

Inhaltsverzeichnis

1	Danksagung.....	2
2	Spätere Verwendung.....	3
3	Grundsätzliche Überlegungen.....	3
4	Ausführung der Mechanik und der Frässpindel.....	4
	4.1.1 Werkzeugwechsel.....	4
	4.1.2 Antrieb für den Vorschub.....	4
5	Mechanik.....	5
	5.1 Antriebsspindeln.....	5
	5.2 Lagerung der Kugelumlaufspindeln.....	5
	5.3 Berechnungen.....	6
	5.3.1 Auflösung des Vorschubs.....	6
	5.3.2 Vorschubkraft.....	6
6	Elektronik.....	7
	6.1 Beschreibung.....	7
	6.2 Problem mit Einschaltströmen und Lösung.....	7
7	Steuerung.....	8
	7.1 Controller.....	8
	7.1.1 G-Code.....	8
	7.1.2 Smoothieboard.....	9
	7.2 Frequenzumrichter.....	9
	7.3 Treiber.....	9
	7.4 Microstepping.....	9
8	Bau der Maschine.....	10
	8.1 Planung.....	10
	8.2 Fertigung.....	10
	8.3 Zusammenbau.....	11
9	Teileliste.....	13
10	Abschluss.....	14
	10.1 Fazit.....	14
	10.2 Ausblick.....	14
11	Anhang.....	15
	11.1 Anwesenheitsnachweis.....	15
	11.2 Technische Zeichnungen.....	16
	11.3 Verdrahtungsschema.....	17
	11.4 Ausschnitt der Smoothieboard-Konfiguration.....	18
	11.5 Beispielcode.....	20
12	Quellenangaben.....	21
	12.1 Eidesstattliche Erklärung.....	21
	12.2 Literaturquellen.....	21
	12.3 Internetquellen.....	21
	12.4 Bildquellen.....	21

1 Danksagung

Ich möchte mich bei allen Personen bedanken, die mich bei der Umsetzung meines Projekts unterstützt haben.

Ein besonderer Dank gilt meinen Kollegen vom Reaktor23, die mir die erforderlichen Elektronikkomponenten und Profilschienenführungen zur Verfügung gestellt haben.

Ebenfalls möchte ich mich bei meinem Vater bedanken, der das Untergestell aus Holz gebaut und mich bei der Konstruktion beraten hat.

Außerdem möchte ich mich bei meinen Lehrern Frau Therkorn und Herrn Emmerich bedanken, die mich im Theorieunterricht vorbereitet und mir in der Werkstatt bei der Fertigung und Montage geholfen haben.

Bedanken möchte ich mich auch bei meinen Sponsoren HIWIN, SKF, Kabelschlepp, Ilme und Blickle für die Komponenten, die mir die Umsetzung meines Projekts ermöglicht haben.

2 Spätere Verwendung

Seit etwa vier Jahren bin ich ein Mitglied des Hackerspace Reaktor23 in Tiengen. Dort treffen sich regelmäßig jeden Dienstagabend technisch interessierte Leute. Dort haben sie die Möglichkeit, sich auszutauschen und sich gegenseitig bei Problemen zu helfen.

Außerdem stehen dort Werkzeuge und Maschinen zur Verfügung, mit denen einfache Reparaturen durchgeführt werden können. Um Ersatzteile zu fertigen und auch Gehäuse für selbst gebaute Geräte herzustellen, bestand schon lange der Wunsch, eine CNC-Fräse zu bauen. Als Seminarkursarbeit habe ich mir vorgenommen, die teilweise schon gekauften Komponenten zu verwenden und eine solche Maschine zu bauen, um sie dort aufzustellen.



3 Grundsätzliche Überlegungen

Zunächst habe ich mir überlegt, welche Ziele erreicht werden sollen und habe mir diese als Anforderungen für die Planung festgelegt. Folgende Kriterien waren mir wichtig:

- Modularität des Werkzeugkopfs (Austauschen der Frässpindel gegen Kunststoffextruder)
- relativ einfache Mechanik (keine Getriebe oder Riemen)
- Gewicht maximal 150kg
- zu bearbeitende Werkstoffe: Kunststoff, Holz, (Aluminium)
- hohe Genauigkeit (kein Umkehrspiel, unter einem Zehntelmillimeter)
- Größe maximal 1m² (muss durch eine Tür passen, soll auf einer Palette transportiert werden können)
- Möglichst gutes Verhältnis zwischen Aufstell- und Bearbeitungsfläche

4 Ausführung der Mechanik und der Frässpindel

Da die Fräse vorwiegend zum Konturfräsen von Holz- und Kunststoffplatten dienen soll, ist die Bearbeitungsfläche ein wichtiges Kriterium. Nach einiger Suche im Internet stellte sich heraus, dass CNC-Fräsen für den Hobbybereich oft als Portalfräsen ausgeführt werden, da sie bei einer gegebenen Aufstellfläche eine große Bearbeitungsfläche besitzen.

Kritikpunkte an Fräsen für den Hobbybereich sind oft eine zu schwache Frässpindel, Umkehrspiel in der Vorschubeinrichtung und ein zu geringer Verfahrweg in der Z-Achse.

Als Fräsmotor werden dabei oft Multifunktionswerkzeuge der Hersteller Dremel oder Proxxon oder Oberfräsen verwendet. Diese sind jedoch nicht für den Dauerbetrieb ausgelegt, haben nur eine geringe Leistung und die Lagerung ist nicht für die später auftretenden Kräfte in meiner Maschine dimensioniert.

Bessere Maschinen verwenden beispielsweise Fräsmotoren der Firma Kress. Diese sind allerdings sehr laut und die Drehzahl kann nicht durch die Steuerung beeinflusst werden.

Ich habe mich für eine Hochfrequenzspindel mit einer Leistung von 2,2kW entschieden. Sie ist für den Betrieb in einer solchen Maschine ausgelegt, bietet ausreichend Leistung und ist durch die Wasserkühlung sehr leise. Die Spindel kann dazu einfach über eine RS485-Schnittstelle von der Steuerung angeschaltet und auf die gewünschte Drehzahl gebracht werden. Da sie keine Bürsten besitzt, ist sie außerdem wartungsfrei.



Frässpindel (estlcam.de)

4.1.1 Werkzeugwechsel

Um in unserem Hackerspace den Platz bestmöglich auszunutzen, sollte der Kopf der Maschine einfach austauschbar sein. Somit ist es später möglich, weitere Werkzeuge wie Kunststoffextruder für den 3-D-Druck, Schleppmesser zum Ausschneiden von Schablonen, oder Laser zur Holzgravur statt der Frässpindel einzuspannen. Hierfür ist die Platte am unteren Ende der Z-Achse gedacht, an der das gewünschte Werkzeug mit 2 Passstiften und 4 Klemmhebelschrauben schnell angebracht werden kann. Die benötigten Anschlüsse werden an der oberen Platte befestigt und mit Schnellverschlüssen am gewünschten Werkzeug angeschlossen.

4.1.2 Antrieb für den Vorschub

Für den Antrieb der Kugelgewindetriebe sind drei Schrittmotoren der Baugröße NEMA 34 vorgesehen, die über ein Haltemoment von 12Nm¹ verfügen. Diese werden mit 60V-Netzteilen versorgt und über Treiber gesteuert. Pro Schritt dreht sich der Motor um 1,8°. Durch „Microstepping“ können auch Zwischenschritte angefahren werden, in meinem Fall ist der Sechzehntelschritt-Betrieb eingestellt. So ist eine sehr präzise Steuerung der Achsen möglich.

1 Wantmotor: Datenblatt Schrittmotor, <http://www.wantmotor.com/product/85bygh.html>, [26.05.17].

5 Mechanik

5.1 Antriebsspindeln

Zunächst waren als Antriebsspindeln Gleitlagergewindespindeln des Herstellers Igus geplant. Da diese jedoch zuviel Umkehrspiel aufweisen und nicht die geforderten Kräfte aufnehmen können, entschied ich mich für Kugelgewindetriebe (Kugelgewindespindeln), die mir vom Hersteller Hiwin gesponsert wurden. Diese sind zunächst wie eine Gewindestange aufgebaut, bei der zwischen Gewinde und Mutter Kugeln eingeführt wurden. Durch die Größe der Kugeln kann eine Vorspannung eingestellt werden, die das Umkehrspiel der Spindeln auf wenige Mikrometer begrenzen bzw. ganz beseitigen. Die Steigung der Spindeln beträgt 5mm. Die Toleranzklasse T5 der Spindel garantiert einen Fehler von weniger als 0,023mm bei einer Länge von 300mm.²



5.2 Lagerung der Kugelumlaufspindeln

Aufgrund der unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Gestells und der Gewindespindel wurde eine Fest-Los-Lagerung³ gewählt. Dabei wird eine Seite mit zwei gegeneinander verspannten Schulterlagern gelagert, die sowohl axiale, als auch radiale Kräfte aufnehmen können. Um die thermische Ausdehnung der Komponenten zu ermöglichen, ohne Verspannungen zu erzeugen, ist das Lager auf der Losseite in axialer Richtung verschiebbar, nimmt also nur radiale Kräfte auf. Hierfür werden Rillenkugellager des Typs 6200, für das Festlager jeweils 2 Schulterlager des Typs 7200 verwendet, die vom Hersteller SKF gesponsert wurden.



-
- 2 HIWIN: Datenblatt Kugelgewindetrieb, <http://www.hiwin.de/de/Produkte.html&downloadLink=share/public/Downloads/Kataloge/Kugelgewindetriebe/BS-08-2-DE-1704-K.pdf> [26.05.17].
 - 3 SKF: Lagerarten, <http://www.skf.com/de/products/bearings-units-housings/ball-bearings/principles/design-considerations/bearing-arrangements/locating-non-locating-arrangements/index.html> [26.05.17].

5.3 Berechnungen

5.3.1 Auflösung des Vorschubs

- 5mm Steigung = 5mm pro Umdrehung
- 1,2° pro Vollschrift = 300 Schritte pro Umdrehung
- 16-tel Microstepping = 16 Takte pro Schritt

Berechnung:

$$\frac{\text{Schritte pro Umdrehung} \cdot \text{Takte pro Schritt}}{\text{Gewindesteigung}} = \text{Vorschub pro Takt}$$

$$\frac{300 \cdot 16}{5\text{mm}} \approx 0,00104 \text{ mm}$$

Die Auflösung beträgt etwa 1µm.

5.3.2 Vorschubkraft

- Maximales Drehmoment des Motors: 11,2 Nm
- Gewindesteigung: 5mm
- Zulässige Axialkraft der Spindeln: 30kN (d=16mm, P=5mm, l=1000)

Berechnung⁴:

$$M = \frac{F \cdot d}{2} \quad \text{Drehmoment an der Spindel}$$

$$F_{\text{Vorschub}} \cdot P = M \cdot 2 \cdot \pi \quad \text{Arbeit für eine Umdrehung}$$

$$F_{\text{Vorschub}} = \frac{M \cdot 2 \cdot \pi}{P} \quad \text{Umgestellt auf Vorschubkraft}$$

$$F_{\text{Vorschub}} = \frac{11,2 \text{ Nm} \cdot 2 \cdot \pi}{0,005\text{m}} = 14,2 \text{ kN} \quad \text{Vorschubkraft}$$

Die Vorschubkraft liegt unter der maximal zulässigen Kraft des Kugelgewindetriebs⁵.

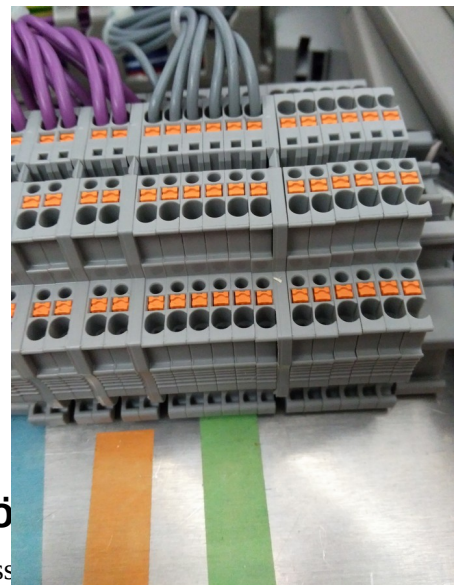
4 Gomeringer et al.: Tabellenbuch Metall, 46. Auflage, Europa Lehrmittel Verlag, 2014.

5 HIWIN: Datenblatt Kugelgewindetrieb, <http://www.hiwin.de/de/Produkte.html&downloadLink=share/public/Downloads/Kataloge/Kugelgewindetriebe/BS-08-2-DE-1704-K.pdf> [26.05.17].

6 Elektronik

6.1 Beschreibung

Mit dem Hauptschalter wird das Netzteil für die Steuerung angeschaltet und das Smoothieboard startet. Ist der Notauskreis geschlossen, also nicht betätigt, zieht außerdem ein Schütz an, der die Netzteile für die Schrittmotoren anschaltet. Aufgrund der Verhinderung zu hoher Einschaltströme wird nun ein als Einschaltverzögerung konfiguriertes Multifunktionsrelais gesteuert, das nach etwa einer Sekunde ein Lastrelais betätigt, das den Frequenzumrichter einschaltet. Im Betrieb sendet das über Ethernet mit dem eigenen Laptop verbundene Smoothieboard Taktsignale an die Schrittmotortreiber. Außerdem ist der Frequenzumrichter für die Frässpindel mit einer RS485-Verbindung mit dem Smoothieboard verbunden und nimmt Befehle entgegen. Da die Steckdosen lediglich für eine Lampe oder einen Computer gedacht sind, werden sie nicht über den Schütz des Notauskreises geschaltet.



6.2 Problem mit Einschaltströmen und Lösung

Beim Test der Steuerung kam es mehrfach zum Auslösen des Leitungsschutzschalters. Durch das einzelne Anschalten der Netzteile und dem Frequenzumrichters konnte dieses Problem umgangen werden, was auf zu hohe Einschaltströme deutete. Um das Problem zu beheben, wurde eine Zeitverzögerung für den Frequenzumrichter vorgesehen. Um das teure Zeitrelais vor den Einschaltströmen zu schützen, wurde ein günstigeres Lastrelais nachgeschaltet, das, sollte es zu einem Versagen der Kontakte kommen, ausgetauscht werden kann.

7 Steuerung

7.1 Controller

7.1.1 G-Code

Die Steuerung der CNC-Fräse erfolgt durch das Ausführen von G-Code ⁶. Ein Programm besteht dabei aus verschiedenen Befehlen und Parametern. Die wichtigsten Befehle sind:

G0 – Verfahren im Eilgang

G1 – Verfahren mit langsamerem Vorschub

M3 – Spindel im Uhrzeigersinn anschalten

M5 – Spindel ausschalten.

Weitere Befehle ermöglichen das Abfahren von Kreisbahnen (G2/G3) oder das Fahren in die Parkposition.

Dazu gibt es weitere Parameter wie F zur Angabe einer bestimmten Vorschubgeschwindigkeit und S zur Festlegung der Solldrehzahl der Frässpindel. Mit den Parametern X, Y und Z wird der gewünschte Verfahrensweg angegeben.

Außerdem ist es möglich, die Zeilen mit einem N zu nummerieren. Dabei ist es üblich, in Zehnerschritten zu zählen, um ein späteres Einfügen von Zeilen zu vereinfachen:

N0010

N0020

N0030

Kommentare werden mit einem Semikolon gekennzeichnet und von der Steuerung nicht ausgeführt:

G0 Z100 ; Im Eilgang auf Sicherheitsabstand 100mm fahren.

Ein Beispielprogramm findet sich im Anhang.

⁶ Wolf, Arthur: Supported G-Codes, [http://smoothieware.org/supported-g-codes?s\[\]=gcode](http://smoothieware.org/supported-g-codes?s[]=gcode) [28.02.17].

7.1.2 Smoothieboard

Die Steuerung übernimmt ein Smoothieboard v1, einer open-source CNC-Steuerung auf Basis eines Cortex M3 32-Bit Mikrocontrollers, der mit 120MHz getaktet wird. Das Board arbeitet im Betrieb als G-Code-Interpreter. Dabei bekommt die Steuerung eine G-Code-Datei über USB oder Netzwerk und führt die Befehle aus. Die Steuerung der Schrittmotoren erfolgt durch Richtungs- und Schritimpulse. Soll die X-Achse beispielsweise um fünf Millimeter negativ verfahren werden, wird zunächst der Richtungsausgang gesetzt, damit der Schrittmotortreiber den Motor in die richtige Richtung dreht. Anschließend folgen 4800 (300 Schritte pro Umdrehung * 16 Takte pro Schritt) Takte auf dem Taktausgang. Hierbei ist die Frequenz proportional zur Vorschubgeschwindigkeit. Die Steuerung der Frässpindel erfolgt über eine RS485-Schnittstelle. Softwareseitig wird das Spindelmodul geladen, das die G-Code Befehle interpretiert und die entsprechenden Kommandos an den Frequenzumrichter weitergibt.

7.2 Frequenzumrichter

Beim Frequenzumrichter handelt es sich um einen 1-phasigen 2,2kW-Frequenzumrichter des Herstellers Huanyang. Dieser stellt aus dem 1-phasigen Wechselstrom einen 3-phasigen Drehstrom mit variabler, zur Drehzahl der Frässpindel proportionalen Frequenz her. Dazu wird der Wechselstrom zunächst gleichgerichtet, mithilfe eines Kondensators geglättet und anschließend zu Drehstrom umgerichtet. Anschließend wird die Frequenz gemessen und mit dem Sollwert verglichen. Am Bedienteil des Frequenzumrichters können Parameter wie maximale und minimale Frequenz, P-, I- und D-Werte der Regelung oder Maximalstrom definiert werden. Beim Erreichen des Maximalstroms wird die Spindel heruntergefahren und ein Meldekontakt geöffnet, der die Maschine anhält. Das Abbremsen der Spindel erfolgt über die eingebauten Bremswiderstände.

7.3 Treiber

Ähnlich wie Drehstrommotoren benötigen Schrittmotoren ein Drehfeld, um die Welle zu drehen. Zur Erzeugung des Drehfeldes wird ein Schrittmotortreiber, der über Takt- und Richtungsimpulse gesteuert wird verwendet. Außerdem ist eine Strombegrenzung eingebaut, die den Strom durch die Wicklungen begrenzt.

7.4 Microstepping

Bei den Treibern handelt es sich um so genannte Microstepping-Treiber. Das bedeutet, dass nicht bei jedem Takt ein Vollschrift ausgeführt wird, sondern dass es Zwischenschritte gibt. Somit ändert sich das Feld nicht ruckartig, da es über mehrere Takte langsam zum nächsten Schritt übergeht. Dadurch ergeben sich folgende Vorteile:

- Durch die Zwischenschritte können zwischen den Schritten Teilschritte angefahren werden. Daraus ergibt sich eine höhere Auflösung.
- Da der Übergang nicht schlagartig erfolgt, ist ein „Verlieren“ von Schritten (undefiniertes Springen in eine andere Position) unwahrscheinlicher.
- Durch die weichere Bewegung ist der Motor vor allem beim Beschleunigen und im unteren Drehzahlbereich leiser.

8 Bau der Maschine

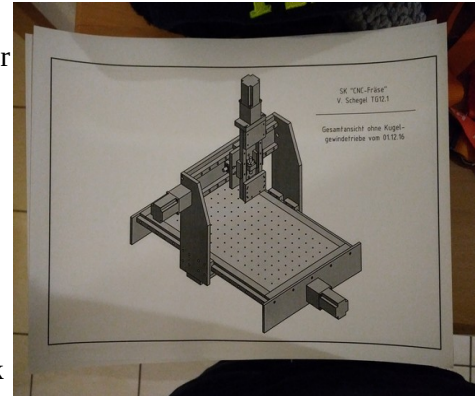
Der Bau der Maschine erfolgte in drei Schritten. Die Planung erfolgte in den Ferien und während der ersten Wochen der Projektarbeit. Hier wurde auch die Zeiteinteilung im Ganttplan festgelegt. Da die Konstruktion früh fertiggestellt wurde, konnte auch die Fertigung direkt beginnen. Im letzten Schritt wurden die Teile miteinander verbunden und zueinander ausgerichtet.

8.1 Planung

Die Planung erfolgte mit Hilfe der CAD-Software Autodesk Inventor. Alle Komponenten wurden damit gezeichnet und es wurden detaillierte Zeichnungen anfertigt. Anschließend wurden die Komponenten im 3D-Modell zusammengebaut und überprüft, ob Kollisionen auftreten. An den betroffenen Stellen konnte das Modell optimiert werden. Um den Zusammenbau zu erleichtern, wurden in diesem Schritt zum Beispiel Nuten eingeplant, um die Teile mit einem eingesetzten Verbinder auszurichten.

8.2 Fertigung

Die Teile wurden überwiegend aus Aluminiumflachmaterial hergestellt. Dazu zählen beispielsweise die Vierkantstäbe für das Untergestell und die Platten für das Portal. Diese Komponenten wurden auf einer manuellen Fräse auf Länge gefräst. Anschließend wurden mit einem Kantentaster die Außenkanten aufgenommen und das Lochbild auf der Fräse gebohrt. Für Teile mit komplizierteren Lochbildern und präzise zu fertigenden Passungen und Verstiftungen wurden Programme im Heidenhain Klartext-Format geschrieben und mit Hilfe der CNC-Fräse gefertigt. Beim Verbinder der X- und Z-Achse wurde beispielsweise mit dem 3D-Taster der Werkstücknullpunkt aufgenommen und das Lochbild mit einem Anbohrer übertragen. Anschließend wurde das Teil mit der Säulenbohrmaschine gebohrt, gesenkt und die Passungen gerieben. Das Blech für den Schaltschrank wurde mit der Schlagschere zugeschnitten. Anschließend wurden mit einer elektrischen Blechschere die Ausklinkungen ausgeschnitten und das Blech gebogen. In die Rückseite wurden vier Schrauben eingeschraubt, an denen die Montageplatte mit den elektronischen Komponenten befestigt wurde.



8.3 Zusammenbau

Ab dem 17. März wurden die Teile zunächst zu einzelnen Baugruppen zusammengefügt. Als erstes wurde die Z-Achse zusammengebaut. Dafür wurde erst eine der abgelängten Profilschienen mit den Aluplatten verbunden und mit einem Winkel ausgerichtet.

Anschließend wurde die zweite Schiene lose angeschraubt und mit einer Messuhr, die mit einem Magnetstativ auf einem Schlitten der Linearführung befestigt wurde, ausgerichtet. Hierbei konnte eine Abweichung von etwa 2-3 Hundertsteln erreicht werden. Danach wurden die Halterungen für die Kugelumlaufspindel lose angeschraubt. Mit dem gleichen Prinzip wurde dann die Parallelität zwischen der Referenzschiene und einem Grenzlehrdorn, der in die Spindelhalterungen gesteckt wurde, hergestellt, wobei eine ähnliche Abweichung erreicht wurde.



Die nächste Baugruppe war das Portal, beziehungsweise die X-Achse. Um später einen Zugang zu den Schrauben, die zur Befestigung der Z-Achse dienen, zu erhalten wurde, abweichend von der Zeichnung, ein Fenster in den oberen Querverbinder des Portals gefräst.

Dann wurden die Profilschienenführungen nach dem Prinzip, das sich bei der Z-Achse bewährt hatte, ausgerichtet und verschraubt. Anschließend wurden die Seitenteile und der obere Querverbinder auf dem Anreißtisch zueinander ausgerichtet und die Ausrichtung von den Spindellagern in den Seitenteilen zu den Führungsschienen im oberen Querverbinder sichergestellt. Hier wurde ebenfalls die Messuhr in Kombination mit dem Grenzlehrdorn verwendet.



Nun konnten die Spindeln eingebaut werden. Dazu wurden zunächst die Halterungen für die Muttern aufgeschoben und verschraubt. Die Spindeln wurden dann eingesetzt und in die Lagerhalter eingeführt. Anschließend wurden die zwei Schulterlager, die als Festlager dienen, gegeneinander verspannt und die Nutmutter mit einer Madenschraube gesichert. Mit einem Kunststoffteil, das für diesen Zweck gefertigt

wurde, wurde die Lagerung in den Lagerstutz eingebracht und der Spannring aufgesetzt. Er sorgt für einen festen Sitz und richtet gleichzeitig den Motorhalter aus.

Als letztes wurde der Maschinentisch zusammengebaut, der auch die Y-Achse beinhaltet. Dazu wurden als erstes die Vierkantstäbe zueinander ausgerichtet und mit den, in den Nuten eingesetzten Eckverbindern, verschraubt. Anschließend wurde die große Platte, die als Maschinentisch dient, mit dem Rahmen verbunden. Um ohne ein aufwändiges Ausrichten der Profilschienen auszukommen, wurde die Baugruppe umgedreht und die Profilschienen auf Endmaße gelegt, um einen gleichmäßigen Abstand von Maschinentisch und Profilschienenführung zu erhalten. Später wurde die Ausrichtung vermessen, wobei die Abweichung etwa 4 Hundertstel betrug. Für die Vermessung der Parallelität der Führungen und dem späteren Ausrichten wurde ein Adapter gedreht, der statt der Anreißspitze in den großen Höhenreißer gesteckt wird und an dem eine Messuhr befestigt werden kann. Die Messung zeigte ebenfalls nur wenige Hundertstelmillimeter Abweichung.

Nun wurden die vordere und hintere Platte ausgerichtet, wobei erneut der Höhenreißer mit Messuhr und ein Grenzlehndorn zum Einsatz kam. Dann wurde die Spindel eingebaut, wobei diese mit einem zusätzlichen Lagerblock, der mit Platte und Motorhalter verstiftet ist, gelagert wurde. Eine erneute Messung bestätigte die Parallelität.

Anschließend folgte der Zusammenbau des Portals und des Tisches. Hierfür wurden Endmaße genutzt, um eine rechtwinklige Ausrichtung zu erhalten. Nun wurden die Schrauben an den Linearführungswagen angezogen. Der untere Querverbinder wurde montiert und der Abstand zwischen Mutterhalterunterkante und Portalseitenunterkante mit Endmaßen bestimmt. Es wurden entsprechende Abstandhalter gefertigt und der untere Querverbinder wurde mit den Seitenteilen verbunden. Nach dem Einbau der Kugelumlaufspindel für die Y-Achse wurden die Motoren mit der Fräse verbunden. Nach dem Positionieren und Befestigen der Energieführungsketten und Endschalter erfolgte die Verdrahtung.



9 Teileliste

Bezeichnung	Preis/Stk	Anzahl	Sonstiges
Motoren	55€	3	vom Hackerspace gekauft, 11,8 Nm
Netzteile	50€	3	vom Hackerspace gekauft, Typ: DQ860MA
Treiber	45€	3	vom Hackerspace gekauft, 60V / 350W
Frässpindel	260€	1	vom Hackerspace gekauft, 2,2kW, incl. FU
Smoothieboard	150€	1	von einem Kollegen bei einem Wettbewerb gewonnen
Linearführungen	-	-	gebrauchte Führungen
Untergestell	-	-	vom Vater gebaut
Kugelumlaufspindeln ~500€		3	von HIWIN gesponsert
Kugellager	~20€	9	von SKF gesponsert
Schleppketten	-	-	von Kabelschlepp gesponsert
Rollen	-	-	von Blickle gesponsert
Stecker	-	-	von Ilme gesponsert
Aluminiumprofile	-	-	Schule

10Abschluss

10.1 Fazit

Die Fräse wurde in Betrieb genommen und funktioniert. In der Planung hätten einige Dinge verbessert werden können, beispielsweise hätten mehr Nuten eingefräst werden sollen, die das Ausrichten einfacher gemacht hätten. Ebenso hätte dünneres Material bei gleichzeitiger Reduzierung des Gewichts eine ausreichende Festigkeit aufgewiesen. Trotz dieser Fehler gestaltete sich der Zusammenbau mit Hilfe der Messuhr und dem magnetischen Stativ relativ einfach.

Da der Seminarkurs sehr viel in Anspruch nahm, würde ich beim nächsten Mal ein kleineres Projekt wählen. Dennoch habe ich dabei viel gelernt und bin mit meiner Wahl zufrieden.

10.2 Ausblick

Die Software der Fräse ermöglicht viele Erweiterungen, die in Zukunft ergänzt werden sollen. Unter anderem soll das Anfahren von Werkstückkanten mit einem 3-D-Taster vereinfacht werden. Hierzu soll ein Gehäuse gedruckt werden, das eine Messspitze aufnimmt, die durch Federn in ihrer Grundposition gehalten wird. Drückt die Werkstückkante nun gegen die Spitze, schließen sich elektrische Kontakte und der Steuerung wird mitgeteilt, dass die Kante erreicht ist.

Außerdem sollen eine Minimalmengenschmierung sowie eine Absaugung mit Zyklonabscheider ergänzt werden. Für den Werkzeugwechsler sind ein Schleppmesser für Papier und Kunststofffolien und ein Kunststoffextruder für den 3-D-Druck vorgesehen.

11 Quellenangaben

11.1 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Seminarkurs-Arbeit selbstständig erarbeitet habe und alle verwendeten Quellen angegeben habe.

Laufenburg, den ____ ____ ____

Name: _____

Unterschrift: _____

11.2 Literaturquellen

- Gomeringer et al.: Tabellenbuch Metall, 46. Auflage, Europa Lehrmittel Verlag, 2014.

11.3 Internetquellen

- Wantmotor: Datenblatt Schrittmotor, <http://www.wantmotor.com/product/85bygh.html>, [26.05.17].
- HIWIN: Datenblatt Kugelgewindetrieb, <http://www.hiwin.de/de/Produkte.html&downloadLink=share/public/Downloads/Kataloge/Kugelgewindetriebe/BS-08-2-DE-1704-K.pdf> [26.05.17].
- SKF: Lagerarten, <http://www.skf.com/de/products/bearings-units-housings/ball-bearings/principles/design-considerations/bearing-arrangements/locating-non-locating-arrangements/index.html> [26.05.17].
- Wolf, Arthur: Supported G-Codes, [http://smoothieware.org/supported-g-codes?s\[\]=gcode](http://smoothieware.org/supported-g-codes?s[]=gcode) [28.02.17].

11.4 Bildquellen

- <http://www.estlcam.de/chinaspindel.php>
- http://reaktor23.org/_detail/hackerspace/img_20161025_205921.jpg?id=start