



<https://leonardob999.github.io/Projekt-Zyklotron/>

ZYKLOTRON-BAUANLEITUNG

Amar, Daniel, David, Lennart, Leon, Robin

1 INHALT

2	Materialliste und Benötigte Werkzeuge	2
3	Einführung	3
4	Vorbereitung 3D-Druckteile.....	3
4.1	3D-Druck	3
4.2	Nachbearbeitung	4
5	Zusammenbau 3D-Druck.....	4
6	Basis	5
6.1	Brett	5
6.2	Rahmen	5
7	Schaltung	5
8	Programmcode	6
9	Bildanleitung.....	7
	Schritt 1:	7
	Schritt 2:	8
	Schritt 3:	9
	Schritt 4:	10
	Schritt 5:	11
	Schritt 6:	12
	Schritt 7:	13
	Schritt 8:	14
	Schritt 9:	15
	Schritt 10:	16
10	Technische Zeichnungen	18
11	Quellen	25
12	Abbildungsverzeichnis	26

2 MATERIALLISTE UND BENÖTIGTE WERKZEUGE

Mechanische Komponenten:

- 2x1KG Spulen PVB (transparent)
- PLA/PETG Spule Farbe egal
- 24x M3*16mm Zylinderkopfgewindeschrauben
- 12xM3*16mm Senkkopfgewindeschrauben
- 16xM3*25mm Senkkopfholzschrauben
- 36x M3 Muttern
- Isopropanol
- Neodymmagnetkugel
- 500mmx500mmx5mm Holzbrett
- 4x Holzlatten

Elektrische Komponenten:

- 4x 87m*0,35mm Kupferlackdraht
- Kabel
- 1xLED-Band 3-farbig (alle 15cm aufteilbar)
- Widerstände: 4x1,2k Ω ; 4x4,7k Ω ; 4x20k Ω ; 4x10k Ω
- 2xLaborkabelbuchsen
- 1xEsp32 Microcontroller
- 1xRotary Encoder
- 1xOLed Display
- 4xHall Sensoren A3144
- 1xSpannungsregler L7805CV
- 4xFet mit Freilaufdiode
- 4xTransistor

Werkzeuge:

- Pinsel
- Dremel/Feilen
- Zange/Seitenschneider
- LötKolben
- 3D-Drucker
- Akkuschrauber
- Stichsäge

3 EINFÜHRUNG

Teilchenbeschleuniger sind heutzutage wichtige Werkzeuge in Forschungsgebieten wie Materien- und Materialforschung, aber auch in der Medizin oder der Energietechnik kommen sie zum Einsatz. Da diese jedoch groß und technisch hochkomplex sind, werden solche physikalischen Abläufe vereinfacht und in Modellen dargestellt. Dies ist genau das Ziel dieses Projektes. Durch den Bau dieses Zyklotrons, als Modell eines Teilchenbeschleunigers, sind die physikalischen Zusammenhänge einfacher zu verstehen. Außerdem wird durch das Zyklotron ermöglicht theoretische Inhalte in die Praxis umzusetzen.

Dieses Projekt weicht an einigen Stellen vom realen Teilchenbeschleuniger ab, zum Beispiel basiert es nicht auf dem Zusammenwirken von elektrischen und magnetischen Feldern, sondern nur auf dem Einsatz magnetischer Felder durch elektrisch gesteuerte Spulen. Daher stellt dieses Projekt nicht die genaue Wirkweise eines Teilchenbeschleunigers nach, kann aber dennoch physikalische Zusammenhänge, wie Induktion und Magnetfelder, verständlich darstellen.

4 VORBEREITUNG 3D-DRUCKTEILE

4.1 3D-DRUCK

Als ersten Schritt des Baus ist es nötig, die verschiedenen Modelle mit einem 3D-Drucker auszudrucken. Es werden benötigt (siehe GitHub):

- 6x Kurventeil-dick (transparentes Material)
- 2x Kurventeil-dünn (transparentes Material)
- 4x Verbindungsstück (beliebiges Material)
- 4x Stütze-Mk3 (beliebiges Material)
- 1x Bildschirmhalter-Mk5 (beliebiges Material)
- 1x Knopf-Mk2 (beliebiges Material)
- 1x RE-Halter (beliebiges Material)

Es ist auch möglich 8x Kurventeil-dünn zu verwenden. In folgender Anleitung wird jedoch 6x Kurventeil-dick verwendet, da in der vorausgegangenen Konstruktion zuerst zu hohe Sicherheiten mit eingebaut wurden. Als dies auffiel, war der Großteil der Kurven allerdings schon gedruckt.

Die Druckeinstellungen müssen je nach Drucker und Material individuell eingestellt werden. Bei dem transparenten PVB ist es jedoch wichtig darauf zu achten, dass für eine optimale Transparenz des Filaments der Infill des Drucks auf 100% zu stellen ist, da kleine Druckfehler und Lufteinschlüsse die Transparenz deutlich beeinträchtigen. Als Füllmuster wird das geradlinige Füllmuster verwendet. Zudem sollten alle Oberflächen von den Teilen gebügelt werden, um eine saubere Oberfläche zu ermöglichen, wobei die Flussrate 20% beträgt. Schürze und Rand (Skirt und Brim) können deaktiviert werden. Stützmaterial muss generiert werden, wobei die Form irrelevant ist. Für weitere Details

kann das Druckprofil via GitHub heruntergeladen werden. Dieses ist im CAD-Ordner als config.ini zu finden, muss allerdings noch auf den verwendeten Drucker angepasst werden.

Die Stützen, die Verbindungsstücke, die Displayhalterung und die Teile für den Rotary Encoder können aus einem beliebigen stabilen und plastischen Stoff gedruckt werden, da hier die Transparenz keine Rolle spielt. Hierbei werden die Teile mit der jeweiligen Standardeinstellung des Materials gedruckt.

4.2 NACHBEARBEITUNG

Nachdem die Teile vom 3D-Drucker fertiggestellt wurden, wird der Großteil des Supports mithilfe von Zangen und Seitenschneidern entfernt. Danach müssen die feineren, noch übrig gebliebenen, Strukturen des Supports mithilfe eines Dremels oder einer Feile entfernt werden ([Schritt 1](#)). Besonders zu beachten ist hier, dass an Verbindungsrelevanten Stellen nicht zu viel Material abgetragen werden darf, damit die Schraubverbindungen einwandfrei funktionieren.

Nachdem der Support so gut wie möglich entfernt wurde, sollten die Kurventeile noch mit Isopropanol behandelt werden, um die Transparenz und die Materialoberfläche zu verbessern. Hierfür wird ein Pinsel in das Isopropanol getunkt und dieses vorsichtig auf den Druck aufgetragen. Dieser Vorgang wird mehrfach wiederholt, bis die Oberfläche möglichst glatt und widerstandslos für die Kugel ist und das Kurventeil möglichst durchsichtig.

5 ZUSAMMENBAU 3D-DRUCK

Nachdem alle 3D-Druckteile fertig nachbearbeitet wurden, müssen die Spulen auf die Verbindungsstücke gewickelt werden ([Schritt 2](#)). Hierfür kann ein Akkuschauber verwendet werden. Jede Spule wird einzeln mit 87m Draht gewickelt. Es muss darauf geachtet werden, dass an beiden Enden noch genug freier Draht ist, um die Spule an die Schaltung anschließen zu können. Es sollte außerdem darauf geachtet werden, dass die Spulen möglichst genau gewickelt werden, da eine unsauber gewickelte Spule das Magnetfeld negativ beeinflusst. Wenn die Spule gewickelt wurde wird sie mit Isoband umwickelt um den Draht zu fixieren.

Für den Zusammenbau werden M3 Schrauben und Muttern verwendet.

Hilfreich ist es, wenn zuerst zwei Kurventeile übereinandergelegt und mit einer Stütze an den mittleren Löchern verbunden werden ([Schritt 3](#)). Dies wird für alle vier Viertel gemacht, wobei die zwei Kurventeile dünn optimalerweise auf der Oberseite und diagonal gegenüber platziert werden sollten. Daraufhin müssen die Viertel nun mit den Verbindungsstücken verbunden werden, indem diese auf die vier Viertel geschoben und daraufhin mit Schrauben verbunden werden. ([Schritt 4 + 5](#))

6 BASIS

6.1 BRETT

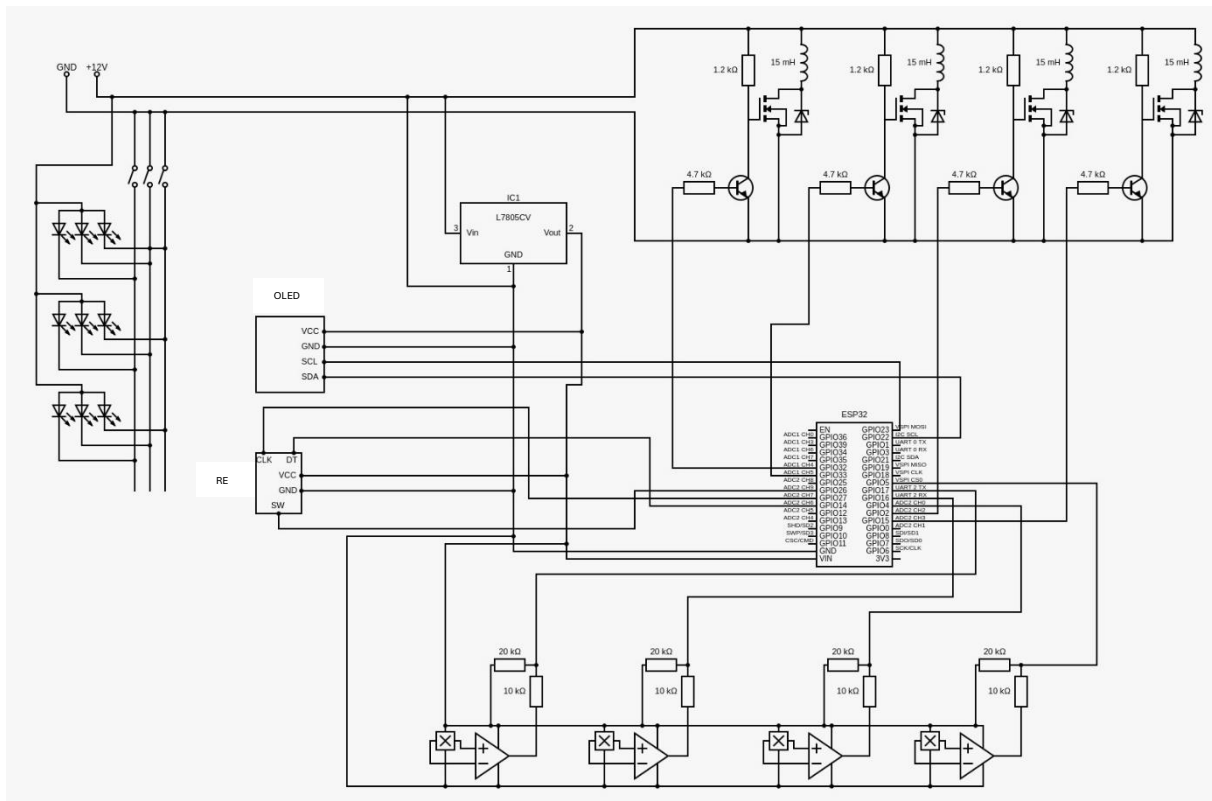
Wenn das Zyklotron zusammengesetzt wurde kann dieses nun mittig auf das Brett gesetzt werden. Danach werden mithilfe eines Bleistiftes die Löcher in den Stützen markiert. Außerdem werden die Löcher für die Kabel markiert. Diese müssen pro Verbindungsstück zentral unter der Spule sitzen sowie rechts und links von der Spule mit einem Abstand von ca. 32mm zum zentralen Loch. Die markierten Löcher können nun gebohrt werden ([Schritt 6](#)). Zudem wird der Platz in der Mitte ausgemessen, um die Gravur zu zentrieren. Danach wird jetzt die Beschriftung in der Mitte des Brettes eingraviert ([Schritt 7](#)). Nachdem die Gravur fertiggestellt wurde, sollte das Brett möglichst mit Druckluft abgeblasen werden, um es von liegengelassenen Spänen zu befreien. Danach kann das Brett noch eingewachst werden, um es vor Verschmutzung oder Beschädigungen zu schützen (**WICHTIG: Das Wachs erst nach der Gravur auftragen! Akute Brandgefahr!**).

6.2 RAHMEN

Bevor mit dem Bau des Rahmens begonnen werden kann, muss zuerst die Frontplatte bearbeitet werden, das heißt in die Frontplatte muss eine Aussparung für den Rotary Encoder gesägt werden ([Schritt 8](#)). Danach wird der Rahmen, der dem Brett Stabilität verleiht und die Schaltung versteckt aus 4 Latten und 8 Holzschrauben zusammengebaut. Dabei muss darauf geachtet werden, dass dieser mit dem Brett abschließend gebaut wird. Außerdem müssen an beliebiger Stelle noch zwei passende Langlöcher für den Stromanschluss gebohrt werden. Dieser wird mithilfe zweier Laborkabelbuchsen realisiert. Die Verbindung mit dem Brett wird mit 2 Schrauben pro Latte realisiert ([Schritt 9](#)). Nun wird das Zyklotron mit den vorbereiteten Löchern auf dem Brett verschraubt ([Schritt 10](#)).

7 SCHALTUNG

Im Folgenden muss nun noch die Schaltung, nach gezeigtem Schaltplan gelötet werden. Die Schaltung wird mithilfe einer Platine geordnet und unter das Brett geklebt. Die beiden oberen Anschlüsse GND und +12V werden mit den Laborkabelbuchsen verlötet. Beim Löten der Schaltung muss darauf geachtet werden, dass die Kabel für die Spulen, die LED-Streifen, den Rotary Encoder, und den Bildschirm lang genug sind, um durch die jeweiligen Löcher zu reichen. Außerdem muss auf die richtige Anschlussweise der verschiedenen Bauteile geachtet werden, da ansonsten die Wirkweise verändert wird, oder Teile der Schaltung beschädigt werden können.



Die Spulen werden mithilfe der zentralen Löcher unter jeder Spule an die Schaltung angeschlossen. Außerdem werden die LED-Bänder an die Innenseiten der Kurventeile befestigt, um das Zyklotron von unten zu beleuchten und damit die Kugel besser sichtbar zu machen. Hierfür werden die Löcher links und rechts der jeweiligen Spule als Kabeldurchführung verwendet. Die vier Operationsverstärker am unteren Ende stellen die vier Hall-Sensoren dar. Das Bauteil OLED ist der Bildschirm und wird mithilfe des Bildschirmhalters an der vorderen Spule befestigt. Das Bauteil RE ist der Rotary Encoder und wird nach dem Löten mit der Halterung in die Aussparung des Rahmens eingesetzt. Später wird der Bildschirm mithilfe des Rotary Encoders angesteuert, indem durch Rotation zwischen Menüs umgeschaltet wird und durch drücken ein Menü aus- oder abgewählt wird. Das drehen innerhalb eines Menüs führt zur Änderung des ausgewählten Parameters.

8 PROGRAMMCODE

Abschließend muss der ESP32 Microcontroller noch programmiert werden. Der dafür verwendete Code kann über GitHub heruntergeladen werden. Dieser ist unter Code/zyklotron-main zu finden. Dann wird der Ordner in der Arduino IDE geöffnet und das main.ino File auf den ESP32 geflasht. Hierbei muss insbesondere darauf geachtet werden, dass die Pins die in der Schaltung verlötet wurden mit denen im Programmcode übereinstimmen.

9 BILDANLEITUNG

SCHRITT 1:

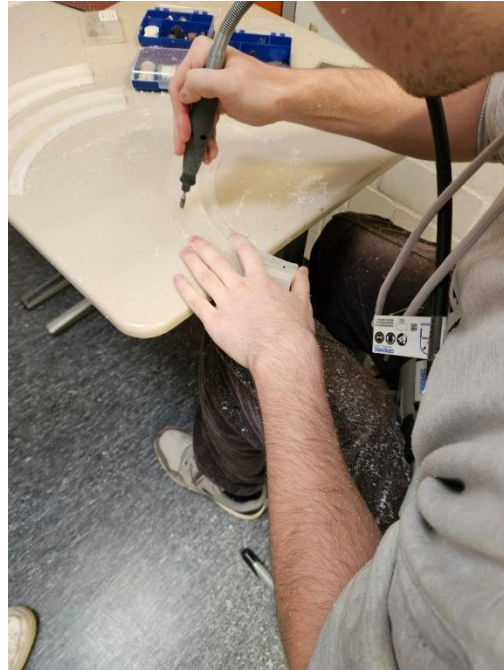


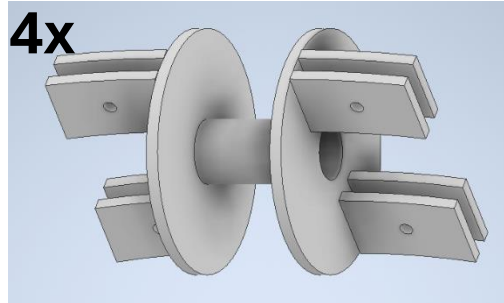
Abbildung 1: Nachbearbeitung

SCHRITT 2:

4x



4x



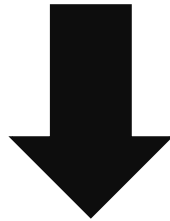
1x



Abbildung 5: Spule

Abbildung 5: Verbindungsstück Modell

Abbildung 5: Isoband



4x

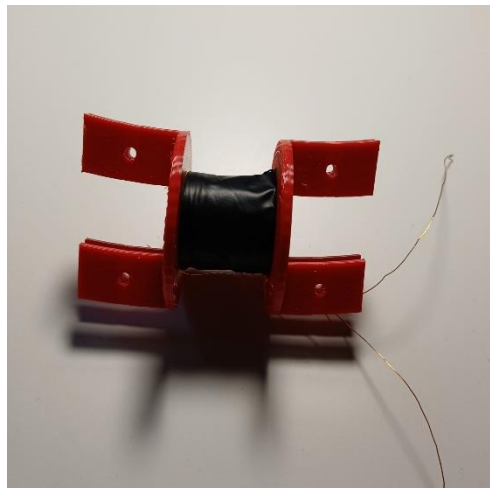


Abbildung 5: Verbindungsstück mit Spule

SCHRITT 3:



Abbildung 7: Kurventeil



Abbildung 6: Stütze

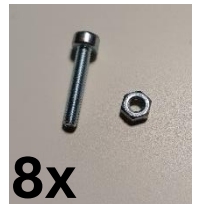


Abbildung 8:
Schraube M3 x 16
und Mutter M3

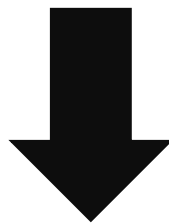


Abbildung 9: Viertel montiert

SCHRITT 4:



Abbildung 12: Viertel montiert

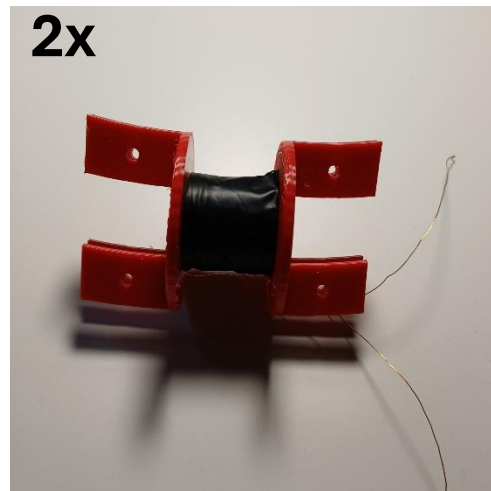


Abbildung 12: Verbindungsstück mit Spule



Abbildung 12:
Schraube M3 x 16
und Mutter M3

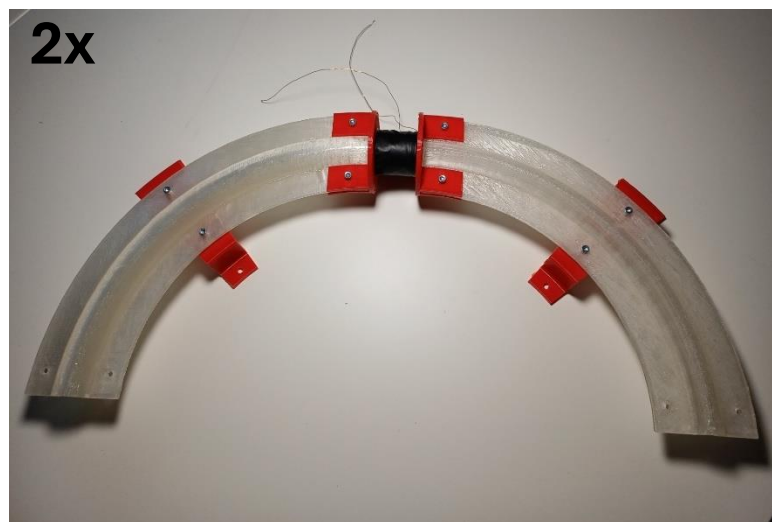
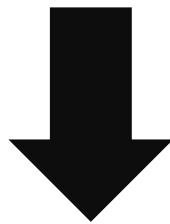


Abbildung 13: 2 Viertel montiert

SCHRITT 5:

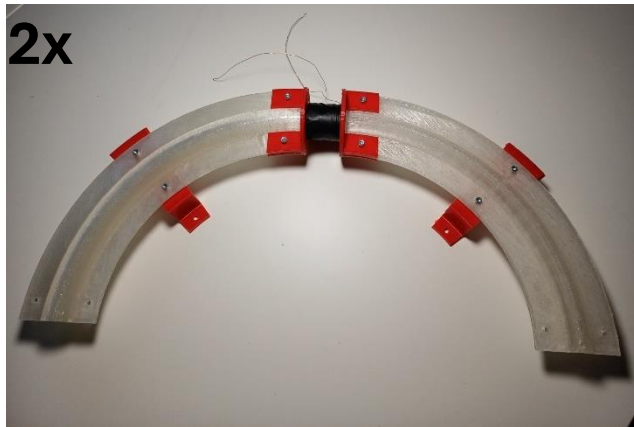


Abbildung 15: 2 Viertel montiert

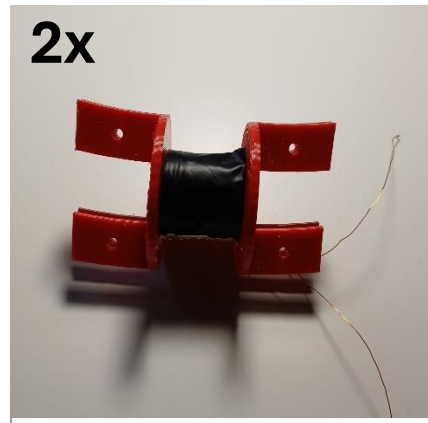


Abbildung 16: Verbindungsstück mit
Spule



Abbildung 14:
Schraube M3 x 16
und Mutter M3

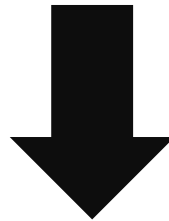


Abbildung 17: 4 Viertel montiert

SCHRITT 6:

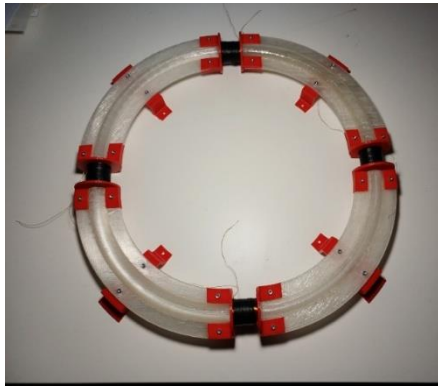


Abbildung 20: 4 Viertel montiert



Abbildung 19: Brett 500x500



Abbildung 18:
Akkubohrmaschine

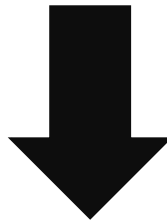


Abbildung 21: Anzeichnen

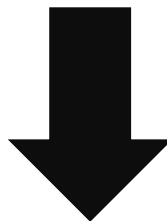


Abbildung 22: Bohren

SCHRITT 7:



Abbildung 24: Brett 500x500

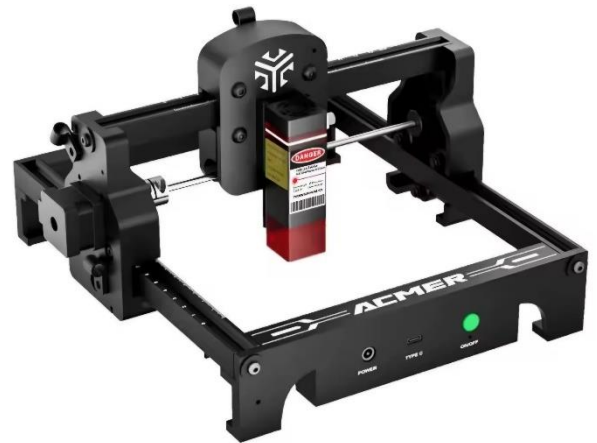


Abbildung 23: Gravierer

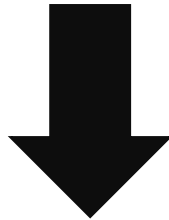


Abbildung 25: Gravur

SCHRITT 8:



Abbildung 26: Latte



Abbildung 27: Stichsäge

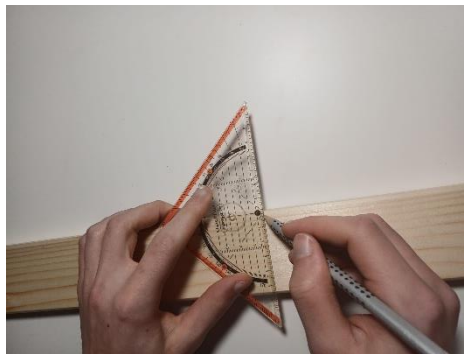
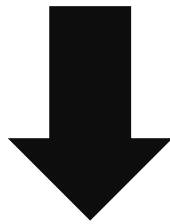


Abbildung 28: Latte Anzeichnen

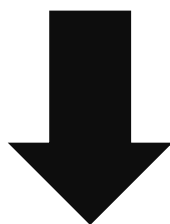


Abbildung 29: Latte sägen

SCHRITT 9:

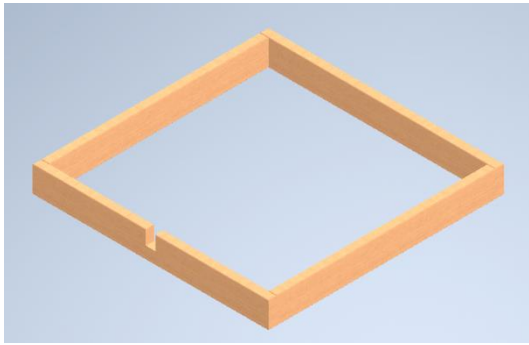


Abbildung 30: Rahmenmodell



Abbildung 32: Brett 500x500



Abbildung 31: M3 x
25mm
Senkkopfschraube

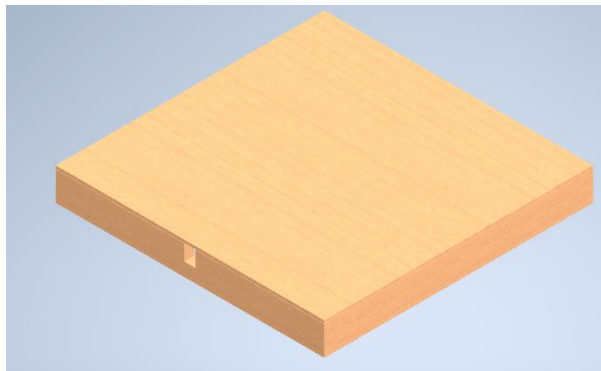
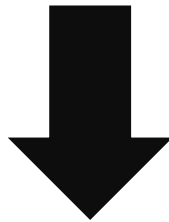


Abbildung 33: Brett auf Rahmen montiert

SCHRITT 10:

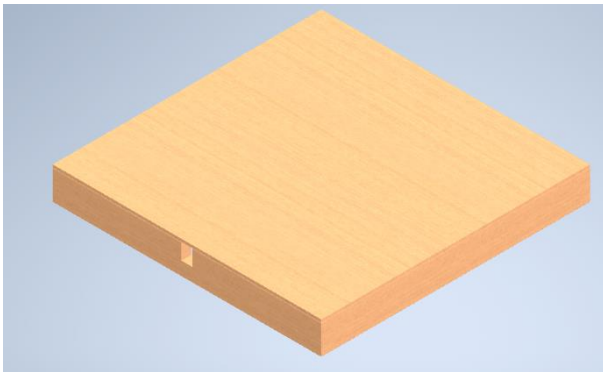


Abbildung 34: Basis gesamt

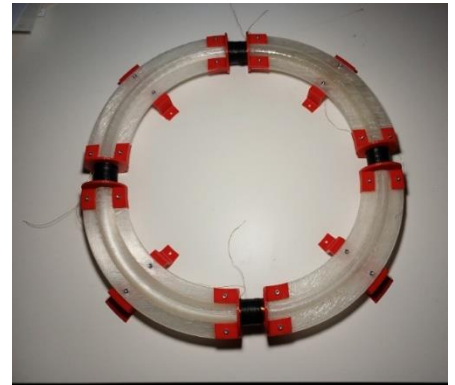


Abbildung 35: 4 Viertel montiert

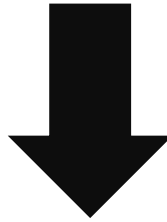


Abbildung 36: Zyklotron auf Basis montiert

10 TECHNISCHE ZEICHNUNGEN

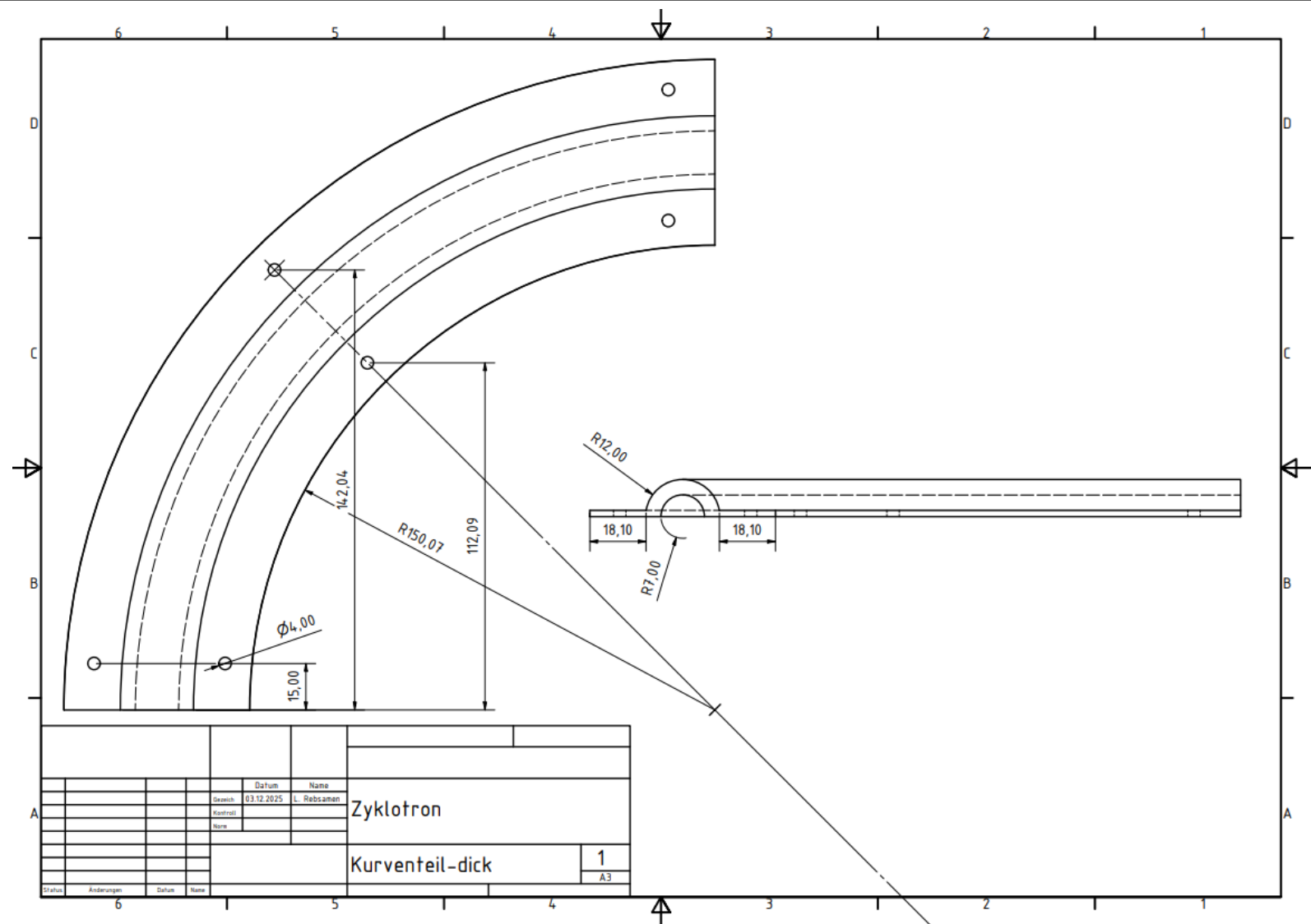


Abbildung 37: Technische Zeichnung Kurveileil-dick





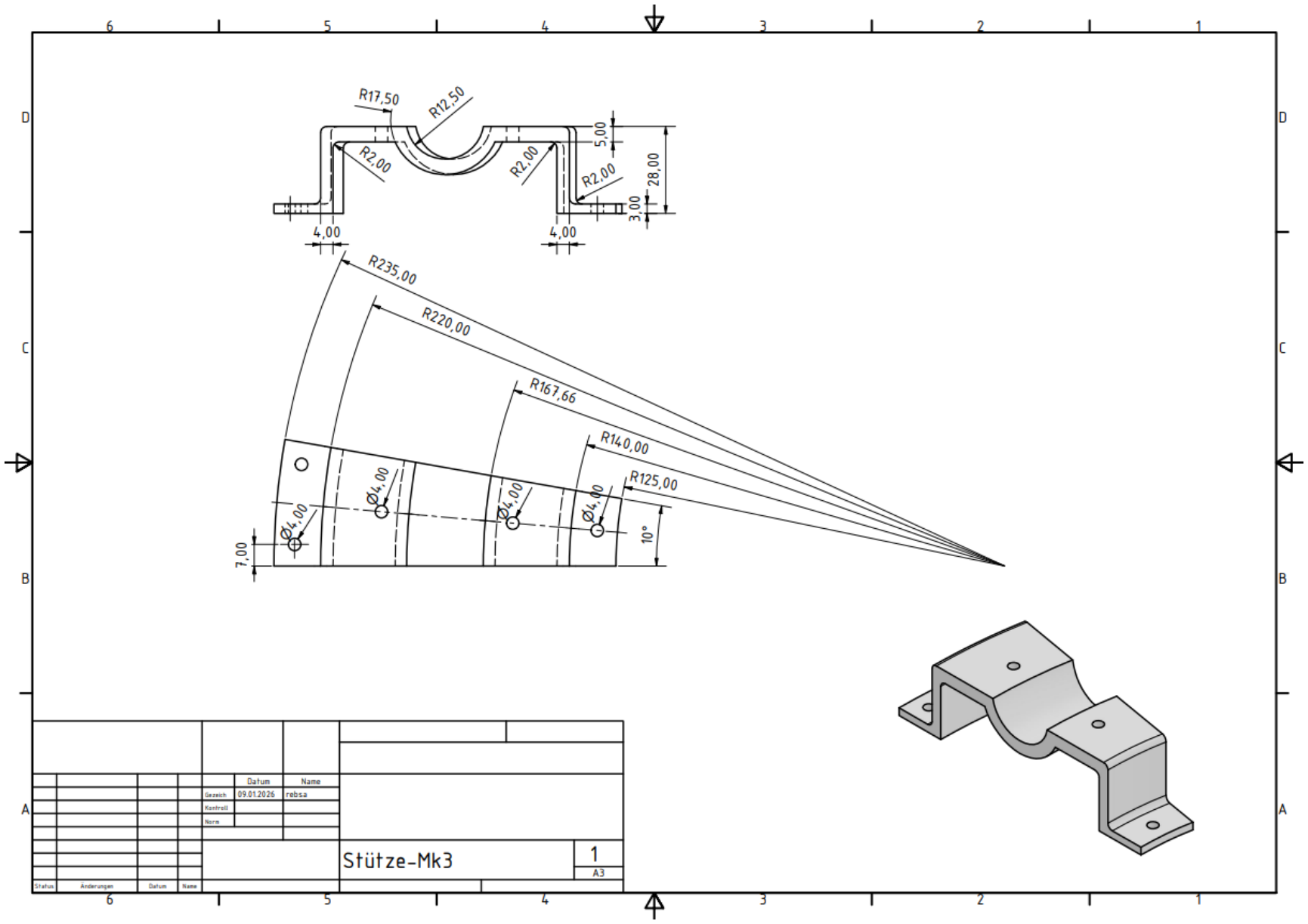


Abbildung 40: Technische Zeichnung Stütze-Mk3



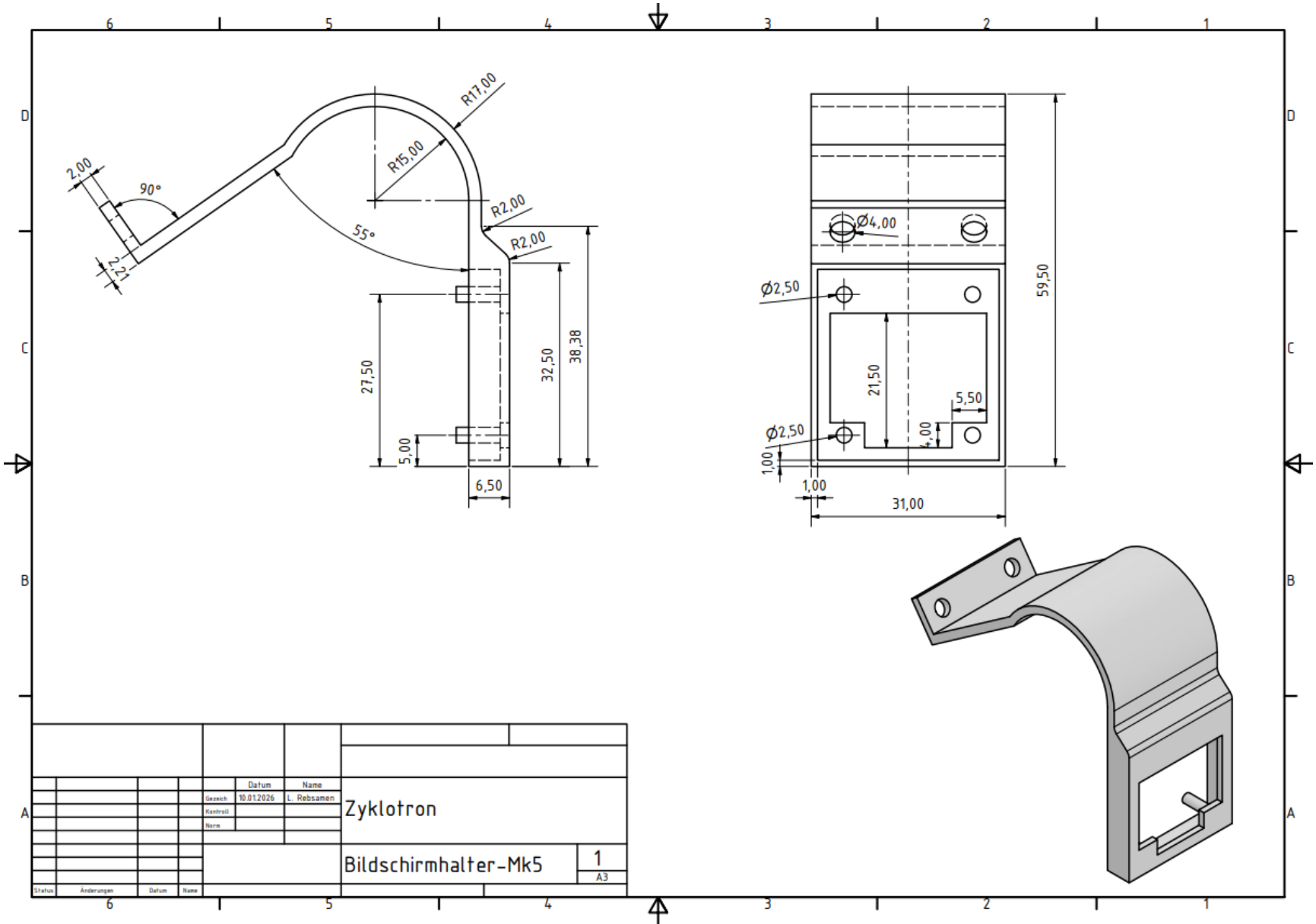


Abbildung 42: Technische Zeichnung Bildschirmhalter-Mk5

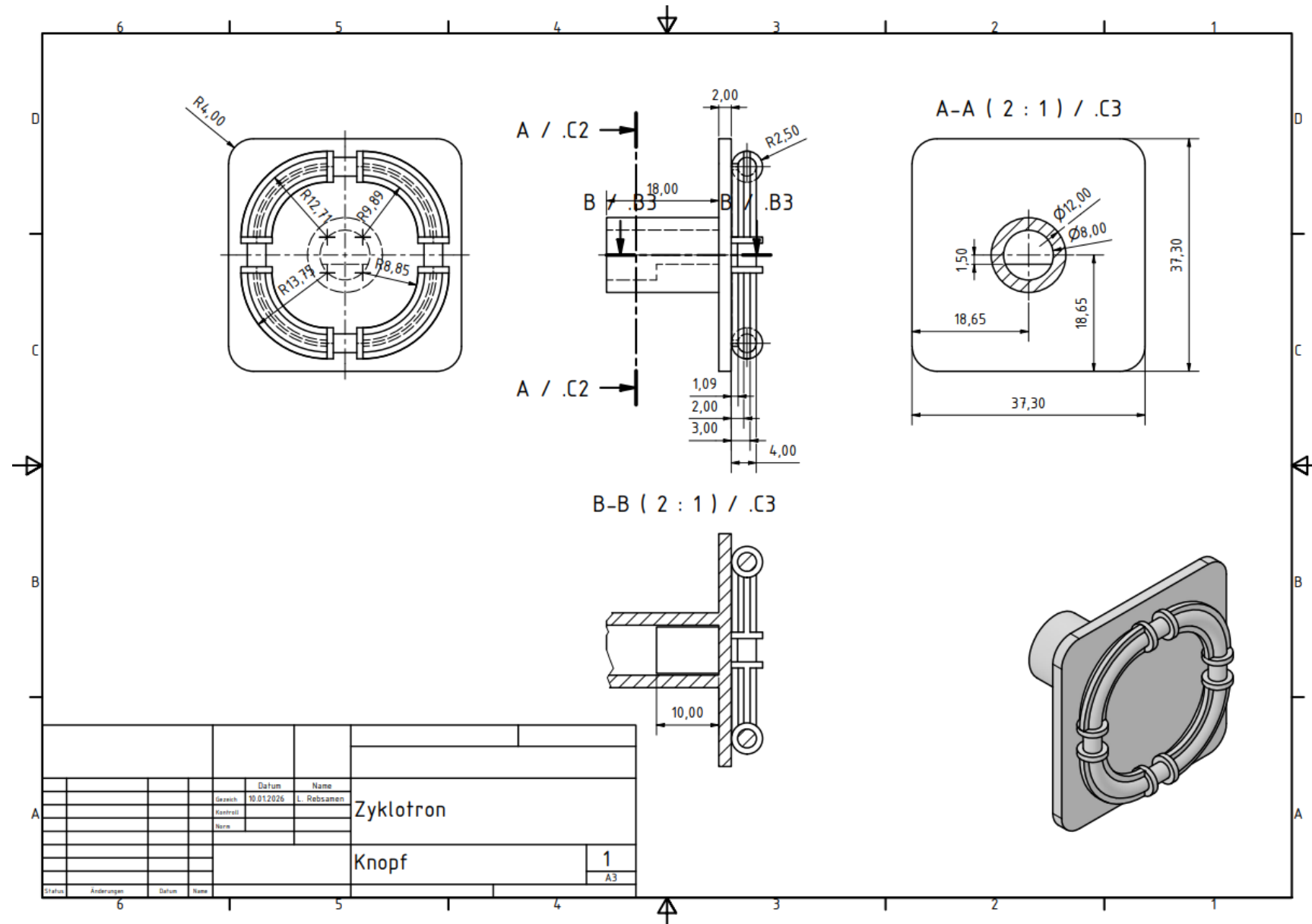


Abbildung 43: Technische Zeichnung Knopf

11 QUELLEN

Die grundsätzliche Idee für dieses Projekt stammt von folgendem Video:

https://www.youtube.com/watch?v=sm_-i4a_vSU.

Planung, Konstruktion und Bau wurde jedoch unabhängig von dieser Quelle ausgeführt.

12 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Nachbearbeitung	7
Abbildung 5: Spule	8
Abbildung 5: Verbindungsstück Modell	8
Abbildung 5: Isoband	8
Abbildung 5: Verbindungsstück mit Spule	8
Abbildung 6: Stütze	9
Abbildung 7: Kurventeil	9
Abbildung 8: Schraube M3 x 16 und Mutter M3	9
Abbildung 9: Viertel montiert	9
Abbildung 12: Verbindungsstück mit Spule	10
Abbildung 12: Viertel montiert	10
Abbildung 12: Schraube M3 x 16 und Mutter M3.....	10
Abbildung 13: 2 Viertel montiert	10
Abbildung 14: Schraube M3 x 16 und Mutter M3.....	11
Abbildung 15: 2 Viertel montiert	11
Abbildung 16: Verbindungsstück mit Spule	11
Abbildung 17: 4 Viertel montiert	11
Abbildung 18: Akkubohrmaschine	12
Abbildung 19: Brett 500x500	12
Abbildung 20: 4 Viertel montiert	12
Abbildung 21: Anzeichnen.....	12
Abbildung 22: Bohren	12
Abbildung 23: Gravierer	13
Abbildung 24: Brett 500x500	13
Abbildung 25: Gravur	13
Abbildung 26: Latte	14
Abbildung 27: Stichsäge	14
Abbildung 28: Latte Anzeichnen	14
Abbildung 29: Latte sägen	14
Abbildung 30: Rahmenmodell	15
Abbildung 31: Brett 500x500	15
Abbildung 32: Brett auf Rahmen montiert.....	15
Abbildung 33: Basis gesamt	16
Abbildung 34: 4 Viertel montiert	16
Abbildung 35: Zyklotron auf Basis montiert	16
Abbildung 36: Technische Zeichnung Kurventeil-dick.....	18
Abbildung 37: Technische Zeichnung Kurventeil-dünn	19
Abbildung 38: Technische Zeichnung Verbindungsstück	20
Abbildung 39: Technische Zeichnung Stütze-Mk3	21
Abbildung 40: Technische Zeichnung RE-Halter.....	22

Amar, Daniel, David

Zyklotron

Lennart, Leon, Robin

10. Jan. 2025

Abbildung 41: Technische Zeichnung Bildschirmhalter-Mk5 23

Abbildung 42: Technische Zeichnung Knopf 24