

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Maschinenbau



Projektarbeit

Kamera Dolly

von

Benjamin Otterstätter
Matrikelnummer: 30907

Florian Ludwig
Matrikelnummer: 31762

Betreuer an der Hochschule Karlsruhe:

Prof. Jürgen Walter

Karlsruhe, Oktober 2012 – März 2013

Inhalt

1. Formelzeichen	1
2. Aufgabenstellung	2
3. Stand der Technik	3
3.1 Begriffserklärung	3
3.1.1 Dolly	3
3.2 Produkte auf dem Markt	4
4. Planungsphase	5
4.1 Erste Besprechung	6
4.2 Zweite Besprechung	6
4.2.1 Lastenheft	6
4.2.2 Pflichtenheft	7
4.2.3 Grundlegende Überlegungen für den Idealen Kamera Dolly:	7
4.3 Dritte Besprechung	9
5. Konzeptphase	10
5.1 Erstes Konzept	10
5.2 Zweites Konzept	12
5.3 Drittes Konzept	13
6. Auslegung	14
6.1 Auslegung der Schiene	15
6.2 Riemen für Linearbewegung	17
6.3 Motor für Linearbewegung	17
6.4 Servomotoren Kopf	19
6.5 Kopf	20
6.6 Halter	20
6.7 Lagerung	21
7. RC Komponenten	22
7.1 Akkumulator	22
7.2 Externes Netzteil	22
7.3 Fernsteuerung	23
7.4 Empfänger	24
7.5 Regler	25
7.6 Servomotoren	26
7.6.1 Funktionsweise von Servomotoren	27

7.7 Schaltschema	29
8. CAD-Modell.....	30
9. Schlusswort.....	31
10. Abbildungsverzeichnis	32
11. Literaturverzeichnis.....	33

1. Formelzeichen

E	Elastizitätsmodul	[N/mm ²]
F	Kraft	[N]
f	Durchbiegung	[mm]
I	Flächenwiderstandsmoment	[mm ⁴]
l	Länge	[mm]
M	Moment	[Nm]
s	Sicherheit	
t	Zeit	[s]
v	Geschwindigkeit	[m/s]

2. Aufgabenstellung

Im Bachelorstudiengang „KulturMediaTechnologie“ der Hochschule Karlsruhe werden im Rahmen des Studiums kleine Filmbeiträge gedreht, um diese im eigenen Sender „HD Campus TV“ zu senden. Bisher haben die Studenten dieses Studienganges keine Vorrichtung um Kamerafahrten durchzuführen.

Die Aufgabe besteht darin, einen Kamera Dolly zu konstruieren und aufzubauen, welcher motorbetrieben eine Schiene abfährt. Das Gleiten auf der Schiene soll so verwackelte Aufnahme verhindern. Zusätzlich ist der Kamera Dolly mit einer Schwenk- und Kippfunktion ausgestattet, damit die Kamera die gleichen Bewegungen ausführen kann wie diese auch auf einem Videostativ möglich wären. Die Bewegungen sollen, wenn möglich fernsteuerbar sein, so dass die Kameras auch von anderen Positionen aus zu ändern sind. Beispiele für solche Situationen sind bei Konzertaufnahmen im Orchestergraben oder wenn die Kamera bei einem Festival an einer Traverse über der Bühne befestigt werden soll.

3. Stand der Technik

3.1 Begriffserklärung

3.1.1 Dolly

Dolly ist das englische Wort für Kamerawagen. Ein Kamerawagen ist, wie der Name schon sagt, ein Wagen auf dem eine Kamera montiert werden kann. Er findet Verwendung bei fast allen Filmaufnahmen. Dadurch kann mehr Dynamik in die Szene gebracht werden. Dollys gibt es in verschiedenen Größen. Wie in Abbildung 1 zu sehen ist, kann auf den größeren Dollys der Kameramann mitfahren. Der Kamerawagen läuft hier auf einem Schienensystem und kann so ruckel- und erschütterungsfreie Aufnahmen auch auf einem unebenen Boden wie zum Beispiel Pflasterstein liefern. Der Wagen wird entweder von einem Kameraassistenten geschoben oder von einem Elektromotor angetrieben, um Fahrten zu ermöglichen.



Abbildung 1: Kamera Dolly [1]

3.2 Produkte auf dem Markt

Die günstigen auf dem Markt erhältlichen Kameraschlitten sind manuell betriebene Systeme. Sie werden direkt per Hand bewegt und laufen nicht auf einer Schiene, wie es in Abbildung 2 zu erkennen ist.



Abbildung 2: Einfacher Kameraschlitten [2]

Hochwertigere Modelle werden auf einer Schiene geführt. Diese sind zwischen einem halben Meter und einem Meter lang und ebenfalls manuell zu bedienen. Der Schlitten in Abbildung 3 ist mit einer Handkurbel sehr gleichmäßig zu fahren.



Abbildung 3: Kessler Pocket Dolly V2 [3]

4.1 Erste Besprechung

In der ersten Besprechung werden erste Ideen gesammelt und über Produkte die schon auf dem Markt erhältlich sind diskutiert. Zusätzlich werden erste mögliche Anforderungen festgelegt. Dazu treffen wir uns mit Herrn Professor Walter, den Betreuer des Projekts und Timo Plewnia, Student des „KulturMediaTechnologie“ Studiengangs am 30.10.2012 in der Hochschule Karlsruhe.

4.2 Zweite Besprechung

In der zweiten Besprechung am 13.11.2012 treffen wir uns erneut mit Professor Walter und Timo Plewnia um die Forderungen und Wünsche für den Kamera Dolly im Lastenheft festzuhalten und um erste Konzeptideen vorzustellen.

4.2.1 Lastenheft

	Anforderungen
F	Verfahrweg 2m
W	Geschwindigkeit möglichst langsam
W	max. Beschleunigung 1m/s^2
F	max. Nutzlast 5kg
F	Kamera neig- und schwenkbar
F	kein ruckeln beim Fahren
W	Variabel aufstellbar (horizontal, vertikal, über Kopf)
W	leiser Antrieb
F	fernsteuerbar
F	variable Geschwindigkeit

4.2.2 Pflichtenheft

Ziel:	P1	2m Fahrweg, Geschwindigkeit möglichst langsam, 5kg Nutzlast
	P2	Kamera Dolly fernsteuerbar
	P3	Neuentwicklung
Zeit:	Z1	Terminvorstellung siehe Terminplan
Kapazität und Kosten	K1	Projektgruppe Kamera Dolly

4.2.3 Grundlegende Überlegungen für den Idealen Kamera Dolly:

Welche Art von Führung?

Nicht schmierend, präzise, nicht ruckelnd

Rollen:

Vorteil	Nachteil
kein Stick-Slip Effekt	nicht auf jedem Untergrund fahrbar
	nicht senkrecht fahrbar
	schwer motorisierbar

Schienensystem:

Vorteil	Nachteil
gerade	höheres Eigengewicht
eben	Stick-Slip Effekt bei hohen Belastungen
senkrecht fahrbar	Fahrweg auf Länge der Schiene begrenzt
auf jedem Untergrund verwendbar	
einfach motorisierbar	

Welche Art von Antrieb?

Riemen:

Vorteil	Nachteil
keine Schmierung nötig	aufwändigerer Antrieb (Umlenkrollen)
keine Geräusche	mehr Teile nötig
elastisch	
leicht	
kostengünstig	

Zahnrad:

Vorteil	Nachteil
höchster Wirkungsgrad	Geräuschentwicklung
	Schmierung notwendig

Spindel:

Vorteil	Nachteil
sehr präzise beim verfahren	Durchbiegung
	Eigengewicht (ca. 2,5kg bei 2000mm)

4.3 Dritte Besprechung

In der dritten Besprechung am 27.02.2013 präsentieren wir das erstellte CAD Modell Herrn Professor Walter und Timo Plewnia vor. Sprechen Änderungen auf möglichst wenig verschiedenes Rohmaterial ab so dass die Bauteile auf einmal mit Hilfe der Wasserstrahlschneidmaschine gefertigt werden. Des Weiteren erörtern wir den Ablauf der Materialbestellung des benötigten Materials. Zusätzlich wird die Möglichkeit des Sponsorings durch die Firma Iigus besprochen.

5. Konzeptphase

In der Konzeptphase wird der erste Kamera Dolly ausgearbeitet unter Berücksichtigung der Anforderungen im Lastenheft. Es werden passende Komponenten bei verschiedenen Lieferanten gesucht, die den geforderten Voraussetzungen entsprechen.

5.1 Erstes Konzept

Die Idee für das erste Konzept ist es ein Manfrotto Stativ, wie in Abbildung 5 zu sehen, auf Rollen zu setzen. Dabei kann der Manfrotto Videokopf 504HD verwendet werden, welcher für Videoaufnahmen optimal geeignet ist.



Abbildung 5: Manfrotto Stativ mit 504 HD Kopf [5]

Die Rollen laufen dann entweder direkt auf dem Boden im Studio oder auf einfachen Rohrprofilen für unebenen Untergrund. Abbildung 6 zeigt eine Skizze davon.

Vorteil	Nachteil
einfache Konstruktion	aufwändig zu motorisieren
	Pan- Tiltfunktion nur manuell
	nicht über Kopf verwendbar

Dieses erste Konzept stellt eine sehr einfache Konstruktion dar. Es wird nur ein Untergestell für das Manfrotto Stativ konstruiert. Dieses Gestell kann auf zwei parallele Rohre gestellt werden, welche mit einem Abstandshalter an jedem Ende auf der richtigen Distanz gehalten werden. Außerdem kann das Untergestell auch ohne Schiene verwendet werden. Es könnten gerade Schienen und gebogene gebaut werden um flexible Kamerafahrten zu ermöglichen. Die Schienen können auch verbunden werden, um längere Fahrten zu ermöglichen.

Nachteil an diesem Konzept ist die aufwändige Motorisierung, da entweder der Motor nur ein Rad antreibt und es so zu ungleichmäßigen Fahrverhalten kommt oder es werden drei Motoren benötigt, um alle Räder anzutreiben. Die Kipp- und Schwenkfunktion ist nur mit Hand möglich und zudem kann man die Konstruktion nicht über Kopf verwenden, da die Räder nicht auf der Schiene befestigt sind.

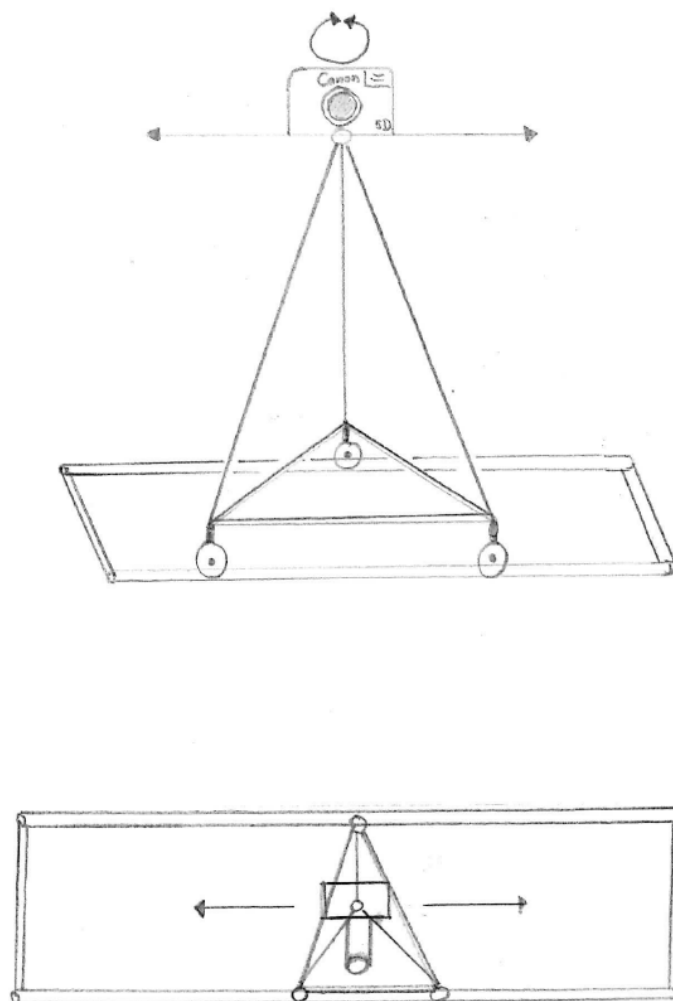


Abbildung 6: Skizze erstes Konzept [6]

5.2 Zweites Konzept

Vorteil	Nachteil
über Kopf eingeschränkt möglich	Pan-Tiltfunktion schwer motorisierbar
leise	
lineare Bewegung einfach motorisierbar	
senkrechte Benutzung möglich	

Beim zweiten Konzept, das Abbildung 7 zeigt, wird der Manfrotto Videokopf 504HD mit Hilfe von Servomotoren und Hebeln motorisiert. Der Wagen wird somit um eine Pan- und Tiltfunktion erweitert. Zusätzlich wird der Wagen auch ferngesteuert. Das zweite Konzept wird allerdings verworfen, da der Videokopf nicht für eine Motorisierung vorgesehen ist und die Umsetzung nur unter hohem Aufwand möglich ist.

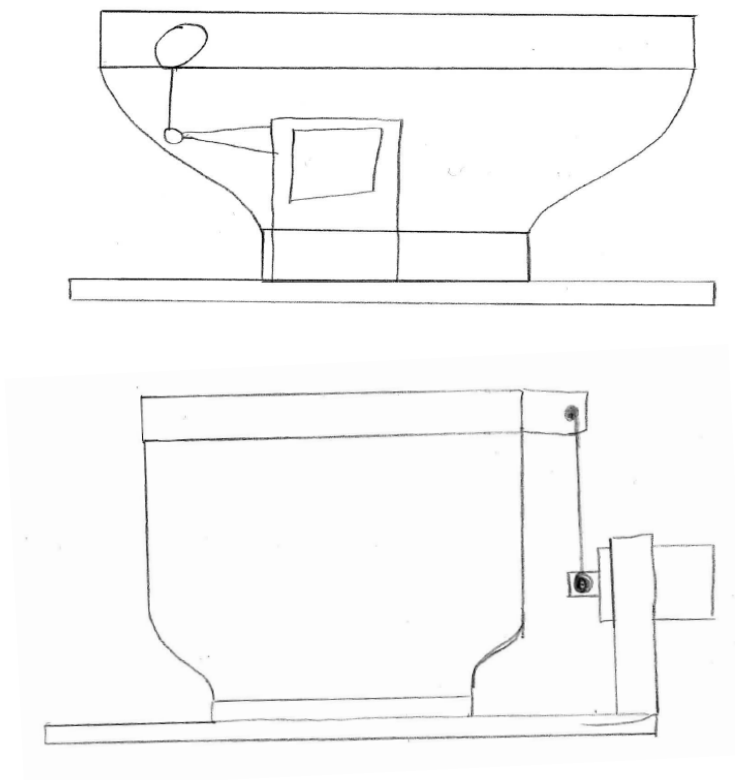


Abbildung 7: zweites Konzept [7]

5.3 Drittes Konzept

Vorteil	Nachteil
über Kopf möglich	erhöhtes Eigengewicht
leise	nicht von Hand steuerbar
lineare Bewegung einfach motorisierbar	
senkrechte Benutzung möglich	
sehr flexibel	
fernsteuerbar	

Das dritte Konzept, welche in Abbildung 8 gezeigt ist, sieht eine komplette Neukonstruktion vor. Die Kamera wird mit Hilfe von Servomotoren automatisiert und die Bewegung des Wagens einschließlich der Pan- und Tiltfunktion wird ferngesteuert. Die Übertragung des Drehmomentes der Servomotoren erfolgt hierbei durch Zahnräder und Riemen. Bei diesem Konzept ist es möglich die Kamera in allen gewünschten Arten, wie zum Beispiel waagrecht, senkrecht, schräg oder über Kopf zu bewegen und gleichzeitig die Kamera zu schwenken.

Dieses Konzept wird gewählt, weil es alle Forderungen und Wünsche aus dem Lastenheft erfüllt und es gut umsetzbar ist.

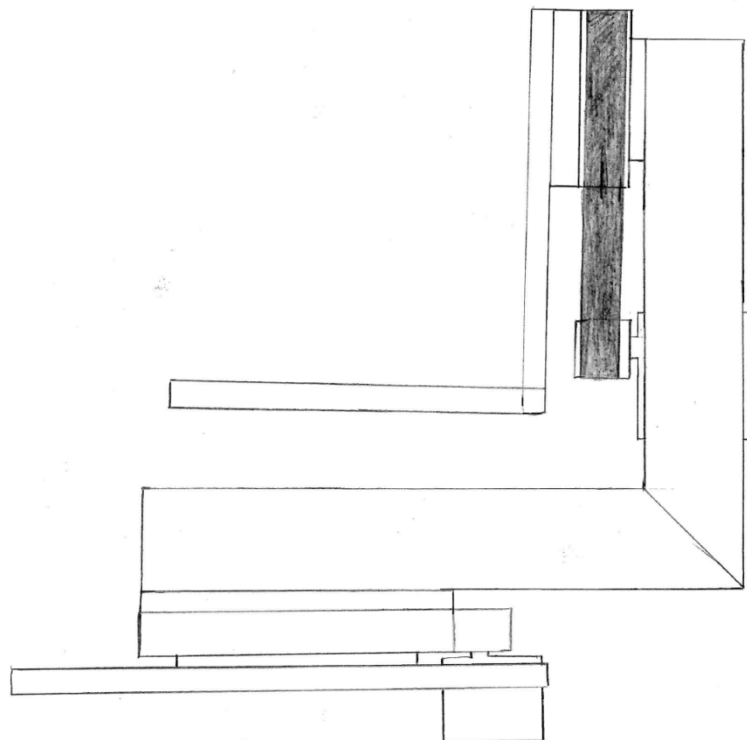


Abbildung 8: drittes Konzept [7]

6. Auslegung

Der Studiengang „KulturMediaTechnologie“ besitzt zurzeit mehrere Canon 5D Mark II Spiegelreflexkameras. Dieses Modell wird für HD Film- und Fotoprojekte eingesetzt, aber auch das Modell von Sony EX3 findet hierfür Verwendung. Für diese Kamera und nachfolgende DSLRs sollte der Dolly ausgelegt werden. Da die Kamera nur über einen Akku verfügt, sollte es auch möglich sein die Kamera mit einem Batteriegriff zu montieren, um eine zusätzliche Energieversorgung der Kamera für längere Aufnahmen zu garantieren. Auch für den Betrieb in kälteren Gebieten ist eine zweite Energiequelle für die Kamera von Vorteil. Das Kameragehäuse wiegt laut Datenblatt von Canon 812g und ist für einen Betrieb zwischen 0 und 40°C ausgelegt. Die Abmessungen sind (B x H x T) ca. 152 x 113,5 x 75 mm. Das Gewicht des Canon Batteriegriffs ist mit 315g angegeben, ohne Akkus. Ein Akku wiegt 91g. Zusätzlich wird noch ein Objektiv verwendet. Hier gibt es verschiedene Modelle. Für die Auslegung wird vom schwersten Objektiv ausgegangen um den Extremfall zu berücksichtigen. Das Canon 70-200 mm f2.8 USM II ist mit 1,5 kg eines der schwersten Objektive, das noch praktikabel und verwendbar ist. Das Gesamtgewicht der einsatzbereiten Kamera liegt bei ca. 2,809kg. Bei der Sony EX3 Kamera wird ein Gewicht von ca. 3,9kg im Datenblatt des Herstellers angegeben. Um den Dolly auch mit zukünftigen Kameramodellen zu verwenden, wird mit einem Kameragesamtgewicht von 5kg gerechnet.

6.1 Auslegung der Schiene

Maximale Durchbiegung:

Wie im Pflichtenheft beschlossen, wird die Schiene des Dollys 2350mm lang bestellt. Um die kleinstmögliche Durchbiegung zu erreichen wird die größtmögliche Schiene verwendet. Bei Benutzung auf zwei Stativen, jeweils am äußersten Rand, ergibt sich eine maximale Durchbiegung (f_{max}) von:

$$f_{max} = \frac{F * l^3}{48 * I * E} \quad (1)$$

F ist die Gewichtskraft des Kopfes und der Kamera zusammen und wird mit einem Maximalgewicht von 10kg festgelegt.

$$F = 10kg * 9,81 \frac{m}{s^2} = 98,1N \sim 100N \quad (2)$$

l ist die Länge der Schiene 2350mm

I ist das Flächenträgheitsmoment der Schiene, aus dem Igus Katalog abgelesen mit $1080000mm^4$

E ist das Elastizitätsmodul des Werkstoffes der Schiene. Aluminium = $70 \frac{kN}{mm^2}$

$$f_{max} = \frac{100N * (2350mm)^3}{48 * 1080000mm^4 * 70 \frac{kN}{mm^2}} = 0.357635mm \quad (3)$$

Das gewählte Profil WS-20-80-ungebohrt, das in Abbildung 9 gezeigt wird, ist geeignet für die gestellten Anforderungen.



Abbildung 9: IGUS Schiene und Schlitten [8]

Auf der IGUS Webseite besteht die Möglichkeit mit Hilfe des Experten Tools nachzuprüfen, ob das gewählte Profil den Anforderungen gewachsen ist. Es wird die Größe der Schiene, des Schlittens und die Belastungen eingetragen. Das Experten Tool berechnet dann das Laufverhalten, die Belastung und den Verschleiß. Abbildung 10 zeigt die Auswertung des Tools. Wie zu erkennen ist, sind Laufverhalten, Belastung und Verschleiß mit dem Wert OK gekennzeichnet. Das bedeutet, dass es mit diesen Belastungen zu keinerlei Stick-Slip Effekt oder Überbeanspruchung kommt.

The screenshot displays the 'DryLin Expert 2.0' software interface. At the top, there are navigation steps: 'Systemauswahl', 'Systemparameter', 'Maße & Bewegung', 'Ergebnis', and 'Produktlisten & Bestellen'. The 'Ergebnis' step is currently active, indicated by an orange circle. A progress bar shows five stars, with the last one highlighted in orange and labeled 'mehr'. Below the navigation bar, there are two diagrams illustrating the system configuration and a text box explaining the evaluation process. The main content is divided into two tables: 'Auswahl' (Selection) and 'Ergebnis' (Results).

Eigenschaft	Wert
System	2 x WS-20,2395 2 x VIG000M-01-20 2 x VIG000M-01-20 LL Lieferzeit 24 - 48 Std.
Schiennormmaterial	hartanodisiertes Aluminium
Abstand Schienen (B)	80 mm
Abstand Lager (wik)	2350 mm
Einbaulage	vertikal
Antrieb	Einzelantrieb mit Fest-Loslagerung
Position Festlager	antriebslos
Antriebskoordinate (yy)	-10 mm
Antriebskoordinate (xz)	40 mm
Schwerpunktkoordinate (xx)	0 mm
Schwerpunktkoordinate (yy)	0 mm
Schwerpunktkoordinate (xz)	0 mm
Gewichtskraft (Fg)	100 N
Beschleunigung (k)	1 m/s ²
Laufstrecke (Lges)	1000 km
Länge Schienen	2395 mm

Eigenschaft	Wert	
Laufverhalten	OK	Optimierung
Belastung	OK	Optimierung
Verschleiß	OK	Optimierung
Verschleiß y-Richtung	0,01 mm	
Verschleiß z-Richtung	0,01 mm	
max. zulässige Dauergeschwindigkeit	5 m/s	
erforderliche min. Antriebskraft	111 N	
zulässige Lagertemperatur	90 °C	
Berechnete max. Belastung y-Richtung	0 N	
Sicherheitsfaktor y-Richtung	6794,66	
Berechnete max. Belastung z-Richtung	2 N	
Sicherheitsfaktor z-Richtung	646,66	
Spiel am Schwerpunkt (Neuzustand)	0,1 mm	
Spiel am Schwerpunkt (Laufzeitende)	0,1 mm	

At the bottom of the interface, there are navigation buttons: 'Zurück', 'Malsystem' (with radio buttons for 'nietrich' and 'imperial'), 'Konfiguration', 'IMEs-Kontakt', and 'Weiter'.

Abbildung 10: Expertentool Auswertung [9]

6.2 Riemen für Linearbewegung

Die höchste Beanspruchung für den Riemen ergibt sich bei senkrecht stehender Schiene. Der Schlitten mit Kamera belastet den Riemen mit 100N. Dazu kommt noch die Vorspannung des Riemens. Diese wird mit 100N angenommen.

$$F_{Riemen} = 100N + 100N = 200N \quad (4)$$

Gewählt wird ein Zahnriemen der Firma Mädler mit HDT Profil (Abbildung 11), welcher bei geringer Drehzahl geräuscharm und sehr spielarm ist. Das gewählte Profil ist das 5M Profil mit 15mm Breite. Dieser Riemen hat eine maximale Zugkraft von 312N, das ergibt eine Sicherheit von 1,56.



Abbildung 11: HTD Profil [10]

6.3 Motor für Linearbewegung

Benötigtes Moment des Motors:

$$M = 100N * \left(\frac{40,24mm}{2}\right) = 2,012Nm \quad (5)$$

Im Pflichtenheft wird gefordert, dass der Schlitten möglichst langsam fährt. Außerdem soll der Motor einen möglichst kleinen Bauraum benötigen, da dieser auf dem Schlitten mitfährt. Aus diesem Grund wird der DOGA DC-Getriebemotor DO31938622B00/4026 gewählt (siehe Abbildung 12). Dieser Motor wird mit 12V betrieben und liefert 8Nm bei $45 \frac{1}{min}$.



Abbildung 12: DOGA 12V Getriebemotor [11]

Sicherheit des Motors:

$$s = \frac{8Nm}{2,012Nm} = 3,97614 \quad (6)$$

Maximale Geschwindigkeit des Schlittens:

$$v_{max} = n * U = 45 \frac{1}{min} * 40.24mm * \pi = 5,6888 \frac{m}{min} \quad (7)$$

Benötigte Zeit des Schlittens für die gesamte Strecke von 2200mm:

$$t_{min} = \frac{2,2m}{5,6888 \frac{m}{min}} = 23,2035s \quad (8)$$

Bei der verwendeten Schienenlänge benötigt der Schlitten 23,2s für die 2m Schienenlänge.

Minimale Geschwindigkeit des Schlittens:

Die minimale Geschwindigkeit beträgt ca. 20% der Maximalgeschwindigkeit. Dies ist abhängig vom verwendeten Regler.

$$v_{min} = v_{max} * 0,2 = 5,6888 \frac{m}{min} * 0,2 = 1,13776 \frac{m}{min} \quad (9)$$

$$t_{max} = \frac{2,2m}{1,13776 \frac{m}{min}} = 116,017s \sim 2 \text{ min} \quad (10)$$

6.4 Servomotoren Kopf

Für das Gewicht der Kamera und das Zubehör wird von 5kg ausgegangen. Dazu kommt noch das Gewicht des Halters, das 0,3kg beträgt.

$$F_{Kamera} = (5kg + 0,3kg) * 9,81 \frac{m}{s^2} = 52N \quad (11)$$

Die größte Belastung für den Servomotor entsteht, wenn die Kamera 90° senkrecht absteht. Um hohe Momente zu vermeiden, sollte versucht werden, den Halter so einzustellen, dass sich der Schwerpunkt der Kamera möglichst nahe an der Lagermitte befindet. Bei der Berechnung wird in diesem Fall angenommen, dass der Halter falsch eingestellt wurde, so dass sich der Schwerpunkt um 7cm von der Lagermitte entfernt und dass in diesem Fall die schwerste Kamera mit vollem Zubehör verwendet wird. Die Servomotoren haben ein Drehmoment von $M_{Servo} = 1,36Nm$. Das Übersetzungsverhältnis beträgt $i=3$ somit ergibt sich für das Moment am Lager M_{Lager}

$$M_{Antrieb} = M_{Servo} * i = 1,36Nm * 3 = 4.08Nm \quad (12)$$

Das Moment der Kamera beträgt:

$$M_{Kamera} = F_{kamera} * l_{halter} = 52N * 0,07m = 3.71 Nm \quad (13)$$

$$M_{Antrieb} > M_{Kamera} \quad (14)$$

Somit ist das Drehmoment des Servomotors ausreichend um die Kamera zu bewegen.

6.5 Kopf

Der Kopf ist für die Pan- und Tiltbewegung der Kamera verantwortlich. Auf ihn wird die Kamera montiert, welche dann durch Servomotoren bewegt wird. Um eine saubere Kamerabewegung zu realisieren, muss der Dollykopf ein möglichst hohes Gewicht und Steifigkeit besitzen. Darüber hinaus soll der Dolly möglichst mobil sein und auch senkrecht verfahren. Daher ist es wichtig einen Kompromiss zu finden der dies vereint. Aus diesem Grund wird für das Grundgestell Vierkantaluminiumprofile mit den Maßen 50x30mm verwendet. Die Profile bieten eine mehr als ausreichende Steifigkeit und sind mit einem Gewicht von 1,2kg pro Meter ein guter Kompromiss zwischen Steifigkeit und Mobilität.

6.6 Halter

Maximale Durchbiegung des Halters durch das Gewicht der Kamera:

$$f_{\max} = \frac{F * l^3}{48 * I * E} \quad (15)$$

F Gewichtskraft der Kamera = 50N

l Die Länge des Hebelarms = 178mm

I Das Flächenträgheitsmoment des Rohres

$$I_x = \frac{\pi}{4} * (R^4 - r^4) = \frac{\pi}{4} * [(20\text{mm})^4 - (10\text{mm})^4] = 117818\text{mm}^4 \quad (16)$$

$$f_{\max} = \frac{50\text{N} * (178\text{mm})^3}{48 * 117818\text{mm}^4 * 70 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2}} = 0,000712\text{mm} \quad (17)$$

Die Durchbiegung kann vernachlässigt werden.

6.7 Lagerung

Für die Lagerung werden Rundtischlager der Firma IGUS verwendet, diese zeichnen sich durch ein geringes Gewicht, eine kompakte Bauform und einem hohen Kippmoment aus. Da die Lager über einen verzahnten Außenring verfügen, sind keine weiteren Zahn- bzw. Riemenräder erforderlich. Dadurch ist eine kompakte Bauform realisierbar. Für die Pan-Bewegung wird das Rundtischlager IGUS PRT-01-30-TO-ST verwendet. Das Rundtischlager verfügt über einen Außenring mit gerader Stirnradverzahnung mit dem Modul 2mm. Für die Tiltbewegung wird das Rundtischlager PRT-01-20-TO-HTD5M verwendet (Abbildung 13). Der Außenring des Lagers verfügt über ein HTD5M-Zahnriemenprofil. Die Bewegung der Servomotoren wird mit dem Faktor $i=1/3$ übersetzt (s. 7.6.1 Funktionsweise von Servomotoren)

Bei dem IGUS-Sponsorengespräch mit Herrn Belke wurde die Lebensdauer mit Hilfe eines Auslegungstools von IGUS bei voller Last und einem Drehwinkel von 90° bestimmt. Die Lebensdauer der Lager beträgt etwa 300 Millionen Zyklen, was vollkommen ausreichend ist.



Abbildung 13: Rundtischlager [12]

7. RC Komponenten

7.1 Akkumulator

Als Akkumulatoren werden Roxxy Power ZY 3S 5000mAh 30C eingesetzt. Es handelt sich hierbei um Lithium-Polymer-Akkus mit einer Kapazität von 5000mAh. Die große Kapazität ermöglicht eine Betriebsdauer des Dolly von etwa 30min. Diese Funktion ist hauptsächlich für mobile Anwendungen gedacht, so dass die Transportfähigkeit nicht durch ein externes Netzteil eingeschränkt wird.

Maximale Akkulaufzeit bei durchgehender Betätigung der zwei Servomotoren und des Motors:

$$Akkulaufzeit_{\text{maximale Leistung}} = \frac{5000mAh}{(6A + (2 * 1,2A))} = 35,7min \quad (18)$$

7.2 Externes Netzteil

Alternativ kann der Dolly auch über ein externes Netzteil mit 12V Gleichspannung versorgt werden. Diese Funktion ist besonders für stationäre Anwendungen gedacht, da hierbei die Laufzeit des Dollys unbegrenzt erhöht werden kann und die eingeschränkte Mobilität infolge des zusätzlichen Netzteils vernachlässigt werden kann.

7.3 Fernsteuerung

Als Fernsteuerung wird eine Futaba T8J (Abbildung 14) gewählt. Es handelt sich hierbei um eine 8-Kanal-Fernbedienung. Die Fernsteuerung kann hierbei bis zu 8-Funktionen gleichzeitig steuern, und ist deshalb zukunftssicher, falls der Dolly noch durch weitere Zusatzfunktionen wie zum Beispiel Zoom, erweitert werden soll. Die Futaba T8J sendet, wie im modernen Modellbau üblich, mit einer Frequenz von 2,4 GHz. Mit Hilfe der Fernsteuerung kann auch die Steuerung der Servomotoren verändert werden, so kann beispielsweise ein exponentieller Servomotorweg programmiert werden. So dass der Servomotor bei kleinen Ausschlägen des Steuerknüppels nur kleine Auslenkungen ausführt. Das ist sehr hilfreich, wenn die Kamera in einem kleinen Bereich sehr genau bewegt werden soll. Außerdem kann die Anfahrtsbeschleunigung, damit geregelt werden, so dass der Motor langsam beschleunigt und nicht ruckartig anfährt. Das ermöglicht eine weichere Kamerafahrt.



Abbildung 14: Futaba Fernsteuerung T8J [13]

7.4 Empfänger

Für den Empfänger wurde das Modell R2006GS 2,4GHz FH/S-FHSS (Abbildung 15) von der Firma Futaba gewählt. Das Modell verfügt über 6 PWM-Anschlüsse von denen bisher nur 3 Belegt werden, so dass noch genug Anschlüsse für spätere Erweiterungen zur Verfügung stehen. Das Modell verfügt über eine optimale Unterdrückung von Störsignalen durch schnelles Frequenzhopping. Dadurch ist auch in geschlossenen Räumen stets guter Empfang gewährleistet.

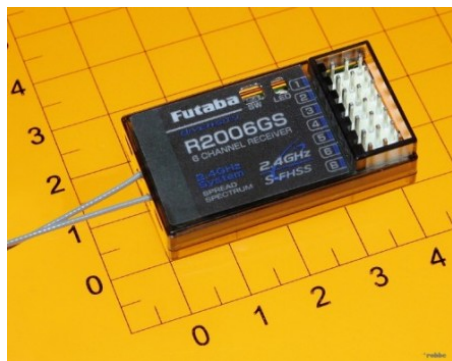


Abbildung 15: Empfänger Futaba R2006GS [14]

7.5 Regler

Als Regler wird das Modell Rookie Truck μ P Amp (Abbildung 16) der Firma Robbe verwendet. Der Regler dient zur Drehzahlsteuerung des Motors und versorgt den Empfänger und somit auch die Servomotoren mit Strom. Der Regler ist ausgelegt für einen Dauerstrom von 35 Ampere und kann kurzzeitig mit einem Strom von 45 Ampere belastet werden. Somit ist eine ausreichende Stromversorgung für den Motor sowie die Servomotoren und noch ausreichend Reserven für spätere Erweiterungen gewährleistet.



Abbildung 16: Regler Robbe Rookie Truck μ P Amp [14]

7.6 Servomotoren

Die Drehbewegung der Kamera soll einen Bereich von 360° abdecken, so ist gewährleistet, dass die Kamera alles im Blick hat. Außerdem soll die Position der Kamera jederzeit bekannt sein, so dass es möglich ist, einen vorher programmierten Nullpunkt anzufahren. Da die Positionsbestimmung mit herkömmlichen Elektromotoren zu aufwendig wäre, kommen Servomotoren der Firma STO zum Einsatz (Abbildung 17). Bei den Servomotoren erfolgt die Positionsbestimmung der Ausgangswelle über ein Potentiometer. Um einen Bereich von 360° abzudecken werden und gleichzeitig schwere Kameras zu bewegen, kommen die Servomotoren STO 960HMG zum Einsatz. Diese Servomotoren werden hauptsächlich in der Aerial Photography eingesetzt, meistens für Pan- und Tiltbewegungen von Kameras und zum Ausgleich von Kippbewegungen, beispielsweise bei einem Quadrocopter. Diese Servomotoren ermöglichen Drehbewegungen bis zu 630° im und gegen den Uhrzeigersinn, im Gegensatz zu den herkömmlichen Servomotoren, die nur eine Drehbewegung von 60° bzw. 90° ermöglichen. Dadurch ist, in Verbindung mit der Übersetzung von $i=1/3$, eine Drehbewegung von insgesamt 420° möglich. Außerdem ist gewährleistet, dass der gesamte Drehbereich von der Kamera abgedeckt ist. Für die Tiltbewegung würde bei normaler Nutzung auch ein Schwenkwinkel von maximal 90° ausreichen, dennoch wird auch hier eine $1/3$ Übersetzung gewählt. Das hat den Hintergrund, dass der Dolly eventuell auch gedreht an der Decke befestigt wird und die Kamera in diesem Fall 180° geschwenkt werden kann und somit dient der Dolly dann als eine Art Kamerakran dienen kann.



Abbildung 17: Servomotor STO 980HMG [15]

7.6.1 Funktionsweise von Servomotoren

Ein Servomotor besteht aus einem kleinen Gleichstromelektromotor, der über ein Getriebe die Getriebeausgangswelle bzw. Zahnwelle antreibt. Am anderen Ende der Welle sitzt ein Potentiometer über den die Positionsbestimmung der Welle erfolgt. Anhand des Widerstandes des Potentiometers kann die Steuerelektronik auf die Position der Welle schließen. Hat die Getriebeausgangswelle den gewünschten Drehwinkel erreicht, hört der Elektromotor auf zu drehen und hält die Position, wie in den Abbildung 18 und Abbildung 19 zu erkennen ist.



Abbildung 18: Servomotor Innenansicht [16]

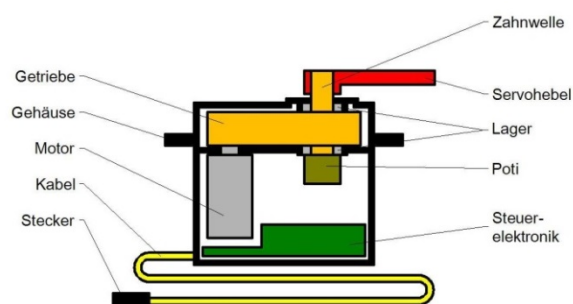


Abbildung 19: Servomotor Bauteile [16]

Die Information über den erforderlichen Drehwinkel wird vom Empfänger mittels Pulsweitenmodulation an den Servomotor übertragen (Abbildung 20). Hierbei sendet der Empfänger alle 20ms ein Signal an den Servomotor. Anhand der Länge des Signals kann der Servomotor dann auf den gewünschten Drehwinkel schließen, so bedeutet eine Signaldauer von 1ms voller Ausschlag links und 2ms voller Ausschlag rechts. [16]

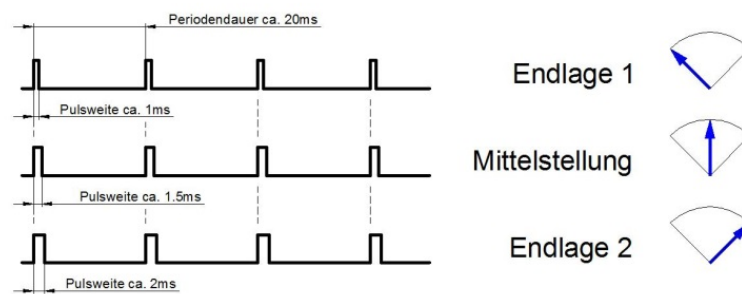


Abbildung 20: Servomotor Funktionsweise [16]

7.7 Schaltschema

Das Schaltschema (Abbildung 21) für den Kopf ist folgendermaßen aufgebaut: Der Empfänger bekommt von der Fernsteuerung (Sender) die Befehle, der Empfänger sendet die Signale weiter an die Servomotoren und an den Regler. Der Regler bekommt den notwendigen Strom von dem Akkumulator und leitet ihn weiter an den Motor und an dem Empfänger, der ihn wiederum an die Servomotoren weiterleitet.

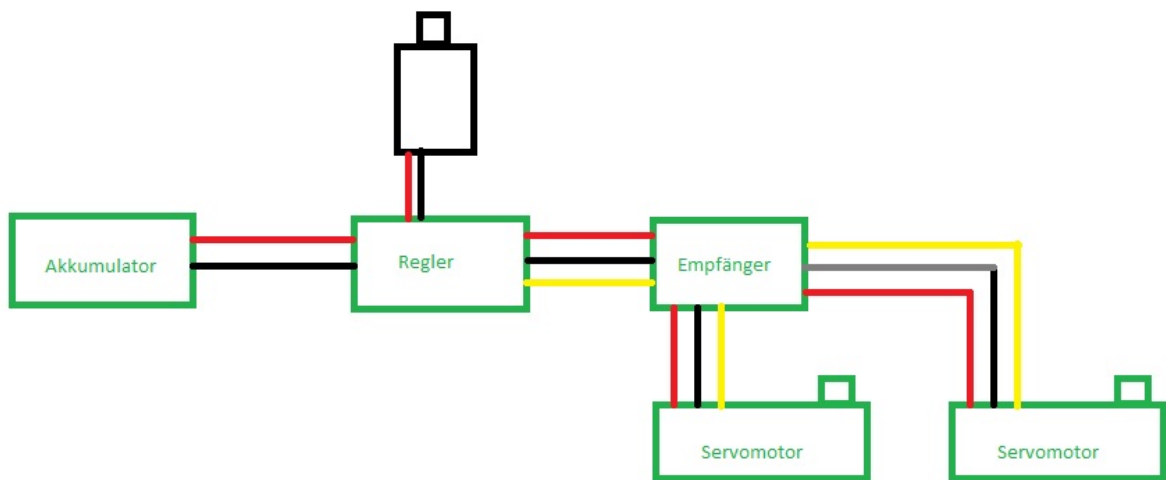


Abbildung 21: RC-Komponenten Schaltschema [7]

8. CAD-Modell

Anhand des gewählten Konzeptes und den gewählten Komponenten wird ein CAD Modell mit CREO Wildfire 5.0 erstellt. Kaufteile werden bei Tracepartsonline.de heruntergeladen. Andere Bauteile werden manuell erstellt. Abbildung 22 und Abbildung 23 zeigen das erstellte CAD Modell.

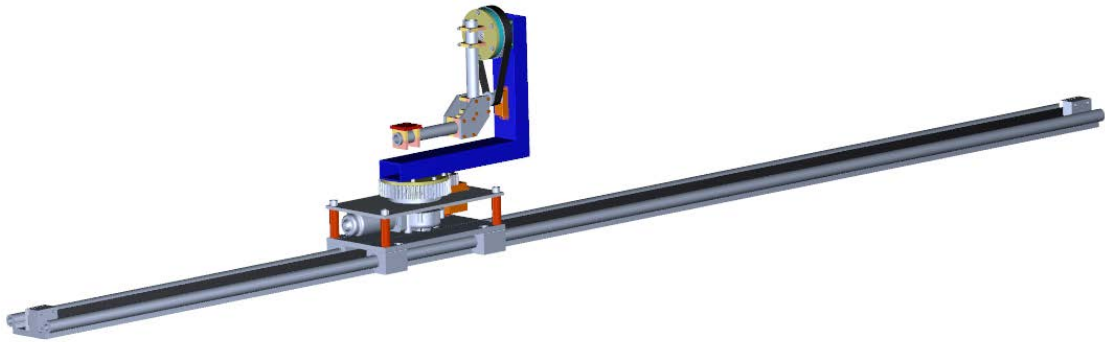


Abbildung 22: Kamera Dolly CAD-Modell [17]

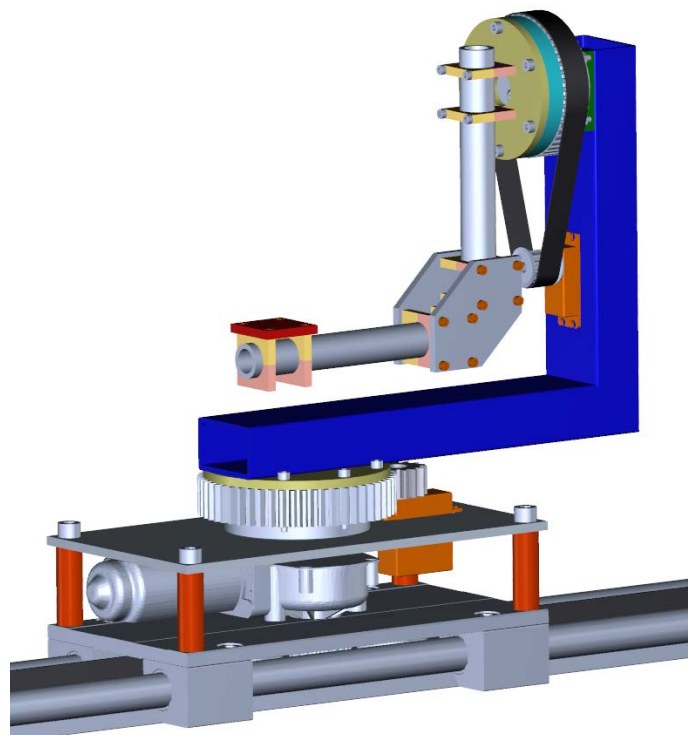


Abbildung 23: Schlitten mit Kopf CAD-Modell [17]

9. Schlusswort

Die Einzelteile befanden sich zum Zeitpunkt der Abgabe dieses Berichts noch im Zulauf, somit war es noch nicht möglich den Kamerawagen zu fertigen. Sobald die Teile eintreffen und vom IMP bearbeitet wurden, wird das Projekt zu Ende geführt.

Bisher sind 3 Kamera Dollys geplant. Einer davon wird fest in der Hemmingway-Lounge in Karlsruhe montiert, um dort Veranstaltungen aufzunehmen. Die anderen beiden Kamera Dollys werden im Studiengang „KulturMediaTechnologie“ für Lehrzwecke verwendet. Sollte das KMT Interesse an weiteren Kamera Dollys haben, wird die Serie auf 10 erweitert. Falls andere Hochschulen an dem Kamerawagen interessiert sind, kann die Serie auf bis zu 100 erweitert werden

In den nächsten Semestern kann der Dolly in Filmprojekten verwendet werden. Aber auch im Rahmen der Vorlesung „Automatisierung in der Medientechnik“ kann der Dolly analysiert und damit experimentiert werden. Er könnte aber auch von Studenten im Rahmen einer Projektarbeit weiterentwickelt werden zu einem Kamerakran aber auch die Automatisierung wäre möglich.

.

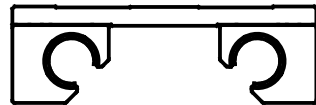
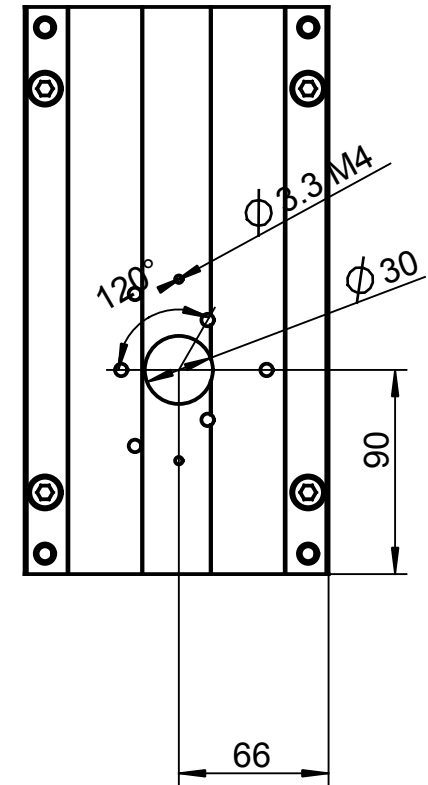
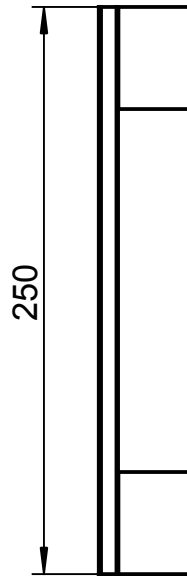
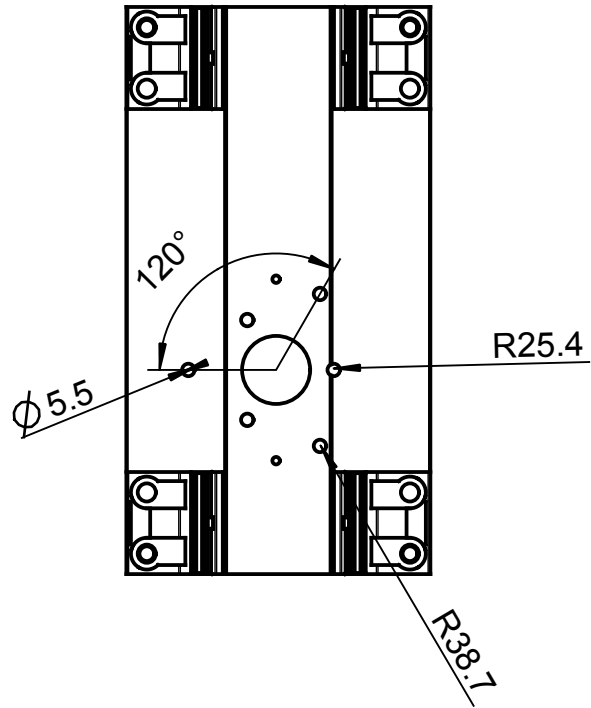
10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kamera Dolly [1].....	3
Abbildung 2: Einfacher Kameraschlitten [2].....	4
Abbildung 3: Kessler Pocket Dolly V2 [3]	4
Abbildung 4: Terminplan [4].....	5
Abbildung 5: Manfrotto Stativ mit 504 HD Kopf [5]	10
Abbildung 6: Skizze erstes Konzept [6].....	11
Abbildung 7: zweites Konzept [7]	12
Abbildung 8: drittes Konzept [7].....	13
Abbildung 9: IGUS Schiene und Schlitten [8].....	15
Abbildung 10: Expertentool Auswertung [9]	16
Abbildung 11: HTD Profil [10].....	17
Abbildung 12: DOGA 12V Getriebemotor [11].....	17
Abbildung 13: Rundtischlager [12].....	21
Abbildung 14: Futaba Fernsteuerung T8J [13]	23
Abbildung 15: Empfänger Futaba R2006GS [14]	24
Abbildung 16: Regler Robbe Rookie Truck μ P Amp [14].....	25
Abbildung 17: Servomotor STO 980HMG [15]	26
Abbildung 18: Servomotor Innenansicht [16].....	27
Abbildung 19: Servomotor Bauteile [16].....	27
Abbildung 20: Servomotor Funktionsweise [16]	28
Abbildung 21: RC-Komponenten Schaltschema [7]	29
Abbildung 22: Kamera Dolly CAD-Modell [17].....	30
Abbildung 23: Schlitten mit Kopf CAD-Modell [17]	30

11. Literaturverzeichnis

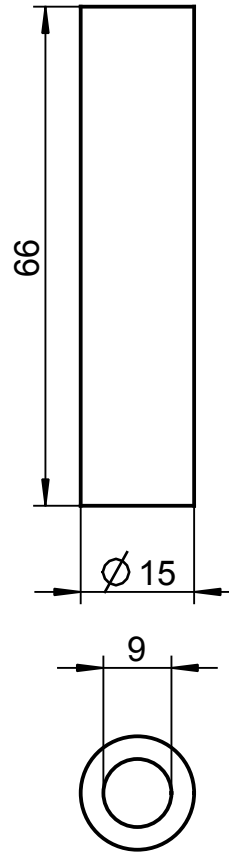
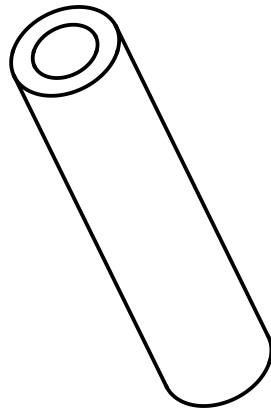
- [1] A. Lauterbach, „ZDF.de,“ 15 09 2011. [Online]. Available: http://blog.zdf.de/herzflimmern/files/2011/09/img_4691-ad-kamera-dolly_rd.jpg. [Zugriff am 14 11 2012].
- [2] WEKA MEDIA PUBLISHING GmbH, „Colorfoto.de,“ WEKA MEDIA PUBLISHING GmbH, 15 6 2012. [Online]. Available: <http://img3.colorfoto.de/Walimex-Mini-Dolly-Kamerawagen-f630x378-ffffff-C-b03055ed-54691026.jpg>. [Zugriff am 12 10 2012].
- [3] MBF Filmtechnik, „MBF Filmtechnik,“ 2012. [Online]. Available: http://mbfshop.de/media/images/thumb/94765440_2.jpg. [Zugriff am 10 10 2012].
- [4] Otterstätter/Ludwig, „Terminplan Projektarbeit,“ Karlsruhe, 2012.
- [5] S. Luke, „Videomaker.com,“ Videomaker, 01 03 2011. [Online]. Available: http://static.videomaker.com/sites/videomaker.com/files/styles/magazine_article_primary/public/articles/15181/main_25.jpg?itok=W7RXf5vf. [Zugriff am 10 10 2012].
- [6] Ludwig, Artist, *Erstes Konzept*. [Art]. Hochschule Karlsruhe, 2012.
- [7] Otterstätter, Artist, *Drittes Konzept*. [Art]. Hochschule Karlsruhe, 2012.
- [8] Directindustry.de, „Directindustry.de,“ 2012. [Online]. Available: http://img.directindustry.de/images_di/photo-mg/schwerlast-linearfuehrung-4740-2761223.jpg. [Zugriff am 10 10 2012].
- [9] IGUS.de, „IGUS,“ IGUS, 2013. [Online]. Available: <http://www.igus.de/drylinexpert/default.aspx?ArtNr=WS-20-80%20ungebohrt>. [Zugriff am 10 10 2012].
- [10] Mädler, „Mädler.de,“ 2013. [Online]. Available: http://www.maedler.de/Images/250-250/Bilder_Ecomm/Productpics/Zahnriemen_HTD.jpg. [Zugriff am 11 10 2012].
- [11] Conrad, „Conrad.de,“ 2013. [Online]. Available: http://www.conrad.de/medias/global/ce/1000_1999/1900/1980/1981/198109_LB_02_FB.EPS_250.jpg. [Zugriff am 11 10 2012].
- [12] IGUS, „Iigus.de,“ 2012. [Online]. Available: http://www.igus.de/_wpck/images/global/1_2/N10_8_02_PRTverzahnAussern1.jpg. [Zugriff am 24 11 2012].
- [13] Moki Italia, „moki-italia.com,“ 01 01 2012. [Online]. Available: <http://www.moki-italia.com/1079Futaba%208J.jpg>. [Zugriff am 15 2 2013].
- [14] Romex GmbH, „Flymex.de,“ 01 01 2012. [Online]. Available: <http://www.flymex.net>. [Zugriff am 15 2 2013].

- [15] Standard Tech Operation INC, „sto.org.tw,“ Standard Tech Operation INC, 01 01 2010. [Online]. Available: www.sto.org.tw. [Zugriff am 10 12 2012].
- [16] vBulletin Solutions, Inc, „rc-forum.de,“ vBulletin Solutions, Inc, 01 01 2008. [Online]. Available: www.rc-forum.de. [Zugriff am 15 3 2013].
- [17] O. / . Ludwig, „CREO Wildfire 5.0,“ Karlsruhe, 2013.



Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES				Maßstab 3:10		Gew.: kg
				Aluminium 5mm Alu-Platte		
				Datum	Name	Schlittenplatte
				Bearb. 26.02.14		
				Gepr.		
				Norm		
				Ludwig Florian		1
						1 Bl.
Dateiname	SCHLITTENPLATTE	A4	Zust.	Änderung	Datum	Name
Modell	IGUS_SCHLITTEN_250	PART				

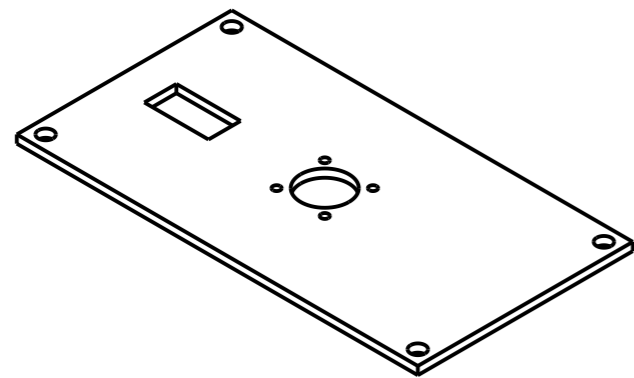
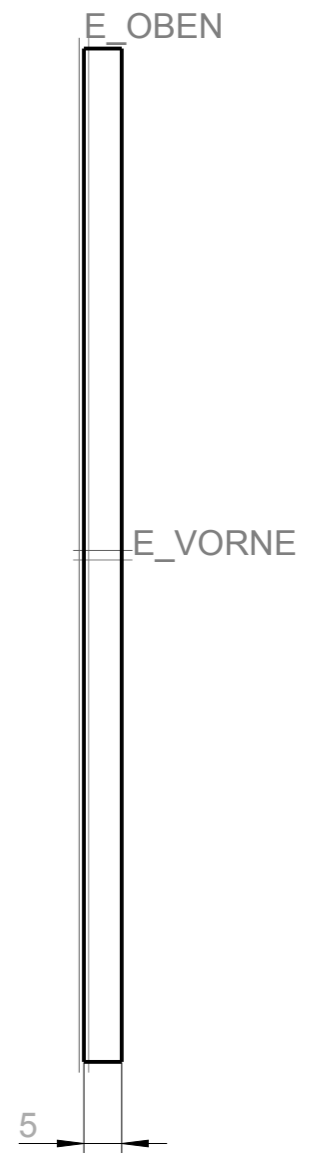
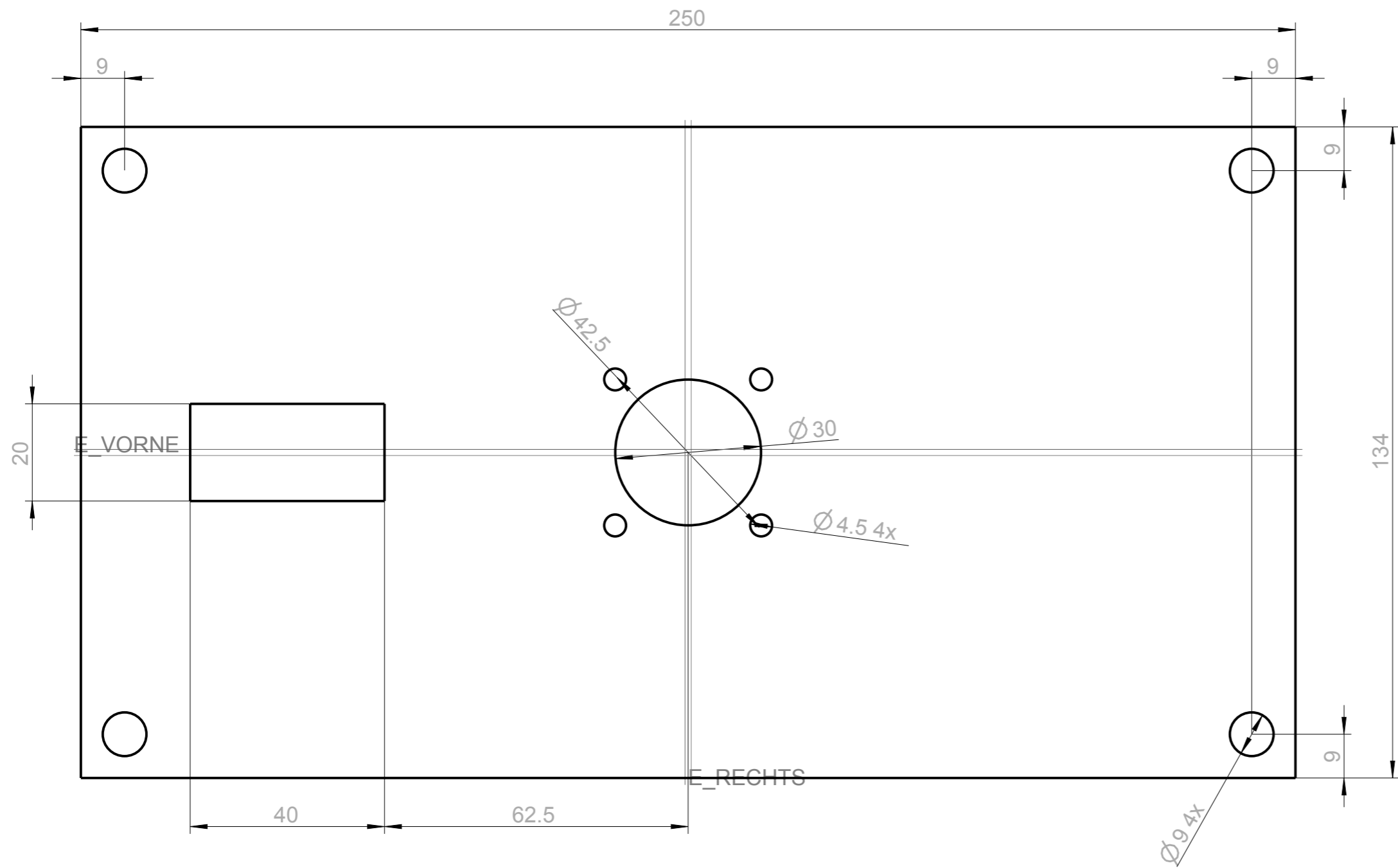
Dateiname	SCHLITTENPLATTE	A4
Modell	IGUS_SCHLITTEN_250	PART



Dateiname	ABSTANDHUELSE	A4
Modell	PRT0022	PART

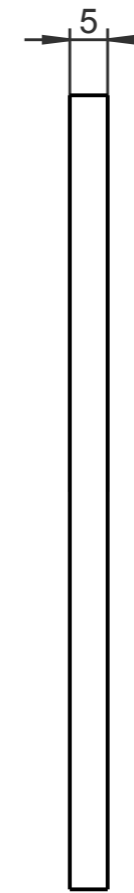
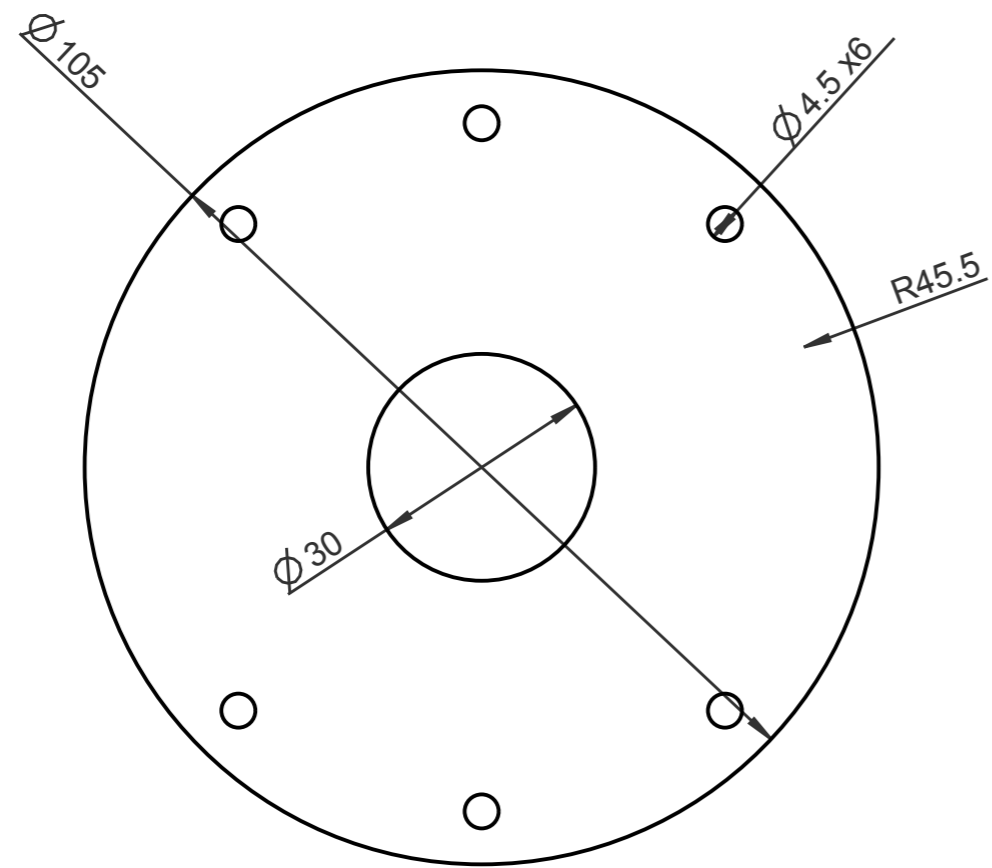
Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES				Maßstab 1:1		Gew.: 0.020 kg		
				ALUMINIUM RUNDMETERIAL 15MM				
				Datum	Name			
				Bearb.	26.02.14	LUDWIG		
				Gepr.				
				Norm				
				LUDWIG FLORIAN 31762 6. SEMESTER				1
Zust.	Änderung	Datum	Name					

ABSTANDSHALTER
DOLLY BUSTER



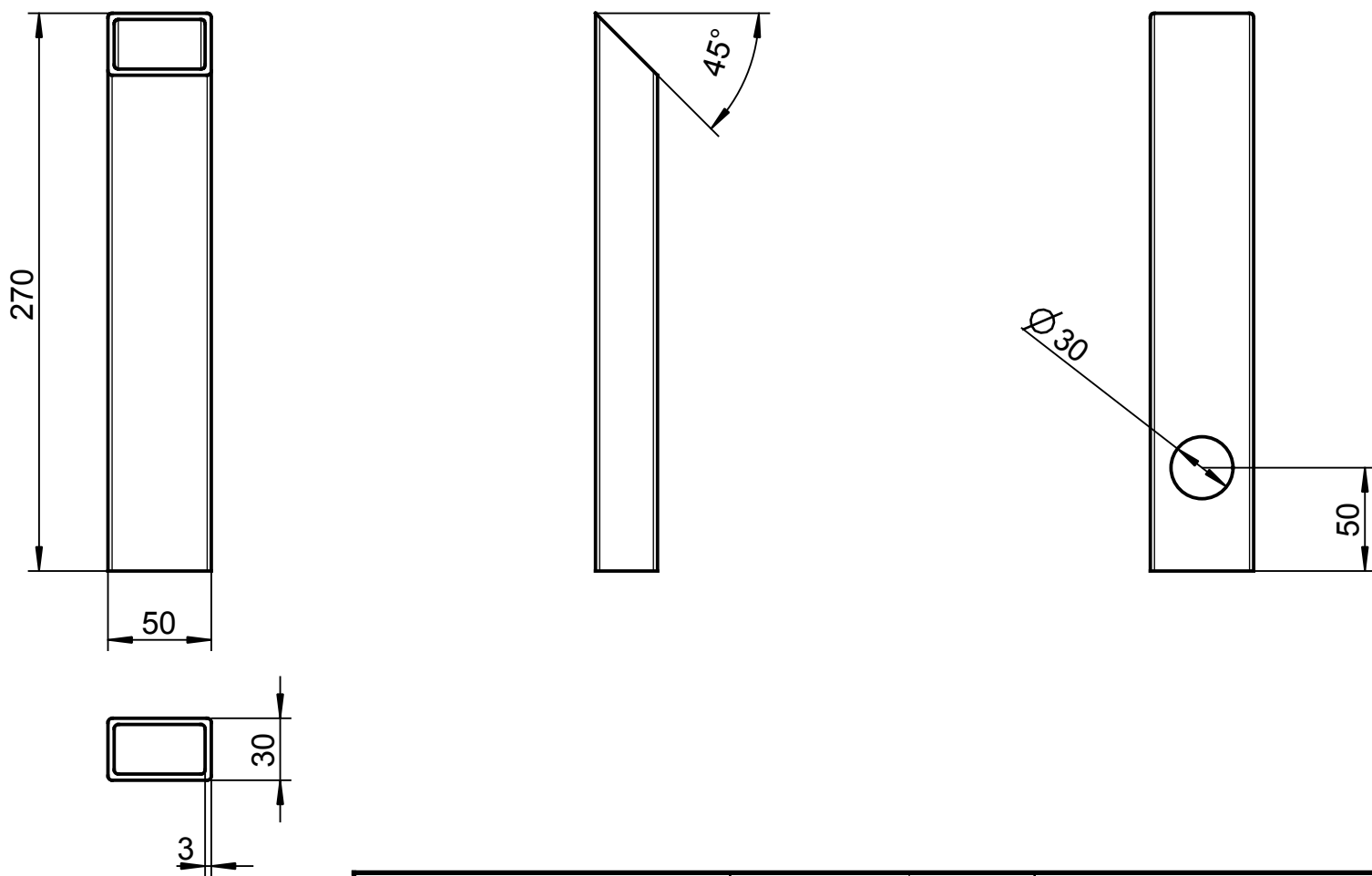
Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES		Maßstab 1:1		Gew.: 0.428 kg	
		EN AW 6061			
		Datum		Name	
		Bearb. 12.03.13		Otterstätter	
		Gepr.			
		Norm			
		Otterstätter, Benjamin 30907			
		(DIN/Zchn Nr)			1
					1 Bl.
Zust.	Änderung	Datum	Name		

Dateiname	PLATTE_OBEN	A3
Modell	PLATTE_OBEN	PART



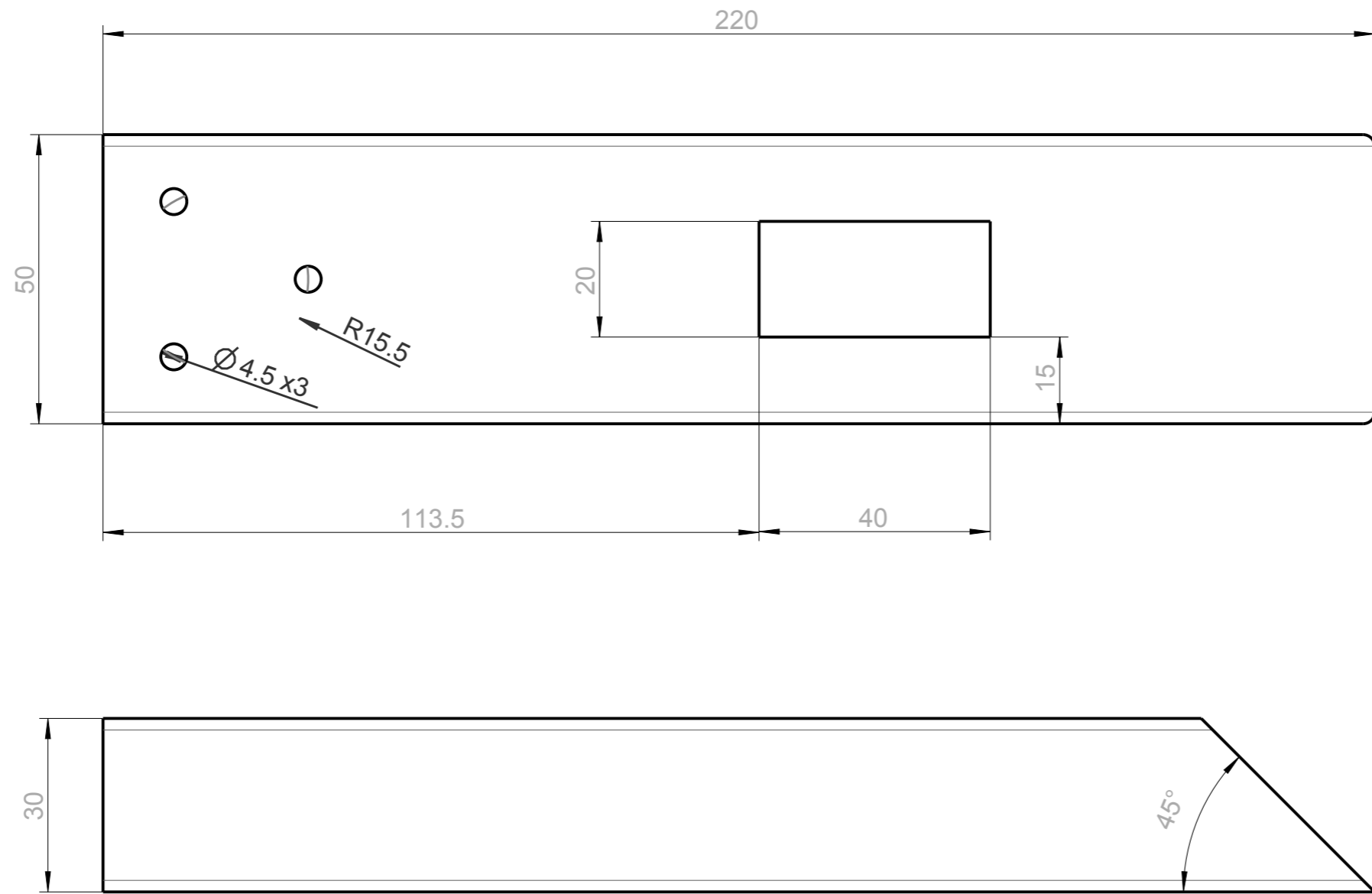
Dateiname	RUNDBLECH_30	A3
Modell	RUNDBLECH	PART

Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES		Maßstab 1:1		Gew.: 0.308 kg	
		Aluminium			
		Datum	Name		
		Bearb.	27.03.13	Otterstätter	
		Gepr.			
		Norm			
		Otterstätter, Benjamin 30907 MB7			
		Rundblech_innend.30			1
		Dolly Buster			
		(DIN/Zchn Nr)			
					1 Bl.
Zust.	Änderung	Datum	Name		



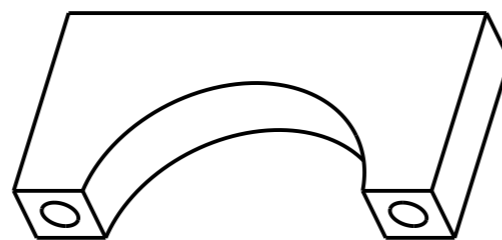
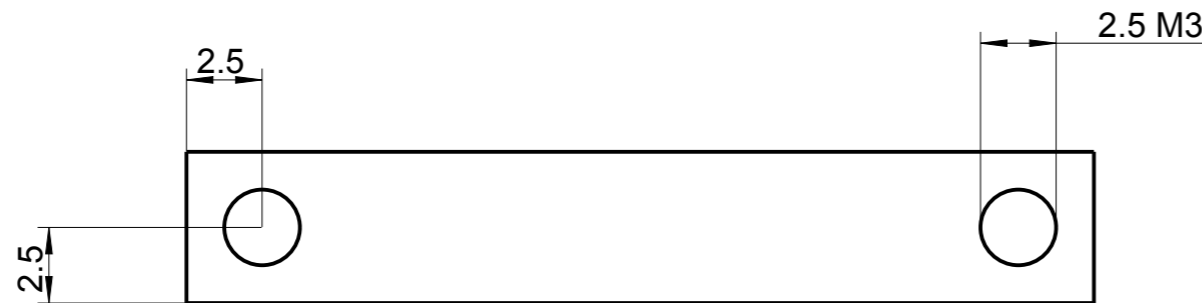
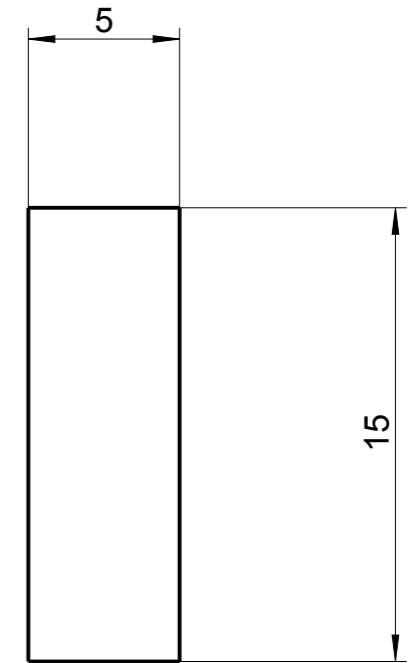
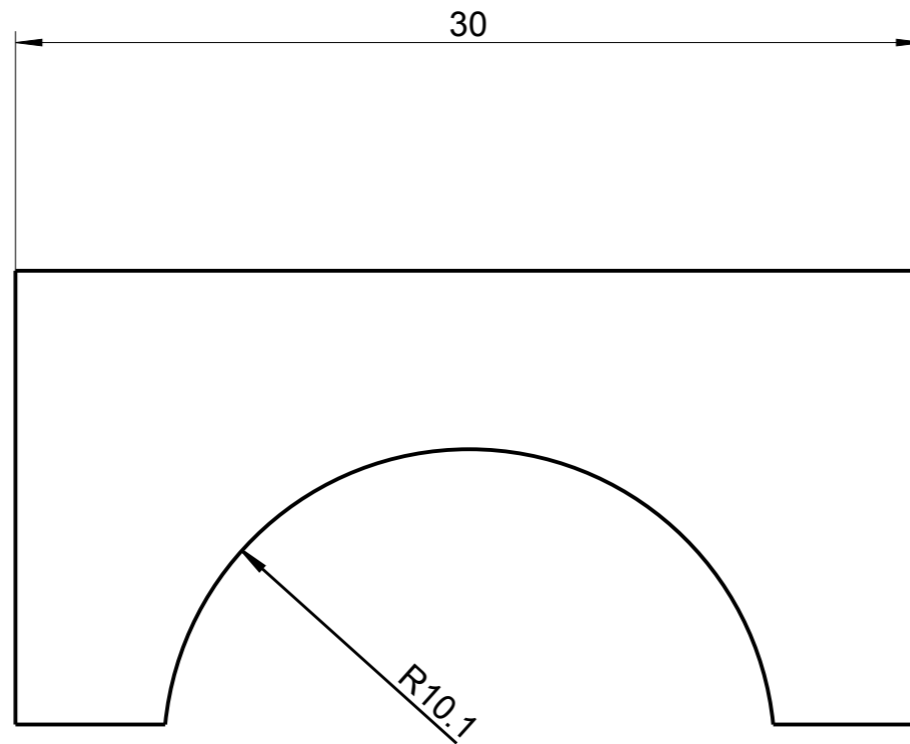
Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES						Maßstab 3:10	Gew.: kg
				Datum	Name	Vierkant unten	
				Bearb. 26.02.14			
				Gepr.			
				Norm			
				Otterstätter			1
							1 Bl.
Zust.	Änderung	Datum	Name				

Dateiname	VIERKANT_UNTEN	A4
Modell	VIERKANT	PART



Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES		Maßstab 1:1		Gew.: 0.229 kg	
		EN AW 6061			
		Datum		Name	
		Bearb. 12.03.13		Otterstätter	
		Gepr.			
		Norm			
		Otterstätter, Benjamin 30907 MB8			
		(DIN/Zchn Nr)			1
		1 Bl.			
Zust.	Änderung	Datum	Name		

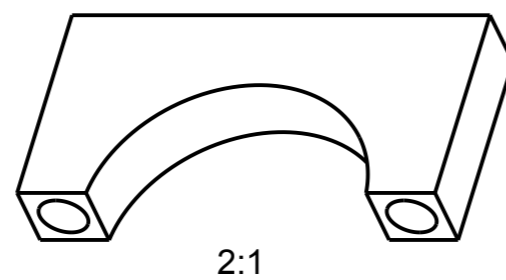
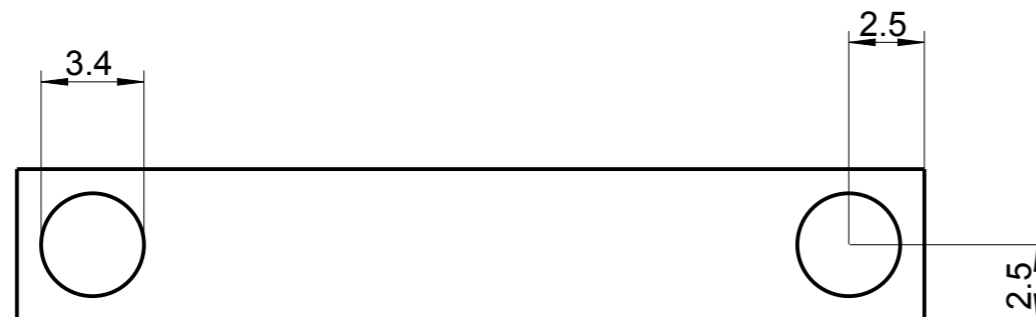
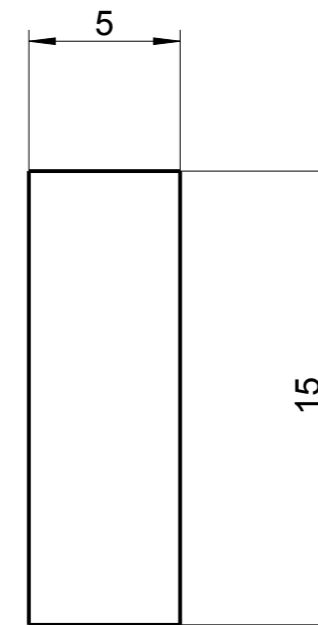
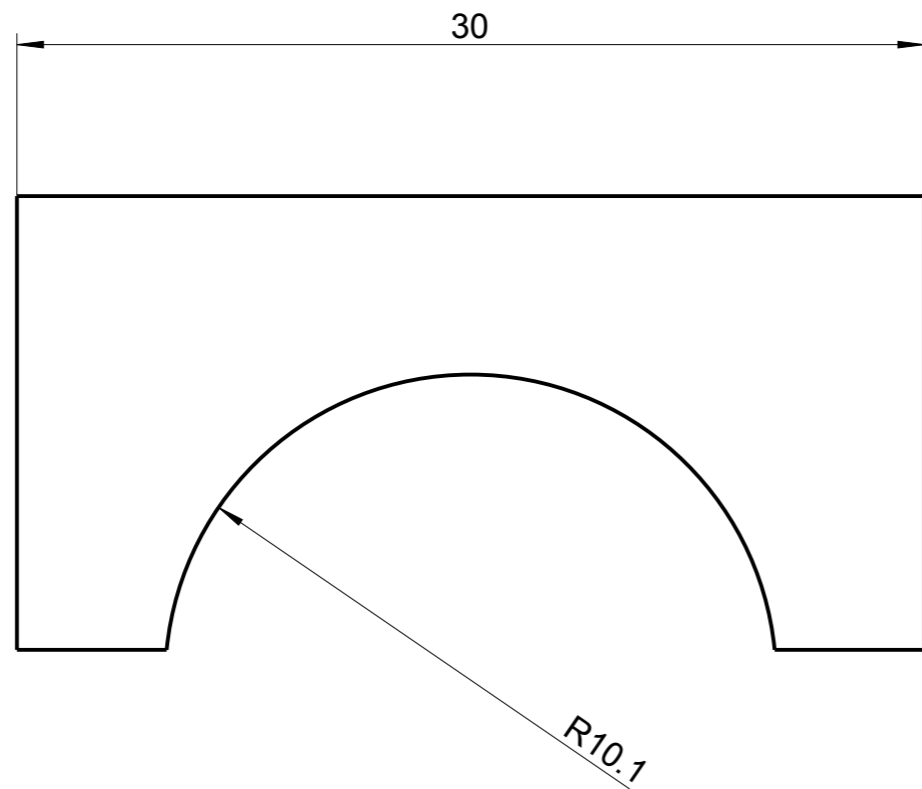
Dateiname	VIERKANTPROFIL_OBEN	A3
Modell	VIERKANT_2	PART



2:1

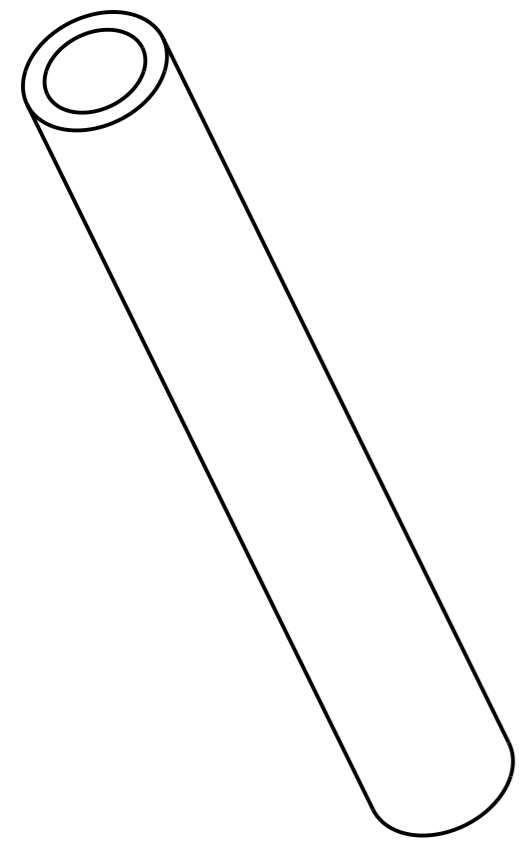
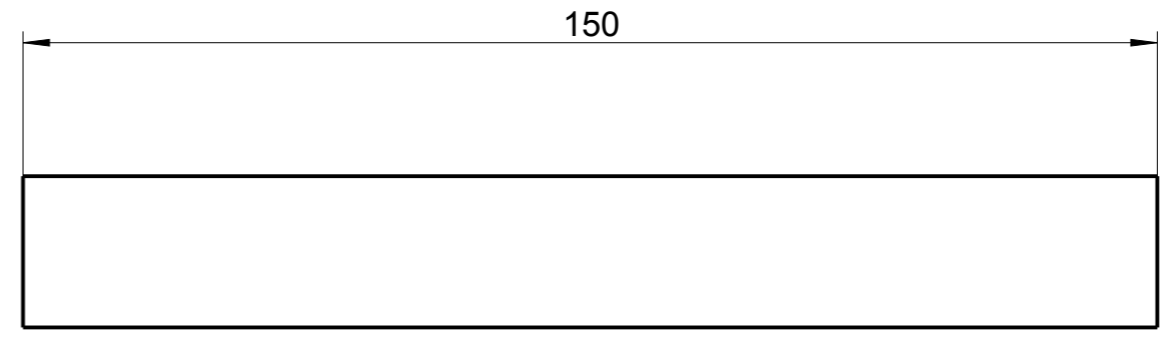
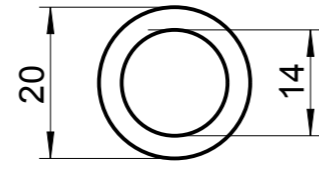
Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES				Maßstab 4:1	Gew.: 0.004 kg
				(Werkstoff) (Halbzeug)	
			Datum	Name	(Benennung) (z.B. Projekt)
			Bearb. 28.03.2023	Bearb. = USERNAME	
			Gepr.		
			Norm		
				(Name, Vorname) (Matrikelnummer) (Semester)	(DIN/Zchn Nr)
					1
Zust.	Änderung	Datum	Name		1 Bl.

Dateiname	BUEGEL_MIT_GEWINDE	A3
Modell	BUEGEL_M_GEWINDE	PART



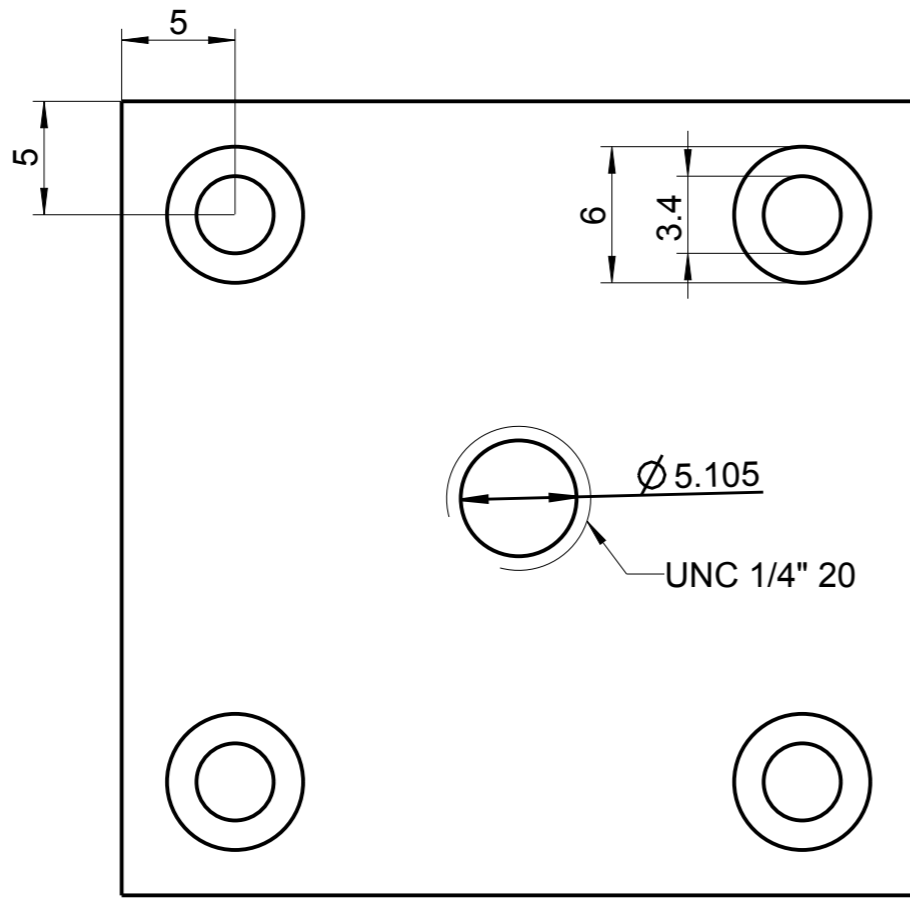
Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES		Maßstab 4:1		Gew.: 0.003 kg		
		5mm ALUMINIUMPLATTE				
		BÜGEL OHNE GEWINDE				
		DOLLY BUSTER				
		Ludwig, Florian 31762 6. Semester			(DIN/Zchn Nr)	1
Zust.	Änderung	Datum	Name	1 Bl.		

Dateiname	BUEGEL_OHNE_GEWINDE	A3
Modell	BUEGEL_O_GEWINDE	PART

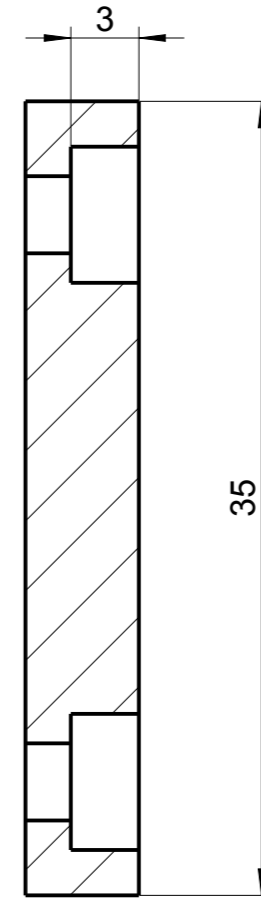


Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES				Maßstab 1:1		Gew.: 0.065 kg	
				ALUMINIUM 20MM ROHR			
				Datum	Name	ROHR DOLLY BUSTER	
				Bearb. 12.03.13	LUDWIG		
				Gepr.			
				Norm			
				(Name, Vorname) (Matrikelnummer) (Semester)		(DIN/Zchn Nr)	1
Zust.	Änderung	Datum	Name			1	Bl.

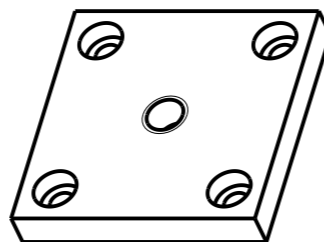
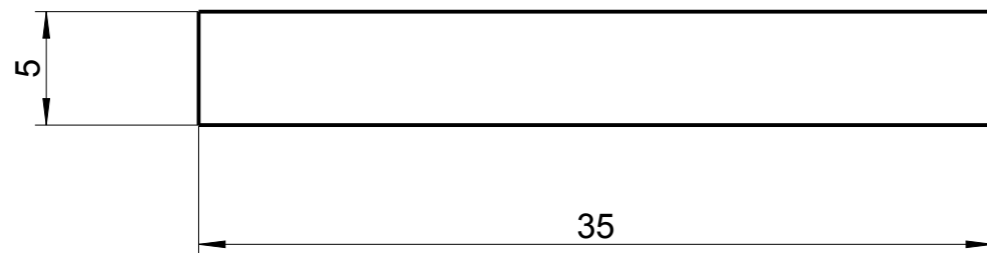
Dateiname	ROHR	A3
Modell	ROHR_25	PART



3:1



A-A



Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES		Maßstab 1:1		Gew.: 0.015 kg	
		ALUMINIUM ALUMINIUM 5MM			
		Datum		Name	
		Bearb. 12.03.13		LUDWIG	
		Gepr.			
		Norm			
		LUDWIG FLORIAN 3176 6. SEMESTER			
		MONTAGEPLATTE			1
		DOLLY BUSTER			1 Bl.
		(DIN/Zchn Nr)			
Zust.	Änderung	Datum	Name		

Dateiname	MONTAGEPLATTE	A3
Modell	MONTAGEPLATTE	PART