



Diplomarbeit

Analyse einer Eigenbau CNC Fräsmaschine

*Zur Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs*

Von:
Martin Palvölgyi

Eingereicht am:
Institut für Fertigungstechnik
Technische Universität Graz

Institutsvorstand:
Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Heinrich Hochleitner

Betreuer:
Dr.techn. Dipl.-Ing. Jörg Edler

Graz, 10.03.2012

Deutsche Fassung:
Beschluss der Curricula-Kommission für Bachelor-, Master- und Diplomstudien vom 10.11.2008
Genehmigung des Senates am 1.12.2008

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....
(Unterschrift)

Englische Fassung:

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....
date

.....
(signature)

Danksagung

Ich möchte mich bei allen Personen bedanken die mich bei meiner Ausbildung und beim Projekt CNC Fräsmaschine unterstützt haben.

Besonderer Dank gilt dabei meinem Vater, DI Sandor Palvölgyi, der nicht nur immer mit Rat zur Seite stand sondern auch finanziell unter die Arme griff. DI Peter Brugger der bei Software und Elektronik eine große Unterstützung war und ohne den dieses Projekt in dieser Form nicht möglich gewesen wäre. Max Ziegler für das zur Verfügung stellen von Räumlichkeiten und für dessen Freundschaft.

Dank gilt auch Bernhard Maier für die kostenlose Bereitstellung von Bauteilen, Heiko Scholl für die Hilfe mit Laserschnittteilen und Beschaffung von Rohmaterial und DI László Lencsés (Fa. Lentech-77) für die Fertigung und Bearbeitung der Teile der Mechanik.

Weiters gilt mein Dank meinem Betreuer, Dr. techn. Dipl.-Ing. Jörg Edler für die Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit.

Nicht zuletzt möchte ich mich auch bei meiner Lebensgefährtin Mag^a. Elisabeth Damm bedanken, vor allem für das Erdulden unzähliger „Bastelwochenenden“ über die Jahre.

Graz, im März 2012

Martin Palvölgyi

Kurzfassung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird eine CNC Fräsmaschine untersucht, die weitgehend im Eigenbau entstand. Bei der Maschine handelt es sich um eine 3-Achs Fräsmaschine in Kreuztischbauweise. Der Antrieb der Achsen erfolgt mit Schrittmotoren, die von selbst entwickelten Endstufen bestromt werden. Als Schnittstelle zum Steuerungscomputer der Maschine dient ein maschinenseitig untergebrachter Mikrokontroller. Zusammen mit Quadraturzähler-ICs übernimmt dieser auch die Auswertung des indirekten Messsystems.

Ein wesentlicher Teil dieser Arbeit ist die Untersuchung der Steifigkeit und der geometrischen Genauigkeit der Maschine. Die Steifigkeit der Maschine wurde hierbei mit Hilfe der Finiten Elemente Methode (FEM) simuliert und mit einer Steifigkeitsmessung der Z-Achse verglichen. Um die geometrische Genauigkeit der Maschine zu ermitteln wurde die Maschine mithilfe eines Feintasters und eines Winkels neu eingerichtet und anschließend die Achsen des Kreuztisches unter Verwendung eines Laserinterferometers vermessen. Eine Untersuchung des dynamischen Verhaltens der Achsen erfolgte mittels Kreisformtest.

Ausgehend von den Ergebnissen der Analyse werden Verbesserungsmöglichkeiten der Maschine aufgezeigt. Hierbei werden Verstärkungsvarianten des Tisches und zwei alternative Führungsvarianten untersucht. Zusätzlich wird ein Ansatz zur Optimierung der Schrittmotorendstufe beschrieben.

Der Arbeit liegen Auslegungsrechnungen und Pläne der Maschinenmechanik und -elektronik bei.

Abstract

In this thesis a self-made CNC milling machine is analyzed. The machine is a 3-axis column milling machine. The axes are driven using stepper motors which are energized by self developed driver circuits. A machine-side microcontroller interfaces a PC controlling the machine. Together with quadrature decoder ICs, the microcontroller also runs the indirect measuring system.

A main part of this thesis deals with the analysis of the machine stiffness and its geometric accuracy. The stiffness of the machine was simulated using the finite element method (FEM) and the results were compared to machine measurements. For measuring the geometric accuracy of the machine the machine was adjusted using a lever gauge and an angle, later the axes of the machine table were re-measured using a laser interferometer. Their dynamic behavior was investigated with a circular shape test.

Based on the results of the analysis possible improvements to the machines are shown. In this scope reinforcements of the table and two alternative types of guides were investigated. Additionally an approach for improving the stepper driver circuit is shown.

Design calculations and plans of the mechanical and electrical part of the machine are enclosed.

1	Einleitung	1
2	Die Entstehung der Maschine	3
2.1	Das Funktionsmuster	3
2.2	Die untersuchte Fräsmaschine	14
2.2.1	Mechanik	15
2.2.2	Steuerung der Maschine	23
3	Berechnung der Maschinensteifigkeiten	30
3.1	Vorabuntersuchungen an einzelnen Baugruppen	31
3.2	Simulation der bestehenden Maschine	35
4	Messungen an der Maschine	39
4.1	Messung der Maschinensteifigkeit	39
4.2	Geometrische Genauigkeit	41
4.2.1	Umkehrspiel des Gewindetriebs	42
4.2.2	Rechtwinkligkeit und Geradheit der Achsen	44
4.2.3	Positioniergenauigkeit	46
4.2.4	Kreisformtest	47
4.3	Momentenmessungen	49
4.3.1	Reibmoment der Spindelmutter	50
4.3.2	Momentenmessung der Schrittmotoren	50
5	Ergebnisse	52
5.1	Ergebnisse der Simulation der Maschinensteifigkeit	52
5.2	Ergebnisse der Messung der Maschinensteifigkeit	57
5.3	Ergebnisse der Messung der Maschinengenauigkeit	58
5.3.1	Umkehrspiel des Gewindetriebs	58
5.3.2	Rechtwinkligkeit und Geradheit der Achsen	58
5.3.3	Positioniergenauigkeit	62
5.3.4	Kreisformtest	65
5.4	Ergebnisse der Momentenmessungen	67
5.4.1	Reibmoment der Spindelmutter	67
5.4.2	Momentenmessung der Schrittmotoren	68
6	Diskussion	69
6.1	Steifigkeitsverhalten der Maschine	69
6.2	Genauigkeit der Maschine	73
6.3	Momentenmessungen	74
7	Optimierungsmöglichkeiten	75
7.1	Verstärkung des Aufspanntisches	75
7.2	Analyse alternativer Führungssysteme	76

7.3	Schrittmotorendstufe Marpet v0.34 MOS-Fet	81
8	Ausblick.....	83
9	Zusammenfassung.....	84
10	Quellenverzeichnis	85
11	Anhang	86
11.1	Überblick von Fräsarbeiten	86
11.2	Berechnungen	89
11.2.1	Auslegungsrechnung	89
11.2.2	Kräfte beim Bohren	91
11.2.3	Kräfte beim Umfangsfräsen	93
11.3	Platinen der Maschine.....	95
11.3.1	Platinen des Funktionsmusters.....	95
11.3.2	Platinen der untersuchten Maschine.....	98
11.4	Software	100
11.5	Zeichnungen der Maschine	111

1 Einleitung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit soll eine Fräsmaschine dokumentiert und analysiert werden, die während meines Studiums gebaut wurde. Die Maschine kann, allein schon aufgrund der zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel, bezüglich Steifigkeit und Genauigkeit nicht mit Industriemaschinen verglichen werden, die üblicherweise im Bereich des Maschinenbaus Verwendung finden. Es gibt jedoch zahlreiche Firmen die vergleichbare kleine Fräsmaschinen anbieten. Diese Maschinen werden häufig für Fräs- und Gravierarbeiten in Kunststoff und Nichteisen-Metallen eingesetzt.

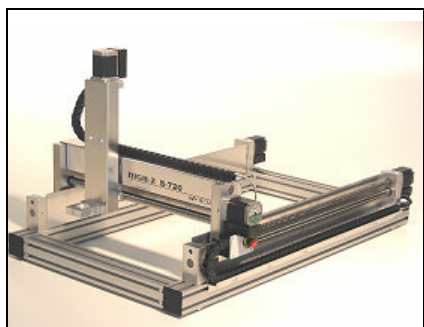


Abb. 1: Fräsmaschine der Fa. CNC-Step [1]



Abb. 2: Fa. EAS Easy300 [2]



Abb. 3: Optimum/Quantum [3]

Bei vielen dieser Maschinen bestehen Teile der Maschinenstruktur aus Aluminium. Im Vergleich zu Stahl ergeben sich aufgrund des geringeren E-Moduls und des höheren thermischen Ausdehnungskoeffizienten erhebliche Nachteile. Für Fräsmaschinen gibt es eine Reihe von verschiedenen Bauformen. Die nachfolgende Abbildung (Abb. 4) liefert einen Überblick über verschiedene Bauformen von Fräsmaschinen mit senkrechter Frässpindel.

		Bauform		
		Konsole	Bett	Portal
Anzahl der Achsen im Werkzeugträger	eins	 Konsolständerbauweise	 Kreuztischbauweise	
	zwei		 Kreuzbettbauweise	 Tischbauweise
	drei		 Fahrständerbauweise	 Gantrybauweise

Abb. 4: Maschinenbauformen [4]

Eine, auch bei Eigenbaumaschinen, häufig gesehene Bauform ist die Gantrybauweise (wie beispielsweise die Maschinen in **Abb. 1** und **Abb. 2**). Diese Bauform hat gewisse Vorteile bezüglich der Verschmutzung der Führungen und der Vorschubeinrichtung. Nachteilig ist die starke Begrenzung der Bearbeitungshöhe durch das Portal. Weiters besteht die Gefahr des Verkantens bei langen Portalen oder auch die Verscherung (Parallelogrammbildung) bei hohen Portalen.

Bei der gebauten Fräsmaschine handelt es sich um eine Kreuztischbauweise. Diese schien am ehesten für einen modularen Aufbau geeignet zu sein und die Bauart ergibt eine hohe Flexibilität bezüglich der Werkstückgröße. Ein Nachteil dieser Bauart ist die große auskragende Länge der Frässpindel, diese bietet den Schnittkräften einen großen Hebelarm und erzeugt damit entsprechende Momente auf die Führung der Z-Achse. Wird nun versucht diese Länge möglichst kurz auszuführen, so wird der Platz zwischen dem Tisch und der Säule sehr klein. Dadurch wird es schwierig Abdeckungen für die Vorschubeinrichtung und Führungen der Y-Achse unterzubringen.

Prinzipiell ist beim Entwurf einer Werkzeugmaschine ein Kompromiss zwischen Steifigkeit und Größe des Arbeitsraums einzugehen. Je größer der Arbeitsraum, umso schwerer muss die Maschine gebaut sein, um die gleiche statische Steifigkeit und damit verbundenen Genauigkeit einer kleineren Maschine zu erreichen. Ein Gesichtspunkt der dabei berücksichtigt werden sollte, ist das einzelne Baugruppen nicht zu schwer werden, sodass eine Manipulation im privaten Bereich ohne Kräne möglich ist.

Die Vorgehensweise bei der Entstehung der Maschine entspricht aus mehreren Gründen nicht der gängigen Praxis. Anfangs wurde nur der Koordinatentisch der Maschine konstruiert, Zeichnungen der Teile erstellt und Rohteile in Fertigung gegeben. Teile der Maschine benötigten Gussmodelle die im Selbstbau gefertigt wurden, andere Teile benötigten schwer zu beschaffendes Halbzeug. Später erfolgte die gleiche Prozedur für die Z-Achse. Dieser Prozess erwies sich als sehr zeitaufwändig und so wurde weitgehend auf Berechnung und Simulation verzichtet. Überschlägige Rechnungen wurden im Rahmen dieser Diplomarbeit als Begleitung der FE-Simulation der Maschine nachgeholt, dennoch ist es ratsam schon während der Konstruktion von diesen Werkzeugen Gebrauch zu machen. Ein weiterer Grund für diese Vorgehensweise war, dass es bei einem derart umfangreichen Projekt immer wieder wichtig war physikalische Teile in Händen zu halten und nicht nur an einem rein virtuellen Produkt zu arbeiten. Außerdem war es möglich zwischendurch Fräsversuche durchzuführen, diese waren Motivationsschübe die das Projekt über die Jahre am Leben erhalten haben.

2 Die Entstehung der Maschine

2.1 Das Funktionsmuster

Das erste Funktionsmuster war eine einfache Fräsmaschine in Kreuztischbauweise. Die Maschine selbst bestand hauptsächlich aus Holz und diente als Hilfestellung für die Entwicklung der Elektronik und Software. Trotz des äußerst primitiven Aufbaus war es mit dieser Maschine möglich einfache Fräsarbeiten in Holz durchzuführen. Die Kosten des Funktionsmusters beliefen sich auf ca. 200€.

Mechanik

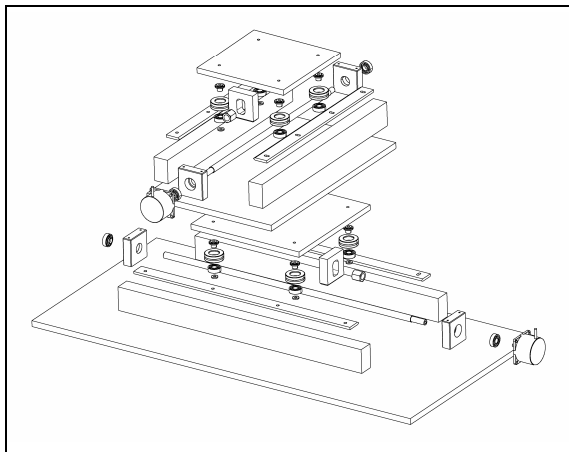


Abb.5: Explosionsdarstellung Kreuztisch



Abb. 6: Foto des Kreuztisches

Gestell, Schlitten und Aufspanntisch bestanden aus Holz. Der Koordinatentisch und die Z-Achse hatten unterschiedlich Führungskonzepte. Als Führung des X-Y-Koordinatentisches dienen Flacheisen, welche auf jeweils einer Seite eine 60° Messerschneide aufwiesen. Auf diesen liefen kugelgelagerte Rollen aus Polyamid (PA66) mit einem umlaufenden 60° Einstich. Jeweils eine der Führungen war mittels Langlöchern verschiebbar, um die Führung vorzuspannen.

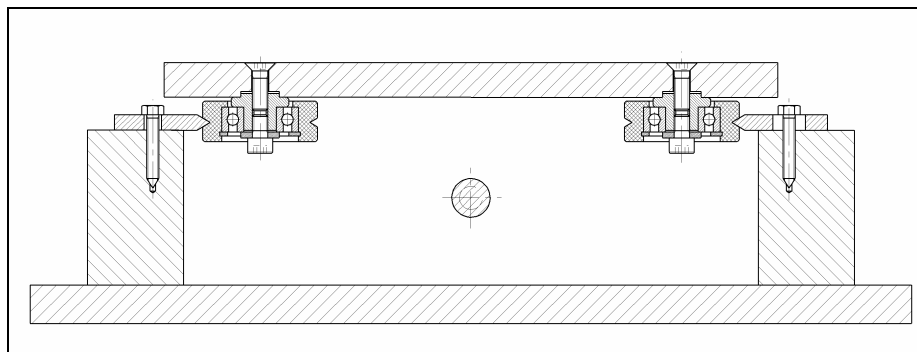


Abb. 7: Schnitt durch die Führung einer Achse des Kreuztisches

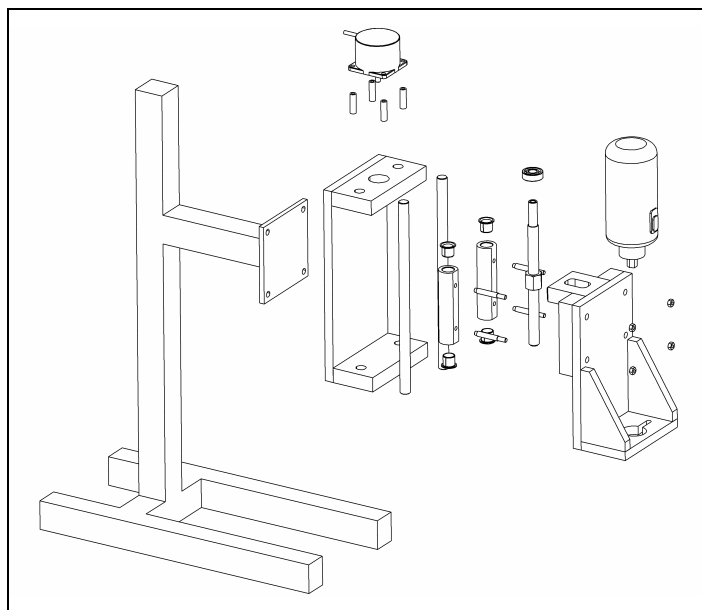


Abb. 8: Explosionsdarstellung der Z-Achse



Abb. 9: Foto der Z-Achse

Abb. 8 zeigt die Einzelteile der Z-Achse und **Abb. 9** ein Foto der Z-Achse im Betrieb. Die Führung der Z-Achse bestand aus zwei Linearwellen ($\varnothing 20\text{ h6}$) auf denen Lagerböcke mit eingepressten Gleitlagern liefen. Diese Lagerböcke waren mit dem Schlitten, an dem der Fräsmotor befestigt wurde, verschraubt. Der Schlitten und die restlichen Teile der Führung bestanden aus 18 mm starkem Birkenperrholz. Die Säule bestand aus verschweißten Formrohren, die mit der Grundplatte der Maschine verschraubt waren. Die Anordnung der Führung mittig über dem Tisch erwies sich als äußerst ungünstig, da hierdurch die maximale Werkstückhöhe stark begrenzt wurde.

Der Vorschub der Achsen erfolgte durch (bis auf die Z-Achse) beidseitig kugellagerte Tr20x4 Gewindespindeln mit Sechskantmuttern aus Stahl. Angetrieben wurde die Spindel mit einem 5-Phasen Schrittmotor mit $0,72^\circ/\text{Schritt}$ und einem Nennstrom von 1,25 A/Phase.

Als Fräsmotor diente eine handelsübliche Oberfräse. Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass sich schon bei relativ kleinen NC-Arbeiten beträchtliche Schnittwege ergeben und daher schnell die Lebensdauer solcher Oberfräsen erreicht wird. In **Abb. 9** ist am oberen Rand des Bildes ein auf den Schrittmotor gelegter Kühlkörper zu erkennen. Dieser war aufgrund der teilweise starken Erwärmung der Schrittmotoren erforderlich. Während des Verfahrens, werden die einzelnen Spulen des Motors für jeden Schritt bestromt oder nicht bestromt. Durch diese „Wechselspannung“ kommt die Induktivität der Spulen zu tragen und der scheinbare Widerstand (Impedanz) wird erhöht. Aus diesem Grund ist der durch den Motor fließende Strom während des Verfahrens geringer, als wenn der Motor im Stand die Position hält. Zusätzlich werden die Spulen beim Verfahren abwechselnd bestromt und haben im kurzzeitig unbestromten Zustand Zeit zum Abkühlen. Häufig werden Fräsprogramme mit Bearbeitungen auf konstantem Z-Niveau erstellt (Bearbeitung von Freiformflächen nach deren

Höhenschichtlinien). Während der Bearbeitung kommt es dann zu längeren Stillstandzeiten des Motors der Z-Achse, wodurch dieser bezüglich Überhitzung besonders gefährdet ist.

Um diesen Effekt zu mindern ist es möglich den Haltestrom seitens der Endstufe abzusenken. Die Schaltung benötigt eine zusätzliche Referenzspannung die den Haltestrom vorgibt. Motorstillstand kann entweder endstufenseitig erkannt, oder von der Steuerungssoftware vorgegeben werden. In beiden Fällen ist Sicherzustellen, dass beim Anfahren des Motors schnell genug auf den höheren Betriebsstrom umgeschaltet wird um Schrittverlust zu vermeiden.

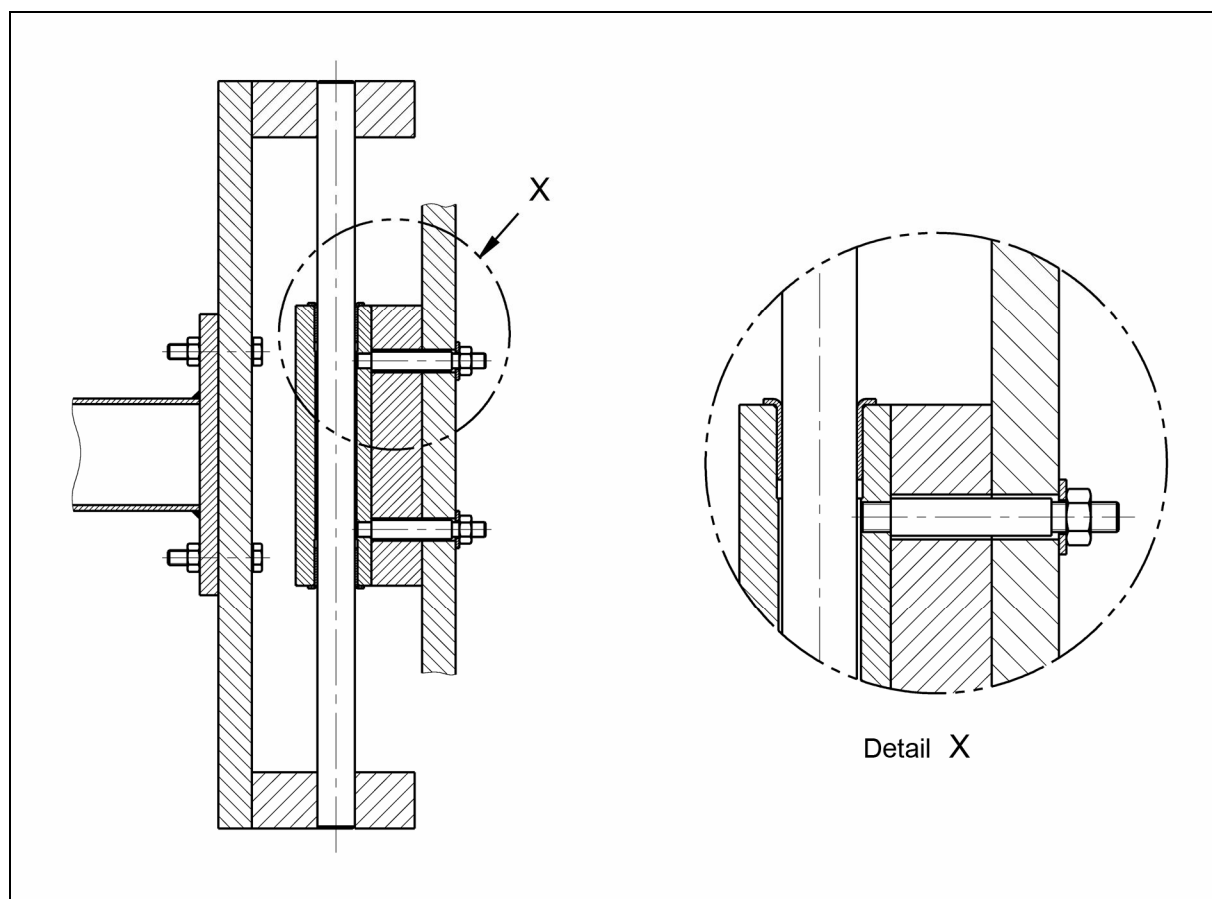


Abb. 10: Schnitt durch die Führung der Z-Achse

Abb. 10 zeigt einen Schnitt durch die Führung der Z-Achse des Funktionsmusters. Diese Art der Führung war den Führungen des Kreuztisches wesentlich überlegen. Aufgrund der positiven Erfahrungen wurde dieses Führungskonzept, jedoch mit größerem Wellendurchmesser und Kugelumlaufbuchsen anstatt der Gleitlager, für die spätere Maschine übernommen.

Elektronik des Funktionsmusters

Der elektrische Teil der Maschine bestand aus einem Netzteil (36 V), einer Verteilerplatine, der Steuerung und den drei Endstufen. Diese Platinen wurden mit dem Programm EAGLE entworfen und selbst geätzt. Die Elektronik wurde auch zur Steuerung der nachfolgenden Maschine genutzt, erwies sich aber im Laufe der Zeit als immer fehleranfälliger.

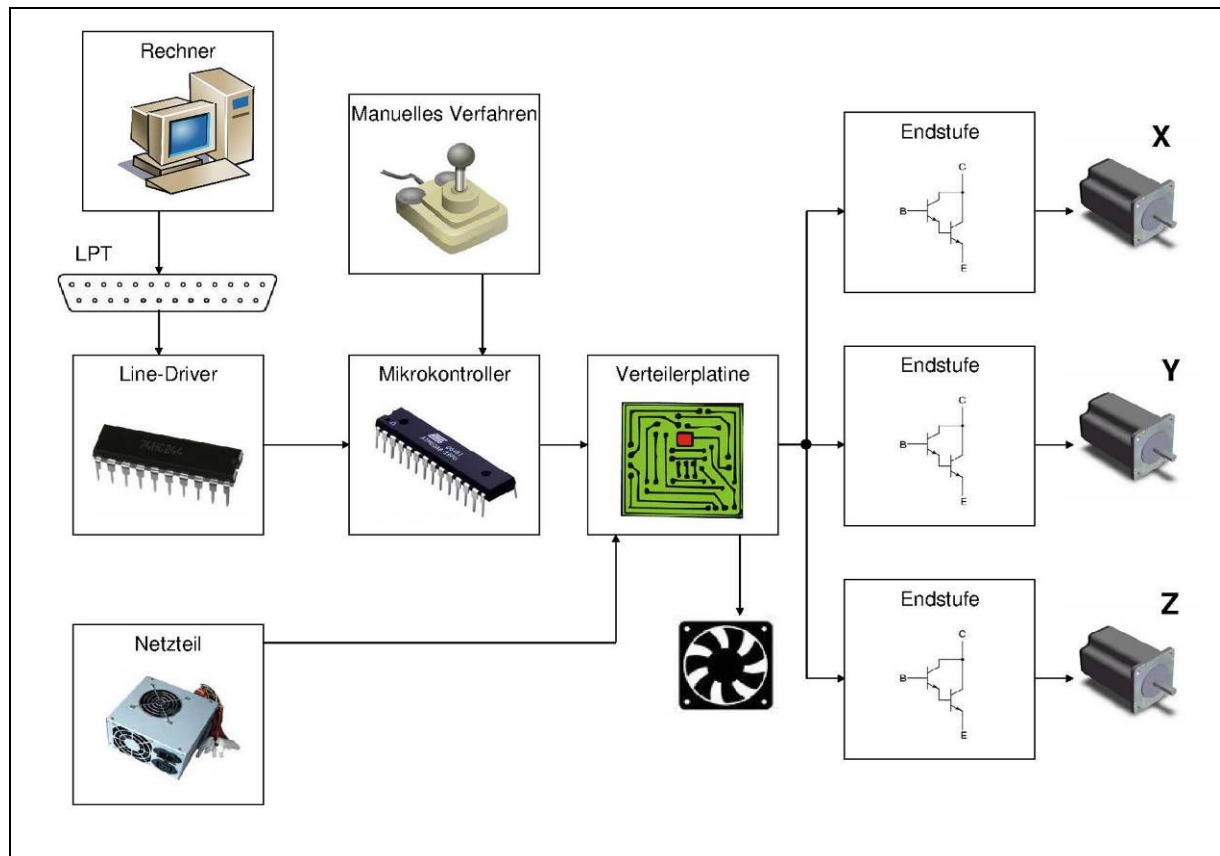


Abb. 11: Schema des Aufbaus der Elektronik

Die Ansteuerung des Funktionsmusters erfolgte anfangs von mehreren Steckbrettern (Bread-boards) aus. Diese ermöglichen einen schnellen Aufbau von Schaltungen mithilfe von fliegenden Drähten. Somit kann die Schaltung vorab auf Funktion überprüft werden und eine Abstimmung der Bauteile auf einander ist ohne Lötarbeiten möglich.

LPT Treiber (Line-Driver)

Diese Schaltung dient der Pufferung der Richtungs- und Schrittsignale der parallelen Schnittstelle, bei drei Achsen insgesamt also sechs Signale.

Weiters empfiehlt sich die Verwendung einer solchen Schaltung um den PC vor Schäden zu schützen. Die parallele Schnittstelle ist empfindlich auf niederohmige Lasten, Kurzschlüsse können zur Zerstörung des Ports führen. Für das Funktionsmuster wurde hier keine eigene Platine verwendet, sondern der Treiber-IC (74HC245) mit Sockel direkt in das Kabel im Bereich des Steckers eingelötet. Die Stromversorgung erfolgte von der Verteilerplatine aus.

Verteilerplatine

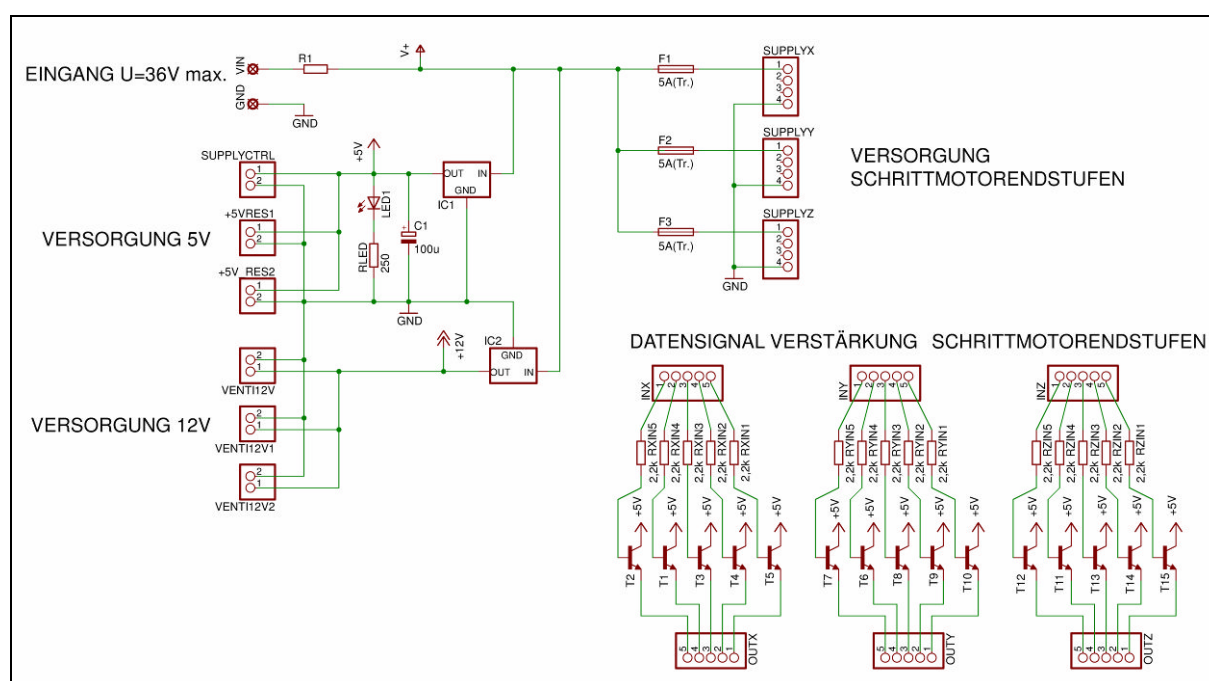


Abb. 12: Schaltplan der Verteilerplatine v0.1

Hauptaufgabe der Stromverteilerplatine ist die jeweiligen Module mit Spannung zu versorgen. Die maximale Eingangsspannung beträgt 36 V. Für die Steuerungsplatine und für Kühlventilatoren wird mit zwei Festspannungsreglern (7805 und 7812) auf der Platine 5 V bzw. 12 V bereitgestellt. Außerdem werden die Datensignale für die Schrittmotorendstufen verstärkt.

Die Steuerung

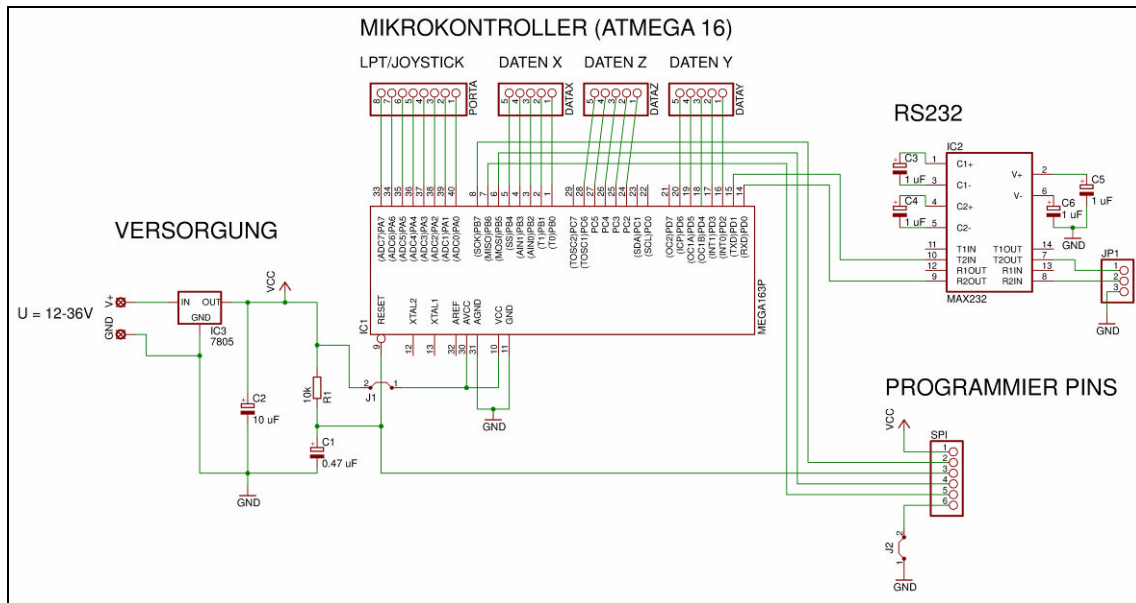


Abb. 13: Schaltplan der Steuerung v0.1

Abb. 13 zeigt den Schaltplan der beim Funktionsmuster verwendeten Steuerungsplatine. Die Schaltung kann mit max. 36 V betrieben werden, empfehlenswert ist eine Versorgung mit 12 V. Die Schaltung verfügt über eine SPI (Serial Port Interface) Schnittstelle die zum programmieren des Mikrokontrollers verwendet wird. Weiters steht eine serielle Schnittstelle (RS232) zur Verfügung. Weitere sechs Eingänge werden für die Signale der parallelen Schnittstelle (LPT) des PCs verwendet, zwei Eingänge für das analoge Signal des angeschlossenen Joysticks. Die X- und Y-Auslenkung des Joysticks erzeugen eine veränderliche Spannung die mittels ADC (Analog-Digital-Converter) in eine für den Mikrokontroller weiterverarbeitbare Größe umwandeln. Das Herzstück der Steuerungsplatine bildet ein ATmega16 Mikrokontroller der Fa. Atmel. Die Programmierung des Mikrokontrollers erfolgte in C. Die Kommunikation mit dem PC erfolgte am Anfang über die serielle Schnittstelle (RS232) und über den Treiberbaustein (Pegelwandler) MAX232. Hierbei wurden dem Mikrokontroller immer die Koordinaten des nächsten Punktes übermittelt (drei Integer). Diese Art der Kommunikation erwies sich als zu langsam. Es kam nach Beendigung jeder Linearbewegung, während der Datenübertragung, immer zu einer kurzen Pause (im Zehntel Sekundenbereich). Daraus resultierte ein unangenehmes Fräsverhalten und es kam sogar zu einer erheblichen Verlängerung der Bearbeitungsdauer. Erst die Kommunikation über die parallele Schnittstelle (LPT) und Umstellung auf die Übertragung von Schritt- und Richtungsbit ermöglichte flüssige Bewegungen der Achsen. Die parallele Schnittstelle erwies sich jedoch als sehr anfällig für Einstreuungen (50Hz der Netzspannung), sodass der vorhin erwähnte 74HC244 Line-Driver im LPT-Kabel notwendig wurde.

Schrittmotorendstufe

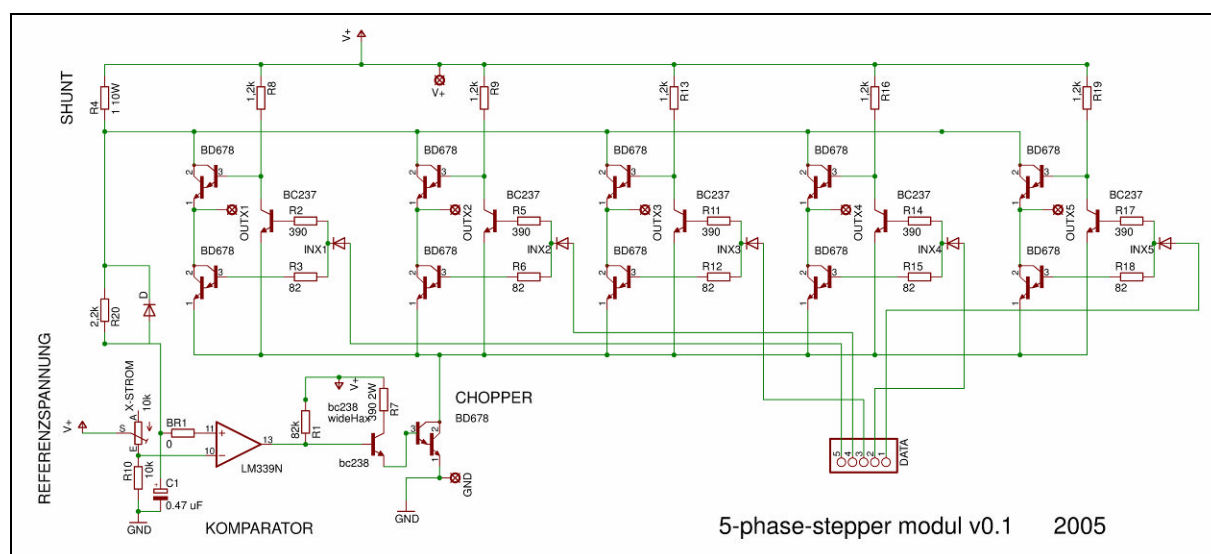


Abb. 14: Schaltplan Schrittmotorendstufe v0.1

Zur Ansteuerung von Schrittmotoren sind zahlreiche Treiber-ICs erhältlich, großteils sind diese jedoch nur zur Steuerung von Motoren mit weniger als fünf Phasen geeignet. Die verwendeten 5-Phasen Schrittmotoren haben den Vorteil von sehr kleinen Schrittwinkeln und somit genauer Positionierung und ruhigem Lauf. Aufgrund der Tatsache, dass diese Art von Schrittmotor eher selten verwendet wird und auch aus didaktischen Gründen wurde eine Schaltung selbst entwickelt. Der Leistungsteil der Endstufen ist dabei diskret aufgebaut. **Abb. 14** zeigt den Schaltplan einer Schrittmotorendstufe. Der Leistungsteil besteht aus fünf Halb-Brücken. Als Schalttransistoren dienen NPN Bipolar Darlington Transistoren (BD651). Das über die Verteilerplatine verstärkte Datensignal schaltet den Low-Side Transistor über einen entsprechenden Basiswiderstand direkt. Dasselbe Signal wird für den High-Side Transistor mit Hilfe eines vorgeschalteten Transistors (BC237) invertiert. Da keine weiteren schaltungstechnischen Vorkehrungen getroffen wurden um ein gleichzeitiges Leiten von High- und Low-Side Transistoren zu verhindern, wird in Kauf genommen, dass beim Ändern der Schrittmotorstellung die Halbbrücke als Kurzschluss wirkt und hier kurzzeitig größere Ströme fließen können (Shoot-through). Dieser Strom fließt nicht durch die Motorwicklungen und führt zu Erwärmung der Transistoren. Die entstehende Wärme muss über Kühlkörper und Ventilator abgeführt werden. Eine Möglichkeit dies zu verhindern wäre schnell schaltende MosFET in Kombination mit einem Brückentreiber mit Totzeit (z.B. LM5104) einzusetzen. Hierbei soll auf die Schaltung im Kapitel „Optimierungsmöglichkeiten“ verwiesen werden.

Als Maß für den Gesamtstrom der durch den Motor fließt, wird die am Shunt-Widerstand (links oben in **Abb. 14**) abfallende Spannung herangezogen. Als Shunt dient ein $1\Omega/10W$ Keramik-Widerstand. Die abfallende Spannung wird über einen Tiefpass geglättet und von einem Komparator (LM339) mit einer,

über ein Spindelpotentiometer einstellbaren, Referenzspannung verglichen. Der Ausgang des Komparators schaltet den Chopper-Transistor (BD651), der im Falle eines zu großen Stromes die Masseverbindung der Halb-Brücken trennt.

Der Komparator wird mit der Versorgungsspannung betrieben und begrenzt diese auf maximal 36V.

Vorteile der Schaltung bestehen im einfachen Aufbau, dem damit verbundenen geringen Bestückungsaufwand und des Weiteren gestaltet sich die Fehlersuche einfacher.

Nachteile dieser Schaltung sind die Wärmeentwicklung der Transistoren (keine Totzeit zwischen schalten der High-side und Low-side Transistoren und damit kurzzeitiger Kurzschluss) und vor allem des Shunts. Kleinere Widerstandswerte für den Shunt verringern dessen Erwärmung, führen aber auch zu einer niedrigeren Referenzspannung und erschweren die Stromeinstellung. Weiters beinhaltet die Schaltung keinen Taktgeber und so stellt sich die Chopperfrequenz selbständig ein. Dies führt zu einem teilweise stark nichtlinearen Verhalten der Stromeinstellung und in seltenen Extremfällen auch zu einem Kippen der Schaltung (plötzlicher Anstieg der Chopperfrequenz und nachfolgender thermischer Zerstörung der Transistoren). Zur vermeintlich einfacheren Handhabung (einfacher Austausch von defekten Transistoren) wurden diese gesteckt ausgeführt, dies war jedoch sehr häufig Quelle von Wackelkontakten. Hier empfiehlt es sich diese auf jeden Fall einzulöten. Weiters ist zu erwähnen, dass aufgrund eines Anfängerfehlers keine Freilaufdioden vorgesehen sind. Die Endstufen waren zwar jahrelang ohne Schaden zu nehmen im Einsatz, je nach verwendetem Schrittmotor können aber beim Schalten der Spulen Spannungsspitzen auftreten welche die Schalttransistoren zerstören. Auch hier ist empfehlenswert parallel zu den Schalttransistoren Freilaufdioden anzubringen.

Der Schrittmotor

Wie schon erwähnt, handelt es sich bei den Schrittmotoren um 5-Phasen Motoren. Der Schrittwinkel beträgt $0,72^\circ$, für eine volle Umdrehung werden also 500 Schritte benötigt.

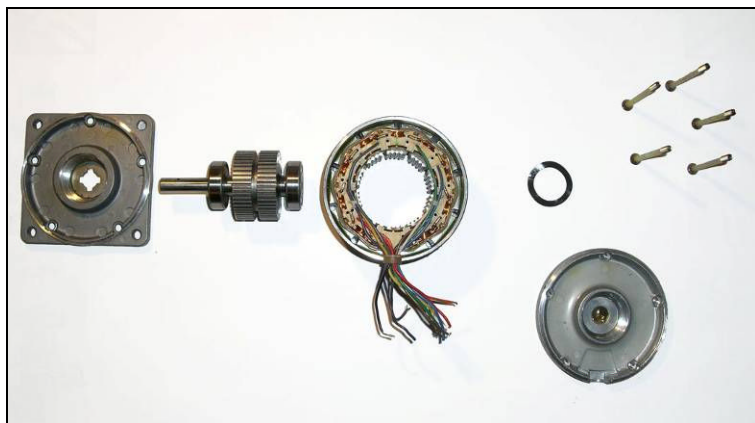


Abb. 15: Einzelteile des Schrittmotors

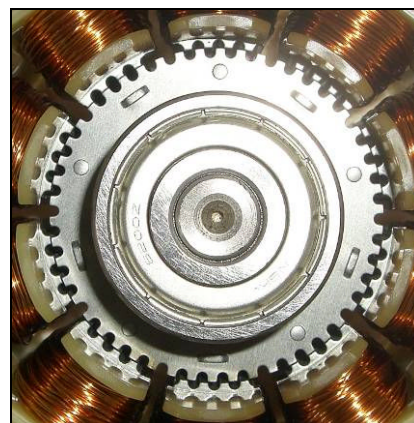


Abb. 16: Rotor im Stator eingebaut

In **Abb. 15** sind die Einzelteile eines zerlegten Schrittmotors zu sehen. Er besteht im Wesentlichen aus einem Motorflansch, dem Rotor mit den beiden Motorlagern, den Statorring und einem Deckel. Die Motorlager werden mittels zweier Wellfedern axial vorgespannt. Der Rotor weist im mittlerem Bereich zwei gezahnte Scheiben mit jeweils 50 Zähnen auf, wobei die beiden Scheiben um einen halben Zahn zueinander verdreht angeordnet sind. Zwischen den Scheiben ist ein Permanentmagnet eingebaut, wodurch beide Scheiben einen gegensätzlich magnetischen Pol bilden. Wie in **Abb. 16** zu sehen, besitzt der Stator eine gegenüber der Zähnezahl des Rotors geringfügig unterschiedliche Anzahl. Werden die Spulen des Stators richtig bestromt, verdreht sich der Rotor um einen Schrittwinkel. Ähnlich, wie beim Nonius eines Messschiebers wo Messwerte abgelesen werden können die kleiner als die eigentliche Teilung sind, ist der Schrittwinkel kleiner als die Zahnteilung. Vorsicht ist geboten, wenn ein funktionierender Schrittmotor zerlegt werden soll, da er dadurch geschwächt werden kann (metallischer Abrieb im Luftspalt bzw. Entmagnetisierung bei bestimmtem Magnetmaterial). Beim gezeigten Motor handelt es sich um ein Exemplar, bei dem in Versuchen eine Spule einem zu großen Strom ausgesetzt wurde und dadurch zerstört wurde.

Klemme	Zuleitung	Motoranschluss
1	gelb	orange violett
2	orange	weiß grau
3	rot	braun rot
4	blau	gelb grün
5	schwarz	blau schwarz

Tab. 1: Farbkodierung

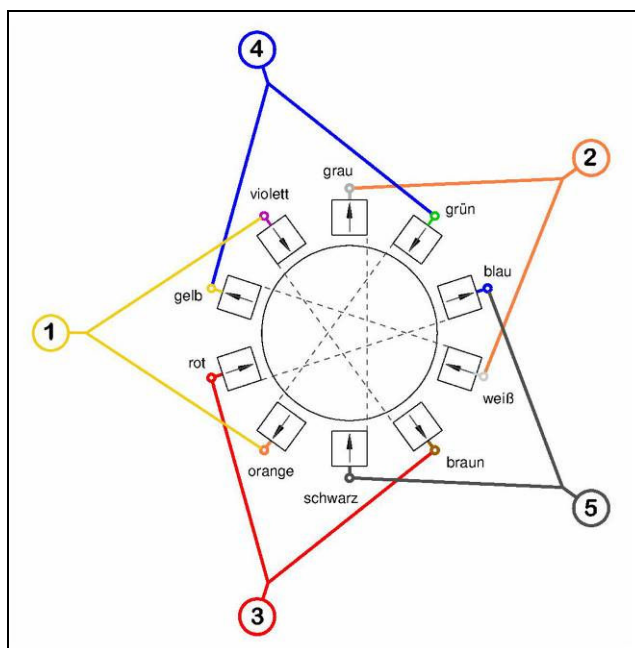


Abb. 17: Wicklungsschema des Motors

Tab. 1 zeigt die Farbkodierung der Anschlussdrähte des Motors und die eigens gewählten Farben der Zuleitung. In Abb. 17 sieht man die geometrische Anordnung und Wicklungsrichtung der einzelnen Motorspulen. Die Farbkodierung der einzelnen Anschlussdrähte wird von mehreren Herstellern verwendet. Bei jedem Vollschritt fließt durch vier Phasen Strom. Der Motor wird mit der in Tab. 2 beschriebenen Ansteuersequenz betrieben.

Schritt	Kl. 1	Kl. 2	Kl. 3	Kl. 4	Kl. 5
0	1	0	1	0	0
1	1	0	1	0	1
2	0	0	1	0	1
3	0	1	1	0	1
4	0	1	0	0	1
5	0	1	0	1	1
6	0	1	0	1	0
7	1	1	0	1	0
8	1	0	0	1	0
9	1	0	1	1	0

Tab. 2: Ansteuersequenz (Vollschritt)

Software

Es gibt prinzipiell zwei verschiedene Ansteuerprinzipien für Schrittmotoren, nämlich die weggesteuerte und die zeitgesteuerte.

Bei der Wegsteuerung wird, bei Annahme einer beliebig zu fahrenden Gerade im Raum, diejenige Achse die den kürzesten Weg zurücklegen muss als Master angesehen und entsprechend dem Vorschub die passende Schrittfrequenz ausgerechnet. Nach jedem Schritt dieser Achse (Master) wird die Abweichung der anderen Achsen (Slaves) zur Soll-Linie berechnet. Ist diese Abweichung größer oder gleich einem halben Schritt wird mit der entsprechenden Achse um einen Schritt verfahren. Der Rundungsfehler muss bei der nächsten Überprüfung berücksichtigt werden. Eine weggesteuerte Ansteuerung ist sehr einfach in der Programmierung, bei der Implementierung von Geschwindigkeitsprofilen erweist sich diese Vorgehensweise aber als umständlich.

Die zeitgesteuerte Ansteuerung entspricht vielmehr dem Aufbau wie bei Servomotoren und basiert auf einer Systemgrundperiode (Systemtakt). Jeder Operation (z.B. Stromregeln, Soll-Wert ausrechnen, Ist-Wert ausgeben, Achse verfahren,...) wird dabei ein gewisses Zeitfenster zugewiesen und die einzelnen Operationen zyklisch wiederholend ausgeführt. Dauert die Bearbeitung einer Operation länger als das vorgegebene Zeitfenster lang ist, so wird der Fortschritt gespeichert und im nächsten Zyklus fertig gestellt (State-Machine). Dieser Übertrag in den nächsten Zyklus sollte jedoch nicht die Regel sein, bei andauerndem Auftreten spricht dies eher für ein zu kurzes Zeitfenster. Die zeitgesteuerte Ansteuerung ist wesentlich aufwändiger zu programmieren und benötigt einen stabilen Zeitgeber. Geschwindigkeitsprofile lassen sich relativ einfach nachbilden.

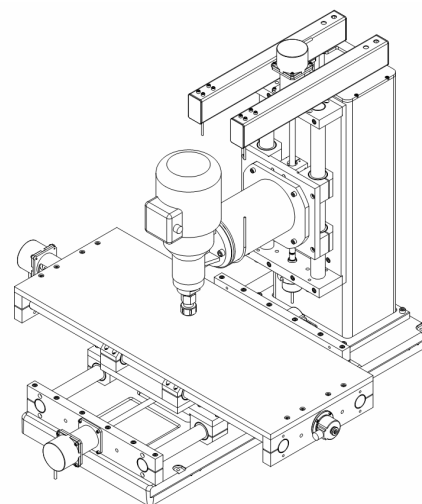
Zur Steuerung des Funktionsmusters wurden mehrere einfache Programme geschrieben. Alle basierten auf einem weggesteuertem Prinzip. Die Programme ermöglichten die Interpretation von G00 und G01 Befehlen. Die Schrittmotoren wurden hierbei ohne Beschleunigungs- und Verzögerungsrampen betrieben, was die erreichbare Höchstgeschwindigkeit einschränkte und teilweise auch zu Schrittverlust führte. Kreise wurden bei der Werkzeugbahnerzeugung linear interpoliert.

Später erfolgte ein Umstieg auf die frei erhältliche Software EMC2 die auf dem Betriebssystem Linux (Ubuntu) läuft. Dabei handelt es sich um eine zeitgesteuerte Ansteuerung basierend auf einem echtzeitfähigen Betriebssystem, welches die genaue Zeitgebung übernimmt. Die Software ist sehr umfangreich und sowohl für Anfänger als auch für fortgeschritten Anwender empfehlenswert (Open-Source). Es können sowohl Servomotoren in einem geschlossenen Regelkreis als auch Schrittmotoren angetrieben werden. Näheres zur Software EMC2 findet sich im Quellenverzeichnis [4].

2.2 Die untersuchte Fräsmaschine

Aufgrund der Erfahrungen, die mit dem Funktionsmuster gesammelt wurden, entstand der Wunsch nach einer verbesserten Maschine.

Allgemein	
Bauart	Kreuztischbauweise
Abmaße (L x B X H)	1259 mm x 1240 mm x 1059 mm
Masse	~ 400 kg
Achsen	
Führungsprinzip	Linearwellen, Linearkugellager
Antrieb	Schrittmotoren Fa. Sanyo Denki 5 Phasen 0,72° Schrittwinkel Trapezgewindespindeln mit Bronzemuttern Tr16x4
Steuerung	Vollschritt, Auflösung: 8 µm
Nennstrom	1,25 A/Phase
Arbeitsraum	640 mm x 340 mm x 240 mm
Max. Vorschubgeschw.	5500 mm/min
Messsystem	
Art	Indirekt mit Drehgebern
X- und Y-Achse	Typ: BHG 7200-A, Fa. Baumer, 7200 i/Umd., Vierfachauswertung
Z-Achse	Typ: ROD 426, Fa. Haidenhein, 500 i/Umd., Vierfachauswertung
Frässpindel	
Motor	Frequenzmotor asynchron Typ: FrLa 70.09/2 ,Fa. Perske
Nennspannungen	110 V @ 200 Hz, 165 V @ 300 Hz
Nennstrom	20 A
Frequenzumformer	Typ: ACP 3607-5, Fa. Berges
Eingang U_{IN}	400 V, 50 Hz, 3~
Ausgang U_{OUT}	0 - 400V, 0 - 400 Hz, 3~



Tab. 3: Daten der untersuchten Fräsmaschine

Wie in **Tab. 3** zu sehen, wurden viele Aspekte des Funktionsmusters übernommen. Bezüglich dem, für Schrittmotorantrieb ungewöhnlichen Meßsystem ist zu beachten, dass dieses nicht zur Regelung des Antriebs verwendet wird. Die gemessenen Verfahwege werden nur an einem Display angezeigt bzw. wenn die Steuerung einen zu großen Unterschied zwischen empfangenen Werten (Soll-Werte) und gemessenen (Ist-Werte) feststellt, wird dem PC ein Not-Aus Signal gesendet.

2.2.1 Mechanik

Im Gegensatz zum einfach aufgebauten Funktionsmuster wurden für die weiterentwickelte Maschine steifere Materialien verwendet. Als Basis der Maschine dient eine Grundplatte aus Grauguss auf der die vorwiegend aus Stahl bestehende restliche Mechanik angebracht ist. Lediglich der Aufspanntisch, die Lagerböcke der Achsen und die Halterungen der Spindelmuttern (Mutterböcke) sind aus Aluminium gefertigt.



Abb. 18 : Foto der untersuchten Maschine

Abb. 18 zeigt ein Foto der gebauten neuen Maschine. Für die Maschine wurde die Kreuztischbauweise des Funktionsmusters übernommen. Diese hatte sich, vor allem bei größeren Werkstücken, als sehr flexibel erwiesen. Die Maschine steht auf einem Untergestell aus Aluminiumprofilen. In diesem sind in der linken Seite der Steuerungsrechner und auf der rechten Seite die Elektronik untergebracht. Die Elektronik befindet sich in einer ausziehbaren Lade. Am Gestell ist über einen gelenkigen Arm das Bedienpult befestigt. Im Bedienpult ist das Vakuum-Fluoreszenz-Display (VFD), der Notaus-Schalter und ein LCD Bildschirm untergebracht. Die Eingabegeräte für den PC finden auf einer, ebenfalls mit dem gelenkigen Arm verbundenen, Tastaturablage Platz. Die folgenden Abbildungen (**Abb. 19** und **Abb. 20**) zeigen eine Übersicht der Teile der Maschine und im Weiteren werden einzelne Bauteile und Baugruppen der Maschine näher beschrieben.

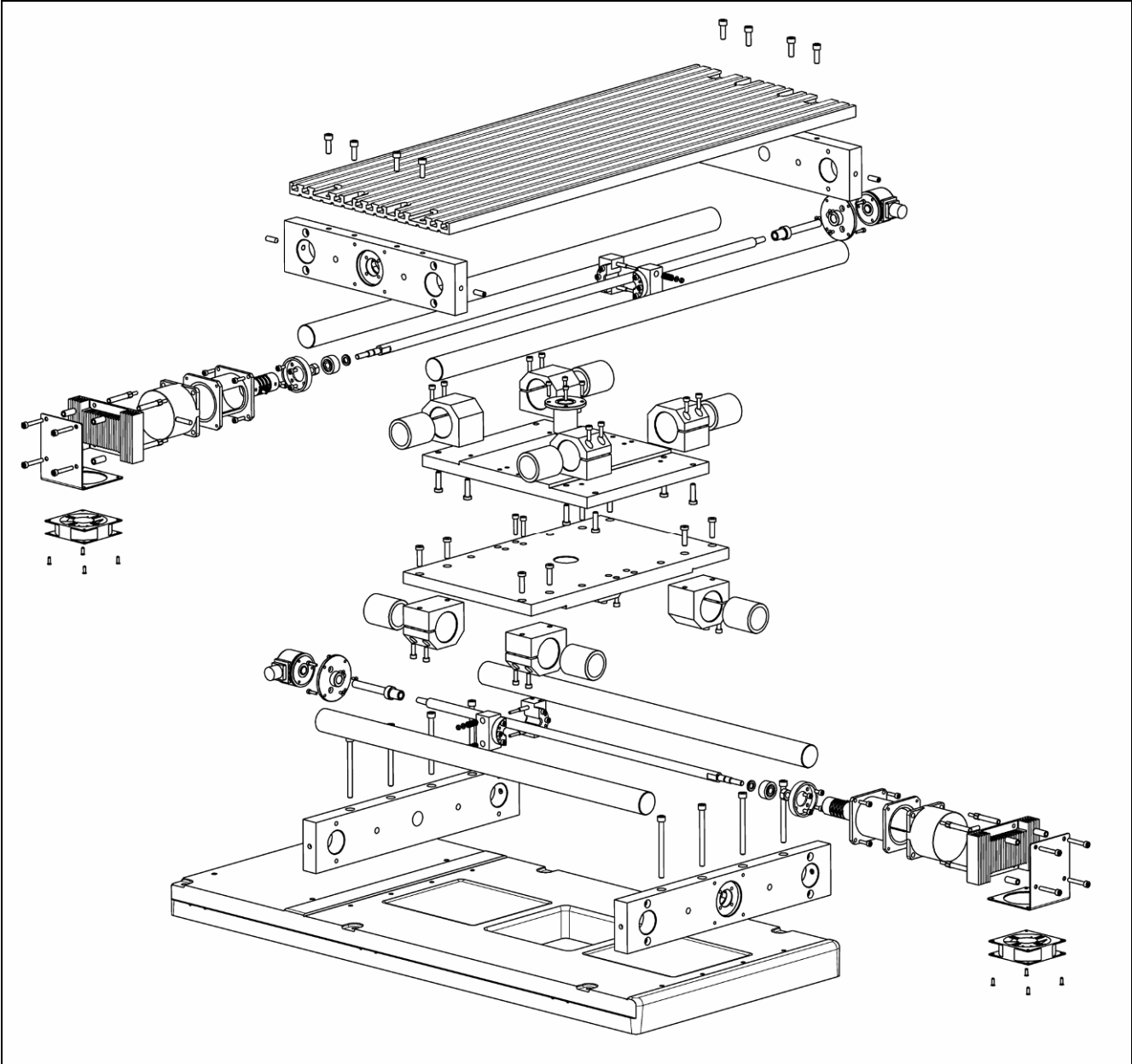


Abb. 19: Explosionsdarstellung der X- und Y-Achse

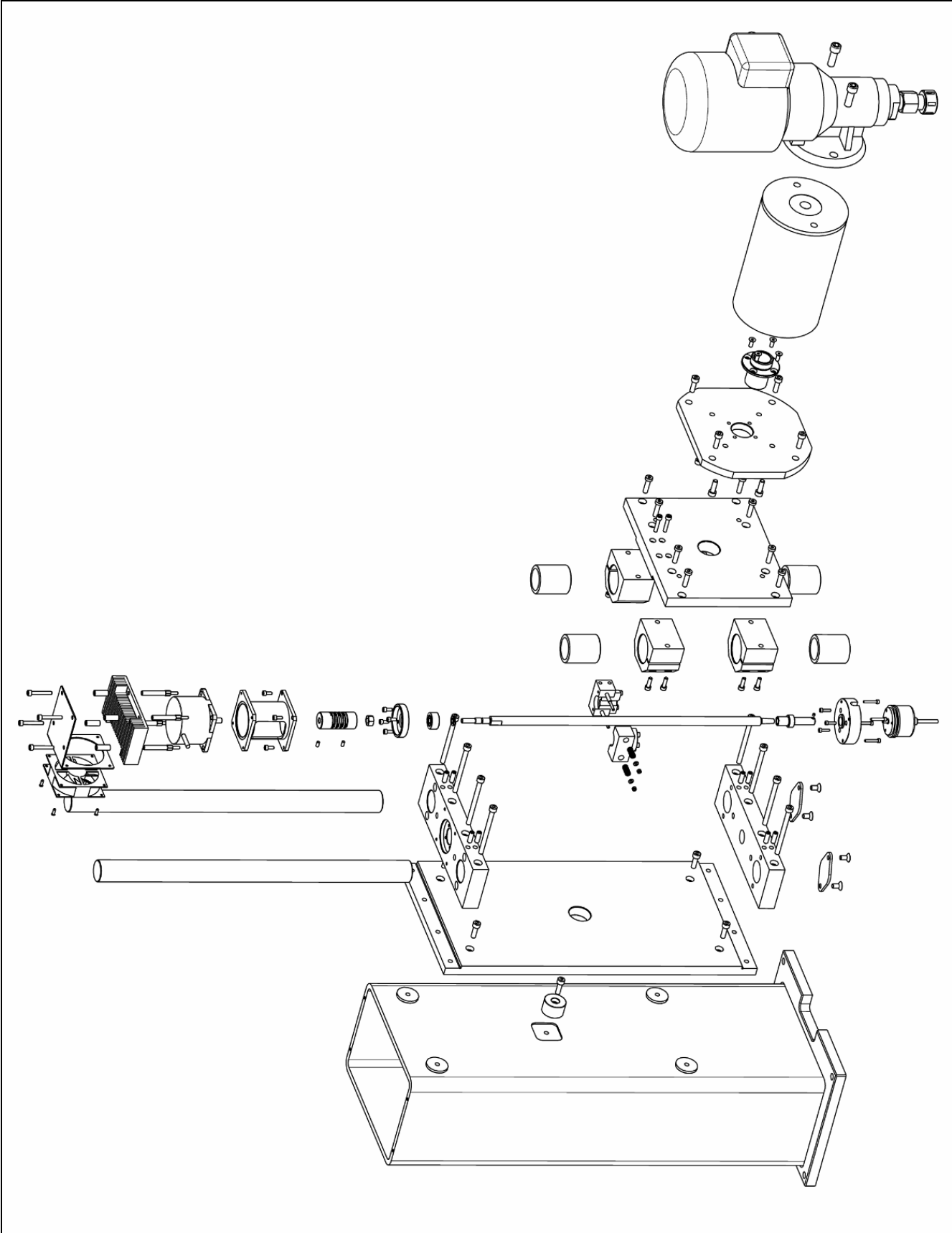


Abb. 20: Explosionsdarstellung der Z-Achse

Die Grundplatte

Die Grundplatte, aus GG18, wurde von der Fa. Katz Guss in Lieboch gegossen. Dafür wurde ein zweiteiliges Modell gebaut. Die flächigen Partien des Modells bestehen aus Sperrholz und die Rippen aus Ahornholz. Die erforderlichen Gussradien (Hohlkehlen) wurden mit Polyesterharz eingebracht. Beide Teile des Modells werden über zwei Stifte zueinander positioniert. Alle Flächen in Richtung der Entformung wurden mit einer Formschräge von $2,5^\circ$ versehen. Um die beim Erstarren und Abkühlen auftretende Schwindung zu berücksichtigen wurde das Modell entsprechend größer ausgeführt. Die Schwindung beträgt beim verwendeten Werkstoff ungefähr 1 %.



Abb. 21: Bau des Holzmodells



Abb. 22: Das fertige Modell

Die orthogonale Verrippung der Unterseite erwies sich in dieser Anordnung bezüglich des Verzugs beim Erstarren als eher ungünstig. Aufgrund der ausreichend dimensionierten Wanddicken führte dies zum Glück zu keinen weiteren Schwierigkeiten. Teilweise gingen bei der späteren Bearbeitung Konturen verloren, welche die Zweiteiligkeit des Modells überhaupt erst notwendig gemacht hatten. Hier empfiehlt sich eine diagonale Verrippung und ein (weniger aufwändiges) einteiliges Modell mit einer großzügiger bemessenen Bearbeitungszugabe. Gut bewährt haben sich die beidseits mitgegossenen Laschen die zum Spannen bei der Bearbeitung der Unterseite genutzt wurden und bei der nachfolgenden Bearbeitung der Oberseite entfernt wurden (siehe Zeichnung Bearbeitungsanleitung PR2_BA001).

Die Gussgrundplatte ist 400 mm breit, 1100 mm lang und besitzt eine Höhe von 65 mm. Die Masse der Platte beträgt ca. 90 kg.

Nach dem Gießen wurde die Grundplatte bei der Fa. Bodycote in Kapfenberg spannungsarm gegläht (Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeit $100^\circ/\text{h}$, 3 Stunden gehalten bei 600°C). Die nachfolgende Bearbeitung erfolgte aufgrund der Größe bei der Fa. Lentech-77 in Székesfehérvár, Ungarn.

Achsaufbau

Alle Führungen der Maschine bestehen aus gehärteten und geschliffenen Linearwellen ($\text{Ø}40\text{h}6$). Die Linearwellen werden an beiden Enden von den Wellenböcken gehalten. Um die Parallelität der Wellen zu gewährleisten wurden die Wellenböcke beider Seiten gemeinsam bearbeitet. Dabei wurden die Rohteile miteinander verschraubt und verstiftet, allseitig geschliffen und nachfolgend wurde die Aufnahmebohrungen für die Linearwellen durch beide Teile hindurch ausgespindelt (siehe **Abb. 24**). Auf den Linearwellen laufen Lagerböcke aus Aluminium mit eingepressten Linearkugellagern. Die Lagerböcke sind mit dem jeweiligen Schlitten verschraubt. Um das Spiel des Linearkugellagers einstellen zu können, ist es üblich den Lagerbock geschlitzt auszuführen. Das Linearkugellager kann mit Hilfe von Schrauben verspannt werden. Solche Lagerböcke sind z.B. von der Fa. INA fertig erhältlich, aber auch relativ teuer.



Abb. 23: Grundaufbau der Achsen (im Foto die Z-Achse)



Abb. 24: Rohteil der Wellenböcke im verschraubten und verstifteten Zustand

Als Vorschubsantrieb wurden die Schrittmotoren des Funktionsmusters übernommen. Als Antriebselemente kommen Trapezgewindespindel ($\text{Tr}16 \times 4$), gepaart mit Spindelmuttern aus Bronze, zum Einsatz. Bei den Muttern handelt es sich um eine verlängerte Ausführung, dies hat sich für das Gewindenspiel als äußerst günstig erwiesen. Die Verbindung von Motor zu Spindel erfolgt über einteilige, elastische Kupplungen. Am gegenüberliegenden Ende der Spindel ist ein Drehgeber befestigt. Diese haben im Vergleich zu den Schrittmotoren eine vielfach höhere Auflösung und ermöglichen eine Kontrolle der Schrittmotoren (Wiederholgenauigkeit der Motoren und Detektion von verlorenen Schritten). Weicht die Soll- und Ist-Position größer als ein vorgegebener Wert voneinander ab, erfolgt eine Notabschaltung der Maschine. Weiters werden die Drehgeber als indirektes Wegmeßsystem genutzt. Die momentane Ist-Position wird an einem Display angezeigt.

Im Gegensatz zum Funktionsmuster ist die obere Achse des Koordinatentisches quasi auf den Kopf gestellt. Die beiden Verbindungsplatten zwischen X- und Y-Achse sind zentral mit einem Dorn verbunden und über Langlöcher miteinander verschraubt. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit die Rechtwinkligkeit zwischen den Achsen des Koordinatentisches einzustellen.



Abb. 25: X-Y Koordinatentisch

Die Säule der Z-Achse ist eine Schweißkonstruktion mit einem schweren Formrohr mit einem Querschnitt von 300 mm x 200 mm und einer Wandstärke von 10 mm. Die Führung ist im Gegensatz zum Funktionsmuster an der Säule angebracht und die Frässpindel über einen Ausleger am Schlitten der Z-Achse befestigt. Beim Funktionsmuster führte die verwendete Ausführung zu einer starken Beschränkung der Werkstückhöhe.



Abb. 26: Säule der Z-Achse



Abb. 27: Z-Achse mit Ausleger, Motor und Massenausgleich

Ähnlich wie beim Koordinatentisch ist der Ausleger mit einem zentralen Dorn mit dem Schlitten der Z-Achse verbunden, um die Rechtwinkligkeit zwischen X- und Z-Achse einzustellen. Die Rechtwinkligkeit zwischen Y- und Z-Achse ist durch die Fertigungsgenauigkeit der Maschinenkomponenten bestimmt. Um hier

gegebenenfalls eine Einstellung vornehmen zu können, sind an der Säule vier Butzen angebracht, deren Auflageflächen z.B. durch händisches Schaben nachbearbeitet werden können. Die gewählte Maschinenbauform und die Größe des Arbeitsraums haben zur Konsequenz, dass zwischen dem Schwerpunkt der bewegten Teile und der Führung der Z-Achse ein großer Hebelarm entsteht. Um die Gesamtmasse zu kompensieren, ist in der Säule ein Gegengewicht angebracht, welches mittels Seilzug die entsprechende Gegenkraft im Gesamtschwerpunkt der bewegten Teile der Z-Achse aufbringt. Bei stehender Maschine werden dadurch die Führungswellen und der Spindeltrieb komplett entlastet. Der große Vorteil liegt in der einfachen Realisierung. Nachteilig ist die richtungsabhängige Trägheit (das Seil kann nur Zugkräfte aufnehmen) und die fehlende Kompensation der Masse des Werkzeugs. Bei Industriemaschinen werden als Massenausgleich häufig Hydraulik- oder Pneumatikzylinder eingesetzt. Die notwendigen Aggregate zur Druckerzeugung und die Regelung stellen aber einen deutlich höheren Aufwand dar.

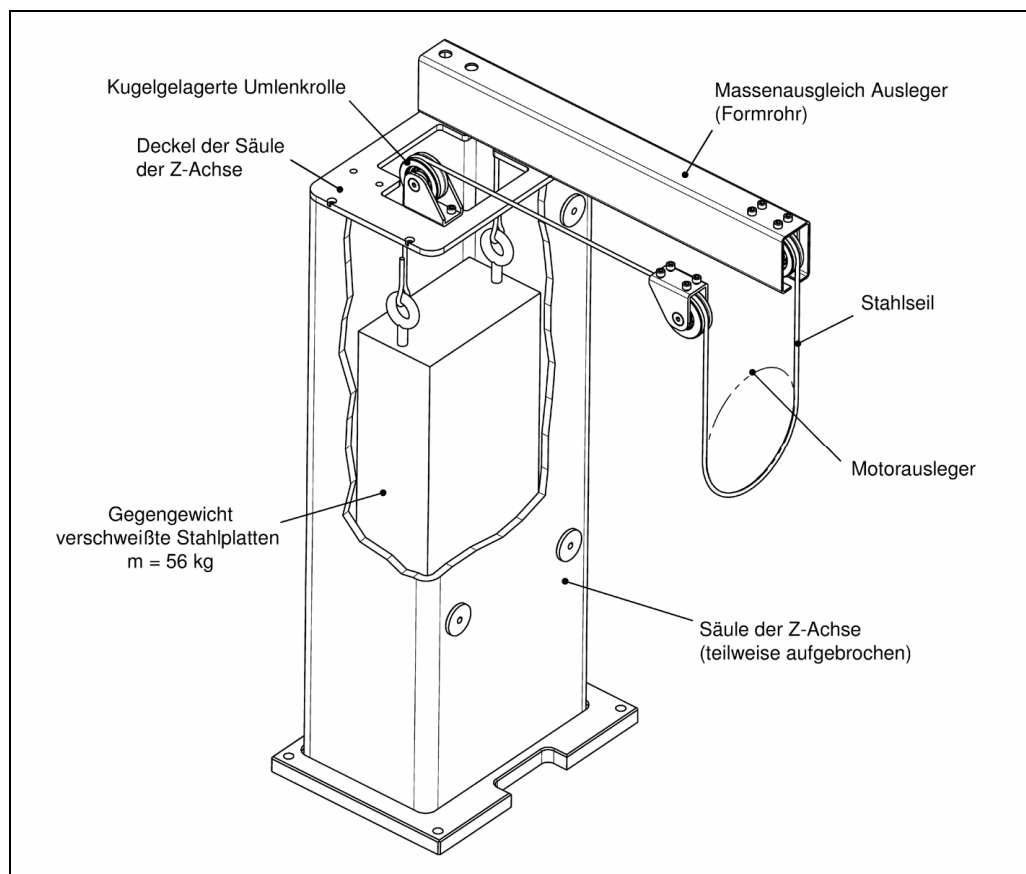


Abb. 28: Aufbau des Massenausgleichs

Abb. 28 zeigt den Aufbau des Massenausgleichs wobei zur besseren Sichtbarkeit das Formrohr des linken Auslegers nicht dargestellt und die Säule teilweise aufgebrochen ist.

Als Frästisch kam vorerst wieder eine Platte aus 18 mm starkem Birkenperrholz zum Einsatz, diese ist bezüglich Steifigkeit nicht ausreichend (mit freiem Auge erkennbare Durchbiegung bei Belastung). Die Sperrholzplatte wurde durch eine T-Nutenplatte aus Aluminium ersetzt, die im Vergleich zur Sperrholzplatte eine weit höhere Steifigkeit besitzt. Wie die späteren Untersuchungen zeigen, ist diese jedoch immer noch eine Schwachstelle.

Spielfreikonzept Spindelmutter

Einteilige Trapezgewindemuttern haben den Nachteil eines Gewindespiels und einer damit verbundenen Verringerung der Arbeitsgenauigkeit.

Versuchsweise ist die X-Achse mit einem spielfreien Spindelmutternkonzept ausgestattet. Diese besteht aus zwei Hälften die mit Zylinderstiften zueinander geführt sind und mit Federn zusammengespannt werden (siehe **Abb. 29**).

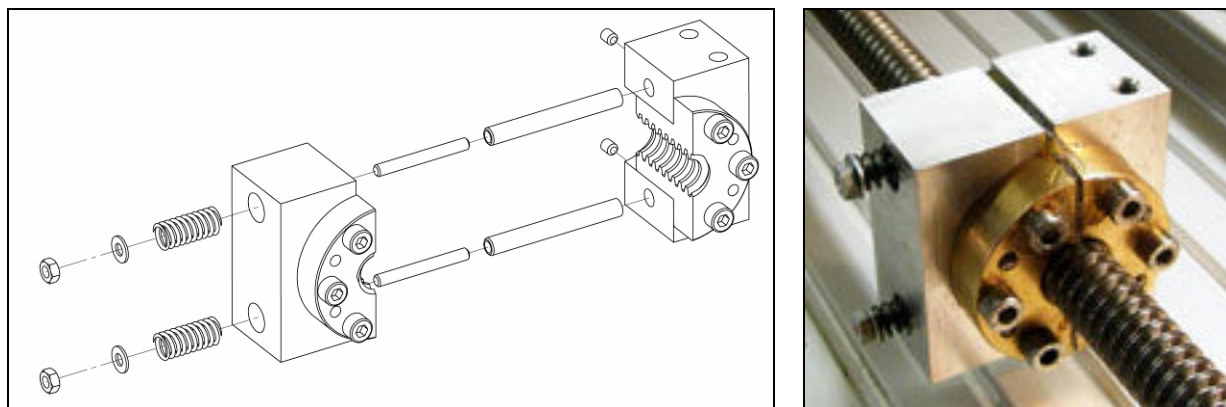


Abb. 29: Spielfreikonzept Spindelmutter

Andere Methoden wie sie zum Beispiel bei Kugelumlaufmuttern angewandt werden (z.B. axiales Verspannen zweier Einzelmutter) sind bei Trapezgewindemuttern aufgrund der höheren Reibung nicht möglich. Auch diese Variante hat den Nachteil der höheren Reibung gegenüber der ungeteilten Mutter, es sind jedoch aufgrund der geringen Sprengwirkung des Trapezgewindes nur geringe Federkräfte nötig. Ein großer Vorteil dieser Mutter ist das selbstständige Nachstellen bei Verschleiß. Um ein genaues passen der Teile zu gewährleisten, wurde der Mutterbock zusammen mit der verschraubten und verstifteten Mutter mittels Scheibenfräser in zwei Hälften geteilt. Die Bohrungen für die Führungsstifte wurden vor dem Teilen eingebracht. Das Gewinde wurde an den Trennflächen mit Fetteinläufen versehen und der Spalt zwischen beiden Teilen mit Fett gefüllt.

2.2.2 Steuerung der Maschine

Um die Fräsmaschine anzusteuern musste die Elektronik stark verändert werden. Die Verwendung von hochauflösenden Drehgebern erfordert entsprechende leistungsfähige Elektronik zum Auswerten.

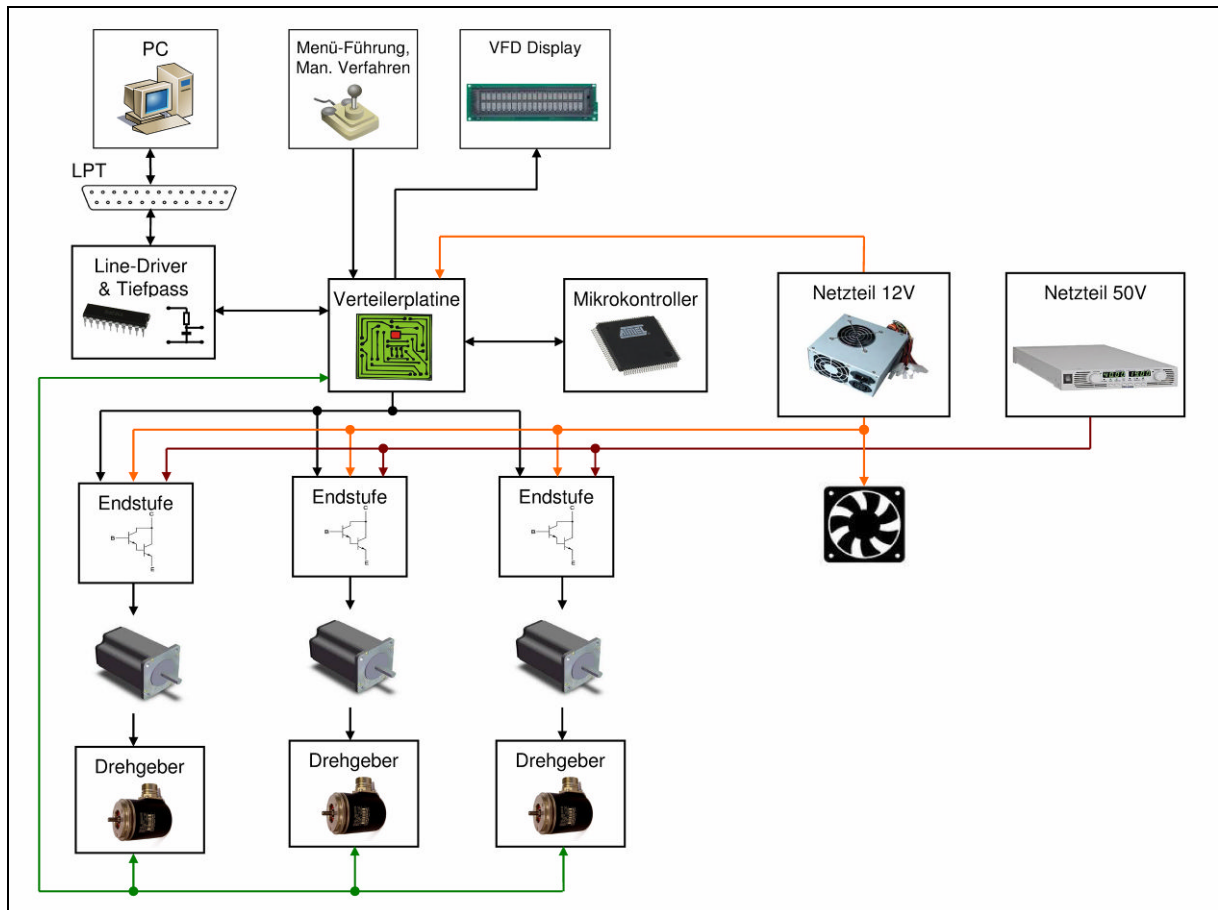


Abb. 30: Schematischer Aufbau der Elektronik

Die Stromversorgung der Schrittmotoren wurde auf 50V umgestellt. Die höhere Spannung bewirkt einen schnelleren Stromanstieg in den geschalteten Phasen der Schrittmotoren und ermöglicht dadurch höhere Vorschubgeschwindigkeiten.

LPT Treiberplatine (Line-Driver & Tiefpass)

Die Treiberplatine wurde um mehrere Signale erweitert. Neben den Ansteuersignalen für die Schrittmotoren wird das Signal für die Steuerung der Fräsmotordrehzahl (Verarbeitung von S-Werten des G-Codes) über den Treiber geleitet. Als Treiberbaustein kommt nun der IC 74HC245 zum Einsatz. Dieser hat im Vergleich zum 74HC244 die Möglichkeit die Übertragungsrichtung frei zu wählen. Der Grund, für dessen Verwendung liegt jedoch in der günstigeren Anordnung der Eingänge und Ausgänge die jeweils auf einer Seite des ICs liegen und somit das Layout stark vereinfachen.

Die Signale der Endschalter sind über Optokoppler mit der parallelen Schnittstelle verbunden. Versorgt wird die Platine über die Verteilerplatine (5V), eine solche Leitung ist an der parallelen Schnittstelle nicht vorgesehen daher ist es nicht möglich die Versorgungsplatine direkt mit dem PC zu verbinden (Kurzschluss!).

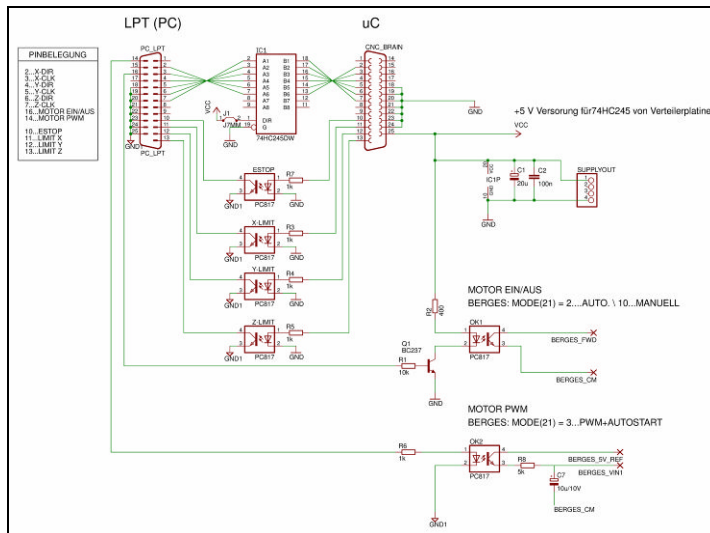


Abb. 31: Schaltplan

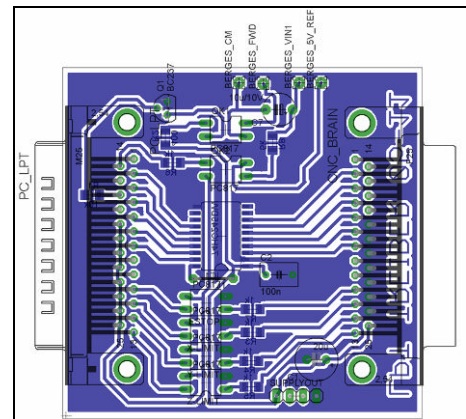


Abb. 32: Platinen Layout

Von der Treiberplatine zweigt auf einer Seite ein Kabel ab (in **Abb. 32** am oberen Rand der Platine zu sehen). Diese vier Leitungen dienen der Ansteuerung des Frequenzumformers (FU). Ein verbinden der Klemmen BERGES_FWD und BERGES_CM schaltet den Frequenzumformer ein (Verarbeitung des M03-Befehls). BERGES_5V_REF ist eine Referenzspannung die an einer Klemme des FU bereitgestellt wird. Aus dieser wird über eine Pulsweitenmodulation (PWM) am Optokoppler und anschließender Glättung eine Analogspannung erzeugt (BERGES_VIN1), welche die ausgegebene Frequenz und damit die Drehzahl des Motors bestimmt (Verarbeitung von S-Wörtern).

Verteilerplatine

Aufgabe der Verteilerplatine ist es alle Signale der Steuerungsplatine auf die Module der Peripherie weiterzuleiten. Bevorzugterweise sollte diese Platine mit der Steuerungsplatine einteilig ausgeführt werden um unempfindlicher gegen Störeinflüsse zu sein. Aufgrund des kleinen Mikrokontrollergehäuses (SMD, LQFP Gehäuse, 100 Pin Rastermaß 0,5mm) müsste diese Platine wahrscheinlich extern gefertigt und bestückt werden.

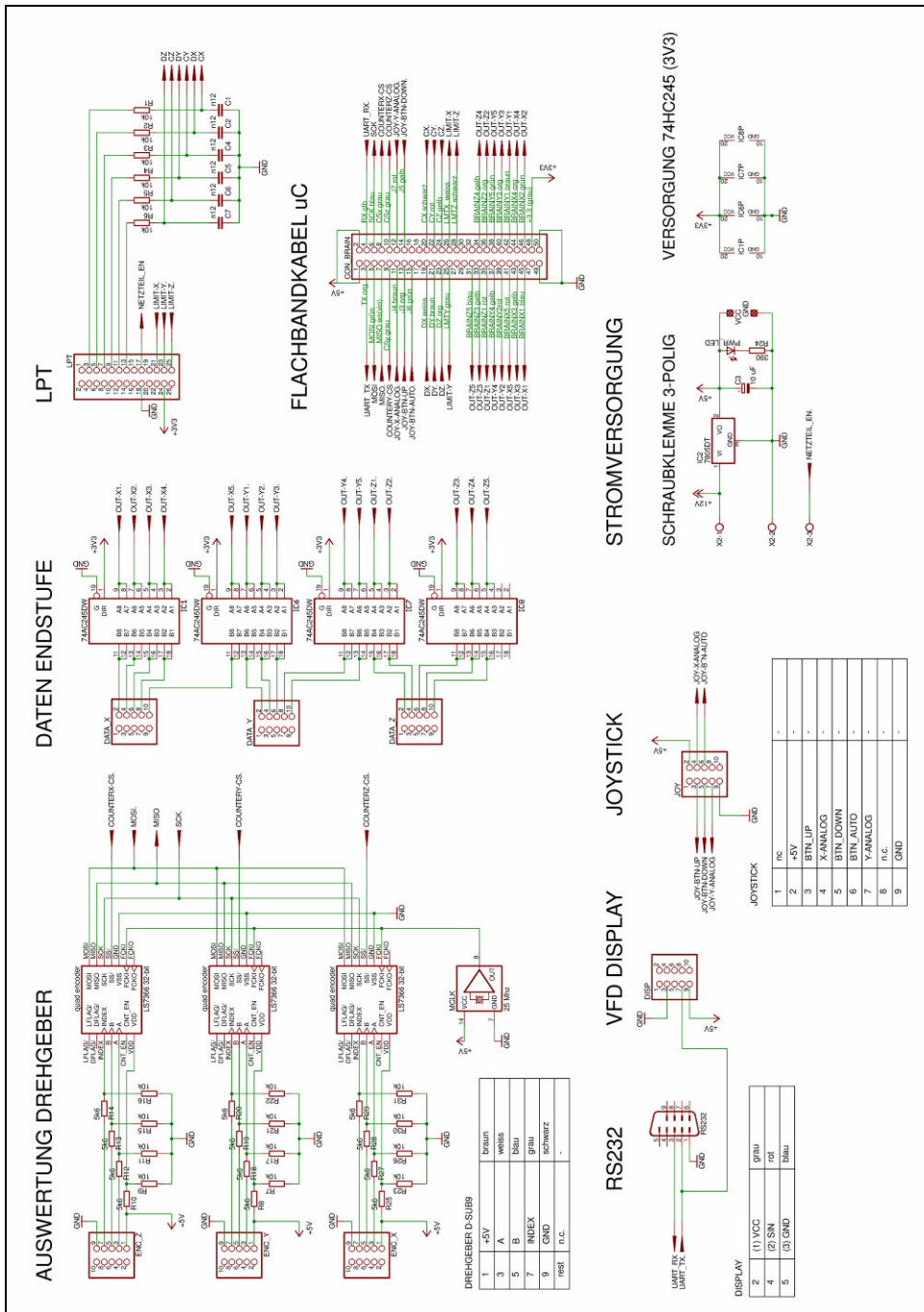


Abb. 33: Schaltplan der Verteilerplatine

Abb. 33 zeigt die einzelnen Komponenten der Verteilerplatine. Die 2x13 Stiftleiste „LPT“ dient als Schnittstelle zum PC. Über diese werden die Schrittsignale für die Schrittmotoren empfangen und das Hauptnetzteil gesteuert. Die Schrittmotorsignale (Richtungsbit und Schrittpuls) werden über einen Tiefpass geleitet um Störsignale zu unterdrücken. Außerdem können Informationen wie das Erreichen der Endschalter oder ein Notaussignal bei zu großer Abweichung zwischen Ist- und Sollposition an den PC gesendet werden. Die Kommunikation zum Mikrokontroller erfolgt über ein 50-poliges Flachbandkabel.

Die Auswertung der Drehgeber erfolgt über 32-bit Quadratur Zähler-ICs der Fa. LSI (LS7366). Diese verarbeiten den Indexpuls und die beiden 90° -phasenverschobenen Signale der Drehgeber und erhöhen bzw. verringern entsprechend einen intern abgelegten 32-bit Integerwert. Dieser kann mittels SPI (Serial Peripheral Interface) abgerufen werden, wobei für die Datenübertragung nur ein Momentanwert herangezogen wird und während der Übertragung weitergezählt wird. Versuche Inkrementalgeber direkt über den Mikrokontroller auszuwerten scheitern oft an einem „Übersehen“ von Signalen während der Verarbeitung oder Weitergabe der Informationen. Dieses Problem wird naturgemäß immer gravierender je höher die Auflösung der Drehgeber und je höher die Verfahrensgeschwindigkeiten sind, da beide Faktoren die Impulsfrequenz erhöhen. Da der Interne Zähler keine negativen Zahlen darstellen kann, wird beim Nullsetzen bzw. bei Start des Mikrokontrollers der Zählerstand auf einen Mittenwert gesetzt („0“ = $2^{32}/2$). Die Hälfte des Gesamtzählbereichs ist bei weitem ausreichend. Die Drehgeber werden mit 5V versorgt und liefern ihre Signale ebenfalls mit dieser Spannung. Die Zähler-ICs werden jedoch um mit dem Mikrokontroller kompatibel zu sein mit 3.3V versorgt. Aus diesem Grund werden die Signale der Drehgeber mittels Spannungsteiler auf den niedrigeren Pegel gebracht.

Die Signalweitergabe an die Endstufen erfolgt über 74HC244 Leitungstreiber. Um für die Endstufen des Funktionsmusters genügend Ansteuerstrom liefern zu können, werden pro Signal jeweils zwei Kanäle des Leitungstreibers genutzt.

Steuerungsplatine

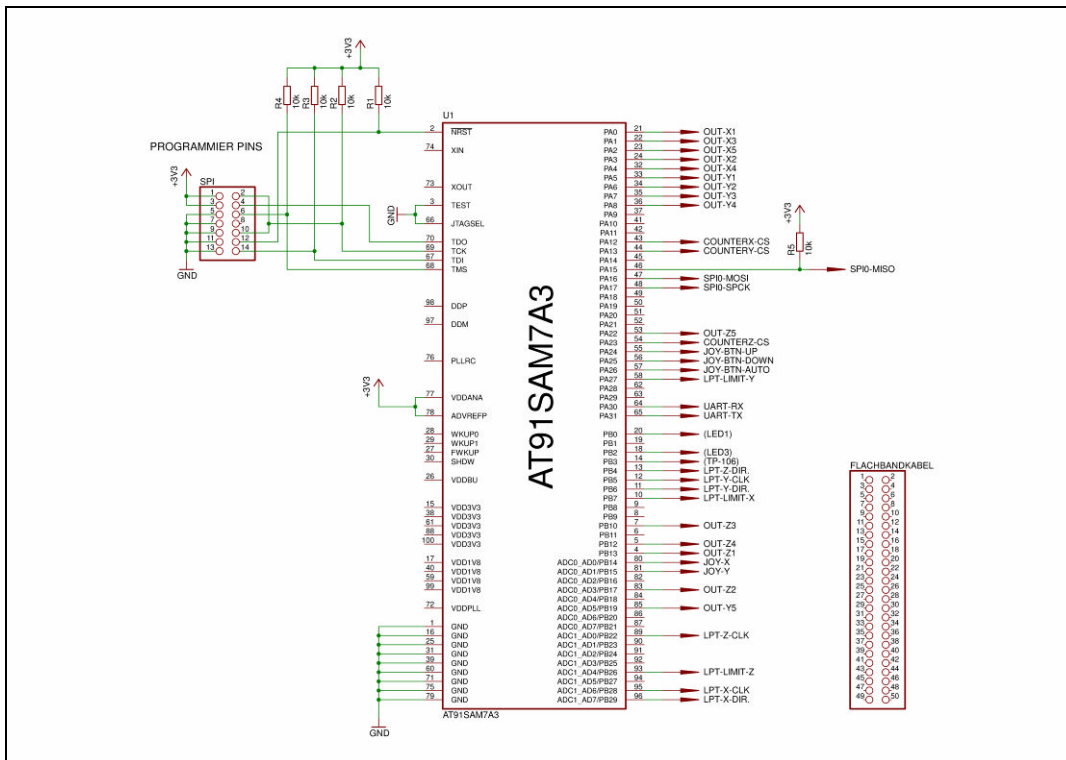


Abb. 34: Pinbelegung AT91SAM7

Als zentrale Einheit der Steuerung wurde auf eine bestehende Platine zurückgegriffen auf der sich ein AT91SAM7 Mikrokontroller befindet. Viele Pins des Mikrokontrollers sind über Testpunkte auf der Platine von außen zugänglich. An diese wurden Leitungen eines Flachbandkabels angelötet und der Mikrokontroller wurde dementsprechend mit einem neuen Programm versehen. Hier ist es sinnvoll auf ein von den Mikrokontrollerherstellern erhältlichen Entwicklungsboard (Evaluationboard) zurückzugreifen, dies ermöglicht auch eine saubere Kontaktierung.



Abb. 35: Foto der Steuerungsplatine

Schrittmotorendstufe (Marpet v0.25)

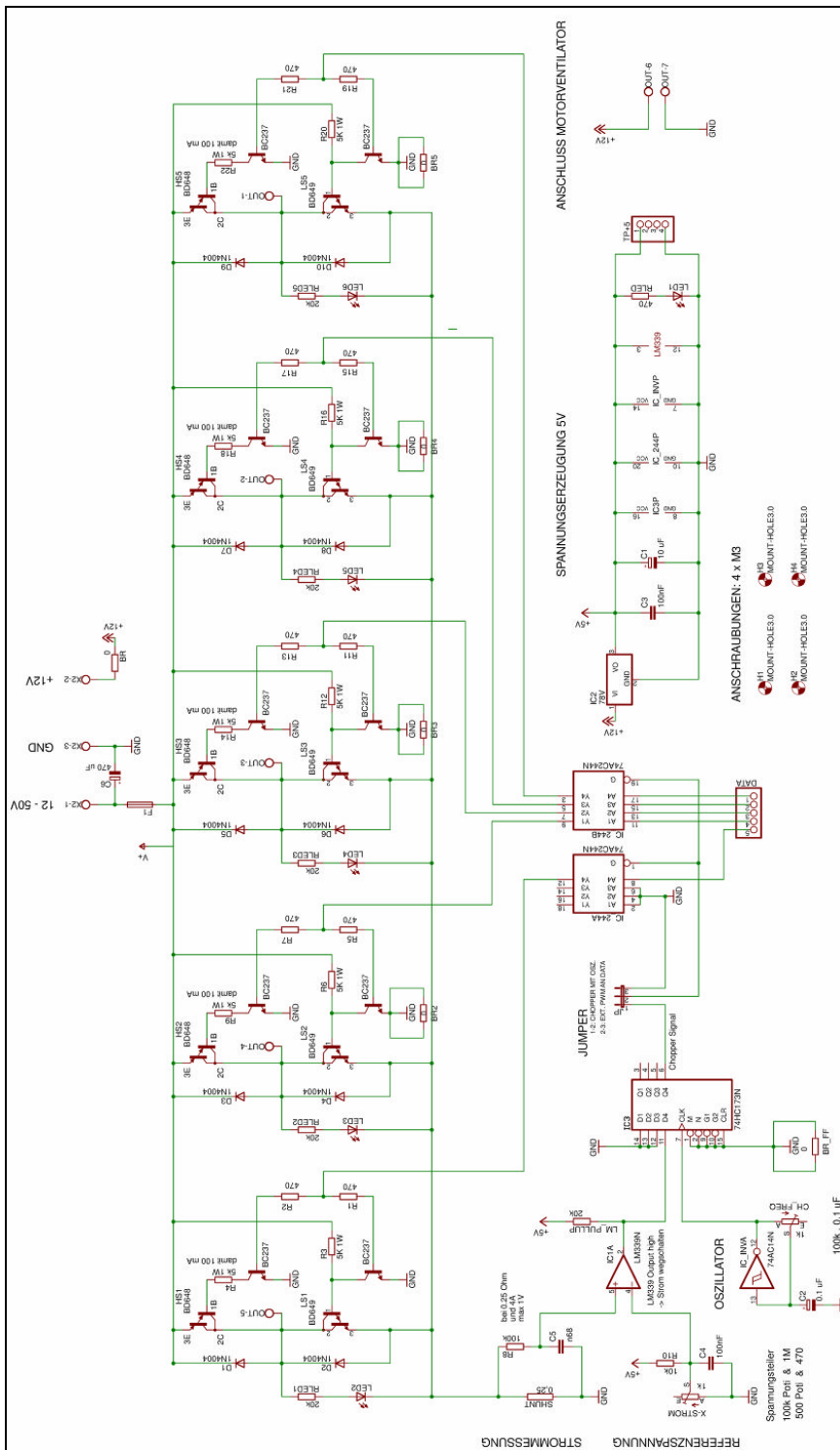


Abb. 36: Schema Schrittmotorendstufe v0.25

Für die Fräsmaschine wurden die Schrittmotorendstufen komplett überarbeitet. Diese sind nicht mehr auf 36V begrenzt, die maximale Chopperfrequenz wird über einen Oszillator und einem D-Flip-Flop vorgegeben.

Als High-Side Schalter (HS1-HS5) kommen PNP- und als Low-Side Schalter (LS1-LS5) NPN-Darlington Transistoren zur Anwendung. Diese werden wieder gemeinsam mit einem Signal angesteuert.

Anstelle des Choppertransistors tritt ein 74HC245 Line-Driver, der im Falle eines zu hohen Stroms, über sein Enable alle Ausgänge in einen hochohmigen Zustand versetzt. In diesem Zustand sperren die High-Side Transistoren und die Low-Side Transistoren schalten zu Ground (GND). Der Übergang zum gesperrten Zustand kann durch Anbringung von Pull-Down Widerständen an den Ausgängen des Line-Drivers beschleunigt werden, dieser wird aber dadurch beim Schalten dementsprechend stärker belastet. Die Linearität der Stromeinstellung und Frequenzverhalten der Schaltung ist, im Vergleich zur Endstufe des Funktionsmusters, stark verbessert.

Aufgrund der fehlenden Totzeit zwischen dem Schalten der High-side und Low-side Transistoren ist ein Kurzschluss der Halbbrücke nicht gänzlich ausgeschlossen. Die Transistoren werden während des Betriebes relativ warm und müssen mit Ventilatoren gekühlt werden.

Durch Verwendung dieser Endstufe war es möglich Vorschubgeschwindigkeiten von 5 m/min zu erreichen (mit unverspannter Mutter). Hierzu ist aufgrund der hohen Schrittzahl der Schrittmotoren eine Schaltfrequenz von ca. 12 kHz notwendig. Mit einer überschlägigen Berechnung sieht man, dass die verwendeten Transistoren bei noch höheren Vorschubgeschwindigkeiten zu langsam schalten (die damit verbundenen hohen Schaltverluste führen zu einer entsprechend starken Erwärmung).

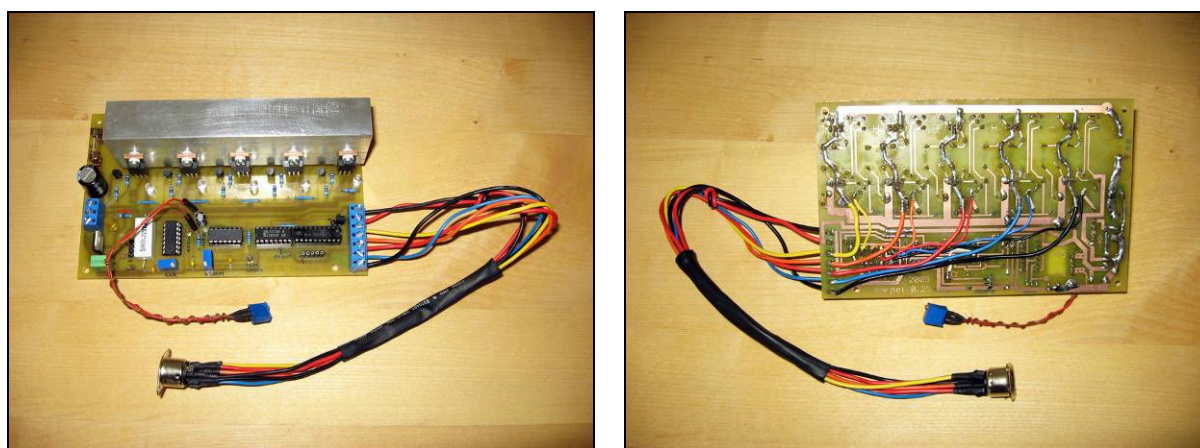


Abb. 37: Foto der Schrittmotorendstufe v0.25

Abb. 37 zeigt die Ober- und Unterseite einer einzelnen Schrittmotorendstufe. Der große Aluminiumblock dient als Kühlkörper für die Transistoren. Dieser wurde später noch mit Längsrippen an der Oberseite versehen, um die Oberfläche zu vergrößern und die Kühlwirkung weiter zu verbessern. Zu sehen ist auch ein fliegend angelötetes Spindelpotentiometer. Dieses dient der Einstellung der Glättung des gemessenen Stroms (Eingang für den Komparator) und war ursprünglich als Festwiderstand vorgesehen.

3 Berechnung der Maschinensteifigkeiten

Im Folgenden soll die gebaute Fräsmaschine rechnerisch auf ihre Steifigkeit untersucht werden. Mit Hilfe des Programms MathCAD wurde vorab an vereinfachten Baugruppen der bestehenden Maschine die Verformung „händisch“ ermittelt. Die Verformung derselben Baugruppen wurde anschließend mit dem Finite Elemente Programm Ansys Workbench simuliert. Der Vergleich mit den händisch ermittelten Ergebnissen erlaubt eine gewisse Verifikation. Als Federsteifigkeit der Kugelumlaufbuchsen wurde in dieser Voruntersuchung ein Wert von $c = 10\,000\text{ N/mm}$ angenommen. Dieser Wert ist geringer als die tatsächliche Steifigkeit und deckt damit größere Verformungen ab.

Das tatsächliche Steifigkeitsverhalten der Kugelumlaufbuchsen ist ein wichtiger Aspekt in der späteren Simulation der Gesamtmaschine. Als Grundlage dient die Federkennlinie der Buchse KH40, die freundlicherweise von der Fa. INA zur Verfügung gestellt wurde.

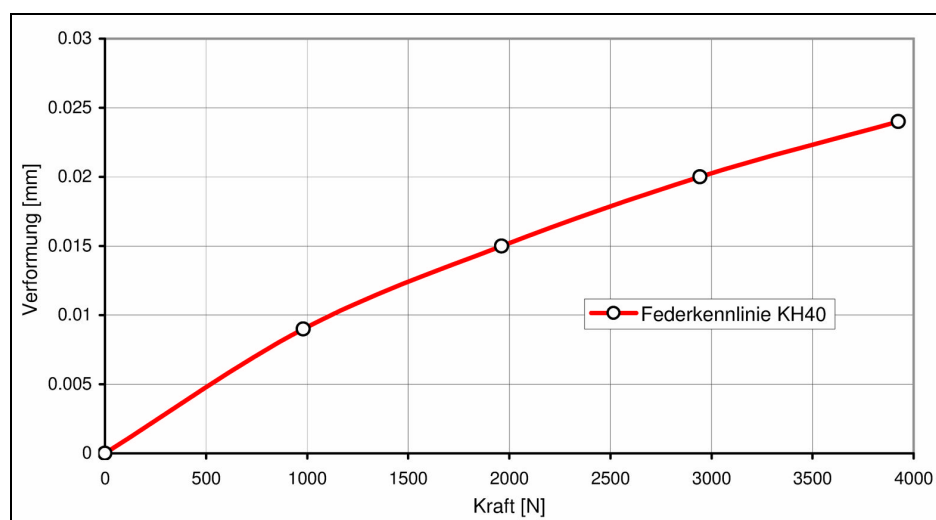


Abb. 38: Federkennlinie der Kugelumlaufbuchse KH40 nach Fa. INA [6]

Wie in **Abb. 38** zu sehen, ist die Federkennlinie der verwendeten Kugelumlaufbuchse KH40 nichtlinear. Der Grund dafür ist zum Beispiel, dass in Folge einer wachsenden Belastung immer mehr Laufkörper in Kontakt kommen und somit der Widerstand gegen weitere Verformung anwächst.

Um die Verformung in einer einzelnen Kugelumlaufbuchse nachzubilden wurden so genannte „Bushing“-Kontaktelemente verwendet. Mit diesen ist es möglich der Kontaktfläche zweier sich berührender Körper eine Steifigkeits- und eine Dämpfungsmatrix zuzuordnen, allerdings nur auf ein lineares Verhalten beschränkt. Da das Modell in der Simulation nur mit Kräften bis ca. 1000 N belastet wird, wird als Approximation die mittlere Federsteifigkeit zwischen 0 N und 1000 N herangezogen. Diese beträgt $c_m = 97810\text{ N/mm}$.

3.1 Vorabuntersuchungen an einzelnen Baugruppen

Verformung einer einzelnen Kugelumlaufbuchse

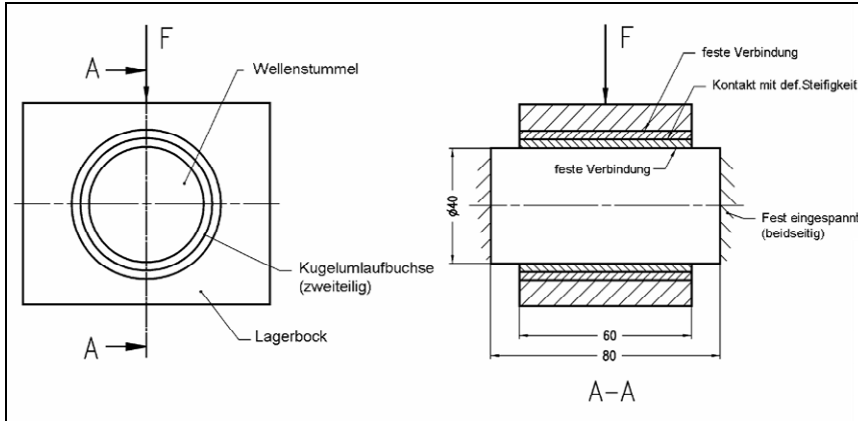


Abb. 39: Modell der Kugelumlaufbuchse

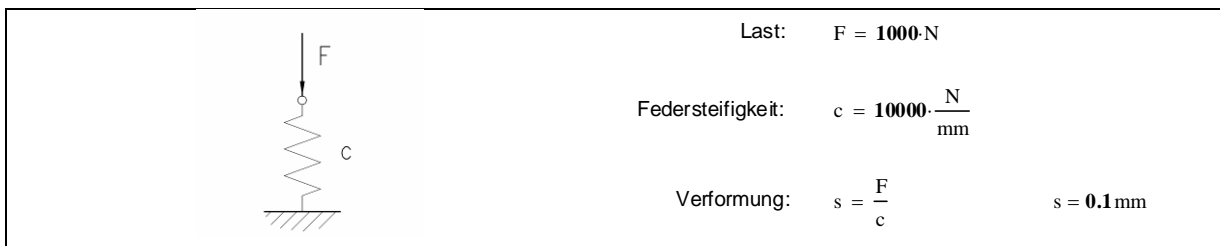


Abb. 40: Ersatzmodell für die Berechnung

Abb. 40 zeigt das Ersatzmodell für eine überschlägige Berechnung der Verformung einer einzelnen Kugelumlaufbuchse. Die einfache Rechnung zeigt, dass bei der angenommenen Last und der frei gewählten Federsteifigkeit eine Verformung von 0,1 mm zu erwarten ist.

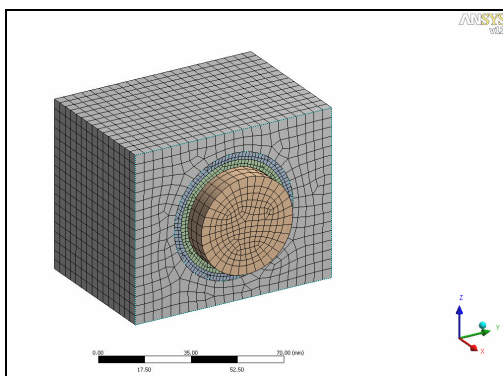


Abb. 41: FE-Netz des Lagerbocks

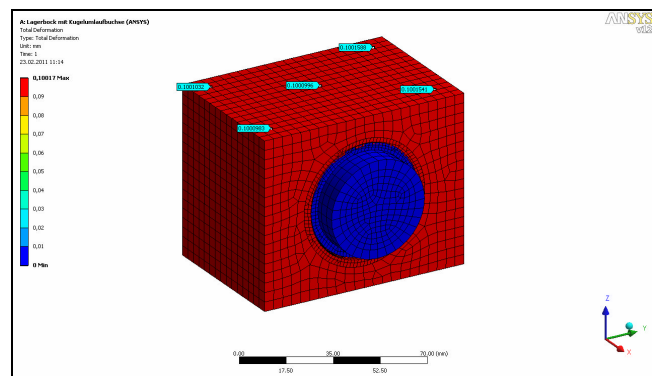


Abb. 42: Verformung des Lagerbocks

Abb. 41 und **Abb. 42** zeigen die vernetzten Bauteile bzw. die simulierte Verformung. Die händische Berechnung und die Simulation stimmen grundsätzlich gut überein. Versuche die Kugelumlaufbuchsen mit zwischen Welle und Lagerbock gleichmäßig verteilten Einzelfedern nachzubilden lieferten dagegen keine brauchbaren Ergebnisse.

Verformung einer einzelnen Führung

Um das Zusammenspiel zwischen Kugelumlaufbuchse und Linearwelle zu untersuchen, wurden folgende Ersatzmodelle verwendet.

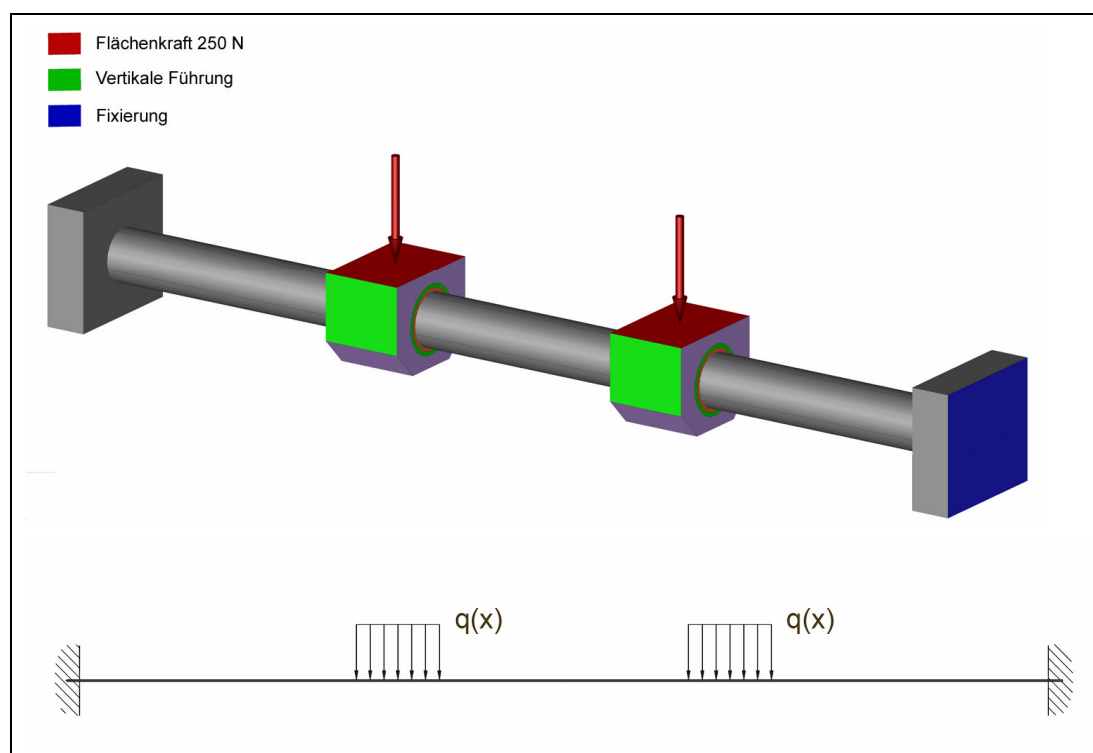
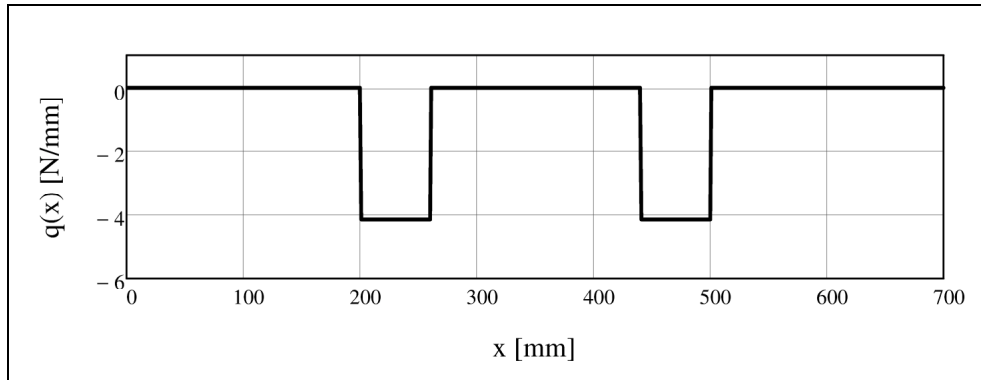


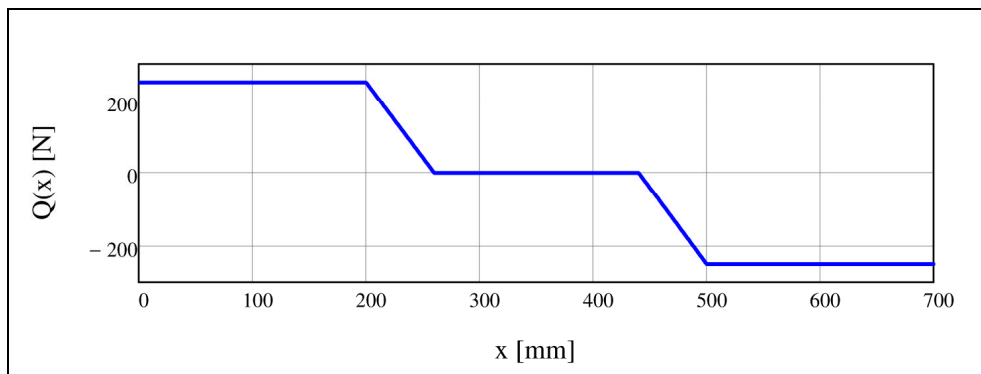
Abb. 43: Modelle für die Simulation und händische Rechnung

Wie in **Abb. 43** zu sehen, wurde eine Führung aus der Maschine herausgeschnitten. Die Abbildung zeigt das Modell für die Simulation und darunter das Ersatzmodell der Linearwelle für die händische Rechnung. Es wurde dabei die Durchbiegung der Linearführung nach der Balkentheorie erster Ordnung ermittelt und mit der Verlagerung der Lagerböcke wie in der vorhergehenden Untersuchung superpositioniert.

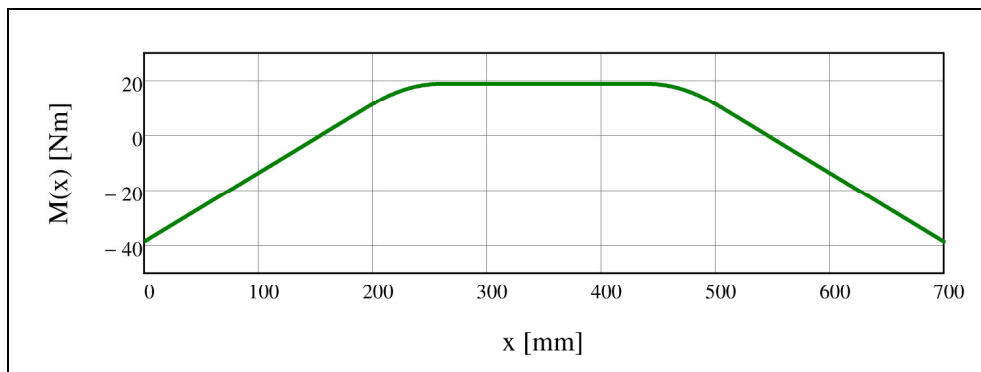
Die Maschine soll in der späteren Untersuchung mit einer Kraft von 1000 N belastet werden. Unter der Annahme einer gleichmäßigen Verteilung auf die Lagerböcke ergibt sich eine Belastung von 250 N je Kugelumlaufbuchse. Wird nun die gleiche Federsteifigkeit wie vorhin angenommen, ergibt sich eine Verformung der Kugelumlaufbuchse von $s_1 = 0.025$ mm.



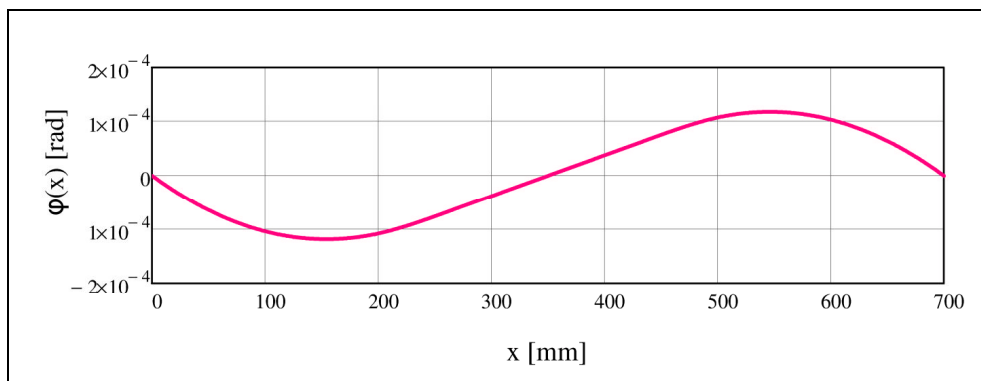
a) Streckenlastverlauf



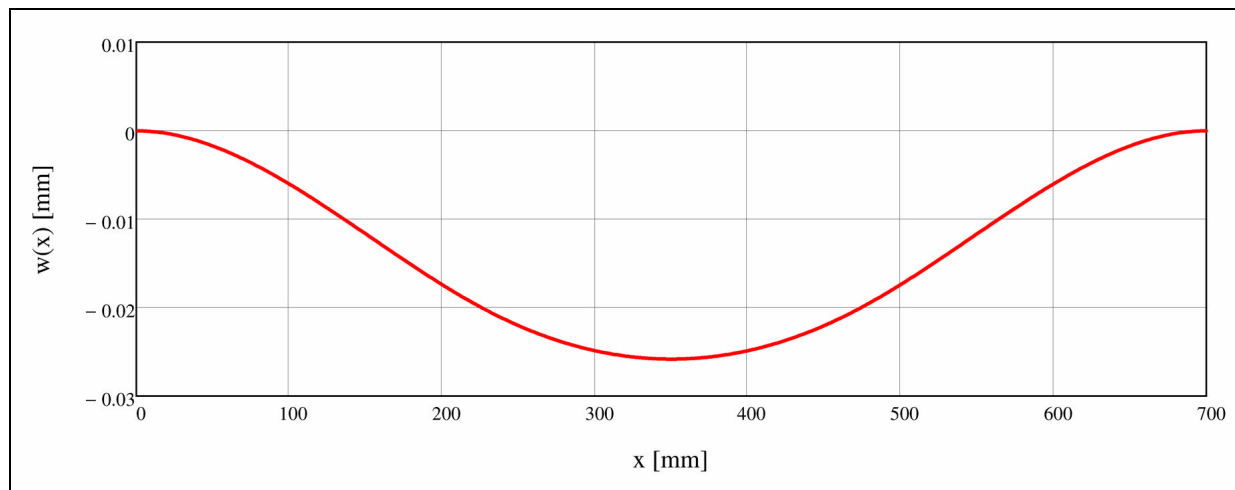
b) Verlauf der Querkraft



c) Momentenverlauf



d) Verlauf des Biegewinkels



e) Biegelinie der Führung

Abb. 44: Verlauf der Schnittgrößen

Im Bereich der Kugelumlaufbuchsen (Buchsenmitte bei 230 mm und bei 470 mm) ergibt sich eine Durchbiegung von $s_2 = 0.0204$ mm. Zusammen mit der Verformung der Kugelumlaufbuchse ergibt dies eine Gesamtverformung von $s_{ges} = 0.0454$ mm.

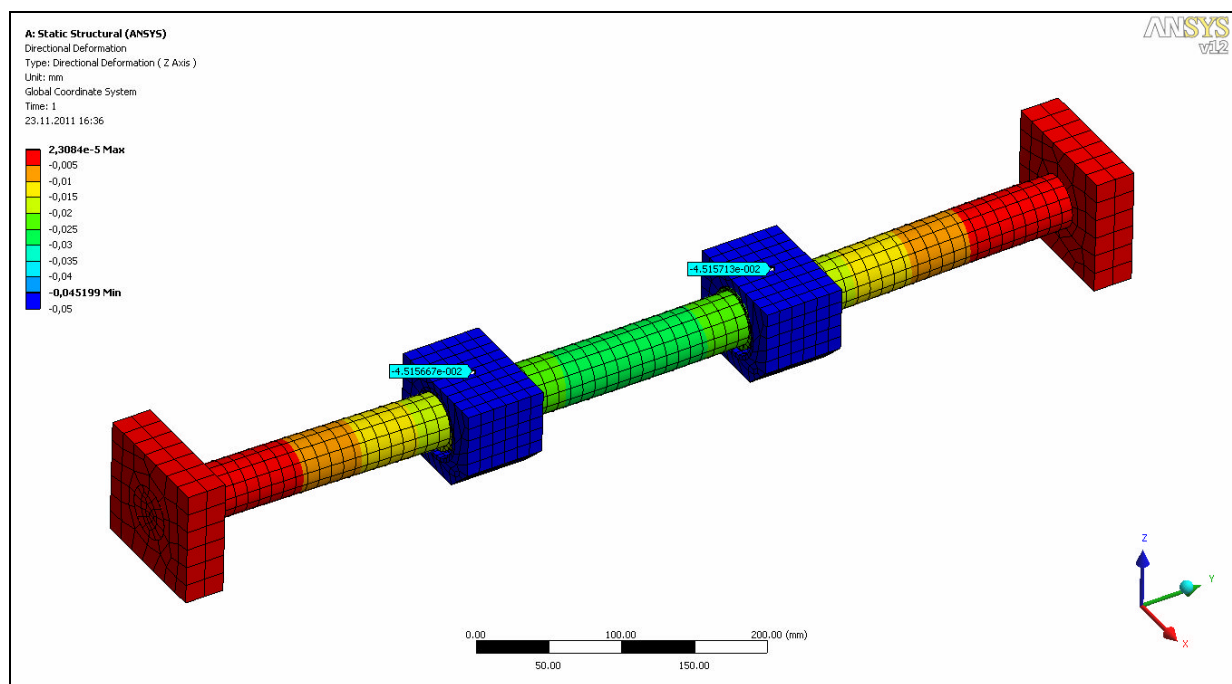


Abb. 45: Ergebnisse der FE-Simulation

Abb. 45 zeigt das Verformungsbild der Führung. Die Verformung in Buchsenmitte beträgt laut Simulationsergebnis $s_{sim} = 0.0452$ mm. Auch in diesem Beispiel zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Simulation und händischer Rechnung. In weiterer Folge wurden die Baugruppen um Bauteile erweitert und die Ergebnisse in ähnlicher Weise auf Plausibilität überprüft.

3.2 Simulation der bestehenden Maschine

Annahmen und Vereinfachungen

Um die bestehende Maschine einer finiten Elemente Simulation zu unterziehen mussten einige Vereinfachungen gemacht werden, diese sind wie folgt:

- Geometrievereinfachung (Entfernung der Bohrungen und kleiner Konturen)
- Kugelumlaufbuchsen als „Bushing“-Element nachgebildet
- Einzelteile der Maschine werden als fest miteinander verbunden angenommen
- Reduktion des Massenausgleiches auf Ersatzkraft und -moment, die Seilkräfte am Motorausleger werden durch eine Einzelkraft ersetzt
- Vorschubspindeln werden als Zylinder mit gleichem Zugspannungsquerschnitt modelliert
- Vorschubspindellagerung wird als starr angenommen.

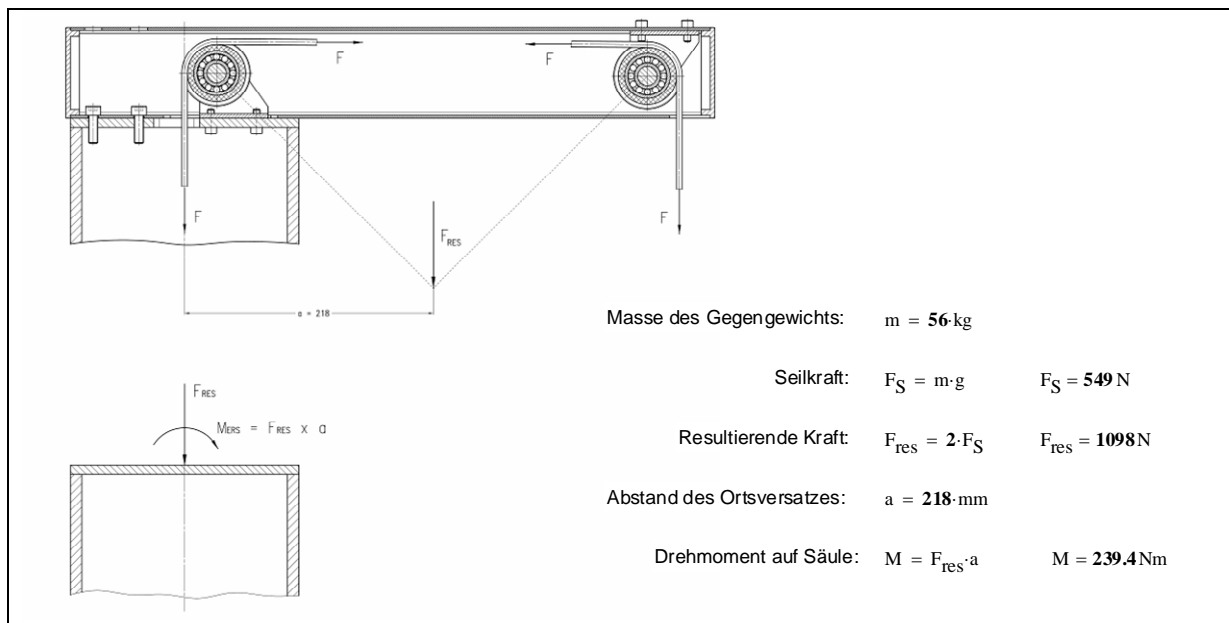


Abb. 46: Ersatzmodell für den Massenausgleich

Abb. 46 zeigt das gewählte Ersatzmodell für den Massenausgleich. Wie in der Abbildung ersichtlich, kann aus den Seilkräften eine resultierende Kraft F_{RES} gebildet werden. Diese wird nun auf Säulenmitte verschoben, wobei der Ortsversatz mittels Drehmoment kompensiert wird. Diese Vorgehensweise ist ohne Fehler nur für starre Körper zulässig und es ergeben sich daher im Bereich des Säulendeckels unrealistische Spannungen und Verformungen die jedoch nicht weiter von Bedeutung sind, da sie die Verschiebung der Fräterspitze kaum beeinflussen.

Modell und Randbedingungen

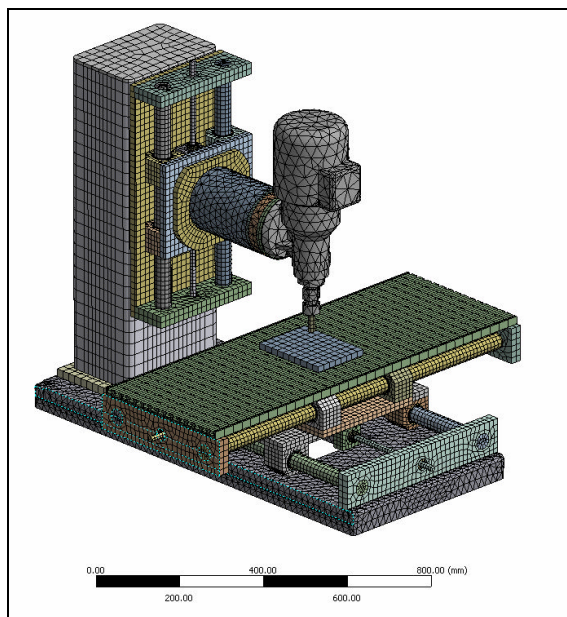
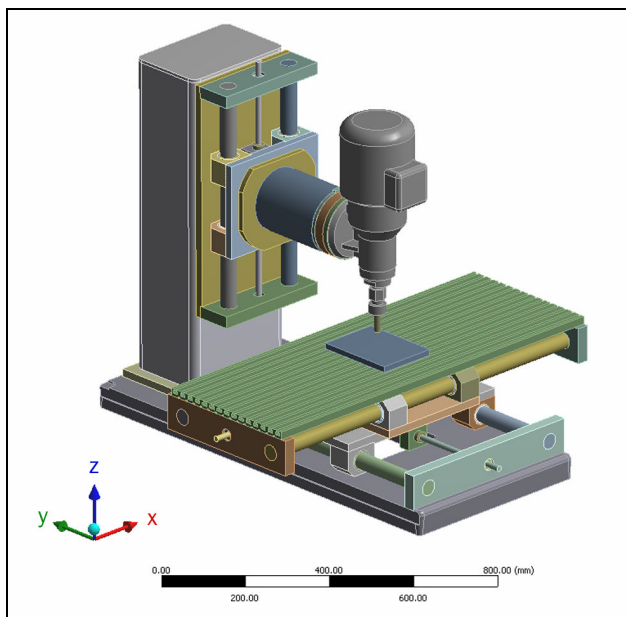


Abb. 47: Vereinfachtes CAD Modell der Maschine

Abb. 48: FE-Netz

Abb. 47 zeigt das vereinfachte CAD-Modell der Fräsmaschine und **Abb. 48** das vernetzte Modell. Das Netz besteht hauptsächlich aus quaderförmigen Elementen, nur im Bereich komplexer Geometrie (Motor, Grundplatte,...) wird ein Netz aus Tetraedern (10-Node) verwendet. Das Netz besteht aus 77970 Elementen mit insgesamt 297186 Knoten.

Der Fräsmotor wird als starrer Körper angesehen der aus einem Material mit fiktiver Dichte besteht, um über das Volumen die tatsächliche Motormasse zu erhalten.

Für die einzelnen Belastungsfälle wird angenommen, dass die Belastung flächig über das modellierte Werkstück in den Aufspanntisch eingeleitet wird. Der Fräsmotor wird mit derselben Kraft, entsprechend einer Reaktionskraft, in entgegengesetzter Richtung belastet. Die Belastung erfolgt jeweils entlang der einzelnen Achsen des Koordinatensystems (siehe **Tab. 4**)

Belastungsfall	Kraft auf Werkstück	Kraft auf Frässpindel
I	$F_{WS} = [-1000 \ 0 \ 0]^T \cdot N$	$F_{FS} = [1000 \ 0 \ 0]^T \cdot N$
II	$F_{WS} = [0 \ 1000 \ 0]^T \cdot N$	$F_{FS} = [0 \ -1000 \ 0]^T \cdot N$
III	$F_{WS} = [0 \ 0 \ -1000]^T \cdot N$	$F_{FS} = [0 \ 0 \ 1000]^T \cdot N$

I-III: Auf die gesamte Maschine wirkt zusätzlich die Erdbeschleunigung $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Tab. 4: Übersicht der Belastungsfälle

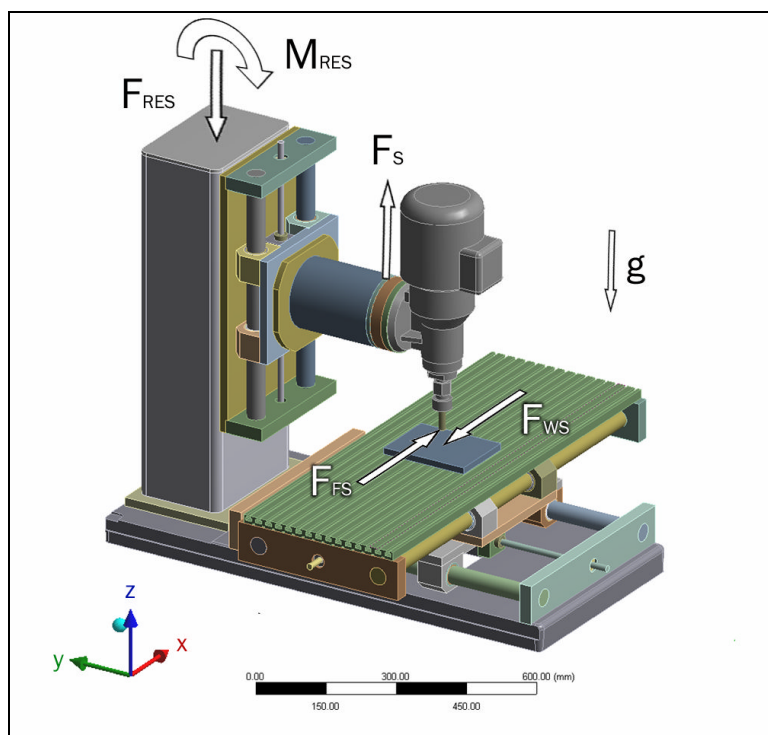


Abb. 49: Auf die Maschine wirkende Größen

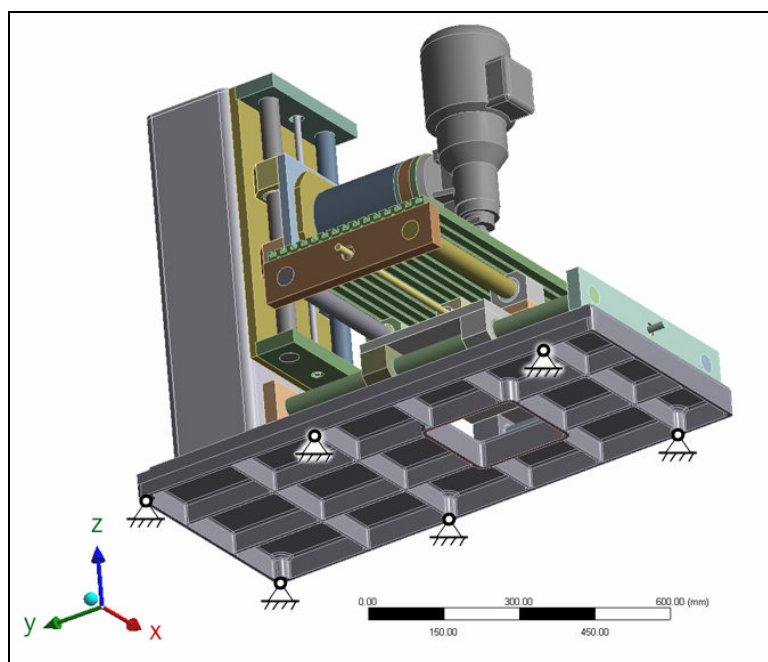


Abb. 50: Auflagerpunkte der Maschine für die Simulation

Abb. 49 zeigt die auf die Maschine wirkenden Größen: die Ersatzkräfte F_{RES} und F_S und das Ersatzmoment M_{RES} des Massenausgleichs, die Erdbeschleunigung g und die Belastungskräfte F_{FS} und F_{WS} . Die Belastungskräfte haben je nach Belastungsfall eine andere Richtung als in der Abbildung dargestellt. Abb. 50 zeigt die an der Unterseite der Grundplatte gewählten Auflagerpunkte. Diese befinden sich mittig an den Anschraubstellen.

Die Stellungen der einzelnen Achsen sind so gewählt, dass alle Schlitten sich in mittiger Position befinden.

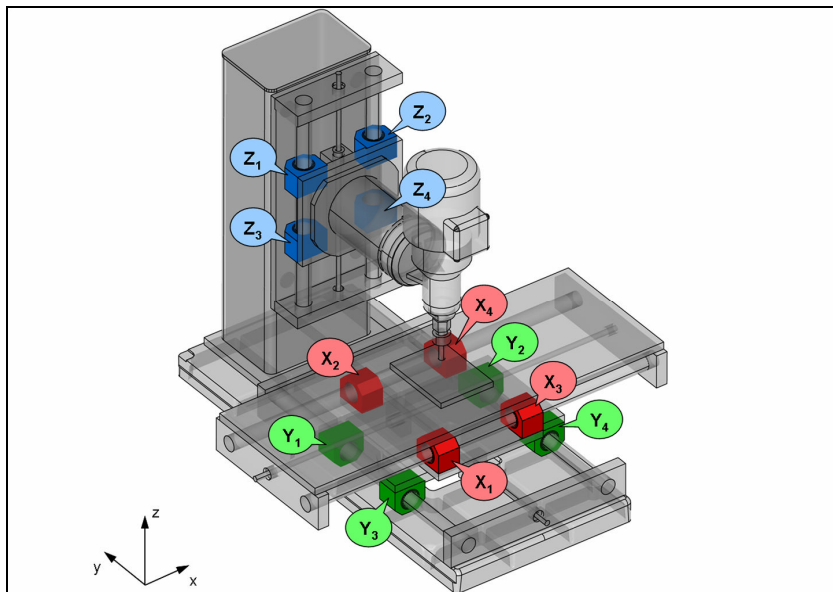


Abb. 51: Benennung der Kugelumlaufbuchsen

Für spezifische Ergebnisse zu einzelnen Kugelumlaufbuchsen wird auf die Benennung nach **Abb. 51** verwiesen. Diese Unterscheidung ist insbesondere von Bedeutung, wenn bei der Simulation die Reaktionskräfte in den Kugelumlaufbuchsen ermittelt werden.

Definition der Maschinensteifigkeit

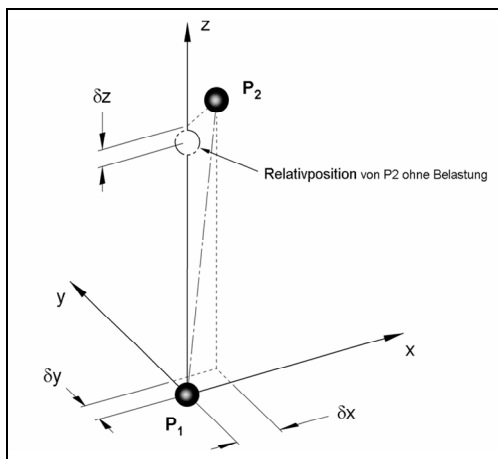


Abb. 52: Definition der relativen Steifigkeit

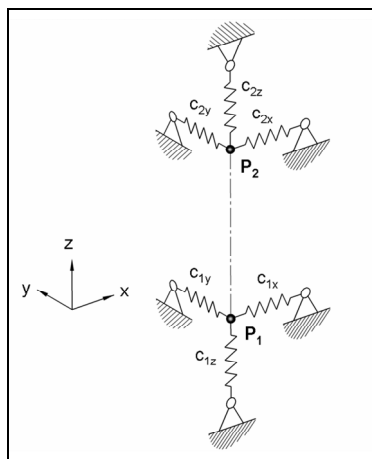


Abb. 53: Definition der absoluten Steifigkeiten

Um die Steifigkeit der Maschine zu beschreiben, werden zwei Definitionen eingeführt. Als Grundlage werden zwei Referenzpunkte angenommen, Punkt P_1 am Werkstück und Punkt P_2 an der Werkzeugspitze. Die relative Steifigkeit (**Abb. 52**) wird aus der Belastungskraft und der Relativverschiebung der beiden Punkte

gebildet. Diese Steifigkeit ist ausschlaggebend für die geometrischen Fehler am erzeugten Werkstück. Die absolute Steifigkeit (**Abb. 53**) betrachtet beide Punkte unabhängig voneinander und wird aus der Belastung und den jeweiligen Verschiebungen der Referenzpunkte gebildet. Mit Hilfe der absoluten Steifigkeit kann der Einfluss der Z-Achse bzw. des Kreuztisches auf die Gesamtverformung ermittelt werden.

4 Messungen an der Maschine

4.1 Messung der Maschinensteifigkeit

Die Vermessung der Maschinensteifigkeit erfolgt durch Aufbringen einer definierten Kraft auf einzelne Maschinenteile und der Messung der dabei auftretenden Verlagerungen. Durch die physikalische Größe des krafterzeugenden Elements kommt es zu einem örtlichen Versatz der Krafteinleitungspunkte und folglich zu einer anderen Belastung wie sie Schnittkräfte hervorrufen würden. Bei einem realen Schneidvorgang teilen sich Werkzeug und Werkstück einen gemeinsamen Krafteinleitungspunkt.

Die Steifigkeitsmessung wurde auf die Z-Richtung beschränkt, da sich der Messaufbau einfach gestaltet. Die betrachtete Belastung der Maschine ist der Belastungssituation beim Bohren sehr ähnlich. Hier ist die in Z-Richtung wirkende Vorschubkraft dominant, die Schnittkraft hebt sich bei symmetrischen Schneiden auf und das Antriebsmoment des Bohrers ist relativ klein.

Verwendete Materialien

- Kraftmessdose HBM 1-U2B/2kN (Messbereich 2 kN)
- Messbrücke/Verstärker National Instruments NI9237 + NI USB-9162
- Messuhr (Auflösung 0,01 mm, Messbereich 10 mm)

Messaufbau

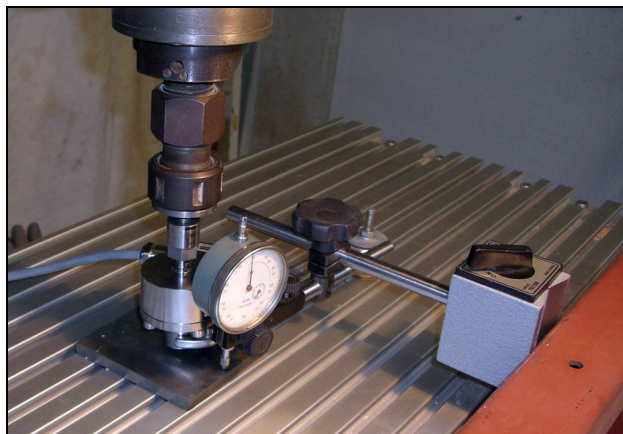


Abb. 54: Messung Tischverlagerung



Abb. 55: Verlagerung am Tischrand

Die Messung der Verlagerung wurde an mehreren Stellen der Maschine wiederholt. **Abb. 54** und **Abb. 55** zeigen den Messaufbau bei der Messung der Tischverlagerungen in Tischmitte und am Tischrand. Auf dem Tisch befindet sich zur Krafteinleitung eine gehärtete und geschliffene Stahlplatte.

Der Kraftmessdose wurde am unteren Ende ein Gewindeinsatz mit kugelförmiger Kuppe eingeschraubt. Am anderen Ende ist die Kraftmessdose mit einem M12x1.75 Gewinde ausgestattet. In das Spannzangenfutter wurde ein Einsatz eingespannt, welcher ein M10x1.5 Innengewinde besitzt. Zwischen beiden befindet sich ein Zwischenstück, welches mit beiden Gewinden in Verbindung steht. Durch diese Anordnung als Differenzgewinde lässt sich die Druckkraft sehr feinfühlig einstellen, indem das Zwischenstück gedreht wird und die anderen Teile drehfest gehalten werden. Eine Schwierigkeit stellte das Positionieren der Messuhr an der Messstelle dar. Hierzu wurde eine Traverse aus Formrohren geschweißt, welche mit dem Aluminiumuntergestell der Maschine verbunden wurde. Daran wurde das Messstativ mit der Magnethalterung befestigt.

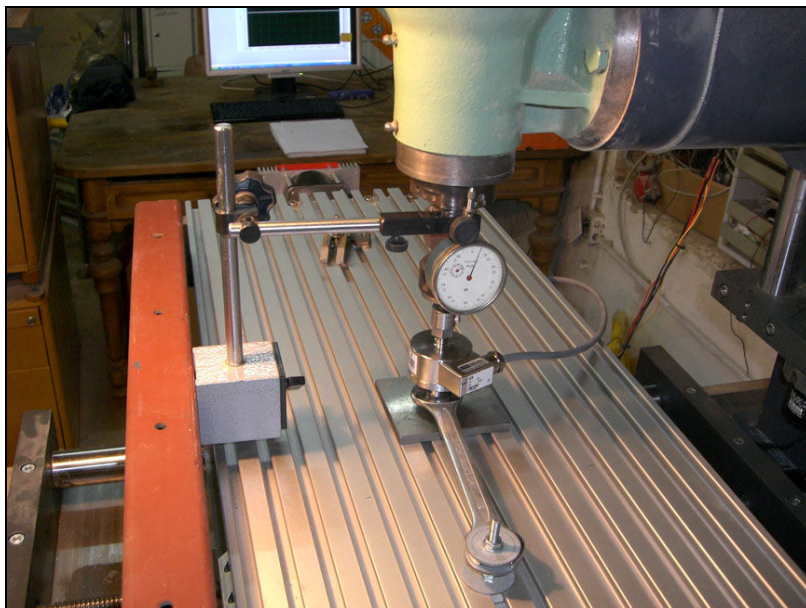


Abb. 56: Messung Spindelverlagerung

Abb. 56 zeigt den Messaufbau bei der Vermessung der Spindelverlagerung. Diese Messung und die der Verlagerung am Tischrand wurden auf beiden Seiten der Maschine durchgeführt, es konnten in beiden Fällen keine Unterschiede festgestellt werden. In der Abbildung ist auch der Schraubenschlüssel sichtbar, der die Kraftmessdose drehfest hält. Dieser greift in eine Schlüsselweite am Kraftmessdosengehäuse ein und wird am anderen Ende mit Muttern und Scheiben auf einer, mit dem Aufspanntisch in Verbindung stehenden, Stiftschraube geklemmt.

4.2 Geometrische Genauigkeit

Jede Maschine ist geometrischen Abweichungen unterworfen. Diese entstehen einerseits durch Fertigungsungenauigkeiten der einzelnen Maschinenkomponenten (Geometrieinfluss), andererseits verursachen auf die Maschine einwirkende Kräfte wie z.B. die auf die Maschinenkomponenten wirkende Schwerkraft, die Masse des Werkstücks oder im Betrieb wirkende Schnitt- und Trägheitskräfte eine elastische Verformung der Maschine (Einfluss der Maschinensteifigkeit). Alle Messungen wurden bei unbelasteter Maschine durchgeführt.

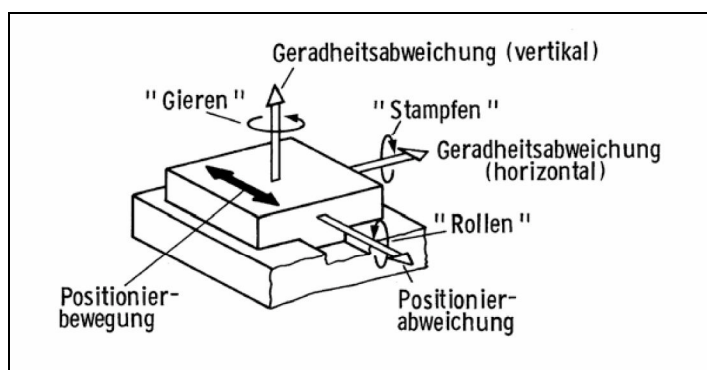


Abb. 57: Abweichungen einer Vorschubachse [7]

Abb. 57 zeigt eine schematisierte Führung und dazugehörige Abweichungen. Jede Achse hat sechs Abweichungen (drei Drehungen und drei lineare Abweichungen). Zusammen mit Winkelabweichungen zwischen den einzelnen Achsen ergeben sich für eine dreiachsige Maschine insgesamt 21 Abweichungen.

Verwendete Materialien

- Stahlwinkel 300 mm x 175 mm DIN 875/2

Als Messnormale wurde ein vorhandener Stahlwinkel mit Anschlag nach DIN 875 Genauigkeitsklasse 2 herangezogen. Dieser wurde mit einer Messmaschine (Zeiss WMM850S) auf Rechtwinkligkeit und Geradheit vermessen. Der gemessene Winkel zwischen den Schenkeln ist außen $\alpha_{\text{außen}} = 90.006^\circ$ und innen $\alpha_{\text{innen}} = 90.003^\circ$. Die Geradheit des langen Schenkels beträgt $7\ \mu\text{m}$ auf einer Länge von 300 mm.

Der Stahlwinkel wurde zuvor mit Hilfe der Institutseigenen Messmaschine TESA 3D MICRO-MS 343 vermessen. Diese Maschine ist jedoch handgeführt und die Messpunkte zeigten eine so große Streuung, dass die Ermittlung einer Ausgleichsgerade mit einem unzulässig großen Fehler behaftet war.

- Messuhr Auflösung (0,01 mm, Messbereich 10 mm)

Bezüglich der Genauigkeit der verwendeten Messuhr ist nichts bekannt. Die Messuhr wurde nur zur Voreinrichtung des Stahlwinkels verwendet. Der geringe Messbereich des Messtasters machte eine relativ genaue Ausrichtung des Stahlwinkels erforderlich. Weiters wurde die Einrichtung der verstellbaren Achsen mit der Messuhr kontrolliert. Die Achsen wurden bei der Einstellung mit Hilfe eines Schonhammers in Position gebracht. Die Erschütterungen der Schläge führten beim Messtaster zu einem Durchrutschen der Sicherheitskupplung.

- Messtaster (Auflösung 2 µm, Messbereich 0,2 mm)

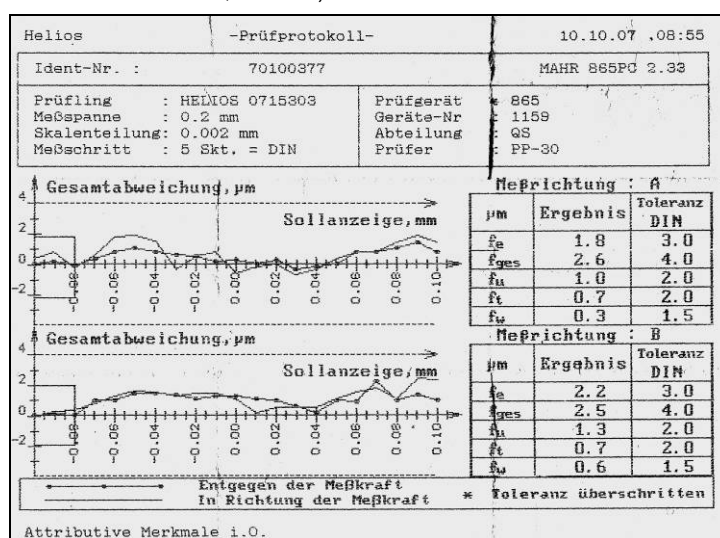


Abb. 58: Foto und Messprotokoll des Messtasters

Abb. 58 zeigt ein Foto des Messtasters und rechts daneben das mitgelieferte Messprotokoll. Wie schon erwähnt, bereitete der geringe Messbereich von 0,2 mm Schwierigkeiten und erforderte eine Vorausrichtung der Messstellen. Taster mit größeren Messbereichen sind erhältlich, die Kosten hierfür steigen allerdings enorm.

- Messstativ mit Magnetfuß
- Laserinterferometer Fa. Renishaw [8]
- Ball-Bar QC10 Fa. Renishaw [8]

4.2.1 Umkehrspiel des Gewindetribs

Für Geometrieabweichungen in Achsrichtung (Exx,Eyy,Ezz) sind neben Steigungsfehler der Spindel auch das Spiel zwischen Gewindespindel und Mutter verantwortlich. Bei Verwendung eines geregelten Antriebs zusammen mit einem

direkten (linearem) Messsystem werden beide durch die Regelung kompensiert. Fehler, wie sie zum Beispiel durch unterschiedliche Temperaturdehnungen der Maschine entstehen, treten hier jedoch weiterhin auf. Das Gewindenspiel, solange dieses sich in Grenzen hält, kann softwaretechnisch durch die Steuerung kompensiert werden.

Mit Hilfe eines einfachen Messaufbaus wurde das Gewindenspiel der Vorschubachsen ermittelt. Hierbei wurde durch händisches Verdrehen der Gewindespindel ein Messtaster an einem Anschlag vorgespannt und dort auf Null gestellt. In dieser Position wurde auch der Zählerstand des Drehgebers auf Null gesetzt. Wird nun die Spindel in entgegengesetzter Richtung gedreht, wird der Messtaster entlastet und zeigt den tatsächlichen Verfahrweg an. Der Drehgeber misst dabei den Verdrehwinkel der Spindel. Zusammen mit der bekannten Spindelsteigung kann ein theoretischer Verfahrweg ermittelt werden. Der Unterschied zwischen Position des Schlittens gemäß Drehgeber und Tasteranzeige entspricht dem Gewindenspiel. Die vom Hersteller gewährleistete Steigungsgenauigkeit der Spindel beträgt $50\ \mu\text{m}$ auf einer Länge von 300 mm. Da der Messbereich des Tasters sehr klein ist, wird angenommen, dass der Einfluss von Steigungsfehlern vernachlässigt werden kann.

Die Messung ist streng genommen nur für diese Position des jeweiligen Schlittens gültig. Gemessen wurde bei mittlerer Position der Achsen. Da die Maschine häufig in dieser Stellung betrieben wird, ist hier auch der Einfluss von Verschleiß am stärksten zu erwarten.

Weiters sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Achsen interessant: Die X-Achse mit der vorgespannten zweiteiligen Mutter (Spielfrei-Konzept), die Y-Achse mit einer unverspannten einteiligen Mutter. Die Z-Achse besitzt aufgrund des unvollkommenen Massenausgleichs eine axial vorgespannte Mutter.



Abb. 59: Messaufbau zur Messung des Umkehrspiels

Abb. 59 zeigt die Messung des Umkehrspiels der Y-Achse. Als Anschlagkörper wurde ein geschliffener Stahlblock verwendet, der mittels Spannpratzen am Tisch festgespannt wurde. Der Feintaster wird von einem Magnetstativ gehalten, welcher am Ausleger des Fräsmotors angebracht ist.

Das Umkehrspiel wurde zusätzlich auch im Zuge der Messung der Positionsgenauigkeit mit Hilfe des Laserinterferometers ermittelt.

4.2.2 Rechtwinkligkeit und Geradheit der Achsen

Zur Bestimmung der Rechtwinkligkeit zwischen einzelnen Achsen gibt es mehrere Methoden, dazu gehören die Messung mittels einer Messnormalen (Vermessung eines gegebenen rechtwinkligen Körpers), die Bestimmung der Rechtwinkligkeit mittels Laserinterferometer, im Rahmen eines Kreisformtests oder mittels Kreuzgitter.

Die Ermittlung der Rechtwinkligkeiten der Achsen zueinander geschah durch Vermessung des, in verschiedenen Lagen, am Aufspanntisch befestigten Stahlwinkels mit dem Messtaster. Der Winkel zwischen den Kreuztischachsen wird zusätzlich im Zuge des Kreisformtests erhalten.

Der Vollständigkeit halber soll an dieser Stelle erwähnt werden, dass die Messung der Rechtwinkligkeit des Koordinatentisches auch mit dem so genannten Umschlagverfahren durchgeführt werden kann. Hierbei erfolgt ein rechnerisches Kompensieren von Geometriefehlern des Messkörpers mit den Ergebnissen aus zwei Messungen, wobei der Messkörper für die einzelnen Messungen spiegelbildlich angeordnet wird. Bei diesem Verfahren ist die Kenntnis der Geometrieabweichungen des Messkörpers von vorne herein nicht erforderlich, vielmehr kann diese ebenfalls aus den genannten Messungen rechnerisch ermittelt werden. Die Durchführung der Messung ist jedoch aufwändig.



a) Winkel X-Y



b) Winkel Y-Z



c) Winkel X-Z

Abb. 60: Messaufbau für die Winkligkeitsmessung

Abb. 60a-c zeigen die verschiedenen Aufspannungen des Stahlwinkels, um die Winkligkeit zwischen den einzelnen Achsen zu vermessen.

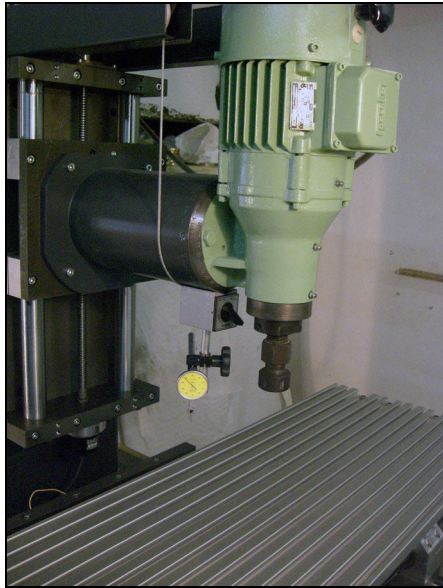


Abb. 61: Position des Messtasters

Die Position des Messtasters wird in **Abb. 61** gezeigt. Der Messtaster ist dabei im Messstativ eingespannt und der Magnetauß liegt mit der prismatischen Nut an der Unterseite des zylindrischen Auslegerrohrs an und wird dort magnetisch gehalten. Messtechnisch gesehen wäre es günstiger gewesen den Messtaster in der Fräseraufnahme zu spannen, da hier das Messstativ kurz gehalten werden kann und somit die Steifigkeit des Messaufbaus möglichst hoch gehalten wird. Leider gab es zu diesem Zeitpunkt keine Möglichkeit die Frässpindel zu fixieren, weshalb diese Aufspannposition nicht möglich war.

Die Vermessung diente gleichzeitig der Einstellung der Maschine. Die Ergebnisse zeigen den Zustand nach der Korrektur. Die Winkligkeit zwischen der X- und der Y-Achse beziehungsweise zwischen X- und Z-Achse sind über eine Verdrehung der Achsen um einen zentralen Dorn einstellbar. Abweichungen des Tisches wurden durch händisches schaben der Lagerböcke verringert. Eine anfängliche Abweichung der Z-Achse zur Y-Achse wurde durch Einlegen von Präzisionsblechen im Bereich der Befestigungsstellen der Säule korrigiert. Bei allen Messungen musste aufgrund des geringen Messbereichs des Messtasters der Stahlwinkel mit Hilfe der Messuhr entlang einer Achse ausgerichtet werden. Mit der Messung der Rechtwinkligkeiten der Achsen erhält man gleichzeitig Aufschluss über die Geradheit der Achsen. Hierbei werden die Schenkel des Winkels als Lineal verwendet.

4.2.3 Positioniergenauigkeit

Ein entscheidender Faktor für Werkzeugmaschinen ist, dass die Maschine überhaupt imstande ist eine Position mit hinreichender Genauigkeit wiederholt reproduzierbar anzufahren. Überprüft wird dies am besten mit einem Laserinterferometer. Dieses besteht aus einer Laserquelle mit konstanter Wellenlänge, einem Strahlteiler und zwei Reflektoren. Die Reflektoren und der Strahlteiler sind so angebracht, dass beim Verfahren der Achse eine Relativbewegung zwischen beiden zustande kommt. Die folgende Abbildung, **Abb. 62**, zeigt den Messaufbau für die Vermessung der X-Achse.



Abb. 62: Messaufbau Laserinterferometer

Der Strahlteiler teilt den einfallenden Strahl auf, lenkt diesen mittels Spiegel um und überlagert diesen dann mit dem von den Reflektoren zurückgeworfenen Strahl. Je nach Phasenlage des Lichts kommt es dabei zu einer Verstärkung oder Verringerung der Intensität. Die Phasenlage ist abhängig vom veränderlichen Abstand zwischen Strahlteiler und den Reflektoren. Beim Verfahren der Achse werden die Anzahl der Hell- und Dunkeldurchgänge gezählt, mit der bekannten Wellenlänge des Lasers kann mit hoher Genauigkeit auf den veränderten Abstand zwischen Strahlteiler und Reflektor geschlossen werden. Für eine genauere Beschreibung der Funktionsweise wird auf die Literatur verwiesen [7]. Die Messung wurde auf die X- und Y-Achse beschränkt. Hierbei wurde die Achse von der Steuerung in Schritten bewegt und am Ende jedes Schrittes der Messwert aufgezeichnet. Als Schrittweite wurden 32 mm gewählt, da dies ein Vielfaches der Schrittmotorauflösung ist und somit die Messpunkte theoretisch genau angefahren werden können. Die Messung wurde mehrmals durchgeführt um Steigungsfehler der Spindel und das Gewindenspiel zu ermitteln und steuerungsseitig zu kompensieren.

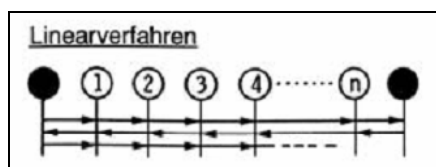


Abb. 63: Schema der Messwertaufnahme [7]

Die Messpunkte wurden, wie in **Abb. 63** vereinfacht dargestellt, entlang einer Richtung mit einem Vorlaufweg zum ersten Messpunkt aufgenommen. Um das Gewindenspiel messen zu können, wurde der letzte Messpunkt nach Aufnahme des Messwerts geringfügig überfahren und dieselben Messpunkte anschließend in entgegengesetzter Richtung aufgenommen, wobei wieder der letzte Punkt überfahren wurde. Die Prozedur wurde dreimal wiederholt um eine statistische Auswertung zu ermöglichen.

4.2.4 Kreisformtest

Im Gegensatz zu den bisherigen Messmethoden handelt es sich beim Kreisformtest um eine dynamische Messung. In diesem Fall spielt nicht nur die geometrische Genauigkeit der Maschine eine Rolle, sondern auch dynamische Effekte wie Einflüsse von der Steuerung oder zum Beispiel Verformungen aufgrund der beschleunigten Massen.

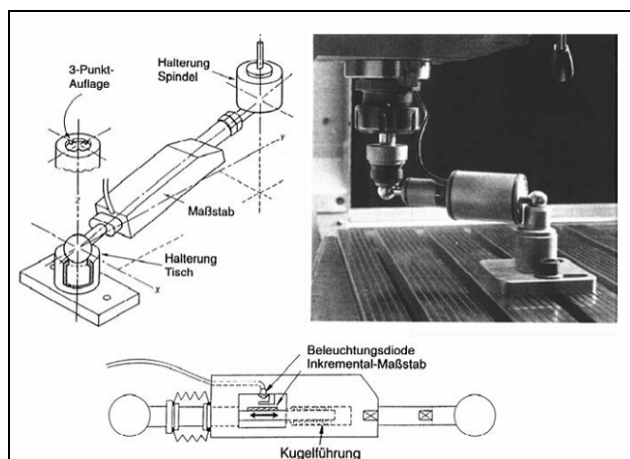


Abb. 64: Aufbau Double-Ball-Bar [7]



Abb. 65: Messaufbau

Die Abbildungen **Abb. 64** und **Abb. 65** zeigen den schematischen Aufbau der Double-Ball-Bar und den tatsächlichen Messaufbau. Das Messgerät besteht aus einer Stange welche an beiden Enden eine Kugel trägt. Die Stange lässt sich in der Länge verändern. Diese Längenänderung wird mit einem eingebauten Inkrementalmaßstab gemessen und mittels Kabel an den Auswerterechner

übermittelt. Neuere Geräte übermitteln die Messwerte kabellos. Die Kugeln an den Enden werden in magnetischen Kugelpfannen gehalten. Eine Kugelpfanne wird am Aufspanntisch befestigt und die andere in der Fräsaufnahme. Es werden mit dem eingespannten Gerät mit der Frässpindel zwei Kreise im Uhrzeigersinn und anschließend zwei Kreise gegen den Uhrzeigersinn gefahren. Während des Verfahrens werden Änderungen des Kreisradius an den Auswerterechner übermittelt. Da die Winkellage des Messgeräts nicht gemessen wird, muss über die seit Beginn der Messung vergangene Zeit auf die Winkellage geschlossen werden. Der Auswertesoftware muss bekannt gegeben werden mit welcher Vorschubgeschwindigkeit der Test durchgeführt wird und die Maschine muss im Stande sein die Vorschubgeschwindigkeit genau einzuhalten. Mit Hilfe des Kreisformtests lassen sich viele Informationen über die Maschine erhalten, unter anderem die Rechtwinkligkeit der Achsen, Schleppfehler der Steuerung, Umkehrspiele und weitere. Die Auswertesoftware errechnet zusätzlich den prozentuellen Beitrag der Einzelfehler am gesamten Fehler. Dadurch können Problemstellen einfach identifiziert werden und es können entsprechende Abstellmaßnahmen unternommen werden.

4.3 Momentenmessungen

Verwendete Materialien

- Digitalwaage (Auflösung 1 g, Messbereich 5 kg)
- Drehmomentmessvorrichtung (Reibungsmessvorrichtung)

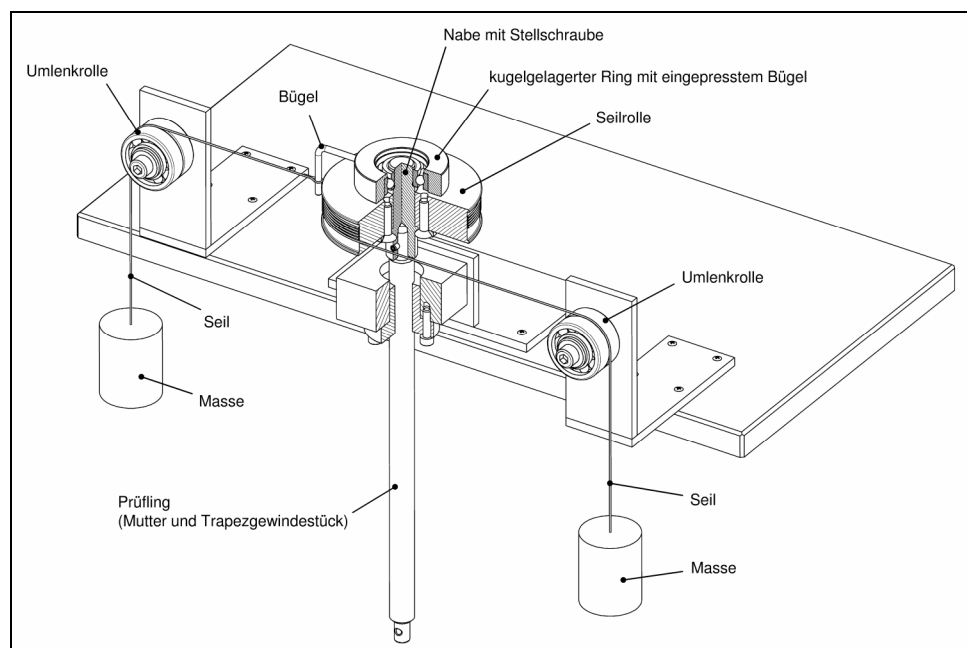


Abb. 66: Drehmomentmessvorrichtung

Abb. 66 zeigt einen Schrägriss der Drehmomentmessvorrichtung. Zwecks besserer Sichtbarkeit sind einzelne Teile geschnitten dargestellt. Die Vorrichtung besteht aus einer Grundplatte auf der mittig der Prüfling angebracht ist. An diesem ist eine Seiltrommel befestigt und an beiden Seiten Umlenkrollen angebracht. An der Seiltrommel ist eine Nabe angeschraubt. Die Nabe weist am unteren Ende eine Bohrung auf, die als Aufnahme für einen Zapfen am Prüfling dient. Mit einer Stellschraube wird eine drehfeste Verbindung hergestellt. In **Abb. 66** ist der Prüfling ein Stück einer Trapezgewindespindel, die in einer an der Grundplatte befestigten Mutter eingeschraubt ist. Das auf die Seiltrommel gewickelte Seil wird mit einer Masse belastet und überträgt ein Moment auf den Prüfling. Am oberen Ende der Nabe ist ein kugellagerter Ring angebracht, in dem ein Bügel eingepresst ist. Am Bügel ist ein Seil angebunden, welches durch eine Masse belastet wird, wobei diese gleich groß wie die drehmomenterzeugende Masse ist. Da die Wirklinie der Seilkraft am Bügel durch die Drehachse verläuft, wird durch diese kein Moment erzeugt, sondern es wird nur das auf den Prüfling wirkende Biegemoment ausgeglichen.

4.3.1 Reibmoment der Spindelmuttern

Das Vorspannen von Muttern bewirkt eine Erhöhung der Gewindereibung und eine daraus folgende Verringerung der erreichbaren Vorschubgeschwindigkeit. Um einen Vergleich zwischen der einteiligen und der verspannten Mutter zu erhalten, wurde ein Reibungsprüfstand aufgebaut, der in weiterer Folge auch zur Bestimmung des Schrittmotormoments verwendet werden kann.

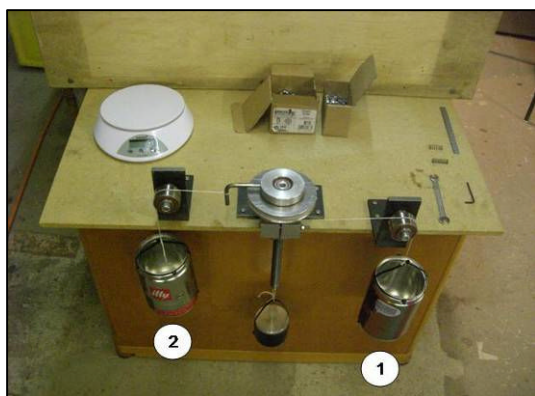


Abb. 67: Messaufbau Reibungsmessung

Abb. 67 zeigt den Aufbau des Drehmomentprüfstands zur Messung des Gewindereibmoments. Am Bügel ist ein Seil befestigt, welches über die linke Umlenkrolle läuft und mit dem Behälter „2“ verbunden ist. Auf der Seiltrommel ist ein Seil gewickelt, dieses läuft über die rechte Umlenkrolle und ist mit dem Behälter „1“ verbunden. Im Laufe der Messung wird in Behälter „1“ und in Behälter „2“ das gleiche Gewicht eingeworfen. Wird das Reibungsmoment der Mutter erreicht, beginnt sich die Spindel zu drehen und hebt sich. Die Reibung bei der einteiligen Mutter war so gering, dass das Eigengewicht der Behälter schon ausreichte, um die Spindel in Bewegung zu versetzen. Aus diesem Grund wurde am unteren Ende der Spindel eine Axialkraft erzeugendes Zusatzgewicht angebracht, welches die Gewindereibung erhöht. Um die Masse der Behälter zu verändern wurden M6 und M8 Muttern verwendet.

4.3.2 Momentenmessung der Schrittmotoren

Dieselbe Vorrichtung die zur Ermittlung der Gewindereibung Verwendung fand, kann durch die gewählte Anschlussgeometrie direkt auf der Schrittmotorwelle befestigt werden. Im Gegensatz zu den Messungen an der Spindelmutter ist der Einfluss der Querkraft auf die Momentenmessung wesentlich geringer. Da der Rotor des Schrittmotors beidseitig mit Kugellagern im Motorgehäuse gelagert ist kommt einer Kompensation entsprechend weniger Bedeutung zu. Bei Motoren

mit großen Momenten und dementsprechend hohen Seilkräften in der Messvorrichtung kann es jedoch empfehlenswert sein die Querkraftkompensation einzusetzen, um die Motorlager nicht den hohen Radialkräften auszusetzen.



Abb. 68: Messaufbau Motormomentenmessung

Wie in **Abb. 68** zu sehen, wurden zur Krafterzeugung neben den Muttern auch Ronden aus Messing und Kupfer verwendet, um die erforderliche Seilkraft zu erreichen. Zur Messung des Haltemoments wurde der am Seil frei hängende Behälter solange befüllt bis der Motor die Last nicht mehr halten konnte und „durchrutschte“ bis der Behälter den Boden erreichte. Bei der Messung der dynamischen Momente wurde versucht den, mit einer vorgegebenen Masse befüllten, Behälter mit einer bestimmten Schrittfrequenz anzuheben. Die maximale Schrittfrequenz bei der dies ohne Schrittverlust möglich war wurde notiert. Dieses Moment entspricht in etwa einem Pull-In Moment.

5 Ergebnisse

5.1 Ergebnisse der Simulation der Maschinensteifigkeit

Belastungsfall I: Belastung in X-Richtung

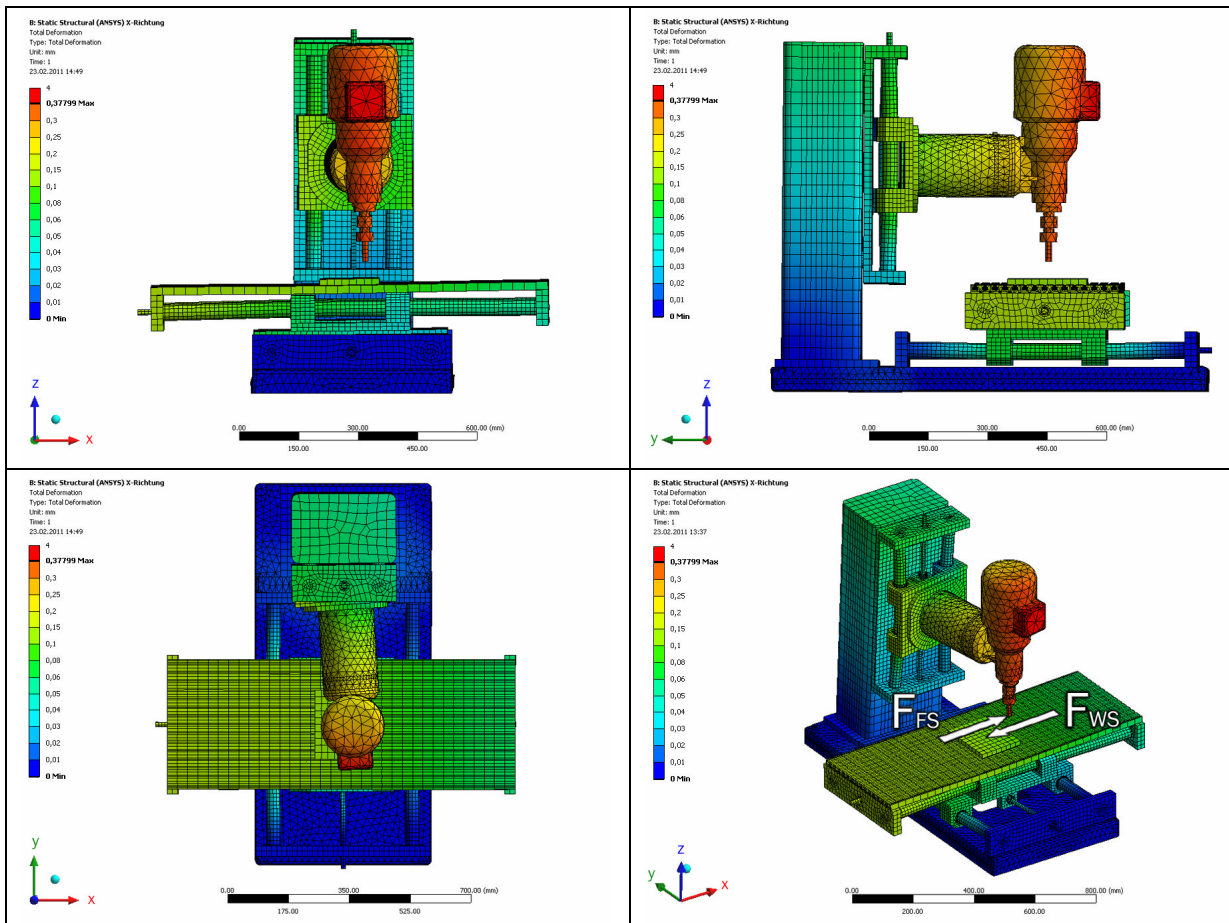


Abb. 69: Verformung durch Belastungsfall I

Belastung wie in **Abb. 69** rechts unten ersichtlich,
Nur X-Komponente der Verschiebung betrachtet.

Verschiebung Fräuserspitze (FS): **0.412** mm

Verschiebung Werkstück (WS): **0.072** mm

Verschiebung am Tischrand (ohne Tischdurchbiegung): **0.067** mm

Federsteifigkeit Z-Achse: **2427** N/mm

Federsteifigkeit X-Y Achse mit Aufspanntisch: **13889** N/mm

Federsteifigkeit X-Y Achse ohne Aufspanntisch: **14925** N/mm

Tab. 5: Verformung und Steifigkeit der Maschine für den Belastungsfall I

Reaktionskräfte (Kugelumlaufb.)	F _x [N]	F _y [N]	F _z [N]	F [N]
X1	0	4	-374	374
X2	0	-4	-375	375
X3	0	-1	-376	376
X4	0	1	-377	377
Y1	25	0	529	530
Y2	-25	0	525	525
Y3	16	0	507	507
Y4	-16	0	504	505
Z1	95	-1075	0	1079
Z2	-95	-1071	0	1076
Z3	-87	1122	0	1125
Z4	87	1119	0	1122

Tab. 6: Reaktionskräfte in den Kugelumlaufbuchsen

Belastungsfall II: Belastung in Y-Richtung

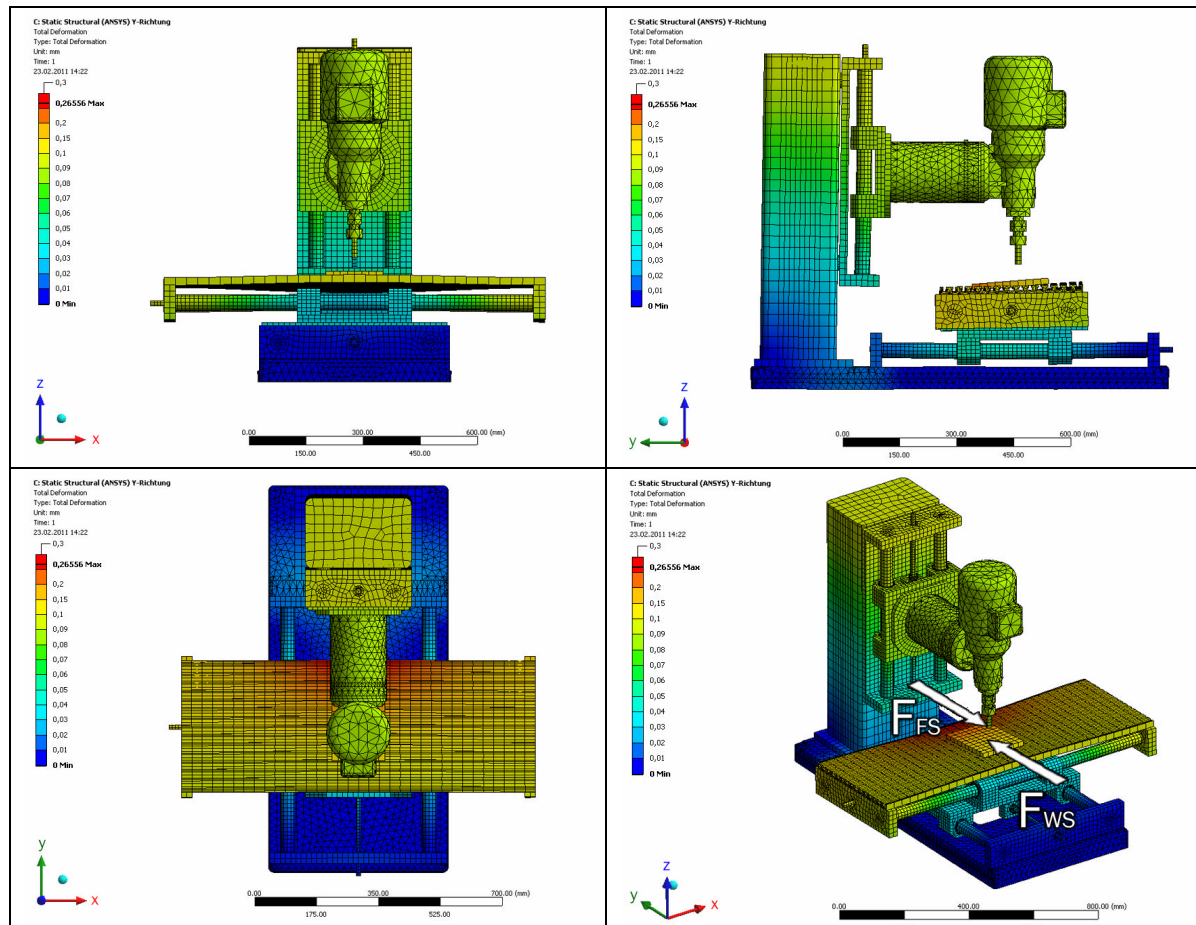


Abb. 70: Verformung durch Belastungsfall II

5 Ergebnisse

Belastung wie in **Abb. 70** rechts unten ersichtlich,
Nur Y-Komponente der Verschiebung betrachtet.

Verschiebung Fräserspitze (FS):	0.105 mm
Verschiebung Werkstück (WS):	0.132 mm
Verschiebung am Tischrand (ohne Tischdurchbiegung):	0.098 mm
Federsteifigkeit Z-Achse:	9524 N/mm
Federsteifigkeit X-Y Achse mit Aufspanntisch:	7576 N/mm
Federsteifigkeit X-Y Achse ohne Aufspanntisch:	10204 N/mm

Tab. 7: Federsteifigkeiten in Y-Richtung

Reaktionskräfte (Kugelumlaufb.)	F _x [N]	F _y [N]	F _z [N]	F [N]
X1	0	216	-89	234
X2	0	220	-171	279
X3	0	251	-78	262
X4	0	254	-189	317
Y1	53	0	554	557
Y2	-53	0	563	565
Y3	-47	0	-16	50
Y4	47	0	-10	48
Z1	42	-403	0	405
Z2	-42	-401	0	403
Z3	-62	930	0	932
Z4	62	928	0	930

Tab. 8: Reaktionskräfte in den Kugelumlaufbuchsen für Belastungsfall II

Belastungsfall III: Belastung in Z-Richtung

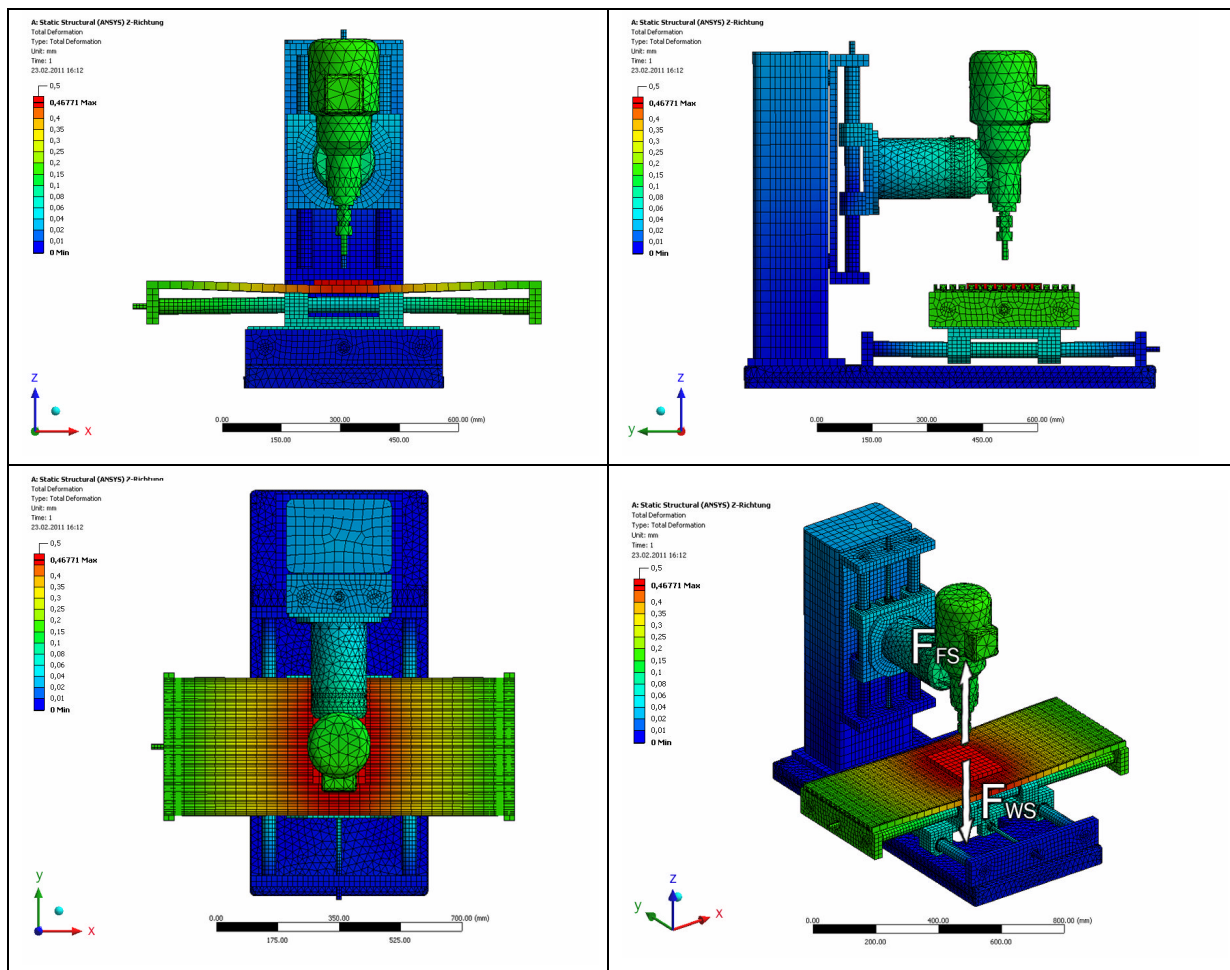


Abb. 71: Verformung durch Belastungsfall III

Belastung wie in **Abb. 71** rechts unten ersichtlich,
Nur Z-Komponente der Verschiebung betrachtet.

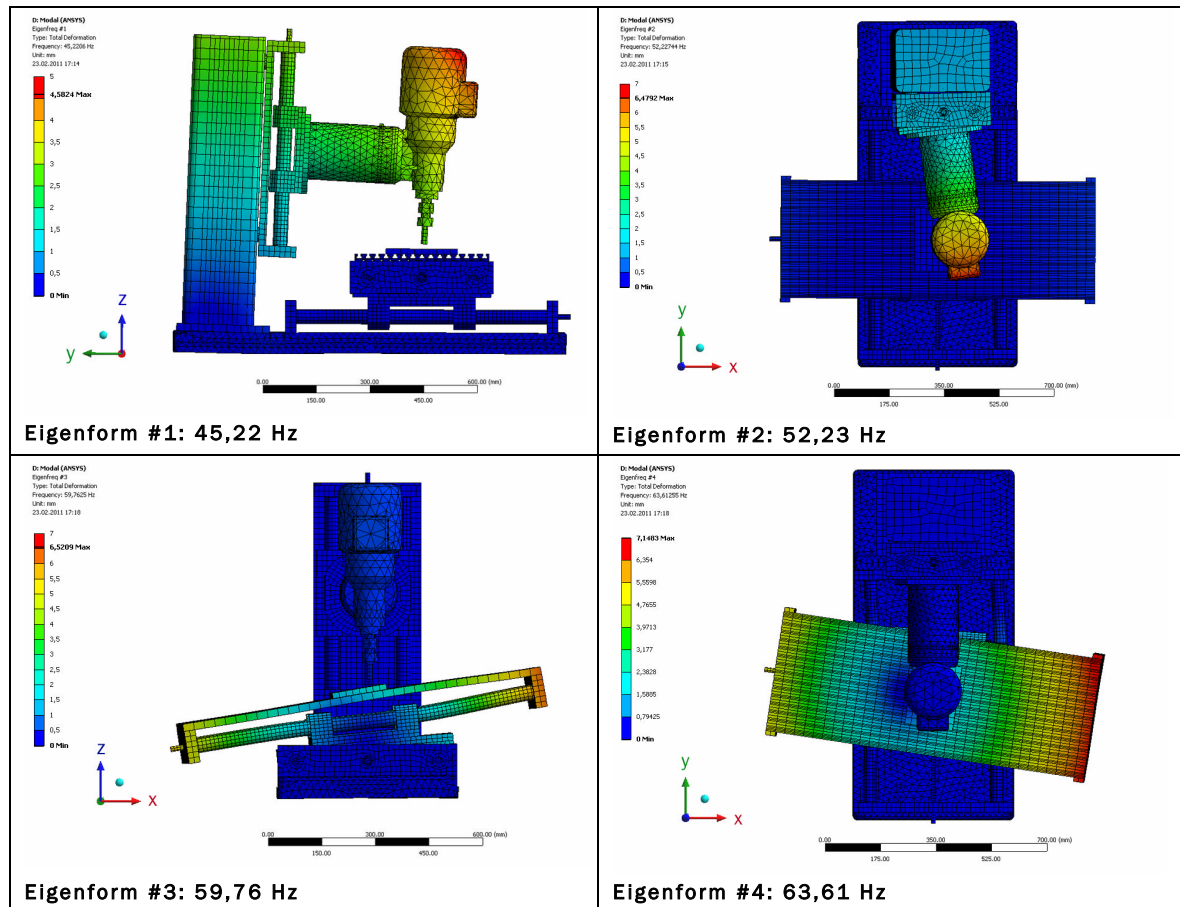
Verschiebung Fräterspitze (FS):	0.123 mm
Verschiebung Werkstück (WS):	0.463 mm
Verschiebung am Tischrand (ohne Tischdurchbiegung):	0.167 mm
Federsteifigkeit Z-Achse:	8130 N/mm
Federsteifigkeit X-Y Achse mit Aufspanntisch:	2160 N/mm
Federsteifigkeit X-Y Achse ohne Aufspanntisch:	5988 N/mm

Tab. 9: Federsteifigkeiten in Z-Richtung

Reaktionskräfte (Kugelumlaufb.)	F _x [N]	F _y [N]	F _z [N]	F [N]
X1	0	216	-89	234
X2	0	220	-171	279
X3	0	251	-78	262
X4	0	254	-189	317
Y1	53	0	554	557
Y2	-53	0	563	565
Y3	-47	0	-16	50
Y4	47	0	-10	48
Z1	42	-403	0	405
Z2	-42	-401	0	403
Z3	-62	930	0	932
Z4	62	928	0	930

Tab. 10: Reaktionskräfte in den Kugelumlaufbuchsen für Belastungsfall III

Modalanalyse



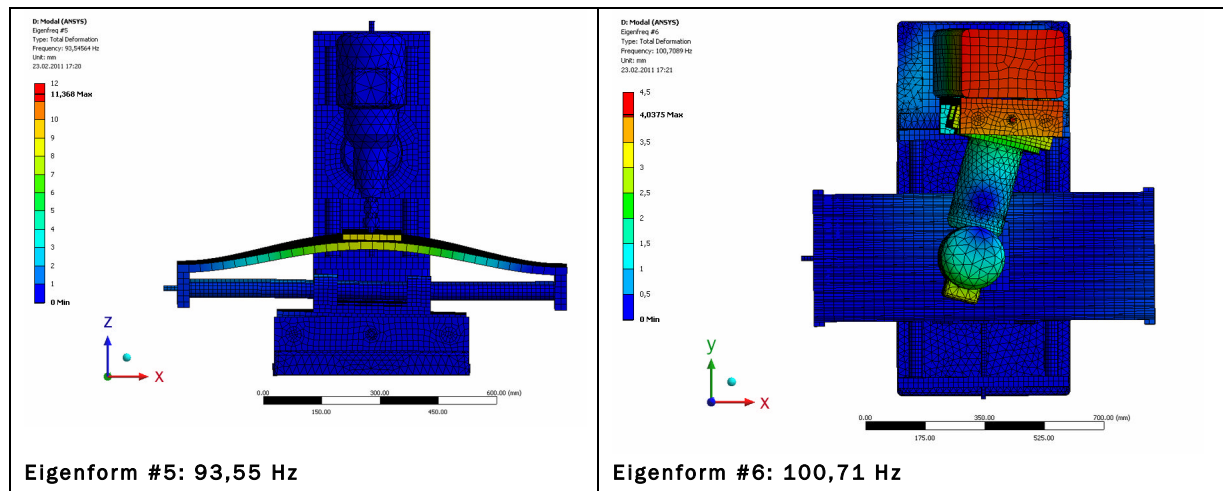


Abb. 72: Eigenformen und -frequenzen der Maschine

5.2 Ergebnisse der Messung der Maschinensteifigkeit

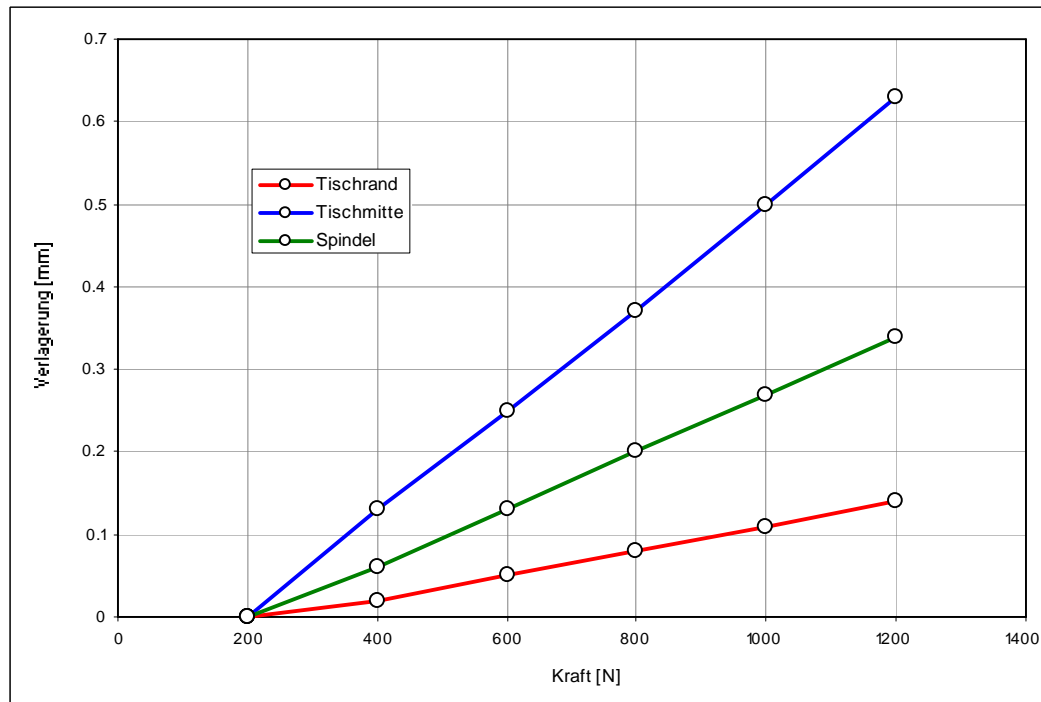


Abb. 73: Gemessene Verlagerung

Gemessene Verlagerung für $\Delta F = 1000 \text{ N}$

Ort	Δz_{mess} [mm]	Δz_{sim} [mm]	Abweichung d. Simulation [%]
Tischrand	0.14	0.152	+9
Tischmitte	0.63	0.562	-11
Spindel	0.34	0.115	-66

Tab. 11: Vergleich gemessene und simulierte Verlagerungen

5.3 Ergebnisse der Messung der Maschinengenauigkeit

5.3.1 Umkehrspiel des Gewindetriebs

Gemessene Achse	Umkehrspiel [μm]	Bemerkung
X	14	Spielfreikonzept
Y	72	Einteilige Mutter
Z	46	~vorgespannt (Massenausgleich)

Tab. 12: Umkehrspiel gemessen mit Feintaster

5.3.2 Rechtwinkligkeit und Geradheit der Achsen

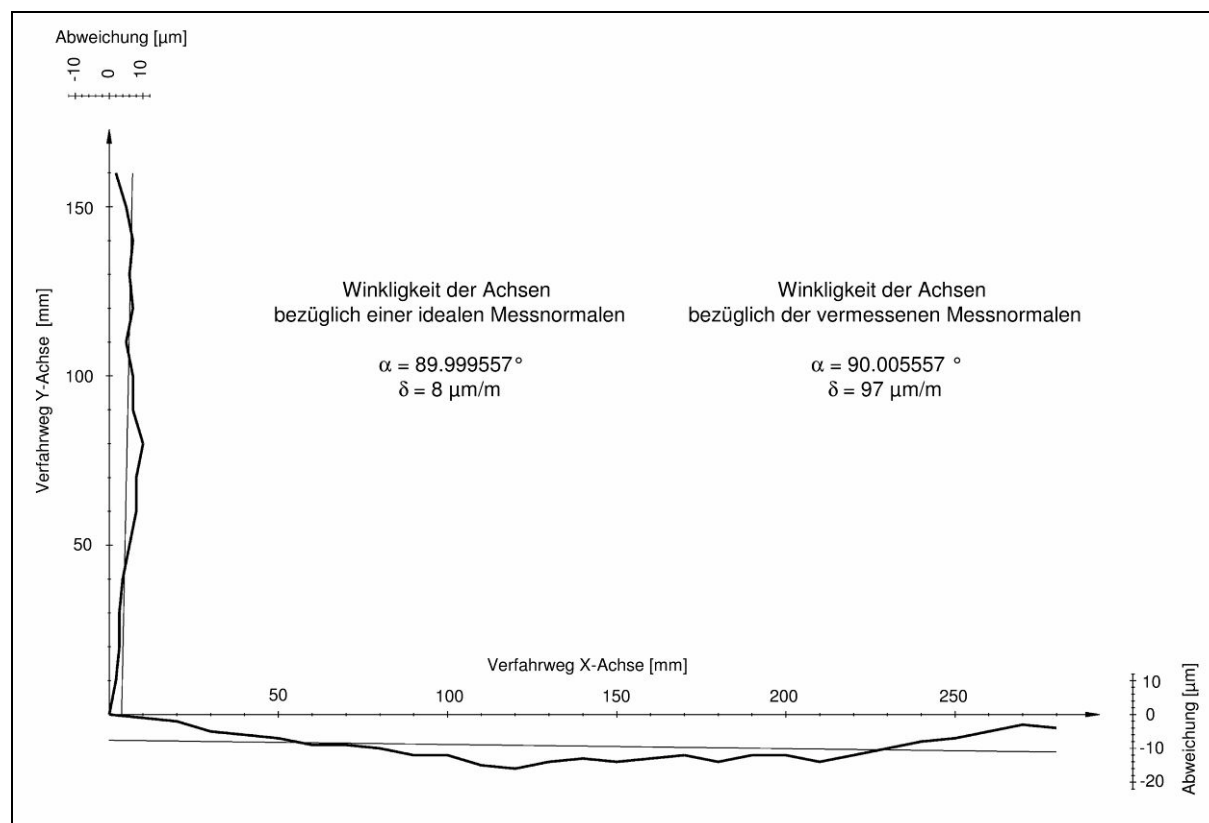


Abb. 74: Winkel zwischen X- und Y-Achse (verstellbar)

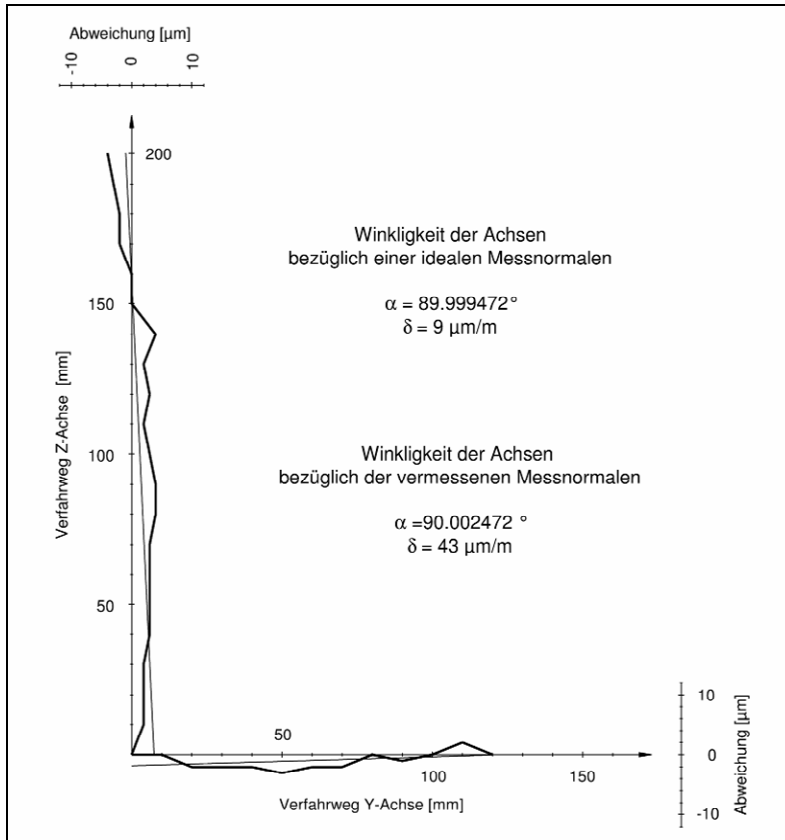


Abb. 75: Winkel zwischen Y- und Z-Achse

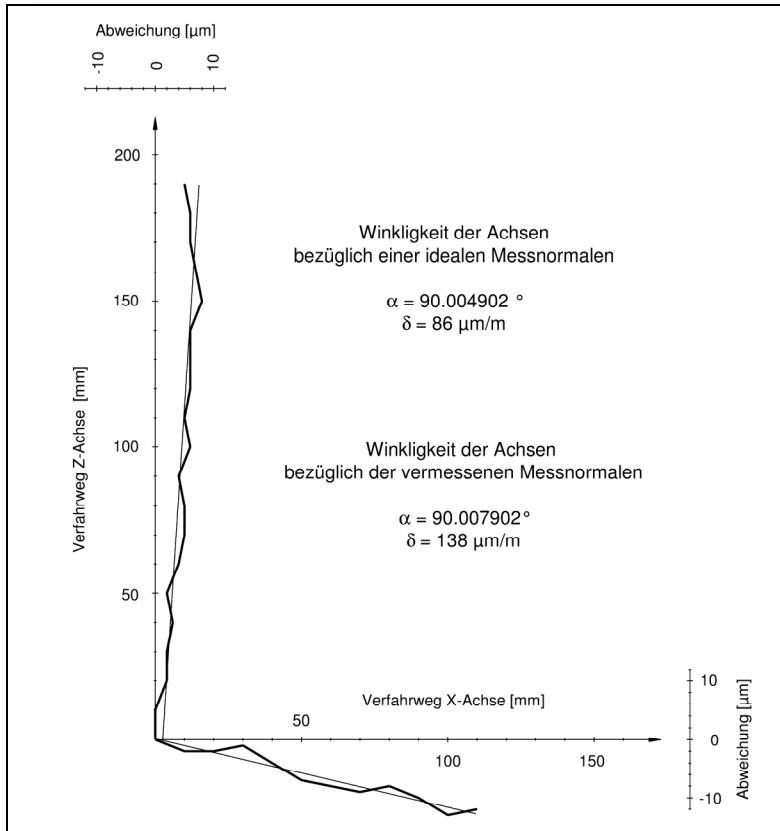


Abb. 76: Winkel zwischen X- und Z-Achse (verstellbar)

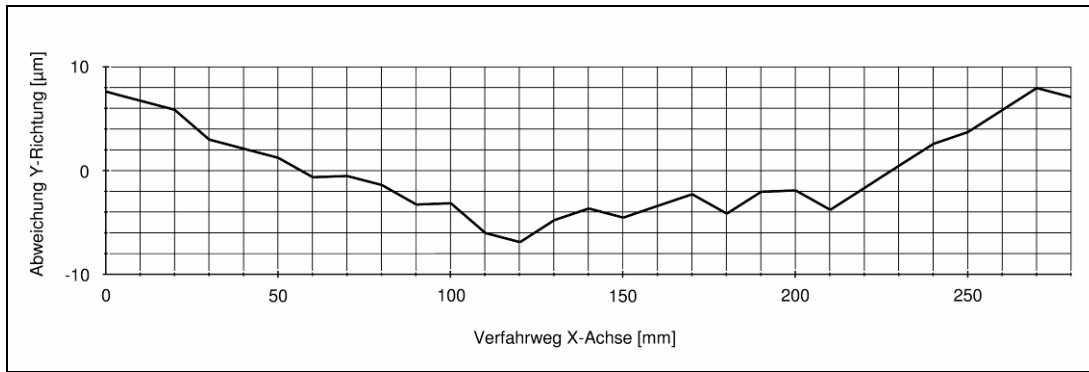


Abb. 77: Geradheit XY

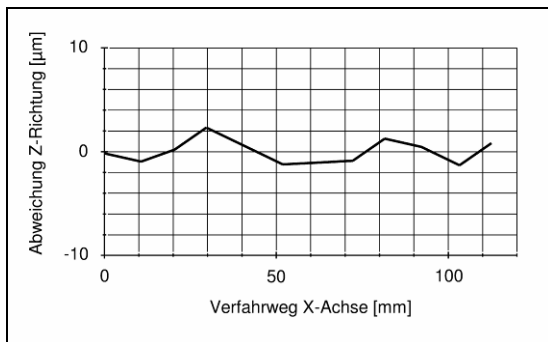


Abb. 78: Geradheit XZ

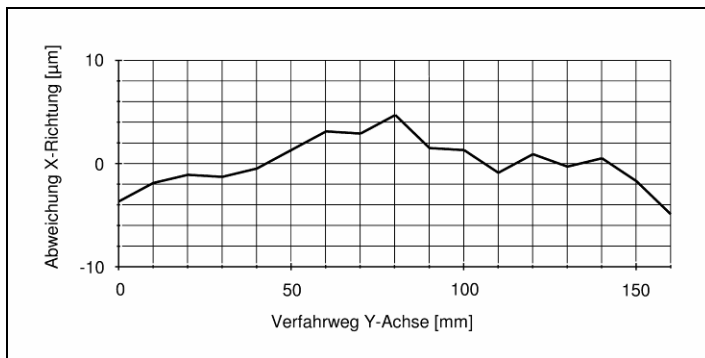


Abb. 79: Geradheit YX

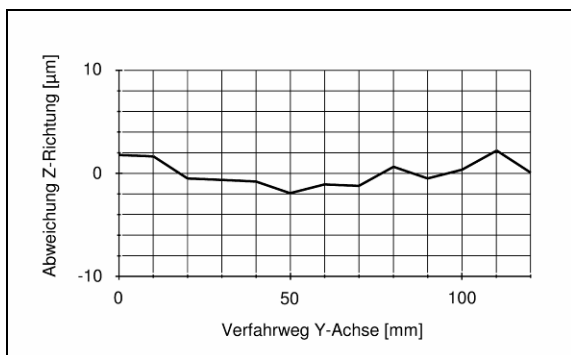


Abb. 80: Geradheit YZ

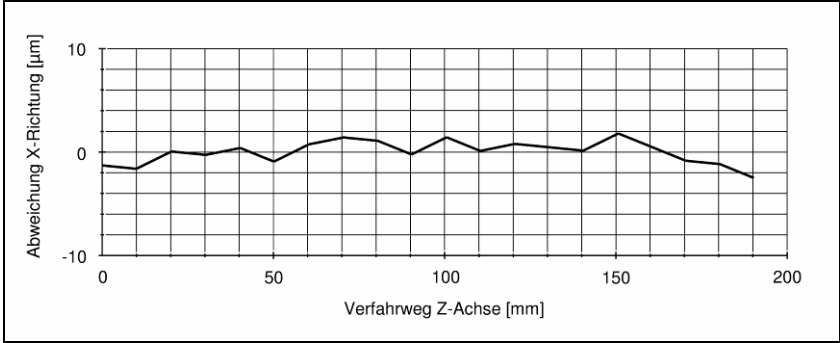


Abb. 81: Geradheit ZX

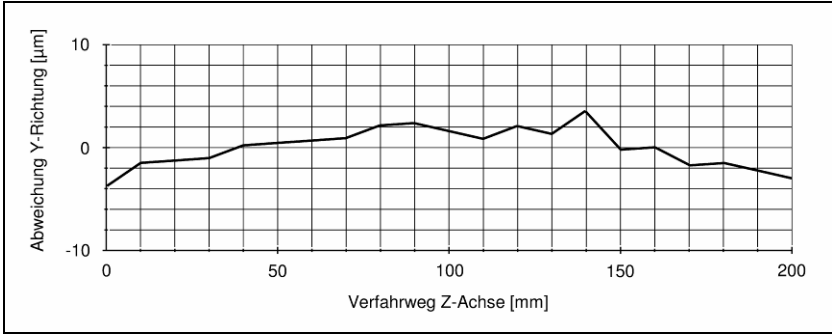


Abb. 82: Geradheit ZY

5.3.3 Positioniergenauigkeit

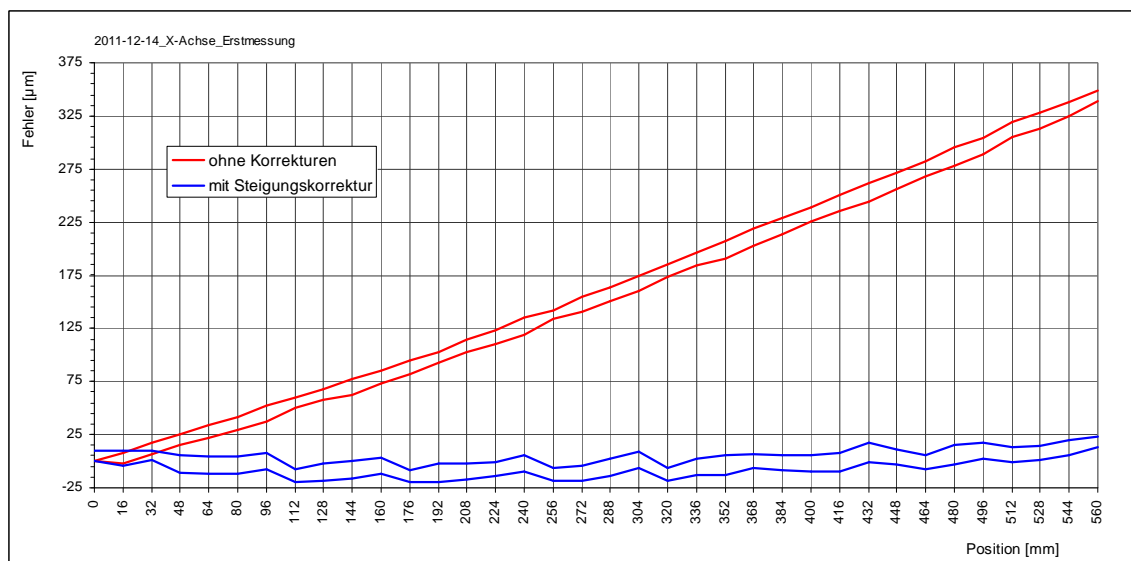


Abb. 83: Positionsabweichung X-Achse mit/ohne Steigungskorrektur

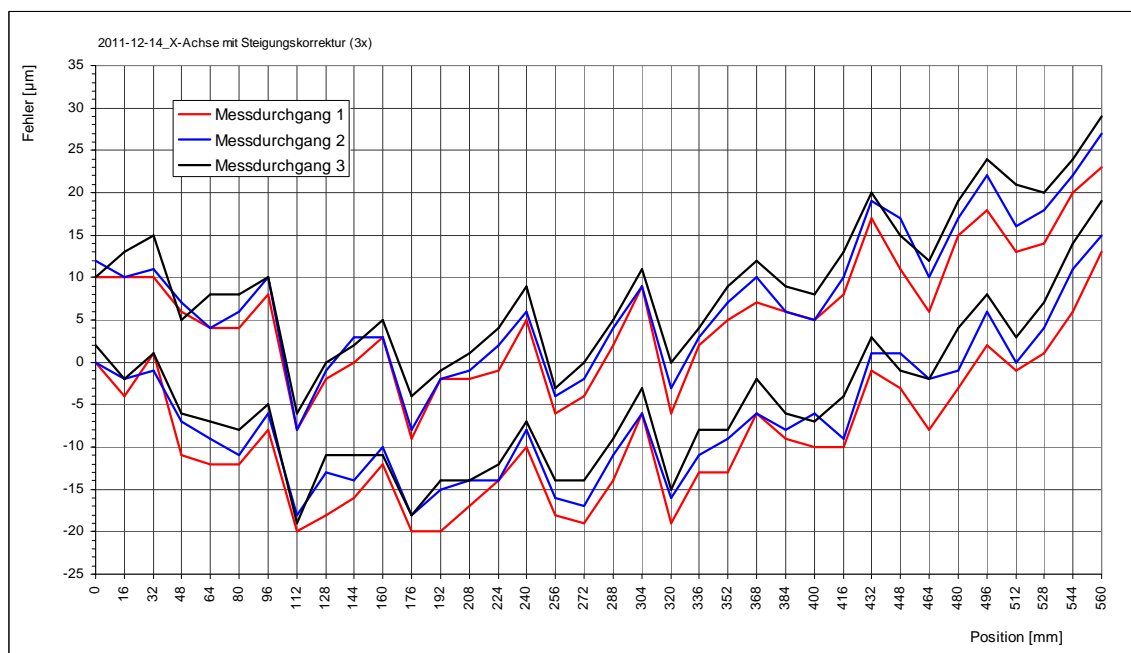


Abb. 84: Positionsabweichung der X-Achse mit Steigungskorrektur (vergrößert, 3x)

ISO 230-2 1997 Analyse Plot - Position

Maschine: Proton II	Mittl. Abw. M:	34.167	Umkehrsp. B:	18.000
Seriennr.: ---	Syst. Abw. E:	16.166	Genauigk. A+:	44.539
Datum: 14.12.2011	Wiederh. R+:	16.166	Genauigk. A-:	44.735
Achse: X-Achse	Wiederh. R-:	16.166	Genauigk. A:	55.206

Tab. 13: Auswertung Positionsgenauigkeit X-Achse

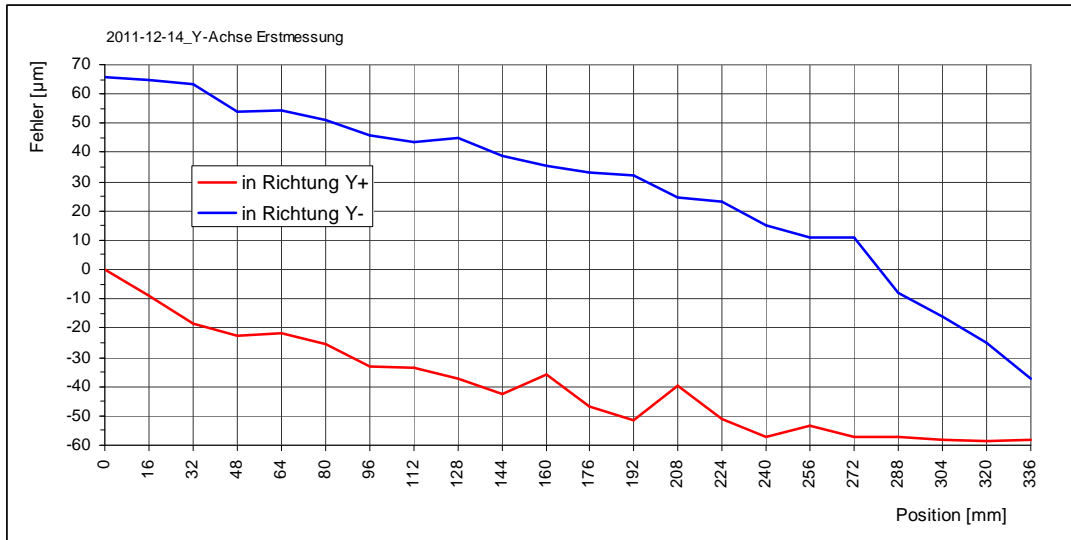


Abb. 85: Positionsfehler Y-Achse ohne Korrekturen

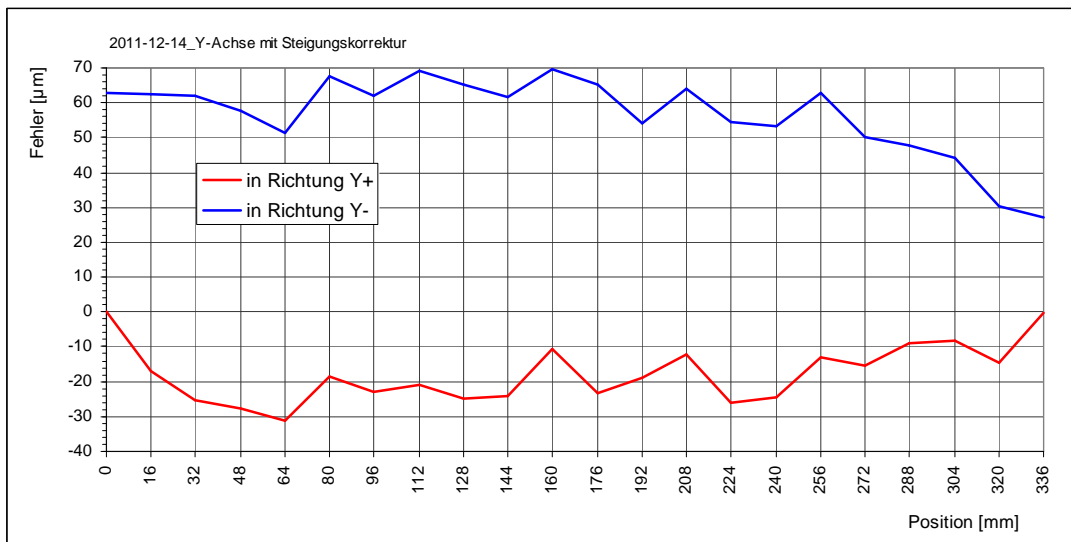


Abb. 86: Positionsabweichung Y-Achse mit Steigungskorrektur

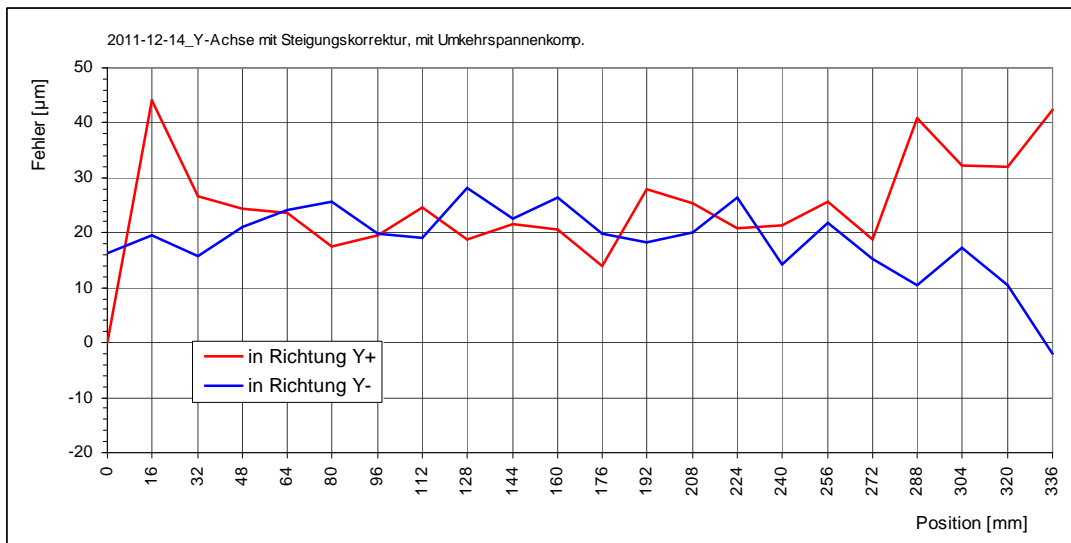


Abb. 87: Positionsabw. Y-Achse mit Steigungskorrektur und Umkehrspannenkomp.

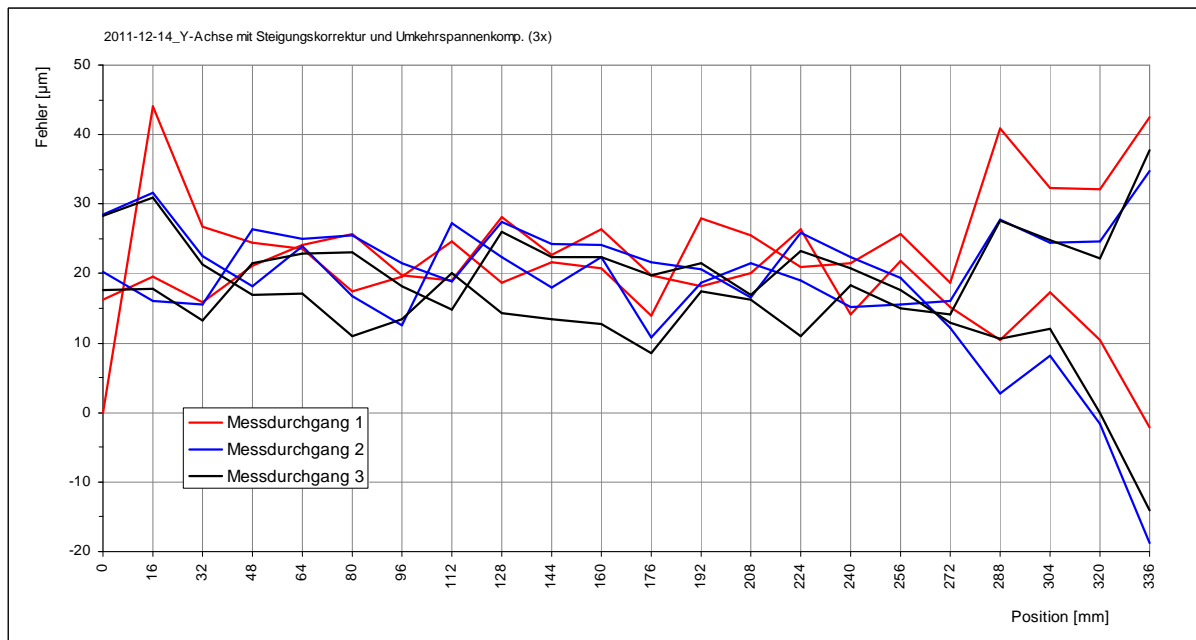


Abb. 88: Positionsabweichung der Y-Achse mit Steigungskorr. und Umkehrspannenkomp. (3x)

ISO 230-2 1997 Analyse Plot - Position

Maschine: Proton II	Mittl. Abw. M:	13.350	Umkehrsp. B:	49.900
Seriennr.: ---	Syst. Abw. E:	49.900	Genauigk. A+:	65.588
Datum: 14.12.2011	Wiederh. R+:	65.588	Genauigk. A-:	58.018
Achse: Y-Achse	Wiederh. R-:	34.225	Genauigk. A:	80.440

Tab. 14: Auswertung Positionsgenauigkeit Y-Achse

5.3.4 Kreisformtest

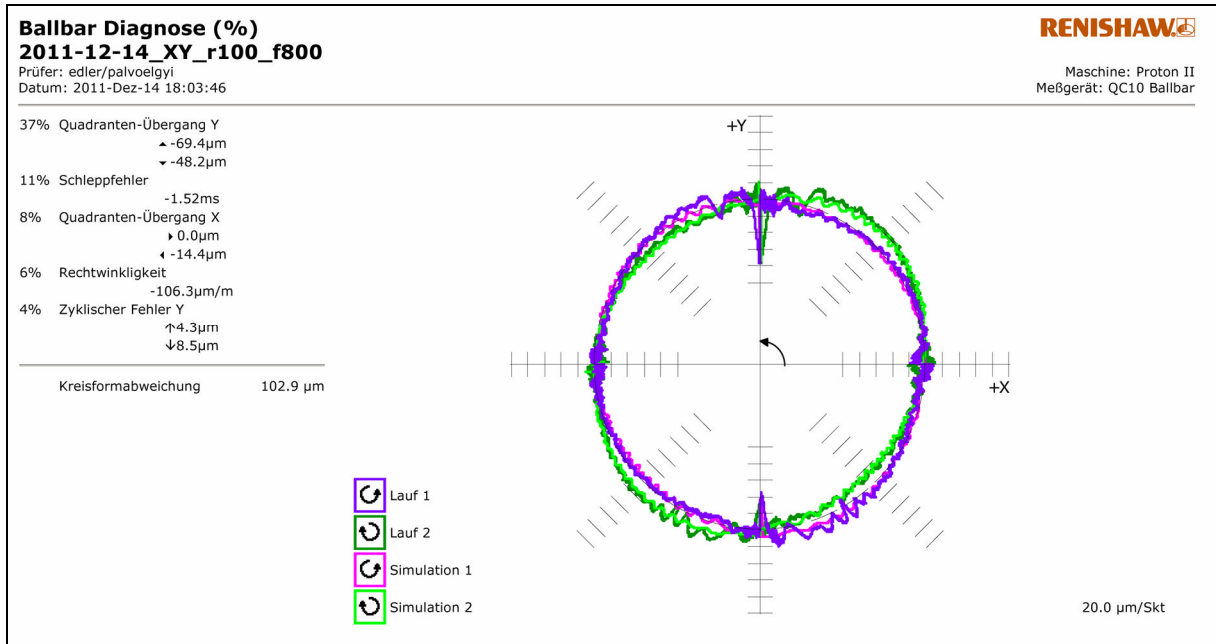


Abb. 89: Grafische Auswertung bei f = 800 mm/min

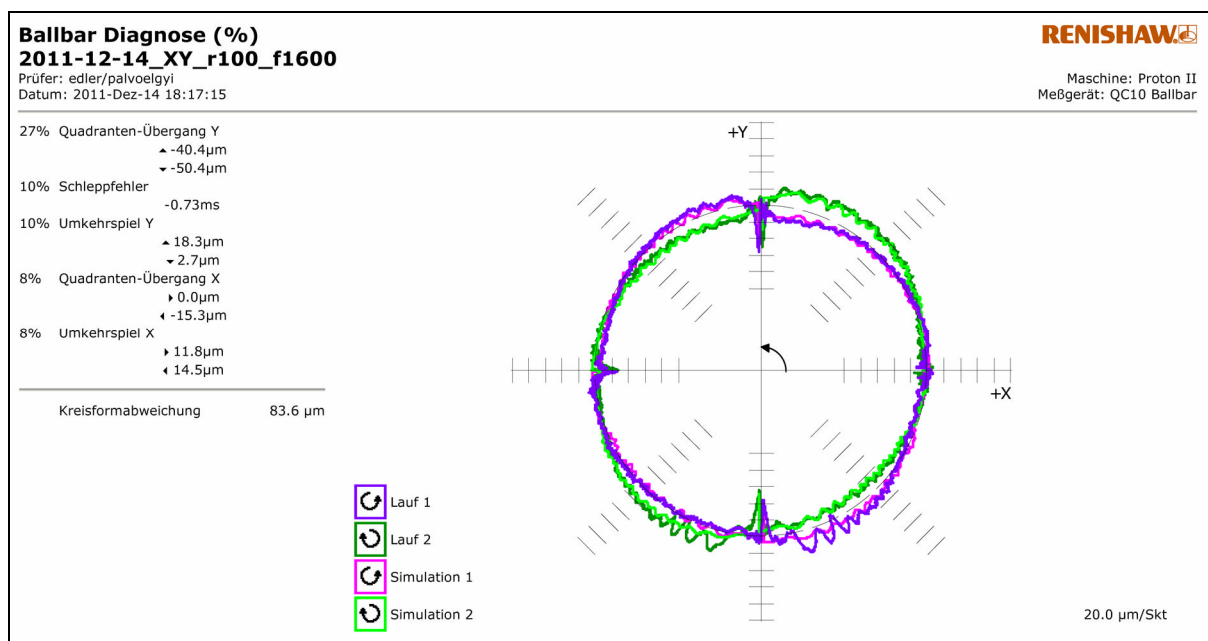
QC10 Diagnoseblatt
2011-12-14_XY_r100_f800
 Prüfer: edler/palvoelgyi
 Datum: 2011-Dez-14 18:03:46

RENISHAW
 Maschine: Proton II
 Meßgerät: QC10 Ballbar

Fehler	Größe	Kreisform-Abweichung	Folge
Umkehrspiel X	▶ 5.2	◀ 5.8 µm	5.8 µm (3%) (6)
Umkehrspiel Y	▲ -2.4	▼ 4.2 µm	4.2 µm (2%) (7)
Quadranten-Übergang X	▶ 0.0	◀ -14.4 µm	14.4 µm (8%) (3)
Quadranten-Übergang Y	▲ -69.4	▼ -48.2 µm	69.4 µm (37%) (1)
Kippen X	▶ 4.6	◀ -4.2 µm	2.4 µm (1%) (10)
Kippen Y	▲ -2.6	▶ 0.3 µm	1.6 µm (1%) (12)
Zyklischer Fehler X	↑ 3.2	↓ 3.8 µm	3.8 µm (2%) (9)
Zyklischer Fehler Y	↑ 4.3	↓ 8.5 µm	8.5 µm (4%) (5)
Schleppfehler	-1.52 ms		20.3 µm (11%) (2)
Rechtwinkligkeit	-106.3 µm/m		10.6 µm (6%) (4)
Geradheit X	7.8 µm		3.9 µm (2%) (8)
Geradheit Y	2.2 µm		1.1 µm (1%) (13)
Rel. Maßfehler	-4.1 µm		2.1 µm (1%) (11)
Zyklischer Abstand X	6.0000 mm		
Zyklischer Abstand Y	4.0000 mm		
Errechneter Vorschub	799.9 mm/min		
Mittelpunktsabweichung X	-126.0 µm		
Mittelpunktsabweichung Y	7.0 µm		
Kreisformabweichung	102.9 µm		

Test Parameter	
Radius	100.0000mm
Vorschub	800.0mm/min
Start/Ende/Ein-Auslaufbogen	0°/360°/180°
Meß-Sequenz	GUS IUS
Mittelpunkt	Centre
Meßfrequenz	250.000Hz

Tab. 15: Ermittelte Abweichungen bei f = 800 mm/min

Abb. 90: Grafische Auswertung $f = 1600$ mm/min

QC10 Diagnoseblatt
2011-12-14_XY_r100_f1600
 Prüfer: edler/palvoelgyi
 Datum: 2011-Dez-14 18:17:15

RENISHAW
 Maschine: Proton II
 Meßgerät: QC10 Ballbar

Fehler	Größe	Kreisform-Abweichung	Folge
Umkehrspiel X	▶ 11.8	◀ 14.5 µm	14.5 µm (8%) (5)
Umkehrspiel Y	▲ 18.3	▼ 2.7 µm	18.3 µm (10%) (3)
Quadranten-Übergang X	▶ 0.0	◀ -15.3 µm	15.3 µm (8%) (4)
Quadranten-Übergang Y	▲ -40.4	▼ -50.4 µm	50.4 µm (27%) (1)
Kippen X	▶ -8.7	◀ 7.3 µm	4.5 µm (2%) (9)
Kippen Y	▲ -2.7	▼ -4.0 µm	2.2 µm (1%) (10)
Zyklischer Fehler X	↑ 6.1	↓ 4.1 µm	6.1 µm (3%) (8)
Zyklischer Fehler Y	↑ 5.2	↓ 7.9 µm	7.9 µm (4%) (7)
Schleppfehler	-0.73 ms		19.4 µm (10%) (2)
Rechtwinkligkeit	-103.8 µm/m		10.4 µm (5%) (6)
Geradheit X	0.1 µm		0.1 µm (0%) (13)
Geradheit Y	1.5 µm		0.7 µm (0%) (12)
Rel. Maßfehler	-1.7 µm		0.9 µm (0%) (11)
Zyklischer Abstand X	10.0800 mm		
Zyklischer Abstand Y	4.0000 mm		
Errechneter Vorschub	1595.0 mm/min		
Mittelpunktsabweichung X	-128.3 µm		
Mittelpunktsabweichung Y	13.2 µm		
Kreisformabweichung	83.6 µm		

Test Parameter	
Radius	100.0000mm
Vorschub	1600.0mm/min
Start/Ende/Ein-Auslaufbogen	0°/360°/180°
Meß-Sequenz	GUS IUS
Mittelpunkt	Centre
Meßfrequenz	250.000Hz

Tab. 16: Ermittelte Abweichungen bei $f = 1600$ mm/min

5.4 Ergebnisse der Momentenmessungen

5.4.1 Reibmoment der Spindelmutter

Spindelmutter geschlitzt

Feder D-127D

Ungesp. Länge **29.0** mm

Federkonstante **1.164** N/mm

Federlänge [mm]	Federkraft (theor.) [N]	Masse [g]	Kraft [N]	Moment [Nm]
25	4.7	202	2.9	0.15
20	10.5	375	4.6	0.23
17	14.0	510	5.9	0.30

Tab. 17: Messergebnisse mit Feder D-127D (steif)

Spindelmutter geschlitzt

Feder D-092

Ungesp. Länge **24.5** mm

Federkonstante **0.57** N/mm

Federlänge [mm]	Federkraft (theor.) [N]	Masse [g]	Kraft [N]	Moment [Nm]
23	0.9	47	1.4	0.07
21	2.0	79	1.7	0.09
16	4.8	190	2.8	0.14

Tab. 18: Reibmomente mit Feder D-092 (weich)

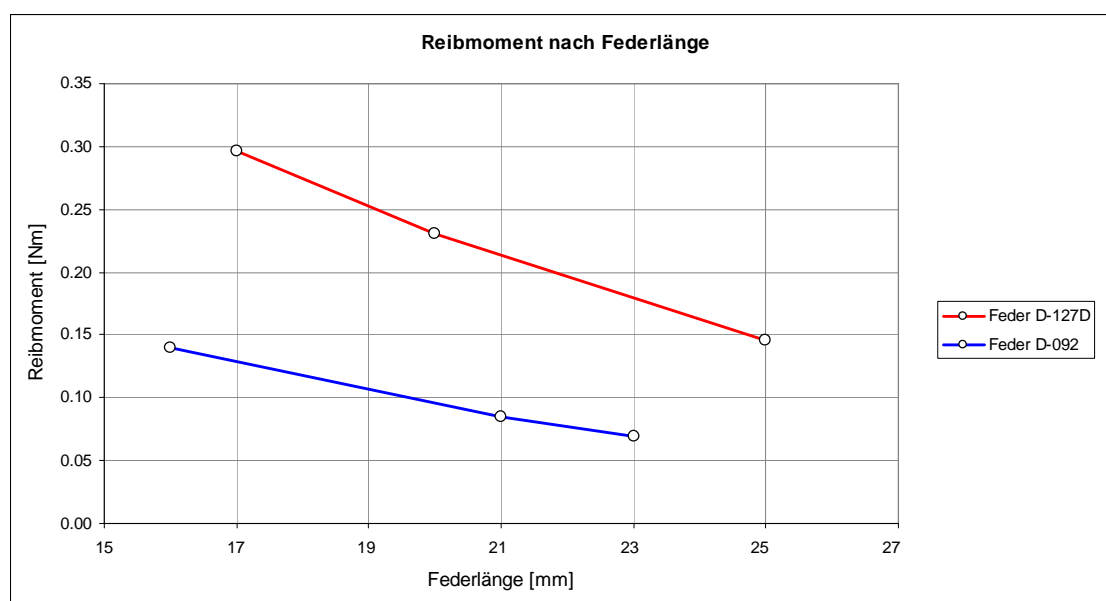


Abb. 91: Verlauf des Reibmoments

Ermittelter Gewindereibwert μ

Mit einer axialer Kraft von $F_{ax} = 49 \text{ N}$ auf die Spindel

Einteilige Mutter	0.109
Geschlitzte Mutter ($M = 0.2 \text{ Nm}$)	0.457

Tab. 19: Ermittelter Gewindereibwert

5.4.2 Momentenmessung der Schrittmotoren

Stromeinstellung der Endstufe: **4.2 A**

Radius der Seiltrommel: **50 mm**

Masse [g]	Vorschub [mm/min]	Schrittfrequenz [Hz]	Moment [Nm]
2840	0	0	1.39
1500	350	729	0.74 *
800	520	1083	0.39 *
500	1150	2396	0.25 *

*...Pull-In Moment

Tab. 20: Schrittmotormomente

6 Diskussion

6.1 Steifigkeitsverhalten der Maschine

Realitätsnahe Belastungen

Im Rahmen der Steifigkeitsuntersuchungen stellte sich die Frage, ob die angenommene Belastung für die Maschine nicht zu hoch angesetzt wurde.

Um dies beantworten zu können, wurden zwei verschiedene Bearbeitungsszenarien angenommen und die dabei auftretenden Kräfte ermittelt. Zusätzlich wurden die Frequenzen von möglichen Anregungsquellen der Maschine ermittelt.

a) Bohren

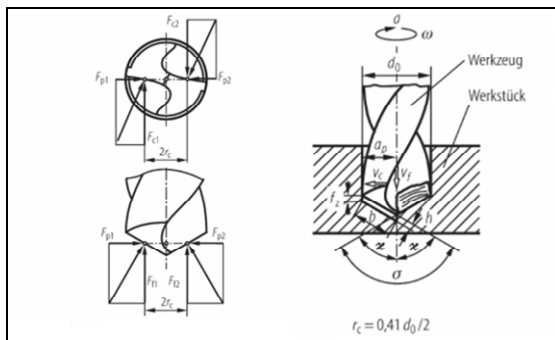


Abb. 92: Kräfte und Größen beim Bohren [9]

An der Bohrerspitze bilden sich Kräfte, wie in **Abb. 92** dargestellt, aus. Eine Berechnung für einen Bohrerdurchmesser von $d = 10 \text{ mm}$, einer Bohrerzahl von $n = 2100 \text{ U/min}$ und einem Vorschub von $f = 0,05 \text{ mm/Umd.}$ ergeben eine Vorschubkraft von ungefähr 600 N . Die angenommene Belastungskraft kann also bei einer Bohrbearbeitung durchaus erreicht werden. Es ist auch beim Bearbeiten zu beobachten, dass Bohren eine große Belastung für die Maschine darstellt. Die vollständige Rechnung befindet sich im Anhang.

b) Umfangsfräsen

Die Kräfte beim Umfangsfräsen, vor allem die Schnittnormalkraft, sind für realistische Zerspanungsquerschnitte ungefähr um eine Zehnerpotenz geringer als beim Bohren. Der Vergleich ist jedoch nicht ganz zulässig, da das Zeitspanvolumen deutlich geringer ist. Werden Schnittparameter gewählt die ein ähnliches Zeitspannungsvolumen ergeben, haben die Kräfte die gleiche Größenordnung.

c) Erregerfrequenzen

Um einen Überblick über auftretende äußere Erregerfrequenzen zu geben, wurden einige Szenarien mit empirisch ermittelten Schnittwerten in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Schrittmotoren haben schwingungstechnisch den großen Nachteil, dass sie in diskreten Schritten fahren. Durch die Wahl eines Schrittmotors mit einem kleinen Schrittwinkel bzw. durch Mikroschrittbetrieb können hier schädliche Anregungen verringert oder ganz verhindert werden. In der Tabelle sind einige Erregerfrequenzen für bestimmte Vorschubgeschwindigkeiten enthalten. Zu beachten ist aber, dass aufgrund von Beschleunigungs- und Verzögerungsrampen der gesamte Geschwindigkeitsbereich zwischen Stillstand und eingestellter Vorschubgeschwindigkeit durchfahren wird.

Erregung durch Schnittkraft			
Material	Spindeldrehzahl [U/min]	Zähnezahl Fräser	Frequenz d. Erregung [Hz]
Holz	12000	3	600
Messing	3600	4	120
Aluminium	9600	3	480

Erregung durch Schrittmotor	
Vorschubgeschwindigkeit [mm/min]	Frequenz d. Erregung [Hz]
50	104
500	1042
1500	3152
2000	4167

Tab. 21: Erregerfrequenzen

Finite Elemente Simulation

Beim Belastungsfall I (Belastung in X-Richtung) zeigt der Fräsmotor die größte Verformung. Der Ausleger, der den Fräsmotor in der Mitte des Arbeitsraums bringt, gibt der Belastungskraft einen großen Hebelarm. Durch den Abstand der Führungswellen zueinander wirken in den Kugelumlaufbuchsen teilweise höhere Kräfte als die Belastungskraft selbst. Ein Großteil der Verlagerung ist auf eine Durchbiegung der Linearwellen zurückzuführen. Verformungen an der Führung der Z-Achse haben starken Einfluss auf die Lage der Werkzeugspitze. Der Kreuztisch zeigt im Vergleich dazu wenig Verformung.

Belastungsfall II (Belastung in Y-Richtung) hat auf die Verformung der Führung der Z-Achse weniger Einfluss. Im Gegensatz zu Belastungsfall I, ist hier der Hebelarm zwischen Krafteinleitungspunkt und Kugelumlaufbuchsen etwas günstiger. Die Biegelinie der Führungen ist S-förmig mit insgesamt weniger Verformung wie im Fall der Belastung in X-Richtung. Die auftretende Verlagerung der Fräterspitze ist eher einer Biegung der Säule bzw. der Gussgrundplatte zuzurechnen. Der Tisch ist nicht nur sehr biegeweich, sondern auch sehr Torsionsweich und zeigt aufgrund der Belastung eine deutliche Verwindung.

Im letzten Belastungsszenario, Belastungsfall III (Belastung in Z-Richtung), zeigt die Z-Achse ein ähnliches Verhalten wie im vorigen Belastungsfall. Die Verlagerung des Referenzpunktes am Werkstück ist hauptsächlich auf die Durchbiegung des Aufspanntisches zurückzuführen.

Im Allgemeinen zeigen die Simulationsergebnisse, wie nicht anders zu erwarten war, eine sehr geringe Steifigkeit des Tisches. Dieser ist für die Größe der Maschine drastisch unterdimensioniert. Die Kugelumlaufbuchsen sind entgegen erster Erwartung relativ steif. Die nicht unterstützten Führungen zeigen trotz des verhältnismäßig großen Durchmessers schon deutliche Verformung. In der Simulation wird die Verspannung der Lagerböcke nicht berücksichtigt. Diese dient nicht nur der Elimination von Spiel in der Führung sondern beeinflusst, durch die nichtlineare Federkennlinie der Buchse, auch deren Steifigkeit. Die Lager der Vorschubspindeln sind in der Simulation als feste Körper dargestellt. Reale Kugellager zeigen natürlich eine gewisse Steifigkeit. Für die Simulation wird dabei die axiale Steifigkeit des Kugellagers die größte Rolle spielen, da Kräfte in radialer Richtung eher von den Führungswellen aufgenommen werden. Die nachfolgende Messung der Z-Achse in Achsrichtung zeigte große Unterschiede zur Simulation, die verhältnismäßig geringen Verformungen des Kreuztisches in Richtung der Belastungskraft in Belastungsfall I und II sind daher kritisch zu betrachten.

Messung der Maschinensteifigkeit

In der Simulation wurde zur Krafteinleitung in den Tisch eine mittig angebrachte Stahlplatte verwendet. Bei der Messung stand leider keine Platte mit diesen Abmaßen zur Verfügung und es musste eine kleinere und dünnere Platte verwendet werden. Wie sich im Laufe der Messung herausstellte haben die Platte und vor allem die Kontaktbedingungen zwischen Platte und Tisch einen großen Einfluss auf die Verlagerung. Um einen Vergleich zwischen Simulation und Messung zu ermöglichen, wurde der Lastfall III (Belastung in Z-Richtung) nochmalig mit entsprechend angepasster Platte und sonst gleichen Randbedingungen simuliert. Die Ergebnisse dieser angepassten Simulation werden den gemessenen Verlagerungen in **Tab. 11** gegenübergestellt.

Die Messung der Verlagerung in Tischmitte zeigt eine größere Verlagerung als in der Simulation. Wie schon erwähnt, spielt die Kontaktbedingung zwischen der Krafteinleitungsplatte und dem Tisch eine große Rolle, dieser Kontakt war bei der realen Messung nicht identisch nachstellbar.

Die Messung am Tischrand zeigt eine bessere Übereinstimmung mit den simulierten Werten, wobei die Messung eine geringere Verlagerung als die Simulation zeigte. Die händische Rechnung zeigte, dass sich das Modell der Theorie entsprechend verhält, die Abweichung ist daher am ehesten einer falsch angenommene Buchsensteifigkeit zuzuordnen. Aufgrund der im Modell nicht berücksichtigten Vorspannung der Buchsen in den Lagerböcken und auch aufgrund der höheren Messkraft ist eine höhere Steifigkeit zu erwarten.

Die Abweichungen zwischen den gemessenen und simulierten Verlagerungen waren bei der Spindel sehr groß. Zurückzuführen ist dies auf die Vernachlässigung der Steifigkeit des Kugellagers der Trapezgewindespindel und des Kontakts zwischen Gewindespindel und Mutter. Die Steifigkeit zwischen Mutter und Spindel kann nur durch eine getrennte Messung ermittelt werden, ein Wert für die Lagersteifigkeit der Spindellagerung ist von Lagerherstellern erhältlich. Es ist offensichtlich, dass das Vernachlässigen dieser Steifigkeiten eine zu grobe Vereinfachung darstellt. An dieser Stelle soll auch erwähnt werden, dass es sich bei den Spindellagern um zweireihige Pendelkugellager handelt (2200.2RS). Diese sind für die Aufgabe als möglichst steifes Festlager weniger gut geeignet. Im vorhandenen Bauraum würden auch zwei zusammengepasste Schrägkugellager (7200B) in Tandemanordnung passen. Diese Maßnahme würde die Steifigkeit der Achsen in Achsrichtung erhöhen.

6.2 Genauigkeit der Maschine

Grundsätzlich ist die erreichte Genauigkeit der Maschine sehr zufrieden stellend und wird prinzipiell für die an die Maschine gestellten Aufgaben als ausreichend angesehen. Mit Feintaster und Stahlwinkel erreicht man eine brauchbare Genauigkeit und diese Methode eignet sich auch sehr gut zur Einstellung der einzelnen Achsen. Wie in den Abbildungen **Abb. 74** bis **Abb. 76** zu sehen, ist eine Einstellung der Achswinkel zu einer idealen Messnormale relativ einfach, eine Winkligkeitsauswertung mit Korrektur einer abweichenden Messnormalen zwischen den Einstellschritten jedoch sehr aufwändig. Der Stahlwinkel sollte daher zumindest die Genauigkeitsklasse 0 besitzen. Solche Winkel sind etwas teurer, aber durchaus noch im leistbaren Rahmen (ca. 100€ für Ausführung gehärtet und rostfrei). Die konstruktiv vorgesehene Einstellbarkeit der Achsen hat sich bewährt. Empfehlenswert wäre zusätzlich konstruktiv Einstellschrauben vorzusehen, um eine feinfühligere und präzisere Verstellung zu ermöglichen.

Vorsicht ist bei der Messung des Gewindespiels mit Feintastern geboten, besonders wenn Antriebsmotoren mit stark ausgeprägten Rastmomenten zum Antrieb der Vorschubspindeln verwendet werden. Die Messung musste mehrmals wiederholt werden und tendiert dazu zu geringe Werte für das Gewindespiel zu liefern. Die Messung der Positionsabweichung mit dem Laserinterferometer zeigte eine Abweichung der Gewindesteigung bei X- und Y-Achse, wobei diese bei der X-Achse stärker ausgeprägt ist. Die vorgespannte Mutter an der X-Achse ist offensichtlich beim Spielausgleich und bei der selbstständigen Nachstellung gut wirksam. Die Y-Achse mit der einteiligen Mutter zeigt vergleichsweise großes Gewindespiel und deutlichen Verschleiß in der Mitte der Spindel, die X-Achse müsste bei Verwendung einer einteiligen Mutter ähnliches Verhalten zeigen. Steigungsfehler und Umkehrspiele wurden softwaretechnisch kompensiert. Prinzipiell gäbe es noch die Möglichkeit die Positionsabweichung mittels Kompensationstabelle auszugleichen. Hierzu wird eine absolute Wegmarke (Endschalter oder Referenzmarke eines Linearmaßstabs) benötigt, welche die Maschine (noch) nicht besitzt.

Die Messungen mit dem Double-Ball-Bar (**Abb. 89**, **Abb. 90**, **Tab. 15** und **Tab. 16**) bestätigen das deutlich bessere Verhalten der X-Achse, aufgrund der vorgespannten Mutter. Zu beachten sind auch die im Vergleich zu den Messungen mit dem Feintaster viel geringeren Geradheitsabweichungen. Zurückzuführen ist dieser Unterschied zu einem großen Teil auf die ungenügende Genauigkeit des Messnormals (die mit Messmaschine ermittelte Geradheit des langen Winkelschenkel betrug auf der Außenseite 7 µm).

Als weiterer großer Fehleranteil wurde der Schleppfehler identifiziert. Dieser Fehler ist von dynamischer Natur und beschreibt die während des Verfahrens auftretende Abweichung zwischen Soll- und Ist-Position einer Achse. Er kann auch als eine fehlerhafte Bewegungssynchronisation der Achsen betrachtet werden. Im Allgemeinen wird die vom Schleppfehler verursachte Abweichung mit

steigender Vorschubgeschwindigkeit größer. Beeinflussbar lässt sich der Schleppfehler PC-seitig durch Einstellungen in der Steuerungssoftware bzw. durch Optimierung der Signalverarbeitung durch den Mikrokontroller. Derartige Eingriffe können allerdings auch negativen Einfluss auf die Güte der Signalübertragung haben (z.B. Verpassen von Pulsen, Anfälligkeit auf Störpulse,...) und müssten zeitaufwändig erprobt werden.

6.3 Momentenmessungen

Reibmoment der Trapezgewindemutter

Es zeigte sich, dass die Bewegungsübertragung zwischen verspannter Mutter und Spindel umso besser wurde je höher die Federkraft war. Die, mit den gewählten Federn, einstellbaren Federkräfte haben einen spürbaren Einfluss auf das Reibmoment. Als Kompromiss zwischen gutem geometrischem Verhalten und geringem Reibmoment wurde eine gespannte Länge der steiferen Feder D-127D von $L = 22$ mm gewählt. Das erzeugte Reibmoment ist gemäß der Messung ungefähr $M_R = 0,2$ Nm. Axiales Spiel ist nicht fühlbar, die Mutter kann kaum spürbar gekippt werden. Bei der ungeschlitzten Mutter ist ebenfalls kein Axialspiel spürbar, die Mutter hat allerdings ein deutliches Kippspiel.

Momentenmessung Schrittmotor

Aus der Messung des Haltemoments des Schrittmotors geht hervor, dass der Motor bei einem Strom von 4,2 A ein Haltemoment von 1,39 Nm aufweist. Der eingestellte Strom ist etwas geringer als der zulässige Nennstrom (5 A). Mit der Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen Strom und Motormoment ergäbe sich ein Haltemoment von 1,65 Nm. Für eine Maschine dieser Größe zusammen mit den verwendeten Trapezgewindespindeln und der vorgespannten Mutter liegt dieser Motor im unteren Bereich des Möglichen. Weiters wurde versucht eine Motorkennlinie aufzunehmen, die Vorrichtung lässt aber nur eine Messung zu, die in etwa der Messung eines Pull-In Moments entspricht. Dabei liegt von Anfang an ein Moment am Motor an. Das magnetische Drehfeld muss den Rotor, entgegen der Last, in Synchronisierung ziehen. Interessanter, da realitätsnäher wäre die Messung des Pull-Out Moments. Hierbei läuft der Motor mit konstanter Drehzahl und ein Lastmoment wird aufgebracht, welches versucht den Rotor aus der Synchronisierung zu ziehen. Diese Messung lässt sich allerdings nur mit Hilfe einer Bremse durchführen. Weiters ist zu erwähnen, dass Messungen des dynamischen Moments zu einem großen Teil von der Motorendstufe und der verwendeten Versorgungsspannung abhängen.

7 Optimierungsmöglichkeiten

Im Weiteren sollen Möglichkeiten zur Optimierung der bestehenden Maschine untersucht werden.

7.1 Verstärkung des Aufspanntisches

In den Simulationen und der Messung der Maschine hat sich die außerordentlich geringe Steifigkeit des Aufspanntisches als eine der größten Schwachstellen herausgestellt. Im Folgenden werden Varianten verglichen unter der Annahme der Beibehaltung der Aluminiumplatte (T-Nuten) und deren Verstärkung durch eine zusätzlich Platte. Untersucht wird die Verformung aufgrund einer vertikalen Kraft, wie es bei der Simulation der Gesamtmaschine im Belastungsfall III der Fall war. Zusätzlich kommt es bei der Verwendung von Materialien mit unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten zu einer Verwölbung bei Temperaturänderungen („Bimetall-Effekt“). Eine Verstärkung durch eine Stahlplatte ist bezüglich des höheren E-Moduls von Stahl günstig, die Ausdehnungskoeffizienten von Aluminium und Stahl unterscheiden sich jedoch stark voneinander. Der rostfreie Stahl X5CrNi1810 hat im Gegensatz zum ferritischen S235JR ein austenitisches Gefüge und einen höheren Wärmeausdehnungskoeffizient. Dieser ist zwar noch immer geringer als der von Aluminium, mindert aber die Durchbiegung thermischer Natur schon merklich. Für das Berechnungsmodell wird nur der Tisch mit den Führungswellen herangezogen. Die Führungswellen sind mittig gegen Verschiebung in X-Richtung gesperrt und im Bereich der Kugelumlaufbuchsen in Y- und Z-Richtung gesperrt.

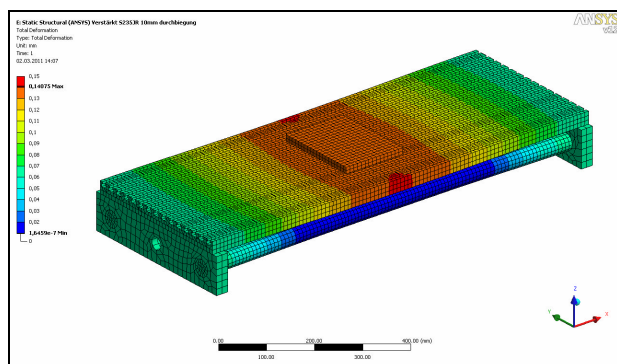


Abb. 93: Typisches Verformungsbild aufgrund senkrechter Last

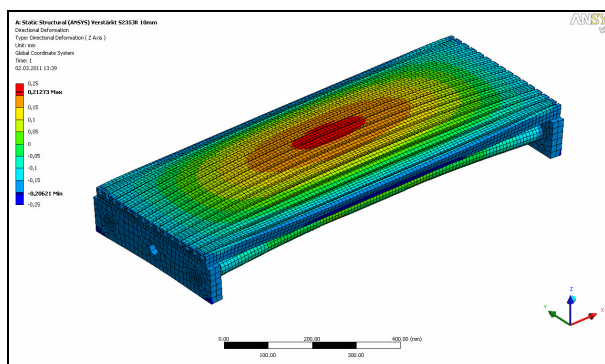


Abb. 94: Typisches Verformungsbild aufgrund Temperaturänderung

	Ist Zustand Aluminium T-Nutenplatte	10 mm Platte aus S235JR	10 mm Platte aus X5CrNi1810	15 mm Platte aus S235JR	20 mm Platte aus Aluminium
Δz @ $\Delta T = 25K$ [mm]	0.128	0.213	0.159	0.173	0.095
Δz @ $F_z = -1000N$ [mm]	-0.336	-0.139	-0.139	-0.121	-0.111

Tab. 22: Vergleich verschiedener Verstärkungsvarianten

Wie in **Tab. 22** zu sehen, ergibt die Verstärkung des Tisches mit Platten aus Stahl gute Ergebnisse bei der Durchbiegung. Nachteilig ist jedoch das ungünstige thermische Verhalten. Die letzte Variante (20 mm Aluminiumplatte) erscheint als zweckmäßigste Maßnahme, die schnell durchgeführt werden kann. Die Aluminiumplatte kann dann bei einer etwaigen Neugestaltung des Tisches als Rohmaterial für zukünftige Fräsarbeiten dienen.

In weiterer Folge wäre eine Untersuchung bezüglich eines einteiligen Aufspanntisches aus Grauguss überlegenswert. Aufgrund des verwendeten Führungssystems kann sich aber die höhere Masse des Tisches nachteilig auswirken. Der Aufwand zur Erstellung eines solchen Tisches ist relativ hoch (Konstruktion des Fertigteils und des Modells, Bau des Modells, Gießen, Spannungsarmglühen und Fertigbearbeitung) und wird im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht weiter behandelt.

7.2 Analyse alternativer Führungssysteme

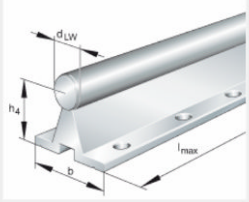
Eine weitere Schwachstelle sind die verwendeten Wellenführungen, die ohne Abstützung zwischen den Wellenböcken relativ große Spannweiten aufweisen. Die verwendeten geschlossenen Kugelumlaufbuchsen haben den Vorteil einer weitgehenden Richtungsunabhängigkeit der Buchsensteifigkeit, gute Abdichtung und einfacher Ausrichtung der Führung. Nachteilig ist die geringe Steifigkeit der Führungswellen (abhängig von Führungslänge und Schlittenposition).

Unterschiedliche Führungsvarianten sind untereinander nur sehr schwer vergleichbar, da sich zum Beispiel die statischen Tragzahlen schon erheblich unterscheiden. Für die Untersuchung wurden aus geometrischen Gründen offene Kugelumlaufbuchsen mit einem Wellendurchmesser von 30 mm mit ähnlicher statischer Tragzahl der ausgeführten Führung gewählt, die untersuchte Profilverführung ist die kleinste Baureihe der vierreihigen Profilverführungen der Fa. INA. Letztere ist vom geometrischen Standpunkt her eigentlich zu klein, die statische Tragzahl übertrifft jedoch die der verwendeten Kugelumlaufbuchsen schon um ein Vielfaches.

Die folgenden Analysen wurden schon unter Berücksichtigung eines verstärkten Aufspanntisches durchgeführt.

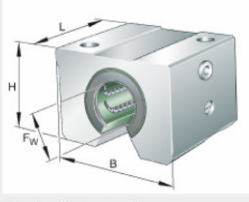
a) Führungswelle mit Tragschiene, offene Kugelumlaufbuchsen

Tragschienen TSNW
Vollprofil, für Befestigung von oben, mit einer Laufwelle; rostgeschützte Ausführung möglich



	d _{LW} mm	h _L mm	b mm	l _{max} mm	
TSNW12	12	22	40	6000	CAD
TSNW16	16	26	45	6000	CAD
TSNW20	20	32	52	6000	CAD
TSNW25	25	36	57	6000	CAD
TSNW30	30	42	69	6000	CAD
TSNW40	40	50	73	6000	CAD
TSNW50	50	60	84	6000	CAD

Linear-Kugellager-Einheiten KGNOS...-C-PP-AS
offene Ausführung, einstellbar, abgedichtet, befedert, nachschmierbar



	F _w mm	H mm	B mm	L mm	
KGNOS12-C-PP-AS	12	28	43	32	CAD
KGNOS16-C-PP-AS	16	35	53	37	CAD
KGNOS20-C-PP-AS	20	42	60	45	CAD
KGNOS25-C-PP-AS	25	51	78	58	CAD
KGNOS30-C-PP-AS	30	60	87	68	CAD
KGNOS40-C-PP-AS	40	77	108	80	CAD
KGNOS50-C-PP-AS	50	88	132	100	CAD

Abb. 95: Tragschiene und Linearkugellager (mit Kugelumlaufbuchse KNO) Fa. INA [6]

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Abstützung der Führungswelle durch sehr steife Schiene - Schiene versteift zusätzlich die restliche Maschinenstruktur - Einstellbar (Vorspannung) 	<ul style="list-style-type: none"> - Ausrichtung aufwändiger (Führungen zueinander, Spindelparallelität) - Offene Kugelumlaufbuchsen bewirken stark richtungsabhängige Steifigkeit - Verschmutzungsempfindlicher (Dichtung) - Teurer

Tab. 23: Vor- und Nachteile

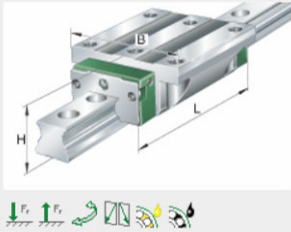
In **Tab. 23** sind Vor- und Nachteile der offenen Kugelumlaufbuchsen zusammengefasst. Die nachfolgende Tabelle (**Tab. 24**) zeigt die von der Fa. INA zur Verfügung gestellten Steifigkeitswerte für die Linear-Kugellager-Einheit KGNOS30C-PP-AS mit der eingebauten Kugelumlaufbuchse KNO30. Auffallend ist die geringe Steifigkeit in Zug-Richtung. Durch die offene Konstruktion kommt es hier zu einer Aufweitung der Linear-Kugellager-Einheit und entsprechend großen Verlagerungen.

Richtung der Belastung bezüglich der Tragschiene	Steifigkeit [N/mm]
Druck	107433
Zug	107482
Quer	43742

Tab. 24: Steifigkeitswerte

b) Profilschienenführung mit Führungswagen

Kugelumlaufeinheiten KUBE...-B
 Standard-Führungswagen, vierreihig, vollkugelig, rostgeschützte Ausführung möglich



	H mm	B mm	L mm		
KUBE15-B	24	47	61,2		
KUBE20-B	30	63	71,4		
KUBE25-B	36	70	83,3		
KUBE30-B	42	90	99		
KUBE35-B	48	100	112		
KUBE45-B	60	120	140,6		
KUBE55-B	70	140	173,6		
	H mm	B mm	L mm		

Abb. 96: Profilschienenführung Fa. INA [6]

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Führung abgestützt - Hohe Präzision - Hohe Steifigkeit - Vorgespannt erhältlich - Optionen: Dämpfungswägen, eingebautes lineares Messsystem 	<ul style="list-style-type: none"> - Ausrichtung aufwändiger (Führungen zueinander, Spindelparallelität) - Führungswagen haben richtungsabhängige Steifigkeit - Verschmutzungsempfindlicher (Dichtung) - Teuerste Variante

Tab. 25: Vor- und Nachteile

In **Tab. 25** sind Vor- und Nachteile der betrachteten Führungsvariante aufgezählt und in der nachfolgende Tabelle (**Tab. 26**) sind die Steifigkeitswerte der Führung KUBE15-B angeführt. Die Steifigkeitswerte sind generell auf hohem Niveau, im Gegensatz zu den offenen Kugelumlaufbuchsen sind die Steifigkeitswerte in der Richtung quer zur Schiene geringer als in Zug- oder Druckrichtung.

Richtung der Belastung bezüglich der Profilschiene	Steifigkeit [N/mm]
Druck	199000
Zug	179660
Quer	145320

Tab. 26: Steifigkeitswerte

Gegenüberstellung der Führungsvarianten

Die folgenden Abbildungen zeigen eine Gegenüberstellung der Verlagerungen des Aufspanntisches und der Spindel für die verschiedenen Führungsvarianten. Die Verformungen des Ist-Zustandes, KH40 (ist), werden dabei als 100 Prozent betrachtet. KH40 (verst.) bezeichnet die Maschine mit derzeitigem Führungssystem und verstärktem Tisch. KNO30 bezeichnet die Variante mit Tragschiene und offenen Kugelumlaufbuchsen und KUVE 15B die Variante mit Profilschienen.

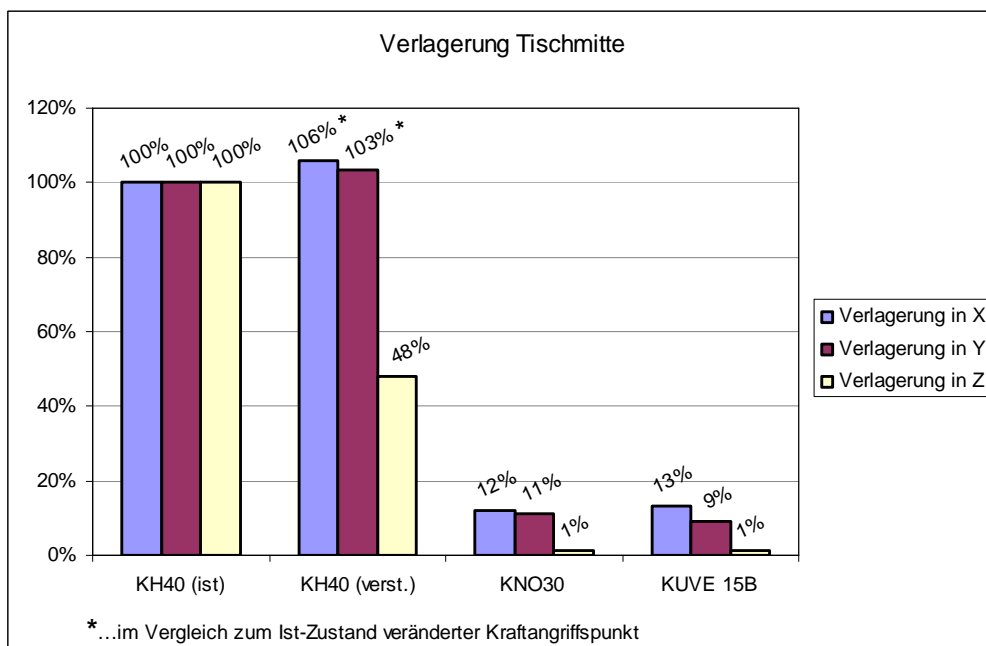


Abb. 97: Gegenüberstellung der Verlagerungen des Aufspanntisches

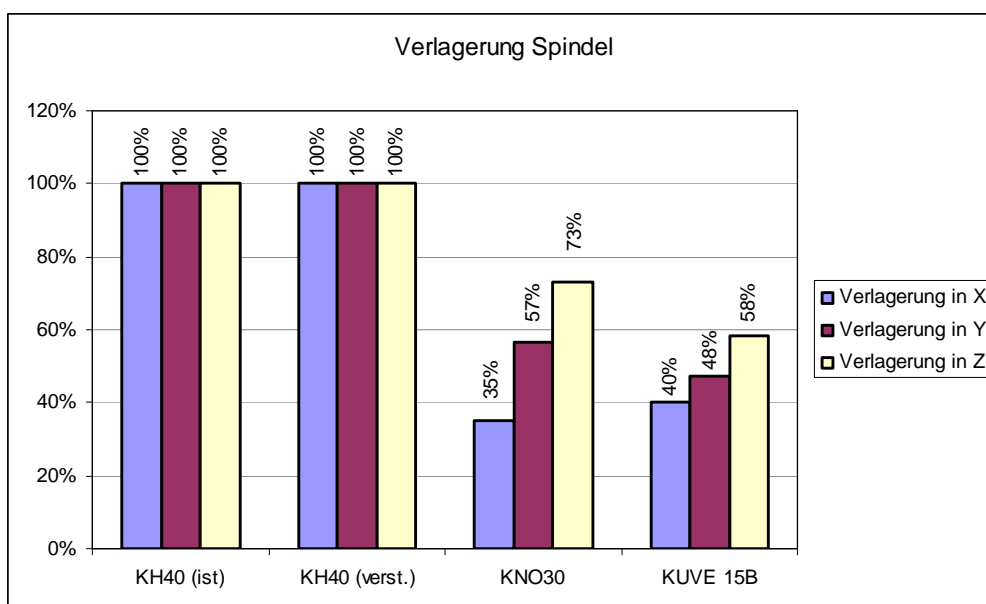


Abb. 98: Gegenüberstellung der Verlagerungen der Spindel

Wie in **Abb. 97** ersichtlich, verringert eine Verstärkung des Aufspanntisches unter Beibehaltung der bestehenden Kugelumlaufbuchsen die Verformung des Tisches in Z-Richtung um ca. 50 %. Für die anderen Richtungen kommt es sogar zu einer scheinbaren Verschlechterung der Steifigkeit. Zurückzuführen ist dies auf eine veränderte Kraftsituation. Die Verstärkungsplatte verschiebt den Krafteinleitungspunkt um 20 mm nach oben, somit verlängert sich der Hebelarm zu den Führungen. Außerdem kommt es durch die Verstärkungsplatte zu einer Erhöhung der Tischmasse.

Die Varianten KH40 (verst.), KNO30 und KUVE 15B basieren alle auf den verstärkten Tisch und besitzen daher eine gleiche Belastungssituation.

Die beiden Führungsvarianten mit unterstützten Führungen zeigen massive Verringerungen der Verformung. In X- und Y-Richtung zeigen beide ca. 10 % der Verformung des Ist-Zustands und in Z-Richtung nur 1 %. Die unterstützten Führungen ermöglichen einen viel direkteren Kraftfluss in die Gussgrundplatte der Maschine. Die geringere Steifigkeit der offenen Kugelumlaufbuchsen in Zug-Richtung wird bei Betrachtung der Gesamtverformung durch die sehr steife Tragschiene ausgeglichen. Ähnliches Verhalten gilt auch für die Verlagerung der Frässpindel (**Abb. 98**), hier sind die Verbesserungen allerdings nicht so stark ausgeprägt. Prinzipiell zeigt sich, dass Profilschienenführungen, besonders wenn die Baugröße mitbetrachtet wird, den anderen beiden Führungsarten deutlich überlegen sind.

7.3 Schrittmotorendstufe Marpet v0.34 MOS-Fet

Als Optimierung der Schrittmotorendstufe ist die Schrittmotorendstufe v0.34 in Erprobung. Um eine höhere Schaltfrequenz und geringere Wärmeentwicklung zu erreichen, sind die bisher verwendeten Darlington-Transistoren BD651 durch MosFETs (metal oxide semiconductor field-effect transistors) ersetzt. Bei Bipolartransistoren wird ein Schaltstrom durch einen Steuerstrom von Basis zu Emitter beeinflusst. Bei MosFETs erfolgt diese Beeinflussung des Steuerstroms durch eine Steuerspannung die am Gate des Transistors anliegt. Ein Strom wird hier nur zur Aufladung von parasitären Kapazitäten benötigt. Die Schaltzeiten sind wesentlich kürzer und die Verlustleistung ist im durchgeschalteten Zustand durch einen sich einstellenden inneren Widerstand zwischen Drain und Source $R_{DS(on)}$ bestimmt. Dieser ist niedrig und trägt zu einer niedrigen Verlustleistung bei. Im Falle der Bipolartransistoren fällt intern eine Spannung von ca. 2,8 V ab. Zusammen mit dem geschalteten Strom ergibt sich in diesem Fall eine wesentlich höhere Verlustleistung, damit ist auch die Erwärmung höher und muss mit geeigneten Kühlmaßnahmen begrenzt werden. Die Steuerung der Halbbrücke erfolgt durch einen Halbbrückentreiber LM5104. Die Gate-Spannung an den High-Side Transistoren wird mit einer sogenannten boot-strap Schaltung auf ein höheres Potential als die Schaltspannung gebracht. Der Halbbrückentreiber sorgt dabei für die Ladung des Boot-Strap Kondensators und stellt außerdem durch eine interne Totzeit zwischen den Signalen der Ausgänge sicher, dass High- und Low-Side Transistoren nicht gleichzeitig leitend sind. Die Stromregelung übernimmt ein PWM Controller UC1843.

Aufgrund der sehr scharfen Schaltflanken ist es notwendig auf geringe Impedanzen in leistungsführenden Leitungen der Platine und in den Bauteilen zu achten (Low-ESR Kondensatoren), da dies sonst zu starken Schwingungen führen kann. Die Platine ist zweiseitig ausgeführt und hat möglichst kurze Lastpfade. Ein früherer Versuch mit ähnlichem Aufbau wie die eingesetzte v0.25 war nicht funktionsfähig und die Brückentreiber wurden aufgrund von Spannungsspitzen zerstört. Die Rückseite bildet eine Masseebene, wobei die Masse der Logik und die des Leistungsteils weitgehend getrennt sind. Die Abbildungen **Abb. 99** und **Abb. 100** zeigen den Schaltplan und die gefräste Platine. Gefräst wurde in beidseitig kupferbeschichtetem Hartpapier mit einem Frässtichel mit einem Spitzendurchmesser von 0,2 mm und einem Spitzenwinkel von 15°. Die Einstichtiefe der Isolation beträgt 0,15 mm. Für Vorder- und Rückseite der Platine werden getrennte Fräsprogramme verwendet, wobei als erster Schritt die Platine mit der Tischauflage verstiftet wird.

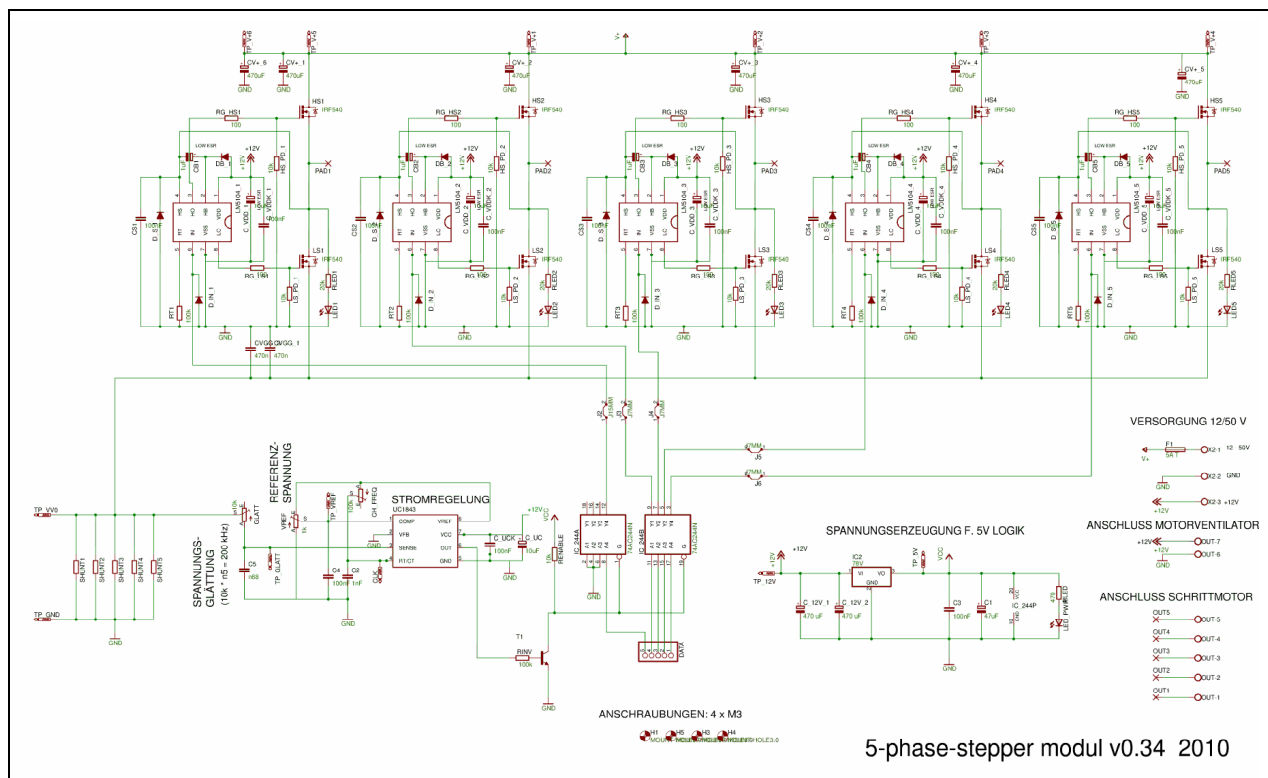


Abb. 99: Schaltplan Marpet v0.34

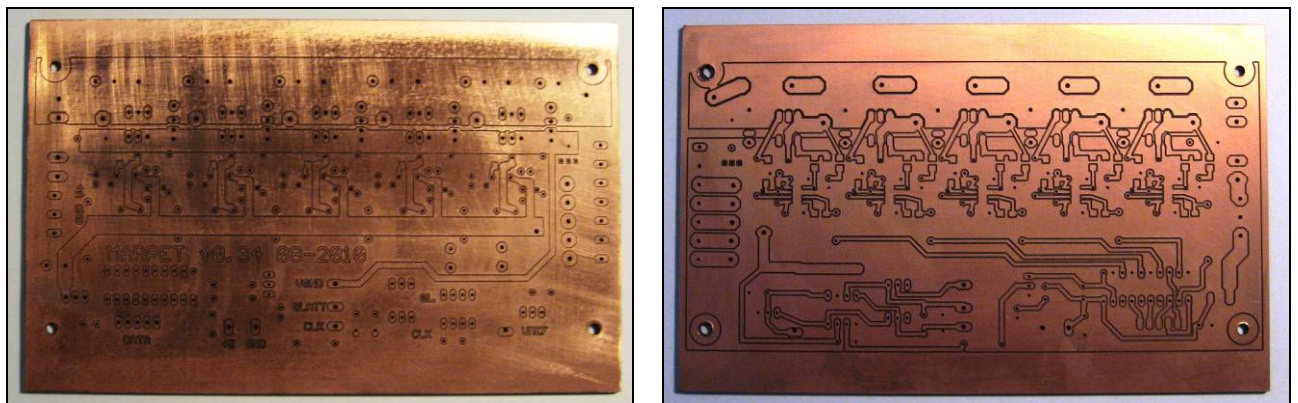


Abb. 100: Ober- und Unterseite der gefrästen Platine

Die Schaltung zeigte hervorragende Stromregelung im statischen Fall (Motor hält Position, Strom wird in den Spulen geregelt), jedoch nur unzureichende Stromregelung im dynamischen Fall (Motor fährt, Strom wird geregelt und die Spulen werden durchgetaktet). Weitere Untersuchungen und Abstimmungen sind daher noch notwendig. Aufgrund der erforderlichen niedrigen Impedanz ist dies nicht mehr am Steckbrett möglich und es muss eine neue Platine erzeugt werden. Das beidseitige Fräsen von Platinen mit der Maschine selbst ist natürlich eine große Erleichterung. Bei der statischen Stromregelung war bei einer Spannung von $U = 50 \text{ V}$, einem Nennstrom von $I = 5 \text{ A}$ und einer Chopperfrequenz von $f_{\text{clk}} = 100 \text{ kHz}$ keine nennenswerte Erwärmung der Transistoren festzustellen.

8 Ausblick

Im Folgenden werden einzelne Punkte aufgezählt mit denen das Verhalten der Maschine zukünftig verbessert werden kann bzw. das Arbeiten mit der Maschine erleichtert wird.

- Spindellager

Austausch der Kugellager der Vorschubspindel mit angestellten Lagern, dadurch könnte die Steifigkeit in Achsrichtung erhöht werden.

- Vorgespannte Mutter

Austausch der Spindelmuttern der Y- und Z-Achse mit vorgespannten Muttern, wie sie bei der X-Achse schon im Einsatz ist. Dies erfordert eine Neuvermessung der Winkligkeit zwischen X- und Y-Achse.

- Verstärkung des Aufspanntisches

Eine Verstärkung des Aufspanntisches durch eine Aluminiumplatte, wie in den Optimierungsmöglichkeiten beschrieben, stellt eine schnell durchführbare Zwischenlösung dar. Letztendlich ist das Ziel ein Gusstisch in ähnlicher Ausführung wie die Grundplatte. Der Bau des Gussmodells wird durch Maschineneinsatz erleichtert.

- Endschalter, Kabelschleppketten und Faltenbalgabdeckungen

Das Hauptaugenmerk bei der Verwendung von Endschaltern liegt bei der Verwendung als Sicherheitseinrichtung. Zusammen mit dem Indexpuls der Drehgeber ist es außerdem möglich eine genaue Referenzposition zu erzeugen (Maschinennullpunkt). Mit Kenntnis der absoluten Maschinenposition kann aus den Positionsmessungen eine Kompensationstabelle erzeugt werden, die in der Steuerung hinterlegt wird und die Positionsgenauigkeit der Maschine weiter verbessert. Faltenbalgabdeckungen sind notwendig, um Eindringen von Spänen zu den Führungselementen und zu den Spindeln zu verhindern. Derzeit wird dies durch ein Tuch verhindert, das Entfernen der anfallenden Späne gestaltet sich aber als schwierig. Faltenbälge erfordern eine geordnete Kabelführung die am Besten mit Kabelschleppketten bewerkstelligt wird. Die Konstruktion muss so gewählt sein, dass ein Umbau auf den endgültigen Gusstisch ohne große Änderung möglich ist.

- Weiterentwicklung der Mos-FET Endstufe

Versuchsansätze wären einen einzelnen Choppertransistor ähnlich der Ausführung der Endstufe v0.1 einzusetzen und die Stromregelung wie in Endstufe v0.25 auszuführen um die Dynamik zu verbessern. Aufgrund der Problematik mit der Leitungsimpedanz müssen Platinen erzeugt werden.

9 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde die Entstehung einer Eigenbau-Fräsmaschine vom Funktionsmuster bis zu einem Großteil aus Stahl bestehenden Prototypen beschrieben. Für diese Maschinen wurde die zur Steuerung erforderliche Elektronik und Software entwickelt, die ebenfalls der Arbeit beigelegt sind.

Die vorhandenen CAD-Daten der Maschine wurden vereinfacht und einer Finiten Elemente Simulation zugeführt. Dafür wurden drei Belastungsfälle entlang den einzelnen Achsrichtungen angenommen. Aus den ermittelten Verlagerungen wurde eine Steifigkeit der Maschine errechnet. Um die Simulation zu verifizieren wurden einzelne Teile händisch nachgerechnet. Anschließend wurden die Steifigkeiten der Maschine in Z-Richtung, durch Messung der Verlagerung bei definierter Last, ermittelt. Die händische Rechnung stimmte gut mit der Simulation überein, die Messung zeigte im Randbereich des Aufspanntisches eine geringfügig höhere Steifigkeit. In Tischmitte und an der Spindel zeigte die Messung teilweise deutlich geringere Steifigkeiten.

Die geometrische Genauigkeit der Maschine wurde mit verschiedenen Messverfahren ermittelt. Gemäß den an die Maschine gestellten Anforderungen, wird diese als zufrieden stellend bewertet. Die Messungen zeigen durchgehend das gute Funktionieren des Spielfrei-Konzepts der Spindelmutter.

Anschließend wurden einige Optimierungsmöglichkeiten untersucht. Darunter eine Verstärkung des Aufspanntisches, ein Vergleich mit alternativen Führungsvarianten und eine Weiterentwicklung der Schrittmotorendstufe.

Insgesamt war das Projekt CNC Fräsmaschine sehr zeitaufwändig, aber auch sehr lehrreich. Besonders trifft dies auf das Gebiet der Elektrotechnik zu, das für den Maschinebauer oft eher fremd ist. Die der Arbeit beigelegten Anhänge (Software, Platinen und Zeichnungen) können in jedem Fall als Grundlage für Neuprojekte verwendet werden.

10 Quellenverzeichnis

- [1] <http://www.cnc-step.de>
- [2] <http://www.easgmbh.de>
- [3] <http://www.quantum-maschinen.de>
- [4] Weck, M.; Brecher, C. 2006. Werkzeugmaschinen Konstruktion und Berechnung. Springer Verlag, Heidelberg. 701pp.
- [5] <http://www.linuxcnc.org>
- [6] <http://www.ina.de>
- [7] Weck, M.; Brecher C. 2006. Werkzeugmaschinen 5 Messtechnische Untersuchung und Beurteilung, dynamische Stabilität. Springer Verlag, Heidelberg. 474pp.
- [8] <http://www.renishaw.com>
- [9] Herfurth, K. et al. 1997. Fertigungsverfahren. In: Beitz, W.; Grote, K.-H; (Hrsg.) Dubbel Taschenbuch für den Maschinenbau. Springer Verlag, Berlin. S1-S124.
- [10] Böge, A. (Hrsg). 2009. Formeln und Tabellen Maschinenbau. Vieweg+Teubner, Wiesbaden. 390pp.
- [11] <http://www.sanyo-denki.com>

11 Anhang

11.1 Überblick von Fräsarbeiten



Schale
Material: Ahorn
Maße [mm]: \varnothing 150 x 45

Gefräst mit dem Funktionsmuster



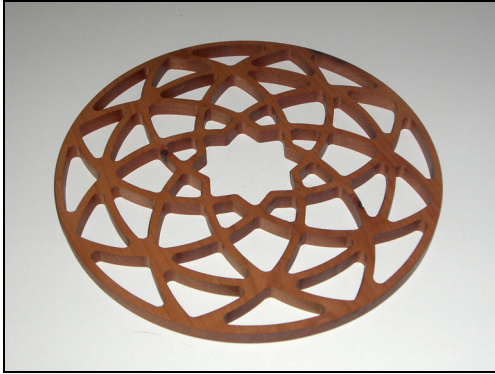
Gitarrenhals
Material: Ahorn
Maße [mm]: 680 x 100 x 24



Gitarrenkorpus
Material: Schwarznuss
Maße [mm]: 480 x 320 x 45



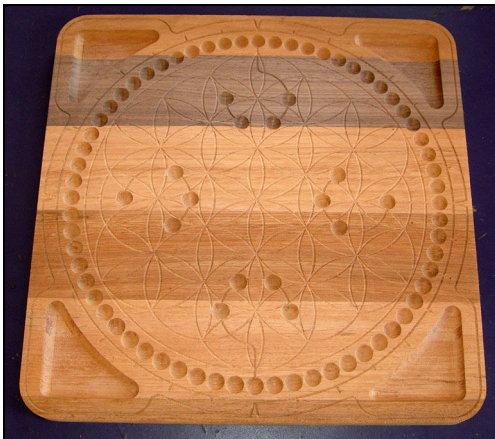
Schautafel Cycvolute
(Sonderverzahnung)
Material: Birne, Messing
Maße [mm]: 300 x 200 x 30



Mandala
Material: Birne
Maße [mm]: ø210 x 9



Schmuckdose mit Deckel
Material: Birne
Maße [mm]: ø80 x 30



Spielbrett TAC
Material: Eiche, Nuss
Maße [mm]: 310 x 310 x10



Spielbrett TACmobil
Material: Birne
Maße [mm]: ø400 x 8



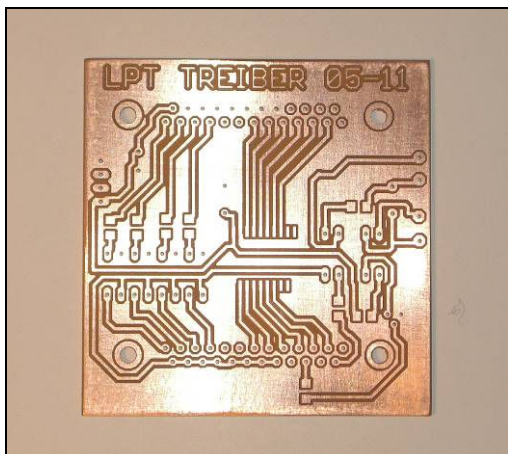
Radaufhängung Modellfahrzeug
Material: Aluminium
Maße [mm]: 55 x 62 x 12



Ventilator Balkenmäher
Material: Aluminium
Maße [mm]: \varnothing 126 x 37



Zahnrad & Zahnstange
Material: Birne, Acrylglas
Maße [mm]: 180 x 120 x 20



LPT Treiber Platine
Material: Epoxid, 35 μ m Kupfer
Maße [mm]: 68 x 68 x 1,5

11.2 Berechnungen

11.2.1 Auslegungsrechnung

Daten Gewindespindel:

Verwendete Trapezgewindespindel & Mutter: Fa. Pfaff-Silberblau

Gewindesteigung: $P \equiv 4 \cdot \text{mm}$

Flankenwinkel: $\beta \equiv 30^\circ$

Flankendurchmesser: $d_2 \equiv 13.8 \cdot \text{mm}$

Angenommener Reibungskoeffizient: $\mu \equiv 0.1$ C35-Spindel, Bronze-Mutter, geschmiert

Errechnete Werte Spindel:

Steigungswinkel: $\alpha \equiv \text{atan}\left(\frac{P}{d_2 \cdot \pi}\right)$ $\alpha = 5.271^\circ$

Korr. Reibungswinkel: $\rho \equiv \frac{\mu}{\cos\left(\frac{\beta}{2}\right)}$ $\rho = 0.104$

Wirkungsgrad: $\eta \equiv \frac{\tan(\alpha)}{\tan(\alpha + \rho)}$ $\eta = 0.466$

Daten Antrieb u. Messsystem:

Auflösung Schrittmotor: $i_m := 500 \cdot \text{Schritte}$

Auflösung Drehgeber: $i_{DG} := 7200$

Auswertung Drehgeber: $\varphi := 4$...4x quadratur-Mode

Experimentell ermittelte Werte:

Max. Vorschubgeschwindigkeit: $v_{fmax} := 5500 \cdot \frac{\text{mm}}{\text{min}}$

Max. Beschleunigung: $a_{fmax} := 400 \cdot \frac{\text{mm}}{\text{s}^2}$

Errechnete Werte:

Max. Motordrehzahl: $n_{mmax} := \frac{v_{fmax}}{P}$ $n_{mmax} = 219 \cdot \text{rpm}$

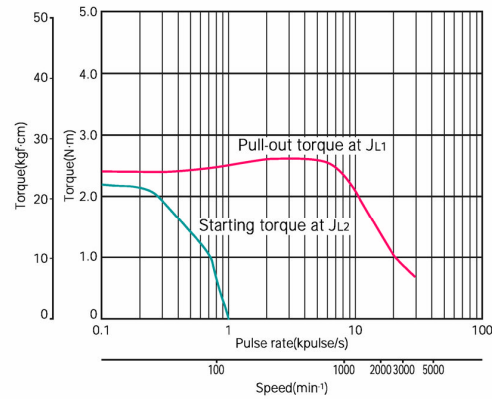
Schrittfrequenz: $f_{LPT} := n_{mmax} \cdot i_m$ $f_{LPT} = 11.458 \cdot \text{kHz}$

*Schrittfrequenz: - Externe Interrupts des Mikrokontrollers (Signalverarbeitung)
- Chopperfrequenz der Stromregelung (Faktor 10 wünschenswert)
--> Verlustleistung der Endstufen
- Drehmomentcharakteristik des Schrittmotors*

Impulsfrequenz Drehgebersignal: $f_{DG} := n_{mmax} \cdot i_{DG} \cdot \varphi$ $f_{DG} = 660 \cdot \text{kHz}$

*Drehgebersignalfrequenz: - Zu schnell für Mikrokontroller (Signalverarbeitung)
--> Eigene Auswerte ICs erforderlich*

●103H8581-8041



Sanyo constant current circuit

Source voltage : 100V AC · Winding current : 1.5A/phase

5-phase excitation (Full step)

 $J_{L1} = 7.4 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ (With rubber coupling) $J_{L2} = 1.45 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ (Pulley balancer system)

Quelle: Fa. Sanyo Denki [11]

Aus Diagramm: $M_{\text{nema}} \equiv 2.5 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$ $I_{\text{nema}} \equiv 1.5 \text{ A}$

Nennstrom: $I_{\text{m}} \equiv 1.25 \cdot \text{A}$

Unter der Annahme einer ähnlichen Kennlinie mit Phasenstrom skaliert.

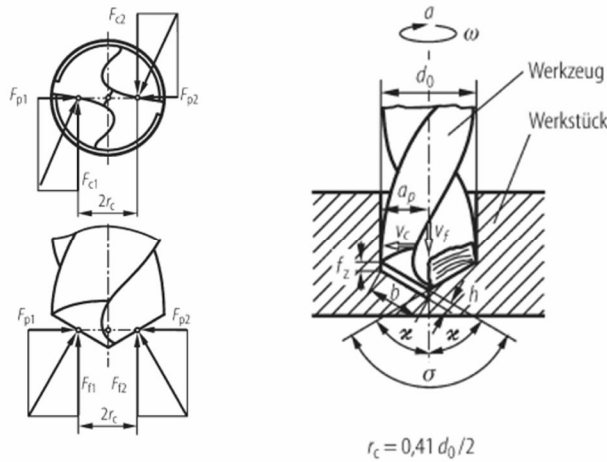
Max. Motormoment: $M_{\text{mmax}} \equiv M_{\text{nema}} \cdot \frac{I_{\text{m}}}{I_{\text{nema}}}$ $M_{\text{mmax}} = 2.083 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$

Erzeugbare Vorschubkraft (bis ca. 8 kHz = 3840 mm/min):

Max. Vorschubkraft: $F_{\text{f}} := \frac{M_{\text{mmax}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \eta}{p}$ $F_{\text{f}} = 1524 \text{ N}$

11.2.2 Kräfte beim Bohren

Skizze (nach [9])



Werkzeugabmaße

Bohrerdurchmesser: $d_0 = 10 \text{ mm}$
 Spitzenwinkel: $\sigma = 140^\circ$
 Anzahl der Schneiden: $z = 2$

Technologische Größen

Drehzahl: $n = 2100 \cdot \frac{1}{\text{min}}$
 Vorschub pro Umd.: $f = 0.05 \text{ mm}$
 Vorschub in mm/min: $f \cdot n = 105 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$
 Schnittgeschw.: $v_c := d_0 \cdot \pi \cdot n$
 $v_c = 65.973 \cdot \frac{\text{m}}{\text{min}}$

Materialdaten (nach [9])

Richtwerte: HSS $v_c = 30 - 35 \text{ m/min}$
 HM $v_c = 75 - 80 \text{ m/min}$

Anh. S4 Tabelle 1. $k_{c1.1}$ und $1 - m_c$ Werte für Eisenwerkstoffe

Schnittbedingungen	Schnittgeschwindigkeit $v_c = 100 \text{ n min}^{-1}$					
	Schnittiefe $a_p = 3 \text{ mm}$			Schneidstoffe		
	α	γ	λ	ϵ	κ	r_ϵ
Stahl:	5°	6°	0°	90°	70°	0,8 mm
Guß:	5°	2°	0°	90°	70°	0,8 mm

Werkstoff	R_m N/ mm ²	Spezifische Zerspankräfte $k_{f1.1}$ in N/mm ²					
		$k_{c1.1}$	$1 - m_c$	$k_{f1.1}$	$1 - m_f$	$k_{p1.1}$	$1 - m_p$
St 50-2	559	1499	0,71	351	0,30	274	0,51
St 70-2	824	1595	0,68	228	-0,07	152	0,10
Ck 45 N	657	1659	0,79	521	0,51	309	0,60
Ck 45 V	765	1584	0,74	364	0,27	282	0,57
40 Mn 4V	755	1691	0,78	350	0,31	244	0,55
37 MnSi 5V	892	1656	0,79	239	0,31	249	0,67
18 CrNi8BG	618	1511	0,80	318	0,27	242	0,46
30 CrNiMo8V	971	1704	0,82	337	0,46	371	0,88
41 Cr 4 V	961	1596	0,77	291	0,27	215	0,52
16 MnCr 5N	500	1411	0,70	406	0,37	312	0,50
20 MnCr 5N	588	1464	0,74	356	0,24	300	0,58
42 CrMo 4V	1138	1773	0,83	354	0,43	252	0,49
55 NiCrMoV6V	1141	1595	0,71	269	0,21	198	0,34
100 Cr 6	624	1726	0,72	318	0,14	362	0,47
GG 30	HB=206	899	0,59	170	0,09	164	0,30

Gewählt: St50-2

Spez. Schnittkraft

$$k_{c1.1} = 1499 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad m_c = 1 - 0.71$$

Spez. Vorschubkraft

$$k_{f1.1} = 351 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad m_f = 1 - 0.30$$

Berechnung

$$\text{Vorschub pro Schneide und Umd.: } f_z = \frac{f}{z} \quad f_z = \mathbf{0.025} \cdot \text{mm}$$

$$\text{Vorschubgeschwindigkeit: } v_f = f \cdot n \quad v_f = \mathbf{105} \cdot \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

$$\text{Wirkradius der Kräfte: } r_c = \mathbf{0.41} \cdot \frac{d_0}{2} \quad r_c = \mathbf{2.05} \cdot \text{mm}$$

$$\text{Anstellwinkel: } \kappa = \frac{\sigma}{2} \quad \kappa = \mathbf{70} \cdot ^\circ$$

$$\text{Spanungsbreite: } b = \frac{d_0}{2} \cdot \frac{1}{\sin(\kappa)} \quad b = \mathbf{5.321} \cdot \text{mm}$$

$$\text{Spanungshöhe: } h = f_z \cdot \sin(\kappa) \quad h = \mathbf{0.023} \cdot \text{mm}$$

Ergebnisse

$$\text{Schnittkraft: } F_c := b \cdot \left(\frac{h}{\text{mm}} \right)^{(1-m_c)} \cdot \text{mm} \cdot k_{c1.1} \quad F_c = \mathbf{556} \cdot \text{N}$$

$$\text{Vorschubkraft: } F_f := b \cdot \left(\frac{h}{\text{mm}} \right)^{(1-m_f)} \cdot \text{mm} \cdot k_{f1.1} \quad F_f = \mathbf{606} \cdot \text{N}$$

Auswirkungen auf den Fräsmotor:

$$\text{Erforderliches Antriebsmoment: } M_c := F_c \cdot r_c \cdot z \quad M_c = \mathbf{2.28} \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$\text{Theor. Antriebsleistung: } P_c := M_c \cdot n \cdot 2 \cdot \pi \quad P_c = \mathbf{501.389} \cdot \text{W}$$

$$\text{Einstellung Frequenzumformer: } n = \mathbf{35} \cdot \text{Hz}$$

Auswirkung auf den Vorschubmotor:

$$\text{Vorschubgeschwindigkeit: } v_f = \mathbf{105} \cdot \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

$$\text{Steigung der Vorschubspindel: } P := \mathbf{4} \cdot \text{mm}$$

$$\text{Drehzahl der Vorschubspindel: } n_{\text{achse}} := \frac{v_f}{P} \quad n_{\text{achse}} = \mathbf{26.25} \cdot \frac{\mathbf{1}}{\text{min}}$$

$$\text{Schrittgeschwindigkeit: } i := n_{\text{achse}} \cdot \mathbf{500} \cdot \text{Schritte} \quad i = \mathbf{218.75} \cdot \frac{\text{Schritte}}{\text{s}}$$

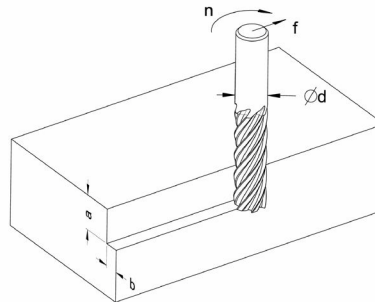
$$\text{Wirkungsgrad Spindel: } \eta := \mathbf{0.46}$$

$$\text{Erforderliches Vorschubmoment: } M_{\text{an}} := \frac{F_f \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot \eta} \quad M_{\text{an}} = \mathbf{0.839} \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$\text{Leistung: } P_{\text{achse}} := M_{\text{an}} \cdot n_{\text{achse}} \cdot 2 \cdot \pi \quad P_{\text{achse}} = \mathbf{2.306} \cdot \text{W}$$

11.2.3 Kräfte beim Umfangsfräsen

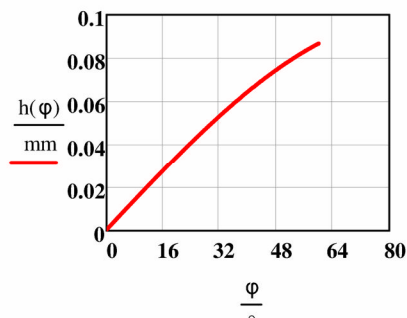
Fräserdaten

Fräserdurchmesser: $d := 16 \text{ mm}$ Anzahl der Schneiden: $z := 4$ Radius: $r := \frac{d}{2}$ $r = 8 \text{ mm}$ 

Technologische Daten

Drehzahl: $n := 60 \text{ Hz}$ $n = 573 \text{ rpm}$ Schnittgeschwindigkeit: $v_c := d \cdot \pi \cdot n$ $v_c = 180.956 \frac{\text{m}}{\text{min}}$ Vorschub je Fräserzahn: $f_z := 0.1 \text{ mm}$ *Richtwerte für v_c : 10-25.....HSS*
*100-200..HM*Vorschub: $f := f_z \cdot z \cdot n$ $f = 1440 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$ *Richtwerte für f_z : 0.1-0.25...HSS*
*~0.2.....HM*Schnitttiefe: $a := 4 \text{ mm}$ Schnittbreite: $b := .5 \text{ mm}$

Berechnung des Spanungsquerschnitts (nach[10])

Schnitthöhe: $h(\varphi) := f_z \cdot \sin(\varphi) + \frac{f_z^2 \cdot \cos(\varphi)}{d}$ Eintrittswinkel: $\varphi_E := 0^\circ$ Austrittswinkel: $\varphi_A := \arccos\left(\frac{r-a}{r}\right)$ $\varphi_A = 60^\circ$ $\varphi := \varphi_E, 0.1^\circ \dots \varphi_A$ 

Mittlere Spannungshöhe:

$$h_m := \frac{1}{\varphi_A - \varphi_E} \int_{\varphi_E}^{\varphi_A} h(\varphi) d\varphi$$

$$h_m = 0.048 \text{ mm}$$

Für die weitere Rechnung wird mit der Schnitthöhe bei φ_A gerechnet (Maximalwert).Spanungsquerschnitt: $A := a \cdot h(\varphi_A)$ $A = 0.348 \text{ mm}^2$

Spez. Kenngrößen (nach[9])

Material: St 52-3

Spezifische Schnittkraft:	$k_{c1.1} := 1469 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Koeffizient:	$m_c := 0.25$
Spezifische Normalkraft:	$k_{cN1.1} := 447 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Koeffizient:	$m_{cN} := 0.57$
Spezifische Passivkraft:	$k_{p1.1} := 174 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	Koeffizient:	$m_p := 0.56$

Ermittlung der Kräfte

Schnittkraft: $F_c := b \cdot k_{c1.1} \cdot \left(\frac{h(\varphi_E)}{\text{mm}} \right)^{1-m_c} \cdot \text{mm}$ $F_c = 3 \text{ N}$

Schnittnormalkraft: $F_{cN} := b \cdot k_{cN1.1} \cdot \left(\frac{h(\varphi_E)}{\text{mm}} \right)^{1-m_{cN}} \cdot \text{mm}$ $F_{cN} = 9 \text{ N}$

Passivkraft: $F_p := b \cdot k_{p1.1} \cdot \left(\frac{h(\varphi_E)}{\text{mm}} \right)^{1-m_p} \cdot \text{mm}$ $F_p = 3 \text{ N}$

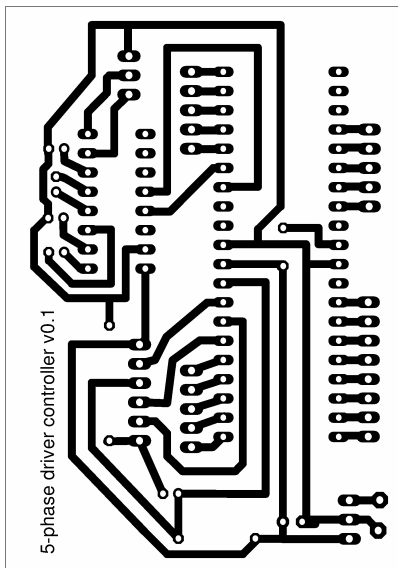
Zeitspanvolumen

Zeitspanvolumen: $V := a \cdot b \cdot f$ $V = 2880 \cdot \frac{\text{mm}^3}{\text{min}}$

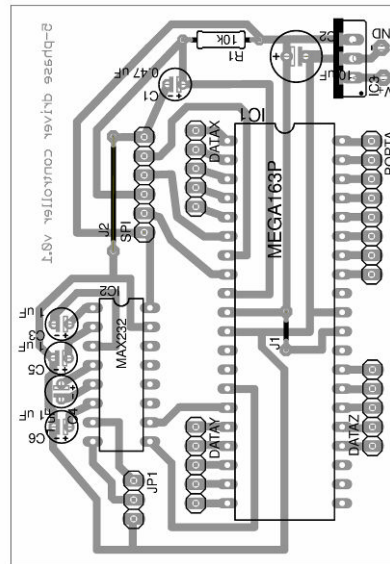
11.3 Platinen der Maschine

11.3.1 Platinen des Funktionsmusters

Steuerungsplatine v0.1



Ätzwahlform

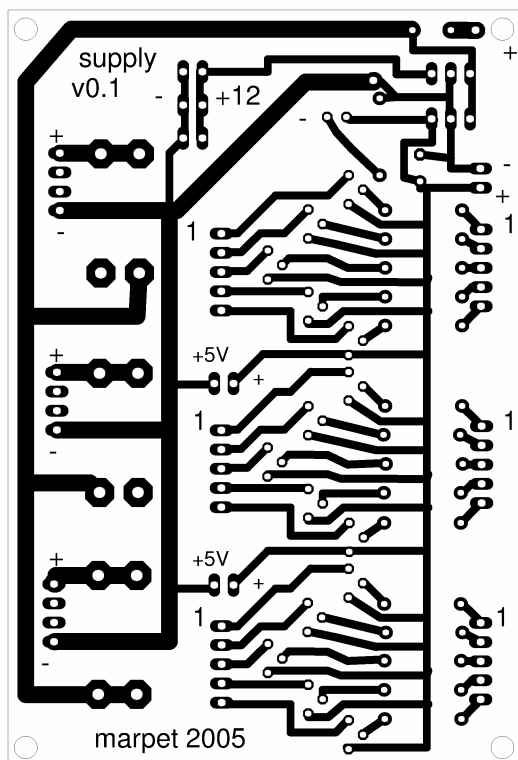


Bestückungsplan

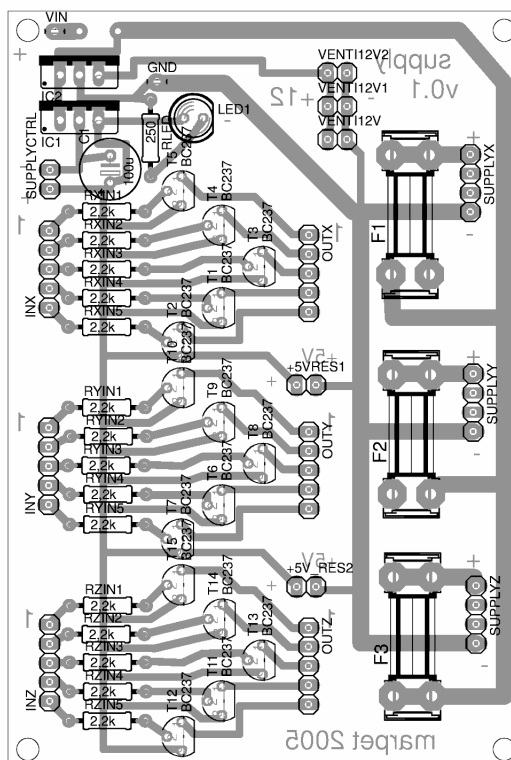
Bauteile	Bemerkung	Wert	Menge
C1	Elektrolytkondensator 2-4	0.47 uF	1
C2	Elektrolytkondensator 2.5-7	10 uF	1
C3, C4, C5, C6	Elektrolytkondensator 2-4	1 uF	4
DATAX, DATAY, DATAZ	Pinleiste 1x5		3
IC1	Mikrokontroller ATMEGA163P		1
IC2	Pegelwandler MAX232		1
IC3	Festspannungsregler 5V (7805)		1
J1	Drahtbrücke 5mm		1
J2	Drahtbrücke 15mm		1
JP1	Pinleiste 1x3		1
PORTA	Pinleiste 1x8		1
R1	Kohleschichtwiderstand 0,25W	10k	1
SPI	Pinleiste 1x6		1

Stückliste

Verteilerplatine v0.1



Ätzwahlform

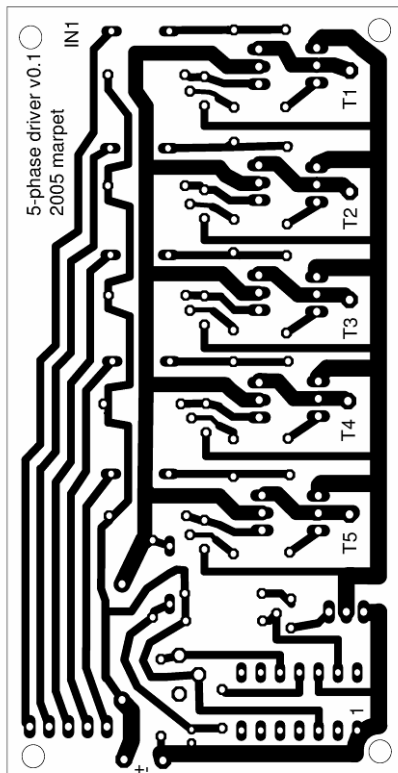


Bestückungsplan

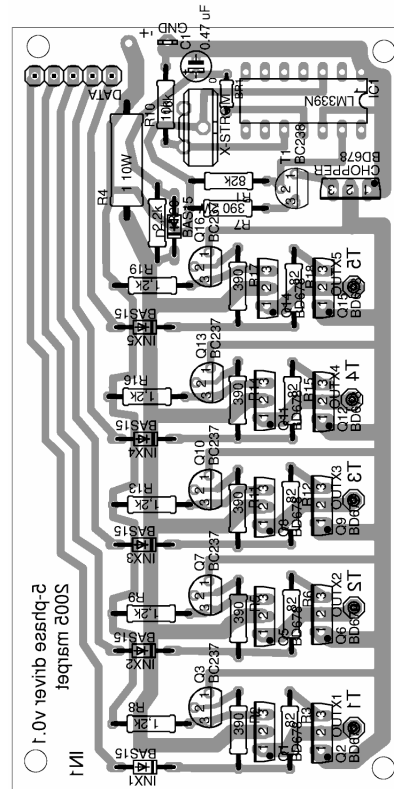
Bauteile	Beschreibung	Wert	Menge
+5VRES1, +5V_RES2, SUPPLYCTRL, VENTI12V, VENTI12V1, VENTI12V2	Pinleiste 1x2		6
C1	Elektrolytkondensator 3.5-8	100uF	1
F1, F2, F3	Sicherung 5A Tr. + Halter SHK20Q		3
IC1	Festspannungsregler 5V (7805)		1
IC2	Festspannungsregler 12V (7812)		1
INX, INY, INZ, OUTX, OUTY, OUTZ	Pinleiste 1x5		6
LED1	LED 5mm		1
RLED	Kohleschichtwiderstand 0,25W	250	1
RXIN1, RXIN2, RXIN3, RXIN4, RXIN5, RYIN1, RYIN2, RYIN3, RYIN4, RYIN5, RZIN1, RZIN2, RZIN3, RZIN4, RZIN5	Kohleschichtwiderstand 0,25W	2,2k	15
SUPPLYX, SUPPLY Y, SUPPLY Z	Pinleiste 1x4		3
T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, T13, T14, T15	NPN Transistor BC237		15

Stückliste

Schrittmotorendstufe v0.1



Ätzzvorlage



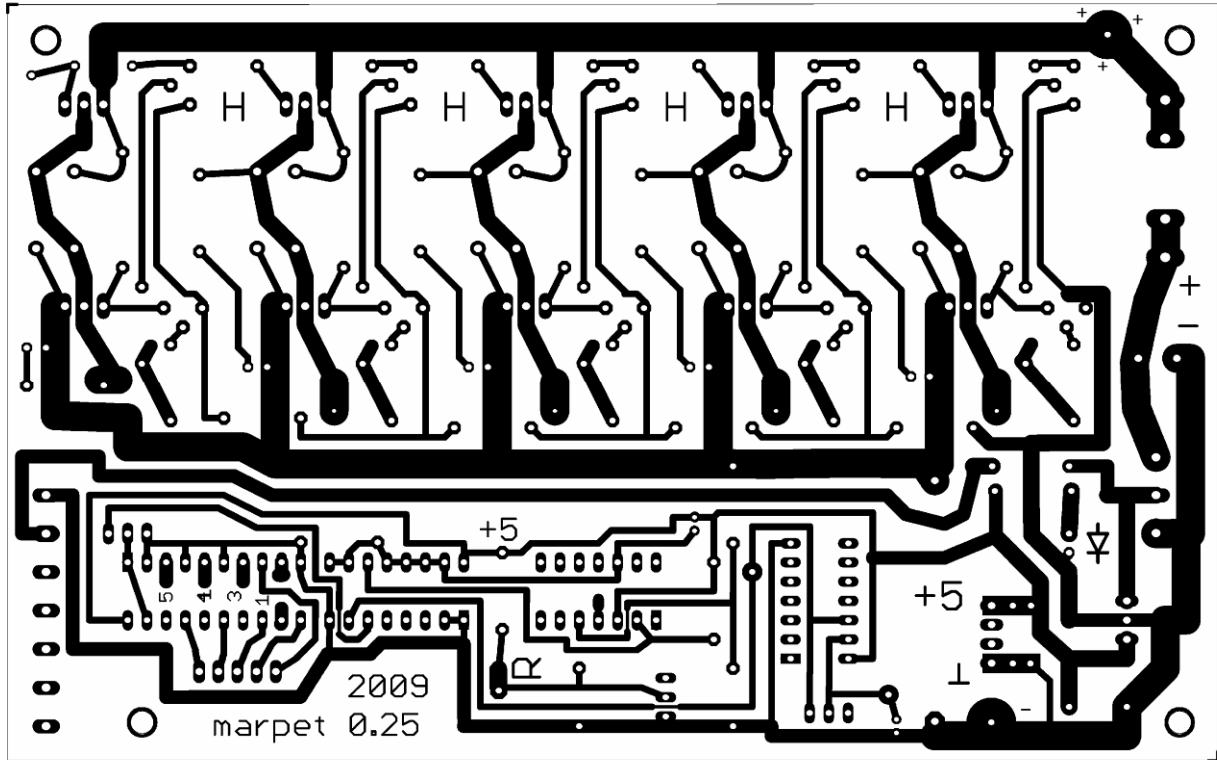
Bestückungsplan

Bauteile	Beschreibung	Wert	Menge
C1	Elektrolytkondensator 1.8-4	0.47 uF	1
CHOPPER, Q1, Q2, Q5, Q6, Q8, Q9, Q11, Q12, Q14, Q15	NPN Darlington Transistor BD678		11
D, INX1, INX2, INX3, INX4, INX5	Diode BAS15		6
DATA	Pinleiste -1x5		1
IC1	Komparator LM339		1
T1, Q3, Q7, Q10, Q13, Q16	NPN Transistor BC237		5
R1	Kohleschichtwiderstand 0,25W	82k	1
R10	Kohleschichtwiderstand 0,25W	10k	1
R2, R5, R11, R14, R17, R_2WATT	Kohleschichtwiderstand 0,25W	390	6
R7	Kohleschichtwiderstand 2W	390	1
R20	Kohleschichtwiderstand 0,25W	2,2k	1
R3, R6, R12, R15, R18	Kohleschichtwiderstand 0,25W	82	5
R4	Keramikwiderstand 10W	1	1
R8, R9, R13, R16, R19	Kohleschichtwiderstand 0,25W	1,2k	5
X-STROM	Trimpotentiometer	10k	1

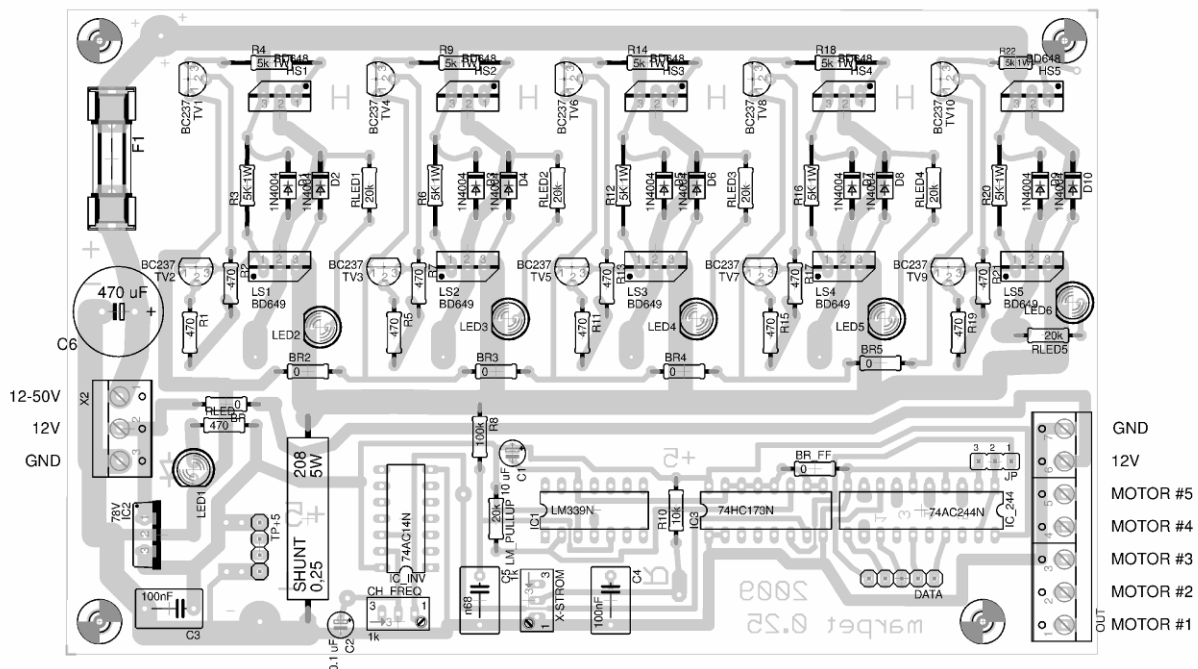
Stückliste

11.3.2 Platinen der untersuchten Maschine

Schrittmotorendstufe v0.25



Ätzvorlage



Bestückungsplan

Bauteile	Beschreibung	Wert	Menge
C1	Elektrolytkondensator	10 uF	1
C2	Elektrolytkondensator	0.1 uF	1
C3, C4	Keramikkondensator	100nF	2
C5	Keramikkondensator	n68	1
C6	Elektrolytkondensator	470 uF	1
CH_FREQ, X-STROM	Spindelpotentiometer	1k	2
D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10	Diode 1N4004		10
DATA	Pinleiste 1x5		1
F1	Sicherung 5A T + Halter SHK20L		1
HS1, HS2, HS3, HS4, HS5	PNP Darlington Transistor BD648		5
IC_244	Treiber IC 74HC244		1
IC_INV	Inverter 74HC14		1
IC1	Komparator LM339		1
IC2	Festspannungsregler 5V (7805)		1
IC3	D-Flip-Flop 74HC173		1
JP	Pinleiste 1x3 + Jumper		1
LED1, LED2, LED3, LED4, LED5, LED6	LED 5mm		6
LM_PULLUP, RLED1, RLED2, RLED3, RLED4, RLED5	Kohleschichtwiderstand 0,25W	20k	6
LS1, LS2, LS3, LS4, LS5	NPN Darlington Transistor BD649		5
OUT	Klemmleiste 7polig		1
R1, R2, R5, R7, R11, R13, R15, R17, R19, R21, RLED	Kohleschichtwiderstand 0,25W	470	11
R10	Kohleschichtwiderstand 0,25W	10k	1
R3, R4, R6, R9, R12, R14, R16, R18, R20, R22	Kohleschichtwiderstand 1W	5K	5
R8	Kohleschichtwiderstand 0,25W	100k	1
SHUNT	Keramikwiderstand 5W	0,25	1
TP+5	Pinleiste 1x4		1
TV1, TV2, TV3, TV4, TV5, TV6, TV7, TV8, TV9, TV10	NPN Bipolartransistor BC237		10
X2	Klemmleiste 3polig		1

Stückliste

11.4 Software

Anbei der Source-Code des Programms für den Mikrokontroller (Atmega16) der Steuerungsplatine der Steuerung v0.1. Aus Platzgründen wird die Software der untersuchten Maschine nicht beigefügt, diese ist jedoch weitgehend ähnlich und um zusätzliche Funktionen erweitert (Drehgeber, Display,...).

```
// Programm für Steuerung v0.1

//toDo: 16 mhz quarz
//Cs bei den Ipt-lines 10 nF

//#define CLKX 0x01           //rot           Stepper X Go
//#define DIRX 0x02           //orange        Stepper X Direction
//#define CLKY 0x04           //pink           Stepper Y Go
//#define DIRY 0x08           // gelb          Stepper Y Direction
//#define CLKZ 0x10           //grün           Stepper Z Go
//#define DIRZ 0x20           //cyan, hellgrün Stepper Z Direction
//0x40: blau                  <frei>
//0x80: violett               <frei>

// für atmega16: security bit JTAGEN nicht angehakt flashen->kein JTAG!!
// beim Icd 2x16: textbuffer trotzdem 0-39 erste zeile, 40-79 zweite!!
//software: läuft mit lcd_bibliothek_smalltalk.h
//hardware: mit I293B, pb0-4 an terminal 1-5 lt. 5phasen_pins.jpg anschliessen
//hardware: mit I293B, pd2-6 an terminal 1-5 lt. 5phasen_pins.jpg anschliessen (2.stepper)
//ponyprog: security bits: clktsel 0-3 anhaken ->siehe datenblatt atega, external clk
//                fur 1,02 MHz internal osc: clktsel null nicht anhaken cs3-1 schon,
//VORSICHT: lt. datenblatt umgekehrt, da 1 (datenbl) heisst unprogged, dh in Ponyprog NICHT anhaken!
//                für 8 MHz internal: alle anhaken bis auf clktsel

#define refresh 1
#define CLRX1 sbi(PORTB,0)
#define CLRX2 sbi(PORTB,1)
#define CLRX3 sbi(PORTB,2)
#define CLRX4 sbi(PORTB,3)
#define CLRX5 sbi(PORTB,4)

#define SETX1 cbi(PORTB,0)
#define SETX2 cbi(PORTB,1)
#define SETX3 cbi(PORTB,2)
#define SETX4 cbi(PORTB,3)
#define SETX5 cbi(PORTB,4)

#define CLRY1 sbi(PORTD,2)
#define CLRY2 sbi(PORTD,3)
#define CLRY3 sbi(PORTD,4)
#define CLRY4 sbi(PORTD,5)
#define CLRY5 sbi(PORTD,6)

#define SETY1 cbi(PORTD,2)
#define SETY2 cbi(PORTD,3)
#define SETY3 cbi(PORTD,4)
#define SETY4 cbi(PORTD,5)
#define SETY5 cbi(PORTD,6)

#define CLRZ1 sbi(PORTC,6)
#define CLRZ2 sbi(PORTC,5)
#define CLRZ3 sbi(PORTC,4)
#define CLRZ4 sbi(PORTC,3)
#define CLRZ5 sbi(PORTC,2)

#define SETZ1 cbi(PORTC,6)
```

```

#define SETZ2 cbi(PORTC,5)
#define SETZ3 cbi(PORTC,4)
#define SETZ4 cbi(PORTC,3)
#define SETZ5 cbi(PORTC,2)

#define CONSTANT_2_EXP_28 0x0FFF

#include <avr/io.h>
#include <stdio.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/signal.h>
#include <usart_bibliothek_nolnt.h>

unsigned int volatile adValue=0, t0a = 0, t0b = 0, cnt1=0;

SIGNAL (SIG_OUTPUT_COMPARE0)
{

    TCNT0 = 0;
    if (t0a > 32000) t0a = 0;
    if (t0b > 32000) t0b = 0;
    t0a += 4;
    t0b += 4;
}

void timer (void) {
    TIMSK = _BV(OCIE0); // | _BV(OCIE2); //output compare interrupt enable 0, 2
    TCNT1 = 0; //Rücksetzen des Timers1 (16 bit)
    TCCR1B = _BV(CS11); // | _BV(CS11); //Prescaler :8 ...cs10:1 cs11:8 cs11,cs10:64

    TCNT2 = 0; //Rücksetzen des Timers2 (8 bit)
    TCCR2 = _BV(CS20) | _BV(CS21) | _BV(CS22); //Prescaler :1024 ...cs00:1 cs01:8 cs01,cs00:64
cs01,02:256 cs00,01,02:1024

    TCNT0 = 0; //Rücksetzen des Timers0 (8 bit)
    TCCR0 = BV(CS00); //Prescaler1 cs01:8 cs02:1024 VORSICHT, ist bei TCNT0 anders da ext-clk möglich!!
    OCR0 = 255;
}

//*****
//***** main *****
//
int main (void) {
    DDRB = 0xff; PORTB = 0; //init ports as out and 0
    DDRC = 0xff; PORTC = 0;
    DDRD = 0xff; PORTD = 0;
    //DDRD = 0x80; //D7 out sonst in

    DDRA = 0x00; //all in but a0
    //PORTA = 0x00; //pullups off
    PORTA = 0xff; //pullups on
    timer ();
    USART_Init ();
    sei ();

    ADMUX = _BV(REFS0); /* Select Analog input 0, internal supply ref, MUX0*/

    ADCSRA = _BV(ADEN); // | _BV(ADPS2); //_bv(x) shifts a one x steps (sfr_defs.h), presc:16
for ADC

    char usart_rec, dirX = 0, dirY = 0, zeichen[5], inX_flag = 0, inY_flag = 0, inZ_flag = 0;
    signed char toggle_stepperX = 0, toggle_stepperY = 0, toggle_stepperZ = 0;
    signed int period = 800, periodX = 100, periodY = 100, ADjoyX = 500, ADjoyY = 500;
    long x = 0, y = 0, z = 0; //, cntX = 0, cntY = 0, cntZ = 0;
    long offsetX = CONSTANT_2_EXP_28, offsetY = CONSTANT_2_EXP_28, offsetZ = CONSTANT_2_EXP_28;
    char useJoy = 1;

    void stepperGoX(char direction)
    {
        if (direction == 'r') toggle_stepperX++; else if (direction != '!') toggle_stepperX--; // '!' to

```

```

reactivate motors at current position after a switch off
if (toggle_stepperX==10) toggle_stepperX = 0;
if (toggle_stepperX==(-1)) toggle_stepperX = 9;

switch (toggle_stepperX)           //coil order: B2-B3-B4-B5
{
  case 0:           //SNSN-
  {
    SETX1; CLRX2; SETX3; CLRX4; CLRX5;
    break;
  }
  case 1: // -NSNS
  {
    SETX1; CLRX2; SETX3; CLRX4; SETX5;

    break;
  }
  case 2:           //N-SNS
  {
    CLRX1; CLRX2; SETX3; CLRX4; SETX5;
    break;
  }
  case 3:           //NS-NS
  {
    CLRX1; SETX2; SETX3; CLRX4; SETX5;
    break;
  }
  case 4: //NSN-S
  {
    CLRX1; SETX2; CLRX3; CLRX4; SETX5;
    break;
  }
  case 5: //NSNS-
  {
    CLRX1; SETX2; CLRX3; SETX4; SETX5;
    break;
  }
  case 6: // -SNSN
  {
    CLRX1; SETX2; CLRX3; SETX4; CLRX5;
    break;
  }
  case 7: //S-NSN
  {
    SETX1; SETX2; CLRX3; SETX4; CLRX5;
    break;
  }
  case 8: //SN-SN
  {
    SETX1; CLRX2; CLRX3; SETX4; CLRX5;
    break;
  }
  case 9: //SNS-N
  {
    SETX1; CLRX2; SETX3; SETX4; CLRX5;
    break;
  }
} //end switch

}
void stepperGoY(char direction)
{
  if (direction == 'r') toggle_stepperY++;      else if (direction != '!') toggle_stepperY--;
  if (toggle_stepperY==10) toggle_stepperY = 0;
  if (toggle_stepperY==(-1)) toggle_stepperY = 9;

  switch (toggle_stepperY)           //coil order: B2-B3-B4-B5
  {
    case 0:           //SNSN-
    {

```

```

        SETY1; CLR2; SETY3; CLR4; CLR5;
        break;
    }
    case 1: //-NSNS
    {
        SETY1; CLR2; SETY3; CLR4; SETY5;

        break;
    }
    case 2: //N-SNS
    {
        CLR1; CLR2; SETY3; CLR4; SETY5;
        break;
    }
    case 3: //NS-NS
    {
        CLR1; SETY2; SETY3; CLR4; SETY5;
        break;
    }
    case 4: //NSN-S
    {
        CLR1; SETY2; CLR3; CLR4; SETY5;
        break;
    }
    case 5: //NSNS-
    {
        CLR1; SETY2; CLR3; SETY4; SETY5;
        break;
    }
    case 6: //-SNSN
    {
        CLR1; SETY2; CLR3; SETY4; CLR5;
        break;
    }
    case 7: //S-NSN
    {
        SETY1; SETY2; CLR3; SETY4; CLR5;
        break;
    }
    case 8: //SN-SN
    {
        SETY1; CLR2; CLR3; SETY4; CLR5;
        break;
    }
    case 9: //SNS-N
    {
        SETY1; CLR2; SETY3; SETY4; CLR5;
        break;
    }
    }
    //end switch
}

void stepperGoZ(char direction)
{
    if (direction == 'r') toggle_stepperZ++;      else if (direction != '!') toggle_stepperZ--;
    if (toggle_stepperZ==10) toggle_stepperZ = 0;
    if (toggle_stepperZ==(-1)) toggle_stepperZ = 9;

    switch (toggle_stepperZ) //ciol order: B2-B3-B4-B5
    {
        case 0: //SNSN-
        {
            SETZ1; CLRZ2; SETZ3; CLRZ4; CLRZ5;
            break;
        }
        case 1: //-NSNS
        {
            SETZ1; CLRZ2; SETZ3; CLRZ4; SETZ5;

```



```

        break;
    }
    case 2:          //N-SNS
    {
        CLRZ1; CLRZ2; SETZ3; CLRZ4; SETZ5;
        break;
    }
    case 3:          //NS-NS
    {
        CLRZ1; SETZ2; SETZ3; CLRZ4; SETZ5;
        break;
    }
    case 4: //NSN-S
    {
        CLRZ1; SETZ2; CLRZ3; CLRZ4; SETZ5;
        break;
    }
    case 5: //NSNS-
    {
        CLRZ1; SETZ2; CLRZ3; SETZ4; SETZ5;
        break;
    }
    case 6: //-SNSN
    {
        CLRZ1; SETZ2; CLRZ3; SETZ4; CLRZ5;
        break;
    }
    case 7: //S-NSN
    {
        SETZ1; SETZ2; CLRZ3; SETZ4; CLRZ5;
        break;
    }
    case 8: //SN-SN
    {
        SETZ1; CLRZ2; CLRZ3; SETZ4; CLRZ5;
        break;
    }
    case 9: //SNS-N
    {
        SETZ1; CLRZ2; SETZ3; SETZ4; CLRZ5;
        break;
    }
} //end switch

}

void line(void)
{
    long calcValue1 = 0, calcValue2 = 0;
    long x_ = 0, y_ = 0, z_ = 0; //calcValue....errechneter absoluter Wert des 2
Steppers (mit weniger Schritten) zu jeder position des 1. steppers
    long c1=0, c2=0, c3 = 0; //x_, y...momentane positionen,
x,y...sollwerte, yt...errechneter momentaner y-wert
    char dx = 'r', dy = 'l', dz = 'l', cnt=0, temp1=0, temp2=0;
    //long tx = 0, ty = 0;
    /*
    USART_transmit_string("\n\rmega16> fahre nach x: ");

    sprintf(zeichen, "%5d", x);
    USART_transmit_string(zeichen);
    USART_transmit_string("\n\rmega16> fahre nach y: ");

    sprintf(zeichen, "%5d", y);
    USART_transmit_string(zeichen);
    USART_transmit_string("\n\rmega16> fahre nach z: ");

    sprintf(zeichen, "%5d", z);
    USART_transmit_string(zeichen);
    */
}

```

```

if (x < 0) {x *= (-1); dx = 'l';}
if (y < 0) {y *= (-1); dy = 'r';}
if (z < 0) {z *= (-1); dz = 'r';}

if ( (x >= y) && (x >= z) ) {          // in which direction are more steps to do?

    for (x_ = 0; x_ < x; x_++) {

        if ((calcValue1 - y_) > 4000) {
            stepperGoY(dy);
            c2++;
            y_ += 8000;                //4000 bzw. 8000 def. max Abweichung
von y-steps!!
        }
        if ((calcValue2 - z_) > 4000) {
            stepperGoZ(dz);
            c3++;
            z_ += 8000;                //4000 bzw. 8000 def. max Abweichung
von y-steps!!
        }

        stepperGoX(dx);
        c1++;

        TCNT1 = 0;                    //wait 1 ms

        while(TCNT1 < period);

        calcValue1 = (8000 * y/x) * x_;
        calcValue2 = (8000 * z/x) * x_;
    }
    temp1 = (y - c2);
    temp2 = (z - c3);

    for (cnt = 0; cnt < temp1; cnt++) { //correction: add lost steps

        TCNT1 = 0;                    //wait 1 ms

        while(TCNT1 < period);
        stepperGoY(dy);
        c2++;
    }
    for (cnt = 0; cnt < temp2; cnt++) { //correction: add lost steps

        TCNT1 = 0;                    //wait 1 ms

        while(TCNT1 < period);
        stepperGoZ(dz);
        c3++;
    }
}

if ( (y > x) && (y >= z) ) {
    for (y_ = 0; y_ < y; y_++) {
        if ((calcValue1 - x_) > 4000) {
            stepperGoX(dx);
            c1++;
            x_ += 8000;                //4000 bzw. 8000 def. max Abweichung
von y-steps!!
        }
        if ((calcValue2 - z_) > 4000) {
            stepperGoZ(dz);
            c3++;
            z_ += 8000;                //4000 bzw. 8000 def. max Abweichung
von y-steps!!
        }

        stepperGoY(dy);

```

```

        c2++;

        TCNT1 = 0;                //wait 1 ms

        while(TCNT1 < period);

        calcValue1 = (8000 * x/y) * y_;
        calcValue2 = (8000 * z/y) * y_;
    }
    temp1 = (x - c1);
    temp2 = (z - c3);

    for (cnt = 0; cnt < temp1; cnt++) { //correction: add lost steps

        TCNT1 = 0;                //wait 1 ms

        while(TCNT1 < period);
        stepperGoX(dx);
        c1++;
    }
    for (cnt = 0; cnt < temp2; cnt++) { //correction: add lost steps

        TCNT1 = 0;                //wait 1 ms

        while(TCNT1 < period);
        stepperGoZ(dz);
        c3++;
    }
}

if ( ( z > x ) && ( z > y ) ) {
    for (z_ = 0; z_ < z; z_++) {
        if ((calcValue1 - x_) > 4000) {
            stepperGoX(dx);
            c1++;
            x_ += 8000;                //4000 bzw. 8000 def. max Abweichung
        }
        if ((calcValue2 - y_) > 4000) {
            stepperGoY(dy);
            c2++;
            y_ += 8000;                //4000 bzw. 8000 def. max Abweichung
        }
    }

    stepperGoZ(dz);
    c3++;

    TCNT1 = 0;                //wait 1 ms

    while(TCNT1 < period);

    calcValue1 = (8000 * x/z) * z_;
    calcValue2 = (8000 * y/z) * z_;
}
temp1 = (x - c1);
temp2 = (z - c3);

for (cnt = 0; cnt < temp1; cnt++) { //correction: add lost steps

    TCNT1 = 0;                //wait 1 ms

    while(TCNT1 < period);
    stepperGoX(dx);
    c1++;
}
for (cnt = 0; cnt < temp2; cnt++) { //correction: add lost steps

    TCNT1 = 0;                //wait 1 ms

```

```

        while(TCNT1 < period);
        stepperGoZ(dz);
        c3++;
    }
}
    USART_transmit('r');          //send "ready" to pc
}

cbi(PORTC,5);    //lcd_r/w auf write

TCNT1 = 0;
USART_transmit_string ("\n\r\n\rmega16>          hi! i am your atmega...\n\r\n\r");
USART_transmit_string ("mega16>          a...links drehen\n\r");
USART_transmit_string ("mega16>          d...rechts drehen\n\r");
USART_transmit_string ("mega16>          s...Periode länger\n\r");
USART_transmit_string ("mega16>          w...Periode kürzer\n\r");
USART_transmit_string ("mega16>          u...X-Step rechts\n\r");
USART_transmit_string ("mega16>          j...X-Step links\n\r");
USART_transmit_string ("mega16>          h...Y-Step rechts\n\r");
USART_transmit_string ("mega16>          k...Y-Step links\n\r");
USART_transmit_string ("mega16>          i...init of parallel countern\r");
USART_transmit_string ("mega16>          x...stop\n\r\n\r");

SETX1; CLRX2; SETX3; CLRX4; CLRX5;          //step0 sns-
SETY1; CLRY2; SETY3; CLRY4; CLRY5;          //step0 sns-
SETZ1; CLRZ2; SETZ3; CLRZ4; CLRZ5;          //step0 sns-

while(1)          //main loop -----
{
    if (UCSRA & (1<<RXC)) { //data received
        usart_rec = UDR;          //setzt IRQ/RXC flag receive wieder zurück

        switch (usart_rec)
        {
            case 'm':
            {
                USART_transmit_string ("\n\r\n\rmega16>          hi! i am your
atmega...\n\r");
                USART_transmit_string ("\n Funktionen: 0,1,p,c,g,i \n\r");
                break;
            }
            case '=':          //turn all motors off to protect them against overheating
            {
                CLRX1; CLRX2; CLRX3; CLRX4; CLRX5;
                CLRY1; CLRY2; CLRY3; CLRY4; CLRY5;
                CLRZ1; CLRZ2; CLRZ3; CLRZ4; CLRZ5;
                USART_transmit('r');          //handshake
                break;
            }
            case '!':
            {
                stepperGoX('!'); stepperGoY('!'); stepperGoZ('!');          //reactivate
steppers on current state
                USART_transmit('r');          //handshake
                break;
            }
            case '0':
            {
                useJoy = 0;
                cli ();
                USART_transmit('r');          //handshake
                break;
            }
            case '1':
            {
                useJoy = 1;
                sei ();
                USART_transmit('r');          //handshake
            }
        }
    }
}

```

```

        break;
    }
    case 'p':
    {
        while (!(UCSRA & (1<<RXC)));    //wait for x-high-byte

        period = UDR*10; //setzt IRQ/RXC flag receive wieder zurück

        USART_transmit('r');    //handshake
        break;
    }
    case 'i':
    {
        offsetX = CONSTANT_2_EXP_28;
        offsetY = CONSTANT_2_EXP_28;
        offsetZ = CONSTANT_2_EXP_28;

        //cntX = 0;
        //cntY = 0;
        //cntZ = 0;

        USART_transmit('r');    //handshake
        break;
    }
    case 'c':
    {
        USART_transmit_string("\n\r offx: ");
        sprintf(zeichen, "%d", (int) offsetX - CONSTANT_2_EXP_28);
        USART_transmit_string(zeichen);
        USART_transmit_string(" offy: ");
        sprintf(zeichen, "%d", (int) offsetY - CONSTANT_2_EXP_28);
        USART_transmit_string(zeichen);
        USART_transmit_string(" offz: ");
        sprintf(zeichen, "%d", (int) offsetZ - CONSTANT_2_EXP_28);
        USART_transmit_string(zeichen);

        USART_transmit_string("\n\r");
        break;
    }

    case 'g':
        //go, GO! receive go x,y,z from PC
    {
        dirX = 0; dirY = 0; //no joystick input...
        //USART_transmit('n');    //handshake

        while (!(UCSRA & (1<<RXC)));    //wait for x-high-byte

        //USART_transmit('n');    //handshake
        x = UDR*256;    //setzt IRQ/RXC flag receive wieder zurück

        while (!(UCSRA & (1<<RXC)));    //wait for x-low-byte

        //USART_transmit('n');    //handshake
        x += UDR;

        while (!(UCSRA & (1<<RXC)));    //wait for y-high-byte

        //USART_transmit('n');    //handshake
        y = UDR*256;    //setzt IRQ/RXC flag receive wieder zurück

        while (!(UCSRA & (1<<RXC)));    //wait for y-low-byte

        y += UDR;    //setzt IRQ/RXC flag receive wieder zurück
    }

```

```

while (!(UCSRA & (1<<RXC))); //wait for z-high-byte

//USART_transmit('\n'); //handshake
z = UDR*256; //setzt IRQ/RXC flag receive wieder zurück

while (!(UCSRA & (1<<RXC))); //wait for z-low-byte

z += UDR; //setzt IRQ/RXC flag receive wieder zurück

line();

break;
}
} //end switch udr
} //end usart_rec

if (useJoy == 1)
{
    if (t0a > periodX) {
        t0a = 0;
        if (!dirX == 0) stepperGoX(dirX);
    }
    if (t0b > periodY) {
        t0b = 0;
        if (!dirY == 0) stepperGoY(dirY);
    }
    //dirX = 'l';

    if (TCNT2 > 250) { //8 mhz / pre 1024 /80 ~100 Hz
        TCNT2 = 0;
        //t2a++;
        //if (t2a > 10) {
        //t2a = 0;

        ADMUX = _BV(REFS0); // Select Analog input 0, ext ref,
adlar ad-left adjust=0
        ADCSRA |= _BV(ADSC); //Start conversion
        while (ADCSRA & _BV(ADSC) ) {} // wait until conversion
completed
        ADjoyX = ADCL + ADCH*256;

        ADMUX = _BV(REFS0) | 1; // Select Analog input 0, ext ref,
adlar ad-left adjust=0
        ADCSRA |= _BV(ADSC); //Start conversion
        while (ADCSRA & _BV(ADSC) ) {} // wait until conversion
completed
        ADjoyY = ADCL + ADCH*256;

        if (ADjoyX > 600)
        {
            periodX = 830 - ADjoyX;
            dirX = 'r';
        }
        else if (ADjoyX < 490)
        {
            periodX = ADjoyX - 180;
            dirX = 'l';
        }
        else dirX = 0;

        if (ADjoyY > 600)
        {

```

```

        periodY = 830 - ADjoyY;
        dirY = 'r';
    }
    else if (ADjoyY < 490)
    {
        periodY = ADjoyY - 180;
        dirY = 'l';
    }
    else dirY = 0;
}
} // end useJoy
else //begin check lpt
{
    if (bit_is_set(PINA, 2)) //stepperX go'
    {
        if (inX_flag == 0)
        {
            if (bit_is_set(PINA, 3)) { stepperGoX('r'); offsetX--; }
            else { stepperGoX('l'); offsetX++; } //direction for stepper x
            inX_flag = 1;
            //cntX++;
        }
    }
    else
    {
        inX_flag = 0;
    }

    if (bit_is_set(PINA, 4)) //stepperY go'
    {
        if (inY_flag == 0)
        {
            if (bit_is_set(PINA, 5)) { stepperGoY('r'); offsetY--; }
            else { stepperGoY('l'); offsetY++; } //direction for stepper y
            inY_flag = 1;
            //cntY++;
        }
    }
    else
    {
        inY_flag = 0;
    }

    if (bit_is_set(PINA, 6)) //stepperZ go'
    {
        if (inZ_flag == 0)
        {
            if (bit_is_set(PINA, 7)) { stepperGoZ('r'); offsetZ--; }
            else { stepperGoZ('l'); offsetZ++; } //direction for stepper z
            inZ_flag = 1;
            //cntZ++;
        }
    }
    else
    {
        inZ_flag = 0;
    }

} //end check lpt (else useJoy)
} //end main loop
} //end main

```

11.5 Zeichnungen der Maschine

In diesem Teil befindet sich ein Zeichnungssatz der Maschine. Zwecks Organisation wurde ein Nummerierungssystem eingeführt. Zeichnungen beginnen immer mit „PR2_“ der Projektbezeichnung. Baugruppen (Zusammenbauten) besitzen eine Nummer der Form „ZSB...“, Einzelteile „E...“, Bearbeitungen „BA...“, Rohteile „RT...“ und Zukaufteile eine Nummer der Form „ZK...“. Die Punkte stehen hierbei für eine fortlaufende Nummerierung.

Nummernvergabe Baugruppen

Nr.	Bezeichnung	Zeichnung	Bemerkung
ZSB001	ZSB Fräsmaschine	PR2_ZSB001	Ersetzt durch E035
ZSB002	Kupplung	PR2_ZSB002	
ZSB003	ZSB Mutterbock X-Y-Achse	PR2_ZSB003	
ZSB004	ZSB Säule	PR2_ZSB004	Ersetzt durch ZSB003
ZSB005	ZSB Mutterbock Z-Achse	---	
ZSB006	ZSB Ausleger	PR2_ZSB006	
ZSB007	ZSB Motorbefestigung	PR2_ZSB007	
ZSB008	ZSB Dorn	PR2_ZSB008	
ZSB009	ZSB Laufrolle	PR2_ZSB009	

Nummernvergabe Einzelteile

Nr.	Bezeichnung	Zeichnung	Bemerkung
E001	Gussgrundplatte	PR2_E001	Ersetzt durch E035
E002	Wellenbock Y-Achse Motorseitig	PR2_E002	
E003	Trapezgewindespindel Tr16x4x780	PR2_E003	
E004	Distanzscheibe	PR2_E004	
E005	Lagerdruckscheibe	PR2_E005	
E006	Kupplungsteil spindelseitig	PR2_ZSB002	
E007	Kupplungsschlauch		
E008	Kupplungsteil motorseitig	Ersetzt durch ZSB007	
E009	Motorbefestigung		
E010	Wellenbock Y-Achse		
E011	Schlitten Y-Achse	PR2_E011	Ersetzt durch ZSB008
E012	Lagerbock d40	PR2_E012	
E013	Führungsplatte X-Achse	PR2_E013	
E014	Dorn	PR2_E014	
E015	Aufspanntisch	---	
E016	Wellenbock X-Achse Motorseitig	PR2_E016	
E017	Trapezgewindespindel Tr16x4x1000	PR2_E003	
E018	Säulenfuß	---	
E019	Säule Deckel	PR2_E019	
E020	Führungsplatte Z-Achse	PR2_E020	
E021	Wellenbock X-Achse	PR2_E021	Ersetzt durch E005
E022	Wellenbock Z-Achse motorseitig	PR2_E022	
E023	Trapezgewindespindel Tr16x4x600	PR2_E003	
E024	Lagerdruckscheibe Z-Achse	PR2_E024	
E025	Wellenbock Z-Achse	PR2_E025	
E026	Schlitten Z-Achse	PR2_E026	

Nr.	Bezeichnung	Zeichnung	Bemerkung
E027	Lagerbock d20	PR2_E027	Ersetzt durch E012
E028	Mutternbock Z-Achse	PR2_E028	Ersetzt durch E032
E029	Ausleger Anschlussplatte	PR2_E029	
E030	Ausleger Rohr	PR2_E030	
E031	Ausleger Motorspannplatte	PR2_E031	
E032	Mutternbock	PR2_E032	
E033	Drehgeberwelle BHG	PR2_E033	
E034	Adapter Drehgeber BHG	PR2_E034	
E035	Kupplung einteilig	PR2_E035	
E036	Motorbefestigung Flansch Spindelseitig		
E037	Motorbefestigung Rohr	PR2_ZSB007	
E038	Motorbefestigung Flansch Motorseitig		
E039	Dorn Flansch	PR2_E039	
E040	Dorn Grundkörper	PR2_E040	
E041	Adapter Drehgeber ROD	PR2_E041	
E042	Drehgeberwelle ROD	PR2_E042	
E043	Ausleger Schweissplatte	PR2_E043	
E044	Dorn Z-Achse	PR2_E044	
E045	Ausleger Dorn	PR2_E045	
E046	Laufrollenbügel	PR2_E046	
E047	Laufrollenachse	PR2_E047	
E048	Laufrolle Distanzhülse	PR2_E048	
E049	Laufrolle	PR2_E049	
E050	Ausleger Massenausgleich	PR2_E050	
E051	Gegengewicht	PR2_E051	
E052	Wellenhalterung	PR2_E052	
E053	Kühlkörper Stiftschraube		
E054	Kühlkörper Schrittmotor		
E055	Ventilator Distanzhülse		
E056	Ventilatorhalterung		

Nummernvergabe Bearbeitungen

Nr.	Bezeichnung	Zeichnungs Nr.	Bemerkung
BA001	Bearbeitung Gussgrundplatte Unterseite	PR2_BA001	
BA002	Säule Schweiss ZSB	PR2_BA002	
BA003	Ausleger Schweiss ZSB	PR2_BA003	
BA004	Bearbeitung Ausleger	PR2_BA004	

Nummernvergabe Rohteile

Nr.	Bezeichnung	Zeichnung	Bemerkung
RT001	Lagerbock d40 Rohteil	PR2_RT001	Fa. Lentech 77
RT002	Wellenbock Y-Achse FertigungsZSB	PR2_RT002	Fa. Lentech 77
RT003	Wellenbock X-Achse FertigungsZSB	PR2_RT003	Fa. Lentech 77
RT004	Schlitten Y-Achse Rohteil	PR2_RT004	Fa. Lentech 77
RT005	Führungsplatte X-Achse Rohteil	PR2_RT005	Fa. Lentech 77
RT006	Gussgrundplatte Gussteil	PR2_RT006	Fa. Katz Guss
RT007	Säulenfuß Rohteil	PR2_RT007	Fa. Lentech 77
RT008	Säule Rohteil	PR2_RT008	Fa. Lentech 77
RT009	Butzen Rohteil	PR2_RT009	Fa. Lentech 77
RT010	Führungsplatte Z-Achse Rohteil	PR2_RT010	Fa. Lentech 77
RT011	Wellenbock Z-Achse FertigungsZSB	PR2_RT011	Fa. Lentech 77

Nr.	Bezeichnung	Zeichnung	Bemerkung
RT012	Schlitten Z-Achse Rohteil	PR2_RT012	Fa. Lentech 77
RT013	Ausleger Anschlussplatte Rohteil	PR2_RT013	Fa. Binder
RT014	Ausleger Schweissplatte Rohteil	PR2_RT014	Fa. Binder
RT015	Ausleger Motorspannplatte Rohteil	PR2_RT015	Fa. Binder
RT016	Säule Deckel Rohteil	PR2_RT016	Fa. Binder
RT017	Laufrollenbügel Rohteil	PR2_RT017	Fa. Binder
RT018	Wellenhalterung Rohteil	PR2_RT018	Fa. Binder

Nummernvergabe Zukaufteile

Nr.	Bezeichnung	Lieferant	Stückzahl
ZK001	Kugellager 2200-2RS	SKF	3
ZK002	Schrittmotor	Sanyo Denki	3 (+3)
ZK003	Linearwelle Ø40h6x1000	INA	6
ZK004	Kugelumlaufbuchse 40x52x60	INA	12
ZK005	Flanschmutter Tr 16x4	Pfaff-Silberblau	3 (+1)
ZK006	Trapezgewindespindel Tr 16x4x1000	Pfaff-Silberblau	3
ZK007	Kugelumlaufbuchse Ø20	INA	Ersetzt durch ZK004
ZK008	Druckfeder D-127D	Gutekunst	20
ZK009	Drehgeber BHG	Baumer	1
ZK010	Drehgeber ROD 426	Haidenhain	1
ZK011	Rillenkugellager 6203-2RS	SKF	4 (+200)
ZK012	Stahlseil Ø4x2400	Odörfer	1
ZK013	Abdeckung f. Formrohr 50x80x2,5	Odörfer	4
ZK014	Fräsmotor	Perske	1
ZK015	Frequenzumformer	Berges	1
ZK016	Netzteil 50V/30A	TDK-Lambda	1
ZK017	Ventilator 90x90x25	RS-Components	6

Stückliste: Proton II				Stand: 19.02.2012
Bezeichnung	Stk.	Teile Nr.	Zeichnungs Nr.	Zulieferer/Rohteil
ZSB Fräsmaschine	1	ZSB001	PR2_ZSB001	
Gussgrundplatte	1	E001	PR2_E001	PR2_BA001
Y-Achse	1	---	---	
Wellenbock Y-Achse Motorseitig	1	---	---	
Wellenbock Y-Achse Motorseitig	1	E002	PR2_E002	PR2_RT002
Kugellager 2200-2RS	1	ZK001		SKF
Trapezgewindespindel Tr16x4x760	1	E003	PR2_E003	Pfaff-Silberblau
Distanzscheibe	1	E004	PR2_E004	
Lagerdruckscheibe	1	E005	PR2_E005	
ISK M5x12 DIN 912	4			Odörfer
Sechskantmutter M10 DIN 934	1			Odörfer
Kupplung einteilig	1	E035	PR2_E035	
Gewindestift M5x10 DIN 913	2			Odörfer
Motorbefestigung	1	ZSB007	PR2_ZSB007	
Motorbefestigung Flansch Spindelseitig	1	E036	PR2_ZSB007	
Motorbefestigung Rohr	1	E038	PR2_ZSB007	
Motorbefestigung Flansch Motorseitig	1	E037	PR2_ZSB007	
ISK M5x20 DIN 912	4			Odörfer
Schrittmotor	1	ZK002		Sanyo Denki
Kühlkörper Stiftschraube	4	E053	PR2_E053	
Kühlkörper Schrittmotor	1	E054	PR2_E054	
Ventilator Distanzhülse	4	E055	PR2_E055	
Ventilator 90x90x25	1	ZK017		RS-Components
Ventilatorhalterung	1	E056	PR2_E056	
Ventilatorschraube 482-7477	4			RS-Components
ISK M6x40 DIN 912	4			Odörfer
Linearwelle d40 x 760	2	ZK003		INA
Wellenbock Y-Achse	1	E010	PR2_E010	
ISK M8x100 DIN 912	8			Odörfer
Gewindestift M8x25 DIN 914	4			Odörfer
Drehgeberwelle BHG	1	E033	PR2_E033	
Adapter Drehgeber BHG	1	E034	PR2_E034	
Drehgeber BHG 16.05A 7200	1	ZK009		Baumer
ISK M4x8 DIN 7991	3			Odörfer
ISK M4x16 DIN 912	4			Odörfer
Schlitten Y-Achse	1	---	---	
Schlitten Y-Achse	1	E011	PR2_E011	PR2_RT004
Lagerbock d40	4	E012	PR2_E012	PR2_RT001
ISK M6x20 DIN 912	8			Odörfer
Kugelumlaufbuchse KH40	4	ZK004		INA
ISK M8x30 DIN 7984	8			Odörfer
ZSB Mutterbock geschlitzt	1	ZSB003	PR2_ZSB003	
Mutterbock	1	E032	PR2_E032	
Flanschmutter Tr16x4	1	ZK005		Pfaff-Silberblau
ISK M5x20 DIN 912	6			Odörfer
Zylinderstift 4m6x18 DIN 7	4			Odörfer
Zylinderstift 6m6x50 DIN 7	2			Odörfer
Gewindestift M4x5 DIN 913	2			Odörfer
Druckfeder D-127D	2	ZK008		Gutekunst
Gewindestift M4x40	2			Odörfer
Scheibe 4 x 0.8 DIN 125	2			Odörfer
Sechskantmutter M4 DIN 934	2			Odörfer
ISK M6x30 DIN 912	2			Odörfer
X-Achse	1	---	---	
Führung X-Achse	1	---	---	
Führungsplatte X-achse	1	E013	PR2_E013	PR2_RT005
ZSB Dorn	1	ZSB008	PR2_ZSB008	
Dorn Grundkörper	1	E040	PR2_E040	
Dorn Flansch	1	E039	PR2_E039	
ISK M5x20 DIN 912	4			Odörfer

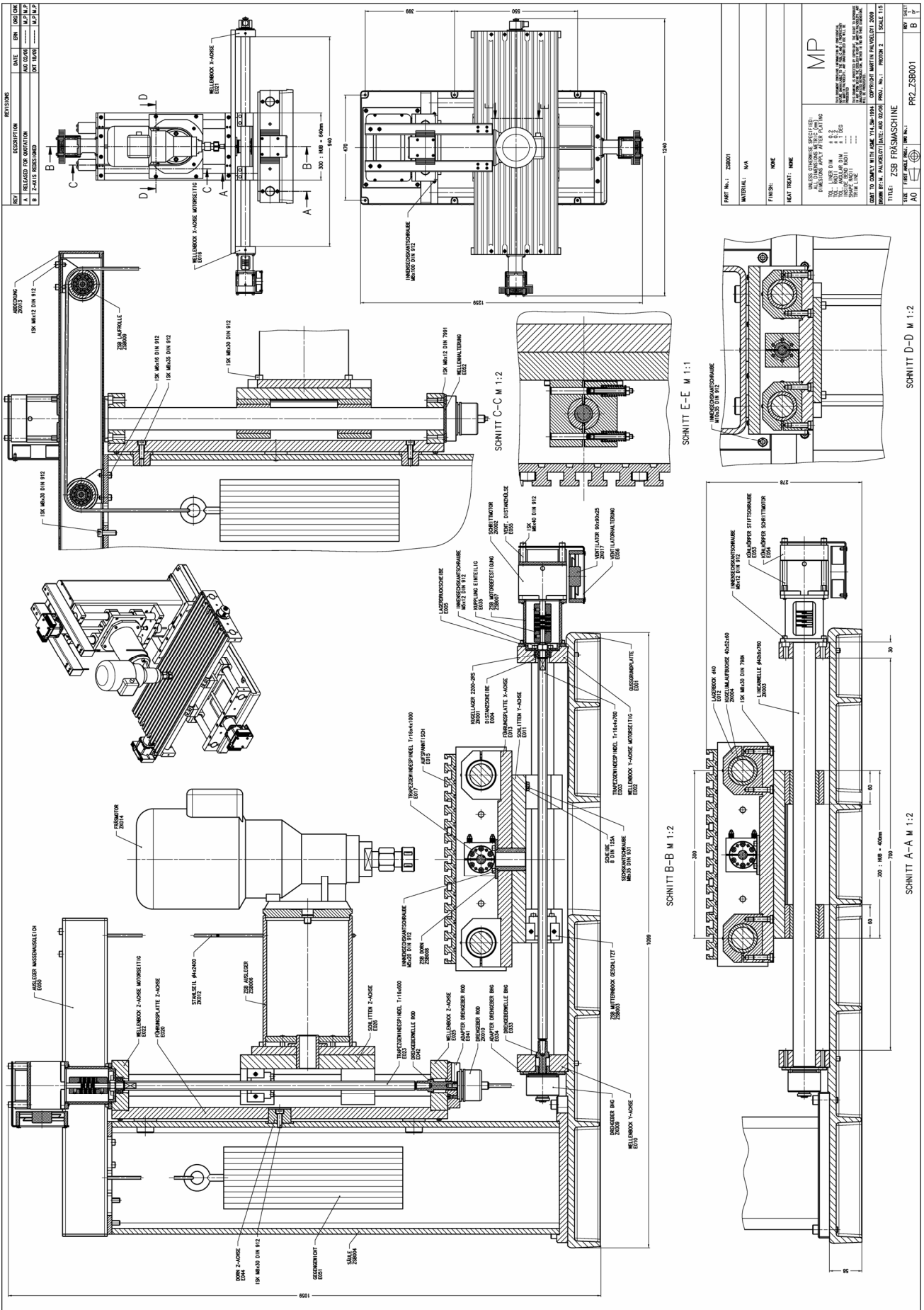
Blatt 1/4

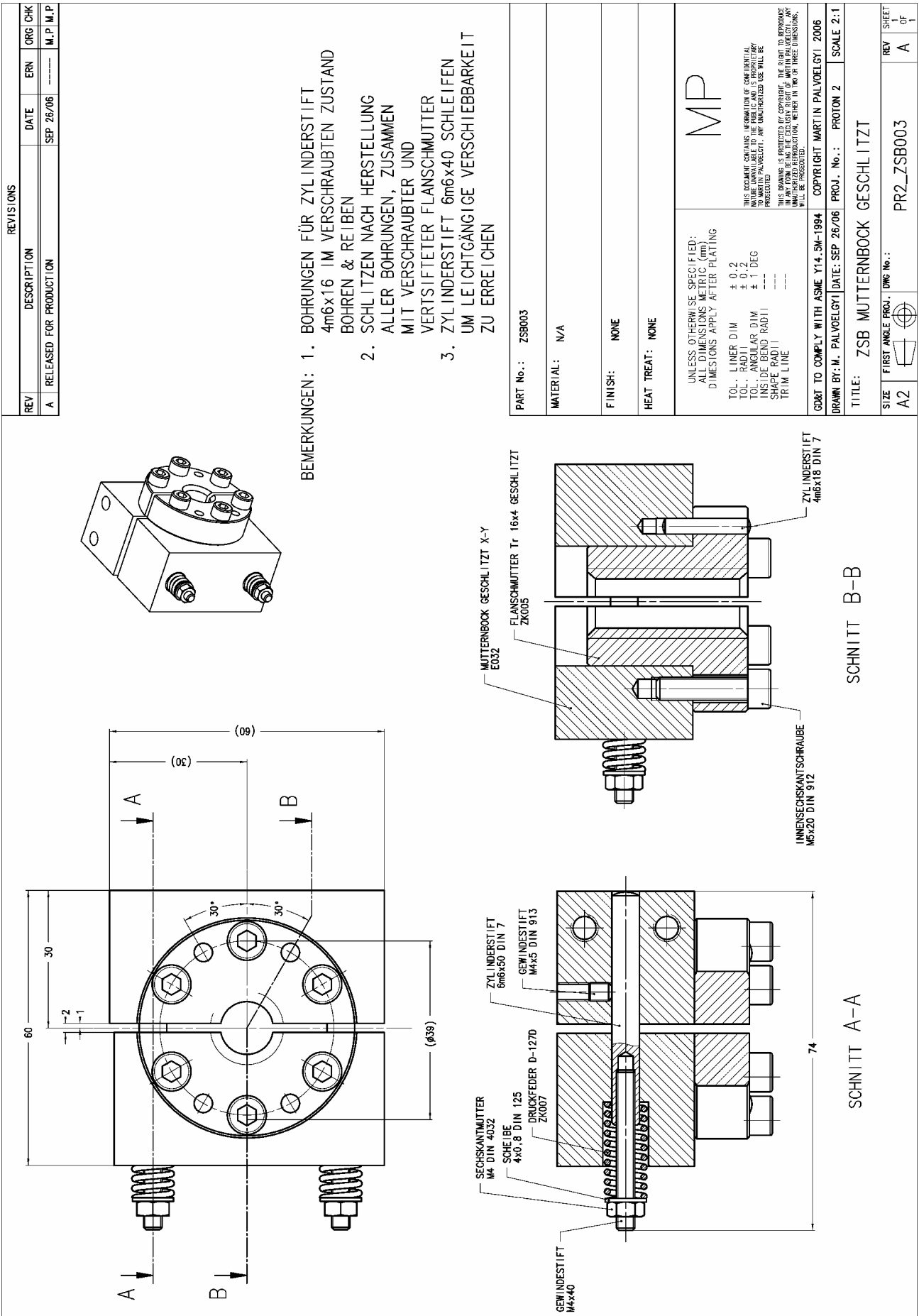
Stückliste: Proton II				Stand: 19.02.2012
Bezeichnung	Stk.	Teile Nr.	Zeichnungs Nr.	Zulieferer/Rohteil
Lagerbock d40	4	E012	PR2_E012	PR2_RT001
ISK M6x20 DIN 912	8			Odörfer
Kugelumlaufbuchse KH40	4	ZK004		INA
ISK M8x30 DIN 7984	8			Odörfer
ZSB Mutterbock geschlitz	1	ZSB003	PR2_ZSB003	
Mutterbock	1	E032	PR2_E032	
Flanshmutter Tr16x4	1	ZK005		Pfaff-Silberblau
ISK M5x20 DIN 912	6			Odörfer
Zylinderstift 4m6x18 DIN 7	4			Odörfer
Zylinderstift 6m6x50 DIN 7	2			Odörfer
Gewindestift M4x5 DIN 913	2			Odörfer
Druckfeder D-127D	2	ZK008		Gutekunst
Gewindestift M4x40	2			Odörfer
Scheibe 4x0.8 DIN 125	2			Odörfer
Sechskantmutter M4 DIN 934	2			Odörfer
ISK M6x30 DIN 912	2			Odörfer
ZSB Aufspanntisch	1	---	---	
Aufspanntisch	1	E015	PR2_E015	
Wellenbock X-Achse Motorseitig	1	---	---	
Wellenbock X-Achse Motorseitig	1	E016	PR2_E016	PR2_RT003
Kugellager 2200-2RS	1	ZK001		SKF
Distanzscheibe	1	E004	PR2_E004	
Trapezgewindespindel Tr16x4x1000	1	E017	PR2_E003	Pfaff-Silberblau
Lagerdruckscheibe	1	E005	PR2_E005	
ISK M5x12 DIN 912	4			Odörfer
Sechskantmutter M10 DIN 934	1			Odörfer
Kupplung einteilig	1	E035	PR2_E035	
Gewindestift M5x10 DIN 913	2			Odörfer
ZSB Motorbefestigung	1	ZSB007	PR2_ZSB007	
Motorbefestigung Flansch Spindelseitig	1	E036	PR2_ZSB007	
Motorbefestigung Rohr	1	E037	PR2_ZSB007	
Motorbefestigung Flansch Motorseitig	1	E038	PR2_ZSB007	
ISK M5x20 DIN 912	4			Odörfer
Schrittmotor	1	ZK002		Sanyo Denki
Kühlkörper Stiftschraube	4	E053	PR2_E053	
Kühlkörper Schrittmotor	1	E054	PR2_E054	
Ventilator Distanzhülse	4	E055	PR2_E055	
Ventilator 90x90x25	1	ZK017		RS-Components
Ventilatorhalterung	1	E056	PR2_E056	
Ventilatorschraube 482-7477	4			RS-Components
ISK M6x40 DIN 912	4			Odörfer
Linearwelle d40x1000	2	ZK003		INA
Wellenbock X-Achse	1	E021	PR2_E021	PR2_RT003
Gewindestift M8x25 DIN 914	4			Odörfer
ISK M8x25 DIN 912	8			Odörfer
Drehgeberwelle BHG	1	E033	PR2_E033	
Adapter Drehgeber BHG	1	E034	PR2_E034	
Drehgeber BHG 16.05A 7200	1	ZK009		Baumer
ISK M4x8 DIN 7991	3			Odörfer
ISK M4x16 DIN 912	4			Odörfer
Scheibe 8 DIN 125B	4			Odörfer
Sechskantschraube M8x35 DIN 931	4			Odörfer
ZSB Säule	1	ZSB004	PR2_ZSB004	
Säule	1	BA002	PR2_BA002	
Dorn Z-Achse	1	E044	PR2_E044	
ISK M8x25 DIN 912	1			Odörfer
ISK M10 x 35 DIN 912	4			Odörfer
Z-Achse	1	---	---	
Führung Z-Achse	1	---	---	
Führungsplatte Z-Achse	1	E020	PR2_E020	PR2_RT010

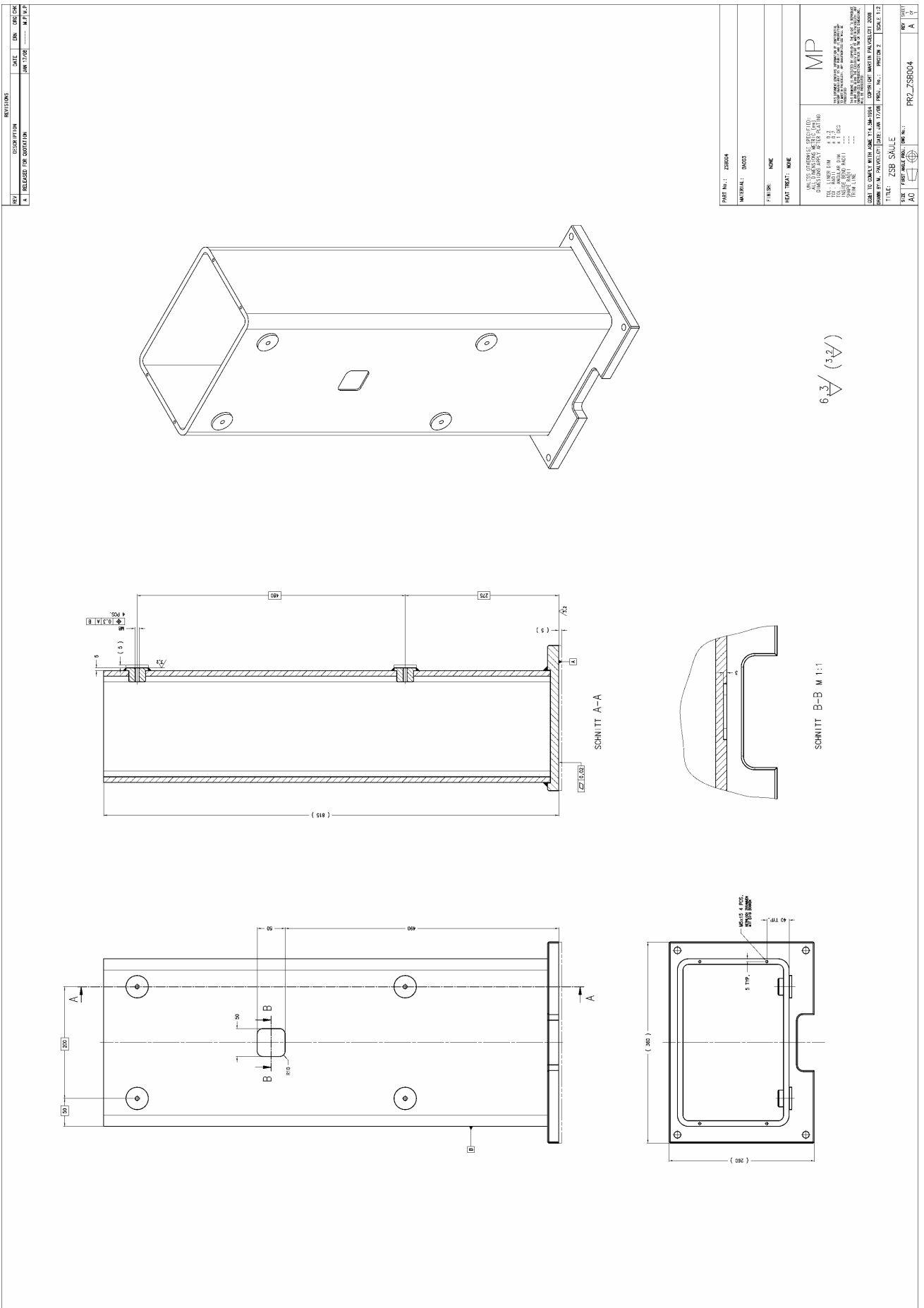
Blatt 2/4

Stückliste: Proton II				Stand: 19.02.2012
Bezeichnung	Stk.	Teile Nr.	Zeichnungs Nr.	Zulieferer/Rohteil
ISK M8x35 DIN 912	4			Odörfer
Wellenbock Z-Achse Motorseitig	1	---	---	
Wellenbock Z-Achse Motorseitig	1	E022	PR2_E022	PR2_RT011
Kugellager 2200-2RS	1	ZK001		SKF
Distanzscheibe	1	E004	PR2_E004	
Trapezgewindespindel Tr16x4x600	1	E023	PR2_E003	Pfaff-Silberblau
Lagerdruckscheibe	1	E005	PR2_E005	
ISK M5x12 DIN 912	4			Odörfer
Sechskantmutter M10 DIN 934	1			Odörfer
Kupplung einteilig	1	E035	PR2_E035	
Gewindestift M5x10 DIN 913	2			Odörfer
Motorbefestigung	1	ZSB007	PR2_ZSB007	
Motorbefestigung Flansch Spindelseitig	1	E036	PR2_ZSB007	
Motorbefestigung Rohr	1	E037	PR2_ZSB007	
Motorbefestigung Flansch Motorseitig	1	E038	PR2_ZSB007	
ISK M5x20 DIN 912	4			Odörfer
Schrittmotor	1	ZK002		Sano Denki
Kühlkörper Stiftschraube	4	E053	PR2_E053	
Kühlkörper Schrittmotor	1	E054	PR2_E054	
Ventilator Distanzhülse	4	E055	PR2_E055	
Ventilator 90x90x25	1	ZK017		RS-Components
Ventilatorhalterung	1	E056		
Ventilatorschraube 482-7477	4			RS-Components
ISK M6x40 DIN 912	4			Odörfer
Linearwelle d40x600	2	ZK003		Ulmer
Wellenbock Z-Achse	1	E025	PR2_E025	PR2_RT011
ISK M8x100 DIN 912	8			Odörfer
Gewindestift M8x25 DIN 914	8			Odörfer
Drehgeberwelle ROD	1	E042	PR2_E042	
Adapter Drehgeber ROD	1	E041	PR2_E041	
Drehgeber ROD 426	1	ZK010		Heidenhain
Gewindestift M4x4 DIN 913	1			Odörfer
ISK M4x16 DIN 912	3			Odörfer
ISK M4x25 DIN 912	4			Odörfer
Wellenhalterung	2	E052	PR2_E052	PR2_RT018
ISK M8x16 DIN 7991	4			Odörfer
Schlitten Z-Achse	1	---	---	
Schlitten Z-Achse	1	E026	PR2_E026	PR2_RT012
Lagerbock d40	4	E012	PR2_E012	PR2_RT001
ISK M6x20 DIN 912	8			Odörfer
Kugelumlaufbuchse KH40	4	ZK004		INA
ISK M8x30 DIN 7984	8			Odörfer
ZSB Mutternbock geschlitzt	1	ZSB003	PR2_ZSB003	
Mutternbock	1	E032	PR2_E032	
Flanschmutter Tr16x4	1	ZK005		Pfaff-Silberblau
ISK M5x20 DIN 912	6			Odörfer
Zylinderstift 4m6x18 DIN 7	4			Odörfer
Zylinderstift 6m6x50 DIN 7	2			Odörfer
Gewindestift M4x5 DIN 913	2			Odörfer
Druckfeder D-127D	2			Gutekunst
Gewindestift M4x40	2			Odörfer
Scheibe 4x0.8 DIN 125	2			Odörfer
Sechskantmutter M4 DIN 934	2			Odörfer
ISK M6x30 DIN 912	2			Odörfer
ZSB Ausleger	1	ZSB006	PR2_ZSB006	
Ausleger Anschlussplatte	1	E029	PR2_E029	PR2_RT013
Ausleger Dorn	1	E045	PR2_E045	
ISK M6x16 DIN 7991	4			Odörfer
Ausleger Rohr	1	E030	PR2_BA003	
Ausleger Schweissplatte	1	E043	PR2_BA003	

Blatt 3/4







REV	DESCRIPTION	DATE	ENR.	ORG.	CHK
A	RELEASED FOR PRODUCTION	JAN 17 2006			M.P. KL

REVISIONS

PROJ. No.: ZSB004		
MATERIAL: 3003		
FINISH: NONE		
HEAT TREAT: NONE		
<p>UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS APPLY AS NOTED DIMENSIONS GIVEN IN PARENTHESIS ARE FOR INFORMATION DIMENSIONS GIVEN IN PARENTHESIS ARE NOT TO BE USED DIMENSIONS GIVEN IN PARENTHESIS ARE NOT TO BE USED DIMENSIONS GIVEN IN PARENTHESIS ARE NOT TO BE USED DIMENSIONS GIVEN IN PARENTHESIS ARE NOT TO BE USED</p>		
		MP
<p>DATE TO CHECK WITH DRAWING: 17 JAN 2006 DRAWN BY: M. PALVOGYI CHECKED BY: M. PALVOGYI ENGINEER: M. PALVOGYI PROJECT No.: PROJEN 2 SCALE: 1:1</p>		
TITLE: ZSB 5001		
DATE: 17 JAN 2006		
FILE: PR2_ZSB004		
REV: 001		
SCALE: A		

6.3 (3.2)

SCHNITT B-B M 1:1

SCHNITT A-A

BILL OF MATERIALS			REVISIONS							
No.	DESCRIPTION	QTY.	PART No.	SHOWN ON DWG.	REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG	CHK
1	AUSLEGER ANSCHLUSSPLATTE	1	E029	PR2_E029	A	RELEASED FOR PRODUCTION	MAY 22/09	-----	-----	M.P.M.P.
2	AUSLEGER DORN	1	E045	PR2_E045						
3	ISK M6x16 DIN 7981	4	-	-						
4	ISK M8x25 DIN 912	4	-	-						
5	AUSLEGER	1	BA003	PR2_BA003						

SCHNITT A-A

SCHNITT B-B

PART No.: ZSB006

MATERIAL: N/A

FINISH: NONE

HEAT TREAT: NONE

MP

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
ALL DIMENSIONS METRIC (mm)
DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING

TOL. LINER DIM ± 0,2
TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG
TOL. INSIDE BEND RADIUS ---
SHAPE RADIUS ---
TRIM LINE ---

THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE AND IS THE PROPERTY OF MARTIN PALVÖELGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.

THIS DRAWING IS PROVIDED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE OR TRANSMIT IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, ELECTRONIC OR MECHANICAL, INCLUDING PHOTOCOPYING, RECORDING, OR BY ANY INFORMATION STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM, WITHOUT PERMISSION IN WRITING FROM MARTIN PALVÖELGYI WILL BE PROSECUTED.

GOVT TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994

DRAWN BY: M. PALVÖELGYI DATE: MAY 22/09

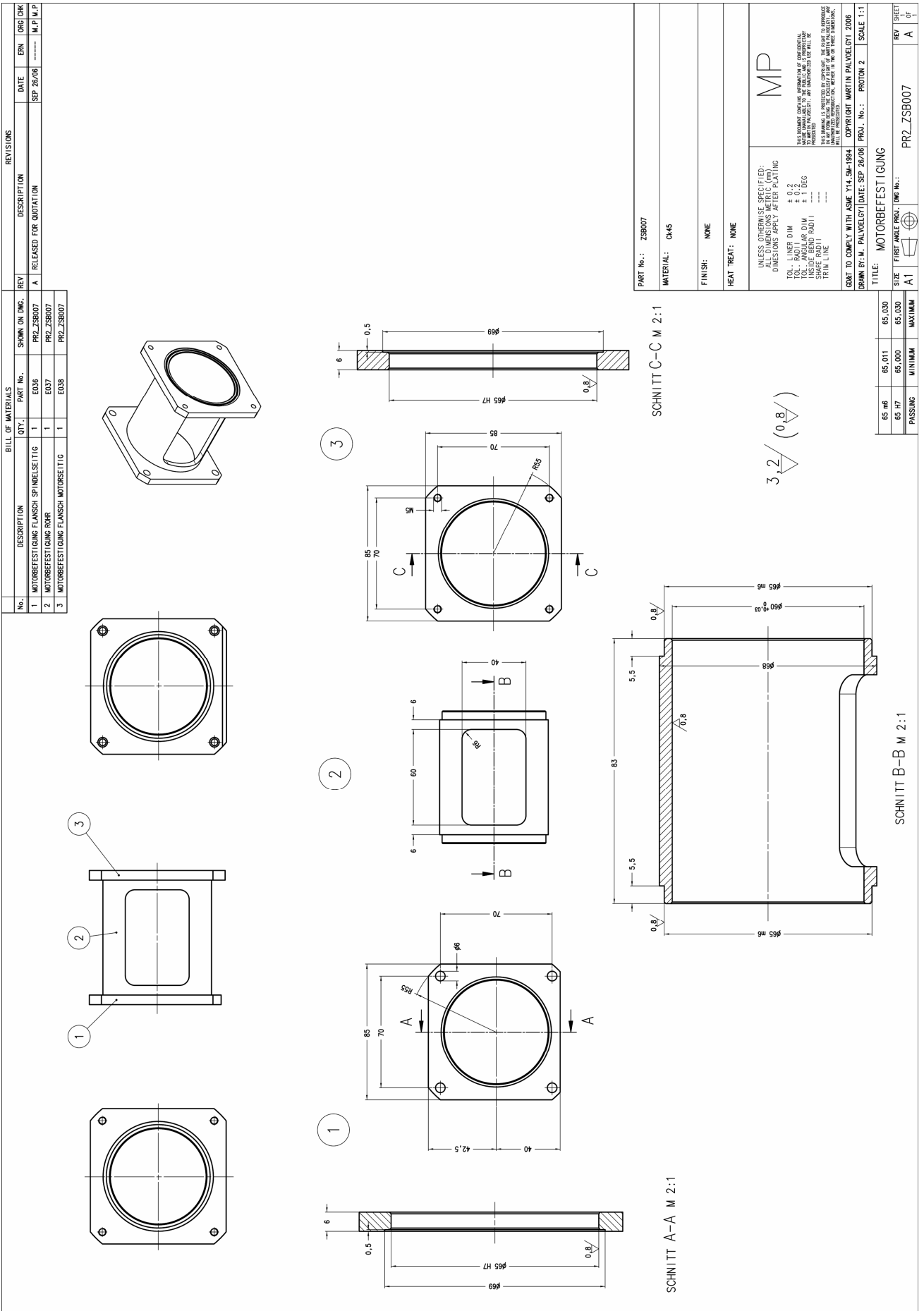
TITLE: ZSB AUSLEGER

SIZE: A2

PROJ. No.: PROTON 2

SCALE: 1:2

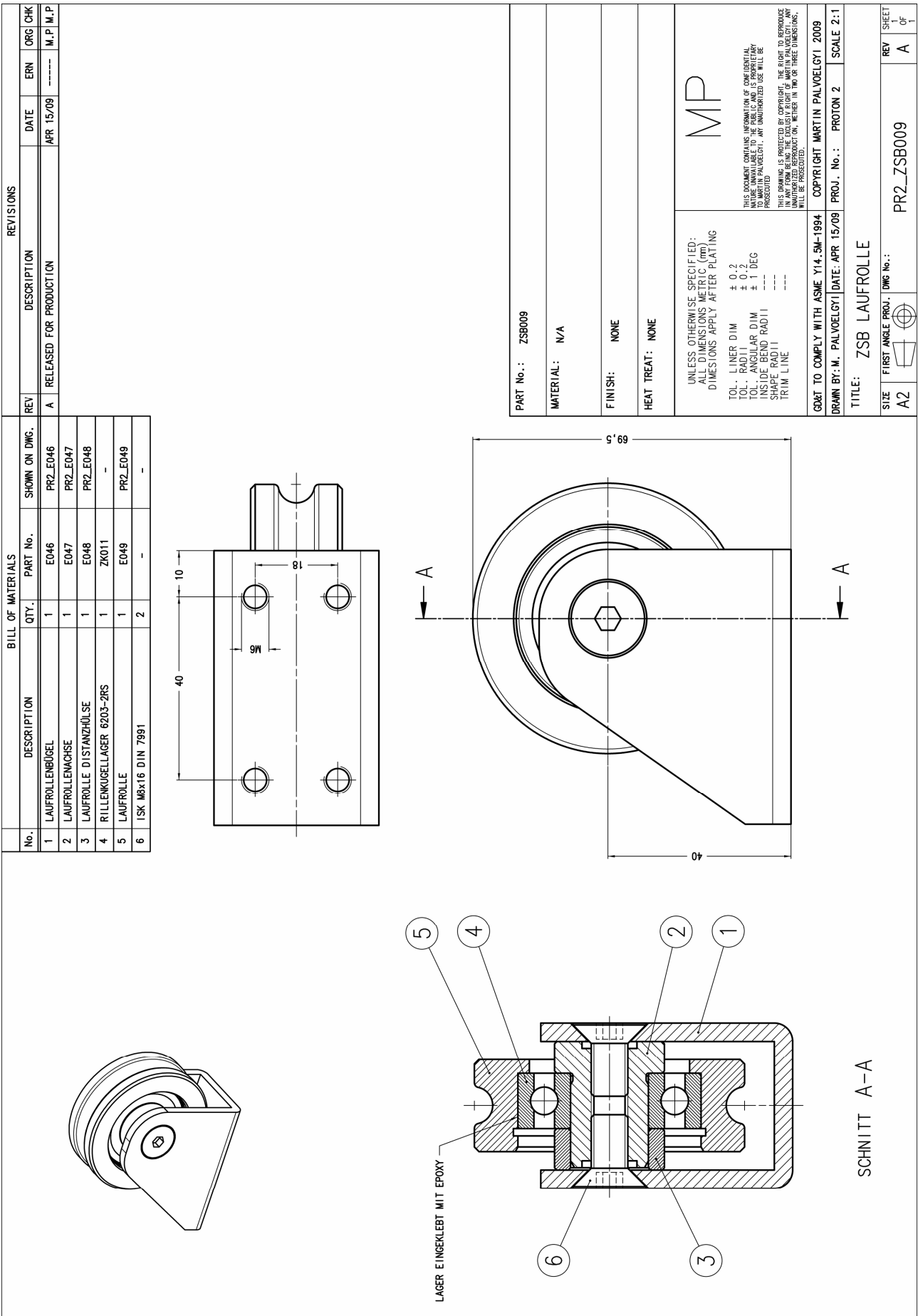
REV SHEET: A 1 of 1

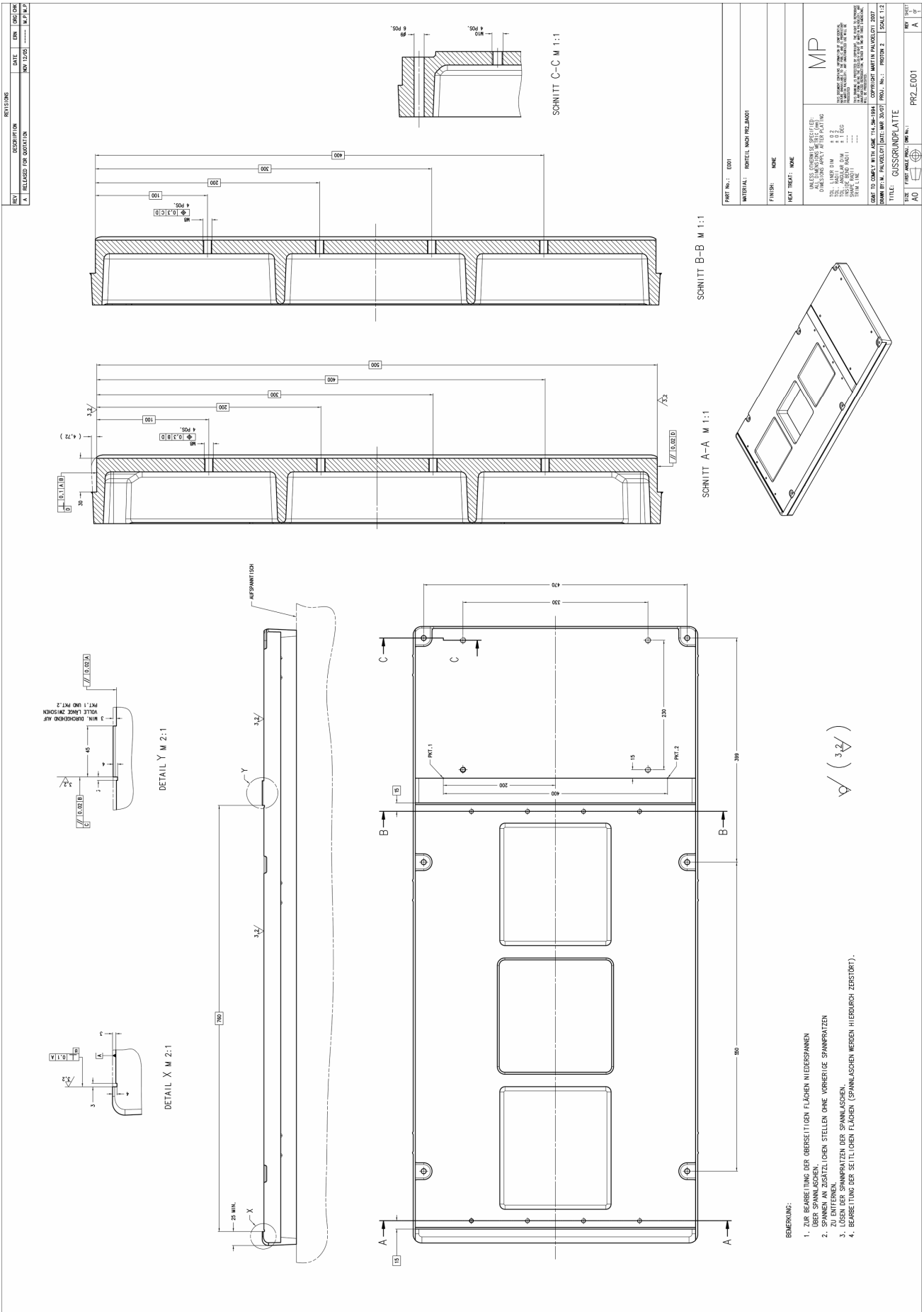


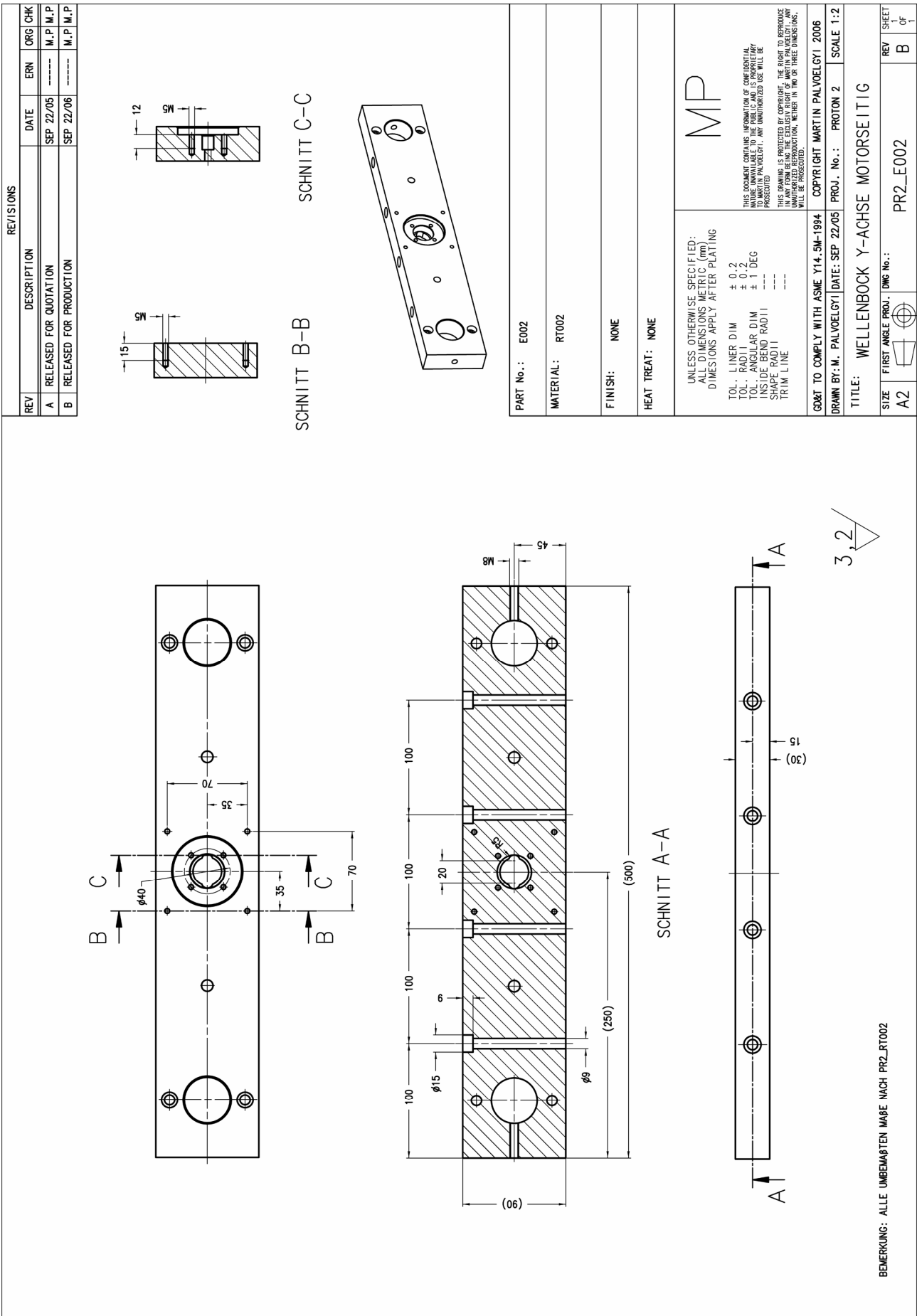
BILL OF MATERIALS				REVISIONS						
No.	DESCRIPTION	QTY.	PART No.	SHOWN ON DWG.	REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG	CHK
1	DORN FLANSCH	1	E039	PR2_E039	A	RELEASED FOR PRODUCTION	NOV 06/06	-----	M.P	M.P
2	DORN GRUNDKÖRPER	1	E040	PR2_E040						

SCHNITT A-A

PART No.:	ZSB008
MATERIAL:	N/A
FINISH:	NONE
HEAT TREAT:	NONE
MP	UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: ALL DIMENSIONS METRIC (mm) DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING TOL. LINER DIM ± 0.2 TOL. RADII ± 0.2 TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG INSIDE BEND RADII --- SHAPE RADII --- TRIM LINE ---
THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY TO MARTIN PALVÖLGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED. THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE EXCLUSIVE RIGHT OF MARTIN PALVÖLGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WHETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.	
GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994	COPYRIGHT MARTIN PALVÖLGYI 2006
DRAWN BY: M. PALVÖLGYI DATE: NOV 06/06	PROJ. No.: PROTON 2 SCALE 1:1
TITLE: ZSB DORN	
SIZE A3	FIRST ANGLE PROJ. DWG No.:
	PR2_ZSB008
REV SHEET 1 of 1	REV A







MASS *L*	BEZEICHNUNG	TEILE NUMMER
600	TRAPEZGEWINDESPINDEL Tr 16x4x600	E023
760	TRAPEZGEWINDESPINDEL Tr 16x4x760	E003
1000	TRAPEZGEWINDESPINDEL Tr 16x4x1000	E017

BEMERKUNG: ROHMATERIAL IST TRAPEZGEWINDESPINDEL Tr16x4x1000, RECHTSGÄNGIG, PRÄZISIONSGEROLLT GÜTEKLASSE 1 Fa. PFAFF-SILBERBLAU

REVISIONS				
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG CHK
A	RELEASED FOR QUOTATION	NOV 16/05	-----	M.P M.P
B	RELEASED FOR PRODUCTION	SEP 23/06	-----	M.P M.P

PART No.: N/A

MATERIAL: C35

FINISH: NONE

HEAT TREAT: NONE

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
ALL DIMENSIONS METRIC (mm)
DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING

TOL. LINER DIM ± 0.2
TOL. RADII ± 0.2
TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG
INSIDE BEND RADII ---
SHAPE RADII ---
TRIM LINE ---

MP

THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY TO MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.

THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE EXCLUSIVY RIGHT OF MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.

GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994 COPYRIGHT MARTIN PALVOELGYI 2006

DRAWN BY: M. PALVOELGYI | DATE: NOV 16/05 | PROJ. No.: PROTON 2 | SCALE 1:5

TITLE: TRAPEZGEWINDESPINDEL Tr16x4

SIZE A3 | FIRST ANGLE PROJ. | DWG No.: PR2_E003 | REV B | SHEET 1 OF 1

SCHNITT A-A

3.2

REVISIONS				
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG CHK
A	RELEASED FOR PRODUCTION	SEP 23/06	-----	M.P M.P

PART No.: E004

MATERIAL: S235 JR

FINISH: NONE

HEAT TREAT: NONE

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
ALL DIMENSIONS METRIC (mm)
DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING

TOL. LINER DIM ± 0.2
TOL. RADII ± 0.2
TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG
INSIDE BEND RADII ---
SHAPE RADII ---
TRIM LINE ---

MP

THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY TO MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.

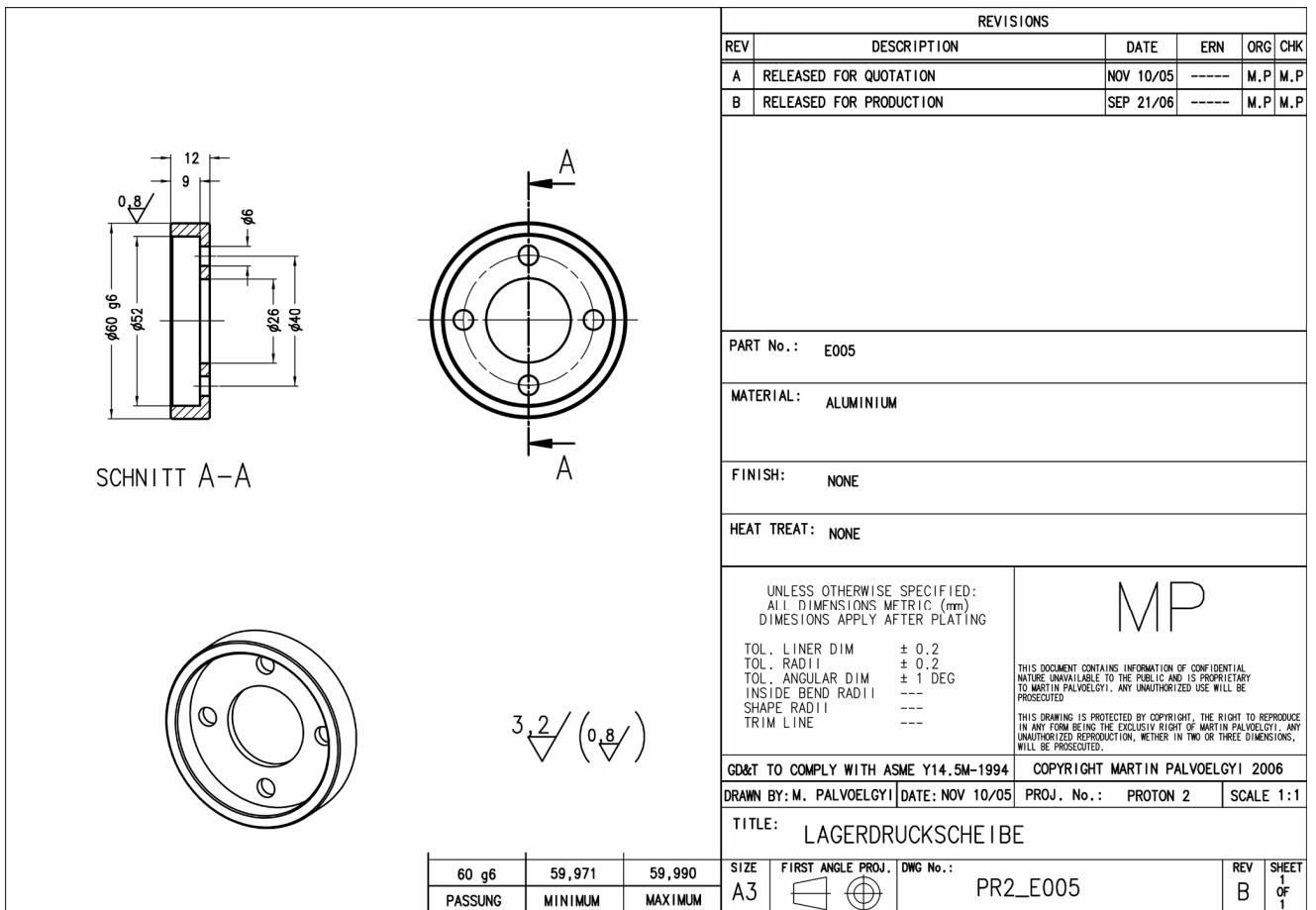
THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE EXCLUSIVY RIGHT OF MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.

GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994 COPYRIGHT MARTIN PALVOELGYI 2006

DRAWN BY: M. PALVOELGYI | DATE: SEP 23/06 | PROJ. No.: PROTON 2 | SCALE 2:1

TITLE: DISTANZSCHEIBE

SIZE A3 | FIRST ANGLE PROJ. | DWG No.: PR2_E004 | REV A | SHEET 1 OF 1



REVISIONS					
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG	CHK
A	RELEASED FOR QUOTATION	NOV 10/05	-----	M.P	M.P
B	RELEASED FOR PRODUCTION	SEP 21/06	-----	M.P	M.P

PART No.: E005

MATERIAL: ALUMINIUM

FINISH: NONE

HEAT TREAT: NONE

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
ALL DIMENSIONS METRIC (mm)
DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING

TOL. LINER DIM	± 0.2
TOL. RADII	± 0.2
TOL. ANGULAR DIM	± 1 DEG
INSIDE BEND RADII	---
SHAPE RADII	---
TRIM LINE	---

MP

THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY TO MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.

THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE EXCLUSIV RIGHT OF MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.

GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994

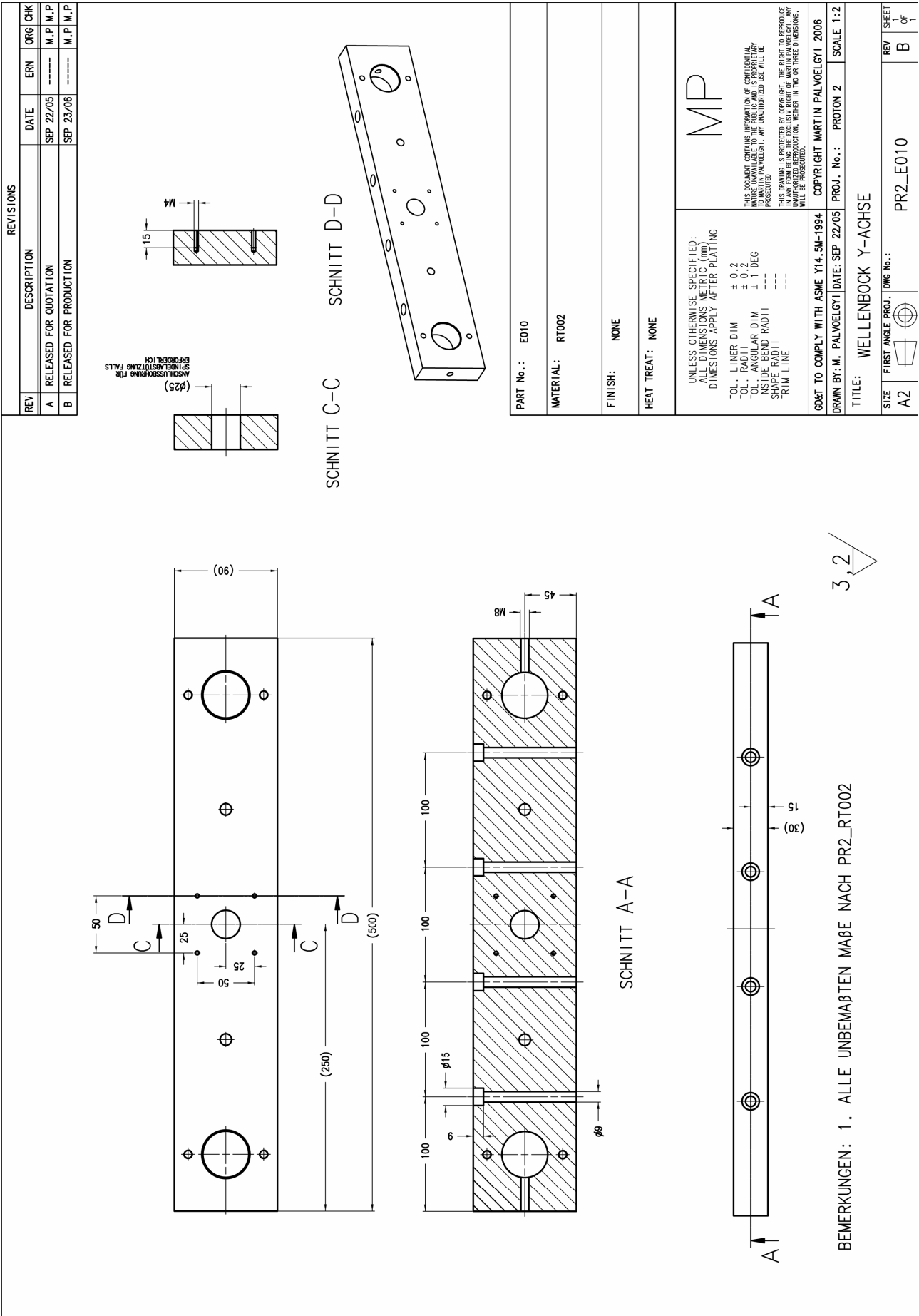
COPYRIGHT MARTIN PALVOELGYI 2006

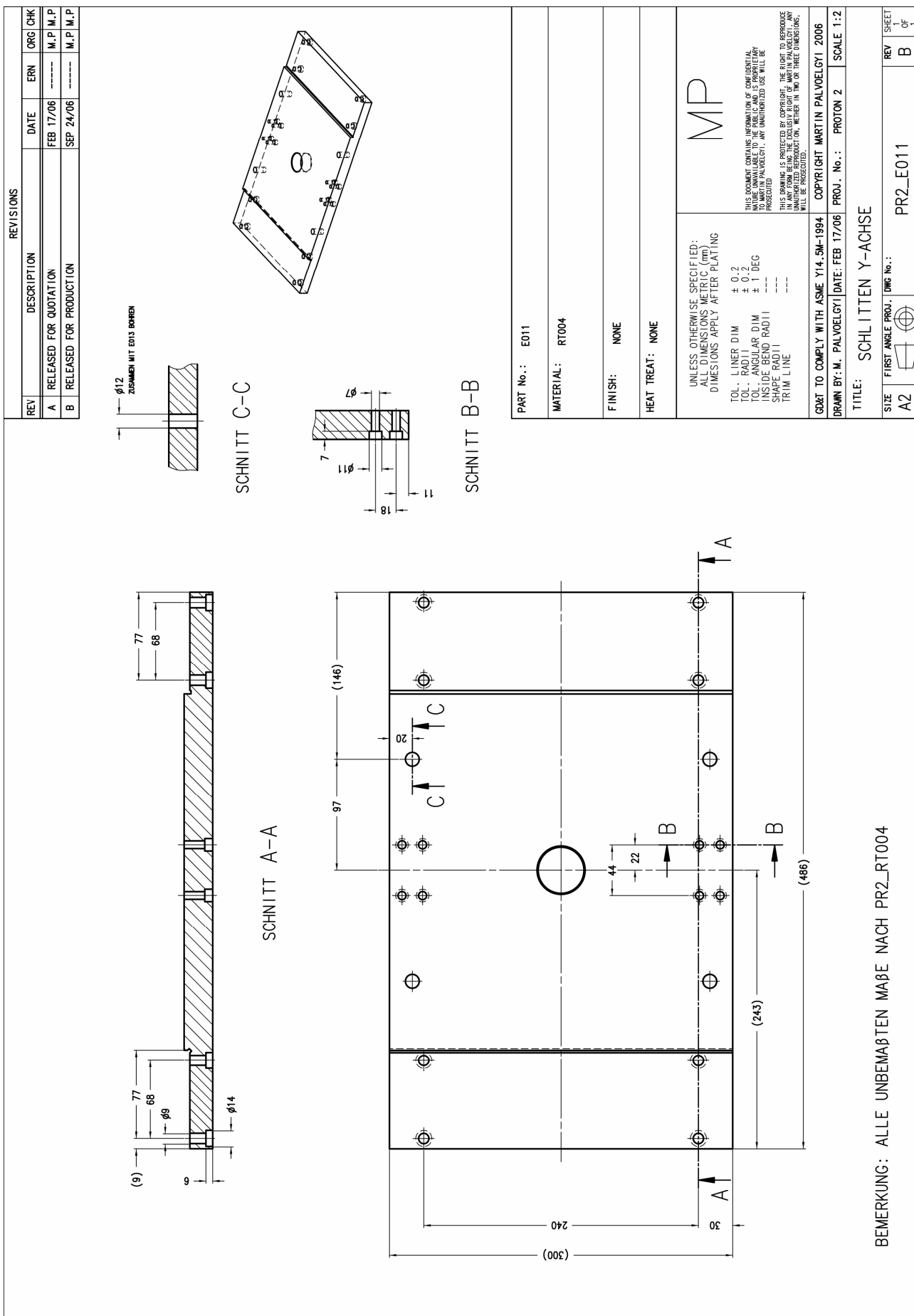
DRAWN BY: M. PALVOELGYI | DATE: NOV 10/05

PROJ. No.: PROTON 2 | SCALE 1:1

TITLE: LAGERDRUCKSCHEIBE

SIZE	FIRST ANGLE PROJ.	DWG No.:	REV	SHEET
A3		PR2_E005	B	1 OF 1





PART No.: E011

MATERIAL: RT004

FINISH: NONE

HEAT TREAT: NONE

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
ALL DIMENSIONS METRIC (mm)
DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING

TOL. LINER DIM ± 0.2
TOL. RADIUS ± 0.2
TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG
INSIDE BEND RADIUS ---
SHAPE RADIUS ---
TRIM LINE ---

MP

THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY PROPERTY OF PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.

THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE SOLELY RIGHT OF MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WHETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.

GOVT TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994 COPYRIGHT MARTIN PALVOELGYI 2006

DRAWN BY: M. PALVOELGYI DATE: FEB 17/06 PROJ. No.: PRON 2 SCALE 1:2

TITLE: SCHLITTEN Y-ACHSE

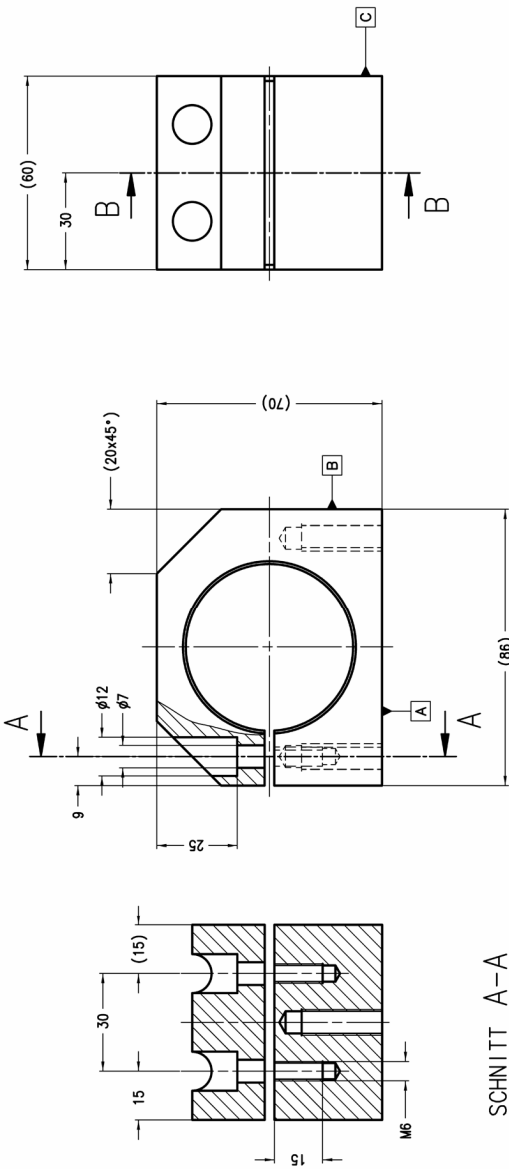
SIZE FIRST ANGLE PROJ. DWG No.:

A2 PR2_E011

REV SHEET of B 1

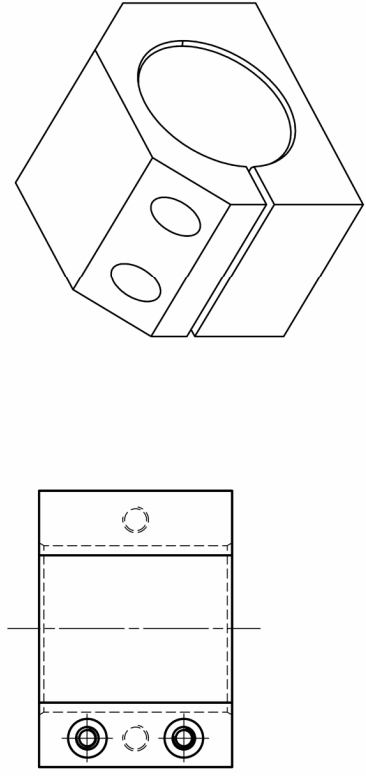
BEMERKUNG: ALLE UNBEMAPPTEN MAÙE NACH PR2_RT004

REVISIONS				
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG CHK
A	RELEASED FOR QUOTATION	SEP 19/05	----	M.P.M.P
B	RELEASED FOR PRODUCTION	SEP 25/06	----	M.P.M.P



SCHNITT A-A

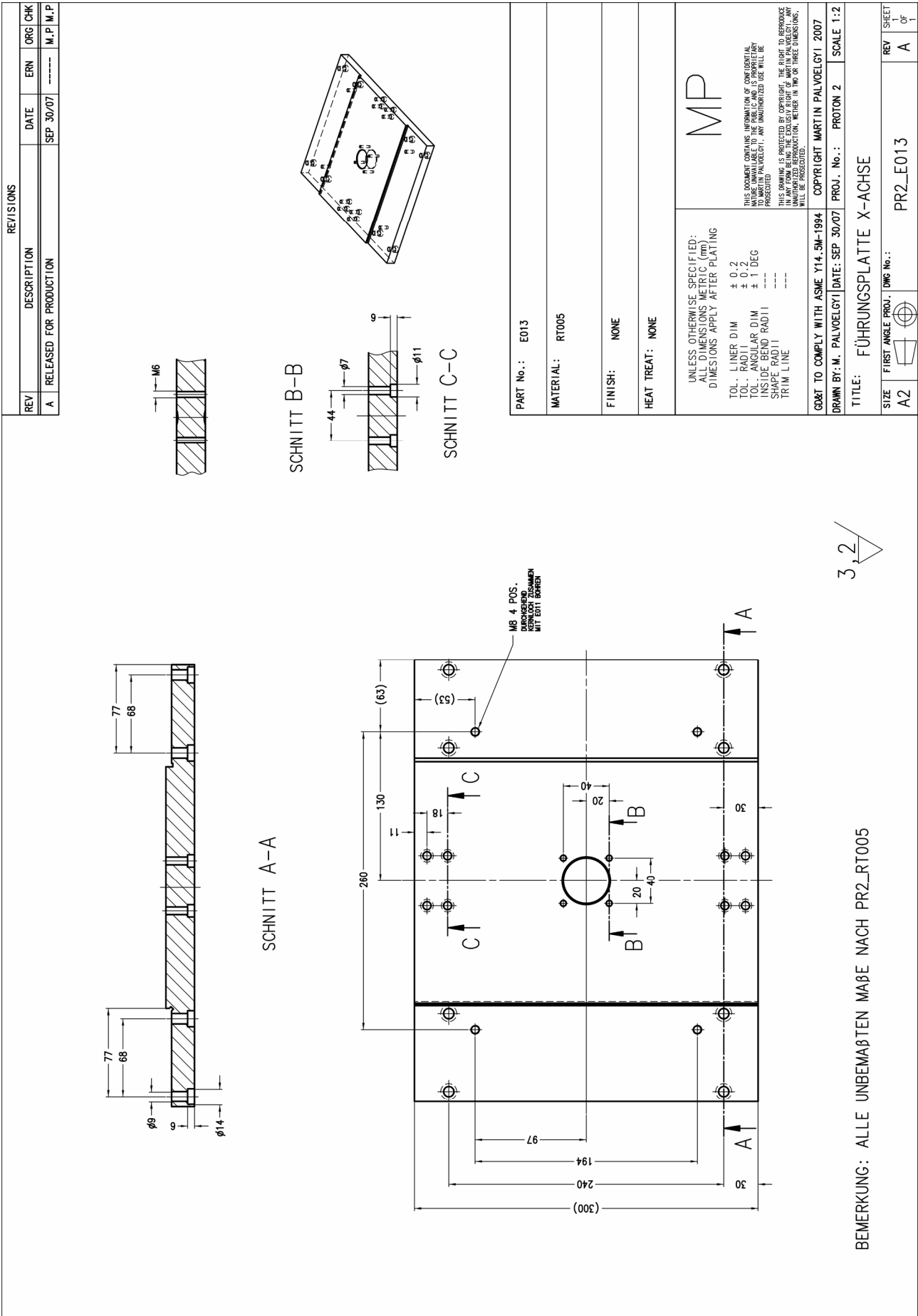
SCHNITT B-B



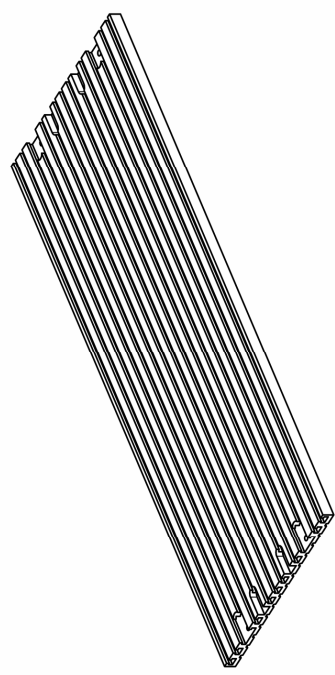
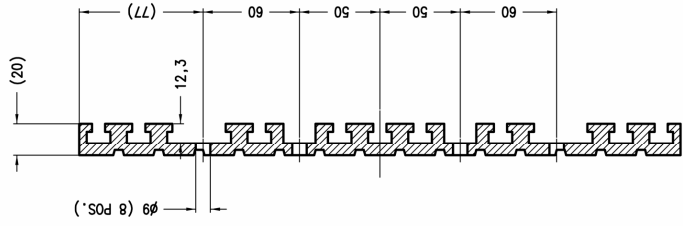
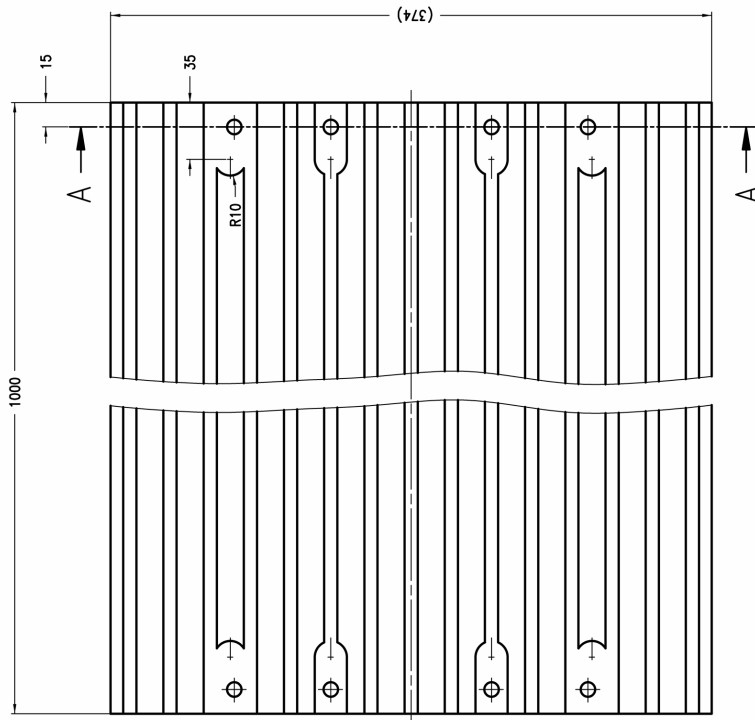
6.3 $\sqrt{\text{ }}$

PART No. : E012	<p>UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: ALL DIMENSIONS METRIC (MM) AND DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING</p> <p>TOL. LINER DIM ± 0.2 TOL. RADI II ± 0.2 TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG INSIDE BEND RADII --- SHAPE RADII --- TRIM LINE ---</p> <p>MP</p> <p>THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY PROPERTY OF MARTIN PALVÖLGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.</p> <p>THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE EXCLUSIVE RIGHT OF MARTIN PALVÖLGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WHETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.</p>		
MATERIAL: RT001			
FINISH: NONE			
HEAT TREAT: NONE			
GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994	COPYRIGHT MARTIN PALVÖLGYI 2006		
DRAWN BY: M. PALVÖLGYI	DATE: SEP 19/05	PROJ. No.: PR0TON 2	SCALE 1:1
TITLE: LAGERBOCK d40			
SIZE A2	FIRST ANGLE PROJ.	DWG No.: PR2_E012	REV B
		OF 1	

BEMERKUNG: ALLE UNBEMABTEN MAÖE NACH PR2_RT001



REVISIONS			
REV	DESCRIPTION	DATE	ORG CHK
A	RELEASED FOR MANUFACTURING	JUN 22/11	----- M.P. M.P.



PART No.: E015

MATERIAL: T-NUTENPLATTE 1200x374x20
ALUMINIUM ELOYERT

FINISH: NONE

HEAT TREAT: NONE

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
ALL DIMENSIONS METRIC (mm)
DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING

TOL. LINER DIM ± 0.2
TOL. RADI I ± 0.2
TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG
INSIDE BEND RADI I ---
SHAPE RADI I ---
TRIM LINE ---

MP

THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY PROPERTY OF PALVÖLGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.

THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE SOLELY RIGHT OF MARTIN PALVÖLGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WHETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.

GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994
DRAWN BY: M. PALVÖLGYI DATE: JUN 22/11
PROJ. No.: PRON 2

COPYRIGHT MARTIN PALVÖLGYI 2011
SCALE 1:2

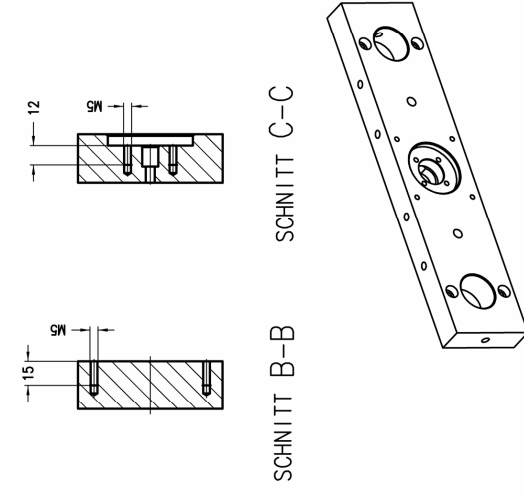
TITLE: AUFSPANNISCH

SIZE	FIRST ANGLE PROJ.	DWG No.:	REV	SHEET
A2		PR2_E015	A	1

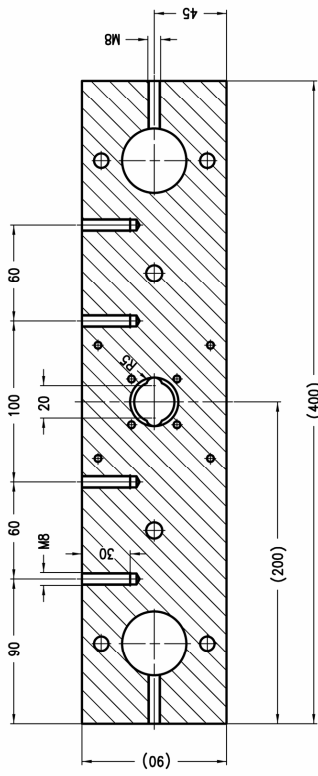
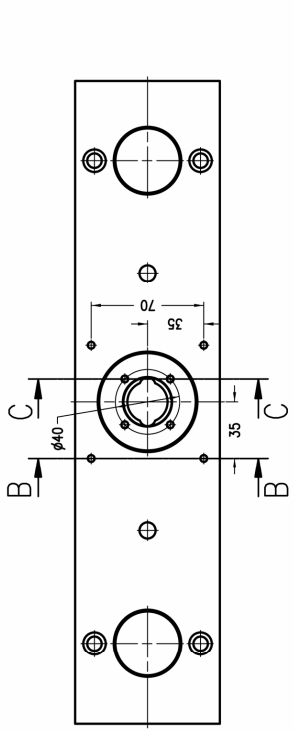
SCHNITT A-A

3.2

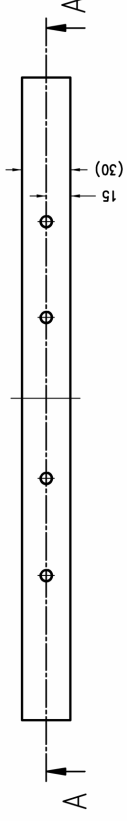
REVISIONS					
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG	CHK
A	RELEASED FOR PRODUCTION	OCT 02/07	-----	-----	M.P.M.P



SCHNITT B-B SCHNITT C-C



SCHNITT A-A



BEMERKUNG: 1. * NUR BEI BEDARF KLEMSCHRAUBE
2. ALLE UNGEMÄßTEN MÄßE NACH RT003

PART No.: E016
MATERIAL: RT003
FINISH: NONE
HEAT TREAT: NONE

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
ALL DIMENSIONS METRIC (mm)
DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING

TOL. LINER DIM ± 0.2
TOL. RADI I ± 0.2
TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG
INSIDE BEND RADI I ---
SHAPE RADI I ---
TRIM LINE ---

MP

THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY PROPERTY OF MARTIN PALVÖLGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.

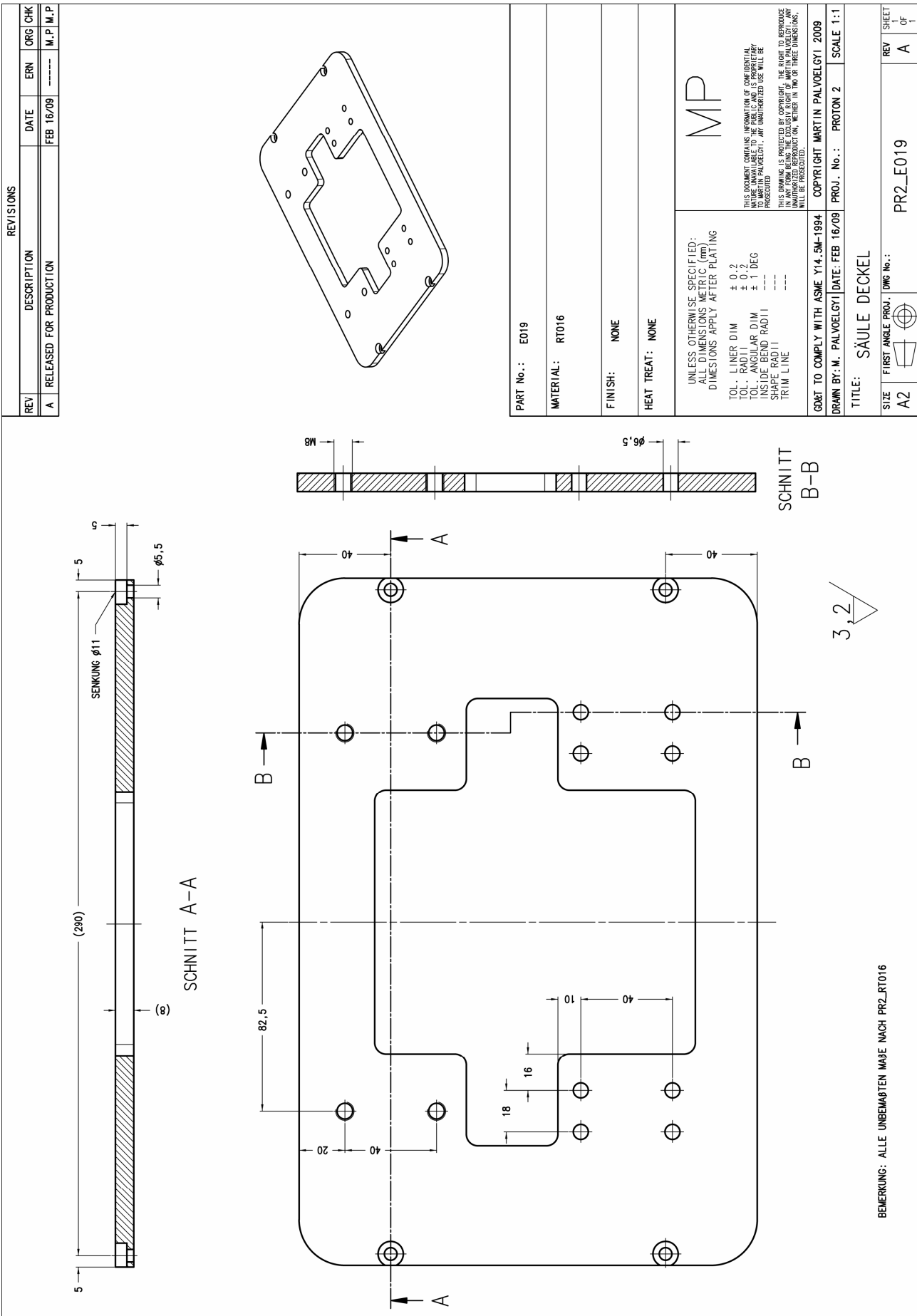
THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE SOLE PROPERTY OF MARTIN PALVÖLGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WHETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.

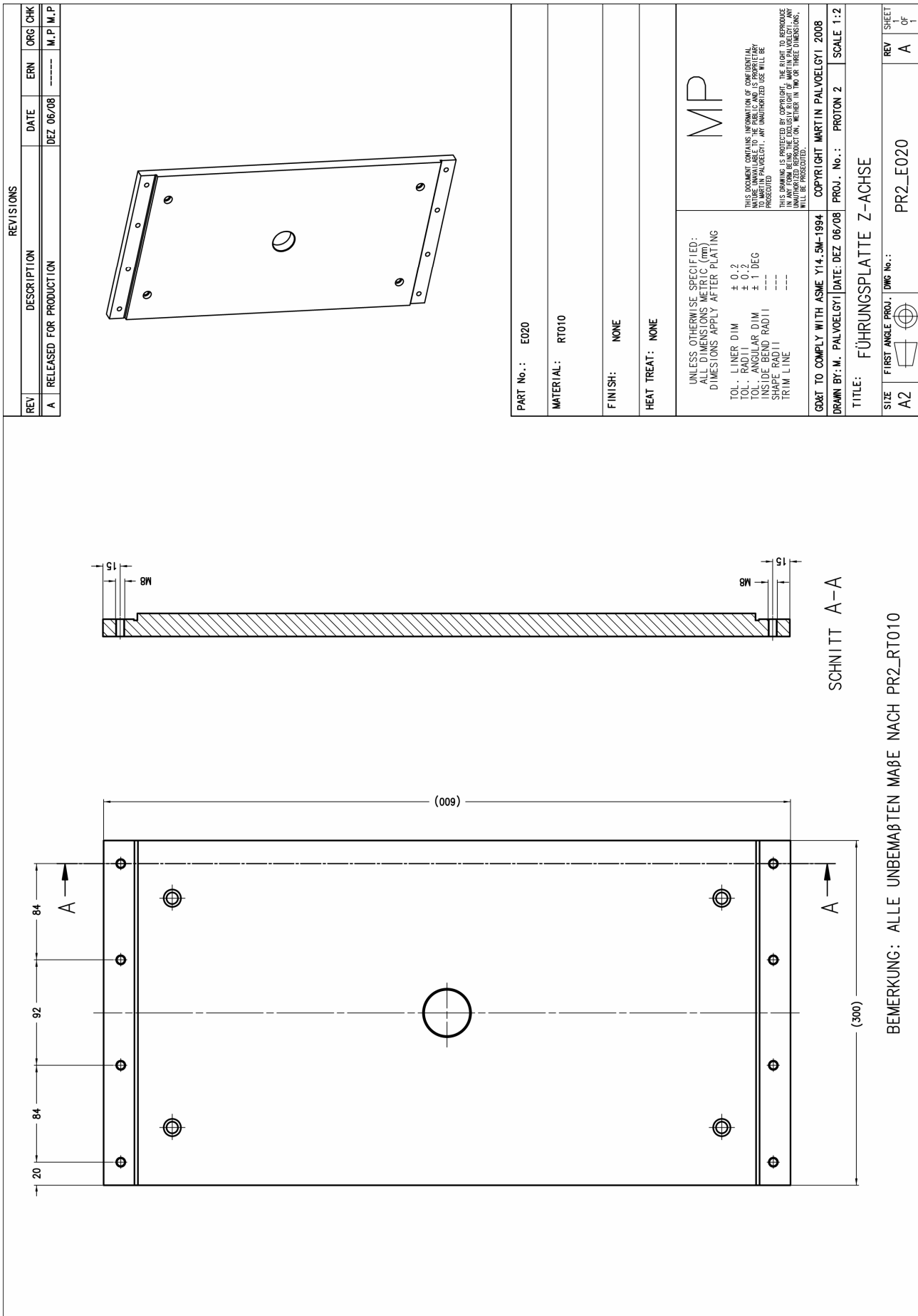
GOVT TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994 COPYRIGHT MARTIN PALVÖLGYI 2007
DRAWN BY: M. PALVÖLGYI DATE: OCT 02/07 PROJ. No.: PRON 2 SCALE 1:2

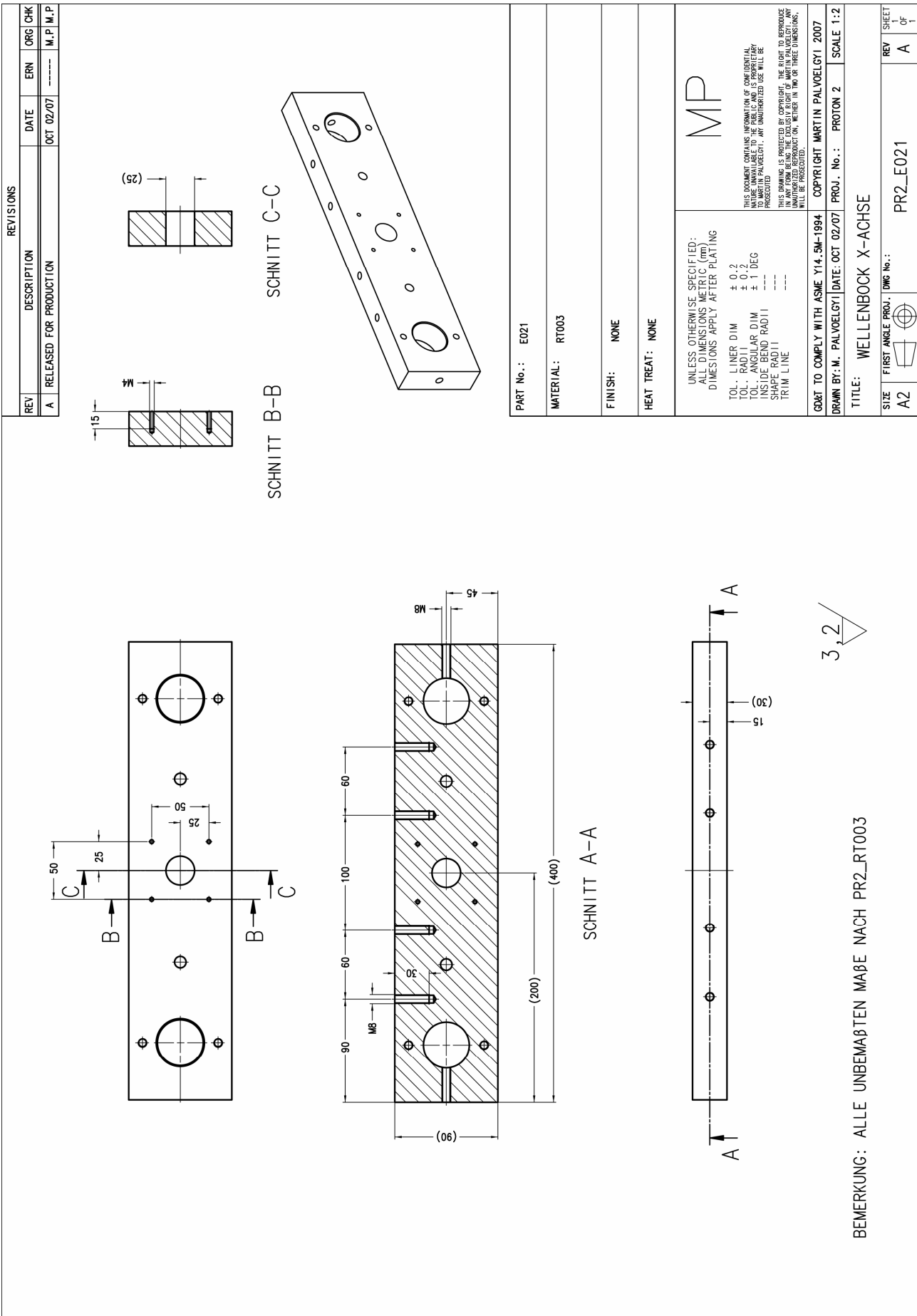
TITLE: WELLENBOCK X-ACHSE MOTORSEITIG

SIZE	FIRST ANGLE PROJ.	DWG No.:	REV	SHEET
A2		PR2_E016	A	1

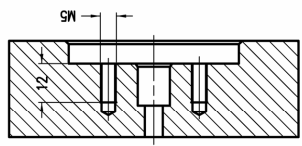
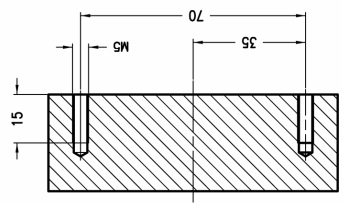
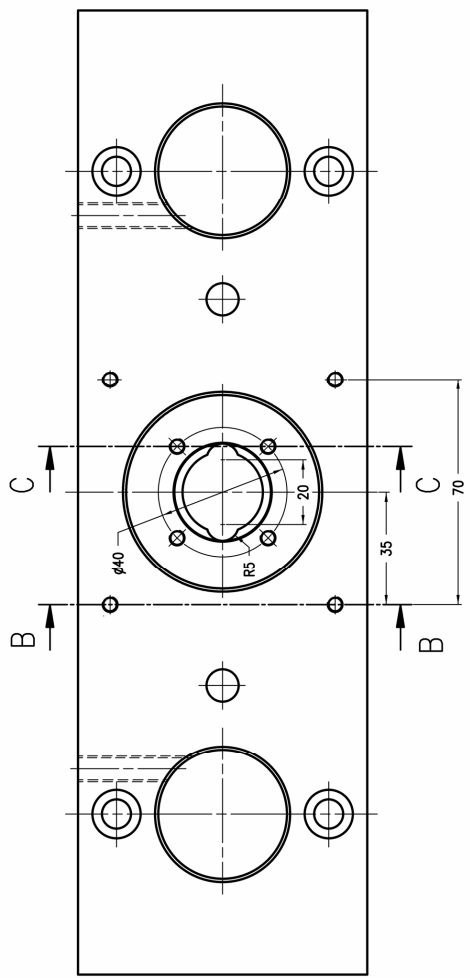
3.2



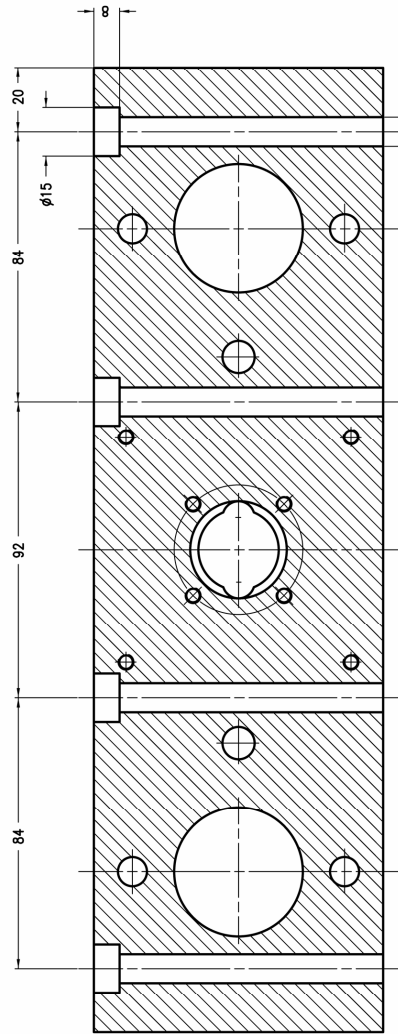
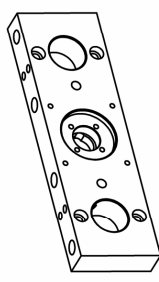




REVISIONS			
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN
A	RELEASED FOR PRODUCTION	DEZ 05/08	-----
			M. P. M. P.



SCHNITT B-B SCHNITT C-C



SCHNITT A-A



PART No.: E022
 MATERIAL: RT011
 FINISH: NONE
 HEAT TREAT: NONE

MP

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 ALL DIMENSIONS METRIC (mm)
 DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING
 TOL. LINER DIM ± 0.2
 TOL. RADII ± 0.2
 TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG
 INSIDE BEND RADII ---
 SHAPE RADII ---
 TRIM LINE ---

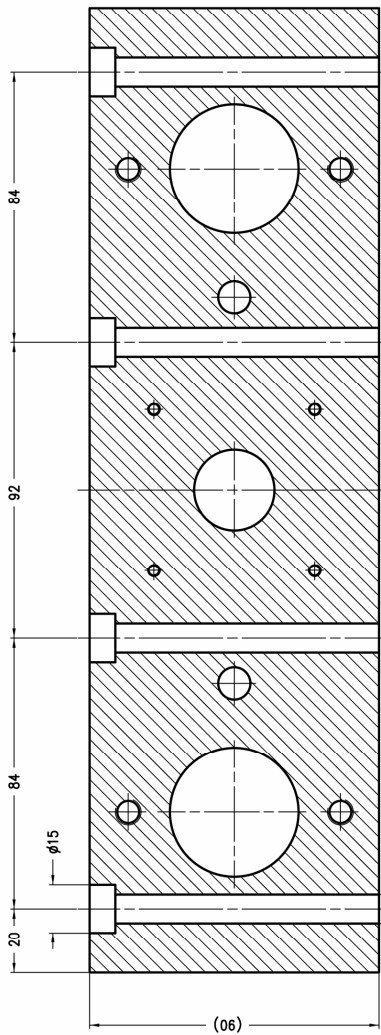
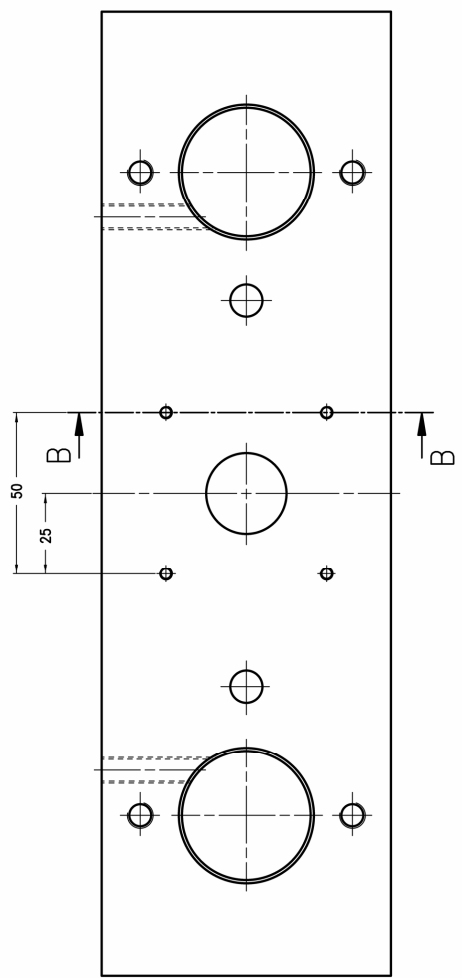
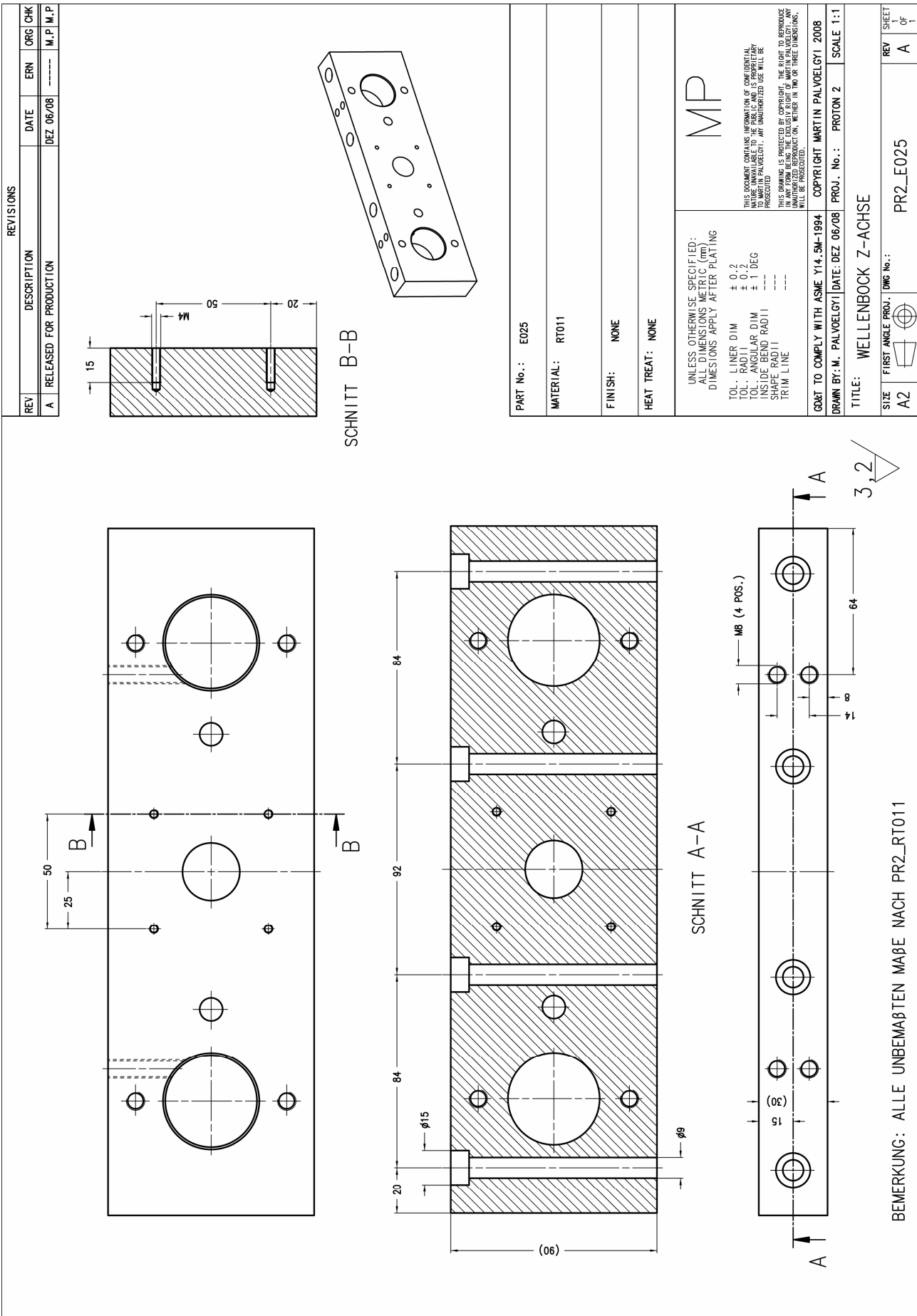
THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY PROPERTY OF MARTIN PALVÖLGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.
 THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE SOLE PROPERTY OF MARTIN PALVÖLGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WHETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.

GOVT TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994 COPYRIGHT MARTIN PALVÖLGYI 2008
 DRAWN BY: M. PALVÖLGYI DATE: DEZ 05/08 PROJ. No.: PRON 2 SCALE 1:1

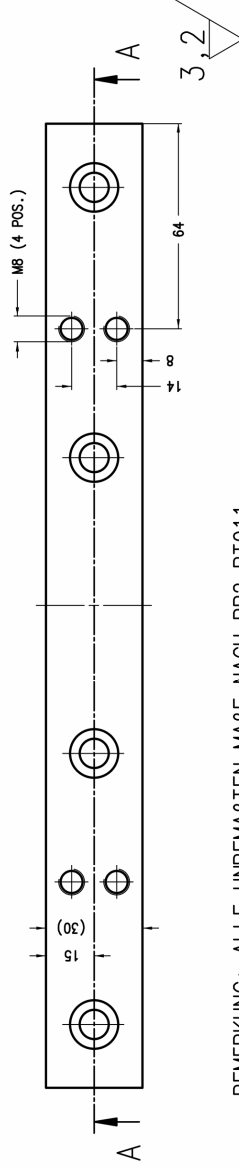
TITLE: WELLENBOCK Z-ACHSE MOTORSEITIG

SIZE	FIRST ANGLE PROJ.	DWG No.:	REV	SHEET
A2		PR2_E022	A	1

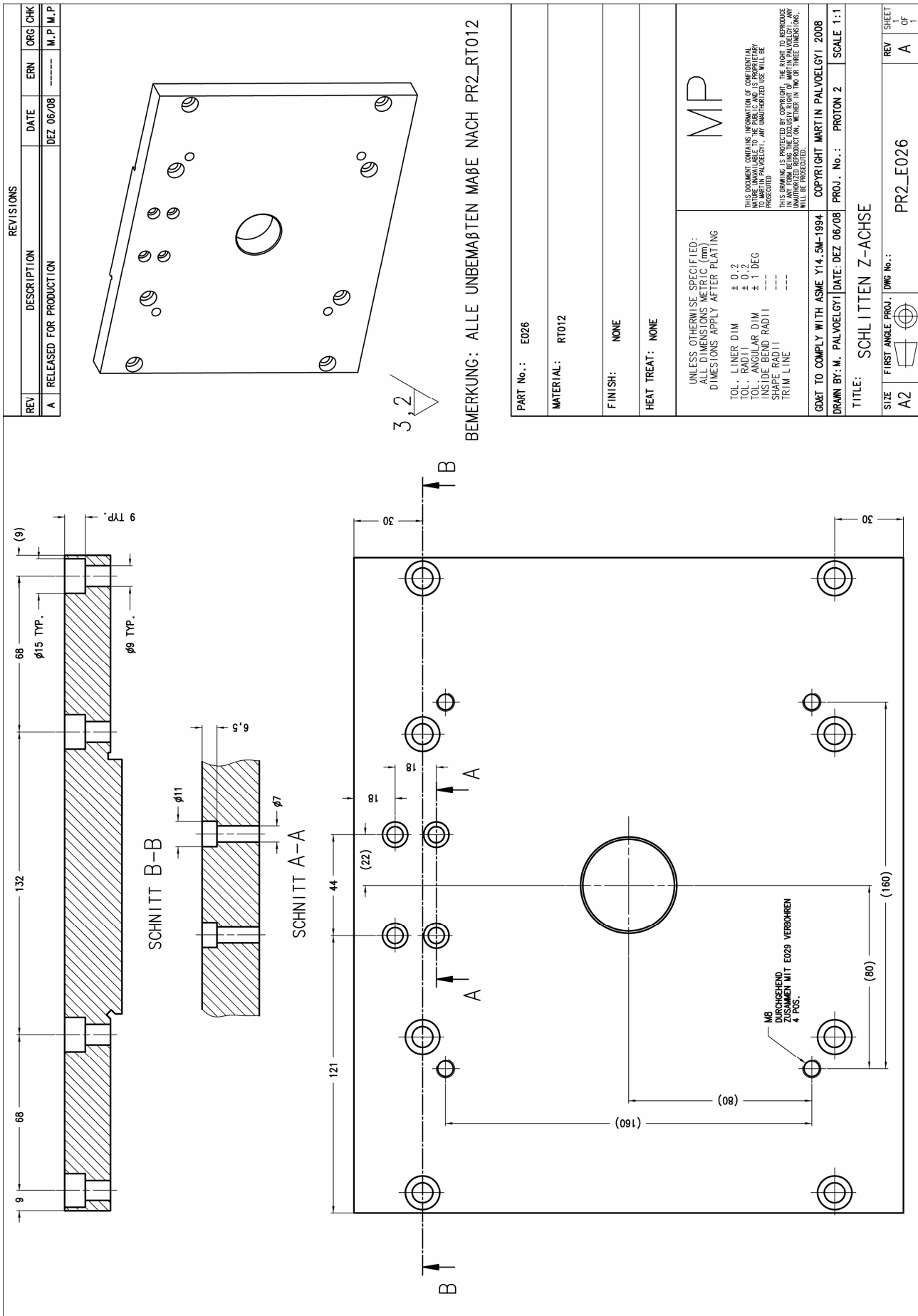
BEMERKUNG: ALLE UNBEMÄßTEN MAßE NACH PR2_RT011

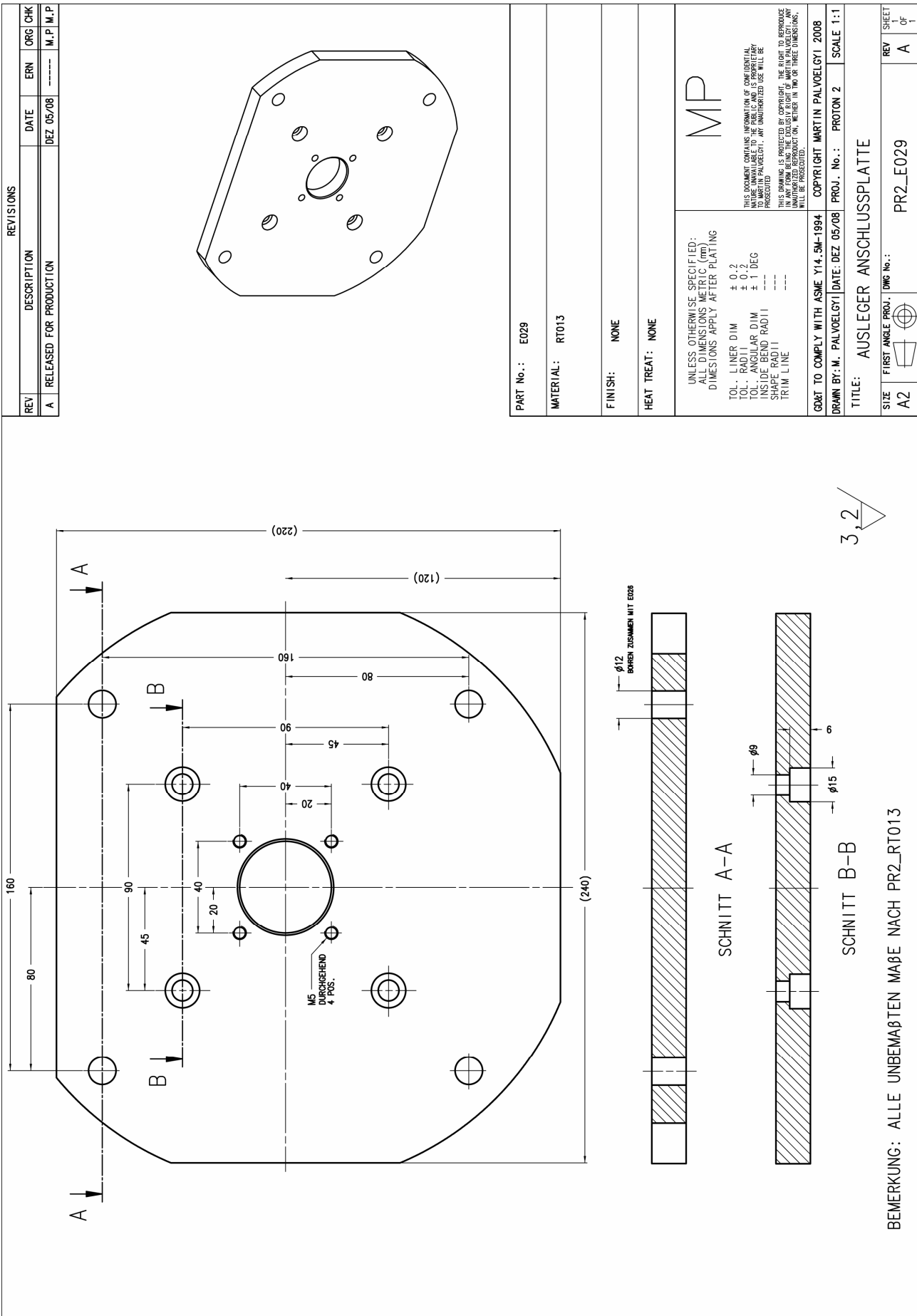


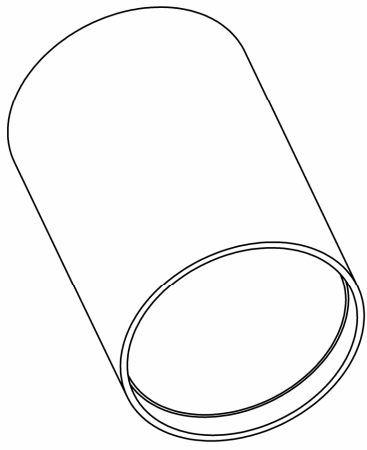
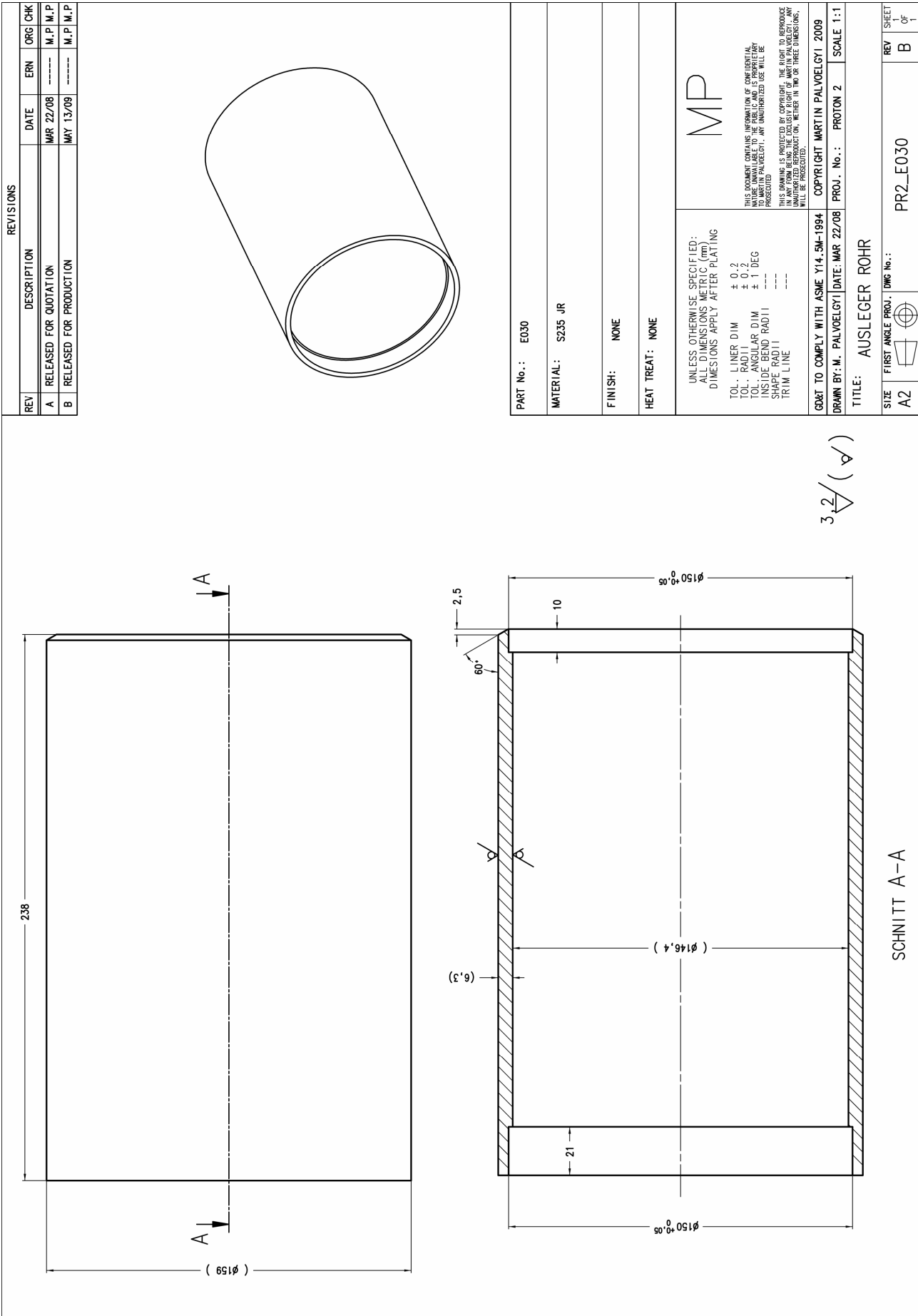
SCHNITT A-A



BEMERKUNG: ALLE UNBEMERKTE MAßE NACH PR2_RT011







PART No.: E030
 MATERIAL: S235 JR
 FINISH: NONE
 HEAT TREAT: NONE

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 ALL DIMENSIONS METRIC (mm)
 DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING

TOL. LINER DIM ± 0.2
 TOL. RADI II ± 0.2
 TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG
 INSIDE BEND RADI II ---
 SHAPE RADI II ---
 TRIM LINE ---

MP

THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY PROPERTY OF MARTIN PALVÖLGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.

THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE EXCLUSIVE RIGHT OF MARTIN PALVÖLGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WHETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.

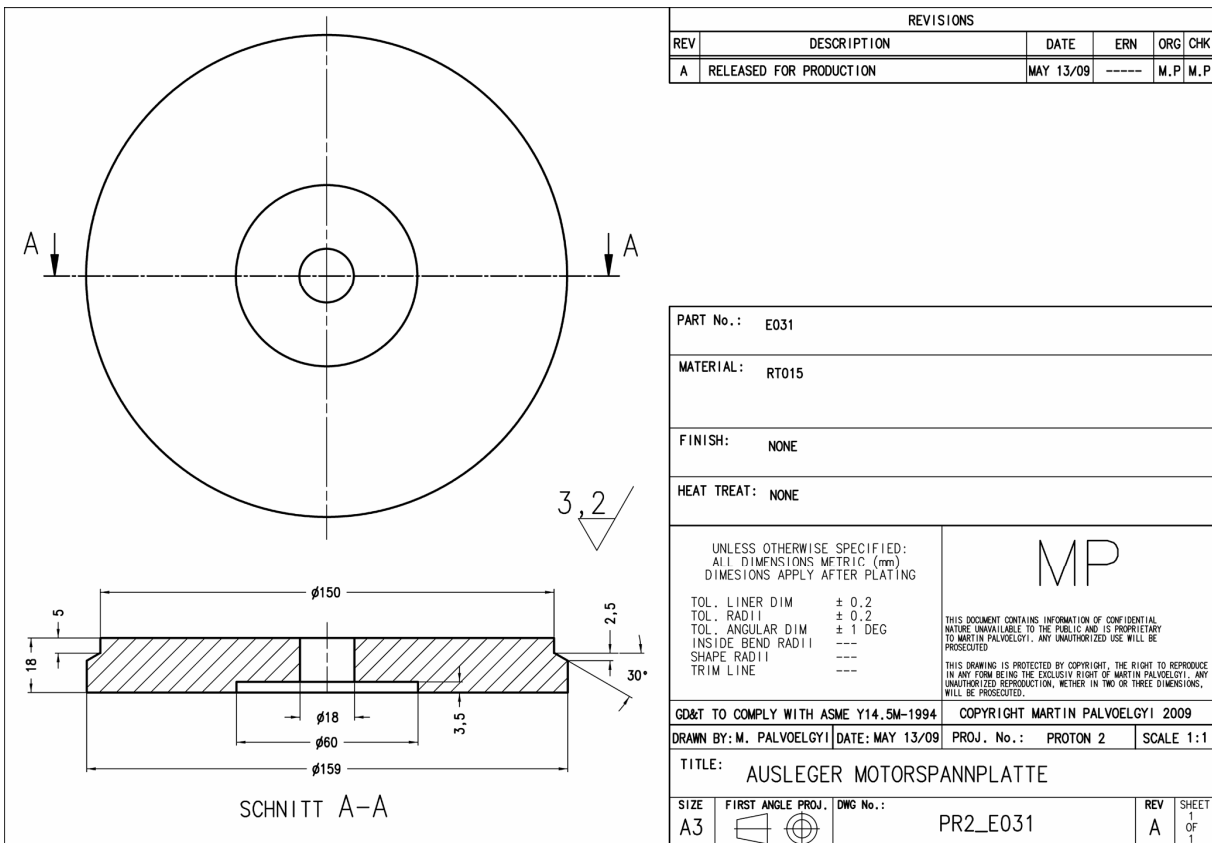
GOVT TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994 COPYRIGHT MARTIN PALVÖLGYI 2009
 DRAWN BY: M. PALVÖLGYI DATE: MAR 22/08 PROJ. No.: PRON 2 SCALE 1:1

TITLE: AUSLEGER ROHR

SIZE FIRST ANGLE PROJ. DWG No.: PR2_E030 REV SHEET A2 of B

3/2 (✓)

SCHNITT A-A



REVISIONS					
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG	CHK
A	RELEASED FOR PRODUCTION	MAY 13/09	-----	M.P	M.P

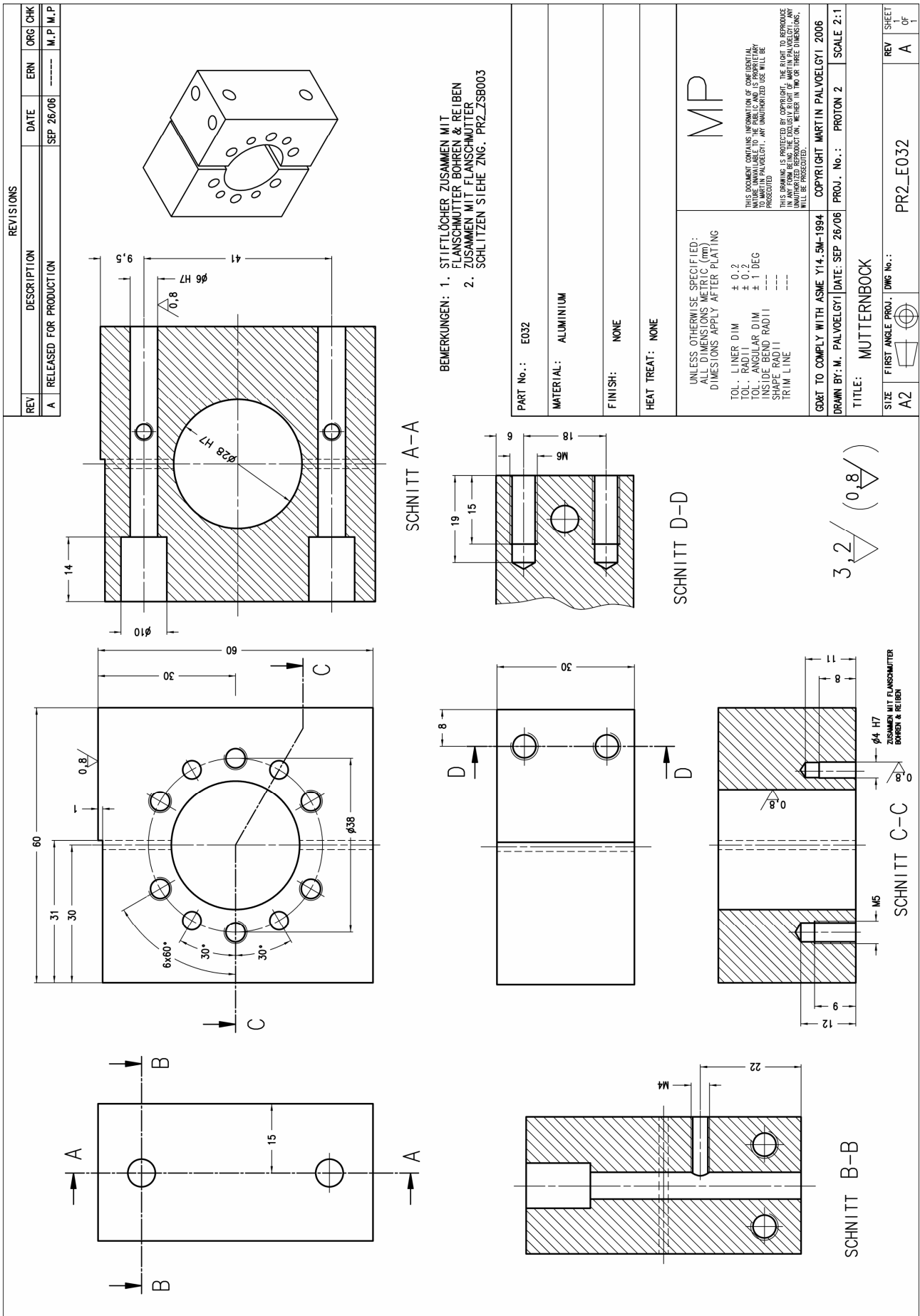
PART No.:	E031
MATERIAL:	RT015
FINISH:	NONE
HEAT TREAT:	NONE

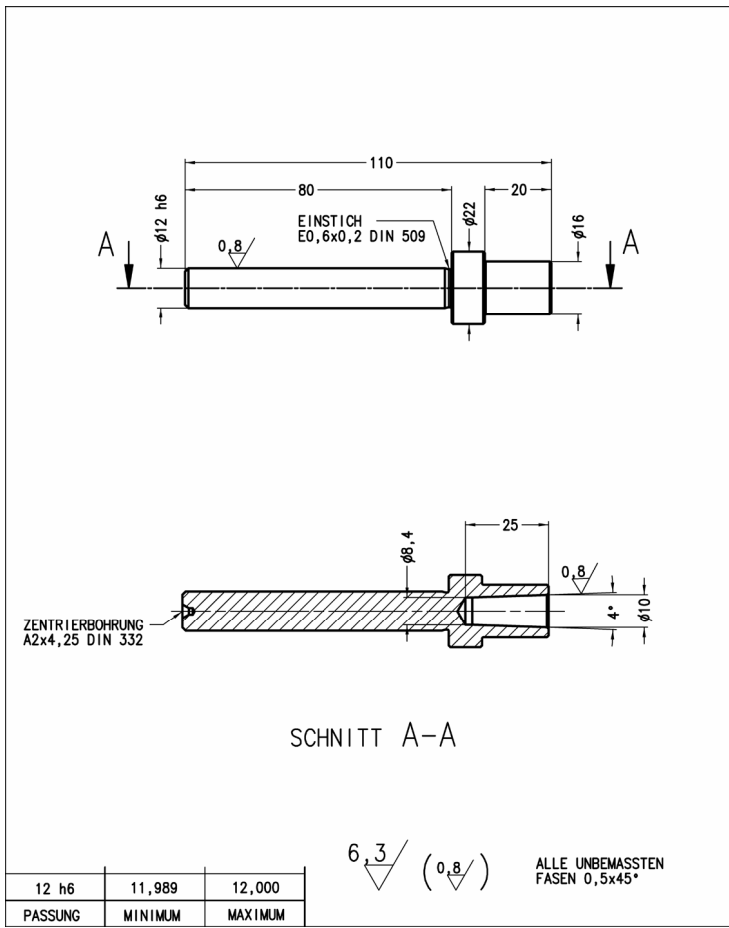
<p>UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: ALL DIMENSIONS METRIC (mm) DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING</p> <p>TOL. LINER DIM ± 0.2 TOL. RADII ± 0.2 TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG INSIDE BEND RADII --- SHAPE RADII --- TRIM LINE ---</p>	<p>MP</p> <p>THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY TO MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.</p> <p>THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM USING THE EXCLUSIVE RIGHT OF MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WHETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.</p>
--	---

GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994	COPYRIGHT MARTIN PALVOELGYI 2009
DRAWN BY: M. PALVOELGYI	DATE: MAY 13/09
PROJ. No.:	PROTON 2
SCALE	1:1

TITLE: AUSLEGER MOTORSPANNPLATTE

SIZE	FIRST ANGLE PROJ.	DWG No.:	REV	SHEET
A3		PR2_E031	A	1 OF 1

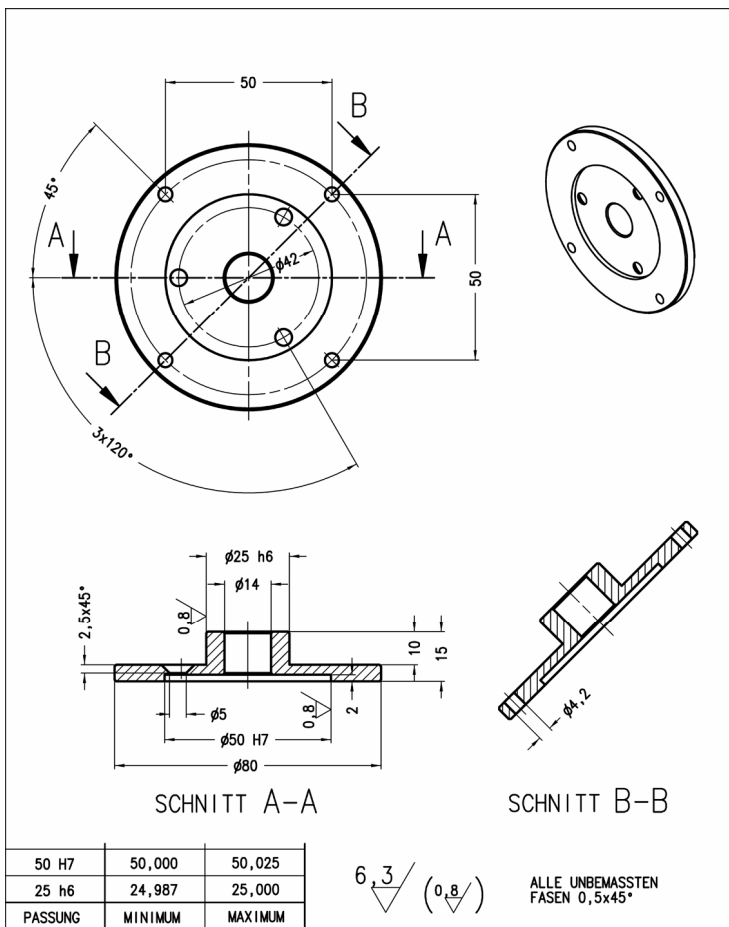




12 h6	11,989	12,000
PASSUNG	MINIMUM	MAXIMUM

6.3 (0.8) ALLE UNBEMASSTEN FASEN 0,5x45°

REVISIONS				
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG CHK
A	RELEASED FOR PRODUCTION	SEP 21/07	-----	M.P M.P
PART No.: E033				
MATERIAL: C35				
FINISH: NONE				
HEAT TREAT: NONE				
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: ALL DIMENSIONS METRIC (mm) DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING			MP	
TOL. LINER DIM ± 0.2			THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY TO MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED	
TOL. RADII ± 0.2			THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE EXCLUSIVY RIGHT OF MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, METHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.	
TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG				
INSIDE BEND RADII ---				
SHAPE RADII ---				
TRIM LINE ---				
GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994		COPYRIGHT MARTIN PALVOELGYI 2007		
DRAWN BY: M. PALVOELGYI		DATE: SEP 21/07	PROJ. No.: PROTON 2	SCALE 1:1
TITLE: DREHGEBERWELLE BHG				
SIZE A3	FIRST ANGLE PROJ.	DWG No.: PR2_E033	REV A	SHEET 1 OF 1

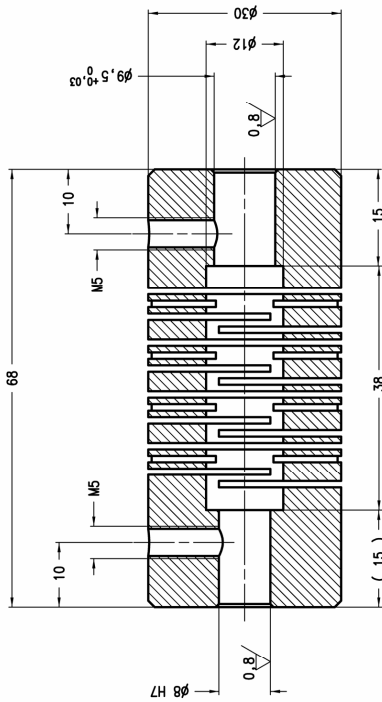


50 H7	50,000	50,025
25 h6	24,987	25,000
PASSUNG	MINIMUM	MAXIMUM

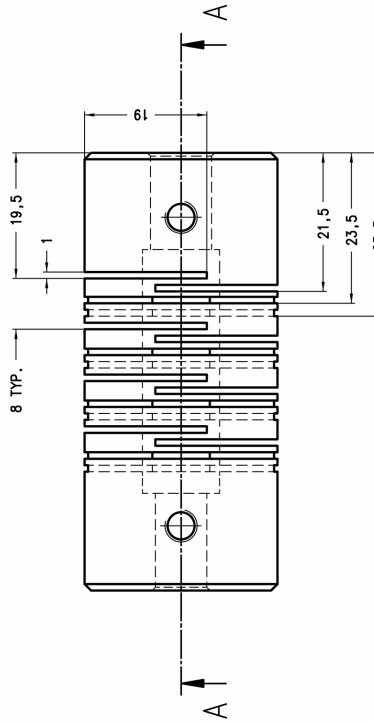
6.3 (0.8) ALLE UNBEMASSTEN FASEN 0,5x45°

REVISIONS				
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG CHK
A	RELEASED FOR PRODUCTION	SEP 22/07	-----	M.P M.P
PART No.: E034				
MATERIAL: ALUMINIUM				
FINISH: NONE				
HEAT TREAT: NONE				
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: ALL DIMENSIONS METRIC (mm) DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING			MP	
TOL. LINER DIM ± 0.2			THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY TO MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED	
TOL. RADII ± 0.2			THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE EXCLUSIVY RIGHT OF MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, METHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.	
TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG				
INSIDE BEND RADII ---				
SHAPE RADII ---				
TRIM LINE ---				
GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994		COPYRIGHT MARTIN PALVOELGYI 2007		
DRAWN BY: M. PALVOELGYI		DATE: SEP 22/07	PROJ. No.: PROTON 2	SCALE 1:1
TITLE: ADAPTER DREHGEBER BHG				
SIZE A3	FIRST ANGLE PROJ.	DWG No.: PR2_E034	REV A	SHEET 1 OF 1

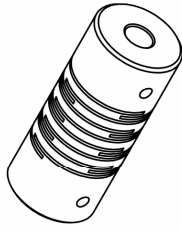
REVISIONS					
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG	CHK
A	RELEASED FOR PRODUCTION	SEP 08/07	-----	-----	M.P.M.P



SCHNITT A-A



3,2 (0.8)



PART No.: E035

MATERIAL: ALUMINUM

FINISH: NONE

HEAT TREAT: NONE

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
ALL DIMENSIONS METRIC (mm)
DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING

TOL. LINER DIM ± 0.2
TOL. RADI I ± 0.2
TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG
INSIDE BEND RADI I ---
SHAPE RADI I ---
TRIM LINE ---

MP

THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY PROPERTY OF PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.
THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE SOLE PROPERTY OF MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WHETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.

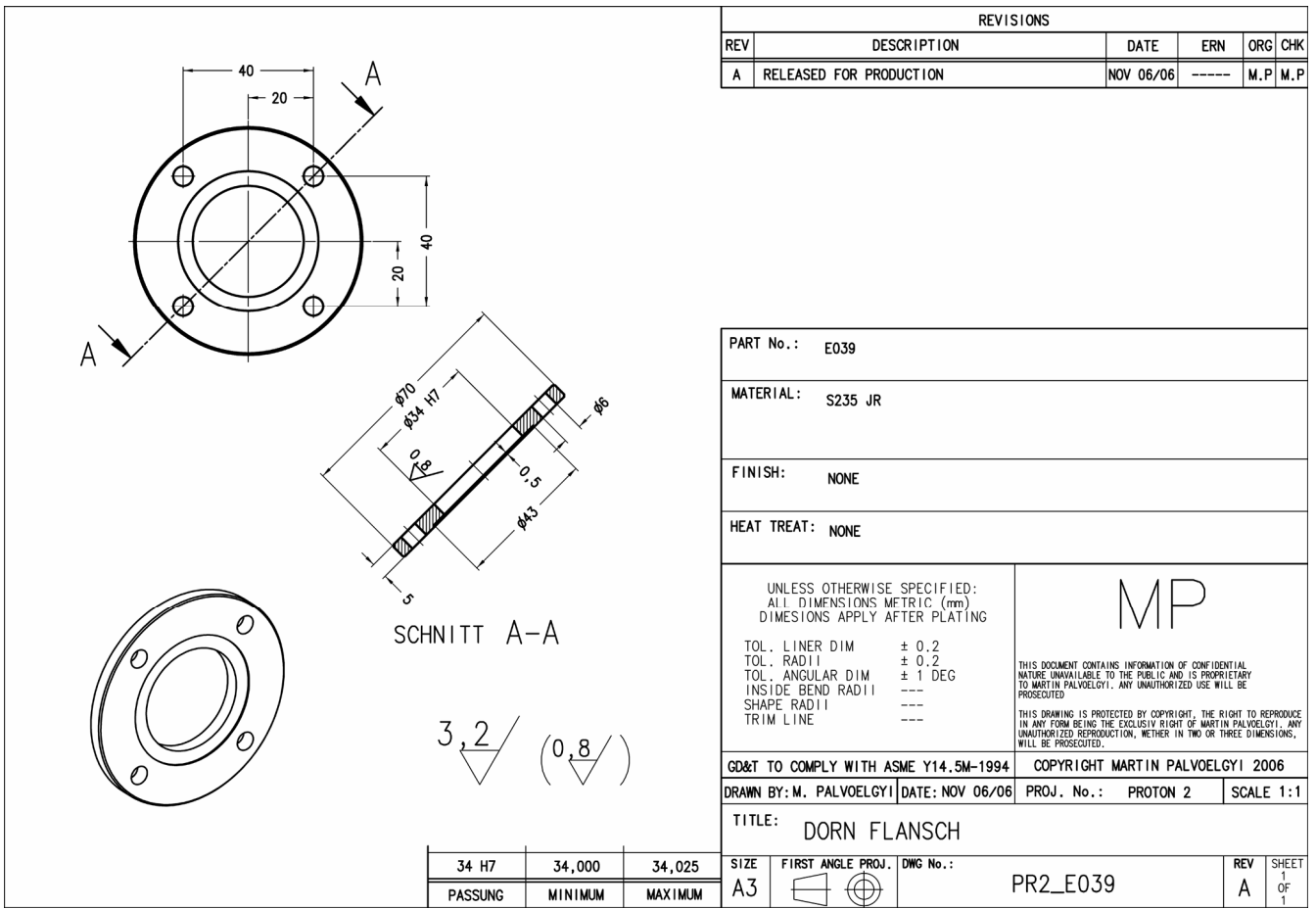
GOVT TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994 COPYRIGHT MARTIN PALVOELGYI 2007

DRAWN BY: M. PALVOELGYI DATE: SEP 08/07 PROJ. No.: PRON 2 SCALE 2:1

TITLE: KUPPLUNG EINTEILIG

SIZE	FIRST ANGLE PROJ.	DWG No.:	REV	SHEET
A2		PR2_E035	A	1

8 H7	8,000	8,015
PASSINGS	MINIMUM	MAXIMUM



REVISIONS				
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG CHK
A	RELEASED FOR PRODUCTION	NOV 06/06	-----	M.P M.P

PART No.: E039

MATERIAL: S235 JR

FINISH: NONE

HEAT TREAT: NONE

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
ALL DIMENSIONS METRIC (mm)
DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING

TOL. LINER DIM ± 0.2
TOL. RADII ± 0.2
TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG
INSIDE BEND RADII ---
SHAPE RADII ---
TRIM LINE ---

MP

THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY TO MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.

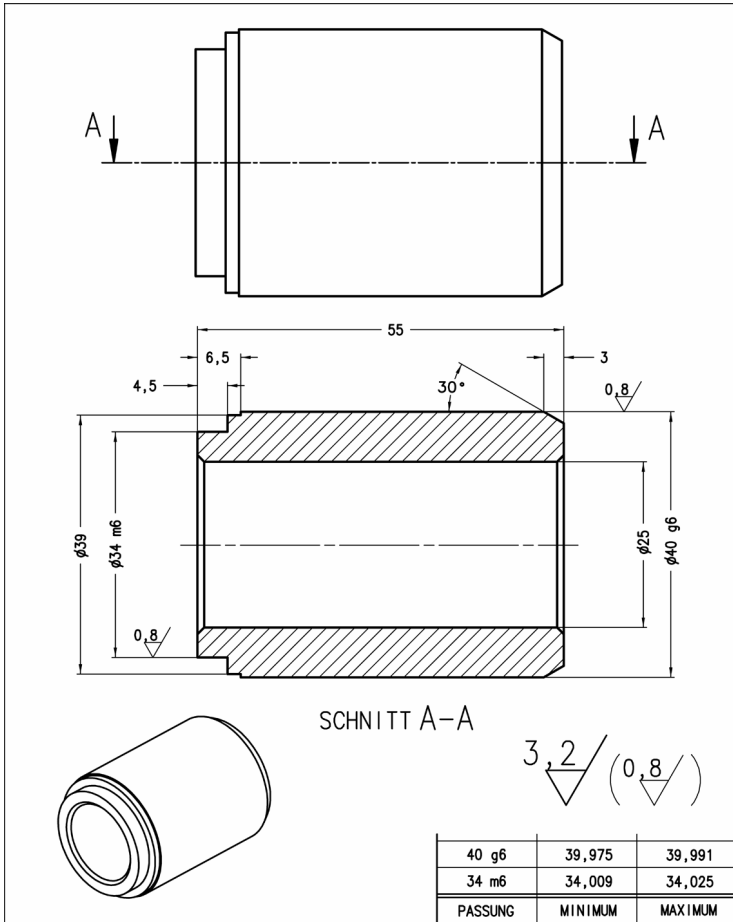
THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE EXCLUSIVE RIGHT OF MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WHETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.

GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994 COPYRIGHT MARTIN PALVOELGYI 2006

DRAWN BY: M. PALVOELGYI | DATE: NOV 06/06 | PROJ. No.: PROTON 2 | SCALE 1:1

TITLE: DORN FLANSCH

SIZE	FIRST ANGLE PROJ.	DWG No.:	REV	SHEET
A3		PR2_E039	A	1 OF 1



REVISIONS				
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG CHK
A	RELEASED FOR PRODUCTION	NOV 06/06	-----	M.P M.P

PART No.: E040

MATERIAL: S235 JR

FINISH: NONE

HEAT TREAT: NONE

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
ALL DIMENSIONS METRIC (mm)
DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING

TOL. LINER DIM ± 0.2
TOL. RADII ± 0.2
TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG
INSIDE BEND RADII ---
SHAPE RADII ---
TRIM LINE ---

MP

THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY TO MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.

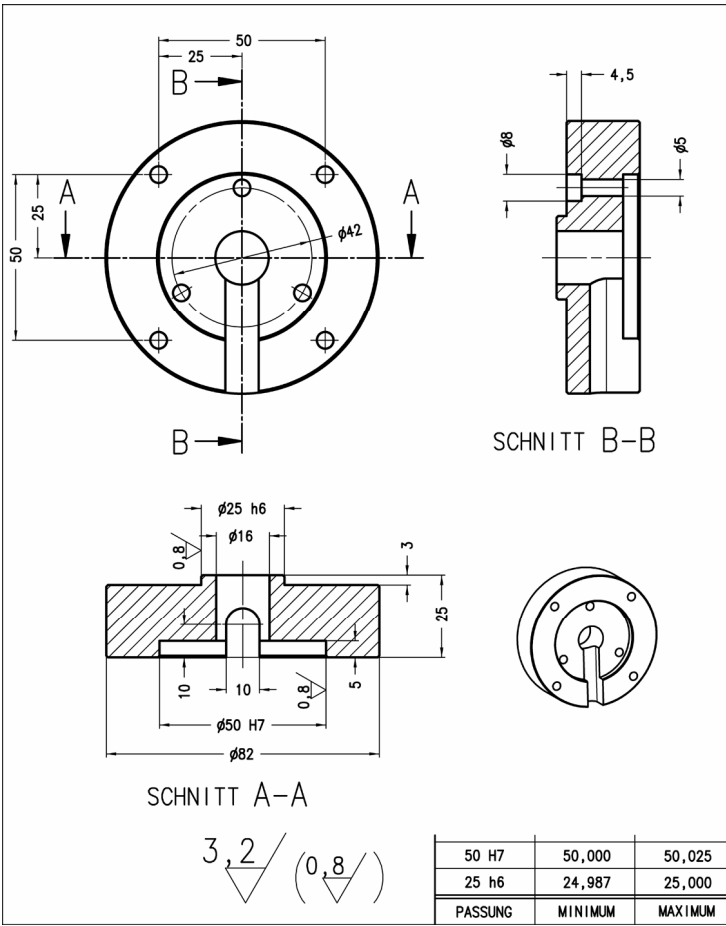
THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE EXCLUSIVE RIGHT OF MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WHETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.

GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994 COPYRIGHT MARTIN PALVOELGYI 2006

DRAWN BY: M. PALVOELGYI | DATE: NOV 06/06 | PROJ. No.: PROTON 2 | SCALE 1:1

TITLE: DORN GRUNDKÖRPER

SIZE	FIRST ANGLE PROJ.	DWG No.:	REV	SHEET
A3		PR2_E040	A	1 OF 1



REVISIONS				
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG CHK
A	RELEASED FOR PRODUCTION	DEZ 06/08	-----	M.P M.P

PART No.: E041

MATERIAL: ALUMINIUM

FINISH: NONE

HEAT TREAT: NONE

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
ALL DIMENSIONS METRIC (mm)
DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING

TOL. LINER DIM ± 0,2
TOL. RADII ± 0,2
TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG
INSIDE BEND RADII ---
SHAPE RADII ---
TRIM LINE ---

MP

THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY TO MARTIN PALVÖLGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.

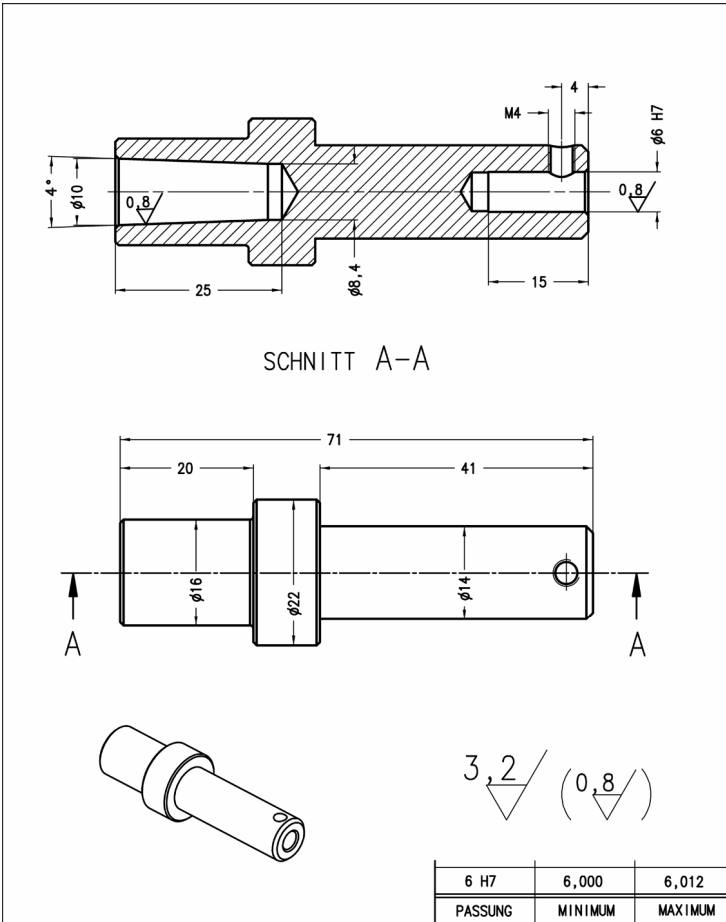
THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE EXCLUSIVE RIGHT OF MARTIN PALVÖLGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WHETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.

GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994 COPYRIGHT MARTIN PALVÖLGYI 2008

DRAWN BY: M. PALVÖLGYI | DATE: DEZ 06/08 | PROJ. No.: PROTON 2 | SCALE 1:1

TITLE: ADAPTER DREHGEBER ROD

SIZE A3	FIRST ANGLE PROJ.	DWG No.: PR2_E041	REV A	SHEET 1 OF 1
---------	-------------------	-------------------	-------	--------------



REVISIONS				
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG CHK
A	RELEASED FOR PRODUCTION	DEZ 06/08	-----	M.P M.P

PART No.: E042

MATERIAL: C35

FINISH: NONE

HEAT TREAT: NONE

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
ALL DIMENSIONS METRIC (mm)
DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING

TOL. LINER DIM ± 0,2
TOL. RADII ± 0,2
TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG
INSIDE BEND RADII ---
SHAPE RADII ---
TRIM LINE ---

MP

THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY TO MARTIN PALVÖLGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.

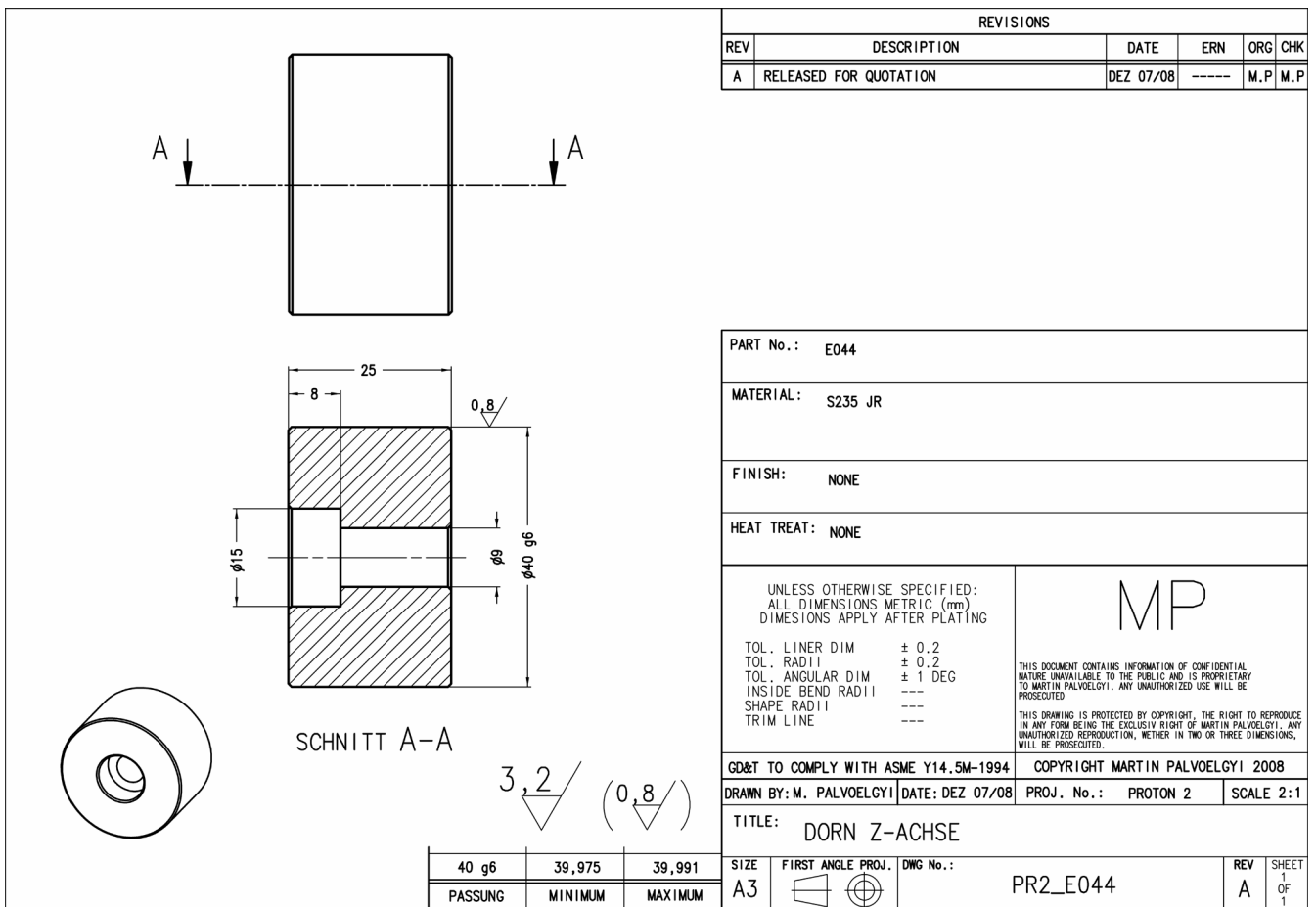
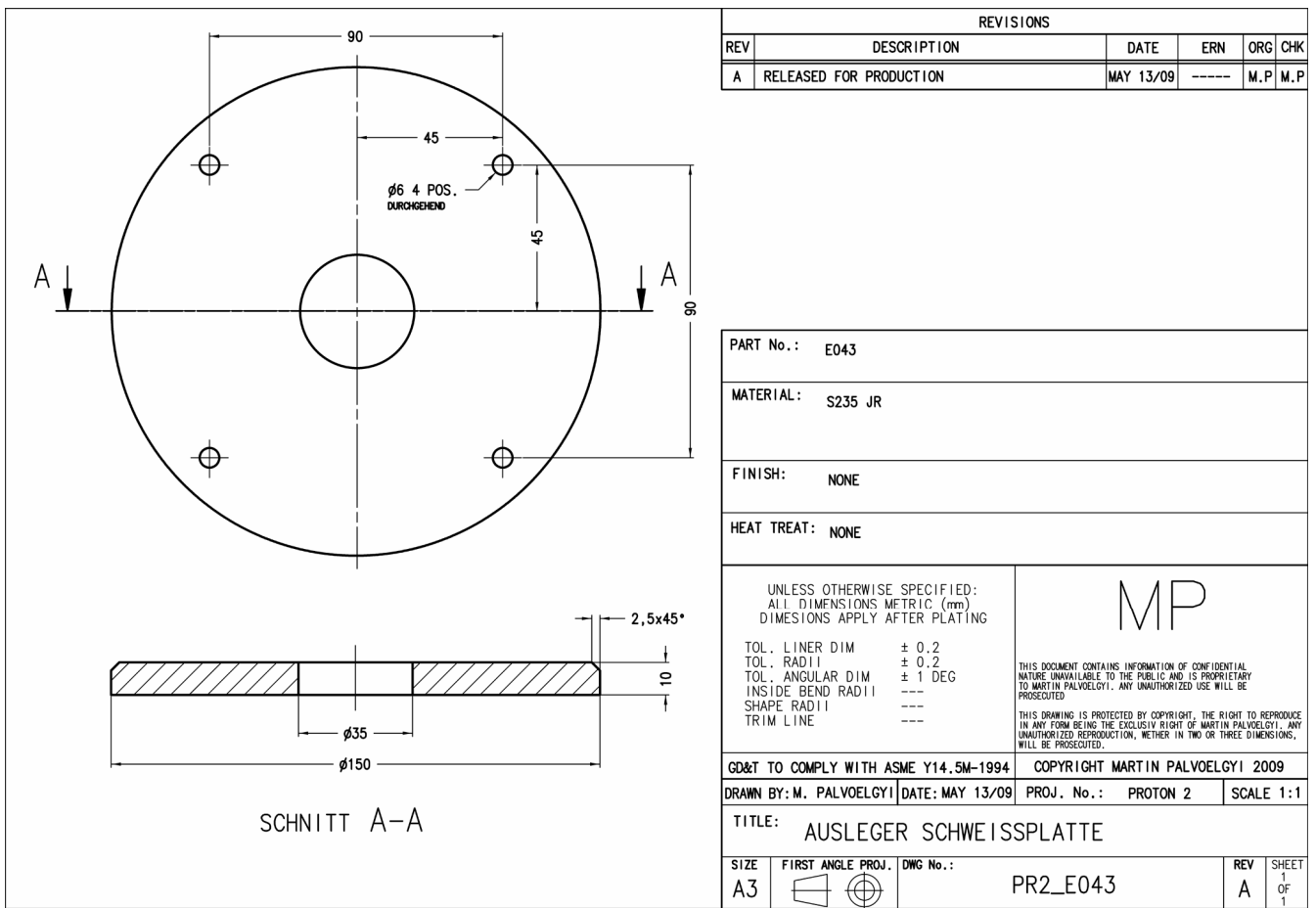
THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE EXCLUSIVE RIGHT OF MARTIN PALVÖLGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WHETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.

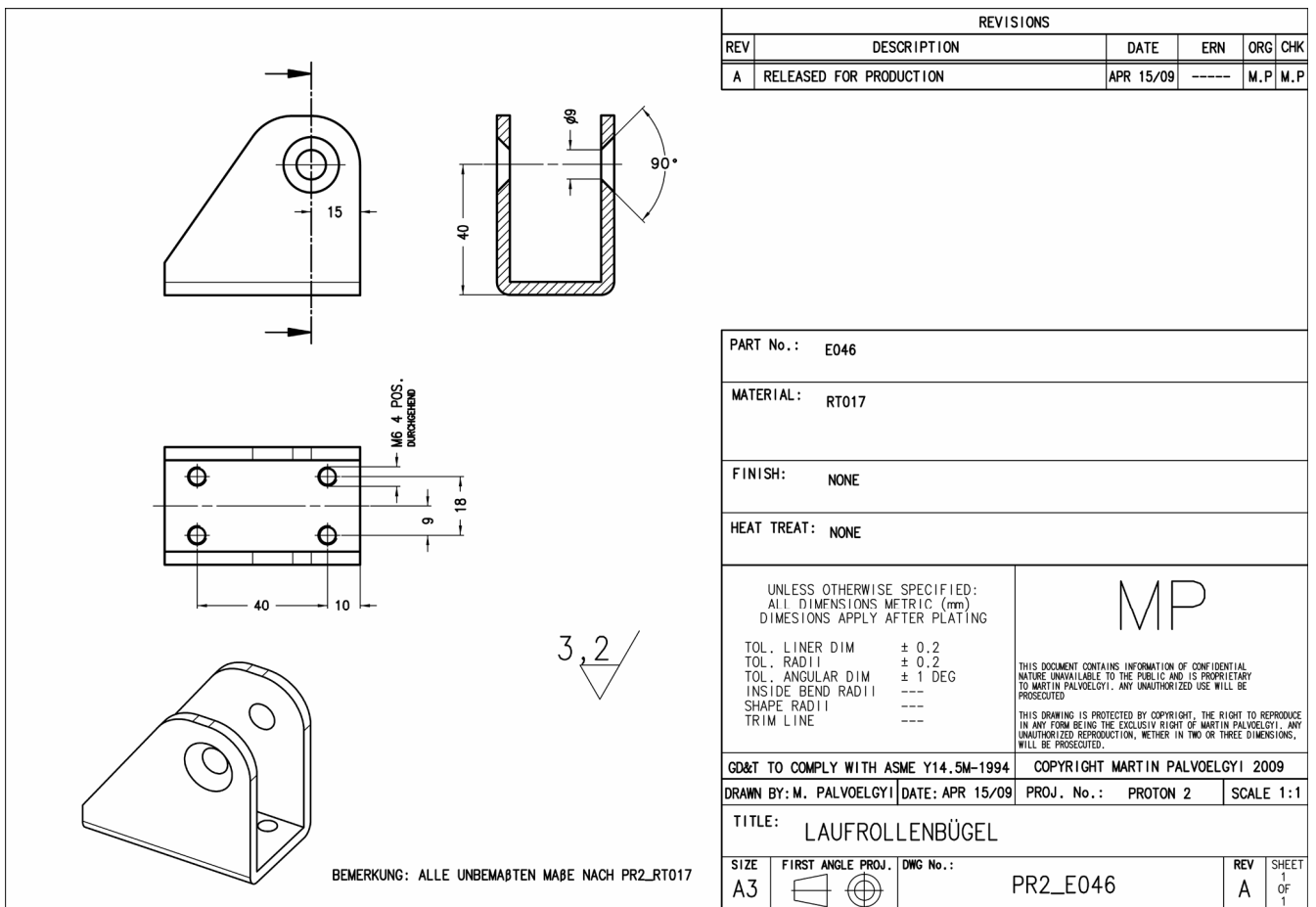
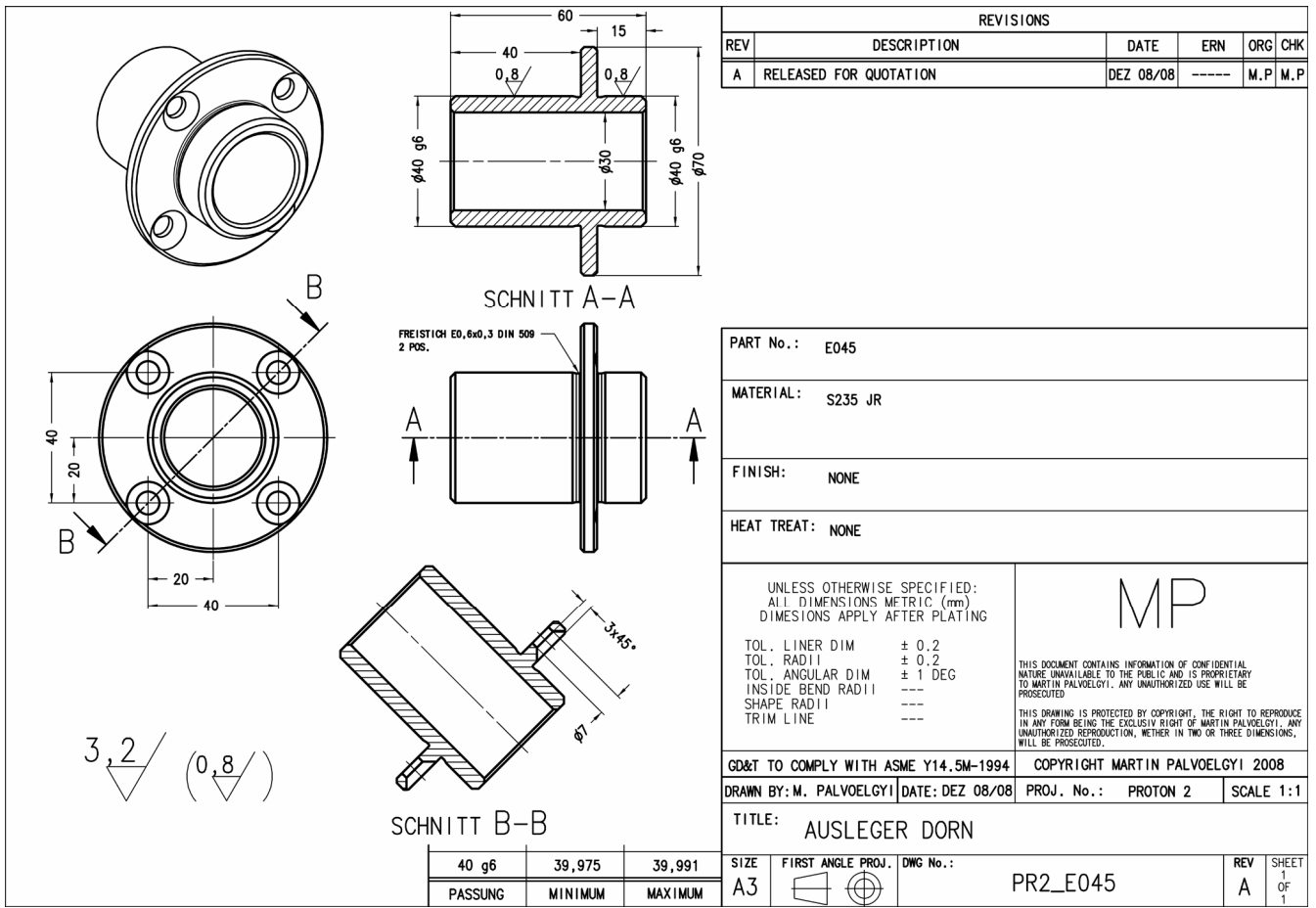
GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994 COPYRIGHT MARTIN PALVÖLGYI 2008

DRAWN BY: M. PALVÖLGYI | DATE: DEZ 06/08 | PROJ. No.: PROTON 2 | SCALE 2:1

TITLE: DREHGEBERWELLE ROD

SIZE A3	FIRST ANGLE PROJ.	DWG No.: PR2_E042	REV A	SHEET 1 OF 1
---------	-------------------	-------------------	-------	--------------





17 h6	16,989	17,000
PASSUNG	MINIMUM	MAXIMUM

REVISIONS					
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG	CHK
A	RELEASED FOR PRODUCTION	APR 15/09	-----	M.P	M.P

PART No.: E047

MATERIAL: C35

FINISH: NONE

HEAT TREAT: NONE

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
ALL DIMENSIONS METRIC (mm)
DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING

TOL. LINER DIM ± 0,2
TOL. RADII ± 0,2
TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG
INSIDE BEND RADII ---
SHAPE RADII ---
TRIM LINE ---

MP

THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY TO MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.

THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE EXCLUSIVE RIGHT OF MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WHETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.

GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994 COPYRIGHT MARTIN PALVOELGYI 2009

DRAWN BY: M. PALVOELGYI | DATE: APR 15/09 | PROJ. No.: PROTON 2 | SCALE 2:1

TITLE: LAUFROLLENACHSE

SIZE	FIRST ANGLE PROJ.	DWG No.:	REV	SHEET
A3		PR2_E047	A	1 OF 1

REVISIONS					
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG	CHK
A	RELEASED FOR PRODUCTION	APR 15/09	-----	M.P	M.P

PART No.: E048

MATERIAL: C35

FINISH: NONE

HEAT TREAT: NONE

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
ALL DIMENSIONS METRIC (mm)
DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING

TOL. LINER DIM ± 0,2
TOL. RADII ± 0,2
TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG
INSIDE BEND RADII ---
SHAPE RADII ---
TRIM LINE ---

MP

THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY TO MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.

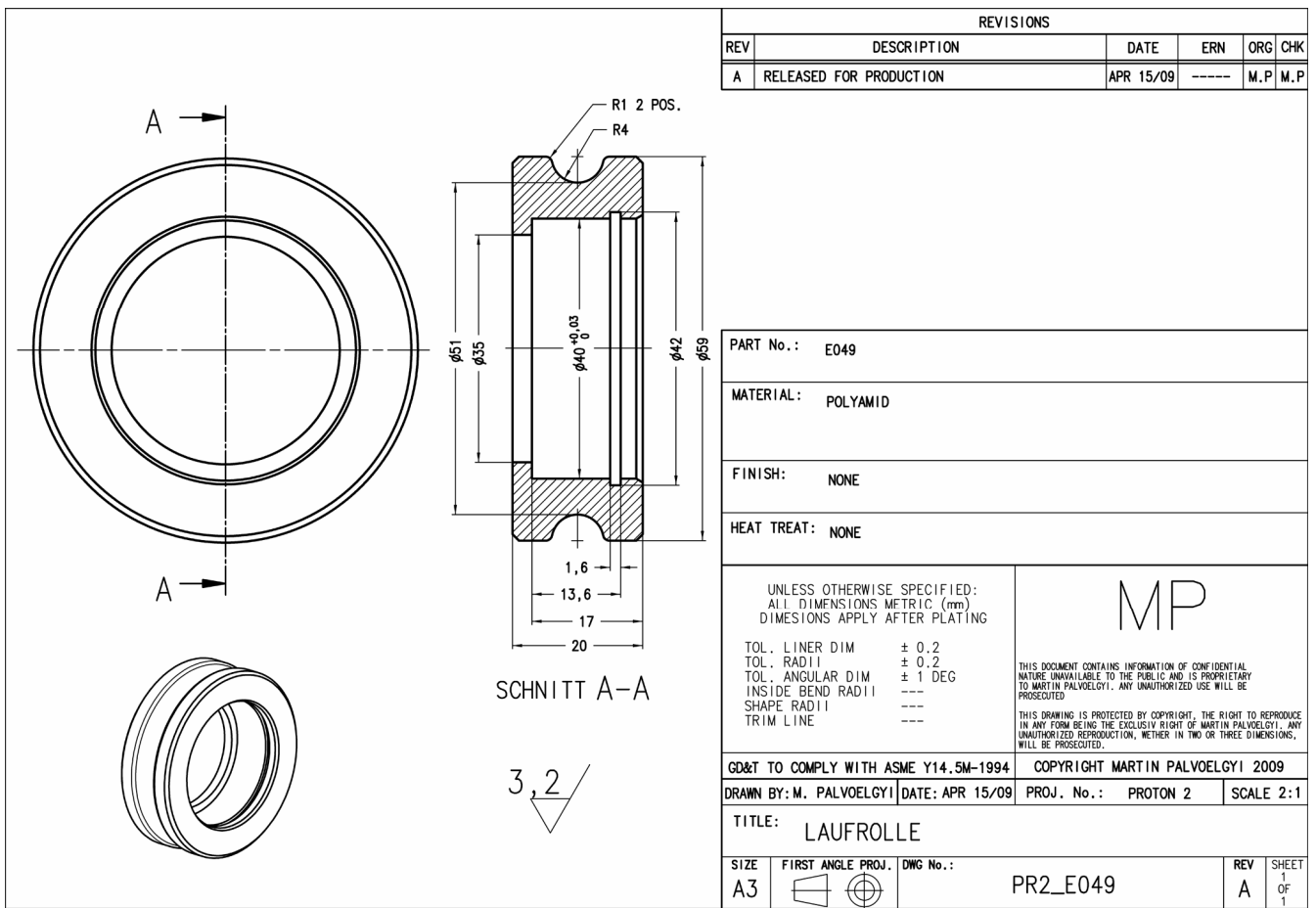
THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE EXCLUSIVE RIGHT OF MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WHETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.

GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994 COPYRIGHT MARTIN PALVOELGYI 2009

DRAWN BY: M. PALVOELGYI | DATE: APR 15/09 | PROJ. No.: PROTON 2 | SCALE 2:1

TITLE: LAUFROLLE DISTANZHÜLSE

SIZE	FIRST ANGLE PROJ.	DWG No.:	REV	SHEET
A3		PR2_E048	A	1 OF 1



REVISIONS				
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG CHK
A	RELEASED FOR PRODUCTION	APR 15/09	-----	M.P M.P

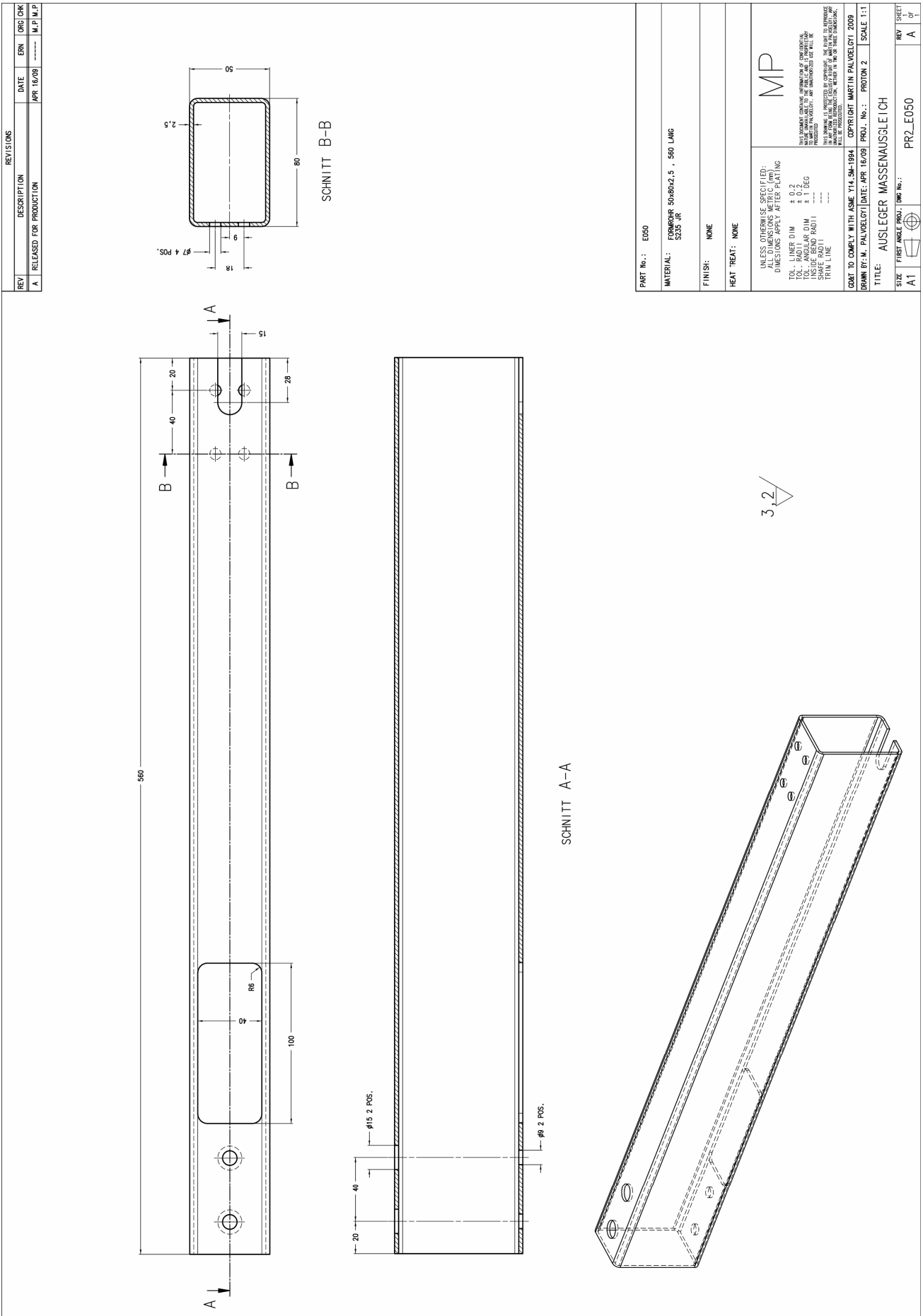
PART No. :	E049
MATERIAL :	POLYAMID
FINISH :	NONE
HEAT TREAT :	NONE

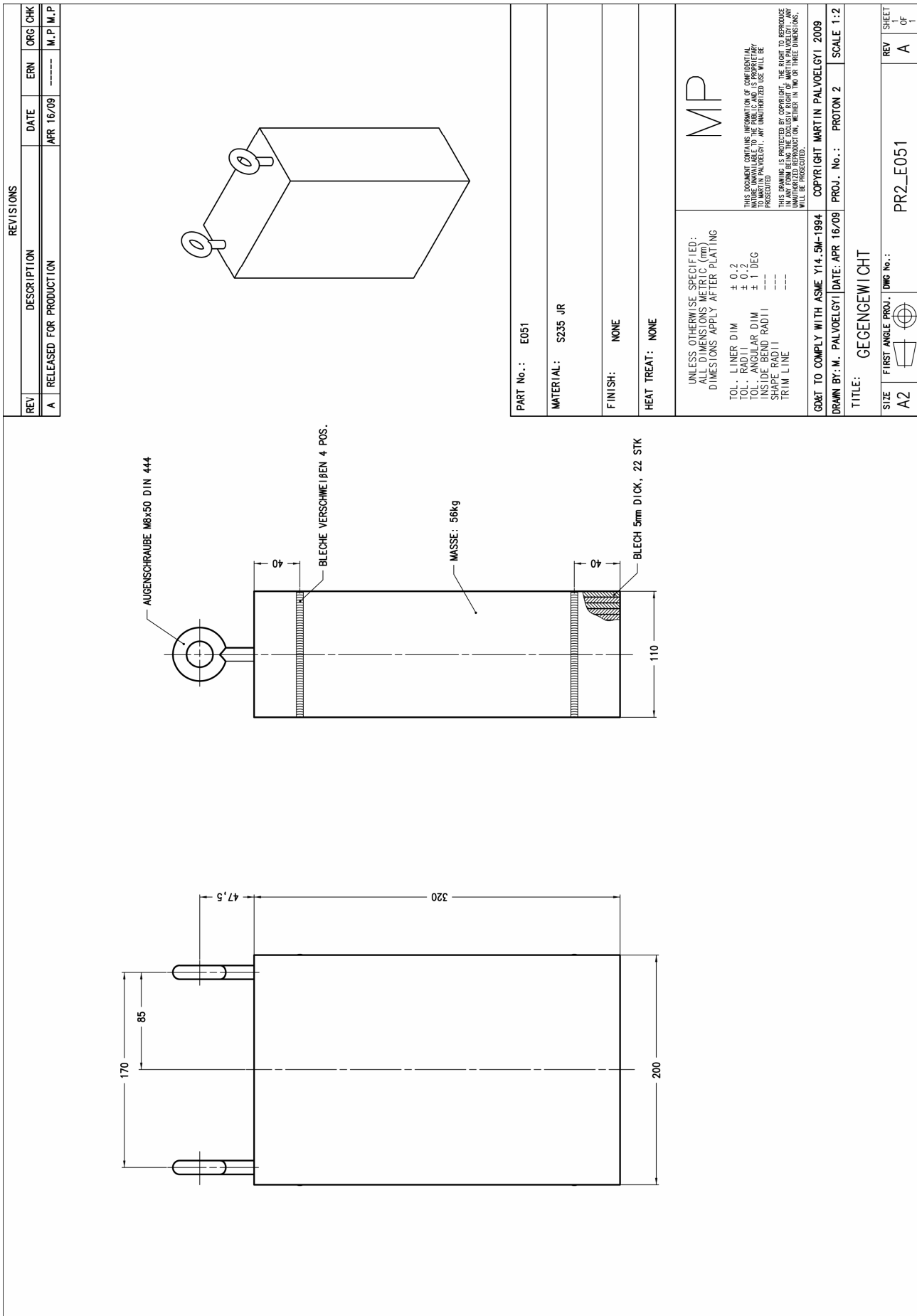
<p>UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: ALL DIMENSIONS METRIC (mm) DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING</p> <p>TOL. LINER DIM ± 0,2 TOL. RADII ± 0,2 TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG INSIDE BEND RADII --- SHAPE RADII --- TRIM LINE ---</p>	<p>MP</p> <p><small>THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY TO MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.</small></p> <p><small>THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE EXCLUSIVE RIGHT OF MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, METRIC IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.</small></p>
--	--

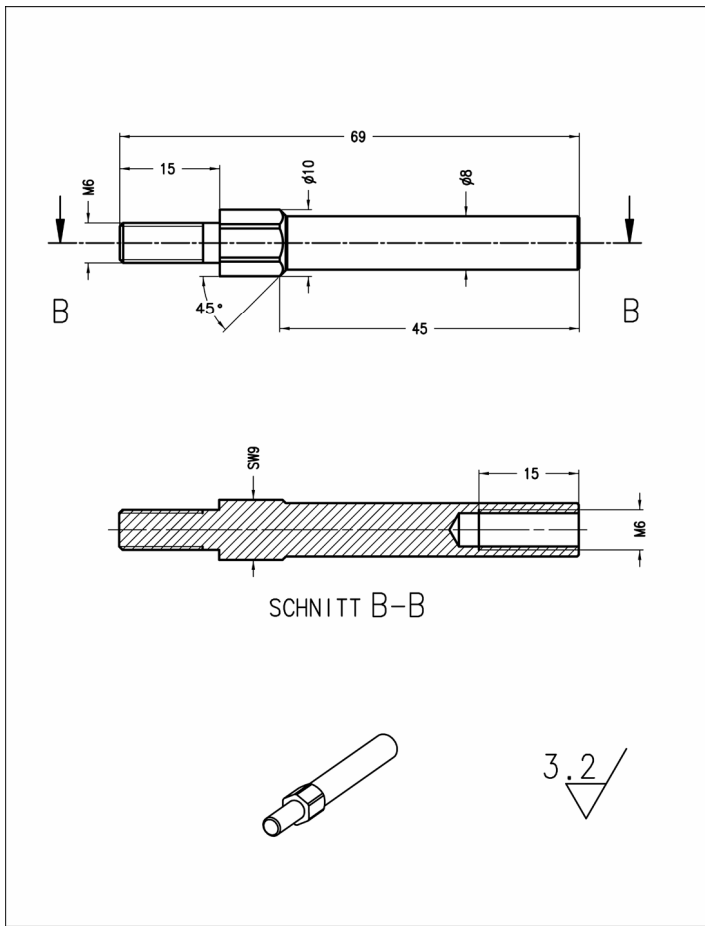
GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994	COPYRIGHT MARTIN PALVOELGYI 2009
DRAWN BY: M. PALVOELGYI	DATE: APR 15/09
PROJ. No. :	PROTON 2
SCALE	2:1

TITLE:	LAUFROLLE
--------	-----------

SIZE	FIRST ANGLE PROJ.	DWG No. :	PR2_E049	REV	SHEET
A3				A	1 OF 1



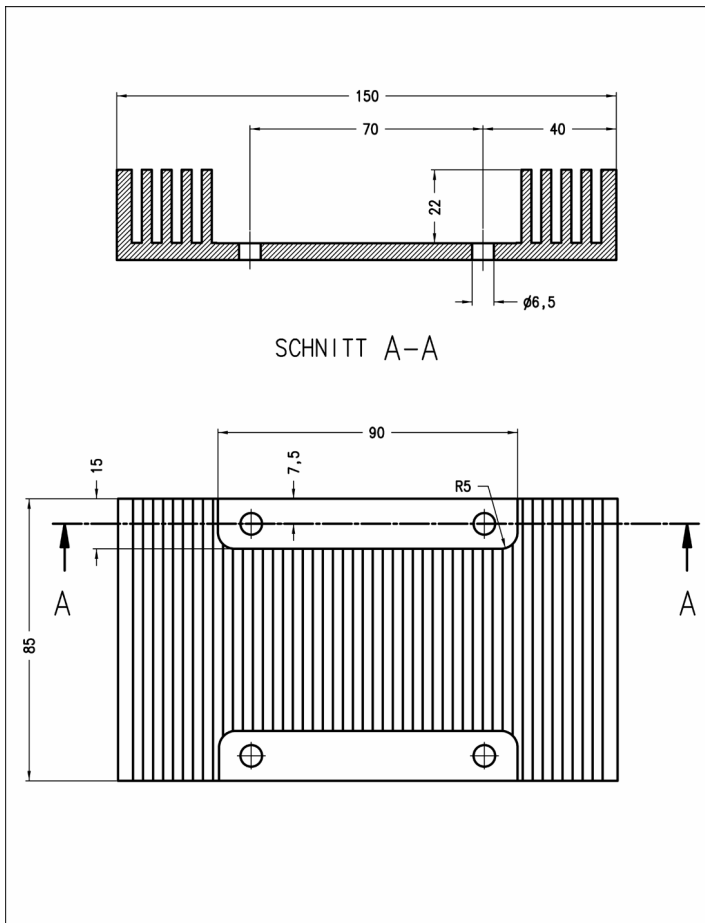




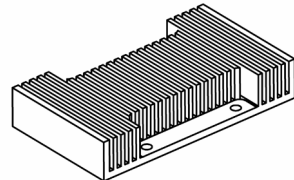
REVISIONS				
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG CHK
A	RELEASED FOR MANUFACTURING	APR 03/11	-----	M.P M.P



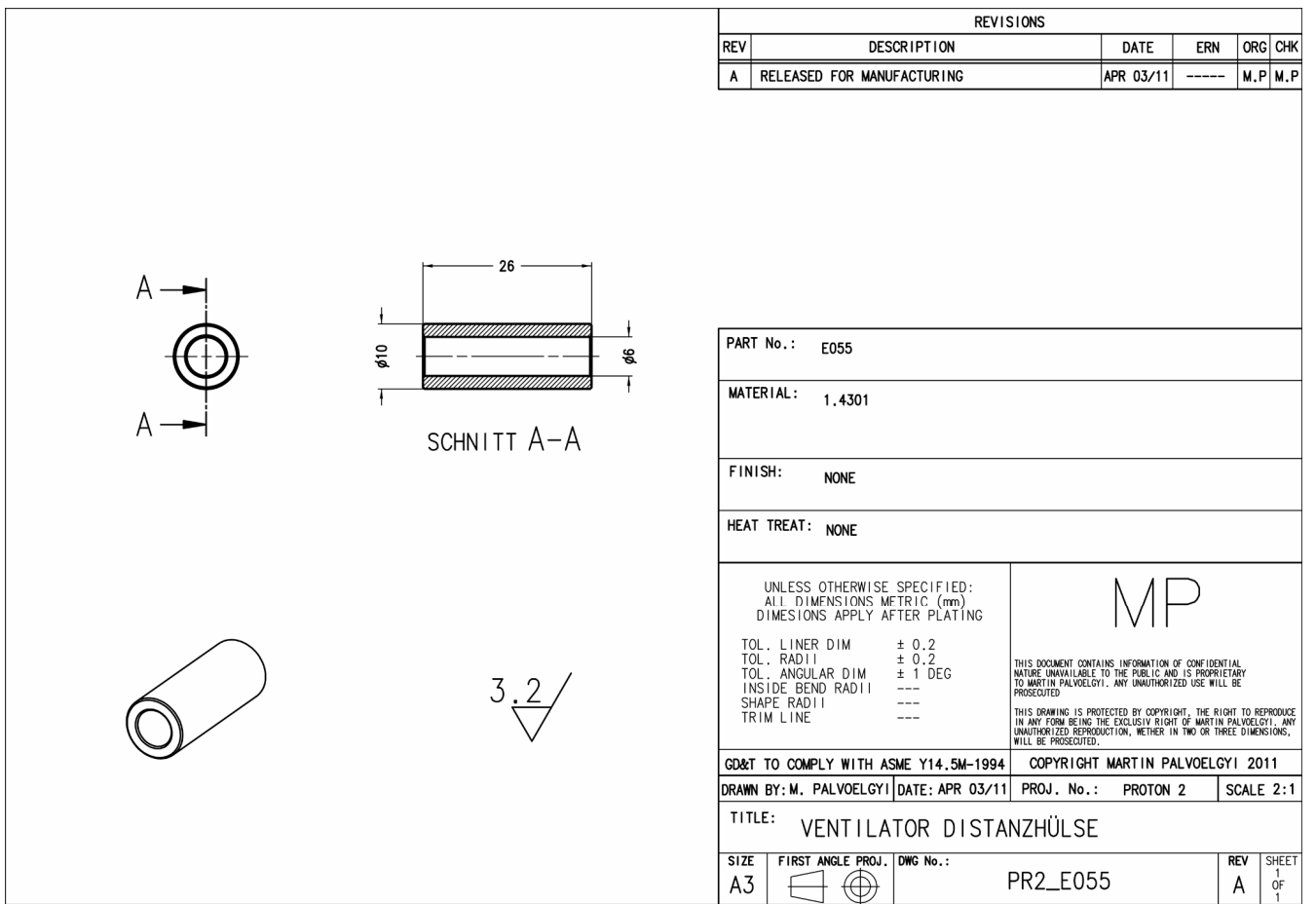
PART No.: E053	
MATERIAL: 1.4301	
FINISH: NONE	
HEAT TREAT: NONE	
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: ALL DIMENSIONS METRIC (mm) DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING TOL. LINER DIM ± 0.2 TOL. RADII ± 0.2 TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG INSIDE BEND RADII --- SHAPE RADII --- TRIM LINE ---	MP <small>THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY TO MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.</small> <small>THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE EXCLUSIVE RIGHT OF MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WHETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.</small>
GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994 COPYRIGHT MARTIN PALVOELGYI 2011	
DRAWN BY: M. PALVOELGYI DATE: APR 03/11 PROJ. No.: PROTON 2 SCALE 2:1	
TITLE: KÜHLKÖRPER STIFTSCHRAUBE	
SIZE A3	FIRST ANGLE PROJ. DWG No.: PR2_E053 REV A SHEET 1 OF 1



REVISIONS				
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG CHK
A	RELEASED FOR MANUFACTURING	SEP 25/11	-----	M.P M.P

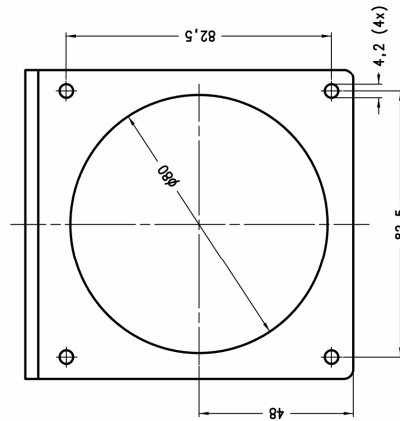
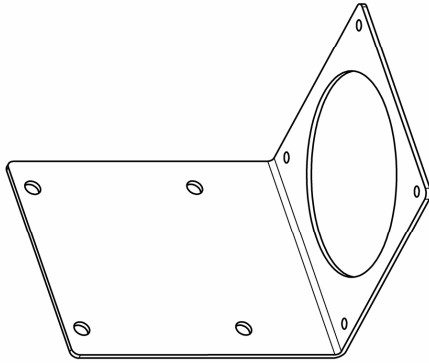
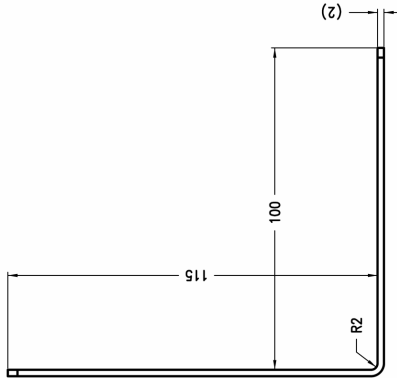
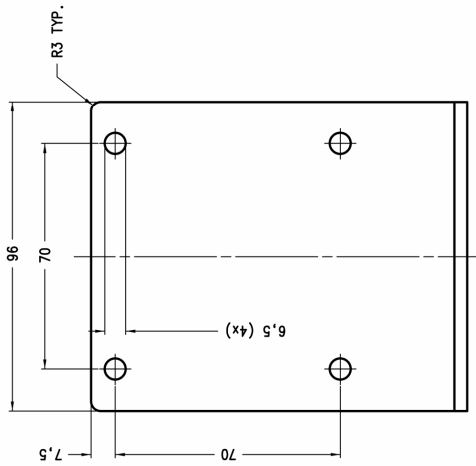


PART No.: E054	
MATERIAL: ALUMINUM	
FINISH: NONE	
HEAT TREAT: NONE	
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: ALL DIMENSIONS METRIC (mm) DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING TOL. LINER DIM ± 0.2 TOL. RADII ± 0.2 TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG INSIDE BEND RADII --- SHAPE RADII --- TRIM LINE ---	MP <small>THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY TO MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.</small> <small>THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE EXCLUSIVE RIGHT OF MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WHETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.</small>
GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994 COPYRIGHT MARTIN PALVOELGYI 2011	
DRAWN BY: M. PALVOELGYI DATE: SEP 25/11 PROJ. No.: PROTON 2 SCALE 1:1	
TITLE: KÜHLKÖRPER SCHRITTMOTOR	
SIZE A3	FIRST ANGLE PROJ. DWG No.: PR2_E054 REV A SHEET 1 OF 1

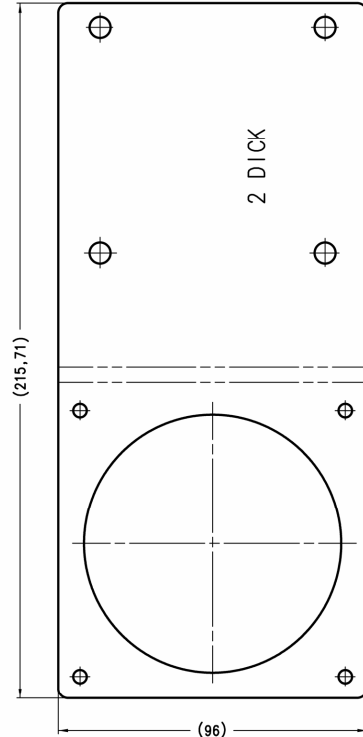


REVISIONS					
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG	CHK
A	RELEASED FOR MANUFACTURING	APR 30/11	-----	-----	M.P.M.P

MENGE: 3 STK.



ABWICKLUNG DER NEUTRALEN FASER:



PART No.: E056

MATERIAL: S235 JR

FINISH: NONE

HEAT TREAT: NONE

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
ALL DIMENSIONS METRIC (mm)
DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING

TOL. LINER DIM ± 0.2
TOL. RADI I ± 0.2
TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG
INSIDE BEND RADI I ---
SHAPE RADI I ---
TRIM LINE ---

MP

THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY TO MARTIN PALVÖLGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.
THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE EXCLUSIVE RIGHT OF MARTIN PALVÖLGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WHETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.

GOBT TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994 COPYRIGHT MARTIN PALVÖLGYI 2011
DRAWN BY: M. PALVÖLGYI DATE: APR 30/11 PROJ. No.: PRON 2 SCALE 1:1

TITLE: VENTILATORHALTERUNG

SIZE	FIRST ANGLE PROJ.	DWG No.:	REV	SHEET
A2		PR2_E056	A	1

REVISIONS			
REV	DESCRIPTION	DATE	ERC CHK
A	RELEASED FOR PRODUCTION	MAR 23/07	----- M.P.M.P.

(605)

(1089)

BEARBEITETE FLÄCHE (SCHAFFERT)
MINDESTBREITE b = 6mm

(6,3)

(8)

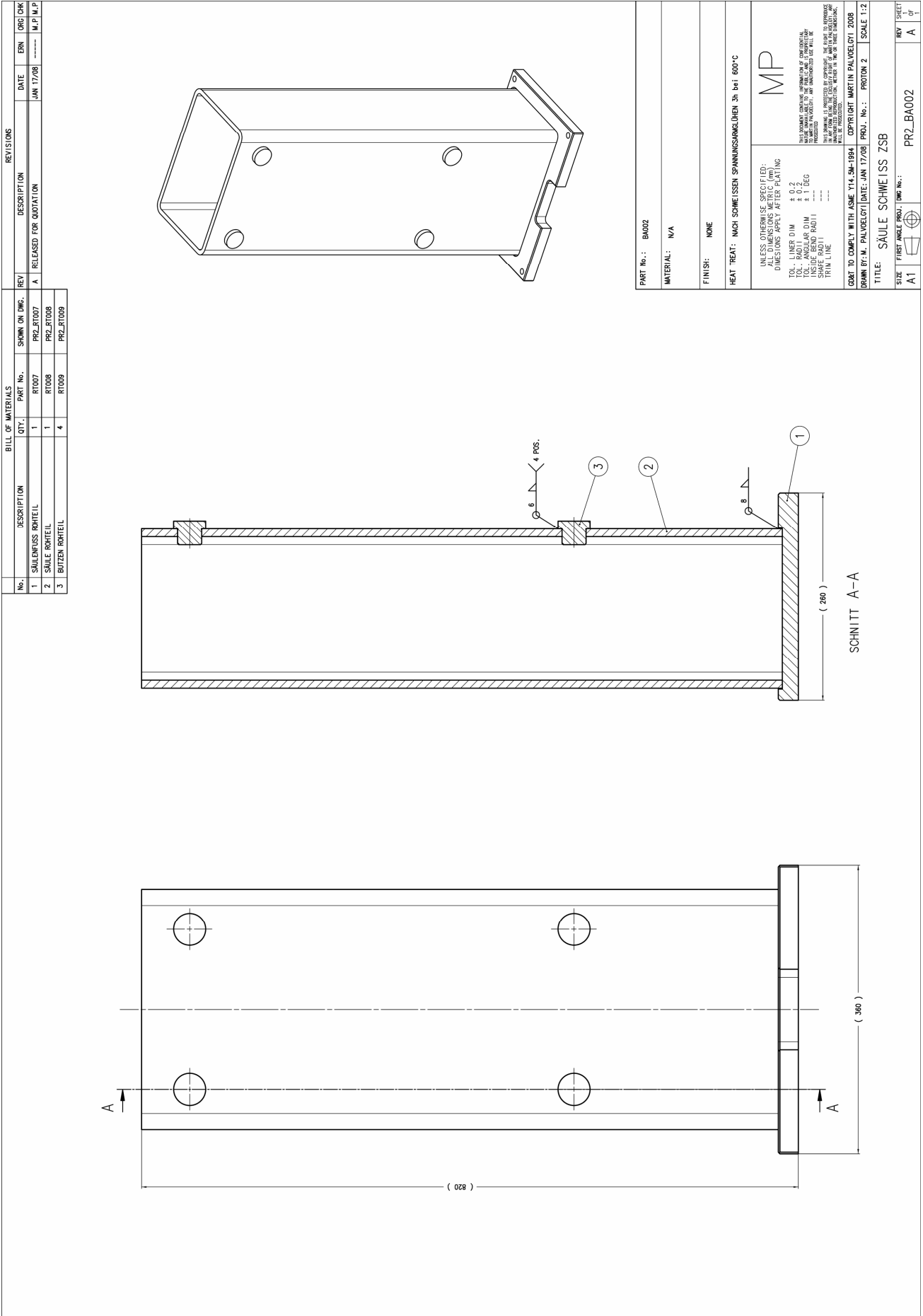
(8,35)

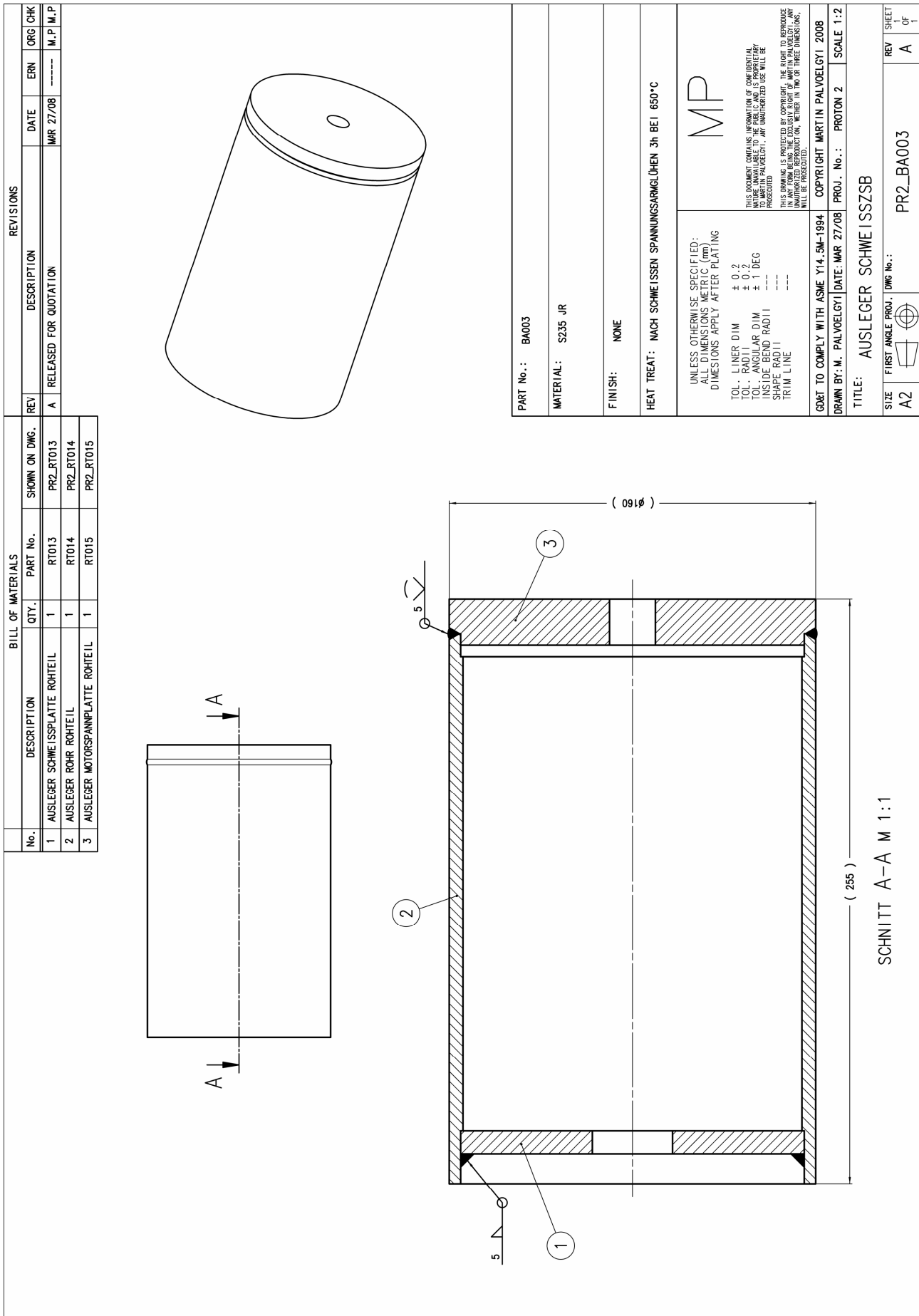
(1) (2) (3) (4) (5) (6)

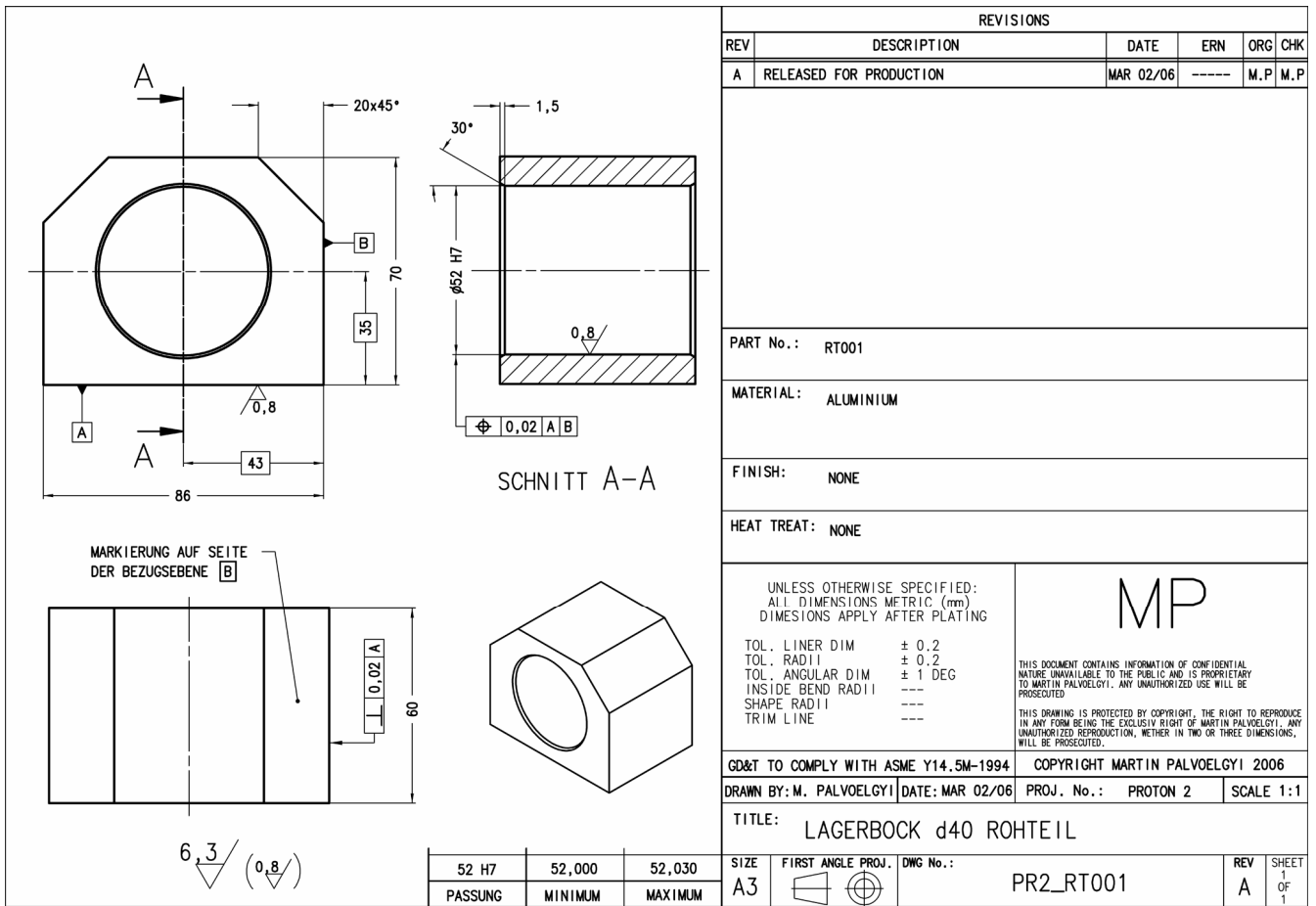
AUFSPANNTISCH

PART No.: BA001	
MATERIAL: GG18	
FINISH: NONE	
HEAT TREAT: NONE	
MP	
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: ALL DIMENSIONS METRIC (mm) DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING	
TOL. - LINER DIM	± 0,2
TOL. - ANGULAR DIM	± 1 DEG
SURFACE FINISH	--- RAZ
TRIAL LINE	----
THIS COMPANY MAKES NO WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, AS TO THE FITNESS OF THIS PRODUCT FOR ANY PARTICULAR USE. THE USER SHALL BE RESPONSIBLE FOR DETERMINING THE APPROPRIATE USE OF THIS PRODUCT. THE USER SHALL BE RESPONSIBLE FOR DETERMINING THE APPROPRIATE USE OF THIS PRODUCT. THE USER SHALL BE RESPONSIBLE FOR DETERMINING THE APPROPRIATE USE OF THIS PRODUCT.	
DRAWN BY: M. PALVÖGYI	DATE: MAR 23/07
PROJ. No.:	PROTON 2
SCALE:	1:2
TITLE: BEARBEITUNG GUSSGRUNDPLATTE UNTERSEITE	
SIZE: A1	FIRST ANGLE PROJ. DWG No.:
	PR2_BA001
	SHEET A
	of 1

BEMERKUNG:
AN STELLEN UNTER SPANNLASCHEN 1, 2 UND 3 BLECHE GLEICHER DICKE (MIN. 8mm) UNTERLEGEN.
AN STELLEN UNTER SPANNLASCHEN 4, 5, UND 6 BLECHPARTEIE MIT ANGEPASSTER STÄRKE UNTERLEGEN
UM WERKSTÜCK VERSPANNUNGSFREI AM TISCH AUFZUSPANNEN.







REVISIONS					
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG	CHK
A	RELEASED FOR PRODUCTION	MAR 02/06	-----	M.P	M.P

PART No.: RT001

MATERIAL: ALUMINIUM

FINISH: NONE

HEAT TREAT: NONE

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
ALL DIMENSIONS METRIC (mm)
DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING

TOL. LINER DIM ± 0,2
TOL. RADII ± 0,2
TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG
INSIDE BEND RADII ---
SHAPE RADII ---
TRIM LINE ---

MP

THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY TO MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.

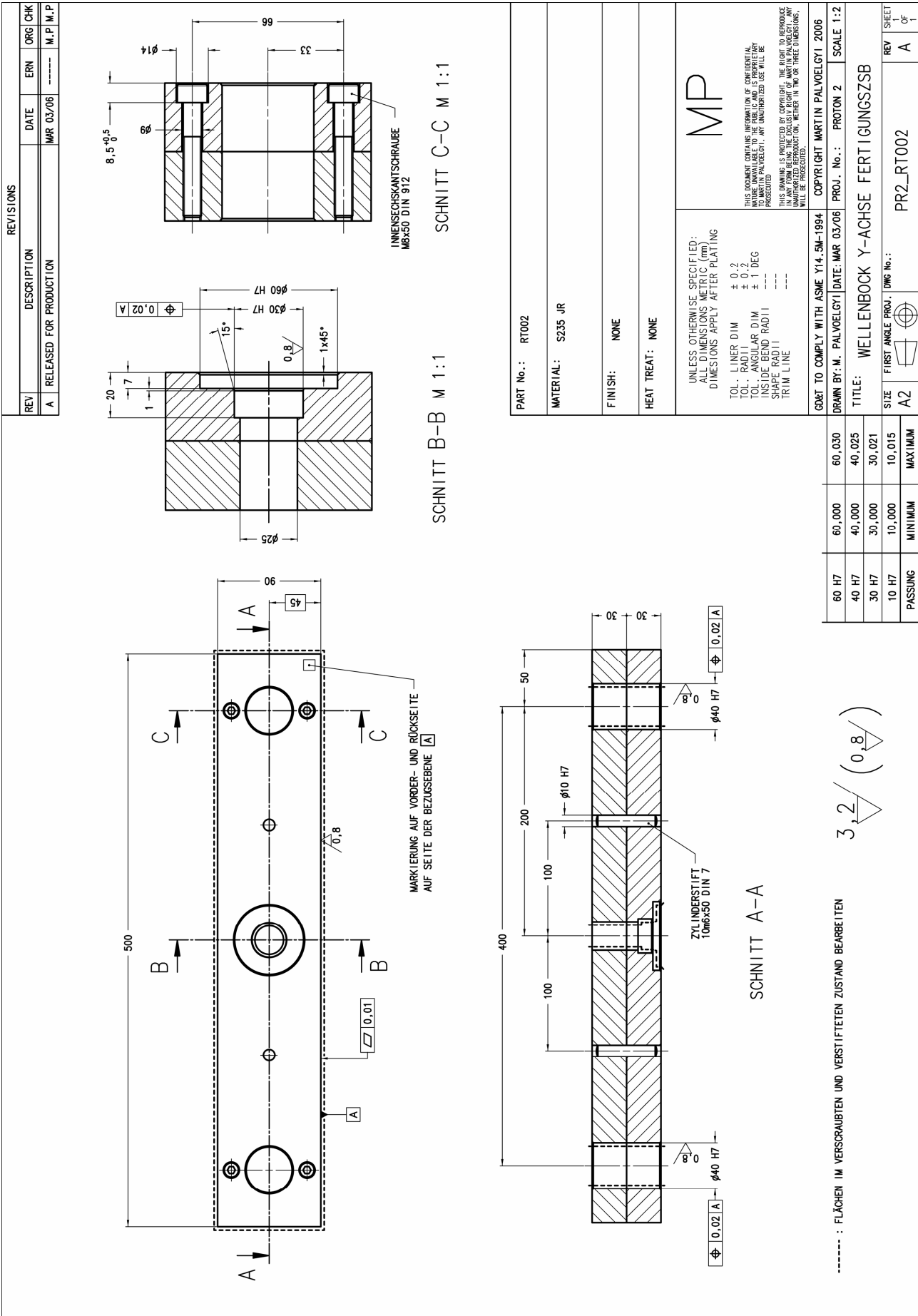
THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE EXCLUSIVE RIGHT OF MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, METRIC IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.

GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994 COPYRIGHT MARTIN PALVOELGYI 2006

DRAWN BY: M. PALVOELGYI | DATE: MAR 02/06 PROJ. No.: PROTON 2 SCALE 1:1

TITLE: LAGERBOCK d40 ROHTEIL

SIZE	FIRST ANGLE PROJ.	DWG No.:	REV	SHEET
A3		PR2_RT001	A	1 OF 1



----- : FLÄCHEN IM VERSCHAUBTEN UND VERSTIFTETEN ZUSTAND BEARBEITEN

3.2 (0.8)

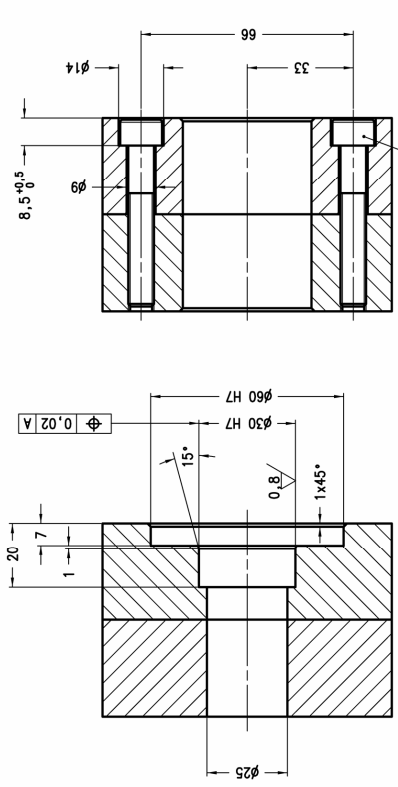
GO&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994

COPYRIGHT MARTIN PALVÖLGYI 2006

DRAWN BY: M. PALVÖLGYI DATE: MAR 03/06 PROJ. No.: PROTON 2 SCALE 1:2

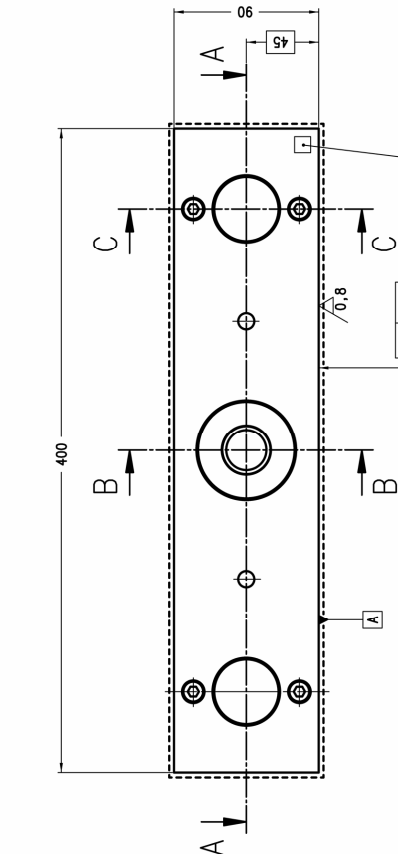
TITLE: WELLENBOCK Y-ACHSE FERTIGUNGSZSB

REVISIONS					
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG	CHK
A	RELEASED FOR PRODUCTION	MAR 03/06	-----	-----	M.P.M.P

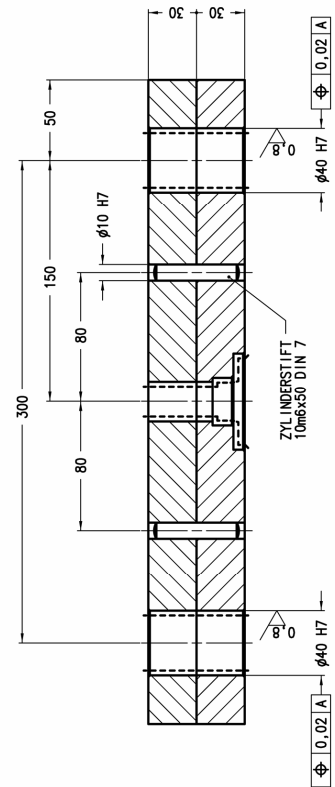


SCHNITT B-B M 1:1

SCHNITT C-C M 1:1



MARKIERUNG AUF VORDER- UND RÜCKSEITE AUF SEITE DER BEZUGSEBENE A



SCHNITT A-A

PART No.: RT003
 MATERIAL: S235 JR
 FINISH: NONE
 HEAT TREAT: NONE

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 ALL DIMENSIONS METRIC (mm)
 DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING

TOL. LINER DIM ± 0.2
 TOL. RADI I ± 0.2
 TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG
 INSIDE BEND RADI I
 SHAPE RADI I
 TRIM LINE

MP

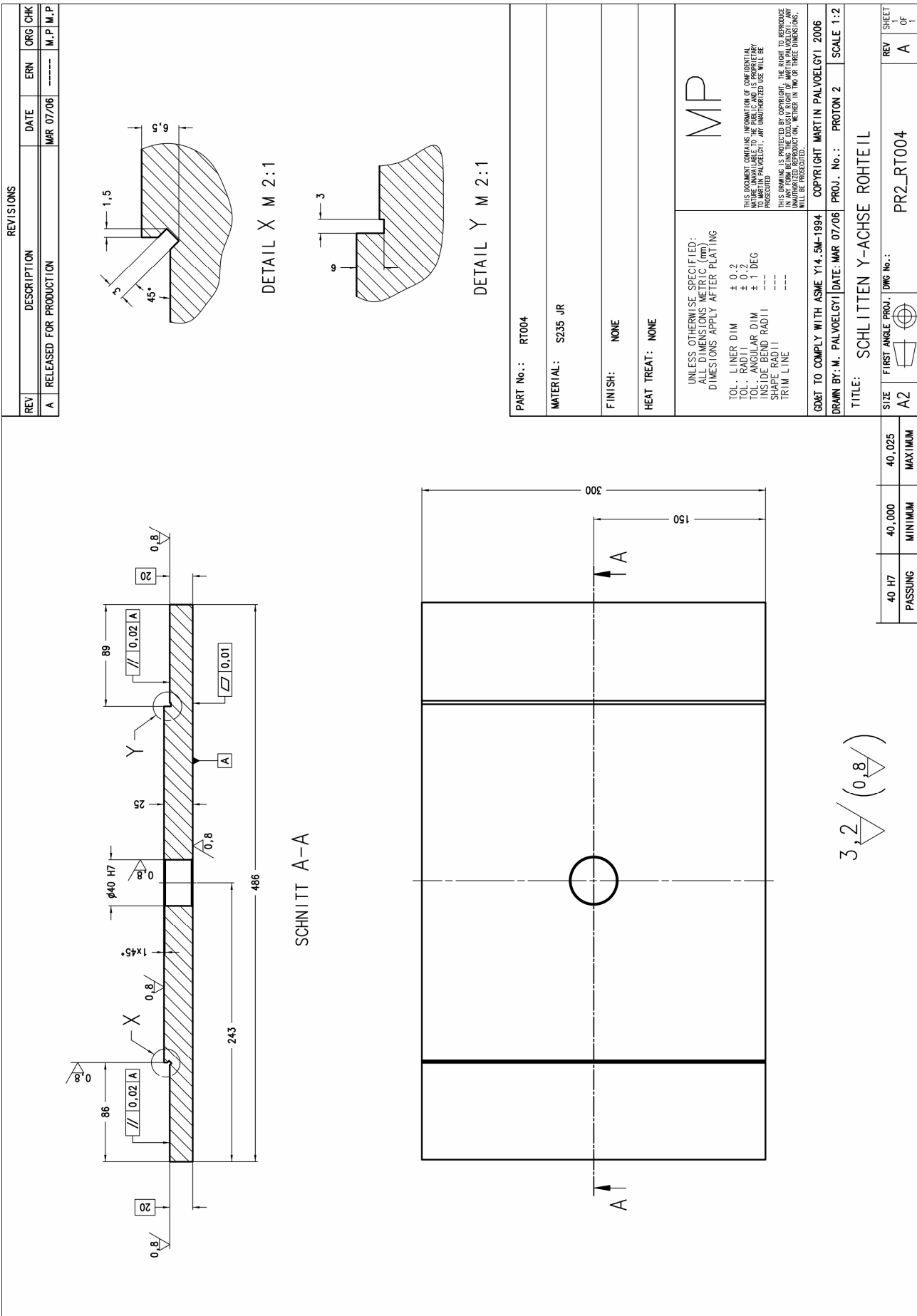
THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY PROPERTY OF MARTIN PALVÖLGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.
 THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE SOLE PROPERTY OF MARTIN PALVÖLGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WHETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.

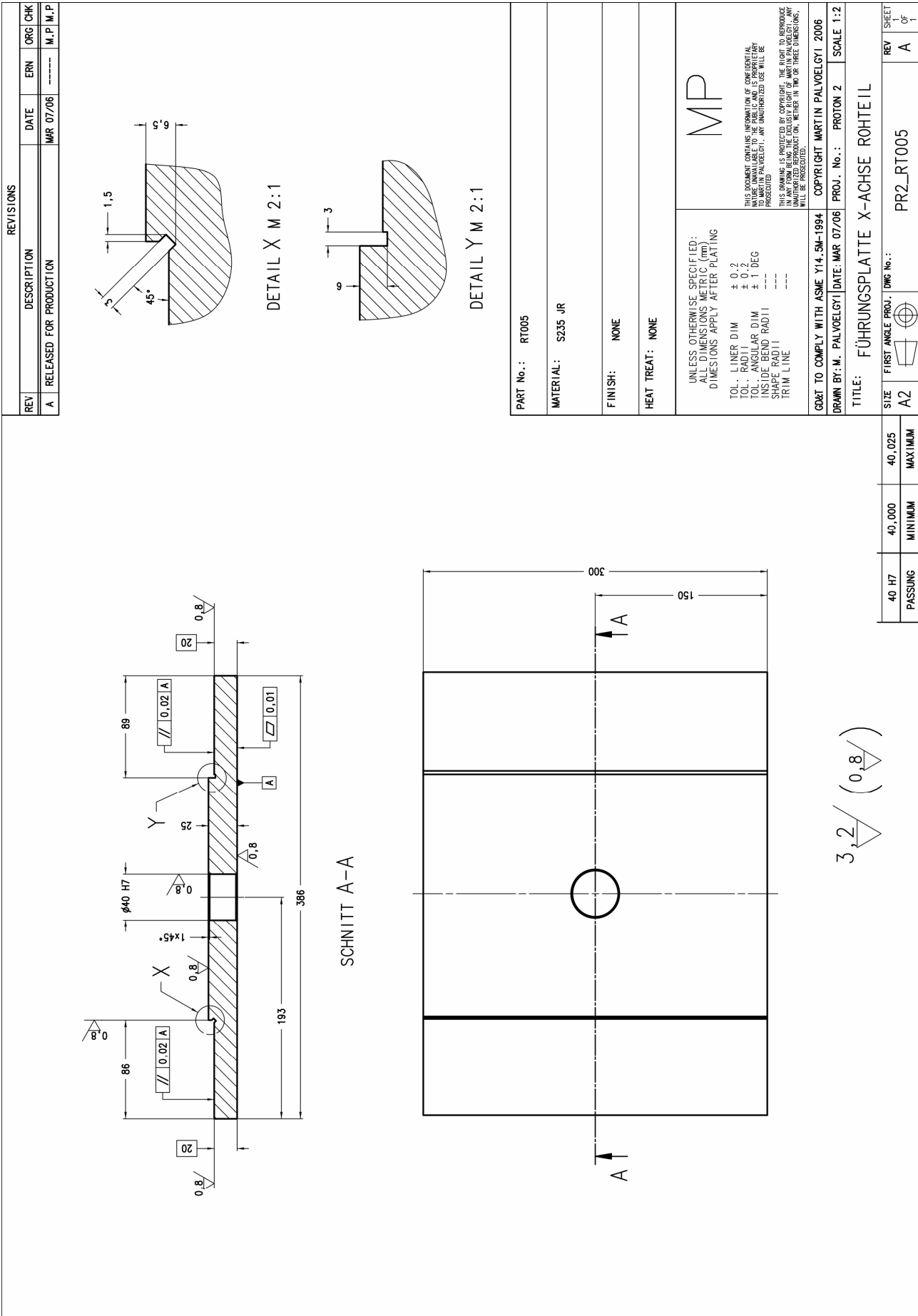
GOVT TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994	COPYRIGHT MARTIN PALVÖLGYI 2006
DRAWN BY: M. PALVÖLGYI	DATE: MAR 03/06
PROJ. No.:	PROTON 2
TITLE:	WELLENBOCK X-ACHSE FERTIGUNGSZSB
SCALE:	1:2
SIZE:	A2
FIRST ANGLE PROJ. DIMG No.:	PR2_RT003
REV SHEET	A
OF	1

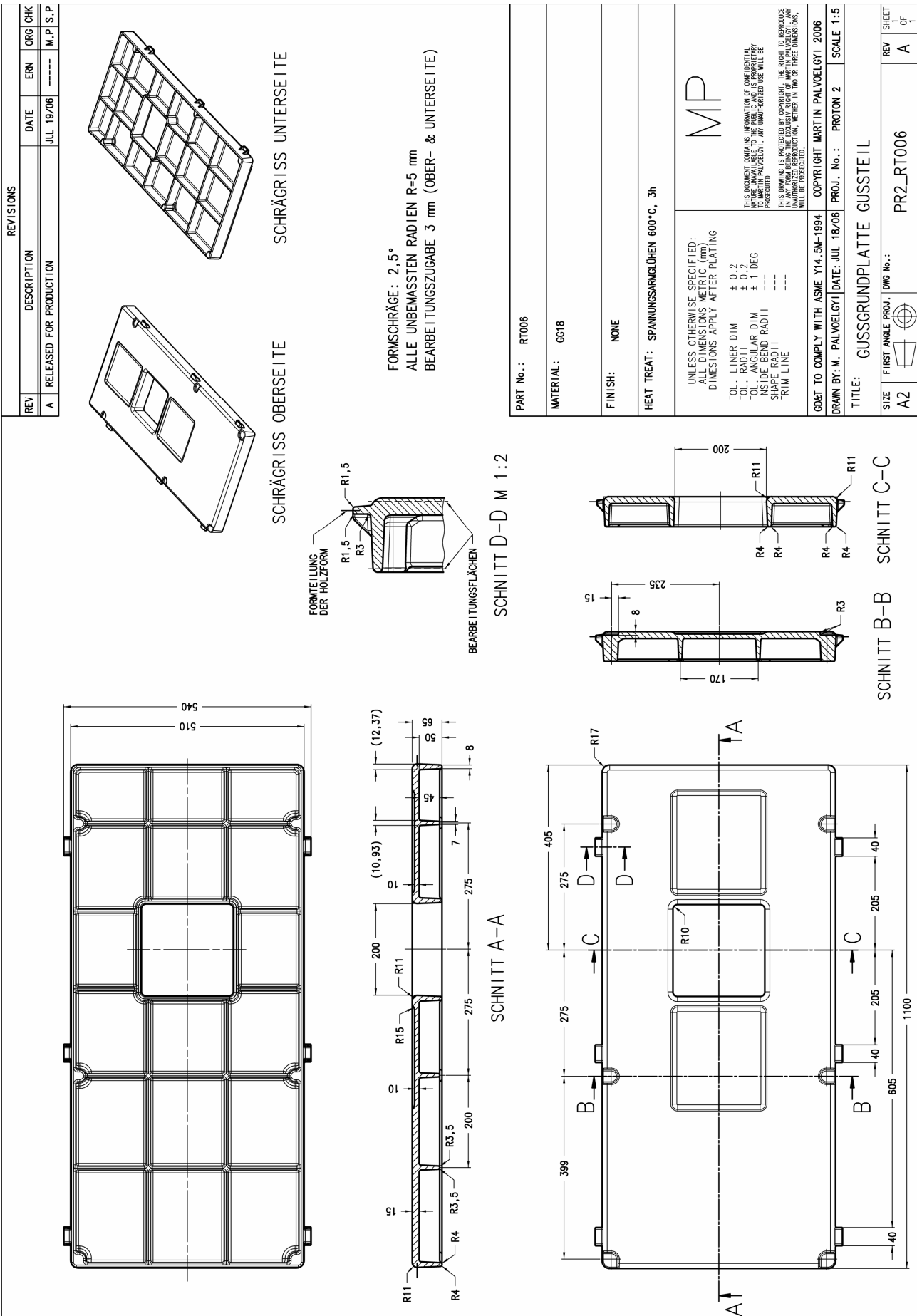
PASSUNG	MINIMUM	MAXIMUM
60 H7	60,000	60,030
40 H7	40,000	40,025
30 H7	30,000	30,021
10 H7	10,000	10,015

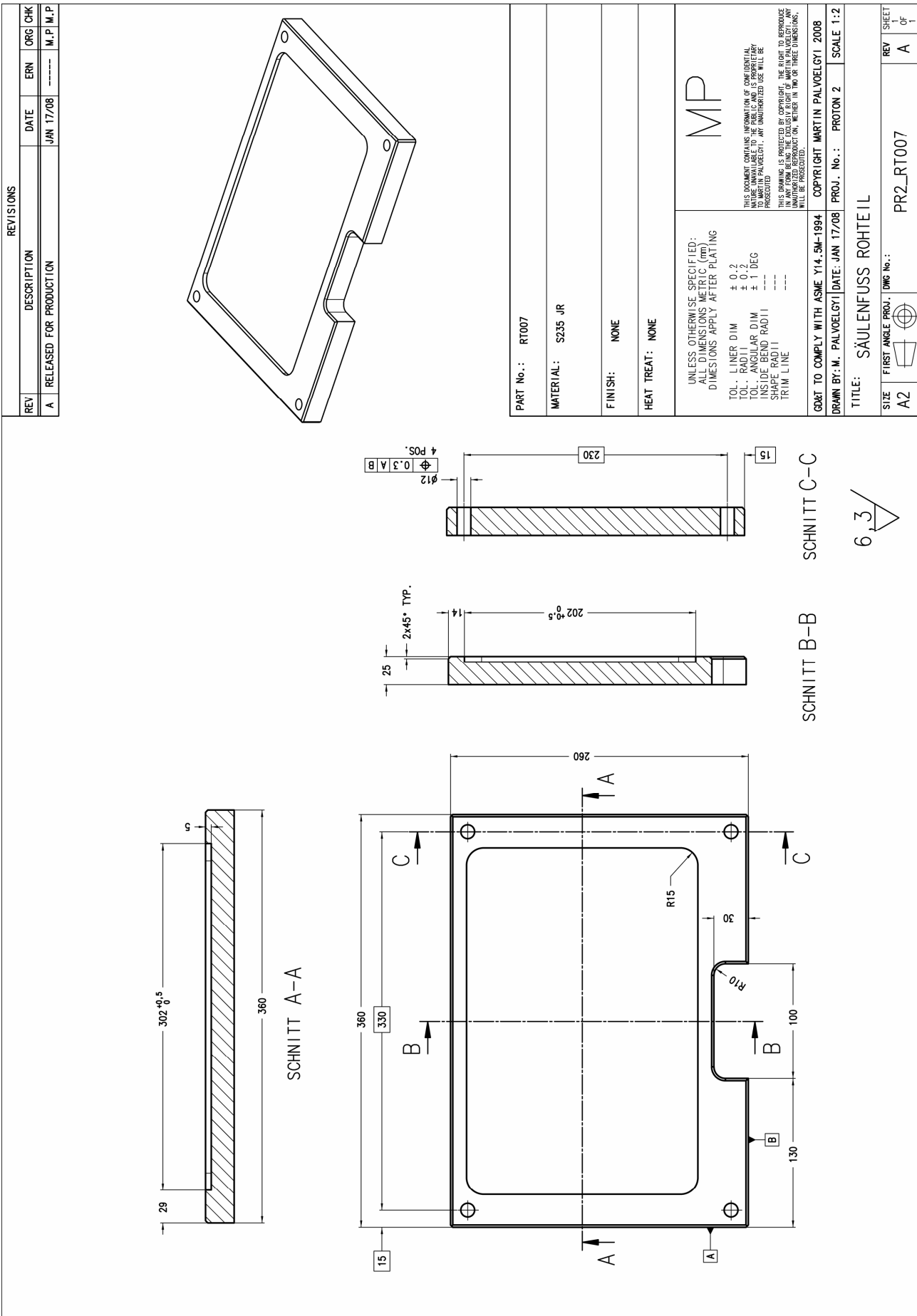
3.2 (0.8)

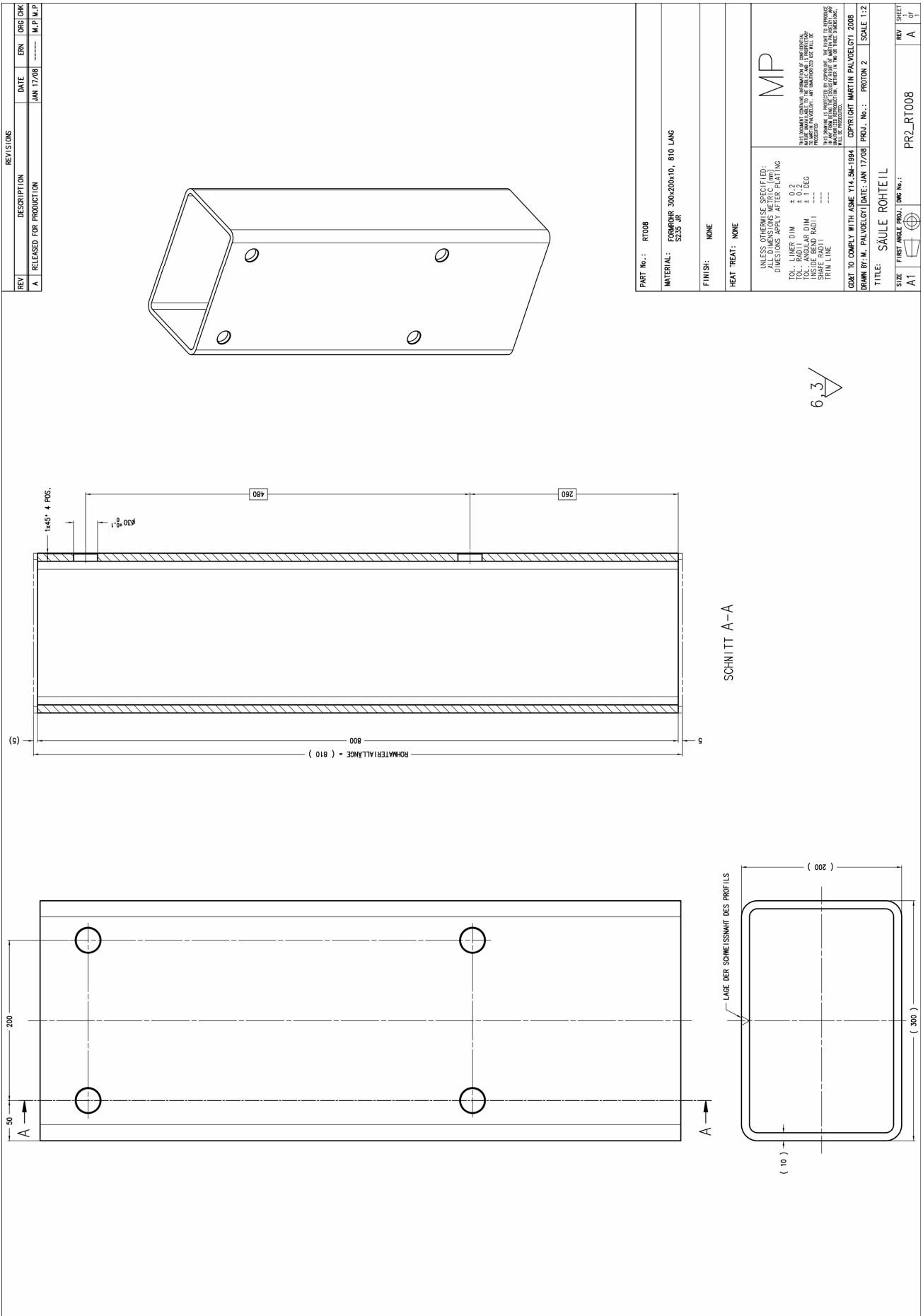
----- : FLÄCHEN IM VERSCHAUBTEN UND VERSTIFTETEN ZUSTAND BEARBEITEN

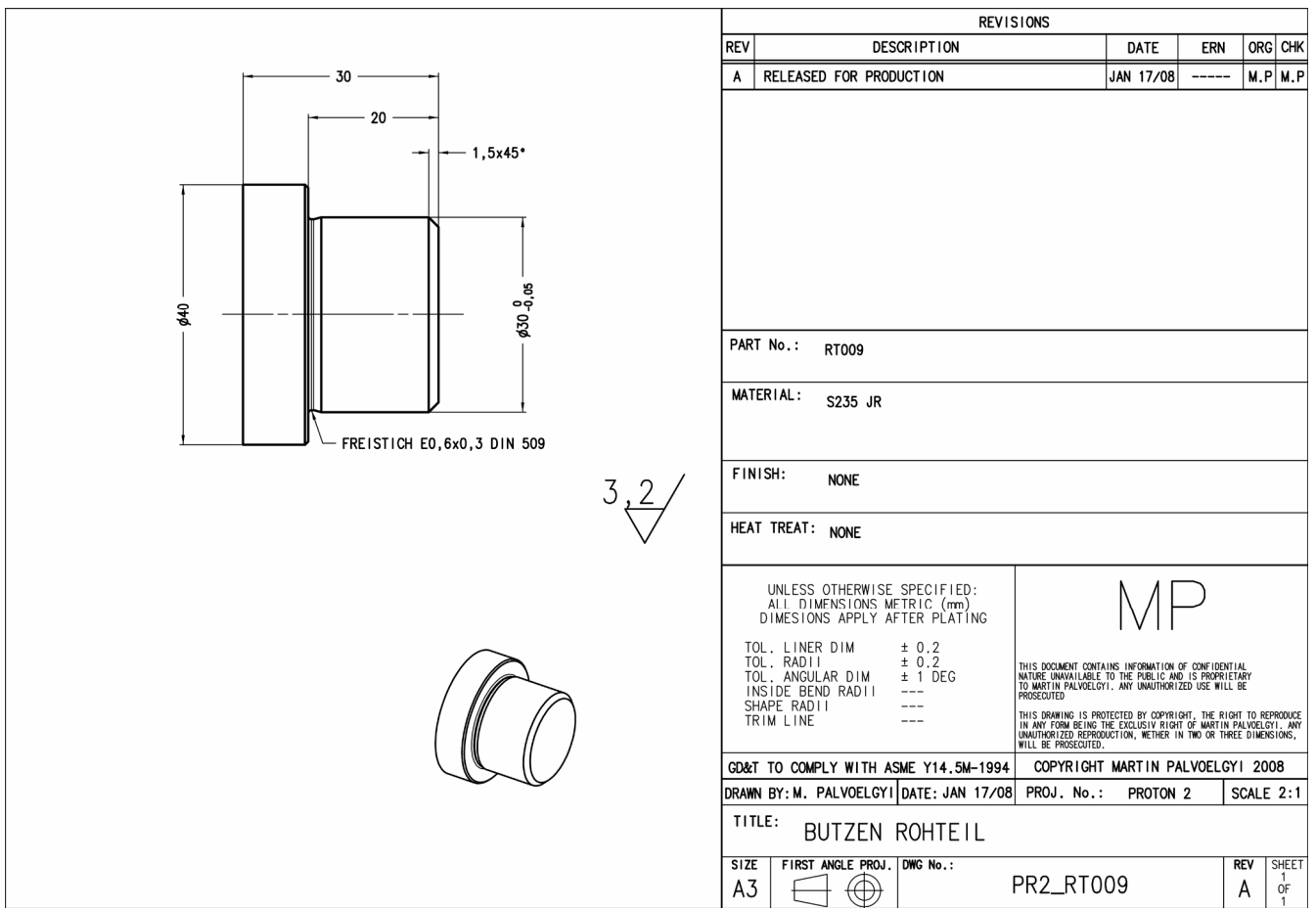




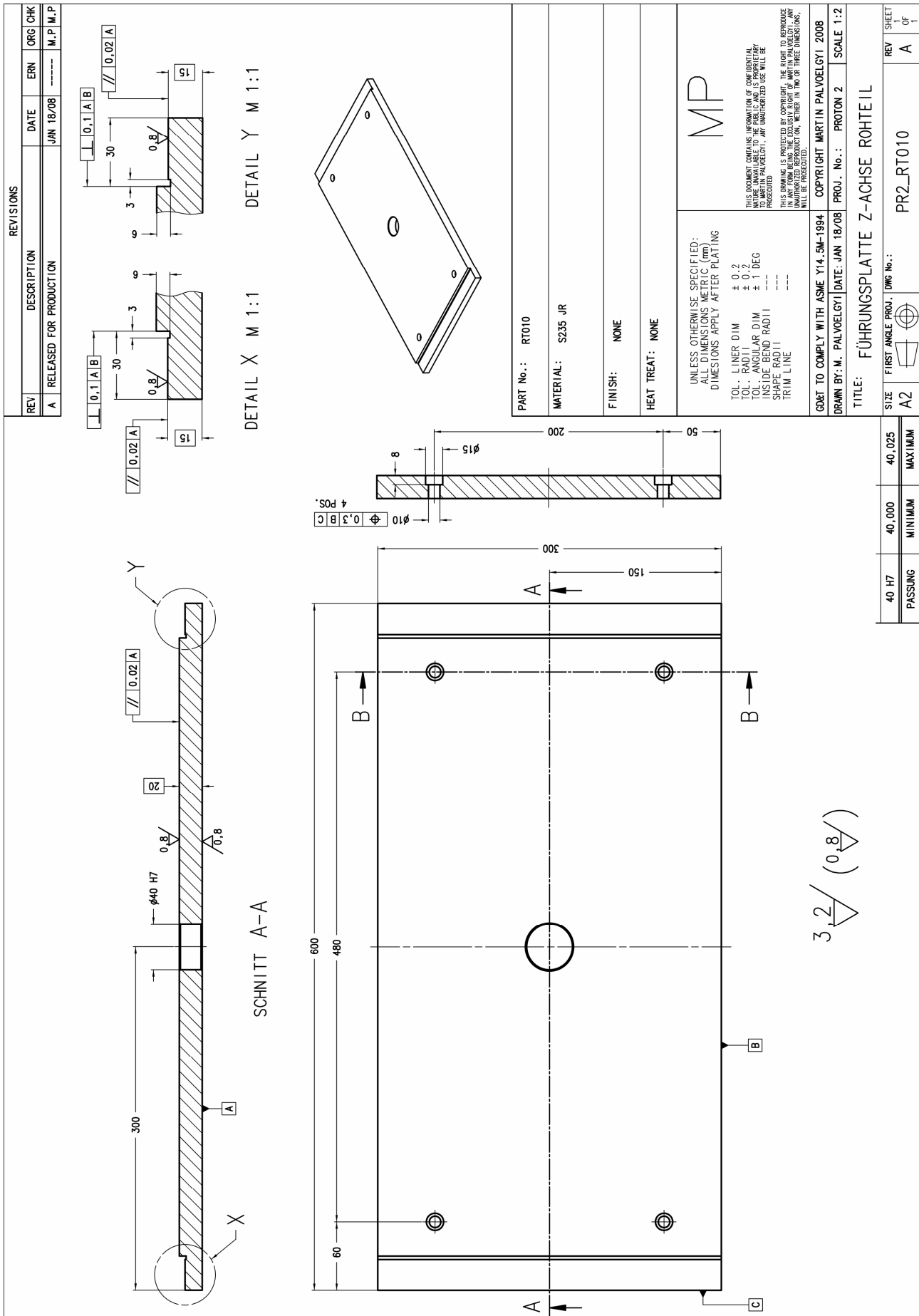


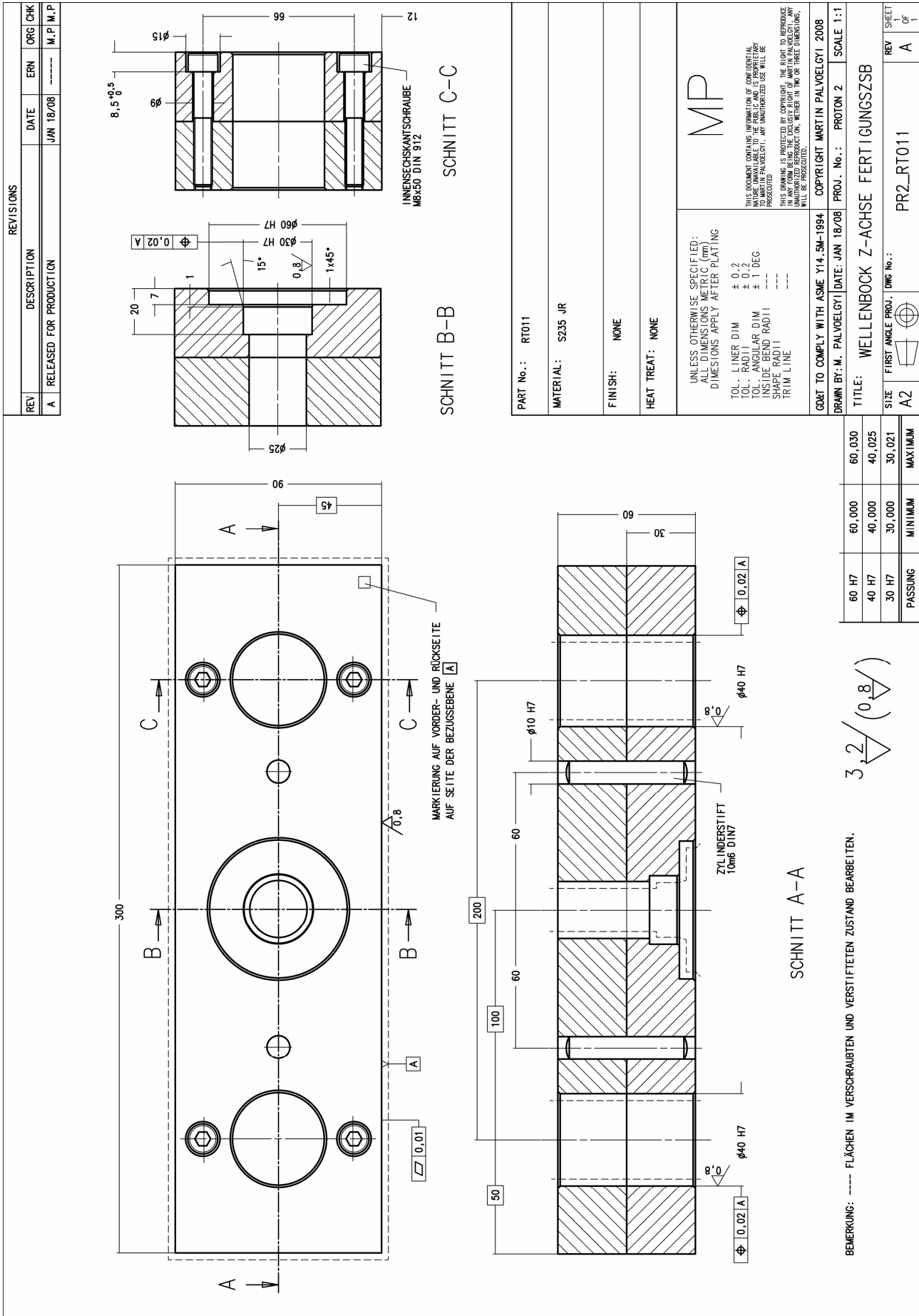


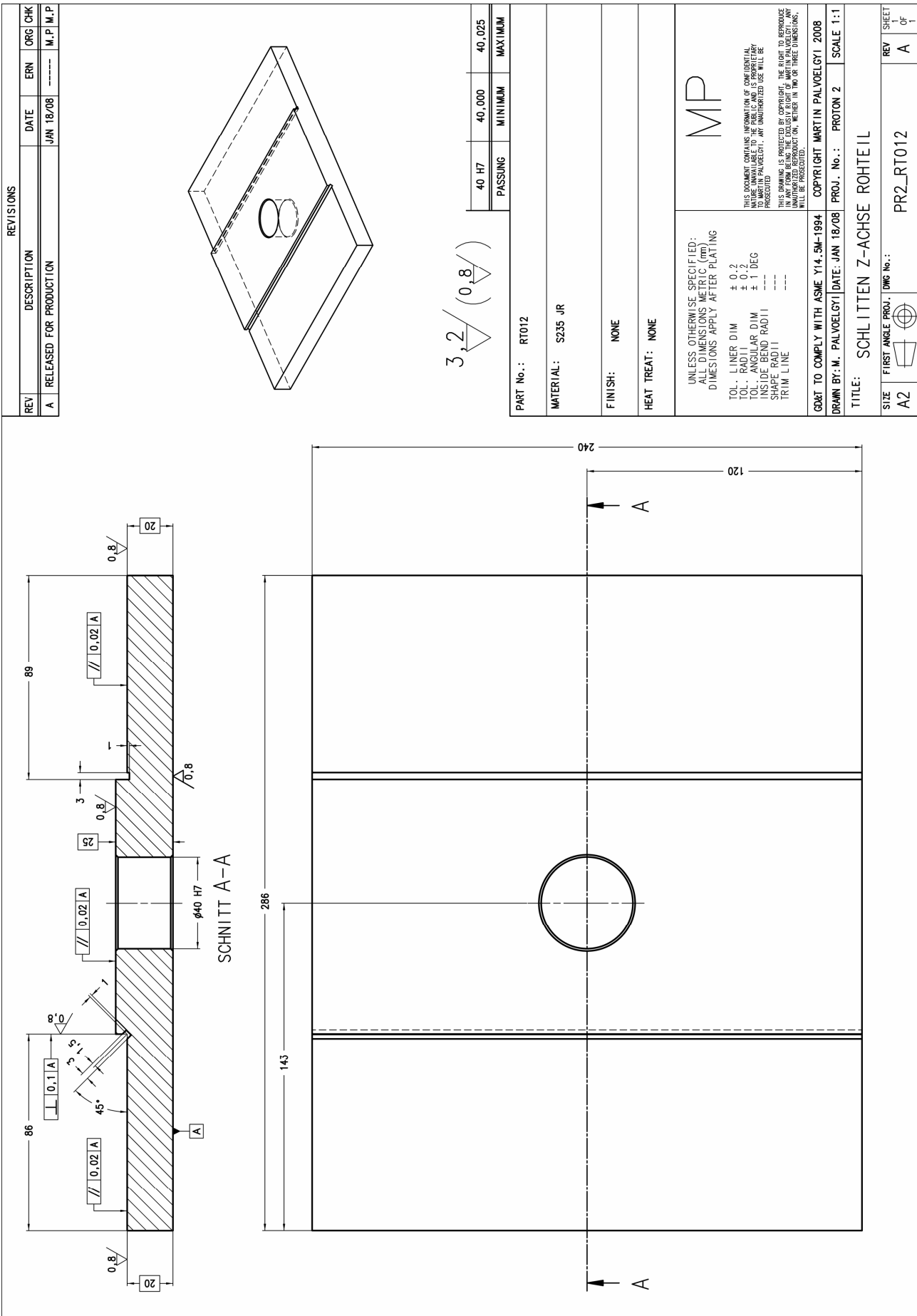


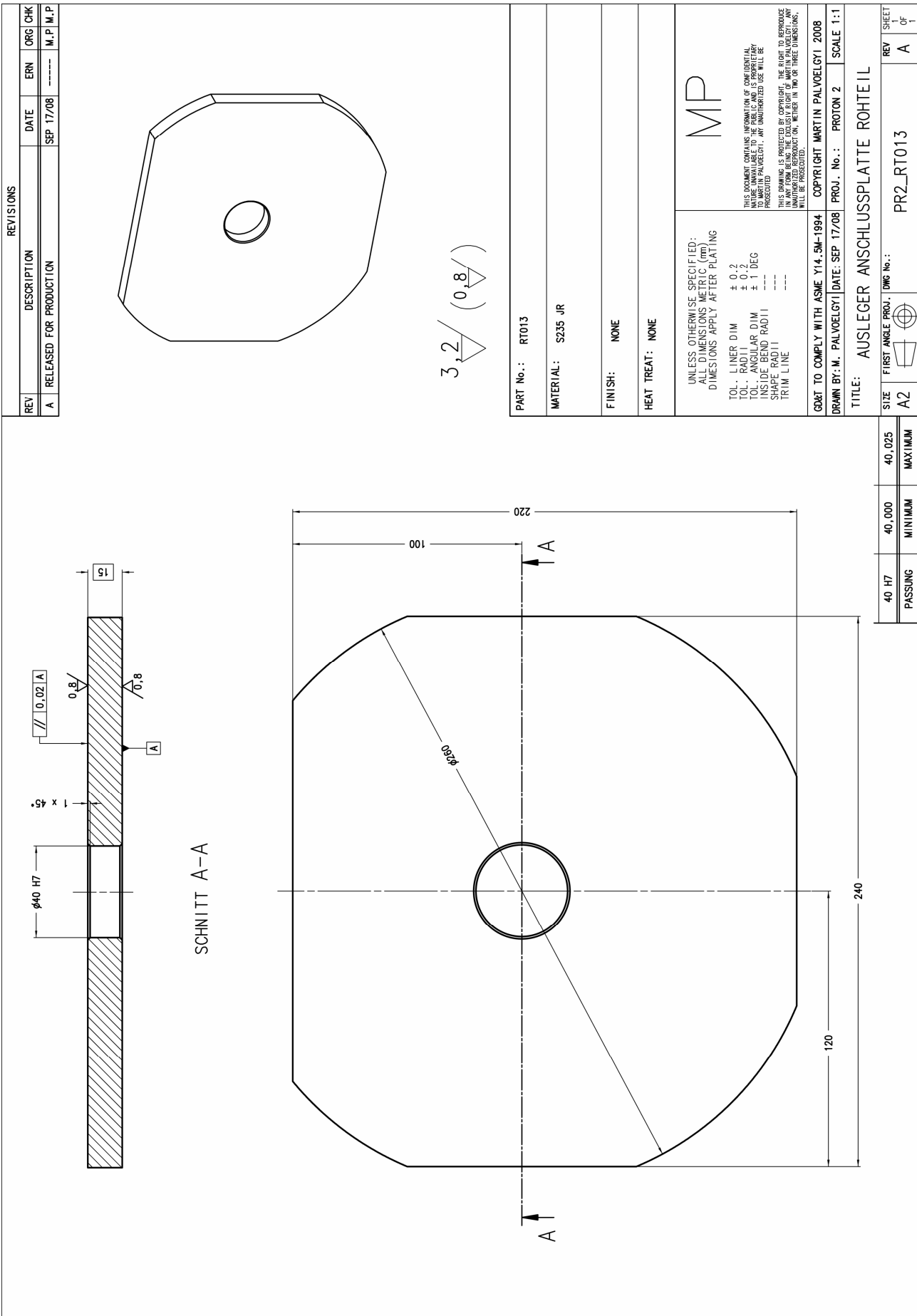


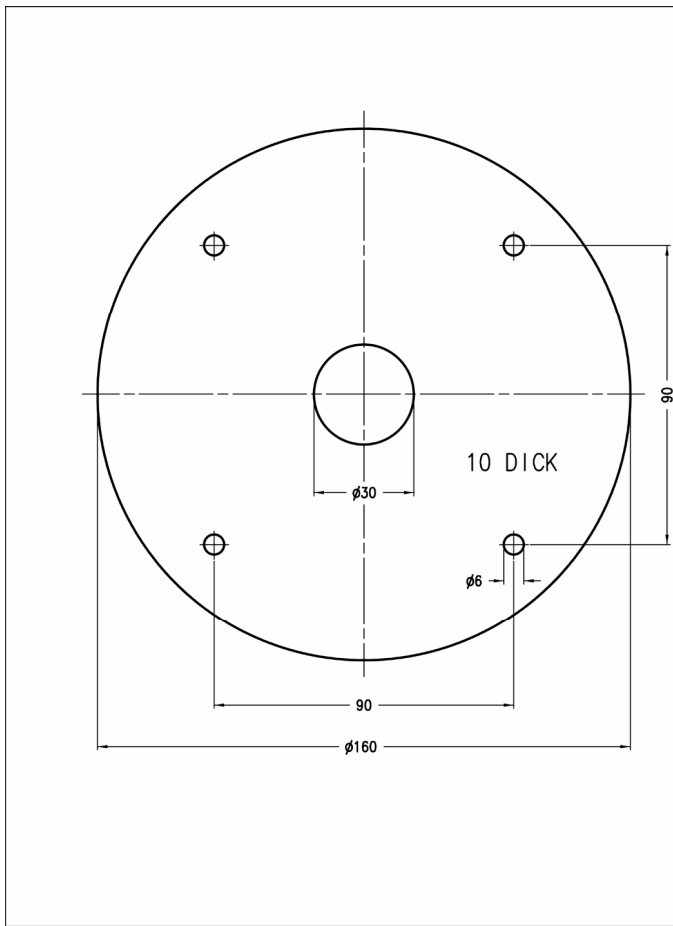
REVISIONS				
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG CHK
A	RELEASED FOR PRODUCTION	JAN 17/08	-----	M.P M.P
<p>PART No.: RT009</p> <p>MATERIAL: S235 JR</p> <p>FINISH: NONE</p> <p>HEAT TREAT: NONE</p>				
<p>UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: ALL DIMENSIONS METRIC (mm) DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING</p> <p>TOL. LINER DIM ± 0.2 TOL. RADII ± 0.2 TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG INSIDE BEND RADII --- SHAPE RADII --- TRIM LINE ---</p>			<p>MP</p> <p><small>THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY TO MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.</small></p> <p><small>THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE EXCLUSIVE RIGHT OF MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, METRIC IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.</small></p>	
GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994		COPYRIGHT MARTIN PALVOELGYI 2008		
DRAWN BY: M. PALVOELGYI		DATE: JAN 17/08	PROJ. No.: PROTON 2	SCALE 2:1
TITLE: BUTZEN ROHTEIL				
SIZE A3	FIRST ANGLE PROJ. 	DWG No.:	PR2_RT009	REV A
				SHEET 1 OF 1







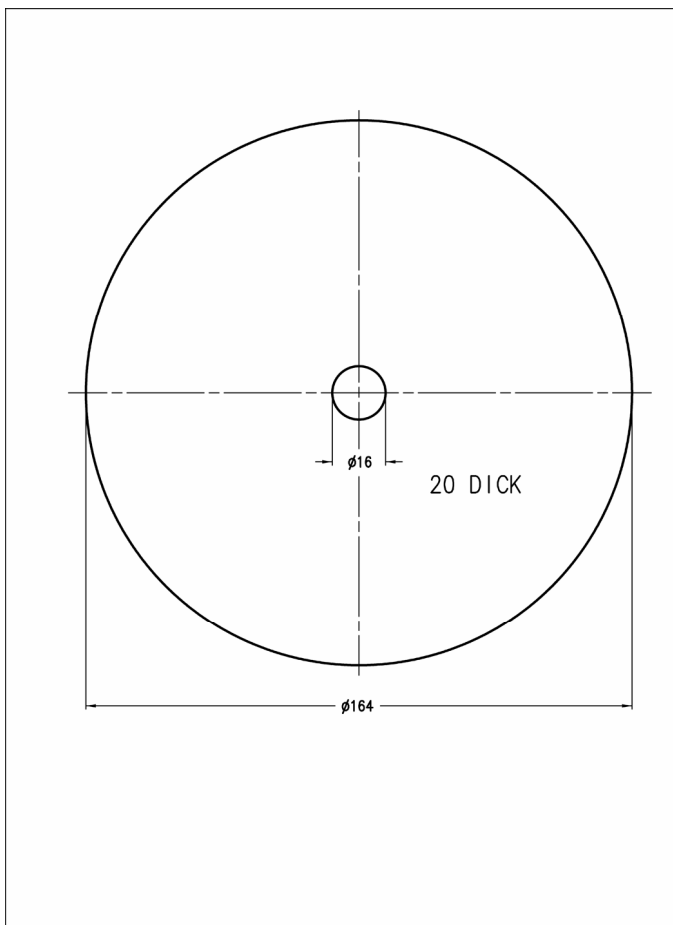




REVISIONS					
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG	CHK
A	RELEASED FOR PRODUCTION	FEB 13/09	-----	M.P	M.P

SCHNITTKONTUR: RT014_Schweissplatte.igs
RT014_Schweissplatte.dxf

PART No.: RT014					
MATERIAL: S235 JR					
FINISH: NONE					
HEAT TREAT: NONE					
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: ALL DIMENSIONS METRIC (mm) DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING TOL. LINER DIM ± 0.2 TOL. RADII ± 0.2 TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG INSIDE BEND RADII --- SHAPE RADII --- TRIM LINE ---				MP <small>THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY TO MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED</small> <small>THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE EXCLUSIV RIGHT OF MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WHETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.</small>	
GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994			COPYRIGHT MARTIN PALVOELGYI 2009		
DRAWN BY: M. PALVOELGYI		DATE: FEB 13/09	PROJ. No.: PROTON 2	SCALE 1:1	
TITLE: AUSLEGER SCHWEISSPLATTE ROHTEIL					
SIZE A3	FIRST ANGLE PROJ.	DWG No.: PR2_RT014	REV A	SHEET 1 OF 1	

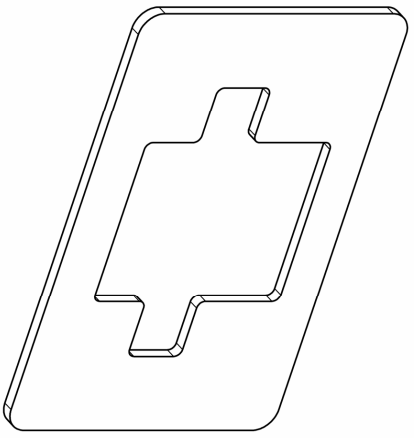


REVISIONS					
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG	CHK
A	RELEASED FOR PRODUCTION	FEB 13/09	-----	M.P	M.P

SCHNITTKONTUR: RT015_Motorspannplatte.igs
RT015_Motorspannplatte.dxf

PART No.: RT015					
MATERIAL: S235 JR					
FINISH: NONE					
HEAT TREAT: NONE					
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: ALL DIMENSIONS METRIC (mm) DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING TOL. LINER DIM ± 0.2 TOL. RADII ± 0.2 TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG INSIDE BEND RADII --- SHAPE RADII --- TRIM LINE ---				MP <small>THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY TO MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED</small> <small>THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE EXCLUSIV RIGHT OF MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WHETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.</small>	
GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994			COPYRIGHT MARTIN PALVOELGYI 2008		
DRAWN BY: M. PALVOELGYI		DATE: FEB 13/09	PROJ. No.: PROTON 2	SCALE 1:1	
TITLE: AUSLEGER MOTORSPANNPLATTE ROHTEIL					
SIZE A3	FIRST ANGLE PROJ.	DWG No.: PR2_RT015	REV A	SHEET 1 OF 1	

REVISIONS				
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG CHK
A	RELEASED FOR PRODUCTION	FEB 13/09	-----	M.P. M.P.



SCHNITTKONTUR: RT016_SäuleAbdeckung.igs
RT016_SäuleAbdeckung.dxf

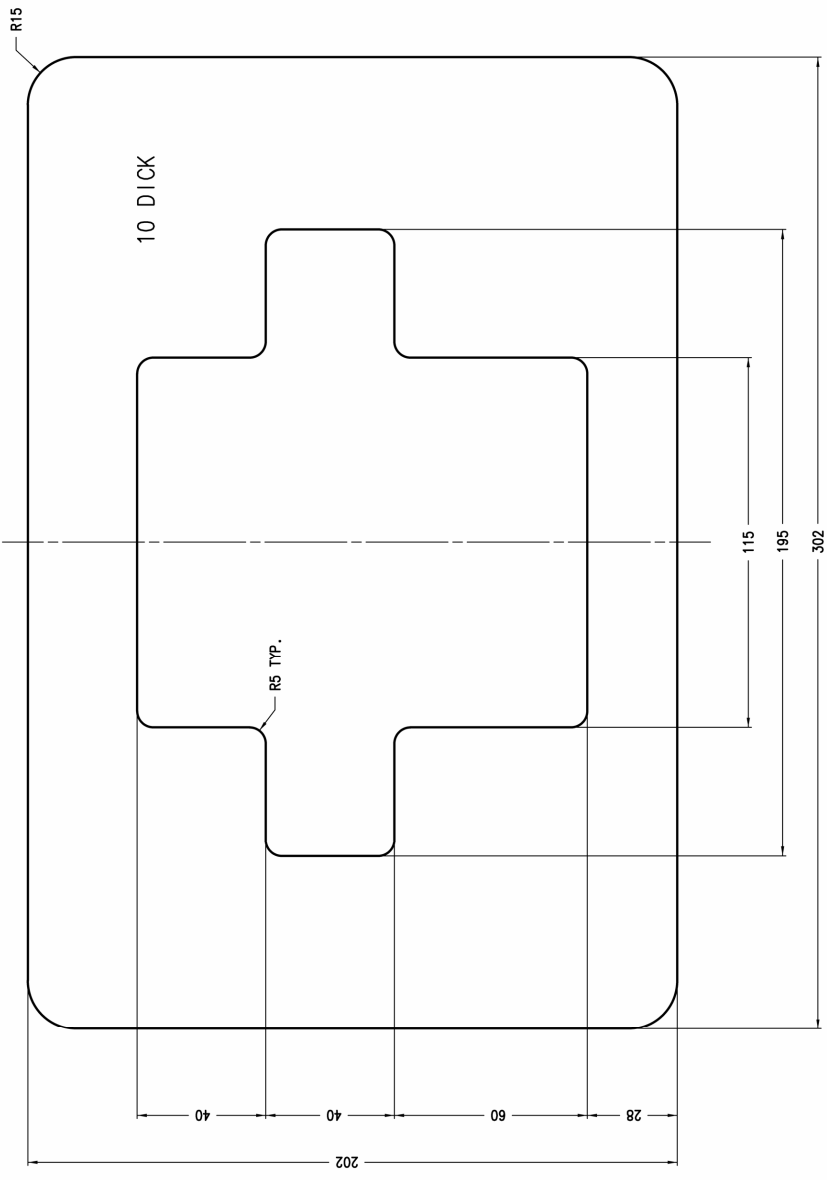
PART No.:	RT016
MATERIAL:	S235 JR
FINISH:	NONE
HEAT TREAT:	NONE

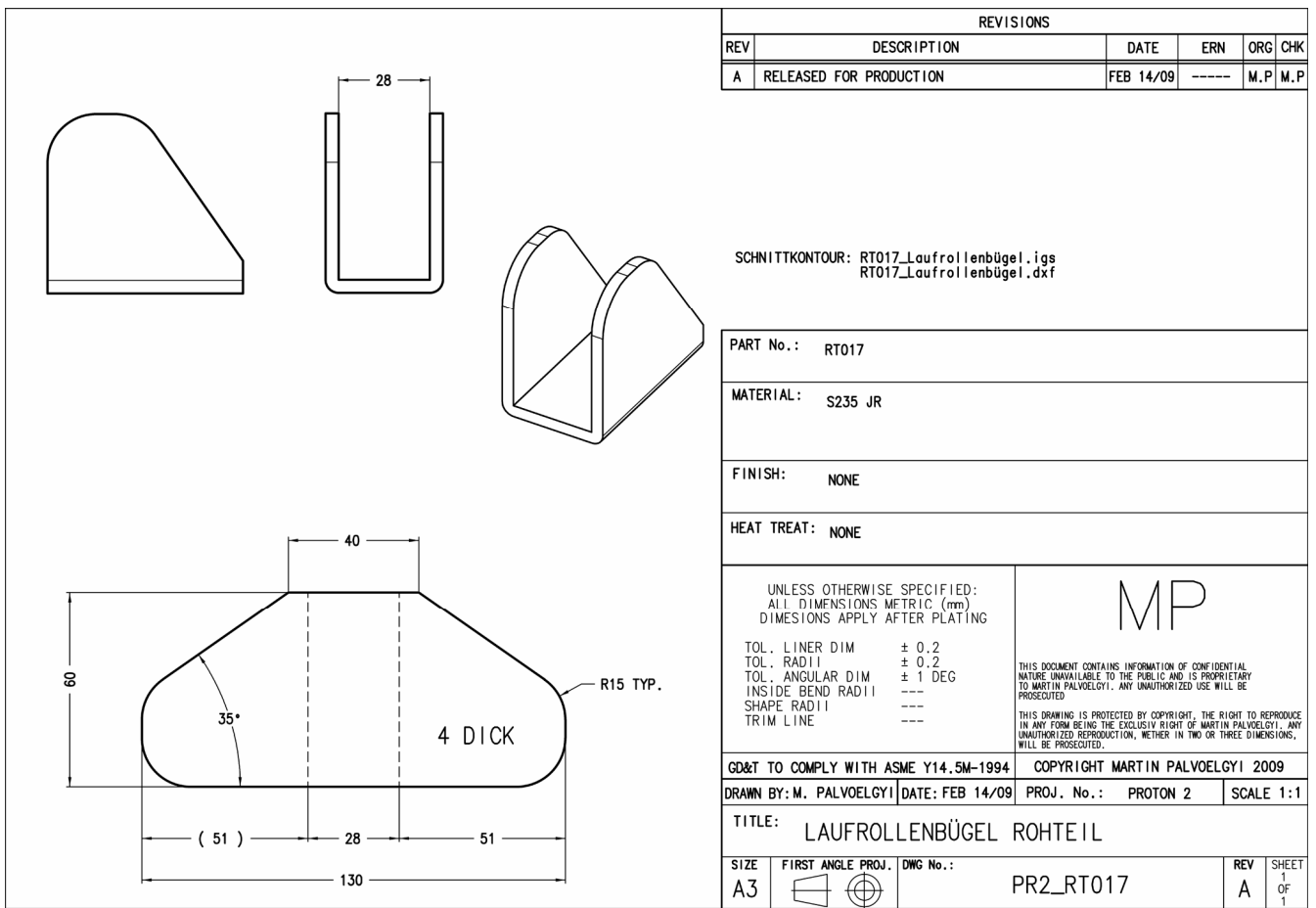
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: ALL DIMENSIONS METRIC (mm) DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING	MP
TOL. LINER DIM ± 0.2	<small>THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY PROPERTY OF PALVÖLGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.</small> <small>THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE SOLE PROPERTY OF MARTIN PALVÖLGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WHETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.</small>
TOL. RADI I ± 0.2	
TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG	
INSIDE BEND RADI I ---	
SHAPE RADI I ---	
TRIM LINE ---	

GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994	COPYRIGHT MARTIN PALVÖLGYI 2009
DRAWN BY: M. PALVÖLGYI	DATE: FEB 13/09
PROJ. No.:	PROTON 2
SCALE	1:1

TITLE: SÄULE DECKEL ROHTEIL

SIZE	FIRST ANGLE PROJ.	DWG No.:	REV	SHEET
A2		PR2_RT016	A	1

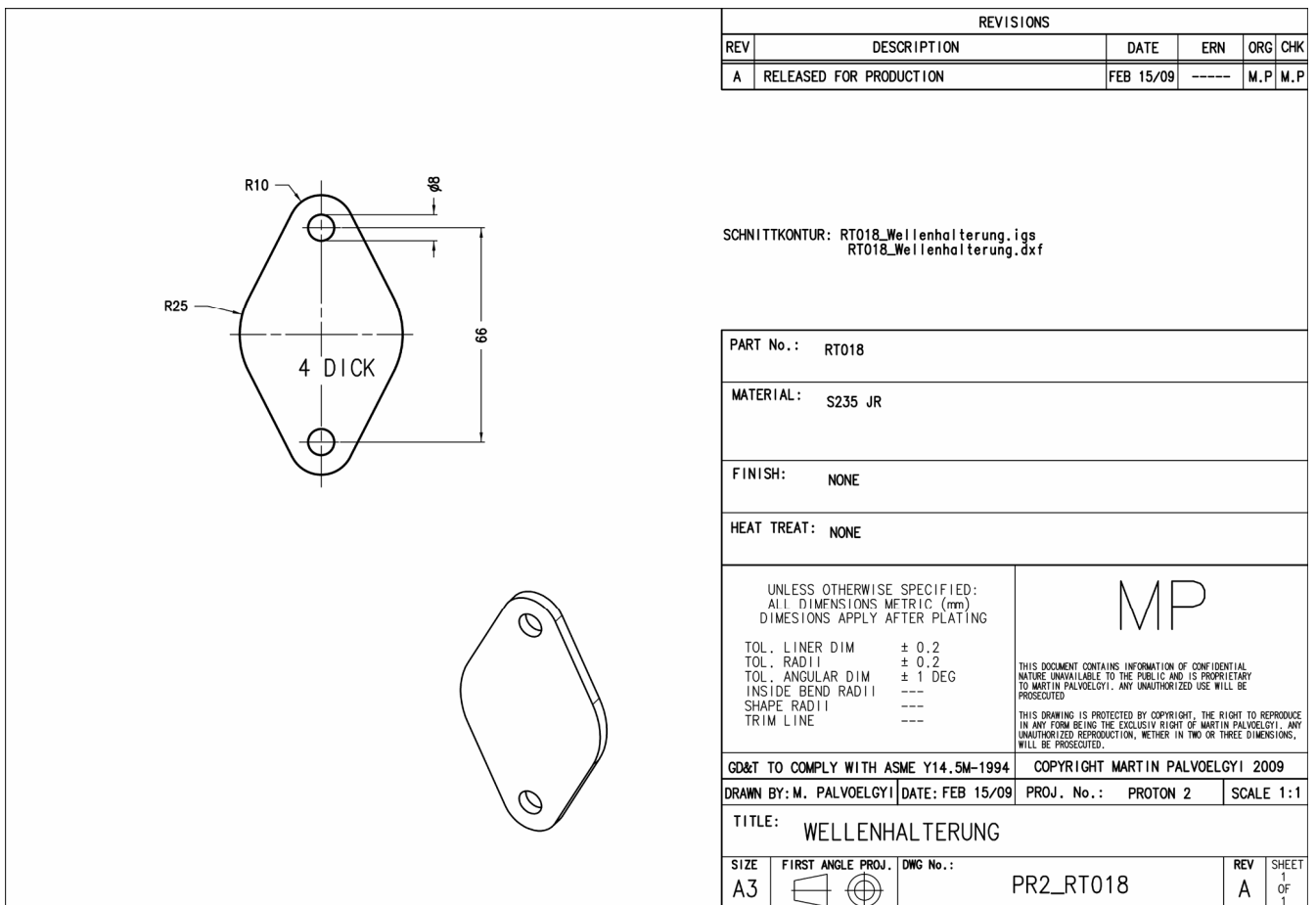




REVISIONS				
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG CHK
A	RELEASED FOR PRODUCTION	FEB 14/09	-----	M.P M.P

SCHNITTKONTUR: RT017_Laufrollenbügel.igs
RT017_Laufrollenbügel.dxf

PART No.: RT017	
MATERIAL: S235 JR	
FINISH: NONE	
HEAT TREAT: NONE	
<p>UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: ALL DIMENSIONS METRIC (mm) DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING</p> <p>TOL. LINER DIM ± 0.2 TOL. RADII ± 0.2 TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG INSIDE BEND RADII --- SHAPE RADII --- TRIM LINE ---</p>	<p>MP</p> <p>THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY TO MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.</p> <p>THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE EXCLUSIVE RIGHT OF MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WHETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.</p>
GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994 COPYRIGHT MARTIN PALVOELGYI 2009	
DRAWN BY: M. PALVOELGYI DATE: FEB 14/09 PROJ. No.: PROTON 2 SCALE 1:1	
TITLE: LAUFROLLENBÜGEL ROHTEIL	
SIZE A3	<p>FIRST ANGLE PROJ. DWG No.: PR2_RT017</p> <p>REV A SHEET 1 OF 1</p>



REVISIONS				
REV	DESCRIPTION	DATE	ERN	ORG CHK
A	RELEASED FOR PRODUCTION	FEB 15/09	-----	M.P M.P

SCHNITTKONTUR: RT018_Wellenhalterung.igs
RT018_Wellenhalterung.dxf

PART No.: RT018	
MATERIAL: S235 JR	
FINISH: NONE	
HEAT TREAT: NONE	
<p>UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: ALL DIMENSIONS METRIC (mm) DIMENSIONS APPLY AFTER PLATING</p> <p>TOL. LINER DIM ± 0.2 TOL. RADII ± 0.2 TOL. ANGULAR DIM ± 1 DEG INSIDE BEND RADII --- SHAPE RADII --- TRIM LINE ---</p>	<p>MP</p> <p>THIS DOCUMENT CONTAINS INFORMATION OF CONFIDENTIAL NATURE UNAVAILABLE TO THE PUBLIC AND IS PROPRIETARY TO MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED.</p> <p>THIS DRAWING IS PROTECTED BY COPYRIGHT. THE RIGHT TO REPRODUCE IN ANY FORM BEING THE EXCLUSIVE RIGHT OF MARTIN PALVOELGYI. ANY UNAUTHORIZED REPRODUCTION, WHETHER IN TWO OR THREE DIMENSIONS, WILL BE PROSECUTED.</p>
GD&T TO COMPLY WITH ASME Y14.5M-1994 COPYRIGHT MARTIN PALVOELGYI 2009	
DRAWN BY: M. PALVOELGYI DATE: FEB 15/09 PROJ. No.: PROTON 2 SCALE 1:1	
TITLE: WELLENHALTERUNG	
SIZE A3	<p>FIRST ANGLE PROJ. DWG No.: PR2_RT018</p> <p>REV A SHEET 1 OF 1</p>