |   |    |     |  |  |
|----------------|---|----|-----|--|--|
| Mo. 23.01.2017 | f | lt | 1   | Druck der Adapterplatte  | ziehe Projekttagebuch  |
| Di. 24.01.2017 | f | fe | 4   | Fertigen der Adapterplatte des Greifers und der Palette  | ziehe Projekttagebuch  |
| Di. 24.01.2017 | f | lt | 4   |  |  |
| Di. 24.01.2017 | u | fe | 0,5 | Besprechung des Ist-Zustandes und Festlegen der KOP-Noten  | ziehe Projekttagebuch  |
| Di. 24.01.2017 | u | lp | 0,5 |  |  |
| Di. 24.01.2017 | u | fs | 0,5 |  |  |
| Di. 24.01.2017 | u | lt | 0,5 |  |  |
| Di. 24.01.2017 | f | lp | 10  | Fertigen der Befestigungsplatten für den Roboter und Zusammenbau der Anlage  | ziehe Projekttagebuch  |
| Di. 24.01.2017 | f | fs | 10  |  |  |
| Do. 26.01.2017 | f | fe | 2   | Verbesserung der 3D-Zeichnung der Greiferfinger  | t6_fe_finger_mpa-q.prt   |
| Fr. 27.01.2017 | f | fe | 1   | Verbesserung der Maschinengestellverschraubungen und Vorbereitung eines Ansteuerungskabels für die Magnetventilinsel | ziehe Projekttagebuch  |
| Fr. 27.01.2017 | f | lp | 1   |  |  |
| Di. 31.01.2017 | u | lp | 1,5 | Überarbeiten des Tätigkeitsbereiches   | T6_20170131_Taetigkeit_5AHMBT1617                              |
| Di. 31.01.2017 | u | fs | 1   |  |  |
| Di. 31.01.2017 | u | fe | 3,5 | Programmieren der Wahrheitstabelle in CODESYS  | T6_Ertl-100_Ansteuerung_5AHMBT1617-A                           |
| Di. 31.01.2017 | f | lt | 3,5 | Fertigen der Palette   | ziehe Projekttagebuch  |
| Di. 31.01.2017 | u | fs | 1   | Aufbohren der Stahl-Winkel   | ziehe Projekttagebuch  |
| Di. 31.01.2017 | u | fs | 1,5 | Erstellen der 3D-Zeichnung und der Fertigungszeichnung   | t6_fr_befertigungplatte-a.prt<br>t6_fr_befertigungplatte-a.dru |
| Di. 31.01.2017 | u | lp | 2   | Weiterarbeiten an Zusammenbauzeichnung der Antriebseinheit   | t6_lp_zur-lager-antriebseinheit-a.dru                          |
| Mi. 01.02.2017 | f | fe | 1   | Erstellen der Ansteuerung in Codesys mit Schaltern   | T6_Ertl-100_Ansteuerung_5AHMBT1617-A.project                   |
| Mi. 01.02.2017 | f | fe | 2   | Erstellen der Ansteuerung in Codesys mit Drucktastern  | T6_Ertl-100_Ansteuerung_5AHMBT1617-B.project                   |
| Fr. 03.02.2017 | f | lp | 2   | Weiterarbeiten an Zusammenbauzeichnung der Antriebseinheit   | t6_lp_zur-lager-antriebseinheit-a.dru                          |
| Fr. 03.02.2017 | f | fs | 2   | Schreiben der schriftlichen DA (Realisierungsstudie)   | T6_Scheiner_Dokumentation_5AHMBT1617-A.daxx                    |
| So. 05.02.2017 | f | lp | 3   | Erstellen der Zusammenbauzeichnung des Bandförderers   | t6_lp_zur-farborband-a.dru                                     |
| Mo. 06.02.2017 | f | fs | 3   | Schreiben der schriftlichen DA (Lastenheft)  | T6_Scheiner_Dokumentation_5AHMBT1617-A.daxx                    |

|                |   |    |     |   |  |
|----------------|---|----|-----|---|--|
| Do. 09.02.2017 | f | fe | 2   | Verbesserung der Wahrheitstabelle   | T6_Ertl-100_Wahrheitstabelle-Berechnung_5AHMBT1617-E.xlsx  |
| Do. 09.02.2017 | f | fe | 3   | Programmieren der Ansteuerung Version 2   | T6_Ertl-100_AnsteuerungV2_5AHMBT1617-A.prjocet   |
| Fr. 10.02.2017 | f | fe | 1,5 | Berechnung der Arbeitszyklen+Druckluftverlustes in Mathcad                                      | T6_Ertl-100_Pneumatikberechnung_5AHMBT1617-A.xmcd  |
| Di. 14.02.2017 | u | fe | 3,5 | Ausmessen und Fertigen der Tischplatte  | siehe Projekttagbuch   |
| Di. 14.02.2017 | u | fs | 3,5 |   |  |
| Di. 14.02.2017 | u | lp | 3,5 | Weiterarbeiten an Zusammenbauzeichnung der Antriebseinheit                                      | t6_lp_zur-lager-antriebseinheit-a.drw  |
| Di. 14.02.2017 | u | lt | 3,5 | Erstellen der 3D-Zeichnung des Flächenportalroboters  | t6_lt_2linearraboter_5ahmbt1617.ar m.  |
| Mi. 15.02.2017 | f | lp | 2   | Weiterarbeiten an Zusammenbauzeichnung der Antriebseinheit                                      | t6_lp_zur-lager-antriebseinheit-a.drw  |
| Mi. 15.02.2017 | f | fs | 2   | Verbessern von Fertigungszeichnungen  | t6_fr_alu-oberquertoll-b.drw<br>t6_fr_befertigungarplatte-a.drw<br>t6_fr_verbindungswinkel-grazr-b.drw |
| Mi. 15.02.2017 | f | fe | 2   | Erster Test der Pneumatik   | siehe Projekttagbuch   |
| Do. 16.02.2017 | f | fe | 3   | Erster Test der Ansteuerung + Besprechung   | siehe Projekttagbuch   |
| Sa. 18.02.2017 | f | fe | 3,5 | Programmieren der Ansteuerung mit Arduino   | T6_Ertl-100_AnsteuerungV3_5AHMBT1617-A.ina   |
| Mo. 20.02.2017 | f | fe | 9   | Aufbau der Anlage   | siehe Projekttagbuch   |
| Mo. 20.02.2017 | f | lp | 9   |   |  |
| Mo. 20.02.2017 | f | fs | 9   |   |  |
| Di. 21.02.2017 | f | fe | 12  | Aufbau der Anlage, Fertigen von Schaltkästen, Leimen der Tischkanten, Halterung für Endschalter | siehe Projekttagbuch   |
| Di. 21.02.2017 | f | lp | 12  |   |  |
| Di. 21.02.2017 | f | fs | 12  |   |  |
| Di. 21.02.2017 | f | lt | 12  |   |  |
| Mi. 22.02.2017 | f | fe | 5   | Fertigstellen der Schaltkästen, Verbesserungen am Bandförderer und Verkabeln der Anlage         | siehe Projekttagbuch   |
| Mi. 22.02.2017 | f | lp | 5   |   |  |
| Mi. 22.02.2017 | f | fs | 5   |   |  |
| Mi. 22.02.2017 | f | lt | 5   |   |  |

|                |   |    |   |                               |                      |
|----------------|---|----|---|-------------------------------|----------------------|
| Fr. 24.02.2017 | f | lt | 2 | Druck der Endanschlagsadapter | siehe Projektagebuch |
| Fr. 24.02.2017 | f | lt | 8 | Lackieren der Palette         | siehe Projektagebuch |

## A2 Meilensteine

### A2.1 1. Meilenstein 27.09.2016

1. Meilenstein 27.9.16: Lastenheft, Pflichtenheft, Realisierungsstudie

Jedes Teammitglied übernimmt eigenständig die Verantwortung für eine Teilaufgabe und kümmert sich auch um eine rechtzeitige Abgabe. Der Teamkoordinator ist lediglich für die Koordination zuständig.

Aufgaben im Detail:

Lastenheft V1 (Vorlagen für die Ausarbeitung s. Arbeitsunterlagen)

Pflichtenheft V1 (Vorlagen für die Ausarbeitung s. Arbeitsunterlagen)

detaillierte Realisierungsstudie mit verantwortlichen SchülerInnen und Meilensteinen

### A2.2 2. Meilenstein 22.10.2016

2. Meilenstein 22.10.2016: fertige Literaturrecherche, Skizzen, Entwürfe, Auslegungen, Diskussion der bisherigen Ergebnisse

Jeder/Jede SchülerIn ladet seine bisher von IHM/IHR erstellten Dokumente und Zeichnungen in einem in der MB-Abteilung lesbaren Format (AutoCAD2013, Word2013, PDF, MathCAD15) hoch.

Jeder/Jede SchülerIn stellt im Rahmen einer Besprechung seine bisherigen Arbeiten vor. Dafür ist für jede Gruppe eine Mappe anzulegen in der, Abschnittsweise getrennt durch Zwischenblätter, jeder/jede SchülerIn seine bisherige Arbeit dokumentiert.

Abgabeformat: Auf Papier und elektronisch s.o.

### **A2.3 3. Meilenstein 22.11.2016**

3. Meilenstein 22.11.2016: fertige Konstruktion (3D-CAD), Fertigungszeichnungen und Berechnungen, allg. Zwischenbeurteilung

Für alle Teams, die etwas zu fertigen haben, müssen bis zu diesem Meilenstein alle Konstruktionszeichnungen und Fertigungszeichnungen abgegeben werden!

Jeder/Jede SchülerIn ladet seine bisher eigenständig erstellten Berechnungen und Zeichnungen in einem in der MB-Abteilung lesbaren Format (AutoCAD2013, Word2013, PDF, MathCAD15) hoch.

Jeder/Jede SchülerIn stellt im Rahmen einer Besprechung seine bisherigen Arbeiten vor. Dafür ist für jede Gruppe eine Mappe anzulegen in der, Abschnittsweise getrennt durch Zwischenblätter, jeder/jede SchülerIn seine bisherige Arbeit dokumentiert.

Abgabeformat: Auf Papier und elektronisch s.o.

### **A2.4 4. Meilenstein 13.12.2016**

4. Meilenstein 13.12.2016: fertige Arbeitsvorbereitung und Bestellung, allg. Zwischenbeurteilung

Für alle Teams, die etwas zu fertigen haben, müssen bis zu diesem Meilenstein alle Fertigungszeichnungen überarbeitet, alle Arbeitsvorbereitungen wie Materialbestellungen und Absprachen mit den Fachlehrern nachweislich erledigt haben.

Jeder/Jede SchülerIn ladet seine bisher eigenständig erstellten Berechnungen und Zeichnungen in einem in der MB-Abteilung lesbaren Format (AutoCAD2013, Word2013, PDF, MathCAD15) hoch.

Jeder/Jede SchülerIn stellt im Rahmen einer Besprechung seine bisherigen Arbeiten vor. Dafür ist für jede Gruppe eine Mappe anzulegen in der, Abschnittsweise getrennt durch Zwischenblätter, jeder/jede SchülerIn seine bisherige Arbeit dokumentiert.

Abgabeformat: Auf Papier und elektronisch s.o.

## **A2.5 5. Meilenstein 14.02.2017**

5. Meilenstein 14.2.2017: V1 DA-Abgabe in Mappe, wissenschaftl. Dokumentation

Jeder Schüler stellt im Rahmen einer Besprechung seine bisherigen Arbeiten vor. Dafür ist für jede Gruppe die schon für frühere Abgaben erstellte Mappe zu aktualisieren, in der Abschnittsweise getrennt durch Zwischenblätter jeder Schüler seine bisherige Arbeit dokumentiert.

Schwerpunkt bei dieser Abgabe liegt auf der wissenschaftlichen Dokumentation der Arbeit in Form einer Diplomarbeit!

Abgabeformat: Auf Papier in Ordner und elektronisch in einzelnen Dokumenten. Keine Archive (ZIP, ARC, ...)

## **A2.6 6. Meilenstein 28.02.2017**

6. Meilenstein 28.2.2017: Fertiges Produkt, V2 DA-Abgabe in Mappe, für Vorkorrektur

DA-Abgabe in Mappe Version 2 (für Vorkorrektur).

Abgabeformat: auf Papier und elektronisch

## **A2.7 7. Meilenstein 14.03.2017**

7. Meilenstein 14.3.2017: Fertige DA-Abgabe in Mappe und elektronisch, Endbewertung  
Fertige DA-Abgabe auf Papier in Mappe und hier elektronisch hochladen (Format \*.DOCX)

## **A2.8 8. Meilenstein 31.03.2017**

8. Meilenstein 31.3.2017 8:00 Abgabe der gebundenen Diplomarbeit mit DVD

Abgabe von drei gebundenen Diplomarbeiten mit Anhang und CD oder DVD in Papierhülle auf der Innenseite der Rückseite der DA.

Drucken und Binden der Diplomarbeit:

"Das tgm, die Abteilung für Maschinenbau legt seit Jahren Wert auf „corporate identity“; daher auch auf ein eigenes Layout für an unserem Haus, unserer Abteilung erstellter Diplomarbeiten. Tgm-Arbeiten sollen von Weitem erkennbar sein. (In Kooperation mit dem grafischen Zentrum der Techn. Universität Wien, einem erfahrenen und zuverlässigen Drucksortendienst, wurde dieses entwickelt.) Um Euch die Arbeit zu erleichtern besteht ergänzend auch die Möglichkeit der online-Bestellung unter:

[http://www.grafischeszentrum.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=80&Itemid=243](http://www.grafischeszentrum.com/index.php?option=com_content&view=article&id=80&Itemid=243) " (AV Schachinger, 14.3.2016)

2 x elektronische Abgabe:

- 1) Zum einen ist die DA hier auf [elearning.tgm.ac.at](http://elearning.tgm.ac.at) hochzuladen (max. 50MB pro Datei).
- 2) Die fertige DA muss auch vom Hauptverantwortliche/r Schüler/in in die Diplomarbeiten-Datenbank (<https://diplomarbeiten.berufsbildendeschulen.at>) hochgeladen werden. Dabei ist zu beachten:

Es können nur Diplomarbeiten im PDF-Format mit einer Dateigröße von max. 20 MB hochgeladen werden.

Sollten die PDF-Dateien größer als 20 MB sein, empfiehlt es sich, die Dateien zu komprimieren bzw. Bilder in den Arbeiten entsprechend zu bearbeiten.

Diplomarbeiten/Abschlussarbeiten, die mit einem Sperrvermerk versehen sind, sind nicht hochzuladen!

## A3 Tabellen und Diagramme

### A3.1 Messdaten des Festo-Roboters

| Zeit [ms] | v - Istwert [g/ffilter] [mm/s] | s - Istwert [mm] | dt (s)   | s gerechnet | t        | s - Istwert (m) | v gerechnet aus s-ist (m/s) | a gerechnet aus s-ist (m/s <sup>2</sup> ) | r gerechnet aus s-ist (m/s <sup>3</sup> ) |
|-----------|--------------------------------|------------------|----------|-------------|----------|-----------------|-----------------------------|---|---|
| 76.13     | 0.000859                       | 477,831665       | 0,078125 | 477,831665  | 0        | 0,477831665     | 0                           | 0   | 0   |
| 76.13     | -0.003259                      | 466,782395       | 0,078125 | 477,8314075 | 0,078125 | 0,46678239      | -0,18423047                 | -3,18663                                  | -40,788664                                |
| 156.25    | 0.004395                       | 436,284668       | 0,078125 | 477,831501  | 0,15625  | 0,43628468      | -0,390378516                | -0,390378516                              | 96,682776                                 |
| 234.38    | 0.0046875                      | 432,4383545      | 0,078125 | 477,831653  | 0,234375 | 0,432438354     | 0,258535547                 | 3,393435                                  | -5,468544                                 |
| 312.50    | 0.0002390                      | 452,6364441      | 0,078125 | 477,8315392 | 0,3125   | 0,452636444     | 0,315793237                 | 0,72504                                   | -41,144256                                |
| 390.63    | -42,3147949                    | 477,2598267      | 0,078125 | 442,4788208 | 0,390625 | 0,477259827     | -0,078590234                | -4,24665                                  | -63,637632                                |
| 468.75    | -409,6512451                   | 475,363746       | 0,078125 | 442,4788208 | 0,46875  | 0,475363746     | -0,350560547                | -4,27482                                  | -0,360576                                 |
| 546.88    | -118,3014404                   | 448,5761719      | 0,078125 | 432,2325172 | 0,546875 | 0,448576172     | -0,213191016                | -1,75833                                  | 77,22432                                  |
| 625.00    | 95,3523785                     | 431,9206238      | 0,078125 | 445,3646897 | 0,625    | 0,431920624     | 0,092286672                 | 3,9104                                    | 27,543168                                 |
| 703.13    | 369,3310791                    | 439,1306763      | 0,078125 | 475,8328342 | 0,703125 | 0,439130676     | 0,391496484                 | 3,82866                                   | -1,027584                                 |
| 781.25    | 37,6084473                     | 463,7163391      | 0,078125 | 476,6174442 | 0,78125  | 0,463716339     | 0,106257686                 | -3,66103                                  | -95,795332                                |
| 859.38    | -269,8361572                   | 476,0778833      | 0,078125 | 457,5337944 | 0,859375 | 0,476078833     | -0,182151662                | -3,691665                                 | -0,520128                                 |
| 937.50    | -320,9182193                   | 463,7872325      | 0,078125 | 432,4618908 | 0,9375   | 0,463787232     | -0,370653375                | -2,4129                                   | 16,368192                                 |
| 1015.63   | 0,8934082                      | 434,8295288      | 0,078125 | 432,5317783 | 1,015625 | 0,434829529     | -0,027010547                | 4,398705                                  | 87,189544                                 |
| 1093.75   | 368,1062988                    | 432,7193298      | 0,078125 | 461,2900829 | 1,09375  | 0,43271933      | 0,295166359                 | 4,12389                                   | -3,517632                                 |
| 1171.88   | 203,6467529                    | 455,7793579      | 0,078125 | 477,1998855 | 1,171875 | 0,455779356     | 0,283324219                 | -0,15805                                  | -54,726336                                |
| 1250.00   | -73,3938466                    | 477,9140625      | 0,078125 | 471,4210911 | 1,25     | 0,477914063     | -0,040193359                | -4,150305                                 | -51,18336                                 |
| 1328.13   | -409,3962891                   | 474,7779157      | 0,078125 | 439,437006  | 1,328125 | 0,474779157     | -0,370427344                | -4,27715                                  | -0,862848                                 |
| 1406.25   | -84,6334961                    | 445,7767874      | 0,078125 | 432,8038991 | 1,40625  | 0,44577678      | -0,176927344                | 2,4768                                    | 85,689792                                 |
| 1484.38   | 195,9843018                    | 431,9552307      | 0,078125 | 446,1206627 | 1,484375 | 0,431955231     | 0,22097656                  | 3,82752                                   | 17,289216                                 |
| 1562.50   | 370,7185601                    | 441,484101       | 0,078125 | 477,0831259 | 1,5625   | 0,44149411      | 0,388100391                 | 3,604835                                  | -5,410368                                 |
| 1640.63   | 170,9500342                    | 471,6144532      | 0,078125 | 476,4193919 | 1,640625 | 0,471614453     | 0,077354237                 | -3,37795                                  | -94,494528                                |
| 1718.75   | -304,0193115                   | 477,8575716      | 0,078125 | 454,6624832 | 1,71875  | 0,477857158     | -0,216872109                | -3,76533                                  | 2,76416                                   |
| 1796.88   | -284,3625000                   | 460,319131       | 0,078125 | 432,3937879 | 1,796875 | 0,46039132      | -0,349066406                | -1,632855                                 | 26,52768                                  |
| 1875.00   | 21,0427002                     | 433,6484985      | 0,078125 | 434,0437489 | 1,875    | 0,433648499     | -0,003323437                | 4,17783                                   | 78,216768                                 |
| 1953.13   | 386,7470215                    | 433,34198        | 0,078125 | 464,2583599 | 1,953125 | 0,43334198      | 0,323658984                 | 4,193055                                  | -2,817712                                 |
| 2031.25   | 165,845703                     | 458,6276381      | 0,078125 | 477,1634045 | 2,03125  | 0,458627638     | 0,252309375                 | -0,93275                                  | -65,361024                                |
| 2109.38   | -108,4052773                   | 476,3395081      | 0,078125 | 468,6939297 | 2,109375 | 0,476339508     | -0,0671074609               | -4,068115                                 | -40,637952                                |
| 2187.50   | -58,0637695                    | 473,0933042      | 0,078125 | 436,688015  | 2,1875   | 0,473093304     | -0,385730859                | -4,0788                                   | 0,119232                                  |
| 2265.63   | 238,8833496                    | 442,9640808      | 0,078125 | 432,151783  | 2,265625 | 0,442964081     | -0,193939453                | 3,14613                                   | 92,479104                                 |
| 2343.75   | 393,6270996                    | 432,1031311      | 0,078125 | 450,7676697 | 2,34375  | 0,432031311     | 0,153857813                 | 3,760605                                  | 7,86528                                   |
| 2421.88   | 345,3542725                    | 444,0514526      | 0,078125 | 477,7484722 | 2,421875 | 0,444051453     | 0,379061719                 | 2,86261                                   | -11,238336                                |
| 2500.00   | 2,8724654                      | 473,6656494      | 0,078125 | 477,9728651 | 2,5      | 0,473665649     | 0,050746047                 | -4,202415                                 | -30,686832                                |
| 2578.13   | -334,8689673                   | 477,6303406      | 0,078125 | 451,8254642 | 2,578125 | 0,477630341     | -0,249367969                | -3,843165                                 | 4,5276                                    |
| 2656.25   | -243,4201172                   | 468,101593       | 0,078125 | 432,8082676 | 2,65625  | 0,458101593     | -0,323905078                | -0,946395                                 | 37,155456                                 |
| 2734.38   | 45,0716506                     | 432,7965088      | 0,078125 | 436,3295059 | 2,734375 | 0,432796509     | 0,19125                     | 4,390785                                  | 68,315904                                 |
| 2812.50   | 399,6270996                    | 434,2506494      | 0,078125 | 467,5503731 | 2,8125   | 0,434250649     | 0,350448047                 | 4,240335                                  | -1,91808                                  |
| 2890.63   | 123,4000488                    | 461,6694031      | 0,078125 | 477,6597519 | 2,890625 | 0,467669403     | 0,215078906                 | -1,732725                                 | -76,462848                                |
| 2968.75   | -149,262627                    | 478,4724426      | 0,078125 | 465,9980907 | 2,96875  | 0,4789472443    | -0,093891406                | -3,95226                                  | -28,410048                                |
| 3046.88   | -400,3754983                   | 471,1528015      | 0,078125 | 434,7187157 | 3,046875 | 0,471152802     | -0,3936375                  | -3,83931                                  | 1,44576                                   |
| 3125.00   | -37,6940918                    | 440,3998718      | 0,078125 | 431,7739048 | 3,125    | 0,440398672     | -0,106221094                | 3,67893                                   | 96,233472                                 |
| 3203.13   | 276,6752930                    | 432,1013489      | 0,078125 | 453,3891621 | 3,203125 | 0,432101349     | 0,195572266                 | 3,734955                                  | 0,71712                                   |
| 3281.25   | 318,3319092                    | 446,5991821      | 0,078125 | 477,8682175 | 3,28125  | 0,44659182      | 0,366064453                 | 2,3103                                    | -18,235584                                |
| 3359.38   | -8,4027100                     | 475,1973675      | 0,078125 | 477,2117558 | 3,359375 | 0,475197368     | 0,033778125                 | -4,252265                                 | -84,016632                                |
| 3437.50   | -362,6351074                   | 477,8368835      | 0,078125 | 448,880888  | 3,4375   | 0,477836884     | -0,001792969                | -0,49531                                  | 48,619824                                 |
| 3515.63   | -202,0693189                   | 477,6966079      | 0,078125 | 433,0944099 | 3,515625 | 0,477696608     | 0,002770313                 | 0,05844                                   | 6,575616                                  |
| 3593.75   | 77,090332                      | 477,9132365      | 0,078125 | 433,107407  | 3,59375  | 0,477913239     | -0,002091797                | -0,062235                                 | -1,544256                                 |
| 3671.88   | 404,0263043                    | 477,7491619      | 0,078125 | 470,6753426 | 3,671875 | 0,477749817     | 0,001785938                 | 0,049635                                  | 1,431936                                  |
| 3750.00   | 93,4778855                     | 477,8893433      | 0,078125 | 477,9782867 | 3,75     | 0,477889343     | -0,001423628                | -0,041085                                 | -1,161216                                 |

| Zeit [ms] | v - Istwert (geföhrt) [mm/s] | s - Istwert [mm] | dt [s]   | s gerechnet | t        | s - Istwert (m) | v gerechnet aus s-ist (m/s) | a gerechnet aus s-ist (m/s <sup>2</sup> ) | r gerechnet aus s-ist (m/s <sup>3</sup> ) |
|-----------|------------------------------|------------------|----------|-------------|----------|-----------------|-----------------------------|---|---|
| 3750,00   | 93,4776855                   | 477,8893433      | 0,078125 | 477,3782867 | 3,75     | 0,477889343     | -0,001423828                | -0,0410085                                | -1,161216                                 |
| 3828,13   | -5,1662109                   | 477,7761067      | 0,078125 | 477,5746765 | 3,828125 | 0,477778107     | 0,001423828                 | 0,0410085                                 | 1,161216                                  |
| 3906,25   | 5,7831239                    | 477,8695679      | 0,078125 | 478,0264835 | 3,90625  | 0,477869568     | -0,101475                   | -1,313865                                 | -17,24256                                 |
| 3984,38   | -4,2273286                   | 463,9418335      | 0,078125 | 477,6962185 | 3,984375 | 0,463941833     | -0,397335938                | -3,78702                                  | -31,656384                                |
| 4062,50   | 3,0721436                    | 438,8939634      | 0,078125 | 477,3562237 | 4,0625   | 0,438893963     | -0,086547656                | -3,97809                                  | 99,393408                                 |
| 4140,63   | -2,8975808                   | 432,1384277      | 0,078125 | 477,725481  | 4,140625 | 0,432138428     | 0,209068056                 | 3,97878                                   | -2,487168                                 |
| 4218,75   | -179,8437012                 | 448,4712524      | 0,078125 | 463,6751919 | 4,21875  | 0,448471252     | 0,352342969                 | 1,83402                                   | -24,956928                                |
| 4296,88   | -384,4571902                 | 475,9390469      | 0,078125 | 433,6394176 | 4,296875 | 0,475998047     | 0,012962109                 | -4,344075                                 | -79,073616                                |
| 4375,00   | -24,2367041                  | 477,0010117      | 0,078125 | 431,7412378 | 4,375    | 0,477010117     | -0,307958203                | -4,10778                                  | 3,024576                                  |
| 4453,13   | 310,6234131                  | 452,3514771      | 0,078125 | 456,0066918 | 4,453125 | 0,452351477     | -0,267317578                | 0,5202                                    | 59,238144                                 |
| 4531,25   | 279,2753174                  | 432,0672913      | 0,078125 | 477,827076  | 4,53125  | 0,432067291     | 0,32067291                  | 4,170375                                  | 46,72224                                  |
| 4609,38   | -215,48047                   | 436,6370544      | 0,078125 | 476,1415443 | 4,609375 | 0,436637054     | 0,380060166                 | 4,1606                                    | -0,695232                                 |
| 4687,50   | -384,3728563                 | 468,3292542      | 0,078125 | 446,1124306 | 4,6875   | 0,468329254     | 0,153713672                 | -2,897235                                 | -89,770076                                |
| 4765,63   | -160,3328613                 | 479,3381348      | 0,078125 | 433,5359508 | 4,765625 | 0,478338135     | -0,188533203                | -3,74076                                  | -10,73712                                 |
| 4843,75   | 112,3374023                  | 467,5152283      | 0,078125 | 442,3159103 | 4,84375  | 0,467515228     | -0,391616016                | -3,23946                                  | 6,41664                                   |
| 4921,88   | 401,8397461                  | 436,3202271      | 0,078125 | 478,7096405 | 4,921875 | 0,443632027     | -0,059207344                | 4,257195                                  | 95,956416                                 |
| 5000,00   | 62,5738096                   | 432,3067158      | 0,078125 | 478,5986881 | 5        | 0,432308716     | 0,244508203                 | 3,885255                                  | -4,760064                                 |
| 5078,13   | -229,2875977                 | 451,4101932      | 0,078125 | 460,6855946 | 5,078125 | 0,451410919     | 0,327378516                 | 1,068074                                  | -36,153732                                |
| 5156,25   | -356,6197936                 | 476,3873657      | 0,078125 | 432,6246727 | 5,15625  | 0,476387366     | -0,0092936828               | -4,30947                                  | -68,739868                                |
| 5234,38   | -11,1317139                  | 476,2808948      | 0,078125 | 431,9550076 | 5,234375 | 0,476260895     | -0,338693797                | -4,21623                                  | 1,193472                                  |
| 5312,50   | 340,8989502                  | 449,8006581      | 0,078125 | 458,5877338 | 5,3125   | 0,449800598     | 0,228941016                 | 1,40481                                   | 71,943912                                 |
| 5390,63   | 243,0591797                  | 431,9145813      | 0,078125 | 477,5767365 | 5,390625 | 0,431914581     | 0,082792969                 | 3,990195                                  | 33,092928                                 |
| 5468,75   | -42,8268311                  | 438,382782       | 0,078125 | 474,2308903 | 5,46875  | 0,438382782     | 0,390420703                 | 3,937635                                  | -0,672768                                 |
| 5546,88   | -400,2514219                 | 468,8843994      | 0,078125 | 442,3907792 | 5,546875 | 0,468884399     | 0,18248047                  | -3,46381                                  | -94,394496                                |
| 5625,00   | -121,1837402                 | 478,1255281      | 0,078125 | 433,4932395 | 5,625    | 0,478125228     | -0,189442578                | -3,68244                                  | -2,542464                                 |
| 5703,13   | 151,7862305                  | 464,8848267      | 0,078125 | 445,3515987 | 5,703125 | 0,464884827     | -0,032153906                | -4,22379                                  | -56,341632                                |
| 5781,25   | 390,8269043                  | 435,3832397      | 0,078125 | 475,8849506 | 5,78125  | 0,435383324     | 0,475247955                 | 4,262175                                  | -0,491328                                 |
| 5859,38   | 36,4538086                   | 432,5960083      | 0,078125 | 478,7329044 | 5,859375 | 0,432596008     | -0,035676563                | 4,37688                                   | 90,131904                                 |
| 5937,50   | -267,6299561                 | 454,4920349      | 0,078125 | 457,8243141 | 5,9375   | 0,454492035     | 0,280289141                 | 4,04105                                   | -4,25952                                  |
| 6015,63   | -324,1160156                 | 477,7599792      | 0,078125 | 432,5027504 | 6,015625 | 0,477599792     | -0,365136328                | -4,22379                                  | -48,887424                                |
| 6093,75   | 2,3951660                    | 475,2479553      | 0,078125 | 432,6898727 | 6,09375  | 0,475247955     | 0,082792969                 | -4,262175                                 | 71,943912                                 |
| 6171,88   | 365,4350830                  | 448,7216797      | 0,078125 | 481,2394886 | 6,171875 | 0,44672168      | -0,189186328                | -3,68244                                  | -2,542464                                 |
| 6250,00   | 205,3369404                  | 431,941878       | 0,078125 | 477,2615933 | 6,25     | 0,431941878     | 0,103167397                 | 2,25216                                   | 83,383488                                 |
| 6328,13   | -70,8232910                  | 440,5599976      | 0,078125 | 471,7485237 | 6,328125 | 0,440559998     | 0,389721094                 | 3,63364                                   | 20,242944                                 |
| 6406,25   | -409,4039795                 | 471,006958       | 0,078125 | 439,7638378 | 6,40625  | 0,471006958     | -0,086421484                | -3,856635                                 | -3,239292                                 |
| 6484,38   | -86,6645508                  | 477,9148865      | 0,078125 | 432,9931698 | 6,484375 | 0,471914886     | -0,202767187                | -3,727215                                 | 1,656576                                  |
| 6562,50   | 194,2584229                  | 462,0737         | 0,078125 | 448,1696091 | 6,5625   | 0,4620737       | -0,358442578                | -1,982645                                 | 22,202496                                 |
| 6640,63   | 372,5430778                  | 434,0703735      | 0,078125 | 477,2745323 | 6,640625 | 0,434070374     | -0,012740625                | 4,429885                                  | 82,145664                                 |
| 6718,75   | 16,8999756                   | 433,0750122      | 0,078125 | 478,5948429 | 6,71875  | 0,433075012     | 0,314124609                 | 4,183875                                  | -3,086208                                 |
| 6796,88   | -301,7324707                 | 457,6159973      | 0,078125 | 455,0219396 | 6,796875 | 0,457615997     | 0,263858203                 | -0,64341                                  | -61,789248                                |
| 6875,00   | -286,2589600                 | 478,2291914      | 0,078125 | 432,6580124 | 6,875    | 0,478229191     | -0,058661719                | -4,105215                                 | -44,311104                                |
| 6953,13   | 19,9048096                   | 473,7875977      | 0,078125 | 434,2180756 | 6,953125 | 0,473787598     | -0,380986281                | -4,16882                                  | -0,558144                                 |
| 7031,25   | 385,6038574                  | 444,0228882      | 0,078125 | 464,338377  | 7,03125  | 0,444022888     | -0,153717188                | 2,90907                                   | 90,340992                                 |
| 7109,38   | 188,0975586                  | 432,0137329      | 0,078125 | 477,4709988 | 7,109375 | 0,432013733     | 0,140874609                 | 3,770775                                  | 11,029824                                 |
| 7187,50   | -106,6667676                 | 443,0195618      | 0,078125 | 469,136095  | 7,1875   | 0,443019562     | 0,383528563                 | 3,105945                                  | -8,509824                                 |
| 7265,63   | -410,0432373                 | 472,9825745      | 0,078125 | 437,1014671 | 7,265625 | 0,472982574     | 0,062328516                 | -4,111335                                 | -92,381184                                |
| 7343,75   | -56,3614256                  | 477,6518697      | 0,078125 | 432,5419807 | 7,34375  | 0,477851899     | -0,002109375                | -0,824805                                 | 42,067584                                 |
| 7421,88   | 235,3478027                  | 477,6871948      | 0,078125 | 450,3285278 | 7,421875 | 0,477687195     | 0,003033984                 | 0,065895                                  | 11,029824                                 |
| 7500,00   | 346,3503662                  | 477,9242249      | 0,078125 | 477,9871502 | 7,5      | 0,477924225     | -0,002299219                | -0,066285                                 | -1,71648                                  |
| 7578,13   | 6,9392578                    | 477,7445984      | 0,078125 | 478,5232797 | 7,578125 | 0,477744598     | 0,001951172                 | 0,054405                                  | 1,570176                                  |
| 7656,25   | -1,3536086                   | 477,8970337      | 0,078125 | 478,4235134 | 7,65625  | 0,477897034     | -0,001560937                | -0,044955                                 | -1,271808                                 |

| Zeit [ms] | v - Istwert [geföhrt] [mm/s] | s - Istwert [mm] | dt [s]   | s gerechnet | t         | s-Istwert [m] | v gerechnet aus s-Ist (m/s) | a gerechnet aus s-Ist (m/s <sup>2</sup> ) | r gerechnet aus s-Ist (m/s <sup>3</sup> ) |
|-----------|------------------------------|------------------|----------|-------------|-----------|---------------|-----------------------------|---|---|
| 7734.38   | 2.6162842                    | 477.7750854      | 0,078125 | 478.6279106 | 7.734375  | 0,477775085   | 0,001272656                 | 0,03627                                   | 1,03968                                   |
| 7812.50   | -1.5273526                   | 477.8745117      | 0,078125 | 478.5085831 | 7.8125    | 0,477874512   | -0,000384375                | -0,02889                                  | -0,0384048                                |
| 7890.63   | 1.5026367                    | 477.7376074      | 0,078125 | 478.6259766 | 7.890625  | 0,477797607   | 0,000748828                 | 0,02185                                   | 0,65376                                   |
| 7968.75   | -305.2063984                 | 477.8561096      | 0,078125 | 454.7615704 | 7.96875   | 0,47785611    | -0,009043219                | -0,12545                                  | -1,86928                                  |
| 8046.88   | -281.4672363                 | 477.1491394      | 0,078125 | 432.7919426 | 8.046875  | 0,477491393   | -0,239866938                | -3,72015                                  | -46,012608                                |
| 8125.00   | 23.8341064                   | 453.7361755      | 0,078125 | 434.6539822 | 8.125     | 0,453736176   | -0,276173437                | -0,30096                                  | 51,470208                                 |
| 8203.13   | 384.9773438                  | 432.1601257      | 0,078125 | 464.7303371 | 8.203125  | 0,432160126   | 0,050445703                 | 4,300725                                  | 49,600392                                 |
| 8281.25   | 165.0247559                  | 436.101963       | 0,078125 | 477.6228962 | 8.28125   | 0,43610196    | 0,377971875                 | 4,182335                                  | 0,148608                                  |
| 8359.38   | -109.9409180                 | 465.630243       | 0,078125 | 469.033762  | 8.359375  | 0,465630243   | 0,163174219                 | -2,74941                                  | -86,854336                                |
| 8437.50   | -409.5296631                 | 476.3782349      | 0,078125 | 437.039257  | 8.4375    | 0,478378235   | -0,13069375                 | -3,76407                                  | -12,987648                                |
| 8515.63   | 54.5233887                   | 468.1521606      | 0,078125 | 432.7796173 | 8.515625  | 0,468152161   | -0,391939453                | -3,34195                                  | 5,410368                                  |
| 8593.75   | 239.7093018                  | 437.5136909      | 0,078125 | 451.5063065 | 8.59375   | 0,437531891   | -0,061371788                | 4,155165                                  | 95,955684                                 |
| 8671.88   | 344.3430908                  | 432.2727356      | 0,078125 | 478.4087105 | 8,671875  | 0,4322272736  | 0,234854237                 | 3,867795                                  | -3,678336                                 |
| 8750.00   | 2.1027100                    | 450.16207275     | 0,078125 | 478.5729847 | 8.75      | 0,450620728   | 0,334501172                 | 1,27548                                   | -33,181632                                |
| 8828.13   | -336.0369141                 | 437.8746643      | 0,078125 | 478.3178101 | 8,828125  | 0,478746684   | -0,002594531                | -4,314825                                 | -71,555904                                |
| 8906.25   | -241.0686768                 | 476.5509338      | 0,078125 | 453.4886104 | 8,90625   | 0,476550934   | -0,332152734                | -4,218345                                 | 1,234944                                  |
| 8984.38   | 47.1183105                   | 450.6015015      | 0,078125 | 437.1677284 | 8,984375  | 0,450601501   | -0,239023828                | 1,19205                                   | 69,253056                                 |
| 9062.50   | 399.3744844                  | 431.9277649      | 0,078125 | 468.3686256 | 9.0625    | 0,431927765   | 0,076120313                 | 4,033845                                  | 36,374976                                 |
| 9140.63   | 127.3495605                  | 432.4880676      | 0,078125 | 478.5682297 | 9,140625  | 0,432488068   | 0,386620312                 | 3,9744                                    | -0,760896                                 |
| 9218.75   | -151.6879395                 | 468.0793762      | 0,078125 | 466.4671898 | 9,21875   | 0,468079376   | 0,129153516                 | -3,295575                                 | -93,05568                                 |
| 9296.88   | -399.4385536                 | 478.1694946      | 0,078125 | 435.2563648 | 9,296875  | 0,478169495   | -0,16170312                 | -3,76145                                  | -5,383296                                 |
| 9375.00   | -35.8345459                  | 465.5780664      | 0,078125 | 432.4567909 | 9,375     | 0,465578064   | -0,381989063                | -2,8188                                   | 11,466016                                 |
| 9453.13   | 276.4695020                  | 435.7620435      | 0,078125 | 454.2137833 | 9,453125  | 0,435762043   | -0,042162891                | 4,342095                                  | 91,659456                                 |
| 9531.25   | 311.7369141                  | 432.4880676      | 0,078125 | 478.5682297 | 9,53125   | 0,432488068   | 0,271964063                 | 4,019145                                  | -4,21056                                  |
| 9609.38   | -9.8669678                   | 453.6883685      | 0,078125 | 477.7973728 | 9,609375  | 0,4536883685  | 0,306031641                 | 0,443745                                  | -45,68832                                 |
| 9687.50   | -364.2600586                 | 477.5971069      | 0,078125 | 449.3395557 | 9,6875    | 0,477597107   | -0,025939106                | -4,24989                                  | -60,078528                                |
| 9765.63   | -189.3093985                 | 475.5665588      | 0,078125 | 433.7684669 | 9,765625  | 0,475566558   | -0,365653359                | -4,23171                                  | 0,232704                                  |
| 9843.75   | 79.3170410                   | 447.7077026      | 0,078125 | 439.9651008 | 9,84375   | 0,447707703   | -0,202705766                | 1,97739                                   | 79,47648                                  |
| 9921.88   | 404.4302490                  | 431.9178772      | 0,078125 | 471.561224  | 9,921875  | 0,431978777   | 0,103074609                 | 3,90636                                   | 24,690816                                 |
| 10000.00  | 91.0376953                   | 439.9705811      | 0,078125 | 478.6735439 | 10        | 0,439970581   | 0,390104237                 | 3,67398                                   | -2,974464                                 |
| 10078.13  | -192.0804199                 | 470.4474792      | 0,078125 | 463.6672611 | 10,078125 | 0,470447479   | 0,096338672                 | -3,7602                                   | -95,157504                                |
| 10156.25  | -381.1134521                 | 477.973938       | 0,078125 | 433.8927727 | 10,15625  | 0,477973938   | -0,194083594                | -3,717405                                 | 0,547776                                  |
| 10234.38  | -219,9741211                 | 462.8115172      | 0,078125 | 432.1760445 | 10,234375 | 0,462811517   | -0,36405                    | -2,17957                                  | 19,735488                                 |
| 10312.50  | 312,7927734                  | 434.363751       | 0,078125 | 456.6129799 | 10,3125   | 0,434363751   | -0,018544922                | 4,422465                                  | 84,454848                                 |
| 10390.63  | 277,7410400                  | 432.920929       | 0,078125 | 478.314986  | 10,390625 | 0,432920929   | 0,302899219                 | 4,114485                                  | -3,942144                                 |
| 10468.75  | -23,8072266                  | 456.5849304      | 0,078125 | 476.4515591 | 10,46875  | 0,456584933   | 0,275899219                 | -0,3456                                   | -57,089088                                |
| 10546.88  | -385,8506104                 | 478.1395569      | 0,078125 | 446.3069801 | 10,546875 | 0,478139557   | -0,050396484                | -4,176585                                 | -49,036608                                |
| 10625.00  | -157,2217670                 | 474.2023315      | 0,078125 | 434.0240765 | 10,625    | 0,474202332   | -0,376878953                | -4,18023                                  | -0,046856                                 |
| 10703.13  | 115,1235352                  | 444.7510071      | 0,078125 | 443.0181026 | 10,703125 | 0,444751007   | -0,163311328                | 2,73492                                   | 88,51932                                  |
| 10781.25  | 401,789795                   | 431.9923096      | 0,078125 | 474.3758354 | 10,78125  | 0,431999231   | 0,132704237                 | 3,789                                     | 13,492224                                 |
| 10859.38  | 60,0638672                   | 442.3598328      | 0,078125 | 479.068325  | 10,859375 | 0,442359833   | 0,385882031                 | 3,240675                                  | -7,01856                                  |
| 10937.50  | -232,7969971                 | 472.5068665      | 0,078125 | 460.860596  | 10,9375   | 0,472506866   | 0,067355659                 | -4,077135                                 | -93,667968                                |
| 11015.63  | -354,8753174                 | 477.769043       | 0,078125 | 433.1564255 | 11,015625 | 0,477769043   | -0,226420312                | -3,760335                                 | 4,05504                                   |
| 11093.75  | -9,4278809                   | 460,0799561      | 0,078125 | 432.4198723 | 11,09375  | 0,460079956   | -0,342615234                | -1,487295                                 | 29,094912                                 |
| 11171.88  | 341,7966797                  | 433.3131409      | 0,078125 | 459,1227379 | 11,171875 | 0,433313141   | 0,004123828                 | 4,43826                                   | 75,647104                                 |
| 11250.00  | 239,9470459                  | 433,6353149      | 0,078125 | 477,8686008 | 11,25     | 0,433635315   | 0,333625781                 | 4,217625                                  | -2,824128                                 |
| 11328.13  | 1,2038818                    | 459,6398291      | 0,078125 | 477,9626541 | 11,328125 | 0,459639829   | 0,2239477344                | -1,2051                                   | -69,41068                                 |
| 11406.25  | -9,4278809                   | 478,4089966      | 0,078125 | 476,0192228 | 11,40625  | 0,478408997   | -0,008265234                | -3,171005                                 | -25,184864                                |
| 11484.38  | -0,8375977                   | 477,7632751      | 0,078125 | 477,9537907 | 11,484375 | 0,477763275   | 0,000636328                 | 0,19394                                   | 42,048576                                 |
| 11562.50  | 0,1678711                    | 477,8129893      | 0,078125 | 477,9669056 | 11,5625   | 0,477812988   | 1,75781E-05                 | -0,00792                                  | -1,559808                                 |

| Zeit [ms] | v - Istwert [geffert] [mm/s] | s - Istwert [mm] | dt [s]   | s gerechnet | t         | s - Istwert [m] | v gerechnet aus s-ist [m/s] | a gerechnet aus s-ist [m/s <sup>2</sup> ] | r gerechnet aus s-ist [m/s <sup>3</sup> ] |
|-----------|------------------------------|------------------|----------|-------------|-----------|-----------------|-----------------------------|---|---|
| 1178,75   | 0,0758057                    | 477,8165588      | 0,078125 | 477,9549809 | 11,71875  | 0,4778165553    | 0,000189844                 | 0,00207                                   | 0,024768                                  |
| 1179,88   | -0,2009033                   | 477,8313904      | 0,078125 | 477,9392853 | 11,796875 | 0,47783139      | -0,032533594                | -0,41886                                  | -5,367904                                 |
| 11875,00  | 0,1606934                    | 475,2687034      | 0,078125 | 477,9518394 | 11,875    | 0,475268703     | -0,366292969                | -4,27212                                  | -49,321728                                |
| 11953,13  | -266,8192383                 | 446,6730652      | 0,078125 | 457,1065865 | 11,953125 | 0,446673065     | -0,1877625                  | 2,2819                                    | 83,933568                                 |
| 12031,25  | -320,5049561                 | 432,0041199      | 0,078125 | 432,0671368 | 12,03125  | 0,43200412      | 0,106668359                 | 3,81995                                   | 19,64448                                  |
| 12109,38  | 4,8923584                    | 440,6500854      | 0,078125 | 432,4493523 | 12,109375 | 0,440650085     | 0,369724609                 | 3,57192                                   | -3,174336                                 |
| 12187,50  | 362,5704346                  | 471,0373206      | 0,078125 | 460,7751675 | 12,1875   | 0,471037321     | 0,087173437                 | -3,872855                                 | -95,29056                                 |
| 12265,63  | 207,6674561                  | 477,9077454      | 0,078125 | 476,9991875 | 12,265625 | 0,477907745     | -0,201614082                | -3,69848                                  | -2,25004                                  |
| 12343,75  | -70,1318115                  | 462,1566467      | 0,078125 | 471,5201397 | 12,34375  | 0,462156647     | -0,3600593766               | -2,028105                                 | 21,3552                                   |
| 12421,88  | -411,2091797                 | 434,0263775      | 0,078125 | 439,3944225 | 12,421875 | 0,434026378     | -0,011893359                | 4,45653                                   | 83,003328                                 |
| 12500,00  | -84,1438209                  | 433,0978088      | 0,078125 | 432,8206787 | 12,5      | 0,433097809     | 0,312563672                 | 4,15305                                   | -3,884544                                 |
| 12578,13  | 193,9043701                  | 451,9768476      | 0,078125 | 447,9694576 | 12,578125 | 0,451976846     | 0,265070994                 | -0,607905                                 | -60,940224                                |
| 12656,25  | 374,0422852                  | 478,2252849      | 0,078125 | 478,4020672 | 12,65625  | 0,478225284     | 0,081582422                 | -4,130685                                 | -45,091684                                |
| 12734,38  | 15,4951172                   | 473,7225037      | 0,078125 | 478,4020672 | 12,734375 | 0,473722504     | -0,361582422                | -4,14648                                  | -4,202176                                 |
| 12812,50  | -302,3422119                 | 443,913777       | 0,078125 | 454,7815819 | 12,8125   | 0,443911377     | -0,152247656                | 2,935485                                  | 90,649152                                 |
| 12890,63  | -266,1993268                 | 432,0102088      | 0,078125 | 432,4222126 | 12,890625 | 0,432010209     | 0,199930469                 | 3,7966                                    | 10,279872                                 |
| 12968,75  | 21,1015869                   | 442,9412842      | 0,078125 | 434,0707741 | 12,96875  | 0,442941284     | 0,385488281                 | 3,14442                                   | -7,605504                                 |
| 13046,88  | 395,9005615                  | 473,0575562      | 0,078125 | 464,2192554 | 13,046875 | 0,473057556     | 0,059449219                 | -4,1733                                   | -93,666816                                |
| 13125,00  | 166,0374756                  | 477,7020264      | 0,078125 | 477,1909332 | 13,125    | 0,477702026     | -0,2370375                  | -3,79503                                  | 4,841856                                  |
| 13203,13  | -106,4904785                 | 459,1634717      | 0,078125 | 468,6719846 | 13,203125 | 0,459163472     | -0,333625781                | -1,23953                                  | 32,757196                                 |
| 13281,25  | -410,4845215                 | 433,1189575      | 0,078125 | 436,8022614 | 13,28125  | 0,433118958     | 0,010195313                 | 4,40091                                   | 72,156672                                 |
| 13359,38  | -57,1423828                  | 433,9154663      | 0,078125 | 432,3380127 | 13,359375 | 0,433915466     | 0,341616737                 | 4,242195                                  | -2,031552                                 |
| 13437,50  | 237,1820801                  | 460,6042786      | 0,078125 | 450,8678627 | 13,4375   | 0,460604279     | 0,228410756                 | -1,449045                                 | -72,847872                                |
| 13515,63  | 346,2322119                  | 478,448822       | 0,078125 | 477,9219418 | 13,515625 | 0,478448822     | -0,062202344                | -3,37584                                  | -32,342976                                |
| 13593,75  | 1502,1240                    | 472,0267639      | 0,078125 | 478,0323952 | 13,59375  | 0,472026764     | -0,393887109                | -3,989965                                 | -0,17568                                  |
| 13671,88  | -334,5062256                 | 441,2543335      | 0,078125 | 451,9059963 | 13,671875 | 0,441254333     | -0,117341016                | 3,53979                                   | 96,375744                                 |
| 13750,00  | -243,4099365                 | 432,0870667      | 0,078125 | 432,889595  | 13,75     | 0,432087067     | 0,173063672                 | 3,71718                                   | 2,270592                                  |
| 13828,13  | 43,9584229                   | 445,507666       | 0,078125 | 436,3238468 | 13,828125 | 0,445807666     | 0,37053125                  | 2,594265                                  | -15,141312                                |
| 13906,25  | 399,8662354                  | 474,5961914      | 0,078125 | 467,5633965 | 13,90625  | 0,474596191     | 0,365523047                 | 4,259385                                  | -0,407808                                 |
| 13984,38  | 129,5225098                  | 477,4416504      | 0,078125 | 477,6823425 | 13,984375 | 0,47744165      | -0,273332812                | -3,96486                                  | -87,264576                                |
| 14062,50  | -147,6917725                 | 456,0875244      | 0,078125 | 466,1439228 | 14,0625   | 0,456087524     | -0,302494922                | -0,373275                                 | 4,075776                                  |
| 14140,63  | -401,4237305                 | 432,4551066      | 0,078125 | 434,7626339 | 14,140625 | 0,432455109     | 0,032758594                 | 4,291245                                  | 45,972288                                 |
| 14218,75  | -36,6410889                  | 435,0143738      | 0,078125 | 431,9201088 | 14,21875  | 0,435014374     | 0,365523047                 | 4,259385                                  | -0,407808                                 |
| 14296,88  | 275,1059326                  | 463,5708618      | 0,078125 | 453,4127598 | 14,296875 | 0,463570862     | -0,109423828                | -3,63778                                  | -83,21184                                 |
| 14375,00  | 314,7617432                  | 478,4460754      | 0,078125 | 478,0003521 | 14,375    | 0,478446075     | -0,190402734                | -2,24154                                  | -20,431872                                |
| 14453,13  | -8,9936279                   | 469,8973369      | 0,078125 | 477,3008938 | 14,453125 | 0,468897339     | -0,394815234                | -3,65301                                  | 2,365056                                  |
| 14531,25  | -362,6726074                 | 439,0523987      | 0,078125 | 448,9670963 | 14,53125  | 0,439052399     | -0,086824929                | 3,324045                                  | 96,966304                                 |
| 14609,38  | -202,3411377                 | 432,1579285      | 0,078125 | 433,1591949 | 14,609375 | 0,432157928     | 0,206866547                 | 3,799485                                  | -1,594368                                 |
| 14687,50  | 76,2104004                   | 448,4536743      | 0,078125 | 439,1131325 | 14,6875   | 0,448453674     | 0,351963281                 | 1,835235                                  | -25,1424                                  |
| 14765,63  | 405,0941895                  | 475,9508057      | 0,078125 | 470,761116  | 14,765625 | 0,475950806     | 0,019395703                 | -4,325985                                 | -78,863616                                |
| 14843,75  | 92,8478027                   | 477,04422        | 0,078125 | 478,0489506 | 14,84375  | 0,47704422      | -0,308703576                | -4,130955                                 | 2,501568                                  |
| 14921,88  | -188,2969482                 | 452,9267578      | 0,078125 | 463,3041515 | 14,921875 | 0,452267578     | -0,287008203                | 0,5337                                    | 59,7024                                   |
| 15000,00  | -383,4005859                 | 432,0667419      | 0,078125 | 433,3509808 | 15        | 0,432066742     | 0,057079688                 | 4,148325                                  | 46,2672                                   |
| 15078,13  | -22,8060791                  | 436,5260925      | 0,078125 | 431,5692558 | 15,078125 | 0,436526093     | 0,379494141                 | 4,126905                                  | -0,274176                                 |
| 15156,25  | 309,9197021                  | 466,1740723      | 0,078125 | 459,7817326 | 15,15625  | 0,466174072     | 0,165940172                 | -2,86639                                  | -69,539776                                |
| 15234,38  | 280,9237061                  | 478,3147888      | 0,078125 | 477,7288971 | 15,234375 | 0,478314789     | -0,008036719                | -2,092005                                 | 9,937728                                  |
| 15312,50  | 1,9360840                    | 477,6863202      | 0,078125 | 477,8801537 | 15,3125   | 0,47768692      | 0,002696484                 | 0,137385                                  | 28,536192                                 |
| 15390,63  | -0,1145508                   | 477,897593       | 0,078125 | 477,8772044 | 15,390625 | 0,477697593     | -0,001775391                | -0,05724                                  | -2,4912                                   |
| 15468,75  | 0,3916592                    | 477,7568606      | 0,078125 | 477,9018059 | 15,46875  | 0,477756861     | 0,001932186                 | 0,040545                                  | 1,251648                                  |

| Zeit [ms] | v - Istwert [geföhrt] [mm/s] | s - Istwert [mm] | dt [s]   | s gerechnet | t         | s - Istwert [m] | v gerechnet aus s-ist [m/s] | a gerechnet aus s-ist [m/s <sup>2</sup> ] | r gerechnet aus s-ist [m/s <sup>3</sup> ] |
|-----------|------------------------------|------------------|----------|-------------|-----------|-----------------|-----------------------------|---|---|
| 15468,75  | 0,3916392                    | 477,7588066      | 0,078125 | 477,3080059 | 15,46875  | 0,477788881     | 0,001932188                 | 0,040545                                  | 1,251648                                  |
| 15546,88  | -0,4075828                   | 477,8676453      | 0,078125 | 477,8696627 | 15,546875 | 0,477867645     | -0,001019531                | -0,03087                                  | -0,914112                                 |
| 15625,00  | 0,3826172                    | 477,899944       | 0,078125 | 477,8998547 | 15,625    | 0,477878794     | 0,000647266                 | 0,023895                                  | 0,700992                                  |
| 15703,13  | -0,3186230                   | 477,854187       | 0,078125 | 477,8753529 | 15,703125 | 0,477854187     | -0,002077734                | -0,03744                                  | -0,785088                                 |
| 15781,25  | 0,2372314                    | 477,839684       | 0,078125 | 477,8396866 | 15,78125  | 0,477839684     | -0,228237891                | -0,289485                                 | -36,574688                                |
| 15859,38  | -497,4022217                 | 469,8607788      | 0,078125 | 470,2843378 | 15,859375 | 0,459860779     | -0,341023668                | -1,443735                                 | 18,574272                                 |
| 15937,50  | -317,0355225                 | 433,2178345      | 0,078125 | 437,7034378 | 15,9375   | 0,433217834     | 0,000595994                 | 4,441455                                  | 75,330432                                 |
| 16015,63  | -59,3677734                  | 433,6833801      | 0,078125 | 433,0653305 | 16,015625 | 0,433683338     | 0,336754688                 | 4,234185                                  | -2,653056                                 |
| 16093,75  | 229,3812012                  | 459,9823401      | 0,078125 | 450,9857368 | 16,09375  | 0,453992334     | 0,2356875                   | -1,23366                                  | -70,758416                                |
| 16171,88  | 352,0063336                  | 478,405426       | 0,078125 | 478,4862785 | 16,171875 | 0,478405426     | -0,078331641                | -4,019445                                 | -34,890048                                |
| 16250,00  | 5,2855273                    | 472,2857666      | 0,078125 | 478,8976479 | 16,25     | 0,472285767     | -0,330002953                | -3,9897                                   | 0,380736                                  |
| 16328,13  | -328,5084229                 | 441,8191003      | 0,078125 | 453,2323273 | 16,328125 | 0,441819103     | -0,125000594                | 3,392335                                  | 94,488768                                 |
| 16406,25  | -251,2882324                 | 432,0486145      | 0,078125 | 433,6010342 | 16,40625  | 0,432048615     | 0,168876563                 | 3,76173                                   | 4,729536                                  |
| 16484,38  | 39,9662109                   | 445,2420959      | 0,078125 | 436,7233944 | 16,484375 | 0,445242096     | 0,372730078                 | 2,609325                                  | -14,750784                                |
| 16562,50  | 396,6642334                  | 474,3616333      | 0,078125 | 467,7127876 | 16,5625   | 0,474361633     | 0,040285547                 | -4,25529                                  | -87,867072                                |
| 16640,63  | 136,8508301                  | 477,5089417      | 0,078125 | 478,4042587 | 16,640625 | 0,477508942     | -0,285816406                | -0,563085                                 | 4,315968                                  |
| 16718,75  | -139,4553955                 | 466,7420349      | 0,078125 | 467,509306  | 16,71875  | 0,456742035     | -0,309807422                | -0,593085                                 | 42,944256                                 |
| 16796,88  | -404,1507588                 | 432,5383301      | 0,078125 | 435,9350281 | 16,796875 | 0,432538333     | 0,023141016                 | 4,33854                                   | 62,7408                                   |
| 16875,00  | -36,7818848                  | 434,8149719      | 0,078125 | 432,9051933 | 16,875    | 0,434981497     | 0,360305659                 | 4,23891                                   | -1,275264                                 |
| 16953,13  | 287,6928172                  | 462,9638672      | 0,078125 | 453,8178378 | 16,953125 | 0,462363867     | 0,198164688                 | -2,075535                                 | -80,824896                                |
| 17031,25  | 321,1037109                  | 478,4447021      | 0,078125 | 478,9041252 | 17,03125  | 0,478444702     | -0,105426563                | -3,88584                                  | -23,171904                                |
| 17109,38  | -6,7099365                   | 470,208252       | 0,078125 | 478,3795114 | 17,109375 | 0,470208252     | -0,394616359                | -3,701655                                 | 2,357568                                  |
| 17187,50  | -357,7506582                 | 439,3786826      | 0,078125 | 450,4306412 | 17,1875   | 0,439378683     | -0,082763281                | 3,863745                                  | 96,83712                                  |
| 17265,63  | -209,9460938                 | 432,1315613      | 0,078125 | 434,0286026 | 17,265625 | 0,432191561     | 0,201097266                 | 3,761415                                  | -1,309824                                 |
| 17343,75  | 69,7184326                   | 447,8422852      | 0,078125 | 439,4753551 | 17,34375  | 0,447842285     | 0,357510938                 | 2,002095                                  | -22,519296                                |
| 17421,88  | 405,0515625                  | 475,7728271      | 0,078125 | 471,1200085 | 17,421875 | 0,475772827     | -0,017349609                | -4,354065                                 | -81,358848                                |
| 17500,00  | 99,0625488                   | 477,1282654      | 0,078125 | 478,8532701 | 17,5      | 0,477128265     | 0,307257422                 | -4,07817                                  | 3,531456                                  |
| 17578,13  | -180,5403076                 | 453,5325293      | 0,078125 | 464,7545586 | 17,578125 | 0,453532529     | -0,274710937                | 0,339795                                  | 56,543852                                 |
| 17656,25  | -387,4661816                 | 432,1307373      | 0,078125 | 434,4822006 | 17,65625  | 0,432130737     | 0,053735156                 | 4,19643                                   | 49,364928                                 |
| 17734,38  | -24,8002441                  | 436,2819214      | 0,078125 | 432,5446815 | 17,734375 | 0,436281921     | 0,377859894                 | 4,153905                                  | -0,54432                                  |
| 17812,50  | 303,6652539                  | 465,7865295      | 0,078125 | 456,270032  | 17,8125   | 0,46578653      | 0,160730853                 | -2,77668                                  | -88,711488                                |
| 17890,63  | 287,3526123                  | 478,3436279      | 0,078125 | 478,7195148 | 17,890625 | 0,478343628     | -0,132060938                | -3,747735                                 | -12,423504                                |
| 17968,75  | -19,2452637                  | 468,0263672      | 0,078125 | 477,2159786 | 17,96875  | 0,468026367     | -0,393254237                | -3,343275                                 | 5,177088                                  |
| 18046,88  | -381,3208740                 | 437,3033752      | 0,078125 | 447,4252853 | 18,046875 | 0,437303375     | -0,064522266                | 4,20777                                   | 96,653376                                 |
| 18125,00  | -167,6538574                 | 432,2625732      | 0,078125 | 434,3273277 | 18,125    | 0,432262573     | 0,237181641                 | 3,86181                                   | -4,428288                                 |
| 18203,13  | 105,1566650                  | 450,7323889      | 0,078125 | 442,5426922 | 18,203125 | 0,450792389     | 0,33283125                  | 1,224315                                  | -33,759936                                |
| 18281,25  | 404,0396490                  | 476,7948303      | 0,078125 | 474,1080437 | 18,28125  | 0,47679483      | -0,004347197                | -4,315815                                 | -70,913864                                |
| 18359,38  | 66,6610037                   | 476,4595274      | 0,078125 | 479,3183958 | 18,359375 | 0,478459527     | -0,333067891                | -4,20795                                  | 1,980672                                  |
| 18437,50  | -222,0463482                 | 450,433136       | 0,078125 | 461,9685402 | 18,4375   | 0,450433136     | -0,236685937                | 1,233945                                  | 69,656256                                 |
| 18515,63  | -362,5442193                 | 431,9420471      | 0,078125 | 433,6447735 | 18,515625 | 0,431942047     | 0,077069531                 | 4,01607                                   | 35,6112                                   |
| 18593,75  | -12,7423096                  | 437,9631042      | 0,078125 | 432,8492805 | 18,59375  | 0,437963104     | 0,389482031                 | 3,99888                                   | -0,220032                                 |
| 18671,88  | 333,7601807                  | 468,3913879      | 0,078125 | 458,7242347 | 18,671875 | 0,468391388     | 0,124811719                 | -3,38778                                  | -94,543248                                |
| 18750,00  | 250,1461670                  | 478,1423035      | 0,078125 | 478,266964  | 18,75     | 0,478142303     | -0,162474609                | -0,677265                                 | -3,705408                                 |
| 18828,13  | -36,8222300                  | 465,4489746      | 0,078125 | 475,3902225 | 18,828125 | 0,465448975     | -0,380823047                | -2,79486                                  | 11,294784                                 |
| 18906,25  | -399,5158447                 | 435,6971741      | 0,078125 | 444,1780472 | 18,90625  | 0,435697174     | -0,040682813                | 4,353795                                  | 91,502784                                 |
| 18984,38  | -128,7095947                 | 432,5188233      | 0,078125 | 434,1226101 | 18,984375 | 0,432518829     | 0,273076172                 | 4,016115                                  | -4,322304                                 |
| 19062,50  | 145,6725586                  | 453,8523053      | 0,078125 | 445,5032787 | 19,0625   | 0,453852305     | 0,304316016                 | 0,39987                                   | -46,287936                                |
| 19140,63  | 394,8497314                  | 477,627594       | 0,078125 | 476,350914  | 19,140625 | 0,477627594     | 0,002823047                 | -3,85917                                  | -54,514944                                |
| 19218,75  | 38,3545898                   | 477,8481445      | 0,078125 | 479,3473663 | 19,21875  | 0,477848145     | -0,001441406                | -0,054585                                 | 48,69732                                  |
| 19296,88  | -2,9033396                   | 477,3553347      | 0,078125 | 479,1205387 | 19,296875 | 0,477355347     | 0,001706594                 | 0,04032                                   | 1,214784                                  |
| 19375,00  | 4,2304541                    | 477,8690186      | 0,078125 | 479,4557304 | 19,375    | 0,477869019     | -0,00122891                 | -0,037395                                 | -0,994752                                 |

### A4 Werkstättenlogbuch

|  |              |   |  |
|--|--------------|---|--|
| <b>TGM</b>   |              | <b>Ausstellung eines Werkstättenauftrages</b>   |  |
|  |              | Auftragsnummer des Hauptauftrages (wenn Subauftrag): PJ 1667  |  |
| Besteller: 54HMBT Florian Ertl<br>(Bei Maturaprojekten Klasse und ein verantwortlicher Schüler der Gruppe)   |              |   |  |
| Kontaktmöglichkeit (Email/Telefon): 0650 573 5795  |              |   |  |
| Menge: 1 Auftragsbenennung: Förderanlage   |              |   |  |
| <input type="checkbox"/> Dienstlich<br><input type="checkbox"/> Privat Material beigestellt: <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein: Voraussichtliche Materialkosten (incl. MwSt): ..... Euro<br>(Kostenübernahme durch den Besteller)  |              |   |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> Maturaprojekt: Projektverantwortlicher Lehrer: Riezinger<br>Material beigestellt: <input checked="" type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein: Voraussichtliche Materialkosten (incl. MwSt): ..... Euro<br>Kostenübernahme durch: <input type="checkbox"/> Schülergruppe <input type="checkbox"/> Abteilung <input checked="" type="checkbox"/> Firma: PRIA |              |   |  |
| Beteiligte Werkstätten   | Hauptauftrag | Absprache mit Werkstätte/Kollege: HALICKI   |  |
|  |              | Menge: 1 Durchzuführende Arbeiten: Dreh-, Fräs-, Fräsiensarbeiten   |  |
|  |              | Voraussichtliche Arbeitszeit: 10 Stunden Gewünschter Liefertermin: /  |  |
|  |              | Bestätigung der/s durchführenden Werkstätte/Kollegen (Durchführbarkeit und Verwendbarkeit der beiliegenden Zeichnungen/Dokumentationen): falk |  |
| Beteiligte Werkstätten   | Subauftrag   | Absprache mit Werkstätte/Kollege: L.I.S.T.  |  |
|  |              | Menge: 1 Durchzuführende Arbeiten: Schweißarbeiten  |  |
|  |              | Voraussichtliche Arbeitszeit: 20 Stunden Gewünschter Liefertermin: /  |  |
|  |              | Bestätigung der/s durchführenden Werkstätte/Kollegen (Durchführbarkeit und Verwendbarkeit der beiliegenden Zeichnungen/Dokumentationen): /    |  |
| Beteiligte Werkstätten   | Subauftrag   | Absprache mit Werkstätte/Kollege: EISENHUT  |  |
|  |              | Menge: 1 Durchzuführende Arbeiten: Fräsarbeiten   |  |
|  |              | Voraussichtliche Arbeitszeit: 4 Stunden Gewünschter Liefertermin: /   |  |
|  |              | Bestätigung der/s durchführenden Werkstätte/Kollegen (Durchführbarkeit und Verwendbarkeit der beiliegenden Zeichnungen/Dokumentationen): /    |  |
| Beteiligte Werkstätten   | Subauftrag   | Absprache mit Werkstätte/Kollege: LIEBERT   |  |
|  |              | Menge: 1 Durchzuführende Arbeiten: Fräsarbeiten   |  |
|  |              | Voraussichtliche Arbeitszeit: 5 Stunden Gewünschter Liefertermin: /   |  |
|  |              | Bestätigung der/s durchführenden Werkstätte/Kollegen (Durchführbarkeit und Verwendbarkeit der beiliegenden Zeichnungen/Dokumentationen): /    |  |
| Unterschrift Besteller (Bei Maturaprojekten verantwortlicher Lehrer): Riezinger  |              |   |  |
| Datum: 15.12.2016 Werkstättenleitung/AV: i.V. Michael Schmal   |              |   |  |

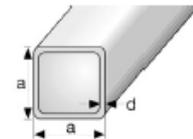
## A5 Prospekte und Auswahltabellen

### A5.1 Auswahltabellen Stahlprofile

#### FORMROHRE QUADRATISCH

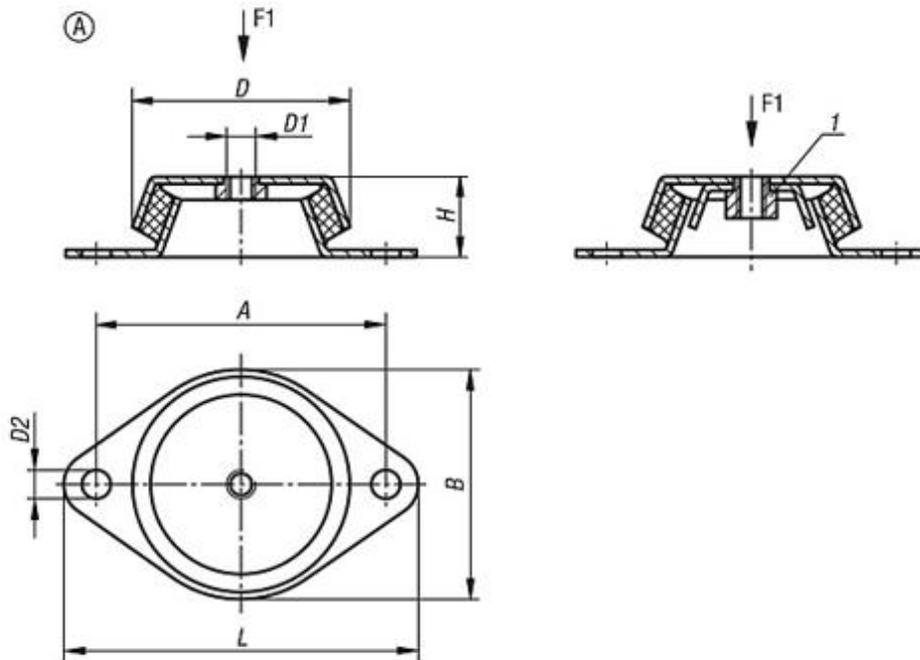
##### DIN 2395 Teil 1 + 2, Dimensionsgruppe 2

Werkstoff: S235JRG2 / EN 10025 (St37-2 DIN 17100)  
kaltgefertigt in Herstellerlängen von ca. 6m



| a x a x d<br>mm | Gewicht<br>kg/m | bis 59m<br>€/m | bis 228m<br>€/m | bis 599m<br>€/m | ab 600m<br>€/m |
|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 40 x 40 x 1,5   | 1,81            | 5,96           | 5,21            | 4,28            | 3,72           |
| 40 x 40 x 2,0   | 2,38            | 7,30           | 6,38            | 5,24            | 4,56           |
| 40 x 40 x 2,5   | 2,93            | 9,09           | 7,95            | 6,53            | 5,68           |
| 40 x 40 x 3,0   | 3,33            | 9,68           | 8,47            | 6,96            | 6,05           |
| 40 x 40 x 4,0   | 4,20            | 12,70          | 11,11           | 9,13            | 7,94           |
| 45 x 45 x 2,0   | 2,67            | 8,83           | 7,73            | 6,35            | 5,52           |
| 50 x 50 x 2,0   | 3,01            | 9,65           | 8,44            | 6,93            | 6,03           |
| 50 x 50 x 2,5   | 3,72            | 12,21          | 10,68           | 8,78            | 7,63           |
| 50 x 50 x 3,0   | 4,28            | 12,59          | 11,02           | 9,05            | 7,87           |
| 50 x 50 x 4,0   | 5,51            | 16,31          | 14,27           | 11,72           | 10,19          |
| 50 x 50 x 5,0   | 6,55            | 19,01          | 16,63           | 13,66           | 11,88          |
| 60 x 60 x 2,0   | 3,64            | 12,00          | 10,50           | 8,62            | 7,50           |
| 60 x 60 x 3,0   | 5,22            | 15,37          | 13,45           | 11,05           | 9,61           |
| 60 x 60 x 4,0   | 6,76            | 20,08          | 17,57           | 14,43           | 12,55          |
| 60 x 60 x 5,0   | 8,13            | 23,27          | 20,36           | 16,73           | 14,54          |
| 70 x 70 x 3,0   | 6,16            | 19,08          | 16,70           | 13,72           | 11,93          |
| 70 x 70 x 4,0   | 8,02            | 25,07          | 21,93           | 18,02           | 15,67          |
| 70 x 70 x 5,0   | 9,53            | 29,03          | 25,40           | 20,87           | 18,14          |
| 80 x 80 x 3,0   | 7,10            | 20,93          | 18,32           | 15,04           | 13,08          |
| 80 x 80 x 4,0   | 9,28            | 27,59          | 24,14           | 19,83           | 17,24          |
| 80 x 80 x 5,0   | 11,30           | 31,95          | 27,96           | 22,96           | 19,97          |
| 90 x 90 x 3,0   | 8,04            | 24,46          | 21,40           | 17,58           | 15,29          |
| 90 x 90 x 4,0   | 10,50           | 31,68          | 27,72           | 22,77           | 19,80          |
| 90 x 90 x 5,0   | 12,80           | 36,71          | 32,12           | 26,39           | 22,94          |
| 100 x 100 x 3,0 | 8,99            | 26,52          | 23,20           | 19,06           | 16,57          |
| 100 x 100 x 4,0 | 11,80           | 35,10          | 30,71           | 25,32           | 21,94          |
| 100 x 100 x 5,0 | 14,40           | 40,70          | 35,62           | 29,26           | 25,44          |

### A5.2 Auswahltabelle Maschinenfüße



| Bestellnummer | Ausführung           | Bauform | A   | B   | D   | D1  | D2   | H  | L   | F1 (N) | CAD | Zub. | Preis   | Bestellen                      | Reset                                |
|---------------|----------------------|---------|-----|-----|-----|-----|------|----|-----|--------|-----|------|---------|--------------------------------|--------------------------------------|
| K0687.062060  | ohne Abreißsicherung | A       | 85  | 66  | 62  | M10 | 8,2  | 30 | 110 | 1500   |     |      | 20,37 € | <input type="text" value="0"/> | <input type="button" value="Reset"/> |
| K0687.062160  | mit Abreißsicherung  | A       | 85  | 66  | 62  | M10 | 8,2  | 30 | 110 | 1500   |     |      | 25,69 € | <input type="text" value="0"/> | <input type="button" value="Reset"/> |
| K0687.078060  | ohne Abreißsicherung | A       | 110 | 78  | 78  | M10 | 9    | 30 | 128 | 1800   |     |      | 20,37 € | <input type="text" value="0"/> | <input type="button" value="Reset"/> |
| K0687.078160  | mit Abreißsicherung  | A       | 110 | 78  | 78  | M10 | 9    | 30 | 128 | 1800   |     |      | 25,69 € | <input type="text" value="0"/> | <input type="button" value="Reset"/> |
| K0687.092060  | ohne Abreißsicherung | A       | 110 | 96  | 86  | M12 | 10,2 | 45 | 140 | 3000   |     |      | 24,37 € | <input type="text" value="0"/> | <input type="button" value="Reset"/> |
| K0687.092160  | mit Abreißsicherung  | A       | 110 | 96  | 86  | M12 | 10,2 | 45 | 140 | 3000   |     |      | 36,99 € | <input type="text" value="0"/> | <input type="button" value="Reset"/> |
| K0687.106060  | ohne Abreißsicherung | A       | 140 | 110 | 106 | M12 | 12,4 | 39 | 170 | 3600   |     |      | 21,04 € | <input type="text" value="0"/> | <input type="button" value="Reset"/> |
| K0687.106160  | mit Abreißsicherung  | A       | 140 | 110 | 106 | M12 | 12,4 | 39 | 170 | 3600   |     |      | 26,80 € | <input type="text" value="0"/> | <input type="button" value="Reset"/> |

## A5.3 Auswahltabelle Frankstahl der Palette

### A5.3.1 Aluminium





**ALUMINIUM FLACHSTANGEN**

AlMgSi 0,5 EN AW 6060

gepresst T66 / Länge ca. 6m  
EN 573-3/755-1-2-5  
Werkstoff Nr. 3.3206



| ARTIKELNUMMER | a x b<br>mm | Gewicht<br>kg/m | bis 25kg<br>€/kg | bis 50kg<br>€/kg | bis 100kg<br>€/kg | bis 199kg<br>€/kg | ab 200kg<br>€/kg |
|---------------|-------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| 20003138      | 120 x 5     | 1,62            | 8,07             | 7,38             | 6,69              | 6,00              | 5,31             |
| 20003139      | 120 x 10    | 3,24            | 8,07             | 7,38             | 6,69              | 6,00              | 5,31             |
| 20003140      | 120 x 15    | 4,86            | 8,07             | 7,38             | 6,69              | 6,00              | 5,31             |
| 20003141      | 150 x 10    | 4,05            | 8,07             | 7,38             | 6,69              | 6,00              | 5,31             |
| 20003142      | 200 x 10    | 5,40            | 8,07             | 7,38             | 6,69              | 6,00              | 5,31             |
| 20003143      | 200 x 15    | 8,10            | 8,07             | 7,38             | 6,69              | 6,00              | 5,31             |

## A5.3.2 Stahl



### FEINBLECHE KALTGEWALZT

nach DIN 1541

Werkstoff: DC01, EN 10130 / EN 10131  
St 12.03, DIN 1623  
Werkzeugnis nach EN 10204 - 2.2



|   | DIMENSION      | Gewicht<br>kg/Tfl. | bis 99kg<br>€/to | bis 399kg<br>€/to | bis 999kg<br>€/to | ab 1000kg<br>€/to |
|---|----------------|--------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|   | 1000X2000X0,50 | 8,0                | 2.669            | 2.335             | 1.918             | 1.668             |
|   | 1000X2000X0,75 | 12,0               | 2.592            | 2.268             | 1.863             | 1.620             |
|   | 1000X2000X1,00 | 16,0               | 2.534            | 2.218             | 1.822             | 1.584             |
|   | 1000X2000X1,25 | 20,0               | 2.515            | 2.201             | 1.808             | 1.572             |
|   | 1000X2000X1,50 | 24,0               | 2.508            | 2.194             | 1.802             | 1.567             |
|   | 1000X2000X2,00 | 32,0               | 2.508            | 2.194             | 1.802             | 1.567             |
|   | 1000X2000X2,50 | 40,0               | 2.508            | 2.194             | 1.802             | 1.567             |
|   | 1000X2000X2,99 | 48,0               | 2.508            | 2.194             | 1.802             | 1.567             |
|   | 1250X2500X0,75 | 19,0               | 2.546            | 2.228             | 1.830             | 1.591             |
|   | 1250X2500X1,00 | 25,0               | 2.488            | 2.177             | 1.788             | 1.555             |
| + | 1250X2500X1,25 | 32,0               | 2.469            | 2.160             | 1.775             | 1.543             |
|   | 1250X2500X1,50 | 38,0               | 2.461            | 2.154             | 1.769             | 1.538             |
|   | 1250X2500X2,00 | 50,0               | 2.461            | 2.154             | 1.769             | 1.538             |
|   | 1250X2500X2,50 | 63,0               | 2.461            | 2.154             | 1.769             | 1.538             |
|   | 1250X2500X2,99 | 75,0               | 2.461            | 2.154             | 1.769             | 1.538             |
| + | 1500X3000X0,75 | 27,0               | 2.534            | 2.218             | 1.822             | 1.584             |
|   | 1500X3000X1,00 | 36,0               | 2.477            | 2.167             | 1.780             | 1.548             |
| + | 1500X3000X1,25 | 45,0               | 2.458            | 2.150             | 1.766             | 1.536             |
|   | 1500X3000X1,50 | 54,0               | 2.450            | 2.144             | 1.761             | 1.531             |
|   | 1500X3000X2,00 | 72,0               | 2.450            | 2.144             | 1.761             | 1.531             |
|   | 1500X3000X2,50 | 90,0               | 2.450            | 2.144             | 1.761             | 1.531             |
|   | 1500X3000X2,99 | 108,0              | -                | 2.144             | 1.761             | 1.531             |

## A5.4 Adapterplattenmaterial

### Materialübersicht

Die angegebenen Temperaturen basieren auf unseren 3D-Druckern und sollten als Empfehlung angesehen werden. Bitte passen Sie die Temperaturen ihren Bedürfnissen an.

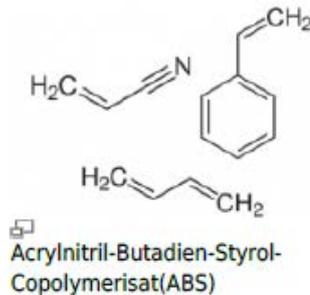
3D Drucker benötigen wie "normale" Drucker Material, aus welchem das Objekt hergestellt wird. Je nach eingesetzten Verfahren können die verschiedensten Materialien eingesetzt werden.

W **Thermoplaste** (Singular: der, von *altgriechisch*: θερμός *thermós* = warm, heiß und *πλάσσειν* *plássein* = bilden, formen), auch W **Plastomere** genannt, sind Kunststoffe, die sich in einem bestimmten Temperaturbereich (thermo-plastisch) verformen lassen. Dieser Vorgang ist reversibel, das heißt er kann durch Abkühlung und Wiedererwärmung bis in den schmelzflüssigen Zustand „beliebig oft“ wiederholt werden <sup>21</sup>, solange nicht durch Überhitzung die sogenannte thermische Zersetzung des Materials einsetzt.

| Material  | Schmelzpunkt (°C) <sup>21</sup> | Extruder (°C) <sup>21</sup> | Heizbett (°C) <sup>41</sup> | Auflage <sup>41</sup>                  | Formstabil (°C) <sup>41</sup> |
|---|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--|-------------------------------|
| <a href="#">ABS</a>                                 | 220°C                           | ~230°C - 255°C              | ~ 110°C - 115°C             | <a href="#">Carbon/PET/Kapton</a>      | ~ 140°C                       |
| <a href="#">PLA - Polylactose</a>                   | 200°C                           | ~180°C - 220°C              | ~ 55°C - 65°C               | <a href="#">Carbon/PET/Kapton/Glas</a> | ~ 60°C                        |
| <a href="#">PS - Polystyrol</a>                     | 210°C                           | ~190°C - 220°C              | ~ 80°C - 100°C              | <a href="#">Carbon/PET/Kapton</a>      | -                             |
| <a href="#">PVA - Polyvinylalkohol<sup>21</sup></a> | 210°C                           | ~190°C - 220°C              | ~ 55°C - 115°C              | <a href="#">Carbon/PET/Kapton</a>      | -                             |
| <a href="#">LAYWOOD - Holz</a>                      | 210°C                           | ~180°C - 230°C              | ~ 0°C - 80°C                | <a href="#">Carbon/PET/Kapton</a>      | ~ 60°C                        |
| <a href="#">LAYBRICK - Stein</a>                    | 160°C                           | ~165°C - 210°C              | ~ 0°C - 80°C                | <a href="#">Carbon/PET/Kapton</a>      | ~ 70°C                        |
| <a href="#">PP</a>                                  | 210°C                           | ~210°C                      | kalt                        | <a href="#">PP</a>                     | ~ 150°C                       |
| <a href="#">PA6<sup>41</sup></a>                    | 240°C                           | ~245°C - 265°C              | ~ 130°C                     | <a href="#">Kapton</a>                 | -                             |
| <a href="#">Bendlay</a>                             | 200°C                           | ~220°C                      | ~60°C                       | <a href="#">PET</a>                    | -                             |
| <a href="#">TPU9<sup>31</sup></a>                   | 190°C                           | ~190°C-215°C                | kalt                        | <a href="#">Glas</a>                   | > 120°C                       |
| <a href="#">Carbon20<sup>21</sup></a>               | 235°C                           | ~252°C                      | ~45°C                       | <a href="#">PET</a>                    | -                             |
| <a href="#">PC</a>                                  | N/A                             | ~250-270°C                  | ~80°C                       | N/A                                    | > 120°C                       |
| <a href="#">PET-G</a>                               | N/A                             | ~240-260°C                  | ~60 - 70°C                  | N/A                                    | -                             |

## Materialinfo

### ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol)



**Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymerisat** (Kurzzeichen ABS) ist ein synthetisches Terpolymer aus den drei unterschiedlichen Monomerarten Acrylnitril, 1,3-Butadien und Styrol und gehört zu den amorphen Thermoplasten.

### Spezifikation

Die folgende Spezifikation bezieht sich auf das von uns vertriebene ABS.

- **Dichte:** 1,05 g/cm<sup>3</sup>
- **Schmelze-Massefließrate MFR:** 5-9 (220 °C/10 kg), g/10 min
- **Schmelze-Volumenrate MVR:** 5-9 (220 °C/10 kg), cm<sup>3</sup>/10 min
- **Zugfestigkeit:** 2400 MPa (23°C)
- **Schlagzähigkeit:** 130 (bei 23°C), 100 (bei -30 °C) kJ/ m<sup>2</sup>
- **Kerbschlagzähigkeit Izod:** 25 (bei 23°C), 12 (bei -30° C) kJ/m<sup>2</sup>
- **Vicat-Erweichungstemperatur:** ~ 100 °C
- **Schmelztemperatur:** ab ~ 220 °C

## A5.5 Pneumax Monostabile /Bistabile Ventile



### Ventile und Magnetventile

#### Betätigungen

Der für die Steuerung des Ventils vorgesehene Teil kann verwendet werden, um das Ventil zu betätigen (schalten) oder um es zurückzustellen (wieder in die Ruhestellung bringen). Wenn die Betätigung manuell oder mechanisch angesteuert wird, handelt es sich um ein Ventil; wird sie elektrisch angesteuert, handelt es sich um ein Magnetventil.

#### Manuelle/mechanische Betätigung

Hierzu zählen Hebel, Rollen, Tasten, Pedale usw. Die Betätigung wirkt direkt auf das interne Luftverteilungssystem (Schieber).

#### Pneumatische Betätigung

Kommt normalerweise zur Anwendung, wenn das Ventil nicht direkt angesteuert werden kann; sie besteht aus einem Kolben, der nach Erhalt eines Druckluftimpulses das interne Luftverteilungssystem (Schieber) des Ventils betätigt.

#### Elektropneumatische Betätigung

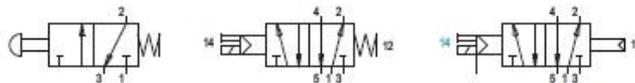
Bei dieser Betätigung wird ein elektrisches Signal in ein pneumatisches Signal umgewandelt.

#### MONOSTABILE UND BISTABILE VENTILE

Je nach der Anzahl der für den Betrieb erforderlichen Signale können Ventile als monostabil oder bistabil klassifiziert werden

#### Monostabile Ventile und Magnetventile: benötigen für den Betrieb nur ein Signal.

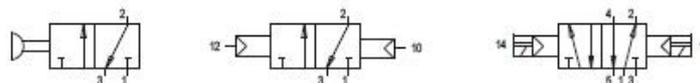
Bei diesen Ventilen ist das Rückstellglied instabil und benötigt kein externes Schaltsignal; die Rückstellung erfolgt automatisch, sobald das gegensätzliche Signal nicht mehr anliegt.



Die gängigsten instabilen Betätigungen sind mechanisch (Feder) oder pneumatisch (Differentialdruck). Bei Ersterem handelt es sich einfach um eine Feder, die den Schieber in Längsrichtung bewegt. Die zweite Betätigung basiert auf einem Kolben, der einen kleineren Durchmesser hat als die gegenüberliegende pneumatische Betätigung und daher eine geringere Kraft erzeugt. Die untenstehenden Pneumatiksymbole verdeutlichen, dass wenn das 12 V-Signal nicht anliegt, das Ventil wieder in die Ruhestellung wechselt.



**Bistabile Ventile und Magnetventile:** benötigen für den Betrieb zwei externe Signale. Dies sind Ventile mit stabiler Betätigung, wie zum Beispiel einer pneumatischen Betätigung oder Taster mit 2 Stellungen, die ihre Stellung solange beibehalten, bis das Gegensignal eintrifft.



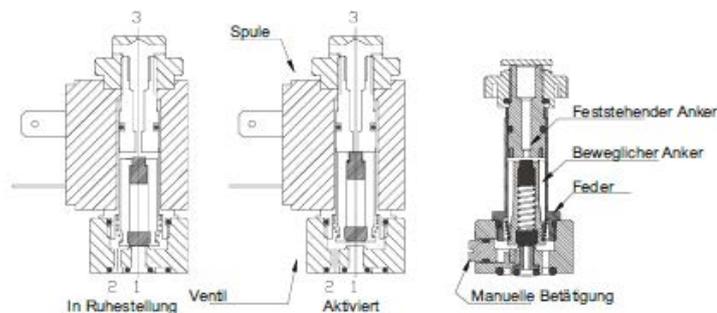
## A5.6 Pneumax Magnetventile

### Ventile und Magnetventile



#### MAGNETVENTILE

**Direkt betätigte Magnetventile:** Diese Ventile steuern direkt den Druckluftstrom vom Einlass- bis zum Auslassanschluss und können auch als Sitzventile bezeichnet werden. Der Aufbau beruht auf einem Hohlzylinder, der normalerweise aus Messing oder Stahl besteht und an einem Ende mit einem feststehenden Anker versehen ist. Im Inneren des Schafes befindet sich ein beweglicher Anker, an dem die Ventilteller sitzen. Mit Hilfe eines von einer den Schaf umschließenden Spule erzeugten Magnetfeldes wird der Anker betätigt. Der feststehende Anker ist normalerweise aus schwach magnetisierbarem Stahl gefertigt, der als Magnetfeldverstärker dient. Bei Systemen mit Wechselstromversorgung ist der Anker mit einem sogenannten Phasenverschiebungsring aus Kupfer ausgestattet, mit dessen Hilfe Vibrationen, die durch diese Art der Stromversorgung auftreten, reduziert werden. Diese Magnetventile sind in der Regel mit einer zusätzlichen manuellen Betätigung ausgestattet, die verwendet werden kann, um das Ventil jederzeit zu aktivieren (z. B. Wartung oder Überprüfung). Ausführung nur als 2/2- oder 3/2-Wegeventil (Grundstellung offen oder Grundstellung geschlossen).



**Indirekt betätigte Ventile:** Diese Ventile besitzen ein direkt betätigtes Ventil, das nach Eingang eines elektrischen Signals eine pneumatische Betätigung ansteuert.

Es gibt zwei Hauptkategorien dieser Ventile:

- **Servounterstützt** (interne Speisung): Die Betätigung wird direkt über den Druckluftanschluss 1 des Ventils gespeist. Bei Aktivierung des Magnetventils strömt die Luft über den Ventilanschluss 1 zur pneumatischen Betätigung, die das Ventil ansteuert. Der Speisedruck des Ventils entspricht dem Betätigungsdruck.

- **Externe Speisung:** Das Funktionsprinzip entspricht der servounterstützten Version, allerdings wird die Betätigung extern mit Druckluft versorgt.

Ventil- und Betätigungsdruck können unterschiedlich sein.

10

#### BEGRIFFE

**Minimaler Schaltdruck:** Bezeichnet den zum Schalten des Ventils erforderlichen Mindestdruck; unterhalb dieses Wertes arbeitet das Ventil nicht.

**Minimale Schaltkraft:** Bezeichnet bei mechanisch betätigten Ventilen die minimal erforderliche mechanische bzw. manuelle Kraft, um das Ventil zu schalten.

**Maximaler Arbeitsdruck:** Maximaldruck, bei dem das pneumatische Gerät gefahrlos arbeiten kann.

**Nominale Durchlassgröße:** Bezeichnet die minimale Größe der Anschlussbohrung.

**Minimal- und Maximaltemperatur:** Bezeichnet den Temperaturbereich, in dem das Gerät gefahrlos arbeiten kann.

## A5.7 Datenblatt Kompressor

|                 |   |
|-----------------|---|
|                 |  |
| Testergebnis    | <b>TESTSIEGER</b>   |
| Bezeichnung     | <b>IMPLOTEX 850W</b>  |
| Kundenbewertung | Bewertungen lesen<br>★★★★★  |
| Leistung        | 1,12 PS   |
| Kesseldruck     | 8 bar   |
| Ansaugleistung  | 150 l/min   |
| Kesselinhalt    | 35 l  |
| Gewicht         | 30 kg   |

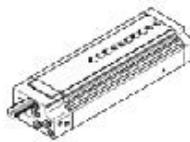
## A5.8 Datenblatt Festo DGSL

### Mini-Schlitten DGSL-16-80-Y3A

Teilenummer: 544002  
★ Kernprogramm

für Positionserkennung, mit hochpräziser hochbelastbarer Kugel-Käfig-Führung und einer sehr hohen Wiederholgenauigkeit, beidseitig hydraulische Stoßdämpfer (Y3).

**FESTO**



### Datenblatt

| Merkmal                                     | Werte  |
|---|--|
| Hub   | 80 mm  |
| Justierbarer Endlagenbereich / Länge vorne  | 71,5 mm  |
| Justierbarer Endlagenbereich / Länge hinten | 38,5 mm  |
| Kolben-Durchmesser                          | 20 mm  |
| Betriebsart Antriebseinheit                 | Joch   |
| Dämpfung                                    | Y3: Stoßdämpfer progressiv beidseitig                      |
| Einbaulage                                  | beliebig   |
| Führung                                     | Kugelführung   |
| Konstruktiver Aufbau                        | Joch-Kinematik   |
| Positionserkennung                          | für Näherungsschalter                                      |
| Betriebsdruck                               | 1 ... 8 bar  |
| Max. Geschwindigkeit                        | 0,8 m/s  |
| Wiederholgenauigkeit                        | ±0,01 mm   |
| Funktionsweise                              | doppeltwirkend   |
| Betriebsmedium                              | Druckluft nach ISO 8573-1:2010 [7:4:4]                     |
| Hinweis zum Betriebs- und Steuermedium      | Geölter Betrieb möglich (im weiteren Betrieb erforderlich) |
| Korrosionsbeständigkeitsklasse KBK          | 0  |
| Umgebungstemperatur                         | 0 ... 60 °C  |
| Aufprallenergie in den Endlagen             | 4 Nm   |
| Dämpfungslänge                              | 14 mm  |
| Max. Kraft Fy                               | 2.800 N  |
| Max. Kraft Fz                               | 2.800 N  |
| Max. Moment Mx                              | 50 Nm  |
| Max. Moment My                              | 27 Nm  |
| Max. Moment Mz                              | 27 Nm  |
| Theoretische Kraft bei 6 bar, Rücklauf      | 158 N  |
| Theoretische Kraft bei 6 bar, Vorlauf       | 188 N  |
| Bewegte Masse                               | 618 g  |
| Produktgewicht                              | 1.433 g  |
| Alternativanschlüsse                        | siehe Produktzeichnung                                     |
| Befestigungsart                             | mit Durchgangsbohrung                                      |
| Pneumatischer Anschluss                     | M5   |
| Werkstoffhinweis                            | Kupfer- und PTFE-frei<br>RoHS konform                      |
| Werkstoffinformation Deckel                 | Aluminium-Knetlegierung                                    |
| Werkstoffinformation Dichtungen             | HNBR   |
| Werkstoffinformation Gehäuse                | Aluminium-Knetlegierung                                    |
| Werkstoffinformation Kolbenstange           | hochlegierter Stahl rostfrei                               |

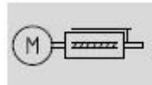
## A5.9 Datenblatt Festo EGSL

### Mini-Schlitten EGSL, elektrisch

FESTO

Datenblatt

Funktion



Hinweis  
Alle Werte beziehen sich auf die Raumtemperatur von 20 °C.



Baugröße  
35, 45, 55, 75

Hublänge  
50 ... 300 mm

Reparaturservice

| Allgemeine Technische Daten       |                     |  |          |               |               |       |       |       |
|-----------------------------------|---------------------|--|----------|---------------|---------------|-------|-------|-------|
| Baugröße                          |                     | 35   | 45       | 55            | 75            |       |       |       |
| Spindelsteigung                   | [mm]                | 8  | 3        | 10            | 5             | 12,7  | 10    | 20    |
| Konstruktiver Aufbau              |                     | elektrischer Mini-Schlitten<br>mit Kugelgewindtrieb<br>mit Führung |          |               |               |       |       |       |
| Führung                           |                     | Kugelführung   |          |               |               |       |       |       |
| Befestigungsart                   |                     | mit Innengewinde<br>mit Zentrierflase<br>mit Zubehör               |          |               |               |       |       |       |
| Einbaulage                        |                     | beliebig   |          |               |               |       |       |       |
| Arbeitshub                        | [mm]                | 50   | 100, 200 | 100, 200, 250 | 100, 200, 300 |       |       |       |
| Max. zul. Nutzlast, waagrecht     | [kg]                | 2  | 6        | 10            | 14            |       |       |       |
| Max. zul. Nutzlast, senkrecht     | [kg]                | 2  | 6        | 10            | 14            |       |       |       |
| Dauervorschubkraft $F_x$          | [N]                 | 50   | 100      | 200           | 300           |       |       |       |
| Max. Vorschubkraft $F_x$          | [N]                 | 75   | 150      | 300           | 450           |       |       |       |
| Max. Leerlaufantriebsmoment       | [Nm]                | 0,015  | 0,090    | 0,080         | 0,100         | 0,135 | 0,265 | 0,165 |
| Max. Antriebsmoment <sup>1)</sup> | [Nm]                | 0,2  | 0,45     | 0,51          | 0,9           | 1,25  | 3,25  | 3,25  |
| Max. Radialkraft <sup>2)</sup>    | [N]                 | 20   | 120      | 260           | 300           |       |       |       |
| Max. Geschwindigkeit              | [m/s]               | 0,5  | 0,3      | 1,0           | 0,4           | 1,0   | 0,65  | 1,3   |
| Nennbeschleunigung                | [m/s <sup>2</sup> ] | 15   |          |               |               |       |       |       |
| Max. Beschleunigung <sup>3)</sup> | [m/s <sup>2</sup> ] | 25   |          |               |               |       |       |       |
| Wiederholgenauigkeit              | [mm]                | ±0,015   |          |               |               |       |       |       |
| Max. Reversierspiel <sup>4)</sup> | [µm]                | ±50  |          |               |               |       |       |       |

1) Belastung und Beschleunigungsmoment der rotierenden Masse berücksichtigt

2) Am Antriebschaft

3) Die max. Beschleunigung ist abhängig von der bewegten Masse, dem Antriebsmoment und der max. Vorschubkraft

4) Im Neuzustand

| Betriebs- und Umweltbedingungen |         |              |    |    |    |
|---------------------------------|---------|--------------|----|----|----|
| Baugröße                        |         | 35           | 45 | 55 | 75 |
| Umgebungstemperatur             | [°C]    | 0 ... +60    |    |    |    |
| Schutzart                       |         | IP40         |    |    |    |
| Einschaltdauer                  | [%]     | 100          |    |    |    |
| Schalldruckpegel                | [dB(A)] | 60           |    |    |    |
| Wartungsintervall               |         | wartungsfrei |    |    |    |

## A5.10 Datenblatt Festo CPV

### Ventilinsel CPV, Compact Performance

Merkmale



#### CPV – Die Vorteile im Überblick

CPV besticht durch einen einzigartigen konstruktiven Aufbau. Dieser ermöglicht den flexiblen Mix aus pneumatischen Leistungen, elektrischen Anschlusstechniken und vielseitigen Montagearten. Insbesondere kann durch den pneumatischen Multipol ein besonders platzsparender Einbau in Schaltschränken realisiert werden. Oft kann die Ventilinsel direkt im bisher ungenutzten Wandbereich des Schaltschranks eingebaut werden. Ein Verschlauchen der Ventile im Schaltschrank entfällt. Alle Schlauchanschlüsse können nach außen gelegt werden. Anstelle einzelner Bohrun-

gen benötigt der pneumatische Multipol nur einen rechteckigen Durchbruch. Hohe Durchflussleistungen werden durch großzügig dimensionierte Durchströmungskanäle und leistungsstarke flächenschalldämpfer erreicht. Alle Ventile sind als Ventilscheiben realisiert. Sie sind strömungstechnisch optimiert und bauen ausgesprochen kompakt. Durch zwei Funktionen pro Ventilscheibe (z. B. 2x 3/2-Wegeventile) kann die doppelte Packungsdichte erreicht werden. Dies spart Bauraum und senkt die Kosten.

Die kubische Bauform ermöglicht eine hervorragende Leistungsdichte bei einem vergleichsweise geringen Gewicht. Diese Vorteile werden deutlich, wenn die Ventilinsel auf einem Antrieb mitbewegt wird. Auf die erforderliche Robustheit muss trotz aller Kompaktheit nicht verzichtet werden. Anschlussgewinde und Befestigungselemente sind aus Metall. Die Handhülsbetätigung der Ventile kann für unterschiedliche Betriebsituationen angepasst werden. Wird z. B. für den Einrichtbetrieb eine rastende Handhülsbetätigung benötigt, so kann diese für den Betriebsinsatz auf

einfache Weise so umgebaut werden, dass Fehlbedienungen ausgeschlossen sind. Zur sicheren Bedienung gehören auch die übersichtlichen und groß dimensionierten Beschriftungssysteme. Ein besonderes Plus ist die Vielzahl der elektrischen Anschlusstechniken. Vom Ventileinzelanschluss bis zum vielseitig ausbaubaren Bussystem sind alle Arten der Ventilsteuerung möglich. Die Integration elektrischer Eingangs- und Ausgangsmodule erlaubt kostengünstige Lösungen in den unterschiedlichen Installationskonzepten.

#### Das Konstruktionsprinzip

Die kubische Bauform stellt auf jeder Seite eine eindeutig zugeordnete Funktion zur Verfügung. So wird z. B. der elektrische Anschluss auf der oberen Anschlussenebene befestigt.

Ein optionaler Schilderträger wird von vorne auf die Ventilinsel aufgesetzt. Die unterschiedlichen Kombinationsmöglichkeiten ermöglichen die optimale Lösung für die gewünschte Aufgabe.

- Pneumatische Versorgungsanschlüsse links, rechts oder von unten
- Pneumatische Arbeitsanschlüsse und Funktionsbausteine (Höhenverkettung) unten

- Manuelle Bedienung / Kennzeichnung von vorne
- Elektrische Anschlussenebene von oben
- Befestigungsebene hinten bzw. über pneumatischen Multipol auch vorne

**Ventilinsel CPV, Compact Performance**



Merkmale – Pneumatik

**Ventile**

CPV Ventile sind als Vollplattenventile realisiert, d.h. sie beinhalten neben der Ventilfunktion auch alle pneumatischen Kanäle zur Versorgung, Entlüftung und für die Arbeitsanschlüsse. Die Versorgungskanäle sind zentraler Bestandteil der Ventilscheiben und

ermöglichen eine direkte Durchströmung der Ventilscheiben. Auf diese Weise werden höchste Durchflüsse erreicht. Alle Ventile enthalten zur Leistungssteigerung eine pneumatische Vorsteuerung. Die Ventilfunktion basiert auf

einem Kolbenschiebersystem mit patentiertem Dichtprinzip, welches einen breiten Einsatzbereich und hohe Lebensdauer gewährleistet. Die Bauteile der Pneumatik und die pneumatischen Funktionen

sind für alle Ansteuerungsarten immer gleich. Die meisten Funktionen sind auch in den verschiedenen Baugrößen der Ventile (Rastermaß) verfügbar. Auf Einschränkungen wird besonders hingewiesen.

| Ventilfunktion |               |          |    |    |   |
|----------------|---------------|----------|----|----|---|
| Code           | Schaltzeichen | Baugröße |    |    | Beschreibung  |
|                |               | 10       | 14 | 18 |   |
| M, MK          |               | ■        | ■  | ■  | 5/2-Wegeventil, monostabil<br>• Rückstellung über pneumatische Feder<br>• Kolbenschieberventil<br>• Mit Kanaltrennung 1, 11 bei Ventil MK<br>• Baugröße 18 nur bei Ventil M   |
| F              |               | ■        | -  | -  | 5/2-Wegeventil, monostabil<br>• Rückstellung über pneumatische Feder<br>• Kolbenschieberventil<br>• Schnellschaltend  |
| L, JK          |               | ■        | ■  | ■  | 5/2-Wegeventil, bistabil<br>• Kolbenschieberventil<br>• Mit Kanaltrennung 1, 11 bei Ventil JK<br>• Baugröße 18 nur bei Ventil J   |
| C, CK          |               | ■        | ■  | ■  | 2x3/2-Wegeventil, monostabil<br>• Ruhestellung geschlossen<br>• Rückstellung über pneumatische Feder<br>• Kolbenschieberventil<br>• Mit Kanaltrennung 1, 11 bei Ventil CK<br>• Baugröße 18 nur bei Ventil C   |
| CY             |               | ■        | -  | -  | 2x3/2-Wegeventil, monostabil<br>• Ruhestellung geschlossen<br>• Rückstellung über pneumatische Feder<br>• Integrierte Rückstausicherung<br>• Kolbenschieberventil<br>• Nicht vakuumtauglich<br>- Hinweis<br>Wenn sichergestellt werden soll, dass die Rückstauklappen bei einem plötzlichen Verlust des Betriebsdruckes bzw. Abschalten des Betriebsdruckes sicher geschlossen sind, muss die Ventilinsel mit externer Steuerluftversorgung betrieben werden. |

**Ventilinsel CPV, Compact Performance**

Merkmale – Pneumatik

**FESTO**

**Druckzonen bilden**

Durch unterschiedlichen Druck am Anschluss 1 und 11 werden zwei Druckniveaus pro Ventil bewirkt. So kann z. B. ein Zylinderantrieb mit hohem Druck ausfahren und energiesparend mit

geringem Druck zurückgefahren werden. Die maximal mögliche Anzahl von Druckzonen wird durch die Kombination folgender Komponenten bestimmt:

- Verwendung einer Trennplatte
- Art des Endplattenpaares
- Art der Ventilscheiben
- Anzahl der Ventilscheiben

Mit Hilfe von Trennplatten bzw. Ventilen mit integrierter Kanaltrennung können Sie die CPV-Ventilinsel in 2 bis 4 Druckzonen aufteilen.

| Trennplatten/Ventile mit integrierter Kanaltrennung |   | Baugröße |    |    | Hinweis   |
|---|---|----------|----|----|---|
| Code  | Bildzeichen   | 10       | 14 | 18 |   |
| T   | <p>Trennplatte zum Bilden von Druckzonen, Versorgungskanal 1 und 11 sind getrennt</p>                 | ■        | ■  | ■  | <p>Mit einer Trennplatte (Code T) wird nur der Kanal für die Luftversorgung (Anschluss 1 und 11) unterbrochen, um zwei Druckniveaus zu erlauben.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nicht auf erstem oder letztem Ventilplatz</li> <li>• Nicht mit Druckversorgung A, B, C, D, U, V, W, X</li> </ul>  |
| S   | <p>Trennplatte zum Bilden von Druckzonen, Versorgungskanal 1, 11 und Entlüftung 3/5 sind getrennt</p> | ■        | ■  | ■  | <p>Bei der Trennplatte (Code S) ist neben dem Versorgungskanal 1 und 11 auch der Abluftkanal 3/5 unterbrochen. Diese Platte ist dann zu verwenden, wenn einer der Druckbereiche Vakuum ist, um eine Beeinflussung des Vakuums zu vermeiden oder zur Verhinderung von Rückstaudrücken auf benachbarten Ventilfunktionen.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nicht auf erstem oder letztem Ventilplatz</li> <li>• Nicht mit Druckversorgung A, B, C, D, U, V, W, X (einseitige Druckversorgung)</li> </ul>      |
| L   | <p>Reserveplatte (Reserveplatz)</p>   | ■        | ■  | ■  | <p>Mit einer Reserveplatte (Code L) wird ein Reserveplatz geschaffen, an dessen Stelle später ein Ventil eingesetzt werden kann.</p>  |
| MK, JK, CK, NK, DK, IK                              | <p>Ventil mit integrierter Trennung von Kanal 1 und 11</p>  | ■        | ■  | -  | <p>Bei diesen Ventilen sind die Kanäle zur Luftversorgung (Anschluss 1 und 11) durch eine Gushaut zur rechten Seite des Ventils verschlossen. Gegenüber der Verwendung einer Trennplatte bietet dies den Vorteil, dass kein Ventilplatz durch eine Trennplatte belegt wird.</p> <p><b>Hinweis</b></p> <p>Bei Druckversorgung mit interner Steuerluft über die rechte Endplatte ist rechts angrenzend an dieses Ventil mindestens ein weiteres Ventil mit Code M, F, J, C, CY, N, H, G, D, I, A oder E zu verwenden.</p> |

Ventilinsel CPV, Compact Performance

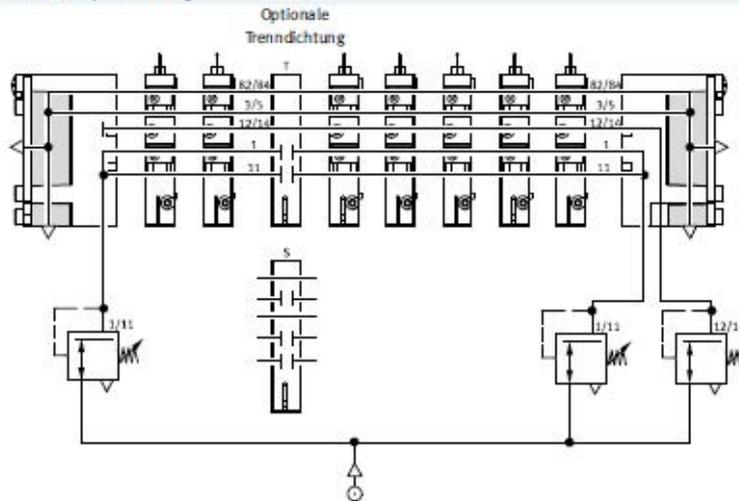


Merkmale - Pneumatik

Beispiele: Pneumatische Versorgung

Externe Steuerluftversorgung, Flächenschalldämpfer bei beidseitiger  
Pneumatischer Versorgung über  
pneumatischen Multipol:  
Code H

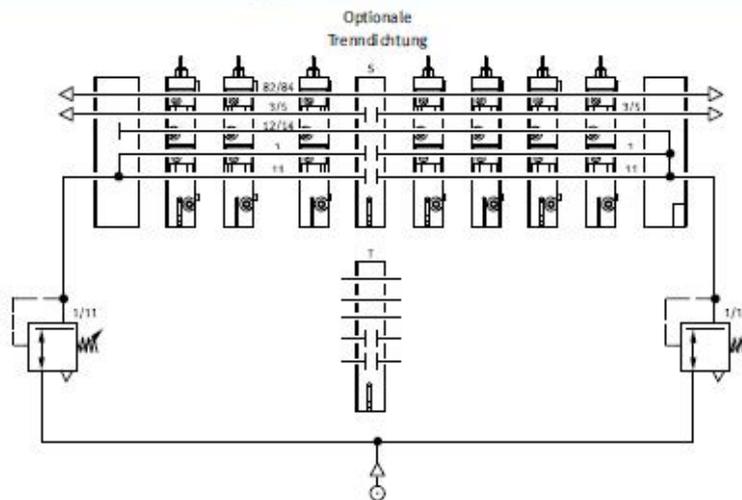
Nebenstehende Abbildung zeigt beispielhaft den Aufbau und Anschluss der Druckversorgung bei externer Steuerluftversorgung. Der Anschluss 12/14 am pneumatischen Multipol ist hierfür mit einer Verschraubung ausgestattet. Die Abluft 3/5 und 82/84 wird über die Flächenschalldämpfer abgeführt. Je eine Trenndichtung kann optional zur Bildung von Druckzonen genutzt werden.



Interne Steuerluftversorgung, gefasste Abluft oder Einschraubschalldämpfer

Pneumatische Versorgung über  
Endplatten:  
Code Z

Nebenstehende Abbildung zeigt beispielhaft den Aufbau und Anschluss der Druckversorgung bei interner Steuerluftversorgung. Hier wird die Steuerluftversorgung in der rechten Endplatte vom Anschluss 1 bzw. 11 abgezweigt. Die Abluft 3/5 und 82/84 wird über die Einschraubschalldämpfer abgeführt. Je eine Trenndichtung kann optional zur Bildung von Druckzonen genutzt werden.



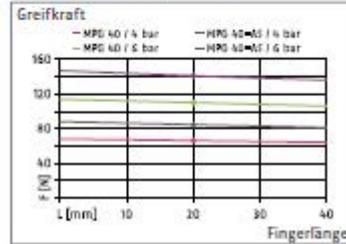
## A5.11 Datenblatt Schunk MPG

### MPG 40

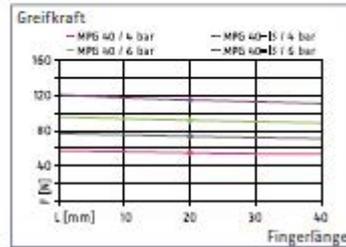
SCHUNK Greifer pneumatisch | 2-Finger-Parallelgreifer | Miniatur-Parallelgreifer



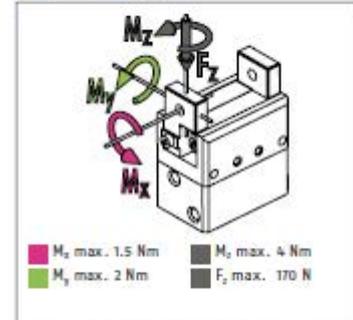
#### Greifkraft Außengreifen



#### Greifkraft Innengreifen



#### Fingerbelastung



Die angegebenen Momente und Kräfte sind statische Werte, gelten je Grundbacke und dürfen gleichzeitig auftreten.  $M_y$  darf zusätzlich zu dem durch die Greifkraft erzeugten Moment auftreten. Bei Überschreitung des max. zul. Fingergewichtes ist zwingend eine Drosselung vorzunehmen, dass die Backenbewegung schlag- und prelfrei erfolgt. Die Lebensdauer kann sich verringern.

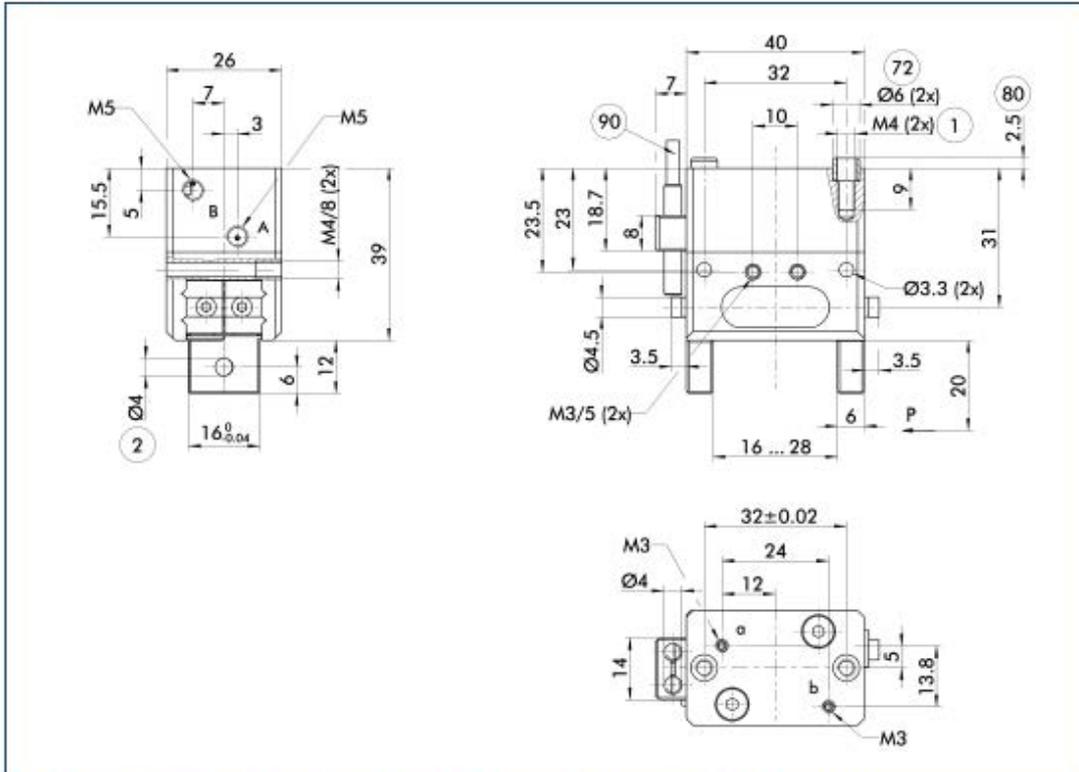
#### Technische Daten

| Bezeichnung                           |                    | MPG 40    | MPG 40-IS  | MPG 40-IS  |
|---------------------------------------|--------------------|-----------|------------|------------|
| Ident.-Nr.                            |                    | 0340012   | 0340042    | 0340062    |
| Hub pro Backe                         | [mm]               | 6         | 6          | 6          |
| Schließ- / Öffnungskraft              | [N]                | 110/90    | 145/-      | -/115      |
| min. Federkraft                       | [N]                |           | 35         | 25         |
| Eigenmasse                            | [kg]               | 0.2       | 0.26       | 0.26       |
| empfohlenes Werkstückgewicht          | [kg]               | 0.55      | 0.55       | 0.55       |
| Fluidverbrauch pro Doppelhub          | [cm <sup>3</sup> ] | 3.6       | 10.4       | 8.5        |
| min. / max. Betriebsdruck             | [bar]              | 2/8       | 4/6.5      | 4/6.5      |
| Nennbetriebsdruck                     | [bar]              | 6         | 6          | 6          |
| Schließ- / Öffnungszeit               | [s]                | 0.05/0.05 | 0.055/0.08 | 0.08/0.055 |
| Schließ- / Öffnungszeit nur mit Feder | [s]                |           | 0.20       | 0.20       |
| max. zulässige Fingerlänge            | [mm]               | 40        | 40         | 40         |
| max. zulässige Masse pro Finger       | [kg]               | 0.08      | 0.08       | 0.08       |
| Schutzart IP                          |                    | 30        | 30         | 30         |
| min. / max. Umgebungtemperatur        | [°C]               | 5/90      | 5/90       | 5/90       |
| Wiederholgenauigkeit                  | [mm]               | 0.02      | 0.02       | 0.02       |
| Reinraumklasse ISO 14644-1            |                    | 5         | 5          | 5          |

**MPG 40**

SCHUNK Greifer pneumatisch | 2-Finger-Parallelgreifer | Miniatur-Parallelgreifer

**Hauptansicht**

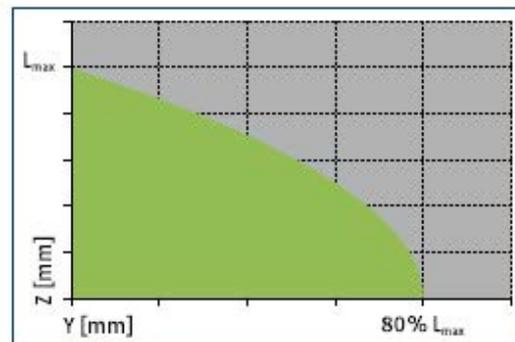
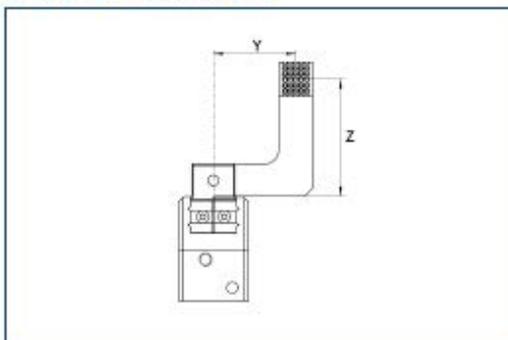


Die Zeichnung zeigt den Greifer in der Grundausführung mit geöffneten Backen ohne maßliche Berücksichtigung der nachstehend beschriebenen Optionen.

① Alternativ / zusätzlich zur federgestützten, mechanischen Greifkraft-erhaltung kann für Innen- bzw. Außengreifen auch das Druckerhaltungsventil SDV-P eingesetzt werden (siehe Katalogteil „Zubehör“).

- A, a Haupt-, Direktanschluss Greifer öffnen
- B, b Haupt-, Direktanschluss Greifer schließen
- ① Greiferanschluss
- ② Fingeranschluss
- 72 Passung für Zentrierhülse
- 80 Tiefe der Zentrierhülsenbohrung im Gegenstück
- 90 Sensor IN ...

**Maximal zulässige Auskrümmung**



■ Zulässiger Bereich      ■ Unzulässiger Bereich  
 $L_{max}$  entspricht der maximal zulässigen Fingerlänge, siehe technische Datentabelle.

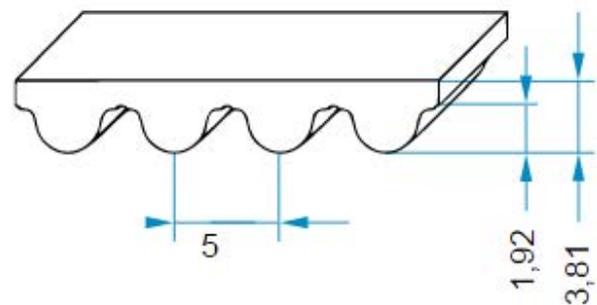
## A5.12 Zahnriemen und Zahnriemenscheiben der einzelnen Konzepte

### A5.12.1 Konzept 1

#### Technische Details

|                        |                |
|------------------------|----------------|
| Temperaturbereich      | -30 bis +100°C |
| min. Scheibenzähnezahl | 13 Zähne       |
| min. Durchmesser       | 60 mm          |
| Rückenspannrolle       |                |
| Breite                 | <breite>       |
| Zähnezahl              | 420            |
| Länge                  | 2100 mm        |

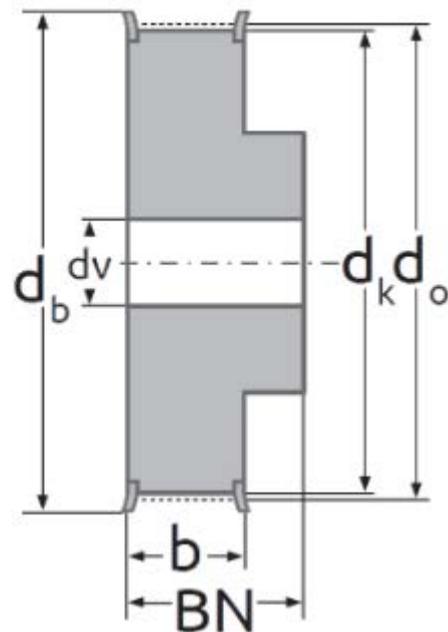
#### Technische Zeichnungen



#### Technische Details

|                                    |                  |
|------------------------------------|------------------|
| Riemenbreite                       | 9-10 mm          |
| Gewicht                            | 0.034            |
| Zähnezahl                          | 14               |
| max. Riemenbreite                  | 9 mm             |
| Ausführung                         | 6F               |
| Material                           | Stahl            |
| Bordscheiben                       | 2                |
| Wirkkreis $\emptyset$ ( $d_0$ )    | 22,28            |
| Kopfkreis $\emptyset$ ( $d_k$ )    | 21,14            |
| Bordscheiben $\emptyset$ ( $d_b$ ) | 25               |
| Breite verzahnt ( $b$ )            | 14,5             |
| Gesamtbreite (BN)                  | 20               |
| Naben $\emptyset$                  | 13               |
| Wellenverbindung                   | an- / vorgebohrt |

#### Technische Zeichnungen

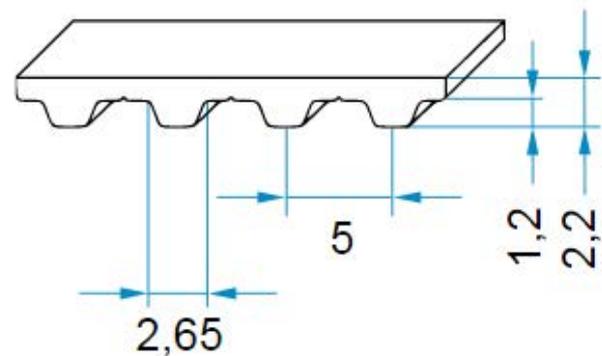


## A5.12.2 Konzept 2

### Technische Details

|   |                    |
|---|--------------------|
| Temperaturbereich                           | -30°C bis<br>+80°C |
| Lasttrunkkraft                              | 168 N              |
| Umfangskraft                                | 264 N              |
| Riemensteifigkeit                           | 84000 N            |
| Reibwert Zahnseite gegen<br>Kunststoff (PE) | 0,2-0,4            |
| Reibwert Zahnseite gegen<br>Stahl           | 0,5-0,7            |
| min. Scheibenzähnezahl                      | 10 Zähne           |
| min. Durchmesser                            | 30 mm              |
| Rückenspannrolle                            |                    |
| Breite                                      | 10 mm              |
| Zähnezahl                                   | variabel           |
| Härte                                       | 92 Shore A         |
| Zugträger                                   | Stahl              |

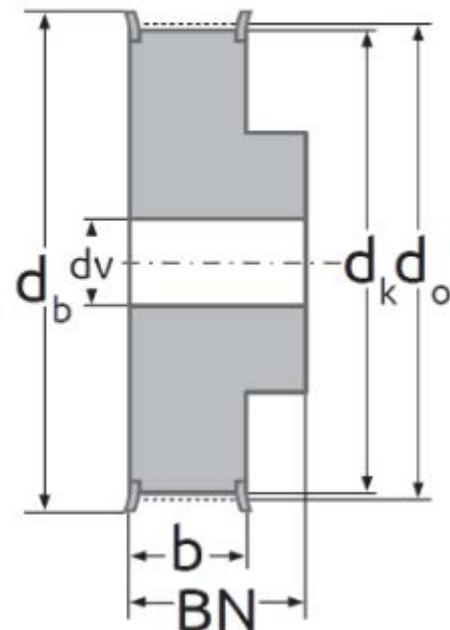
### Technische Zeichnungen



### Technische Details

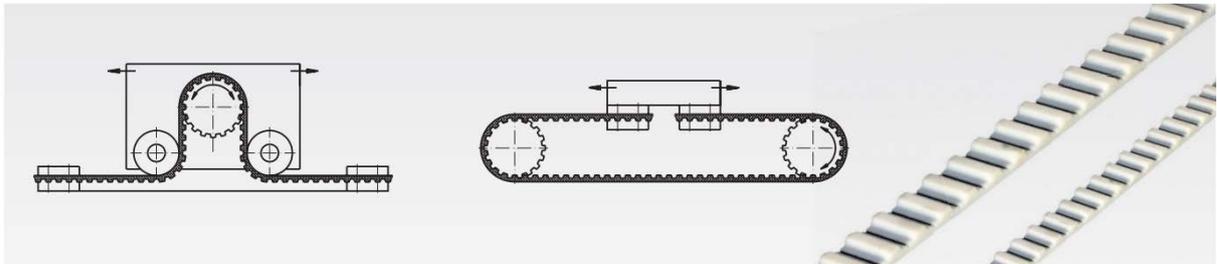
|                                    |                  |
|------------------------------------|------------------|
| Riemenbreite                       | 9-10 mm          |
| Gewicht                            | 0.054            |
| Zähnezahl                          | 24               |
| max. Riemenbreite                  | 10 mm            |
| Ausführung                         | 6F               |
| Material                           | Aluminium        |
| Bordscheiben                       | 2                |
| Wirkkreis $\emptyset$ ( $d_0$ )    | 38,2             |
| Kopfkreis $\emptyset$ ( $d_k$ )    | 37               |
| Bordscheiben $\emptyset$ ( $d_b$ ) | 42               |
| Breite verzahnt ( $b$ )            | 15               |
| Gesamtbreite (BN)                  | 21               |
| Naben $\emptyset$                  | 24               |
| Wellenverbindung                   | an- / vorgebohrt |

### Technische Zeichnungen



### A5.12.3 Konzept 3

#### Zahnriemen Meterware aus thermoplastischem Polyurethan (TPU), schweißbar



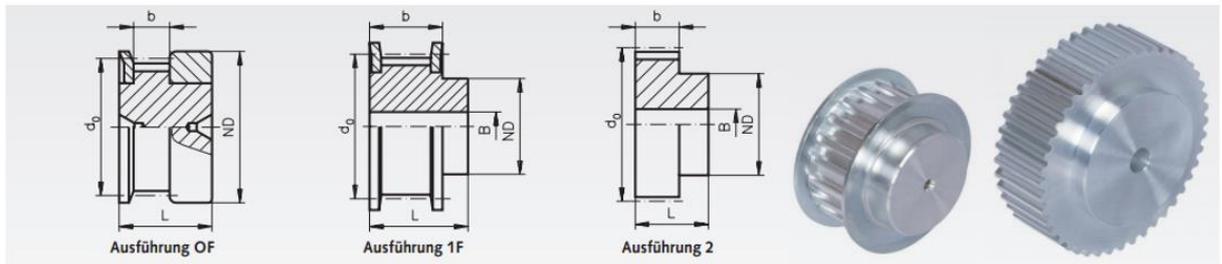
**Werkstoff:** Thermoplastisches Polyurethan (TPU) mit Stahlzugstrang. TPU-Riemen sind verschweißbar (Zugfestigkeit -50%).

Bestellangaben: z.B.: 160 600 00, Zahnriemen Meterware T 2,5, Breite 6 mm.

#### T-Zahnriemen Meterware

| Artikel-Nr. | Profil | Riemenbreite<br>mm | Rollenlänge<br>max. m | zul. Riemenzugkraft <sup>1)</sup><br>N | Gewicht<br>g/m | passende Klemmplatte <sup>2)</sup><br>Artikel-Nr. |
|-------------|--------|--------------------|-----------------------|--|----------------|---|
| 160 600 00  | T 2,5  | 6                  | 50                    | 72                                     | 15             | 160 699 00  |

#### T-Zahnriemenräder, Teilung 2,5 mm aus Aluminium



**Werkstoff:** Aluminium 6082-T6, UNI 9006. Bordscheiben Stahl verzinkt.

Bestellangaben: z.B.: Art.-Nr. 160 212 00, Zahnriemenrad, Teilung T2,5, 12 Zähne, Zahnriemenbreite 6 mm

#### Profil T 2,5, Zahnriemenbreite 6 mm

| Artikel-Nr.<br>Zahnriemenbreite<br>6 mm | Typ          | Zähne-<br>zahl | Aus-<br>füh-<br>rung | Außen-Ø           |                   | d <sub>0</sub><br>mm | ND<br>mm | b<br>mm | L<br>mm | Vor-<br>bohrung B<br>mm | Gewicht<br>g |
|---|--------------|----------------|----------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------|---------|---------|-------------------------|--------------|
|   |              |                |                      | Zahnscheibe<br>mm | Bordscheibe<br>mm |                      |          |         |         |                         |              |
| 160 212 00                              | 16 T2,5/12-2 | 12             | OF                   | 9,00              | 13,0              | 9,56                 | 12       | 9       | 16      | -                       | 3            |
| 160 214 00                              | 16 T2,5/14-2 | 14             | OF                   | 10,60             | 15,0              | 11,14                | 14       | 9       | 16      | -                       | 4            |
| 160 215 00                              | 16 T2,5/15-2 | 15             | OF                   | 11,40             | 15,0              | 11,94                | 15       | 9       | 16      | -                       | 5            |
| 160 216 00                              | 16 T2,5/16-2 | 16             | OF                   | 12,20             | 16,0              | 12,73                | 16       | 9       | 16      | -                       | 5            |
| 160 218 00                              | 16 T2,5/18-2 | 18             | 1F                   | 13,80             | 18,0              | 14,32                | 10       | 10      | 16      | 3                       | 6            |
| 160 219 00                              | 16 T2,5/19-2 | 19             | 1F                   | 14,60             | 18,0              | 15,12                | 10       | 10      | 16      | 3                       | 7            |
| 160 220 00                              | 16 T2,5/20-2 | 20             | 1F                   | 15,40             | 19,5              | 15,92                | 11       | 10      | 16      | 3                       | 8            |
| 160 222 00                              | 16 T2,5/22-2 | 22             | 1F                   | 17,00             | 23,0              | 17,51                | 11       | 10      | 16      | 3                       | 9            |
| 160 224 00                              | 16 T2,5/24-2 | 24             | 1F                   | 18,55             | 23,0              | 19,15                | 12       | 10      | 16      | 3                       | 12           |
| 160 225 00                              | 16 T2,5/25-2 | 25             | 1F                   | 19,35             | 23,0              | 19,95                | 13       | 10      | 16      | 3                       | 13           |
| 160 226 00                              | 16 T2,5/26-2 | 26             | 1F                   | 20,15             | 25,0              | 20,75                | 14       | 10      | 16      | 4                       | 14           |
| 160 228 00                              | 16 T2,5/28-2 | 28             | 1F                   | 21,75             | 25,0              | 22,35                | 14       | 10      | 16      | 4                       | 16           |
| 160 230 00                              | 16 T2,5/30-2 | 30             | 1F                   | 23,35             | 28,0              | 23,95                | 16       | 10      | 16      | 6                       | 18           |

### A5.13 Antriebsmotor

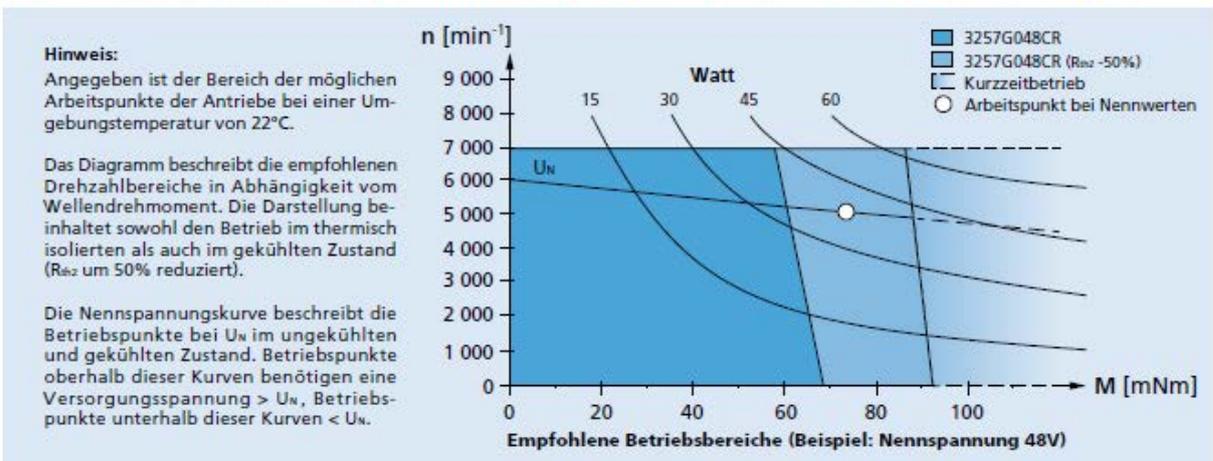
#### Serie 3257 ... CR

| Werte bei 22°C und Nennspannung |   | 3257 G                  | 012 CR                                  | 018 CR | 024 CR | 036 CR | 048 CR |                                 |
|---------------------------------|---|-------------------------|---|--------|--------|--------|--------|---------------------------------|
| 1                               | Nennspannung  | $U_N$                   | 12                                      | 18     | 24     | 36     | 48     | V                               |
| 2                               | Anschlusswiderstand                                   | $R$                     | 0,41                                    | 0,84   | 1,63   | 4,15   | 6,56   | $\Omega$                        |
| 3                               | Wirkungsgrad, max.                                    | $\eta_{max}$            | 83                                      | 83     | 83     | 80     | 83     | %                               |
| 4                               | Leerlaufrehzahl                                       | $n_0$                   | 5 700                                   | 6 100  | 5 900  | 5 600  | 5 900  | min <sup>-1</sup>               |
| 5                               | Leerlaufstrom, typ. (bei Wellen $\phi$ 5 mm)          | $I_0$                   | 0,258                                   | 0,18   | 0,129  | 0,082  | 0,064  | A                               |
| 6                               | Anhaltmoment  | $M_H$                   | 531                                     | 561    | 539    | 518    | 547    | mNm                             |
| 7                               | Reibungsdrehmoment                                    | $M_R$                   | 4,9                                     | 4,9    | 4,9    | 4,9    | 4,9    | mNm                             |
| 8                               | Drehzahlkonstante                                     | $k_n$                   | 500                                     | 352    | 253    | 156    | 125    | min <sup>-1</sup> /V            |
| 9                               | Generator-Spannungskonstante                          | $k_E$                   | 2                                       | 2,84   | 3,95   | 6,4    | 7,98   | mV/min <sup>-1</sup>            |
| 10                              | Drehmomentkonstante                                   | $k_M$                   | 19,1                                    | 27,2   | 37,7   | 61,1   | 76,2   | mNm/A                           |
| 11                              | Stromkonstante  | $k_I$                   | 0,052                                   | 0,037  | 0,027  | 0,016  | 0,013  | A/mNm                           |
| 12                              | Steigung der n-M-Kennlinie                            | $\Delta n / \Delta M$   | 10,7                                    | 10,9   | 10,9   | 10,6   | 10,8   | min <sup>-1</sup> /mNm          |
| 13                              | Anschlussinduktivität                                 | $L$                     | 70                                      | 140    | 270    | 700    | 1 100  | $\mu$ H                         |
| 14                              | Mechanische Anlaufzeitkonstante                       | $\tau_m$                | 4,7                                     | 4,7    | 4,7    | 4,7    | 4,7    | ms                              |
| 15                              | Rotorträgheitsmoment                                  | $J$                     | 42                                      | 41     | 41     | 42     | 42     | gcm <sup>2</sup>                |
| 16                              | Winkelbeschleunigung                                  | $\alpha_{max}$          | 130                                     | 140    | 130    | 120    | 130    | $\cdot 10^2$ rad/s <sup>2</sup> |
| 17                              | Wärmewiderstände                                      | $R_{th1} / R_{th2}$     | 2 / 8                                   |        |        |        |        | KW                              |
| 18                              | Thermische Zeitkonstante                              | $\tau_{w1} / \tau_{w2}$ | 17 / 810                                |        |        |        |        | s                               |
| 19                              | Betriebstemperaturbereich:                            |                         |   |        |        |        |        |                                 |
|                                 | - Motor   |                         | -30 ... +125                            |        |        |        |        | °C                              |
|                                 | - Wicklung, max. zulässig                             |                         | +155                                    |        |        |        |        | °C                              |
| 20                              | Wellenlagerung  |                         | Kugellager, vorgespannt                 |        |        |        |        |                                 |
| 21                              | Wellenbelastung, max. zulässig:                       |                         |   |        |        |        |        |                                 |
|                                 | - für Wellendurchmesser                               |                         | 5                                       |        |        |        |        | mm                              |
|                                 | - radial bei 3 000 min <sup>-1</sup> (3 mm vom Lager) |                         | 50                                      |        |        |        |        | N                               |
|                                 | - axial bei 3 000 min <sup>-1</sup>                   |                         | 5                                       |        |        |        |        | N                               |
|                                 | - axial im Stillstand                                 |                         | 50                                      |        |        |        |        | N                               |
| 22                              | Wellenspiel:  |                         |   |        |        |        |        |                                 |
|                                 | - radial  | $\leq$                  | 0,015                                   |        |        |        |        | mm                              |
|                                 | - axial   | $=$                     | 0                                       |        |        |        |        | mm                              |
| 23                              | Gehäusematerial                                       |                         | Stahl, schwarz beschichtet              |        |        |        |        |                                 |
| 24                              | Masse   |                         | 242                                     |        |        |        |        | g                               |
| 25                              | Drehrichtung  |                         | rechtsdrehend auf Abtriebswelle gesehen |        |        |        |        |                                 |
| 26                              | Drehzahl bis  | $n_{max}$               | 7 000                                   |        |        |        |        | min <sup>-1</sup>               |
| 27                              | Polpaarzahl   |                         | 1                                       |        |        |        |        |                                 |
| 28                              | Magnetmaterial  |                         | NdFeB                                   |        |        |        |        |                                 |

#### Nennwerte für Dauerbetrieb

|    |                                |       |       |       |       |       |       |                   |
|----|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
| 29 | Nenn Drehmoment                | $M_N$ | 63    | 70    | 71    | 73,1  | 73    | mNm               |
| 30 | Nennstrom (thermisch zulässig) | $I_N$ | 4     | 3,2   | 2,3   | 1,49  | 1,2   | A                 |
| 31 | Nenn Drehzahl                  | $n_N$ | 5 150 | 5 470 | 5 210 | 4 770 | 5 190 | min <sup>-1</sup> |

**Hinweis:** Nennwerte gelten für Nennspannung bei Umgebungstemperatur 22°C und Reduktion des Wärmewiderstandes  $R_{th2}$  um 25%.

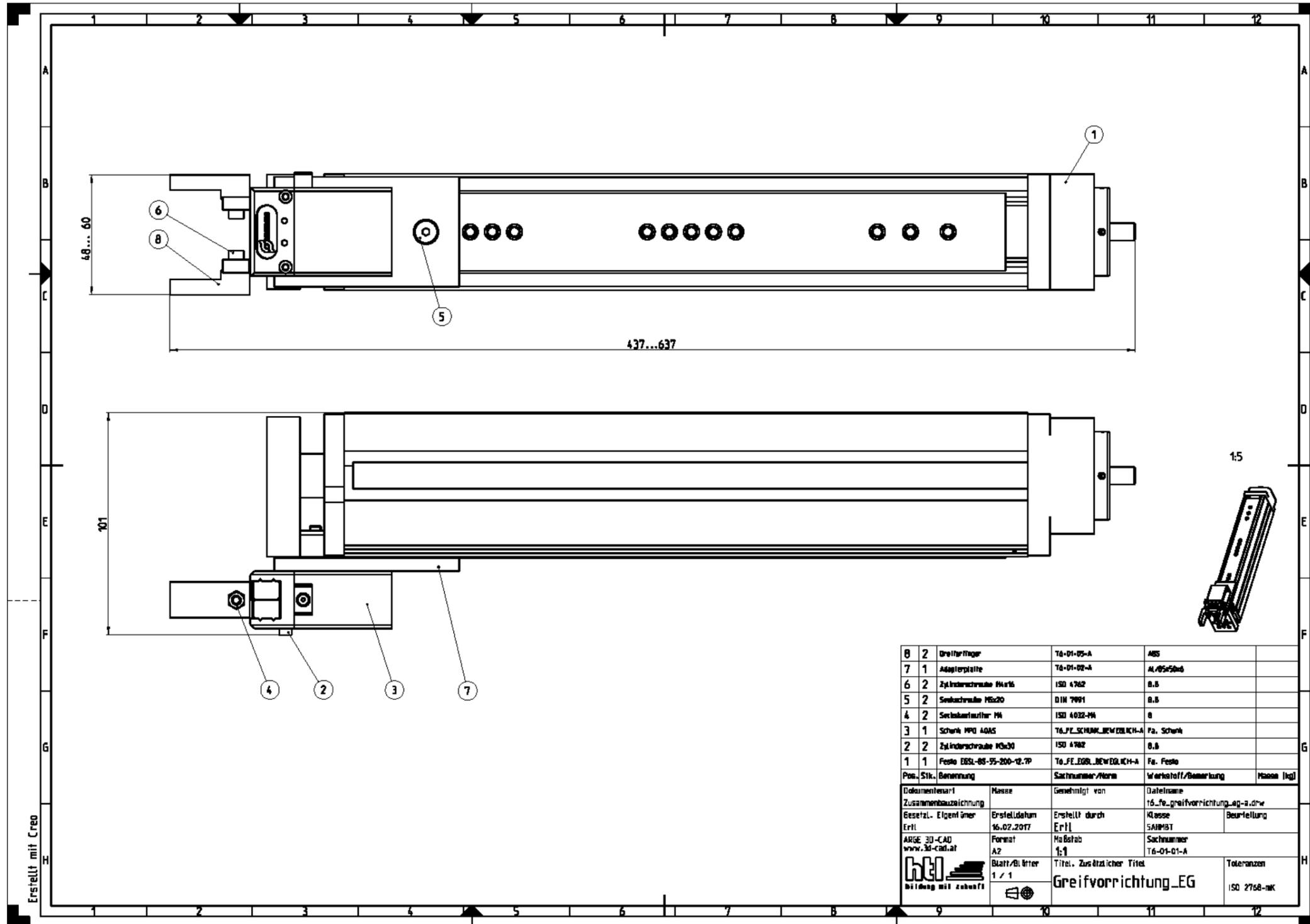


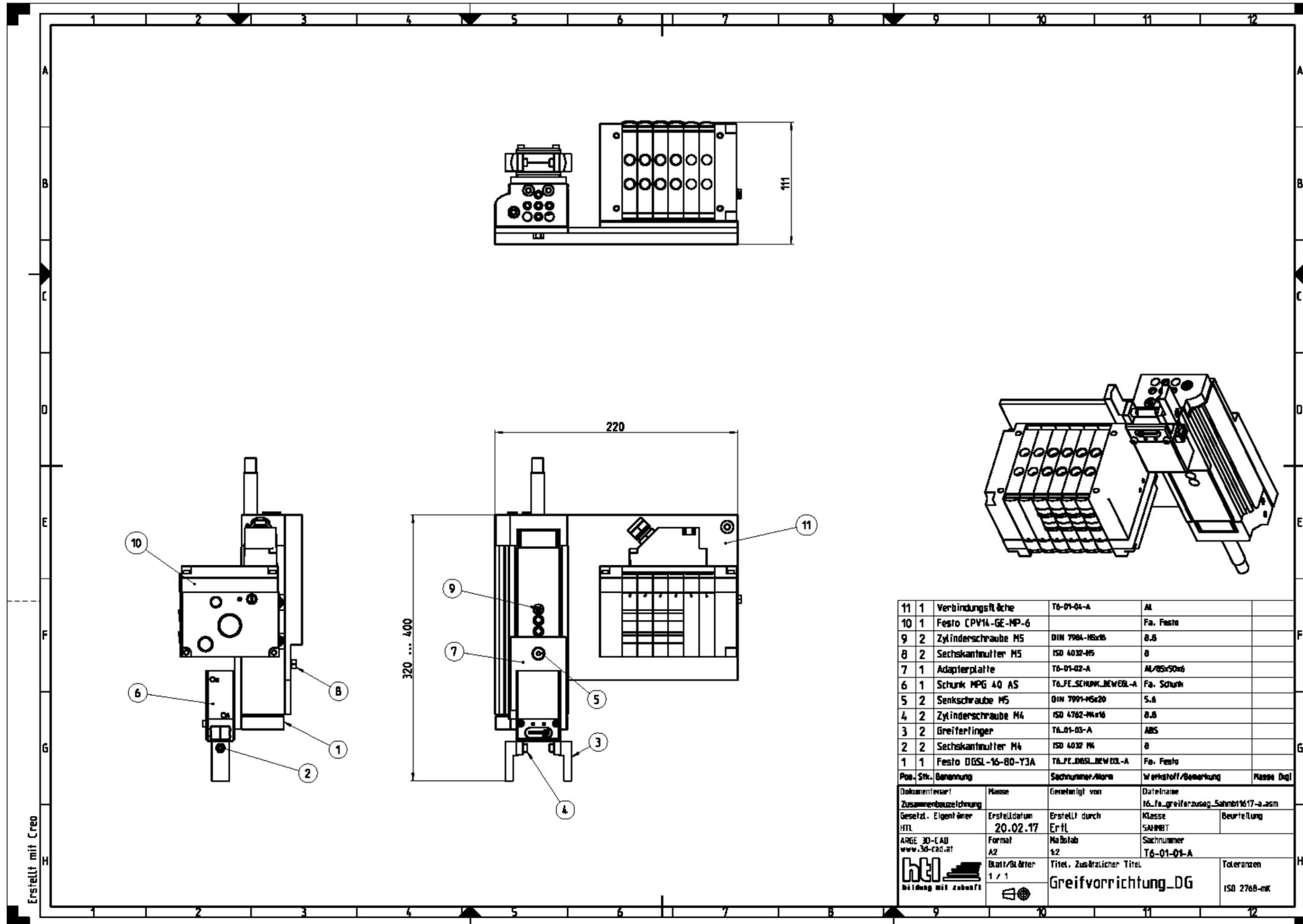
## A6 Konstruktionszeichnungen

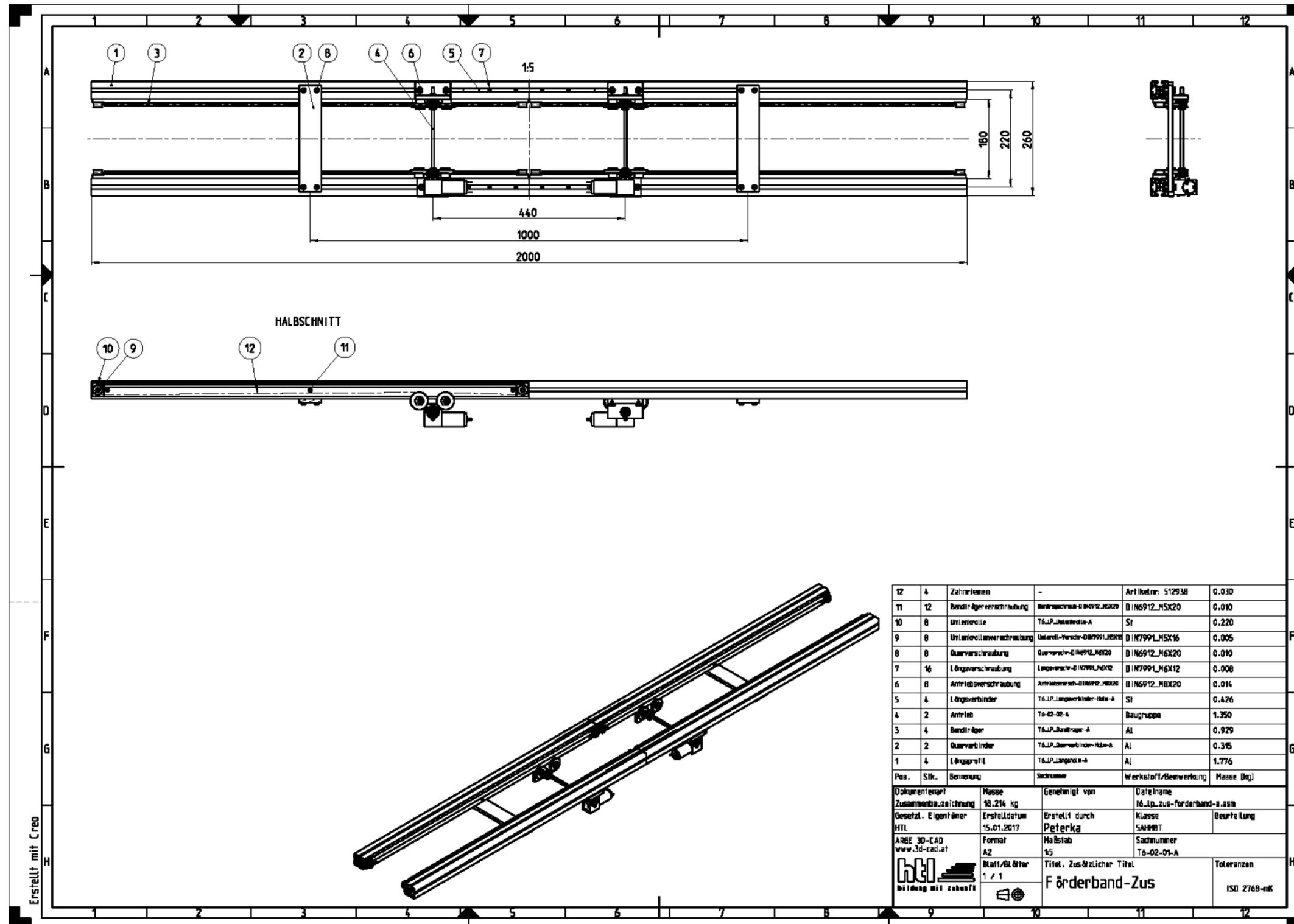
### A6.1 Sachnummernliste

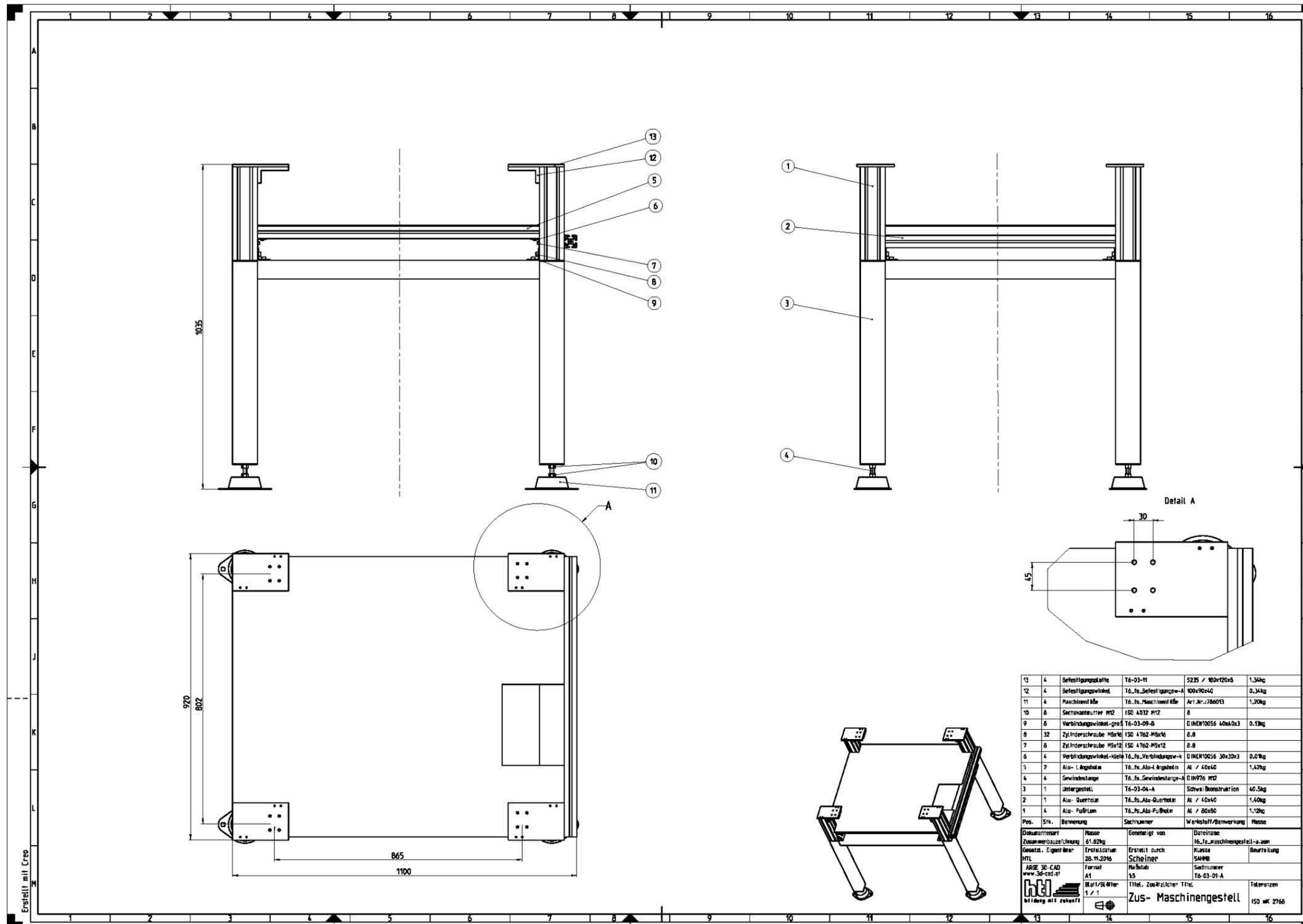
|                 | Sachnummer |                               |
|-----------------|------------|-------------------------------|
| <b>Ertl</b>     | t6-01-01   | T6_fe_Greifvorrichtung_EG     |
|                 | t6-01-02   | T6_fe_Adapterplatte           |
|                 | t6-01-03   | T6_fe_Finger_MPG              |
|                 | t6-01-04   | T6_fe_VerbFlaechrob           |
|                 | t6-01-05   | T6_fe_finger                  |
|                 | t6-01-06   | T6_fe_Greifvorrichtung_DG     |
|                 | t6-01-07   |                               |
| <b>Peterka</b>  | t6-02-01   | T6_lp_Zus-Forderband          |
|                 | t6-02-02   | T6_lp_Zus-Lager-Antri-Einheit |
|                 | t6-02-03   | T6_lp_Erodier-Elektrode       |
|                 | t6-02-04   | T6_lp_AS-Distanzscheibe       |
|                 | t6-02-05   | T6_lp_LS-Press4kant           |
|                 | t6-02-06   | T6_lp_AS-Zahnriemenscheibe    |
|                 | t6-02-07   | T6_lp_LS-Zahnriemenscheibe    |
| <b>Scheiner</b> | t6-03-01   | T6_fs_Zus-Maschinengestell    |
|                 | t6-03-02   | T6_fs_Zus-Obergestell         |
|                 | t6-03-03   | T6_fs_Zus-Untergestell        |
|                 | t6-03-04   | T6_fs_Schweiß-Untergestell    |
|                 | t6-03-05   | T6_fs_Bodenplatte             |
|                 | t6-03-06   | T6_fs_Stahl-Fußholm           |
|                 | t6-03-07   | T6_fs_Stahl-Längsholm         |
|                 | t6-03-08   | T6_fs_Stahl-Querholm          |
|                 | t6-03-09   | T6_fs_Verbindungswinkel-groß  |
|                 | t6-03-10   | T6_fs_Abschlussplatte         |
|                 | t6-03-11   | T6_fs_Befestigungsplatte      |
| <b>Teier</b>    | t6-04-01   | T6_lt_Adapterplatte           |
|                 | t6-04-02   | T6_lt_Palette                 |
|                 | t6-04-03   | T6_lt_Palettenzus             |
|                 | t6-04-04   |                               |
|                 | t6-04-05   |                               |
|                 | t6-04-06   |                               |
|                 | t6-04-07   |                               |

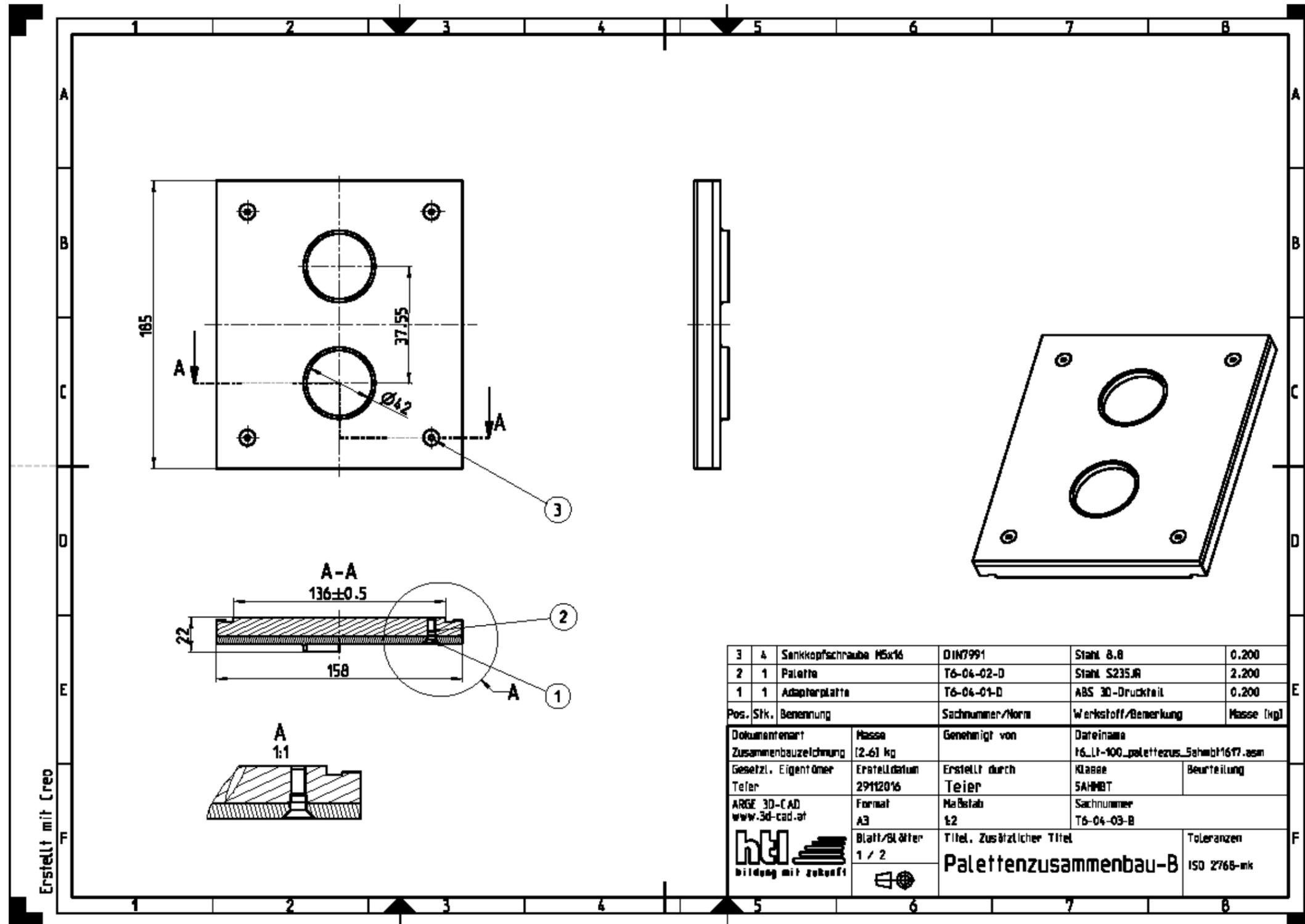
A6.2 Zusammenbauzeichnungen



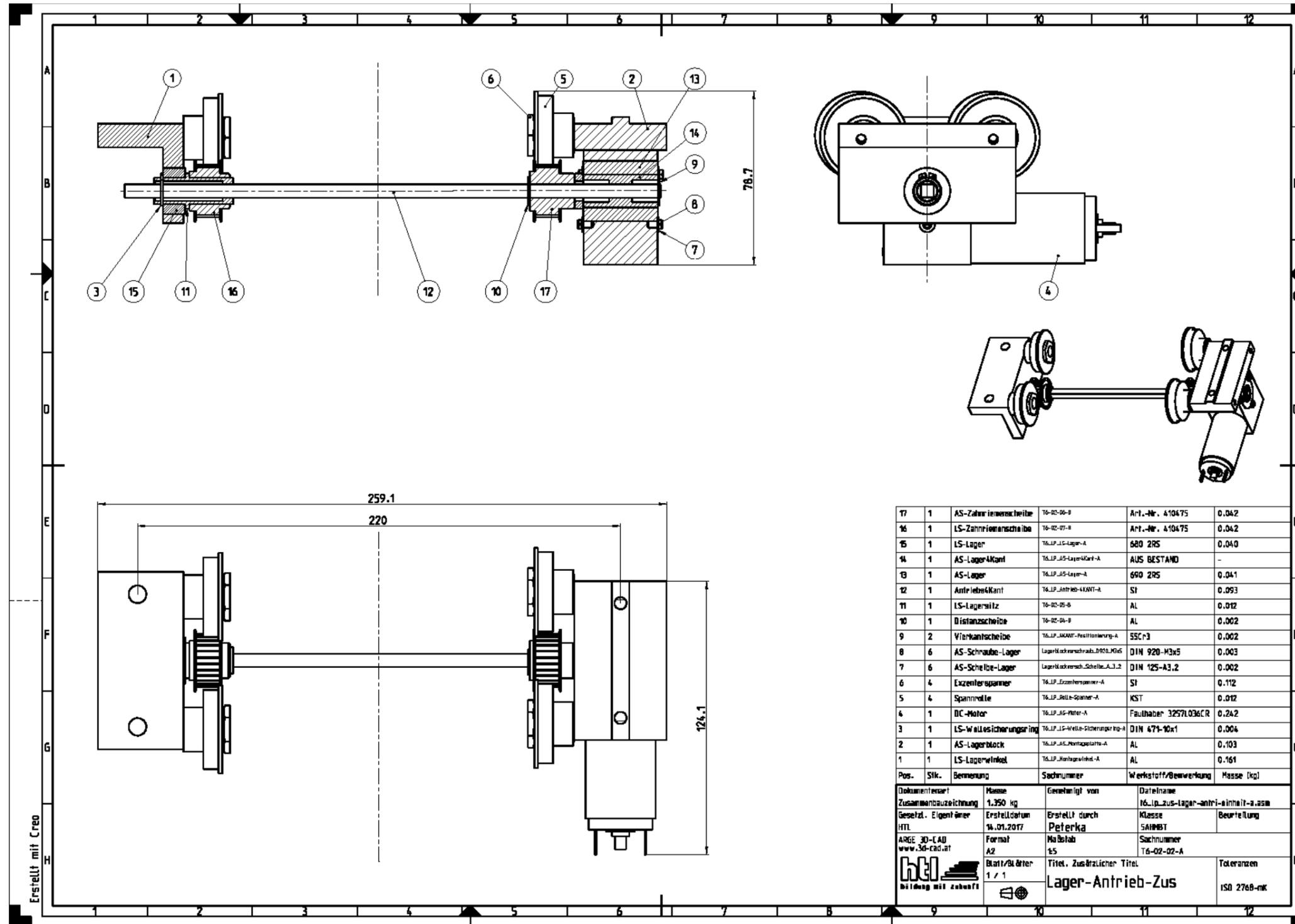


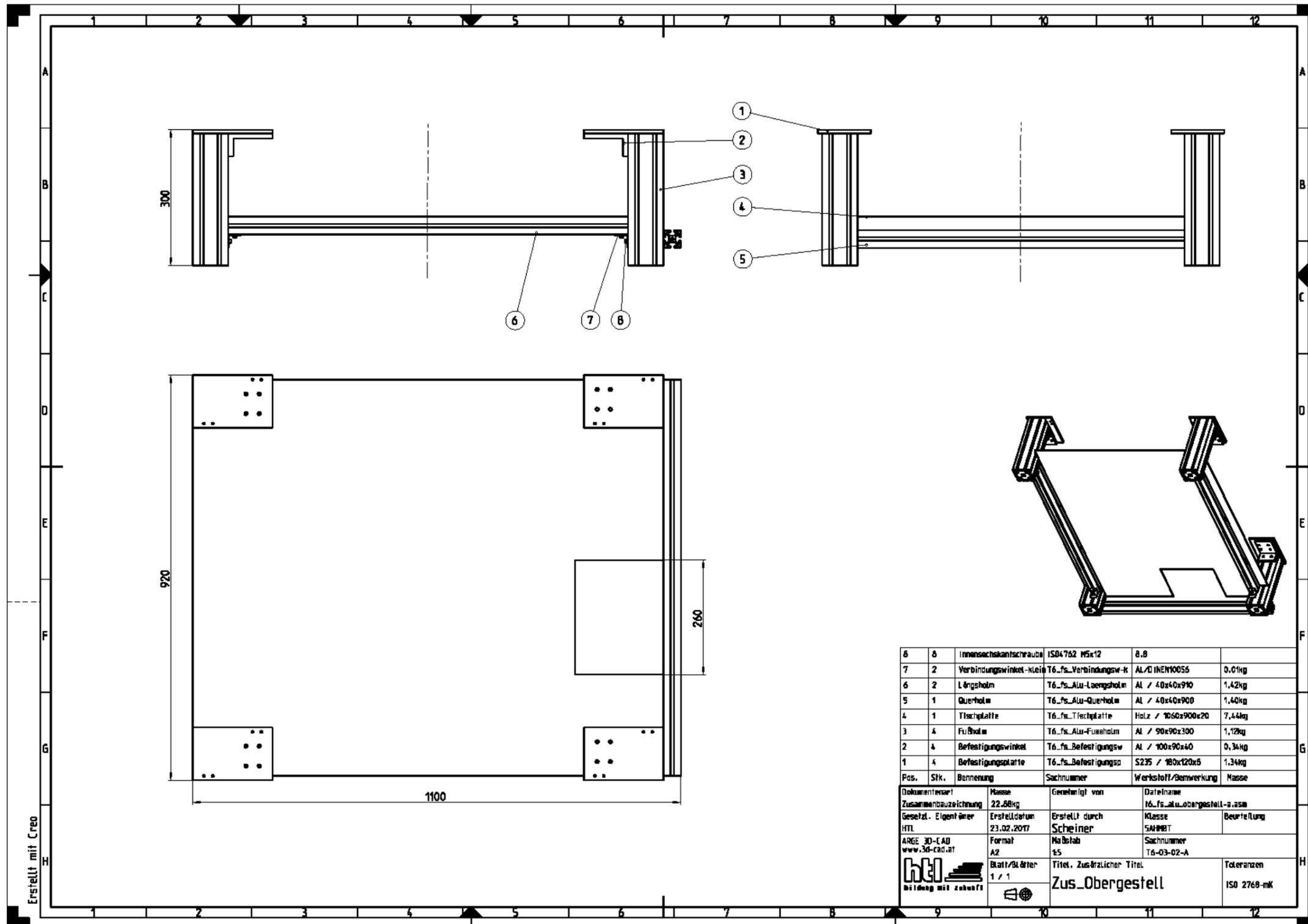


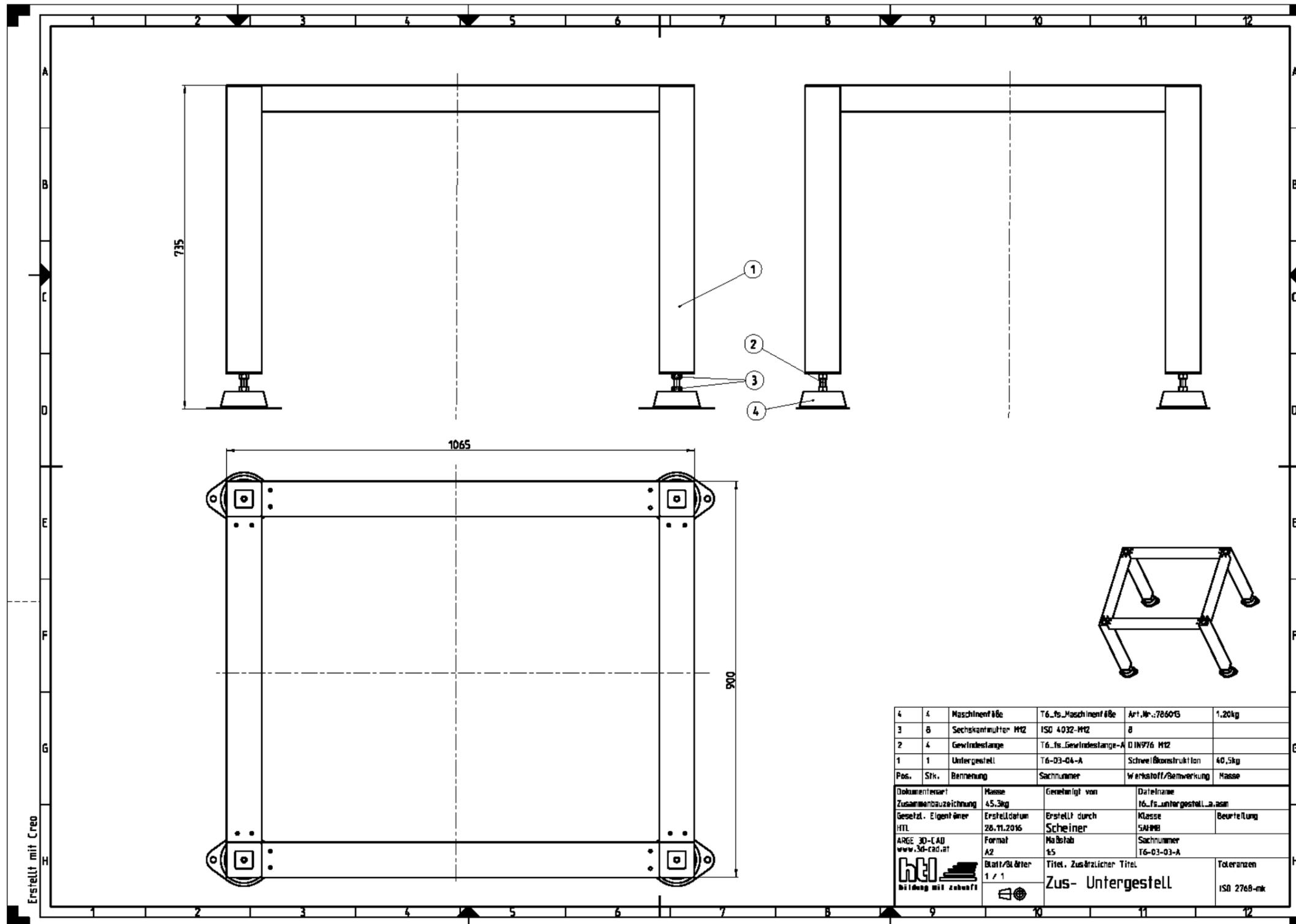




A6.3 Baugruppenzeichnungen

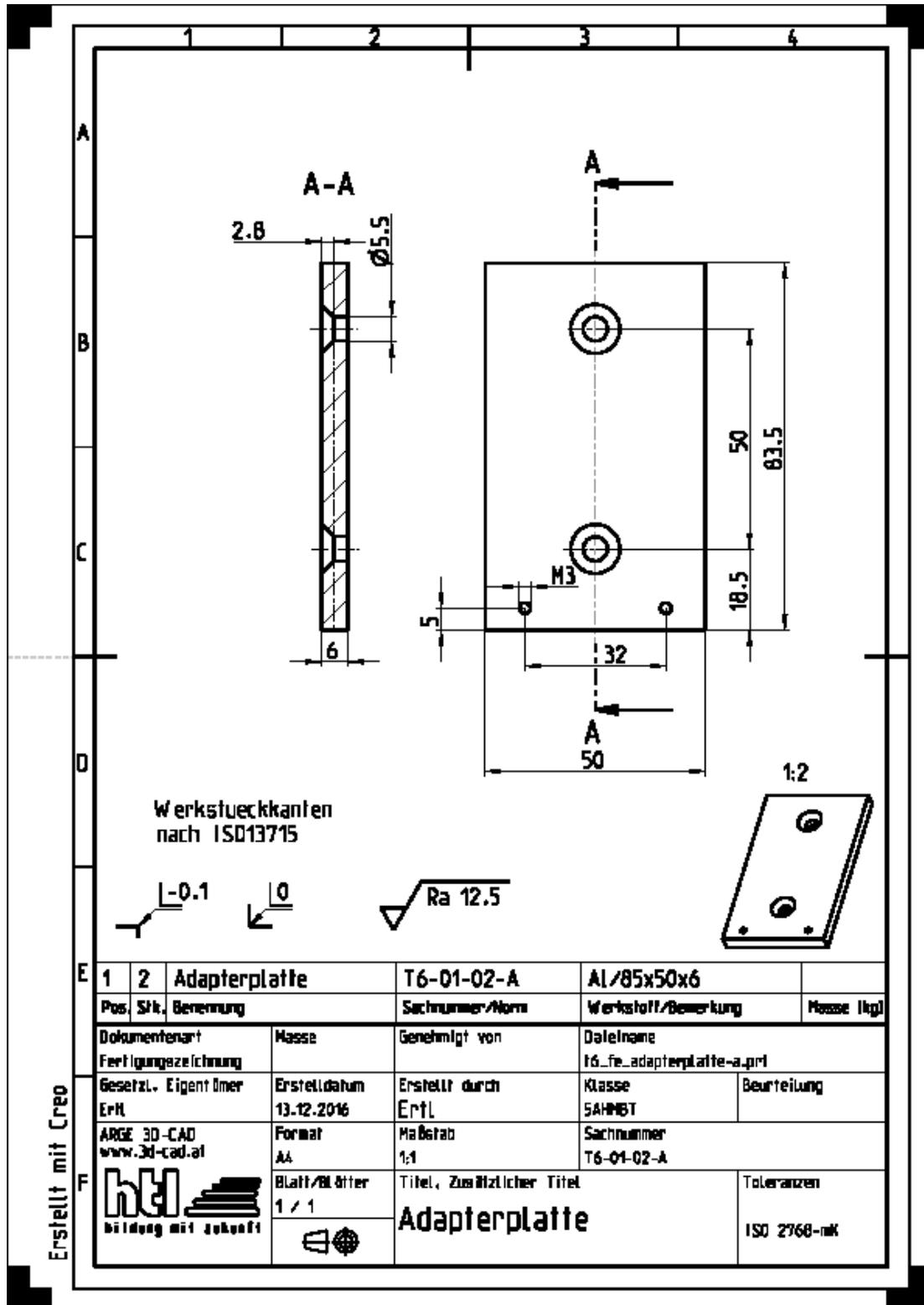


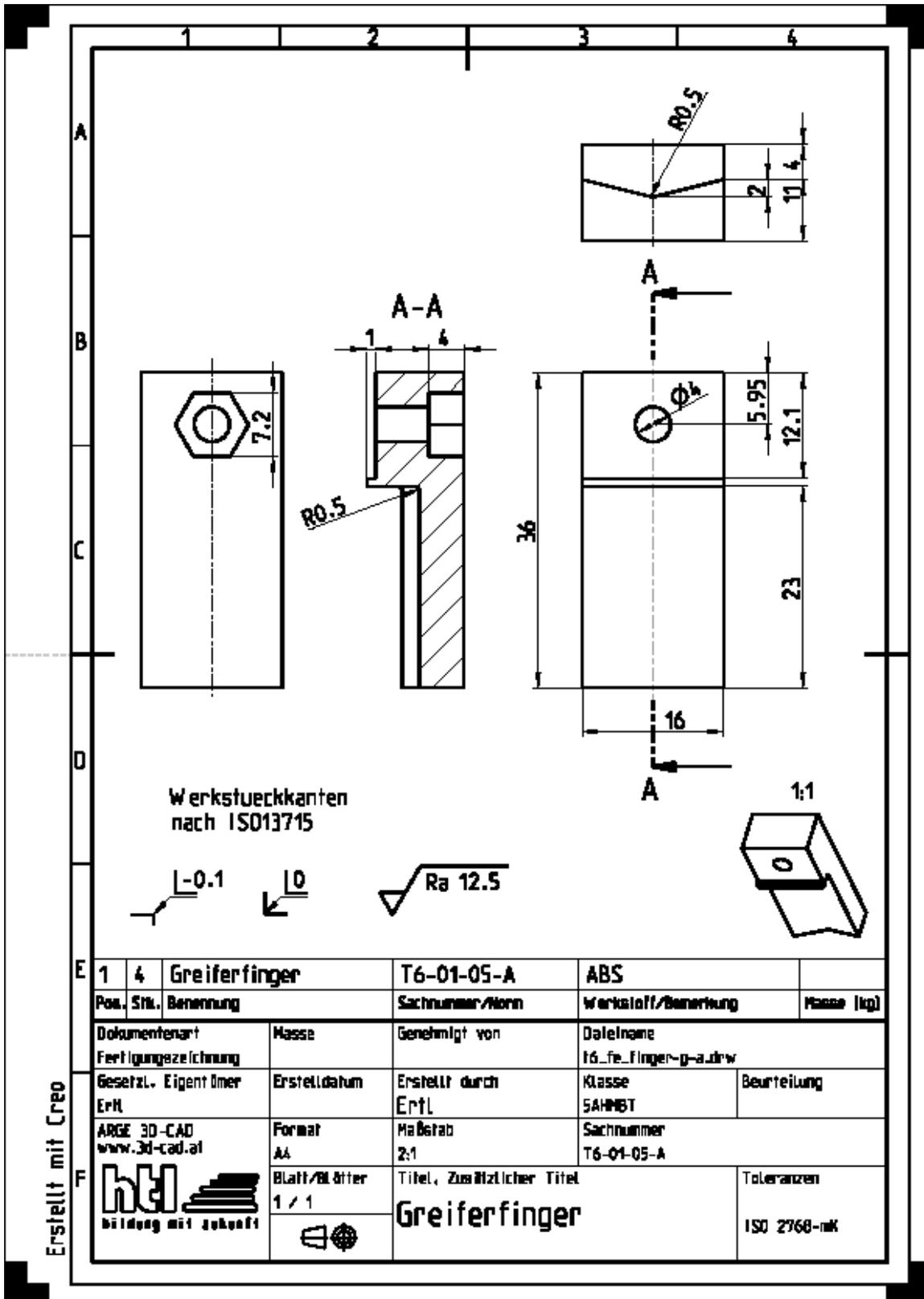


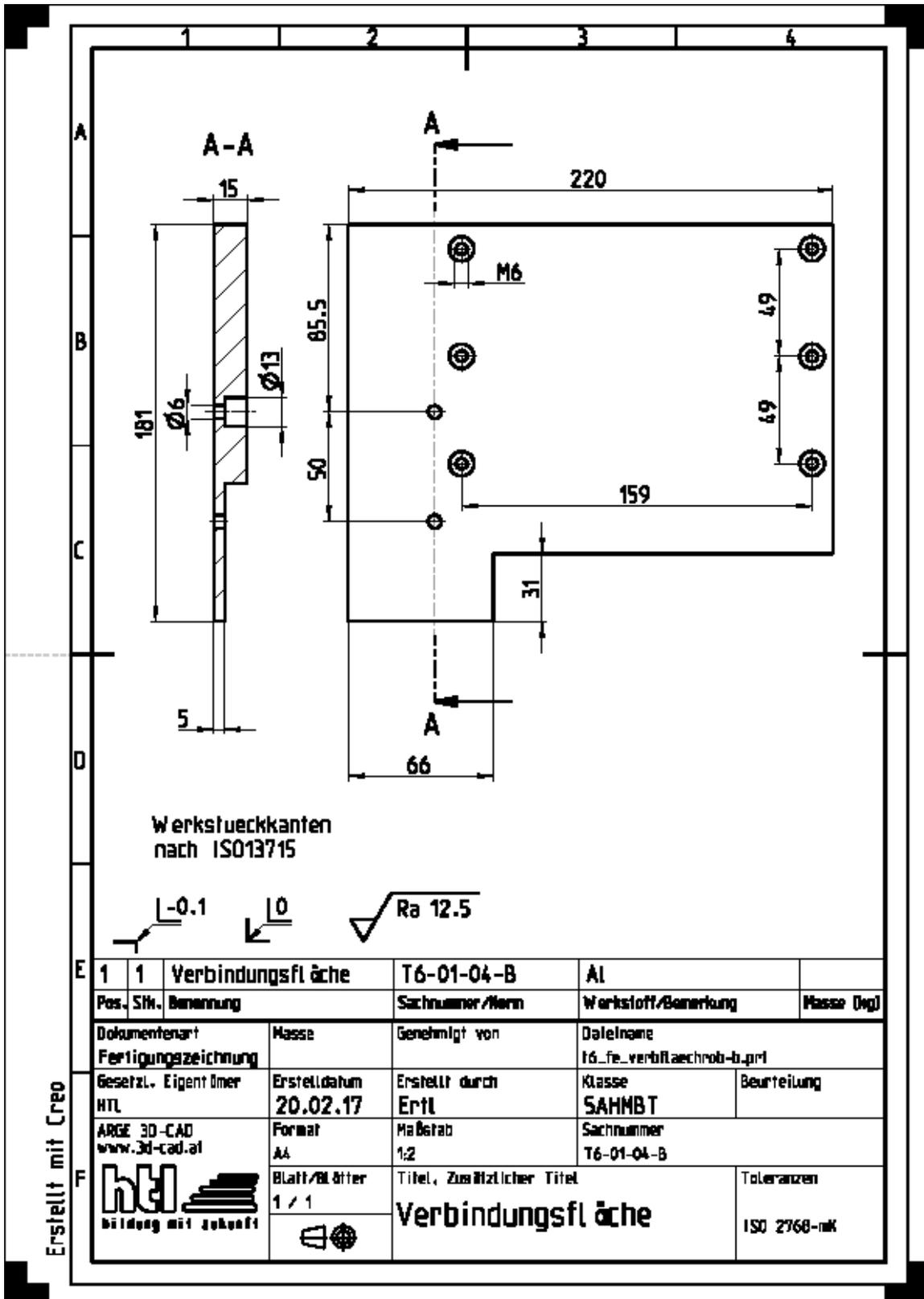


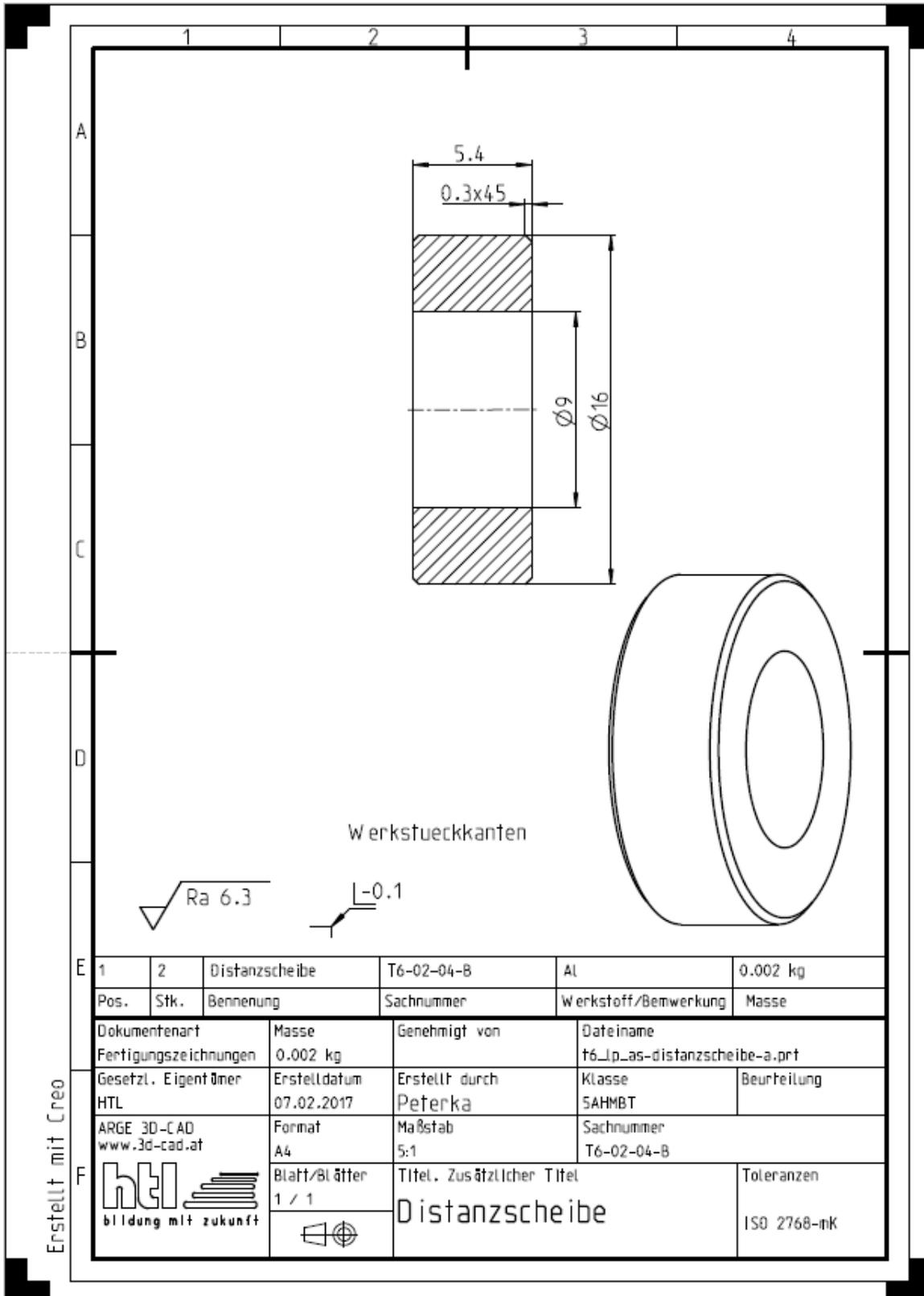
| 4                    | 4    | Maschinenfüße       | T6_fs_Maschinenfüße       | Art.Nr.:786003      | 1,20kg      |
|----------------------|------|---------------------|---------------------------|---------------------|-------------|
| 3                    | 8    | Sechskantmutter M12 | ISO 4032-M12              | Ø                   |             |
| 2                    | 4    | Gewindestange       | T6_fs_Gewindestange-A     | DIN976 M12          |             |
| 1                    | 1    | Untergestell        | T6-03-04-A                | Schweißkonstruktion | 40,5kg      |
| Pos.                 | Stk. | Benennung           | Sachnummer                | Werkstoff/Bemerkung | Masse       |
| Dokumententyp        |      | Masse               | Genehmigt von             |                     | Dateiname   |
| Zusammenbauzeichnung |      | 45,3kg              | T6_fs_untergestell_a.asm  |                     |             |
| Gesetzl. Eigentümer  |      | Erstelldatum        | Erstellt durch            |                     | Klasse      |
| HTL                  |      | 26.11.2016          | Scheiner                  |                     | 5A111       |
| ARGE 3D-CAD          |      | Format              | Maßstab                   |                     | Sachnummer  |
| www.3d-cad.at        |      | A2                  | 1:5                       |                     | T6-03-03-A  |
| hhl                  |      | Blatt/Blätter       | Titel, Zusätzlicher Titel |                     | Toleranzen  |
| Bildung mit Zukunft  |      | 1 / 1               | Zus- Untergestell         |                     | ISO 2768-mk |

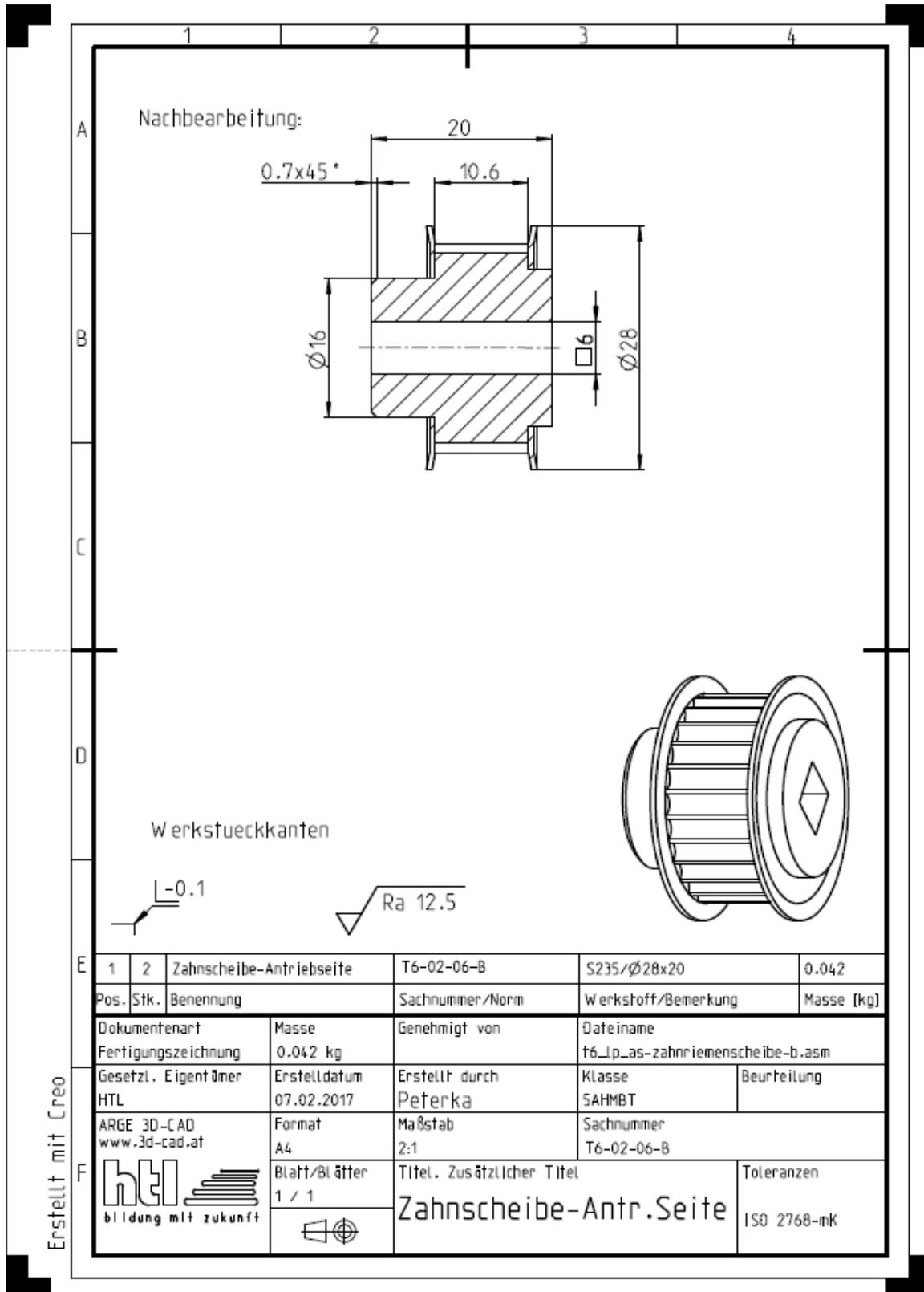
### A6.4 Fertigungszeichnungen

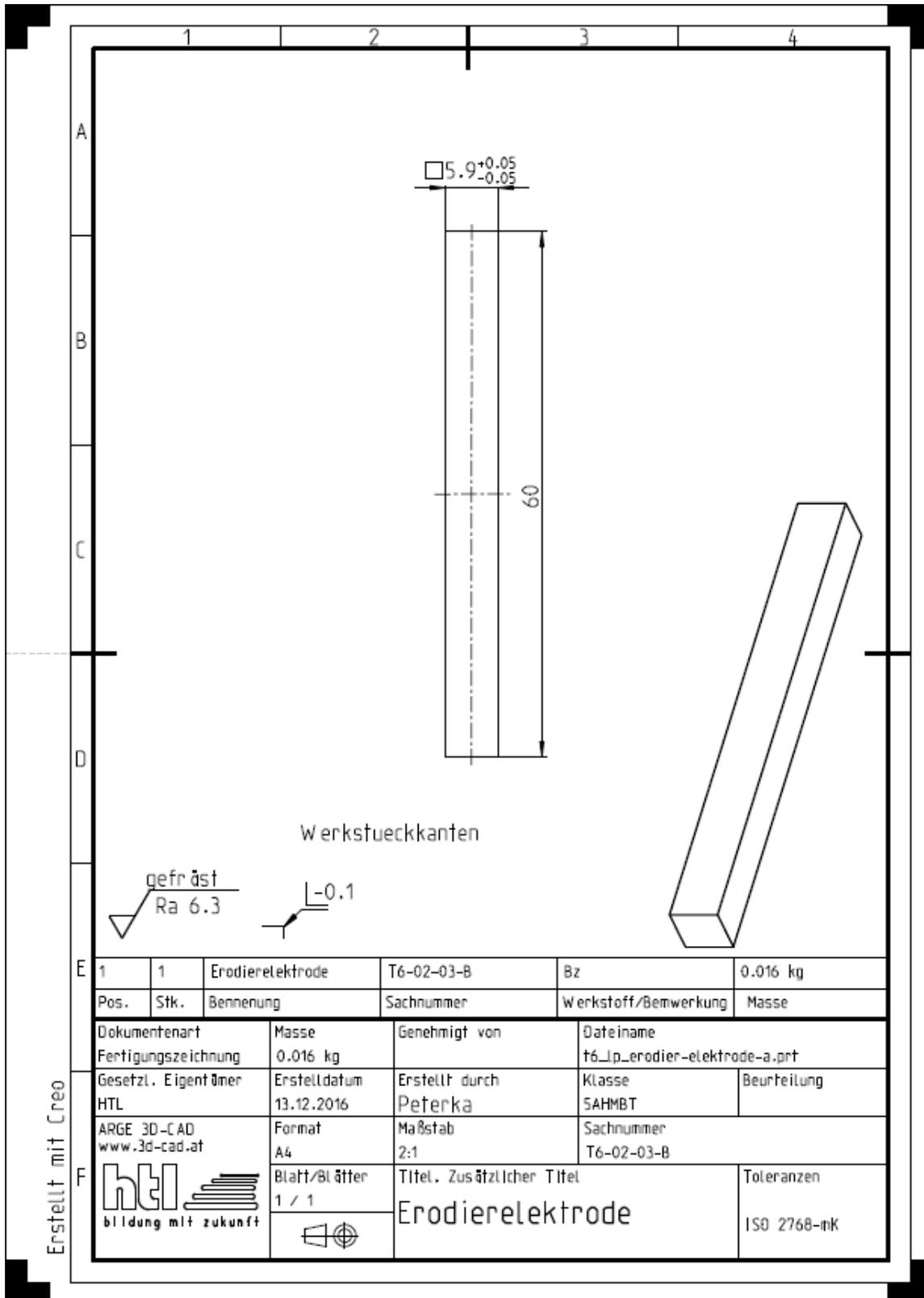


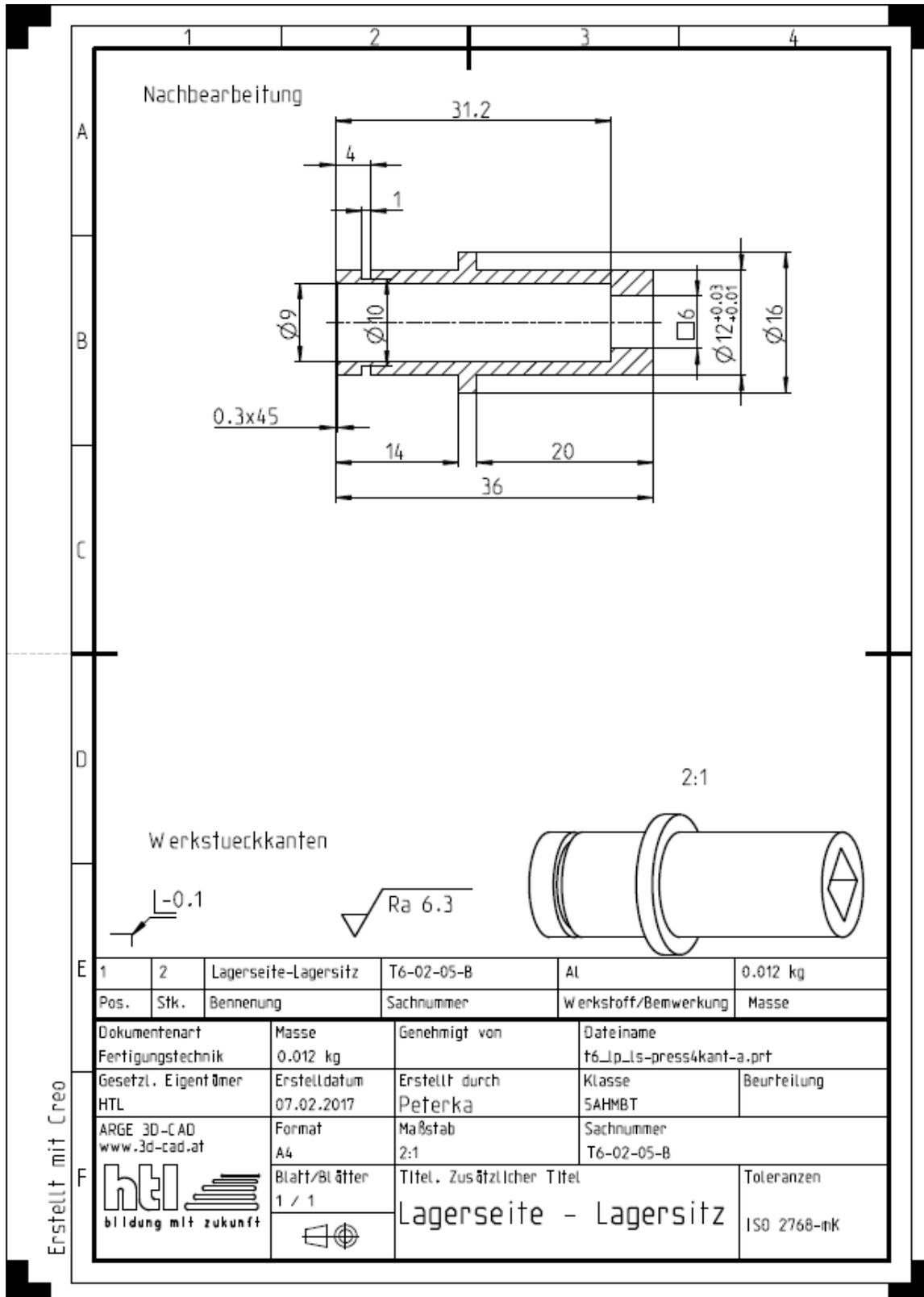


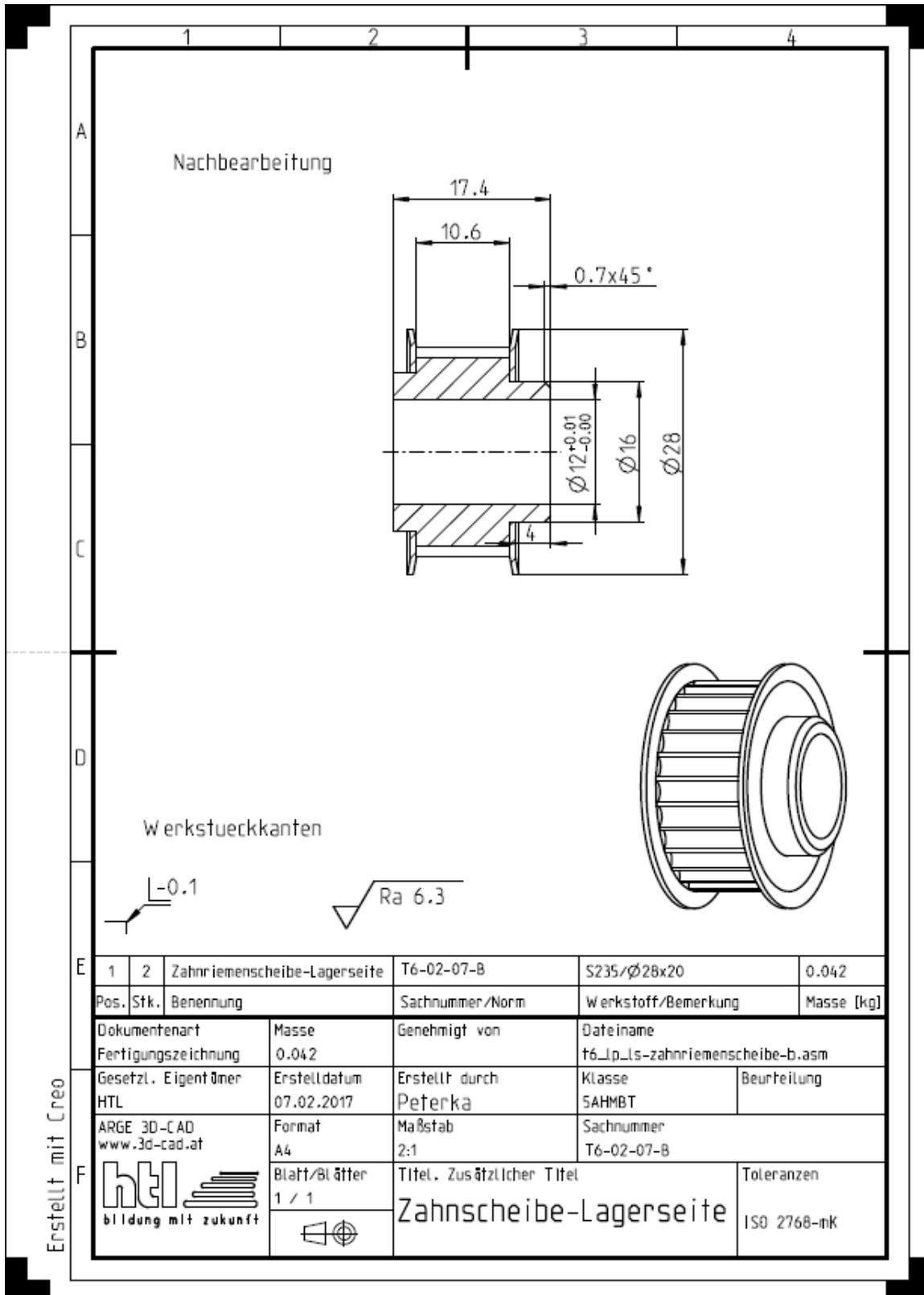


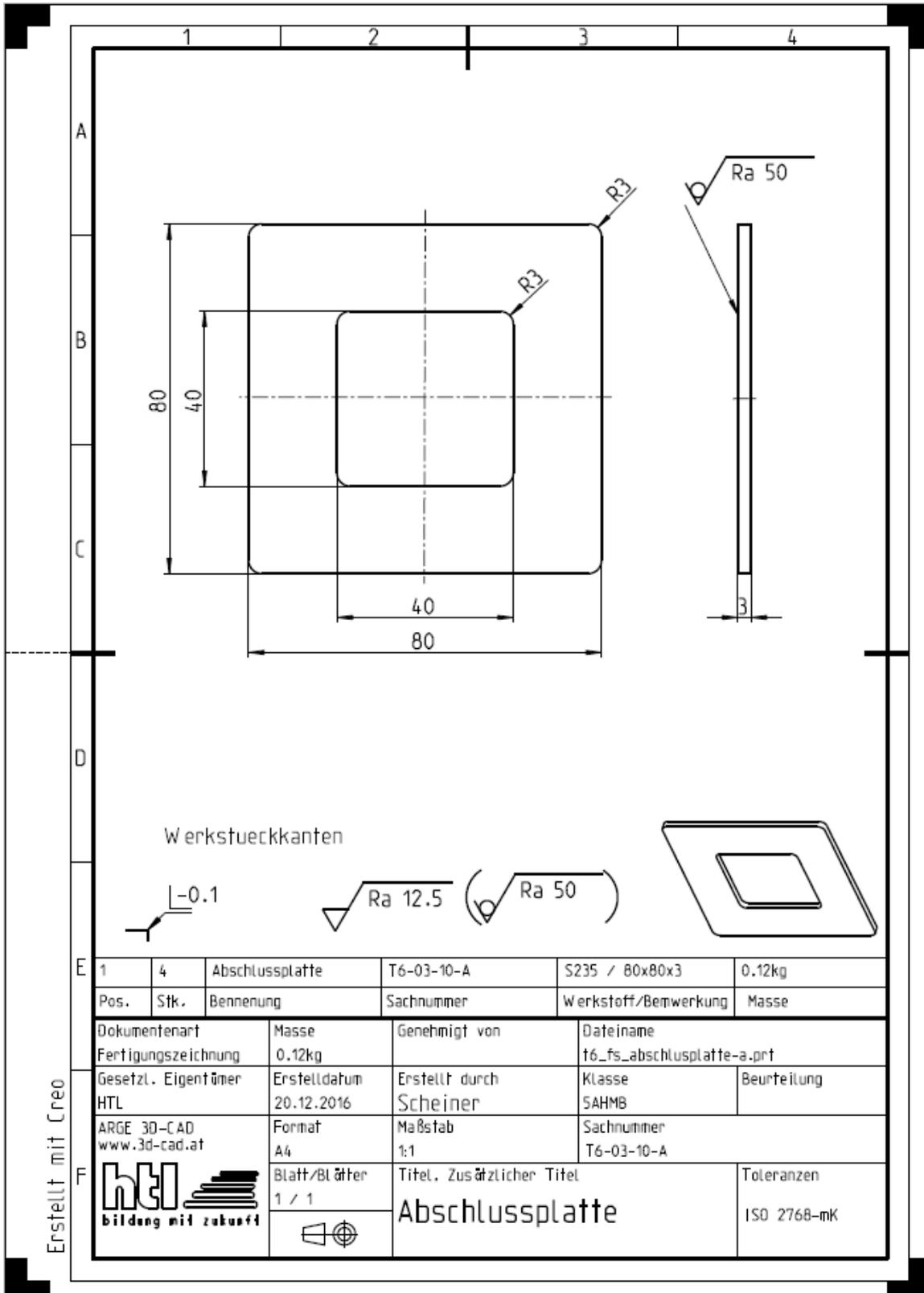


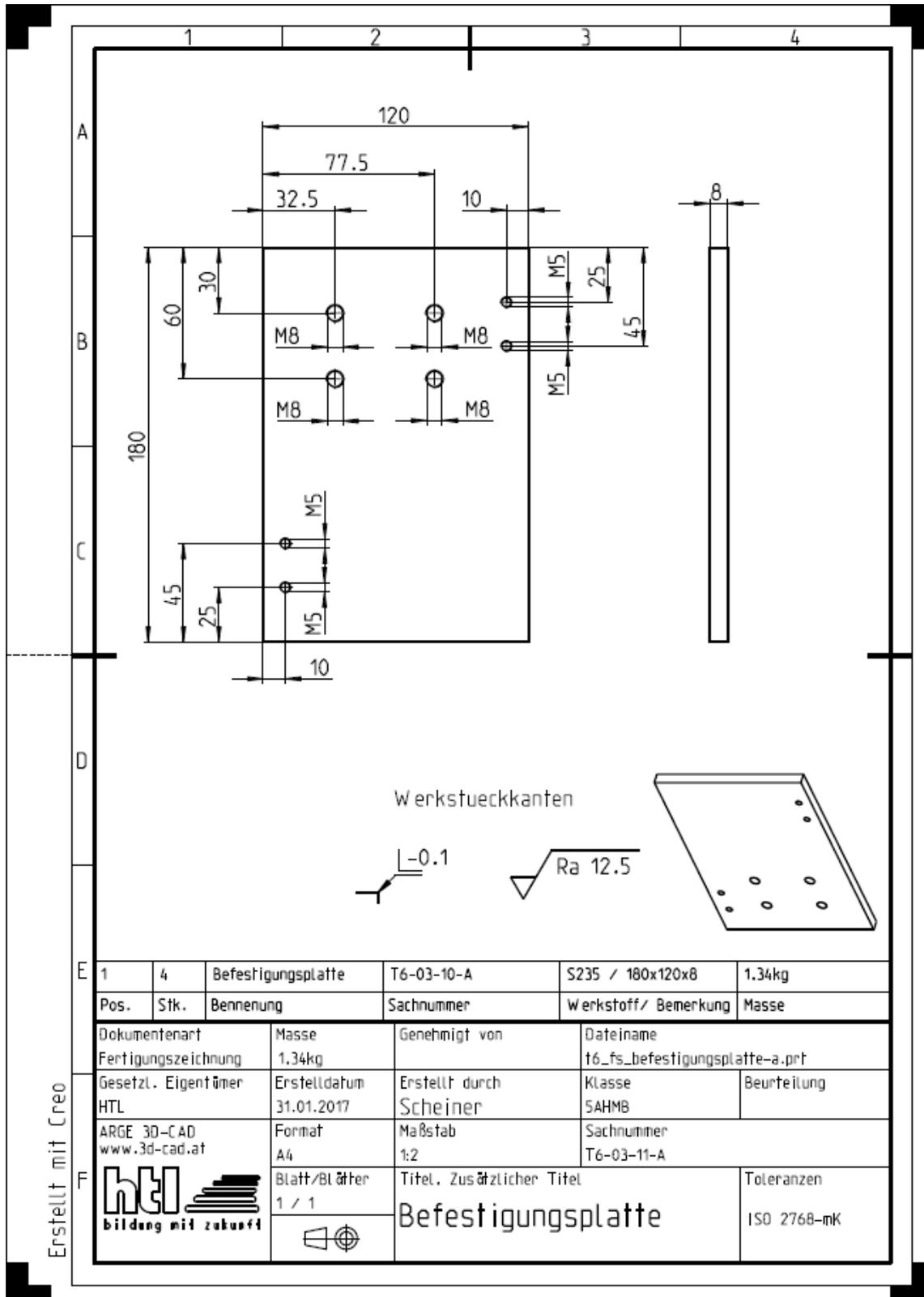


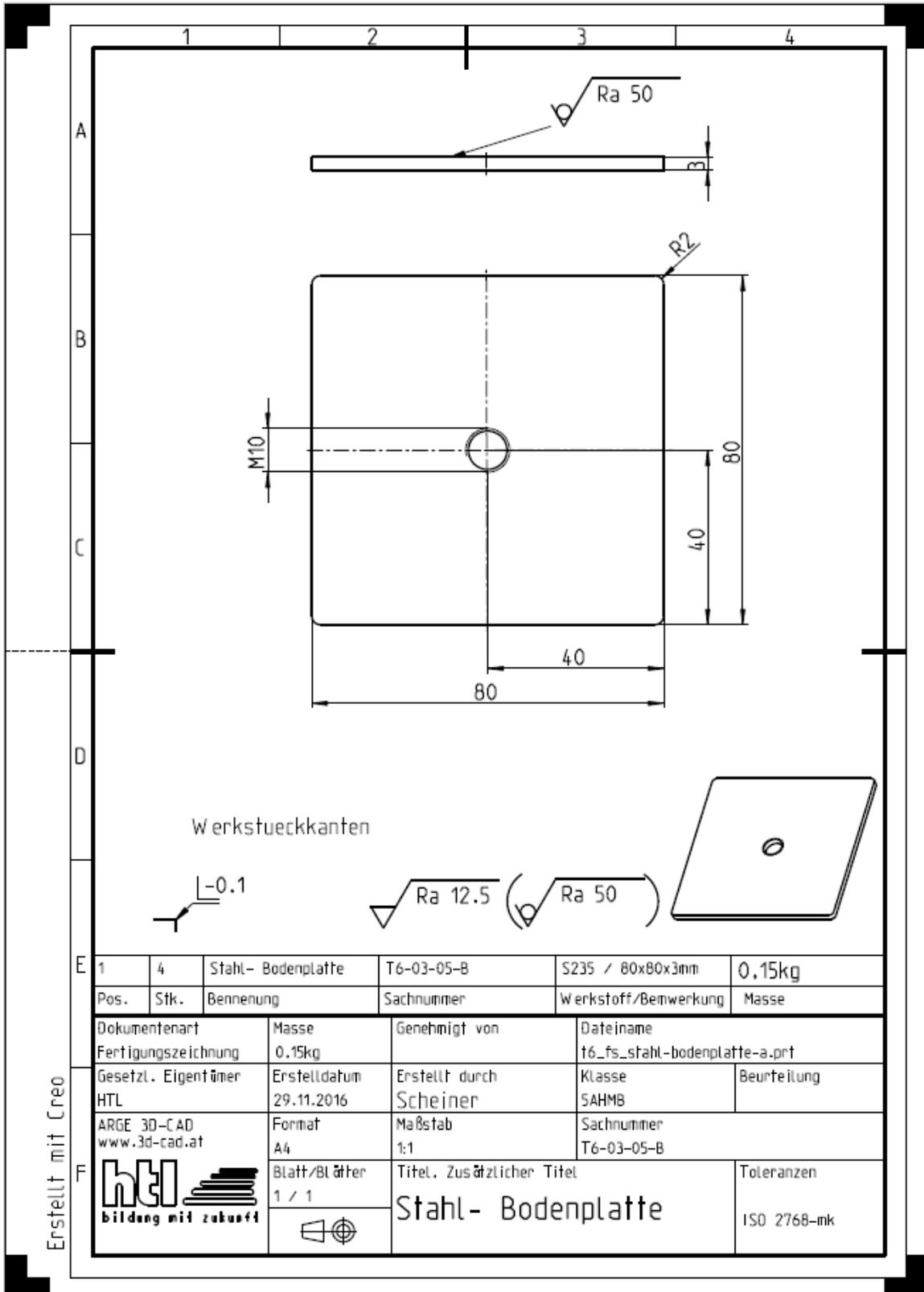


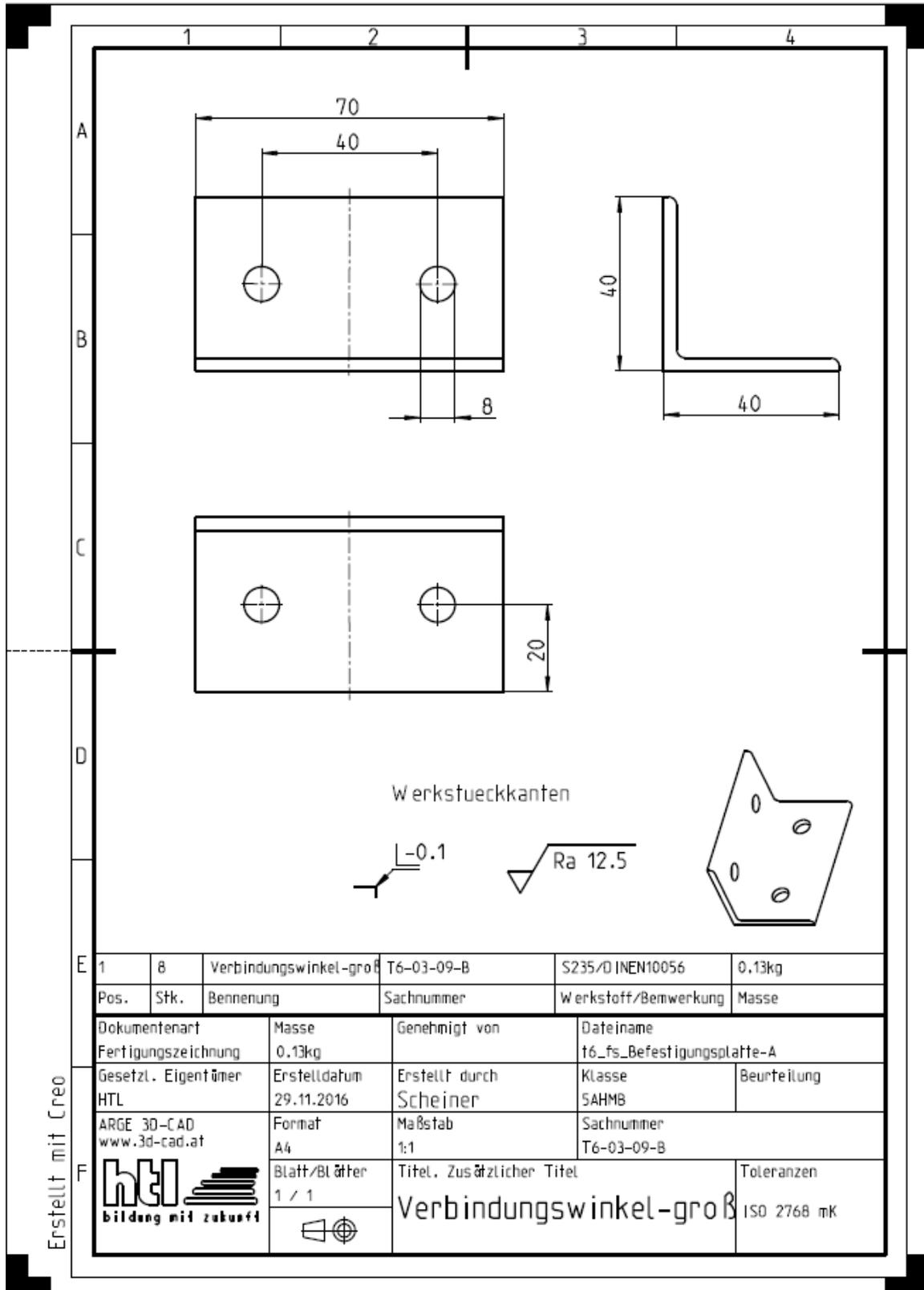


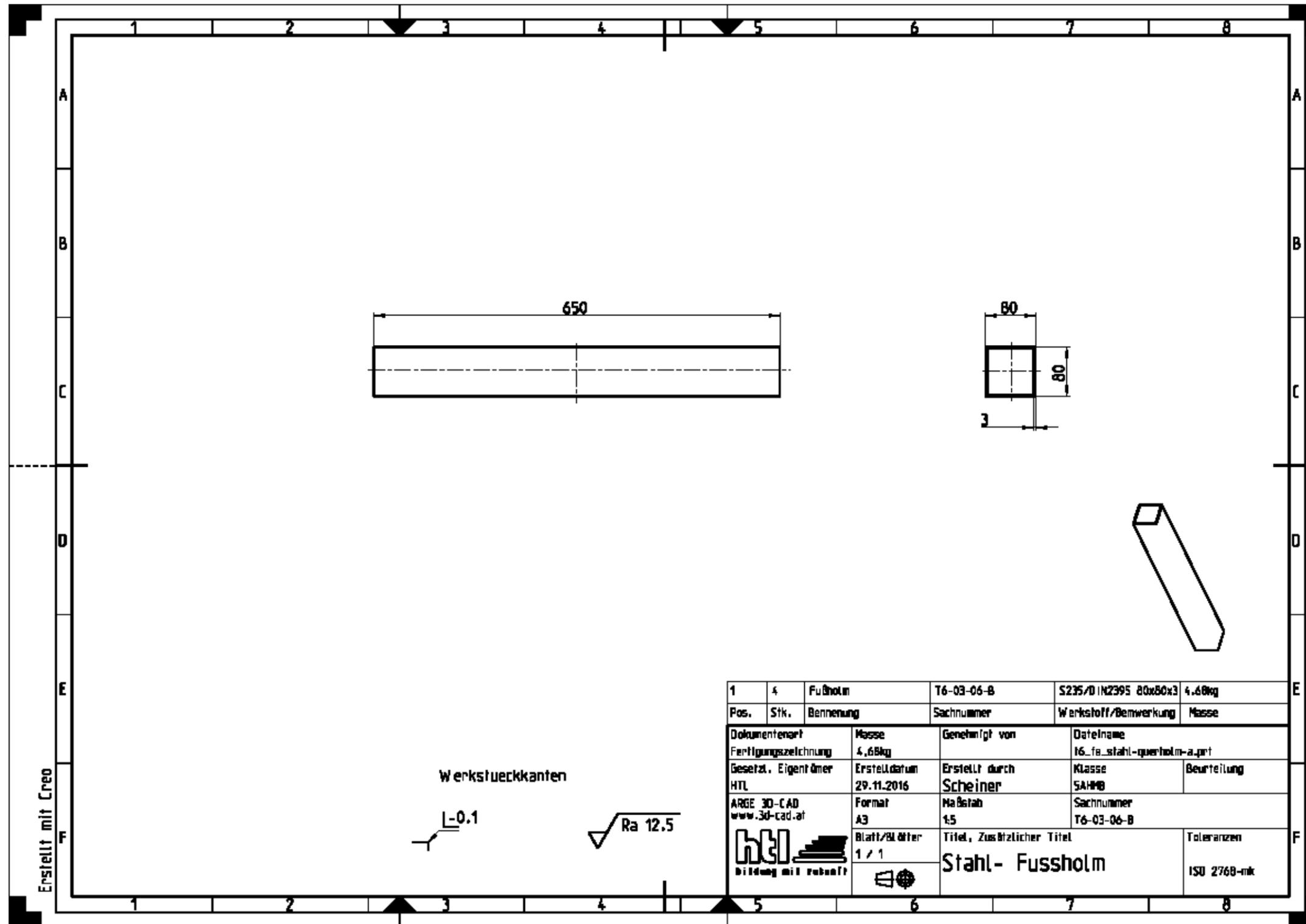


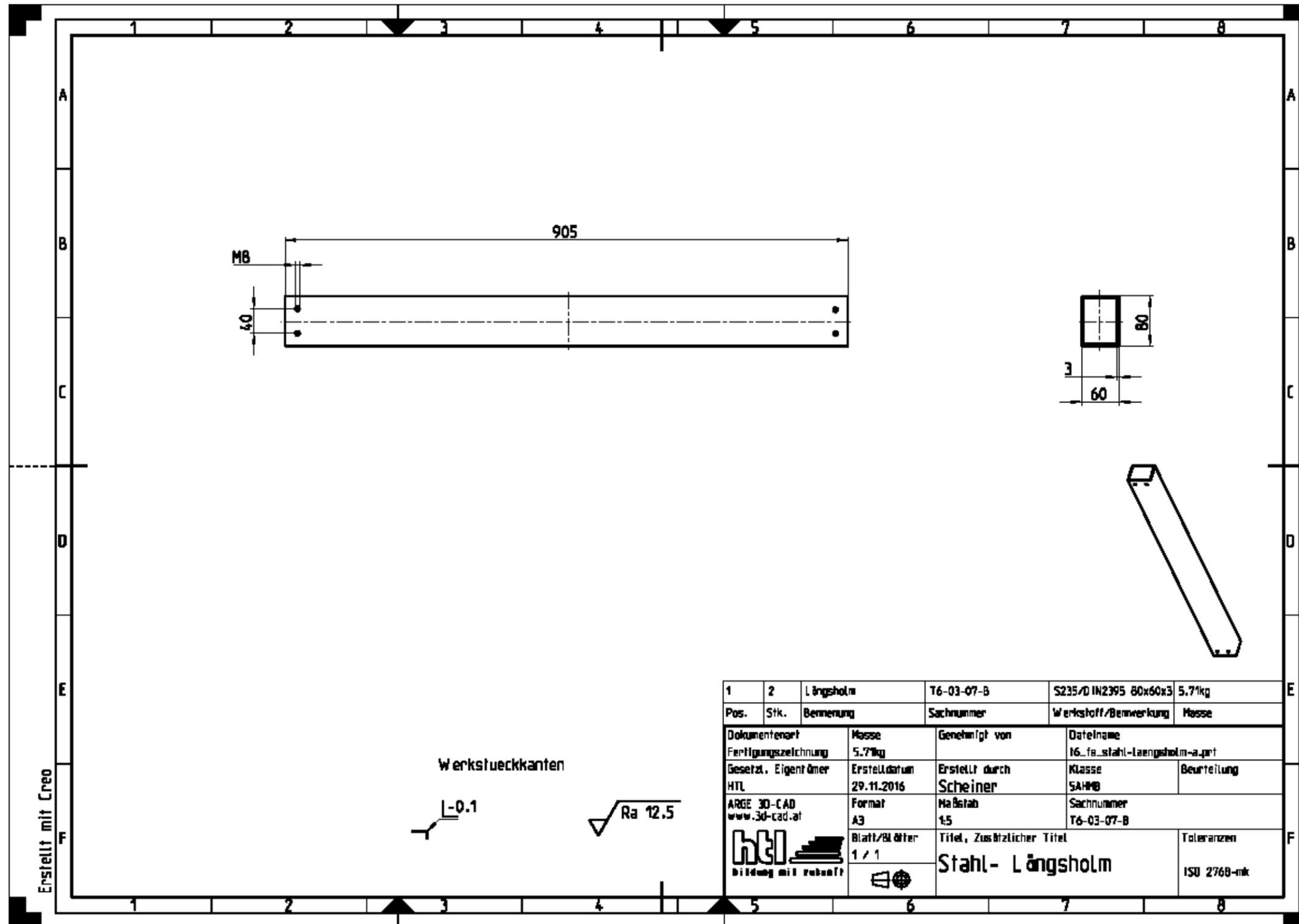


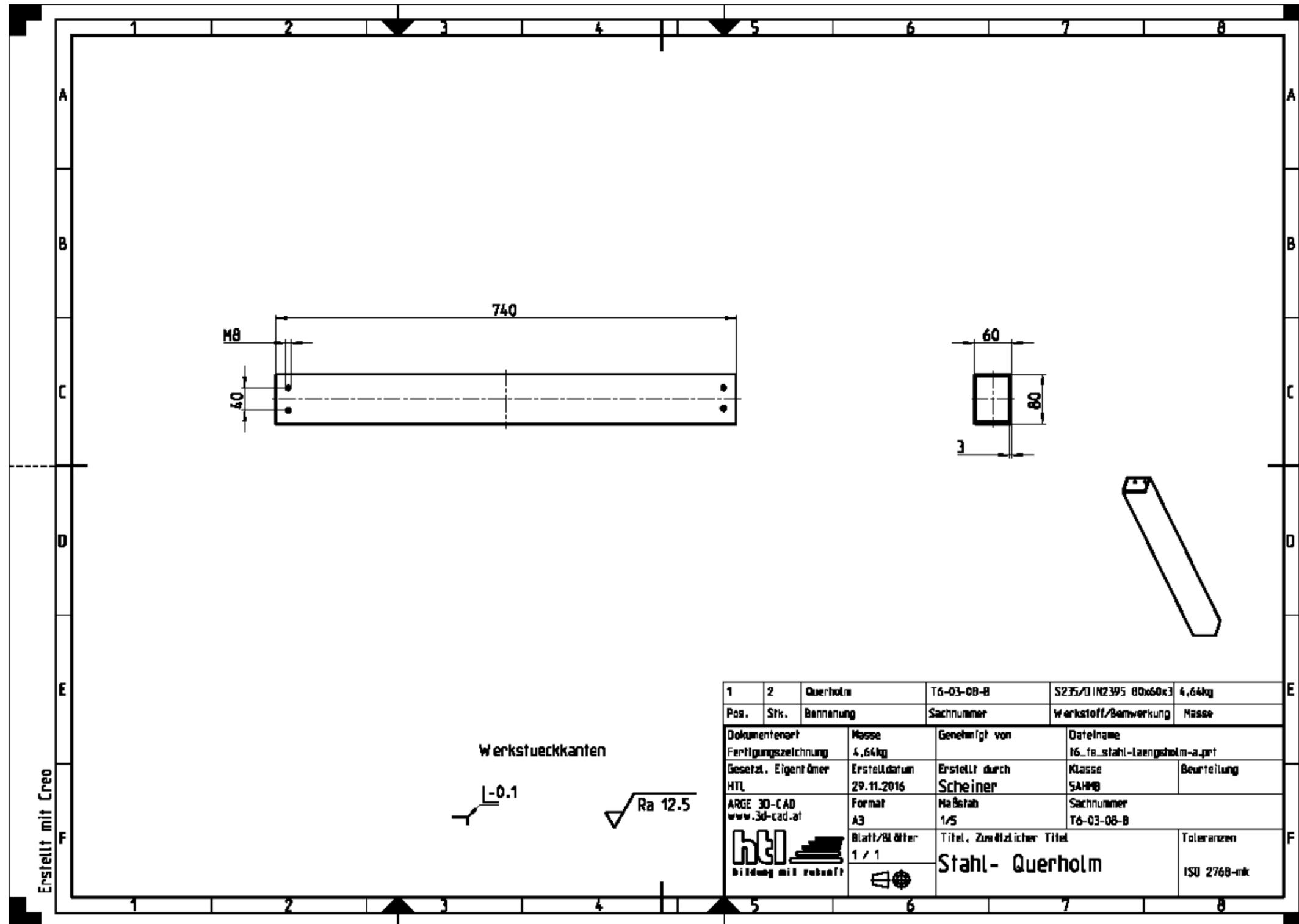


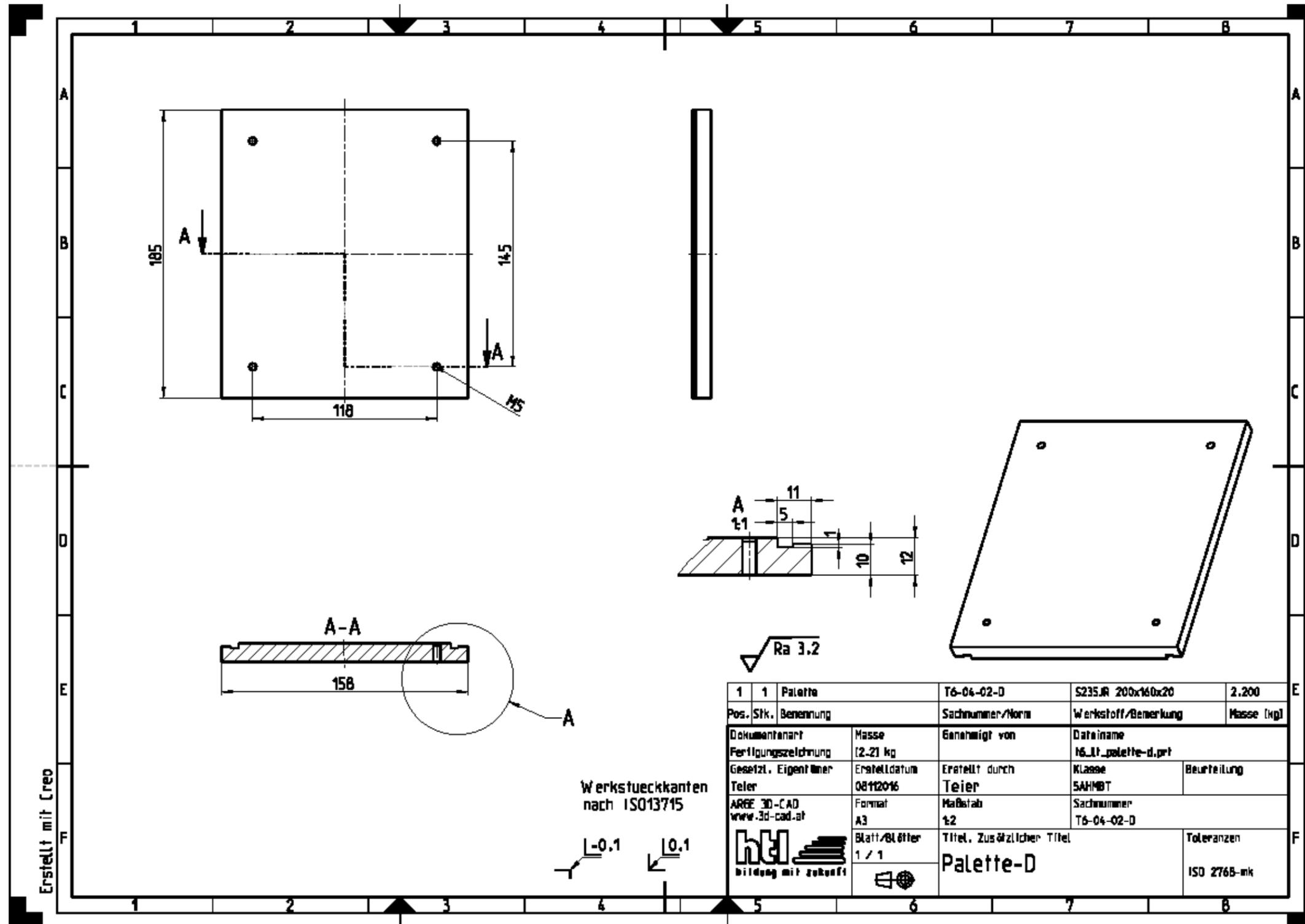


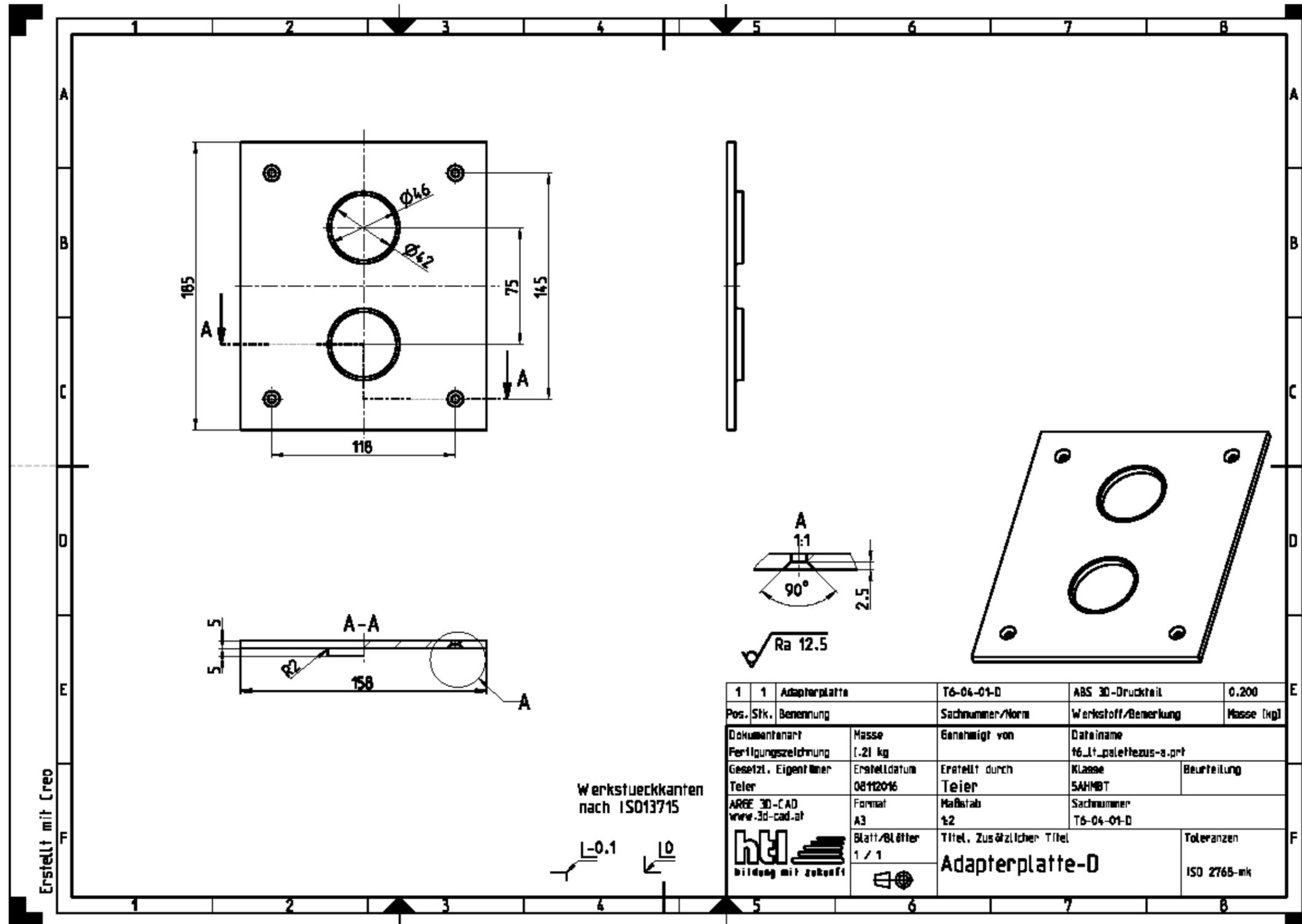










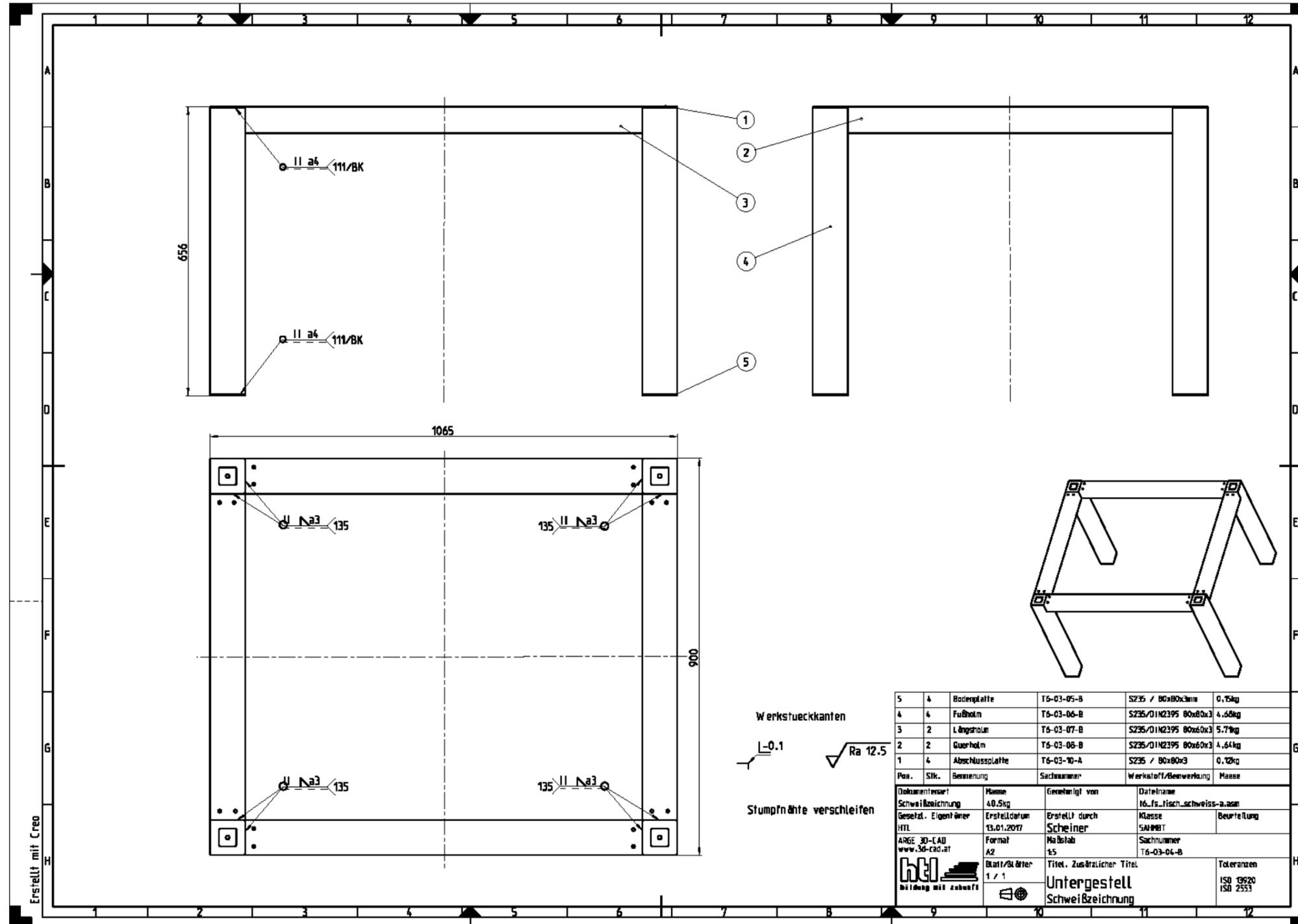


Erstellt mit Creo

Werkstückkanten  
nach ISO13715

$\sqrt{0.1}$   $\sqrt{0}$

A6.5 Schweißzeichnung



Diplomarbeit

Förderanlage - Verbindung von zwei Linearrobotern

## **A7 Weiteres Dokumentationsmaterial (CD-ROMs, ....)**