

GRUNDIG AKADEMIE

Akademie für Wirtschaft und Technik gemeinnützige Stiftung e.V.

Fachrichtung Maschinenbau

Dokumentation
Projektarbeit zum Thema

Planung, Konstruktion und Fertigung einer CNC-Portalfräsmaschine aus Polymerbeton

Abgabetermin 20.04.2013

Leitender Dozent
Volker Steinbauer



Projektteilnehmer:
Tobias Merten
Reitenberg
91235 Velden

Michael Günther
Hennebergerweg 3
96489 Niederfüllbach

MAV4a

MAV4a

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
1. Vorwort	3
2. Aufgabenstellung	4
2.1. Anforderung	4
2.2. Dimension	4
2.3. Materialauswahl für Maschinenbett	5
2.4. Information Polymerbeton	5-6
2.5. Kosten	7
3. Planung	7
3.1. Projektpartner	7
3.1.1. Firma LIBA Maschinenfabrik GmbH	7
3.1.2. Firma Gebelein Laser und Biegetechnik GmbH	8
3.1.3. Firma WAELAG Wälzlager Vertriebs-GmbH	8
4. Konstruktion	8
4.1. Grundaufbau und Antrieb	8
4.2. Achsführungen	9
4.3. Genauigkeits- und Gewichtsoptimierung	9
5. Herstellung	10
5.1. Maschinenbett	10
5.1.1. Gussauswahl	10
5.1.2. Gussvorbereitung Maschinenbett und Portal	11
5.1.3. Der Guss	12
5.1.3.1. Gussproben	12-14
5.1.3.2. Guss und Bearbeitung Maschinenbett	14-17
5.1.3.3. Guss und Bearbeitung Portal	17-19
5.2. Montage	19
5.2.1. Führungen und Achsantriebe	19-21
5.2.2. Ausrichten der Achsen	21-24
5.3. Elektronik	24
5.3.1. Achsantriebe	24-25
5.3.2. Steuerung	26-28
6. Problembehandlung	28
7. Reflektion der Projektarbeit	28-30
8. Erklärung	30
9. Abbildungsverzeichnis	31
Anhang	

1. Vorwort

Im Wahlfach Projektarbeit, zur Ausbildung zum Staatlich geprüften Maschinenbautechniker, ist man gefordert, alleine oder in einem Team, aufgrund einer eigenen Überlegung, die Aufgabenstellung, von der Planung bis zur Fertigstellung auszuführen und diese am Ende mit einer Dokumentation und einer Präsentation vorzustellen.

Die Projektarbeit beinhaltet auch ein Projektmanagement, bei dem Probleme, Kosten und Anforderungsänderungen in das laufende Projekt implementiert werden müssen.

Die Konstruktion wurde auf Autodesk Inventor Professional 2012 vorgenommen. Tabellen und Dokumentation auf Microsoft Word und Excel.

Wir bedanken uns bei allen Firmen die uns bei der Umsetzung unterstütz haben. Ohne die gegebenen Möglichkeiten wäre eine Fertigstellung in dieser Art und Weise nicht möglich gewesen.

Wir hoffen Ihnen in unserer folgenden Dokumentation einen Einblick, in dem noch recht unbekanntem Gebiet, bei der Verwendung von Polymerbeton im Maschinenbau geben zu können, und anschaulich die einzelnen Schritte im Projektverlauf aufzuzeigen.

Mit freundlichen Grüßen

Tobias Merten & Michael Günther

2. Aufgabenstellung

Eine CNC-Portalfräsmaschine gibt einem schon einige Grundspezifikationen, wie aussehen und Aufbau, vor. Es war als erstes wichtig abzuklären, was die fertige Maschine für Anforderungen zu erfüllen hat.

2.1. Anforderungen

Es war ein wichtiges Kriterium, das die fertige CNC-Portalfräsmaschine im Hobbygebrauch aber auch für kleinere, präzise Arbeiten in Handwerk- und Industriebetrieben Anwendung findet. So war es notwendig, das vor allem das Gewicht so klein wie möglich bleibt, genügend Stabilität, die richtige Dimensionen und Qualität der Führungen für eine entsprechende Genauigkeit und die kompakte Größe, damit ein leichter Transport auch in einem Haus möglich ist.

2.2. Dimension

Für einen stabilen Stand benötigt man ein Gewicht das in Verbindung mit der Größe einen optimalen Stand garantiert. Die CNC-Portalfräsmaschine sollte die Maße von ca. 500x500x750mm nicht überschreiten. So waren die einzelnen Teile sicher auf einer kleinen Palette zu befestigen und zu transportieren. Das Gewicht sollte mindestens 150Kg betragen.

2.3. Materialauswahl für Maschinenbett

Die Materialien die für den Bau eines Portalmaschinenbettes in Frage kamen:

- | | |
|----------------|--------------------------------|
| - Stahl | 7,85Kg/dm ³ |
| - Stahlblech | 7,85Kg/dm ³ |
| - Aluminium | 2,7Kg/dm ³ |
| - Stahlguss | 7,2Kg/dm ³ |
| - Polymerbeton | ca. 2,1-2,4 Kg/dm ³ |

Der Bau des Maschinenbettes aus Stahl oder Aluminium hätte eine sehr hohe Menge an Abfall zur Folge. Eine Stahlblechkonstruktion hätte komplett in Fremdarbeit gefertigt werden müssen. Das Thema Schwingungsdämpfung wäre ohne Erfahrungswerte im vornherein nicht berechenbar gewesen. Stahlguss für eine Einzelfertigung kam hier wegen des Kostenaufwandes für die Gießform nicht in Frage. Zusammen- genommen vielen diese Materialien hauptsächlich aus Kostengründen heraus. Polymerbeton erfüllte alle notwendigen Anforderungen für einen einfachen und kosteneffizienten Bau eines Prototypen. Ein weiterer Vorteil von Polymerbeton ist der geringe Schwund beim Aushärten von unter 1%.

Wahl: Polymerbeton.

2.4. Information Polymerbeton

Die Wahl fiel auf Polymerbeton. Ausschlaggebend waren die sehr niedrige Dichte, die Bearbeitung ohne Spezielle Maschinen oder teure Gießformen und vor allem die hohe Schwingungsdämpfung.

Allgemein versteht man unter »Polymere« (zu griechisch »méros« = »Teil«) Verbindungen, deren Moleküle aus einer großen Anzahl von Grundmolekülen, den so genannten Monomeren, aufgebaut sind. Die Grundmoleküle sind ungesättigte

Kohlenwasserstoffverbindungen, wie z.B. Ethylen. Damit ein Polymer entstehen kann, muss man dafür sorgen, dass sich eine Molekülkette bildet, an welche sich immer weitere Monomere binden können. Nach dem Aufsprengen ihrer Doppelbindungen lassen sie sich zu langen Molekülfäden oder Polymeren polymerisieren, Ethylen wird zu Polyethylen.

Polymerbeton besteht überwiegend aus mineralischen Rohstoffen wie Quarz, Granit und Basalt (Kalk oder Zement sind nicht enthalten). Diese Stoffe kommen in der Natur in ausreichender Menge vor und sind daher absolut umweltfreundlich. Diese Zuschlagstoffe werden ggf. zerkleinert und nach bestimmten Vorgaben bezüglich der Korngrößen sortiert. Dies erfolgt über spezielle Siebe. Die somit über Sieblinien gewonnenen Zuschlagstoffe werden nach dem Vermischen in einer Kunststoffmatrix gebunden, es entsteht der Polymerbeton mit seinen vom normalen Beton abweichenden Eigenschaften. Die Eigenschaften von Polymerbeton sind

- hohe Chemikalienbeständigkeit, so dass Bauteile aus Polymerbeton ohne zusätzliche Beschichtungen aggressiven Medien widerstehen und auch bei extremen Bedingungen vielseitig und dauerhaft einsetzbar sind,
- Frost- und Tausalzbeständigkeit (auch an den Schnittflächen),
- Rohdichte zwischen 2100 bis 2300 kg/m³ (Beton ca. 2500 kg/m³),
- keine Wassereindringung, d.h. Polymerbeton ist absolut wasserdicht,
- Biegezugfestigkeit über 22 N/mm² (daher für viele Einsatzbereiche keine Bewehrung wie beim Stahlbeton erforderlich),
- Druckfestigkeit > 90 N/mm²,
- Elastizitätsmodul (E-Modul) ca. 25 kN/mm²,
- kleine Wärmeausdehnungskoeffizienten erfordern weniger oder keine Dehnungsfugen bei langen Streckenabschnitten,
- glatte Oberflächenstruktur, die bewirkt, dass Schmutzpartikel schlecht haften und Wasser schnell abfließen kann; somit sind Oberflächen aus Polymerbeton leicht zu reinigen,
- Produkte aus Polymerbeton sind sehr langlebig (keine Bewehrung und damit korrosionsbeständig), was zur Abfallvermeidung beiträgt,
- weiterhin kann Polymerbeton recycelt werden; die Inhaltsstoffe können wieder einem neuen Produktionsprozess zugeführt werden,
- aber auch eine Entsorgung als Bauschutt ist möglich, da keine schädlichen oder giftigen Substanzen im Polymerbeton enthalten sind,
- und schließlich werden die Produkte vielfach durch unabhängige Prüfinstitute wie z.B. Materialprüfanstalten güteüberwacht und geprüft.

Damit zeigt sich, dass Polymerbeton bei vergleichbarer Belastbarkeit und ähnlicher Dichte zum normalen Beton wesentlich höhere Festigkeitseigenschaften aufweist und etwa 10 % weniger wiegt. Insbesondere das geringere Gewicht führt bei der Verarbeitung auf der Baustelle zu geringeren Kosten, weil der Einbau leichter und schneller vonstatten geht.

Aufgrund der günstigen Eigenschaften wie hohe Festigkeit, geringeres Eigengewicht und Wasserundurchlässigkeit werden Produkte aus Polymerbeton im Bereich der Entwässerung eingesetzt, z.B. als Abflussrinnen im Straßenbau und bei Hofbefestigungen, Rigolen usw. Aufgrund der hohen Dichtigkeit können weder Wasser noch andere Fremdstoffe verschiedenster Gefährdungsklassen eindringen.

Quelle: <http://www.elkage.de> LKG-Ingenieurbüro für Bautechnik 15.05.2013; 18:30Uhr

2.5. Kosten

Um die Kosten niedrig zu halten, wurde mit fast allen Firmen von denen Teile benötigt oder Bearbeitungen in Auftrag gegeben worden sind, Kontakt aufgenommen und um Unterstützung des Projekts gebeten.

So konnten vom Maschinenbett bis zur Elektrik 600-1000€ eingespart werden.

Die komplette Fertigung der Maschine kommt ohne Arbeitszeit auf ca. 2500-3000€.

3. Planung

Die Planung wurde ausschließlich ohne externe Unterstützung bewerkstelligt. Der Zeitplan wurde auf Grundlage des Zeitmanagements erstellt.

Excel Ablaufplan

3.1. Projektpartner

Für alle nicht ausführbaren Arbeiten und von Zulieferern benötigten Teile, suchten wir Firmen die uns bei der Umsetzung der Projektarbeit durch Finanzielles entgegenkommen unterstützen.

3.1.1. Firma LIBA Maschinenfabrik GmbH

Die Firma LIBA Maschinenfabrik GmbH mit Sitz in Naila ist weltweit führend bei der Herstellung von Kettenwirkautomaten die eine große Bandbreiter gewirkter Textilien abdeckt und sehr stark im Bereich technischer Textilien investiert.

Sie unterstützte uns bei der Bearbeitung der Maschinenbettteile.

Durch das große Private Interesse an unserer Arbeit, übernahm die Kosten für das Bearbeiten des Maschinenbettes, der Fertigungsleiter aus eigener Tasche.

3.1.2. Firma GEBELEIN Laser und Biegetechnik GmbH

Die Firma GEBELEIN Laser und Biegetechnik GmbH ist eine Zulieferfirma für die verschiedensten Arten der Blechbearbeitung. Mit modernen Laser- und Biegemaschinen wird eine sehr hohe Genauigkeit und Effizienz dem Kunden angeboten.

Die Firma Gebelein konnte uns Stahlteile zum Einkaufspreis anbieten.

3.1.3. Firma WAELAG Wälzlager Vertriebs GmbH

Die Firma WAELAG Wälzlager Vertriebs GmbH in Nürnberg ist Lieferant von Wälz- und Gleitlager, Linearführungen, Freiläufe und Dichtungen

Die Firma WAELAG stellte uns die benötigten Führungen zu einem vergünstigten Preis zur Verfügung.

4. Konstruktion

Für die Konstruktion der Maschine haben wir uns für eine Portalbauweise entschieden. Konstruiert wurde mit Autodesk Inventor Professional 2012.

Berechnungen zur Auslage der Führungen und Achsen sind im Anhang beigelegt

4.1. Grundaufbau und Antrieb

Da das Portal im Vergleich zu den zu bearbeitenden Werkstücken relativ schwer ist, ist der Aufbau mit einem feststehenden Portal vorteilhaft. Dadurch kann auch der Antrieb, bei kleinerer Motorleistung eine hohe Dynamic liefern.

Um die Positioniergenauigkeit und Wiederholgenauigkeit von 1/100mm und einen Vorschub von 7m/min zu erreichen, würden verschiedene

Antriebskonzepte in Frage kommen. Am häufigsten sind in modernen Werkzeugmaschinen Kugelumlaufspindeln im Einsatz. Desweiteren werden bei größeren Maschinen, oder Maschinen mit sehr hoher Dynamic und kleiner bewegter Masse (z.B. Laserschneidanlagen), auch Zahnstangen oder Linearmotoren eingesetzt. Eine Weitere Lösung für den Antrieb wäre ein Planetengewindetrieb gewesen. Die einzige wirtschaftliche Lösung für uns ist ein Kugelumlauftrieb. Die Gründe hierfür sind im Vergleich zu den anderen Antrieben, dass dieser eine sehr hohe Genauigkeit und Dynamic bietet, bei vergleichbar geringem Platzbedarf, kein Vorschaltgetriebe zwischen Motor und Spindel benötigt, wie man es bei einem Zahnstangentrieb kennt, sowie den Kostenfaktor.

4.2. Achsführungen

Als Führungen werden Profilschienenführungen eingesetzt. Diese haben im Vergleich zu Rundführungen eine sehr hohe Traglast sowie sehr geringe Reibwerte. Die Profilschienenführungen der Baugröße 15, für die wir uns entschieden haben, hat eine Dynamische Tragzahl von 11,4 KN pro Wagen. Eine vergleichbar große Linearrundführung mit 16mm Wellendurchmesser hat eine Dynamische Tragzahl von 0,8KN. Um den Wert der Profilschienenführungen zu erreichen, müsste ein Wellendurchmesser von 50mm gewählt werden.

4.3. Genauigkeits- und Gewichtsoptimierung

Um die Form und Lagetoleranzen der fertigen Maschine zu gewährleisten, wurde die Konstruktion mit Stahl Inlays gewählt. Diese haben den Vorteil, dass diese wirtschaftlich bearbeitet werden können. Als Alternative können die Flächen für die Befestigung der Führungen und Lager auch direkt auf den Polymerbeton angebracht werden. Dies hat den Nachteil, dass der Polymerbeton aufwändig

mittels Schleifen bearbeitet werden muss. Für die Befestigung von Anbauteilen, wie Führungsabdeckungen, wurden Gewindeanker mit eingegossen.

Die Z-Achse wurde im Gegensatz zur restlichen Maschine nicht mit Polymerbeton konstruiert. Der Grund hierfür ist, dass man um die mechanischen Werte einer Bauweise aus Stahl oder Aluminium mit Polymerbeton zu erreichen, diese sehr dickwandig ausgeführt werden müssen. Was wieder eine Gewichtssteigerung und Dynamicverlust zur Folge hätte. Um die Kosten geringer zu halten wurde die Z-Achse aus Aluminium aufgebaut, da uns nur eine Maschine zur Aluminium Bearbeitung zur Verfügung steht.

5. Herstellung

Die Herstellung der CNC-Fräsmaschine wurde parallel in den Bereich Maschinenbett und Elektrik aufgeteilt

5.1. Maschinenbett

Für den Guss des Maschinenbettes musste als erstes die Richtige Mischung für den Polymerbeton gefunden werden.

5.1.1. Gussauswahl

Nachforschungen ergaben zwar die ungefähren Mengen und Bestandteile, eine genaue Zusammensetzung musste aber erst über eigene Versuche ermittelt werden.

Der Entschluss viel auf eine Mischung aus Epoxidharz, Split, Sand und Steinmehl um ein Homogenes und kleinporiges Ergebnis des fertigen Polymerbetons zu bekommen.

Für eine genaue Materialanalyse aus einem Labor musste man verzichten. Zugversuchsvergleiche wurden mit eigener Testanordnung gemacht. Das

Ergebnis zeigte, das die eingegossenen Anker mit min. 1000N belastet werden können.

(von Michael Günther)

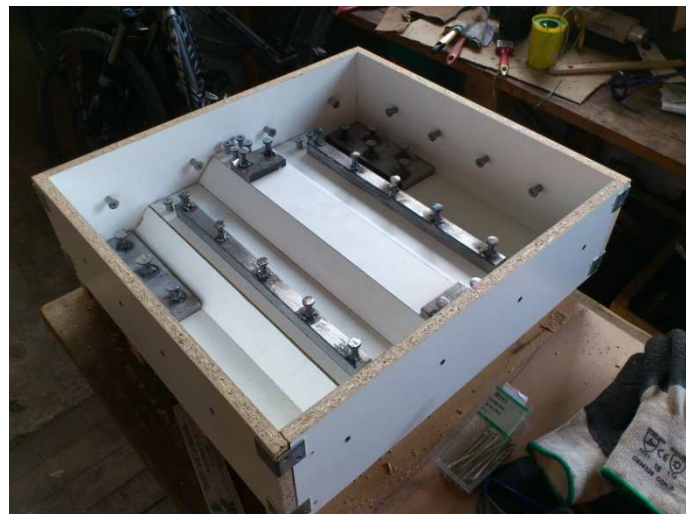
5.1.2. Gussvorbereitung Maschinenbett und Portal

Die Gussform bestand aus Zugeschnittenen, beschichteten Holzplatten in denen Anker und Metall Inlays befestigt wurden.

Alle Teile der Gussform wurden auf einer CNC Fräsmaschine gefertigt um von vornherein Ungenauigkeiten auszuschließen.

Bei der Fertigung der Formteile wurden schon alle Bohrungen und Vertiefungen hergestellt. In diese dann die Gewindeanker und Stahl Inlays befestigt wurden.

Die einzelnen Formteile wurden dann mit Stahlwinkel und Holzplatten verschraubt um den Druck beim einfüllen des Polymerbetons stand zu halten.



Als Vorbereitung der Gussform muss diese eine glatte Oberfläche besitzen

Bild 1 (Zusammengebaute Gussform für das Maschinenbett)

um später wieder vom Polymerbeton gelöst werden zu können. Dies wird mittels Formtrennmitteln aus dem CFK und GFK Bereich gewährleistet. Als Erstes muss die Form von Schmutz gereinigt werden danach kommen 3-4 Schichten Trennwachs „HP-BM17“ von HP Textiles auf die Formteile um eine ebene Oberfläche zu bekommen. Im Anschluss darauf kommt noch eine Schicht Trennlack „HP-PVA“ auf die Formteile um leicht vom Polymerbeton gelöst werden zu können.

Die Gewindeanker und Stahl Inlays bestehen aus ST 37, dieses Material wurde gewählt weil es einfach zu bearbeiten und gut schweißbar ist. Die Gewindeanker wurden alle komplett bearbeitet mit Gewinde in der Gussform befestigt. Auf die Stahl Inlays wurden Halteanker aus Stahl aufgeschweißt um maximalen Halt im Polymerbeton zu

gewährleisten. Die Halteanker sind zwischen 15mm und 180mm lang, je nach Belastung und Wandstärke des Polymerbetons.

Um später das Portal vom Maschinenbett trennen zu können wurde es verschraubt.

Hierfür mussten



Bild 2 (Aufgebaute Gussform für das Portal)

Aussparungen in den Polymerbetonkörper gegossen werden um zur Montage an die Schrauben zu kommen. Dies wurde mittels quadratischen Holzklötzen erreicht (im Bild 2 zu sehen). Diese besitzen eine Senkung für den Schraubenkopf und werden mit der Form verschraubt.

5.1.3. Der Guss

Nach der Vorbereitung der Gussform konnte gegossen werden. Das Wichtigste ist die richtige Mischung des Trockenmaterials und Menge an Epoxidharz.

5.1.3.1. Gussproben

Die Trockenmischung besteht aus 50% Split mit einer maximalen Korngröße von 5mm, 40% Sand mit einer Korngröße von 0,2 bis 0,63mm und 10% Steinmehl mit einer Korngröße von 0,0063 bis 0,02 mm. Die Mischung wurde so gewählt um eine maximale Dichte mit so wenig wie möglich Lufteinschlüssen zu erhalten.

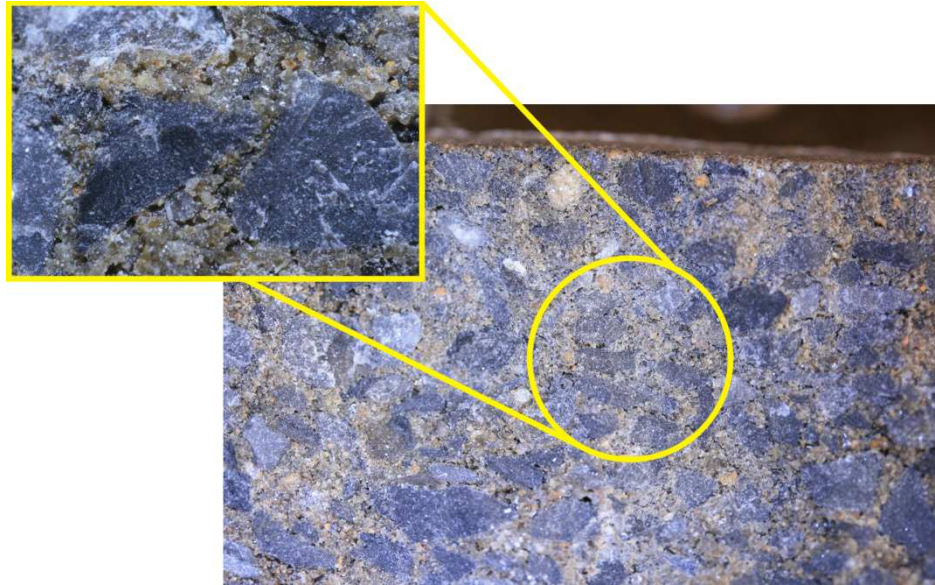


Bild 3 (Querschnitt einer Gussprobe mit der für die Maschine verwendeten Mischung)

Auf Bild 3 ist der Querschnitt einer Probe mit der Polymerbetonmischung zu sehen, die auch für das Maschinenbett und Portal verwendet wurde. Der Anteil an Epoxidharz beträgt 12% Volumenanteil der Trockenmischung. Als Harz wurde das „HP-E55L“ Epoxidharzsystem (siehe Datenblatt) von HP-Textiles verwendet. Dieses Mischverhältnis hat sich bei Versuchen als die beste herausgestellt. So war das Verdichtungsergebnis nach dem Einfüllen in die Form sehr gut. Auch die mechanischen Eigenschaften waren bei diesem Versuch am höchsten.

Bei zu wenig Epoxidharz < 6% Volumenanteil bekommt man eine zu trockene Mischung die sich sehr schlecht verdichten lässt und nach dem Aushärten sehr leicht bricht. Eine Mischung mit zu viel Epoxidharz > 20% bewirkt auch eine schlechte Verdichtbarkeit, da sich das Gemisch wie verwässerter Sand verhält. Desweiteren tritt das Problem auf, dass das Epoxidharz noch vor dem Aushärten nach unten in die Form sickert und man somit eine ungleiche Verteilung des Epoxidharz im Gussteil bekommt. Damit ist die Funktion von Polymerbeton nicht mehr gegeben, da der Sinn dahinter steht, dass die Kräfte und Vibrationen von den Steinen und Sand aufgenommen werden. Desweiteren haben unsere Versuche gezeigt, dass sich bei zu viel Epoxidharz kleine Bläschen im Polymerbeton bilden (Bild 4)

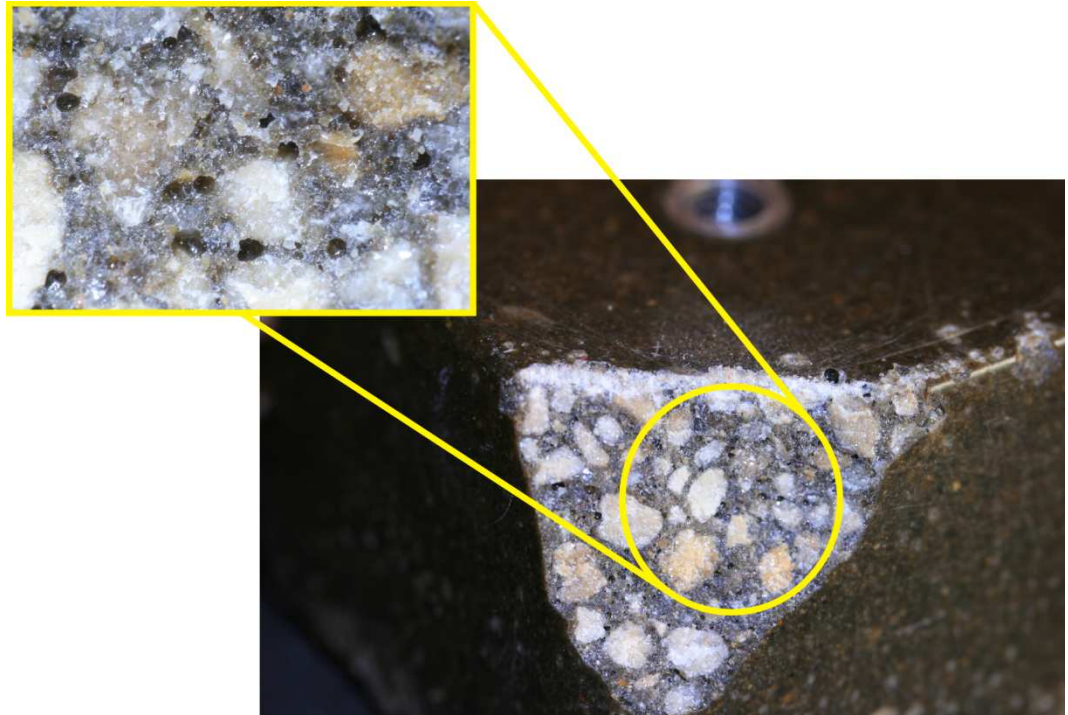


Bild 4 (Querschnitt einer Gussprobe mit viel Epoxidharz Anteil)

Bei beiden Proben ist sehr gut zu sehen, dass beim gewaltsamen zerbrechen der Polymerbetonmischung sich die eingegossen Steinchen und Sand nicht im ganzen herausziehen sondern zerbrechen. Dies lässt auf einen sehr großen Zusammenhalt zwischen den einzelnen Bestandteilen schließen.

5.1.3.2. Guss und Bearbeitung Maschinenbett

Vor dem Guss muss das Epoxidharz angerührt werden, hierzu werden 44 Teile Härte zu 100 Teile Harz (Volumenanteil) gegeben. Beim Verrühren ist darauf zu achten, dass der Härter vollständig untergerührt ist. Dies wird erleichtert da der Härter blau eingefärbt ist und man so gut erkenne kann wann eine homogene Mischung erreicht ist. Sehr wichtig ist, dass sich die Mischung nicht auf über 40C° erwärmt, da ansonsten das Epoxidharz seine späteren mechanischen Eigenschaften stark verliert.

Nachdem das Epoxidharz angerührt ist wird es zu der Trockenmischung gegeben und untergerührt. Dies muss sehr sorgfältig gemacht werden da sonst Teile der Mischung trocken bleiben und sich später in der Form nicht miteinander verbinden. Wenn die Polymerbetonmischung fertig ist kann sie in die Form

gefüllt werden. Wir haben uns für die Methode entschieden den Polymerbeton in der Form zu stampfen. Die Alternative hierzu wäre ein Rütteltisch gewesen. Da wir keine Erfahrungswerte damit hatten und somit Probleme bei der Stabilität der Gussform und der möglichen Verschiebung der Mischbestandteile aufgrund unterschiedlicher Dichte der Materialien befürchteten, wählten wir den Risikoloserer weg.

Beim Guss wurde eine Lage Polymerbeton von etwa 5cm in die Form gefüllt und verdichtet (Bild 5).



Bild 5 (Guss des Maschinenbetts)

Dabei ist vor allem darauf zu achten, dass die Gewindeanker, Halteanker und die Stahl Inlays komplett von Polymerbeton umschlossen werden. Da sich die Polymerbetonmischung durch das Stampfen verdichtet, muss ca. 4-5% mehr Volumen Polymerbeton abgemischt werden.

Nachdem die Form vollständig gefüllt ist, muss die Masse mindestens 24 Stunden aushärten bevor das Teil entformt werden kann. Das Maschinenbett erwärmte sich beim Aushärten auf bis zu 36 C° bei 20 C° Umgebungstemperatur. Dieser Wert ist noch nicht kritisch. Die vollständige Aushärtung dauert 7 Tage. Erst danach hatte die Masse ihre endgültigen mechanischen Werte.

Das Bild 6 zeigt das entformte Maschinenbett. Sehr gut erkennt man die weissen Reste des Trennwaxes.



Bild 6 (entformtes Maschinenbett mit Trennmittel Rückständen)

Nach der Aushärtezeit von 7 Tagen wurde das Maschinenbett bearbeitet. Dabei ist es sehr wichtig, dass alles in einer Aufspannung gefräst und gebohrt wird um die Form und Lagetoleranzen zu erreichen. Diese werden für die exakte Montage der Führungen, Spindeln und des Portals benötigt.

Bild 7 zeigt das fertig bearbeitet Maschinenbett.



Bild 7 (Maschinenbett nach der mechanischen Bearbeitung)

Um für die später Montage der Führungen einen exakten Anschlag zu haben und um die Führungen gerade ausrichten zu können, wurde auf einem Stahl-Inlay eine Schulter stehen gelassen (Bild 8).



Bild 8 (Anschlagkante für die Profielschne)

5.1.3.3. Guss und Bearbeitung Portal

Nachdem das Maschinenbett fertig bearbeitet wurde, konnte mit dem Guss des Portals angefangen werden. Hier stellte sich zuerst die Frage, ob man das Portal im Stehen oder Liegen gießt. Der stehende Guss hätte den Vorteil, dass die Form relativ einfach aufgesetzt werden könnte. Der Nachteil wäre gewesen, dass die Form in dieser Position viele Hinterschnitte, z.B. bei den Ankern gehabt hätte, welche sich sehr schlecht mit Polymerbeton hinterfüllen und verdichten lassen. Deswegen haben wir uns für den liegenden Guss entschieden bei dem das Maschinenbett senkrecht aufgestellt wird. Dafür musste eine aufwändige Verstrebung aus Vierkanthölzern hergestellt werden um die Form beim Guss zu stützen. Da das Gewicht von 36kg Polymerbeton gestützt werden musste. Das Bild 9 zeigt die gefüllte Gussform mit dem Unterbau.



Bild 9 (Guss des Portals)

Nach 24 Stunden konnte das Portal entformt werden, hierzu mussten allerdings die eingegossenen Holzklötzchen für die Aussparungen gewaltsam herausgebrochen werden. Die restliche Form konnte einfach abgenommen werden. Bild 10 zeigt das entformte Portal nach dem das Maschinenbett wieder horizontal gestellt wurde.



Bild 10 (entformtes Portal mit Trennmittel Rückständen)

Genau wie das Maschinenbett wurde das Portal (Bild 11) in einer Aufspannung überfräst, als Referenzflächen dienten die beiden Fußplatten.

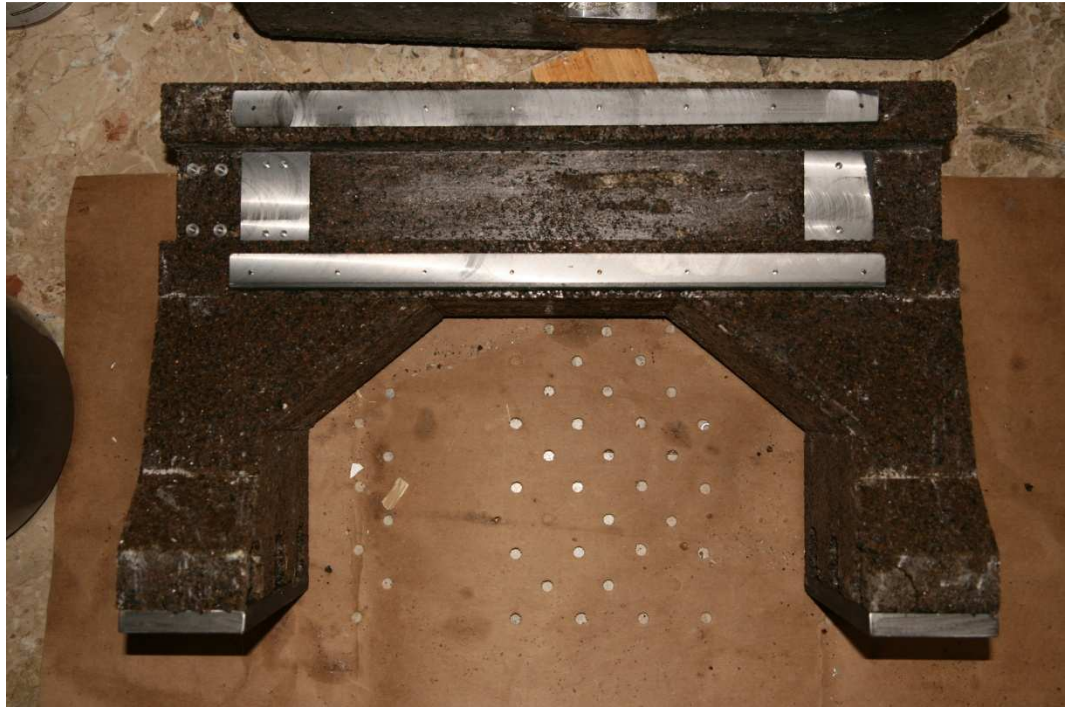


Bild 11 (Portal nach der mechanischen Bearbeitung)

Die Bearbeitung, speziell das Überfräsen und Bohren der Maschinenbetteile wurde bei der Firma LIBA Maschinenfabrik GmbH in Naila in Auftrag gegeben.

5.2. Montage

Nachdem alle Flächen für die Montage bearbeitet worden sind, kann mit dem Zusammenbau begonnen werden.

5.2.1. Führungen und Achsantriebe

Die Z-Achse ist dank ihrem Aufbau aus gefrästen Aluminiumplatten sehr einfach im Zusammenbau. Alle Anlageflächen für die Linearschienen wurden gefräst, so können die Schienen mittels Parallelunterlagen exakt an den gefrästen Flächen ausgerichtet werden (Bild 12).

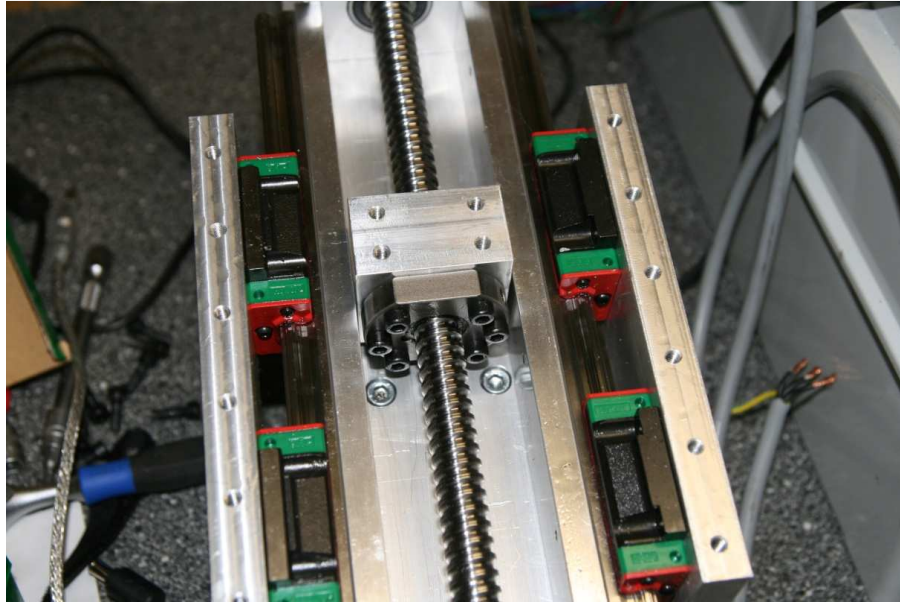


Bild 12 (Aufbau der Z-Achse)

Die Kugelumlaufspindel ist mit einem Festlager an der Oberseite der Z-Achse befestigt (Bild 13). Dieses Festlager ist aus einem Aluminiumlagerbock aufgebaut. Die Lagerblöcke wurden gefräst und die Lagersitze anschließend auf einer Drehmaschine auf ihr endgültiges Maß gefertigt. So konnte ein möglichst genauen Rundlauf zu einander gewährleisten werden. Zum Einsatz kommen zwei Schrägkugelleger 7201-B-2RS. Die Kugelumlaufmutter wird ebenfalls mittels eines Aluminiumblocks gehalten. Sehr wichtig bei der Montage von Kugelumlaufmutter und den Wägen für die Profilschienen ist, dass sehr sauber gearbeitet werden muss, da sonst Schmutz unter die Dichtlippen kommt und die Laufbahn oder Kugeln beschädigen kann. Da die Kugeln offen in den Wägen und der Mutter liegen, muss auch hier sehr vorsichtig montiert werden. Diese können bei fehlerhafter Montage heraus fallen.

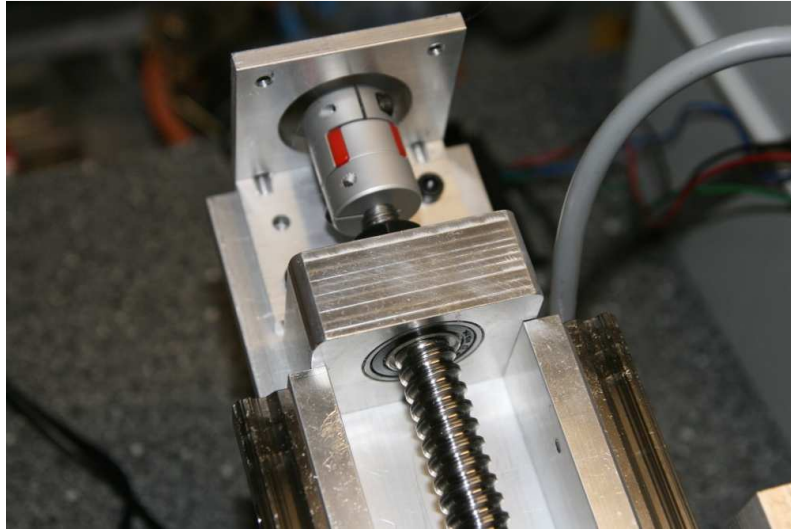


Bild 13 (Festlager und Wellenkupplung der Z-Achse)

Der Schrittmotor wird, wie in Bild 13 zu sehen, mittels eines Aluminiumwinkels an der Z-Achse befestigt. Die Verbindung zwischen Motor und Kugelumlaufspindel wird über eine Klauenkupplung (Bild 13) hergestellt. Diese hat den Vorteil, dass sie kleinere Versätze ausgleichen kann aber gleichzeitig spielfrei die Bewegungen übertragen.

5.2.2. Ausrichten der Achsen

Die Montage der Führungen der Y-Achse wird auch durch eine gefräste Anschlagfläche für eine Schiene erleichtert. Als erstes wird die Schiene auf der Seite mit der Anschlagfläche montiert. Hierbei ist es wichtig die Schrauben von einer Richtung aus anzuziehen, da die Schienen minimal hohlgebogen sind. Nachdem die Schiene exakt an der Anschlagfläche anliegt und verschraubt ist kann ein Wagen montiert werden, der zum Ausrichten der zweiten Schiene benötigt wird. Die zweite Schiene wird nun leicht angezogen so dass man sie noch verschieben kann. Als nächstes wird eine Messuhr auf dem Wagen der schon montierten Schiene befestigt. Nun wird die zweite Schiene mit der Messuhr abgefahren und ausgerichtet (Bild 14).

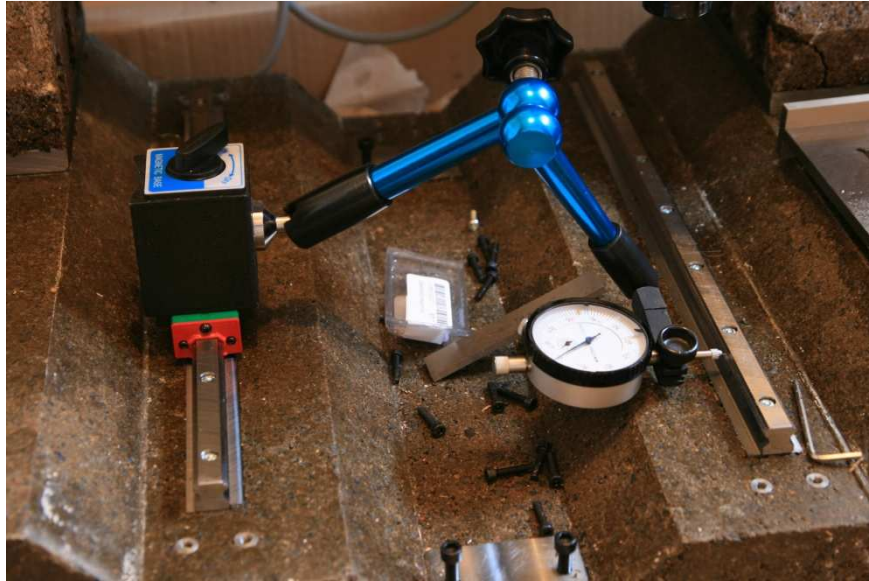


Bild 14 (ausrichten der Profielschiene in der Y-Achse)

Die Schienen der X-Achse werden genau wie die der Y-Achse montiert. Das Ausrichten des Portals geschieht mittels eines Anschlagwinkels (DIN 875/0) der an eine Kante der Schiene der Y-Achse angelegt wird. Die Messuhr wird an die Z-Achse montiert und die X-Achse verfahren. Dies wird so lange wiederholt bis die Abweichung $<0,005\text{mm}/100\text{mm}$ ist. Nachdem das Portal ausgerichtet ist kann es verschraubt werden (Bild 15).



Bild 15 (ausrichten des Portals im rechten Winkel zum Maschinenbett)

Wenn alle Achsen ausgerichtet sind, können die Kugelumlaufspindeln montiert werden. Dies ist bei der X- und Y- Achse identisch, da die Lagerung gleich aufgebaut ist. An der Motorseite der Spindel kommt ein Festlager mit zwei Schrägkugellagern 7201-B-2RS zum Einsatz. Auf der gegenüberliegenden Seite ist ein Loslager mit einem Rillenkugellager 6001-2RSR montiert um die Spindel zu stützen. Die Festlager befinden sich auf der Motorseite um Wärmeausdehnungen oder elastische Dehnungen der Spindel im Betrieb aufzufangen. Dies dient zum Schutz der Motoren da diese nicht für Axiale Belastungen ausgelegt sind. Nach der Fertigstellung der Montage der Spindeln kann der Tisch sowie die Restliche Z-Achse angebaut werden. Nach dem Aufsetzen des Nutentisches muss dieser wie die Schienen mit einer Messuhr ausgerichtet werden um exakt gerade zu laufen.

Wie auch bei der Z-Achse werden die Schrittmotoren mittels Klauenkupplung mit der Kugelumlaufspindel verbunden.

Als letztes werden die Referenzschalter an jeder Achse montiert sowie die Verkabelung.

5.3. Elektronik

5.3.1. Achsantriebe

Für den Antrieb der Achsen werden 4,2A Schrittmotoren bei 48V mit einfacher closed loop Regelung verwendet. Die Schrittmotoren werden über Leadshine „Dm 556“ Endstufen betrieben. Diese wurden gewählt wegen der einfachen Ansteuerung und der geringen Kosten. Als Alternative würden Servomotoren in Frage kommen. Was für den Einsatz von Schrittmotoren spricht ist, dass sie auch Strom los ein gewisses Haltemoment besitzen. Was ein Absacken stehender Achsen verhindert, da die Kugelumlaufspindeln eine sehr geringe Eigenhemmung besitzen. Hierfür würde man eine Haltebremse bei der Verwendung von Servomotoren benötigen. Dank der digitalen Schrittmotorendstufen ist auch das Problem gelöst, dass Schrittmotoren bei gewissen Drehzahlen zu starken Schwingungen neigen. Dies kann sich negativ auf das Fräsergebnis auswirken. Weiter können bei Schrittmotoren auch Schrittverluste oder der völlige Verlust des Drehfeldes auftreten bei zu viel Belastung. Wegen dieser Problematik kommt eine einfache closed loop Regelung zum Einsatz. Welche aus den Servo-Tracks von Kocomotion besteht. Diese vergleicht die eingehenden mit den wirklich gefahrenen Schritten und regelt dementsprechend nach. Nach einem vorgegebenen max. zulässigen Schrittfehler schaltet die Steuerung automatisch ab. Hierzu ist auf den Schrittmotoren ein Incremental Encoder montiert. Dieser hat eine Strichauflösung von 1000 Schritten/U (Bild 16).

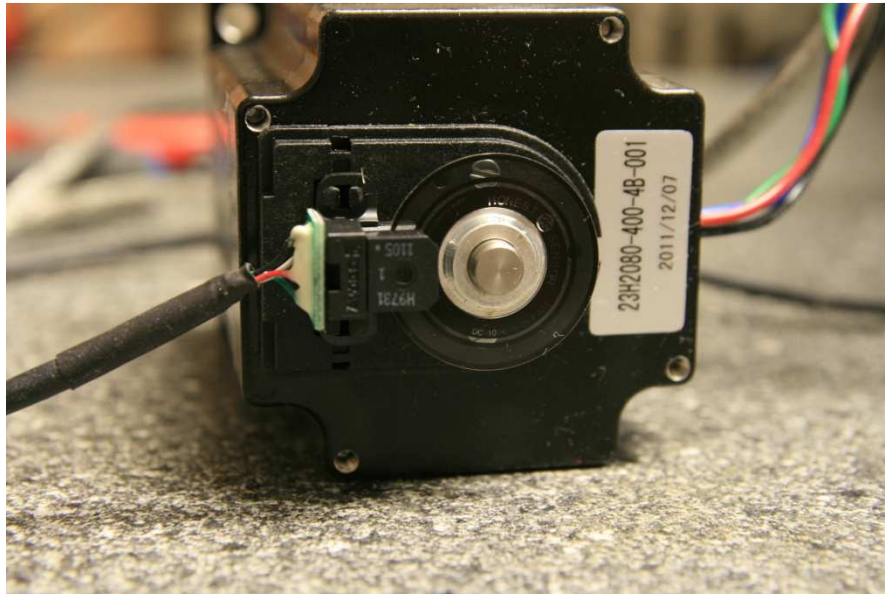


Bild 16 (Schrittmotor mit Incremental Encoder)

Der Encoder besteht aus zwei Lichtsensoren die 90° zueinander versetzt sind. So bekommt man bei einer Encoderscheibe mit 1000 Strichen/U, 4000 High und Low Signale. So ergibt sich eine Auflösung von 1,25µm pro Achse. Auf dem Bild 17 sieht man die Kanäle A und B des Encoders bei einer Motordrehzahl von 1265 U/min was einem Vorschub von 6325mm/min entspricht.

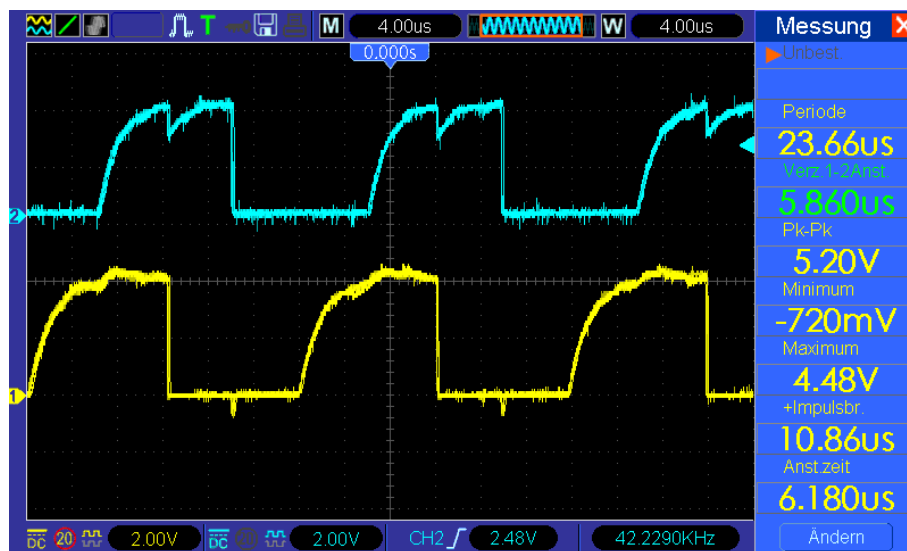


Bild 17 (Messung des Signals des A- und B-Kanals des Encoders)

Die Servo Tracs bekommen die Step/Dir Signale von einer übergeordneten Steuerung und geben sie über ein Breakoutboard zu den Schrittmotorendstufen weiter. Das Breakoutboard dient zur galvanischen Trennung der einzelnen Bauteile, sowie für den Anschluss der Referenzschalter und Spindelsteuerung.

5.3.2. Steuerung

Als übergeordnete Steuerung kommen verschiedene Gängige in Frage. Am meisten verbreitet sind die Windows basierten CNC Steuerungsprogramme Mach 3 und WinPCNC sowie Linux CNC (ehemals EMC²) unter Linux (Ubuntu 10.04). Da die drei genannten in ihrer Grundvariante über den LPT Port des PCs das Step/Dir Signal ausgeben, kann es bei hohen Schrittauflösungen zu Problemen mit der Dynamic der Maschine kommen. Durch Hardware bedingte Gründe bekommt man über den LPT Port im Normalfall nicht mehr als 45kHz - 60kHz Schritt Pulse. Dies ist aber für die geplante Verfahrgeschwindigkeit zu wenig. Deswegen kommt der K-flop von Dynomotion zum Einsatz. Mit diesem ist eine Frequenz von 200kHz kein Problem. Der K-flop ist einer externer Motion Controller der auch unabhängig vom PC betrieben werden kann. Er besitzt einen eigenen Prozessor (16MHz) mit Arbeits- und Programmspeicher. Das zu bearbeitende CNC Programm wird über den USB 2.0 Port des PCs an den K-flop in Paketen geschickt. Dies hat eine enorme Entlastung des PC eigenen Prozessors zur Folge. So kann der PC für die Erstellung von neuen Programmen mit einem CAM Programm problemlos genutzt werden während die Maschine arbeitet. Weiter hat der K-flop den Vorteil, dass er auch mit neuen und 64bit Windows Systemen kompatibel ist. Die Software und die Treiber funktionieren ab Windows XP. Wir haben uns für die Verwendung von Windows 8 64bit entschieden. Da die Maschine auch leicht über einen Touchscreen bedienbar sein sollte.

Über die PC Software (Bild 18) werden alle Maschinenparameter eingestellt sowie das zu bearbeitende Programm ausgewählt und gestartet.

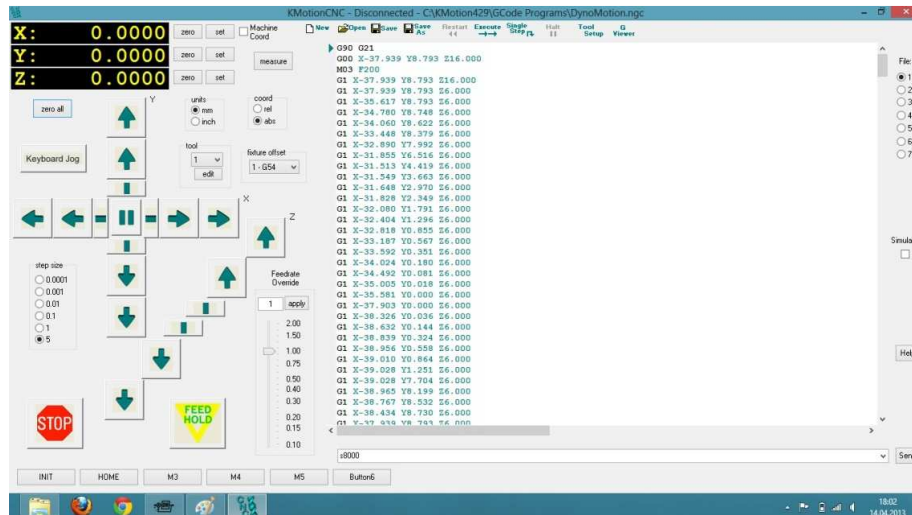


Bild 18 (Bedienoberfläche der Steuersoftware)

Alle Maschinenparameter wie Geschwindigkeit und Beschleunigung werden als C Programm auf dem K-Flop hinterlegt.

Hier ein kurzer Auszug:

```
#include "KMotionDef.h"

// Defines axis 0, 1, 2 as simple step dir outputs
// enables them
// sets them as an xyz coordinate system for GCode

int main()
{
    ch0->InputMode=ENCODER_MODE;
    ch0->OutputMode=STEP_DIR_MODE;
    ch0->Vel=400000.000000; // max Geschwindigkeit in Steps/s
    ch0->Accel=4000000.000000; // max Beschleunigung in Step/s
    ch0->Jerk=40000000.000000;
    ch0->P=0.000000;
    ch0->I=0.010000;
    ch0->D=0.000000;
    ch0->FFAccel=0.000000;
    ch0->FFVel=0.000000;
    ch0->MaxI=200.000000;
    ch0->MaxErr=1000000.000000;
    ch0->MaxOutput=200.000000;
    .....
    DefineCoordSystem(0,1,2,-1);

    return 0;
}
```

(Auszug der Programmierung des USB Motion Controllers)

Durch diese Programmierung sind Personalisierungen wie z.B. ein Werkzeugwechsler an der Maschine kein Problem.

Als Frässpindel kommt ein Hochfrequenz Asynchronmotor zum Einsatz. Dieser besitzt ein ER 20 Direktspannfutter auf der Motorwelle. Da die Maschine für die

Bearbeitung von NE-Metallen mit kleinen Werkzeug Durchmessern ausgelegt ist muss die Spindel mehr als 12.000 U/min haben um die geforderten Schnittgeschwindigkeiten zu erreichen. Die Verwendete Spindel des Herstellers ELTE Slr ist bis zu einer Frequenz von 400Hz ausgelegt was 24.000 U/min entspricht. Da meist nur mit Werkzeugen <8mm \varnothing gearbeitet wird reicht auch die Leistung von 750 Watt.

(von Tobias Merten)

6. Problembehandlung

Beim aushärten des Portals verschob sich eine Leiste der Y-Achse. Dadurch entstanden Probleme beim überfräsen. Die beiden Leisten hatten einen so hohen Versatz, dass bis zum Polymerbeton abgefräst werden musste um alle Leisten sauber bearbeitet zu bekommen. Für die Maßdifferenz wurde eine Unterlegleiste aus Laserblech gefertigt und überschliffen.

Zeitmanagementprobleme

Die Fertigung der Gussteile verzögerte sich insgesamt um drei Monate, da wir auf die Maschinenbelegung bei der Firma LIBA angewiesen waren.

7. Reflektion der Projektarbeit

An unserem Projekt sind viele Ideen aus Kostengründen nicht Realisiert worden. Angefangen von einer kompletten Umhausung über Führungen und Spindeln mit besserer Toleranzklasse bis hin zu einer Steuerung der Maschine mit Touchscreen. Anfangs musste wir uns erst viel Wissen über das Thema Polymerbeton aneignen, da es hier nur sehr wenige Informationen gibt. So wurden in den ersten Projektstadien verschiedene Mischungsverhältnisse ausprobiert um einen verwendbaren Polymerbeton herzustellen. Dadurch konnten wir uns viel Wissen über das Thema Polymerbeton aneignen. Bei dem ersten Guss stellte sich heraus, dass sich die große Menge (80kg) an Polymerbeton mehr verdichtet als gedacht. So fehlte ca. 1cm zum vollständigen

Füllen der Form am Schluss. Durch diese Erkenntnis konnte beim Guss des Portals die Menge auf ca. 300ml genau bestimmt werden. Wegen des Eigengewichts des Polymerbeton hat sich beim Guss des Portals eine Vierkantstange um etwa 2mm verschoben, weil die Form an dieser Stelle nachgegeben hat. Dies kann aber durch eine geschliffene Unterlegleiste ausgeglichen werden.

Für die Herstellung von weiteren Maschinen sollte man den Formenbau nochmal überdenken. Die beste Methode wäre gewesen, die Form aus Stahl herzustellen. So könnte man alle Montageflächen durch abformen von Präzision Stahlplatten herstellen und so auf das Überfräsen verzichten. Dies würde die Herstellungskosten stark senken.

Bei der Steuerung ergeben sich durch den verwendeten Motion Controller, der über die USB Schnittstelle gesteuert wird, leichte Probleme mit EMV Störungen. Dies liegt an der Empfindlichkeit der USB Schnittstelle. Da wir Komponenten wie den Frequenzumrichter mit hoher EMV Strahlung verbaut haben, musste die Strahlung durch die Verwendung von geschirmten Kabeln auf ein Minimum reduziert werden. Dadurch kann jetzt eine stabile Verbindung zwischen PC und Controller hergestellt werden. Um dies noch zu verbessern wäre die Verwendung von Controllern die über Ethernet verbunden sind besser. Dies kam bei unserm Projekt wegen des Kostenrahmens nicht in Frage.

Aufgrund von einigen Nachfragen, besteht der Gedanke weitere Maschinen zu fertigen, bei denen auch mögliche Kundenwünsche umgesetzt werden könnten.

Das Fach „Projektarbeit“ hat uns deutlich gemacht, wie Planung und Ausführung voneinander abhängig sind und wie Zeitplan und Kostenkalkulation Einfluss auf das gesamte Projekt nehmen können. Wir haben viele praktische Dinge mitnehmen können, wie zum Beispiel die Konstruktion und die Probleme beim Bau eines Prototypen, die laufend notwendigen Verbesserungen während des Projektes und deren Auswirkungen, Kontaktaufnahme und Fertigungsbesprechung mit Lieferanten oder die Planung mit Hilfe des Wissens

aus dem Fach Projektmanagement. Wir sind uns sicher, dass wir in unserem späteren Beruf auf diese Erfahrung zurückgreifen können.

Wir danken allen beteiligten das sie uns unterstütz haben und zum Gelingen des Projektes beigetragen haben.

8. Erklärung

Ich versichere durch meine Unterschrift, dass ich die mit meinem Namen gekennzeichneten Teile der vorstehenden Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt, alle Stellen, die ich wörtlich öder annähernd wörtlich aus Veröffentlichungen entnommen, als solche kenntlich gemacht und mich keiner anderen als der angegebenen Literatur oder sonstiger Hilfsmittel bedient habe . Die Arbeit hat in dieser oder in ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Ort, Datum, Unterschrift

Ort, Datum, Unterschrift

9. Abbildungsverzeichnis

Bild 1 (Zusammengebaute Gussform für das Maschinenbett).....	11
Bild 2 (Aufgebaute Gussform für das Portal).....	12
Bild 3 (Querschnitt einer Gussprobe mit der für die Maschine verwendeten Mischung).....	13
Bild 4 (Querschnitt einer Gussprobe mit viel Epoxidharz Anteil).....	14
Bild 5 (Guss des Maschinenbetts).....	15
Bild 6 (entformtes Maschinenbett mit Trennmittel Rückständen).....	16
Bild 7 (Maschinenbett nach der mechanischen Bearbeitung).....	16
Bild 8 (Anschlagkannte für die Profielschne).....	17
Bild 9 (Guss des Portals).....	18
Bild 10 (entformtes Portal mit Trennmittel Rückständen).....	18
Bild 11 (Portal nach der mechanischen Bearbeitung).....	19
Bild 12 (Aufbau der Z-Achse).....	20
Bild 13 (Festlager und Wellenkupplung der Z-Achse).....	21
Bild 14 (ausrichten der Profielschne in der Y-Achse).....	22
Bild 15 (ausrichten des Portals im rechten Winkel zum Maschinenbett).....	23
Bild 16 (Schrittmotor mit Incremental Encoder).....	25
Bild 17 (Messung des Signals des A- und B-Kanals des Encoders).....	25
Bild 18 (Bedienoberfläche der Steuersoftware).....	27

(Alle Bilder aus eigener Quelle)