

Diplomarbeit

3-Achsen CNC Fräsmaschine für Holz



Diplomand: Manuel Betschart

Ausbildung: Dipl. Techniker HF Maschinenbau

Schule: TEKO Schweizerische Fachschule, 6003 Luzern

Inhaltsverzeichnis

Lebenslauf.....	4
Projektbeteiligte.....	5
Selbständigkeitserklärung	6
Management Summary	7
Einleitung.....	7
Themenwahl	7
Ziele.....	8
Firmenportrait Betschart-Intarsien	9
Ausgangslage	10
Umfang der Arbeit.....	10
Beurteilung der Arbeit	10
Marktanalyse.....	11
Methodik.....	11
Vorbereitungsphase	12
Infosammlung	12
Aufgabenstellung	14
Abstraktion.....	14
Anforderungsliste.....	15
Terminplanung	17
Planung.....	18
Mindmap.....	18
Funktionsstruktur	19
Black Box.....	20
Morphologischer Kasten	21
Entscheidung	24
Beschreibung der ausgewählten Teilfunktionen	28
Bauart	28
Material Fräsmaschine	28
Antrieb.....	29
Kraftübertragung	29
Linearführungen	30
Kupplung.....	30
Frässpindel.....	31
Maschinenwagen	31

Mobilität Maschinenwagen	31
Profilschienenführung und Kugelumlaufspindel	32
Realisierung	33
Strategie der Konstruktion.....	33
Konzept der Maschinenanlage.....	33
Die Frässpindel.....	34
Berechnung:.....	34
Meine Lösung:.....	36
Auslegung des Antriebs	37
Allgemeine Kräfte der Achsen	37
Meine Lösung für die allgemeine Kräfte der Achsen:.....	37
Kugelumlaufspindel	38
Linearachsen.....	42
Schrittmotoren.....	43
Konstruktion der Z-Achse.....	47
Berechnungen der Frässpindel Halterung:	47
Befestigung der Halterung:	49
Technische Daten der Z-Achse	52
Konstruktion Y-Achse	53
Technische Daten der Y-Achse	54
Konstruktion X-Achse	55
Technische Daten der X-Achse	56
Gesamte Konstruktion	57
Maschinenwagen	58
Profiltechnik.....	59
Zubehör.....	60
Mein Lösungsvorschlag für den Maschinenwagen	62
Maschinenhülle.....	63
Meine Lösung für die Maschinenhülle:	63
Spannsysteme	64
Verschiedene Spannmethoden	64
Meine Lösung für das Spannen der Werkstücke	66
Weitere Bauteile	67
Steuerung.....	67
Endschalter	67
Kühlaggregat.....	67
Staubsauger.....	68

Not-Aus Schalter	68
Nacharbeit.....	69
Nachkonstruktion	69
Must-have.....	70
Schlusswort.....	71
Lessons learned.....	71
Verdankung.....	72
Anhang.....	73
Literaturverzeichnis.....	73
Quellenverzeichnis	73
Abbildungsverzeichnis	74
Zeichnungen.....	75

Lebenslauf

Name: Manuel Betschart

Adresse: Aegeristrasse 104
6417 Sattel

Geburtsdatum: 6. Juli 1994

Zivilstand: Ledig

Telefon: 079 281 03 35

Mail: manuel.betschart94@gmail.com



Berufliche Ausbildung: Lehre als Polymechniker Profil G
August 2010 bis Juli 2014
bei der Firma Lüönd & Co AG in Unteriberg

Berufliche Erfahrung: August 2014 bis März 2015
Anstellung als Polymechniker im Lehrbetrieb
Lüönd & Co AG in Unteriberg

April 2015 bis Januar 2022
Anstellung als Polymechniker bei der Firma
Tranova AG in Einsiedeln

Ab Februar 2022
Anstellung als Polymechniker bei der Firma
Komax AG Dierikon.

Projektbeteiligte

Titel der Arbeit 3-Achsen CNC Fräsmaschine für Holz

Schule TEKO Luzern
 Pilatusstrasse 38
 6003 Luzern

Diplomat: Manuel Betschart (siehe Lebenslauf)

Diplomlehrer Herr
 Lind Andreas
 andreas.lind@edu.teko.ch

Diplomexperte Herr
 Amrein Albert
 albert.amrein@edu.teko.ch

Start meiner Diplomarbeit: 16.08.2022

Projektabgabe 10.10.2022

Präsentation 27.10.2022

Selbständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die Diplomarbeit selbständig verfassen werde. Ich werde sämtliche Quellen erfassen und im Quellenverzeichnis ausweisen. Mir ist bewusst, dass ein Verstoss geahndet würde.

Meine Arbeit darf nur mit meinem Einverständnis an Drittpersonen weitergegeben werden.

Manuel Betschart

6417 Sattel, 16.08.2022

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Betschart', is written over a horizontal dotted line.

Management Summary

Einleitung

Das Ende meiner Ausbildung zum Techniker HF Maschinenbau naht. Damit steht auch die Diplomarbeit an.

In den vergangenen 2 ³/₄ Jahren durfte ich mir viel Wissen erarbeiten und wertvolle Erfahrungen sammeln, welche meine zukünftige Berufsarbeit mit Sicherheit bereichern werden.

Das Gelernte der vergangenen 2 ³/₄ Jahre soll nun in meine Projektarbeit einfließen. Damit erhalte ich die Gelegenheit zu zeigen, was ich gelernt habe.

Für meine Diplomarbeit habe ich ein Projekt ausgewählt, das mich persönlich interessiert und mir auch praktischen Nutzen bringt. Durch meine Projektarbeit werde ich mich weiter in die Thematik vertiefen und Erfahrungen sammeln.

Themenwahl

Da ich bis zum Ende meiner Ausbildung noch als Polymechaniker angestellt bin, kann ich kein Projekt von der Firma beziehen. Trotzdem möchte ich etwas Sinnvolles konstruieren, dass ich später real bauen kann. Meine Arbeit soll mir und/oder jemand anderem einen klaren Mehrwert bringen.

Ich habe mich für eine Holz-Fräsmaschine entschieden, die ich meinem Vater zur Verfügung stellen möchte. Natürlich möchte ich sie bei Bedarf auch selbst nutzen.

Mein Vater arbeitet als selbständiger Instrumenten-Schreiner. Er ist aktuell schon im Besitz einer älteren selbstgebauten CNC-Fräsmaschine. Leider weisen diese einige Mängel auf. In meinem Projekt sollen diese Fehler korrigiert werden. In meiner Projektarbeit spielt er die Rolle des Auftraggebers.

Die grösste Hürde wird für mich das Konstruieren sein, da ich bisher keine Berufserfahrung in der Konstruktion habe. Umso mehr spornt es mich an, in diesem Bereich vorwärts zu kommen. Mit viel Fleiss wird es möglich sein, auch in diesem Bereich Erfahrungen zu sammeln und Routine zu gewinnen.

Ziele

Mein Ziel ist es eine solide, sehenswerte und für die Praxis wertvolle Arbeit zu schreiben. Sie soll einen grossen praktischen Nutzen aufweisen.

Ich möchte das Gelernte festigen und vertiefen, damit ich es später praktisch anwenden kann.

Es ist mir bewusst, dass mit dem Abschluss dieser Ausbildung das Lernen nicht zu Ende ist. Mit Sicherheit bin ich einen grossen Schritt weitergekommen. Nun freue ich mich darauf, mir im Berufsalltag noch mehr Wissen und Erfahrung anzueignen.

Firmenportrait Betschart-Intarsien

Die Einzelfirma *Betschart-Intarsien* in Unteriberg entstand im Januar 2015. Der Firmeninhaber, Franz Betschart, hat ursprünglich den Beruf des Sägers erlernt. Nach einigen Berufsjahren in der Holzbranche war er während 10 Jahren im Instrumentenbau angestellt; genauer im Bau von Schwyzerörgeli (Abbildung 1). In seiner Freizeit hat er zudem mit viel Hingabe Intarsien aus Holz hergestellt, die für den Bau, bzw. die Verzierung von traditionellen Schwyzerörgeli verwendet werden. Gelegentlich finden die Intarsien auch im Möbelbau Anwendung. Nur noch sehr wenige beherrschen diese sehr filigrane Technik für die Herstellung von Holzintarsien. Die Nachfrage hat dann auch ständig zugenommen. So hat Franz Betschart den Schritt in die Selbständigkeit gewagt.

Nebst der Herstellung von Intarsien produziert er auch neue Schwyzerörgeli und er repariert oder restauriert solche.

Mit der CNC-Maschine fräst er die einzelnen Holz-Bauteile für seine Schwyzerörgeli. Natürlich ist er dabei auf eine CNC-Fräsmaschine angewiesen, die sehr präzise Arbeit leistet. Auch Gravuren macht er öfter mit dieser Maschine.

Franz Betschart freut sich bereits sehr auf seine neue, optimierte CNC-Fräsmaschine.



Abbildung 1 Schwyzerörgeli

Ausgangslage

Umfang der Arbeit

Der Umfang der Diplomarbeit ist von der Schule auf 150 – 250 Arbeitsstunden begrenzt worden. In dieser Zeit soll ein Konzept einer eigenen oder gegebenen Konstruktion erarbeitet werden.

Beurteilung der Arbeit

Von der Schule haben wir ein Bewertungsraster bekommen mit den einzelnen Punkten, die bewertet werden.

- Schwierigkeitsgrad
- Projektinitialisierung und -planung
- Realisation
- Dokumentation
- Begleitung / Präsentation
- Onlinepublikation

Marktanalyse

Auf dem Markt werden unzählige CNC-Fräsmaschinen in der gefragten Grösse angeboten. Mehrheitlich sind diese so preisgünstig, dass man sich fragen sollte, ob es sich tatsächlich lohnt, eine solche Maschine eigenhändig zu planen und zu konstruieren. Es ist sicher notwendig Preis, Qualität, Funktionalität und Leistung dieser Maschinen genauer anzusehen und zu vergleichen.

Eine CNC-Maschine für den gewerblichen Einsatz muss eine sehr hohe Qualität aufweisen. Das Kriterium Qualität hat für mich absolute Priorität. Qualität kostet immer, auch wenn sie aus China kommt. Eine wirklich gute kleine Fräsmaschine kostet somit schnell über 12'000 Schweizer Franken. Bei den günstigen Angeboten auf dem Markt ist es deshalb notwendig, die Qualität zu prüfen.

Ich bin der festen Überzeugung, dass für mich die Planung und Konstruktion einer eigenen CNC-Fräsmaschine lohnend ist, wenn ich die Argumente Preis, Qualität, Funktionalität und Leistung gewichte. Am Ende habe ich so eine Maschine, die meinen Bedürfnissen, bzw. den Bedürfnissen meines Auftraggebers am optimalsten entspricht.

Methodik

Es gibt viele Methodiken, die man für solche Projekte nutzen kann. Ich habe mich für eine Methodik entschieden, die wir an der Teko erlernt haben. Ich habe mich für die Sechsstufen-Methode «IPERKA» entschieden.

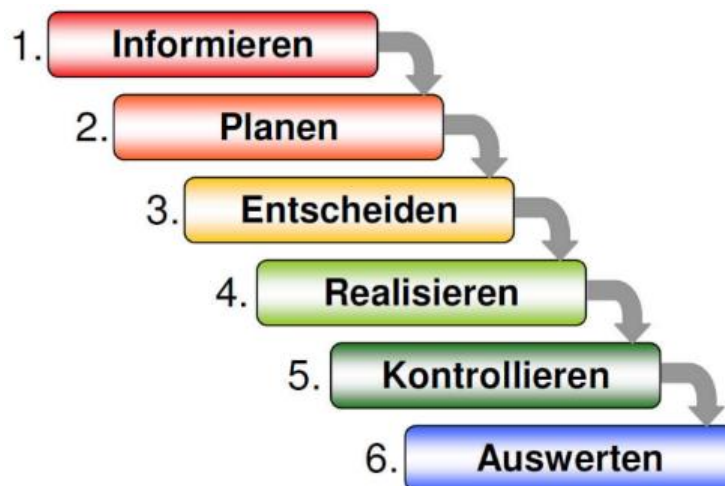


Abbildung 2 IPERKA

Vorbereitungsphase

Infosammlung

Am Sonntag, 21.08.2022, habe ich mich mit meinem Auftraggeber über die bereits bestehende Fräse unterhalten. Die Fräse ist seit 12 Jahren in Betrieb. Sehr wichtig sind die Erfahrungen, die mein Auftragsgeber in diesen Jahren mit der Maschine gemacht hat. Die neue Maschine soll optimiert werden, indem die Schwachpunkte der alten Maschine korrigiert werden.

Die neue CNC-Fräsmaschine soll damit den Bedürfnissen meines Auftraggebers und auch meinen Bedürfnissen gerecht werden.

Fehler und Schwachpunkte der alten Fräsmaschine sowie weitere geplante Änderungen:

Grösse:

Da die Platzverhältnisse in der Werkstatt eher knapp sind, möchte er sicher keine grössere Maschine haben. Sie sollte nach Möglichkeit etwas kleiner sein. Die Grösse der Maschine fand ich nicht schlecht, da ich denke, dass sie aus arbeitstechnischen Gründen nicht viel kleiner sein darf. Hier mussten wir uns auf eine Grösse einigen, die ein möglichst optimales Arbeiten zulässt und trotzdem nicht zu viel Platz in Anspruch nimmt.

Die Dimensionen der Maschine sind 200 mm in der Z-Achse, 800 mm Tischbreite und 1150 mm Tischlänge.

Frässpindel:

Als Frässpindel ist eine Holz-Oberfräse eingebaut (Abbildung 3). Technisch gesehen funktioniert dies einwandfrei. Die Drehzahl liegt bei ca. 20'000 U/min. Da sie aber nur im unteren Teil befestigt ist, schwankt sie hin und her.



Abbildung 3 Oberfräse

Allgemeine Fehler:

Man sieht auf den ersten Blick, dass die Maschine einige Mängel aufweist. Die Maschine entstand Schritt für Schritt ohne CAD. Die Schrittmotoren wurden hilfsbedürftig mit selbst gesägten Rohren eingebaut (Abbildung 5). Hier brach bereits ein Gewindebohrer, was optisch nicht sehr schön aussieht. Die Kugelumlaufspindeln sind zu kurz und wurden mit langen Schrauben befestigt (Abbildung 4).



Abbildung 5 Befestigung Schrittmotor

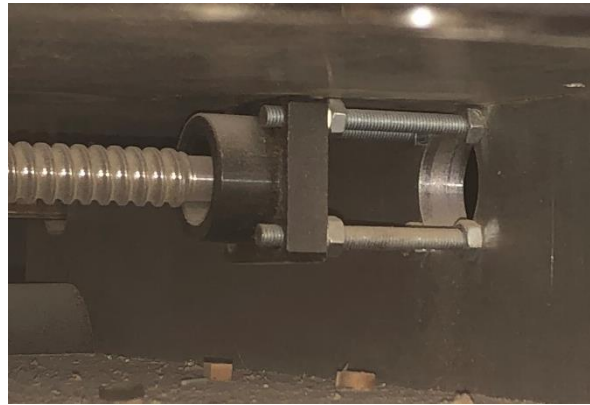


Abbildung 4 Befestigung Loslager

Aufgabenstellung

Meine Aufgabe ist es nun, ein Konzept für eine neue, bessere Fräsmaschine zu erstellen. Sie soll den Bedürfnissen des Nutzers gerecht werden, einwandfrei funktionieren und sich optisch sehr gut präsentieren.

Nur die Fräsmaschine soll im CAD konstruiert werden.

Abstraktion

Folgende Punkte werden in meiner Arbeit nicht berücksichtigt.

- Die Steuerung
- Kabel und sämtliche elektronische Bauteile im CAD (ich werde keine Kabel, Kabelführungen und Taster/Schalter im CAD zeichnen oder einfügen)
- Es sollen nicht von allen Bauteilen eine Zeichnung beigelegt werden.

Anforderungsliste

F = Festanforderung Diese Anforderungen müssen unbedingt erfüllt sein, andernfalls ist das Ziel der Aufgabe nicht erreicht.

W = Wunschanforderung Wenn möglich sollten diese Anforderungen berücksichtigt werden mit dem Zugeständnis, dass ein begrenzter Mehraufwand entsteht

M = Mindestanforderung Für diese Anforderungen genügt es, wenn man sie gerade so erreicht. Sie haben keine Auswirkungen auf das Ziel und die Qualität der Arbeit.

Technische Anforderungen				
	Verfahrweg X-Achse max. 1000mm			
	Verfahrweg Y-Achse max. 800mm			
	Verfahrweg Z-Achse min. 200mm			
	Spindeldrehzahl min. 20'000 U/min			
	Spannzangensystem bei der Frässpindel			
	Werkzeughdurchmesser bis 8 mm			
	Gebrauch von Normteilen			
	Neue Spannsysteme			
		F	W	M

Sicherheit				
	Not-Aus Schalter			
	Sicherheitshülle um die Fräsmaschine			
	Warnsymbole			
		F	W	M

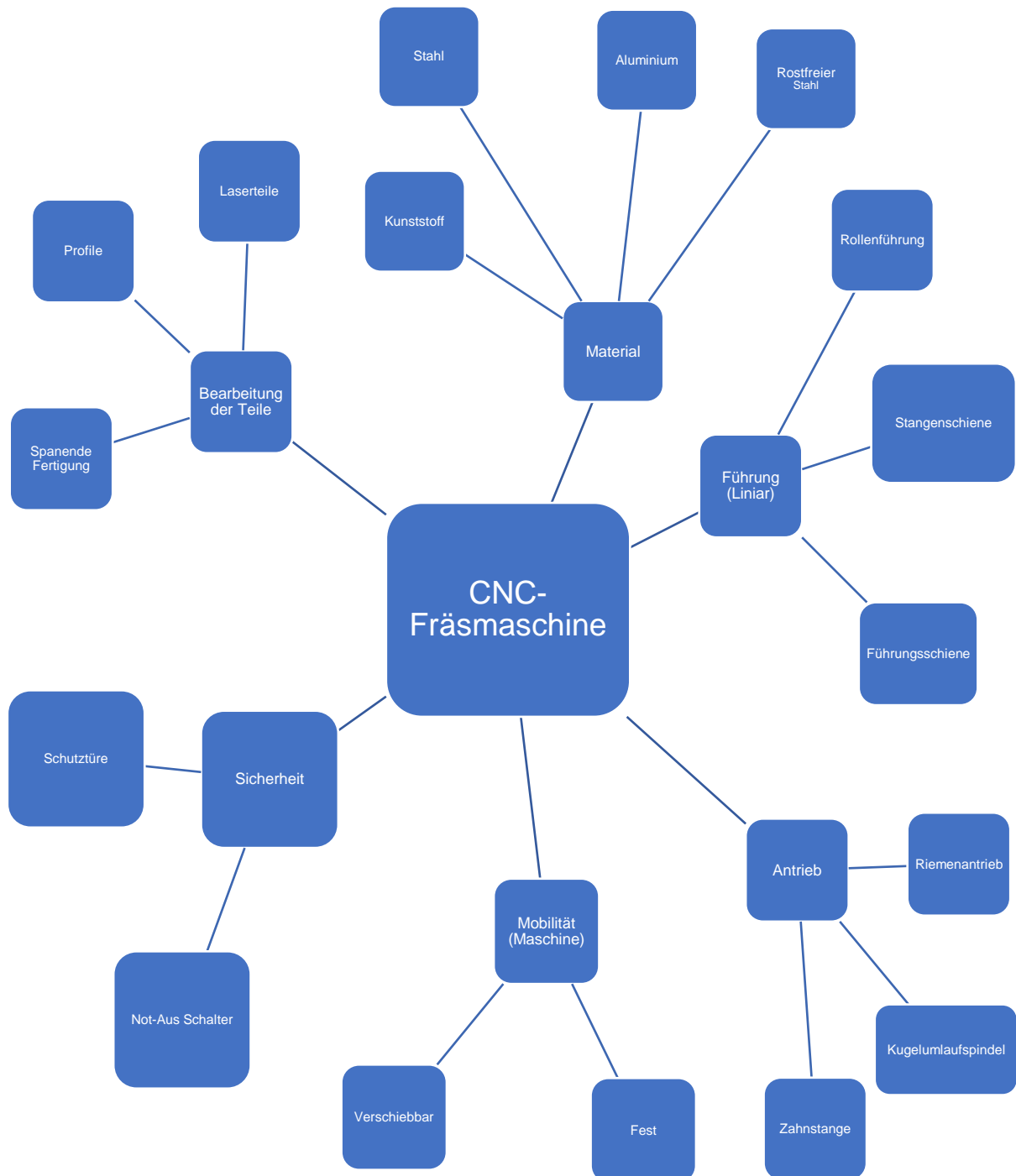
Termine				
	Projektstart			
	Abgabe Schriftprobe an den Dozenten			
	Abgabe Diplomarbeit			
	Präsentation			
		F	W	M

Terminplanung

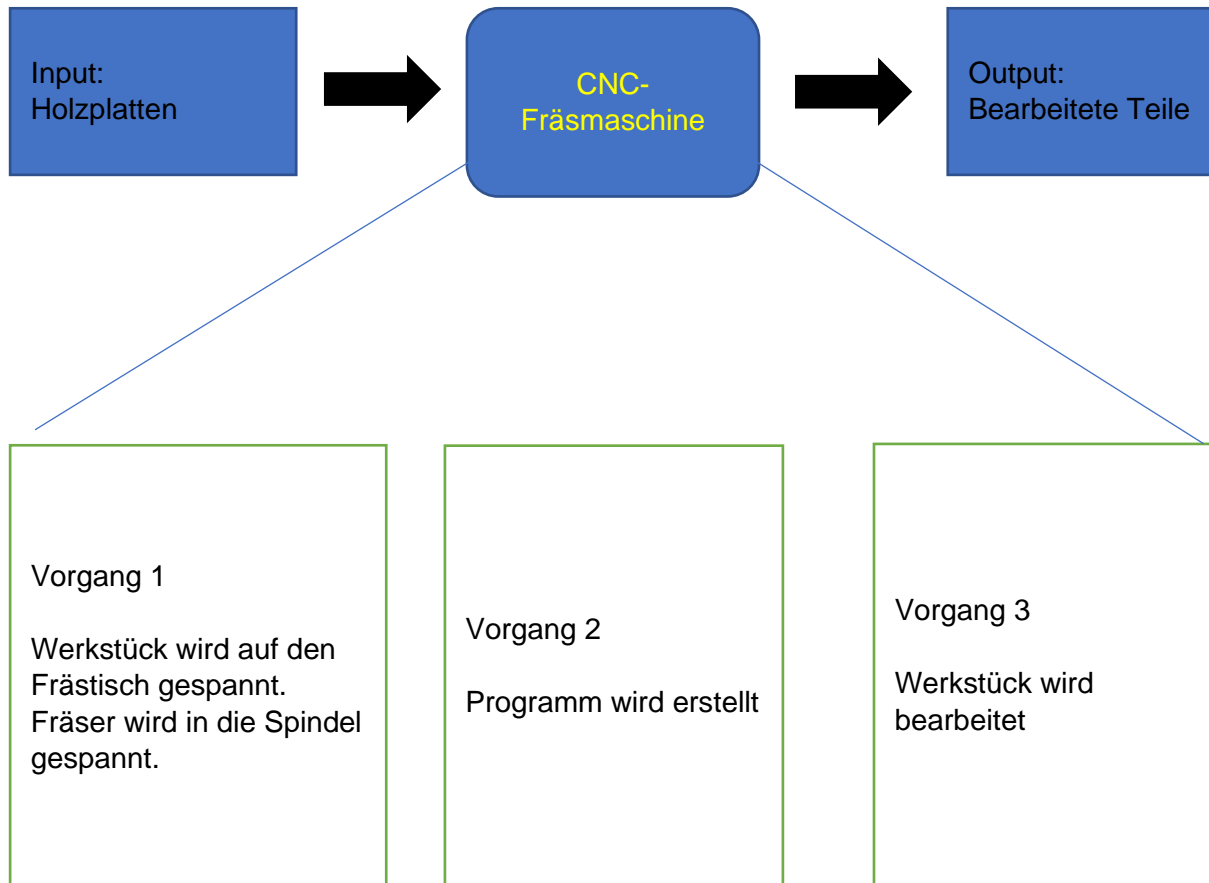
Projektbezeichnung:		3-Achsen CNC Fräsmaschine für Holz										
Datum:		25.08.2022										
Jahr		2022										
KW		33	34	35	36	37	38	39	40	Soll-Stunden	Ist-Stunden	
Start Projektarbeit											Start Projektarbeit	
	Infrastruktur erstellen	█	█								2.00	2.00
	Lebenslauf	█									1.50	1.50
	Managment Summary	█	█								2.50	2.50
	Ausgangslage	█	█								1.50	1.50
Vorbereitungsphase											Vorbereitungsphase	
	Infosammlung	█	█								14.50	14.50
	Aufgabenstellung		█	█							0.75	0.75
	Abstraktion		█	█							0.75	0.75
Terminplan											Terminplan	
	Terminplan		█	█							3.50	3.50
Planung											Planung	
	Mindmap		█	█							1.00	1.50
	Funktionsstruktur		█	█							1.00	0.75
	Black Box		█	█							1.00	1.00
	Morphologischer Kasten			█	█						9.00	12.00
Entscheidung											Entscheidung	
	Auswertung Teilfunktion			█	█	█					3.00	4.00
Realisierung											Realisierung	
	Vordimensionieren				█	█	█	█	█		10.00	8.00
	Berechnungen				█	█	█	█	█	█	10.00	20.00
	Konstruieren				█	█	█	█	█	█	40.00	12.50
Kontrollieren											Kontrollieren	
	Nacharbeit								█	█	15.00	13.00
Sonstiges											Sonstiges	
	Dokumentation	█	█	█	█	█	█	█	█	█	30.00	50.00
	Sonstiges	█	█	█	█	█	█	█	█	█	5.00	10.00
	Soll:	█										
	Ist:	█										
Total in Stunden:										152.00	159.75	

Planung

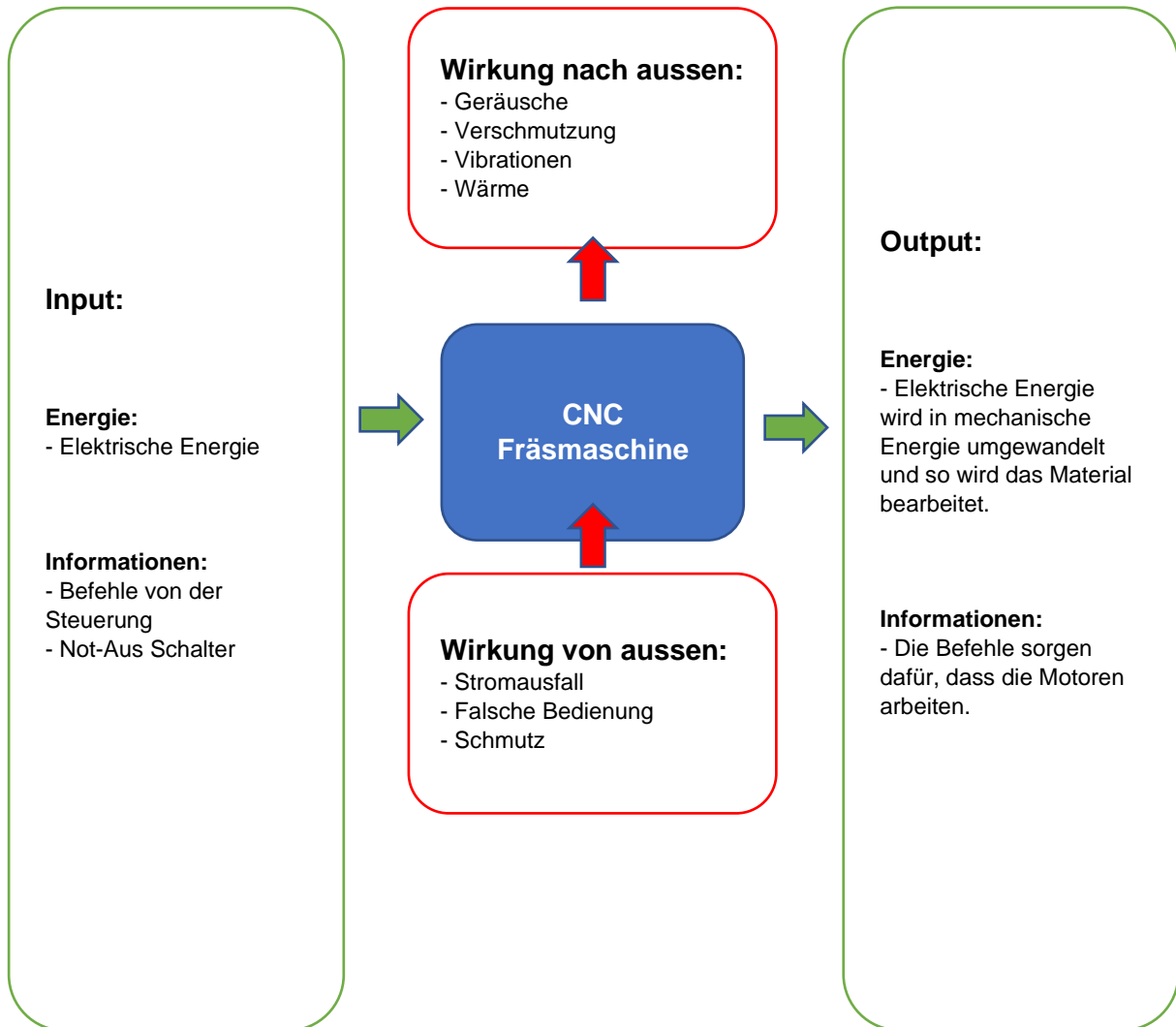
Mindmap



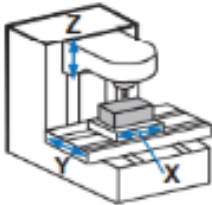
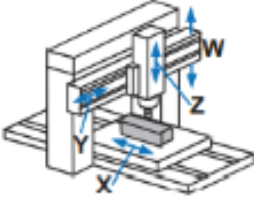
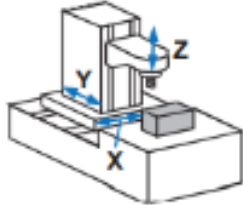
Funktionsstruktur




Black Box



Morphologischer Kasten

Teilfunktion 1		Bauart
Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 1.3
Kreuztischbauweise	Tischbauweise	Fahrständerbauweise
		

Teilfunktion 2		Material Fräsmaschine
Variante 2.1	Variante 2.2	Variante 2.3
Aluminium	Stahl	Aluminium/Stahl gemischt
		


Teilfunktion 3		Antrieb
Variante 3.1	Variante 3.2	Variante 3.3
Schrittmotor	Hand	Elektromotor
		



Teilfunktion 4		Kraftübertragung
Variante 4.1	Variante 4.2	Variante 4.3
Riemenantrieb	Zahnstange	Kugelumlaufspindel
		

Teilfunktion 5		Linearführung
Variante 5.1	Variante 5.2	Variante 5.3
Schienenwelle	Präzisionsschiene	Rollenschiene
		

Teilfunktion 6		Kupplung
Variante 6.1	Variante 6.2	Variante 6.3
Kupplung mit Kunststoff	Kupplung ohne Kunststoff	keine Kupplung
		

Teilfunktion 7		Frässpindel	
Variante 7.1	Variante 7.2	Variante 7.3	
Oberfräse	Selbstkonstruktion	Einkauf-Frässpindel	
			

Teilfunktion 8		Maschinenwagen	
Variante 8.1		Variante 8.2	
Profil-Elementen		Schweisskonstruktion	
			

Teilfunktion 9		Mobilität Maschinenwagen	
Variante 9.1		Variante 9.2	
Standfüsse		Rollen	
			

Entscheidung

Mit den folgenden Kriterien werden nun die Teilfunktionen analysiert und ausgewertet. So soll mit dem Morphologischen Kasten die bestmögliche Variante ausgewählt und umgesetzt werden. Zuerst möchte ich meine Kriterien erläutern.

Kriterien

Präzision: Für mich ist es wichtig, dass meine CNC-Fräsmaschine so präzise wie möglich arbeitet. Spiel in der Führung und in der Kraftübertragung spiegelt sich schnell in den gefrästen Bauteilen wider und könnte diese unbrauchbar machen.
Gewichtungsfaktor: 4

Langlebigkeit: Die verbauten Teile sollten von sehr guter Qualität sein. Damit soll die Langlebigkeit garantiert werden.
Gewichtungsfaktor: 3

Kosten: Ich habe mir keine Kostenobergrenze für das Projekt gesetzt, werde aber die Ausgaben im Auge behalten.
Gewichtungsfaktor: 2

Gewicht: Die Konstruktion sollte nicht zu schwer sein.
Gewichtungsfaktor: 2

Erfahrung: Da bereits eine Maschine existiert, sollen die Erfahrungen mit der alten Fräsmaschine in die Planung einfließen. Bauteile, die funktionieren und überzeugen, sollen eventuell wiederverwendet werden oder es sollen vergleichbare eingebaut werden.
Gewichtungsfaktor: 3

Platz: Da wir in der Werkstatt über wenig Platz verfügen, soll die Maschine kompakt und platzsparend sein.
Gewichtungsfaktor: 3

Nun werde ich für jede Teilfunktion eine Tabelle erstellen und den jeweiligen Varianten mit Punkten von 1 bis 4 bewerten (1=schlecht, 4=gut). Diese Bewertungen sind in blauer Schrift. Nun werden die bewerteten Punkte mit dem jeweiligen Gewichtungsfaktor multiplizieren. Die Resultate sind in grüner Schrift. Dann zähle ich die jeweiligen Punkte von oben nach unten zusammen und dies gibt das Endresultat. Die Variante mit der höchsten Punktzahl stellt die geeignetste Variante für die Teilfunktion dar.

Teilfunktion 1: Bauart							
Kriterien	Gewichtungsfaktor	V 1.1		V 1.2		V 1.3	
Präzision	4	2	8	1	4	2	8
Langlebigkeit	3	1	3	1	3	1	3
Kosten	2	1	2	3	6	1	2
Gewicht	2	1	2	2	4	1	2
Erfahrung	3	1	3	2	6	1	3
Platz	3	1	3	4	12	1	3
Gesamtpunktezahl:		21		35		21	

Teilfunktion 2: Material Fräsmaschine							
Kriterien	Gewichtungsfaktor	V 2.1		V 2.2		V 2.3	
Präzision	4	2	8	3	12	3	12
Langlebigkeit	3	3	9	3	9	3	9
Kosten	2	3	6	3	6	3	6
Gewicht	2	4	8	2	4	3	6
Erfahrung	3	3	9	2	6	2	6
Platz	3	2	6	2	6	2	6
Gesamtpunktezahl:		46		43		45	

Teilfunktion 3: Antrieb							
Kriterien	Gewichtungsfaktor	V 3.1		V 3.2		V 3.3	
Präzision	4	4	16	0	0	1	4
Langlebigkeit	3	3	9	0	0	3	12
Kosten	2	3	6	4	8	2	4
Gewicht	2	3	6	4	8	3	6
Erfahrung	3	4	12	0	0	0	0
Platz	3	3	9	3	9	3	9
Gesamtpunktezahl:		58		25		35	

Teilfunktion 4: Kraftübertragung							
Kriterien	Gewichtungsfaktor	V 4.1		V 4.2		V 4.3	
Präzision	4	2	8	3	12	4	16
Langlebigkeit	3	2	6	3	9	3	9
Kosten	2	4	8	3	6	3	6
Gewicht	2	4	8	2	4	3	6
Erfahrung	3	2	6	2	6	4	12
Platz	3	2	6	2	6	2	6
Gesamtpunktezahl:		42		43		55	

Teilfunktion 5: Linearführung							
Kriterien	Gewichtungsfaktor	V 5.1		V 5.2		V 5.3	
Präzision	4	3	12	4	16	2	8
Langlebigkeit	3	3	9	4	12	2	6
Kosten	2	3	6	2	4	3	6
Gewicht	2	2	4	2	4	3	6
Erfahrung	3	1	3	3	9	1	3
Platz	3	3	9	3	9	3	9
Gesamtpunktezahl:		43		54		38	

Teilfunktion 6: Kupplung							
Kriterien	Gewichtungsfaktor	V 6.1		V 6.2		V 6.3	
Präzision	4	2	8	2	8	2	8
Langlebigkeit	3	3	9	3	9	4	12
Kosten	2	3	6	3	6	3	6
Gewicht	2	3	6	3	6	3	6
Erfahrung	3	4	12	2	6	2	6
Platz	3	3	9	3	9	3	9
Gesamtpunktezahl:		50		44		47	

Teilfunktion 7: Frässpindel							
Kriterien	Gewichtungsfaktor	V 7.1		V 7.2		V 7.3	
Präzision	4	2	8	2	8	3	12
Langlebigkeit	3	2	6	2	6	3	9
Kosten	2	3	6	4	8	3	6
Gewicht	2	3	6	3	6	3	6
Erfahrung	3	3	9	1	3	2	6
Platz	3	3	9	3	9	3	9
Gesamtpunktezahl:		44		40		48	

Teilfunktion 8: Maschinenwagen							
Kriterien	Gewichtungsfaktor	V 8.1		V 8.2			
Präzision	4	3	12	3	12		
Langlebigkeit	3	3	9	3	9		
Kosten	2	4	8	3	6		
Gewicht	2	3	6	2	4		
Erfahrung	3	2	6	2	6		
Platz	3	3	9	3	9		
Gesamtpunktezahl:		50		46			

Teilfunktion 9: Mobilität Maschinenwagen							
Kriterien	Gewichtungsfaktor	V 9.1		V 9.2			
Präzision	4	0	0	0	0		
Langlebigkeit	3	3	9	2	6		
Kosten	2	3	6	3	6		
Gewicht	2	3	6	3	6		
Erfahrung	3	2	6	3	9		
Platz	3	2	6	3	9		
Gesamtpunktezahl:		33		36			

Beschreibung der ausgewählten Teilfunktionen

Bauart

Es gibt verschiedene Bauarten für Fräsmaschinen. Ich selbst habe schon an unterschiedlichen gebauten Maschinen gearbeitet. Somit konnte ich bereits einige Erfahrungen sammeln.

Jede Bauart hat Vor- und Nachteile. Unter anderem ist das spätere Einsatzgebiet entscheidend für die eine oder andere Bauart.

Bei der Bewertung haben folgende Punkte den Ausschlag gegeben für die Tischbauweise (Abbildung 6):

Das Einsatzgebiet, das Platzangebot und die Kosten.

Bei meinem Projekt handelt es sich um eine Holzfräsmaschine. Diese fräst Teile aus einer Holzplatte. Sie fräst keine Stahlteile. Deshalb benötigt sie kein massives Maschinenbett und sie benötigt auch nicht viel Masse und Stabilität im Aufbau für eine genaue Arbeitsweise. Damit können Material und Kosten gespart werden und es minimiert den Platzbedarf.

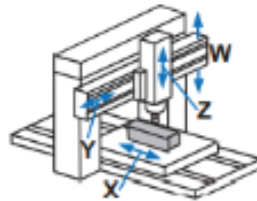


Abbildung 6 Tischbauweise

Material Fräsmaschine

Beim Material der Fräsmaschine sind die Bauteile gemeint, die man selbst herstellen wird. Meine Bewertung ist auf Aluminium gefallen. Aluminium ist leicht und gut bearbeitbar. Die bestehende Fräsmaschine ist ebenfalls aus Aluminium und der Auftraggeber hat gute Erfahrungen damit gemacht.

Antrieb

Aus der Aufgabenstellung geht klar hervor, dass es eine CNC-Fräsmaschine werden soll. Damit fällt die konventionelle Fräsmaschine mit Handantrieb weg. Durch die Bewertung bin ich klar auf den Schrittmotor gekommen, was für mich keine Überraschung ist. Der Antrieb ist zuständig für die Kraft und die Positionierung der Achsen. Er ist ein Synchronmotor, der durch Impulse die Welle schrittweise dreht. Kombiniert mit einer Kugelumlaufspindel wird die Drehbewegung in eine Längsbewegung umgewandelt und so kann ein Maschinentisch genau positioniert werden.

Für mein Projekt nehme ich die Marke (Abbildung 7), die schon in der alten Fräsmaschine verbaut sind. Diese Motoren sind seit 12 Jahren in Betrieb und sie funktionieren immer noch einwandfrei.

Marke:



Abbildung 7 Logo "EC Motion"

Kraftübertragung

Die Kraftübertragung ist mit dem Antrieb verbunden und führt von einer Drehbewegung eine Längsbewegung aus. Auch hier gibt es verschiedene Arten und Ausführungen. Die Genauigkeit sowie die Erfahrungen mit der vorhandenen Maschine haben auch hier wieder zur Entscheidung geführt.

Die Entscheidung ist auf die Kugelumlaufspindel (Abbildung 8) gefallen.



Abbildung 8 Kugelumlaufspindel

Ich werde eine Spindel der Firma NEFF (Abbildung 9) beziehen:



Abbildung 9 Logo "NEFF"

Linearführungen

Die Linearführungen nehmen mit der Kraftübertragung die Kräfte vom Bearbeiten auf und sind für die Geometrie der Maschine zuständig. Bei den Varianten, die ich bewertet habe, hat auch hier wieder die Genauigkeit den Unterschied gemacht. Die Entscheidung ist auf die kugelumlaufgelagerte oder rollengelagerte Präzisionsschiene (Abbildung 10) gefallen.



Abbildung 10 Profilschieneführung

Hier habe ich mich für ein Produkt der Firma Schneeberger (Abbildung 11) entschieden.



Abbildung 11 Logo "Schneeberger"

Kupplung

Die Bewertung der Kupplung fand ich anspruchsvoll. Für mich als angehender Techniker ist klar, dass man für diese Anwendung eine Kupplung einbaut. Die Kupplung gleicht den Winkelfehler vom Antrieb zur Kraftübertragung aus. Hier hat einfach die Erfahrung den Anstoss gegeben, dass ich mich für die Kupplung (Abbildung 12) aus Kunststoff entschieden habe.



Abbildung 12 Kupplung

Frässpindel

Die Entscheidung fiel hier auf eine Einkauf Frässpindel (Abbildung 13). Ich denke, eine solche ist für dieses Projekt ausreichend und am besten geeignet. Eine Eigenbau Spindel benötigt viel Zeit für die Konstruktion und Fertigung.

An der bestehenden Maschine ist eine Oberfräse in Betrieb. Wie in der Infosammlung beschrieben, weist diese Mängel auf.



Abbildung 13 Frässpindel

Maschinenwagen

Die Fräsmaschine muss einen Platz finden in der Werkstatt. Sie soll auf einem Wagen stehen, damit die Arbeitshöhe optimal ist und man gut Werkstücke auf den Frästisch spannen kann. Die Entscheidung ist auf ein Aluminiumgestell gefallen. Da aber bereits ein geschweisstes Gestell vorhanden ist, werde ich mit dem Auftraggeber eine Kosten-Nutzen-Analyse machen.

Die neue Maschine wird gemäss Wunsch des Auftraggebers etwas kleiner. Wenn nun das alte Gestell weiter verwendet wird, können wir kaum von einer Platzminimierung in der Werkstatt profitieren.

Mobilität Maschinenwagen

Da der Platz in der Werkstatt knapp ist, soll die Maschine leicht verschiebbar sein.

Profilschienenführung und Kugelumlaufspindel

Technisch funktionieren die zwei Komponenten genau gleich und sind für Präzise Anwendungen geeignet.

Funktion:

Es gibt zwei Auflagen und dazwischen sind Wälzkörpern. Bei Spindeln sind es nur Kugeln, bei den Schienen können auch zylindrische Wälzkörpern verbaut sein (für höhere Beanspruchung). Wenn die zwei Auflagen sich bewegen, rollen die Wälzkörper dazwischen und es entsteht fast eine reibfreie Bewegung (Abbildung 14).

Die Wälzkörper werden in einem geschlossenen System gehalten. Wenn sie z.B. beim Wagen einmal die ganze Länge durchgerollt sind, werden sie automatisch zurückgeführt (Abbildung 14).

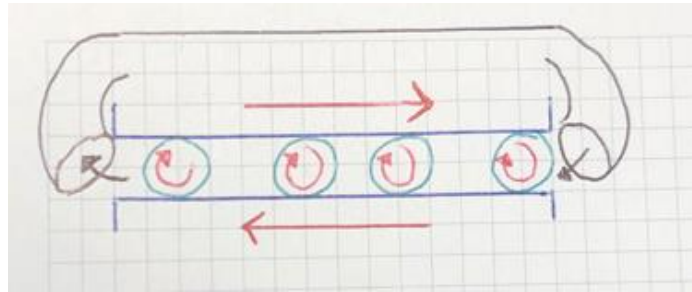


Abbildung 14 Funktion Wälzkörper

Die Genauigkeit kommt von der Form der Auflagen in denen sich die Wälzkörpern befinden. Sie sind meist präzise geschliffen oder gerollt und somit spielfrei. Für die Verringerung des Verschleisses sind die Schienen oder Spindeln Randschicht gehärtet und man kann sie zusätzlich noch Beschichten (Hartchrom).

Für zusätzliche Genauigkeit kann man die Wagen oder Mutter noch vorspannen. Dies wird erreicht in dem man die eine Hälfte der Kugeln an die linke und die andere Hälfte an die rechte Rillenflanke presst (Abbildung 15).

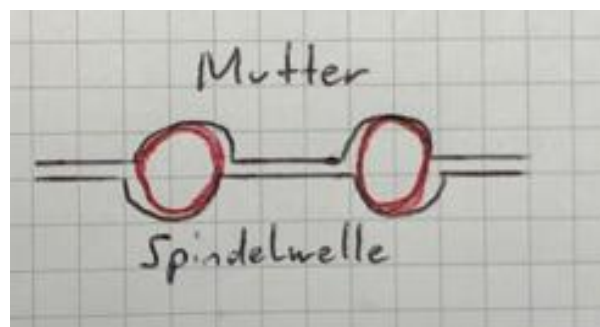


Abbildung 15 Vorspannung

Realisierung

Die verschiedenen Lösungsvarianten der Teilfunktionen wurden ausgewählt und im CAD umgesetzt. Dabei müssen die einzelnen Punkte der Anforderungsliste immer eingehalten werden.

Strategie der Konstruktion

Da ich bei der Konstruktion solcher Maschine noch keine Erfahrung habe ist die Strategie ein sehr wichtiger Punkt. Ich arbeite mit vielen Einkaufsteilen (z.B. Linearschienen, Kugelumlaufspindeln, etc.), die man nicht in jeder Dimension selbst definieren kann.

Meine Strategie:

1. Punkt: Die Frässpindel
2. Punkt: Auslegung des Antriebs
3. Punkt: Konstruktion der Z-Achse
4. Punkt: Konstruktion der Y-Achse
5. Punkt: Konstruktion der X-Achse

Konzept der Maschinenanlage

Mit der Konstruktion der Maschine ist mein Projekt noch nicht fertig. Wie in der Aufgabenstellung beschrieben, möchte ich ein ganzes Konzept erstellen. Dies findet in einer rein schriftlichen Form statt.

Mein Konzept:

1. Punkt: Maschinenwagen
2. Punkt: Maschinenhülle
3. Punkt: Spannsysteme

Die Frässpindel

Für die Dimensionierung der Frässpindel geht es um die Schnittkräfte, die die Fräse leisten muss. Das heisst, ich muss die Leistung der Spindel errechnen. Als Polymechniker zerspane ich vor allem Stahl und Aluminium. Mit Holz habe ich weniger Erfahrung. Ich weiss aber, dass der VC-Wert (die Schnittgeschwindigkeit) höher ist als beispielsweise bei Aluminium und dass sich dies auf die Drehzahl auswirkt. Mein Auftraggeber hat in der Anforderungsliste klar definiert, dass die Drehzahl mindestens 20'000 U/min betragen soll.

Berechnung:

Für die Berechnungen habe ich mir das Buch «Rechenbuch Metall» von Europa Lehrmittel zur Hilfe genommen.

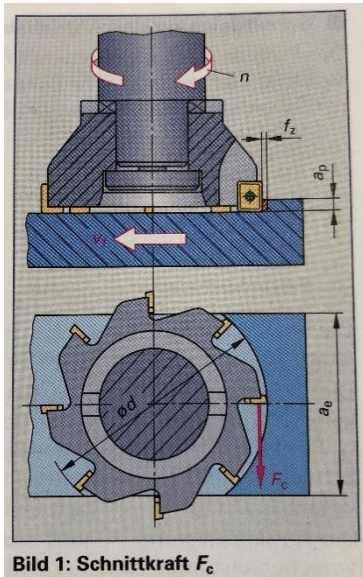


Bild 1: Schnittkraft F_c

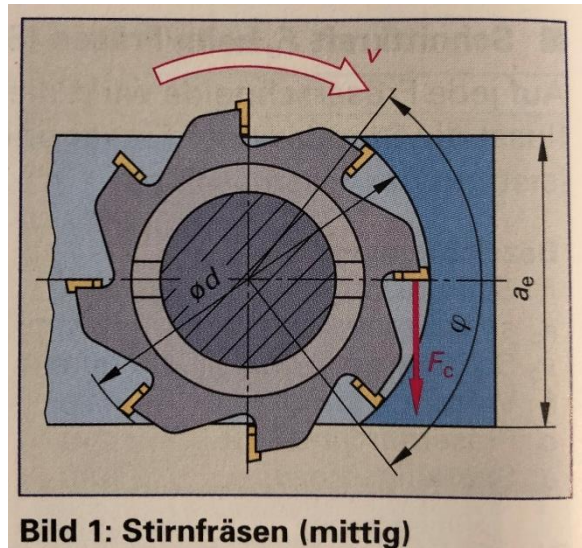


Bild 1: Stirnfräsen (mittig)

Schnittkraft je Fräseschneide

$$F_c = 1,2 \cdot A \cdot k_c \cdot C$$

Schnittleistung beim Fräsen

$$P_c = z_e \cdot F_c \cdot v_c$$

Berechnung der Frässpindel

$$P_c = z_e \cdot F_c \cdot v_c = P_c \text{ [kW]}$$

$$z_e = z \cdot \frac{\varphi}{360^\circ}$$

$$F_c = 1,2 \cdot A \cdot k_c \cdot C$$

$$A = a_p \cdot f_z$$

$$P_c = z \cdot \frac{\varphi}{360^\circ} \cdot 1,2 \cdot a_p \cdot f_z \cdot k_c \cdot C \cdot v_c$$

Bezeichnungen:

P_1	Antriebsleistung	N · m/s, kW	v_c	Schnittgeschwindigkeit	m/min
P_c	Schnittleistung	N · m/s, kW	z	Anzahl der Fräuserschneiden	-
P_s	Leistung je Schneide	N · m/s	z_e	Anzahl der Schneiden im Eingriff	-
F_c	Schnittkraft je Schneide	N	φ^1	Eingriffswinkel	°
a_e	Fräsbreite	mm	η^2	Wirkungsgrad	-
d	Fräserdurchmesser	mm			

Bezeichnungen:

F_c	Schnittkraft je Schneide	N	a_p	Schnitttiefe	mm
k_c	spezifische Schnittkraft	N/mm ²	h	mittlere Spanungsdicke	mm
v_c	Schnittgeschwindigkeit	m/min	A	Spanungsquerschnitt je Schneide	mm ²
f_z	Vorschub je Schneide	mm	C	Korrekturfaktor für die Schnittgeschwindigkeit	-
d	Fräserdurchmesser	mm			
a_e	Spanungsbreite	mm			

Tabelle 2: Korrekturfaktor C

Schnittgeschwindigkeit v_c in m/min	Faktor C
50 ... 80	1,1
> 80 ... 400	1,0

Um nun die Schnittleistung zu berechnen, braucht man einen k_c Wert (spezifische Schnittkraft) und man muss einen Fräser mit der Schnitttiefe und Zähnezahl definieren. In meinen Unterlagen finde ich nur k_c Werte für Stahl, Einsatzstahl oder Grauguss. Nach weiterer Suche stellte ich fest, dass die spezifische Schnittkraft durch Versuche ermittelt wurde. Da mir während der Diplomarbeit die Zeit fehlt und ich zudem über kein Labor verfüge, kann ich keine solchen Versuche durchführen.

Nach Absprache mit meinem Auftraggeber einigten wir uns darauf, dass die Spindel mindestens das Doppelte an Leistung haben soll wie die bisherige 900 Watt Spindel. Dazu soll sie über eine Wasserkühlung verfügen, da dem Auftraggeber aufgefallen ist, dass die Oberfräse nach über einer Stunde Fräszeit spürbar heiss wurde.

Meine Lösung:

PRODUCT SPECIFICATIONS:

Product Weight: 11 lbs / 5 kg
Product Size: 8.5 in x 3.15 in / 21.5 cm x 8 cm

VEVOR®

Power :	2.2KW	Speed :	24000rpm
Current :	8A	Frequency :	400Hz
Voltage :	220V	Runout off :	0.0015mm
Collet Size :	ER20	Maximum Torque :	0.9NM

Abbildung 16 Frässpindel Marke "Vevor"

Auslegung des Antriebs

Allgemeine Kräfte der Achsen

Für die Dimensionierung der Z-Achse wollte ich zuerst für alle Achsen (X, Y und Z) die Vorschubkräfte beim Zerspanen berechnen. Die brauche ich um die Schrittmotoren, Kugelumlaufspindeln und Linearschienen zu definieren. Auch hier benötige ich den k_c Wert (spezifische Schnittkraft). Das habe ich wie folgt gelöst: Bei der bestehenden Maschine habe ich alle Linearführungen, Kugelumlaufspindeln und Schrittmotoren erfasst um Rückschlüsse auf die Dimensionierung anzustellen. Anhand der Fräserfahrungen vom Auftraggeber sind wir zum Schluss gekommen, dass die Schrittmotoren über rund 25% mehr Leistung in den X- und Y-Achsen verfügen dürfen.

Meine Lösung für die allgemeine Kräfte der Achsen:

Aus meiner Erfahrung als Polymechniker habe ich nun Kräfte angenommen, die die Fräsmaschine beim Bearbeiten von Holz haben sollte (Abbildung 17). Diese dienen mir zur Berechnung der Klemmverbindungen und der anderen Bauteile. Hier muss ich genügend Sicherheit einplanen, falls es in der Praxis zu Abweichungen kommen sollte.

X- und Y-Achse 600N

Z-Achse 400N

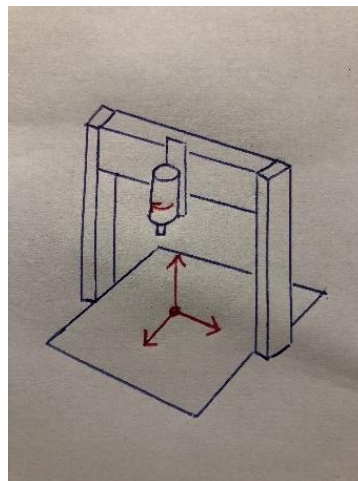


Abbildung 17 Kräfte der Maschine

Kugelumlaufspindel

Die Kugelumlaufspindel dimensioniert man über die Knickfestigkeit. Dafür wendet man den vierten Eulerschen Knickfall.

Knickfestigkeit Kugelumlaufspindel

$$\text{Formel: } F_{\text{Druck}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{b_0 \cdot L_{\text{frei}}^2}$$

L_{frei} = freie Knicklänge [m]

F_{Druck} = maximale Kraft bei Druckbeanspruchung [N]

E = E-Modul Stahl [$210 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$]

b_0 = Beiwert zur Knickfestigkeit [$1/4$]

I = Axiales Flächenträgheitsmoment [$\frac{\pi}{4} \cdot r_{\text{Spindel}}^4$]

Gewählter Wert: r_{Spindel}

L_{frei} :	Z-Achse	0,3 m	F_{Druck} :	450 N	(400+50)
	Y-Achse	0,8 m		700 N	(600+100)
	X-Achse	1,0 m		700 N	(600+100)

Lösung : Z-Achse $r = 1,58 \text{ mm}$
minimalen Spindel-durchmesser 3,16 mm

Y-Achse $r = 2,88 \text{ mm}$
minimalen Spindel-durchmesser 5,76 mm

X-Achse $r = 3,22 \text{ mm}$
minimalen Spindel-durchmesser 6,44 mm

Erläuterung F_{Druck} :

Bei den allgemeinen Kräften habe ich für jede Achse eine Kraft bestimmt. Für die Berechnung der Knickfestigkeit habe ich noch eine Kraft dazugerechnet, weil die Kugelumlaufspindel nicht nur die Kraft vom Zerspanen leisten muss, sondern auch die Reibkraft der Schienen, welche abhängig ist vom Gewicht.

Da die Schienen und Spindeln der Z-Achse vertikal angebracht sind, ist die Kugelumlaufspindel auf Zug belastet. Sie ist erst auf Druck belastet, wenn die Zerspankraft grösser ist als die Eigengewichtskraft. Als Sicherheit habe ich 50N dazugerechnet.

Bei der X-Achse habe ich eine Überschlagsrechnung gemacht bezüglich des Gewichts der Konstruktion. Ich habe angenommen, dass die Konstruktion insgesamt 500 kg nicht überschreitet.

Gewichtskraft $F_G = m$ (Masse in kg) * g (Fallgeschwindigkeit m/s^2)

$$500 * 9.81 = 4905N$$

Nun muss man das Resultat mit dem Reibungskoeffizienten der Linearschiene multiplizieren. Der Wert einer solchen Linearschiene beträgt 0.005.

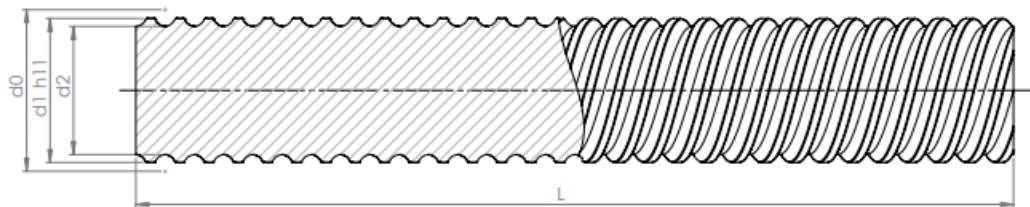
$$4905N * 0.005 = 24.5N$$

Die Reibkraft beträgt bei 500 kg Gesamtgewicht auf den Linearschienen 24.5N.

Somit habe ich mit den 50N in der Z-Achse und 100N in der X- und Y-Achse genügend Sicherheit, falls die Konstruktion etwas schwerer ausfallen sollte als erwartet.

Technische Daten Kugelgewindespindel KGS

- Durchmesser: _____ Standard: 12 – 80 mm
- Steigung: _____ Standard: 5 – 50 mm
- Gangzahl: _____ 1 – 5
- Drehrichtung: _____ rechtssteigend,
KGS 2005 + 3205 auch linkssteigend
- Länge: _____ Standard: 5600 mm
KGS 1205: 2000 mm
bis 11000 mm auf Anfrage
- Werkstoff: _____ 1.1213 (Cf 53)
Kugellaufbahn induktiv gehärtet und poliert, Spindelende und Spindelkern weich
- Geradheit: _____ L < 500 mm: 0,05 mm/m
L = 500 – 1000 mm: 0,08 mm/m
L > 1000 mm: 0,1 mm/m
- Rechts/Links-Spindel: _____ nur KGS 2005 + 3205



d0= Nenndurchmesser, d1= Außendurchmesser, d2= Kerndurchmesser, L= Spindellänge

Typ Durchmesser [mm] Steigung [mm] rechtssteigend Teilung	Kugelgröße	Abmessungen in [mm]				Streckenlast W _{KGS} [kg/m]	Flächenträg- heitsmoment I _y [10 ⁴ mm ⁴]	Widerstands- moment ¹⁾ [10 ³ mm ³]	Massenträg- heitsmoment [kg m ² /m]
		d ₀	d ₁ , h ₁₁	d ₂	L max.				
KGS-1205	2	12	11,5	10,1	2000	0,75	0,051	0,101	1,13 · 10 ⁻⁵
KGS-1605	3,5	16	15,5	12,9	5600	1,26	0,136	0,211	3,21 · 10 ⁻⁵
KGS-1610-P5	3	16	15,4	13,0	5600	1,26	0,140	0,216	3,21 · 10 ⁻⁵
KGS-1616-P8	3	16	15,05	12,65	5600	1,26	0,140	0,216	3,21 · 10 ⁻⁵
KGS-2005	3,5	20	19,5	16,9	5600	2,04	0,400	0,474	8,46 · 10 ⁻⁵
KGS-2020-P5	3,5	20	19,5	16,9	5600	2,04	0,400	0,474	8,46 · 10 ⁻⁵
KGS-2050-P10	3,5	20	19,1	16,5	5600	2,04	0,364	0,441	8,46 · 10 ⁻⁵
KGS-2505-P5	3,5	25	24,5	21,9	5600	3,33	1,129	1,031	2,25 · 10 ⁻⁴
KGS-2510-P5	3,5	25	24,5	21,9	5600	3,33	1,129	1,031	2,25 · 10 ⁻⁴
KGS-2520-P5	3,5	25	24,6	22,0	5600	3,33	1,150	1,045	2,25 · 10 ⁻⁴
KGS-2525-P5	3,5	25	24,5	22,0	5600	3,33	1,150	1,045	2,25 · 10 ⁻⁴
KGS-2550-P10	3,5	25	24,1	21,5	5600	3,33	1,049	0,976	2,25 · 10 ⁻⁴
KGS-3205	3,5	32	31,5	28,9	5600	5,63	3,424	2,370	6,43 · 10 ⁻⁴
KGS-3210	7,144	32	32,7	27,3	5600	5,63	2,727	1,998	6,43 · 10 ⁻⁴
KGS-3220-P10	5	32	31,7	27,9	5600	5,63	2,974	2,132	6,43 · 10 ⁻⁴
KGS-3240-P10	3,5	32	30,9	28,3	5600	5,63	3,149	2,225	6,43 · 10 ⁻⁴
KGS-3260-P10	3,5	32	30,9	28,3	5600	5,63	3,149	2,225	6,43 · 10 ⁻⁴
KGS-4005	3,5	40	39,5	36,9	5600	9,01	9,101	4,933	1,65 · 10 ⁻³
KGS-4010	7,144	40	39,5	34,1	5600	8,35	6,737	3,893	1,41 · 10 ⁻³
KGS-4020-P10	5	40	39,7	35,9	5600	9,01	8,154	4,542	1,65 · 10 ⁻³
KGS-4040-P10	3,5	40	38,9	36,3	5600	9,01	8,523	4,696	1,65 · 10 ⁻³
KGS-5010	7,144	50	49,5	44,1	5600	13,50	18,566	8,420	3,70 · 10 ⁻³
KGS-5020-P10	7,144	50	49,5	44,1	5600	13,50	18,566	8,420	3,70 · 10 ⁻³
KGS-6310	7,144	63	62,5	57,1	5600	22,03	52,181	18,280	9,84 · 10 ⁻³
KGS-8010	7,144	80	79,65	74,2	5600	36,43	148,600	39,950	2,69 · 10 ⁻²

Abbildung 18 Tabelle Kugelgewindespindel

Ich habe mich für die kleinste Kugelumlaufspindel entschieden für alle Achsen. Sie hat einen Aussendurchmesser von 12 mm und eine Steigung von 5 mm (Abbildung 18).

KGS-1205


Befestigung der Kugelumlaufspindel:

Bei einer sauberen Konstruktion wird die Kugelumlaufspindel mit einem Festlager und mit einem Loslager montiert. An die beiden Enden der Spindel werden die unterschiedlichen Profile angedreht. Das Festlager wird auf die Spindel geschraubt und hält die Spindel an der dafür bestimmten Position fest. Das Loslager besteht aus einem Kugellager und einem Gehäuse, in der sich das Kugellager axial verschieben kann. Das Lager ist mit einem Sicherungsring an die Spindel befestigt. So entstehen keine axialen Spannungen, falls sich die Spindel ausdehnen sollte (z.B. durch Wärme).

Linearachsen

Die Auslegung der Linearschienen und Wagen ist nicht schwierig. Hier muss man die Angaben des Herstellers beachten und die Schienen und Wagen nach den Kräften und Gewichtskräften auslegen. Für dies muss man aber anfangen zu konstruieren, um dann das Gewicht der jeweiligen Komponenten genau zu evaluieren.

Hier im Bild (Abbildung 19) habe ich für die Schienenbreite von 15mm die Wagen in einer Tabelle mit den Dynamischen und Statischen Tragzahlen. Wichtig ist dabei das die Lebensdauer mit diesen Tragzahlen bei ca. 100km ist. Werden sie weniger belastet steigt die Lebensdauer.



	BMW 15-A	BMW 15-B	BMW 15-C	BMW 15-D	BMW 15-F	BMW 15-G	BMW 15-J	BMW 15-K
A: Systemhöhe	24	24	28	28	24	24	24	24
B: Wagenbreite	47	47	34	34	34	34	52	34
B2: Abstand Anschlagflächen	16	16	9,5	9,5	9,5	9,5	18,5	9,5
C1: Pos. Schmierbohrung vorne mittig	4	4	8	8	4	4	4	4
C3: Position Schmierbohrung seitlich	4	4	8	8	4	4	4	4
C4: Position Schmierbohrung seitlich	9,3	17,3	11,3	19,3	11,3	19,3	14,8	14,8
C7: Position Schmierbohrung oben	9,1	17	11,1	19	11,1	19	14,6	14,6
J: Wagenhöhe	20,4	20,4	24,4	24,4	20,4	20,4	20,4	20,4
L: Wagenlänge	57,6	73,5	57,6	73,5	57,6	73,5	38,6	38,6
L1: Abst. Befestigungsbohrungen aussen	30	30	26	26	26	26	-	-
L2: Abst. Befestigungsbohrungen innen	26	26	-	-	-	-	-	-
L6: Länge Stahlkörper	39,6	55,5	39,6	55,5	39,6	55,5	20,6	20,6
N: Abst. Befestigungsbohrungen quer	38	38	26	26	26	26	41	26
O: Höhe Anschlag Wagen	7	7	6	6	6	6	6	6
Tragzahlen und Gewichte								
C0: Statische Tragzahl (N)	19600	22900	19600	22900	19600	22900	8500	8500
C100: Dynamische Tragzahl (N)	9000	11400	9000	11400	9000	11400	5200	5200
M0Q: Zul. statisches Moment quer (Nm)	181	218	181	218	181	218	78	78
M0L: Zul. statisches Moment längs (Nm)	146	198	146	198	146	198	30	30
MQ: Zul. dynamisches Moment quer (Nm)	83	108	83	108	83	108	48	48
ML: Zul. dynamisches Moment längs (Nm)	67	96	67	96	67	96	18	18
Gewicht Wagen (kg)	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2

Abbildung 19 Tabelle Wagen der Linearführung

Schrittmotoren

Die Auslegung der Schrittmotoren ist ein sehr wichtiges Thema. Hier gilt es, einiges zu beachten. Der Motor muss genügend Kraft haben, um die jeweiligen Achsen zu betreiben. Die Drehzahl spielt auch eine Rolle, denn sie gibt mit der Steigung der Kugelumlaufspindel die Geschwindigkeit vor, mit der man mit den Achsen verfahren kann. Dies werde ich in der Komponentenwahl definieren.

Bei der bestehenden Fräsmaschine haben alle Achsen den gleichen Motor. Ich möchte aber hier die Motoren nach Bedarf auslegen.

Als ersten Schritt habe ich die technischen Daten der bestehenden Schrittmotoren analysiert. (Abbildung 20 und 21)



SECM268... Serie 2-Phasen-Schrittmotor [1,8° High-Torque-Version]

Model A = Single Shaft B = Double Shaft	● Bipolar Parallel				● Bipolar Serial				● Unipolar				Torque Speed- curve
	Holding Torque [Nm]	Current/ Phase [A]	Resistance/ Phase [Ohm]	Inductance/ Phase [mH]	Holding Torque [Nm]	Current/ Phase [A]	Resistance/ Phase [Ohm]	Inductance/ Phase [mH]	Holding Torque [Nm]	Current/ Phase [A]	Resistance/ Phase [Ohm]	Inductance/ Phase [mH]	
SECM268-E1.0 (A/B)	1.75	1.4	4.1	14.0	1.75	0.7	16.4	56.0	1.35	1.0	8.2	14.0	(G1)
SECM268-E2.0 (A/B)	1.75	2.8	1.2	3.6	1.75	1.4	4.6	14.4	1.35	2.0	2.3	3.6	(G2)
SECM268-E2.3 (A/B)	1.75	3.3	0.9	2.8	1.75	1.65	3.4	11.2	1.35	2.3	1.7	2.8	(G3)
SECM268-E3.0 (A/B)	1.75	4.2	0.5*	1.6	1.75	2.1	2.0*	6.4	1.35	3.0	1.0*	1.6	(G4)

Abbildung 20 Schrittmotor

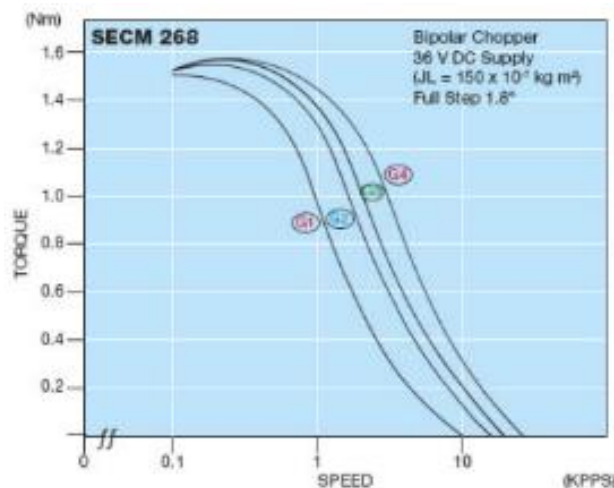


Abbildung 21 Drehmoment Schrittmotor

Berechnung Schrittmotor

Beim Bearbeitungsvorgang:

$$M_w = \frac{1}{\eta_s} \cdot F_w \cdot \frac{h_s}{2 \cdot \pi}$$

η_s = Wirkungsgrad Spindelblätter [0,95]

F_w = Bearbeitungskraft

h_s = Spindelsteigung [5mm]

F_w beziehe ich aus den Kugellaufspindel berechnungen.

max. F_w - Wert 700N

$$\underline{\underline{M_w = 0,59 \text{ Nm}}}$$

max. F_w - Wert 450N

$$\underline{\underline{M_w = 0,38 \text{ Nm}}}$$

Berechnung Schrittmotor

Beim Beschleunigungsvorgang:

$$M_w = \dot{\omega}_{\max} \cdot \left(J_{\text{Motor}} + J_K + J_S + \frac{J_T}{\eta_s} \right)$$

$$\text{rotatorische Beschleunigung } \dot{\omega}_{\max} = \frac{2 \cdot \pi}{h_s} \cdot a_{\max}$$

$$J_{\text{Motor}} = 430 \cdot 10^{-7} \text{ kg m}^2 \quad \text{Trägheitsmoment Motor}$$

$$J_K = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^2 \quad \text{Trägheitsmoment Kupplung}$$

$$J_S = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{d_s}{2} \right)^2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_s}{2} \right)^2 \cdot L \cdot \rho \quad \text{Massenträgheitsmoment}$$

$$J_T = m_T \cdot \left(\frac{h_s}{2 \cdot \pi} \right)^2 \quad \text{Massenträgheitsmoment Tisch auf Motorwelle}$$

 h_s = Spindelsteigung 5mm a_{\max} = Maximale Beschleunigung (von mir auf 1 m/s^2 bestimmt) d_s = Spindel Durchmesser 12mm L = Länge Kugelumlaufspindel (0,3m / 0,8m / 1m) ρ = Dichte Stahl 7850 kg/m^3 m_T = linear bewegte Masse

$$\text{X-Achse} \quad L = 1\text{m} \quad m_T = 500 \text{ kg}$$

$$\underline{\underline{M_w = 0,87 \text{ Nm}}}$$

$$\text{Y-Achse} \quad L = 0,8\text{m} \quad m_T = 200 \text{ kg}$$

$$\underline{\underline{M_w = 0,61 \text{ Nm}}}$$

$$\text{Z-Achse} \quad L = 0,3\text{m} \quad m_T = 50 \text{ kg}$$

$$\underline{\underline{M_w = 0,48 \text{ Nm}}}$$

Bei meinen Berechnungen habe ich gesehen, dass die bestehenden Schrittmotoren ausreichen, was das Drehmoment betrifft. Der Auftragsgeber hat nun die Option, die Schrittmotoren der alten Maschine weiter zu nutzen. Dies würde eine gute Kostenersparnis generieren.

Nach Absprache mit dem Auftraggeber haben wir uns geeinigt, dass wir die Motoren der bestehenden Maschine übernehmen werden.

Nun kann man mit dem Motor und der Kugelumlaufspindel noch die Maximalgeschwindigkeit festlegen. Der Motor leistet bei 0.2Nm Drehmoment 10 KPPS (Kilo Puls pro Sekunde). Dies kann man jetzt in eine Drehzahl umrechnen.

Handwritten calculations on graph paper:

$$\begin{aligned} 1 \text{ kpps} &\hat{=} 1000 \text{ pps} \\ 10 \text{ kpps} &\hat{=} 10'000 \text{ pps} \\ \text{bei } 1,8^\circ/\text{Schritt} &\hat{=} 1 \text{ Umdrehung} = 200 \text{ Schritte} \\ 10'000 \text{ pps} : 200 \text{ p} &= 50 \text{ U/s} \\ 50 \text{ U/s} \cdot 0,005 \text{ m (Steigung Kugelumlaufspindel)} &= 0,25 \text{ m/s} \end{aligned}$$

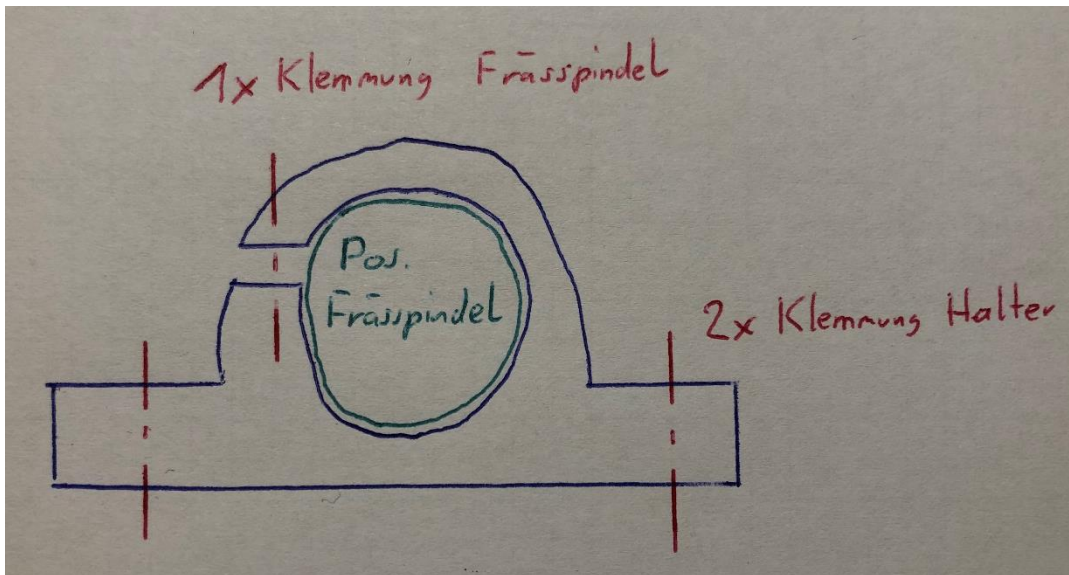
Die maximale Geschwindigkeit der Achsen beträgt 0.25 m/s oder 15'000 mm/min

Konstruktion der Z-Achse

Berechnungen der Frässpindel Halterung:

Um die Frässpindel zu befestigen, habe ich geplant, zwei geschlitzte Klemmverbindungen zu verwenden. Dazu muss man die Klemmkraft vom Halter zur Frässpindel berechnen und jene von der Halterung zur Achsenplatte, auf welcher die Halterungen angebracht sind.

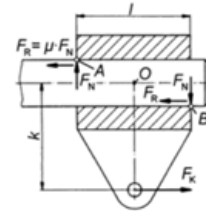
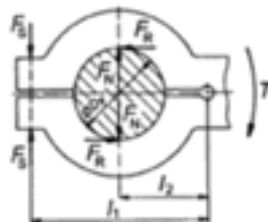
Skizze:



Frässpindel Klemmung:

Bei der Berechnung (nächste Seite) kann man erkennen, dass die Auslegung mehr als genügt. Zur Sicherheit habe ich mit der kleinsten Reibungszahl gerechnet. Die genaue Position der Schraube werde ich beim CAD zeichnen bestimmen.

$$F_S = \frac{F_N \cdot l_2}{n \cdot l_1} = \frac{T_R \cdot l_2}{n \cdot D \cdot \mu \cdot l_1}$$



Berechnung Frässpindel Klemmung

Betriebskraft 8.8 Schraube: $R_e = 640 \text{ N/mm}^2$ „Streckgrenze“
 $\sigma_{zul} = 256 \text{ N/mm}^2$ „zulässige Spannung“

Betriebskraft = Querschnitt Schraube \cdot zulässige Spannung

$$F_B = S \cdot \sigma_{zul}$$

$$M6 \hat{=} S = 20,1 \text{ mm}^2 \quad F_B = 5146 \text{ N}$$

$$M8 \hat{=} S = 36,6 \text{ mm}^2 \quad F_B = 9370 \text{ N}$$

σ_{zul} wurde mit einer Sicherheit von 2,5 berechnet,

$$F_N = \frac{F_S (F_B) \cdot n \cdot l_1}{l_2}$$

F_S ist F_B

n = anzahl Schrauben

μ = Reibungszahl

↳ Alu-Stahl trocken 0,1-0,28

$$F_R = \mu \cdot F_N$$

$$l_2 = 40 \text{ mm}$$

$$l_1 = > 80 \text{ mm}, < 110 \text{ mm}$$

Berechnung 1 $\mu = 0,1$ $l_1 = 80 \text{ mm}$ M6

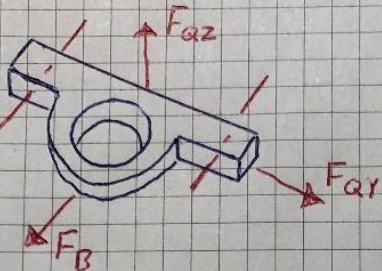
$$F_R = 2058 \text{ N}$$

Berechnung 2 $\mu = 0,1$ $l_1 = 110 \text{ mm}$ M6

$$F_R = 2830 \text{ N}$$

Befestigung der Halterung:

Befestigung der Halterung



$F_Q = \text{Querkraft}$
 $F_B = \text{Betriebskraft}$

Montagevorspannkraft = $F_{kl} + F_B$

$$F_{kl} = \frac{F_{Q_{res}}}{\mu \cdot n}$$

$n = \text{anzahl Schrauben}$
 $\mu = 0,21 \quad \text{Alu - Alu trocken}$
 $\hookrightarrow \text{Gleitreibungszahl}$

$$F_{kl} = \frac{\sqrt{F_{Qz}^2 \cdot F_{Qy}^2}}{0,21 \cdot 4} = 858 \text{ N}$$

$$F_B = \frac{600 \text{ N}}{4} = 150 \text{ N}$$

Montagevorspannkraft = 1008 N

Mit dieser Rechnung will ich nun überprüfen mit welcher Schraube ich die Halterung sicher montieren kann. Diese Rechnung dient nur zur Überprüfung und Vordimensionierung. Ich habe in der Formel den Anziehungsfaktor und den Setzbetrag vernachlässigt.

Gewinde	Reibungs- zahl $\mu_K = \mu_G$	Maximale Vorspannkraft $F_{M \max}$ [kN]							Maximales Anziehdrehmoment $M_{A \max}$ [Nm]							Um- mech- nungs- faktor X
		Festigkeitsklassen nach ISO 898/1							Festigkeitsklassen nach ISO 898/1							
		3.6	4.6	5.6/4.8	6.8	8.8	10.9	12.9	3.6	4.6	5.6/4.8	6.8	8.8	10.9	12.9	
M4	0,10	1,26	1,68	2,10	3,36	4,5	6,7	7,8	0,73	0,97	1,21	1,94	2,6	3,9	4,5	0,58
	0,12	1,22	1,63	2,04	3,26	4,4	6,5	7,6	0,82	1,09	1,37	2,19	3,0	4,6	5,1	0,67
	0,14	1,19	1,58	1,98	3,17	4,3	6,3	7,4	0,91	1,21	1,51	2,42	3,3	4,8	5,6	0,76
M5	0,10	2,06	2,74	3,43	5,48	7,4	10,8	12,7	1,4	1,9	2,4	3,8	5,2	7,6	8,9	0,70
	0,12	2,00	2,67	3,33	5,33	7,2	10,6	12,4	1,6	2,2	2,7	4,3	5,9	8,6	10,0	0,81
	0,14	1,94	2,59	3,23	5,18	7,0	10,3	12,0	1,8	2,4	3,0	4,8	6,5	9,5	11,2	0,93
M6	0,10	2,90	3,87	4,84	7,74	10,4	15,3	17,9	2,5	3,3	4,1	6,6	9,0	13,2	15,4	0,86
	0,12	2,82	3,76	4,71	7,53	10,2	14,9	17,5	2,8	3,7	4,7	7,5	10,1	14,9	17,4	0,99
	0,14	2,74	3,65	4,57	7,31	9,9	14,5	17,0	3,1	4,1	5,2	8,3	11,3	16,5	19,3	1,14
M8	0,10	5,3	7,1	8,8	14,2	19,1	28,0	32,8	6,0	8,0	10,0	16,1	21,6	31,8	37,2	1,13
	0,12	5,15	6,9	8,6	13,8	18,6	27,3	32,0	6,8	9,1	11,3	18,2	24,6	36,1	42,2	1,32
	0,14	5,0	6,7	8,3	13,4	18,1	26,6	31,1	7,5	10,1	12,6	20,1	27,3	40,1	48,9	1,51
M10	0,10	8,4	11,3	14,1	22,5	30,3	44,5	52,1	12	16,1	20,1	32,3	43	63	73	1,42
	0,12	8,2	11,0	13,7	21,9	29,6	43,4	50,8	13,7	18,3	22,9	36,5	48	71	83	1,65
	0,14	8,0	10,7	13,3	21,3	28,8	42,2	49,4	15,2	20,3	25,3	40,6	54	79	93	1,89
M12	0,10	12,3	16,4	20,5	32,8	44,1	64,8	75,9	20	27	34	55	73	108	126	1,65
	0,12	12,0	16,0	20,0	32,0	43,0	63,2	74,0	23	31	39	62	84	123	144	1,94
	0,14	11,6	15,5	19,4	31,1	41,9	61,5	72,0	26	34	43	69	93	137	160	2,22
M14	0,10	16,9	22,5	28,2	45,1	60,6	88,9	104,1	33	44	55	88	117	172	201	1,94
	0,12	16,5	21,9	27,4	43,9	59,1	86,7	101,5	37	50	62	100	133	195	229	2,26
	0,14	16,0	21,3	26,7	42,7	57,5	84,4	98,9	41	55	69	111	148	218	255	2,58
M16	0,10	23,2	30,9	38,6	61,8	82,9	121,7	142,4	50	67	84	134	180	264	309	2,17
	0,12	22,6	30,1	37,6	60,2	80,9	118,8	139,0	57	76	96	153	206	302	354	2,54
	0,14	22,0	29,3	36,6	58,6	78,8	115,7	135,4	64	85	107	171	230	338	395	2,92
M18	0,10	28,2	37,7	47,1	75,3	104	149	174	70	93	117	187	259	369	432	2,48
	0,12	27,5	36,7	45,8	73,4	102	145	170	80	106	133	212	295	421	492	2,90
	0,14	26,7	35,7	44,6	71,3	99	141	165	89	118	148	236	329	469	549	3,32
M20	0,10	36,2	48,3	60,3	96,5	134	190	223	98	131	164	262	363	517	605	2,71
	0,12	35,3	47,0	58,8	94,1	130	186	217	112	150	187	300	415	592	692	3,18
	0,14	34,3	45,8	57,2	91,6	127	181	212	125	167	209	334	464	661	773	3,65
M22	0,10	45,1	60,1	75,2	120,3	166	237	277	132	176	220	353	495	704	824	2,95
	0,12	44,0	58,7	73,4	117,4	162	231	271	151	202	252	403	567	807	945	3,46
	0,14	42,9	57,1	71,4	114,3	158	225	264	169	225	282	451	634	904	1 057	3,97
M24	0,10	52,1	69,5	86,9	139,0	192	274	320	169	226	282	451	625	890	1 041	3,25
	0,12	50,8	67,7	84,7	135,5	188	267	313	193	257	322	515	714	1 017	1 190	3,80
	0,14	49,4	65,9	82,4	131,8	183	260	305	215	287	359	574	798	1 136	1 329	4,36
M27	0,10	66,4	91,2	114,0	182,4	252	359	420	248	331	414	662	915	1 304	1 526	3,63
	0,12	66,7	89,0	111,2	178,0	246	351	410	284	379	474	759	1 050	1 496	1 750	4,26
	0,14	65,0	86,7	106,3	173,3	240	342	400	318	424	530	848	1 176	1 674	1 959	4,89
M30	0,10	83,2	111,0	138,7	222,0	307	437	511	338	450	563	901	1 246	1 775	2 077	4,06
	0,12	81,2	108,3	135,3	216,5	300	427	499	386	515	644	1 031	1 420	2 033	2 380	4,76
	0,14	79,0	105,3	131,7	210,8	292	416	487	431	575	719	1 151	1 597	2 274	2 662	5,46
M33	0,10	103,5	138,0	172,5	276,0	381	543	635	456	608	760	1 216	1 679	2 392	2 799	4,41

Abbildung 22 Tabelle Schraubenvorspannkraft

Ich werde eine M6 8.8 Schraube verwenden. Diese weist eine maximale Vorspannkraft von 10'200 N auf, wenn man die Schraube mit 10.1 Nm Drehmoment anzieht (Abbildung 22). Damit habe ich eine grosse Sicherheit, dass die Halterung auch bei höheren Kräften in der Z-Achse standhält.

Nun gilt es, alle Komponenten in die Konstruktion einfließen zu lassen. Zuerst habe ich die wichtigsten Einkaufsteile auf mein CAD geladen und die ganze Infrastruktur zurechtgelegt. Für mich fängt nun der spannendste Teil des Projektes an. Ein wenig nervös und mit 1000 Ideen habe ich mit der Konstruktion gestartet.

Begonnen habe ich mit dem Befestigen der Frässpindel. Dazu habe ich einen Klemmhalter konstruiert nach den Vorgaben der Berechnungen. Daraus ergab sich die Breite der Z-Achse.

Danach habe ich die Platte konstruiert, auf welche die Frässpindel und der Schrittmotor befestigt werden. Weiter ging es mit den Führungen, der Kugelumlaufspindel und den Fest- und Loslager. Als ich dann auch die Verbindungsplatte (mit der Y-Achse) eingefügt hatte, nahm die Fräsmaschine schon richtig Form an.

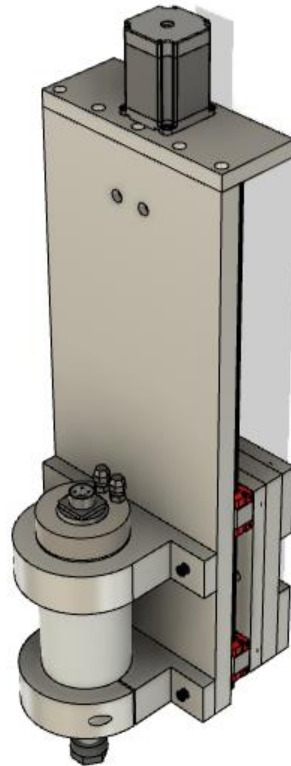


Abbildung 23 Konstruktion Z-Achse

Für die Spindelhalterung habe ich noch Schrauben hinzugefügt. Bei der weiteren Konstruktion werde ich die Schrauben weglassen, da es zu viel Zeit kostet alle Schrauben einzufügen.

Technische Daten der Z-Achse

Grösse: Höhe: 688 mm
 Breite: 200 mm
 Tiefe: 214 mm

Max. Verfahrweg: 283 mm

Komponenten: 2 x Halter_Frässpindel
 Platte_Z-Achse
 Frässpindel 2.2 kW
 Halter_Schrittmotor_Z-Achse
 Schrittmotor_SECM268-E2.3-A
 Kupplung
 Festlager_FK6
 Halter_Festlager
 Loslager_BF10
 Kugelumlaufspindel-Länge 504 mm
 Kugelspindelmutter
 Halter_KGS-Mutter
 2 x Linearschienen-Länge 520 mm
 4 x Wagen BM15_K
 2 x Kreuzhalterung_Z+Y-Achse
 Kreuzhalterung_Grundplatte

Gesamtgewicht: 21.85 kg
 Das Gesamtgewicht ist eine Annäherung des CAD. Bei gewissen
 Komponenten konnte ich das genaue Gewicht nicht ermitteln.

Konstruktion Y-Achse

Bei der Y-Achse (Abbildung 24) habe ich mich für eine Querplatte entschieden, die von zwei weiteren Platten gestützt wird. Beim Loslager habe ich mich schliesslich für ein anderes Modell entschieden, da sich dieses besser in die Konstruktion einfügt und keinen Platz im Verfahrensweg wegnimmt.

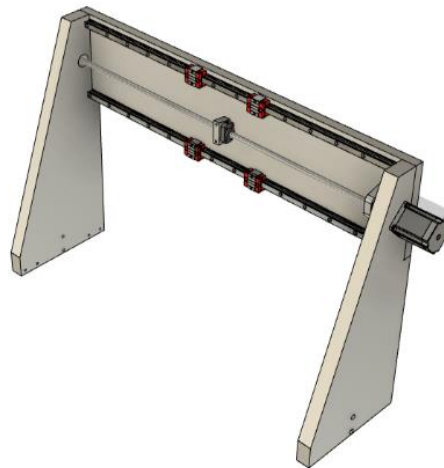


Abbildung 24 Konstruktion Y-Achse

Um die Breite der Stützen zu wählen, habe ich den Massenmittelpunkt dem CAD entnommen (Abbildung 25). Der Punkt hilft mir, das Gewicht des Aufbaus gleichmässig auf die Wagen der X-Achse zu verteilen.

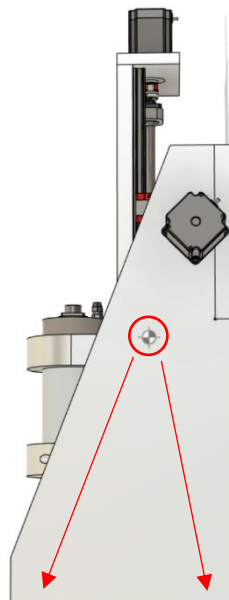


Abbildung 25 Massenmittelpunkt Z- und Y-Achse

Technische Daten der Y-Achse

Grösse: Höhe: 560 mm
 Breite: 936 mm
 Tiefe: 250 mm

Max. Verfahrweg: 590 mm

Komponenten: Platte_Y-Achse
 Stütze_Y-Achse_Loslager
 Stütze_Y-Achse_Festlager
 2 x Linearschienen-Länge 795 mm
 4 x Wagen BM15_K
 Festlager_FK6
 Halter_Festlager
 Loslager_FF10
 Kugelumlaufspindel-Länge 834 mm
 Kugelspindelmutter
 Halter_KGS-Mutter
 Schrittmotor_SECM268-E2.3-A
 Kupplung

Gesamtgewicht: 17.16 kg
Das Gesamtgewicht ist eine Annäherung des CAD. Bei gewissen Komponenten konnte ich das genaue Gewicht nicht ermitteln.

Konstruktion X-Achse

An den Stützen habe ich zuerst Befestigungsklötze angebracht und danach die Wagen der Linearachsen angefügt. Bei den Wagen habe ich mich für ein anderes Modell entschieden. Diese Wagen kann man von unten mit den Befestigungsklötzen verschrauben. Diese Kombination gab mir die Grösse der Tischbreite vor. Als nun auch die Motoren und die Spindeln gesetzt waren, stand die Konstruktion der X-Achse (Abbildung 26).

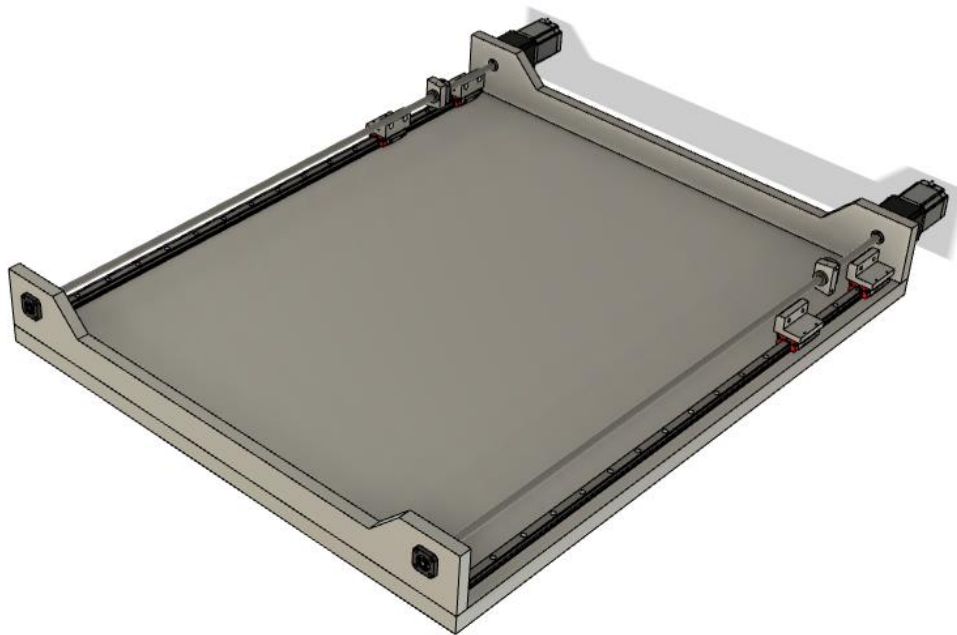


Abbildung 26 Konstruktion X-Achse

Technische Daten der X-Achse

Grösse: Höhe: 130 mm
 Breite: 870 mm
 Tiefe: 1172.5 mm

Max. Verfahrweg: 740 mm

Komponenten: Frästisch
 Halter_Festlager_X-Achse
 Halter_Loslager_X-Achse
 4 x Befestigung_Wagen_X-Achse
 2 x Linearschienen-Länge 995 mm
 4 x Wagen BM15_A
 2 x Festlager_FK6
 2 x Loslager_FF10
 2 x Kugelumlaufspindel-Länge 1071 mm
 2 x Kugelspindelmutter
 2 x Halter_KGS-Mutter
 2 x Schrittmotor_SECM268-E2.3-A
 2 x Kupplung
 2 x Halter_Schrittmotor_X-Achse

Gesamtgewicht: 89.7 kg
Das Gesamtgewicht ist eine Annäherung des CAD. Bei gewissen Komponenten konnte ich das genaue Gewicht nicht ermitteln.

Gesamte Konstruktion

Die gesamte Fräsmaschine (Abbildung 27) ist ca. 130 kg schwer. Sie ist etwas leichter als vorgängig berechnet. In meinen Berechnungen, die ich z.B. bei der Kugelumlaufspindel gemacht habe, bin ich auf ein etwas höheres Gewicht gekommen. Somit muss ich meine Berechnungen und Auslegung nicht wiederholen.

Die Fräsmaschine ist noch nicht ganz fertig. Beim Erstellen der Konzepte kann es noch zu Anpassungen kommen. Dies betrifft z.B. den Abstand zwischen dem Maschinentisch und der Frässpindel.

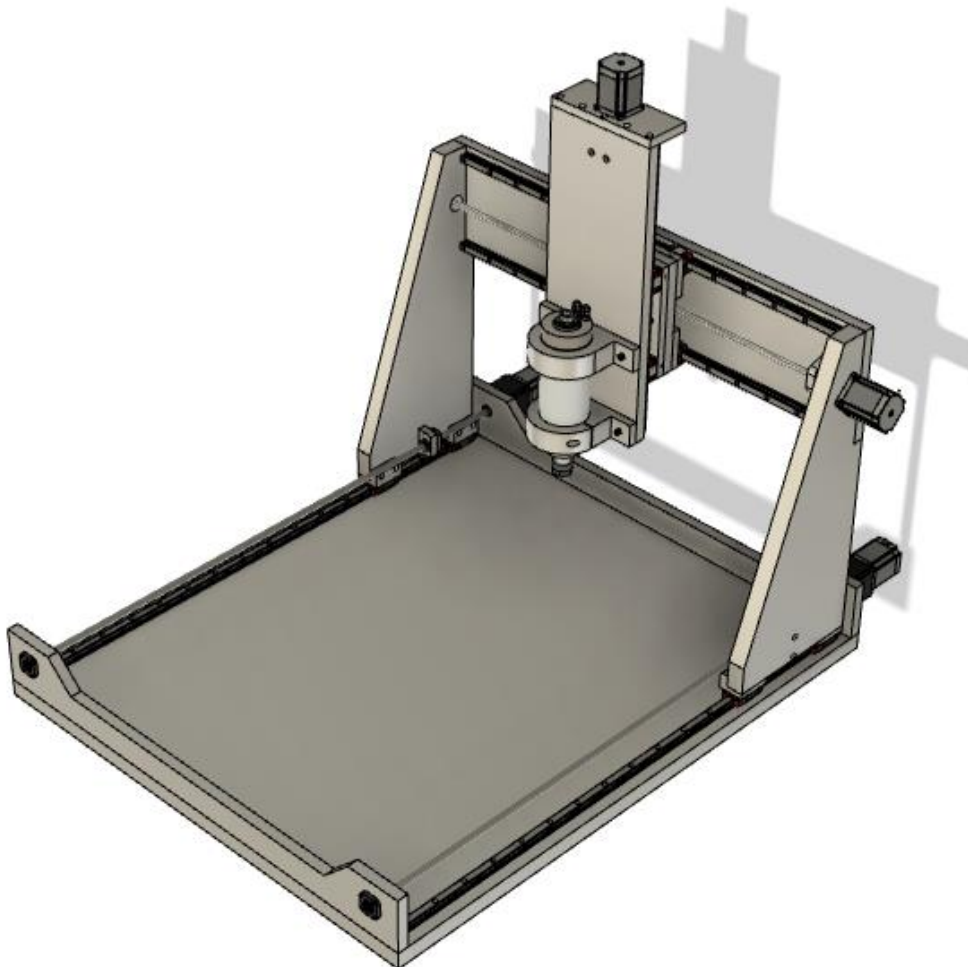


Abbildung 27 Konstruktion Fräsmaschine

Maschinenwagen

Als erstes erstelle ich ein Konzept des Wagens. Durch die Auswertung des Morphologischen Kastens soll er aus Aluminium bestehen und mobil sein. Der Wagen soll den Frästisch optimal abstützen, damit sich der Frästisch nicht durchbiegt. Er soll leicht und trotzdem stabil sein.

Im Maschinenwagen soll es Kästen geben, in denen man verschiedene Sachen verstauen kann. Das Wichtigste ist sicher die Maschinensteuerung und ein Mini Computer. Am äusseren des Wagens soll ein Bildschirm mit Maus und Tastatur Platz finden. Die Maschine wird dann direkt mit dem Computer gesteuert und man soll auch so programmieren können. Werkzeuge sollen ebenfalls im Wagen verstaut werden können, damit sie stets griffbereit sind. Ein weiterer Punkt ist die Wasserkühlung für die Frässpindel und Spannsysteme falls es mehrere gibt.

Verschiedene Formen des Aluminiums:

- Vollprofil (rund oder vierkant)
- Rohre (rund oder vierkant)
- Formprofile (rund oder vierkant)

Bei Vollprofilen und Rohren muss man selbst bohren oder schweissen. Das kostet viel Zeit und Aufwand. Deshalb habe ich mich über vorgefertigte Formprofile schlau gemacht. Schnell bin ich auf die Firma «RK Rose+Krieger – A Phoenix Mecano Company» gestossen. Sie bieten solche Formprofile mit Verbindungsvarianten an. Die kann man auf die gewünschte Länge zugeschnitten bestellen und wie ein Baukasten mit Winkeln oder Flanschleisten zusammenschrauben. Sie bieten auch viel Zubehör zu den Profilen an.

Profiltechnik

Konstruktionsprofile:

Diese Profile sind auf allen sechs Seiten verschraubbar. Die Anwendung steht hier im Mittelpunkt.

Ein paar Baugrößen die für mich in Frage kommen (Abbildung 28):

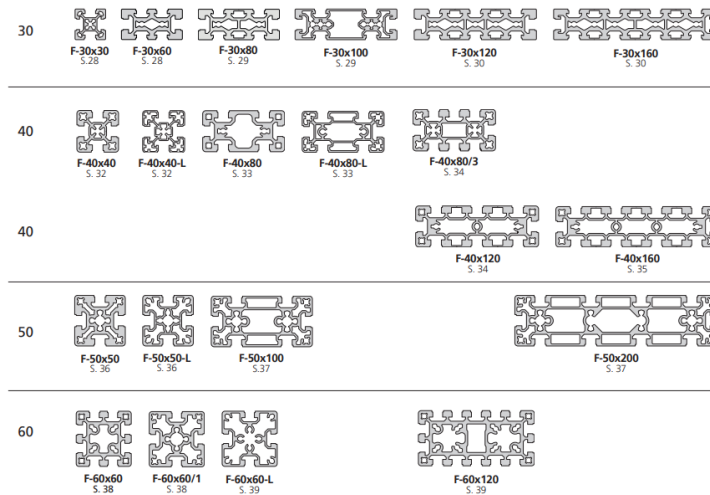


Abbildung 28 Konstruktionsprofile

Funktionsprofile:

Diese Profile sind nicht auf allen Seiten verschraubbar, da sie Sichtflächen haben, die kein Profil besitzen. Sie sind für Anwendungen gedacht, bei denen das Design eine Rolle spielt.

Ein paar Baugrößen die für mich in Frage kommen (Abbildung 29):

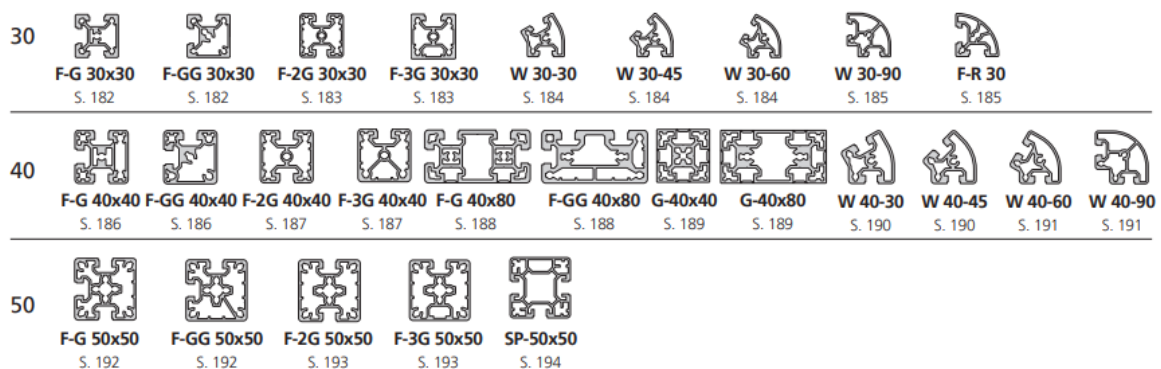


Abbildung 29 Funktionsprofile

Zubehör

Da mein Wagen über mehrere Funktionen verfügt, habe ich schon mal einige Zubehörteile rausgesucht, die ich benötige, um den Wagen zusammenzustellen.

Verschraubung:

Mit diesen Verbindern (Abbildung 30 und 31) kann man die Profile miteinander verschrauben.



Abbildung 30
Flanschleistenverbindung



Abbildung 31
Kompatibilitätsverbinder

Abdeckkappen:

Mit diesen Kappen (Abbildung 32) kann man die Enden der Profile abdecken damit es optisch schöner aussieht. Man bekommt sie in mehreren Farben und für jedes Profil.



Abbildung 32 Abdeckkappe

Rollen:

Diese Rollen (Abbildung 33) kann man unten am Profil befestigen. Für meine Konstruktion benötige ich sie, um den Wagen mobil zu machen.



Abbildung 33 Rollen

Flächenelemente:

Die Flächenelemente (Abbildung 34) braucht man um Ablageplatten, Abtrennungen, Verkleidungen und Türen zusammen zu stellen. Man bekommt sie in verschiedene Materialien wie z.B. in Acrylglas, Aluminium, Lochblech oder Wellengitter.

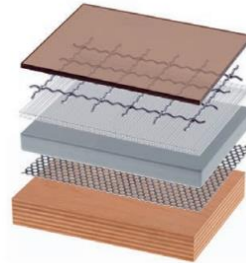


Abbildung 34
Flächenelemente

Beschläge:

Mit den Flächenelementen (Abbildung 34) und den Beschlägen kann man Türen anbringen.



Abbildung 35 Beschläge

Mein Lösungsvorschlag für den Maschinenwagen

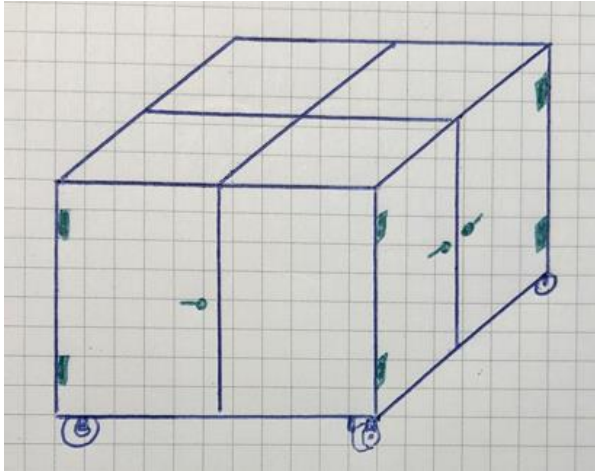


Abbildung 36 Maschinenwagen

Damit die Fräsmaschine nicht durchhängt, soll aus den Profilen gemäss Abbildung 36 ein Gitter gebaut werden. An den neun obigen Punkten soll je eine Strebe von unten nach oben führen, damit für genügend Stabilität gesorgt ist. Das Gitter soll aus Konstruktions- und Funktionsprofilen bestehen, damit die äusseren Flächen der Profile bündig sind. Es sollen vier Kästen entstehen mit je einer Tür. Mit den Profilen können bei Bedarf zusätzliche Böden eingefügt werden. Bei den Kästen, die nebeneinander angebracht sind, sollen Werkzeug und Spannmittel versorgt werden. In den hinteren sollen die Steuerung und das Kühlaggregat Platz finden. Unten sollen je zwei schwenkbare und zwei feste Räder montiert werden. Sie sollen arretierbar sein, damit sich der Wagen beim Fräsen nicht verschieben kann. An der Seite kann aus den Profilen eine Halterung für den Bildschirm und die Tastatur angebracht werden.

Maschinenhülle

Die bestehende Fräsmaschine verfügt über keine Hülle. Es macht aber aus mehreren Gründen Sinn, eine Hülle um die Maschine zu haben.

Sicherheit:

Wenn beim Fräsen ein loses Teil durch die Frässpindel rausgeschleudert wird, würde die Hülle dieses abfangen. Schon ein kleines Holzstück kann zu erheblichen Schäden, z.B. an den Augen, führen.

Eine Hülle verhindert auch, dass während dem Betrieb in den Maschinenraum gegriffen wird. Auch hier könnte es zu schweren Verletzungen kommen.

Lärm:

Beim Fräsen entsteht Lärm, der durch die Hülle gedämpft wird. Schäden am Gehör heilen meist nicht mehr vollständig und man benötigt im Laufe der Zeit ein Hörgerät. Bei der Arbeit an der Maschine sollte man also stets einen Gehörschutz tragen.

Schmutz:

Durch die Hülle verteilt sich der Holzstaub nicht in der Werkstatt und er bleibt im Maschinenraum. Den kann man nach dem Fräsen mit einem Staubsauger reinigen.

Meine Lösung für die Maschinenhülle:

Die Maschinenhülle (Abbildung 37) kann man auch mit den Komponenten, die man für den Maschinenwagen genutzt hat, zusammenzustellen. Die Scheiben sollten aus durchsichtigem Acrylglas bestehen, damit man jederzeit sieht, was im Maschinenraum passiert. Das Acrylglas kann am Maschinenwagen befestigt werden. An den Ecken und oben kann ein Rahmen aus Aluminiumprofilen angebracht werden. Es sollten zwei Türen montiert werden, damit die Zugänglichkeit zum Maschinenraum gewährleistet ist.

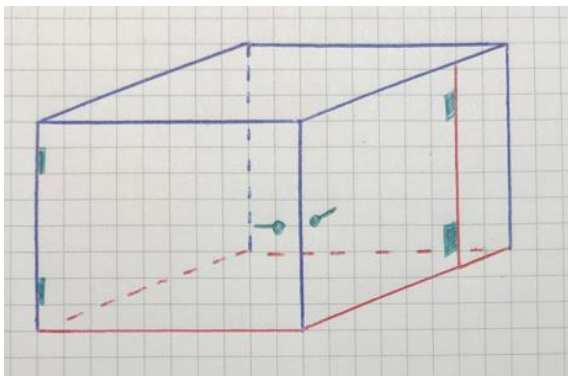


Abbildung 37 Maschinenhülle

Spannsysteme

Mein Auftraggeber hat bisher die Holzplatten auf einer T-Nuten Aluminiumplatte mit Befestigungselementen fixiert. Ich möchte ihm ein breiteres Konzept vorschlagen. Es gibt die unterschiedlichsten Spannmethoden, um Teile für die Bearbeitung zu befestigen. Beim Spannsystem gibt es aber eine Bedingung. Mein Auftraggeber hat einen selbst gebauten Winkeltisch, den er gerne übernehmen möchte.

Verschiedene Spannmethoden

T-Nutentisch



Abbildung 38 T-Nutentisch



Abbildung 39 Spannsatz

Beim T-Nutentisch (Abbildung 39) kann man mit verschiedenen Spannsätzen (Abbildung 38) Werkstücke oder andere Spannsysteme befestigen. Diese Spannsätze sind multifunktional und mit wenig Aufwand einsetzbar.

Schraubstöcke

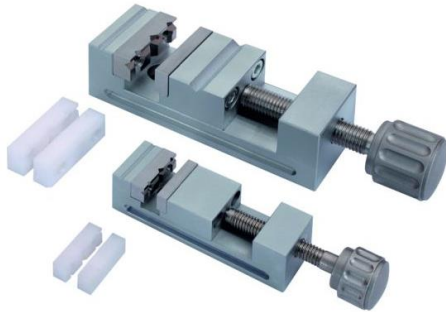


Abbildung 40 Schraubstock

Mit einem Schraubstock (Abbildung 40) können Werkstücke zwischen zwei Backen befestigt werden. Diese Schraubstöcke lassen sich auch auf Ständer-Bohrmaschinen verwenden oder auf einer T-Nutenplatte befestigen.

Vakuumplatte



Abbildung 41 Vakuumplatte

Mit einer Vakuumplatte (Abbildung 41) können Bauteile unter Vakuum fixiert werden. Dies ist aber nur für grössere Teile geeignet. Der Vorteil dabei ist, dass es möglich ist, mehrere Teile aus einer Platte herzustellen. Man darf nur die Werkstückplatte nie in der Dicke, bzw. Tiefe bis zur Vakuumplatte bearbeiten, da sonst das Vakuum unterbrochen würde und die Werkstückplatte nicht mehr fixiert wäre. Die Vakuumplatte wird mit Druckluft betrieben.

Selbst gebaute Spannsysteme

Für eine solche CNC-Maschine kann man auch eigene Spannsysteme oder Vorrichtungen entwickeln und bauen. Diese sollen befestigt werden können, wie zum Beispiel den Winkeltisch meines Auftraggebers (Abbildung 42).

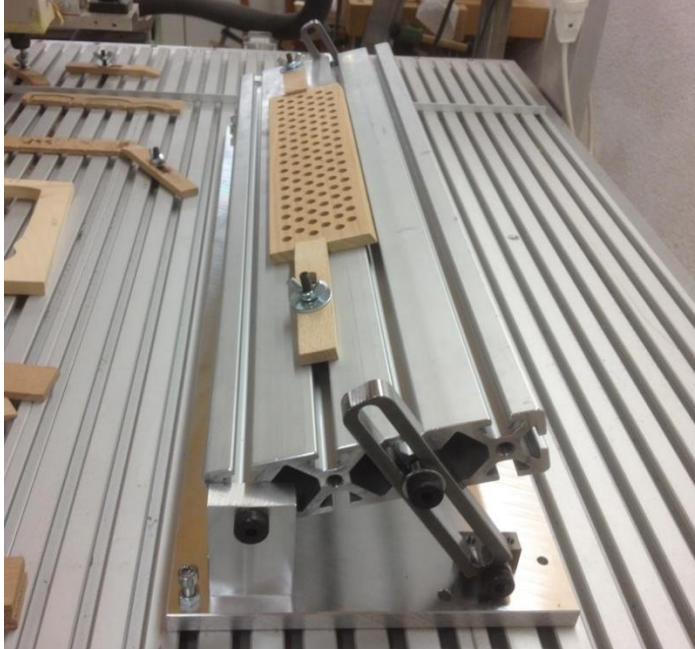


Abbildung 42 Winkeltisch

Meine Lösung für das Spannen der Werkstücke

Mein Konzept ist für alle drei Spannmethode ausgelegt. Grundsätzlich ändert sich nichts im Vergleich mit der bestehenden Fräsmaschine.

Es gibt über den ganzen Tisch eine T-Nutenplatte. Auf dieser Platte kann man dann alle gewünschten Spannmethode befestigen. Es soll auch einen Winkel auf dem T-Nutentisch geben, der ausgerichtet ist. Hier kann man Platten wiederholgenau anschlagen und befestigen.

Weitere Bauteile

Für meine Fräsmaschine brauche ich noch einige Komponente, die ich noch zusammenstellen werde.

Steuerung

Damit die Fräsmaschine funktioniert braucht man eine Hard- und Software. Dies kann man getrennt oder zusammenkaufen.

Mit der Software kann man die Maschine von Hand oder mit einem Programm Steuern. Die heutige Software können auch schon aus einer 2D Zeichnung eigene Programme erstellen. Alle Schrittmotoren, Not-Aus Schalter, Frässpindel und andere Komponente werden an die Hardware angeschlossen. Sie rechnet dann die Befehle, die von der Steuerung kommen um und sendet an die Schrittmotoren die nötigen Impulse. Sie ist die Schnittstelle zwischen der Maschine und der Steuerung.

Endschalter

Was sehr wichtig für die Maschine ist, sind die Endschalter oder Tastschalter. Sie begrenzen den Verfahrensweg so, dass die jeweiligen Achsen nicht auf andere Komponenten auffahren können. Sie werden auch als Referenzfahrten benötigt.

Erläuterung der Referenzfahrt:

Wenn man die Maschine einschaltet, weiss die Maschine nicht wo sie steht. Ausser man hat ein Wegmesssystem, das aber meist sehr teuer ist. Nun kann man mit der Maschine eine Referenzfahrt ausführen. Sie fährt dann mit jeder Achse einen für die Achse bestimmten Taster an und setzt so den Maschinennullpunkt. Desto genauer der Taster, desto genauer ist beim jeweiligen aufstarten der Maschine der Maschinennullpunkt.

Kühlaggregat

Wie in der Arbeit schon erwähnt, habe ich eine Frässpindel mit Wasserkühlung. Dies weil meinem Auftraggeber aufgefallen ist, dass die Oberfräse sehr heiss wird, wenn man viel bearbeitet. Das Aggregat pumpt gekühltes Wasser in die Frässpindel und das mit Wärme aufgenommene Wasser kommt in das Aggregat zurück und wird wieder gekühlt. Dies sorgt auch für mehr Genauigkeit, denn eine Spindel die warm wird dehnt sich aus.

Staubsauger

Ein Staubsauger soll Holzspäne und feiner Holzstaub direkt aufsaugen, um eine starke Verschmutzung auf dem Frästisch zu vermeiden. Dies sollte man so einrichten können, dass wenn die Frässpindel läuft, automatisch der Sauger einschaltet. Das Rohr soll von oben der Z-Achse Richtung Frässpindel führen und direkt auf das Werkzeug gerichtet werden. Auf der Abbildung 3 sieht man wie es bei der bestehenden Fräsmaschine gelöst wurde.

Not-Aus Schalter

Der Name verrät schon die Funktion des Schalters. Wenn etwas Unvorhergesehenes passiert, stoppt die Maschine beim Betätigen sofort die Achsen und Frässpindel. Dies ist der Fall, wenn zum Beispiel der Fräser bricht oder das Programm ein Fehler aufweist und gegen ein Spannmittel fahren wird.

Nacharbeit

Nachkonstruktion

Nach dem ich das Konzept der Spannmittel erstellt habe, habe ich eine T-Nutenplatte in die Konstruktion eingefügt. Die Dimension der Platte ist 600 mm x 800 mm und 20 mm dick.

Dies widerspiegelt in etwa den Verfahrweg der Fräsmaschine.

Nach dem Einfügen habe ich gesehen das die Frässpindel mit der Spannzangen-Mutter auf die T-Nutenplatte auffahren kann. Als Sicherheit möchte ich aber ein minimaler Abstand von 15 mm haben (Abbildung 43). Der Grund ist, es entsteht weniger Schaden wenn ein Werkzeug durchs Auffahren bricht, als wenn noch zusätzlich die Frässpindel auffährt. Diese Sicherheit ist nur gegeben, wenn man mit dem T-Nutentisch arbeitet.

Durch einen verstellbaren Sensor könnte man aber dieses Problem auch lösen.

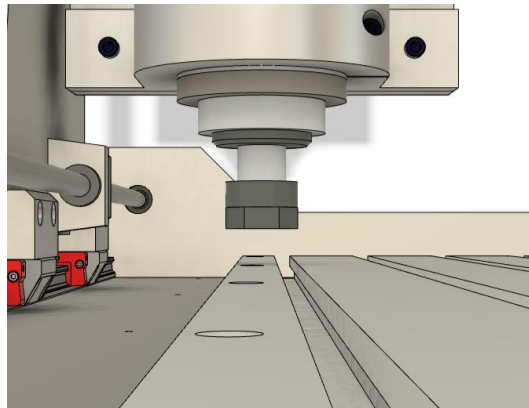


Abbildung 43 Abstand Tisch Frässpindel

Mir ist auch noch aufgefallen das die Kugelumlaufspindeln der X-Achse frei sind. Beim Bearbeiten sind sie starken Verunreinigungen ausgesetzt. Ich habe noch zwei Baugleiche Bleche konstruiert und in die Konstruktion eingefügt (Abbildung 44). Dieses Problem soll so behoben werden.

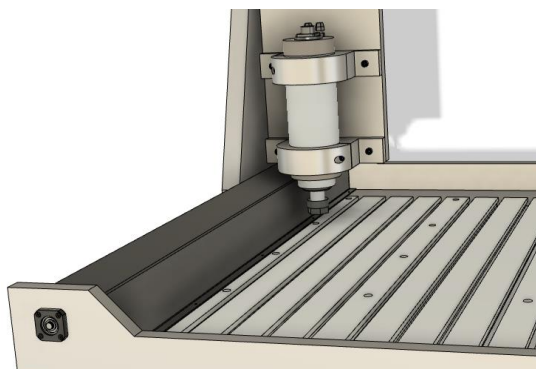


Abbildung 44 Schutzblech

Must-have

Werkzeug ausmessen:

Mein Auftraggeber hat bisher mit dem Werkzeug, das er gerade in der Frässpindel hatte, den Nullpunkt bestimmt. Wenn er aber mit mehreren Werkzeugen ein Bauteil bearbeiten möchte, musste er den Z-Nullpunkt nach jedem Umspannen neu setzen. Für dieses Problem gibt es eine Lösung.

Es gibt unzählige Werkzeuglängensensoren zu kaufen (Abbildung 45), wie z.B. den von «CNC-Step». Den kann man an die Steuerung anschliessen und die Werkzeuge ausmessen. Das passiert, indem man mit dem Fräser auf den Taster auffährt. Den unteren Teil kann man fix auf die Platte montieren mit Nutensteinen. Den oberen Teil, in dem der Drucksensor verbaut ist, kann man mit einem Magnet draufstecken. Wenn man fertig ist, entfernt man den Drucksensor aus dem Maschinenraum und man kann weiter fräsen.



Abbildung 45 Werkzeuglängensensor

Schlusswort

Meine Diplomarbeit hat mir viel Spass gemacht und ich konnte meine Ziele erreichen. Es war sehr viel Arbeit. Doch ich denke, es hat sich gelohnt. Ich bin zufrieden mit dem, was ich in den letzten acht Wochen geleistet habe und mit dem, was dabei entstanden ist. Die CNC-Fräsmaschine ist im CAD gezeichnet und das Konzept steht.

Mit meiner Diplomarbeit konnte ich meine Kompetenzen im Bereich CAD Zeichnen erweitern. Ich habe bereits im Vorfeld einzelne Teile gezeichnet, jedoch nie ein ganzes Konstrukt mit Verknüpfungen und Gelenken. Dies sind wertvolle Erfahrungen, die mir in der Zukunft mit Sicherheit zugutekommen werden.

Mit der Abgabe der Diplomarbeit bin ich jedoch noch nicht an meinem persönlichen Ziel angekommen. Ich werde die Maschine bauen und mein Konzept umsetzen.-Meine Arbeit wird erst dann abgeschlossen sein, wenn die optisch ansprechende und funktionstüchtige Maschine in der Werkstatt meines Auftraggebers steht und gute Dienste leistet. Auf diesen Moment freue ich mich.

Lessons learned

Die grösste Herausforderung in meiner Diplomarbeit war das Zeitmanagement. Ich habe gelernt, dass eine gute Planung im Vorfeld eine enorm wichtige Phase des Projektes ist. Eine saubere Planung erleichtert die Arbeit. Dies hätte ich strukturierter und somit effizienter angehen können.

Den Zeitaufwand für das Sammeln von Informationen habe ich ebenfalls stark unterschätzt. Die Technischen Broschüren für die einzelnen Komponenten umfassen zum Teil 200 Seiten. Es war sehr zeitaufwändig, die benötigten Informationen herauszufiltern und zusammenzutragen.

In diesen Punkten habe ich für die Zukunft aus meinen Fehlern gelernt.

Verdankung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich bei meiner Diplomarbeit unterstützt haben.

Der Schweizerischen Fachschule TEKO mit dem Standort Luzern möchte ich meinen Dank aussprechen. In den letzten drei Jahren habe ich sehr viel gelernt und ich durfte von der Erfahrung meiner Dozenten profitieren. Sie haben mich mit ihrem Fachwissen weitergebracht.

Ein grosses Dankeschön geht an unsere Klasse, die TMA-19-Mi-a. Der Zusammenhalt während der vergangenen drei Jahre war grossartig. Wir motivierten und unterstützten uns gegenseitig auch während der Diplomarbeit.

Ein besonderer Dank geht an meinen Dozenten, Herrn Andreas Lind. Er hat mir mit seinen Inputs oft weitergeholfen und mich unterstützt.

Danke auch an Herrn Samuel Dürst. Er hat mir ein sehr hilfreiches Dossier zur Berechnung des Drehmomentes zur Verfügung gestellt.

Danke schliesslich an Frau Cécile Betschart. Sie hat meine Arbeit durchgesehen und ihr Augenmerk auf die Orthographie gelegt.

Anhang

Literaturverzeichnis

- «Rechenbuch Metall» von Europa Lehrmittel 30. Auflage
- «Formeln und Tabellen zur Technischen Mechanik» von Alfred Böge
- Dossier TEKO «Konstruktionselemente»
- Dossier TEKO «Methodische Konstruktionslehre»
- Dossier Universität Stuttgart «Mechanische Auslegung von Vorschubgetrieben»
- «Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme 2» von Christian Brecher und Manfred Weck

Quellenverzeichnis

Alle Tabellen und technische Daten habe ich auf den Webseiten der Hersteller gefunden. Da die Kataloge oder PDF-Dateien zum Teil sehr gross sind, werde ich sie nicht im Anhang hinzufügen. Sie können aber leicht auf den jeweiligen Seiten gefunden werden.

Schrittmotoren:

<https://ec-motoren.ch/>

Kugelumlaufspindel:

<https://www.neff-gewindetriebe.de/>

Profilschienen:

<https://www.schneeberger.com/de/ch/>

Kupplung:

<https://www.bahr-modultechnik.de/>

Haftreibung Berechnung:

<https://www.schweizer-fn.de/stoff/reibwerte/reibwerte.php>

Frässpindel:

<https://www.ebay.de/itm/2-2kw-Wasserkuhlung-Spindelmotor-Mill-Grind-ER20-Spindel-Motor-Water>

Profiltechnik:

<https://www.rk-rose-krieger.com/deutsch/produkte/profiltechnik/>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Schwyzerörgeli	9
Abbildung 2 IPERKA	11
Abbildung 3 Oberfräse.....	12
Abbildung 4 Befestigung Loslager	13
Abbildung 5 Befestigung Schrittmotor.....	13
Abbildung 6 Tischbauweise	28
Abbildung 7 Logo "EC Motion"	29
Abbildung 8 Kugelgewindespindel.....	29
Abbildung 9 Logo "NEFF"	29
Abbildung 10 Profilschienenführung	30
Abbildung 11 Logo "Schneeberger"	30
Abbildung 12 Kupplung	30
Abbildung 13 Frässpindel.....	31
Abbildung 14 Funktion Wälzkörper.....	32
Abbildung 15 Vorspannung	32
Abbildung 16 Frässpindel Marke "Vevor".....	36
Abbildung 17 Kräfte der Maschine.....	37
Abbildung 18 Tabelle Kugelgewindespindel	40
Abbildung 19 Tabelle Wagen der Linearführung.....	42
Abbildung 20 Schrittmotor	43
Abbildung 21 Drehmoment Schrittmotor.....	43
Abbildung 22 Tabelle Schraubenvorspannkraft	50
Abbildung 23 Konstruktion Z-Achse.....	51
Abbildung 24 Konstruktion Y-Achse	53
Abbildung 25 Massenmittelpunkt Z- und Y-Achse	53
Abbildung 26 Konstruktion X-Achse	55
Abbildung 27 Konstruktion Fräsmaschine.....	57
Abbildung 28 Konstruktionsprofile	59
Abbildung 29 Funktionsprofile	59
Abbildung 30 Flanschleistenverbindung	60
Abbildung 31 Kompatibilitätsverbinder.....	60
Abbildung 32 Abdeckkappe	60
Abbildung 33 Rollen	60
Abbildung 34 Flächenelemente	61
Abbildung 35 Beschläge.....	61
Abbildung 36 Maschinenwagen.....	62
Abbildung 37 Maschinenhülle.....	63
Abbildung 38 T-Nutentisch	64
Abbildung 39 Spannsatz.....	64
Abbildung 40 Schraubstock.....	65
Abbildung 41 Vakuumplatte.....	65
Abbildung 42 Winkeltisch	66
Abbildung 43 Abstand Tisch Frässpindel.....	69
Abbildung 44 Schutzblech	69
Abbildung 45 Werkzeuglängensensor	70

Zeichnungen

