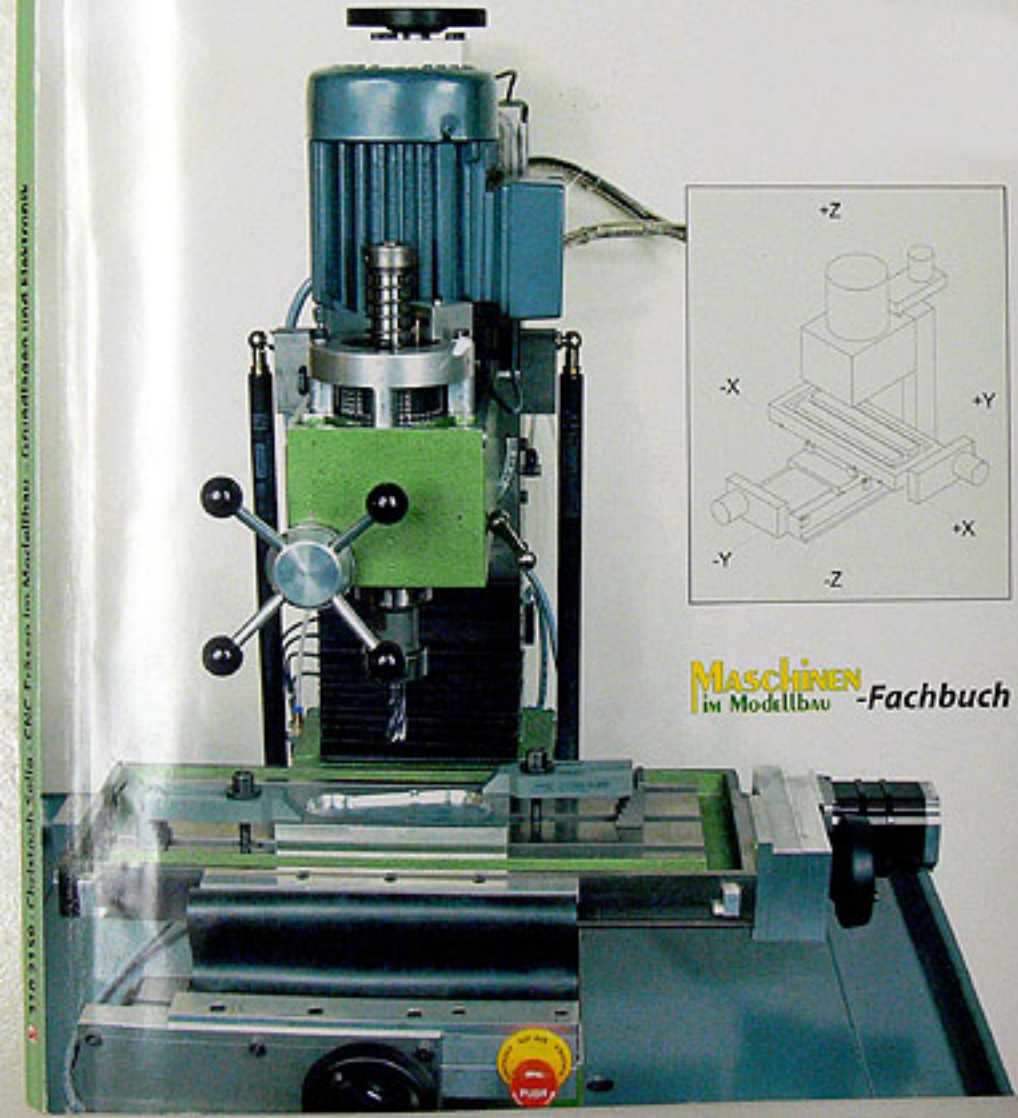
CNC-Fräsen im Modellbau

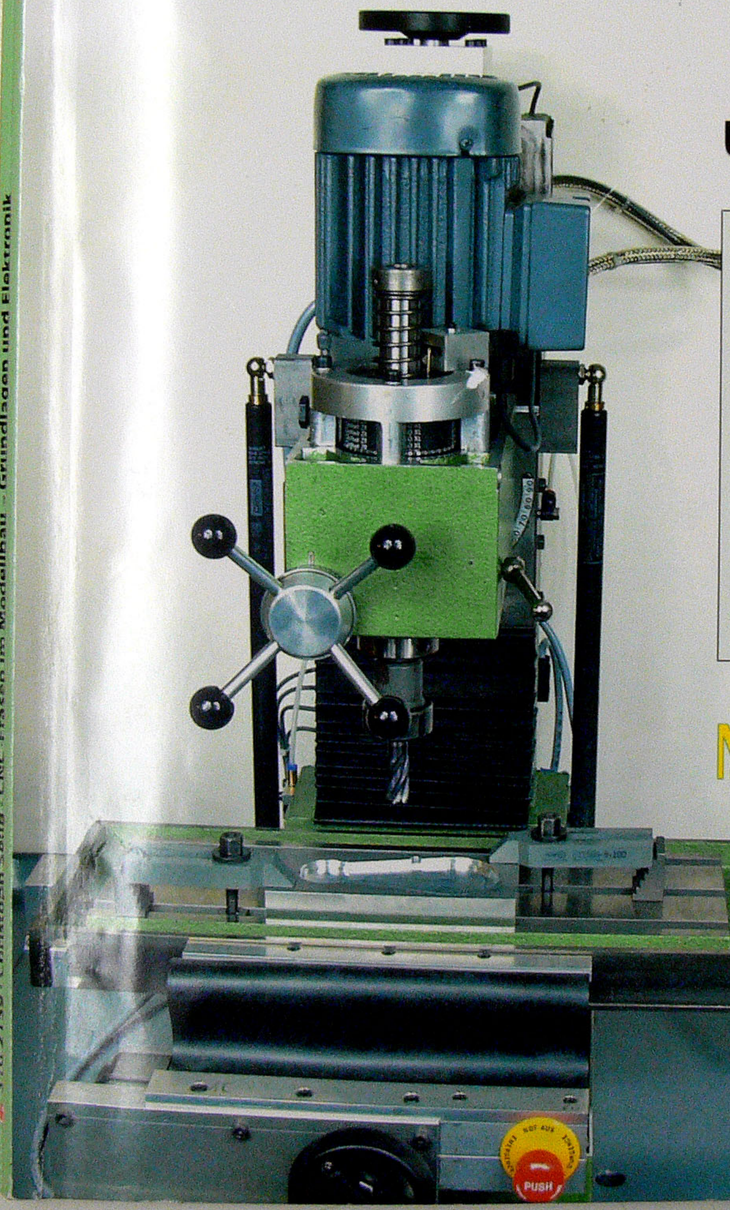


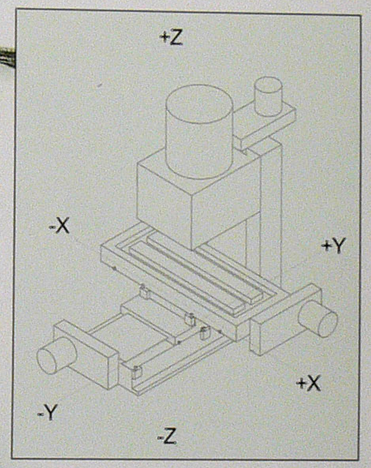
MASCHINEN im Modellbau -Fachbuch

CNC-Fräsen im Modellbau

Christoph Selig

Grundlagen und Elektronik





MASCHINEN im Modellbau -Fachbuch

370 3150 · Christoph Selig · CNC Fräsen im Modellbau - Grundlagen und Elektronik

CNC Fräsen und Drehen

CNC-Anbausätze für Fräs- und Drehmaschinen der Optimum/quantum Serie.

- **CNC-CAD-CAM-Software**
- **Schrittmotoren**
- **Komplettsteuerungen**
- **Anbausätze**



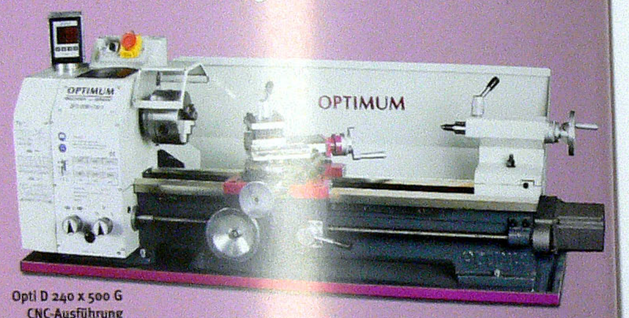
Fordern Sie kostenlos unseren Optimum/quantum Hauptkatalog an. Oder downloaden unter www.optimum-maschinen.de



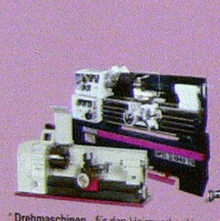
Opti BF 20 Vario
CNC-Ausführung



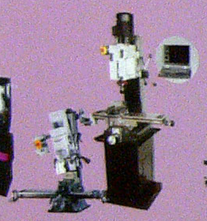
"1:6 Scale" Fahrwerk einer F22. Flugzeugmodell mit Strahlturbinen-Antrieb. Das Fahrwerk ist pneumatisch einziehbar, gefedert und mit einer Radbremse versehen. Alle Teile (außer der Stoßdämpfer) sind mit PCDreh gedreht und gefräst.



Opti D 240 x 500 G
CNC-Ausführung



Drehmaschinen - für den Heimwerker bis zum Profi - auch mit **CNC-Steuerung**"
- von 250-1530 mm Spitzenweite
- von 140 mm bis zu 460 mm Dreh-Ø
- **von € 450,- bis € 17.900,-**



Fräsmaschinen mit Keilriemen-, Getriebe- oder stufenlosen Antrieb"
- von 20-32 mm Fräsleistung
- **von € 650,- bis € 23.900,-**



Bandsägen universell einsetzbar"
- von 90-254 mm Rundmaterial
- tragbar, fahrbar oder stationär
- **von € 219,- bis € 4.290,-**



Tisch- und Säulenbohrmaschinen universell einsetzbar - auch stufenlos"
- von 13-32 mm Bohrleistung (Stahl)
- von 350 W - 1500 W
- von € 79,- bis € 5.990,-



Schleifmaschinen für die Werkstatt zum Schleifen von Metall"
- Doppelschleifer und Poliermaschinen
- Bohrer-Schleifgeräte
- **von € 69,- bis € 849,-**

"zzgl. MwSt. / Technische und optische Änderungen vorbehalten. Preise freibleibend. Abb. mit opt. Zubehör

Das Komplettprogramm + umfangreiches Zubehör.
Fordern Sie unseren kostenlosen Hauptkatalog an!

www.optimum-maschinen.de

OPTIMUM®
MASCHINEN - GERMANY

Christoph Selig

CNC-Fräsen im Modellbau

Grundlagen und Elektronik

CNC-Fräsen im Modellbau

Grundlagen und Elektronik

Christoph Selig

Verlag für Technik und Handwerk
Baden-Baden

MASCHINEN im Modellbau-Fachbuch

Best.-Nr.: 310 2159

Redaktion: Oliver Bothmann
Lektorat: Dr. Frank Kind

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische
Daten sind im Internet über http://dnb.ddb.de abrufbar.

ISBN 3-88180-759-4

© 1. Auflage 2006 by Verlag für Technik und Handwerk
Postfach 22 74, 76492 Baden-Baden

Alle Rechte, besonders das der Übersetzung, vorbehalten. Nachdruck
und Vervielfältigung von Text und Abbildungen, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlages.

Printed in Germany
Druck: WAZ-Druck, Duisburg

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 11
1. Grundlagen 13
1.1. Warum CNC-Technik für den Hobbybereich? 13
1.2. Anwendungen der CNC-Technik 16
1.3. Fräs- oder Drehmaschine? 16
1.4. Aufbau einer CNC-Fräsmaschine 17
1.4.1. Typen von Fräsmaschinen 17
1.4.1.1. Flachbett- oder Portalmaschinen 17
1.4.1.2. „Konventionelle“ Fräsmaschinen mit CNC-Steuerung 18
1.4.1.3. Die Freuden des Selbstbaus 19
1.4.2. Koordinatensysteme 20
1.4.2.1. Das rechtwinklige Koordinatensystem 21
1.4.2.2. Das polare Koordinatensystem 22
1.4.3. Achsantriebe 22
1.4.3.1. Antriebe mit Gleichstrom-Servomotor 22
1.4.3.2. Antriebe mit Drehstrom-Servomotor 23
1.4.3.3. Antriebe mit Schrittmotor 23
1.4.4. Positionsbestimmung 23
1.4.4.1. Direkte Messung 23
1.4.4.2. Indirekte Messung 23
1.4.4.3. Vertrauens-Messsystem 23
1.4.5. Absolute und inkrementelle Wegmessung 24
1.4.6. Maschinennullpunkt 24
1.4.7. Referenzposition, Referenzfahrt 25
1.4.8. Endschalter 26
1.5. Spindelantrieb 26
1.5.1. Drehzahlregelung 26
1.5.2. Rückmeldung der Spindeldrehzahl 27
1.6. Die Steuerungsarten 27
1.6.1. Punktsteuerung 27
1.6.2. Streckensteuerung 27
1.6.3. Bahnsteuerung 27

1.7. Die Software 28
1.8. Die Steuerelektronik 30
1.9. Der Computer 32
1.10. Fräsprogramme 32
1.10.1. NC-Programme nach DIN 66025 32
1.10.2. Erstellen von NC-Programmen nach DIN 66025 33
1.10.3. Fräsprogramme in HP-GL 34
2. Schrittmotoren 35
2.1. Was ist ein Schrittmotor? 35
2.2. Wie funktioniert der Schrittmotor? 36
2.2.1. Der Hybridmotor 36
2.2.2. Das Prinzip der Ansteuerung 36
2.2.3. Haltemoment 37
2.3.4. Aufbau und Polzahl eines realen Motors 37
2.3.5. Die Ansteuerung des Schrittmotors 38
2.3.5.1. Motorphasen 38
2.3.5.2. Vollschritt 38
2.3.5.3. Halbschritt 39
2.3.5.4. Mikroschritt 39
2.3.6. Wicklungsausführungen 39
2.3.6.1. Wicklungen für den Betrieb mit konstanten Spannungen 40
2.3.6.2. Wicklungen für den Betrieb mit konstanten Strömen 40
2.3.6.3. Motoren mit vier Anschlüssen 40
2.3.6.4. Motoren mit sechs Anschlüssen 40
2.3.6.5. Motoren mit acht Anschlüssen 40
2.3.6.6. Jede andere Anschlussanzahl 41
2.3.7. Warnung: Fremdantrieb des Schrittmotors 41
2.3.8. Kenngrößen eines Schrittmotors 42
2.3.8.1. Anzahl der Phasen 42
2.3.8.2. Schrittwinkel, Anzahl der Schritte 42
2.3.8.3. Haltemoment 42
2.3.8.4. Drehmoment 42
2.3.8.5. Beschleunigungs- und Bremsrampen 44
2.3.8.6. Phasenstrom 44
2.3.8.7. Nennspannung 45
2.3.8.8. Wicklungswiderstand, Wicklungsinduktivität 45
2.3.9 Beispiele für Schrittmotoren 45

3. Die Steuerung 46
3.1. Die Bestandteile der Steuerung 46
3.1.1. Netzteil 46
3.1.2. Netzversorgung 46
3.1.3. Endstufen 47
3.1.4. Maschinen-Schnittstelle 47
3.1.5. Verteiler 47
3.1.6. Optokoppler 47
3.1.7. Computerschnittstellen 47
3.1.8. LED-Anzeigen 48
3.2. Vereinfachte Steuerung 48
3.3. Die Endstufen 48
3.3.1. H-Brücken 48
3.3.2. Stromregelung 51
3.3.3. Integrierte Schaltungen für die H-Brücken 54
3.3.3.1. L298 von ST Microelectronics 55
3.3.3.2. L6203 von ST Microelectronics 55
3.3.3.3. A3977 von Allegro Micro Systems 56
3.3.3.4. LMD18245 von National Semiconductor 56
3.3.4. Integrierte Schaltungen für den Translator 57
3.3.5. Die Prinzipschaltung der Endstufe 57
3.3.5.1 Erzeugen der Referenzspannung, Prinzipschaltung 58
3.3.5.2 Erzeugen der Referenzspannung, praktische Schaltung 58
3.3.5.2.1. Stromanhebung im Halbschrittbetrieb 60
3.3.5.2.2. Sleep 60
3.3.5.2.3. Boost 61
3.3.5.3. Der Oszillator 61
3.3.5.4. Einstellen Halb-/Vollschritt und Chopping 61
3.3.5.5. Enable 61
3.3.5.6. STEP und DIR 61
3.3.6. Die konkret ausgeführte Endstufe 62
3.4. Die Stromversorgung 62
3.4.1. Die +42-V-Versorgung 64
3.4.2. Die +5-V/2-Versorgung 65
3.4.3. Die +5-V/1-Versorgung 66
3.4.4. Die +12-V-Versorgung 66
3.4.5. Sicherungen 66
3.5. Die Netzversorgung 66
3.5.1. Netzfilter 66
3.5.2. Schutz vor Berührung 67
3.5.3. Netzspannungs-Relais 67
3.5.4. Anschluss des Spindelmotors ohne Frequenzumrichter 67
3.5.5. Einschaltstrombegrenzung 67

3.6. Die Maschinen-Schnittstelle 67
3.6.1 Referenzschalter 68
3.6.2. Endschalter 69
3.6.3. Spindel-Index 69
3.6.4. Werkzeuglängen-Sensor 70
3.6.5. Frequenzumrichter 70
3.6.6. Simulation der Endschalter durch D1–D3 73
3.6.7. Die Signale der Schnittstelle 73
3.6.8. Die Schaltung der Maschine 74
3.7 Der Verteiler 74
3.7.1. Computer-Schnittstellen und Rangierfeld 75
3.7.2. Die Aufbereitung der Schrittimpulse 76
3.7.3. Die Aufbereitung der Signale von der Maschinen-Schnittstelle 77
3.7.4. Die Erzeugung der Signale für den Frequenzumrichter 79
3.7.5. Auswertung der End- und Notschalter, Sicherheitsschaltungen 82
3.7.5.1. CHARGE_PUMP, ENABLE_OUT 82
3.7.5.2. /ESTOP 83
3.7.5.3 LIMIT, /E_OFF 84
3.8 Der Optokoppler 84
3.9. Die LED-Anzeige 87
4. Platinenherstellung und Bestückung 89
4.1. Aufbau und Herstellung einer Platine 89
4.1.1. Basismaterial 91
4.1.2. Filme 92
4.1.3. Belichten 94
4.1.4. Entwickeln 96
4.1.5. Ätzen 98
4.1.6. Bohren 99
4.1.7. Entschichten, Lötlack 100
4.1.8. Löten 100
4.1.9. Fehler und Probleme 102
4.1.10. Die Bauteile 102
4.1.10.1 Widerstände 102
4.1.10.2. Kondensatoren 104
4.1.10.3. Integrierte Schaltungen 104
4.1.10.4 Dioden 104
4.1.10.5. Sonstige Bauelemente 105
4.2. Bestücken 105
4.2.1. Netzteil bestücken 107
4.2.2. Netzversorgung bestücken 109
4.2.3. Endstufen bestücken 109
4.2.4. Verteiler bestücken 110
4.2.5. Optokoppler bestücken 111
4.2.6. LED-Anzeige bestücken 112
4.2.7. Maschinen-Schnittstelle bestücken 112

5. Zusammenbau von Gehäuse und Netzteil 113
5.1. Gehäuse 113
5.2. Flachbandkabel und Pfostenverbinder 115
5.3. Anschlusskabel für die Endstufen 116
5.4. Messgerät 117
5.5. Vorbereitung der Frontplatte 117
5.6. Montage der Rückwand 120
5.7. Montage der Platinenschienen und der Chassisplatte 120
5.8. Montage der Zwischenplatte 120
5.9. Test der Stromversorgung 121
5.10. Test der Netzversorgung 122
5.11. Einbau des Netzteils 123
6. Test und Einbau der restlichen Platinen 124
6.1. Endstufen 124
6.2. Verteiler 126
6.2.1. Statische Prüfungen 127
6.2.2. Referenzschalter, DIGI_PROBE, S_INDEX 127
6.2.3. ENABLE 127
6.2.4. Not-Aus-Logik 128
6.2.5. Steuerung Spindelmotor 128
6.3. Optokoppler 129
6.4. LED-Anzeigen 129
6.5. Maschinen-Schnittstelle 130
6.6. Einbau der Platinen und Verkabelung 130
7. Installation der Software „Mach3“ und Inbetriebnahme 132
7.1. Anforderungen an die Systemsoftware 132
7.2. Installation von „Mach3“ 132
7.3. Treiber-Test nach Softwarefehler 133
7.4. Konfiguration 133
7.4.1. Druckerport-Adressen (Port Setup and Axis Selection) 134
7.4.2. Belegung der Druckerschnittstellen 135
7.4.3. Motor-Ausgänge (Motor Outputs) 137
7.4.4. Eingangssignale (Input Signals) 137
7.4.5. Ausgangssignale (Output Signals) 138
7.4.6. Konfigurieren der Spindelsteuerung (Spindle Setup) 139
7.4.6.1. Werkzeugspindel nur ein/aus 139
7.4.6.2. Werkzeugspindel über Frequenzumrichter 139
7.4.6.3. Allgemeine Parameter (General Parameters) 140
7.4.6.4 Kühlung (Flood/Mist relays) 140
7.4.6.5 Spezielle Funktionen (Special Functions) 140
7.4.7. Tastenbelegung (System Hotkeys) 140
7.5. Konfigurationen mit nur einer Druckerschnittstelle 141
7.5.1. Drei Achsen, Regelung Spindeldrehzahl 142
7.5.2. Vier Achsen, Spindel ein/aus 142
7.5.3. Drei Achsen, Spindel ein/aus, Werkzeuglängensensor 142
7.5.4. Drei Achsen, Spindel ein/aus, Rückmeldung Spindeldrehzahl 143

7.6. Inbetriebnahme der Steuerung 143
7.6.1. Der Diagnose-Bildschirm 143
7.6.2. Das Signal „Enable“ 144
7.6.3. End-, Referenz- und Notschalter 145
7.6.4. Prüfen der Relais 145
7.6.5. Endstufen und Schrittmotoren 145
7.6.6. Motor-Drehrichtung, Referenzfahrt, Grenzen (Motor Home/Soft Limits) 147
7.6.6.1. Einstellen der Motor-Drehrichtung 147
7.6.6.2. Einstellen der Referenzfahrt 148
7.6.6.3. Software-Limits 148
7.6.6.4. Kompensation des Spindelspiels (Backlash) 149
7.6.7. Einstellen der Werkzeugspindel 149
8. Anhang 150
8.1. Schnittstellenbelegung 151
8.2. Einstellung der Jumper 152
8.3. Liste der verwendeten Kabel 153
8.4. Bezugsquellen 153
8.4.1. Elektronische Bauteile 153
8.4.2. Schrittmotoren und Steuerungen 153
8.5. Literaturverzeichnis 154
8.6. Datenblätter 154
8.6.1. ICs für Schrittmotor-Endstufen 154
8.6.2. Sonstige Elektronikbausteine 154
8.7. Hilfreiche Internet-Links 154
8.7.1. CNC-Hardware und Software 154
8.7.2 Sonstiges 155
8.7.3. Hersteller/Anbieter von CNC-Fräsmaschinen 155
8.7.4. Internet-Foren 155
8.7.4.1. Roboternetz 155
8.7.4.2. „Mach2“/„Mach3“-Benutzerforum 155
8.7.4.3. NC-Step-Benutzerforum 155
8.7.4.4. Peters CNC-Ecke 156
8.7.5 Private Webseiten über den Bau von CNC-Maschinen 156
8.7.6. Die Webseite des Autors 156
8.7.7. Dateidownload 156

Vorwort

Als ich mich vor einiger Zeit entschloss, mich näher mit dem Thema CNC-Technik zu befassen, stellte ich rasch fest, dass es keine Literatur gab, die den Aufbau und die Nutzung von CNC-Maschinen für den Hobbybereich konkret behandelte. Zumindest habe ich keine gefunden. Natürlich gab und gibt es Beiträge im Internet, entweder in den entsprechenden Foren oder auf den Homepages von Hobbykollegen, die den Umbau Ihrer Maschinen beschreiben. Mit Hilfe dieser Informationen und einigen Fachbüchern über Elektronik, CNC-Technik und Schrittmotorsteuerungen habe ich dann meine eigenen Maschinen umgebaut, die zugehörigen elektronischen Steuerungen entwickelt und mich in die NC-Programmierung nach DIN eingearbeitet. Das alles hat mehr als zwei Jahre und eine Menge Lehrgeld gekostet. Ich habe mich dann entschlossen, dieses Buch zu schreiben, um anderen an dieser Technik Interessierten den Weg zur eigenen CNC-Maschine so weit wie möglich zu ebnen.

Das Buch behandelt den grundsätzlichen Aufbau von CNC-Fräsmaschinen, die Technik der Achsantriebe mit Schrittmotoren und der dazu notwendigen Elektronik, den konkreten Aufbau einer Schrittmotorsteuerung einschließlich der Herstellung der notwendigen gedruckten Schaltungen und die Basis-Konfiguration einer Steuerungssoftware.

Alle notwendigen Unterlagen, Schaltbilder, Filme für die Leiterplatten, Stücklisten und Bezugsquellen finden Sie auf der Homepage des Verlages, http://maschinen.vth.de im Bereich Downloads. Damit sollte es Ihnen möglich sein, die beschriebene Steuerungselektronik erfolgreich aufzubauen. Im Anhang finden Sie ein Verzeichnis aller Dateinamen und deren Inhalt.

Ich habe mich bemüht, die technischen Zusammenhänge so einfach wie möglich darzustellen, Elektronik-Experten mögen mir die vielleicht unzulässigen Vereinfachungen nachsehen. Dennoch brauchen Sie ein gewisses Basis-Verständnis für die Elektronik und sollten in der Lage sein, einen Schaltplan zu lesen. Wenn nicht, sollten Sie sich vielleicht ein Buch über die Grundlagen von Elektrotechnik und Elektronik kaufen und es durcharbeiten. Eine gute Informationsquelle ist auch das Elektronik-Kompendium im Internet: www.elektronik-kompendium.de. Sollten Sie sich trotz allem den Aufbau der Elektronik nicht zutrauen, dann spricht nichts dagegen, fertige und geprüfte Bausteine der Anbieter zu verwenden, die ich im Bezugsquellenverzeichnis aufgelistet habe. Dieses Buch soll Ihnen auch dazu die Grundlagen vermitteln.

Im Buch wird sehr oft als Bezugsquelle die Firma Reichelt Elektronik genannt. Ich möchte betonen, dass ich lediglich ein zufriedener Kunde bin, mich aber sonst nichts mit der Firma verbindet. Das gilt auch für alle anderen genannten Bezugsquellen. Die Preise, die Sie im Buch finden, sind inklusive 16 % Mehrwertsteuer und auf dem Stand von

Anfang 2006. Ich habe die Preise sorgfältig recherchiert, übernehme aber natürlich keine Gewähr für deren Richtigkeit.

Die in diesem Buch vorgestellten Schaltungen und Platinenlayouts sind mein geistiges Eigentum. Sie dürfen sie für private Zwecke frei verwenden. Für den kommerziellen Einsatz brauchen Sie meine schriftliche Genehmigung.

In den folgenden Bänden dieser Reihe werde ich den Umbau von Fräsmaschinen auf CNC-Steuerung, den kompletten Neubau einer Portal-Fräsmaschine, die NC-Programmierung nach DIN 66025 und den Bau von Zusatzeinrichtungen behandeln.

Ein Wort der Warnung zum Abschluss: Eine computergesteuerte Werkzeugmaschine kann sehr gefährlich sein, wenn sie außer Kontrolle gerät. Der Computer ist dumm und zieht das einmal vorgegebene Programm gnadenlos durch, auch wenn eines Ihrer Körperteile im Wege sein sollte. Um es drastisch auszudrücken: Der Computer hat keine Ohren und hört Ihre Schreie nicht! Der Aufwand für Sicherungsschaltungen in der beschriebenen Steuerung mag Ihnen vielleicht übertrieben vorkommen, ich halte ihn aber für erforderlich.

Beim Bau der Steuerung werden Sie es auch mit der Netzspannung von 230 V zu tun bekommen. Denken Sie daran, dass diese Spannung tödlich sein kann, und lassen Sie die notwendige Vorsicht walten. Wenn Sie sich nicht absolut sicher sind, das Richtige zu tun, ziehen Sie einen Fachmann hinzu.

Autor und Verlag übernehmen keinerlei Haftung für etwaige Schäden, die durch den Nachbau und die Inbetriebnahme der in diesem Buch vorgeschlagenen Schaltungen sowie durch die Anwendung der beschriebenen Vorgehensweisen und Verfahren entstehen könnten. Sie sind als Erbauer allein für die Einhaltung der einschlägigen VDE-, CE- und EMV-Richtlinien verantwortlich.

Ich hoffe, ich habe Sie damit nicht vom Bau Ihrer eigenen CNC-Maschine abgeschreckt und wünsche Ihnen mindestens so viel Spaß dabei, wie ich ihn hatte. Sollten Sie Fehler oder Ungereimtheiten finden oder Fragen haben, dann schreiben Sie einfach eine E-Mail an info@einfach-cnc.de. Ich werde, im Rahmen meiner Möglichkeiten, Ihre Frage rasch beantworten.

Düsseldorf, im März 2006
Christoph Selig

1. Grundlagen

1.1. Warum CNC-Technik für den Hobbybereich?

NC-Maschinen, die Vorläufer der CNC-Technik, sind keine Entwicklung der letzten Jahre. Die erste NC-Fräsmaschine lief bereits 1952 im amerikanischen Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.). Sie wurde mit Elektronenröhren gesteuert und konnte simultan drei Achsen linear bewegen. Das Fräsprogramm wurde über Lochstreifen eingegeben. Im Jahr 1960 wurden Steuerungen mit Transistortechnik eingeführt, 1972 gab es die erste Steuerung mit eingebautem Computer; dies war zugleich der Übergang von NC (Numerical Control) zu CNC (Computer Numerical Control). Seit dem Jahr 2000 gibt es CNC-Maschinen mit Internet-Schnittstelle – damit sind der weltweite Austausch von Bearbeitungsprogrammen und die Fernwartung der Maschinen möglich.

Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen, NC- oder CNC-Maschinen genannt, gehören heute zum Standard der modernen Fertigung. Auch Handwerksbetriebe bedienen sich dieser, mittlerweile hoch entwickelten, Technik. Da liegt es nahe, dass sich ebenso der ambitionierte Hobbytechniker mit dieser Materie beschäftigt.

Natürlich fragen Sie sich, ob diese relativ komplizierte und teure Technologie im Hobbybereich überhaupt sinnvoll einzusetzen ist. Schauen wir uns deshalb erst einmal an, warum die Industrie CNC-Maschinen statt konventioneller Werkzeugmaschinen verwendet:

1. Auch sehr komplizierte Werkstücke lassen sich leicht herstellen.
2. Kürzere Durchlaufzeiten, damit kürzere Lieferzeiten.
3. Höhere Flexibilität der Fertigung.
4. Kleinere optimale Losgrößen.
5. Gleich bleibende Genauigkeit, unabhängig vom Maschinenbediener.
6. Reduzierte Prüfkosten.
7. Weniger Ausschuss.
8. Ein Mitarbeiter kann mehrere Maschinen bedienen – geringere Personalkosten.
9. Größere Fertigungskapazität bei gleichen Raumkosten.
10. Integration von Konstruktion und Fertigung über CAM (Computer Aided Manufacturing, Produktion mit Computerunterstützung).

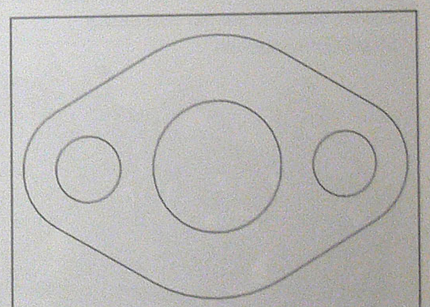


Abb. 1: Die CAD-Zeichnung einer Stopfbüchsenbrille

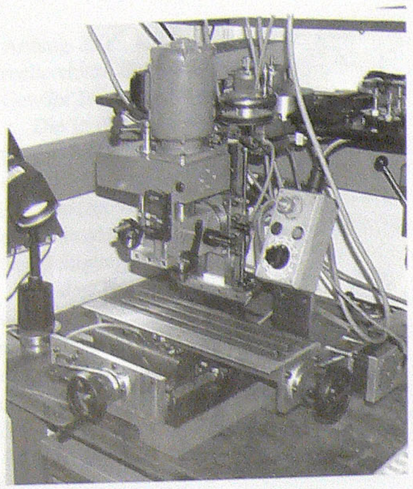


Abb. 2: Meine erste selbst gebaute CNC-Fräsmaschine

Während alle diese Punkte für einen Industriebetrieb eine hohe Bedeutung haben, sind für den Hobbytechniker nur die Punkte 1, 5, 7 und 8 interessant, wobei der Punkt 1 der wichtigste sein dürfte. Zur Verdeutlichung möchte ich erzählen, was mich zum Bau meiner ersten CNC-Fräsmaschine veranlasst hat.

Ich hatte gerade eine Dreizylinder-Modelldampfmaschine, Kennern als Stuart-Triple bekannt, im Bau. Diese Maschine besitzt sechs Stopfbüchsen für die Kolben- und Schieberstangen. Zu den Stopfbüchsen gehören Stopfbüchsenbrillen, die eine relativ komplizierte Form haben. Zwar hätte ich diese Teile mit Hilfe eines Rundtischs anfertigen können, bei den geringen Abmessungen ist das jedoch ein recht schwieriges Unterfangen, Zeit raubend und mit einer hohen Ausschussrate behaftet. Dieses Problem, dem ich in der Vergangenheit des Öfteren begegnet bin, wollte ich nun ein für allemal lösen. Also habe ich meine Triple erst einmal für ein Jahr beiseite gelegt und mich in die CNC-Technik vertieft.

Das Resultat war meine erste CNC-Fräsmaschine mit einer Steuerungselektronik, die aus fertig gekauften und selbst gebauten Komponenten bestand. Das Ergebnis meiner Mühe zeigt Abb. 2. Mit dieser Maschine habe ich dann die sechs Stopfbüchsenbrillen meiner Triple gefräst, wie Abb. 3 beweist. Die Erstellung des Fräsprogramms für die Teile hat nur wenige Minuten in Anspruch genommen, das Fräsen selbst war innerhalb von zwei Stunden erledigt. Nach der konventionellen Methode hätte ich dafür sicherlich einen ganzen Tag benötigt. Auch die äußere Kontur des Zylinderblocks und die Zylinderdeckel mit ihren Bohrungen und Stopfbüchsen wurden mit

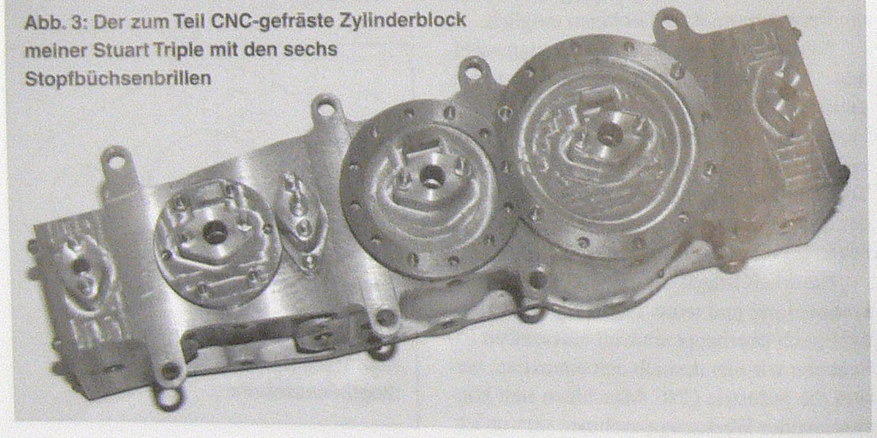


Abb. 3: Der zum Teil CNC-gefräste Zylinderblock meiner Stuart Triple mit den sechs Stopfbüchsenbrillen



Abb. 4: Die Halter der Umsteuerwelle, noch mit dem Rohmaterial verbunden

der CNC-Fräsmaschine hergestellt, mit einer Genauigkeit, die von Hand nur unter größten Schwierigkeiten erreichbar ist.

Speziell bei einem Modell wie der Stuart Triple, bei der viele Teile mehrfach angefertigt werden müssen, lohnt sich der Einsatz der CNC-Technik, wie z. B. bei den Haltern der Umsteuerwelle (Abb. 4) oder den Kulissen der Stephenson-Steuerung (Abb. 5).

Dies sind nur einige Beispiele, die sich beliebig fortführen lassen. Denken Sie nur an die Räder einer Modelldampflok, die Felgen eines Modellautos, die Tragflächenrippen eines Flugzeugs oder die Spanten eines Schiffs.

Eine interessante Fräsarbeit waren auch die Lufteintritte für die Lüfter in der Rückwand meiner Steuerung (Abb. 6) – eine Arbeit, die auf einer manuell bedienten Maschine nicht mehr möglich ist, weil das Blech mehr als 400 mm lang ist und sich kaum auf einem Rundtisch bearbeiten lässt.

Bisher haben wir nur Beispiele aus dem Bereich der zweidimensionalen Formen gesehen, die sich notfalls auch noch mit konventionellen Techniken anfertigen lassen. Wenn es aber in den Bereich der dreidimensionalen Bearbeitung geht, ist eine Herstellung der Bauteile praktisch nur noch mit CNC-Maschinen möglich. Ein gutes Beispiel dafür sind Schiffspropeller oder Schaufelräder für Modell-Gasturbinen.

Natürlich wird für die dreidimensionale Konstruktion und die Umsetzung in ein Fräsprogramm eine leistungsfähige Software benötigt, die leider auch nicht ganz billig ist.

Die einfache Fertigung komplizierter Werkstücke ist sicherlich der wichtigste Grund, CNC-Technik in der Hobbywerkstatt einzusetzen. Aber auch die gleich bleibende Genauigkeit, unabhängig vom Maschinenbediener, ist nicht zu vernachlässigen. Natürlich sind es fast immer wir selbst, die unsere Maschinen bedienen. Wer aber kennt sie nicht, die Tage, an denen man fast nur Ausschuss



Abb. 5: Kulissen der Stephenson-Steuerung

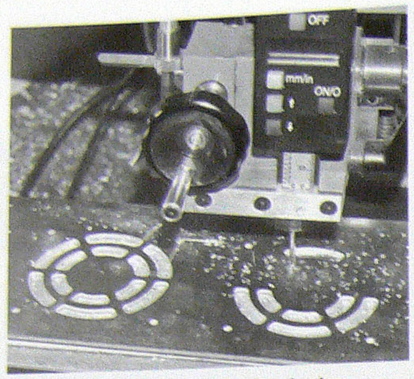


Abb. 6: Fräsen der Lufteintritte in der Rückwand des Steuerungsgehäuses

produziert? Einmal nur das Handrad der Fräsmaschine in die falsche Richtung gedreht, und das Teil ist hinüber. Das kann einer CNC-Maschine nicht passieren – sie ist einfach nicht „schlecht drauf".

Der Punkt 8: „Ein Mitarbeiter kann mehrere Maschinen bedienen – geringere Personalkosten", ist natürlich für uns, unter dem Gesichtspunkt der Personalkosten, nicht wirklich relevant. Andererseits empfinde ich es als sehr angenehm und Zeit sparend, an der Drehmaschine ein Teil anzufertigen, während die CNC-Fräsmaschine hinter mir weitere Teile ohne mein Zutun produziert.

1.2. Anwendungen der CNC-Technik

Es gibt heute praktisch keine Werkzeugmaschinen mehr, die nicht auch in einer CNC-Version zur Verfügung stehen. Die CNC-Fräsmaschine habe ich bereits erwähnt. Daneben gibt es aber auch die CNC-Drehmaschine und als Kombination mit der Fräsmaschine das CNC-Bearbeitungszentrum, das in einer Aufspannung Dreh- und Fräsarbeiten an einem Werkstück ausführt.

Weiterhin gibt es computergesteuerte Laser-, Wasserstrahl- und Plasma-Schneideanlagen für das Schneiden von Teilen aus Stahl, NE-Metallen, Kunststoff, Holz, Marmor, Granit, Glas oder Verbundwerkstoffen. Dazu kommen Erodiermaschinen, Sägemaschinen und auch solche mehr exotischen Dinge wie Nibbelmaschinen für die Blechbearbeitung oder Maschinen für das CNC-gesteuerte Biegen von Rohren.

Für den Hobbytechniker sind davon eigentlich nur die CNC-Fräsmaschine in Vertikalausführung oder als Portalmaschine und die CNC-Drehmaschine interessant – bei allen anderen Anwendungen sprengen allein die Kosten der eigentlichen Maschine ohne Steuerelektronik schon jeden vernünftigen Rahmen. Zum Beispiel kostet eine kleine Wasserstrahlschneideanlage schon ca. 35.000,- €!

1.3. Fräs- oder Drehmaschine?

Sehen wir einmal von relativ komplizierten Drehteilen wie Kugeln, Kegeln, Hohlkehlen oder großen Gewinden ab, so lässt sich fast jedes Drehteil relativ problemlos auch in konventioneller Technik herstellen. Dies trifft auf Frästeile nicht zu. Selbst Frästeile, an denen lediglich Rundungen mit konstantem Radius und Schrägen vorkommen, lassen sich nur mit Hilfe eines Rundtischs und mit mehrfachem Umspannen herstellen. Die notwendige Koordination, um diese Formen bloß durch Verstellen der Handräder zu erzeugen, bringt niemand auf.

Ich habe deshalb für mich entschieden, dass ich mich zunächst auf das CNC-Fräsen konzentriere, dementsprechend handelt dieses Buch auch nur davon. Allerdings werden beim CNC-Drehen dieselben Verfahren und Techniken wie beim Fräsen eingesetzt, bei der Drehmaschine müssen sogar nur zwei Achsen bewegt werden, bei der Fräsmaschine sind es mindestens drei. Die in diesem Buch vorgestellte Steuerungselektronik und die Software kann deshalb genauso auch zum Drehen eingesetzt werden. Ein Buch über den Umbau einer Drehmaschine auf CNC und deren Benutzung habe ich bereits in Planung.

1.4. Aufbau einer CNC-Fräsmaschine

1.4.1. Typen von Fräsmaschinen

Im Hobbybereich finden wir in der Regel zwei Arten von Fräsmaschinen, die sich grundsätzlich durch ihren Einsatzzweck unterscheiden.

1.4.1.1. Flachbett- oder Portalmaschinen

Beim Fräsen von flach liegenden, relativ weichen Materialien (z.B. Alubleche, Kunststoffplatten, MDF, Sperrholz), beim Bohren und Fräsen von Platinen sowie beim Gravieren von Schildern kommen meistens Flachbett- oder Portalmaschinen zum Einsatz.

Diese Maschinen haben einen relativ großen, meist feststehenden Tisch zum Aufspannen des Werkstücks. Der Fräsmotor ist an einem Portal befestigt, das über die gesamte Länge des Tischs fährt. An diesem Portal bewegt sich der Fräsmotor quer zur Längsachse. Damit ist jeder Punkt auf dem Werkstück erreichbar. Zum Eintauchen des Werkzeugs in das Werkstück hinein bewegt sich der Fräsmotor in der senkrechten Achse.

Auf Grund der Konstruktion und der verwendeten Materialien (meist Aluminium) ist es praktisch nicht möglich, mit diesen Maschinen härtere Materialien, etwa Stahl, Grauguss oder Bronze, zu bearbeiten. Sie sind aber sehr gut dafür geeignet, zweidimensionale Formen, z. B. Flügelrippen für Flugzeuge oder Spanten für Schiffe, aus Holzplatten zu fräsen oder Schilder zu gravieren. Auch für das Folienschneiden und das Fräsen dreidimensionaler Formen aus Kunststoff, zum Beispiel für Gussformen, eignen sich Portalmaschinen hervorragend. In der Elektronik benutzt man sie zum Isolationsfräsen von Leiterplatten (Platinen). Dabei werden die Leiterbahnen nicht durch Wegätzen, sondern durch Wegfräsen des überflüssigen Kupfers hergestellt. Auch für das Bohren der Leiterplatten sind sie sehr gut geeignet.

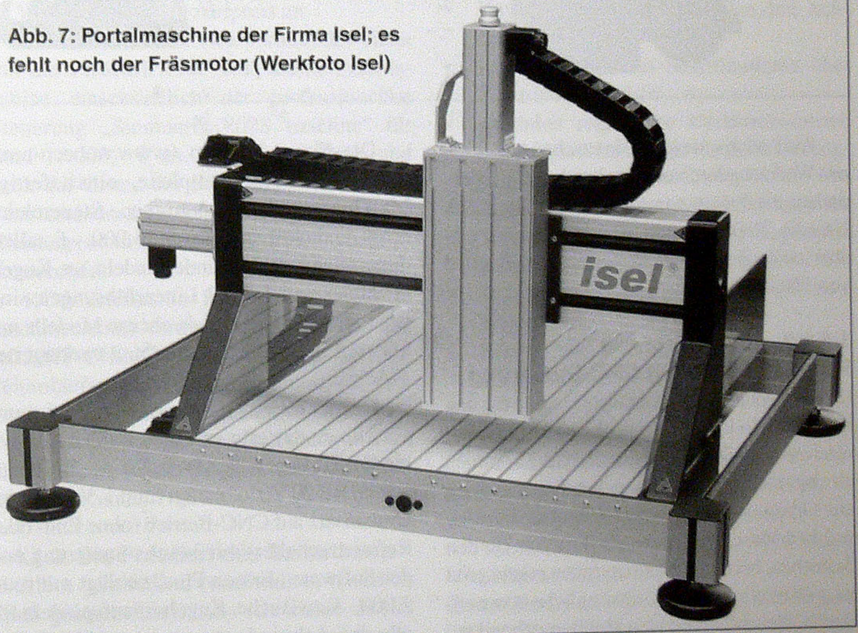


Abb. 7: Portalmaschine der Firma Isel; es fehlt noch der Fräsmotor (Werkfoto Isel)



Abb. 8: Die CNC-Fräsmaschine CC-F1200E der Firma Wabeco (Werkfoto Wabeco)

Weil relativ weiche Materialien mit kleinen Werkzeugdurchmessern bearbeitet werden, drehen die Fräsmotoren mit hoher Drehzahl. Um die 20.000 U/min sind normal, es gibt aber auch Hochfrequenzantriebe im Bereich von 100.000 U/min.

1.4.1.2. „Konventionelle" Fräsmaschinen mit CNC-Steuerung

Hobbymechaniker, die beispielsweise für den Bau von Modelldampfmaschinen oder Lokomotiven auch Stahl bearbeiten wollen, kommen an einer stabilen konventionellen Fräsmaschine aus Grauguss nicht vorbei. Während die Auswahl an Maschinen, auch als Bausätze für den Selbstbau, bei den Portalmaschinen relativ groß ist, gibt es nur wenige erschwingliche konventionelle Maschinen für den Hobbymechaniker.

Die Firma Wabeco (www.wabeco-remscheid.de) bietet komplette, einsatzfertige Maschinen mit Achsantrieben, Steuerelektronik und Software ab ca. 5.000,- €, allerdings ohne Kugelgewindespindeln, an. Kugelgewindespindeln und Linearführungen sind gegen Aufpreis erhältlich, ebenso Modelle mit höheren Spindeldrehzahlen und verlängerter x-Achse.

Bei der Firma Optimum (www.optimum-maschinen.de) gibt es einen Umbausatz für die BF 20 Vario. Der Preis für die Basismaschine BF 20 Vario beträgt rund 1.300,- €, der Umbausatz auf CNC-Betrieb (ohne End- oder Referenzschalter) mit 3-Achs-Steuerung und der Software „Fräsen Plus" schlägt mit rund 2.000,- € zu Buche. Kugelumlaufspindeln für alle drei Achsen kosten weitere 960,- €. Der

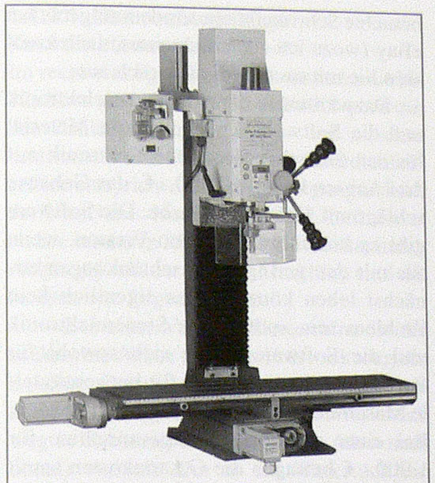


Abb. 9: BF 20 von Optimum, umgerüstet auf CNC-Betrieb (Werkfoto Optimum)

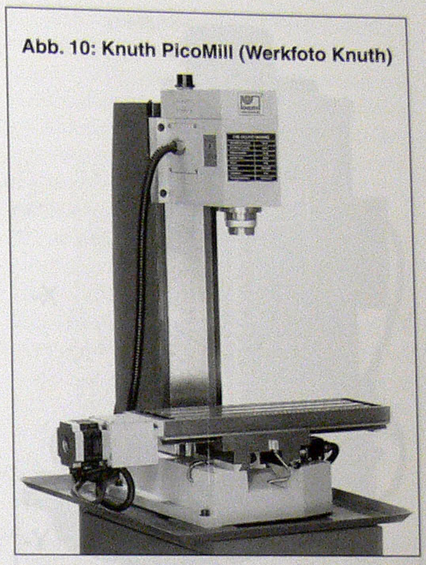


Abb. 10: Knuth PicoMill (Werkfoto Knuth)

Umbau wird vom Käufer selbst vorgenommen, Optimum bietet den Umbau aber auch ab Werk gegen einen Aufpreis an.

Knuth in Wasbek (www.knuth.de) bietet mit der PicoMill CNC eine kleine Fräsmaschine einschließlich der professionellen Steuerung „Sinumerik 802S baseline" für rund 15.000,- € an. Mit diesem Preis und auch auf Grund der Steuerung, die dem Industriestandard entspricht, ist die Maschine allerdings wohl nicht mehr dem Hobbybereich zuzuordnen.

RC-Machines in Luxemburg (www.rc-machines.com) vertreibt unter anderem die RC20BF-CNC2D, eine Maschine mit Kugelumlaufspindeln, Steuerung und der professionellen Software „MegaNC 2D" zum Preis von 9.998,- €. Die Basismaschine ist dabei offensichtlich baugleich mit der PicoMill von Knuth.

1.4.1.3. Die Freuden des Selbstbaus

Der Not gehorchend (und weil es natürlich Spaß gemacht hat), habe ich meine zweite CNC-Maschine auf der Basis einer gebrauchten Wabeco F 1200 E selbst gebaut (siehe Abb. 11). Die Maschine verfügt über:

- Kugelumlaufspindeln in allen drei Achsen,
- Antrieb durch drei Schrittmotoren über Zahnriemengetriebe,
- stufenlos regelbaren Drehstromantrieb mit Frequenzumrichter für die Werkzeugspindel,
- Regelung der Spindeldrehzahl über die Software im geschlossenen Regelkreis (Drehzahlabweichung kleiner als 0,1 %),
- Anzeige der Spindeldrehzahl auf dem Bildschirm,
- Rechts- und Linkslauf der Spindel über die Software,
- getrennte End- und Referenzschalter an allen Achsen,
- Not-Aus-Schalter,
- automatischen Werkzeuglängensensor,
- manuelle Zentralschmierung,
- Vorbereitung für die vierte Achse (angetriebener Rundtisch).

Zu den Kosten so viel: die Basismaschine habe ich bei eBay für knapp 1.000,- € ersteigert. Sie

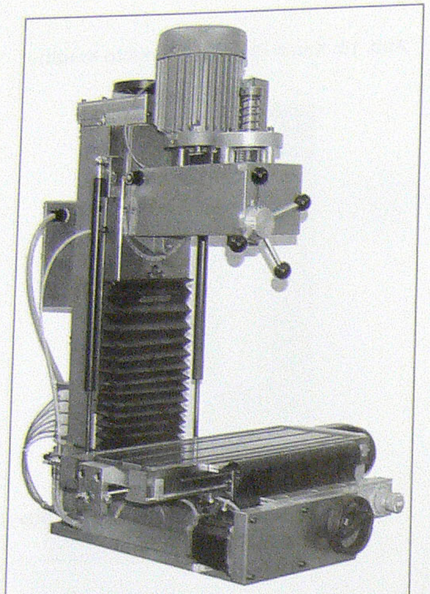


Abb. 11: Meine auf CNC-Betrieb umgerüstete Wabeco-Fräsmaschine

war sehr gut in Schuss und zeigte praktisch keine Gebrauchsspuren. Eine zweite F 1200 E habe ich kürzlich für 800,- € ersteigern können. Eine neue Wabeco ist natürlich teurer, die F 1200 E kostet bei der Firma Deuss (www.deuss.de) ca. 1.950,- €. Zu den Kosten für die Basismaschine kommen noch:

- drei Schrittmotoren (zusammen ca. 300,- €),
- Kugelumlaufspindeln und Muttern (ca. 260,- €),
- Zahnriemenräder und Zahnriemen (ca. 70,- €),
- Aluminium-Halbzeug (ca. 50,- €),
- Kugellager, Endschalter, Kabel, Schrauben, Kleinmaterial (ca. 100,- €).

Insgesamt sprechen wir also über rund 780,- € für den Umbau plus die Basismaschine, aber ohne Drehstromantrieb und Zentralschmierung. Lassen Sie die Kugelumlaufspindeln weg (wozu ich nicht rate) und kaufen gebrauchte Schrittmotoren aus dem Angebot bei eBay (wozu ich auch nicht rate), dann kommen Sie mit ca. 400,-€ sicherlich aus.

Dazu kommen dann die Steuerelektronik und die Software. Das komplette Material für den Selbstbau der Steuerelektronik mit drei Achsen kostet ca. 380,- €, das Gehäuse schlägt mit 100,- € zu Buche. Die Software gibt es kostenlos als Demo-Version, wenn Sie mit den geringen Einschränkungen zunächst leben können (was eigentlich kein Problem sein sollte). Die Steuerelektronik und die Software lassen sich sowohl für Portalmaschinen als auch für konventionelle Maschinen ohne Änderungen verwenden. Bei einer gebrauchten Basismaschine für 1.000,- € betragen die Gesamtkosten somit rund 2.300,- €. Die Vollversion der Software kostet noch mal 150,- €.

Alles in allem also kein wirklich billiges Vergnügen! Es ist freilich eine große Befriedigung, eine solche Maschine selbst gebaut zu haben – vor allen Dingen, wenn sie dann auch noch nützliche Arbeit verrichtet.

Ich möchte allerdings auch nicht verschweigen, dass für den Umbau eine gleich große Fräsmaschine und eine nicht zu kleine Drehmaschine erforderlich sind (als Drehmaschine habe ich eine Myford Super 7 benutzt). Wer die nicht hat und auch keine Freunde oder Bekannten mit entsprechender Ausrüstung, ist vermutlich mit einer fertigen Maschine oder einem Umbausatz besser bedient.

1.4.2. Koordinatensysteme

Um mit dem Werkzeug einer Fräsmaschine alle Positionen in einem dreidimensionalen Werkstück anfahren zu können, müssen die Bearbeitungsrichtungen in ein Koordinatensystem gelegt werden. Dabei wird vornehmlich das kartesische, rechtwinklige Koordinatensystem eingesetzt. Daneben bieten moderne CNC-Steuerungen auch das polare Koordinatensystem, das vorteilhaft z. B. beim Bohren von Lochkreisen Verwendung findet.

1.4.2.1. Das rechtwinklige Koordinatensystem

Im rechtwinkligen Koordinatensystem (Abb. 12) lässt sich jeder Punkt eines Körpers mit den Zahlenwerten von x-, y- und z-Achse bestimmen. Die Richtung der Koordinatenachsen entspricht den Hauptbewegungsachsen der Maschine. Nach DIN 66217 läuft die z-Achse immer in Richtung der Arbeitsspindel. Abhängig von der Art der Maschine sind die Achsen wie folgt definiert:

– Bei einer Vertikalfräsmaschine ist die senkrechte Achse mit dem Fräswerkzeug die z-Achse. Dabei ist zu beachten, dass die positive Richtung der z-Achse vom Werkstück weg in Richtung des Werkzeugs (also nach oben!) verläuft. Um in ein Werkstück ein Loch zu bohren, muss deshalb die z-Achse in negativer Richtung bewegt werden. Die x-Achse verläuft horizontal von links (negativ) nach rechts (positiv). Die y-Achse läuft vom Betrachter weg nach hinten (positiv) bzw. auf den Betrachter zu (negativ). Normalerweise ist daher der so genannte Werkstück-Nullpunkt an der linken, vorderen, oberen Ecke des Werkstücks zu finden.

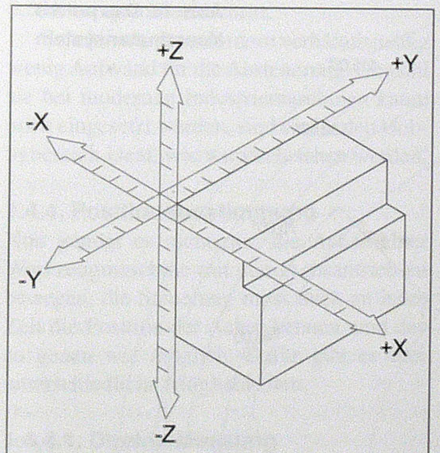


Abb. 12: Das rechtwinklige Koordinatensystem

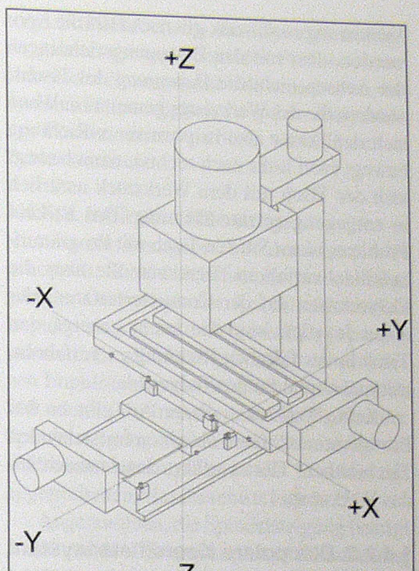


Abb. 13: Vertikalfräsmaschine mit ihren Hauptachsen

– Bei einer Horizontalfräsmaschine ist die horizontale, vom Betrachter weglaufende Achse die z-Achse. Auch hier erfolgt die Zustellung des Werkzeugs in das Werkstück hinein in negativer Richtung. Weitere Betrachtungen sind nicht nötig, weil Horizontalfräsmaschinen im Hobbybereich praktisch keine Rolle spielen.

– Bei einer Drehmaschine ist die Hauptspindel mit dem Drehfutter die z-Achse. Die Zustellung des Drehstahls erfolgt auch hier mit negativem Vorzeichen in Richtung des Drehfutters. Die x-Achse verläuft horizontal im rechten Winkel zur Hauptspindel. Durch Zustellung des Drehstahls in negativer x-Richtung wird der Durchmesser des Werkstücks geringer. Das Koordinatensystem ist bei einer Drehmaschine recht einfach zu verstehen, weil sie nur zwei Hauptachsen hat.

Um den Bediener einer Vertikalfräsmaschine mit beweglichem Tisch in komplette

Verwirrung zu stürzen, gilt nach DIN die Konvention, dass mit den Bewegungsrichtungen der Achsen nicht die Bewegung des Tischs, sondern die des Werkzeugs gemeint ist. Wenn sich der Fräser also in positiver x-Richtung bewegt (von links nach rechts), dann bewegt sich der Tisch mit dem Werkstück natürlich in entgegengesetzter Richtung. Das ist kein Problem, wenn Sie den Tisch mit Programmbefehlen verfahren. Benutzen Sie aber die Cursortasten auf der Computertastatur oder einen Joystick, sind Sie leicht geneigt, den Tisch in der falschen Richtung zu verfahren, mit manchmal fatalen Folgen!

Keine Probleme dieser Art gibt es bei Portalfräsmaschinen, die einen feststehenden Tisch haben. Dort verfährt dann tatsächlich das Werkzeug.

1.4.2.2. Das polare Koordinatensystem

In der Ebene, also zweidimensional, lässt sich jeder Punkt durch die Angabe von Koordinatenursprung (Pol), Radius und Winkel eindeutig definieren – zum Beispiel diese vier Bohrlöcher:

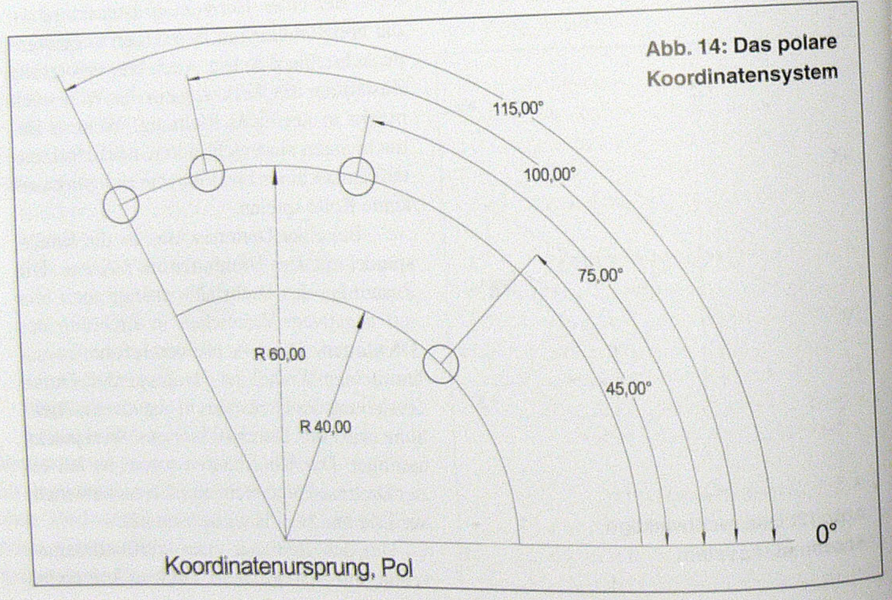


Abb. 14: Das polare Koordinatensystem

1.4.3. Achsantriebe

Die Achsantriebe sind so ziemlich das Wichtigste an einer CNC-Maschine. Dabei wird zunächst zwischen Antrieben mit Spindel und Mutter und Linearantrieben unterschieden. Für Portalmaschinen kommen noch Zahnstangen- oder Zahnriemenantriebe in Frage, die aber keine wirkliche Bedeutung haben. Linearantriebe funktionieren ungefähr so wie der Transrapid – sehr kompliziert –, so dass ihr Einsatz im Hobbybereich wohl unrealistisch ist.

Also bleibt nur der Antrieb mit Spindel und Mutter – im Prinzip der elektrische Antrieb des Handrads. Antriebe mit Spindel und Mutter können ihre Bewegung von Servomotoren oder Schrittmotoren erhalten.

1.4.3.1. Antriebe mit Gleichstrom-Servomotor

Diese Antriebsart war früher sehr populär, weil die elektronische Drehzahlregelung eines Gleichstrommotors relativ wenig Aufwand erfordert. Mittlerweile spielt diese Technik bei Industriemaschine keine große Rolle mehr.

1.4.3.2. Antriebe mit Drehstrom-Servomotor

Drehstrommotoren sind der ideale Antrieb, sowohl für die Achsen als auch für die Werkzeugspindel. Sie haben keinerlei Teile, die verschleißen können, außer den Lagern. Die Servomotoren für die Achsen werden als permanent erregte Motoren gebaut, das heißt, der Motor hat eine außen liegende Wicklung, den Stator und einen innen liegenden Rotor mit Permanentmagneten. Der Motor benötigt eine sehr aufwendige Elektronik, um ihn in Bewegung setzen und positionieren zu können. Bei modernen industriellen CNC-Maschinen sind praktisch immer Drehstrommotoren in die Achsantriebe eingebaut.

1.4.3.3. Antriebe mit Schrittmotor

Schrittmotoren sind mechanisch ähnlich wie Drehstrommotoren aufgebaut. Sie werden durch elektrische Einzelimpulse (Stromstöße) gesteuert. Bei jedem Impuls dreht sich der Motor um einen bestimmten Winkelbetrag weiter. Das folgende Getriebe und die Kombination aus Leitspindel und Mutter ergeben so eine festgelegte Vorschubbewegung, z.B. 0,001 mm pro Motorschritt.

Schrittmotoren erfordern verhältnismäßig wenig Aufwand für die Ansteuerung. Obwohl sie bei modernen Industriemaschinen kaum noch eingesetzt werden, sind sie für den Hobbybereich ideal, wie wir noch sehen werden.

1.4.4. Positionsbestimmung

Nun genügt es nicht nur, die Achse einer Werkzeugmaschine mit dem Achsantrieb zu bewegen, die Steuerung muss auch zu jeder Zeit die Position der Achse kennen, und das so genau wie möglich. Dafür gibt es drei unterschiedliche Möglichkeiten.

1.4.4.1. Direkte Messung

Bei der direkten Messung ist am Maschinentisch ein Linearmaßstab angebracht, im Prinzip wie bei einer digitalen Positionsanzeige. Früher arbeiteten diese Systeme analog, sie gaben, abhängig von der Position, eine elektrische Spannung ab. Heute arbeiten die Systeme immer digital, sie geben die jeweilige Position direkt als binär verschlüsselten Zahlenwert aus.

1.4.4.2. Indirekte Messung

Hier ist ein Drehgeber mit der Leitspindel gekoppelt. Sobald sich die Leitspindel dreht, gibt der Drehgeber eine Anzahl elektrischer Impulse ab, die dem Drehwinkel proportional sind. Es gibt Drehgeber mit verschiedenen Impulszahlen pro Umdrehung, z.B. 400, 500 oder 1.000 Impulsen. Abhängig von der Spindelsteigung rechnet die Steuerung die ankommenden Impulse in die Position des angetriebenen Maschinentischs um.

Angenommen, die Spindelsteigung beträgt 5 mm und der Drehgeber gibt pro Umdrehung 1.000 Impulse ab, dann ist die Änderung der Position je Impuls gleich 5 mm geteilt durch 1.000, also 0,005 mm. Das ist für professionelle CNC-Maschinen nicht genau genug, also wird entweder ein Drehgeber mit höheren Impulszahlen pro Umdrehung oder ein Messgetriebe zwischen Leitspindel und Geber verwendet, das dafür sorgt, dass der Messgeber schneller umläuft als die Leitspindel.

Der große Nachteil der indirekten Messung ist, dass das gesamte Antriebsspiel in die Messung eingeht, speziell das Umkehrspiel (der tote Gang) zwischen Leitspindel und Mutter. Das Umkehrspiel wird über die Steuerung kompensiert, das ist aber nie so genau wie ein direktes Messsystem.

1.4.4.3. Vertrauens-Messsystem

Das dritte Messsystem möchte ich „Vertrauens-Messsystem“ nennen. Es ist das im Hobbybereich am meisten verbreitete Messsystem und funktioniert wie folgt:

Weil sowohl die direkte Messung als auch die indirekte Messung mit relativ hohen Kosten verbunden sind und viele am Markt preiswert erhältliche Steuerprogramme damit auch

gar nichts anfangen können, wird bei unseren einfachen CNC-Maschinen komplett auf ein Messsystem verzichtet. Stattdessen ermittelt die Steuersoftware die Differenz zwischen der aktuellen Position des Maschinentischs (die sie gespeichert hat) und der gewünschten Position in Millimetern. Der Steuersoftware haben wir bei der Grundeinstellung mitgeteilt, wie viele Impulse (gleich Schritte) notwendig sind, damit der Tisch genau einen Millimeter verfährt. Die Steuersoftware schickt nun die notwendige Anzahl Impulse an die Steuerung, die wiederum den Antriebsmotor der Spindel entsprechend in Drehung versetzt.

Die Steuersoftware erhält keinerlei Rückmeldung über den tatsächlich gefahrenen Weg. Sie „vertraut" darauf, dass alles seine Richtigkeit hat. Im Extremfall könnte der Motor einfach nicht angeschlossen sein, die Software würde es nicht merken und weiter fröhlich das Fräsprogramm abarbeiten. Im englischen Sprachraum heißt so etwas Open Loop (offene Regelschleife).

Obwohl Sie vielleicht jetzt meinen, dass das nicht gut gehen kann, funktioniert es in der Praxis überraschend problemlos. Die Voraussetzung dafür ist aber, dass die maximalen Verfahrgeschwindigkeiten und die Beschleunigungsrampen an die jeweiligen Motoren gut angepasst sind und unter deren Grenzwerten liegen. Andernfalls kommt es zu den so genannten Schrittverlusten, das heißt, die Motoren setzen nicht alle Schrittimpulse der Software in Drehung um. Damit stimmen der Weg, den die Software errechnet hat, und der tatsächlich gefahrene Weg nicht mehr überein. Das Resultat ist Ausschuss.

Das klingt nun alles schlimmer, als es ist. Meine Erfahrung ist, dass bei einer vernünftig aufgebauten Elektronik und einer richtig eingestellten Steuersoftware keine Probleme auftreten. Die Motoren lassen auch nicht einfach „still und heimlich" hier und da einen Schritt aus. Probleme treten zuerst im Eilgang der Maschine auf, wenn die Motoren ihre höchste Drehzahl erreichen müssen. Schrittverluste zeigen sich dort aber in der Form, dass die Motoren einfach stehen bleiben oder gar nicht erst anlaufen. Wenn sie das dazugehörige Geräusch hören, werden Sie es wissen!

Übrigens gilt alles, was ich im Abschnitt 1.4.4.2. über Messungenauigkeiten auf Grund von Spiel im Antrieb gesagt habe, auch für das „Vertrauens-Messsystem"!

1.4.5. Absolute und inkrementelle Wegmessung

Bei der absoluten Wegmessung steht nach dem Einschalten der Maschine sofort die absolute Position des Maschinentischs zur Verfügung. Sie kennen das sicherlich von Digital-Messschiebern, die nach dem Einschalten auch sofort das aktuelle Maß anzeigen.

Anders bei den inkrementellen Messsystemen: Hier muss das Messsystem nach dem Einschalten erst einmal auf die Nullposition gebracht werden und zählt von da aus in positiver oder negativer Richtung die einzelnen Messschritte, die Inkremente. Beim Ausschalten „vergisst" das Messsystem seine aktuelle Position.

Es ist offensichtlich, dass unser „Vertrauens-Messsystem" nur inkrementell funktionieren kann, weil die aktuelle Tischposition lediglich in der Steuersoftware gespeichert ist. Spätestens beim Ausschalten des Computers geht diese Information verloren.

1.4.6. Maschinennullpunkt

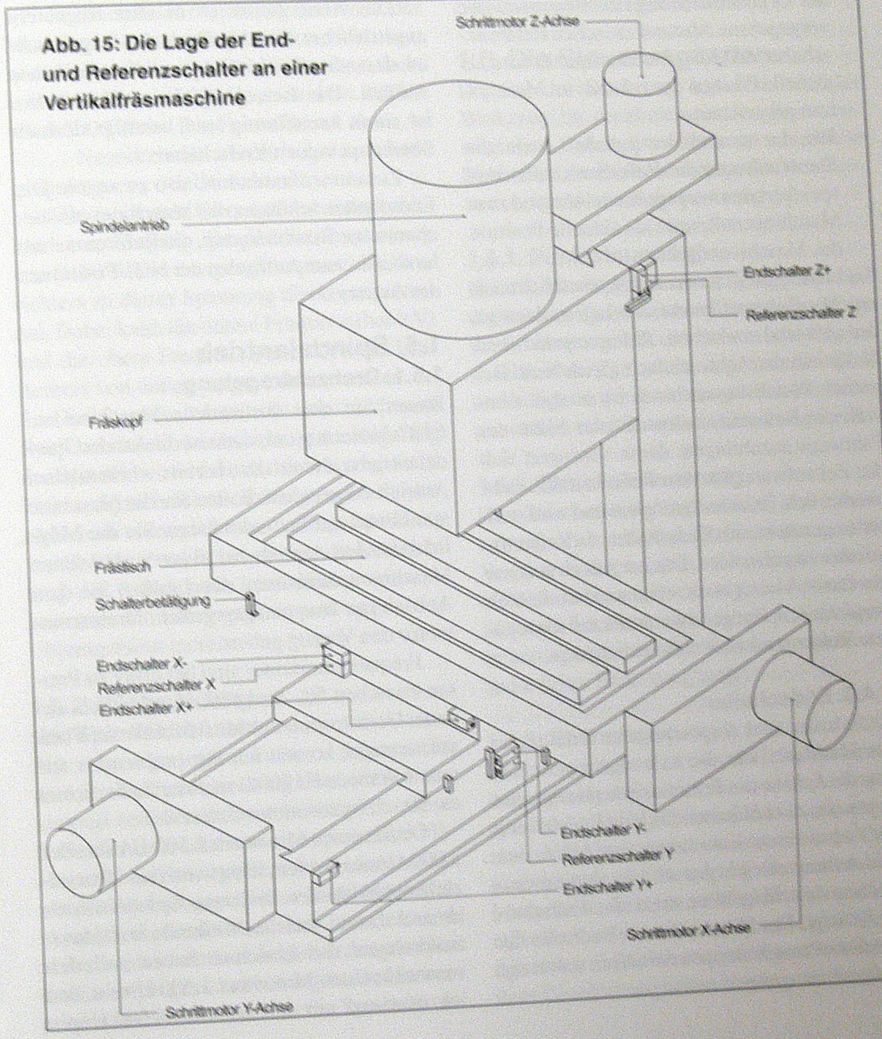
Der Maschinennullpunkt liegt im Ursprung des Maschinenkoordinatensystems (siehe Abschnitt 1.4.2.1.). Stellen wir uns vor, wir fahren den Tisch der Vertikalfräsmaschine nach rechts, bis kurz (1–2 mm) vor den mechanischen Anschlag. Danach fahren wir den Tisch nach hinten, von uns weg, ebenfalls bis kurz vor den mechanischen Anschlag. Anschließend fahren wir den Fräskopf nach oben, auch bis kurz vor den Anschlag. Jetzt haben wir den Maschinennullpunkt erreicht. Dieser Nullpunkt ist nicht veränderlich, er ist durch die Konstruktion der Maschine festgelegt.

1.4.7. Referenzposition, Referenzfahrt

Da wir mit einem inkrementellen Messsystem arbeiten, müssen wir eine Möglichkeit haben, das Messsystem und die Position des Maschinentischs zur Deckung zu bringen. Deshalb gibt es für die x- und die y-Achse der Maschine an beliebiger Position einen Referenzschalter und ein mechanisches Teil, das den Referenzschalter betätigt. Für die z-Achse liegt der Referenzschalter sinnvoll kurz vor der obersten Position des Fräskopfs, andernfalls könnte die Referenzfahrt direkt in das aufgespannte Werkstück führen.

Der Abstand zwischen dem Maschinennullpunkt und dem Punkt, an dem die Referenzschalter beim Überfahren betätigt werden, muss genau bekannt sein.

Abb. 15: Die Lage der End- und Referenzschalter an einer Vertikalfräsmaschine



Nach dem Einschalten der Maschine oder wenn aus irgendwelchen Gründen die Position einer oder mehrerer Achsen verloren gegangen ist, wird eine Referenzfahrt durchgeführt. Die Referenzfahrt ist als Funktion der Steuersoftware abrufbar. Der Ablauf der Referenzfahrt lässt sich meistens einstellen, läuft im Normalfall aber folgendermaßen ab:

- Der Fräskopf fährt nach oben, bis der Referenzschalter betätigt wird. Der in der Grundeinstellung der Steuersoftware vorgegebene Abstand zwischen Referenzschalter und Maschinennullpunkt wird als aktuelle Position der z-Achse im Messsystem gespeichert.
- Bei der x- und der y-Achse sucht die Steuersoftware die Referenzschalter und speichert den vorgegebenen Abstand zum Maschinennullpunkt als aktuelle Position des Maschinentischs.

Sie können die Referenzschalter natürlich auch am Maschinennullpunkt anbringen, dann ist der Abstand zwischen Referenzpunkt und Nullpunkt der Achse einfach gleich Null. Bei großen Portalfräsmaschinen ist es aber sinnvoll, die Referenzschalter auf der Mitte des Fahrwegs anzubringen; damit verringert sich der Zeitaufwand für eine Referenzfahrt nicht unerheblich. Es ist auch möglich und wird auch oft so gemacht, die Endschalter als Referenzschalter zu verwenden. Das hat jedoch gewisse Nachteile, wie wir noch sehen werden, deshalb empfehle ich, den geringen Aufwand für separate Referenzschalter nicht zu scheuen.

1.4.8. Endschalter

Endschalter sind die wichtigsten Schalter an der Maschine. Für die x- und die y-Achse, also die Achsen des Fräsmaschinentischs, gibt es jeweils zwei Schalter, für jede Endstellung der Achse einen. Kurz bevor eine Achse ihre Endstellung erreicht hat und an den mechanischen Anschlag fährt, wird der Endschalter betätigt. Die Steuersoftware und/oder die Steuerelektronik stoppen daraufhin sofort die Achsenbewegung.

Bei der z-Achse, also der senkrechten Bewegung des Fräsmaschinenkopfs, gibt es nur einen Endschalter. Dieser wird betätigt, bevor der Fräskopf seinen oberen Anschlag erreicht hat. Für den unteren Anschlag gibt es keinen Endschalter, weil der untere Anschlag von der Länge des verwendeten Fräsers oder Bohrers und der Höhe des Werkstücks abhängt. Ein Endschalter ist also völlig nutzlos, es sei denn, seine Position wäre variabel.

Die vierte Achse ist in aller Regel ein angetriebener Rundtisch, der so angebracht ist, dass seine Drehachse parallel zur x-Achse verläuft. Die Bewegung der vierten Achse ist somit kreisförmig und benötigt deshalb überhaupt keinen Endschalter.

Zusammenfassend ist also zu sagen: Die Endschalter schützen die Maschine vor mechanischer Beschädigung, die Referenzschalter dienen zum Auffinden der Null-Positionen der Achsen.

1.5. Spindelantrieb

1.5.1. Drehzahlregelung

Bauen Sie eine vorhandene Maschine auf CNC-Steuerung um, dann ist die Art des Spindelantriebs durch den bereits vorhandenen Antrieb vorgegeben. Bauen Sie die Maschine von Grund auf neu oder haben Sie die Möglichkeit, den Antrieb bei einer vorhandenen Maschine umzubauen, dann sollten Sie dem Antrieb mit frequenzgeregeltem Drehstrommotor den Vorzug geben.

Frequenzumrichter sind bei eBay zu Preisen zwischen 50,- und 100,- € erhältlich, ein neuer Drehstrommotor mit 0,55 kW und Flanschmontage, so wie ich ihn problemlos auf meine Wabeco F 1200 E montiert habe, kostet ca. 90,- € (www.motor-mauer.de).

Ob Sie einen Motor mit 1.500 U/min oder 3.000 U/min kaufen, hängt von den Übersetzungsverhältnissen in Ihrem Spindelantrieb ab und davon, welche Minimal- und Maximaldrehzahl die Maschine haben soll. Ich verwende einen Motor mit 1.500 U/min, den ich maximal mit 150 Hz und 4.500 U/min

betreibe. Durch die Zahnriemenübersetzung dreht die Spindel dann mit 3.000 U/min.

Der Frequenzumrichter wandelt die einphasige Netzspannung von 230 V in drei Phasen mit jeweils 230 V um. Die Frequenz der Ausgangsspannung ist in einem weiten Bereich, meist zwischen 0 und 200 Hz, regelbar. Weil die Drehzahl eines Drehstrommotors direkt von der Frequenz abhängt, lässt sich die Drehzahl der Werkzeugspindel in einem weiten Bereich sehr leicht regeln. Dreht der Motor bei der Nennfrequenz von 50 Hz beispielsweise mit rund 1.500 U/min, dann dreht er bei 100 Hz mit 3.000 U/min und bei 150 Hz mit 4.500 U/min. Die Formel lautet also:

Nenndrehzahl : Nennfrequenz × Ausgangsfrequenz des Umrichters.

Alle modernen Frequenzumrichter besitzen einen Eingang für eine Steuerspannung von 0–10 V. Die Ausgangsfrequenz des Umrichters ist dieser Spannung direkt proportional. Dabei kann die untere Frequenz (bei 0 V) und die obere Frequenz (bei 10 V) des Umrichters von außen programmiert werden.

Die Steuersoftware, die ich in diesem Buch behandeln werde, erlaubt die Regelung der Spindeldrehzahl durch das Fräsprogramm. Eine entsprechende Schaltung in der Steuerelektronik erzeugt daraus die Regelspannung von 0–10 V. Zwei Relais steuern die Drehrichtung der Spindel, sie kann also programmgesteuert im Uhrzeigersinn und gegen den Uhrzeigersinn laufen.

1.5.2. Rückmeldung der Spindeldrehzahl

Mit relativ geringem Aufwand können Sie eine Drehzahlrückmeldung über einen Indeximpuls realisieren. Dazu benötigen Sie eine Reflexlichtschranke und eine spiegelnde Fläche, z.B. ein Stück poliertes Aluminium, das mit der Werkzeugspindel umläuft. Jedes Mal, wenn die Reflexfläche an der Lichtschranke vorbeikommt, wird ein Impuls erzeugt und an das Steuerprogramm übertragen. Das Steuerprogramm errechnet daraus die Spindeldrehzahl und zeigt sie an. Die Rückmeldung der Spindeldrehzahl ist unabhängig von der oben beschriebenen Drehzahlregelung. Der Vorteil ist, dass sich die Spindeldrehzahl bei Antrieben, die über einen Drehknopf von Hand geregelt werden, sehr genau einstellen lässt. Das Steuerprogramm „Mach3“ verfügt sogar über einen geschlossenen Regelkreis. Es vergleicht ständig die eingestellte und die tatsächliche, über den Indeximpuls gemeldete Spindeldrehzahl und regelt bei Bedarf nach.

1.6. Die Steuerungsarten

Die Art der Steuerung legt fest, wie das Werkzeug im dreidimensionalen Raum bewegt wird. Dabei gibt es drei unterschiedliche Methoden: die Punktsteuerung, die Streckensteuerung und die Bahnsteuerung.

1.6.1. Punktsteuerung

Hier fahren alle Achsen mit Eilganggeschwindigkeit ihre Zielposition an. Erst dann erfolgt die Bearbeitung, z.B. das Bohren oder Gewindeschneiden. Punktsteuerungen sind einfach und billig, sie werden vorzugsweise bei Bohrmaschinen oder Stanzmaschinen eingesetzt.

1.6.2. Streckensteuerung

Die Streckensteuerung erlaubt eine Bearbeitung, also z.B. das Fräsen, während des Verfahrens einer Achse – allerdings nicht in mehreren Achsen gleichzeitig, das Fräsen von Schrägen ist damit nicht möglich. Streckensteuerungen haben für Werkzeugmaschinen heute keine Bedeutung mehr.

1.6.3. Bahnsteuerung

Bahnsteuerungen sind universell für alle Bearbeitungsaufgaben einsetzbar und in der Lage, zwei oder mehr Maschinenachsen in einem exakten Verhältnis zueinander zu verfahren. Die Koordination der Bewegung übernimmt ein Interpolator, der nacheinander die Bahnpunkte berechnet, alle beteiligten Achsen gleichzeitig startet, die Achsen im richtigen Verhältnis ihrer Geschwindigkeiten bewegt und sie zum

selben Zeitpunkt die programmierte Endposition erreichen lässt. Dies wird als 3-D-Bahnsteuerung bezeichnet. Mit ihr sind beliebige Werkzeugbewegungen, in der Ebene oder im dreidimensionalen Raum, ausführbar.

Erlaubt die Steuerung nur die gleichzeitige Interpolation zweier Achsen, die nacheinander auf eine der drei Ebenen X/Y, X/Z oder Z/Y umgeschaltet werden, dann handelt es sich um eine 2½-D-Bahnsteuerung. Solche Steuerungen sind in Industriemaschinen kaum noch, in einfachen Steuerprogrammen für den Hobbybereich allerdings noch öfter anzutreffen.

Um festzustellen, ob es sich überhaupt um eine Bahnsteuerung handelt, genügt die Frage, ob das Werkzeug einen Kreis fahren kann. Wenn ja, ist es mindestens eine 2 ½-D-Bahnsteuerung. Kann die Maschine ein Gewinde fräsen, handelt es sich um eine 3D-Steuerung, weil dazu alle drei Achsen gleichzeitig verfahren werden müssen. Die Bahnsteuerung mit dem Interpolator ist das Herzstück jeder CNC-Steuerung.

1.7. Die Software

Industrielle CNC-Maschinen besitzen eine Steuerung, die entweder vom Maschinenhersteller selbst entwickelt und produziert, oder, was heute eher die Regel ist, von spezialisierten Herstellern zugekauft wird. Beispiele für Steuerungshersteller sind die Firmen Siemens (www.siemens.de/sinumerik) oder Heidenhain (www.heidenhain.de).

Die Steuerungen bestehen aus Hardware (elektronischen Teilen) und einer Software, also dem Programm, das speziell an die Hardware der jeweiligen Steuerung angepasst ist. Sie beinhalten alle Funktionen, die zur Steuerung der Werkzeugmaschine erforderlich sind, einschließlich der Achsantriebe. Über ein Bedienfeld mit Bildschirm lassen sich alle Funktionen der Maschine steuern. Rückmeldungen der Maschine sind auf dem Bildschirm zu sehen. Der Bildschirm zeigt auch das jeweils aktuelle Bearbeitungsprogramm, das von einem Datenträger oder direkt über eine Netzwerkschnittstelle in die Steuerung eingelesen wird. Der Bediener kann das Programm verändern oder kurze Programme direkt über die Tastatur eingeben. Vor der eigentlichen Bearbeitung simuliert die Steuerung auf Wunsch alle Bearbeitungsschritte, so dass sich teurer Ausschuss durch Programmfehler vor der Bearbeitung vermeiden lässt.

Sie besitzen allerdings so eine Steuerung nicht und möchten sich auch keine leisten, andernfalls hätten Sie dieses Buch nicht gekauft. Im Hobbybereich gibt es deshalb preisgünstige Software, die mit mehr oder weniger großem Funktionsumfang eine industrielle Steuerung auf einem Personal Computer (PC) nachbildet. Die Schnittstelle zur Maschine bildet dabei eine zusätzliche Steuerelektronik, die auch die Achsantriebe enthält.

Das Steuern einer Maschine mit der Interpolation von drei Achsen in Echtzeit erfordert allerdings eine nicht unerhebliche Rechenleistung. Speziell die Ausgabe der Schrittimpulse, in aller Regel über die parallele Druckerschnittstelle des PC, ist eine hohe Belastung. Dazu kommen zwei weitere Probleme:

- Das aktuelle Microsoft-Betriebssystem Windows XP ist so eingerichtet, dass Anwendungsprogramme nur dann Systemressourcen, z.B. Prozessorzeit, zugeteilt bekommen, wenn es für das Betriebssystem selbst nichts zu tun gibt. Im normalen Betrieb merkt der Benutzer des Computers davon fast nichts, höchstens mal ein kurzes Stocken im Programmablauf. Der Interpolator der Steuerungssoftware kann damit aber nicht umgehen. Er ist darauf angewiesen, die Schrittimpulse für die Achsen in genau definierter zeitlicher Abfolge auszugeben. Jede, auch noch so kurze Unterbrechung würde zu Problemen führen und im Werkstück sichtbar werden.
- Windows XP lässt es nicht zu, dass Anwendungsprogramme direkt Daten über die Schnittstellen, in unserem Fall die Druckerschnittstellen, ausgeben bzw. Daten über die Schnittstellen empfangen. Es ist in jedem Fall eine so genannte Treibersoftware dazwischengeschaltet, die von Windows kontrolliert wird. Das wiederum führt zu den eben genannten Problemen.

Was ist nun die Lösung? Bisher wurde sehr oft der Weg gewählt, die Steuersoftware nicht auf einem Windows XP-System, sondern unter dem mittlerweile völlig veralteten DOS-Betriebssystem zu betreiben. DOS benötigt für sich selbst nur sehr wenige Systemressourcen und erlaubt einem Anwendungsprogramm, die Kontrolle über den Computer und alle Schnittstellen komplett zu übernehmen. Die Nachteile von DOS sind, dass es keine grafische Benutzeroberfläche besitzt, die Bedienung sich also ziemlich unkomfortabel gestaltet, dass Programmfehler oft zu kompletten „Systemabstürzen“ führen und dass es nicht mehr auf jedem Computer läuft. Ich hatte zunächst auch eine Software unter DOS im Einsatz, die mir aber eine Menge Probleme machte. Auch von anderen Anwendern habe ich nicht nur Positives darüber gehört. Da es bessere Alternativen gibt und die Computer mittlerweile wesentlich leistungsfähiger geworden sind, sollten Sie es sich gut überlegen, ob Sie sich noch mit DOS-Software beschäftigen wollen. Außerdem dürfte es schwierig werden, heute noch ein DOS-Betriebssystem zu bekommen. Normal kaufen können Sie es auf jeden Fall nicht mehr!

Eine elegante Lösung ist eine separate Bahnsteuerung auf Mikroprozessorbasis, die zwischen den Computer und die Achsantriebe geschaltet wird. Die Bahnsteuerung kommuniziert mit dem Computer über eine serielle oder USB-Schnittstelle. Weil über die Schnittstelle des Computers nur noch Steuerkommandos, aber keine einzelnen Schrittimpulse mehr ausgegeben werden müssen, entfallen die oben angesprochenen Probleme, die Steuerungssoftware kann mit einer komfortablen Benutzeroberfläche problemlos unter Windows XP laufen.

Beispiele für diese Bahnsteuerungen finden Sie unter anderem bei www.nc-step.de (NC-Pilot USB) und bei www.pc-nc.de (CNC-Control). Falls Ihre Wahl auf ein Produkt mit serieller Schnittstelle fällt, sollten Sie bedenken, dass diese Schnittstelle „ausstirbt“. Derzeit gibt es fast keine neuen Notebook- oder Laptop-Computer mehr, die mit einer seriellen Schnittstelle ausgestattet sind.

Da Sie zur Bahnsteuerung natürlich auch noch die Steuerungssoftware und die Motorendstufen benötigen, dürfte eine Bahnsteuerung die teuerste, allerdings auch die leistungsfähigste Lösung sein.

Schließlich die preiswerte und doch komfortable Lösung: ein Steuerprogramm, das unter Windows XP läuft. Sie haben Recht, das widerspricht natürlich dem oben Gesagten. Cleveren Programmierern ist es aber gelungen, Treibersoftware zu schreiben, die bis zu 45.000 Schrittimpulse je Sekunde über die Druckerschnittstelle ausgibt und sich dabei von Windows XP nicht stören lässt.

Das nach meiner Ansicht beste Programm dieser Art ist „Mach2“ von ArtSoft in Kanada (www.artofcnc.ca), das mittlerweile in der Version „Mach3“ freigegeben ist. Dieses Steuerprogramm werde ich in den folgenden Bänden dieser Buchreihe eingehend behandeln und seine Installation, Konfiguration und praktische Nutzung konkret beschreiben. Die schlechte Nachricht ist hierbei, dass die Sprache der Benutzeroberfläche von „Mach3“ Englisch ist. Es gibt aber zwei Anbieter von deutschen Versionen der Vorgängersoftware „Mach2“, und zwar www.cnc-steuerung.com und www.cnc-winckler.de. Wahrscheinlich wird es, wenn Sie dieses Buch lesen, auch schon deutsche Versionen von „Mach3“ von diesen Anbietern geben. Bei cnc-winkler ist die Demo-Version mit deutscher Bedieneroberfläche erhältlich, bei cnc-steuerung, so weit ich sehen konnte, nicht. Allerdings sollten Sie sich von den deutschen Übersetzungen nicht allzu viel versprechen. Nach kurzer Eingewöhnungszeit kommen Sie auch

mit der englischen Oberfläche ganz gut klar, und viele Begriffe lassen sich auch gar nicht so einfach übersetzen oder werden zu lang, um auf den jeweiligen Schaltflächen Platz zu haben. Und überhaupt, mit dem mitgelieferten Bildschirmdesigner kann jeder die Oberfläche von „Mach2“ und „Mach3“ so übersetzen, anpassen und gestalten, wie es ihm gefällt. Was in jedem Fall englisch bleibt, das ist die Konfiguration des Programms, und das ist auch der wirklich komplizierte Teil. Doch keine Angst, dabei soll Ihnen dieses Buch ja helfen.

Die Vollversion von „Mach3“ kostet 159,- US-Dollar, das sind derzeit ca. 135,- €. Sie können problemlos mit der kostenlosen Demo-Version beginnen, alles konfigurieren, testen und die ersten Probestücke fräsen. Erst wenn alles zu Ihrer Zufriedenheit läuft, kaufen Sie die Vollversion. Sie bekommen dann einen Lizenzschlüssel per E-Mail, der die installierte Demo-Version zur Vollversion macht. Ihre Konfigurationsdaten gehen dabei nicht verloren.

Natürlich gibt es noch weitere Steuerungsprogramme, z.B. für:

a) Windows:
   - „WinPC-NC“ von Burkhard Lewetz (www.pc-nc.de) – es braucht allerdings einen Achs-Controller (die Bahnsteuerung)
   - „KCam“ von www.kellyware.com

b) MS-DOS/PC-DOS:
   - „PC-NC“ von Burkhard Lewetz (www.pc-nc.de)
   - „pcdreh“ mit „Fräsen Plus“ von HSE (http://www.pcdreh.de/)

c) Linux:
   - www.linuxcnc.org/bdi/index.html

1.8. Die Steuerelektronik

Die Steuerelektronik ist das Verbindungsglied zwischen dem Computer mit dem Steuerprogramm und der Maschine. Die in diesem Buch vorgestellte Steuerelektronik hat folgende Komponenten:

- die Stromversorgung für die Motorendstufen und die Logikbausteine;
- die Achsantriebe, welche die Schritt- und Richtungssignale des Steuerprogramms in mechanische Bewegungen der Motoren umsetzen;
- die Auswertung der End- und der Referenzschalter;
- die Antriebsregelung für die Spindel, welche die Steuerspannung für den Frequenzumrichter erzeugt – ist kein Frequenzumrichter angeschlossen, wird die Spindel über ein Relais programmgesteuert ein- und ausgeschaltet;
- die Rückmeldung der Spindeldrehzahl an die Software – dabei kann bei der Software „Mach3“ die tatsächliche Spindeldrehzahl nur angezeigt oder auch zur Nachregelung der Drehzahl ausgewertet werden;
- die Auswertung der Not-Aus-Schalter, welche die gesamte Maschine sofort stillsetzen, einschließlich der Werkzeugspindel und der an die Steuerung angeschlossenen Geräte, z.B. Staubabsaugung oder Kühlflüssigkeitspumpe;
- die Auswertung eines Werkzeuglängensensors zur automatischen Längenmessung des eingespannten Fräswerkzeugs oder zur automatischen Digitalisierung dreidimensionaler Konturen;
- die Schaltung der Zusatzfunktionen, programmgesteuert über Relais, z.B. Kühlung oder Staubabsaugung;
- die Auswertung von Signalen der Bedienerkonsole, die aber in diesem Buch noch nicht behandelt wird;
- die Anzeige der wichtigsten Signale, z.B. der End- und Referenzschalter über Leuchtdioden
- und natürlich die Ankopplung an den Computer, die über eine oder zwei Druckerschnittstellen, abhängig vom gewünschten Funktionsumfang, erfolgt.

Die Steuerung lässt sich an verschiedene Steuerprogramme und deren Schnittstellenbelegung anpassen. Sie sind also nicht nur auf das

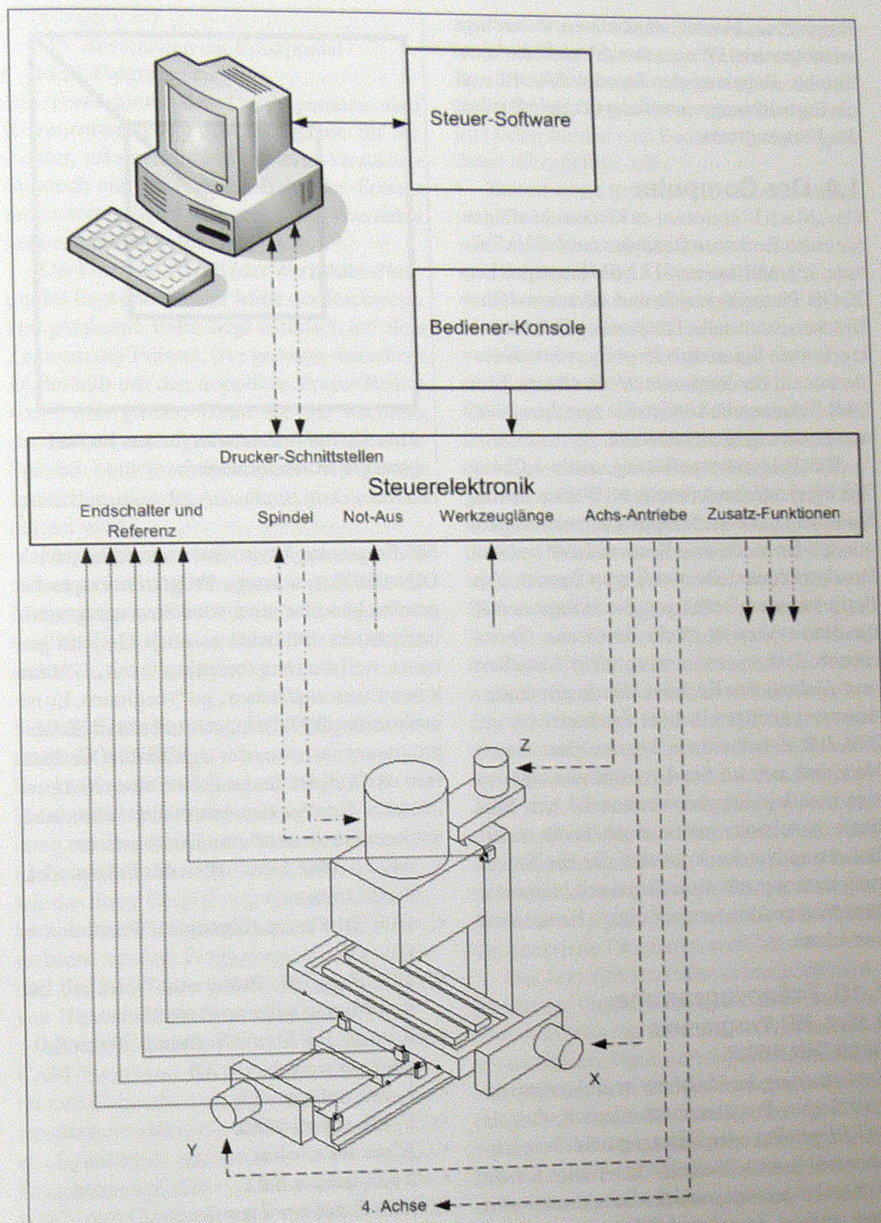


Abb. 16: Das Diagramm der in diesem Buch vorgestellten Steuerung

Programm „Mach3“ angewiesen. Allerdings erlaubt meines Wissens nur „Mach3“ die komfortable Regelung der Spindeldrehzahl und die Drehrichtungseinstellung der Spindel über das Fräsprogramm.

1.9. Der Computer

Um „Mach3“ einsetzen zu können, benötigen Sie einen Rechner mit mindestens 1 GHz Taktrate, 256 MB, besser 512 MB Hauptspeicher, 20 GB Plattenkapazität und einer parallelen Druckerschnittstelle. Die parallele Schnittstelle erkennen Sie an dem 25-poligen Anschlussstecker auf der Rückseite des Rechners. Eine USB-Schnittstelle können Sie zum Anschluss der Steuerung nicht benutzen.

Die Bildschirmauflösung sollte 1.024 × 768 Pixel oder mehr betragen. Wollen Sie die Steuerung mit zwei Schnittstellen verwenden, müssen Sie noch eine Karte mit der zweiten Druckerschnittstelle installieren (lassen). Als Betriebssystem benötigen Sie Windows XP, die Home-Version reicht dabei aus. Servicepack 2 kann, muss aber nicht installiert sein. Gebrauchte Rechner, die diesen Anforderungen genügen, sollten Sie schon für ca. 200–300 € bekommen können. Bei einem Notebook müssen Sie darauf achten, dass es eine parallele Druckerschnittstelle hat. Moderne Notebooks haben meist keine mehr! Bei einem Notebook können Sie die Steuerung auch nur mit einer Druckerschnittstelle betreiben und müssen auf einige Funktionen verzichten.

1.10. Fräsprogramme

1.10.1. NC-Programme nach DIN 66025

Zur Steuerung der Maschine ist ein werkstückspezifisches Programm erforderlich, das als NC-Programm oder Teileprogramm bezeichnet wird. Es enthält alle Informationen für die Achsenbewegungen und die Schaltfunktionen und wird im Speicher des Computers abgelegt. Das NC-Programm sollte nicht mit dem Steuerprogramm verwechselt werden. Das

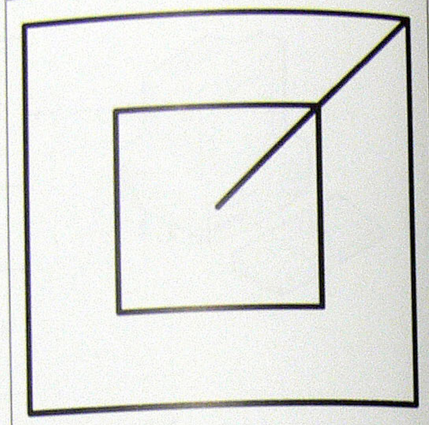


Abb. 17: Die Fräserbahn für das im Text gezeigte NC-Programm

NC-Programm ist in einer speziellen, nach DIN 66025 genormten Programmiersprache geschrieben und wird vom Steuerprogramm interpretiert. Oft wird es auch G-Code genannt, weil die Hauptbefehle alle mit „G“ (das kommt vom englischen „go“) beginnen. Es ist in einzelne „Sätze“ eingeteilt, die vom Steuerprogramm nacheinander abgearbeitet werden. Hier ein Beispiel für das Fräsen eines 20 mm × 20 mm × 2 mm großen Ausschnitts. Verwendet wird ein Fräser mit 6 mm Durchmesser:

- M03 S1000: Einschalten der Frässpindel, 1.000 U/min
- G00 X0 Y0: im Eilgang auf Position x = 0, y = 0
- G01 Z-2 F30: Fräser mit Vorschub 30 mm/Minute auf z = –2 eintauchen
- X3,6 Y3,6 F20: mit Vorschub 20 mm/Minute auf x = 3,6, y = 3,6
- X-3,6: auf x = –3,6
- Y-3,6: auf y = –3,6
- X3,6: auf x = 3,6
- Y3,6: auf y = 3,6
- X7 Y7: auf x = 7 y = 7
- X-7: auf x = –7
- Y-7: auf y = –7
- X7: auf x = 7
- Y7: auf y = 7
- M5: Ausschalten der Frässpindel
- M30: Programmende

Die Texte hinter den Doppelpunkten sind Kommentare. Die Positionsangaben für die Achsen erfolgen in Millimetern. Versuchen Sie doch einfach mal, die Bahn des Fräsers auf kariertes Papier aufzuzeichnen. Was dabei herauskommen sollte, zeigt Abb. 17.

Die Position X0, Y0 (der Werkstück-Nullpunkt) liegt dabei in der Mitte des Rechtecks. Die gefahrene Bahn liegt natürlich auf dem Zentrum des Fräsers. Der gefräste Ausschnitt ist deshalb um den doppelten Fräser-Radius von 3 mm größer. Wenn Sie die Richtung des Fräsers verfolgen und den Drehsinn der Spindel berücksichtigen, dann werden Sie feststellen, dass der Ausschnitt im Gleichlauf gefräst wird.

Das sollte einstweilen genügen, um zu verstehen, was ein NC-Programm nach DIN ist. Mehr davon werden wir beim Konfigurieren der Software und dem Testen der Maschine sehen.

1.10.2. Erstellen von NC-Programmen nach DIN 66025

Sie können NC-Programme nach DIN von Hand erstellen. Dazu brauchen Sie eine Zeichnung mit den Maßen der Koordinatenpunkte und viel Zeit. Für sehr einfache Programme wie das obige Bespiel mag das gehen, aber bei komplexeren Frästeilen kommen schon einmal mehrere hundert Programmsätze zusammen und bei 3-D-Teilen ist die Programmierung von Hand vollkommen unmöglich.

Abhilfe schafft hier ein so genanntes CAM-Programm. CAM kommt von „Computer aided Manufacturing“ (vom Computer unterstützte Produktion). CAM-Programme gibt es „freistehend“ und auch als Teil von CAD-Programmen (CAD = „Computer aided Design“, vom Computer unterstützter Entwurf). Das Ganze nennt sich dann CAD/CAM.

Die Erstellung eines NC-Programms läuft damit wie folgt ab: Das zu produzierende Teil wird mit einem CAD-Programm am Computer gezeichnet. Die fertige Zeichnung wird vom CAM-Programm eingelesen bzw. an den CAM-Teil des Zeichenprogramms übergeben. Im Dialog werden vom Bediener Technologiedaten hinzugefügt, z.B.:

- Fräsen einer gezeichneten Kontur innen oder außen,
- Ausräumen von Taschen,
- Gleichlauf- oder Gegenlauffräsen,
- Fräserdurchmesser und Länge,
- Einschalten der Kühlung,
- Vorschubgeschwindigkeiten,
- Drehzahl der Werkzeugspindel.

Daraus erzeugt das CAM-Programm einen Zwischencode. Ein Postprozessor übersetzt den Zwischencode in das fertige NC-Programm nach DIN. Dabei berücksichtigt der Postprozessor die Eigenarten der Steuerung, die das Programm anschließend ausführen wird. Daraus folgt wiederum, dass es für jede Steuerung einen eigenen Postprozessor gibt. Das ist natürlich ein Widerspruch in sich, weil das NC-Programm ja nach DIN 66025 genormt ist, es also keine Unterschiede geben dürfte. Allerdings lässt die DIN den Steuerungsherstellern gewisse Freiheiten, Sonder- und Zusatzfunktionen zu realisieren. Beispiele dafür sind Gewindebohren, Reiben, Ausbohren, Tieflochbohren, Nutenfräsen etc. Um diese Sonderfunktionen auch entsprechend nutzen zu können, muss der Postprozessor an die Steuerung angepasst sein, die schließlich das generierte Programm ausführt.

Das hört sich jetzt alles schrecklich kompliziert an, funktioniert aber in dem Bereich, in dem wir uns mit unserem Hobby bewegen, relativ einfach. Voraussetzung ist natürlich immer eine mit dem Computer erzeugte Zeichnung, die in einem Standardformat, z.B. DXF, vorliegt. CAD-Programme, die DXF erzeugen können, gibt es als Shareware oder Freeware im Internet. CAM-Programme, die DXF in G-Code nach DIN umsetzen, gibt es mit kleinen Beschränkungen als Demo-Software, der Preis für eine Vollversion liegt bei 200,- €,

z.B. für das von mir verwendete Programm „DesKam“ (www.deskam.com). Ein weiteres brauchbares Programm ist „SheetCam“ (www.sheetcam.com).

1.10.3. Fräsprogramme in HP-GL

Eine weitere, recht beliebte Möglichkeit zur Erstellung von Fräsprogrammen ist HP-GL. HP-GL (Hewlett Packard Graphic Language) ist ein Code, der von der Firma Hewlett Packard vor langen Jahren zur Steuerung von Stiftplottern entwickelt wurde.

Stiftplotter sind Apparate, die Zeichnungen auf Papier bringen. Sie wurden früher fast ausschließlich benutzt, um CAD-Zeichnungen auszugeben. Im Gegensatz zu einem Laser- oder Tintenstrahldrucker, der Texte und Grafiken aus einzelnen, winzigen Punkten zusammensetzt, arbeitet ein Stiftplotter fast wie ein Mensch, der auf Papier zeichnet. Um eine Linie zu zeichnen, bekommt der Plotter vom Computer den Befehl, auf einen bestimmten, durch x- und y-Koordinaten festgelegten Punkt zu fahren. Dort bekommt er den Befehl, den Stift auf das Papier abzusenken und an die nächste durch x und y definierte Position zu fahren. Dabei erzeugt er dann den Strich auf dem Papier. Kreisbögen und Kurven werden aus kurzen, geraden Strichen zusammengesetzt. Der Vorteile von HP-GL ist, dass der Code von einer Vielzahl von Grafik- und Zeichenprogrammen erzeugt wird, unter anderem von dem sehr beliebten Corel Draw. Dem gegenüber stehen wichtige Nachteile und Einschränkungen:

- Wie erwähnt, kennt HP-GL keine echten Kurven und Kreisbögen. Die Kreisinterpolation einer Steuerung wird nicht ausgenutzt, Kreise werden „eckig“ (allerdings ist das mit dem bloßen Auge kaum sichtbar).
- Die kleinste Auflösung beträgt 1/40 mm = 0,025 mm.
- HP-GL kennt keine Fräserbahnkorrektur, die Fräsbahn verläuft bei einer Vertikalfräsmaschine immer in der Mitte der Werkzeugspindel. Die tatsächlich gefräste Bahn weicht immer um den Radius des Fräsers ab. Das muss in der Zeichnung berücksichtigt oder in der Steuerung korrigiert werden.
- HP-GL kann keine Technologiedaten wie Spindeldrehzahl oder Vorschubgeschwindigkeit übermitteln.

DIN-Code bietet wesentlich mehr Möglichkeiten als das doch recht primitive HP-GL. Wer sich einmal eingearbeitet hat, kann prinzipiell von der kleinsten Hobby-Fräsmaschine bis zum riesigen Bearbeitungszentrum alle CNC-Maschinen programmieren.

HP-GL wird dort besonders vorteilhaft eingesetzt, wo es gilt, Schilder zu gravieren oder Teile aus Platten oder Folien auszuschneiden. Das Steuerprogramm „Mach3“ besitzt einen Importfilter, der HP-GL in DIN-Code übersetzt. Insofern brauchen Sie nicht darauf zu verzichten.

2. Schrittmotoren

2.1. Was ist ein Schrittmotor?

So wie die meisten Elektromotoren besteht auch ein Schrittmotor aus dem feststehenden Stator und dem um die Motorachse beweglichen Rotor. Wird dem Motor in der richtigen Art und Weise elektrische Energie zugeführt, dreht sich der Motor und gibt mechanische Energie ab.

Im Gegensatz zu einem „normalen“ Elektromotor, der eine kontinuierliche Drehbewegung ausführt, bewegt sich der Schrittmotor in einzelnen Schritten. Die Anzahl der Schritte, die für eine vollständige Umdrehung notwendig sind, hängt von der Bauart des Motors ab. Gängige Motoren gibt es mit 100, 200 oder 400 Schritten pro Umdrehung, entsprechend einem Schrittwinkel von 3,6°, 1,8° bzw. 0,9°. Je kleiner der Schrittwinkel bzw. je größer die Anzahl der Schritte pro Umdrehung, desto genauer kann der Motor positionieren.

Der Motor ist in geeigneter Weise, entweder direkt oder über einen Zahnriemenantrieb, mit der Vorschub-Gewindespindel der Werkzeugmaschine gekoppelt. Nehmen wir an, dass ein Motor mit 200 Schritten über eine Zahnriemen-Untersetzung von 1:2 die Spindel antreibt und diese eine Steigung von 2,5 mm aufweist. Für eine volle Umdrehung der

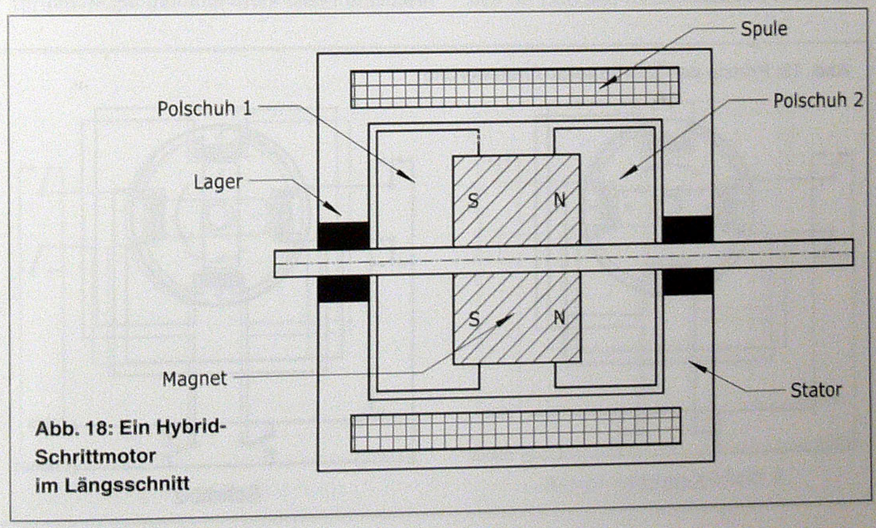


Abb. 18: Ein Hybrid-Schrittmotor im Längsschnitt

Spindel muss der Motor dann 2 × 200 = 400 Schritte ausführen. Der von der Spindel angetriebene Werkzeugmaschinentisch bewegt sich somit um 2,5 mm. Um den Tischvorschub pro Motorschritt auszurechnen, teilen wir 2,5 mm durch 400. Das Ergebnis sind 0,00625 mm – besser als ein Hundertstelmillimeter.

2.2. Wie funktioniert der Schrittmotor?

Leider genügt es nicht, dem Schrittmotor einfach Strom zuzuführen, um ihn in Bewegung zu setzen, dafür ist eine ziemlich komplizierte Elektronik erforderlich. Der Grund liegt in seiner Bauart, mit der wir uns nachfolgend beschäftigen werden.

2.2.1. Der Hybridmotor

Neben verschiedenen anderen Bauformen ist der so genannte Hybridmotor der heute am meisten eingesetzte Motortyp. Der Rotor eines Hybridmotors besteht aus zwei gezahnten Polschuhen mit einem dazwischen liegenden Dauermagneten. Der Stator ist ebenfalls gezahnt und nimmt die Ansteuerspulen auf. Aus der sinnreichen Anordnung der Verzahnungen ergibt sich die Polzahl und damit der Schrittwinkel des Motors.

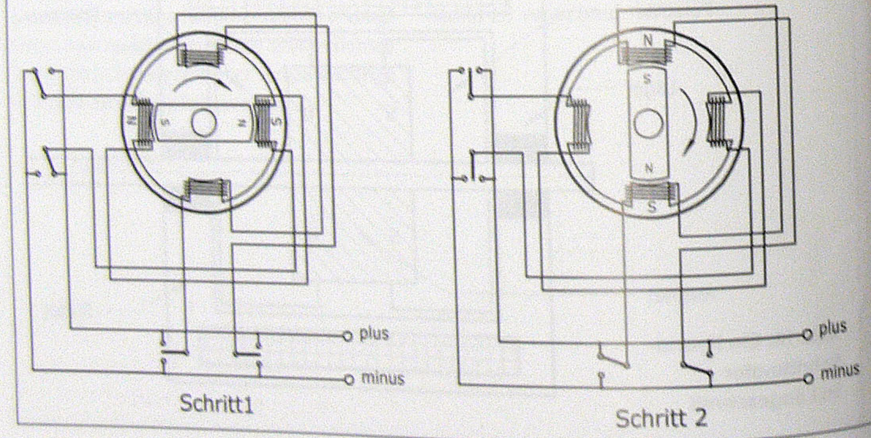
2.2.2. Das Prinzip der Ansteuerung

Um das Prinzip der Ansteuerung zu verstehen, genügt eine stark vereinfachte Darstellung, bei welcher der Rotor, bestehend aus einem Permanentmagneten, zwei Pole und der Stator vier Pole besitzt (Abb. 19). In der angenommenen Ausgangslage fließt der Strom durch die senkrecht angeordneten Wicklungen. Die Richtung des Stroms sorgt dafür, dass sich oben ein Südpol und unten ein Nordpol ausbildet. Weil sich unterschiedliche Pole anziehen, nimmt der Rotor eine stabile Lage ein, bei der sich jeweils ein Nordpol und ein Südpol gegenüberstehen.

Damit der Motor einen Schritt im Uhrzeigersinn ausführt, wird der Strom durch die senkrechte Wicklung unterbrochen und dafür die waagerechte Wicklung eingeschaltet. Nun zieht der Nordpol der Wicklung den Südpol, der Südpol der Wicklung den Nordpol des Rotors an – der Rotor dreht sich um eine Viertelumdrehung.

Für den zweiten Schritt fließt der Strom wieder durch die senkrechte Wicklung, diesmal aber in umgekehrter Richtung. Damit vertauschen sich die Magnetpole der Wicklung, der Motor dreht durch die Anziehungskraft wieder um eine Viertelumdrehung weiter.

Abb. 19: Prinzip der Schrittmotor-Ansteuerung



Bei Schritt drei fließt der Strom in umgekehrter Richtung durch die waagerechte Wicklung, und danach bringt der vierte Schritt den Motor wieder in die Ausgangslage.

Der Motor hat nun eine volle Umdrehung im Uhrzeigersinn vollzogen. Um den Motor gegen den Uhrzeigersinn drehen zu lassen, müssen die Vorgänge nur in der umgekehrten Reihenfolge ablaufen.

2.2.3. Haltemoment

Solange in einer beliebigen Position im Stillstand des Motors Strom durch eine Wicklung fließt, ist es sehr schwer, den Motor von Hand weiterzudrehen. Der Motor besitzt ein Haltemoment, das in N/m (Newton je Meter) angegeben wird, mehr dazu im Abschnitt „Kenngrößen eines Schrittmotors". Das Haltemoment sorgt dafür, dass der Motor und damit natürlich auch die angetriebene Achse der Werkzeugmaschine eine stabile Position einnimmt, ohne dass dafür eine zusätzliche Bremse oder ähnliche Vorrichtungen erforderlich sind.

2.3.4. Aufbau und Polzahl eines realen Motors

In der Realität besitzt ein Schrittmotor natürlich nicht nur vier Statorpole und zwei

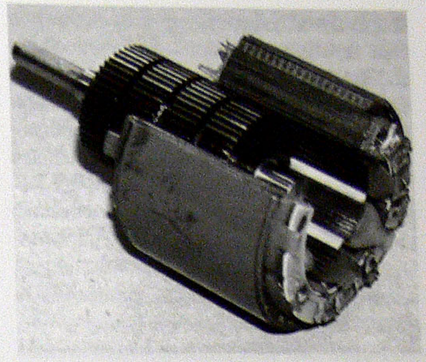
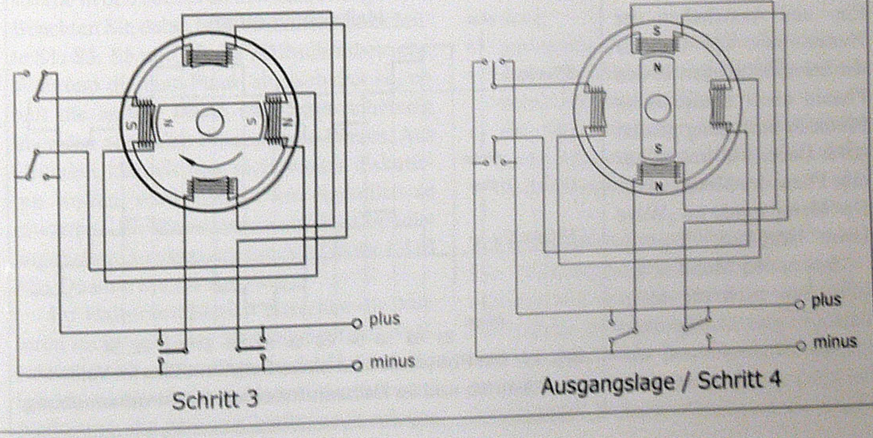


Abb. 20: Aufgeschnittener Stator eines Schrittmotors, mit Rotor

Rotorpole. Ein typischer Motor mit 200 Schritten besitzt zum Beispiel einen Stator mit 40 und einen Rotor mit 50 Polen. Durch entsprechende Anordnung und den Versatz der mechanischen Pole ergibt sich dann die Schrittzahl. Eine genaue Erklärung der Anordnung der Stator- und Rotorpole würde für dieses Buch zu weit führen, wer sich dafür interessiert, findet Hinweise auf Publikationen im Literaturverzeichnis.



2.3.5. Die Ansteuerung des Schrittmotors

2.3.5.1. Motorphasen

Unser Beispielmotor verfügt über vier Wicklungen, von denen jeweils zwei zusammengeschaltet sind. Diese zusammengeschalteten Wicklungen heißen „Phasen“. Der Motor verfügt also über zwei Phasen und wird deshalb auch Zweiphasenmotor genannt. Reale Motoren verfügen über mehr als vier Wicklungen, wie in Abb. 20 erkennbar, diese sind aber zu zwei Phasen zusammengeschaltet.

Neben den Zweiphasenmotoren werden auch Fünfphasenmotoren oder Dreiphasenmotoren gebaut, die aber für uns keine besondere Bedeutung haben. Obwohl es z. B. Fünfphasenmotoren mit Auflösungen von 500 oder auch 1.000 Schritten gibt, die sehr präzise positionieren können, ist die Ansteuerung dieser Motoren sehr kompliziert und kostspielig. In diesem Buch wird deshalb nur auf Zweiphasenmotoren eingegangen.

2.3.5.2. Vollschritt

Im vorigen Abschnitt haben wir gesehen, wie durch das Ein- und Ausschalten der Phasen bzw. die Umkehr der Stromrichtungen in den Phasen unser theoretischer Motor in Bewegung gesetzt wird. Dabei war immer nur eine Phase des Motors aktiv. Der Motor wurde im „Wave Drive“ betrieben.

Bei realen Motoren besteht nun auch die Möglichkeit, gleichzeitig zwei Phasen einzuschalten, wobei die Stromrichtung jeder Phase so eingestellt wird, dass sich der Motor in der gewünschten Richtung weiterdreht. Diese Betriebsart nennt sich „Normal Mode“, was zeigt, dass es sich dabei um die normale Betriebsart des Motors handelt. Der Vorteil dabei ist, dass der Motor mit einem geringeren Phasenstrom das gleiche Drehmoment wie im Wave Drive besitzt. In beiden Fällen wird der Motor im Vollschritt betrieben. Das bedeutet, dass die Anzahl der Schritte pro Umdrehung durch die Anzahl der Rotor- und Statorpole des Motors vorgegeben ist.

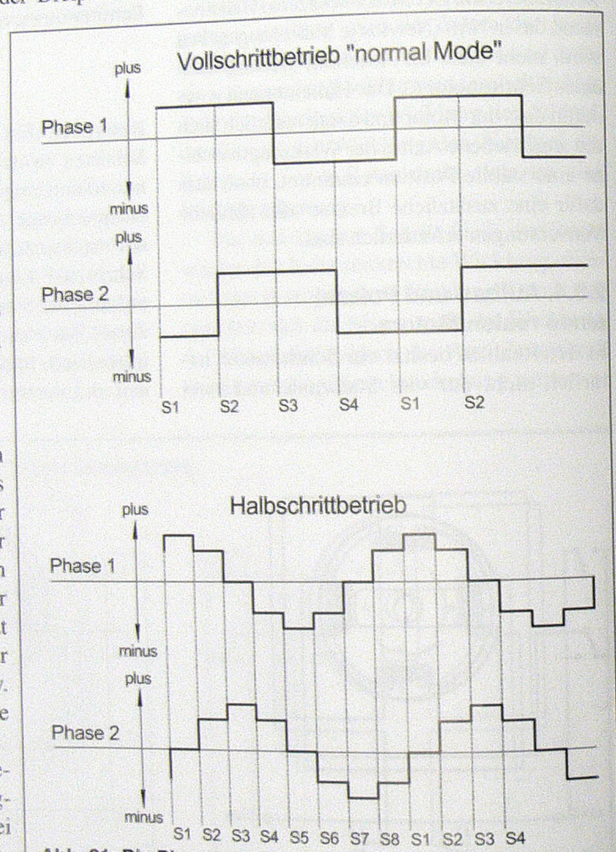


Abb. 21: Die Phasenströme eines Schrittmotors im Vollschrittbetrieb und im Halbschrittbetrieb mit Stromanhebung

2.3.5.3. Halbschritt

Im Halbschritt-Betrieb sind die Motorphasen so geschaltet, dass der Motor abwechselnd eine Vollschrittstellung, entsprechend seiner mechanischen Polzahl, und danach eine Halbschrittstellung einnimmt. In der Halbschrittstellung steht der Rotor zwischen und in der Vollschrittstellung auf den mechanischen Polen. Im Halbschrittbetrieb verdoppelt sich also auf einfache Art die Anzahl der möglichen Schritte und damit die „Auflösung“ des Motors. Ein Motor, der mechanisch über 200 Schritte verfügt, wird so zu einem Motor mit 400 Schritten.

Während im Vollschrittbetrieb immer durch beide Phasen der gleiche Strom fließt und sich nur die Stromrichtung ändert, wird bei Halbschrittbetrieb in der Vollschrittstellung des Rotors eine Phase komplett abgeschaltet. Das führt dazu, dass sich das Drehmoment des Motors mit jedem Schritt ändert, in der Halbschrittstellung hat der Motor dabei ein höheres Drehmoment als in der Vollschrittstellung.

Das ist natürlich in der Praxis unerwünscht, weil es zu unrundem Lauf und Vibrationen führt. Die Anhebung des Phasenstroms in der Vollschrittstellung oder eine Absenkung in der Halbschrittstellung sorgt dafür, dass diese Betriebsverhältnisse nicht eintreten.

In Abb. 21 sind die Verläufe der Phasenströme in den beiden Betriebsarten dargestellt. Beachten Sie dabei bitte besonders die Schritte S1, S3, S5 und S7 des Halbschrittbetriebs. Während die eine Phase abgeschaltet ist, erhält die andere Phase eine Stromanhebung über den normalen Phasenstrom hinaus. Aus Gründen, die wir hier nicht weiter diskutieren wollen, wird nicht – wie eigentlich zu erwarten – der Phasenstrom auf das Doppelte angehoben, sondern nur um den Faktor 1,414 (die Quadratwurzel aus zwei).

Im Halbschrittbetrieb erreichen die Motoren nicht ganz das Drehmoment des Vollschrittbetriebs. Allerdings hat der Halbschrittbetrieb nicht nur den Vorteil der höheren Auflösung, die Motoren laufen auch ruhiger und vibrationsärmer. Ob Halbschrittbetrieb in der konkreten Anwendung etwas bringt, lässt sich leicht ausprobieren: Praktisch alle Steuerungen lassen sich für beide Betriebsarten einstellen. Versuch macht klug!

2.3.5.4. Mikroschritt

Schrittmotoren sind aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht mit beliebig hoher Schrittzahl herstellbar. Es gibt aber Anwendungen, die aus Gründen der Positioniergenauigkeit oder, um einen weicheren und vibrationsärmeren Motorlauf zu erzielen, nach höheren Auflösungen verlangen. Deshalb wurde ein elektronisches Verfahren entwickelt, das, ähnlich wie beim Halbschrittbetrieb, den Rotor des Motors zusätzliche Positionen zwischen den mechanischen Polen einnehmen lässt. Damit sind bei einem Motor mit 200 mechanischen Schritten Auflösungen von 800, 1.600, 3.200 und mehr zu erzielen.

Allerdings ist meine Erfahrung, dass für das hier beschriebene Einsatzgebiet im Hobbybereich die Halbschrittansteuerung völlig ausreicht. So attraktiv die Mikroschrittansteuerung auch sein mag, sie hat für den Amateur auch einige Nachteile, als da sind:

- komplexere Elektronik, meist mit Mikroprozessorsteuerung, deshalb nicht unbedingt für den Selbstbau geeignet (der Mikroprozessor muss programmiert werden);
- geringeres Drehmoment der Motoren;
- nicht alle Motoren sind für Mikroschrittbetrieb optimal geeignet;
- der Steuercomputer ist möglicherweise nicht leistungsfähig genug, die nötige Schrittfrequenz zu erzeugen.

2.3.6. Wicklungsausführungen

Die Wicklungen der Schrittmotoren unterscheiden sich einerseits durch die verwendete Drahtstärke und damit die Windungsanzahl, andererseits durch ihre Verschaltung. Ein möglicherweise günstig bei eBay erworbener Schrittmotor kann durch die falsche Wick-

lungsausführung für den geplanten Einsatz unbrauchbar sein. Kaufen Sie also nur, wenn wirklich alle relevanten Daten des Motors vom Verkäufer angegeben werden!

2.3.6.1. Wicklungen für den Betrieb mit konstanten Spannungen

Wicklungen für konstante Spannungen sind relativ hochohmig, um den Motorstrom zu begrenzen. Sie finden sich nur in Motoren mit kleiner Leistung, die auf Spannungen von 5 V, 12 V oder 24 V ausgelegt sind. Die Ansteuerung ist einfach zu realisieren. Allerdings eigenen sich diese Motoren auf Grund ihrer geringen Leistung für unsere Zwecke nicht.

2.3.6.2. Wicklungen für den Betrieb mit konstanten Strömen

Motoren mit Wicklungen für konstante Ströme sind sehr niederohmig ausgelegt. Der elektrische Widerstand beträgt oft weniger als 1 Ω. Die Phasenströme, die in diesen Wicklungen fließen, bewegen sich im Bereich von 0,5 A bis über 20 A. Für unsere Zwecke sind Motoren mit Phasenströmen zwischen 1,5 A und 4 A optimal, da die gängigen Endstufenschaltungen Ströme von 2 A, 3 A oder 4–5 A verarbeiten können. Die Betriebspannungen dieser Motoren werden meist zwischen 2 V und 8 V angegeben, wobei diese Angabe für uns keine besondere Bedeutung hat.

2.3.6.3. Motoren mit vier Anschlüssen

Dabei handelt es sich um bipolare Motoren, bei denen die einzelnen Wicklungen intern so geschaltet sind, dass sie nach außen nur noch zwei Anschlüsse pro Phase aufweisen. Auch wenn Sie für einen solchen Motor keinen Anschlussplan besitzen, können Sie die einzelnen Phasen leicht mit einem Ohmmeter identifizieren. Sollten Sie bei einer Phase die Anschlüsse vertauschen, läuft der Motor nur in der möglicherweise falschen Drehrichtung, ein Umstand, der sich über die Konfiguration der Steuersoftware korrigieren lässt.

2.3.6.4. Motoren mit sechs Anschlüssen

Unipolare Motoren besitzen vier Wicklungen, von denen jeweils zwei intern verbunden sind. Ein Ende jeder Wicklung sowie der Mittelabgriff sind herausgeführt, das ergibt sechs Anschlüsse.

Ein solcher Motor kann mit einer recht einfachen Steuerung betrieben werden. Allerdings haben solche Steuerungen für unsere Zwecke keine Bedeutung. Deshalb betreiben wir einen bipolaren Motor im unipolaren Modus, indem wir die vier Anschlüsse an den Enden der Wicklungen nutzen.

Die Wicklungen sind nicht so leicht zu identifizieren wie bei einem unipolaren Motor, dennoch brauchen Sie keinen Anschlussplan. Stellen Sie mit einem Ohmmeter erst einmal fest, welche drei Anschlüsse miteinander in Verbindung stehen. Dann messen Sie von einem Anschluss den Widerstand zu den zwei anderen Anschlüssen. Sind die Widerstandswerte gleich, dann haben Sie den Mittelabgriff identifiziert und die anderen beiden Anschlüsse sind die Enden der Wicklung. Genau so verfahren Sie mit den restlichen drei Anschlüssen. Bezüglich des Vertauschens der Anschlüsse gilt auch hier das oben Gesagte.

2.3.6.5. Motoren mit acht Anschlüssen

Bei einem Motor mit acht Anschlüssen sind die Anschlüsse der Teilwicklungen beider Phasen einzeln herausgeführt. Der Anwender hat somit die Freiheit, den Motor unipolar zu betreiben oder als bipolaren Motor mit parallel oder in Reihe geschalteten Wicklungen.

In unseren Anwendungen sollte der Motor unipolar mit parallel geschalteten Wicklungen betrieben werden. Der Grund dafür ist, dass der Motor in dieser Konfiguration für höhere Schrittfrequenzen als in der Reihenschaltung geeignet ist und eine höhere Dynamik entwickelt. Allerdings sind bei Parallelschaltung auch die Phasenströme

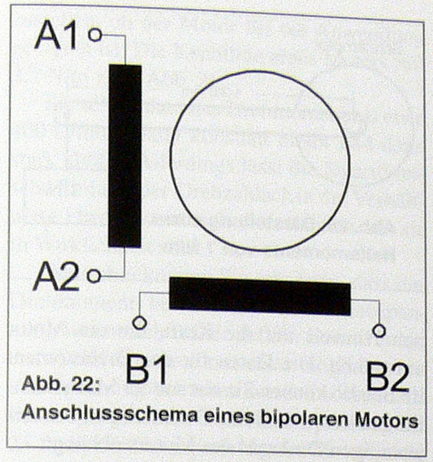


Abb. 22: Anschlussschema eines bipolaren Motors

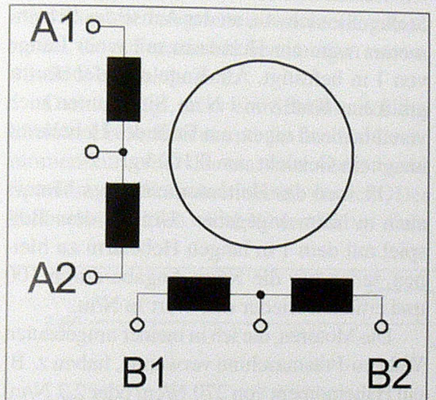


Abb. 23: Anschlussschema eines unipolaren Motors

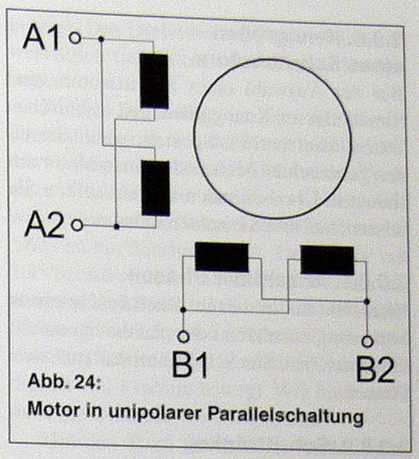


Abb. 24: Motor in unipolarer Parallelschaltung

höher, was bei der Auslegung der Steuerung berücksichtigt werden muss.

Für einen Motor mit acht Anschlüssen sollten Sie unbedingt einen Anschlussplan haben. Sie können zwar die einzelnen Wicklungen mit dem Ohmmeter identifizieren, wissen aber nicht, welche Wicklungen zueinander gehören. Wenn Sie Glück haben und Hersteller und Typbezeichnung kennen, finden Sie möglicherweise auf der Internet-Seite des Herstellers einen Anschlussplan.

2.3.6.6. Jede andere Anschlussanzahl

Von Motoren, die eine andere als die oben beschriebene Anschlussanzahl oder Anschlussbelegung haben, sollten Sie die Finger lassen. Es handelt sich vermutlich um Motoren mit fünf oder drei Phasen. Diese Motoren sind möglicherweise sehr gut zum Antrieb einer Werkzeugmaschine geeignet, allerdings gibt es am Markt dafür zurzeit keine preisgünstigen Steuerungen und auch der Selbstbau einer Steuerung gestaltet sich ziemlich aufwendig.

2.3.7. Warnung: Fremdantrieb des Schrittmotors

Wie fast jeder Elektromotor arbeitet auch ein von außen angetriebener Schrittmotor als Generator. Ein Antrieb von außen könnte zum Beispiel bei einer Fräsmaschine mit zusätzlichem Vorschubantrieb auftreten. Die durch den angetriebenen Schrittmotor erzeugte Spannung kann dabei so hoch werden, dass die Endstufen-IC durchbrennen. Wenn Sie also vorhaben, einen Schrittmotor von außen anzutreiben, trennen Sie ihn vorher von der Steuerung! Das gilt natürlich nicht, wenn Sie die Achsen mit den Handrädern bewegen.

2.3.8. Kenngrößen eines Schrittmotors

Bei der Auswahl eines Schrittmotors sind Sie mit dessen Kenngrößen, den technischen Daten, konfrontiert. Speziell, wenn Sie einen gebrauchten Motor oder einen Motor aus Industrie-Überbeständen kaufen, sollten Sie wissen, auf was Sie achten müssen.

2.3.8.1. Anzahl der Phasen

Wenn Sie die in diesem Buch beschriebene Steuerung einsetzen oder nachbauen möchten, brauchen Sie Schrittmotoren mit zwei Phasen.

2.3.8.2. Schrittwinkel, Anzahl der Schritte

Beim Schrittwinkel gilt: Je kleiner, desto besser. Bei der Anzahl der Schritte ist demnach mehr natürlich besser. Allerdings wird die Mehrzahl der Motoren, die Ihnen für einen vernünftigen Preis angeboten werden, einen Schrittwinkel von 1,8° und damit eine Schrittzahl von 200 Vollschritten haben. Ansonsten ist der Schrittwinkel nicht wirklich kritisch. Die Software der Steuerung lässt sich an praktisch jeden Schrittwinkel anpassen, und wenn die Genauigkeit des Tischvorschubs zu gering sein sollte, kann das über ein Untersetzungsgetriebe zwischen Motor und Spindel ausgeglichen werden.

Allerdings auch hier wieder der Hinweis: Motoren mit Schrittzahlen von 300 oder 500 sind für die in diesem Buch beschriebene Steuerung nicht geeignet.

2.3.8.3. Haltemoment

Das Haltemoment gibt an, welches Drehmoment nötig ist, um einen Motor, durch den der nominale Phasenstrom fließt, aus seiner Ruhestellung von außen in Bewegung zu setzen.

Genau genommen sagt das Haltemoment über das Drehmoment im Betrieb nichts aus. Allerdings ist dies meist die einzige Angabe, die Sie über das Drehmoment von gebrauchten Motoren erhalten. Es gibt zumindest einen Hinweis auf die Kraft, die ein Motor entwickelt. Die Daten für das Drehmoment im Betrieb können Sie nur aus der Motorkennlinie ablesen, weil das Drehmoment von der jeweiligen Drehzahl des Motors abhängt.

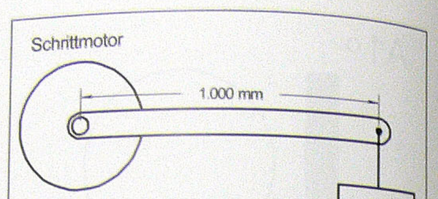


Abb. 25: Darstellung eines Haltemoments von 1 N/m

Das Haltemoment wird in N/m gemessen. Stellen Sie sich vor, an der Achse des Schrittmotors wäre ein Hebelarm mit einer Länge von 1 m befestigt. Am Ende des Hebelarms greift eine Kraft von 1 N an. Sie könnten auch vereinfachend sagen, am Ende des Hebelarms hängt ein Gewicht von 0,102 kg.

Oft wird das Haltemoment eines Motors auch in N/cm angegeben. Um bei dem Beispiel mit dem 1 m langen Hebelarm zu bleiben, teilen wir die N/cm Angabe durch 100 und erhalten wieder den Wert in N/m.

Die Motoren, die ich in meiner umgebauten Wabeco-Fräsmaschine verwende, haben z. B. ein Haltemoment von 270 N/cm oder 2,7 N/m. An den 1 m langen Hebelarm müssten wir also ein Gewicht von 0,2754 kg hängen, um den Motor aus seiner Ruhestellung zu bewegen. Um sich diese nicht unerhebliche Kraft zu verdeutlichen, sollten Sie einmal ein solches Gewicht an eine 1 m lange Stange hängen und diese am Ende mit einer Hand halten.

2.3.8.4. Drehmoment

Das Drehmoment wird ebenfalls in N/m gemessen, deshalb gilt auch hier alles, was im vorigen Abschnitt gesagt wurde. Da das Drehmoment des Motors unter anderem von seiner Drehzahl abhängt, benötigen Sie eine Drehmoment/Drehzahl-Kennlinie, um festzustellen, ob der Motor für die Anwendung geeignet ist. Die Kennlinie eines Motors mit 2,7 N/m zeigt Abb. 26.

Sie sehen, dass das Drehmoment bis etwa 400 U/min relativ konstant bleibt und dann stark abfällt. Allerdings lässt die logarithmische Teilung der Drehzahlachse die Verhältnisse etwas dramatischer erscheinen, als sie in Wirklichkeit sind.

Weiterhin können Sie erkennen, dass das Drehmoment bei der halben Betriebspannung wesentlich früher abfällt. Daraus folgt, dass Schrittmotoren mit einer möglichst hohen Spannung betrieben werden sollten. Als Faustregel gilt, dass die Betriebsspannung das 25-fache der Nennspannung des Motors nicht überschreiten sollte. Die Grenze ziehen hier allerdings die integrierten Ansteuerungsbausteine, die auf maximale Spannungen von ca. 40–50 V ausgelegt sind.

Daraus folgt, dass ein Schrittmotor das höchste Drehmoment und die flachste Drehmomentkurve bei der maximal vertretbaren Spannung im Vollschrittbetrieb erreicht. Der Halbschrittbetrieb wird in der Kurve nicht gezeigt. Das Drehmoment dürfte aber nicht wesentlich unter dem im Vollschrittbetrieb liegen.

Welche Bedeutung hat aber nun dieses Drehzahldiagramm in der Praxis? Stellen wir uns vor, dass wir mit diesem Motor den Tisch einer Fräsmaschine antreiben wollen. Wir wählen wieder das Beispiel aus dem Abschnitt „Was ist ein Schrittmotor?“. Der Motor mit 1,8° Schrittwinkel treibt über eine Untersetzung im Verhältnis 1:2 die Spindel mit einer Steigung von 2,5 mm an. Wir möchten, dass sich der Tisch im Eilgang mit einer Geschwindigkeit von 1 m/min bewegt. Wie hoch muss dazu die Drehzahl des Motors sein?

Um den Tisch um 2,5 mm zu bewegen, brauchen wir zwei Umdrehungen des Motors. Für 100 cm brauchen wir also 1.000 mm / 2,5 mm = 400 Umdrehungen. Wenn wir Vollschrittbetrieb bei 48 V wählen, beträgt das Drehmoment des Motors ca. 2,1 N/m.

Mit diesem Drehmoment muss der Motor sämtliche Reibungsverluste im Getriebe, in der Spindel mit Spindelmutter und in den Führungen überwinden. Dazu kommt die Mas-

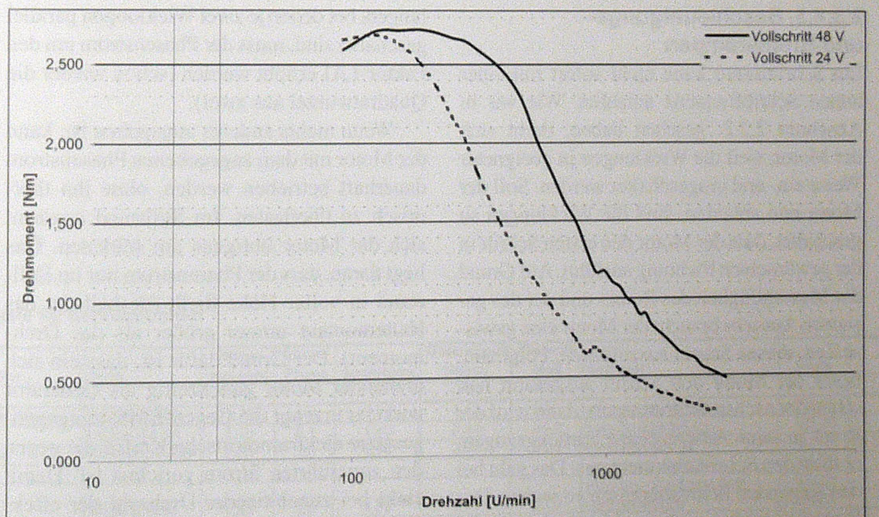


Abb. 26: Die Kennlinie eines Schrittmotors

senträgheit des Maschinentischs mit Spannmitteln und Werkstück. Der Tisch muss ja aus dem Stand auf die Geschwindigkeit von 1 m/min beschleunigt werden.

Ich habe die Daten meiner Maschine von einem Schrittmotor-Hersteller durchrechnen lassen. Dabei stellte sich heraus, dass die benötigten Motoren kleiner waren, als von mir vermutet, und dass der größte Teil des notwendigen Drehmoments dafür verbraucht wird, die Massenträgheit von Rotor und Leitspindel beim Anlaufen des Motors zu überwinden. Auf Grund der Untersetzung von 1:2 und der geringen Steigung der Leitspindel von 2,5 mm wird für die übrigen Bewegungswiderstände kaum Drehmoment gebraucht. Größere Motoren bringen also nicht unbedingt einen Vorteil.

Fast alle Schrittmotor-Hersteller bieten Berechnungsmethoden und Diagramme an, um das nötige Drehmoment zu ermitteln. Allerdings verfügen wir als Amateure nicht über alle erforderlichen Daten unserer Maschinen, um eine vernünftige Berechnung durchführen zu können. Was bleibt, ist also das Experiment.

2.3.8.5. Beschleunigungs- und Bremsrampen

Ein Schrittmotor kann nicht sofort mit einer hohen Schrittfrequenz anlaufen. Wie wir in Abschnitt 2.2.2. gesehen haben, dreht sich der Motor, weil die Wicklungen in geeigneter Weise ein- und umgeschaltet werden. Soll der Motor nun anlaufen, sind die Wicklungen so geschaltet, dass der Motor den ersten Schritt in der gewünschten Richtung ausführt. Auf Grund der Massenträgheit des Rotors und der des gesamten Antriebs braucht der Motor eine gewisse Zeit, diesen Schritt auszuführen. Folgt nun, bevor der Motor den Schritt ausgeführt hat, schon der nächste Schrittimpuls, dann wird der Rotor in seine Ausgangslage zurückgezogen, er führt den Schritt also nicht aus. Das geht bei den folgenden Schrittimpulsen so weiter. Das Ergebnis ist, dass sich der Motor nicht dreht, sondern nur heftig auf der Stelle vibriert.

Um dieses Problem zu vermeiden, bietet jede Steuerungssoftware die Möglichkeit, neben der maximalen Schrittfrequenz eine Beschleunigungs- und Bremsrampe einzustellen. Das bedeutet, der Motor läuft nicht sofort mit der eingestellten Drehzahl an, sondern die Drehzahl wird kontinuierlich von Null bis zur Solldrehzahl gesteigert. Die Zeit, die benötigt wird, um die Solldrehzahl zu erreichen, lässt sich einstellen. Gleiches gilt für das Abbremsen, um den Motor definiert auf der gewünschten Position zu stoppen.

Solldrehzahl und Steilheit der Rampen werden also so lange gesteigert, bis der Motor nicht mehr anläuft, danach wird beides leicht zurückgenommen und diese Einstellung in der Steuerungssoftware gespeichert. Genauer beschäftigen wir uns mit diesen Einstellungen bei der Konfiguration der Steuerungssoftware.

2.3.8.6. Phasenstrom

Der Phasenstrom ist eine der wichtigsten Kenngrößen eines Motors, hängt doch von ihm die Auslegung der Steuerungselektronik ab. Der Phasenstrom wird in Ampere je Wicklung angegeben. Für Motoren mit vier Wicklungen, bei denen je zwei Wicklungen parallel geschaltet sind, muss der Phasenstrom um den Faktor 1,41 erhöht werden (schon wieder die Quadratwurzel aus zwei).

Wenn nichts anderes angegeben ist, kann der Motor mit dem angegebenen Phasenstrom dauerhaft betrieben werden, ohne ihn thermisch zu überlasten. Im Stillstand erwärmt sich der Motor übrigens am stärksten. Das liegt daran, dass der Phasenstrom nur im Stillstand in voller Höhe fließt (deshalb ist das Haltemoment immer größer als das Drehmoment). Der Grund dafür ist, dass ein sich drehender Motor gleichzeitig als Generator wirkt, er erzeugt die Gegen-EMK (entgegengesetzte elektromotorische Kraft), die gegen den zugeführten Strom gerichtet ist. Damit sinkt bei zunehmender Drehzahl der effektive Phasenstrom, da ihn die Gegen-EMK teilweise aufhebt.

2.3.8.7. Nennspannung

Die Nennspannung besagt, welche Spannung im Stillstand des Motors an die Motorwicklung anzulegen ist, um den Nennstrom zu erreichen. Da wir in diesem Buch nur Steuerungen für Konstantstrom behandeln, ist die Nennspannung relativ uninteressant. Sie sollte nicht mit der Betriebsspannung der Steuerung verwechselt werden. Allerdings sollte die Nennspannung möglichst niedrig sein (unter 6 V), weil dann auch die Wicklungsinduktivität niedrig ist und solche Motoren bei höheren Drehzahlen ein besseres Drehmoment aufweisen. Wie oben bereits erwähnt, gilt die Faustregel, dass die Betriebsspannung die 25-fache Nennspannung nicht überschreiten sollte.

2.3.8.8. Wicklungswiderstand, Wicklungsinduktivität

Diese Werte sollten möglichst niedrig sein. Motoren mit niedrigem Wicklungswiderstand haben auch eine niedrige Nennspannung (Nennspannung = Phasenstrom × Wicklungswiderstand) und eine niedrige Wicklungsinduktivität. Wie bei der Nennspannung erwähnt, ist das gut für das Drehmoment bei höheren Drehzahlen.

2.3.9 Beispiele für Schrittmotoren

In der folgenden Tabelle sind einige Schrittmotoren aufgeführt, die sich für den Einsatz mit der später beschriebenen Steuerung eignen und leicht erhältlich sind. Motoren mit Haltemomenten im Bereich von 1,5 Nm sind dabei für kleinere Maschinen, z.B. Portalfräsen, geeignet, während mit den Motoren im Bereich von 3,0 Nm größere Maschinen mit Schwalbenschwanzführungen, wie z.B. eine Wabeco F 1200 E oder eine Optimum BF20, angetrieben werden können.

Beispiele für Schrittmotoren

Hersteller	Type	Halte-moment	Strom/ Phase	Spannung	Widerstand/ Phase	Flansch-Maß	Anbieter	Preis	
		Nm	A	V	Ohm	mm			
Oriental / Vexta	PK268-E2.0A	1,75	2,8	3,16	1,13	56,0	www.axelsiefert.de	100,00	
	PK296-E4.5A	3,10	6,3	1,40	0,24	85,0	www.axelsiefert.de	145,00	
Nanotec	ST5818D-4208	2,55	3,0	5,94	2,00	56,0	www.nanotec.de	99,18	ab 2 Stück
							www.axelsiefert.de	105,00	
							www.cnc-steuerung.com	106,80	
Mineba	23KM-K743V	1,33	3,0	3,30	1,10	56,0	www.lewetz.de	87,00	
Sanyo Denki	103H7126-0740	1,27	3,0	2,70	0,90	56,0	www.cnc-elektrotechnik.de	75,00	
	103H7823-1741	2,70	4,0	2,60	0,65	60,0	www.cnc-elektrotechnik.de	99,00	

3. Die Steuerung

Im Absatz 1.8. haben wir gesehen, welche Funktionen die Steuerung übernimmt. Die von mir entwickelte Steuerung ist in einzelne Module unterteilt, die diese Funktionen realisieren. Die komplette Steuerung mit allen Modulen zeigt Abb. 27.

3.1. Die Bestandteile der Steuerung

3.1.1. Netzteil

Das Netzteil stellt alle für den Betrieb der Steuerung erforderlichen Spannungen zur Verfügung. Daneben sorgt es für die elektrische Trennung zwischen dem Stromnetz und den Komponenten der Steuerung. Dies ist aus Sicherheitsgründen unbedingt erforderlich.

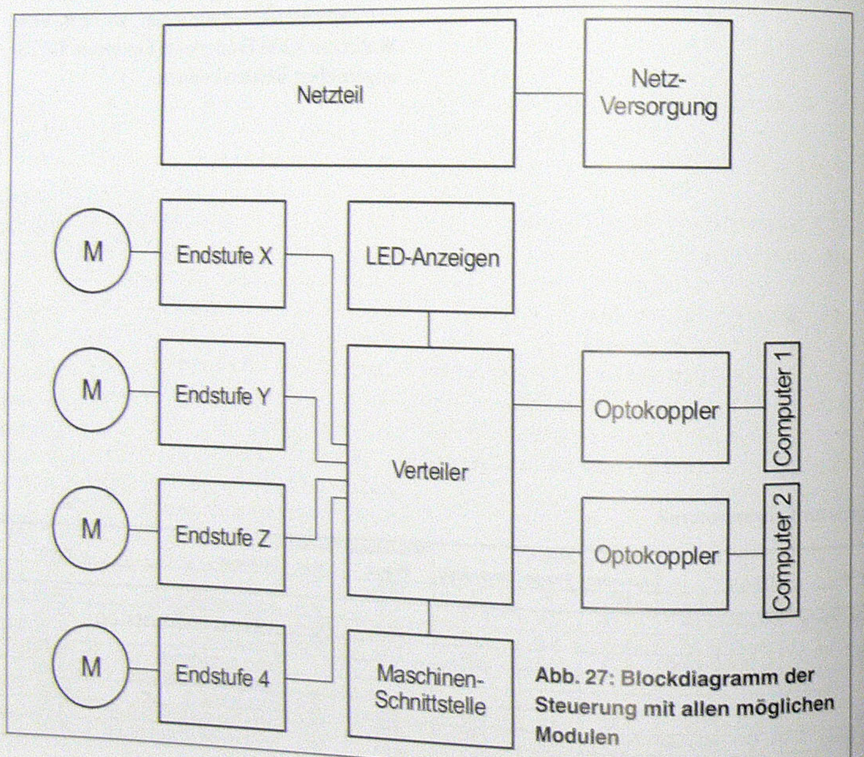


Abb. 27: Blockdiagramm der Steuerung mit allen möglichen Modulen

3.1.2. Netzversorgung

Um jegliche „fliegende" Verdrahtung zu vermeiden, habe ich eine kleine gedruckte Schaltung vorgesehen, welche die Verteilung der Netzspannung im Gerät übernimmt. Auch die Relais für die geschalteten 230-V-Ausgänge sind auf dieser Platine untergebracht.

3.1.3. Endstufen

Die Endstufen sind die „Muskeln" der Steuerung, sie versetzen die Motoren in Bewegung und werden über Takt- und Richtungssignale vom Computer kontrolliert. Abhängig von der Zahl der angetriebenen Achsen (z. B. davon, ob Sie zusätzlich einen Rundtisch einsetzen wollen), benötigen Sie drei oder vier Endstufen. Durch den modularen Aufbau der Steuerung können Sie natürlich erst drei Endstufen bauen und bei Bedarf die vierte nachrüsten. Für eine Drehbank würden Sie sogar nur zwei Endstufen benötigen.

3.1.4. Maschinen-Schnittstelle

Die Maschinen-Schnittstelle befindet sich nicht in der Steuerung, sondern in einem kleinen Kasten an der Maschine. Die Verbindung zur Steuerung wird durch ein Computer-Schnittstellenkabel mit 25 Anschlüssen hergestellt. Darüber werden die End- und Referenzschalter-Signale, die Signale des Werkzeugsensors und die Signale für den Spindelantrieb geführt.

3.1.5. Verteiler

Wenn die Endstufen die „Muskeln" sind, dann ist der Verteiler das „Hirn" der Steuerung. Hier laufen die Signale von allen anderen Modulen der Steuerung zusammen. Auch die Drehzahlsteuerung für den Spindelmotor und die Sicherheitsschaltungen sind hier untergebracht.

3.1.6. Optokoppler

Das „Herumexperimentieren" an den Schnittstellen kann für den Computer sehr gefährlich sein. Die Schnittstellen sind nur für geringe Spannungen von ca. 5 V ausgelegt. Beim versehentlichen Anlegen höherer Spannungen verabschieden sich die Schnittstellen-Bausteine im Computer gern für immer. Früher war das nicht ganz so schlimm, da für die Schnittstellen eigene Steckkarten vorgesehen waren. Der Kostenaufwand für eine neue Schnittstellenkarte war deshalb überschaubar. Heutzutage, und das gilt ganz besonders für Notebook- oder Laptop-Computer, sind die Schnittstellen auf dem so genannten Motherboard, der Hauptplatine des Computers untergebracht. Es wird im Fehlerfall also fast die gesamte Elektronik des Computers, nicht nur eine einzelne Schnittstellenkarte, ausgewechselt. Das kostet bei einem Desktop-Computer ca. 100,- bis 200,- €, bei einem Notebook sprechen wir schon von 500,- bis 800,- €. Ein weiteres Problem ist, dass bei Notebooks die Signale auf der Schnittstelle nicht immer den vollen Logikpegel von 5 V erreichen. Fehlschaltungen in der Steuerung können die Folge sein. Schließlich besteht noch die Gefahr, dass Hochfrequenz-Störsignale, die von den Motorendstufen erzeugt werden, über die Schnittstellen auf den Computer zurückwirken und dort zu Fehlfunktionen führen. Gegen alles das hilft die elektrische Trennung von Computer und Steuerung über Optokoppler. Wie es im Einzelnen funktioniert, beschreibe ich später genauer.

Wenn Sie dennoch die Kosten und den Aufwand für Optokoppler scheuen, können Sie die Steuerung auch ohne diese Module aufbauen. Die Computer-Schnittstellen werden dann direkt mit dem Verteiler verbunden.

3.1.7. Computerschnittstellen

Computer 1 und Computer 2 sind die Verbindungen zu den parallelen Druckerschnittstellen des Computers.

3.1.8. LED-Anzeigen

Die LED-Anzeigen sind ein gewisser Luxus, den Sie sich aber gönnen sollten. Die wichtigsten Signale der Steuerung, z.B. die Referenzschalter oder das Bereitschaftssignal, werden über Leuchtdioden sichtbar gemacht und zeigen direkt den Zustand der Steuerung an.

3.2. Vereinfachte Steuerung

Möchten Sie die Steuerung mit dem geringsten Zeit- und Kostenaufwand bauen, dann lassen Sie einfach einige der Module weg. Eine einfache Steuerung für drei Achsen mit nur einer Computerschnittstelle sehen Sie in Abb. 28.

3.3. Die Endstufen

3.3.1. H-Brücken

Die Motorendstufen sorgen dafür, dass ein definierter Strom durch die Motorphasen fließt. Dabei hängt es von der Reihenfolge, in der die Wicklungen eingeschaltet werden und von der Richtung des Stroms durch die jeweilige Phase ab, in welche Richtung sich der Motor dreht. Das Prinzip wurde im Abschnitt 2.2.2. erklärt.

Um nun den Strom in zwei Richtungen durch eine Motorphase fließen zu lassen, werden in der bipolaren Ansteuerungstechnik (und nur damit werden wir uns beschäftigen), so

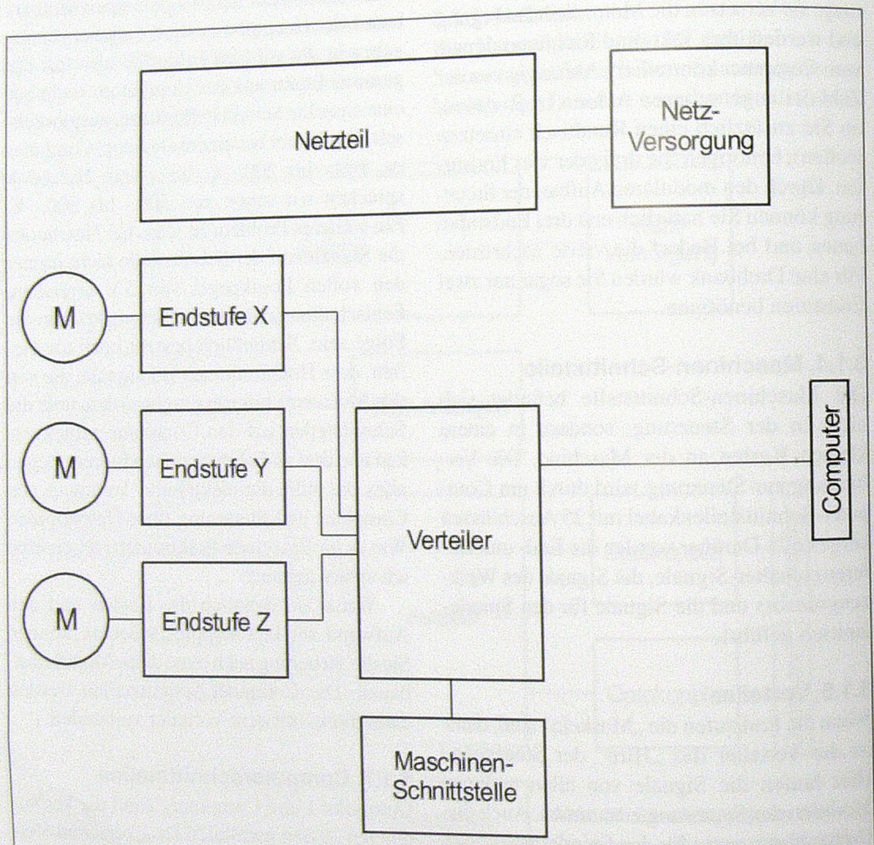


Abb. 28: Blockdiagramm der Steuerung in Minimalausführung für eine Fräsmaschine

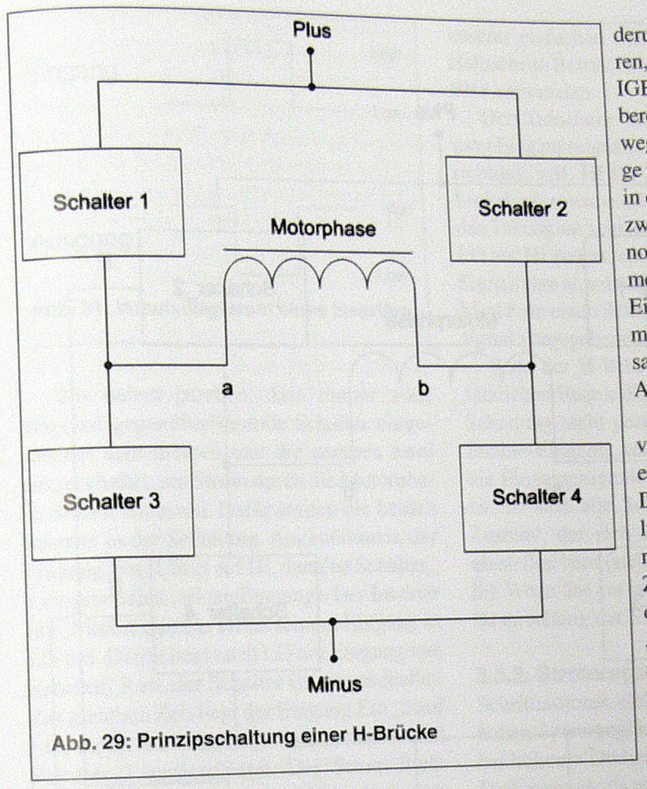


Abb. 29: Prinzipschaltung einer H-Brücke

genannte H-Brückenschaltungen eingesetzt. Von H-Brücke spricht man deshalb, weil die Schaltung dem Großbuchstaben „H“ ähnelt. Ein vereinfachtes Schaltbild für die H-Brücke einer Motorphase zeigt Abb. 29.

Angenommen, Schalter 1 und 4 sind eingeschaltet, Schalter 2 und 3 ausgeschaltet, dann fließt der Strom vom Pluspol über den Schalter 1, von a nach b durch die Motorphase und über den Schalter 4 zum Minuspol. Sind Schalter 2 und 3 eingeschaltet, Schalter 1 und 4 aber aus, dann nimmt der Strom den umgekehrten Weg von b nach a durch die Motorphase. Weil der Motor zwei Phasen hat, gibt es in der Endstufe natürlich auch zwei solcher H-Brücken.

Die Schalter sind allerdings keine Relais oder andere mechanische Schalter, sondern Halbleiterelemente, je nach Leistungsanforderung bipolare Transistoren, Power-MOSFET oder IGBT. In dem Leistungsbereich, in dem wir uns bewegen, gibt es preisgünstige integrierte Schaltungen, in denen jeweils eine oder zwei H-Brücken mit den notwendigen Zusatzelementen untergebracht sind. Eine komplette H-Brücke mit allen wesentlichen Zusatzelementen sehen Sie in Abb. 30.

Um die Schaltung zu verstehen, ist zunächst ein kurzer Ausflug in die Digitaltechnik erforderlich. In der Digitaltechnik gibt es genau zwei Zustände, nämlich „Ein“ oder „Aus“, „Strom“ oder „Kein Strom“. Die englischen Begriffe dafür sind High (abgekürzt HI) und Low (abgekürzt LO).

Alle Digitalbausteine, mit denen wir es zu tun bekommen werden, arbeiten mit einer Versorgungsspannung von +5 V. Deshalb entspricht der HI-Zustand einer Spannung von annähernd +5 V, der LO-Zustand einer Spannung von fast 0 V.

Bei den beiden Bausteinen in der Schaltung aus Abb. 30, die mit „Inv 1“ und „Inv 2“ gekennzeichnet sind, handelt es sich um Inverter, auch Nicht-Funktionen genannt. Ein Inverter kehrt ein digitales Signal in sein Gegenteil um. Aus HI wird LO, aus LO wird HI. Die Nicht-Funktion erkennen Sie an dem kleinen Kreis an der Spitze des Dreiecks, dem Ausgang des Inverters.

Die vier elektronischen Schalter der H-Brücke schließen immer dann, wenn HI am Eingang anliegt.

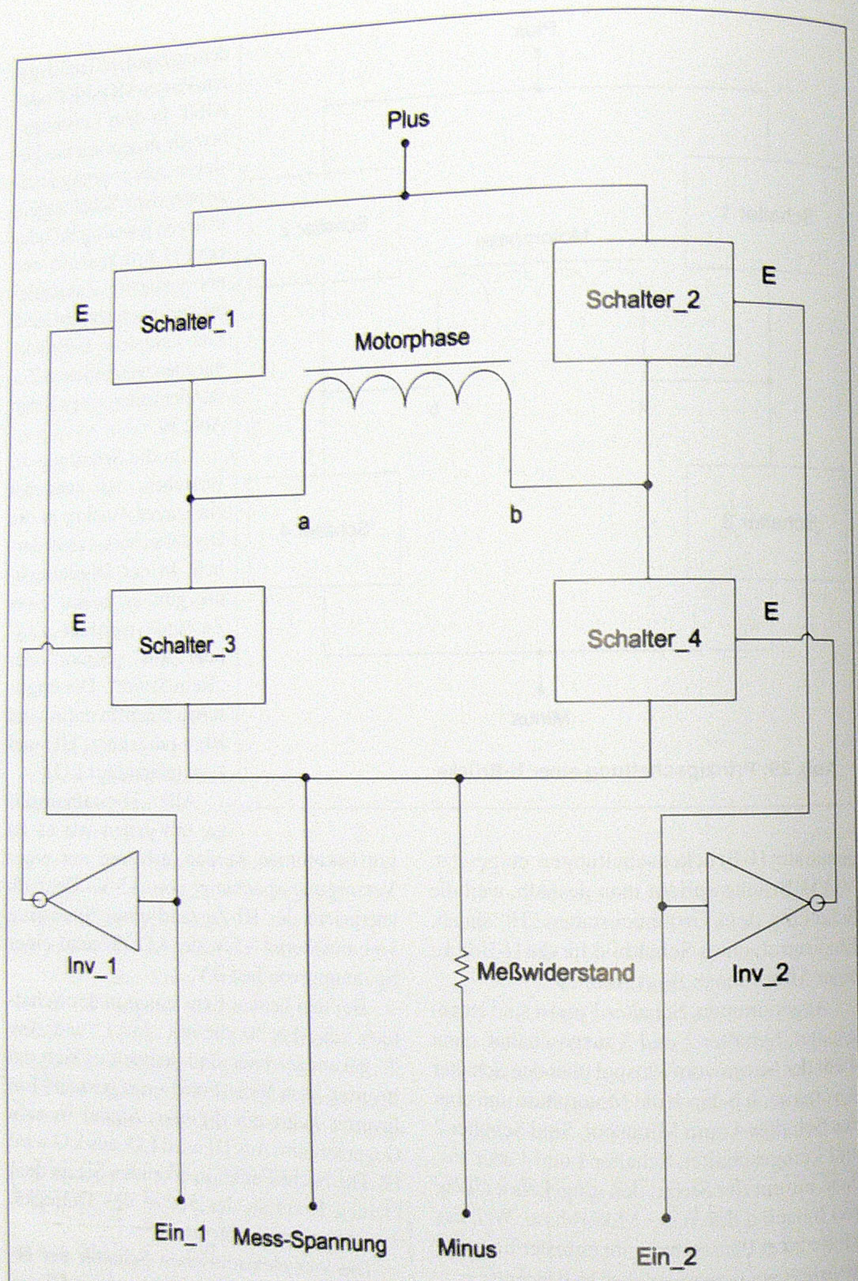


Abb. 30: Schaltung einer kompletten H-Brücke

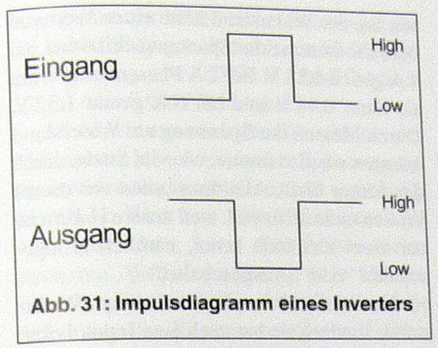


Abb. 31: Impulsdiagramm eines Inverters

Wir haben gesehen, dass immer zwei diagonal gegenüberliegende Schalter eingeschaltet sein müssen und die anderen zwei ausgeschaltet, um Strom durch die Motorphase fließen zu lassen. Dafür sorgen die beiden Inverter in der Schaltung. Angenommen, der Eingang Ein_1 liegt auf HI, dann ist Schalter_1 eingeschaltet (HI am Eingang). Der Inverter Inv_1 kehrt nun das HI an seinem Eingang in LO um. Damit liegt auch LO am Eingang von Schalter_3 an, der Schalter ist ausgeschaltet. Zur gleichen Zeit liegt der Eingang Ein_2 auf LO, damit ist Schalter_4 eingeschaltet und Schalter_2 ausgeschaltet. Der Strom fließt also von a nach b durch die Motorphase. Die möglichen Schaltzustände zeigt Abb. 32.

Mit zwei digitalen Eingangssignalen pro Brücke, insgesamt also vier, kann der Motor in seiner Bewegung beliebig gesteuert werden. Dazu ist lediglich die korrekte Folge von Impulsen an den Eingängen erforderlich. Diese Impulsfolge erzeugt in der Praxis entweder ein Mikroprozessor, speziell wenn es sich um eine Steuerung für den Mikroschritt-Betrieb handelt, oder ein so genannter Translator. Bei unserer einfachen Steuerung für Voll- oder Halbschritt-Betrieb werden wir einen Translator verwenden.

Der Translator benötigt pro Motor nur zwei Eingangssignale, ein Signal für die Drehrichtung, z.B. HI für Rechtslauf und LO für Linkslauf, sowie ein Taktsignal. Immer wenn das Taktsignal seinen logischen Zustand von LO auf HI ändert, erzeugt der Translator eine Signalfolge an seinen vier Ausgängen, die den Motor um einen Schritt in der vom Richtungssignal vorgegebenen Richtung weiterdreht.

Jede der H-Brücken hat noch einen zusätzlichen Enable-Eingang, der in der obigen Schaltung nicht gezeigt ist. Liegt ein HI am Enable-Eingang, reagieren die Schalter auf die Eingangssignale der Brücke, liegt ein LO an, so sind alle Schalter ausgeschaltet, ein Zustand, der sich über die Eingänge nicht einstellen lässt (siehe die hier gezeigte Tabelle). Wozu das gut ist, werden wir jetzt bei der Besprechung der Stromregelung sehen.

3.3.2. Stromregelung

Schrittmotoren sollen mit einer möglichst hohen Spannung betrieben werden, um auch bei höheren Drehzahlen ein möglichst hohes Drehmoment zu erzielen. In der Praxis wird die Betriebspannung allerdings durch die verwendeten Endstufen-Bausteine begrenzt.

In der später beschriebenen, praktisch ausgeführten Steuerung beträgt die Betriebsspannung rund 40 V. Wenn wir nun einen Motor aus unserer Liste betrachten, beispielsweise den Sanyo Denki 103H7823-1741, so hat dieser Motor einen Phasenwiderstand von 0,65 Ω. Nach dem Ohmschen Gesetz ist der Strom in einem Stromkreis gleich der Spannung, geteilt

Ein 1	Ein 2	Schalter 1	Schalter 2	Schalter 3	Schalter 4	Stromfluß
H	L	ein	aus	aus	ein	a nach b
L	H	aus	ein	ein	aus	b nach a
H	H	ein	ein	aus	aus	keiner
L	L	aus	aus	ein	ein	keiner

Abb. 32: Die möglichen Schaltzustände einer H-Brücke

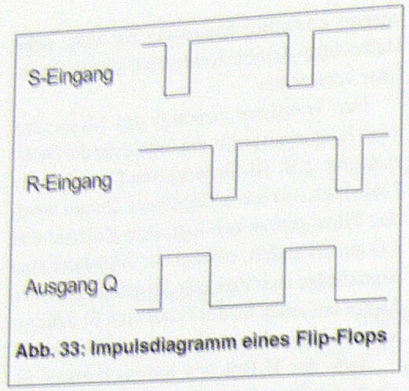


Abb. 33: Impulsdiagramm eines Flip-Flops

durch den Widerstand – hier also 40 V, geteilt durch 0,65 Ω. Das sind unglaubliche 62 A! Würden Sie tatsächlich 40 V an eine Phase dieses Motors anlegen, so wäre sein sofortiges Ableben sicher, und zwar unter heftiger Rauchentwicklung. Allerdings würde ihm die Stromquelle sicherlich zuvorkommen.

Was also tun? Wie Sie vielleicht bemerkt haben, gibt es in der H-Brückenschaltung einen Messwiderstand. Durch diesen Messwiderstand fließt der gesamte Strom der Motorphase. Nach dem bereits erwähnten Ohmschen Gesetz ist die Spannungsdifferenz an den beiden Enden des Widerstands das Produkt aus Strom und Widerstand. Der Sanyo Denki verträgt einen Phasenstrom von 4 A. Nehmen wir an, der Widerstand hätte einen Wert von 0,22 Ω, dann ist die Spannungsdifferenz bei 4 A gleich 0,88 V. Bei 2 A Phasenstrom wäre sie dann 0,44 V und bei 6 A genau 1,32 V. Durch Messen der Spannung am Widerstand wüssten wir also immer, wie viel Strom durch den Motor fließt. Allerdings nützt uns dieses Wissen nicht allzu viel, weil unsere H-Brücke nur zwei Zustände kennt, nämlich „Eingeschaltet" oder „Ausgeschaltet".

Nun ist die Motorphase kein reiner Widerstand, sondern sie hat auch eine Induktivität. Eine Induktivität, also im einfachsten Fall ein aufgewickeltes Stück Draht, hat die Eigenschaft, dass sich der Stromfluss nach Anlegen der Spannung nicht schlagartig aufbaut, sondern mit einer gewissen Verzögerung. Die Zeit, bis der volle Strom fließt, hängt von der Höhe der Induktivität und dem Widerstand der Wicklung ab. Diese Faktoren wiederum werden von der Anzahl der Windungen der Motorphase, der verwendeten Drahtstärke und dem Material des Stators beeinflusst. Viele Windungen bedeuten hohe Induktivität und hohen Widerstand, wenige Windungen geringe Induktivität und geringen Widerstand.

Die Induktivität wird in Henry gemessen. Bei unserem Motor sind es pro Phase 2,4 mH oder 0,0024 H. Der elektrische Widerstand der Phase beträgt 0,65 Ω. Die Zeit, die der Strom

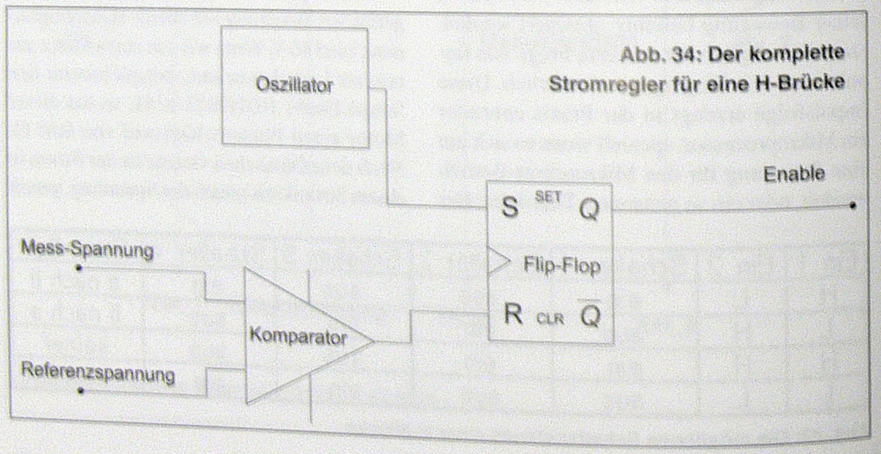


Abb. 34: Der komplette Stromregler für eine H-Brücke

braucht, um zur vollen Höhe anzusteigen, ist die Induktivität, geteilt durch den Widerstand der Wicklung, also 0,0024 H / 0,65 Ω gleich 3,7 ms oder 0,0037 Sekunden.

Wenn wir nun nach dem Einschalten der Motorphase den Anstieg der Spannung am Messwiderstand beobachten und rechtzeitig bei einem Wert von 0,88 V (entsprechend 4 A) abschalten, kann dem Motor nichts passieren. Weil das natürlich kein Mensch schafft, gibt es dafür eine elektronische Schaltung, den Komparator. Dieses Teil hat zwei Eingänge, einen für die Messspannung der Brücke und einen für die Referenzspannung. Sind beide Spannungen gleich, schaltet der Komparator, und sein Ausgang wechselt von HI auf LO.

Indem wir den Ausgang des Komparators mit dem Enable-Eingang der H-Brücke verbinden, haben wir das Ziel erreicht, der Strom wird bei Erreichen des Sollwerts abgeschaltet, der Motor und die Stromversorgung bleiben ganz. Wir können sogar durch Veränderung der Referenzspannung am Komparator den Motorstrom fast beliebig einstellen.

Leider funktioniert das nach dem Einschalten der Motorphase nur genau einmal. Damit während der gesamten Einschaltdauer der Motorphase der gewünschte Strom fließt, muss sich der Vorgang also ständig wiederholen. Dafür sorgen zwei weitere Bauteile, der Oszillator und das Flip-Flop. Der Oszillator sorgt dafür, dass sich der Vorgang permanent wiederholt. Dazu erzeugt er eine Folge von Impulsen (abwechselnd HI und LO) mit einer festgelegten Frequenz. Die Frequenz wird in Impulsen pro Sekunde gemessen, die Maßeinheit ist das Hertz, abgekürzt Hz. In unserer Schaltung beträgt die Frequenz ca. 25.000 Hz oder 25 kHz. Die Frequenz sollte deutlich über der Hörschwelle liegen, weil die Motoren sonst hörbar mit der Oszillatorfrequenz schwingen und mit ihrem Pfeifen nerven.

Das Flip-Flop ist ein Bauteil, dessen Ausgang permanent einen der zwei logischen Zustände einnimmt, HI oder LO. Um den Ausgang Q auf HI zu ändern, genügt eine kurzzeitige Änderung des S-Eingangs (Setz-Eingangs) von HI auf LO. Auch wenn der Eingang anschließend wieder auf HI geht, bleibt der Zustand des Flip-Flops unverändert. Erst wenn der R-Eingang (Rücksetz-Eingang) von HI auf LO geht, ändert sich der Zustand des Ausgangs auf LO. Das Flip-Flop folgt also nicht wie der Inverter immer seinem Eingangsignal, sondern behält den eingestellten Zustand über einen beliebig langen Zeitraum, solange bis ein Impuls am entgegengesetzten Eingang seinen Zustand wieder ändert.

Mit diesen zwei Bauteilen und dem bereits besprochenen Komparator können wir einen kompletten Stromregler aufbauen:

Der Oszillator erzeugt, wie bereits erwähnt, eine Impulsfolge mit einer Frequenz von ca. 25 kHz. Immer wenn der Ausgang des Oszillators und damit der S-Eingang des Flip-Flops von HI auf LO wechseln, geht der Ausgang Q des Flip-Flops auf HI. Damit wird auch der Enable-Eingang der H-Brücke HI, und der Strom durch die Motorphase beginnt zu fließen. Sobald die Messspannung die Höhe der Referenzspannung erreicht, schaltet der Komparator seinen Ausgang auf LO. Damit wird der Eingang R des Flip-Flops LO und der Ausgang Q geht ebenfalls auf LO. Über den Enable-Eingang wird die H-Brücke abgeschaltet.

Bei der eingestellten Oszillator-Frequenz wiederholt sich dieser Vorgang alle 40 µs (0,00004 Sekunden). So wie sich der Strom in der Motorphase nur langsam aufbaut, so fällt er nach dem Abschalten auch nicht sofort auf Null zurück, sondern baut sich langsam ab. Dadurch fließt trotz des dauernden Ein- und Ausschaltens ein relativ konstanter Strom. Abb. 35 zeigt den Ablauf.

Die beschriebene Stromregelung wird im englischen Sprachraum als Chopper-Steuerung bezeichnet, das kommt von „to chop" – zerhacken. So wie im China-Restaurant das Gemüse für Chop-Suey zerhackt wird, zerhackt die Stromregelung den Strom in kleine, für den Motor verdauliche Stücke.

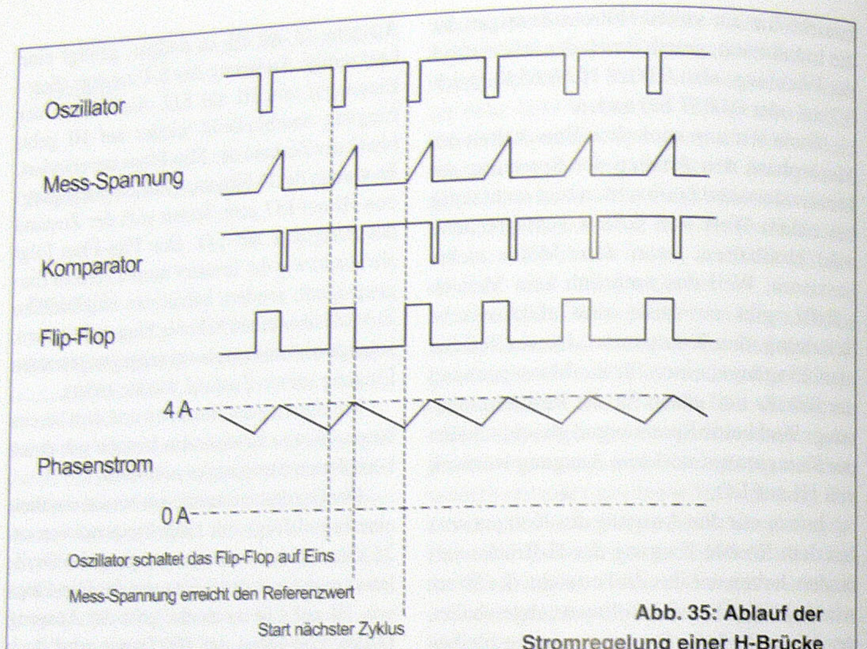


Abb. 35: Ablauf der Stromregelung einer H-Brücke

Leider sind wir mit der Stromregelung noch nicht ganz fertig. Es gibt nämlich zwei Arten der Regelung, Enable- oder Inhibit-Chopping und Phase-Chopping. Die erste Methode haben wir kennen gelernt; dabei wird die H-Brücke über den Enable-Eingang aus- und eingeschaltet. Beim Phase-Chopping werden dagegen die Eingänge Ein_1 und Ein_2 so geschaltet, dass beim Erreichen der Referenzspannung der Strom durch die Brücke abgeschaltet wird. Das ist dann allerdings nicht mehr mit dem einfachen Flip-Flop möglich, sondern erfordert mehr Aufwand. Die gute Nachricht ist aber, dass die integrierte Schaltung, die wir als Translator zur Ansteuerung der Brücken benutzen werden, die komplette Logik für beide Arten der Stromregelung enthält. Wir müssen uns noch nicht einmal im Voraus für eine der beiden Regelungsarten entscheiden, sondern wählen sie später durch das Umstecken einer einfachen Drahtbrücke. Welche der beiden Regelungen die beste ist, ist schwer zu sagen. Hier hilft eigentlich nur das Ausprobieren in der Praxis. Ich habe die Erfahrung gemacht, dass lästige Geräusche der Motoren, nämlich hochfrequentes Pfeifen und Zischen, die bei Inhibit-Chopping auftraten, bei Phase-Chopping komplett verschwanden.

3.3.3. Integrierte Schaltungen für die H-Brücken

Es gibt natürlich eine Vielzahl unterschiedlicher integrierter Schaltkreise, die für den Aufbau einer Schrittmotor-Endstufe geeignet sind. Berücksichtigen wir aber Betriebsspannung, maximalen Phasenstrom, Montage- und Kühlmöglichkeit, Verfügbarkeit und Preis, bleiben im Prinzip vier Bausteine übrig. Diese werden auch in den meisten Bausätzen oder Fertigprodukten, die im Internet angeboten werden, eingesetzt.

3.3.3.1. L298 von ST Microelectronics

Der L298 wird sehr häufig verwendet. Das hat zwei Gründe: Erstens vereinigt er in einem gemeinsamen Gehäuse gleich zwei H-Brücken und zweitens liegt er mit 2 A Phasenstrom in einem Bereich, mit dem Antriebe für kleinere Portal-Fräsmaschinen auskommen. Nicht zu vernachlässigen ist auch sein niedriger Preis von ca. 2,70 €.

Nachteile des L298 sind sein fehlender Überlastungsschutz und der Aufbau der Brücken mit bipolaren Transistoren. Deshalb ist gute Kühlung unerlässlich.

Von der Firma NC-Step (www.nc-step.de) ist ein kompletter Bausatz für drei Motorendstufen zum Preis von ca. 96,- € erhältlich. Die Platine wird öfter auch bei eBay, fertig aufgebaut, zu Preisen um 100,- € angeboten. Ich habe diese Platine auch im Einsatz und betreibe sie hart an der Leistungsgrenze. Leider sind alle drei L298 auf einem relativ kleinen, gemeinsamen Kühlkörper befestigt. Die Kühlung habe ich nur in den Griff bekommen, indem ich einen 80-mm-Lüfter direkt auf den Kühlkörper gesetzt habe. Das wird von NC-Step auch so empfohlen.

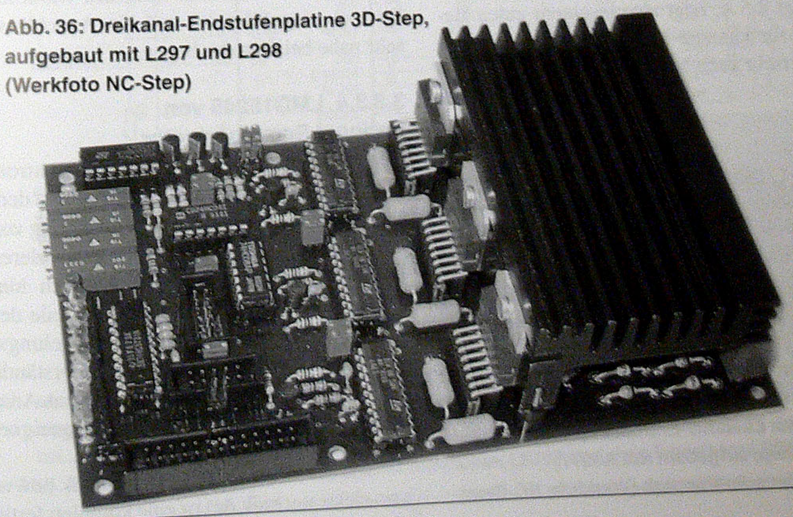
3.3.3.2. L6203 von ST Microelectronics

Dies scheint mir der ideale Baustein für eine leistungsfähige, einfach aufzubauende Endstufe zu sein. Beim L6203 ist nur eine H-Brücke im Gehäuse, Sie benötigen also zwei Bausteine pro Endstufe. Bei 5,25 € pro Brücke kostet die Bestückung einer Endstufe deshalb leider auch das Vierfache einer Endstufe mit L298.

Auf der Plusseite verbucht der L6203 aber einen maximalen Phasenstrom von 4 A im Dauerbetrieb, Power-MOSFET in den Brücken und einen internen Überlastungsschutz. Durch die geringeren Verluste der MOSFET wird der L6203 im Betrieb auch nicht so heiß, muss aber trotzdem gut gekühlt werden. Sehr empfindlich kann der L6203 auf eine zu hohe Betriebsspannung reagieren, 40–42 V sollten Sie deshalb nicht überschreiten, das absolute Maximum liegt bei 48 V.

Zusammen mit dem L6203 bietet NC-Step eine Platine bzw. einen kompletten Bausatz an. Der komplette Bausatz liegt bei ca. 72,- € und bietet auch 1/8-Mikroschritt-Betrieb.

Abb. 36: Dreikanal-Endstufenplatine 3D-Step, aufgebaut mit L297 und L298 (Werkfoto NC-Step)



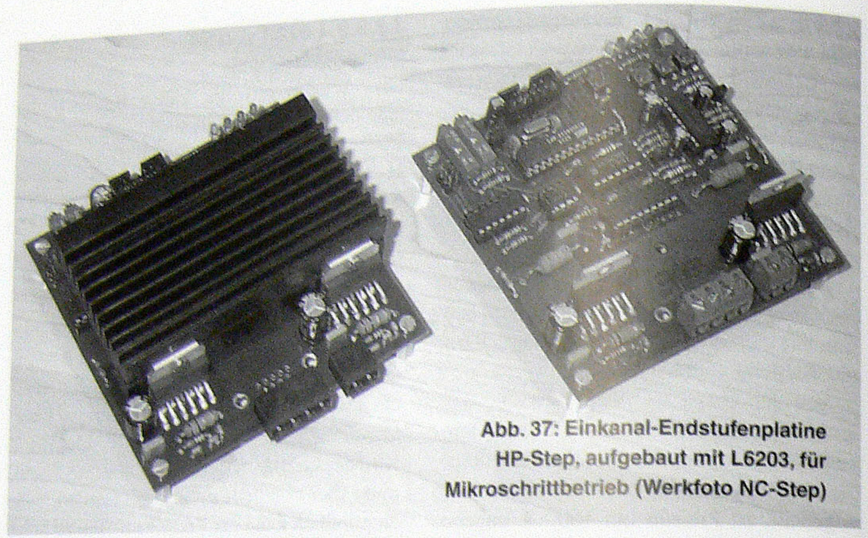


Abb. 37: Einkanal-Endstufenplatine HP-Step, aufgebaut mit L6203, für Mikroschrittbetrieb (Werkfoto NC-Step)

3.3.3.3. A3977 von Allegro Micro Systems

Der A3977 ist ein ziemlich exotisches Teil und etwas schwerer erhältlich. Gefunden habe ich es bei Segor-Elektronics (www.segor.de), dort kostet es 8,70 €. Der Vorteil des A3977 ist, dass er eine komplette Endstufe mit Brücken, Translator und Stromregelung in einem Gehäuse vereinigt. Der maximale Phasenstrom beträgt 2,5 A, liegt also in einem guten Bereich für kleinere Maschinen. Der Baustein beherrscht auch Microstepping mit 1/4- und 1/8-Schritt ohne zusätzliche Bauteile. Alles in allem also fast ideal. Allerdings würde ich empfehlen, die Endstufenplatinen nicht selbst herzustellen, sondern hierfür auf den Bausatz von NC-Step (www.nc-step.de) zum Preis von ca. 35,- € zurückzugreifen. Der IC ist dort schon auf die Platine aufgelötet. Selbstauflöten kann leicht zum Fiasko werden, weil der IC in SMD-Technik (Surface Mounted Device) ausgeführt ist und die Anschlüsse sehr nahe beieinander liegen.

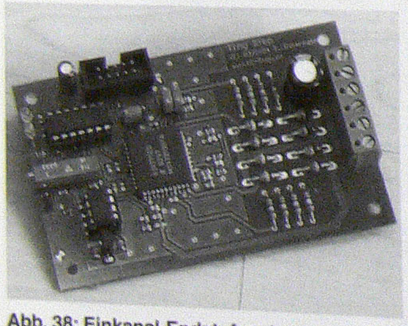


Abb. 38: Einkanal-Endstufenplatine Tiny-Step, aufgebaut mit A3977, für Mikroschrittbetrieb (Werkfoto NC-Step)

3.3.3.4. LMD18245 von National Semiconductor

Der LMD18245 liegt mit 3 A Phasenstrom leistungsmäßig zwischen dem L298 und dem L6203. Seine maximale Betriebspannung von 55 V liegt allerdings über der aller anderen Bausteine. Wie beim L6203 ist auch hier nur eine H-Brücke im Gehäuse. Vorteile des L18245 sind ein innovatives Stromregelungskonzept, das ohne externe Messwiderstände auskommt, und ein integrierter Digital-Analogkonverter, der den Baustein sehr geeignet für Microstepping macht.

Von der Firma CNC-Eektrotechnik (www.cnc-elektrotechnik.de) ist eine komplett fertig

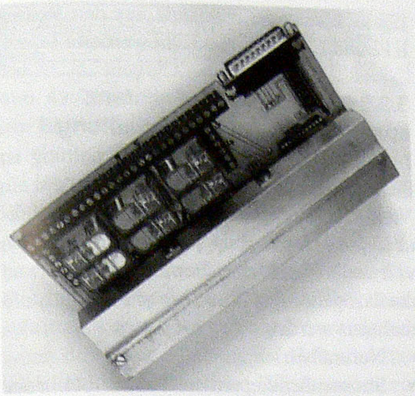


Abb. 39: Dreikanal-Endstufe Odin mit LMD18245 von cnc-elektrotechnik, erweiterbar auf vier Kanäle

aufgebaute Steuerkarte für drei Achsen erhältlich, die sich auch auf vier Achsen erweitern lässt. Die Karte kostet 259,- €.

3.3.4. Integrierte Schaltungen für den Translator

Da wir eine möglichst einfache Endstufe aufbauen wollen, kommt nur der L297 von ST Microelectronics in Frage. Der Baustein enthält den Translator, die Ausgangslogik für die Ansteuerung der zwei H-Brücken, den Oszillator und zwei Stromregler. Zusammen mit zwei L6203 und nur wenigen zusätzlichen Bauteilen kann eine komplette Endstufe aufgebaut werden. Der Preis für den L297 beträgt 3,- €.

3.3.5. Die Prinzipschaltung der Endstufe

Abb. 40 zeigt die komplette Endstufe für einen Motor, aufgebaut aus dem L297 und zwei L6203. Die Schaltung zeigt nur die wichtigsten Bauteile, in der später gezeigten, konkret aufgebauten Schaltung kommen noch einige Bauteile hinzu. Für das Verständnis der grundsätzlichen Wirkungsweise sind diese Bauteile jedoch nicht wichtig.

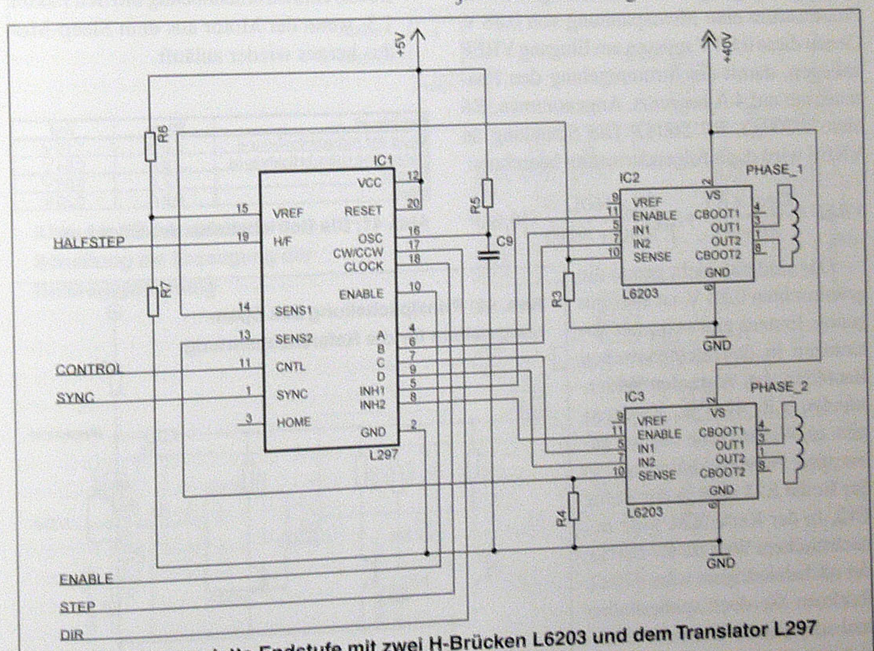


Abb. 40: Die komplette Endstufe mit zwei H-Brücken L6203 und dem Translator L297

Die Ausgänge A und B des L297 sind mit den Eingängen der ersten H-Brücke verbunden, die Ausgänge C und D mit denen der zweiten. INH1 und INH2 sind mit den Enable-Eingängen der H-Brücken verbunden. Die Messwiderstände R3 und R4 liefern die Messspannung an die Eingänge SENS1 und SENS2 der Stromregler im L297. Die Motorphasen sind an den Ausgängen OUT1 und OUT2 der jeweiligen H-Brücke L6203 angeschlossen.

3.3.5.1 Erzeugen der Referenzspannung, Prinzipschaltung

Die Referenzspannung für die Stromregler liefert in der Prinzipschaltung ein Spannungsteiler, bestehend aus den Widerständen R6 und R7. Die Spannung, die am Eingang VREF des L279 anliegt, bestimmt den Phasenstrom, der durch den Motor fließt.

Bei der Besprechung der Stromregelung waren wir von einem Messwiderstand von 0,22 Ω ausgegangen. Dieser erzeugt bei 4 A Phasenstrom eine Messspannung von 0,88 V. Genau diese 0,88 V müssen am Eingang VREF anliegen, damit die Stromregelung den Phasenstrom auf 4 A begrenzt. Angenommen, R6 hätte 2.700 Ω, R7 560 Ω. Die Spannung an VREF wird dann folgendermaßen berechnet:

$$VREF = \frac{Uges \times R7}{R6 + R7} = \frac{5V \times 560\Omega}{2.700\Omega + 560\Omega} = 0,86V$$

Das sind nun nicht genau die gewünschten 0,88 V, ist aber gut genug. Erstens gibt es immer Toleranzen in den elektronischen Bauteilen, bei normalen Widerständen z.B. +/–5 %. Zweitens gibt es Widerstände nur in genormten Werten, entweder in der Reihe E24 oder in der Reihe E12. In der Reihe E24 wäre der nächsthöhere Wert für R7 680 Ω, der nächstniedrigere wäre 470 Ω. Rechnen Sie doch spaßeshalber mal aus, welche Werte für VREF sich damit ergeben würden. Übrigens können Widerstände aus den Reihen E12 und E24 auch gemischt werden.

3.3.5.2 Erzeugen der Referenzspannung, praktische Schaltung

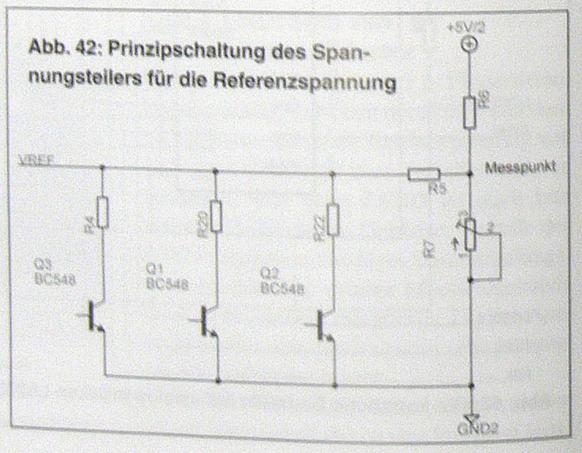
In der praktisch ausgeführten Schaltung ist die Erzeugung der Referenzspannung um ein Vielfaches komplizierter. Über die entsprechende Referenzspannung sollen nämlich vier unterschiedliche Betriebszustände und die dazugehörigen Phasenströme der Endstufe realisiert werden:

- Normalbetrieb;
- Stromanhebung um den Faktor 1,41 in der Vollschrittstellung des Halbschrittbetriebs (siehe 2.3.5.3);
- Sleep, d. h. Stromabsenkung auf ca. ein Drittel des Normalbetriebs bei Stillstand des Motors, um Strom zu sparen und die Erwärmung von Motor und Endstufe zu reduzieren;
- Boost, eine Stromanhebung um den Faktor 1,3, wenn der Motor aus dem Sleep-Modus heraus wieder anläuft.

Betriebsart	Strom	Vref
Boost und Halbschrittanhebung	5,0 A	1,10 V
Normal und Halbschrittanhebung	3,8 A	0,84 V
Normal	2,7 A	0,59 V
Sleep	0,9 A	0,20 V

Abb. 41: Die Betriebsarten der Endstufe

Abb. 42: Prinzipschaltung des Spannungsteilers für die Referenzspannung



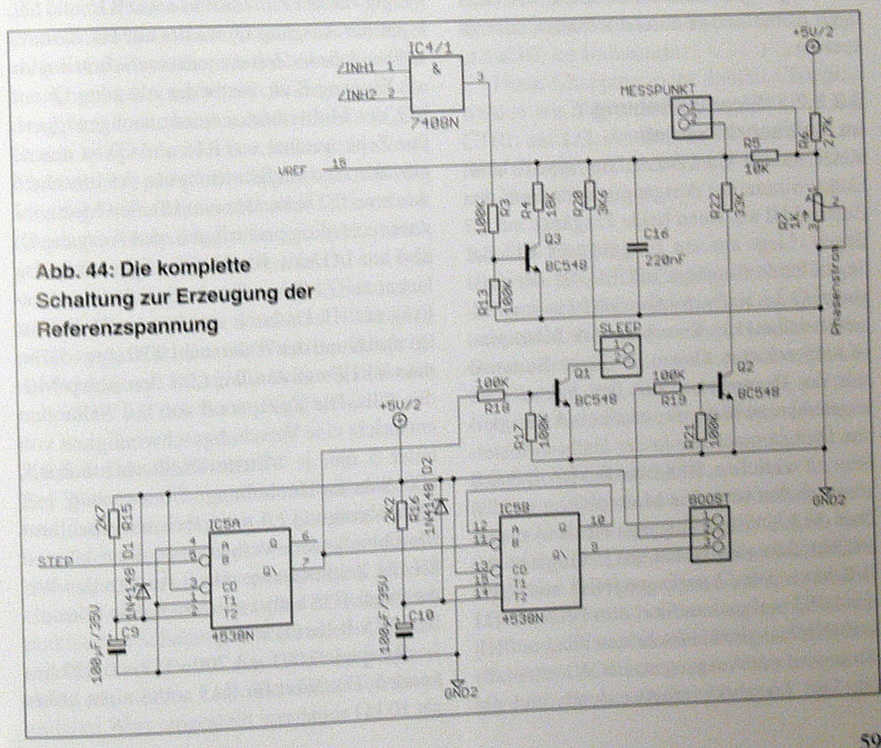
Betriebsart	Q1	Q2	Q3
Boost und Halbschrittanhebung	gesperrt	gesperrt	gesperrt
Normal und Halbschrittanhebung	gesperrt	leitend	gesperrt
Normal	gesperrt	leitend	leitend
Sleep	leitend	leitend	leitend

Abb. 43: Zustände der Transistoren für die vier Betriebsarten der Endstufe

Der maximale Phasenstrom für den IC L6203 beträgt laut Datenblatt 5 A. Das entspricht bei einem Messwiderstand von 0,22 Ω einer Referenzspannung von 1,1 V. Diese Referenzspannung darf auf keinen Fall überschritten werden, sie tritt nur kurzzeitig auf, wenn die Stromanhebung im Halbschrittbetrieb und der Boost beim Wiederanlauf zusammentreffen. Bei Stromanhebung im Halbschritt ohne Boost beträgt der Phasenstrom rund 3,8 A (5 A / 1,3). Das entspricht einer Referenzspannung von 0,84 V. Im Normalmodus ohne Stromanhebung im Halbschritt und ohne Boost ist der Phasenstrom 2,7 A (3,8 A / 1,41). Die Referenzspannung ist dann 0,59 V. Im Sleep-Modus schließlich soll nur noch ein Phasenstrom von 0,9 A fließen (2,7 A × 0,33), entsprechend einer Referenzspannung von 0,2 V.

Dies sind die absoluten Maximalwerte für den L6203. Natürlich lassen sich, abhängig vom verwendeten Schrittmotor und vom erforderlichen Drehmoment, auch kleinere Ströme einstellen. Dabei wird immer vom Strom im Normalbetrieb ausgegangen. Die verwendete Schaltung sorgt dafür, dass das Verhältnis der Referenzspannungen für die verschiedenen Betriebszustände gleich bleibt. Die einzelnen Referenzspannungen werden über einen Spannungsteiler erzeugt. Am Messpunkt wird mit dem Spannungsteiler aus R6 und R7 der maximale Phasenstrom eingestellt. Sind alle Transistoren gesperrt, dann haben die Widerstände R4, R20 und R22 keine Wirkung, der

Abb. 44: Die komplette Schaltung zur Erzeugung der Referenzspannung



volle Phasenstrom liegt auch an VREF an. Dies entspricht der Betriebsart Anhebung bei Halbschritt und Boost.

Durch das Sperren und Durchschalten der Transistoren Q1 bis Q3 in der korrekten Kombination wirken die Widerstände R4, R20 und R22 zusammen mit R5 als Spannungsteiler und beeinflussen VREF.

Die Berechnung der notwendigen Widerstandswerte ist recht kompliziert, weil die Widerstände auch parallel geschaltet werden und sich damit gegenseitig beeinflussen. Mit einer entsprechenden Excel-Tabelle und der Zielwertsuche habe ich die notwendigen Widerstände ausgerechnet. Dabei entsprechen die tatsächlich verwendeten Werte nur annähernd den errechneten, weil es Widerstände, wie oben erwähnt, nur in festgelegten Wertereihen gibt.

Die Aufgabe ist nun, die Transistoren für die gewünschte Betriebsart in der richtigen Kombination durchzuschalten oder zu sperren.

3.3.5.2.1. Stromanhebung im Halbschrittbetrieb

IC4/1 ist ein Und-Gatter. Bei einem Und-Gatter nimmt der Ausgang immer dann den Zustand HI an, wenn beide Eingänge auf HI liegen. Liegt nur ein Eingang auf HI oder liegen beide Eingänge auf LO, ist der Ausgang LO. Im Halbschrittbetrieb ist in der Vollschrittstellung des Rotors nur eine Motorphase eingeschaltet. Genau in dieser Situation soll der Phasenstrom um den Faktor 1,41 angehoben werden, um annähernd das gleiche Drehmoment wie in der Halbschrittstellung zu erreichen, wenn beide Motorphasen eingeschaltet sind. Die Motorphasen werden über die ENABLE-Eingänge ein- und ausgeschaltet, dazu sind die ENABLE-Eingänge der Brücken mit den Ausgängen INH1 und INH2 des L297 verbunden. Sind nun beide, INH1 und INH2, in der Halbschrittstellung auf HI, dann wird der Ausgang von IC4/1 ebenfalls HI. Der Transistor schaltet durch und die Spannung an VREF reduziert sich auf den Wert für die Betriebsart Normal. Wird eine der beiden Motorphasen abgeschaltet, ist der Ausgang von IC4/1 LO, der Transistor schaltet nicht durch und die Spannung an VREF erhöht sich auf den Wert für die Betriebsart Normal plus Anhebung bei Halbschritt. Um sich die Funktion zu verdeutlichen, sollten Sie sich unbedingt noch einmal das Diagramm im Abschnitt 2.3.5.3. ansehen.

3.3.5.2.2. Sleep

Die Betriebsart Sleep soll immer dann eingeschaltet werden, wenn der Motor stillsteht; für längere Zeit also keine Schrittimpulse eingetroffen sind. Das wird über einen nachtriggerbaren, monostabilen Multivibrator (IC5A) realisiert. Sobald ein Schrittimpuls am Eingang B (Pin5) ankommt, geht der Ausgang Q\ (Pin7) auf LO. Nach einer gewissen Zeit, abhängig von der Zeitkonstante von R15 und C9, kippt der Ausgang Q\ wieder auf HI. Kommt während dieser Zeit ein weiterer Schrittimpuls am Eingang B an, bleibt der Ausgang Q\ auf LO, der Multivibrator wurde nachgetriggert. Die Zeitkonstante von R15 und C9 ist nun so gewählt, dass ein Schrittimpuls, der innerhalb von etwa 0,2 Sekunden eintrifft, den Multivibrator rechtzeitig nachtriggert, den Ausgang Q\ also auf LO hält. Bleiben die Schrittimpulse länger als 0,2 Sekunden aus, schaltet der Ausgang auf HI. Dadurch schaltet der Transistor Q1 durch und der Widerstand R20 sorgt dafür, dass VREF auf den Wert für den Sleep-Modus fällt. Die Zeitspanne von 0,2 Sekunden entspricht eine Vorschubgeschwindigkeit von unter 3 mm je Minute (Halbschrittbetrieb, 400 Schritte/Umdrehung, Übersetzung 1:2, Spindelsteigung 2,5 mm). Existieren bei Ihrer Maschine andere Verhältnisse, dann können Sie die Zeitkonstante durch Ändern des Widerstands R15 selbst einstellen. Die Formel: $0{,}0001 \times R$ (in Ω) $\times\ 0{,}7$.

Beispiel: $0{,}001 \times 4.700 \times 0{,}7 = 0{,}329$ Sekunden. Der Wert für R15 sollte nicht höher als 10 kΩ sein.

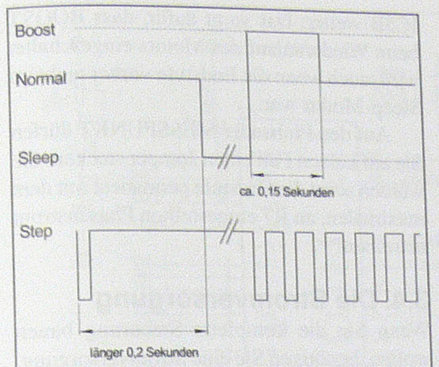


Abb. 45: Impulsdiagramm der Betriebsarten (ohne Stromanhebung bei Halbschritt)

3.3.5.2.3. Boost

Die Betriebsart Boost soll immer dann für kurze Zeit eintreten, wenn der erste Schrittimpuls den Sleep-Modus beendet. Der dann erhöhte Phasenstrom sorgt dafür, dass der Motor sicher anläuft und erlaubt damit einen reduzierten Phasenstrom im Normalbetrieb. Wir erreichen das durch den monostabilen Multivibrator IC5B. Durch entsprechende Beschaltung ist dieser Multivibrator nicht nachtriggerbar. Sobald der Eingang B (Pin11) von HI nach LO wechselt (wenn der Sleep-Modus ausgeschaltet wird), geht der Ausgang Q\ für die von C10 und R16 vorgegebene Zeit, also für ca. 0,15 Sekunden, auf LO. Danach geht er wieder auf HI. Das LO an Q\ sorgt dafür, dass der Transistor Q2 sperrt, der Widerstand R22 keine Wirkung mehr hat und VREF auf den Boost-Pegel steigt.

3.3.5.3. Der Oszillator

Der Widerstand R5 und der Kondensator C9 bestimmen die Frequenz des Oszillators. Wie bereits erwähnt, werden wir die Bauteile so bemessen, dass eine Frequenz von ca. 25 kHz einstellbar ist. Der Widerstand R5 wird in der praktischen Schaltung in bestimmten Grenzen regelbar sein. Sollte die Oszillatorfrequenz akustisch stören, kann sie damit auf einen anderen Wert eingestellt werden.

Der Anschluss SYNC hat die Funktion, die Oszillatoren mehrer Endstufen auf eine einheitliche Frequenz zu synchronisieren. Zu diesem Zweck werden die Anschlüsse SYNC aller Endstufen verbunden und die Anschlüsse OSC aller Endstufen, ausgenommen einer einzigen, auf LO gelegt. Damit gibt es in der ganzen Steuerung nur noch einen Oszillator, der die Frequenz aller Stromchopper bestimmt. Der Grund dafür ist, dass es nicht gelingt, alle Oszillatoren auf genau dieselbe Frequenz einzustellen. Das Resultat sind unangenehme Schwebungen und Resonanzen, möglicherweise sogar das Durchbrennen der L6203.

3.3.5.4. Einstellen Halb-/Vollschritt und Chopping

Der Eingang HALFSTEP des L297 bestimmt, ob der Motor im Vollschritt-Modus oder im Halbschritt-Modus arbeitet. Liegt er auf LO, dann arbeitet der Motor im Vollschritt, liegt er auf HI, im Halbschritt.

Phase-Chopping oder Inhibit-Chopping wählen wir über den Eingang CTRL. Liegt CTRL auf LO, arbeitet die Endstufe mit Inhibit-Chopping. Bei CTRL auf HI arbeitet sie mit Phase-Chopping.

3.3.5.5. Enable

Über den ENABLE-Eingang des L297 kann die gesamte Endstufe ein- bzw. ausgeschaltet werden. HI schaltet ein, LO schaltet aus. Diesen Eingang bitte nicht mit dem ENABLE-Eingang der L6203 verwechseln, der zum Ein- und Ausschalten der Brücken dient.

3.3.5.6. STEP und DIR

STEP und DIR steuern den Motor. Je nachdem, wie die Motorphasen gepolt sind, läuft der Motor bei DIR auf HI entweder im Uhrzeigersinn oder gegen den Uhrzeigersinn, bei LO dann jeweils in der entgegengesetzten Richtung. Es ist aber nicht nötig, sich darüber Gedanken zu machen, jede Steuerungssoftware erlaubt, die Drehrichtung der Motoren

beliebig einzustellen. Jeder Impuls am Eingang STEP dreht den Motor um einen Schritt weiter. Bei einem Motor mit 200 Schritten sind das im Vollschrittbetrieb 1,8° und im Halbschrittbetrieb 0,9°.

3.3.6. Die konkret ausgeführte Endstufe

Die komplette, funktionsfähige Endstufe benötigt zwei Betriebsspannungen, 42 V und 5 V. Zur Steuerung werden die Eingangssignale ENABLE, DIR, STEP und SYNC benötigt, die weiter oben bereits besprochen wurden. In der Schaltung finden sich sechs Stiftleisten, auf Englisch „Pinheader" genannt. Auf fünf dieser Pinheader können Kurzschlussbrücken, so genannte „Jumper", gesteckt werden. Dabei verbindet OSC den Pin16 des IC1 mit GND2 und schaltet damit den Oszillator der Endstufe aus, wenn die Endstufe im Verbund mit anderen Endstufen arbeitet.

HALF bestimmt die Betriebsart Voll- oder Halbschritt. Sind Pin1 und Pin2 verbunden, arbeitet die Endstufe im Halbschritt, bei einer Verbindung von Pin2 und Pin3 im Vollschritt.

Über CNTL wird der Chopper-Modus eingestellt. Sind Pin1 und Pin2 verbunden, ist es Phase-Chopping, bei der Verbindung von Pin2 und Pin3 ist es Inhibit-Chopping.

Sind Pin1 und Pin2 des Pinheaders SLEEP verbunden, schaltet die Endstufe beim Ausbleiben der Schrittimpulse in die Betriebsart Sleep. Lassen Sie die Steckbrücke weg, wird der Phasenstrom nicht abgesenkt.

Boost wird beim Eintreffen des ersten Schrittimpulses während der Betriebsart Sleep eingeschaltet, wenn beim Pinheader BOOST Pin2 und Pin3 verbunden sind. Sind dagegen Pin1 und Pin2 verbunden, wird Boost nicht eingeschaltet. Den Jumper dürfen Sie auf keinen Fall weglassen, weil BOOST sonst permanent eingeschaltet bleibt. BOOST ist unabhängig von SLEEP. Das heißt, auch wenn Sie den Sleep-Modus ausschalten, arbeiten die monostabilen Multivibratoren IC5A und IC5B weiter. Das sorgt dafür, dass BOOST beim Wiederanlauf des Motors eingeschaltet wird, auch wenn die Endstufe vorher nicht im Sleep-Modus war.

Auf den Pinheader MESSPUNKT dürfen Sie auf keinen Fall einen Jumper stecken. Sie würden sonst die Endstufe permanent mit dem maximalen, an R7 eingestellten Phasenstrom betreiben!

3.4. Die Stromversorgung

Wenn Sie die komplette Steuerung bauen wollen, benötigen Sie eine Stromversorgung, die insgesamt vier Spannungen zur Verfügung stellt:

- 42 V, 4 A für jede der Endstufenbrücken. Wenn Sie die Steuerung für vier Achsen bauen, brauchen Sie eine gesamte Stromstärke von 16 A, bei drei Achsen brauchen Sie 12 A.
- 5 V, 1 A für die Logikschaltungen.
- Eine zweite 5-V-Versorgung für die Optokoppler. Damit keinerlei direkte Verbindung zwischen dem Computer und der Steuerung besteht, muss sowohl der Masseanschluss (GND) als auch der 5-V-Anschluss der Schaltkreise auf der Computerseite elektrisch vollständig von den entsprechenden Anschlüssen auf der Steuerungsseite getrennt sein. Die Verbindung wird nur rein optisch hergestellt. Genaueres dazu bei der Besprechung der Optokoppler-Schaltung.
- 12 V, 1 A für die Erzeugung der 0–10-V-Steuerspannung des Frequenzumrichters und für die Versorgung der Lüfter. Auch hier darf keine Verbindung zwischen dem Masseanschluss der 12-V-Versorgung und den Masseanschlüssen der restlichen Versorgungsspannungen bestehen.

Für den Fall, dass Sie die Steuerung ohne Optokoppler bauen, lassen Sie einfach die Bauteile für die nicht benötigte Versorgungsspannung auf der Netzteil-Platine weg.

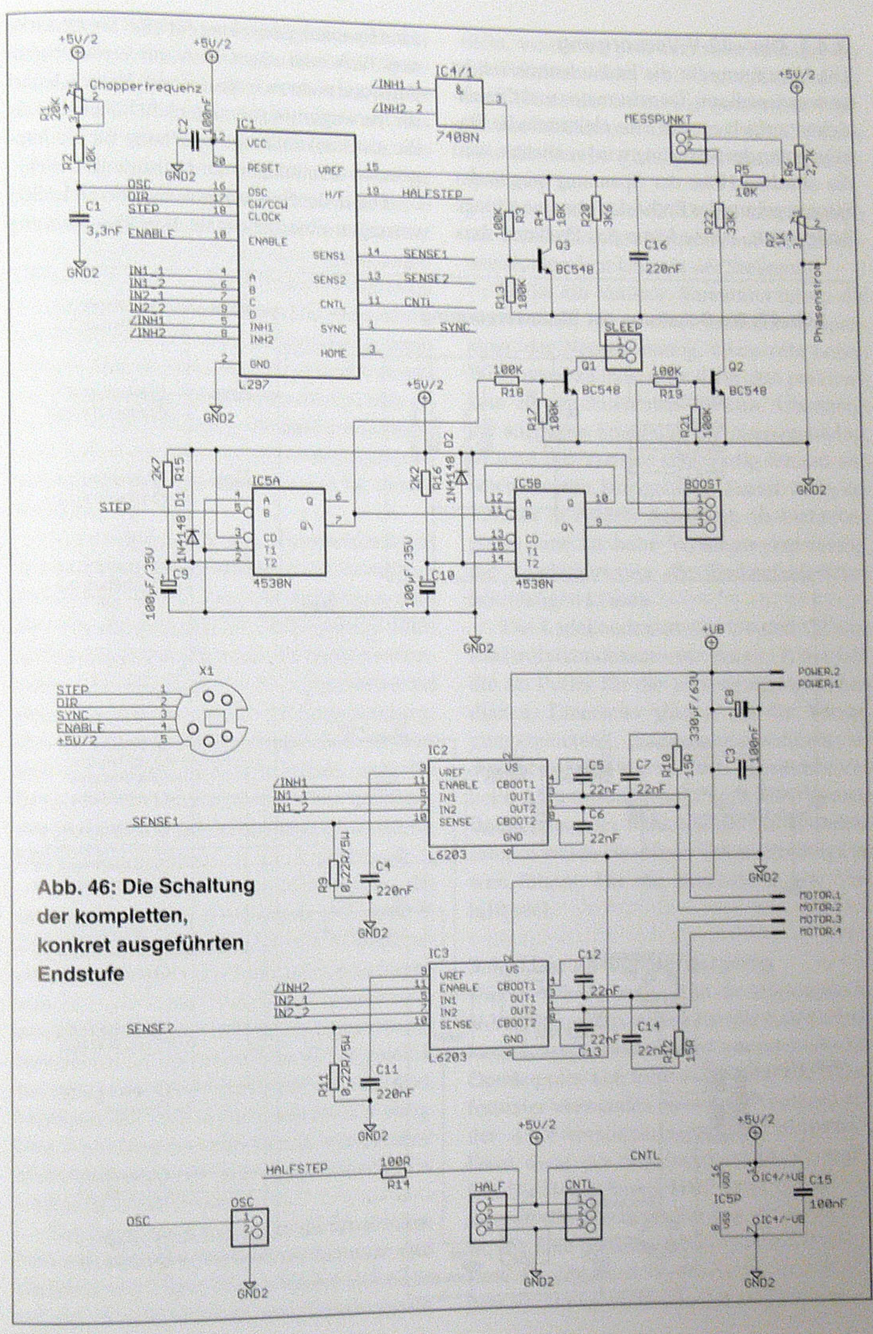


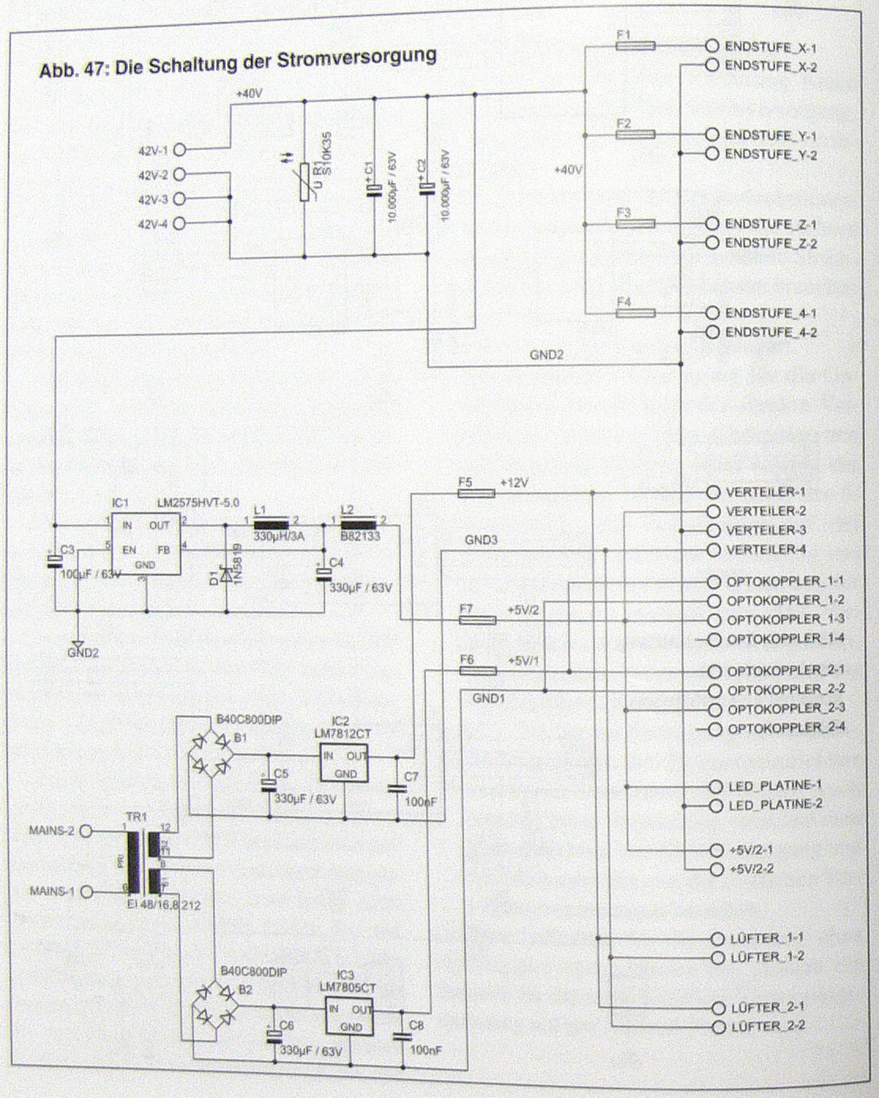
Abb. 46: Die Schaltung der kompletten, konkret ausgeführten Endstufe

3.4.1. Die +42-V-Versorgung

Die Versorgung für die Endstufenbrücken ist konventionell mit Transformator und Gleichrichter aufgebaut. Auf eine elektronische Stabilisierung der Spannung wird verzichtet, weil die absolute Höhe der Spannung wegen der Stromregelung der Endstufen nur eine geringe Rolle spielt. Hinzu käme das Problem, dass eine Spannungsregelung für eine Stromstärke von 12 A oder sogar 16 A mit vernünftigem Aufwand nicht zu realisieren ist. Natürlich darf die Versorgungsspannung nicht höher sein als die maximal zulässige Spannung für die integrierten Schaltungen der Endstufenbrücken.

Die in der Steuerung verwendeten L6203 vertragen eine maximale Betriebsspannung

Abb. 47: Die Schaltung der Stromversorgung



von 48 V. Allerdings empfiehlt es sich aus Sicherheitsgründen, unterhalb dieser Spannung zu bleiben. Da wir keine elektronische Regelung verwenden, ist die Auswahl des passenden Transformators sehr wichtig. Am besten geeignet und auch die preiswerteste Variante ist ein Ringkerntransformator. Dabei sind die Wicklungen des Transformators um einen ringförmigen Eisenkern herum angeordnet. Deshalb ist der Ringkerntransformator gegenüber vergleichbaren Bauarten relativ klein und er strahlt auch nur ein sehr geringes Magnetfeld ab, was ebenfalls sehr erwünscht ist. Ringkerntransformatoren finden sich oft in der Stromversorgung für Halogenlampen, dort haben sie aber nur eine Ausgangsspannung von 12 V – leider zu wenig für unsere Zwecke.

Um nun den richtigen Transformator mit der richtigen Ausgangsspannung auswählen zu können, müssen Sie berücksichtigen, dass die Gleichspannung bei Verwendung eines Brückengleichrichters mit Glättungskondensator um den Faktor 1,41 (Quadratwurzel aus 2) höher ist als die Wechselspannung, die der Transformator abgibt. Da wir hier kein Perpetuum Mobile betreiben, sinkt die Stromstärke entsprechend. Die Leistung, das Produkt aus Spannung und Stromstärke, bleibt jedoch gleich.

Gängige Ringkerntransformatoren gibt es mit Ausgangs-Spannungen von 2×12 V, 2×15 V und 2×18 V. Schalten wir die Wicklungen hintereinander, erreichen wir Spannungen von 24 V, 30 V und 36 V. Diese ergeben nach der Gleichrichtung und Glättung Spannungen von 34 V, 42 V und 51 V. Weil 34 V eigentlich zu wenig und 51 V bestimmt zu viel sind, bleibt nur der Transformator mit 2×15 V übrig. Den Transformator gibt es, z.B. bei Reichelt Elektronik, mit einer Stromstärke von 2×16 A – ideal für unsere Zwecke.

Der folgende Schaltplan zeigt das gesamte Netzteil, aber ohne Haupttransformator und Gleichrichter. Diese Teile befinden sich nicht auf der Netzteil-Platine: der Transformator nicht, weil er zu groß und zu schwer ist, der Gleichrichter nicht, weil er zur Kühlung an das Chassis der Steuerung geschraubt wird. An den Anschlüssen 42V-1 und 42V-2 kommt also die bereits gleichgerichtete Eingangsspannung an.

Die Anschlüsse 42V-3 und 42V-4 dienen zur Verbindung des Netzteils mit der Gerätemasse, also dem Chassis der Steuerung.

R1 ist ein Varistor. Varistoren haben die Eigenschaft, bis zu einer bestimmten Spannung, der Nennspannung, einen sehr hohen Widerstand zu haben. Es fließt also praktisch kein Strom durch den Varistor. Übersteigt die angelegte Spannung die Nennspannung, so wird der Varistor schlagartig leitend und bewirkt einen Kurzschluss. Damit wirkt der Varistor in unserer Schaltung als Sicherung gegen eine zu hohe Versorgungsspannung, die möglicherweise die Endstufenbrücken beschädigen könnte.

Die Ladekondensatoren C1 und C2 sind Elektrolytkondensatoren hoher Kapazität, die als Puffer für die Versorgungsspannung dienen. Einerseits glätten sie die Versorgungsspannung, andererseits nehmen sie die Energie auf, die von den Schrittmotoren beim Abbremsen erzeugt wird. Eine genaue Betrachtung der Funktion der Ladekondensatoren würde für dieses Buch allerdings zu weit führen. Für die Bemessung gilt: Viel hilft viel.

3.4.2. Die +5-V/2-Versorgung

Die +5-V/2-Versorgung ist die allgemeine 5-V-Versorgungsspannung für alle Logikschaltungen, ausgenommen die Computerseite der Optokoppler. Um nicht einen weiteren Transformator verwenden zu müssen, wird sie aus der 42-V-Versorgungsspannung abgeleitet. Dazu dient der Schaltregler LM2575HVT-5.0. Die Bezeichnung HVT weist darauf hin, dass es die Hochvolt-Version des LM2575 ist, die eine Spannung von 42 V verarbeiten kann. Es gibt auch Versionen für eine geringere Spannung, diese dürfen Sie jedoch nicht

verwenden! Der Appendix „-5.0“ weist darauf hin, dass der Spannungsregler für eine feste Ausgangsspannung von 5 V ausgelegt ist. Ansonsten sind nur wenige zusätzliche Bauteile erforderlich. Wichtig ist, dass es sich bei der Drosselspule L1 mit 330 µH nicht um eine Entstördrossel, sondern um eine Speicherdrossel mit Ringkern handelt. Beim Einkauf unbedingt darauf achten! Die Drossel L2 ist eine einfache Entstördrossel. Die +5-V/2-Versorgungsspannung hat einen gemeinsamen Masseanschluss mit der 42-V-Versorgung.

3.4.3. Die +5-V/1-Versorgung

Weil es keinerlei elektrische Verbindung zwischen der +5-V/1-Versorgung und den anderen Versorgungsspannungen geben darf, ist zur Erzeugung dieser Spannung zwingend ein separater Transformator erforderlich. Allerdings können wir eine Version mit zwei Sekundärwicklungen verwenden, damit erzeugen wir dann auch die +12-V-Versorgungsspannung, für die bezüglich der elektrischen Trennung das Gleiche gilt. Zur Spannungsregelung dient nach dem Gleichrichter B1 der Baustein LM7805CT. Er ist kein Schaltregler, deshalb sind keine weiteren Bauteile erforderlich. Allerdings benötigt er einen Kühlkörper, andernfalls wird er kein langes Leben haben.

3.4.4. Die +12-V-Versorgung

Hier gilt das Gleiche wie für die +5-V/1-Versorgung, doch verwenden wir als Regler nicht den LM7805, sondern den auf 12 V eingestellten LM7812.

3.4.5. Sicherungen

Alle Versorgungsspannungen sind nochmals über Feinsicherungen einzeln abgesichert. Dabei ist für jede Endstufe eine eigene Sicherung vorgesehen. Der finanzielle Aufwand dafür ist sehr gering, geringer jedenfalls als der für durchgebrannte Bauteile. Allerdings sollten Sie von den Sicherungen auch keine Wunder erwarten. Selbst superflinke Sicherungen brennen meist langsamer durch als die Halbleiter.

3.5. Die Netzversorgung

Wie oben bereits erwähnt, dient die Platine zur Netzversorgung zunächst dazu, die Netzspannung sauber und ohne Drahtverhau an die Transformatoren, den Ein-/Ausschalter und die Netzspannungsausgänge zu verteilen. Dies ist, neben dem Anschluss eines Frequenzumrichters, der gefährliche Teil des Projekts. Haben Sie keine Routine im Umgang mit Netzspannung, dann bitten Sie jemanden, der etwas davon versteht (Freunde, Kollegen oder einen professionellen Elektriker), Ihr Werk auf Sicherheit zu überprüfen, bevor Sie den Stecker in die Wand stecken.

Ich bin zwar gelernter Elektroniker, habe aber selbst schon aus Dummheit oder Unachtsamkeit an 230 V Wechselstrom „gehangen“. Ich kann Ihnen versichern, es ist nicht lustig.

3.5.1. Netzfilter

Der Netzfilter ist in den Kaltgeräte-Stecker für den Netzanschluss integriert. Er sorgt dafür, dass von den Endstufen erzeugte Hochfrequenz-Störspannungen nicht in das Stromnetz gelangen können. Andernfalls könnte ihr Rundfunkempfang oder der Ihrer Nachbarn gestört werden. Auch der Computer, der Ihre Fräsmaschine steuert, könnte zu Fehlfunktionen neigen. Haben Sie einen separaten Netzfilter, dann montieren Sie ihn in der Nähe des Kaltgeräte-Steckers.

3.5.2. Schutz vor Berührung

Die Platine der Netzversorgung muss unbedingt so im Gehäuse der Steuerung untergebracht sein, dass eine Berührung der Bauteile unter normalen Umständen, auch bei geöffnetem Gehäuse, nicht möglich ist. Wenn Sie meinem Vorschlag zum Aufbau des Gehäuses folgen, dann liegt die Platine unter der Zwischenplatte, die den Transformator und die Netzteil-Platine trägt. Dadurch ist sie vor Berührung geschützt. Andernfalls sollten Sie sie in einem kleinen, separaten Metallgehäuse unterbringen, das mit dem Schutzleiter der Netzversorgung verbunden ist. Dies dient Ihrer eigenen Sicherheit und dem Schutz möglicher Besucher in Ihrer Werkstatt.

3.5.3. Netzspannungs-Relais

Insgesamt sind drei Relais zum Schalten von Netzspannung vorgesehen. Dabei schaltet ein Relais den Spindelantrieb ein und aus. Die restlichen zwei stehen für Sonderfunktionen, z. B. für das Einschalten einer Kühlflüssigkeitspumpe oder einer Staubabsaugung, zur Verfügung. Die Transistoren Q2 bis Q4 schalten bei einem HI-Signal an ihrer Basis durch. Über Pin9 des Wannensteckers VERTEILER wird die Schaltung mit +5 V versorgt, über Pin10 liegt sie an Massepotenzial. Der Strom fließt also von Plus durch die Spule des Relais und den Transistor nach Masse. Das Relais zieht an und schaltet die Netzspannung auf die jeweiligen Ausgangsklemmen. Vor den Transistoren sorgen zwei Und-Gatter dafür, dass nur bei HI-Potenzial des Signals ENABLE die Relais geschaltet werden können. Weil nach dem Einschalten des Computers die Signale auf der Druckerschnittstelle einen undefinierten Zustand einnehmen, könnte sonst bei eingeschalteter Steuerung z.B. die Kühlmittelpumpe anlaufen. Der Eingang für den Spindelmotor ist bereits auf der Verteiler-Platine über ein Und-Gatter mit ENABLE verknüpft.

3.5.4. Anschluss des Spindelmotors ohne Frequenzumrichter

Falls Sie keinen Frequenzumrichter für den Spindelmotor verwenden, sondern ihn nur über das Relais K4 auf der Netzversorgung ein- und ausschalten, schließen Sie den Motor am besten über ein Motorschütz (ein kräftiges Relais, das für eine Spulenspannung von 230 V ausgelegt ist) an das Stromnetz an. Die Spule des Motorschützes verbinden Sie wiederum mit den Anschlüssen SPINDLE-1 und SPINDLE-2 der Netzversorgung. Damit wird verhindert, dass bei großen und leistungsstarken Antriebsmotoren entweder die Netzsicherung oder gar das Spindel-Relais der Steuerung durchbrennt.

3.5.5. Einschaltstrombegrenzung

Trotz ihrer ansonsten positiven Eigenschaften haben Ringkerntransformatoren die Eigenart, beim Einschalten extrem viel Strom aus dem Netz zu ziehen. Da wir einen sehr großen Transformator verwenden, würde bei jedem zweiten oder dritten Einschalten die Netzsicherung ansprechen und wir säßen im Dunklen. Weil das auf Dauer nervt, schafft eine kleine Schaltung, bestehend aus dem Gleichrichter B1, dem Kondensator C1, den Widerständen R1 und R3, dem NTC-Widerstand R2 und dem Relais K1 Abhilfe. Beim Einschalten sind die Kontakte des Relais nicht geschlossen, der Transformator zieht also den Strom über den Widerstand R1 aus dem Netz. Dadurch wird der Einschaltstrom begrenzt, die Sicherung spricht nicht an.

Der NTC-Widerstand hat im kalten Zustand einen sehr hohen Widerstandswert, die Spannung an der Spule von Relais K1 reicht also nicht aus, damit das Relais anzieht. Der NTC-Widerstand wird aber von dem Strom, der ihn durchfließt, erwärmt, wodurch sein Widerstand sinkt (NTC = negativer Temperaturkoeffizient, im Gegensatz zu normalen Widerständen, deren Wert bei Erwärmung steigt). Innerhalb kurzer Zeit steigt dadurch die Spannung an der Relaisspule, bis das Relais anzieht und den Widerstand R1 überbrückt. Das ist wichtig, weil der Widerstand auf Grund der hohen Belastung sonst durchbrennt. Gleichrichter und Kondensator sind notwendig, damit das Relais bei Wechselstrombetrieb nicht laut „schnarrt“, bevor es endgültig anzieht.

3.6. Die Maschinen-Schnittstelle

Alle Signale von der Steuerung zur Maschine oder umgekehrt laufen über die Maschinen-Schnittstelle. Ausgenommen sind nur die Verbindungen zu den Motoren. Maschinen-

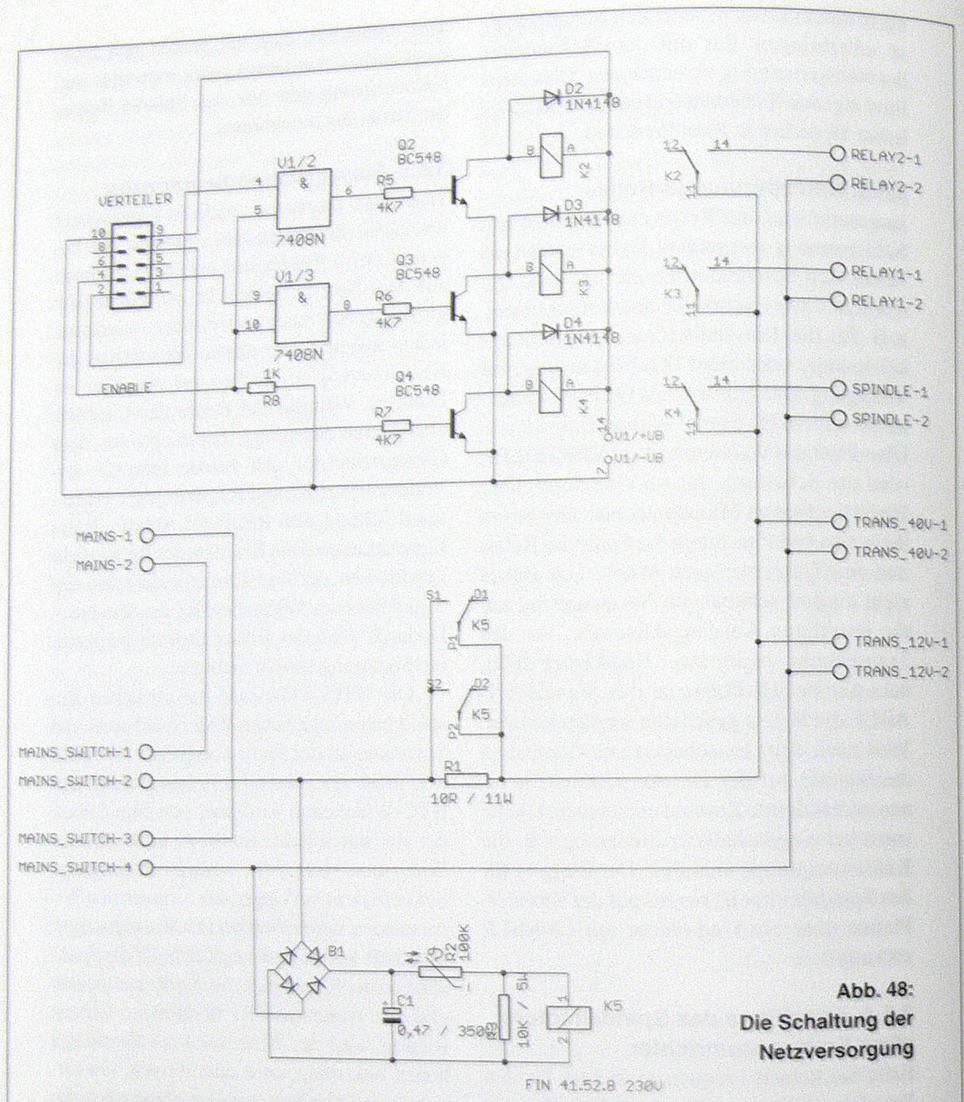


Abb. 48: Die Schaltung der Netzversorgung

Schnittstelle und Steuerung verfügen jeweils über einen DB25-Stecker, die mit einem 25-poligen Computerkabel verbunden sind. Maschinenseitig sind Klemmen vorgesehen, um die End- und Referenzschalter sowie den Frequenzumrichter für den Spindelmotor anzuschließen.

3.6.1 Referenzschalter

Die Referenzschalter sind als Gabel-Lichtschranken ausgeführt: zum einen, um eine ausreichende Wiederholgenauigkeit sicherzustellen, zum anderen, damit sie an jeder beliebigen Position einer Maschinenachse angebracht werden können. Eine Gabel-Lichtschranke besteht aus einer Fotodiode (LED) und einem lichtempfindlichen Transistor. Fotodiode und Transistor stehen sich gegenüber (sie „sehen" sich) und sind durch einen Spalt getrennt.

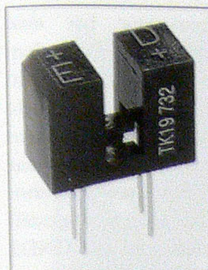


Abb. 49: Gabel-Lichtschranke

Die Fotodiode ist über einen Schutzwiderstand an +5 V angeschlossen und leuchtet permanent. Solange das Licht auf den Fototransistor fällt, ist dieser durchgeschaltet und der Ausgang liegt auf HI (+5 V). Ist der Lichtstrahl unterbrochen, schaltet der Fototransistor ab und der Ausgang geht auf LO.

Die Lichtschranke müssen Sie so an der Maschine montieren, dass ein kleines Blechstück, das am beweglichen Maschinentisch angebracht ist, an der gewünschten Referenzposition den Lichtstrahl unterbricht.

3.6.2. Endschalter

Die Endschalter sind einfache Schnappschalter. Achten Sie darauf, dass es Schalter sind, die bei Betätigung schließen; Wechsler gehen natürlich auch. Schließer sollten es deshalb sein, weil sich ein offener Schnappschalter zwar nicht durch Vibrationen schließen, im geschlossenen Zustand aber sehr wohl öffnen kann. Das führt dann zu dem unangenehmen Effekt, dass die Steuerung mitten in der Bearbeitung glaubt, ein Endschalter wäre angefahren worden, und den Ablauf abbricht. Übrigens können auch die Endschalter, genau wie die Referenzschalter, als Lichtschranken ausgeführt sein. Sie würden dann auch nur die Hälfte kosten.

Ich bin nicht mehr ganz sicher, warum ich mich für mechanische Endschalter an meiner Maschine entschieden habe, es ist nun aber so, wie es ist. Induktive Näherungsschalter wären eine noch bessere Alternative, des hohen Preises wegen habe ich sie aber noch nicht eingesetzt.

3.6.3. Spindel-Index

Der Spindel-Index sorgt dafür, dass bei jeder Umdrehung der Werkzeugspindel ein Impuls

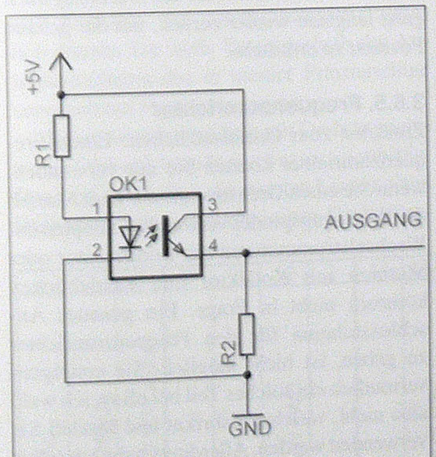


Abb. 50: Schaltung der Lichtschranke

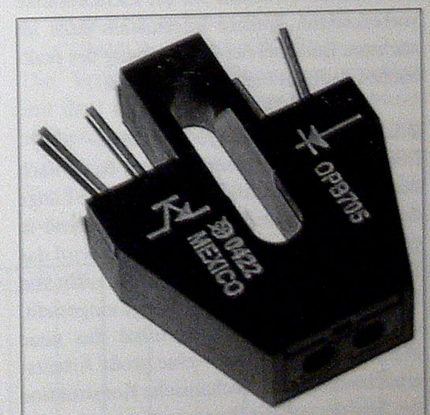


Abb. 51: Reflex-Lichtschranke

über die Steuerung an den Computer weitergegeben wird. Dazu wird ebenfalls eine Lichtschranke verwendet, aber keine Gabel-Lichtschranke, wie oben beschrieben, sondern eine Reflex-Lichtschranke.

Auf dem Foto der Lichtschranke sehen Sie vorn die zwei kleinen, runden Augen, hinter denen sich die Fotodiode und der Fototransistor verbergen. Davor sitzen winzige Linsen, die dafür sorgen, dass die Lichtschranke „schielt". Das bedeutet, der Strahlengang der Fotodiode und der des Transistors treffen sich in einem kurzen Abstand vor der Lichtschranke. Ist an diesem Punkt eine gerade, reflektierende Fläche angebracht, dann wird das Licht der Fotodiode auf den Fototransistor reflektiert und dieser schaltet durch.

In der Praxis müssen sie zunächst einen Reflektor an der Maschinenspindel anbringen. Dies kann ein Stück selbstklebende Alufolie sein oder ein poliertes Stück Blech. Eventuell reicht es schon, einen kurzen senkrechten Streifen weiß anzumalen. Die Lichtschranke montieren Sie mit einer Schraube durch das Langloch so, dass sie den Reflektor sieht. Durch das Langloch können Sie die Lichtschranke wiederum so justieren, dass der Transistor schaltet, wenn der Reflektor vor der Lichtschranke vorbeikommt. Weitere Information dazu im nächsten Band bei der Besprechung des praktischen Aufbaus einer Fräsmaschine.

3.6.4. Werkzeuglängen-Sensor

Ein Werkzeuglängensensor dient dazu, nach dem Werkzeugwechsel automatisch die Länge des neuen Werkzeugs zu vermessen und in der Steuerung zu kompensieren. Es wird das Werkzeug (Fräser, Bohrer etc.) also nicht von Ihnen auf eine vorgegebene Länge eingestellt, sondern die Steuerung vermisst das neue Werkzeug automatisch – eine große Arbeitserleichterung. Die mechanische Konstruktion des Sensors und die Programmierung werden in einem späteren Band dieser Buchreihe behandelt, allerdings sollte er elektrisch schon jetzt in der Steuerung vorgesehen werden.

Der Werkzeuglängensensor hat eine elektrisch leitende Oberfläche, die mit dem Eingang DIGI_PROBE_SW verbunden ist. Um die Werkzeuglänge zu messen, fährt die Software die z-Achse von einer definierten Ausgangsposition solange herunter, bis das Werkzeug die Oberfläche des Sensors berührt. Weil das Werkzeug über das Maschinengestell und die Maschinen-Schnittstelle mit GND2 verbunden ist, geht DIGI_PROBE_SW auf LO. Die Software erkennt das und fährt die z-Achse ganz langsam wieder nach oben, bis DIGI_PROBE_SW HI wird. Aus der Differenz zwischen der erreichten Position der z-Achse und der Ausgangsposition errechnet die Software anschließend die Länge des Werkzeugs. Falls bei diesem Vorgang etwas schief geht und der Kontakt nicht hergestellt wird, z.B. weil der Sensor verschmutzt ist, fährt die Software die z-Achse weiter nach unten, bis der Antrieb blockiert. Weil das nicht gut für die Mechanik ist, besitzt der Werkzeuglängensensor einen Endschalter, der 2–3 mm nach Berührung der Oberfläche des Sensors schaltet und das Signal END_TOOL_SW erzeugt. Der Weg darf nicht zu kurz sein, weil das Werkzeug mit etwas Schwung auf die Oberfläche gesetzt wird. Deshalb fährt die Software das Werkzeug auch ganz langsam wieder zurück, um die genaue Position zu ermitteln.

3.6.5. Frequenzumrichter

Zunächst zum Grundsätzlichen: Einen Frequenzumrichter können Sie nur verwenden, wenn Sie einen Drehstrommotor zum Antrieb der Werkzeugspindel verwenden. Einphasen-Wechselstrommotoren mit Kondensator oder Motoren mit Kollektor und Kohlebürsten kommen nicht in Frage. Ein genaues Anschlussschema für den Frequenzumrichter zu geben, ist nicht möglich. Sie ersteigern vermutlich ein solches Teil bei eBay, ich weiß also nicht, welches Fabrikat und Modell Sie verwenden werden. Allerdings habe ich selbst fünf oder sechs Frequenzumrichter aus dem Handel bei eBay im Einsatz und weiß, dass

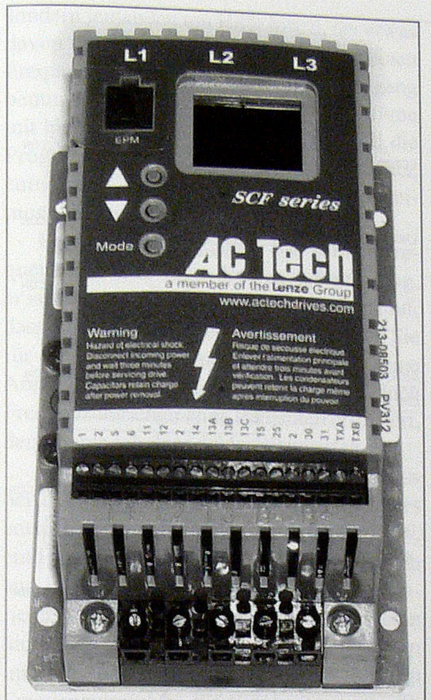


Abb. 52: Frequenzumrichter

sich Funktion und Anschlussschema ziemlich ähneln. Ich stelle Ihnen deshalb das Anschlussschema des in meiner Fräsmaschine verwendeten Frequenzumrichters vor.

Ich verwende ein Gerät mit Drehstromeingang. Obwohl brandneu, war es spottbillig. Das liegt daran, dass die meisten Leute keinen Drehstrom haben und eher einen Drehstrommotor am einphasigen Netz betreiben wollen. Haben Sie also Drehstrom in der Werkstatt, können Sie möglicherweise sehr günstig einen Frequenzumrichter kaufen!

Für die Steuereingänge besitzt mein Frequenzumrichter das in Abb. 53 gezeigte Anschlussfeld. Damit der Motor im Uhrzeigersinn anläuft, werden RUN FWD und STOP mit COMMON verbunden, dementsprechend RUN REV und STOP, damit der Motor im Gegenuhrzeigersinn läuft. Bei meinem Frequenzumrichter muss vor der Änderung der Drehrichtung die Verbindung zwischen STOP und COMMON kurz aufgehoben werden, andernfalls zeigt der Frequenzumrichter einen Fehler an. Das Gleiche gilt, wenn der Motor stoppen soll. Es reicht also nicht, nur die Verbindung zwischen RUN FWD oder RUN REV und COMMON zu unterbrechen. Der Eingang für die Drehzahlsteuerung ist natürlich 0-10 VDC INPUT.

Der Frequenzumrichter wird an die Klemmen INVERTER_CON des Maschinen-Interface wie folgt angeschlossen:

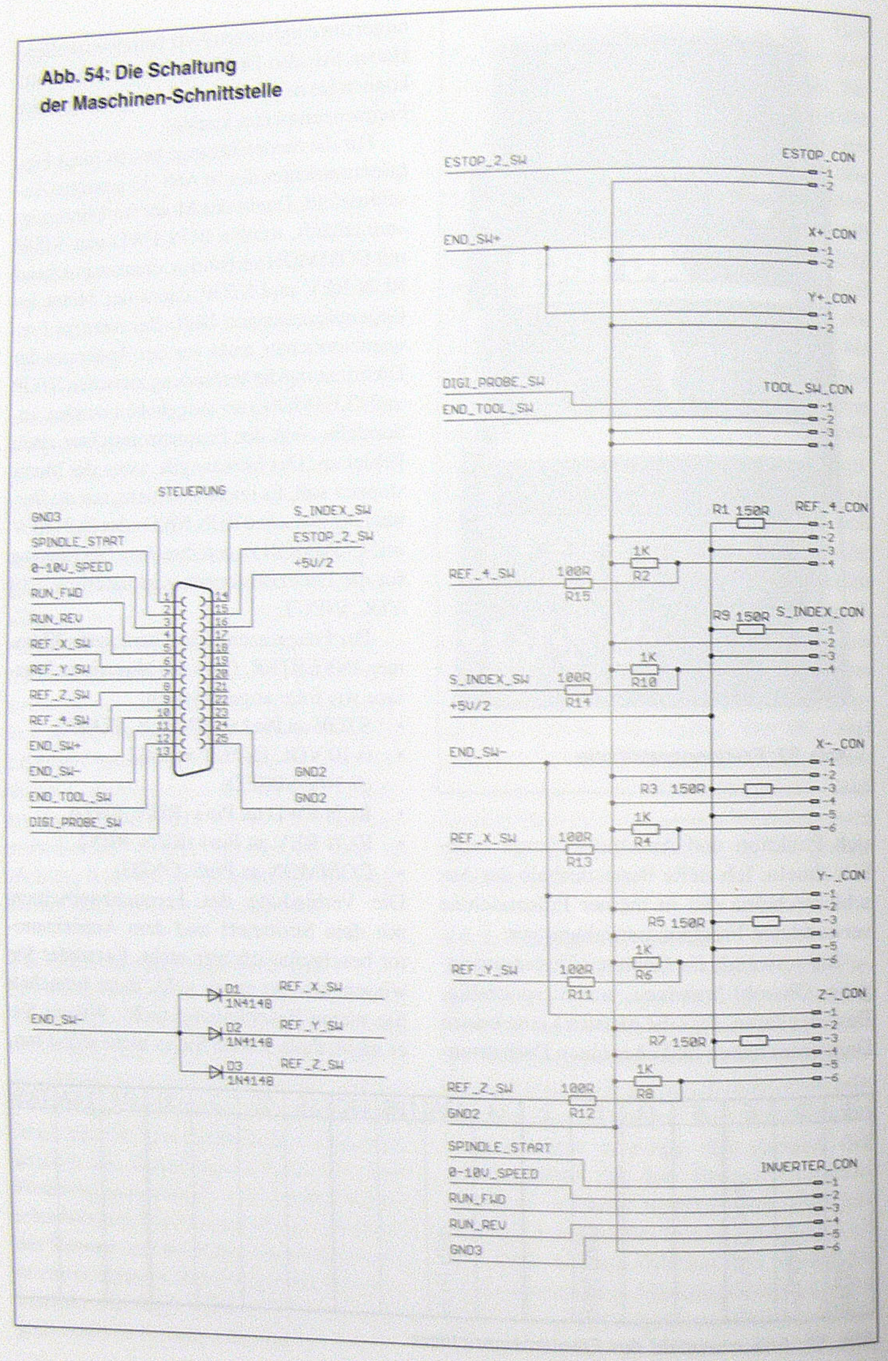
- STOP an Pin1 (SPINDLE_START)
- 0-10 VDC INPUT an Pin2 (0-10V SPEED)
- RUN FWD an Pin3 (RUN_FWD)
- RUN REV an Pin4 (RUN_REV)
- COMMON an Pin5 (GND3)

Die Verbindung des Frequenzumrichters mit dem Stromnetz und dem Antriebsmotor beschreibe ich hier nicht. Entweder Sie wissen, wie so etwas geht, dann brauchen Sie meine Beschreibung nicht. Wissen Sie es nicht, dann sollten Sie es nicht selbst tun,

1	2	5	6	11	12	2	14	13A	13B	13C	15	25	2	30	31	TXA	TXB
STOP	COMMON	0-10 VDC Input			RUN FWD			RUN REV									

Abb. 53: Anschlussfeld des Frequenzumrichters

Abb. 54: Die Schaltung der Maschinen-Schnittstelle



sondern jemanden um Hilfe bitten, der etwas davon versteht. Es geht hier, wenn Sie einen Frequenzumrichter mit Drehstromeingang benutzen, um hohe Spannungen und Ströme mit bis zu 400 V. Alles Weitere, speziell die Programmierung des Frequenzumrichters, entnehmen Sie bitte der Bedienungsanleitung. Hierzu noch der Rat:

Ersteigern oder kaufen Sie keinen Frequenzumrichter ohne Bedienungsanleitung, er ist für Sie nutzlos! Achten Sie auch darauf, dass ein Bedienteil dabei ist, das brauchen Sie für die Programmierung. Als ich noch keine Ahnung hatte, habe ich auch einmal einen Frequenzumrichter ohne Bedienteil ersteigert, den konnte ich dann leider wegwerfen.

Die Leistung des Frequenzumrichters muss der Leistungsaufnahme Ihres Spindelmotors entsprechen, mein Spindelmotor hat 0,55 kW, ein Frequenzumrichter mit 0,75 kW reicht da aus. Es ist gut, die Leistung des Frequenzumrichters etwas höher zu wählen, er wird dann nicht so warm. Wenn Sie keinen Drehstrom im Haus haben, sollten Sie natürlich einen Frequenzumrichter für Einphasenstrom von 220–240 V kaufen. Wenn Sie das eBay-Risiko scheuen und einen neuen Frequenzumrichter kaufen wollen: Der SIEMENS SINAMICS G110 0,75 kW, Artikelnummer 198132-99 kostet bei Conrad 199,- €. Dazu kommt das Bedienfeld 198211-99 mit 22,- €.

3.6.6. Simulation der Endschalter durch D1–D3

In der kompletten Schaltung gibt es noch die Dioden D1 bis D3. Sie haben den folgenden Zweck: Wenn Sie eine Maschine bauen, die keine getrennten End- und Referenzschalter haben soll, dann lassen Sie auf der Minus-Seite der Achsen die Endschalter weg und bauen nur die Referenzschalter ein. Um das Endschalter-Signal für die Steuerung trotzdem zu erzeugen, bauen Sie die drei Dioden ein. Wenn nämlich ein Referenzschalter schaltet und REF_X_SW, REF_Y_SW oder REF_Z_SW auf LO geht, fließt der Strom über eine der Dioden ab und END_SW- geht ebenfalls auf LO.

Wenn Sie die Maschine mit getrennten End- und Referenzschaltern bauen, dürfen Sie die Dioden natürlich nicht einsetzen!

3.6.7. Die Signale der Schnittstelle

Die einzelnen Schnittstellensignale sind in Abb. 55 aufgelistet und erklärt.

Signal-Name	Funktion	wahr wenn
GND3	Masse für den Inverter (0V-Potential)	
SPINDLE_START	für den Inverter, schaltet den Motor ein	Low
0-10V_SPEED	für den Inverter, Steuerspannung für die Drehzahl	
RUN_FWD	für den Inverter, schaltet den Motor auf Rechtslauf	Low
RUN_REV	für den Inverter, schaltet den Motor auf Linkslauf	Low
REF_X_SW	Referenzschalter X	Low
REF_Y_SW	Referenzschalter Y	Low
REF_Z_SW	Referenzschalter Z	Low
REF_4_SW	Referenzschalter 4	Low
END_SW+	alle Endschalter an den positiven Enden der Achsen	Low
END_SW-	alle Endschalter an den negativen Enden der Achsen	Low
END_TOOL_SW	Endschalter des Werkzeuglängen-Sensors	Low
DIGI_PROBE_SW	Werkzeuglängen-Sensor oder Digitalisierer	High
S_INDEX_SW	Indeximpuls der Werkzeugspindel	High
ESTOP_2_SW	Not-Aus-Schalter	
+5V/2	+5V Versorgungsspannung	
GND2	Masse (0V-Potential)	

Abb. 55: Die Signale der Maschinen-Schnittstelle

3.6.8. Die Schaltung der Maschine

Damit Sie wissen, welche Schalter und Lichtschranken an welche Klemmen der Maschinen-Schnittstelle gehören, hier auch noch das Schaltbild der Maschine:

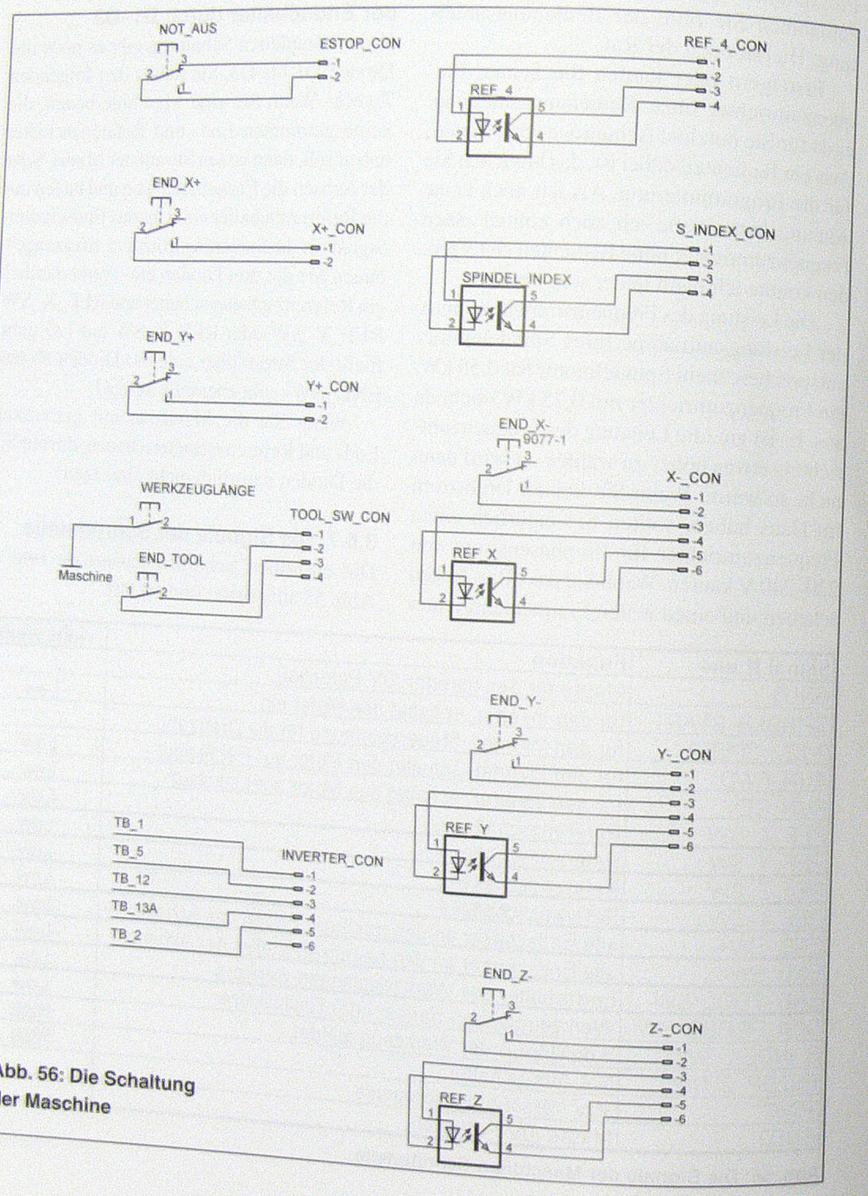


Abb. 56: Die Schaltung der Maschine

3.7 Der Verteiler

Der Verteiler ist das zentrale Modul der Steuerung und hat im Wesentlichen folgende Schaltungsteile:

- die Computer-Schnittstellen und das Rangierfeld,
- die Aufbereitung der Schrittimpulse,
- die Aufbereitung der Signale von der Maschinen-Schnittstelle,
- die Erzeugung der Signale für den Frequenzumrichter,
- die Auswertung der End- und Notschalter und die Sicherheitsschaltungen.

Diese Schaltungsteile werde ich jetzt im Einzelnen vorstellen. Der komplette Schaltplan ist für das Buch leider zu groß, Sie finden ihn auf der Webseite des Verlages (Anhang).

3.7.1. Computer-Schnittstellen und Rangierfeld

Die Anschlüsse der Computer-Schnittstellen sind mit einer 30-poligen Buchsenleiste verbunden, von der aber nur 26 Buchsen angeschlossen sind. Diese 26 Anschlüsse entsprechen der maximalen Anzahl von Signalen, welche die Steuerung verarbeiten kann. Nicht alle dieser Signale müssen auch tatsächlich benutzt werden. Es kann durchaus sein, dass die verwendete Steuerungssoftware mit einigen Signalen entweder nichts anfangen oder sie nicht erzeugen kann. Dies gilt mit Sicherheit für die Steuerung des Spindelmotors über einen Frequenzumrichter oder den Anschluss eines elektronischen Handrads. Es ist auch ein großer Unterschied, ob Sie eine oder zwei

Abb. 57: Belegung DB25- und Wannenstecker

DB25	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Wannenstecker	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24

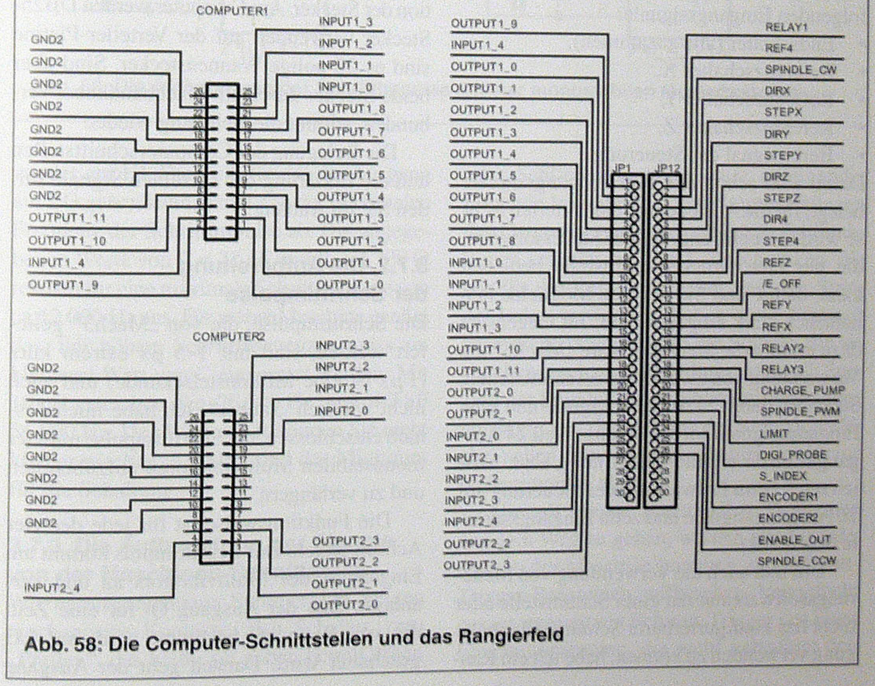


Abb. 58: Die Computer-Schnittstellen und das Rangierfeld

Druckerschnittstellen am Computer verwenden. Während die Druckerschnittstelle zwölf Ausgänge (vom Computer zur Steuerung) besitzt, verfügt sie leider nur über fünf Eingänge (von der Steuerung zum Computer). Das liegt einfach daran, dass die Schnittstelle ursprünglich für ein Ausgabegerät, den Drucker, konzipiert war. Dabei geht es darum, Daten schnell an den Drucker zu übertragen. Die in 8 Bit verschlüsselten Druckzeichen werden also gleichzeitig, parallel auf die Schnittstelle gelegt. Damit sind schon acht Ausgänge belegt. Dazu kommen weitere vier Ausgänge zur Steuerung des Druckers. Für Rückmeldungen des Druckers an den Computer stehen fünf Eingänge zur Verfügung, z. B. für „Papierende“ oder „Druckerfehler“.

Für unsere Steuerung stehen deshalb auch mit bloß einer Schnittstelle meist ausreichend viele Ausgänge zur Verfügung, nur bei den Eingängen hapert es. Schon bei einer einfachen Dreiachsensteuerung brauchen wir die folgenden Eingangssignale:

- Endschalter (alle zusammen),
- Referenzschalter X,
- Referenzschalter Y,
- Referenzschalter Z,
- Bereitsignal der Steuerung.

Damit sind schon alle fünf Eingangssignale belegt, für die Ansteuerung einer vierten Achse wird es richtig eng. Es gibt Steuersoftware, die nur eine Druckerschnittstelle bedienen kann, damit sind Sie in Ihren Möglichkeiten natürlich stark eingeschränkt. Im Gegensatz dazu erlaubt die Steuersoftware „Mach3“ die Verwendung von zwei Druckerschnittstellen, Sie haben damit 24 Ausgangssignale und zehn Eingangssignale zur Verfügung. Weil 24 Ausgangssignale wirklich nicht nötig sind, habe ich mich beim Entwurf meiner Steuerung auf 16 Ausgangssignale und zehn Eingangssignale beschränkt.

Um nun auch die Verwendung von Steuerungssoftware mit nur einer Schnittstelle oder nicht frei konfigurierbarer Schnittstellenbelegung verwenden zu können, habe ich ein Rangierfeld auf der Verteilerplatine vorgesehen. Das Rangierfeld besteht einerseits aus den 26 Buchsen, die mit den Computer-Schnittstellen verbunden sind, andererseits aus 26 gegenüberliegenden Buchsen, die mit der Steuerung verbunden sind. Durch Drahtbrücken können Sie nun jede Buchse auf der Computerseite mit einer beliebigen Buchse auf der Steuerungsseite verbinden. Sie sind damit völlig frei in der Belegung der Schnittstellen. Sollten Sie fest entschlossen sein, nur die Steuerungssoftware „Mach3“ zu verwenden und niemals zu einer anderen zu wechseln, dann können Sie die Buchsenleisten weglassen und die gegenüberliegenden Leiterbahnen direkt mit eingelöteten Drahtbrücken verbinden.

Die Belegung der Schnittstellenstecker COMPUTER1 und COMPUTER2 in der Schaltung sieht zunächst etwas verwirrend aus, weil sie nicht mit der Belegung der Schnittstelle am Computer korrespondiert. Das liegt an der unterschiedlichen Konstruktion der Stecker. Am Computer werden DB25-Stecker verwendet, auf der Verteiler-Platine sind es 26-polige Wannenstecker. Sind aber beide Stecker durch ein Flachbandkabel verbunden, stimmt die Belegung wieder.

Die Belegung der Computerschnittstellen und die Erklärung der einzelnen Signale finden Sie im Anhang.

3.7.2. Die Aufbereitung der Schrittimpulse

Die Schrittimpulse, die von „Mach3“ geliefert werden, sind mit 1–5 µs extrem kurz (1 µs ist eine Millionstelsekunde) und auch nicht wirklich „sauber“. Ich habe mich deshalb entschlossen, die Schrittimpulse mit vier monostabilen Multivibratoren aufzubereiten und zu verlängern.

Die Funktionsweise ist für jede der vier Achsen gleich. Der Schrittimpuls kommt am Eingang A des Multivibrators an und veranlasst, dass der Ausgang Q\ für eine Zeit, die von R und C bestimmt wird, auf LO geschaltet wird. Danach geht der Ausgang

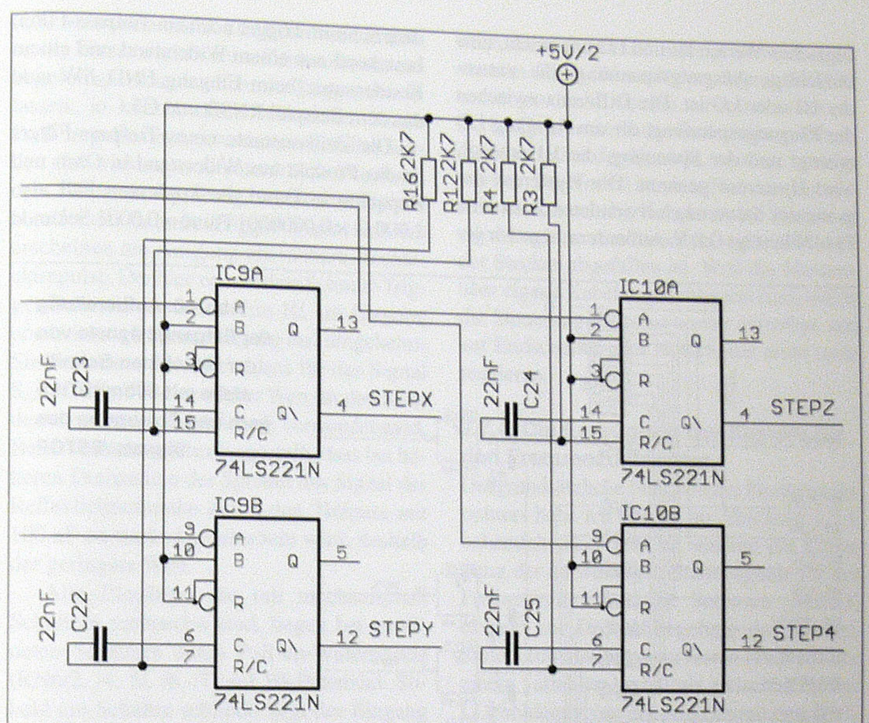


Abb. 59: Die Aufbereitung der Schrittimpulse mit vier monostabilen Multivibratoren

wieder auf HI. Die Zeit, für die der Ausgang auf LO gehen kann, hängt von der maximalen Frequenz der Schrittimpulse ab. Die angegebenen Werte von C = 22 nF und R = 2.700 Ω reichen für eine maximale Schrittfrequenz von ca.12.000 Hz aus. Für meine Maschine genügt das. Für höhere Schrittfrequenzen muss ein kleinerer Wert von C eingesetzt werden. Mit 10 nF erreichen Sie 26.500 Hz, mit 4,7 nF 56.000 Hz. Den Wert von R können Sie nicht kleiner machen, 2.000 Ω sind das Minimum für die Schaltung.

3.7.3. Die Aufbereitung der Signale von der Maschinen-Schnittstelle

Wie bereits an anderer Stelle erklärt, neigen mechanische Kontakte, also Schalter, zum „Prellen“, das heißt, sie geben beim Öffnen oder Schließen mehrere, kurz aufeinander folgende Impulse ab. Diese Impulse können den Computer verwirren und ihn zu Fehlfunktionen veranlassen. Die Lichtschranken, die wir für die Referenzschalter und den Spindel-Index verwenden, haben diese Eigenart zwar nicht, dennoch sind die Signale, die sie abgeben, auch nicht unbedingt „sauber“. Speziell der Spindel-Index gibt möglicherweise, abhängig von der Qualität der Reflexionsfläche, neben dem Hauptimpuls mehrere kleine Nebenimpulse ab.

Um all diesen potenziellen Problemen aus dem Weg zu gehen, werden alle Signale, die von der Maschine kommen, mit Schmitt-Trigger-Bausteinen aufbereitet. Vereinfacht gesagt, erzeugt ein Schmitt-Trigger aus einer Eingangsspannung, die nicht unbedingt den

logischen Werten HI und LO entspricht, eine eindeutige Ausgangsspannung, die entweder HI oder LO ist. Die Differenz zwischen der Eingangsspannung, die am Ausgang LO erzeugt und der Spannung, die HI erzeugt, wird Hysterese genannt. Die Hysterese der in meiner Steuerung verwendeten Bausteine 7414N beträgt 0,8 V. Außerdem liegt vor jedem Schmitt-Trigger noch ein Tiefpass-Filter, bestehend aus einem Widerstand und einem Kondensator, beim Eingang END_SW sind das zum Beispiel RN3B und C5.

Die Zeitkonstante eines Tiefpass-Filters ist das Produkt aus Widerstand in Ohm und Kapazität in Farad, im konkreten Fall also 1.000 Ω × 0,0000001 Farad = 0,0001 Sekunde

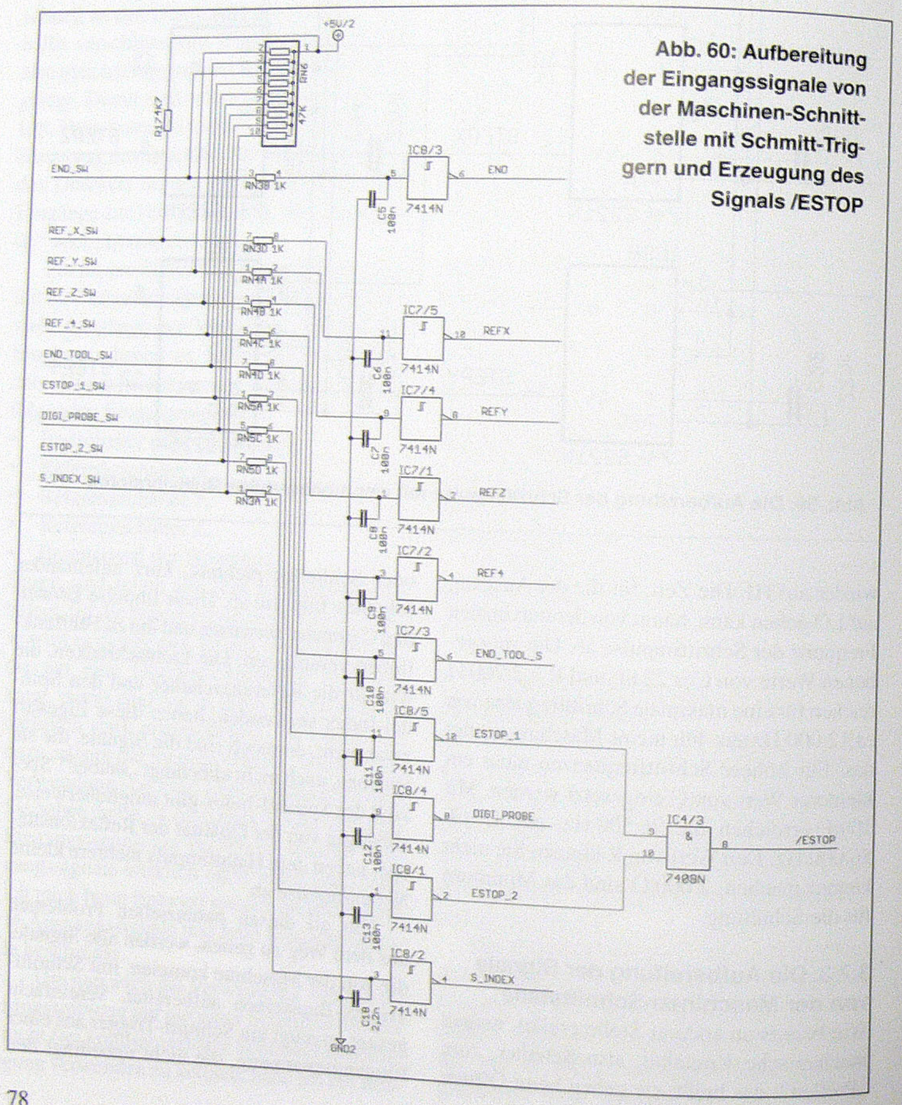


Abb. 60: Aufbereitung der Eingangssignale von der Maschinen-Schnittstelle mit Schmitt-Triggern und Erzeugung des Signals /ESTOP

(100 Mikrosekunden). Der Filter wird Impulse, die kürzer sind als seine Zeitkonstante, nur abgeschwächt an den Schmitt-Trigger durchlassen, je kürzer, desto schwächer. Kurze Prell-Impulse der mechanischen Schalter werden also wirkungsvoll unterdrückt. Die durch den Filter zwangsläufig verzerrten Signale bereitet der Schmitt-Trigger wieder auf, sie erscheinen am Ausgang als saubere Rechteckimpulse. Der hier verwendete Schmitt-Trigger-Baustein invertiert: Ein HI am Eingang erscheint als LO am Ausgang und umgekehrt. Sie bemerken sicherlich, dass für das Signal S_INDEX_SW ein anderer Wert für den Kondensator, nämlich nur 2,2 nF, verwendet wird. Beim Test hat sich herausgestellt, dass bei höheren Drehzahlen der Spindel das Signal der Reflexlichtschranke durch den Tiefpass mit 100 nF zu stark abgeschwächt wird, deshalb der geringere Wert.

Alle Eingänge, die mit mechanischen Schaltern verbunden sind, liegen bei geöffneten Schaltern durch Pull-up-Widerstände (RN6/2, /4, 5/, /6, /7) auf HI-Potenzial. Sobald ein Schalter schließt, liegt der Eingang auf GND2 und damit auf LO am Eingang des Schmitt-Triggers. Ohne die Pull-Up-Widerstände läge bei geöffnetem Schalter ein undefiniertes Potenzial am Eingang, und jede Störspannung auf der Eingangsleitung, die lange genug anläge, könnte den Schmitt-Trigger schalten.

Eine besondere Schaltung gibt es noch für die beiden Not-Aus-Schalter ESTOP_1_SW und ESTOP_2_SW. Die Ausgänge der zugehörigen Schmitt-Trigger sind mit den Eingängen des Und-Gatters IC4/3 verbunden. Sind beide Not-Aus-Schalter geschlossen, liegt an den Ausgängen der Schmitt-Trigger und damit an den Eingängen des Und-Gatters der Wert HI. Sobald einer der Schalter öffnet, geht der Ausgang des Schmitt-Triggers auf LO und damit auch der Ausgang des Und-Gatters. Damit wird das Signal /ESTOP wahr. Der Schrägstrich vor dem Signal kennzeichnet negative Logik. In der negativen Logik ist ein Signal wahr, wenn es LO ist, in der positiven Logik, wenn es HI ist. Was mit dem Signal /ESTOP weiter geschieht, werden wir später sehen.

Im Gegensatz zu den Endschaltern öffnen die Notschalter den Kontakt, wenn sie betätigt werden. Der Vorteil ist, dass Not-Aus signalisiert wird, wenn das Kabel von der Steuerung zur Maschine unterbrochen wird, z.B. weil der Stecker abgefallen ist. Weil die Motoren über eigene Kabel angeschlossen sind, würde die Steuerung sie sonst weiter antreiben und auf Endschalter oder Notschalter nicht mehr reagieren.

3.7.4. Die Erzeugung der Signale für den Frequenzumrichter

Die grundsätzliche Funktion des Frequenzumrichters habe ich bereits im Abschnitt 1.5.1. behandelt. Hier geht es nun um die Erzeugung der notwendigen Steuersignale für den Frequenzumrichter. Die Software „Mach3“ erzeugt zur Drehzahlregelung des Spindelmotors Impulse mit einer festen Frequenz und einem variablen Verhältnis zwischen HI und LO, abhängig von der programmierten Drehzahl. Es handelt sich dabei um so genannte Pulsbreitenmodulierte (englisch: PWM-)Signale, durch die Gleichstrommotoren mit Hilfe einer recht einfachen Schaltung in ihrer Drehzahl steuerbar sind. Allerdings ist diese einfache Drehzahlsteuerung ohne Rückmeldung extrem lastabhängig, und außerdem wollen wir einen Drehstrommotor damit steuern.

Um das PWM-Signal in eine variable Gleichspannung von 0–10 V umzuwandeln, braucht es etwas Schaltungsaufwand. Das Signal Spindle_PWM wird zunächst mit dem Schmitt-Trigger IC7/6 aufbereitet und invertiert. Weil die Frequenzumrichtersteuerung aus Sicherheitsgründen elektrisch vollkommen vom Rest der Steuerung getrennt sein soll, wird das Signal über den Optokoppler OK1A weiter übertragen. Der Optokoppler besteht aus einer Fotodiode (LED) und einem Fototransistor in einem gemeinsamen Gehäuse. Fließt Strom durch die Fotodiode, dann

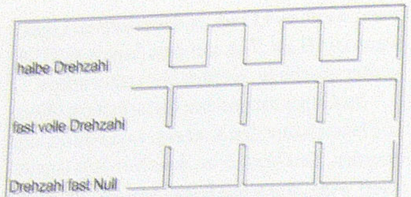


Abb. 61: Pulsbreitenmoduliertes (PWM-)Signal für die Drehzahlregelung des Spindelmotors

leuchtet sie auf und das Licht fällt auf den Fototransistor, der daraufhin durchschaltet. Damit wird der Pin7 des Optokopplers auf das Potenzial GND3 gezogen, er schaltet auf LO. Pin7 schaltet also im Takt des PWM-Signals ständig zwischen HI und LO hin und her. Die Zeitspanne, in der Pin7 auf HI liegt, wird durch die Drehzahleinstellung in der Software bestimmt.

Die zentralen Bauteile, um nun eine variable Gleichspannung zu erzeugen, sind die Widerstände R8, R15 und der Kondensator C17. Kondensatoren haben die Eigenschaft, elektrische Ladung zu speichern, ähnlich wie eine aufladbare Batterie. Je größer ihre Kapazität ist (gemessen in Farad), desto größer ist die Ladung, die sie speichern können. Wenn Pin7 auf HI geht, wird der Kondensator C17 über den Widerstand R8 aufgeladen. Je länger Pin7 auf HI liegt, desto größer die Ladung und desto höher die Spannung, die am Kondensator anliegt, wenn Pin7 wieder auf LO geht (die maximale Spannung ist natürlich die Betriebsspannung von +12 V). In der Zeit, in der Pin7 auf LO liegt, entlädt sich der Kondensator über den Widerstand R15. Je länger Pin7 auf LO ist, desto niedriger wird die Spannung am Kondensator. Im Endeffekt stellt sich am Kondensator eine mittlere Spannung ein, die davon abhängt, wie lange Pin7 HI oder LO ist. Das ist genau das, was wir wollen.

Weil aber die Änderung der Spannung am Kondensator zu gering ist, um damit den Frequenzumrichter zu steuern, wird sie im Operationsverstärker IC3A verstärkt. Der Operationsverstärker verstärkt die Differenz der Spannungen an seinen zwei Eingängen, Pin2 und Pin3. Je größer die Differenz, desto höher die Spannung am Ausgang Pin1. Damit bei der programmierten Drehzahl Null (wenn also Pin7 ständig LO ist) der Ausgang des Operationsverstärkers auch auf 0 V liegt, wird mit dem Potenziometer R5 eine Spannung an Pin2 eingestellt, die genau der Spannung an Pin3 entspricht, wodurch es keine Spannungsdifferenz an den Eingängen gibt. Anschließend wird bei programmierter Maximaldrehzahl der Verstärkungsfaktor des Operationsverstärkers mit dem Potenziometer R7 so eingestellt, dass die Ausgangsspannung an Pin1 genau 10 V ist. Weil diese Einstellungen in einem gewissen Maß voneinander abhängig sind, müssen sie für ein korrektes Ergebnis mehrfach wiederholt werden. Eine genaue Anleitung zur Einstellung folgt bei der Prüfung der fertigen Verteiler-Platine und in Abschnitt 7.6.7.

Damit können wir nun die Frequenz des Frequenzumrichters steuern. Allerdings benötigen wir noch weitere Signale, um den Motor einzuschalten und auf Rechts- oder Linkslauf einzustellen. „Mach3“ erzeugt zwei Signale, SPINDLE _CW (Spindel an im Uhrzeigersinn) und SPINDLE_CCW (Spindel an im Gegenuhrzeigersinn). Soll der Motor stillstehen, sind beide Signale nicht vorhanden. Aus Sicherheitsgründen muss allerdings verhindert werden, dass der Motor schon anläuft, wenn eins dieser Signale an der Schnittstelle anliegt. Während der Computer hochgefahren wird, nehmen die Signale auf den Schnittstellen undefinierte Zustände an, sie sind nach dem Zufallsprinzip entweder auf HI oder LO. Während des Hochfahrens des Computers könnte bei eingeschalteter Steuerung deshalb der Spindelmotor plötzlich mit voller Drehzahl anlaufen, ein sehr gefährlicher Zustand. Auch bei Betätigung eines Not-Aus-Schalters muss der Motor sofort abgeschaltet werden, und

zwar völlig unabhängig von der Software. Alle Steuerungen, die solche Sicherheitsschaltungen nicht besitzen, sind potenziell gefährlich!

Um bei der hier besprochenen Steuerung das plötzliche Anlaufen des Motors zu verhindern, werden die Signale SPINDLE_CW und SPINDLE_CCW zunächst auf die Und-Gatter IC4/1 und IC4/2 geleitet. Am jeweils zweiten Eingang der Und-Gatter liegt das Signal ENABLE. Nur wenn ENABLE auf HI liegt, kann der Ausgang eines der Und-Gatter ebenfalls HI sein und das Relais FWD oder REV schalten. Damit das Signal ENABLE HI ist, müssen einige Voraussetzungen erfüllt sein:

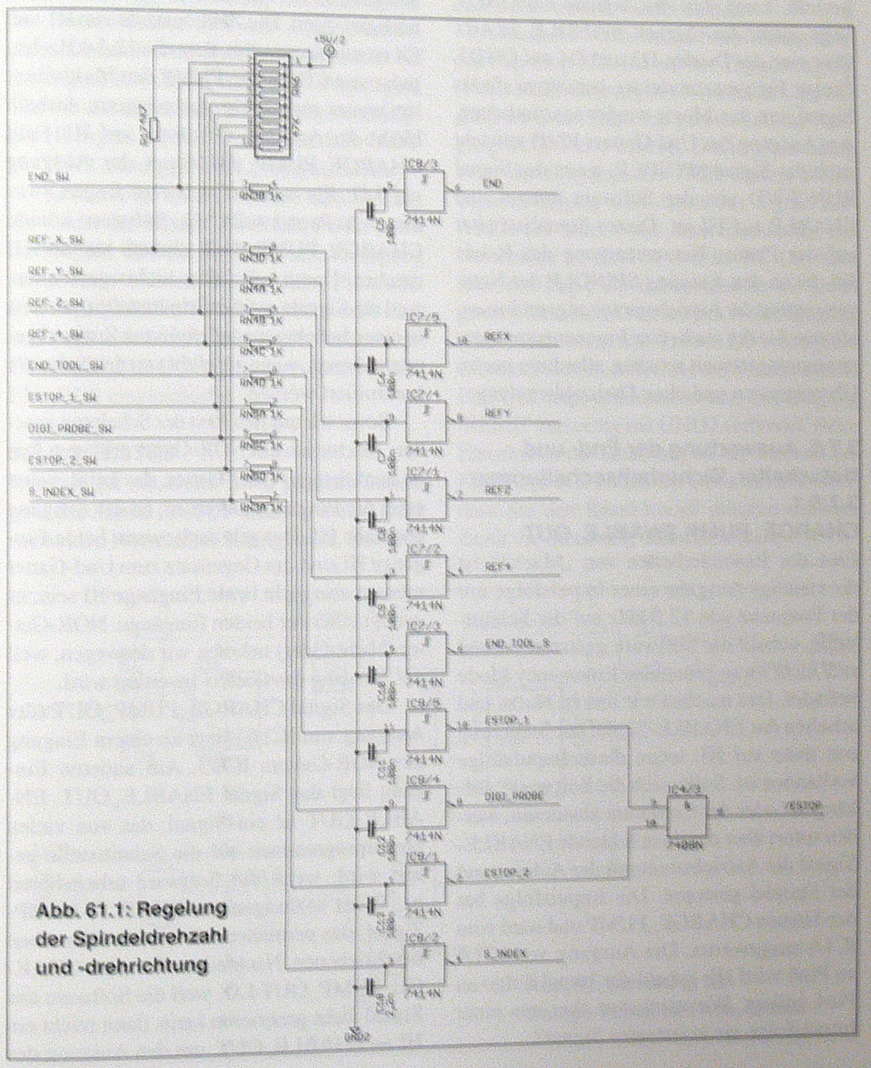


Abb. 61.1: Regelung der Spindeldrehzahl und -drehrichtung

- Beide Not-Aus-Schalter in Ein-Position.
- Die Software „Mach3“ funktioniert ordnungsgemäß.
- „Mach3“ ist nicht im Reset-Modus.

Über die Relaiskontakte FWD und REV werden die Signale RUN_FWD und RUN_REV jeweils auf GND3 gelegt. Damit ist auch die oben erwähnte elektrische Trennung sichergestellt. Liegt eins der Signale auf GND3, liegt auch das Signal SPINDLE_START über eine der Dioden D3 und D4 auf GND3. Einige Frequenzumrichter benötigen dieses Signal, um den Motor wieder auszuschalten. Am Ausgang des Und-Gatters IC4/1 entsteht auch das Signal SPINDLE, wenn das Signal RUN_FWD von der Software kommt und ENABLE auf HI ist. Dieses Signal schaltet auf der Platine Netzversorgung das Relais K4. Ist an den Ausgang SPINDLE der Netzversorgung der Antriebsmotor angeschlossen, können Sie ihn auch ohne Frequenzumrichter programmgesteuert schalten, allerdings nur im Uhrzeigersinn und ohne Drehzahlregelung.

3.7.5. Auswertung der End- und Notschalter, Sicherheitsschaltungen

3.7.5.1. CHARGE_PUMP, ENABLE_OUT

Eine der Besonderheiten von „Mach3“ ist die ständige Ausgabe einer Impulsfolge mit der Frequenz von 12,5 kHz auf die Schnittstelle, sobald die Software gestartet ist und sich nicht im so genannten Emergency Mode befindet. Das machen wir uns zu Nutze und schalten das ENABLE-Signal der Steuerung erst dann auf HI, wenn diese Impulsfolge vorhanden ist. Sollte sich die Software „aufhängen“ oder der Computer abstürzen, würden sofort über das dann fehlende ENABLE-Signal die Antriebsmotoren der Achsen und der Spindel gestoppt. Die Impulsfolge hat den Namen CHARGE_PUMP und wird vom IC1A ausgewertet. Der Ausgang von IC1A an Pin6 wird HI, sobald die Impulsfolge an Pin4 anliegt. Wie wird nun aber aus einer Impulsfolge ein konstantes Signal?

IC1A ist ein nachtriggerbarer monostabiler Multivibrator. Sobald der Triggereingang A (Pin4) von LO auf HI wechselt, geht der Ausgang Q (Pin6) auf HI. Nach einer gewissen Zeit, abhängig von der Zeitkonstante von R1 und C4, kippt der Ausgang Q wieder auf LO. Kommt während dieser Zeit ein weiterer Triggerimpuls am Eingang A an, bleibt der Ausgang Q auf HI, der Multivibrator wurde nachgetriggert. Die Zeitkonstante von R1 und C4 ist nun so gewählt, dass die 12,5-kHz-Impulse von CHARGE_PUMP den Multivibrator immer rechtzeitig nachtriggern, deshalb bleibt der Ausgang Q ständig auf HI. Fällt CHARGE_PUMP aus, kippt der Ausgang auf LO. Sie werden sich nun fragen, was dieser Aufwand solle, die Software könnte CHARGE_PUMP doch einfach ständig HI machen. Damit wäre aber nichts gewonnen, weil die Signale auf der Schnittstelle durchaus in einen beliebigen, undefinierten Zustand geraten können, wenn sie nicht von der Software kontrolliert werden.

Bevor wir uns den Rest der Schaltung ansehen, möchte ich das NOR-Gatter erklären. Das ist zunächst ein Oder-Gatter, das heißt, wenn einer der Eingänge auf HI ist, ist der Ausgang ebenfalls HI. Das gilt auch, wenn beide Eingänge HI sind. Im Gegensatz zum Und-Gatter müssen also nicht beide Eingänge HI sein, es genügt einer der beiden Eingänge. NOR-Gatter (Nicht-Oder) nehmen wir deswegen, weil der Ausgang des Gatters invertiert wird.

Das Signal CHARGE_PUMP_OUT (der Ausgang von IC1A) liegt an einem Eingang des NOR-Gatters IC6/3. Am anderen Eingang liegt das Signal ENABLE_OUT. ENABLE_OUT ist ein Signal, das von vielen Steuerprogrammen auf die Schnittstelle gelegt wird, wenn die Software arbeitsbereit ist. Es ist sozusagen ein CHARGE-PUMP-Signal, das permanent HI ist, mit allen oben beschriebenen Nachteilen. Ist also CHARGE_PUMP_OUT LO, weil die Software das Signal nicht generieren kann, dann reicht ein HI an ENABLE_OUT, um den Ausgang des NOR-Gatters IC6/3 auf LO zu schalten. Sind beide Signale LO, dann wird der Ausgang von IC6/3 HI, was wiederum dazu führt, dass der Ausgang von IC5/2 und damit das Signal ENABLE LO wird. Die Steuerung ist dann abgeschaltet.

Wenn Sie das Signal CHARGE_PUMP verwenden, um ENABLE zu kontrollieren, müssen Sie die Verbindung zwischen Pin25 der Buchsenleisten JP1 und JP12 unterbrechen. Dadurch wird über den Widerstand R2 das Signal ENABLE_OUT auf LO gezogen. Tun Sie das nicht, dann wird durch ein zufälliges HI-Signal auf Pin5 der Schnittstelle COMPUTER2 ständig ENABLE eingeschaltet.

Kommt eine Steuersoftware zum Einsatz, die weder das Signal CHARGE_PUMP noch das Signal ENABLE_OUT zur Verfügung stellt, dann müssen Sie auf dem Pinheader ENABLE_SELECT Pin1 und Pin3 statt Pin2 und Pin3 miteinander verbinden. Dadurch ist CHARGE-PUMP_OUT permanent HI und ENABLE eingeschaltet.

3.7.5.2. /ESTOP

Wie wir im Abschnitt 3.7.2 gesehen haben, geht das Signal /ESTOP auf LO, sobald einer der beiden Notschalter betätigt wird. Dadurch geht auch ENABLE auf LO und die Steuerung ist abgeschaltet. Nun wäre es falsch, wenn nach dem Wiedereinschalten des Notschalters die Steuerung sofort wieder arbeitsbereit wäre. Das ist auch bei einer Maschine, die mit Relais gesteuert wird, nicht der Fall. Nach dem Wiedereinschalten des Notschalters müssen Sie dort erst den Motorschalter betätigen, damit der Antrieb wieder anläuft.

Um dieses Verhalten nachzubilden, gibt es das Flip-Flop IC2. Sobald der Triggereingang (Pin2) bei Betätigung des Notschalters auf LO geht, wird das Flip-Flop gesetzt und der Ausgang OUT (Pin3) wird HI. Das ist gleichzeitig einer der Eingänge des NOR-Gatters IC5/2, dessen Ausgang und damit das Signal ENABLE LO wird. Nach dem Einschalten des Notschalter ist /ESTOP wieder HI. Das lässt aber das Flip-Flop unbeeindruckt, es bleibt gesetzt. Erst ein LO an seinem Reset-Eingang (Pin4) setzt es zurück. Dieses LO erzeugt ein externer Reset-Schalter, der am Stecker BEDIENPULT angeschlossen ist und den Eingang /RESET kurzzeitig mit GND2 verbindet. Beim Einschalten der Steuerung ist der Zustand des Flip-Flops IC2 undefiniert, es kann also sein, dass Sie den Reset-Knopf drücken müssen, damit die Steuerung arbeitsbereit ist.

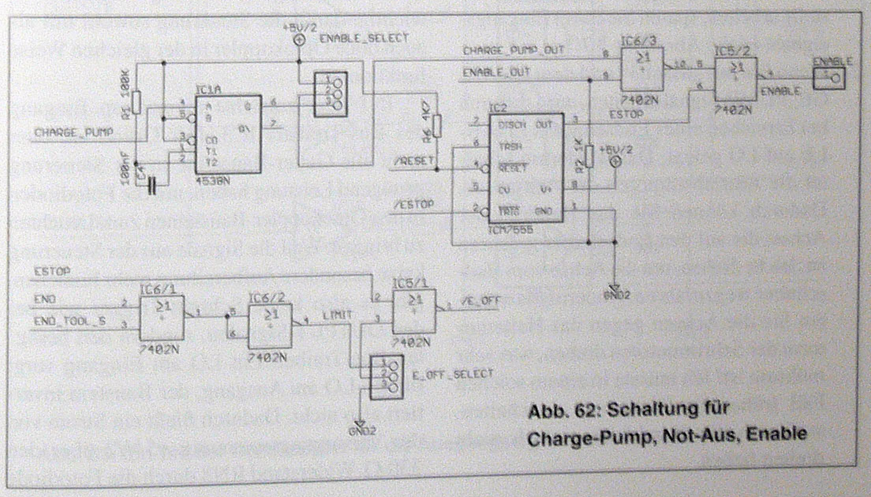


Abb. 62: Schaltung für Charge-Pump, Not-Aus, Enable

3.7.5.3 LIMIT, /E_OFF

Sobald einer der Endschalter der Achsen betätigt wird, geht das Signal END am Eingang des NOR-Gatters IC6/1 auf HI (siehe Abschnitt 3.7.2). Am zweiten Eingang des NOR-Gatters liegt das Signal END_TOOL_S (siehe Abschnitt 3.6.4.), das auf HI geht, wenn der Werkzeuglängensensor überfahren wird. In jedem Fall geht der Ausgang des NOR-Gatters auf LO. Dieses LO wird durch das NOR-Gatter IC6/2 invertiert, so dass das Signal LIMIT am Ausgang von IC6/2 HI wird. Der Ausgang des Flip-Flops IC2 ist auch mit einem Eingang des NOR-Gatters IC5/1 verbunden. Wenn ESTOP HI ist, ist das Signal /E-OFF am Ausgang von IC5/1 LO, also wahr (negative Logik!). /E_OFF wird über das Rangierfeld auf die Computerschnittstelle gelegt. Die Software kann das Signal auswerten und auf einen Not-Halt reagieren. „Mach3“ geht in diesem Fall in den Emergency-Mode und schaltet das Signal CHARGE_PUMP ab.

Falls gewünscht, kann der Pinheader E_OFF_SELECT so gesteckt werden (Pin1 und 2 verbunden), dass bei Betätigung eines Endschalters ebenfalls das Signal /E_OFF erzeugt wird. Das kann aus zwei Gründen sinnvoll sein:

1. Wenn Sie nur mit einer Computer-Schnittstelle arbeiten, sparen Sie dabei Eingangssignale (siehe Abschnitt 3.7.1.).
2. Wenn Sie mit „Mach3“ und dem CHARGE_PUMP-Signal arbeiten, wird dadurch bei Erreichen eines Endschalters ENABLE auf LO gelegt. Das wiederum schaltet die Antriebsmotoren der Achsen ab. Dadurch können Sie das Handrad der Achse, die auf den Endschalter gefahren ist, leicht drehen, um die Achse vom Endschalter wegzufahren. Andernfalls müssten Sie die Achsen gegen das Haltemoment der Schrittmotoren drehen, was sehr mühsam ist! Ich musste in einem solchen Fall früher die Steuerung ausschalten, weil sich die Handräder einfach nicht drehen ließen.

3.8 Der Optokoppler

Der komplette Schaltplan des Optokopplers ist leider für das Buch zu groß. Sie finden ihn auf der Webseite des Verlages (Anhang).

Der Optokoppler sorgt für die elektrische (oder: galvanische) Trennung von Computer und Steuerung. Jedes Signal, sei es vom Computer zur Steuerung oder von der Steuerung zum Computer, wird nur optisch übertragen. Warum das so sein soll, habe ich bereits im Abschnitt 3.1.6. erklärt. Zum Verständnis der Schaltung genügt es, wenn ich als Beispiel ein Signal vom Computer zur Steuerung (OTUTPUT1) und eins von der Steuerung zum Computer (IN1) erläutere.

OUTPUT1 wird zunächst vom 47-K-Widerstand RN5 auf +5 V/1 „hochgezogen“. Ist der Computer nicht angeschlossen, liegt OUTPUT1 damit in jedem Fall auf HI. Der darauf folgende Schmitt-Trigger sorgt für eindeutige HI- und LO-Pegel an seinem Ausgang. Außerdem bringt er die Leistung auf, über den 330-Ω-Widerstand RN1B die Fotodiode im Optokoppler OK1A zum Leuchten zu bringen, wenn sein Eingang auf LO liegt. Dadurch schaltet der Fototransistor in OK1A durch und legt das Ausgangssignal OUT1 auf LO. Ein LO am Eingang erzeugt also auch ein LO am Ausgang und umgekehrt. Das ist wichtig, damit die Steuerung sowohl mit als auch ohne Optokoppler in der gleichen Weise funktioniert.

IN1 liegt zunächst einmal am Eingang des Bus-Treibers IC3. Der Grund ist, dass nicht alle Gatter-Bausteine in der Steuerung genügend Leistung haben, um die Fotodioden in den Optokoppler-Bausteinen zum Leuchten zu bringen. Weil die Signale aus der Steuerung keine besondere Aufbereitung mehr brauchen, gibt es also keine Schmitt-Trigger wie bei den OUTPUT-Signalen, sondern den besagten Bus-Treiber. Ein LO am Eingang sorgt für ein LO am Ausgang, der Baustein invertiert also nicht. Dadurch fließt ein Strom von der Versorgungsspannung +5 V/2 über den 330-Ω-Widerstand RN8 durch die Fotodiode

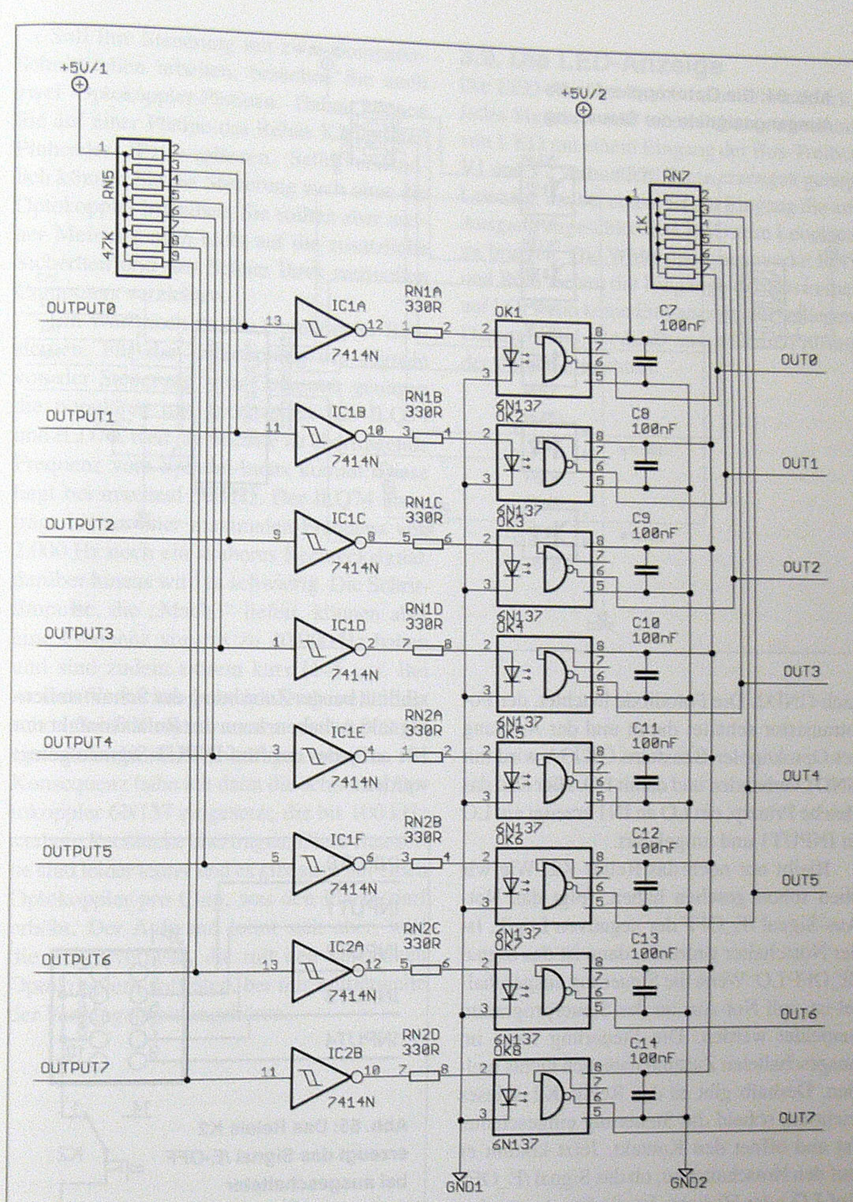


Abb. 63: Ein Teil der Optokoppler für die Ausgangssignale des Computers

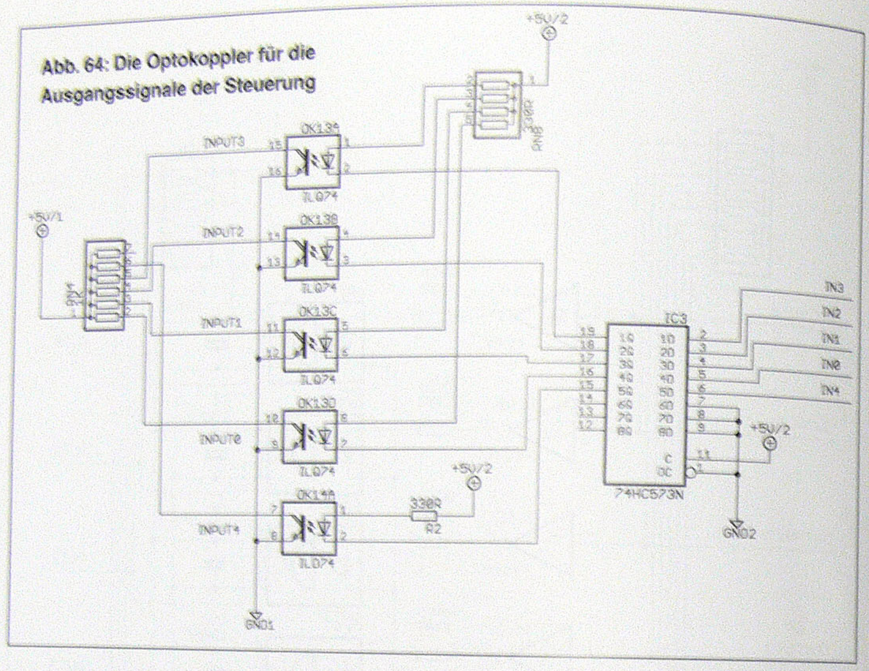


Abb. 64: Die Optokoppler für die Ausgangssignale der Steuerung

nach GND2. Die Fotodiode leuchtet, der Fototransistor schaltet durch und der Ausgang des Optokoppler-Bausteins OK13A wird mit GND1 verbunden und damit LO. Hier also das gleiche Prinzip, ein LO an IN1 erzeugt ein LO an INPUT1 und umgekehrt.

Bleibt nur noch das Relais K2. Wie wir oben schon gesehen haben, folgt das Not-Aus-Signal /E_OFF der negativen Logik. Ist der Notschalter gedrückt, dann ist das Signal /E_OFF LO. Wenn die Steuerung ausgeschaltet ist, soll Not-Aus an das Steuerprogramm gemeldet werden. Die Steuerung kann im ausgeschalteten Zustand natürlich nichts melden. Deshalb gibt es das Relais K2. Dieses zieht an, sobald die Steuerung eingeschaltet ist und öffnet den Kontakt. Jetzt kommt es auf den Notschalter an, ob das Signal /E_OFF auf LO oder HI liegt. Ist die Steuerung aber abgeschaltet, dann fällt das Relais ab und legt /E_OFF auf GND1 und damit auf LO. Für die Steuersoftware bedeutet das, dass der Notschalter gedrückt ist. Um genügend Flexibilität bei der Zuordnung der Schnittstellen-Signale zu haben, kann der Relaiskontakt mit JP1 auf jedes der fünf INPUT-Signale gelegt werden.

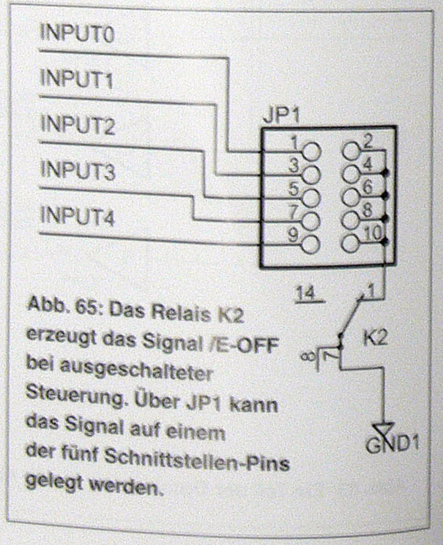


Abb. 65: Das Relais K2 erzeugt das Signal /E-OFF bei ausgeschalteter Steuerung. Über JP1 kann das Signal auf einem der fünf Schnittstellen-Pins gelegt werden.

Soll Ihre Steuerung mit zwei Computer-Schnittstellen arbeiten, brauchen Sie auch zwei Optokoppler-Platinen. Dabei können Sie auf einer Platine das Relais K2 und den Pinheader JP1 weglassen. Selbstverständlich können Sie die Steuerung auch ohne die Optokoppler betreiben, Sie sollten aber meiner Meinung nach nicht auf die zusätzliche Sicherheit und den Schutz Ihres wertvollen Computers verzichten.

Ein Wort noch zu den Optokoppler-Bausteinen. Für die Entkopplung der Signale von der Steuerung zum Computer genügen die populären und preiswerten ICs ILQ74 und ILD74, weil die höchste zu übertragende Frequenz vom Spindel-Index kommt. Diese liegt bei maximal 500 Hz. Der ILQ74 überträgt bis zu einer maximalen Frequenz von 2.000 Hz noch ein sauberes Rechtecksignal, darüber hinaus wird es schwierig. Die Schrittimpulse, die „Mach3“ liefert, können aber eine Frequenz von bis zu 40.000 Hz haben und sind zudem extrem kurz (1–5 µs). Bei meinen Versuchen habe ich festgestellt, dass schon Schrittfrequenzen von rund 6.000 Hz einfach nicht mehr übertragen wurden. Als Konsequenz habe ich dann die schnellen Optokoppler 6N137 eingesetzt, die bis 100 kHz saubere Rechtecke übertragen. Diese Bausteine sind leider teurer und es gibt auch nur einen Optokoppler pro Chip, was den Platzbedarf erhöht. Der Aufwand lohnt sich aber, weil die Schrittverluste, die mit den langsamen Optokopplern auftraten, bei mir mittlerweile der Vergangenheit angehören.

3.9. Die LED-Anzeige

Die LED-Anzeige funktioniert sehr einfach. Jedes Signal ist über einen Schutzwiderstand von 1 KΩ mit einem Eingang der Bus-Treiber V1 und V2 verbunden. Diese erzeugen genug Leistung, um bei einem HI am Eingang die am Ausgang angeschlossene LED zum Leuchten zu bringen. Die Widerstandsnetzwerke RN5 und RN6 ziehen die Eingänge der Bustreiber auf LO, wenn keine Eingangssignale anliegen. Dadurch sind alle LED aus, was die Prüfung der Platine erleichtert.

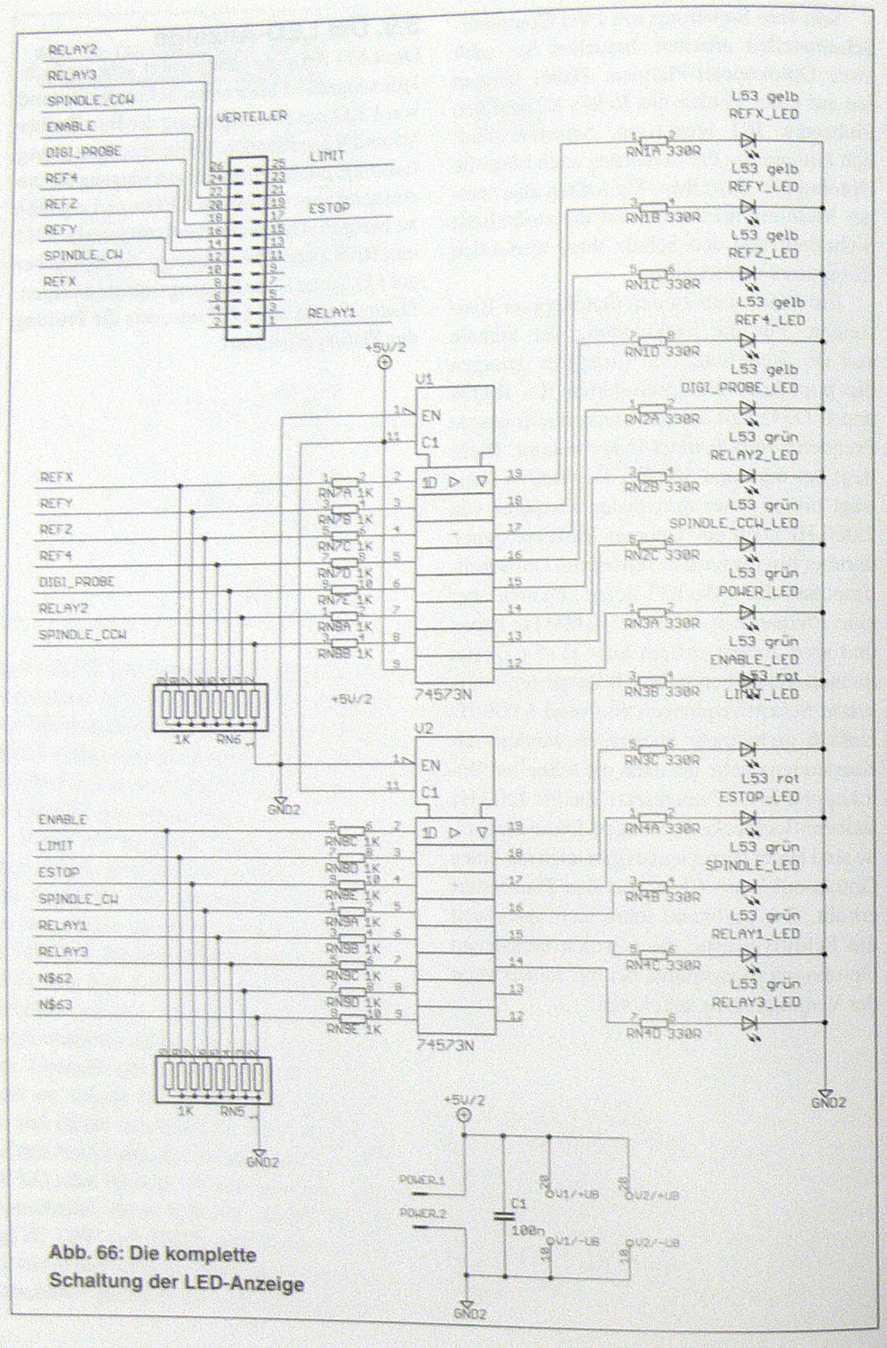


Abb. 66: Die komplette Schaltung der LED-Anzeige

4. Platinenherstellung und Bestückung

4.1. Aufbau und Herstellung einer Platine

Zum Aufbau der Steuerung sind eine ganze Reihe von gedruckten Schaltungen, Platinen genannt, erforderlich. Wenn Sie die komplette Steuerung mit vier Achsen und Optokopplern bauen, benötigen Sie insgesamt elf einzelne Platinen. Dies sind:

- Netzteil,
- Netzversorgung,
- vier Endstufen (1 × je Achse),
- Verteiler,
- zwei Optokoppler (1 × je Computerschnittstelle),
- Maschinen-Schnittstelle,
- LED-Anzeige.

Die Herstellung ist auch für Einsteiger in die Elektronik weder besonders kompliziert noch besonders teuer. Dank leicht zu beschaffender Materialien und einfach zu handhabender Chemikalien kann jeder erfolgreich seine Platinen selbst herstellen.

Eine Platine besteht aus einer dünnen, isolierenden Platte, entweder aus Hartpapier oder aus glasfaserverstärktem Epoxydharz. Auf die Platte sind einseitig oder beidseitig Leiterbahnen und Bauteilanschlüsse aus dünner Kupferfolie aufgeklebt. Die Bauteilanschlüsse sind kleine Ringe mit einem Loch in der Mitte. Durch die Löcher werden die Anschlussdrähte der Bauteile gesteckt und mit den Bauteilanschlüssen verlötet. Wie so etwas aussieht, zeigt Abb. 67.

Sie sehen auf dem Bild auch eine ganze Reihe von Kupferringen ohne weitere Verbindungen. Das liegt daran, dass es sich hier um eine doppelseitige Platine handelt, es gibt also Leiterbahnen auf Vorder- und Rückseite. Die Kupferringe, d. h. die Bauteilanschlüsse, befinden sich auf beiden Seiten, die Verbindungen zwischen den Bauteilen sind mal auf der einen, mal auf der anderen Seite, damit sie sich nicht in einer Ebene kreuzen, was ja zu Kurzschlüssen führen würde. Es gibt auch Bauteilanschlüsse, von denen auf beiden Seiten Verbindungen abgehen, das sind dann so genannte Durchkontaktierungen, es wird also über den Bauteilanschluss eine Verbindung von der Vorder- zur Rückseite der Platine geschaffen. In diesem Fall muss der Bauteilanschluss auf beiden Seiten der

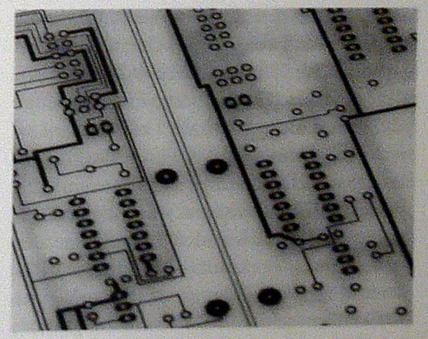


Abb. 67: Eine Seite einer doppelseitigen Platine

Platine verlötet werden, andernfalls würde der Kontakt nicht hergestellt – ein beliebter Fehler bei der Bestückung der Platinen. Nicht immer steht ein Bauteilanschluss zur Verfügung, um die Seite zu wechseln. Dafür gibt es dann so genannte Vias (Umsteiger). Hier wird die Verbindung über ein kurzes, eingelötetes Drahtstück hergestellt.

Bei kommerziell hergestellten Platinen sind die Durchkontaktierungen schon fertig vorhanden, Bauteile müssen also nur auf der Unterseite der Platine, Vias überhaupt nicht mehr verlötet werden. Das Verfahren zur Herstellung der Durchkontaktierungen ist jedoch so kompliziert, dass wir es mit unseren Mitteln nicht ausführen können. Wir müssen also die leider etwas schwierige und fehleranfällige Methode des beidseitigen Lötens anwenden. Allerdings werden wir auch Platinen anfertigen, die nur auf einer Seite Leiterbahnen besitzen, konkret für das Netzteil, die Netzversorgung und die Maschinen-Schnittstelle. Ich möchte nicht verschweigen, dass es noch ein Verfahren gibt, das kleine Hohlnieten zur Durchkontaktierung verwendet. Allerdings kostet eine Handpresse für das Setzen der Nieten plus Werkzeugsätze und Nieten in zwei Größen mehr als 360,- €. Wer sich dafür interessiert, wird bei Reichelt-Elektronik fündig.

Nun ist es natürlich nicht möglich, die Bauteilanschlüsse und die Leiterbahnen aus Kupferfolie auszuschneiden und aufzukleben. Das Verfahren zur Herstellung nimmt stattdessen den entgegengesetzten Weg. Die ursprüngliche Platine ist entweder einseitig oder beidseitig flächendeckend mit der Kupferfolie beschichtet. Um die Leiterbahnen zu erzeugen, gibt es zwei Verfahren, das Isolationsfräsen und das Ätzen.

Beim Isolationsfräsen werden die Zwischenräume zwischen den Leiterbahnen in einer Breite von weniger als einem Millimeter weggefräst. Das geschieht mit einer CNC-Fräsmaschine nach einem Programm, das von der Platinen-Entwurfssoftware geliefert wird. Wenn Sie das könnten, müssten Sie keine CNC-Fräsmaschine bauen, das Verfahren scheidet also in diesem Stadium des Projekts aus.

Beim Ätzverfahren werden die Flächen zwischen den Leiterbahnen aus der Kupferfolie herausgeätzt. Das wiederum setzt voraus, dass die Leiterbahnen und die Bauteilanschlüsse durch etwas abgedeckt sind, was der Ätzflüssigkeit widersteht. Zum Aufbringen dieses so genannten Ätzresists gibt es unterschiedliche Verfahren. Das einfachste Verfahren ist das direkte Aufzeichnen der Leiterbahnen mit einem speziellen Stift, der eine Flüssigkeit enthält, die nicht von der Ätzflüssigkeit aufgelöst wird. Das Verfahren ist anwendbar auf sehr einfache Schaltungen, die nur einmal gebraucht werden. Für unser Vorhaben scheidet es aus.

Ein zweites Verfahren besteht darin, das Bild der Leiterbahnen mit einem Laserdrucker oder Kopierer spiegelverkehrt auf ein spezielles Papier, meist ein glänzendes Papier für Fotodrucke auf Tintenstrahldruckern, zu drucken oder zu kopieren. Das Papier wird dann mit der bedruckten Seite auf die sorgfältig gereinigte Kupferfläche einer Platine gelegt und mit einem Bügeleisen bearbeitet. Durch die Hitze schmilzt der Toner und verbindet sich mit dem Kupfer. Das Papier wird in warmem Wasser eingeweicht und von der Kupferfläche abgerubbelt, so dass nur noch der Toner übrig bleibt und das Kupfer vor der Ätzflüssigkeit schützt.

Das dritte Verfahren, das heute meistens angewendet wird und zu dem ich Ihnen rate, beruht auf einer fotoempfindlichen Lackschicht auf der Platine. Das Bild der Leiterbahnen wird entweder fotografisch, durch Drucken oder Kopieren, auf eine transparente Folie gebracht. Diese Folie wird auf die Platine gelegt und die Platine anschließend mit einer UV-Quelle belichtet und in einer Entwicklerflüssigkeit entwickelt. Dort, wo das Licht die Lackschicht getroffen hat, wird sie vom Entwickler angegriffen und entfernt. Das Muster der Leiterbahnen dagegen bleibt

stehen und wird beim anschließenden Ätzvorgang nicht entfernt. Das ist das positive Verfahren: Alles was auf der Folie schwarz ist, bleibt als Kupferbahn stehen. Es gibt auch Fotolacke, die negativ arbeiten, alles was dort schwarz ist, wird entfernt.

Folgende Schritte sind für die Herstellung einer Platine nach dem Fotoverfahren erforderlich:

- Herstellung der Filme,
- Belichten,
- Entwickeln,
- Wässern,
- Ätzen,
- Wässern,
- Trocknen,
- Bohren,
- Entschichten (restlichen Fotolack entfernen),
- Lötlack aufsprühen,
- Platine mit Lupe kontrollieren, Fehler mit Markerstift markieren.

Also immerhin zehn Schritte.

4.1.1. Basismaterial

Als Basismaterial empfehle ich Epoxyd-Glashartgewebe, 1,5 mm stark, mit einseitiger oder beidseitiger Kupferauflage (Sie brauchen beide Versionen) von 35 µm. Ich habe die besten Erfahrungen gemacht mit Basismaterial der Firma Bungard, das Sie bei Reichelt-Elektronik bekommen (siehe Stücklisten und Bezugsquellen).

Weil alle meine Platinen entweder im vollen oder halben Europaformat (160 mm × 100 mm bzw. 80 mm × 100 mm) entworfen sind, brauchen Sie auch nur Basismaterial in diesem Format. Für das halbe Format sägen Sie einfach eine ganze Platine durch. Die Filme für die Endstufen habe ich so gestaltet, dass in einem Produktionsschritt immer zwei fertige Platinen aus einer Europaplatine entstehen. Verwenden Sie keine Platinen aus Hartpapier, auch wenn diese billiger sein sollten. Zum einen stinken sie beim Bohren, zum anderen – und das ist schlimmer – lösen sich die Leiterbahnen bei etwas zu langer Erhitzung mit dem Lötkolben von der Basisplatte ab. Das sorgt für jede Menge Frustration, wenn ein Bauteil noch einmal entfernt werden soll.

Die fotoempfindlichen Platinen sind mit einer lichtdichten Folie abgedeckt, so dass Sie sie einfach im normalen Tageslicht liegen lassen können. Auch ist es kein Problem, die Platinen, nachdem Sie die Schutzfolie abgezogen haben, bei normaler Beleuchtung für einige Minuten zu handhaben. Natürlich sollten Sie UV-Quellen und direkte Sonneneinstrahlung vermeiden. Absolutes Gift sind Kratzer auf der Fotolackschicht, weil sie sich nach dem Ätzen als haarfeine Leiterbahnunterbrechungen zeigen. Oft kann man die Unterbrechungen nicht sehen, was dann beim Test der Platinen zu langen Fehlersuchaktionen führt. Wischen Sie nicht über die Platinen, auch nicht beim Entwickeln oder beim anschließenden Spülen, weil das schon zu Kratzern führen kann. Ich benutze eine kleine Auflaufform aus Keramik zum Entwickeln und hatte zunächst ständig Probleme mit Leiterbahnunterbrechungen. Erst seitdem ich eine Plastikfolie (Müllsack) in die Schale lege und darauf die Platine, ist das Problem beseitigt. Das Gleiche gilt natürlich für die Filme, auch hier führen Kratzer in den schwarzen Partien zu Leiterbahnunterbrechungen.

Nicht unerwähnt lassen möchte ich die Möglichkeit, Platinen selbst mit Fotolack zu beschichten. Dazu gibt es von der Firma Kontakt-Chemie Positiv 20 in der Sprühdose, 200 ml für 9,30 € bei Reichelt. Ich habe früher damit experimentiert, das Problem ist aber, dass die Schicht entweder nicht vollständig deckt oder zu dick wird. Die richtige, vor allen Dingen aber gleiche Schichtdicke für alle Platinen ist kaum zu erreichen. Das führt zu unterschiedlichen Belichtungszeiten, wodurch dann wiederum die Platinen verdorben werden. Ich rate von diesem Verfahren generell ab, weil auch die Ersparnis gegenüber fertig beschichteten Platinen nicht so erheblich ist.

4.1.2. Filme

Die Filme bestimmen maßgeblich die Qualität der fertigen Platinen. Dabei sind drei Dinge wichtig:

- Der Kontrast – das ist der Unterschied in der Lichtmenge, die von den transparenten und den schwarzen Bereichen des Films durchgelassen wird. Der Kontrast muss möglichst hoch sein. Anzustreben wäre also ein sattes, undurchsichtiges Schwarz auf einer Klarsichtfolie.
- Die Kantenschärfe. Wenn die Folie gedruckt wird, sollte die höchste Auflösungsstufe des Druckers gewählt werden.
- Die Formstabilität. Weil wir mit doppelseitigen Platinen arbeiten, muss der Film für die Vorderseite die gleiche Dimension haben wie der für die Rückseite. Alle Abweichungen äußern sich darin, dass die Löcher in den Bauteilanschlüssen nicht übereinander liegen.

Nach vielen Versuchen habe ich mich für das Drucken der Folien mit einem Tintenstrahldrucker auf speziell beschichtete Folien entschieden. Ich habe versucht, die Filme auf Laserdrucker-Folien zu drucken – ohne Erfolg. Durch die Hitze beim Aufbrennen des Toners verzogen sich die Folien in jedem der sechs getesteten Laserdrucker unterschiedlicher Hersteller so stark, dass die Abweichungen in den Dimensionen nicht akzeptabel waren. Ich habe es nicht getestet, vermute aber, dass das bei Kopierern genauso ist, weil auch hier der Toner mit Hitze aufgebrannt wird. Außerdem habe ich festgestellt, dass die schwarzen Flächen nicht dicht sind, sondern winzige Löcher haben. Das liegt an der Pulverstruktur des Toners, der beim Schmelzen nicht zu einer Fläche zusammenläuft. Um dem abzuhelfen, gibt es bei Conrad-Electronic einen Tonerverdichter zum Aufsprühen auf die fertige Folie, den ich aber noch nicht ausprobiert habe.

Im Gegensatz dazu erhalten Sie beim Tintenstrahldrucker eine völlig dimensionsstabile Folie, deren schwarze Bereiche bei richtiger Einstellung des Druckers auch wirklich dicht sind. Zum Drucken reicht ein einfacher A4-Tintenstrahldrucker, der im Zeitalter der Digitalfotografie entweder sowieso im Haushalt vorhanden ist oder von einem Freund ausgeliehen werden kann. Geht gar nichts in dieser Richtung, dann hilft ein Shop für Digitaldruck, von denen es in jeder größeren Stadt mehrere gibt.

Beim Drucken der Folien müssen Sie darauf achten, dass die Folie eine beschichtete, bedruckbare und eine unbeschichtete Seite hat. Auf der unbeschichteten Seite hält die Tinte nicht, das werden Sie schnell merken, wenn Sie die Folie verkehrt herum einlegen. Also, sich an die Anleitung auf dem Folienkarton halten! Bei meinem Drucker, einem HP Deskjet 1280, stelle ich die höchste Druckqualität und als Papier nicht Folien, sondern hochglänzendes Fotopapier ein. Das ergibt auf diesem Drucker die besten Ergebnisse. Möglicherweise müssen Sie mit Ihrem Drucker etwas experimentieren. Prüfen Sie die erste bedruckte Folie mit einer Lupe. Die schwarzen Flächen müssen zwar nicht völlig undurchsichtig, aber gleichmäßig dicht sein. Bei falscher Einstellung sind in den schwarzen Flächen winzige Löcher, die geätzten Leiterbahnen sehen anschließend wie Streuselkuchen aus.

Weil Sie die Folien drucken müssen, nützen Ihnen Kopiervorlagen nichts. Sie finden deshalb die Druckdateien im PDF-Format auf der Webseite des Verlages (Anhang). Zum Öffnen und Drucken der Dateien benötigen Sie den Acrobat Reader, der entweder schon auf Ihrem Computer installiert ist oder den Sie kostenlos von der Webseite www.adobe.de herunterladen.

Achten Sie beim Drucken darauf, bei „Seitenanpassung“ den Wert „Keine“ einzustellen. Acrobat druckt sonst die Folie möglicherweise verkleinert aus! Das merken Sie spätestens dann, wenn die Bauteile nicht auf die fertige Platine passen. Meist merken Sie es aber schon beim Belichten, weil das Layout kleiner ist als das Platinenmaterial.

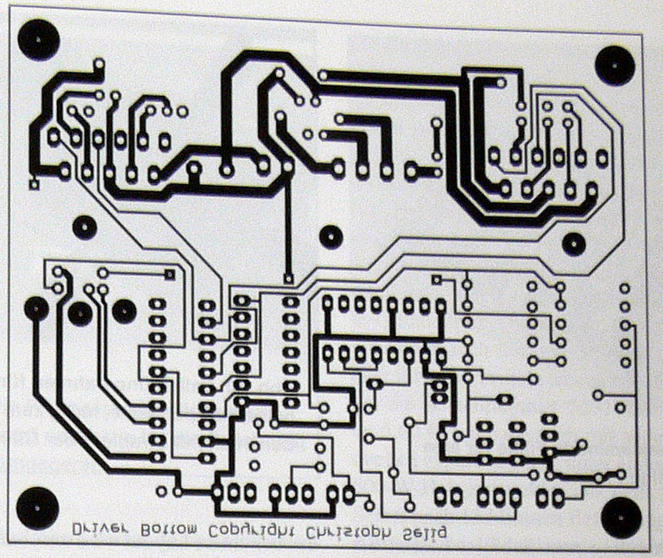


Abb. 68: Film für die Unterseite der Endstufenplatine (Beispiel)

Ganz wichtig ist, dass die Folien nach dem Drucken noch feucht sind, die bedruckten Bereiche also nicht berührt werden dürfen! Erst nach ca. zwölf Stunden sind die Folien so trocken, dass Sie sie zum Belichten der Platinen verwenden können. Die Folien werden nie völlig trocken, deshalb sollten Sie nach dem Trockenvorgang Papier zwischen die Folien legen. Als Folien verwende ich Zweckform-Overheadfolien à 210×297 mm, No. 2502, erhältlich bei Reichelt-Elektronik. Laserdrucker-Folien sind hierfür nicht geeignet!

Ich habe die Layouts für die Platinen so kombiniert, dass Sie mit vier Folien auskommen, auch wenn Sie alle Platinen anfertigen. Es gibt vier Druckvorlagen:

- zwei Endstufenplatinen doppelseitig auf einer Europakarte (Endstufe.pdf);
- je einmal Netzteil, Netzversorgung und Maschinen-Schnittstelle als einseitige Platinen (Power_Netz_Interface.pdf);
- den Verteiler doppelseitig (Verteiler.pdf);
- Optokoppler und LED-Anzeige doppelseitig (Opto_LED.pdf).

Sie brauchen also nur einen Zehnerpack Folien zu kaufen. Alle Probedrucke machen Sie vorher auf einfaches Papier.

Für die doppelseitigen Platinen brauchen Sie natürlich zwei Filme. Der Trick ist nun, die Filme so zu montieren, dass sie absolut deckungsgleich sind. Dazu schneiden Sie die zusammengehörigen Filme mit großzügiger Randzugabe aus der Folie aus und legen sie mit den bedruckten Seiten so gegeneinander, dass sie absolut deckungsgleich sind (gegen eine Lichtquelle halten). Halten Sie die Filme so, dass sie sich nicht verschieben können, und lassen Sie sie von einer zweiten Person am Rand mit einem Hefter zusammenklammern.

Wichtig ist, dass Sie zwischen der Kante des Layouts und den Klammern ca. 2 cm Platz lassen, damit Sie später die Platine bequem zwischen die Filme schieben können. Sie müssen jetzt von beiden Seiten die Schrift auf den Filmen richtig, nicht spiegelverkehrt, lesen können. Legen Sie dann ein Blatt Papier zwischen die Filme und legen Sie sie an die Seite.

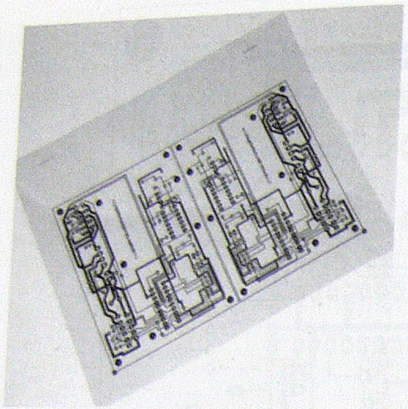


Abb. 69: Geklammerte Filme für eine doppelseitige Platine

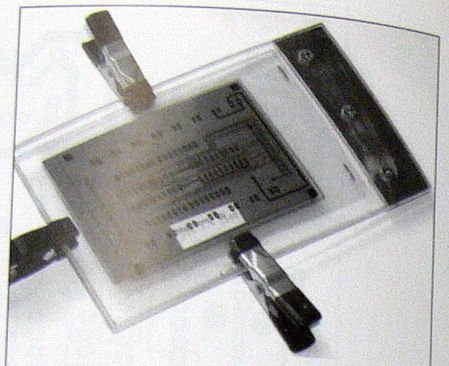


Abb. 70: Belichtungsrahmen für eine halbe Europaplatine, fertig zum Belichten mit Strahler oder Glühbirne

Eine Warnung zum Schluss: Lassen Sie niemals Feuchtigkeit an die Filme kommen, die Beschichtung löst sich sofort auf und macht den Film unbrauchbar. Ich vermute, die Beschichtung besteht aus einer Art Gelatine, wie bei einem fotografischen Film.

4.1.3. Belichten

Neben einer Lichtquelle brauchen Sie zum Belichten der Platinen zwei Halter, welche die zusammengeklammerten Filme und die dazwischen liegende Platine so zusammenhalten, dass sie nicht gegeneinander verrutschen können. Das ist auch dann nötig, wenn Sie die Platine nach dem Belichten der Vorderseite wenden, um die Rückseite zu belichten. Ich habe mir dazu zwei Belichtungsrahmen aus Plexiglas gebaut, einen für Platinen von 80 mm × 100 mm und einen für solche von 100 mm × 160 mm.

Wichtig ist, dass der Rahmen vorn, rechts und links jeweils nicht um mehr als ca. 1 cm größer ist als die Platine, damit die Klammern möglichst nahe an den Rand der Platine gesetzt werden können. Ist der Rahmen zu groß, wölben sich die Plexiglasplatten in der Mitte hoch. Dadurch wird der Film nicht mehr ausreichend auf die Platine gedrückt und das belichtete Layout wird unscharf. Deshalb brauchen Sie für die kleinen Platinen einen eigenen Rahmen.

Verwenden Sie ein Belichtungsgerät, dann wird der Platinenrahmen vom Deckel des Lichtkastens zusammengepresst, Sie brauchen also keine Klammern. Stattdessen kleben Sie den Rahmen vorn mit einem Stück Klebeband zusammen, um die Platine darin zu fixieren. Natürlich brauchen Sie auch nur den großen Rahmen.

In Abb. 72 finden Sie die Konstruktionszeichnung. Die Maße für den kleinen Rahmen sind 160 mm (mit der Verschraubung) × 100mm, jene für den großen Rahmen 160 mm × 180 mm. Die Rahmen sind mit M3-Senkkopfschrauben verschraubt. Die Zwischenlage besteht aus irgendeinem Material, das 1,5–1,6 mm stark ist (Platinenmaterial ist natürlich gut geeignet). Wenn Sie Plexiglas bearbeiten, dann achten Sie darauf, dass es nicht zu heiß wird, es schmilzt sonst. Beim Bohren möglichst nicht kleine Löcher mit einem größeren Bohrer aufbohren. Das Plexiglas wird am Bohrer hochgerissen und splittert dabei gern. Arbeiten Sie mit dem Belichtungsgerät, dann müssen die Schrauben oben und unten mit der Fläche

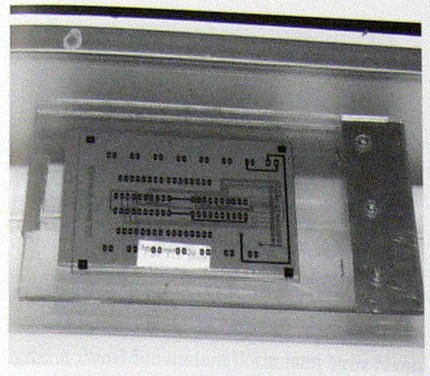


Abb. 71: Die Platine ist im Belichtungsrahmen fixiert und fertig für die Belichtung im Belichtungsgerät.

bündig sein. Wenn nicht, dann ist es ziemlich egal.

Zum Belichten brauchen Sie, wie bereits erwähnt, eine Lichtquelle mit hohem Anteil an UV-C-Strahlung. UV-C ist die gefährliche UV-Strahlung, die bei Sonnenbänken möglichst unterdrückt wird.

Das abgebildete Belichtungsgerät von der Firma Isel habe ich günstig bei eBay ersteigert (ca. 50,- €). Es lohnt sich, wenn Sie eine größere Zahl von Platinen herstellen wollen, für den Bau der Steuerung allein lohnt es sich nicht.

Als Alternative empfehle ich eine spezielle Glühbirne von Conrad-Electronic (Photolite-Glühlampe). Die Lampe hat 250 W, hält allerdings auch nur drei Stunden. Das sollte aber für unser Projekt ausreichen. Die Lampe hat die Bestellnummer 529141-99 und kostet 5,60 €. Ich habe auch mit anderen Lichtquellen experimentiert, unter anderem einem 500-W-Halogenstrahler aus dem Baumarkt. Selbst nach 13 Minuten Belichtungsdauer im Abstand von 40 cm konnte ich keine ausreichende Belichtung erreichen.

Die größte Schwierigkeit beim Belichten ist die Festlegung der korrekten Belichtungszeit. Decken die schwarzen Bereiche der Filme

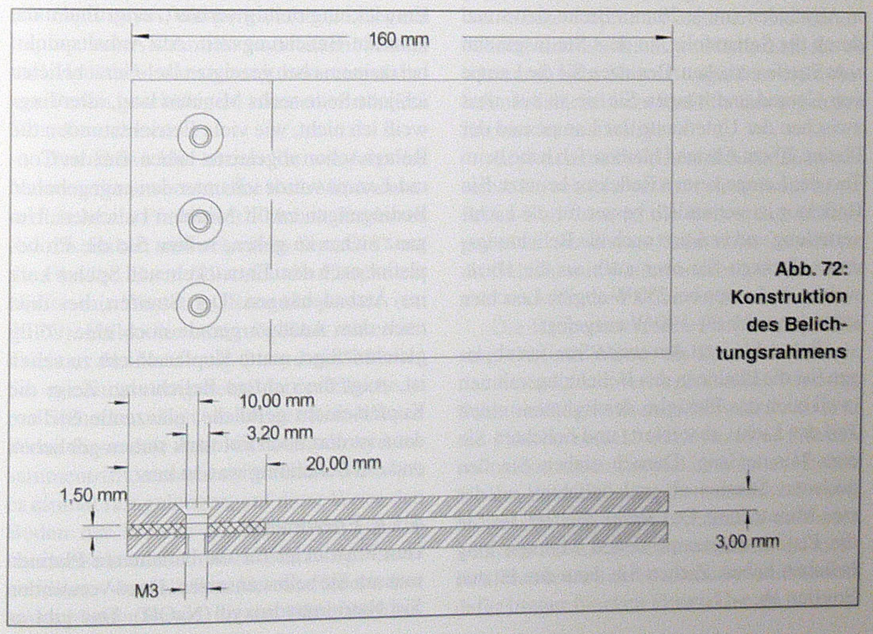


Abb. 72: Konstruktion des Belichtungsrahmens

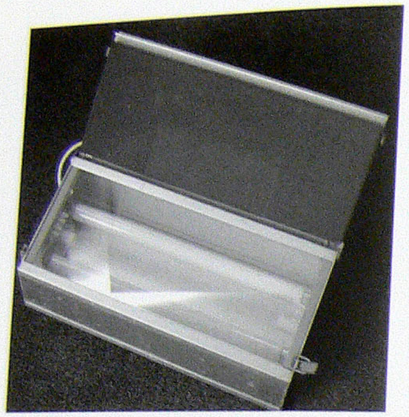


Abb. 73: Belichtungsgerät

wirklich gut, ist eine Überbelichtung relativ problemlos; eine Unterbelichtung dagegen erschwert oder verhindert eine einwandfreie Entwicklung der Platine. Deshalb sollten Sie als Erstes die notwendige Belichtungszeit mit Ihrer Lichtquelle ermitteln. Dazu gehen Sie wie folgt vor: Nehmen Sie eine einseitig beschichtete Platine (billiger) und schneiden Sie in Abständen von je 20 mm Breite siebenmal durch die Schutzfolie, so dass Sie insgesamt acht Streifen erhalten. Benutzen Sie die Lampe von Conrad und hängen Sie sie so auf, dass zwischen der Unterkante der Lampe und der Platine 20 cm Abstand bleiben. Ich habe beim Test der Lampe keinen Reflektor benutzt. Ein Reflektor ist vermutlich besser für die Lichtverteilung und verkürzt auch die Belichtungsdauer. Denken Sie aber auch an die Hitze, welche die Lampe bei 250 W abgibt. Leuchten sind oft nur für 60–100 W ausgelegt.

Ziehen Sie jetzt den ersten Streifen ab, legen Sie die Platine in den Belichtungsrahmen (weil auch das Plexiglas des Rahmens einen Teil des Lichts absorbiert) und belichten Sie eine Minute lang. Danach ziehen Sie den nächsten Streifen ab und belichten wieder eine Minute lang. Das setzen Sie fort, bis Sie die Platine insgesamt sieben Minuten lang belichtet haben. Ziehen Sie dann den letzten Streifen ab.



Abb. 74: Die Testplatine, nach dem Entwickeln leicht angeätzt

Mit einem Belichtungsgerät belichten Sie die Platine jetzt noch mal zwei Minuten lang. Sie haben dann eine Probeplatine, bei der der letzte Streifen zwei Minuten und der erste Streifen neun Minuten belichtet sind.

Mit der Lampe von Conrad belichten Sie dagegen die Platine nach dem Abziehen des letzten Streifens acht Minuten lang. Sie haben dann eine Probeplatine, bei der der letzte Streifen acht Minuten und der erste Streifen 15 Minuten belichtet sind.

Entwickeln Sie dann die Platine, wie unten beschrieben. Der Streifen, bei dem die Entwicklung richtig verläuft, zeigt Ihnen die korrekte Belichtungszeit. Als Anhaltspunkt: bei meinem oben gezeigten Isel-Gerät belichte ich jede Seite sechs Minuten lang, allerdings weiß ich nicht, wie viele Betriebsstunden die Röhren schon abgeleistet haben. Bei der Conrad-Lampe würde ich unter den angegebenen Bedingungen zwölf Minuten belichten. Um ganz sicher zu gehen, sollten Sie die Probeplatine nach dem Entwickeln und Spülen kurz ins Ätzbad hängen. Der Streifen, bei dem nach dem Anätzen gerade noch eine völlig gleichmäßige, matte Kupferschicht zu sehen ist, zeigt die richtige Belichtung. Zeigt die Kupferschicht gelbliche, glänzende Stellen, dann ist dort noch Fotolack stehen geblieben und die Belichtung war zu kurz.

4.1.4. Entwickeln

Den Entwickler für die belichteten Platinen müssen Sie selbst ansetzen. Dazu verwenden Sie Natriumhydroxyd (NaOH). Das gibt es bei Reichelt-Elektronik in zwei Gebindearten, einer Dose mit 250 g und einem Beutel mit 10 g. Je Liter Entwickler brauchen Sie 10 g. Mit 5 l Entwickler kommen Sie sicher für das ganze Projekt aus, deshalb empfehle ich Ihnen, die Beutel zu kaufen. Das Abwiegen von 10 g ist nicht einfach, wenn Sie keine so empfindliche Waage haben. Beachten Sie bitte, dass der Entwickler eine starke Lauge ist, tatsächlich können Sie das Zeug in großen Mengen als Abflussreiniger kaufen. Deshalb brauchen Sie kein schlechtes Gewissen zu haben, wenn Sie den verbrauchten Entwickler in großen Mengen in den Abfluss schütten. Es empfiehlt sich jedenfalls, alte Kleidung, Gummihandschuhe und eine Schutzbrille zu tragen, wenn Sie mit dem Entwickler hantieren – das gilt später auch für das Ätzmittel, das nach der Wäsche hässliche, rotbraune Flecken auf den Kleidungsstücken hinterlässt.

Lesen und beachten Sie auf jeden Fall die auf den Gebinden der Chemikalien aufgedruckten Sicherheitshinweise! Achten Sie besonders darauf, die kleinen Perlen des Natriumhydroxyds, die gern durch die Gegend hüpfen, unter Kontrolle zu behalten! Kinder und Haustiere, die sich mit heruntergefallenen Perlen beschäftigen, könnten ernsthaften Schaden nehmen.

Den Entwickler setzen Sie wie folgt an: Nehmen Sie am besten eine leere Mineralwasserflasche aus Plastik mit 1 l Inhalt. Entfernen Sie das Etikett und schreiben Sie „Gift“ auf die Flasche. Dann füllen Sie die Flasche zur Hälfte mit Wasser in Raumtemperatur (ca. 20 °C). Füllen Sie nun, möglichst mit einem Trichter, das Natriumhydroxyd ein. Machen Sie es niemals umgekehrt! In der Flasche ist mit Sicherheit noch ein kleiner Rest Wasser. Wenn dieser mit dem Natriumhydroxyd zusammentrifft, entsteht sofort Hitze. Mir wäre es einmal fast gelungen, auf diese Weise den Boden der Flasche zu schmelzen, glücklicherweise konnte ich noch rechtzeitig Wasser einfüllen. Verschließen Sie die Flasche fest und schütteln Sie sie, bis das Natriumhydroxyd aufgelöst ist. Die entstehende Flüssigkeit ist etwas trübe. Füllen Sie dann die Flasche komplett mit Wasser auf.

Die belichtete Platine legen Sie in eine geeignete Schale. Das kann eine kleine Fotoschale sein oder eine Lagerbox aus Kunststoff, wie Sie sie in jedem Baumarkt bekommen. Legen Sie möglichst eine weiche Schicht, z. B. eine Plastikfolie zwischen Schale und Platine (siehe oben). Halten Sie einen Spatel bereit, mit dem Sie die Platine in der Flüssigkeit hochheben können, ohne die Fotoschicht zu berühren. Verwenden Sie dafür also keine Fotoklammern oder Pinzetten! Gießen Sie nun aus der Flasche so viel Entwickler in die Schale, dass die Platine gut bedeckt ist. Bei richtiger Belichtung sehen Sie fast sofort eine Reaktion. Die belichtete Fotoschicht verfärbt sich in eine Art Rot-Violett und löst sich gleichzeitig von der Platine. Schwenken Sie die Schale und wenden Sie die Platine auch ein- bis zweimal. Die Entwicklung sollte nicht länger als 60 Sekunden dauern. Die belichtete Fotoschicht ist dann völlig verschwunden und das blanke Kupfer ist sichtbar. Die Leiterbahnen sind als leicht gelbliche Schicht zu erkennen. Laut Firma Bungard ist die unbelichtete Schicht bis zu fünf Minuten gegen den Entwickler beständig.

Löst sich die belichtete Schicht nicht von selbst ab, sondern verfärbt sie sich nur in ein Braun-Rot, dann ist die Belichtung zu kurz gewesen. Sie können dann noch versuchen, die Schicht mit Watte vorsichtig abzureiben, aber meist ist die Platine verdorben.

Die fertig entwickelte Platine spülen Sie sorgfältig mit Wasser ab, Entwickler, der in das Ätzbad gerät, verringert dessen Wirkung. Schütten Sie gebrauchten Entwickler nicht in die Flasche zurück. Nach ca. zwei Platinen sollten Sie neuen Entwickler nehmen. Heben Sie den Entwickler an einem dunklen Ort auf, er zersetzt sich unter Lichteinfall und wird wirkungslos. Am besten produzieren Sie mehrere Platinen in einer „Session“ und setzen dafür immer frischen Entwickler an.

4.1.5. Ätzen

Durch das Ätzen werden die nicht von der Fotoschicht abgedeckten Bereiche entfernt und das Leiterbahnmuster bleibt stehen. Beim Ätzen ist Geschwindigkeit oberstes Gebot, um beste Ergebnisse zu erzielen. Liegt die Platine zu lange im Ätzbad, tritt Unterätzung ein, die dünnen Leiterbahnen werden vom Ätzmittel auch an den Seiten angegriffen. Dadurch werden die Leiterbahnen immer schmaler und verschwinden nach längerer Zeit komplett. Um eine schnelle Ätzung zu erzielen, sind drei Dinge wichtig:

- ein möglichst frisches Ätzmittel,
- eine Temperatur der Ätzlösung von 40–45 °C,
- das Einblasen von Luft in die Ätzlösung oder das Bewegen der Platine.

Als Ätzmittel verwende und empfehle ich Natriumpersulfat. Der Vorteil gegenüber dem ebenso oft verwendeten Eisen(III)-Chlorid ist, dass die Lösung durchsichtig bleibt, Sie den Ätzvorgang also beobachten können. Eisen(III)-Chlorid dagegen ist eine gelb-braune Brühe, in der Sie nichts erkennen. Sie müssten die Platine also ständig zur Kontrolle aus der Flüssigkeit ziehen. Natriumpersulfat bekommen Sie bei Reichelt in 600-g-Gebinden, zwei davon reichen für alle Platinen des Projekts aus.

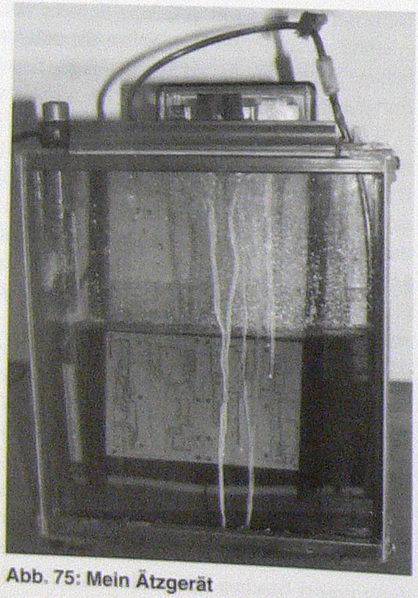


Abb. 75: Mein Ätzgerät

Um die Ätzlösung auf einer gleichmäßigen Temperatur zu halten, empfehle ich einen Aquarium-Heizstab, möglichst mit Thermostat. Diesen finden Sie, wie auch die Luftpumpe, bei Internet-Versendern, z. B. bei www.reptilica.de den Heizstab Fluval Tronic. Mit einer Aquarium-Luftpumpe und einem Ausströmer-Stein blasen Sie Luft in Ihr Ätzgefäß, das beschleunigt den Ätzvorgang erheblich. Haben Sie einen Kompressor und sind Sie in der Lage, Luftmenge und Druck auf ein vernünftiges Maß zu regulieren, dann brauchen Sie nur den Ausströmer-Stein und einen dünnen Schlauch.

Wenn Sie zu den Glücklichen gehören, die ein Ätzgerät besitzen, brauchen Sie das alles nicht. Ich habe mir irgendwann ein solches Teil bei eBay ersteigert.

Sie erkennen auf dem Foto, dass das Gerät aus einem hohen, schmalen Behälter besteht, in dem die Platine hängt. Links ist der Heizstab zu sehen, oben drauf steht die Luftpumpe. Sie erkennen auch unschwer, dass das Ganze eine „Schweinerei" ist. Also nochmals: Alte Kleidung anziehen!

Haben Sie kein Ätzgerät, dann brauchen Sie vor allen Dingen ein Gefäß. Das sollte natürlich durchsichtig sein, also bietet sich Glas an. Möglichst sollte das Gefäß gerade so groß sein, dass eine Europaplatine von 100 mm × 160 mm mit dem unten beschriebenen Halter hochkant gut hineinpasst. Wenn Sie ein Gefäß suchen, denken Sie auch an Blumenvasen und Gurkengläser! Stellen Sie fest, wie viel Flüssigkeit in das Gefäß passt.

Damit die Platine senkrecht in der Flüssigkeit hängt, brauchen Sie einen Platinenhalter. Dabei ist wichtig, dass die Platine nur am Rand gehalten wird. Überall, wo die Platine von etwas anderem berührt wird, bleibt das Kupfer stehen! Mein Vorschlag sieht so aus:

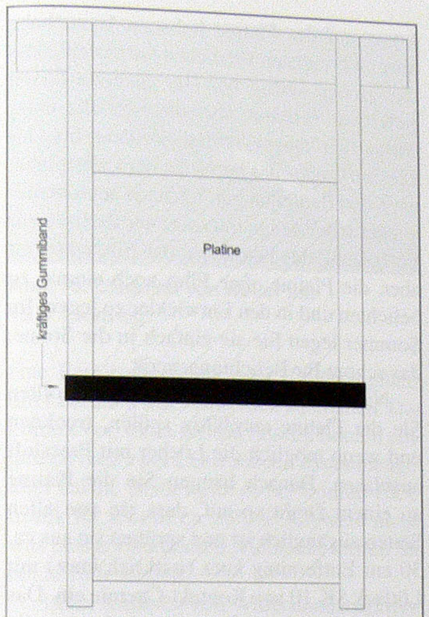


Abb. 76: Der Platinenhalter

Der Platinenhalter besteht aus einer quer liegenden Holzleiste, Querschnitt ca. 20 mm × 10 mm, die so lang ist, dass sie auf dem Rand des Gefäßes aufliegt. Daran sind zwei ca. 10 mm × 10 mm große Holzstäbe befestigt, zwischen denen die Platine mit Hilfe des Gummibands eingeklemmt ist. Sie wird dadurch nur am Rand gehalten und der Ätzvorgang nicht gestört. Das Gummiband darf die Platine natürlich nicht berühren.

In die Mitte des Glases legen Sie den Ausströmer-Stein der Luftpumpe und klemmen den Luftschlauch am Rand des Gefäßes fest. Den Heizstab stellen oder hängen Sie so in das Gefäß, dass er die Platine nicht berührt.

Setzen Sie nun die Ätzflüssigkeit an, am besten in einem kleinen Plastikeimer. Sie sollten so viel Flüssigkeit ansetzen, wie in Ihr Gefäß passt. Je Liter Wasser brauchen Sie 300 g Natriumpersulfat. Nehmen Sie gleich heißes Wasser (ca. 50 °C), dann löst sich das Natriumpersulfat schneller auf und Sie brauchen nicht so lange zu heizen. Gießen Sie die Flüssigkeit in Ihr Ätzgefäß, schalten Sie den Heizstab ein und stellen Sie ihn auf die gewünschte Temperatur ein. Anschließend hängen Sie die Platine ein und beobachten den Ätzvorgang. Wenn alles richtig läuft, sollte die Platine nach fünf bis zehn Minuten fertig sein. Sie erkennen es daran, dass die Platine leicht durchsichtig wird. Bevor Sie aber endgültig mit dem Ätzen aufhören, kontrollieren Sie sorgfältig, ob zwischen den Bauteilanschlüssen und den Leiterbahnen wirklich kein Kupfer mehr stehen geblieben ist. Eine gut geätzte Platine erkennen Sie auch daran, dass die Beschriftung einwandfrei zu lesen ist. Wenn diese zu verschwinden beginnt, ist die Platine definitiv zu lange in der Ätzflüssigkeit! Sobald die Ätzflüssigkeit eine tiefblaue Farbe annimmt, ist sie verbraucht und muss gewechselt werden. Entwickeln Sie hier keine falsche Sparsamkeit, das Ätzen soll, wie schon gesagt, schnell gehen!

4.1.6. Bohren

Das Bohren der Platine ist leider eine langweilige und unerfreuliche Arbeit. Sie brauchen dazu eine Bohrmaschine mit möglichst hoher Drehzahl, ideal wären 20.000 U/min. Ich benutze einen Industrie-Bohrschleifer IB/E von Proxxon und den passenden Bohrständer MB 140/S. Der Bohrschleifer hat eine Spannzangenaufnahme, was für einen guten Rundlauf der Bohrer sorgt.

Die Löcher für die normalen Bauteile (Widerstände, Kondensatoren, Dioden, Transistoren, integrierte Schaltungen etc. werden mit 0,8 mm gebohrt, die Löcher für Steckverbinder und Pinheader mit 1,0 mm, die mehr „exotischen" Bauteile, nämlich Sicherungshalter, die großen Kondensatoren, Anreihklemmen etc., mit 1,4 mm. Wenn Sie beim Bestücken feststellen, dass ein Loch zu klein ist, können Sie es jederzeit aufbohren. Wichtig ist nur, dass es überhaupt gebohrt ist.

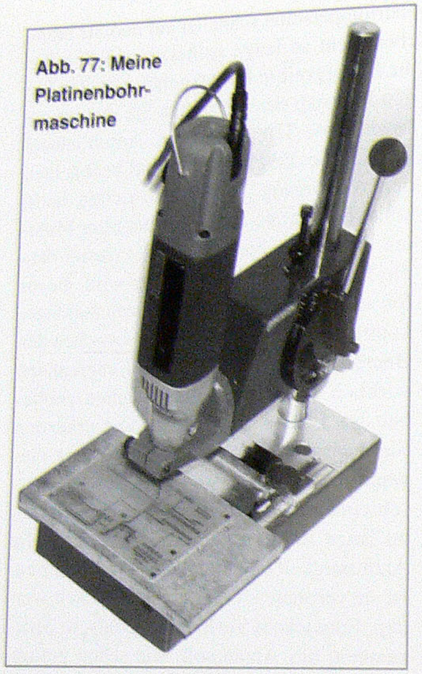


Abb. 77: Meine Platinenbohrmaschine

Leider ist es so, dass sich normale HSS-Bohrer durch die Glasfasern im Platinenmaterial schnell abnutzen. Ein Bohrer hält ungefähr eine Platine aus. Alternativ gibt es Hartmetallbohrer, die eine wesentlich längere Standzeit haben. Allerdings kostet ein 10er-Pack Hartmetallbohrer bei Reichelt knapp 24,- €. Bei eBay habe ich gerade zehn neue 0,8-mm-Bohrer, TIN-beschichtet, für 2,40 € gefunden. Mit 20 Stück dieser Bohrer können Sie bequem alle Platinen bohren. Natürlich schlagen hier die Versandkosten auch noch zu, aber vielleicht brauchen Sie ja noch andere Bohrer. Allerdings werden bei eBay auch gebrauchte Hartmetallbohrer zu günstigen Kursen angeboten. Ich habe eine solche Packung gekauft und bin damit recht zufrieden.

4.1.7. Entschichten, Lötlack

Nachdem die Platine gebohrt ist, muss der Fotolack entfernt werden. Ich habe zwar schon öfters gelesen, dass man den Fotolack zum Löten auf der Platine belassen kann, habe aber nach eigenen Versuchen festgestellt, dass das grober Unfug ist. Die Bauteile lassen sich zwar verlöten, aber die Lötstelle muss wesentlich länger erhitzt werden, bis das Lötzinn fließt – das tut weder der Leiterplatte, noch den Bauteilen gut. Ich finde auch immer wieder jede Menge interessanter Rezepte zur Entfernung des Fotolacks, das Einfachste ist aber, die Platine ohne Film noch einmal zu belichten und in den Entwickler zu legen. Im Sommer legen Sie sie einfach in die Sonne, das schont Ihr Belichtungsgerät.

Nachdem der Fotolack entfernt ist, sollten Sie die Platine sorgfältig spülen, trocknen und wenn möglich die Löcher mit Pressluft ausblasen. Danach hängen Sie die Platine an einem Draht so auf, dass sie von allen Seiten zugänglich ist und sprühen sie aus ca. 30 cm Entfernung kurz (wirklich kurz) mit Lötlack SK 10 von Kontakt-Chemie ein. Das schützt die Leiterbahnen und verbessert die Lötfähigkeit dramatisch. Danach muss die Platine ca. zwölf Stunden trocknen. Wenn Sie zu lange gesprüht haben, bleibt sie noch ein paar Tage klebrig.

4.1.8. Löten

Löten ist eine Kunst, die nicht besonders schwer zu lernen ist. Zunächst einmal brauchen Sie den passenden Lötkolben, wobei „Kolben" ein irreführender Begriff ist, „Lötgriffel" wäre hier passender. Ich habe alle Platinen der Steuerung mit dem Weller-WM15L für 230 V gelötet. Den 15-W-Lötkolben gibt es bei Conrad-Electronic für 22,96 €. Die Artikelnummer ist 810096-99. Dazu brauchen Sie noch einen Lötkolbenständer mit Schwämmchen (Art.-Nr. 588147-99 zu 4,- €). An dem nassen Schwämmchen streifen Sie ab und zu die Lötkolbenspitze ab, um sie zu reinigen. Als Lötdraht bekommen Sie zurzeit noch bleihaltiges Material, das preiswerter ist als bleifreies. Kaufen Sie nur Lötdraht mit 0,5 mm Durchmesser, 100 g sollten genügen. Zu guter Letzt brauchen Sie auch noch

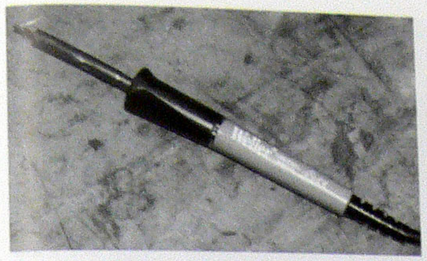


Abb. 78: Lötgriffel von Weller mit 15 W Leistung

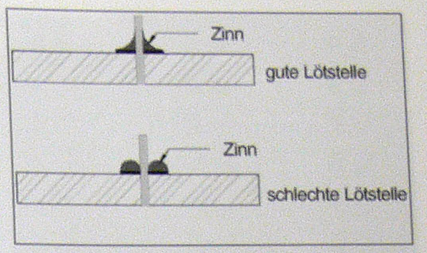


Abb. 80: Gute und schlechte Lötstellen

eine Entlötsaugpumpe oder Entlötsauglitze, um Lötzinn wieder entfernen zu können. Das kommt vor, wenn Sie das falsche Bauteil eingesetzt oder zwei Leiterbahnen zusammengelötet haben. Beides gibt es bei Conrad-Elektronik für jeweils ca. 3,50 €. Ich weiß nicht, was besser funktioniert, vielleicht sollten Sie beide Teile kaufen.

Beim Auslöten von Widerstandsnetzwerken oder ICs werden Sie sowieso Probleme bekommen. Bei ICs ist es deshalb empfehlenswert, erst alle Pins mit dem Seitenschneider abzuschneiden und sie dann einzeln zu entfernen. Bei Widerstandsnetzwerken können Sie erst das Lötzinn mit den genannten Instrumenten entfernen und dann das Teil so lange hin und her biegen, bis es komplett abbricht und Sie die Pins entfernen können.

Nun aber zum eigentlichen Lötvorgang. Wenn Sie sich die Spitze des Lötkolbens einmal unter der Lupe ansehen, stellen Sie fest, dass die Spitze dachförmig ist. Sie sollten jetzt die Spitze nach dem Lösen der kleinen Halteschraube so drehen, dass sie mit einer „Dachseite" auf einer ebenen Fläche aufliegt und die Halteschraube nach oben zeigt. Heizen sie jetzt den Lötkolben an, bis das Lötzinn leicht schmilzt. Den Anschlussdraht des Bauteils stecken Sie durch die Platine und drehen diese um. Halten Sie nun die Lötkolbenspitze im 45°-Winkel mit der nach oben zeigenden Halteschraube so, dass möglichst gleichzeitig der Anschlussdraht und der Bauteilanschluss auf der Platine erhitzt werden. Führen Sie von der anderen Seite den Lötdraht heran, bis das Zinn schmilzt und den gesamten Bauteilanschluss bedeckt. Man spricht hier auch von „benetzen". Eine gute Lötstelle erkennen Sie daran, dass das Zinn am Anschlussdraht hochgezogen wird und nach dem Erkalten glänzt. Das setzt voraus, dass der Anschlussdraht verzinnt und

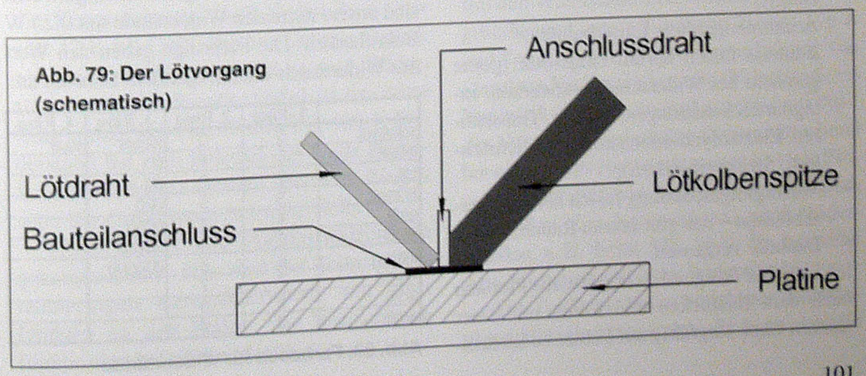


Abb. 79: Der Lötvorgang (schematisch)

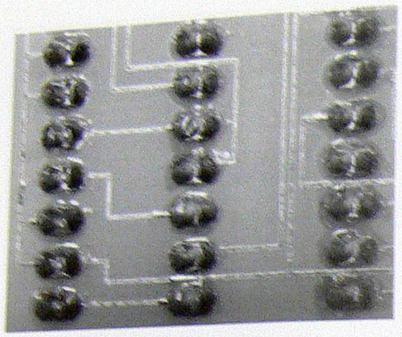


Abb. 81: Gute Lötstellen

sauber sowie der Bauteilanschluss sauber und mit Lötlack bedeckt ist und dass Sie die Teile beim Erkalten des Zinns nicht bewegt haben. Bei der schlechten Lötstelle steckt der Anschlussdraht in einem kleinen Krater aus Zinn, das Zinn benetzt den Draht nicht. Der Draht hat keinen Kontakt zum Bauteilanschluss. Man spricht auch von einer „kalten Lötstelle".

4.1.9. Fehler und Probleme

Die nach meiner Erfahrung auftretenden Fehler und Probleme bei der Herstellung einer Platine sind in der fallenden Reihenfolge ihrer Häufigkeit:

- vergessene Lötstellen, speziell auf der Bauteileseite der Platine;
- kalte Lötstellen;
- unterbrochene Leiterbahnen (Kratzer auf der Fotoschicht, Überbelichtung, Unterätzung);
- zusammengelötete Leiterbahnen;
- Bauteile falsch herum eingelötet (gerne gemacht bei Widerstandsnetzwerken, integrierten Schaltungen, Dioden, Transistoren, Elektrolytkondensatoren, Gleichrichtern, Steckverbindern);
- Versorgungsspannung falsch herum angeschlossen – das gibt teuren Rauch;
- Bauteile vergessen.

Ich kann nur dringend dazu raten, die Platinen nach dem Bestücken und Löten mit einer starken Lupe sorgfältig auf Fehler zu kontrollieren. Und wenn Sie denken, es ist alles in Ordnung, dann kontrollieren Sie noch mal.

Nach dem Aufbau der Verteilerplatine habe auch ich alles kontrolliert und gemessen und war der festen Überzeugung, dass es keine Fehler mehr gab. Trotzdem hatte ich an zwei Stellen Leiterbahnen zusammengelötet. Das Geräusch und den Qualm beim Einschalten hätten Sie erleben sollen – Gott sei Dank waren nur sechs billige Widerstände durchgebrannt und keine Endstufen-ICs.

Ich habe beim Aufbau der Steuerung, einschließlich aller Prototypen-Platinen, nie ein Bauteil gehabt, das defekt geliefert wurde. Wenn sie defekt wurden, dann, weil ich einen der oben genannten Fehler gemacht hatte.

4.1.10. Die Bauteile

Die Bauteile haben Sie sicherlich schon anhand der Stücklisten und Bezugsquellen im Anhang des Buchs beschafft. Wenn Sie genug Platz haben, sollten Sie die Bauteile übersichtlich auslegen und sortieren.

Es ist am besten, wenn Sie die Bauteile zunächst in ihren Tütchen lassen und nur das Bauteil herausnehmen, das Sie gerade brauchen. Manche Bauteile sind nur schwer zu identifizieren. In den folgenden Abschnitten möchte ich Ihnen dazu eine Hilfe geben.

4.1.10.1 Widerstände

Da sind zunächst die kleinen Röllchen mit den Drahtenden und den lustigen Farbringen. Das sind unsere normalen Widerstände mit 0,25 W Belastbarkeit. Die Farbringe geben den Wert des Widerstands nach folgendem Schema an:

	1. Ring	2. Ring	3. Ring	4. Ring
schwarz	0	0	nichts	egal
braun	1	1	0	
rot	2	2	00	
orange	3	3	000	
gelb	4	4	0000	
grün	5	5	00000	
blau	6	6	000000	
violett	7	7		
grau	8	8		
weiß	9	9		

Abb. 83: Farbcode für Widerstände

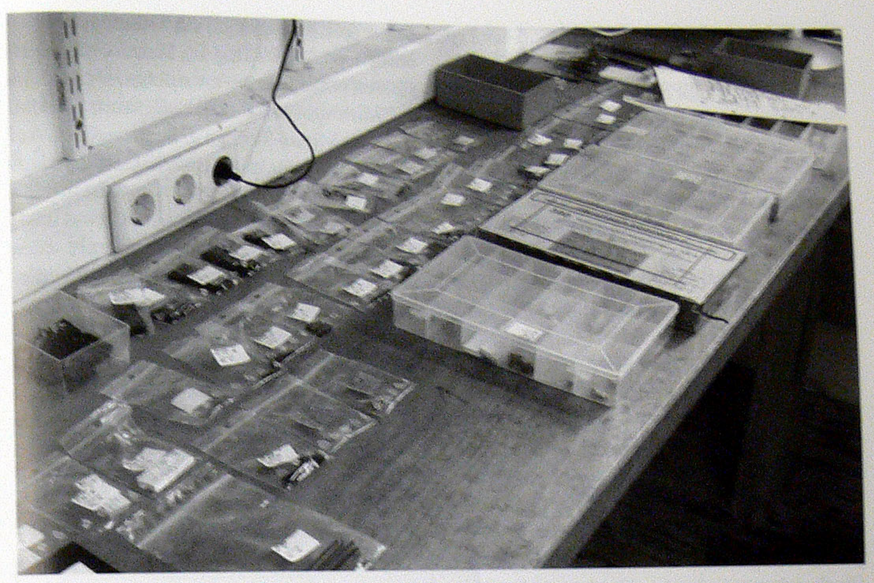


Abb. 82: Bauteile, übersichtlich ausgebreitet

Und so lesen Sie den Wert ab: Halten Sie den Widerstand so, dass der Ring, der von den anderen etwas abgesetzt ist, rechts liegt. Das ist der vierte Ring, er gibt die Toleranz des Widerstandswerts an, was uns aber hier egal ist. Der linke Ring ist der erste Ring. Erster und zweiter Ring geben die ersten beiden Stellen des Widerstandswerts an, der dritte Ring die Anzahl der folgenden Nullen. Ein Widerstand von 15 Ω (15R) ist braun, grün und schwarz gekennzeichnet. Ein Widerstand von 4,7 K hat die Kennzeichnung Gelb-Violett-Rot; einer von 47 K hat Gelb, Violett, Orange. Genial, nicht wahr? Allerdings gibt es auch Widerstände mit fünf Ringen. Dabei ist der dritte Ring immer schwarz (Null). Ein 100-K-Widerstand hat zum Beispiel den Code Braun-Schwarz-Schwarz-Orange. Bei vier Ringen wäre der Code Braun-Schwarz-Gelb.

Etwas anders sind Hochlastwiderstände gekennzeichnet. Das sind die Teile in den rechteckigen Keramik-Körpern, mit zwei Drähten an den Enden. Die Bezeichnung funktioniert beispielsweise so:

- R22 = 0,22 R (0,22 Ω)
- 2R2 = 2,2 R (2,2 Ω)
- 2R = 2 R (2 Ω)
- 22R = 22 R (22 Ω)
- 220R = 220 R (220 Ω)
- 2K2 = 2,2 K (2.200 Ω)
- 22K = 22 K (22.000 Ω) usw.

Besonders interessant sind Widerstands-Netzwerke, in den Schaltplänen mit „RN…" bezeichnet. Das sind die kleinen, schwarzen Keramikstreifen mit einer Reihe Anschlusspins. Bei den Widerstandsnetzwerken gibt es zwei grundlegend unterschiedliche Typen: Typ A und Typ B. Typ A ist eine Sternschaltung von einzelnen Widerständen, alle Widerstände im Netzwerk sind mit einem Anschluss mit Pin 1 des Netzwerks verbunden. Dementsprechend hat ein solches Netzwerk immer so viele Einzelwiderstände, wie es Pins hat, abzüglich eines Pins. Ein Netzwerk aus neun Widerständen z. B. heißt SIL 10-9. Es hat zehn Anschlusspins und neun Widerstände.

Der Typ B wiederum besteht aus unabhängigen Einzelwiderständen. Er kann deshalb

keine ungerade Zahl von Pins haben, der Typ A sehr wohl. Ein Netzwerk aus vier Einzelwiderständen heißt SIL 8-4.

Unterscheiden lassen sich die Typen durch den aufgedruckten Kennbuchstaben, der A oder B lautet. Das Ende, an dem Pin 1 ist, wird durch einen weißen Punkt gekennzeichnet (manchmal auch nicht, dann ist Pin 1 da, wo die Beschriftung ist). Der Wert der Widerstände ist durch drei Zahlen angegeben. Die ersten beiden Zahlen geben die ersten zwei Stellen des Widerstandswerts an, die dritte Zahl (wenn vorhanden) die Anzahl der folgenden Nullen. Ein Wert von 47 K wird also als 473 dargestellt.

Bei Widerstandsnetzwerken ist es extrem wichtig, dass sie die beiden Typen nicht verwechseln und dass Sie den Typ A nicht verkehrt herum einlöten. Auf den Bestückungsplänen ist der Pin 1 mit einem schwarzen Fleck gekennzeichnet, außerdem steht eine kleine Eins daneben.

Den 0,25-W-Widerständen und den Hochlastwiderständen ist es egal, wie herum sie eingelötet werden. Lassen Sie bei Hochlastwiderständen nur immer 5–10 mm Abstand zur Platine, das dient der Hitzeabfuhr.

4.1.10.2. Kondensatoren

Keramikkondensatoren – das sind die kleinen Perlen in Gelb oder Blau mit den zwei Anschlussdrähten – werden mit einem dreistelligen Zahlencode gekennzeichnet. Die ersten beiden Zahlen geben die ersten zwei Stellen des Kapazitätswerts in Nanofarad (nF) an, die dritte Zahl (wenn vorhanden) die Anzahl der folgenden Nullen. Ein Wert von 22 nF wird also als 223 dargestellt, einer von 100 nF als 104 und einer von 2,2 nF als 222. Keramikkondensatoren können Sie nicht falsch herum einlöten.

Elektrolyt-Kondensatoren, das sind die schwarzen Becher, bei denen an einem Ende zwei Anschlüsse herausragen, sind im Klartext gekennzeichnet. Die Zahl vor dem Schrägstrich gibt die Kapazität in µF an, die Zahl hinter dem Schrägstrich die Spannungsbelastbarkeit in Volt. Wichtig ist, Elektrolytkondensatoren richtig herum einzulöten. Deshalb ist der Minuspol mit einem hellgrauen Streifen und dem Minus-Symbol gekennzeichnet. Auf dem Bestückungsplan finden Sie allerdings nur das Plus-Symbol.

4.1.10.3. Integrierte Schaltungen

Die integrierten Schaltungen (IC) für dieses Projekt sind alle vom Type Dual-in-Line (DIL). Das besagt, dass die Bausteine in Gehäusen mit einer doppelten Reihe Anschlusspins verpackt sind. Die Anzahl der Pins ist 8, 14, 16 oder 20. Jeder IC hat an einem Ende eine Kerbe oder einen Punkt (meist bei den Optokopplern). Der erste Pin links von der Kerbe oder dem Punkt ist immer der Pin 1.

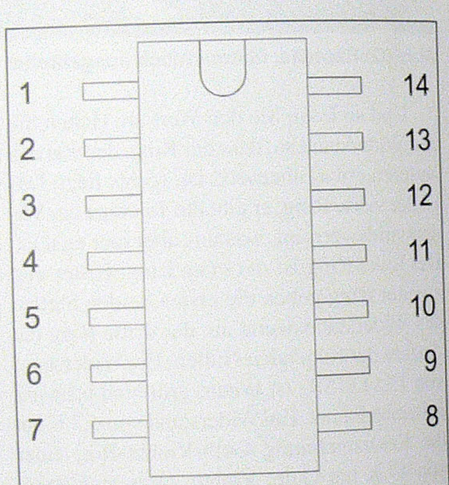


Abb. 84: Anschlussbelegung eines ICs (von oben gesehen)

4.1.10.4 Dioden

Dioden haben eine Anode und eine Kathode. Die Kathode ist immer durch einen aufgedruckten Ring gekennzeichnet. Im Bestückungsplan sind die Dioden dementsprechend gekennzeichnet. Bitte nicht verkehrt herum einlöten!

4.1.10.5. Sonstige Bauelemente

Alle Bauelemente, die ich bisher nicht behandelt habe, werde ich, soweit erforderlich, beim Bestücken der einzelnen Platinen vorstellen.

4.2. Bestücken

Endlich können wir uns ans Bestücken machen! Dazu brauchen Sie noch folgendes Werkzeug: einen Mini-Seitenschneider, eine kleine Spitz- oder Flachzange, eine Pinzette, eine starke Lupe, eine Biegelehre für Bauteile mit axialen Anschlüssen (Widerstände, Dioden), eine kleine Rolle versilberten Schaltdraht von 0,6 mm Durchmesser und eine Rolle Schaltlitze mit einem Querschnitt von 0,14 mm2.

Doch bevor Sie mit dem Bestücken beginnen, sollten Sie sich die Platine erst einmal sehr genau mit einer starken Lupe ansehen. Kontrollieren Sie, ob Leiterbahnen unterbrochen sind, indem Sie die Platine gegen eine Lichtquelle halten. Entdecken Sie eine Unterbrechung, dann markieren Sie sie mit einem wasserfesten Filzstift. Nachdem Sie die Bauteile eingelötet haben, verbinden Sie die unterbrochene Leiterbahn an den nächstgelegenen Bauteilanschlüssen oder Vias mit einem dünnen, isolierten Draht. Achten Sie darauf, dass die Unterbrechung, wenn sie auf der Bauteileseite liegt, nicht verdeckt wird!

Jetzt brauchen Sie den Bestückungsplan der jeweiligen Platine. Die Pläne finden Sie farbig im PDF-Format auf der Webseite des Verlages (Anhang). Bestückungspläne und Bauteile sind immer von oben, in der Draufsicht gezeigt. Die Bestückungsseite der Platine ist entsprechend beschriftet. Weiterhin finden Sie farbige Fotografien der Platinen im JPG-Format, die Sie sich auf dem Bildschirm ansehen oder mit einem Farbdrucker ausdrucken können.



Abb. 85: Werkzeug und Material zum Bestücken von Platinen

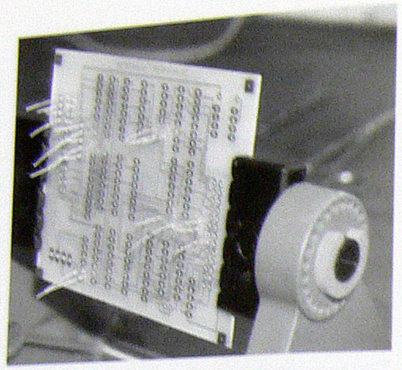


Abb. 86: Bestückungsrahmen

Bei allen doppelseitigen Platinen müssen Sie als Erstes die Vias einlöten. Das sind einfach Drahtstücke, die auf beiden Seiten der Platine verlötet sind. Sie erkennen Vias daran, dass der Bauteilanschluss nicht rund oder länglich, sondern quadratisch ist. Für die Vias brauchen Sie den 0,6-mm-Draht. Auf dem Foto sehen Sie auch meinen vornehmen Bestückungsrahmen von Weller. So etwas gibt es einfacher und billiger bei Conrad-Electronic. Sie sollen aber auch ohne Rahmen auskommen können.

Stecken Sie den Draht direkt von der Rolle durch die Bohrung und löten Sie ihn auf einer Seite fest. Dazu können Sie die Platine auch waagerecht halten. Schneiden Sie den Draht ab. Wenn Sie so alle Vias versorgt haben, drehen Sie die Platine um und stellen Sie sie senkrecht, wie auf dem Foto. Anschließend verlöten Sie die Drähte auch auf der Rückseite. Wenn Sie die Platine nicht senkrecht stellen, fallen Ihnen die Drähte beim Löten wieder heraus. Danach schneiden Sie die Drahtenden mit dem Mini-Seitenschneider kurz ab und kontrollieren anschließend mit der Lupe Ihre Lötstellen.

Problematisch ist oft auch das Einlöten der Keramikkondensatoren, weil diese Teile gern wieder aus den Löchern fallen. Ich helfe mir, indem ich den Kondensator nicht ganz bis an seine Position schiebe und dann die beiden Drähte mit einem geeigneten Werkzeug leicht auseinander drücke. Danach drücke ich den Kondensator weiter hinein. Durch die Spannung der Drähte bleibt er an seinem Platz.

Widerstandsnetzwerke sind auf der Bestückungsseite viel einfacher zu löten, wenn sie etwas zur Seite gebogen sind. Stecken Sie das Widerstandsnetzwerk in die Bohrungen der Platine (achten Sie auf die richtige Polung!) und biegen Sie es ungefähr im 60°-Winkel vorsichtig nach einer Seite. Dabei müssen Sie darauf achten, dass auf der Unterseite die Anschlüsse noch um ca. 1 mm aus der Platine ragen, sonst stellen Sie beim Löten keinen Kontakt her. Durch das Schrägstellen haben Sie es jetzt leichter, auf der Bestückungsseite zu löten. Versuchen Sie übrigens bitte auf keinen Fall, ein bereits eingelötetes Widerstandsnetzwerk zur Seite zu biegen. Als ich das einmal machte, bekam das Netzwerk einen Haarriss und war völlig unbrauchbar.

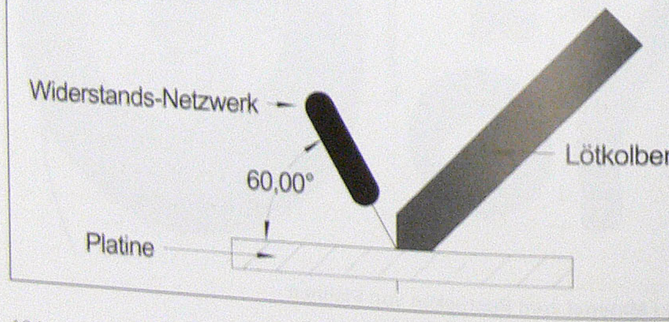


Abb. 87: Löten von Widerstandsnetzwerken auf der Bestückungsseite der Platine

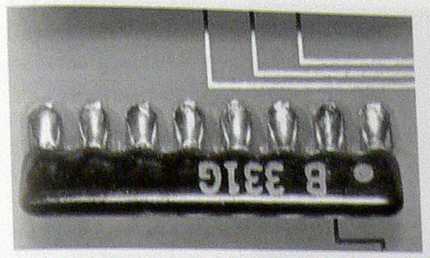


Abb. 88: Eingelötetes Widerstandsnetzwerk

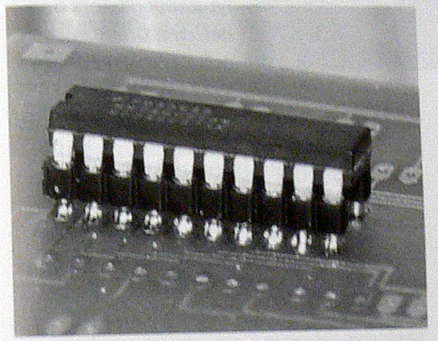


Abb. 89: IC auf einem Sockel aus Buchsenleisten

Integrierte Schaltungen sind auch nicht immer leicht einzulöten. Ab Fabrik sind die Anschlusspins nach außen gebogen, so dass sie nicht in die vorgesehenen Bohrungen passen. Ich drücke deshalb die Pins in einem kleinen Schraubstock zusammen, bis sie gerade stehen. Mit etwas Vorsicht geht das problemlos. Das Löten der ICs geschieht teilweise auf der Bestückungsseite und teilweise auf der Unterseite. Schauen sie sich im Bestückungsplan genau an, an welchem Pin des ICs eine Leiterbahn anschließt. Diesen Pin müssen Sie auch auf der Bestückungsseite verlöten. Weil das Gehäuse der ICs zum Teil die Leiterbahnen verdeckt, ist das nicht immer gleich zu sehen. Wenn Sie ganz sicher sein wollen, verlöten Sie auch alle Anschlüsse auf der Bauteileseite. Das wird allerdings unter Umständen zum Problem, wenn Sie ein Bauteil wieder entfernen müssen.

Sie werden sich vielleicht fragen, warum ich die ICs nicht auf Sockel gesetzt habe. Leider ist das nicht möglich, weil dann auf der Bestückungsseite nicht gelötet werden kann. Wenn Sie aber zügig löten und nicht zu lange auf einzelnen Pins „herumbraten", dann ist das kein Problem. Durch das Einlöten habe ich jedenfalls noch keinen IC zerstört. Alternativ können Sie Buchsenleisten (Reichelt Artikel SPL 32) als Sockel verwenden. Solche Leisten können Sie mit etwas Geschick auch auf der Bestückungsseite verlöten.

Prüfen Sie nach dem Bestücken alle Lötstellen und Leiterbahnen noch einmal mit der Lupe. Kontrollieren Sie anhand des Bestückungsplans, ob Sie kein Teil vergessen oder an die falsche Stelle gelötet haben und ob die Polarität aller Bauteile, soweit kritisch, stimmt.

4.2.1. Netzteil bestücken

Das Netzteil sollte die erste Platine sein, die Sie aufbauen. Einerseits funktioniert ohne Netzteil sowieso nichts und andererseits ist das die Platine, die auf Grund ihres Aufbaus am einfachsten zu bestücken und zu löten ist.

Als Erstes kontrollieren Sie bitte, ob alle Löcher für die Bauelemente groß genug sind. Speziell die 10.000-µF-Kondensatoren und die Sicherungshalter brauchen große Löcher. Traditionell beginnt man mit den niedrigsten Bauteilen zuerst. Das sind nicht die beiden kleinen Gleichrichter-Käferchen, sondern die beiden Drahtbrücken auf der Bestückungsseite. Sie erkennen Sie im Bestückungsplan als zwei rote Leiterbahnen. Nehmen Sie für die Brücken 0,6-mm-Draht. Danach löten Sie die Gleichrichter ein (auf die Polung achten!). Dann ist es Zeit, alle Anschlussklemmen einzulöten. Der Trick dabei ist, möglichst viele Klemmen einzusetzen und danach die Platine zum Löten umgekehrt auf den Tisch zu legen, ohne dass allzu viele Klemmen wieder herausfallen. Gleiches gilt für die Sicherungshalter. Darauf folgen die Keramikkondensatoren C7 und C8, die Diode D1, der Varistor R1 und die

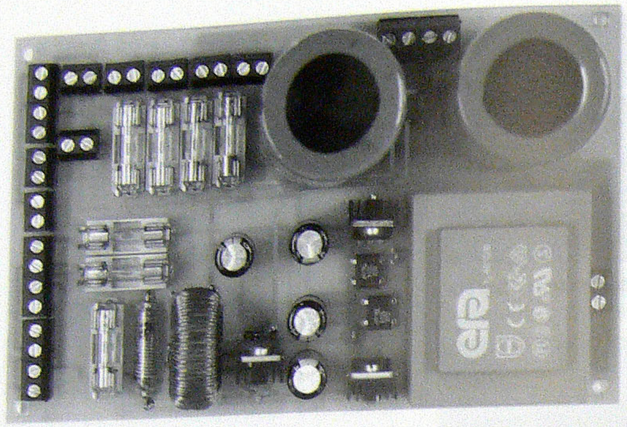


Abb. 90: Die Netzteil-Platine. Dieser Prototyp ist noch auf einer doppelseitigen Platine aufgebaut. Die Platine, die Sie bauen, ist aber, bis auf die Lage eines Elektrolyt-Kondensators und der zwei Drahtbrücken, praktisch gleich.

Drosseln L1 und L2. L1 sitzt etwas wacklig, deshalb habe ich sie mit etwas Heißkleber fixiert. Jetzt die Kühlkörper an die Spannungsregler IC1, IC2 und IC3 anschrauben und diese dann einlöten. Bei IC1 müssen Sie die Beinchen mit der kleinen Zange etwas biegen. Die Kühlkörper zeigen bei IC1 und IC2 von den dicken Kondensatoren weg, bei IC3 zeigt der Kühlkörper dorthin. Es folgen die Elektrolytkondensatoren C3, C4, C5, C6; achten Sie auf die Polung. Jetzt der Transformator TR1 und zum Schluss die Elektrolytkondensatoren C1 und C2. Diese können Sie nicht falsch einlöten. Fertig!

Halt, noch nicht ganz. Sie müssen unbedingt noch alle Netzspannung führenden Bereiche auf der Unterseite der Platine dick, am besten mit Gewebeisolierband, abkleben. Das sind die Netzanschlussklemmen (englisch „Mains"), die Bauteilanschlüsse von TR1 auf der Netzseite und die dahin führenden Leiterbahnen.

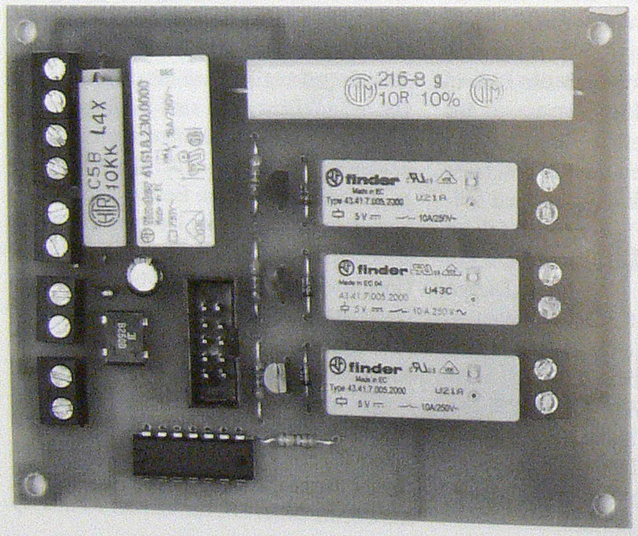


Abb. 91: Die Netzversorgungsplatine. Links oben in Reihe geschaltete 10-K-Hochlastwiderstände. Für die Steuerung wird ein einzelner 20-K-Widerstand benötigt.

4.2.2. Netzversorgung bestücken

Bei der Bestückung der Netzversorgung gibt es keine Besonderheiten. Auch hier sollten Sie zunächst die Anschlussklemmen einlöten, danach die Widerstände, Dioden und Transistoren, das IC V1 und den Gleichrichter B1. Achten Sie bei den Transistoren auf die abgeflachte Seite. Es folgen die Widerstände R1 bis R3 und der Kondensator C1. R2 ist der NTC-Widerstand, er sieht aus wie ein Keramik-Kondensator, hat aber einen Farbcode. Nun löten Sie die Relais und anschließend den Steckverbinder ein. Wenn Sie nicht alle Relais benutzen wollen, lassen Sie sie einfach weg und dazu auch den jeweiligen Transistor und die Diode.

4.2.3. Endstufen bestücken

Falls noch nicht geschehen, sollten Sie jetzt die drei Befestigungsbohrungen für den Kühlkörper auf 3,2 mm und die Bohrungen für die Massefahnen des Steckergehäuses auf 2,5 mm erweitern. Beachten Sie bitte, dass alle Pinheader abgewinkelt sind. Ansonsten beachten Sie auch hier die Reihenfolge der Bestückung: Vias, kleine Widerstände, Keramikkondensatoren, Transistoren, Potenziometer R1 und R7, Hochlastwiderstände R9 bis R12 mit etwas Abstand zur Platine, die integrierten Schaltungen IC1, IC4 und IC5 entweder mit Sockel oder direkt und die Wannenstecker POWER und MOTOR. Die Mini-Din-Buchse X1 löten Sie anschließend ein und achten dabei darauf, dass die eine Massefahne guten Kontakt zur zugehörigen Leiterbahn hat. Andernfalls ist die Abschirmung des Kabels nutzlos. Den Elektrolytkondensator C8 löten Sie erst nach der Montage des Kühlkörpers ein. Montieren Sie jetzt den Kühlkörper. Wichtig ist, dass er auf beiden Seiten den gleichen Abstand zum Platinenrand hat. Der Kühlkörper sitzt auf 6 mm hohen Abstandsröllchen, entweder aus Kunststoff oder aus Metall. Ziehen Sie die Schrauben mit viel Gefühl an, Sie machen sonst die Gewinde kaputt.

Stecken Sie IC2 und IC3 in die Bohrungen und befestigen Sie sie mit den Klemmen am Kühlkörper. Verlöten Sie die IC-Anschlüsse. Entfernen Sie den Kühlkörper wieder und löten Sie C8 ein.

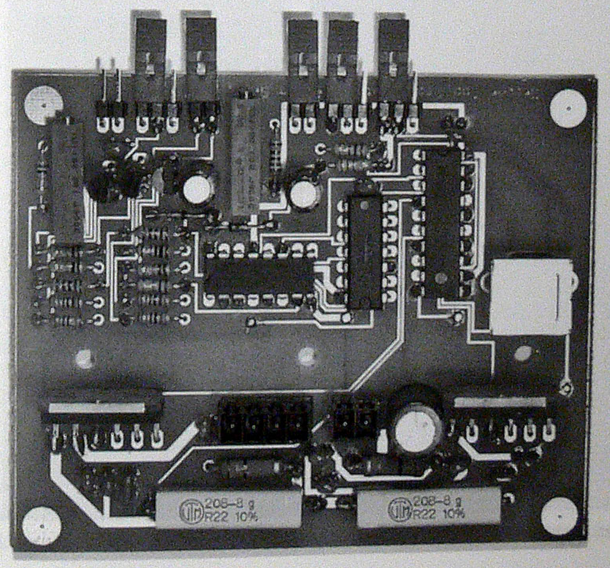


Abb. 92: Eine Endstufe ohne Kühlkörper

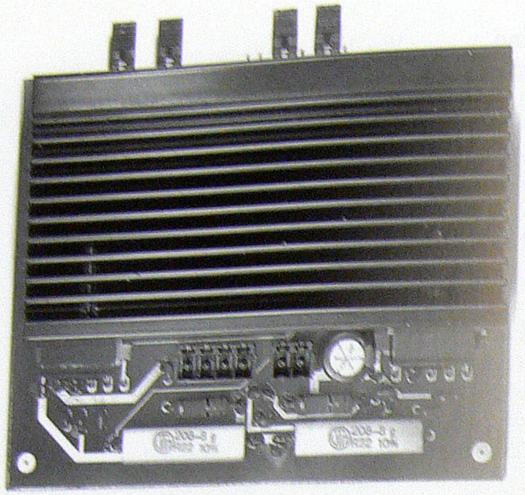


Abb. 93: Eine Endstufe mit Kühlkörper

Ein Hinweis zum Schluss: Die Anschlussdrähte der 0,22-Ω-Hochlastwiderstände sind dicht am Gehäuse mit einer Art durchsichtigem Kunststoff ummantelt, der ein einwandfreies Verlöten verhindert. Den müssen Sie vor dem Einbau mit einem Messer abkratzen, sonst riskieren Sie kalte Lötstellen.

4.2.4. Verteiler bestücken

Beginnen Sie mit den Vias. Anschließend löten Sie, abweichend von der „traditionellen" Vorgehensweise, das Widerstandsnetzwerk RN6 ein. Denken Sie an das Schräglegen des Netzwerks, wie in 4.2 beschrieben. Sie können das auch sehr gut unten auf dem Foto der

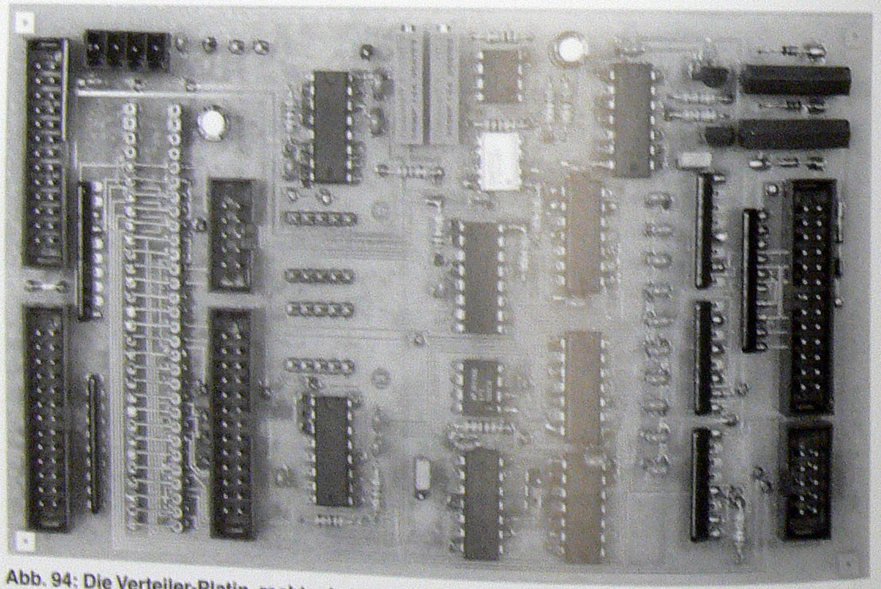


Abb. 94: Die Verteiler-Platin, rechts das 1:1 bestückte Rangierfeld

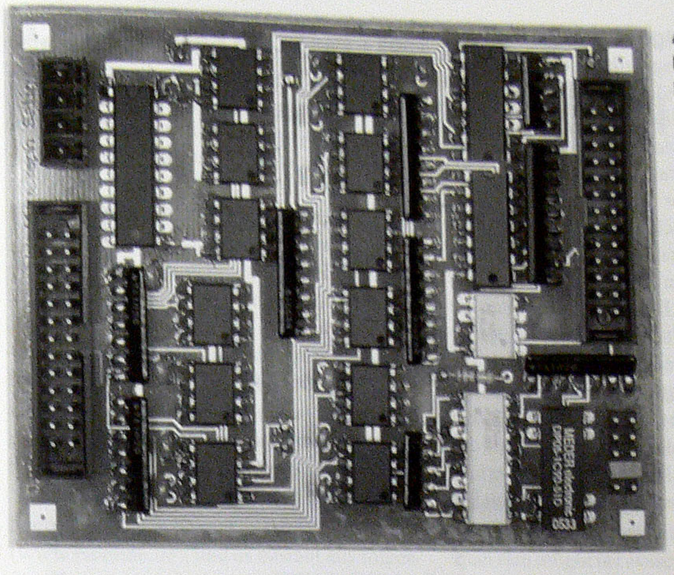


Abb. 95: Eine Optokoppler-Platine

Platine erkennen. Beachten Sie die Polung! Genauso löten Sie auch die Netzwerke RN3, RN4 und RN5 ein. Es folgen alle ICs. Danach kommt JP12, die lange Reihe mit 30 Steckbuchsen. Wie erwähnt, können Sie JP12 und JP1 auch weglassen und Drahtbrücken direkt einlöten. Die Schnittstellenbelegung ist dann aber nicht mehr zu verändern. Schieben Sie die Buchsenleiste nur so weit wie nötig in die Bohrungen, sonst haben Sie Probleme, auf der Bestückungsseite zu löten. Nach JP12 löten Sie JP1 ein und danach die Widerstandsnetzwerke RN1 und RN2.

Es folgen alle anderen Bauteile, die niedrigsten zuerst. Die zwei Reed-Relais FWD und REV haben im Gehäuse eine kleine Kerbe, diese muss mit dem schwarzen Streifen im Bestückungsplan korrespondieren. Danach löten Sie die Wannenstecker und die Pinheader ein.

Sie müssen jetzt die Anschlüsse von JP1 und JP12 miteinander verbinden. Haben Sie auf Grund der Steuersoftware, die Sie verwenden, keine 1:1 Verbindung, dann schneiden Sie kurze Stücke vom 0,6-mm-Draht ab, stecken sie in die zu verbindenden Buchsen und löten kurze Litzenstücke mit 0,14 mm2 an. Bei einer 1:1-Verbindung tun Sie zunächst das Gleiche, lassen die Drahtstücke aber etwas länger. Dann biegen Sie ein Drahtstück zur Seite und verlöten es mit dem anderen Drahtstück. Schneiden Sie die überschüssige Drahtlänge mit dem Mini-Seitenschneider ab. Die Anschlüsse 27–30 brauchen Sie nicht zu verbinden.

4.2.5. Optokoppler bestücken

Beginnen Sie auch hier mit den Vias. Darauf folgen die Widerstandsnetzwerke RN7 und RN9 sowie die integrierten Schaltungen IC3, OK7 bis OK12, anschließend RN3, OK1 bis OK6. Es folgen RN1, RN2 und RN8, danach OK13, OK14, IC1 und IC2, jetzt RN4, RN5 und RN6. Achten Sie bei RN4 darauf, es vom Relais K2 weg zu biegen, sonst passt das Relais eventuell nicht mehr. Es folgen alle restlichen Bauteile. Das Relais K2 und den Pinheader JP1 löten Sie nur auf eine der beiden Optokoppler-Platinen. Das Relais hat eine Kerbe, wie ein IC, damit Sie es richtig herum einlöten können.

4.2.6. LED-Anzeige bestücken

Bei der LED-Anzeige gilt es nur eins zu beachten: Die Leuchtdioden werden nicht von der Bestückungsseite, sondern von der Unterseite her eingesteckt. Nachdem Sie alle anderen Bauteile eingelötet haben, legen Sie die Platine mit der Bestückungsseite nach oben so auf den Tisch, dass zwischen Platine und Tisch mindestens 20 mm Abstand bleiben. Stecken Sie nun alle Leuchtdioden in die dafür vorgesehenen Bohrungen. Beachten Sie die Farben laut Bestückungsplan. Sie müssen die Polung der Dioden berücksichtigen. Diese haben ein etwas längeres Bein, das ist Plus, und ein kürzeres, das ist Minus. Das kürzere Bein stecken Sie in den Bauteilanschluss, der mit der breiten, am Rand der Platine verlaufenden Leiterbahn verbunden ist. Verlöten Sie erst ein Bein jeder Diode. Danach richten Sie die Dioden aus und verlöten das zweite Bein. Die Dioden passen in die entsprechenden Bohrungen der Frontplatte und sollten die Platine an ihrem Platz halten. Eine zusätzliche Befestigung ist eigentlich nicht nötig.

4.2.7. Maschinen-Schnittstelle bestücken

Die Maschinen-Schnittstelle ist eine einseitige Platine, deshalb gibt es bei ihr keine Vias. Stattdessen gibt es drei Drahtbrücken, im Bestückungsplan rot, die Sie zuerst einlöten sollten. Dann folgen die Widerstände und die DB25-Buchse. Die Klemmleisten sollten Sie so herum einlöten, dass die Betätigung nicht von außerhalb der Platine, sondern von innen erfolgt.

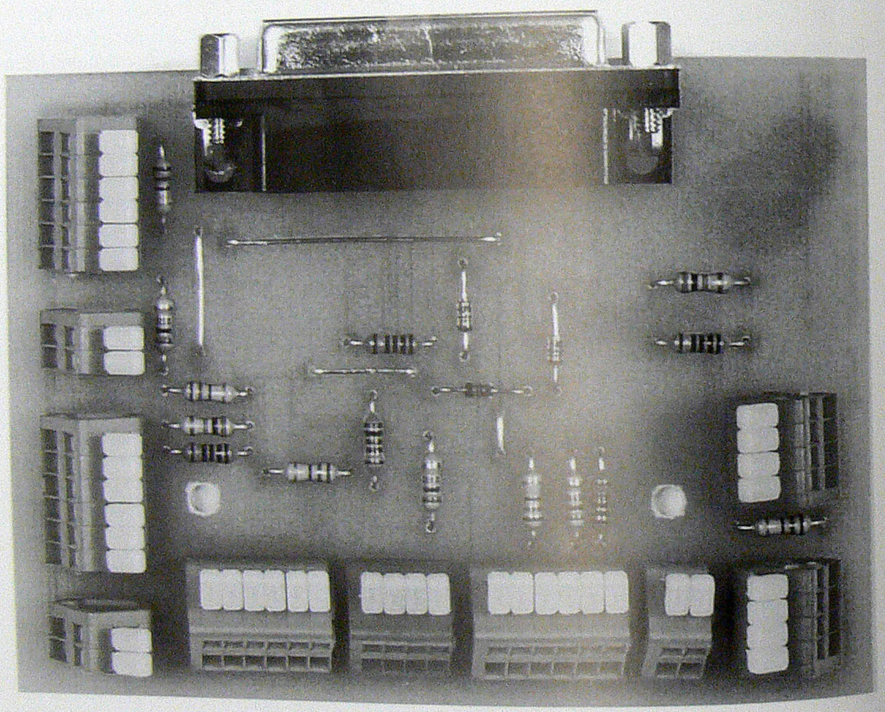


Abb. 96: Die Maschinen-Schnittstelle. Die Dioden, die Sie in der Mitte sehen, müssen Sie nicht unbedingt einlöten (siehe Abschnitt 3.6.6.).

5. Zusammenbau von Gehäuse und Netzteil

5.1. Gehäuse

Beim Gehäuse scheiden sich wahrscheinlich die Geister. Ich habe ein 19-Zoll-Gehäuse von Schroff benutzt, das Multipac mit 280 mm Tiefe und drei Höheneinheiten (ca. 130 mm hoch). Das Gehäuse gibt es bei RS-Elektronik (www.rsonline.de), und es besteht aus folgenden Komponenten:

- Grundeinheit 259-8919 – 49,30 €;
- Abdeckblech (Unterseite), geschlossen, 259-9041 – 10,80 €;
- Abdeckblech (Oberseite), perforiert, 259-9079 – 15,35 €;
- Chassisplatte, 210 mm, 259-9120 – 20,00 €.

Insgesamt also über 95,- €. Das Abdeckblech für die Unterseite und die Chassisplatte kann man sich möglicherweise billiger beim Metallhändler zuschneiden lassen. Der Vorteil des Gehäuses ist seine Stabilität und die vollständige Zerlegbarkeit. Natürlich gibt es noch andere, billigere Gehäuse. Auch ein Selbstbau kommt

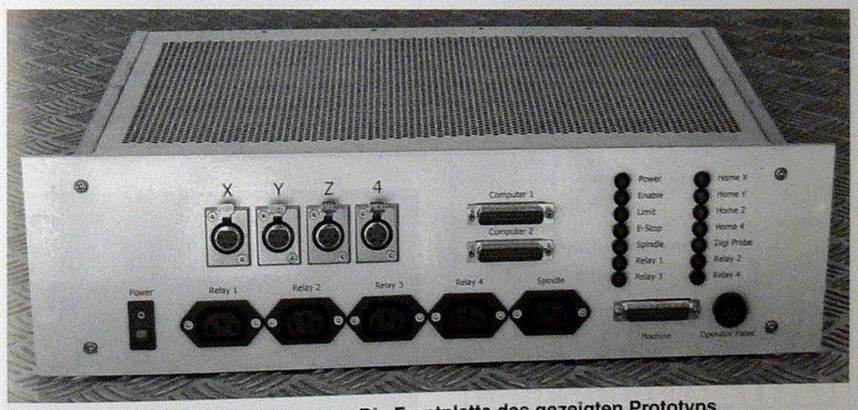


Abb. 98: Frontansicht der Steuerung. Die Frontplatte des gezeigten Prototyps entspricht nicht genau den Zeichnungen. In der endgültigen Version gibt es nur zwei Relaisausgänge und den Ausgang für die Werkzeugspindel. Der Anschluss für das Operator Panel ist ein DB9-Stecker und die Buchsen für die Motoren X, Y, Z und 4 sind keine Mikrofonbuchsen, sondern einfache Steckverbinder für Steuerspannungen. Die Mikrofonbuchsen sind entweder billig und schlecht oder gut und teuer. Wenn Sie die Motoren nicht ständig an- und abstecken wollen, sind sie auch nicht wirklich nötig.

Abb. 99: Rück- und Innenansicht der Steuerung. Sie sehen hinten die Öffnungen für zwei Lüfter, vor den Lüftern sitzen die Endstufen. Quer vor den Endstufen findet die Verteiler-Platine ihren Platz, links davor eine Optokoppler-Platine und davor, direkt an der Frontplatte, die LED-Platine. Rechts sehen Sie den großen Ringkerntransformator und davor die Netzteil-Platine.

in Frage. Sie sollten nur darauf achten, dass Sie einen Innenraum von 400 mm × 270 mm × 130 mm (B × T × H) haben, sonst wird es eng. Die folgende Beschreibung bezieht sich auf das Schroff-Gehäuse, das ich verwendet habe.

Für die Frontplatte, die Rückwand, die Zwischenplatte und die Netzteilplatte des Schroff-Gehäuses habe ich CAD-Zeichnungen angefertigt, die im DXF- und im PDF-Format auf der Webseite des Verlages (Anhang) zu finden sind. Das DXF-Format sollte von jedem CAD-System verstanden werden. Von den DXF-Dateien können Sie sich auch NC-Fräsprogramme erstellen, wenn Sie eine Möglichkeit zum NC-Fräsen haben. Falls nicht, bin ich gern bereit, die Frontplatte und die Rückwand gegen Kostenerstattung für Sie zu fräsen. Details dazu auf meiner Webseite.

Die Beschriftung der Frontplatte im PDF-Format ist im Maßstab 1:1 auf der Webseite des Verlages (Anhang) zu finden. Sie können die Beschriftung bei einem Digitaldruckunternehmen auf eine selbstklebende, wasserfeste Folie drucken lassen. Die Folie kleben Sie auf

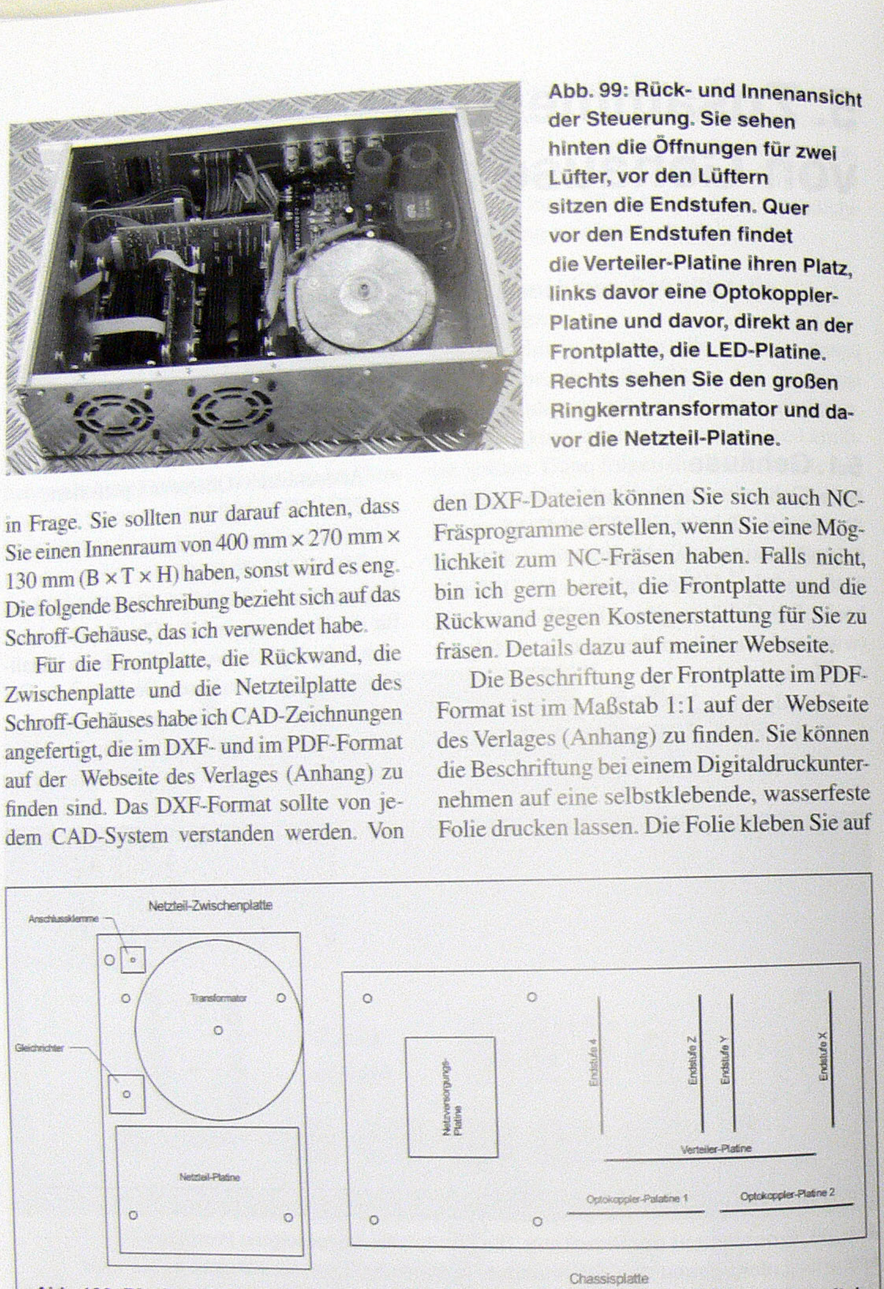


Abb. 100: Die Anordnung der Baugruppen im Gehäuse. Die Netzteil-Zwischenplatte sitzt über der Netzversorgungs-Platine. Dadurch ist sichergestellt, dass im Betrieb, auch bei geöffnetem Gehäuse, keins der Netzspannung führenden Bauteile auf der Netzversorgungs-Platine berührt werden kann.

die Frontplatte, nachdem Sie die Ausschnitte für Stecker, Schalter und Leuchtdioden in der Frontplatte hergestellt haben. In den Ausschnitten schneiden Sie dann die Folie mit einem Skalpell weg und haben eine perfekte Frontplatte mit professionellem Aussehen.

5.2. Flachbandkabel und Pfostenverbinder

Flachbandkabel und die dazugehörigen Steckverbindungen sind eine schnelle, zuverlässige und billige Methode, elektronische Schaltungen miteinander zu verbinden. Die dazugehörigen Steckverbinder bestehen aus einem Pfostenverbinder (weiblich), der auf das Kabel gequetscht wird, und einem Wannenstecker auf der Platine. Flachbandkabel unterscheiden sich in der Breite und in der Anzahl der Adern. In unserem Projekt verwenden wir Kabel mit zehn, 25 und 26 Adern. In der Stückliste finden Sie aber nur 10- und 26-adrige Kabel. Weil Sie nicht so unendlich viel Kabel brauchen, ziehen Sie einfach von dem 26-adrigen Kabel eine Ader ab, das geht sehr einfach. Lassen Sie aber die rote Ader dran!

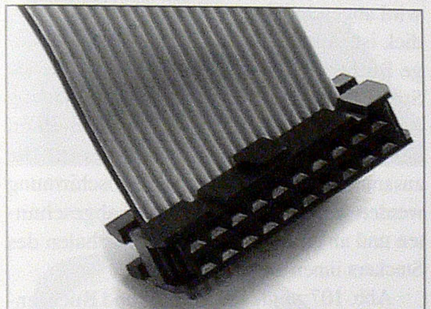


Abb. 101: Pfostenverbinder; das Flachbandkabel ist eingelegt.

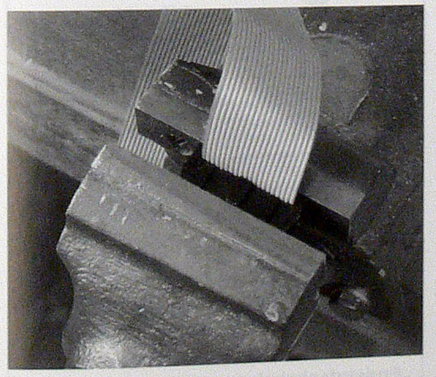


Abb. 102: Aufquetschen des Pfostenverbinders

Die Aufgabe ist jetzt, die Pfostenverbinder an die Kabel zu quetschen. Dazu legen Sie das passende Kabel so in den Pfostenverbinder, wie in Abb. 101 gezeigt. Da, wo die rote Ader (im Foto natürlich dunkelgrau) liegt, ist auf dem Gehäuse ein kleines Dreieck zu sehen. Das Dreieck bezeichnet den Pin 1 des Pfostenverbinders. Für das Aufquetschen spannen Sie den Pfostenverbinder mit Kabel in den Schraubstock und drücken alles vorsichtig

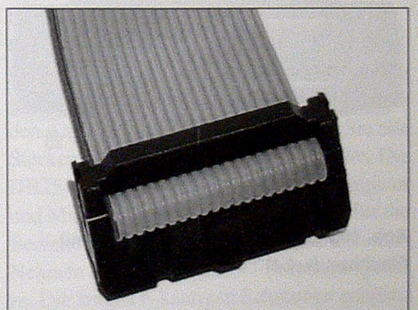


Abb. 103: Fertige Verbindung mit Zugentlastung

20	18	16	14	12	10	8	6	4	2
19	17	15	13	11	9	7	5	3	1

2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
1	3	5	7	9	11	13	15	17	19

Abb. 104: Anschlussbelegung Pfostenverbinder (oben) und Wannenstecker (unten)

zusammen, bis keine Fugen mehr zu sehen sind. Anschließend schneiden Sie das Ende des Kabels mit einem Teppichmesser glatt am Pfostenverbinder ab, schlagen das Kabel um und drücken die Zugentlastung auf, bis sie einrastet. Fertig!

Wichtig ist natürlich auch, die Anschlussbelegung der Pfostenverbinder und Wannenstecker zu kennen. Dazu sehen Sie in Abb. 104 die Belegung einer 20-poligen Verbindung. Alle anderen sind sinngemäß genau so belegt.

Auch die DB25- und DB9-Stecker und -Buchsen werden nach dieser Methode angeschlossen. Beachten Sie, dass bei den Steckern auf den Fotos schon die Zugentlastung montiert ist. Ohne sie kommt das Kabel oben heraus, die rote Ader bleibt aber auf derselben Seite. DB9-Stecker funktionieren genauso, sie haben jedoch nur neun Anschlüsse.

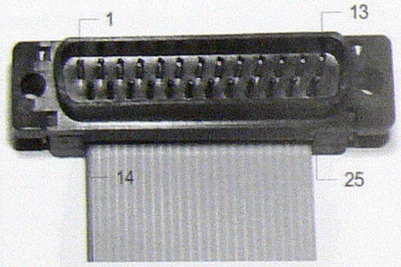


Abb. 105: DB25-Stecker (männlich) mit Flachbandkabel

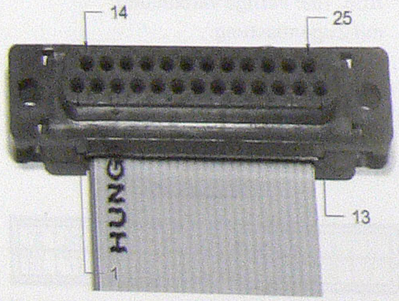


Abb. 106: DB25-Stecker (weiblich) mit Flachbandkabel

5.3. Anschlusskabel für die Endstufen

Für den Anschluss der Endstufen an die Verteilerplatine habe ich zunächst ebenfalls Flachbandkabel verwendet. Ich hatte dann aber im Betrieb mit der Einstreuung von Störimpulsen zu kämpfen, die dazu führten, dass die Motoren zusätzliche Schritte ausführten. Erst die Verwendung abgeschirmter Kabel zu den Endstufen löste das Problem nachhaltig.

Ein Kabel besteht aus fünf Adern, die einzeln abgeschirmt sind. Das muss sein, weil sich sonst z.B. SYNC und STEP gegenseitig beeinflussen könnten. An dem Ende, das an die Endstufe angeschlossen wird, sitzt ein 5-poliger Mini-Din-Stecker. Der Knickschutz wird abgeschnitten, weil das Kabel etwas zu dick ist. Am anderen Ende sitzt eine 5-polige Buchsenleiste, die auf die entsprechende Stiftleiste der Verteilerplatine passt. Wichtig ist, dass die Abschirmung nur im Stecker, also an der Endstufe, angeschlossen ist. Die zusammengedrehten Adern der Abschirmung werden verzinnt, auf ca. 15 mm abgeschnitten und an eine der beiden Blechschalen des Steckers innen angelötet.

Abb. 107 zeigt, wie Stecker und Buchsenleiste miteinander verbunden sind. Der Stecker ist dabei von der Seite gezeichnet, an der

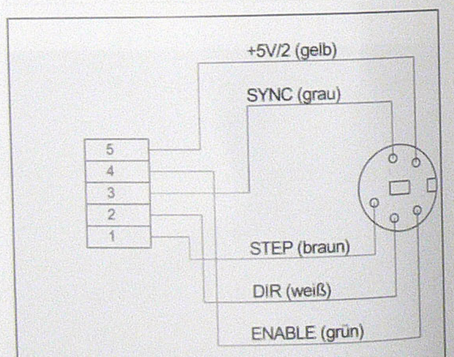


Abb. 107: Anschlussplan des Endstufenkabels

Abb. 108: Anlöten des Kabels an den DIN-Stecker. Dazu ist eine DIN-Buchse in den Schraubstock gespannt und der Stecker eingesteckt. Die Abschirmung des Kabels ist mit der Blechschale des Steckers verlötet. Sie sehen von hinten auf den Stecker, damit entspricht die Anschlussbelegung der Abb. 107.



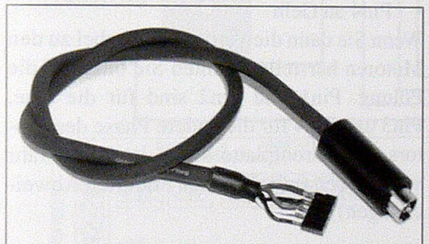


Abb. 109: Das fertige Endstufen-Kabel

die Adern angelötet sind. Die Kabel sollten rund 35 cm lang sein. Sie brauchen je Achse ein Kabel. Messen Sie das fertige Kabel mit dem Ohmmeter noch einmal durch. Kontrollieren Sie die korrekte Pinbelegung und ob alle Adern Durchgang haben. Prüfen Sie auch, dass keine Ader Verbindung mit einer anderen Ader oder eine gegen die Abschirmung hat. Der Aufwand lohnt sich, weil ein falsch angeschlossenes Kabel dafür sorgen kann, dass alle Endstufen durchbrennen.

5.4. Messgerät

Spätestens beim Test des Netzteils werden Sie ein Messgerät brauchen. Weil Sie nur Spannung, Strom und Widerstand messen werden, und das noch nicht einmal übertrieben genau, reicht ein sehr einfaches Gerät aus. Reichelt-Elektronik hat ein solches Gerät, das Peak-Tech 1040 für 13,35 €, im Katalog. Nach oben sind natürlich keine Grenzen gesetzt. Haben Sie einen Gönner (Weihnachten, Geburtstag), dann sollten Sie einen Blick auf die Geräte in der 100-Euro-Klasse werfen. Solche Geräte messen dann auch Kapazität, Induktivität und Frequenz. Wichtig ist eine Abschaltautomatik. Ich zumindest vergesse fast immer, das Gerät abzuschalten und muss dann wieder eine der teuren 9-V-Blockbatterien kaufen.

Wichtig sind auch ein paar anständige Prüfspitzen. Ich empfehle die Prüfspitzen 402 RT und SW sowie die Klemmhaken RT und SW von Reichelt.

5.5. Vorbereitung der Frontplatte

Kleben Sie jetzt die Beschriftungsfolie auf die gefräste Frontplatte, schneiden Sie die Folie an den Ausschnitten weg und montieren Sie alle Stecker und Schalter auf die Frontplatte. Die DB25-Stecker für den Anschluss an Computer und Maschine sowie den DB9-Stecker für die Bedieneinheit müssen Sie von vorn montieren. Nehmen Sie dazu die Sub-D-Befestigungssätze. Die langen 6-kantigen Schrauben gehören nach außen, die Muttern nach innen. Weil die Stecker sonst nicht durch die Ausschnitte gehen, dürfen Sie das Flachbandkabel erst aufquetschen, wenn die Stecker montiert sind. Quetschen Sie vorher auch die Pfostenverbinder an den anderen Enden der Kabel auf, später wird das schwieriger.

Für die jetzt folgenden Lötarbeiten kommen Sie mit der Leistung des kleinen Lötkolbens nicht mehr aus. Ideal wäre ein 30-W-Kolben, es gehen aber auch 50-W- oder 80-W-Lötkolben. Löten Sie damit die 1,0-mm2-Zwillingslitze an den Netzschalter und

an die linken und rechten Anschlussfahnen der Kaltgerätebuchsen. Lassen Sie die Zwillingslitze jeweils ca. 50 cm lang. Bevor Sie die einzelnen Litzen anlöten, ziehen Sie über jede ein kurzes Stück Schrumpfschlauch. Den Schrumpfschlauch schieben Sie danach über Lötstelle und Anschlussfahne und schrumpfen ihn mit einer Heißluftpistole auf. Der Schrumpfschlauch sorgt dafür, dass später keiner der Anschlüsse berührt werden kann, hier liegen immerhin 230 V Netzspannung an. Ziehen Sie aus einem Reststück Netzkabel die grün-gelbe Litze heraus. Sie brauchen ca. 1 m davon. Verbinden Sie dann alle mittleren Anschlüsse der Kaltgerätedosen (die Schutzkontakte) damit und löten Sie an die letzte, linke Kaltgerätebuchse ein Stück von 10 cm. Die Anschlüsse brauchen Sie nicht zu isolieren.

Die Verbindungen zwischen den Motorsteckern auf der Frontplatte und den Endstufen wird mit verdrillten Kabeln hergestellt. Das Gleiche gilt für den Anschluss der Endstufen an die 42-V-Stromversorgung. Durch das Verdrillen werden Störstrahlungen, die sich über die Kabel in die restliche Elektronik ausbreiten können, minimiert. Dabei werden die Zuleitungen zu jeder Motorphase aus zwei miteinander verdrillten Adern hergestellt. Die Kabel stellen Sie sich ganz einfach selbst her. Nehmen Sie je drei Meter rote und schwarze Schaltlitze, spannen Sie die einen Enden fest in den Schraubstock und die anderen Enden in das Futter einer Handbohrmaschine. Bringen Sie die Litzen auf Spannung und lassen Sie die Bohrmaschine laufen, bis die Litzen fest verdrillt sind. Das Gleiche machen Sie mit den blauen und gelben Litzen. Verbinden Sie dann die Kabel wie folgt mit dem Motorstecker der Endstufe:

- Phase_1_1 an Schwarz
- Phase_1_2 an Rot
- Phase_2_1 an Blau
- Phase_2_2 an Gelb

Schneiden Sie dann die Kabel auf Länge, so dass sie bequem von der Frontplatte zur jeweiligen Endstufe reichen. Denken Sie daran, dass Sie die Endstufe auch noch herausziehen wollen, auch wenn die Kabel angeschlossen sind. Löten Sie dann die anderen Enden der Kabel an die Motorstecker auf der Frontplatte:

- Pin1 an Schwarz
- Pin2 an Rot
- Pin3 an Blau
- Pin4 an Gelb

Wenn Sie dann die Verbindungskabel zu den Motoren herstellen, achten Sie bitte auf die Polung. Pin1 und Pin2 sind für die eine, Pin3 und Pin4 für die andere Phase des Motors. Ihre Frontplatte sollte jetzt ungefähr so aussehen (mit den oben erklärten Abweichungen)

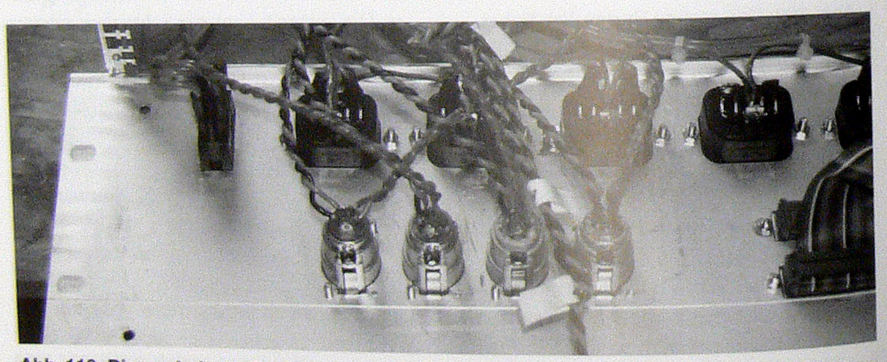
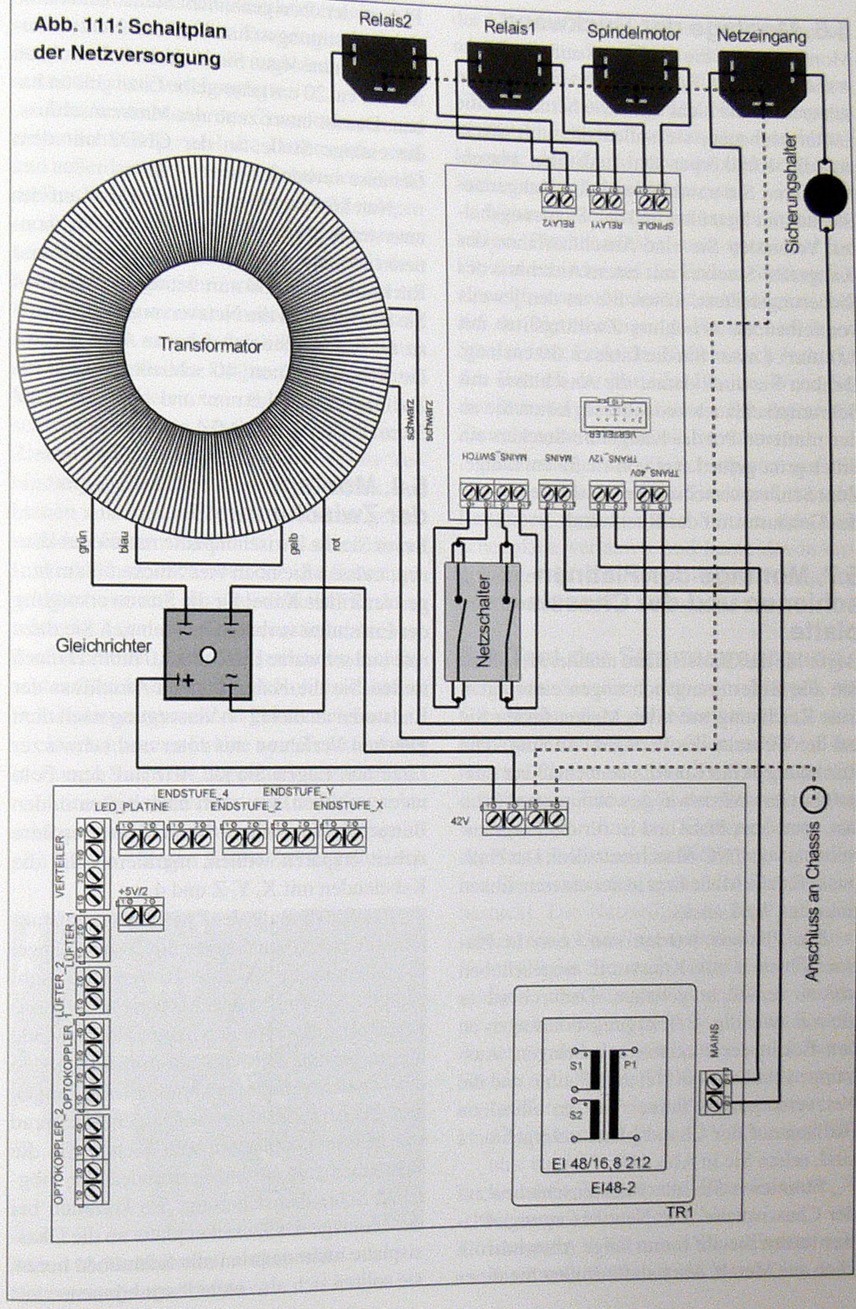


Abb. 110: Die verdrahtete Frontplatte. Beachten Sie, dass hier noch die Mikrofonbuchsen und fünf statt drei Relaisausgänge zu sehen sind.

Abb. 111: Schaltplan der Netzversorgung



5.6. Montage der Rückwand

Montieren Sie die Lüfter so auf die Rückwand, dass die Typenschilder ins Gehäuse schauen. Es ist nicht egal, wie herum Sie die Lüfter einbauen, sie sollen die Luft direkt auf die Kühlkörper der Endstufen blasen. Montieren Sie anschließend den Kaltgeräte-Stecker mit Netzfilter und den Sicherungshalter. Verbinden Sie eine Anschlussfahne des Kaltgeräte-Steckers mit einem Anschluss des Sicherungshalters. Löten Sie an den jeweils verbleibenden Anschluss Zwillingslitze mit 1,0-mm². Lassen Sie die Litze ca. 30 cm lang. Denken Sie auch daran, die Anschlüsse mit Schrumpfschlauch zu isolieren. Löten Sie an den mittleren Pol des Kaltgeräte-Steckers ein Stück grün-gelbe Litze von ca. 35 cm Länge. Zum Schluss verschrauben Sie die Seitenteile des Gehäuses mit der Rückwand.

5.7. Montage der Platinenschienen und der Chassisplatte

Bevor Sie die Chassisplatte montieren, sollten Sie alle Befestigungsbohrungen einbringen. Eine Zeichnung mit allen Maßen finden Sie auf der Webseite des Verlages (Anhang). Die Zeichnung ist mit Koordinatenbemaßung ausgeführt, das sieht etwas gewöhnungsbedürftig aus, spart aber Platz und ist für die Programmierung von CNC-Maschinen ideal. Der Nullpunkt für alle Maße liegt in der unteren, linken Ecke des Werkstücks.

Die Platinen werden von oben in Platinenschienen aus Kunststoff eingeschoben und so senkrecht gehalten. Dadurch ist es nicht notwendig, Befestigungsbohrungen an den Ecken der Platinen anzubringen. Ausnahmen sind nur die Netzteil-Platine und die Netzversorgungs-Platine. Wo die einzelnen Platinen auf der Chassisplatte untergebracht sind, sehen Sie in Abb. 100.

Montieren Sie alle Platinenschienen auf der Chassisplatte. Die Netzversorgungs-Platine setzen Sie auf 6 mm lange Abstandsröllchen aus Metall. Auch dafür finden Sie einen Plan an der oben genannten Stelle. Unter eine der Befestigungsschrauben der Netzversorgungs-Platine legen Sie einen Kabelschuh, an den Sie ca. 20 cm grün-gelbe Litze gelötet haben. Das ist unser zentraler Masseanschluss, die einzige Stelle, an der GND2 mit dem Gehäuse verbunden ist.

Nun können Sie die Chassisplatte auf der untersten Schiene zwischen die Seitenteile montieren. Der Abstand zwischen Chassisplatte und Rückwand sollte 30 mm betragen. Schließen Sie alle Kabel an die Netzversorgungs-Platine an. Orientieren Sie sich dabei an Abb. 111. An die Klemmen Trans_40 schließen Sie 30 cm Zwillingslitze à 1,0 mm² und an Trans_12V 30 cm Zwillingslitze à 0,4 mm² an.

5.8. Montage der Zwischenplatte

Bevor Sie die Zwischenplatte montieren können, müssen Sie noch vier Stücke 50 cm langes verdrilltes Kabel für die Stromversorgung der Endstufen vorbereiten. Nehmen Sie dazu rote und schwarze Litze mit 1,0 mm². Danach stellen Sie die Kabel für den Anschluss der Endstufen an die 42-V-Versorgung nach dem gleichen Verfahren aus roter und schwarzer Litze her. Legen Sie sie, wie auf dem Foto unten zu sehen, von vorn nach hinten in den Bereich der Endstufen. Wenn Sie sich spätere Arbeit ersparen wollen, markieren Sie die Kabelenden mit X, Y, Z und 4.

Für die Montage der Zwischenplatte brauchen Sie vier Abstandshalter mit 28 mm Länge. Ich habe mir die Teile aus 10-mm-Rundstahl gedreht (Aluminium oder Messing sind ebenso geeignet) und von beiden Seiten M5-Gewinde eingeschnitten. Die vier 6,4-mm-Bohrungen der Zwischenplatte bekommen Senkungen und die Abstandshalter befestigen Sie daran mit M5-Senkkopfschrauben. Ziehen Sie die Schrauben fest an und verwenden Sie möglichst Schraubensicherung. Sie kommen bei der Montage der Zwischenplatte an die Chassisplatte nicht mehr an alle Schrauben heran, sie sollten sich also nicht lösen können.

Schrauben Sie den Gleichrichter, die Anschlussklemme für den Transformator (eine doppelte Lüsterklemme) und den Transformator auf die Zwischenplatte.

Die Verdrahtung des Transformators ist etwas schwierig, weil die Drähte sehr steif und außerdem lackiert sind. Schneiden Sie die dicken Drähte mit den farbigen Isolierungen so ab, dass 5 cm übrig bleiben (doch, es muss sein!). Schneiden Sie die Isolierung mit dem Mini-Seitenschneider 2 cm zurück. Mit einem Universalmesser oder einem Skalpell kratzen Sie den Lack von den frei liegenden Drähten ab. Verlöten Sie die Drähte miteinander und löten Sie an den roten und den grünen Anschluss jeweils ein Stück Litze mit 2,0 mm². Ziehen Sie Schrumpfschlauch über die Verbindungsstellen und über den gelben und blauen Anschluss. Verbinden Sie den gelben und den blauen Anschluss mit einer dicken Lüsterklemme. Schieben Sie die Schrumpfschläuche so auf, dass kein blanker Draht zu sehen ist. Löten Sie die Litzenstücke, die vom Trafo kommen, an die Wechselstromanschlüsse des Gleichrichters. Die Anschlüsse sind im Schaltplan entsprechend gekennzeichnet.

Die schwarzen Drähte vom Transformator klemmen Sie in die doppelte Lüsterklemme.

Löten Sie an den Plus- und den Minus-Anschluss des Gleichrichters 50 cm Zwillingslitze à 2,0 mm². Legen Sie die Zwillingslitze von der Klemme Trans_12V der Netzversorgung nach vorn aus dem Gehäuse heraus.

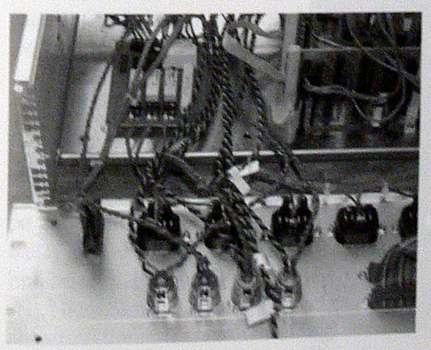


Abb. 112: Gehäuse mit eingebauter Netzversorgungs-Platine

Ziehen Sie die Zwillingslitze, die von den Klemmen Trans_40V der Netzversorgung kommt, durch das Loch an der Anschlussklemme des Transformators und schließen Sie sie an der Lüsterklemme an.

Nehmen Sie ein 30 cm langes Stück 10-adriges Flachbandkabel und quetschen Sie Pfostenverbinder auf die Enden. Stecken Sie einen Pfostenverbinder in den Wannenstecker auf der Netzversorgungs-Platine und legen Sie das freie Ende des Kabels nach rechts in den Bereich der Verteiler-Platine. Wenn Sie das jetzt vergessen, müssen Sie später die Zwischenplatte nochmals demontieren!

Stellen Sie die Zwischenplatte auf die Chassisplatte und achten Sie darauf, dass die Leitungen zwischen den Stützen der Zwischenplatte verlaufen und keine davon eingeklemmt ist. Schrauben Sie die Frontplatte provisorisch an die Seitenwände.

5.9. Test der Stromversorgung

Schließen Sie die Litze vom Pluspol des Gleichrichters an die Klemme 42V_1 und die vom Minuspol an die Klemme 42V_2 der Netzteil-Platine an. Die Zwillingslitze von der Klemme Trans_12V der Netzversorgung verbinden Sie mit der Klemme Mains auf der Netzteil-Platine. Die Sicherungshalter haben Sie mit den entsprechenden Sicherungen bestückt. Die Netzteilplatine liegt auf einer isolierenden Unterlage neben dem Gehäuse. Kontrollieren Sie noch einmal, ob alle Anschlüsse, die Netzspannung führen, berührungssicher isoliert sind. Verbinden Sie die Steuerung mit dem Stromnetz und schalten Sie ein. Mit einem Vielfachmessinstrument kontrollieren Sie folgende Spannungen:

1. 42 V Klemme1 Plus, 42 V Klemme2 Minus: ca. 42 V
2. Endstufe_X Klemme1 Plus, Endstufe_X Klemme2 Minus: ca. 42 V
3. Endstufe_Y Klemme1 Plus, Endstufe_Y Klemme2 Minus: ca. 42 V

4. Endstufe_Z Klemme1 Plus, Endstufe_Z Klemme2 Minus: ca. 42 V
5. Endstufe_4 Klemme1 Plus, Endstufe_4 Klemme2 Minus: ca. 42 V
6. LED_Platine Klemme1 Plus, LED_Platine Klemme2 Minus: 5 V
7. 5 V/2 Klemme1 Plus, 5 V/2 Klemme1 Minus: 5 V
8. Verteiler Klemme1 Plus, Verteiler Klemme4 Minus: 12 V
9. Verteiler Klemme2 Plus, Verteiler Klemme3 Minus: 5 V
10. Lüfter_1 Klemme1 Plus, Lüfter_1 Klemme2 Minus: 12 V
11. Optokoppler_1 Klemme1 Plus, Optokoppler_1 Klemme2 Minus: 5 V
12. Optokoppler_1 Klemme3 Plus, 5 V/2 Klemme2: 5 V
13. Optokoppler_2 Klemme1 Plus, Optokoppler_2 Klemme2 Minus: 5 V
14. Optokoppler_2 Klemme3 Plus, 5 V/2 Klemme2: 5 V

Sie finden ein Verzeichnis der Anschlüsse in Abb. 114.

Wenn alle okay ist, machen Sie bei 5.9. weiter, ansonsten müssen Sie die Platine noch einmal sorgfältig prüfen. Kontrollieren Sie auch, ob die 30-V-Wechselspannung am Gleichrichter anliegt und ob an den Klemmen der Mains 230 V Wechselspannung ankommen. Ansonsten stimmt etwas mit der Netzversorgung nicht. Auch eine der Sicherungen könnte defekt sein, kontrollieren Sie sie mit dem Ohmmeter. Denken Sie daran, den Netzstecker zu ziehen!

5.10. Test der Netzversorgung

Für den folgenden Test wäre es gut, wenn Sie sich eine Prüflampe bauen würden, z. B. aus einer Handlampe, an die Sie statt des normalen Steckers einen Kaltgeräte-Stecker anschließen. Den passenden Stecker finden Sie in der Stückliste „Sonstiges“. Weiter brauchen Sie sechs Stücke Schaltlitze à 0,14 mm², ca. 50 cm lang, an die sie jeweils an einem Ende ein etwa 10 mm langes Stückchen 0,6-mm-Draht anlöten. Verbinden Sie drei der freien Enden mit der Klemme 5V/2_1 und stecken Sie die Drahtstücke in Pin9, Pin7 und Pin4 des Pfostenverbinders, der von der Netzversorgungs-Platine kommt. Die anderen drei Litzen verbinden Sie mit der Klemme

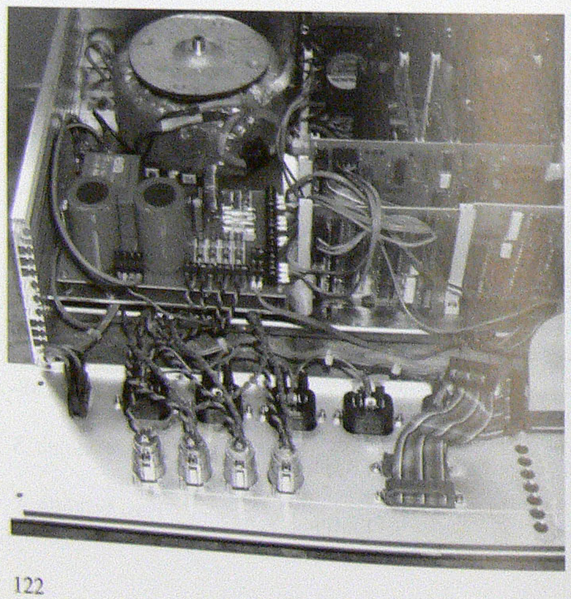


Abb. 113: Gehäuse mit eingebautem Netzteil

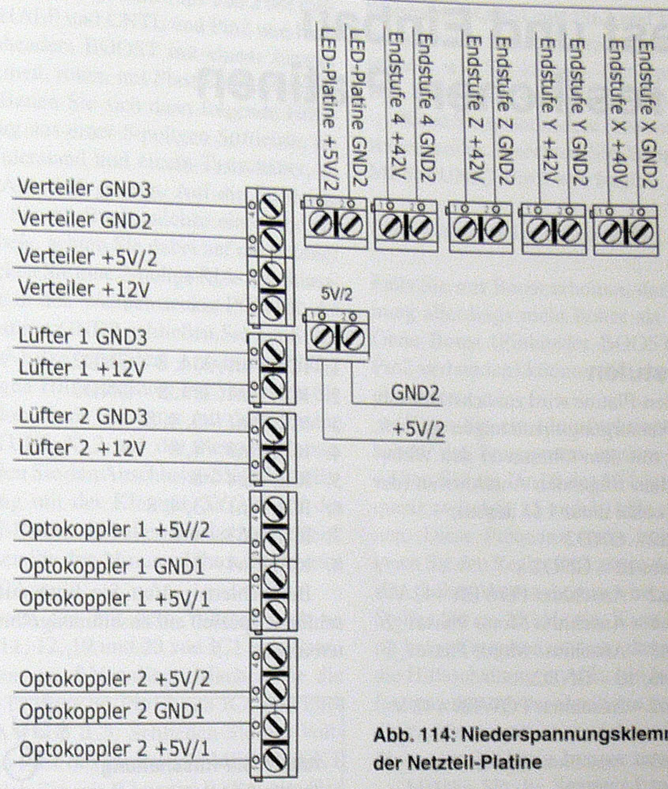


Abb. 114: Niederspannungsklemmen der Netzteil-Platine

5V/2_2 und stecken die Drahtstücke in Pin10, Pin2 und Pin3 des Pfostenverbinders. Stecken Sie die Prüflampe in den Anschluss Spindle. Wenn Sie jetzt die Netzspannung einschalten, sollte die Lampe aufleuchten. Entfernen Sie die Litze von Pin7 des Pfostenverbinders. Die Lampe muss erlöschen. Stecken Sie die Prüflampe in den Anschluss Relay1. Wenn Sie die Litze von Pin3 entfernen, muss die Lampe aufleuchten. Machen Sie das Gleiche mit Relay2 und Pin2. Funktioniert nicht alles, wie beschrieben, Netzstecker raus und kontrollieren. Niemals unter Spannung arbeiten! Wenn alles funktioniert, sind Sie mit dem Netzteil der Steuerung fertig und müssen es nur noch endgültig einbauen.

5.11. Einbau des Netzteils

Nehmen Sie die Frontplatte wieder ab. Befestigen Sie die Netzteil-Platine auf der Zwischenplatte, kürzen Sie die Anschlussleitungen und schließen Sie sie endgültig an. Die grün-gelbe Litze, die Sie mit einem Kabelschuh an einer der Befestigungsschrauben der Netzversorgungs-Platine angeklemmt haben, schließen Sie an die Klemme 42V_4 der Netzteil-Platine an. Die vier verdrillten Kabel zu den Endstufen sollten Sie jetzt auch an die Netzteil-Platine anschließen.

6. Test und Einbau der restlichen Platinen

6.1. Endstufen

Die Endstufen-Platine wird zunächst statisch, also ohne Versorgungsspannungen geprüft. Messen Sie mit dem Ohmmeter den Widerstand zwischen folgenden Anschlüssen (der Widerstand sollte unter 1 Ω liegen):

1. IC1, Pin2 – GND2
2. IC2, Pin6, 10 – GND2
3. IC2, Pin2 – Anschluss POWER +42 V
4. IC2, Pin1 – Anschluss Motor Phase1_2
5. IC2, Pin3 – Anschluss Motor Phase1_1
6. IC3, Pin6, 10 – GND2
7. IC3, Pin2 – Anschluss POWER +42 V
8. IC3, Pin1 – Anschluss Motor Phase2_2
9. IC3, Pin3 – Anschluss Motor Phase2_1
10. IC4, Pin7 – GND2
11. IC1, Pin13 – IC3, Pin10
12. IC1, Pin14 – IC2, Pin10
13. IC1, Pin4 – IC2, Pin5
14. IC1, Pin6 – IC2, Pin7
15. IC1, Pin7 – IC3, Pin5
16. IC1, Pin9 – IC3, Pin7
17. IC1, Pin5 – IC2, Pin11
18. IC1, Pin8 – IC3, Pin11
19. IC5, Pin1 – GND2

Benutzen Sie den Anschluss GND2 am Stecker POWER auf der Platine. Bei Fehlern prüfen Sie bitte auf unterbrochene Leiterbahnen und kalte oder fehlende Lötstellen.

Zwischen den folgenden Anschlüssen sollte der Widerstand unendlich sein oder im Megaohm-Bereich liegen:

1. IC2, Pin1, 3, 4, 8 – GND2
2. IC3, Pin1, 3, 4, 8 – GND2
3. IC2, Pin1 – 3, 4, 8
4. IC2, Pin3 – 4, 8
5. IC2, Pin4 – 8
6. IC3, Pin1 – 3, 4, 8
7. IC3, Pin3 – 4, 8
8. IC3, Pin4 – 8

Bei Fehlern prüfen Sie bitte auf Kurzschlüsse, speziell auf zusammengelötete Leiterbahnen.

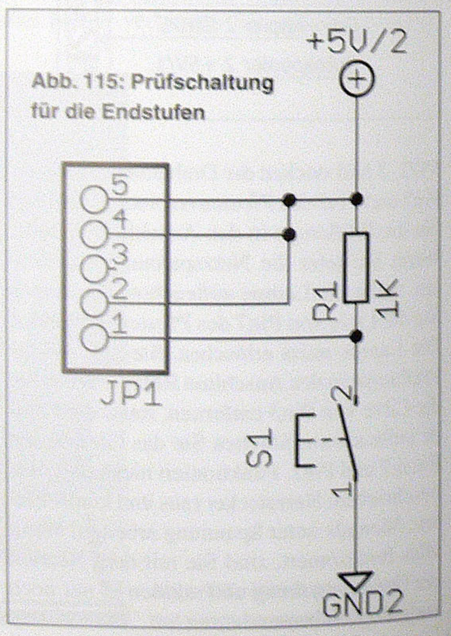


Abb. 115: Prüfschaltung für die Endstufen

Verbinden Sie jeweils Pin1 und 2 der Pinheader HALF und CNTL und Pin2 und Pin3 des Pinheaders BOOST mit einem Jumper (die kleinen, roten, mit Plastik ummantelten Teile). Bauen Sie sich dann folgende Hilfsschaltung aus einer 5-poligen Stiftleiste, einem Widerstand und einem Tastschalter, so wie in Abb. 115 gezeigt. Auf die Stiftleiste stecken Sie die Buchsenleiste eines Endstufen-Kabels, achten Sie dabei auf die Polung!

Stecken Sie eine 2-polige RIA-Anschlussklemme in den Wannenstecker POWER. An der Klemme GND2 schließen Sie ein Stück 1,0-mm²-Litze und den Anschluss GND2 der obigen Hilfsschaltung an. Verbinden Sie das andere Ende der Litze mit der Klemme ENDSTUFE_X_2 auf der Netzteil-Platine. Verbinden Sie den Anschluss +5V/2 der Hilfsschaltung mit der Klemme 5V/2_1 auf der Netzteil-Platine. Schalten Sie das Netzteil ein. Schließen Sie den Minuspol Ihres Messgeräts an GND2 an.

Messen Sie mit dem Voltmeter, ob an Pin10, 11, 12, 19 und 20 von IC1 eine Spannung von ca. 5 V anliegt. Machen Sie die gleiche Prüfung an Pin14 von IC4 und Pin4 und Pin 8 von IC5. Schließen Sie das Voltmeter an Pin1 des Pinheaders MESSPUNKT an. Stellen Sie mit R7 genau 0,88 V ein. Das entspricht einem Phasenstrom von etwas über 2 A in der Betriebsart Normal oder 4 A bei Boost und Halbschritt-Anhebung. Lässt sich die Spannung nicht einstellen, müssen Sie die Schaltung auf Fehler überprüfen.

Messen Sie dann die Spannung an Pin2 des Pinheaders MESSPUNKT. Hier sollten zwischen 0,45 und 0,7 V anliegen. Kleine Abweichungen sind okay, bei gröberen Abweichungen müssen Sie die Schaltung des Spannungsteilers kontrollieren. Stecken Sie dann einen Jumper auf den Pinheader SLEEP. Die Spannung an Pin 15 von IC1 sollte jetzt um die 0,2 V betragen. Wenn Sie jetzt den Schalter betätigen, sollte die Spannung kurz hochgehen und dann wieder auf 0,2 V abfallen. Stecken Sie jetzt die Jumper auf dem Pinheader BOOST auf Pin2 und Pin3. Betätigen Sie den Schalter kurz hintereinander so schnell, wie Sie können. Die Spannung an IC1, Pin15 sollte um die 0,5–0,8 V pendeln.

Wenn Sie später andere Phasenströme einstellen wollen, berechnen Sie die Spannung an MESSPUNKT Pin 1 wie folgt:

Phasenstrom (A) × 0,22 × 1,85.

Falls Sie mit Boost arbeiten, darf die Spannung allerdings nicht höher als 1,1 V sein. Ohne Boost (Pinheader BOOST Pin1 und Pin2 verbunden) können Sie maximal 1,4 V einstellen.

Wenn Sie ein Multifunktions-Messgerät haben, das Frequenzen messen kann, dann sollten Sie am Pin16 des IC1 jetzt eine Frequenz zwischen 15 und 30 kHz messen können. Diese Frequenz muss höher werden, wenn Sie den Regler R12 gegen den Urzeigersinn drehen. Anders herum wird sie niedriger. Stellen Sie ca. 25 kHz ein. Kann Ihr Messgerät keine Frequenz messen, dann sollten Sie die Hilfsschaltung in Abb. 136 benutzen, um festzustellen, ob der Oszillator schwingt. Bei diesen Messungen ist es wichtig, dass auf dem Pinheader OSC kein Jumper steckt!

Messen Sie die Spannung an IC1, Pin4. Es liegt entweder HI oder LO an. Wenn Sie jetzt den Schalter mehrmals betätigen, sollte sich das Signal an Pin4 auf den jeweils anderen Wert ändern. Sie haben mit dem Schalter Schrittimpulse erzeugt. Pin4 ist einer der vier Ausgänge des Translators im L297. Wenn Sie das Gleiche mit Pin6, 7 und 9 des IC1 machen, sollte auch hier der Pegel zwischen HI und LO wechseln. Theoretisch müssten Sie jetzt für jede Schalterbetätigung die Pegel an den vier Ausgängen des Translators aufschreiben können und ein wiederkehrendes Muster erkennen. In der Praxis klappt das leider nicht, weil der Schalter „prellt". Auf Grund seiner mechanischen Konstruktion gibt er nicht einen, sondern möglicherweise gleich eine ganze Anzahl von Impulsen ab, wenn

Sie ihn betätigen. Der Translator interpretiert nun jeden einzelnen Impuls als „Schritt" und schaltet seine Ausgänge weiter. Funktioniert das nicht, sollten Sie an Pin18 von IC1 messen, ob die Betätigung des Schalters überhaupt eine Wirkung zeigt.

Messen Sie an IC1 die Signale an Pin5 und Pin8. Liegt einer oder liegen beide Pins auf LO, dann sollte die Spannung an Pin15 ca. 0,68 V sein (Anhebung Halbschritt). Liegen Pin5 und Pin8 beide auf HI, sollten Sie ca. 0,47 V messen können (Normal). Durch mehrfaches Betätigen des Schalters können Sie die entsprechenden Zustände an den Pins 5 und 8 einstellen. Gelingt das nicht, dann einfach die Stromversorgung zur Platine kurz unterbrechen, danach sollte es gehen (den Netzstrom auszuschalten nützt nichts, die Kondensatoren halten die Spannung noch für mehrere Minuten!). Verhält sich die Schaltung nicht wie beschrieben, dann liegt der Fehler wahrscheinlich im Bereich IC4, R3, R13, Q3, R5 und R7.

Sind alle Prüfungen positiv verlaufen, sollte die Endstufe funktionieren. Nehmen Sie etwas Wärmeleitpaste und verteilen Sie sie dünn auf die Kühlflächen von IC2 und IC. Wärmeleitpaste ist nämlich kein besonders guter Wärmeleiter. Allerdings leitet sie Wärme besser als Luft und soll nur die mikroskopisch kleinen Lücken und Löcher zwischen IC und Kühlkörper ausfüllen. Montieren Sie dann den Kühlkörper auf 6 mm hohe Abstandsröllchen und befestigen sie die ICs mit den Klammern. Anschließend lösen Sie alle Befestigungsschrauben des Kühlkörpers leicht und ziehen sie anschließend wieder fest. Dadurch sollten sich die ICs richtig an den Kühlkörper anlegen.

Wenn Sie möchten, können Sie jetzt einen Motor und den Pluspol der 42-V-Versorgungsspannung anschließen. Bei Betätigung des Schalters sollte sich der Motor schrittweise drehen. Wenn Sie dann DIR nicht mit +5 V, sondern mit GND2 verbinden, dreht sich der Motor in die andere Richtung.

6.2. Verteiler

Bevor Sie mit dem Test der Verteiler-Platine beginnen, sollten Sie sich drei kurze Kabel anfertigen, zwei mit 26-poligen Pfostenverbindern und eins mit 10-poligem Pfostenverbinder an einem Ende. An das andere Ende löten Sie eine entsprechende Buchsenleiste.

Mit diesen Adapterkabeln können Sie die Ein- und Ausgangssignale zur Platine

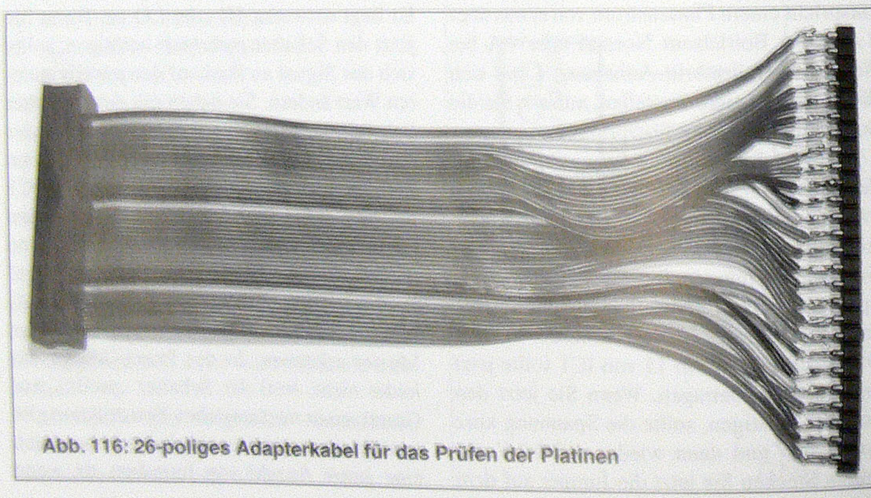


Abb. 116: 26-poliges Adapterkabel für das Prüfen der Platinen

bequemer messen und laufen nicht Gefahr, Kurzschlüsse zu erzeugen. Schließen Sie dann eine dünne Litze an +5V/2 und drei andere an GND2 an. An die freien Enden löten Sie jeweils ein kurzes, 0,6 mm dickes Drahtstück. Das sind Ihre Signale HI und LO. Bedingt durch die Konstruktion der Pfostenverbinder, zählen Sie an der Buchsenleiste die Pins aufsteigend mit 1, 2, 3, 4, 5 ... durch. Pin1 ist natürlich die rote Ader des Flachbandkabels.

6.2.1. Statische Prüfungen

Zunächst führen Sie die statischen Prüfungen mit dem Ohmmeter durch. Stecken Sie einen Adapter auf den Wannenstecker COMPUTER1 oder COMPUTER2, den 10-poligen Adapter jeweils auf die Wannenstecker ENDSTUFE_X bis ENDSTUFE_4, RELAIS und BEDIENPULT. Zwischen den folgenden Punkten sollten Sie weniger als 1 Ω messen:

9. COMPUTER1, Pin3 – ENDSTUFE_X, Pin2
10. COMPUTER1, Pin7 – ENDSTUFE_Y, Pin2
11. COMPUTER1, Pin11 – ENDSTUFE_Z, Pin2
12. COMPUTER1, Pin15 – ENDSTUFE_4, Pin2
13. COMPUTER1, Pin8 – RELAIS, Pin1
14. COMPUTER1, Pin6 – RELAIS, Pin2
15. COMPUTER1, Pin2 – RELAIS, Pin3
16. COMPUTER2, Pin25 – BEDIENPULT, Pin2
17. COMPUTER2, Pin4 – BEDIENPULT, Pin4

Messen Sie, ob die Anschlüsse SYNC (Pin3) und ENABLE (Pin4) der Pinheader ENDSTUFE_X bis ENDSTUFE_4 jeweils miteinander Verbindung haben. Messen Sie, ob Pin10 am Wannenstecker RELAIS und Pin1 am Wannenstecker BEDIENPULT Verbindung zu GND2 am Wannenstecker POWER haben. Bei Fehlern prüfen Sie bitte auf unterbrochene Leiterbahnen und auf kalte oder fehlende Lötstellen.

6.2.2. Referenzschalter, DIGI_PROBE, S_INDEX

Schließen Sie jetzt die Versorgungsspannung +5 V/2 an. Messen Sie mit dem Voltmeter, ob an den Anschlüssen +5V/2 (Pin6) der Wannenstecker ENDSTUFE_X bis ENDSTUFE_4 sowie RELAIS (Pin9) und BEDIENPULT (Pin8) eine Spannung von 5 V anliegt.

Stecken Sie den zweiten 26-poligen Adapter auf den Wannenstecker MASCHINE. Bei den jetzt folgenden Messungen stecken Sie die Litze, die mit GND2 verbunden ist, nacheinander in die folgenden Anschlüsse der Buchsenleiste des Adapters in MASCHINE und messen am Adapter in COMPUTER1 und COMPUTER2 die Signale, die jeweils von LO auf HI wechseln müssen:

18. MASCHINE, Pin11 – COMPUTER1, Pin25
19. MASCHINE, Pin13 – COMPUTER1, Pin23
20. MASCHINE, Pin15 – COMPUTER1, Pin19
21. MASCHINE, Pin17 – COMPUTER1, Pin4
22. MASCHINE, Pin25 – COMPUTER2, Pin21
23. MASCHINE, Pin2 – COMPUTER2, Pin23

Bei Fehlern suchen Sie im Bereich von IC7, IC8, RN1, RN2, RN3, RN4, RN5.

6.2.3. ENABLE

Stecken Sie einen Adapter in den Wannenstecker BEDIENPULT und legen Sie LO auf /RESET (Pin6). Stecken Sie einen Adapter in den Wannenstecker MASCHINE und legen Sie LO auf ESTOP_2_SW (Pin4). Stecken Sie einen Jumper auf ENABLE_SELECT, Pin1 und Pin2, sowie auf ESTOP_1, Pin1 und Pin2. Messen Sie, ob am Messpunkt ENABLE das Signal HI anliegt. Wenn nicht, prüfen Sie Folgendes: IC6, Pin8 muss HI sein, sonst stimmt etwas mit dem Pinheader ENABLE_SELECT nicht. IC6, Pin10 muss LO sein, sonst stimmt etwas mit IC6 nicht. IC5, Pin6 muss LO sein,

sonst ist entweder Pin6 am Stecker BEDIENPULT nicht auf LO oder der Fehler steckt im Bereich des IC2. Ist trotz allem das Signal ENABLE nicht HI, ist der Fehler im Bereich von IC5 zu suchen.

Stecken Sie jetzt die Jumper auf den Pinheader ENABLE_SELECT, Pin2 und Pin3. Legen Sie HI auf COMPUTER2, Pin5. Das Signal ENABLE muss jetzt HI sein. Legen Sie COMPUTER2, Pin5 auf LO. ENABLE muss jetzt LO sein. Einen Fehler suchen Sie im Bereich von IC6.

6.2.4. Not-Aus-Logik

Zum Prüfen der Not-Aus-Logik schließen Sie das Voltmeter an den Stecker ENABLE, Pin1 an. Stecken Sie einen Jumper auf Pin1 und Pin2 des Pinheaders ENABLE_SELECT. Legen Sie Pin4 des Steckers MASCHINE auf LO. Legen Sie Pin6 des Steckers BEDIENPULT kurz auf LO. Das Voltmeter soll jetzt HI zeigen (das Flip-Flop IC2 ist jetzt zurückgesetzt). Nehmen Sie LO von Pin4 des Steckers MASCHINE weg. Das Voltmeter soll LO zeigen (das Flip-Flop ist gesetzt). Legen Sie Pin4 des Steckers MASCHINE wieder auf LO. Das Voltmeter soll weiterhin LO zeigen, weil das Flip-Flop gesetzt bleibt. Wenn Sie jetzt Pin6 des Steckers BEDIENPULT wieder kurz auf LO legen, wird das Flip-Flop zurückgesetzt und das Voltmeter zeigt HI.

Stecken Sie einen Jumper auf Pin2 und Pin3 des Pinheaders E_OFF_SELECT. Gehen Sie dann den Absatz Not-Aus-Logik noch einmal durch, messen aber das Signal an Pin21 des Steckers COMPUTER1. Das dort anliegende Signal /E_OFF sollte das gleiche Verhalten wie ENABLE zeigen, sonst liegt der Fehler im Bereich von IC5.

Stecken Sie den Jumper des Pinheaders E_OFF_SELECT auf Pin1 und Pin2. Legen Sie LO auf Pin4 des Steckers MASCHINE und auf Pin6 des Steckers BEDIENPULT. Messen Sie das Signal /E_OFF an Pin21 des Steckers COMPUTER1, es sollte jetzt HI sein. Wenn Sie jetzt nacheinander Pin19, 21 und 23 am Stecker MASCHINE auf LO legen, muss /E_OFF jedes Mal von HI nach LO wechseln. Führen Sie den gleichen Vorgang noch einmal durch, messen Sie aber das Signal LIMIT an Pin19 des Steckers COMPUTER2; dieses Signal muss das umgekehrte Verhalten von /E_OFF zeigen.

6.2.5. Steuerung Spindelmotor

Um die Steuerung des Spindelmotors zu prüfen, muss das Signal ENABLE auf HI liegen (siehe oben). Verbinden Sie dann das Ohmmeter mit Pin1 und Pin7 des Steckers MASCHINE. Der angezeigte Widerstand muss unendlich sein. Legen Sie Pin1 des Steckers COMPUTER1 auf HI. Das Ohmmeter sollte jetzt einen sehr niedrigen Widerstand von wenigen Ohm anzeigen. Anschließend verbinden Sie das Ohmmeter mit Pin1 und Pin9 des Steckers MASCHINE. Wenn Sie jetzt Pin7 des Steckers COMPUTER2 auf HI legen, sollte auch hier der Widerstandswert sehr niedrig sein.

Zum Abschluss prüfen wir die Drehzahlregelung für den Spindelmotor. Schließen Sie dazu GND3 und +12V am Netzteil an. Messen Sie die Spannung am Messpunkt 1 (gleich neben dem Wannenstecker POWER) gegen GND3. Stellen Sie mit R7 eine Spannung von ca. 11 V ein. Verbinden Sie den Pluspol des Voltmeters mit Messpunkt 2 und den Minuspol mit Messpunkt 3. Legen Sie Pin3 des Steckers COMPUTER2 auf LO. Stellen Sie die Spannung mit R5 auf ca. 0 V ein. Verbinden Sie das Voltmeter wieder mit Messpunkt 1 und GND3. Stellen Sie mit R7 die niedrigstmögliche Spannung ein. Wenn keine Veränderung mehr eintritt, drehen Sie R7 zurück, bis die Spannung gerade wieder ansteigt. Legen Sie HI auf Pin3 am Stecker COMPUTER2. Drehen Sie R7 hinein, bis sie eine Spannung von ca. 10 V messen. Mit dieser Grundeinstellung ist bewiesen, dass die Schaltung funktioniert. Die genaue Einstellung führen Sie durch, wenn der Computer angeschlossen ist. Sollte die Schaltung nicht wie beschrieben funktionieren, dann

sind die Fehler im Bereich von IC7, OK1 und IC3 zu suchen.

6.3. Optokoppler

Stecken Sie je einen der Adapter, die Sie für die Prüfung der Verteiler-Platine angefertigt haben, auf die Wannenstecker COMPUTER und VERTEILER. Den Anschluss GND2 werden Sie am Wannenstecker POWER nicht finden. Das liegt daran, dass die Optokoppler-Platine über den Wannenstecker VERTEILER mit GND2 auf der Verteiler-Platine verbunden ist. Wenn Sie die Optokoppler-Platine allein prüfen, liegt GND2 deshalb auf den Pins 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24 und 26 des Wannensteckers VERTEILER.

Schließen Sie je ein Stück Litze an GND1 und GND2 an. Löten Sie ein 0,6-mm-Drahtstück an das freie Ende. Legen Sie die Versorgungsspannungen +5 V/1 und +5 V/2 sowie GND1 über den Stecker POWER und GND2 über den Stecker VERTEILER an die Platine.

Bei den jetzt folgenden Messungen stecken Sie die Litze, die mit GND1 verbunden ist, nacheinander in die folgenden Anschlüsse der Buchsenleiste des Adapters in COMPUTER und messen am Adapter in VERTEILER gegen GND2 die Signale, die jeweils von HI auf LO wechseln müssen:

24. COMPUTER, Pin1 – VERTEILER, Pin1
25. COMPUTER, Pin3 – VERTEILER, Pin3
26. COMPUTER, Pin5 – VERTEILER, Pin5
27. COMPUTER, Pin7 – VERTEILER, Pin7
28. COMPUTER, Pin9 – VERTEILER, Pin9
29. COMPUTER, Pin11 – VERTEILER, Pin11
30. COMPUTER, Pin13 – VERTEILER, Pin13
31. COMPUTER, Pin15 – VERTEILER, Pin15
32. COMPUTER, Pin17 – VERTEILER, Pin17
33. COMPUTER, Pin2 – VERTEILER, Pin2
34. COMPUTER, Pin6 – VERTEILER, Pin6
35. COMPUTER, Pin8 – VERTEILER, Pin8

Jetzt stecken Sie nacheinander wechselseitig die Litze, die mit GND2, und die Litze, die mit +5V/2 verbunden ist, in die folgenden Anschlüsse der Buchsenleiste des Adapters in VERTEILER. Messen Sie am Adapter in COMPUTER gegen GND1 die Signale, die bei GND2 LO und bei +5V/2 HI sein müssen:

36. VERTEILER, Pin19 – COMPUTER, Pin19
37. VERTEILER, Pin21 – COMPUTER, Pin21
38. VERTEILER, Pin23 – COMPUTER, Pin23
39. VERTEILER, Pin25 – COMPUTER, Pin25
40. VERTEILER, Pin4 – COMPUTER, Pin4

6.4. LED-Anzeigen

Fertigen Sie ein ca. 20 cm langes, 26-poliges Flachbandkabel mit Pfostenverbindern an den Enden an. Verbinden Sie damit den Stecker VERTEILER auf der LED-Platine mit dem Stecker LED-ANZEIGE auf der Verteiler-Platine. Stecken Sie je einen Adapter auf die Stecker COMPUTER1 und MASCHINE der Verteiler-Platine. Schließen Sie dann eine dünne Litze an +5V/2 und eine andere an GND2 der Verteiler-Platine an. An die freien Enden löten Sie jeweils ein kurzes, 0,6 mm dickes Drahtstück. Das sind Ihre Signale HI und LO. Verbinden Sie die Verteiler-Platine und die LED-Platine mit dem Netzteil. Stellen Sie sicher, dass das Signal ENABLE auf der Verteiler-Platine HI ist. Nach dem Einschalten des Stroms sollen die LED POWER und ENABLE leuchten. Nehmen Sie LO von Pin4 des Steckers MASCHINE weg. ENABLE muss verlöschen und ESTOP angehen. Legen Sie Pin4 wieder auf LO. Legen Sie nacheinander die folgenden Pins einmal auf HI und einmal auf LO. Die zugehörige LED muss aufleuchten, wenn das in Klammern gesetzte Signal anliegt:

41. MASCHINE, Pin11 (LO) – REF_X
42. MASCHINE, Pin13 (LO) – REF_Y

43. MASCHINE, Pin15 (LO) – REF_Z
44. MASCHINE, Pin17 (LO) – REF_4
45. MASCHINE, Pin19 (LO) – LIMIT
46. MASCHINE, Pin21 (LO) – LIMIT
47. MASCHINE, Pin23 (LO) – LIMIT
48. MASCHINE,
    Pin25 (LO) – DIGI_PROBE
49. COMPUTER1, Pin2 (HI) – RELAY1
50. COMPUTER1, Pin6 (HI) – RELAY2
51. COMPUTER1, Pin8 (HI) – RELAY3
52. COMPUTER1, Pin1 (HI) – SPINDLE
53. COMPUTER2,
    Pin7 (HI) – SPINDLE_CCW

Wenn Sie Fehler feststellen, dann trennen Sie die Verbindung zur Verteiler-Platine und legen Sie den entsprechenden Pin am Stecker auf der LED-Platine auf HI. Die zugehörige LED muss aufleuchten. Reagieren die LED richtig, liegt das Problem auf der Verteiler-Platine (vermutlich eine kalte Lötstelle oder unterbrochene Leiterbahn). Ist das Problem auf der LED-Platine, dann messen Sie die Ausgänge der ICs V1 und V2, während Sie die Eingänge auf HI oder LO legen. Die Bausteine invertieren nicht, HI am Eingang erzeugt HI am Ausgang. Eingang und Ausgang liegen sich immer gegenüber. Ist auch hier alles in Ordnung, dann haben Sie vermutlich die LED falsch herum eingelötet.

6.5. Maschinen-Schnittstelle

Auf dieser einseitigen Platine gibt es keine aktiven Bauelemente, deshalb sollte eine sorgfältige Prüfung aller Leiterbahnen und Lötstellen mit der Lupe genügen.

6.6. Einbau der Platinen und Verkabelung

Die restliche Verkabelung sollte Ihnen rasch von der Hand gehen. Eine Liste der notwendigen Kabel finden Sie im Anhang. Beginnen Sie mit den Endstufen und verbinden Sie die vorbereiteten, auf die richtige Länge gekürzten Kabel für Stromversorgung und Motoranschluss mit den entsprechenden RIA-Anschlussklemmen. Machen Sie die Kabel nicht zu kurz, Sie können sonst unter Umständen die Platinen nicht mehr in die Führungen stecken. Achten Sie unbedingt auf die richtige Polung aller Anschlüsse, kontrollieren Sie lieber dreimal! Schließen Sie die Lüfter an und achten Sie auch hier auf die Polung. Einen Lüfteranschluss müssen Sie vermutlich verlängern. Es folgen die Stromversorgungsanschlüsse für die restlichen Platinen mit 0,4-mm²-Zwillingslitze; auch hier die Leitungen nicht zu kurz machen. Stecken Sie dann alle Platinen in die Führungen und fertigen Sie die notwendigen Flachbandkabel an, mit denen Sie die Platinen verbinden.

Wenn Sie noch keine Maschine haben, sollten Sie die Maschinen-Schnittstelle mit Schaltern und Lichtschranken bestücken und mit einem DB25-Verlängerungskabel mit der Steuerung verbinden. Wichtig ist, dass die Kontakte des Notschalters geschlossen sind, sonst bleibt die Steuerung abgeschaltet. Sie brauchen auch einen Tastschalter, den Sie an Pin1 und Pin6 des Steckers BEDIENPULT anschließen. Wenn nach dem Einschalten der Steuerung ESTOP leuchtet, sollte ein Druck auf diesen Reset-Taster genügen, um die Steuerung bereit zu machen.

Ein Wort noch zu den DB25-Verlängerungskabeln: Weil es Verlängerungskabel sind, ist die Abschirmung des Kabels an beiden Enden mit den Steckverbindern verbunden. Das ist für unsere Zwecke nicht richtig. Die Abschirmung von Kabeln darf nur an einer Seite mit dem Gehäuse und damit mit der Schutzerde verbunden sein, andernfalls bilden sich so genannte Erdschleifen. Um das zu vermeiden, öffnen Sie an einem Ende den Stecker (nicht die Plastiknasen abbrechen!), am besten geht das mit zwei Uhrmacherschraubenziehern gleichzeitig. Kneifen Sie dann die Verbindung zwischen Abschirmung und Steckergehäuse durch und Sie schließen den Stecker wieder. Machen Sie das nur an einem Ende!

Ein interessanter Punkt sind die Anschlusskabel für die Schrittmotoren. Nach der reinen Lehre sollten diese Kabel abgeschirmt sein,

deshalb habe ich bei meiner Steuerung auch Mikrofonstecker verwendet. Allerdings musste ich die Erfahrung machen, dass die Endstufen, die vorher einwandfrei funktioniert hatten, mit den abgeschirmten Kabeln nicht mehr funktionierten. Der Grund waren wilde Schwingungen in den Endstufen, verursacht durch die Kapazität der Abschirmungen (das ist zumindest meine Vermutung). Nach dem Wechsel der Kabel funktionierte alles wieder einwandfrei.

7. Installation der Software „Mach3“ und Inbetriebnahme

7.1. Anforderungen an die Systemsoftware

Um Ihre Fräsmaschine in Echtzeit unter Windows steuern zu können, benötigt „Mach3“ möglichst alle Ressourcen Ihres Computers. Ideal ist es, wenn Sie auf Ihrem Rechner eine zweite, bootfähige Partition einrichten können, die nur für „Mach3“ und eventuell eine CAD/CAM-Software reserviert ist. Auf dieser Partition schalten Sie alles ab, was nicht für den Betrieb von „Mach3“ nötig ist, speziell sämtliche Internet- und Netzwerk-Dienste. Aus dieser Partition sollte der Rechner auch keinen Internet-Zugang haben, damit Sie keine Virenschutz-Software benötigen, die ja im Hintergrund läuft und erhebliche Systemressourcen frisst.

Weil eine Anleitung für Einrichten und „Aufräumen“ der Partition für „Mach3“ den Umfang dieses Buches sprengen würde, behandle ich dieses Thema und die weitergehende Konfiguration von „Mach3“ im nächsten Band dieser Reihe über CNC-Technik, der vom mechanischen Aufbau der Fräsmaschinen handelt. In diesem Kapitel werde ich die Konfiguration der Software nur so weit zeigen, dass Sie die Steuerung einstellen und testen können. Die Benutzung von „Mach3“, das Schreiben und Generieren von Fräsprogrammen sowie die konkrete Herstellung von Werkstücken behandle ich im dritten Band dieser Reihe.

7.2. Installation von „Mach3“

Laden Sie sich zunächst die neueste Version der Software von der Website http://www.artofcnc.ca herunter. Sie finden die Software im Download-Bereich. Dort finden Sie auch die englische Dokumentation. Wenn Sie später die Software im Einsatz haben, sollten sie regelmäßig jeden Monat einmal nachsehen, ob es eine neue Version gibt. Ende 2005 hat die Software das Beta-Stadium verlassen. Erfahrungsgemäß gibt es in der ersten Zeit nach dem offiziellen Release (der Veröffentlichung) der Software häufig Verbesserungen und Bug-Fixes. Sie müssen die Software jetzt noch nicht kaufen, für die ersten Tests und kleineren Projekte reicht die Demo-Version völlig aus.

Speichern Sie das Installationspaket auf Ihrer Festplatte. Danach klicken Sie doppelt auf die EXE-Datei und folgen den Installationsanweisungen. Am Ende der Installation werden Sie aufgefordert, Ihren Rechner neu zu booten. Wenn Sie das unterlassen, werden Sie Schwierigkeiten bekommen, deshalb: Booten Sie jetzt.

Der Grund dafür ist, dass zusätzlich zu „Mach3“ eine spezielle Treibersoftware installiert wurde, welche die Ausgabe der Schrittimpulse über die Druckerschnittstelle möglich macht (siehe Abschnitt 1.7). Um sich in Windows integrieren zu können, braucht der Treiber den Re-Boot. Andernfalls wird Ihr System abstürzen und Sie müssen den Treiber manuell entfernen.

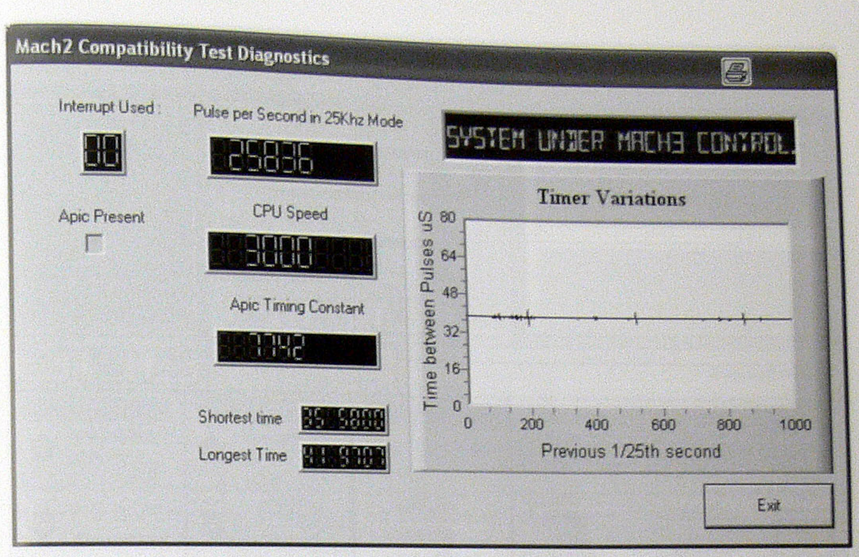


Abb. 117: Bildschirmanzeige während des Treibertests

Nach der Installation testen Sie zunächst das System. Rufen Sie dazu „DriverTest.exe“ auf. Sie finden das Programm im „Mach3“-Ordner. Anschließend sollten Sie ein Bild wie in Abb. 117 sehen. Wenn die Anzeige „Pulse per Second“ eine Zahl um die 25.000 zeigt, ist alles in Ordnung. Sie können dem Test weiter zusehen, er endet nach einiger Zeit automatisch, oder Sie verlassen ihn über „Exit“. Sehen Sie dieses Bild nicht oder bekommen Sie Fehlermeldungen, dann greifen Sie bitte auf die „Mach3“-Dokumentation zurück.

7.3. Treiber-Test nach Softwarefehler

Sollte „Mach3“ aus irgendeinem Grund „abstürzen“, müssen Sie innerhalb von zwei Minuten den Treiber-Test noch einmal durchführen. Andernfalls könnte Ihr ganzes System den Dienst verweigern.

7.4. Konfiguration

Die Reihenfolge der Konfiguration, so wie ich sie beschreibe, scheint mir die sinnvollste zu sein. Sie sollten auch so vorgehen. Beachten Sie bitte auch, dass Sie bei allen Werten mit Nachkommastellen den Punkt statt des Kommas eingeben müssen. Das liegt daran, dass „Mach3“ aus dem angelsächsischen Sprachraum stammt. Das jetzt folgende Konfigurationsbeispiel geht davon aus, dass Sie alle Funktionen der Steuerung nutzen. Die Jumper stecken Sie wie folgt auf die Pinheader des Verteilers:

- ENABLE_SELECT, Pin2 und Pin3
- E_OFF_SELECT, Pin2 und Pin3
- ESTOP_1, Pin1 und Pin2
- Nehmen Sie die Brücke zwischen den JP1, Pin25 und JP12, Pin25 auf dem Rangierfeld heraus

Starten Sie jetzt „Mach3“, indem Sie auf das Icon „Mach3Mill“ klicken. Nach dem Programmstart sehen Sie das Bild aus Abb. 118.

Uns interessiert im Moment nur die Konfiguration der Software. Klicken Sie auf „Config / Select Native Units“. Ein Hinweis erscheint, den Sie mit okay bestätigen.

Im folgenden Fenster wählen Sie „MM“ und bestätigen mit okay. Damit haben Sie eingestellt, dass alle Werte für die Konfigu-

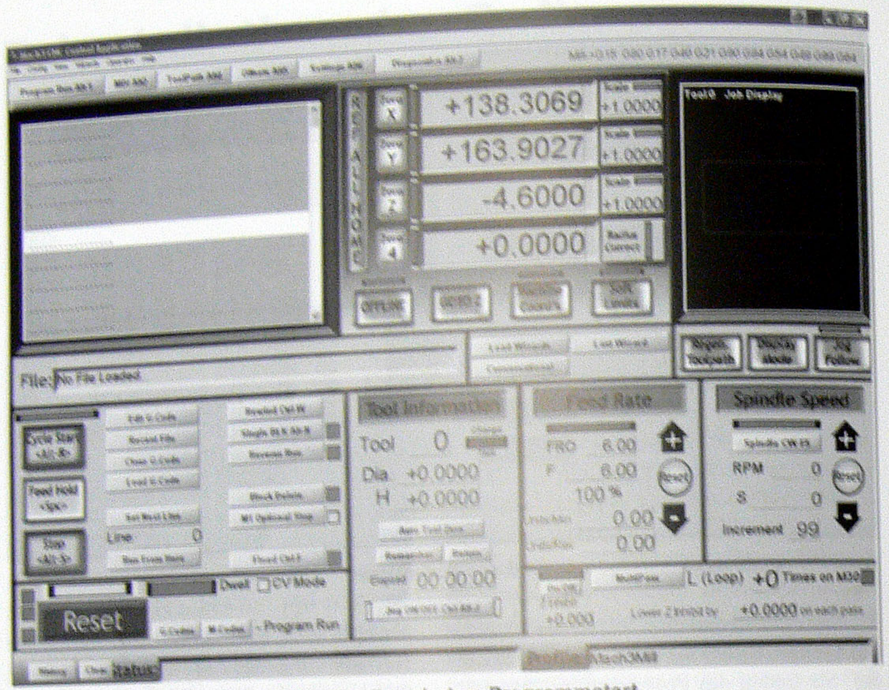


Abb. 118: Der Bildschirm „Program Run" nach dem Programmstart

ration der Motoren und Achsen in Millimeter eingegeben werden.

7.4.1. Druckerport-Adressen (Port Setup and Axis Selection)

Wählen Sie „Config / Ports and Pins". Der jetzt folgende Konfigurationsdialog hat mehrere Unterpunkte. Wir beschäftigen uns zunächst mit „Port Setup" and „Axis Selection". Die wichtigste Einstellung sind hier die Adressen der Druckerports, über die „Mach3" mit Ihrer Steuerung kommuniziert. Dabei entspricht Port#1 der Schnittstelle COMPUTER1 und Port#2 der Schnittstelle COMPUTER2 der Steuerung. Wenn Sie nur mit einer Computer-Schnittstelle arbeiten, brauchen Sie Port#2 natürlich nicht.

Die Port-Adressen finden Sie so heraus: Klicken Sie „Start / Systemsteuerung / System / Hardware / Geräte-Manager". Sie sehen jetzt den Dialog aus Abb. 120.

Expandieren Sie den Baum Anschlüsse (COM und LPT), indem Sie auf das Plus-Zeichen klicken. Klicken Sie doppelt auf „Druckeranschluss" (LPT1) und in dem sich öffnenden Dialog auf den Reiter „Ressourcen".

Die erste Zahl, die Sie links unter „Einstellung" sehen, ist die Portadresse. Nutzen Sie eine zweite Druckerschnittstelle, dann wiederholen Sie den Vorgang dafür. Durch die Installation weiterer Schnittstellenkarten können sich diese Adressen nachträglich ändern. Sollte die Steuerung einmal nicht mehr funktionieren, könnte das die Ursache sein.

Tragen Sie die Portadressen in die Dialogfelder ein. Das Präfix „0x" und die führende Null der Adresse lassen Sie weg. Als „Kernel Speed" reichen bei Schrittmotoren in aller Regel 25.000 Hz aus. Benutzen Sie noch die Demo-Version, können sie sowieso keinen anderen Wert wählen. Mehr gibt

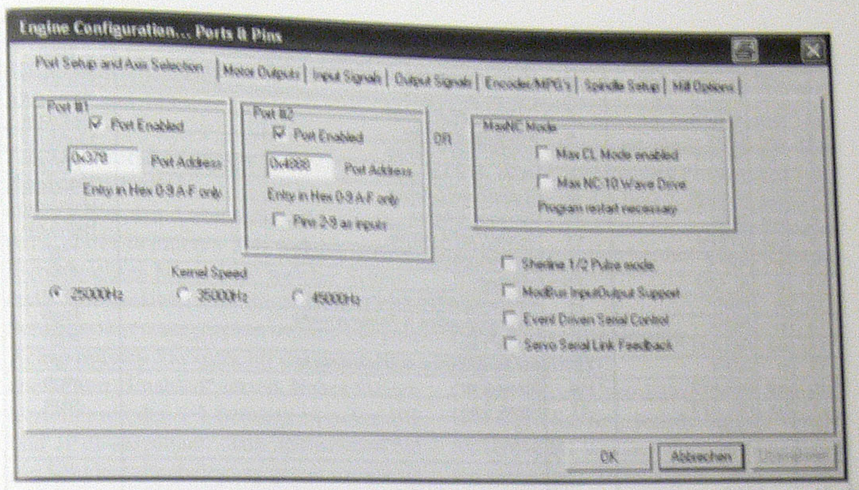


Abb. 119: Der Dialog zur Einstellung der Druckerport-Adressen (Port Setup and Axis Selection)

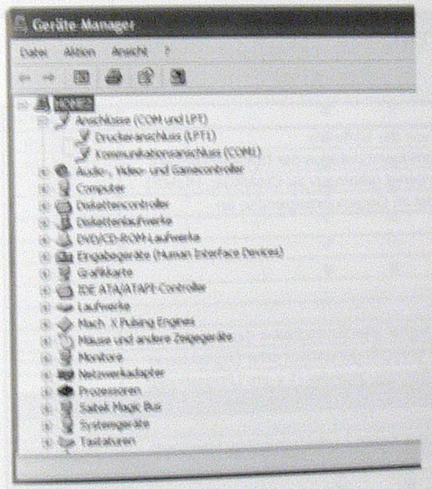


Abb. 120: Der Geräte-Manager in Windows

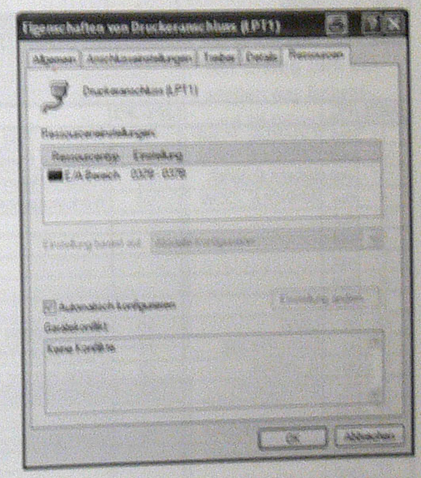


Abb. 121: Anzeige der Portadresse 0378 für LPT1

es in diesem Unterdialog nicht einzugeben, deshalb klicken Sie jetzt auf „Übernehmen". Tun Sie das nicht, werden Ihre Eingaben von „Mach3" nicht gespeichert. Das gilt auch für die anderen Dialoge.

7.4.2. Belegung der Druckerschnittstellen

Für die jetzt folgenden Dialoge brauchen Sie die Belegung der Schnittstellen, wie sie in der Steuerung vorgesehen ist. Haben Sie

DB25	PC		JP1/JP2		Wahr wenn
1	out	SPINDLE_CW	3	Werkzeugspindel im Uhrzeigersinn an	High
2	out	DIRX	4	Richtung X-Achse	High/Low
3	out	STEPX	5	Schritt-Takt X-Achse	High/Low
4	out	DIRY	6	Richtung Y-Achse	High/Low
5	out	STEPY	7	Schritt-Takt Y-Achse	High/Low
6	out	DIRZ	8	Richtung Z-Achse	High/Low
7	out	STEPZ	9	Schritt-Takt Z-Achse	High/Low
8	out	DIR4	10	Richtung 4-Achse	High/Low
9	out	STEP4	11	Schritt-Takt 4-Achse	High/Low
10	in	REFZ	12	Referenzposition Z-Achse erreicht	High
11	in	/E_OFF	13	Not-Aus	Low
12	in	REFY	14	Referenzposition Y-Achse erreicht	High
13	in	REFX	15	Referenzposition X-Achse erreicht	High
14	out	RELAY1	1	Relais 1 an	High
15	in	REF4	2	Referenzposition 4-Achse erreicht	High
16	out	RELAY2	16	Relais 2 an	High
17	out	RELAY3	17	Relais 3 an	High
18		GND			
19		GND			
20		GND			
21		GND			
22		GND			
23		GND			
24		GND			
25		GND			

Abb. 122: Belegung der Schnittstelle COMPUTER1

DB25	PC		JP1/JP2		Wahr wenn
1	out	CHARGE_PUMP	18	12,5 KHz-Takt von der Software	High/Low
2	out	SPINDLE_PWM	19	Signal für Pulsbreitenmodulation der Spindeldrehzahl	High/Low
3	out	ENABLE_OUT	25	Steuersoftware bereit (alternativ zu CHARGE_PUMP)	High
4	out	SPINDLE_CCW	26	Werkzeugspindel im Gegenuhrzeigersinn an	High
5	out				
6	out				
7	out				
8	out				
9	out				
10	in	LIMIT	20	Gemeinsames Signal aller Endschalter der Achsen	High
11	in	DIGI_PROBE	21	Signal vom Werkzeuglängensensor oder Digitalisierer	High
12	in	S_INDEX	22	Signal von der Werkzeugspindel (1 x pro Umdrehung)	High
13	in	ENCODER1	23	Quadratur-Encoder Kanal 1 (elektronisches Handrad)	High/Low
14	out				
15	in	ENCODER2	24	Quadratur-Encoder Kanal 2 (elektronisches Handrad)	High/Low
16	out				
17	out				
18		GND			
19		GND			
20		GND			
21		GND			
22		GND			
23		GND			
24		GND			
25		GND			

Abb. 123: Belegung der Schnittstelle COMPUTER2

den Verteiler mit den 1:1-Brücken zwischen JP1 und JP12 aufgebaut, dann entspricht die Schnittstellenbelegung den Tabellen in Abb. 122 und 123.

7.4.3. Motor-Ausgänge (Motor Outputs)

Öffnen Sie den Unterdialog „Motor Outputs". Hier definieren Sie, welche Achsen Ihre Maschine hat und auf welcher Schnittstelle und welchen Pins die Signale für die Schrittmotoren ausgegeben werden. Für jede Achse müssen Sie zunächst das grüne Häkchen unter „Enabled" setzen. Haben Sie den Verteiler mit den 1:1-Brücken zwischen JP1 und JP12 aufgebaut, dann übernehmen Sie die Schnittstellenbelegung genau so, wie sie in Abb. 124 gezeigt wird. Die A-Axis entspricht der Achse 4. Ist Ihr Spindelmotor über einen Frequenzumrichter angeschlossen und regeln Sie die Spindeldrehzahl über „Mach3", dann müssen Sie „Spindle" auf „Enabled" setzen und unter „Spindle Step Pin#" den entsprechenden Pin angeben – bei 1:1-Brücken ist das Port 2, Pin 2. Lassen Sie „Step Low Active" auf rot, sonst funktioniert die Regelung falsch herum! Klicken Sie auf „Übernehmen".

7.4.4. Eingangssignale (Input Signals)

Öffnen Sie den Unterdialog „Input Signals". Hier legen Sie fest, welche Signale von der Steuerung auf welchen Pins der Schnittstellen ankommen. Jedes Signal, das verwendet wird, müssen Sie zunächst auf „Enabled" set-

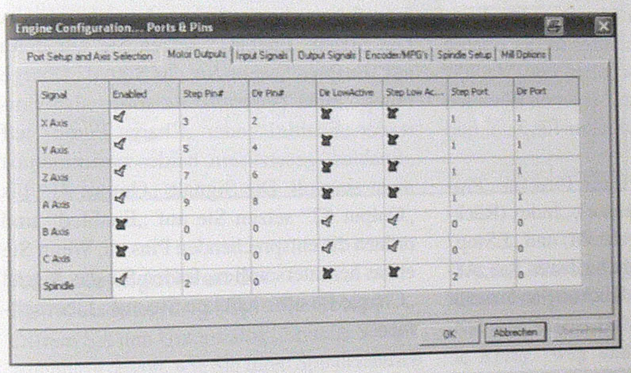


Abb. 124: Der Dialog zum Einstellen der Schritt- und Richtungssignale für die Motoren (Motor Outputs)

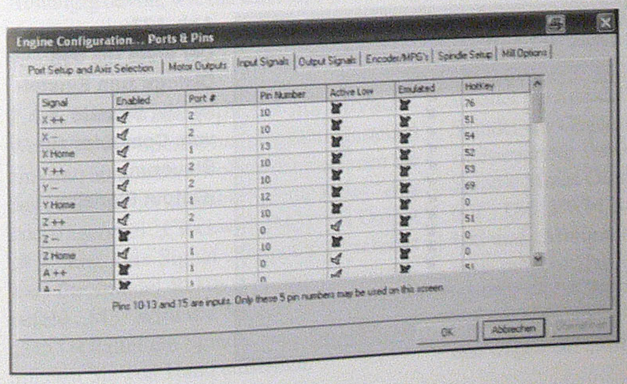


Abb. 125: Der erste Teil des Dialogs zum Einstellen der Signale von der Steuerung zum Computer (Input Signals)

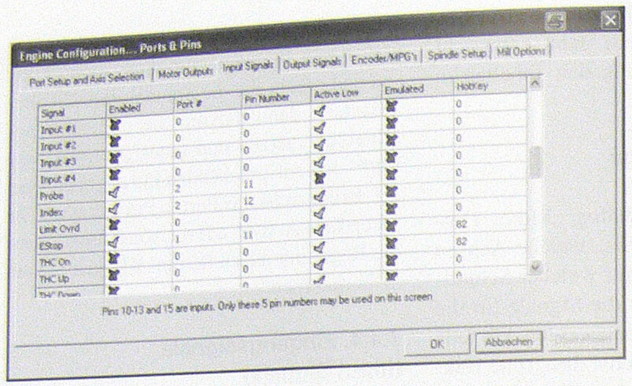


Abb. 126: Der zweite Teil des Dialogs zum Einstellen der Signale von der Steuerung zum Computer, nach dem Weiterscrollen

zen. Weil in der Steuerung alle Endschalter miteinander gekoppelt werden, brauchen Sie auch nur einen Pin dafür. Sicherlich erinnern Sie sich daran, dass eine Druckerschnittstelle nur fünf Eingänge hat, wir müssen also damit haushalten! Der Endschalter „Z-" ist nicht belegt, bei meiner Maschine hat die z-Achse nur einen Endschalter in der oberen Position. Die Referenzschalter, bei „Mach3" Home genannt, liegen auf eigenen Pins. Ich habe nur die Referenzschalter für X, Y und Z belegt.

Legen Sie dann noch die Pins für „Probe" (Werkzeuglängen-Sensor), „Index (Rückmeldung der Spindel-Drehzahl) und „EStop" (Not-Aus) fest. Bei „Probe" müssen Sie „Active Low" auf rot setzen. Klicken Sie dann auf Übernehmen.

7.4.5. Ausgangssignale (Output Signals)

Öffnen Sie den Unterdialog „Output Signals". Die Signale, die vom Computer an die Steuerung geschickt werden, haben Sie, soweit es die Motoren betrifft, schon festgelegt. Jetzt folgen die restlichen Ausgabesignale. Das Signal „Enable1" setzen Sie nur dann auf „Enabled", wenn Sie das Signal „Charge Pump" nicht benutzen. Es sollte also Entweder „Enable1" oder „Charge Pump" auf „Enabled" gesetzt sein, beides zusammen ist nicht sinnvoll. Die Signale „Output #1" bis „Output #2" setzen Sie auf „Enabled" und ordnen die entsprechenden Pins zu. Wenn Sie etwas herunterscrollen, finden Sie das Signal „Charge Pump". Klicken Sie auf „Übernehmen".

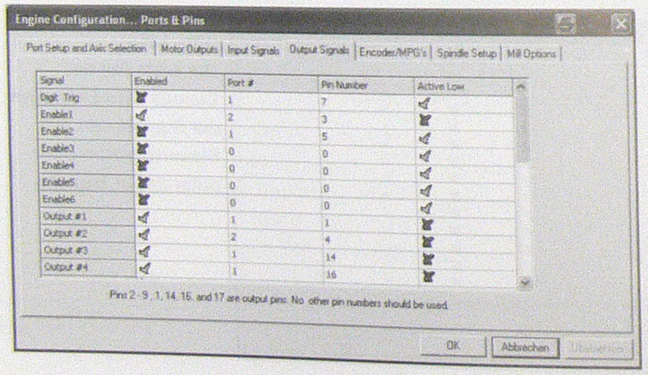


Abb. 127: Der erste Teil des Dialogs zum Einstellen der Signale vom Computer zur Steuerung (Output Signals)

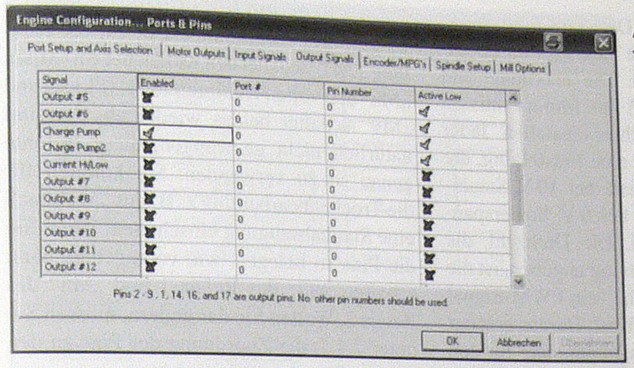


Abb. 128: Der zweite Teil des Dialogs zum Einstellen der Signale vom Computer zur Steuerung, nach dem Weiterrollen

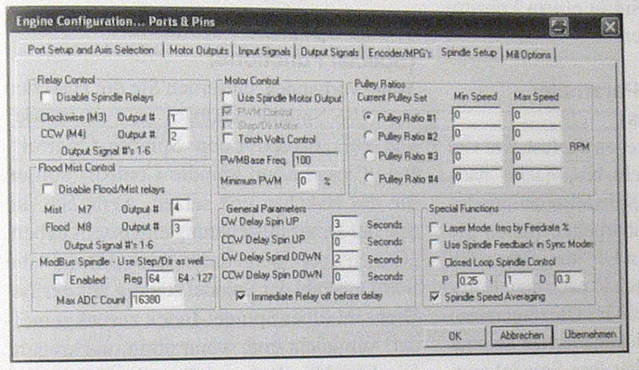


Abb. 129: Der Dialog zum Konfigurieren der Werkzeugspindel (Spindle Setup)

7.4.6. Konfigurieren der Spindelsteuerung (Spindle Setup)

Öffnen Sie den Unterdialog „Spindle Setup". Abhängig davon, wie Sie Ihren Spindelantrieb steuern, gibt es hier zwei Arten der Konfiguration.

7.4.6.1. Werkzeugspindel nur ein/aus

Wenn Sie die Spindel nur programmgesteuert ein- und ausschalten wollen, dann nehmen Sie das Häkchen bei „Disable Spindle Relay" weg und tragen bei „Clockwise (M3)" als Output „# 1" ein. Das Signal „Output # 1" schaltet jetzt Ihr Spindel-Relais. Mit dem Programmbefehl „M3" wird die Spindel eingeschaltet, „M5" schaltet die Spindel aus. Die Drehzahl müssen Sie von Hand einstellen.

7.4.6.2. Werkzeugspindel über Frequenzumrichter

Nehmen Sie das Häkchen bei „Disable Spindle Relay" weg und tragen bei „Clockwise (M3)" „Output # 1" und bei „CCW (M4)" „Output # 2" ein. Mit dem Programmbefehl „M3" wird die Spindel eingeschaltet, „M5" schaltet die Spindel aus und „M4" startet die Spindel im Gegenuhrzeigersinn. Zur Drehzahlsteuerung setzen Sie Häkchen bei „Use Spindle Motor Output" und bei „PWM Control". Die „PWM Base Freq." setzen Sie auf 100 und „Minimum PWM%" auf Null. Ich gehe zunächst davon aus, dass Ihre Maschine nur eine feste Übersetzung im Spindelantrieb hat. Deshalb klicken Sie „Pulley Ratio # 1" an und tragen bei „Min Speed" 0 und bei „Max

Speed“ die maximale Drehzahl Ihrer Werkzeugspindel (nicht die des Motors, Übersetzung beachten) ein. Die maximale und die minimale Drehzahl des Motors müssen Sie am Frequenzumrichter einstellen. Jeder Frequenzumrichter hat eine Einstellung, die festlegt, welche Frequenz bei 10 V Steuerspannung und welche bei 0 V Steuerspannung ausgegeben wird. Die Drehzahl, die Sie im Konfigurationsdialog angeben, ist die Drehzahl, bei der „Mach3“ ein PWM-Signal ausgibt, das zu 100 % HI ist. Daraus erzeugt die Steuerung 10 V Steuerspannung für den Frequenzumrichter. Zugleich ist das die maximale Drehzahl, die Sie in einem Fräsprogramm festlegen können.

7.4.6.3. Allgemeine Parameter (General Parameters)

Mit diesen Parametern legen Sie fest, wie viel Zeit (in Sekunden) vergeht, bis „Mach3“ nach einem Kommando zur Spindelsteuerung das Fräsprogramm weiter abarbeitet. Haben Sie z. B. in „CW Delay Spin UP“ drei Sekunden eingetragen, wartet „Mach3“ nach dem Kommando „M3“ (Spindel ein im Uhrzeigersinn) drei Sekunden, um das Hochlaufen der Spindel abzuwarten. Wie viel Zeit Ihre Spindel zum Hochlaufen oder Abbremsen braucht, messen Sie am besten mit einer Stoppuhr. Beachten Sie, dass Sie diese Zeitgrößen auch über den Frequenzumrichter beeinflussen können. Die Parameter bedeuten im Einzelnen:

- CW Delay Spin UP = Verzögerung zum Hochlaufen im Uhrzeigersinn.
- CCW Delay Spin UP = Verzögerung zum Hochlaufen im Gegen-Uhrzeigersinn.
- CW Delay Spin DOWN = Verzögerung zum Abbremsen im Uhrzeigersinn.
- CCW Delay Spin DOWN = Verzögerung zum Abbremsen im Gegen-Uhrzeigersinn.

Setzen Sie auch ein Häkchen bei „Immediate Relay off before delay“. Damit schaltet „Mach3“ die Spindel-Relais ab, bevor die Wartezeit beginnt.

7.4.6.4 Kühlung (Flood/Mist relays)

Es gibt drei Programmbefehle für die Kühlung. „M7“ schaltet den Kühlnebel ein (Mist), „M8“ den vollen Kühlmittelfluss (Flood) und „M9“ schaltet beides wieder ab. Sie sind natürlich nicht gezwungen, diese Befehle genau so zu verwenden. Sie könnten für die Trockenbearbeitung z. B. mit „M7“ auch eine Staubabsaugung einschalten. Wenn Sie die Pins so belegen, wie vorgegeben, dann schaltet „M7“ das Relais 1 und „M8“ das Relais 2. Wollen Sie das ändern, müssen Sie unter 7.4.5. die Zuordnung der Pins zu den Output-Signalen ändern.

7.4.6.5 Spezielle Funktionen (Special Functions)

Wenn vorhanden, entfernen Sie die Häkchen bei „Use Spindle feedback in sync mode“ und bei „Closed Loop Spindle Control“. Bei „Closed Loop Spindle Control“ sollten Sie das Häkchen erst setzen, wenn Sie die Spindel-Drehzahlsteuerung eingestellt haben. „Closed Loop“ sorgt dafür, dass „Mach3“ die Soll-Drehzahl der Spindel ständig mit der Ist-Drehzahl (über Spindel-Index zurückgemeldet) vergleicht und, wenn nötig, nachregelt. Die Variablen P, I und D sollten Sie nicht verändern.

7.4.7. Tastenbelegung (System Hotkeys)

Praktisch alle Funktionen von „Mach3“ können Sie mit der Maus steuern, indem Sie auf die entsprechenden Knöpfe auf dem Bildschirm klicken. Bei einigen Funktionen ist es aber bequemer, wenn Sie mit einem Tastendruck abgerufen werden können. Dazu gehört zweifellos das Bewegen der Achsen der Maschine in Plus- und Minus-Richtung. „Mach3“ erlaubt Ihnen nun, diese (und einige andere) Funktionen auf beliebige Tasten der Tastatur zu legen. Rufen Sie dazu den Dialog „Config / System Hotkeys“ auf.

Vorläufig konfigurieren wir nur die Tasten für die Achsen X, Y und Z. Auf einer normalen Computertastatur würde ich die „X++“ auf die Taste „Cursor rechts“, „X--“ auf „Cursor links“, „Y++“ auf „Cursor rauf“, „Y--“ auf „Cursor runter“, „Z++“ auf „Bild rauf“ und „Z--“ auf „Bild runter“ legen. Das machen Sie einfach, indem Sie auf den entsprechenden Knopf klicken und nach Aufforderung auf die zugehörige Taste drücken.

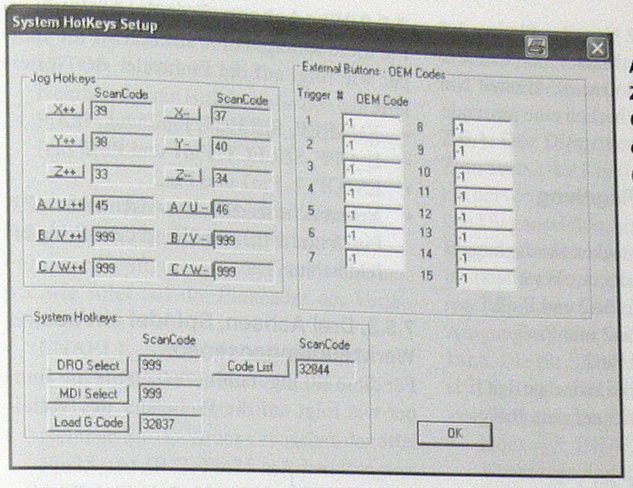


Abb. 130: Dialog zur Zuordnung der Cursortasten zu den einzelnen Achsen (System Hotkeys)

DB25	PC		JP1	JP12	
1	out	SPINDLE_CW	3	3	Werkzeugspindel im Uhrzeigersinn an
2	out	DIRX	4	4	Richtung X-Achse
3	out	STEPX	5	5	Schritt-Takt X-Achse
4	out	DIRY	6	6	Richtung Y-Achse
5	out	STEPY	7	7	Schritt-Takt Y-Achse
6	out	DIRZ	8	8	Richtung Z-Achse
7	out	STEPZ	9	9	Schritt-Takt Z-Achse
8	out	CHARGE_PUMP	10	18	12,5 KHz-Takt von der Software
9	out	SPINDLE_CCW	11	26	Werkzeugspindel im Gegenuhrzeigersinn an
10	in	REFZ	12	12	Referenzposition Z-Achse erreicht
11	in	/E_OFF	13	13	Not-Aus
12	in	REFY	14	14	Referenzposition Y-Achse erreicht
13	in	REFX	15	15	Referenzposition X-Achse erreicht
14	out	RELAY1	1	1	Relais 1 an
15	in	LIMIT	2	20	Endschalter
16	out	RELAY2	16	16	Relais 2 an
17	out	SPINDLE_PWM	17	19	Signal für Pulsbreitenmodulation der Spindeldrehzahl
18		GND			
19		GND			
20		GND			
21		GND			
22		GND			
23		GND			
24		GND			
25		GND			

Abb. 131: Schnittstellensignale und Schaltung des Rangierfelds auf der Verteilerplatine für eine Konfiguration mit einer Schnittstelle, drei Achsen und Regelung der Spindeldrehzahl

7.5. Konfigurationen mit nur einer Druckerschnittstelle

Wenn Sie nur mit einer Druckerschnittstelle arbeiten (z. B. bei einem Notebook-Computer), dann haben Sie nicht mehr genug Eingangs-Pins, um alle Funktionen der Steuerung nutzen zu können. Sie müssen also Kompromisse machen. Einige mögliche Konfigurationen stelle ich hier vor. Beachten Sie bitte, dass nicht mehr alle Verbindungen zwischen

JP1 und JP12 auf der Verteiler-Platine 1:1 sind. Wenn Sie nicht „Mach3“ verwenden, sondern eine andere Software, können Sie anhand der Beispiele sicherlich eine passende Konfiguration festlegen.

7.5.1. Drei Achsen, Regelung Spindeldrehzahl

Für diese Konfiguration stecken Sie die Jumper wie folgt auf die Pinheader des Verteilers:

- ENABLE_SELECT, Pin2 und Pin3
- E_OFF_SELECT, Pin2 und Pin3
- ESTOP_1, Pin1 und Pin2
- Nehmen Sie die Brücke zwischen den JP1, Pin25 und JP12, Pin25 auf dem Rangierfeld heraus

7.5.2. Vier Achsen, Spindel ein/aus

Für diese Konfiguration stecken Sie die Jumper wie folgt auf die Pinheader des Verteilers:

- ENABLE_SELECT, Pin2 und Pin3
- E_OFF_SELECT, Pin1 und Pin2
- ESTOP_1, Pin1 und Pin2
- Nehmen Sie die Brücke zwischen den JP1, Pin25 und JP12, Pin25 auf dem Rangierfeld heraus

7.5.3. Drei Achsen, Spindel ein/aus, Werkzeuglängensensor

Für diese Konfiguration stecken Sie die Jumper wie folgt auf die Pinheader des Verteilers:

DB25	PC		JP1	JP12	
1	out	SPINDLE_CW	3	3	Werkzeugspindel an
2	out	DIRX	4	4	Richtung X-Achse
3	out	STEPX	5	5	Schritt-Takt X-Achse
4	out	DIRY	6	6	Richtung Y-Achse
5	out	STEPY	7	7	Schritt-Takt Y-Achse
6	out	DIRZ	8	8	Richtung Z-Achse
7	out	STEPZ	9	9	Schritt-Takt Z-Achse
8	out	DIR4	10	10	Richtung 4-Achse
9	out	STEP4	11	11	Schritt-Takt 4-Achse
10	in	REFZ	12	12	Referenzposition Z-Achse erreicht
11	in	/E_OFF	13	13	Not-Aus oder Endschalter
12	in	REFY	14	14	Referenzposition Y-Achse erreicht
13	in	REFX	15	15	Referenzposition X-Achse erreicht
14	out	RELAY1	1	1	Relais 1 an
15	in	REF4	2	2	Referenzposition 4-Achse erreicht
16	out	RELAY2	16	16	Relais 2 an
17	out	CHARGE_PUMP	17	18	12,5 KHz-Takt von der Software
18		GND			
19		GND			
20		GND			
21		GND			
22		GND			
23		GND			
24		GND			
25		GND			

Abb. 132: Schnittstellensignale und Schaltung des Rangierfelds auf der Verteilerplatine für eine Konfiguration mit einer Schnittstelle, vier Achsen und Spindel ein/aus

DB25	PC		JP1	JP12	
1	out	SPINDLE_CW	3	3	Werkzeugspindel an
2	out	DIRX	4	4	Richtung X-Achse
3	out	STEPX	5	5	Schritt-Takt X-Achse
4	out	DIRY	6	6	Richtung Y-Achse
5	out	STEPY	7	7	Schritt-Takt Y-Achse
6	out	DIRZ	8	8	Richtung Z-Achse
7	out	STEPZ	9	9	Schritt-Takt Z-Achse
8	out				
9	out				
10	in	REFZ	12	12	Referenzposition Z-Achse erreicht
11	in	/E_OFF	13	13	Not-Aus oder Endschalter
12	in	REFY	14	14	Referenzposition Y-Achse erreicht
13	in	REFX	15	15	Referenzposition X-Achse erreicht
14	out	RELAY1	1	1	Relais 1 an
15	in	DIGI_PROBE	2	21	Signal vom Werkzeuglängensensor oder Digitalisierer
16	out	RELAY2	16	16	Relais 2 an
17	out	CHARGE_PUMP	17	18	12,5 KHz-Takt von der Software
18		GND			
19		GND			
20		GND			
21		GND			
22		GND			
23		GND			
24		GND			
25		GND			

Abb. 133: Schnittstellensignale und Schaltung des Rangierfelds auf der Verteilerplatine für eine Konfiguration mit einer Schnittstelle, drei Achsen, Spindel ein/aus und Werkzeuglängensensor

- ENABLE_SELECT, Pin2 und Pin3
- E_OFF_SELECT, Pin1 und Pin2
- ESTOP_1, Pin1 und Pin2
- Nehmen Sie die Brücke zwischen den JP1, Pin25 und JP12, Pin25 auf dem Rangierfeld heraus

7.5.4. Drei Achsen, Spindel ein/aus, Rückmeldung Spindeldrehzahl

Für diese Konfiguration stecken Sie die Jumper wie folgt auf die Pinheader des Verteilers:

- ENABLE_SELECT, Pin2 und Pin3
- E_OFF_SELECT, Pin1 und Pin2
- ESTOP_1, Pin1 und Pin2
- Nehmen Sie die Brücke zwischen den JP1, Pin25 und JP12, Pin25 auf dem Rangierfeld heraus

7.6. Inbetriebnahme der Steuerung

Um die Steuerung in Betrieb nehmen zu können, müssen Sie die in den Abschnitten 7.1 bis 7.5 besprochenen Schritte durchgeführt haben. Nehmen Sie dann die Sicherungen aller Endstufen heraus. Verbinden Sie die Steuerung mit dem Computer und schließen Sie den Reset-Schalter an der Buchse „Operator-Panel“ an. Verbinden Sie die Maschinen-Schnittstelle mit der Steuerung. An der Maschinen-Schnittstelle müssen End-, Referenz-, und Notschalter angeschlossen sein.

7.6.1. Der Diagnose-Bildschirm

Zum Testen der Konfiguration stellt „Mach3“ ein hervorragendes Werkzeug zur Verfügung, den Diagnosebildschirm. Klicken Sie auf dem Eingangsbildsschirm auf den Knopf „Diagnostics“ (in der ersten Reihe rechts). Im oberen Teil rechts finden Sie alle Eingangs- und Ausgangssignale, die „Mach3“ verarbeiten kann. Die für Sie wichtigen Signale sind:

- Digitize = DIGI_PROBE (Werkzeuglängensensor),
- Index = S_INDEX (Rückmeldung Werkzeugspindel-Drehzahl),
- Emergency = /E_OFF (Notschalter),
- M1++ = LIMIT (Endschalter),
- M2++ = LIMIT (Endschalter),
- M3++ = LIMIT (Endschalter),
- M1-- = LIMIT (Endschalter),
- M2-- = LIMIT (Endschalter),
- M1 Home = REFX (Referenzschalter X),
- M2 Home = REFY (Referenzschalter Y),
- M3 Home = REFZ (Referenzschalter Z),
- M4 Home = REF4 (Referenzschalter 4),
- Enable 1 = ENABLE_OUT (Software bereit),

DB25	PC		JP1	JP12	
1	out	SPINDLE_CW	3	3	Werkzeugspindel an
2	out	DIRX	4	4	Richtung X-Achse
3	out	STEPX	5	5	Schritt-Takt X-Achse
4	out	DIRY	6	6	Richtung Y-Achse
5	out	STEPY	7	7	Schritt-Takt Y-Achse
6	out	DIRZ	8	8	Richtung Z-Achse
7	out	STEPZ	9	9	Schritt-Takt Z-Achse
8	out	DIR4	10		
9	out	STEP4	11		
10	in	REFZ	12	12	Referenzposition Z-Achse erreicht
11	in	/E_OFF	13	13	Not-Aus oder Endschalter
12	in	REFY	14	14	Referenzposition Y-Achse erreicht
13	in	REFX	15	15	Referenzposition X-Achse erreicht
14	out	RELAY1	1	1	Relais 1 an
15	in	S_INDEX	2	22	Signal von der Werkzeugspindel (1 x pro Umdrehung)
16	out	RELAY2	16	16	Relais 2 an
17	out	ENABLE_OUT	17	25	Software bereit
18		GND			
19		GND			
20		GND			
21		GND			
22		GND			
23		GND			
24		GND			
25		GND			

Abb. 134: Schnittstellensignale und Schaltung des Rangierfelds auf der Verteilerplatine für eine Konfiguration mit einer Schnittstelle, drei Achsen, Spindel ein/aus und Rückmeldung der Spindeldrehzahl

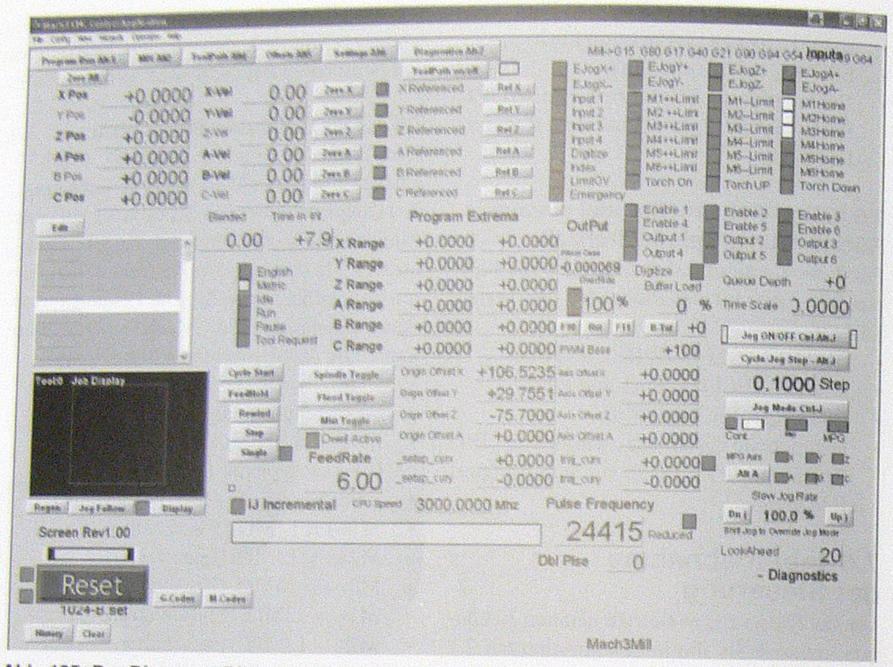


Abb. 135: Der Diagnose-Bildschirm

- Output 1 = SPINDLE_CW (Werkzeugspindel an im Uhrzeigersinn),
- Output 2 = SPINDLE_CCW (Werkzeugspindel an im Gegenuhrzeigersinn),
- Output 3 = RELAY3 (Kühlnebel, M7),
- Output 4 = RELAY1 (Kühlmittelfluss, M8).

Wird ein Signal auf „logisch wahr" gesetzt, leuchtet das zugehörige Kästchen auf. Probieren Sie das einfach mal mit den Knöpfen „Spindle Toggle", „Mist Toggle" und „Flood Toggle" (Spindel ein/aus, Kühlnebel ein/aus, Kühlmittelfluss ein/aus). Allerdings funktioniert das nur, nachdem Sie die Steuerung in den Enable-Zustand versetzt haben (siehe 7.6.2.). Beachten Sie bitte auch, dass bei der Betätigung eines Endschalters alle Endschalter-Signale gleichzeitig aufleuchten müssen, da sie auf einem gemeinsamen Schnittstellen-Pin liegen.

7.6.2. Das Signal „Enable"

Stellen Sie sicher, dass alle Endschalter geöffnet sind und der Notschalter geschlossen ist. Schalten Sie die Steuerung ein. Betätigen Sie den Reset-Schalter der Steuerung. Klicken Sie dann auf den blinkenden Knopf „Reset" in der linken unteren Bildschirmecke. Wenn dieser aufhört zu blinken und an der Steuerung die LED „Enable" aufleuchtet, ist alles in Ordnung. Andernfalls müssen Sie sich leider auf Fehlersuche begeben. Wenn der Knopf „Reset" aufhört zu blinken und auf dem Diagnose-Bildschirm das Signal „Enable 1" aufleuchtet, ist der Fehler auf dem Weg vom Computer zur Steuerung zu suchen. Blinkt der Reset-Knopf weiter, liegt das Problem auf dem Weg von der Steuerung zum Computer. Prüfen Sie dann auf dem Diagnose-Bildschirm die Signale, die mit Limit oder Emergency zu tun haben.

7.6.3. End-, Referenz- und Notschalter

Wenn „Enable" an der Steuerung leuchtet, prüfen Sie die Funktion aller End- und Referenzschalter. Die entsprechenden Signale auf dem Diagnosebildschirm müssen aufleuchten. Prüfen Sie auch die Funktion des Notschalters. Denken Sie daran, dass Sie nach dem Zurücksetzen des Notschalters auch den Reset-Schalter an der Steuerung betätigen müssen.

7.6.4. Prüfen der Relais

Klicken Sie im Diagnosebildschirm auf den Knopf „Spindle Toggle". Das Signal „Output 1" sollte jetzt blinken. Gleichzeitig muss an der Steuerung die LED „Spindle" aufleuchten. Haben Sie eine Prüflampe in die Steckdose „Spindle" gesteckt, muss diese ebenfalls aufleuchten.

Klicken Sie jetzt auf „Flood Toggle". Das Signal „Output 4" sollte blinken und die LED „Relay 2" an der Steuerung aufleuchten. Klicken Sie auf „Mist Toggle". Jetzt sollte „Output 3" blinken und die LED „Relay 1" aufleuchten.

7.6.5. Endstufen und Schrittmotoren

Das ist der kritischste Teil des ganzen Projekts, weil im schlimmsten Fall alle Endstufen durchbrennen können, wenn Sie einen Fehler machen. Leider gehen bei drei Endstufen mindestens 30,- € für sechs neue L6203 in Rauch auf. Deshalb: Lassen Sie die Sicherungen der Endstufen draußen und schließen Sie auch die Motoren nicht an.

Schalten Sie die Steuerung aus. Über die Kabel mit den Mini-Din-Steckern verbinden Sie alle Endstufen mit der Verteiler-Platine. Stecken Sie jetzt auf die Pinheader OSC der Platinen für die Achsen Y, Z und 4 (wenn vorhanden) einen Jumper, bei der Platine der x-Achse lassen Sie ihn weg. Der Oszillator der x-Achse steuert alle anderen Platinen mit. Jetzt müssen Sie sicherstellen, dass dieser Oszillator auch funktioniert. Tut er das nämlich nicht, funktioniert die Stromregelung der Endstufen nicht und der maximale Strom, den das Netzteil liefern kann, fließt durch einen oder beide L6203 jeder Endstufe. Das sorgt dafür, dass sich die ICs innerhalb von Millisekunden in den Halbleiterhimmel verabschieden – auch die Sicherungen nützen da nichts, sie schützen nur das Netzteil. Sie werden über den Vorgang auch nicht im Unklaren gelassen. Die ICs scheiden nicht einfach still dahin, sondern verursachen noch ein kleines Feuerwerk. Es knallt, stinkt und zischt, auch schöne Lichteffekte konnte ich schon beobachten.

Bauen Sie sich deshalb eine kleine Schaltung aus einem Kondensator und einer Diode. Der Anschluss OSZILLATOR kommt an Pin1 des Pinheaders OSC der x-Achse. GND2 verbinden Sie mit GND2 am Netzteil und dem Minuspol des Voltmeters. Den Pluspol des Voltmeters verbinden Sie mit dem Anschluss VOLTMETER. Schalten Sie die Steuerung ein. Das Voltmeter soll ca. 0,4 V anzeigen. Wenn es nichts oder nur wenige Millivolt anzeigt, schwingt der Oszillator nicht. Suchen Sie dann den Fehler. Ist alles okay, entfernen Sie die Messschaltung wieder.

Schalten Sie die Steuerung aus und setzen Sie die Sicherung der x-Achse ein. Danach schalten Sie die Steuerung wieder ein. Wenn nach dem Klicken auf „Reset" und dem Aufleuchten der LED „Enable" (siehe oben) nichts Spektakuläres passiert, schalten Sie wieder ab, schließen den Motor an und schalten danach wieder ein. Nach dem Aufleuchten der LED „Enable" müssen Sie jetzt beim Durchdrehen des Motors einen deutlichen Widerstand spü-

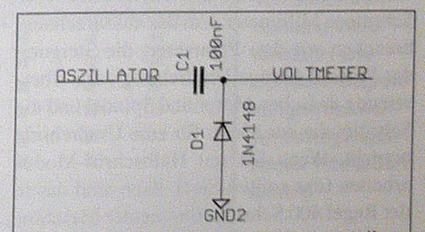


Abb. 136: Hilfsschaltung, um festzustellen, ob der Oszillator der Endstufe schwingt

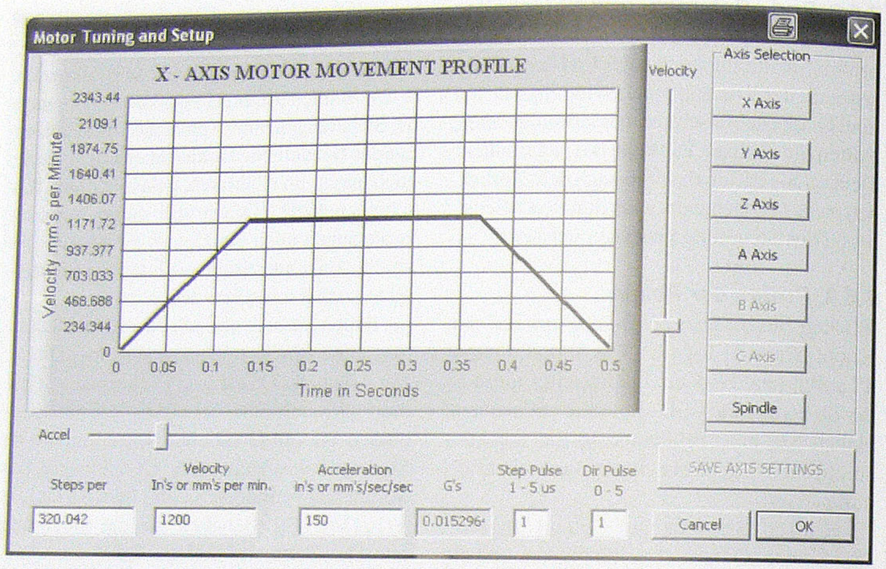


Abb. 137: Dialog zum Einstellen der Motorparameter (Motor Tuning and Setup)

ren. Vermutlich werden Sie auch ein hohes Pfeifen hören, das ist die Stromregelung der Endstufe. Drehen Sie am Potenziometer R7, bis der Ton verschwindet. Er liegt dann über Ihrer Hörschwelle, nur Ihr Hund und Ihr Wellensittich können ihn noch hören und fühlen sich überhaupt nicht mehr wohl!

Öffnen Sie nun den Dialog „Config/Motor Tuning“ und klicken Sie auf den Knopf „X Axis“. Das Erste, was Sie ermitteln müssen, ist der Wert „Steps per Unit“ (Schritte je Einheit). Weil wir eingangs die Units als Millimeter definiert haben, sprechen wir hier über Schritte je Millimeter. Um das auszurechnen, brauchen wir drei Parameter: die Steigung der Spindel (mm je Umdrehung), die Übersetzung zwischen Motor und Spindel und die Schritte, die der Motor für eine Umdrehung braucht. Wenn Sie mit Halbschritt-Modus arbeiten (das sollten Sie!), dann sind das in der Regel 400 Schritte. Bei meiner Maschine zum Beispiel sind das 2,5 mm Steigung je Umdrehung und eine Übersetzung von 1:2. Die Formal lautet nun:

$$\frac{Steps}{Unit} = \frac{Übersetzung \times Schritte}{Spindelsteigung} = \frac{2 \times 400}{2{,}5} = 320$$

Als Nächstes stellen Sie die maximale Bewegungsgeschwindigkeit der Achse (Velocity) in Millimeter pro Minute ein. Ich habe den Wert „1200“ gewählt, der Tisch meiner Maschine bewegt sich also mit maximal 1,2 m pro Minute. Die maximal erreichbare Geschwindigkeit hängt davon ab, ob der Motor bei der dann notwendigen Drehzahl genügend Drehmoment abgeben kann, um alle Widerstände zu überwinden. Schauen Sie sich dazu noch einmal den Abschnitt 2.3.7.4. an. Wie dort erwähnt, können Sie die maximale Geschwindigkeit rechnerisch nicht ermitteln, Sie müssen es einfach ausprobieren. Die Acceleration in mm/sec² bestimmt die Beschleunigungskurve des Motors (siehe Abschnitt 2.3.7.5.). Auch hier müssen Sie experimentieren.

Für einen ersten praktischen Test schieben Sie den Schieber „Velocity“ ganz nach oben. Nehmen Sie den angezeigten Wert für „Velocity“, teilen Sie ihn durch fünf und tragen

Sie diesen Wert in den Parameter „Velocity“ ein. Danach stellen Sie die Beschleunigung mit dem Schieber „Accel“ auf „0.15“ Sekunden ein. Lassen Sie jetzt den Motor laufen, indem Sie die rechte bzw. linke Cursor-Taste drücken. Brummt oder summt der Motor nur, läuft aber nicht an, dann reduzieren Sie den Wert für „Velocity“. Andernfalls können Sie den Wert so lange erhöhen, bis der Motor nicht mehr anläuft. Weil die Beschleunigung auch eine große Rolle spielt, müssen Sie sie ebenfalls anpassen. Sie werden sehr schnell ein Gefühl dafür bekommen. Sollte sich der Motor in die falsche Richtung drehen, dann können Sie seinen Drehsinn im Dialog „Homing/Limits“ (Abschnitt 7.6.6.) ändern.

Haben Sie für die Achse eine befriedigende Einstellung gefunden, dann klicken Sie auf „Save Axis Settings“ (andernfalls war die Mühe umsonst) und nehmen die restlichen Achsen in Betrieb. Die Cursortasten der Achsen sind „auf/ab“ für Y und „Bild auf/ab“ für Z.

Es ist wichtig, dass Sie bei eingeschalteter Steuerung unter keinen Umständen den Pin1 am Pinheader OSC der x-Achse nach GND2 – also alle Metallteile des Gehäuses – kurzschließen. Der sofortige Exitus aller Endstufen wäre die Folge. Machen Sie es sich zur Regel, alle Sicherungen der Endstufen herauszunehmen, wenn Sie innerhalb des Gehäuses arbeiten oder Messungen durchführen wollen.

Wenn Ihnen trotz aller Sorgfalt die Endstufen durchbrennen, können Sie defekte L6203 dadurch erkennen, dass in 80 % der Fälle ein Kurzschluss zwischen Pin1 und Pin3 des ICs existiert. Bei ICs, die in Ordnung sind, ist der Widerstand dort unendlich. Eine defekte Endstufe erkennen Sie allgemein am Kurzschluss zwischen Pin1 und Pin2 des Wannensteckers POWER.

Sollten Sie ICs auslöten müssen, kneifen Sie die Anschlüsse auf der Bestückungsseite der Platine durch. Das erleichtert die Arbeit ungemein. Seien Sie aber bitte vorsichtig. Ich habe dabei auch schon einmal eine Leiterbahn durchgekniffen. Beachten Sie bitte auch, dass beim Durchbrennen der L6203 manchmal auch der L297 defekt wird. Nach dem Erneuern der ICs müssen Sie deshalb die Prüfungen, die Sie nach dem Bestücken ausgeführt haben, nochmals wiederholen.

7.6.6. Motor-Drehrichtung, Referenzfahrt, Grenzen (Motor Home/Soft Limits)

Öffnen Sie den Dialog „Config/Homing/Limits“.

7.6.6.1. Einstellen der Motor-Drehrichtung

Bisher haben Sie nicht besonders darauf geachtet, mit welcher Polarität Sie die Mo-

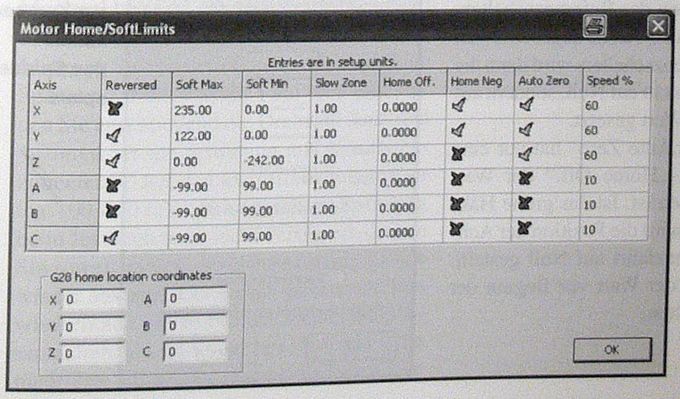


Abb. 138: Dialog zur Einstellung von Motordrehrichtung, Referenzfahrt und Software-Begrenzungen der Achsenbewegungen (Motor Home/Soft Limits)

torphasen an die Endstufen angeschlossen haben. Das ist auch nicht notwendig, weil Sie die Drehrichtung über die Software einstellen können. Läuft ein Motor falsch herum, setzen Sie einfach im Parameter „Reversed“ das grüne Häkchen. Denken Sie daran, dass immer die Bewegungsrichtung des Werkzeugs maßgebend ist!

7.6.6.2. Einstellen der Referenzfahrt

Hier geben Sie zunächst an, in welche Richtung „Mach3“ die Achse bewegen muss, um den Referenzschalter zu finden. Bei meiner Maschine sind die Referenzschalter für X und Y auf der Nullposition der Achse. „Mach3“ muss also in die negative Richtung fahren, um den Referenzschalter aufzusuchen. Anders die z-Achse, dort ist der Referenzschalter oben, also in der Plus-Richtung zu finden. Die Geschwindigkeit der Referenzfahrt geben Sie unter „Speed%“ als Prozentsatz der maximalen Geschwindigkeit an. Wie hoch die Geschwindigkeit sein darf, hängt davon ab, wie weit der Referenzschalter vom Endschalter der Achse entfernt ist und wie steil oder flach die Bremsrampen sind. „Mach3“ muss nach Erreichen des Referenzschalters genügend Zeit haben, die Achse zu stoppen, bevor der Endschalter betätigt wird.

Ist der Referenzschalter nicht am Ende der Achse, sondern z. B. in der Mitte, dann müssen Sie unter „Home Off.“ die Distanz zwischen der Position des Referenzschalters und der Nullposition der Achse angeben. Nach Erreichen des Referenzschalters wird dann die Position der Achse nicht auf Null, sondern auf den eingetragenen Wert gesetzt.

Der Parameter „Auto Zero“ hat nur eine Wirkung, wenn in „Home Off.“ der Wert „0.0000“ eingetragen ist. Ist das grüne Häkchen gesetzt, dann wird die Position der Achse nach der Referenzfahrt auf Null gestellt. Andernfalls bleibt der Wert vor Beginn der Referenzfahrt erhalten.

7.6.6.3. Software-Limits

Es ist ziemlich lästig, wenn eine Achse versehentlich auf den Endschalter gefahren wird. Erstens müssen Sie die Achse manuell vom Schalter herunterfahren und zweitens müssen Sie danach eine Referenzfahrt machen. Um das zu verhindern, können Sie die minimale und die maximale Position der Achse angeben. Die minimale Position ist in der Regel Null, die maximale muss natürlich vor dem Endschalter liegen. Bei der z-Achse, die ja vom Nullpunkt in die negative Richtung fährt, ist die maximale Position Null, die minimale ist negativ. Der Parameter „Slow Zone“ gibt an, in welcher Distanz zum Software-Limit „Mach3“ anfängt, die Geschwindigkeit der Achse herabzusetzen, um noch rechtzeitig bremsen zu können. Den Wert sollten Sie nicht zu groß wählen, aber auch nicht zu klein, weil sonst der Endschalter erreicht werden könnte.

Um die Software-Limits zu nutzen, müssen Sie sie aktivieren. Dazu gibt es auf dem Bildschirm „Program Run“ den „Knopf Soft Limits“. Dieser reagiert aber nur, wenn sich die Maschine innerhalb der Software Limits befindet. Andernfalls bekommen Sie eine Fehlermeldung.

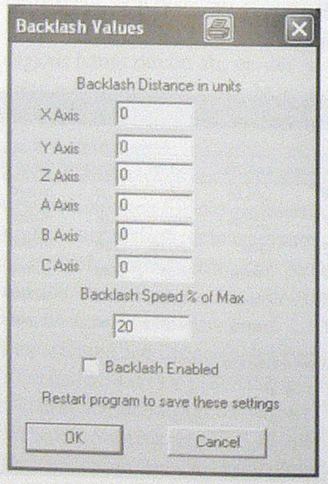


Abb. 139: Dialog zur Kompensation des Spindelspiels

7.6.6.4. Kompensation des Spindelspiels (Backlash)

Hat Ihre Maschine Spiel in den Achsantrieben, z. B. weil sie keine Kugelumlaufspindeln hat, dann können Sie in diesem Dialog Parameter für die Kompensation des Spiels eingeben. Der Wert, den Sie eingeben, ist die gedachte Distanz in Millimetern, die der Achsantrieb zurücklegen muss, bis sich nach einer Richtungsumkehr die Achse wieder zu bewegen beginnt. Wie das Spiel gemessen und die Kompensation eingestellt wird, behandele ich im nächsten Band dieser Reihe, wenn es um die Mechanik geht.

7.6.7. Einstellen der Werkzeugspindel

Bevor Sie die Drehzahl der Werkzeugspindel einstellen, sollten Sie die Grundeinstellung durchgeführt haben, so wie in Abschnitt 6.2.5. beschrieben. Schließen Sie den Spindelmotor noch nicht an. Auf dem ersten Bildschirm von „Mach3“ (Program Run) finden Sie rechts unten einen Bereich mit der Überschrift „Spindle Speed“. Klicken Sie in das Feld „S“ (Drehzahl), das darauf hell werden sollte. Geben Sie die halbe maximale Drehzahl der Werkzeugspindel ein und betätigen Sie die Eingabetaste. Klicken Sie auf den Knopf „Spindle CW F5“. Mit dem Voltmeter sollten Sie an Messpunkt 1 der Verteiler-Platine etwa 5 V messen können. Größere Abweichungen sind okay. Tippen Sie dann die Maximaldrehzahl ein, die Sie im Abschnitt 7.4.6. als „Max. Speed“ eingetragen haben. Justieren Sie mit dem Potenziometer R7 die Spannung an Messpunkt 1 auf 10 V ein. Tippen Sie anschließend die Drehzahl 0 ein und justieren Sie die Spannung mit dem Potenziometer R5 auf den kleinstmöglichen Wert (ca. 100–150 mV). Sobald sich die Spannung beim Justieren nicht mehr verringert, drehen Sie soweit zurück, bis die Spannung gerade wieder ansteigt. Der Punkt ist kritisch. Das wiederholen Sie so oft, bis Sie bei der Maximaldrehzahl 10 V und bei Drehzahl 0 die niedrigste Spannung eingestellt haben. Sie können jetzt den Motor anschließen, der sich wie gewünscht regeln lassen sollte.

Wechseln Sie zum Bildschirm „MDI“. Klicken Sie in das Feld „Input“, das dadurch heller werden sollte. Geben Sie „M5“ ein und bestätigen Sie mit der Eingabetaste. Nach Eingabe von „M3“ sollte sich der Motor wieder im Uhrzeigersinn drehen. Durch Eingabe von „S1000“ lassen Sie den Motor mit 1.000 Umdrehungen laufen, sinngemäß können Sie so jede beliebige Drehzahl einstellen. Nach Eingabe vom „M5“ (Stopp) und „M4“ sollte sich der Motor im Gegen-Uhrzeigersinn drehen.

Im nächsten Band der Reihe werde ich die Rückmeldung der Spindeldrehzahl und die Synchronisierung der Soll-Drehzahl mit der Ist-Drehzahl behandeln, da das nur mit einer fertig aufgebauten Maschine geht.

8. Anhang

8.1. Schnittstellenbelegung

Standard-Belegung der Druckerschnittstellen für Mach3

Schnittstelle COMPUTER1

DB25	PC		JP1/JP2		Wahr wenn
1	out	SPINDLE_CW	3	Werkzeugspindel im Uhrzeigersinn an	High
2	out	DIRX	4	Richtung X-Achse	High/Low
3	out	STEPX	5	Schritt-Takt X-Achse	High/Low
4	out	DIRY	6	Richtung Y-Achse	High/Low
5	out	STEPY	7	Schritt-Takt Y-Achse	High/Low
6	out	DIRZ	8	Richtung Z-Achse	High/Low
7	out	STEPZ	9	Schritt-Takt Z-Achse	High/Low
8	out	DIR4	10	Richtung 4-Achse	High/Low
9	out	STEP4	11	Schritt-Takt 4-Achse	High/Low
10	in	REFZ	12	Referenzposition Z-Achse erreicht	High
11	in	/E_OFF	13	Not-Aus	Low
12	in	REFY	14	Referenzposition Y-Achse erreicht	High
13	in	REFX	15	Referenzposition X-Achse erreicht	High
14	out	RELAY1	1	Relais 1 an	High
15	in	REF4	2	Referenzposition 4-Achse erreicht	High
16	out	RELAY2	16	Relais 2 an	High
17	out	RELAY3	17	Relais 3 an	High
18		GND			
19		GND			
20		GND			
21		GND			
22		GND			
23		GND			
24		GND			
25		GND			

Schnittstelle COMPUTER2

DB25	PC		JP1/JP2		Wahr wenn
1	out	CHARGE_PUMP	18	12,5 KHz-Takt von der Software	High/Low
2	out	SPINDLE_PWM	19	Signal für Pulsbreitenmodulation der Spindeldrehzahl	High/Low
3	out	ENABLE_OUT	25	Steuersoftware bereit (alternativ zu CHARGE_PUMP)	High
4	out	SPINDLE_CCW	26	Werkzeugspindel im Gegenuhrzeigersinn an	High
5	out				
6	out				
7	out				
8	out				
9	out				
10	in	LIMIT	20	Gemeinsames Signal aller Endschalter der Achsen	High
11	in	DIGI_PROBE	21	Signal vom Werkzeuglängensensor oder Digitalisierer	High
12	in	S_INDEX	22	Signal von der Werkzeugspindel (1 x pro Umdrehung)	High
13	in	ENCODER1	23	Quadratur-Encoder Kanal 1 (elektronisches Handrad)	High/Low
14	out				
15	in	ENCODER2	24	Quadratur-Encoder Kanal 2 (elektronisches Handrad)	High/Low
16	out				
17	out				
18		GND			
19		GND			
20		GND			
21		GND			
22		GND			
23		GND			
24		GND			
25		GND			

8.2. Einstellung der Jumper

Platine	Pinheader	Jumper		empfohlen
Endstufe				
	SLEEP	1 + 2	Sleep-Modus eingeschaltet	X
		offen	Sleep-Modus ausgeschaltet	
	BOOST	1 + 2	Boost-Modus ausgeschaltet	
		2 + 3	Boost-Modus eingeschaltet	X
	OSC	1 + 2	Oszillator ausgeschaltet	
		offen	Oszillator eingeschaltet	X
	HALF	1 + 2	Halbschritt	
		2 + 3	Vollschritt	X
	CNTL	1 + 2	Phase-Chopping	X
		2 + 3	Inhibit-Chopping	
	Messpunkt	offen	Nur zum Messen der Referenzspannungen	
Verteiler				
	ENABLE_SELECT	1 + 2	kein ENABLE von der Steuerung	X
		2 + 3	ENABLE durch 12,5 KHz-Signal *)	
	E_OFF_SELECT	1 + 2	Endschalter schalten auch Not-Aus (/E-OFF)	X
		2 + 3	Endschalter schalten nicht Not-Aus	
	ESTOP_1	1 + 2	nur ein Notschalter aktiv	
		offen	2. Notschalter aktiv	
	TEST	offen	Nur zum Messen der Spannungen an der Drehzahlregelung	
Optokoppler				
	JP1	1 + 2	Bei augeschalter Steuerung GND auf Input4	X
		3 + 4	Bei augeschalter Steuerung GND auf Input3	
		5 + 6	Bei augeschalter Steuerung GND auf Input2	
		7 + 8	Bei augeschalter Steuerung GND auf Input1	
		9 + 10	Bei augeschalter Steuerung GND auf Input0	
			Erläuterung in Abschnitt 3.8.	

*) Gibt die Software das 12,5 KHZ-Signal ab, muß die Verbindung zwischen JP1 Pin25 und JP12 Pin25 auf dem Rangierfeld des Verteilers entfernt werden. Gibt die Software nur ein ENABLE-Signal ab, muß diese Verbindung erhalten bleiben und der Jumper auf Pin2 und Pin 3 stecken. Steckt der Jumper auf 1 + 2, dann wird die Steuerung immer enabled, auch wenn weder das 12,5 KHZ, noch das ENABLE-Signal anliegt.

8.3. Liste der verwendeten Kabel

Liste der verwendeten Kabel für die voll ausgebaute Steuerung

	von		nach				
Nr.	Platine	Stecker	Platine	Stecker	Adern	Querschnitt	Länge, ca.
1	Verteiler	COMPUTER1	Optokoppler 1	VERTEILER	26	Pfostenverbinder 26	15
2	Verteiler	COMPUTER2	Optokoppler 2	VERTEILER	26	Pfostenverbinder 26	25
3	Verteiler	MASCHINE	Frontplatte	Machine	26	D-SUB Stecker 25	25
4	Verteiler	LED_ANZEIGE	LED-Anzeige	VERTEILER	26	Pfostenverbinder 26	35
5	Verteiler	RELAIS	Netz-Versorgung	VERTEILER	10	Pfostenverbinder 10	30
6	Verteiler	ENDSTUFE_X	Endstufe X	X1	5, geschirmt	Buchsenleiste 5-polig	35
7	Verteiler	ENDSTUFE_Y	Endstufe Y	X2	5, geschirmt	Buchsenleiste 5-polig	35
8	Verteiler	ENDSTUFE_Z	Endstufe Z	X3	5, geschirmt	Buchsenleiste 5-polig	35
9	Verteiler	ENDSTUFE_4	Endstufe 4	X4	5, geschirmt	Buchsenleiste 5-polig	35
10	Verteiler	BEDIENPULT	Frontplatte	Operator Panel	10	Pfostenverbinder 10	20
11	Optokoppler1	COMPUTER	Frontplatte	Computer 1	26	D-SUB Stecker 9	20
12	Optokoppler2	COMPUTER	Frontplatte	Computer 2	26	D-SUB Stecker 25	15
13	Endstufe X	MOTOR	Frontplatte	X	4, je zwei verdrillt	Pfostenverbinder 26	15
14	Endstufe Y	MOTOR	Frontplatte	Y	4, je zwei verdrillt	RIA 4-polig	60
15	Endstufe Z	MOTOR	Frontplatte	Z	4, je zwei verdrillt	RIA 4-polig	60
16	Endstufe 4	MOTOR	Frontplatte	4	4, je zwei verdrillt	RIA 4-polig	50
17	Netzversorgung	SPINDLE	Frontplatte	Spindle	Zwillingslitze	1,0 mm²	50
18	Netzversorgung	RELAY1	Frontplatte	Relay 1	Zwillingslitze	1,0 mm²	50
19	Netzversorgung	RELAY2	Frontplatte	Relay 2	Zwillingslitze	1,0 mm²	50
20	Netzversorgung	MAINS_SWITCH	Frontplatte	Netzschalter	2 x Zwillingslitze	1,0 mm²	50
21	Netzversorgung	TRANS_40V	Ringkerntrafo	2 x schwarz	Zwillingslitze	1,0 mm²	50
22	Netzversorgung	TRANS_12V	Netzteil	MAINS	Zwillingslitze	0,4 mm²	50
23	Netzversorgung	MAINS	Rückwand	Netzfilter	Zwillingslitze	1,0 mm²	50
24	Netzteil	ENDSTUFE_X	Endstufe X	POWER	2, verdrillt	1,0 mm²	50
25	Netzteil	ENDSTUFE_Y	Endstufe Y	POWER	2, verdrillt	1,0 mm²	50
26	Netzteil	ENDSTUFE_Z	Endstufe Z	POWER	2, verdrillt	1,0 mm²	40
27	Netzteil	ENDSTUFE_4	Endstufe 4	POWER	2, verdrillt	1,0 mm²	40
28	Netzteil	VERTEILER	Verteiler	POWER	2 x Zwillingslitze	0,4 mm²	15
29	Netzteil	OPTOKOPPLER_1	Optokoppler 1	POWER	Zwillingslitze + 1	0,4 mm²	15
30	Netzteil	OPTOKOPPLER_2	Optokoppler 2	POWER	Zwillingslitze + 1	0,4 mm²	25
31	Netzteil	LED_PLATINE	LED-Anzeige	POWER	Zwillingslitze	0,4 mm²	25
32	Netzteil	LÜFTER_1	Lüfter 1		Zwillingslitze	0,4 mm²	40
33	Netzteil	LÜFTER_2	Lüfter 2		Zwillingslitze	0,4 mm²	30

8.4. Bezugsquellen

8.4.1. Elektronische Bauteile

- www.reichelt.de
  Reichelt Elektronik e. Kfr.,
  Elektronikring 1, 26452 Sande

Gute Preise, schnelle Lieferung (2–3 Tage), unproblematische Zahlung durch Abbuchung, relativ kleines Sortiment. Mein Lieblingslieferant.

- www.segor.de
  SEGOR-electronics GmbH,
  Kaiserin-Augusta-Allee 94, 10589 Berlin

Größeres Sortiment als Reichelt, unübersichtlicher Online-Shop, Zahlung nur per Nachnahme oder Vorkasse

- www.rsonline.de
  RS Components GmbH,
  Hessenring 13 b,
  64546 Mörfelden-Walldorf

Gigantisches Sortiment („Gibt es nicht" gibt es hier nicht), teuer, rasante Lieferung (praktisch immer am nächsten Tag), teilweise große Packungsgrößen. Das Registrieren auf der Webseite lohnt sich, weil dann für fast alle angebotenen Produkte Datenblätter heruntergeladen werden können

- www.conrad.de
  Conrad Electronic GmbH
  Klaus-Conrad-Str. 1, 92240 Hirschau

Ebenfalls sehr umfangreiches Sortiment, nicht immer preiswert (vergleichen!)

8.4.2. Schrittmotoren und Steuerungen

- www.orientalmotor.de
  Oriental Motor (Europa) GmbH,
  Schiess-Str. 74, D-40549 Düsseldorf
- www.nanotec.de
  Nanotec Electronic GmbH & Co. KG,
  Gewerbestraße 11, D-85652 Landsham
- www.motionstep.de
  motionstep, Stock- und Hausmann-Str. 12,
  D-47198 Duisburg
- www.nc-step.de
  NC-Step – Thorsten Ostermann,
  Entwicklung und Vertrieb von Systemsoftware und Hardwarekomponenten,
  Eynattener Str. 4, 52064 Aachen
- www.axelsiefert.de
  Axel Siefert – Schrittmotorsteuerung,
  Franz-Schmidt-Str. 2, 77654 Offenburg
- www.cnc-steuerung.com
  CNC-Steuerung, Telingskamp 10,
  46395 Bocholt
- www.lewetz.de
  Burkhard Lewetz, Brückenstraße 7,
  D-88074 Meckenbeuren
- www.cnc-elektrotechnik.de
  CNC-Elektronikshop, Elisabeth Rath,
  Ederenerstr. 2,
  52441 Linnich-Gereonsweiler
- www.mir-elektronik.de
  MIR ELEKTRONIK VERTRIEBS GMBH, Landwehrstraße 28,
  80336 München
- www.cnc-winckler.de
  Dipl.-Phys. Immo Winckler,
  Erlengrund 71, 25761 Büsum

8.5. Literaturverzeichnis

- Schörlin, Felix: Mit Schrittmotoren steuern, regeln und antreiben. 2. Auflage. Feldkirchen: Franzis Verlag GmbH
- Kief, Hans B.: NC/CNC-Handbuch. Auflage 2005/06. München: Carl Hanser Verlag
- Sachs, Reinhard: CNC-Technik. Grundlagen und Programmierung. Bad Homburg v.d.H: Verlag Dr. Max Gehlen
- Daxl, Josef; Kurz, Stefan; Schachinger, Werner: Grundlagen über numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen (CNC). Wien: Verlag Jugend & Volk

8.6. Datenblätter

8.6.1. ICs für Schrittmotor-Endstufen

• www.st.com/stonline/products/literature/ds/1334.pdf	L297
• www.st.com/stonline/products/literature/ds/1773.pdf	L298
• www.st.com/stonline/products/literature/ds/1373.pdf	L6203
• www.allegromicro.com/techpub2/stp/stp01-2.pdf	A3977
• www.national.com/ds/LM/LMD18245.pdf	LMD18245

8.6.2. Sonstige Elektronikbausteine

• www.finder.de	preisgünstige Relais, Vertrieb über Anbieter von elektronischen Bauteilen
• www.st.com	Integrierte Schaltungen von ST-Microelectronics
• www.allegromicro.com	Integrierte Schaltungen von Allegro
• www.national.com	Integrierte Schaltungen von National Semiconductors

8.7. Hilfreiche Internet-Links

8.7.1. CNC-Hardware und Software

• www.pcdreh.de	CNC-Software, Steuerungen und Umbausätze für gängige Maschinen.
• www.benezan.de	CNC-Bahnsteuerung, ohne Endstufen.
• www.yeagerautomation.com	Amerikanischer Händler für CNC Hardware, Software und Maschine („Geko“, „Sherline“, „CNC Pro“, „DesKAM“). Englischsprachige Seite.
• www.geckodrive.com	Amerikanischer Hersteller von Endstufen für Schrittmotoren bis 7 A und Gleichstrom-Servomotoren bis 20 A. Liefert auch nach Europa. Englischsprachige Seite.
• www.kellyware.com	Amerikanischer Hersteller der Steuerungssoftware „Kcam“. „Kcam“ ist vergleichbar mit „Mach3“, aber nicht so umfangreich. Englischsprachige Seite.
• www.freiform.org	Vertrieb für die KOSY CNC-Fräsmaschinen.
• www.artofcnc.ca	Homepage „Mach2“/„Mach3“. Englischsprachige Seite.
• www.microproto.com	Amerikanischer Hersteller einer kleinen Fräsmaschine mit und ohne CNC-Steuerung. Englischsprachige Seite.
• www.super-tech.com	Amerikanischer Hersteller/Vertreiber kleiner CNC-Fräsmaschinen. Englischsprachige Seite.
• www.deutsche-werke.de/odin3d	Hersteller der ODIN-Schrittmotorkarte.
• www.thiemig.de	Bauteile und Software für CNC-Maschinen.
• www.dolphin.zenwebhosting.com	„Dolphin Partmaster“-CAD/CAM-Software. Englischsprachige Seite.
• www.cncsimulator.com	CAD/CAM-Software. Englischsprachige Seite.

• www.deskam.com	Hier gibt es „DesKAM“, meine (zurzeit) bevorzugte CAM-Software zur Umwandlung von Zeichnungsdateien im DXF-Format in G-Code. Englischsprachige Seite.
• www.sheetcam.com	CAM-Software, alternativ zu „DesKAM“. Englischsprachige Seite.
• www.linuxcnc.org/bdi/index.html	CNC-Steuerungssoftware für Linux

8.7.2 Sonstiges

• www.motor-mauer.de	Elektromotoren
• www.siemens.de/sinumerik	CNC-Steuerungen für die Industrie
• www.heidenhain.de	CNC-Steuerungen für die Industrie
• www.adobe.de	Kostenloser Adobe-Reader zum Öffnen von PDF-Dateien
• www.reptilica.de	Aquarium-Heizstäbe und Luftpumpen zum Bau einer Ätzanlage

8.7.3. Hersteller/Anbieter von CNC-Fräsmaschinen

- www.deuss.de
- www.wabeco-remscheid.de
- www.knuth.de
- www.optimum-maschinen.de
- www.isel.de
- www.rc-machines.com
- www.cnc-step.de
- www.easgmbh.de
- www.sherlinedirect.com
- www.freiform.org
- www.max-computer.de

8.7.4. Internet-Foren

8.7.4.1. Roboternetz

Ein Forum für Menschen, die sich für den Bau von Robotern interessieren. Sehr interessante Elektronik-Projekte, auch Schrittmotor-Steuerungen. www.roboternetz.de

8.7.4.2. „Mach2“/„Mach3“-Benutzerforum

Hier sollten Sie reinschauen, wenn Sie Probleme mit „Mach2“ oder „Mach 3“ haben oder interessante Projekte kennen lernen möchten. Die Sprache ist allerdings Englisch. http://groups.yahoo.com/group/mach1mach2cnc

8.7.4.3. NC-Step-Benutzerforum

Forum für die Anwender (aber nicht nur die) der Schrittmotor-Elektroniken von NC-Step Thorsten Ostermann. Sehr interessante Themen, meist geht es um den Selbstbau von Fräsmaschinen und die damit verbundenen Probleme. http://www.mybb.de/cgi-bin/foren/F_0830/cutecast.pl (NC-Step Userforum)

8.7.4.4. Peters CNC-Ecke

Das ultimative Forum für alles, was mit CNC-Technik zu tun hat. Hier treffen sich neben den Hobbyisten auch die Profis. http://5128.rapidforum.com

8.7.5 Private Webseiten über den Bau von CNC-Maschinen

http://mitglied.lycos.de/dieter096/photoalbum3.html: Eine ziemlich gigantische Portalfräsmaschine und eine komplett (!) selbst gebaute CNC-Drehbank. Respekt! Viele Fotos vom Bau der Fräsmaschine.

- www.iee.et.tu-dresden.de/~krupar/Bastelecke: Detaillierte Beschreibung des Baus einer Portalfräse mit vielen Fotos.
- www.fjungclaus.de/fbms/tech_data.htm: Hier geht es ebenfalls um den Bau einer großen Portalfräse. Unbedingt auf die erste Textzeile der Seite klicken, um den Navigationsbaum zu öffnen.
- www-users.rwth-aachen.de/Thorsten.Ostermann: Viele interessante Informationen und Anregungen zum Bau von Portalfräsen.
- www.selfmadecnc.de: Viel Grundsätzliches zur Elektronik und zum Betrieb einer Fräsmaschine.

8.7.6. Die Webseite des Autors

Auf www.einfach-cnc.de finden Sie Tipps, Hinweise und Fehlerkorrekturen.
Vor Baubeginn also reinschauen! www.einfach-cnc.de

8.7.7 Dateidownload

Auf der Seite http://maschinen.vth.de finden Sie als zusätzlichen Service

- die Filme für alle Platinen,
- komplette Schaltpläne,
- Bestückungspläne der Platinen in Farbe,
- farbige Fotos der bestückten Platinen,
- alle Stücklisten mit Artikelnummern und Bezugsquellen,
- Zeichnungen für die Gehäuseteile.

Leserservice



Fräsen mit der Drehmaschine

Der Autor, ein Modellbauer mit höchsten Ansprüchen an Präzision und Vorbildtreue, hat das Verfahren entwickelt und perfektioniert, mit dem man mit jeder vorhandenen Drehmaschine auch fräsen kann. In diesem Buch stellt er die dazu notwendigen Zusatzteile und verschiedene Einsatzwerkzeuge für jeden Zweck vor und beschreibt genau und verständlich, wie man sie selbst herstellt. Mehr als 170 detaillierte Konstruktionspläne, Zeichnungen und Fotos lassen dabei keine Fragen offen. Ausführliche Kapitel widmen sich dann der praktischen Anwendung des Schlagzahnfräsens, so dass man Schritt für Schritt lernt, diese Technik bei eigenen Projekten einzusetzen, um hochgenaue Kleinteile einzeln oder in Serie zu produzieren.

Stück für Stück wird die kleine Maschine in der sinnvollen Reihenfolge der Teile gebaut. Immer werden Alternativen bei der Herstellung aufgezeigt. So steht am Ende eine voll funktionsfähige und für die Herstellung von Modellteilen, insbesondere sehr feinen, nutzbare Werkzeugmaschine zur Verfügung.
Selbst wer keine Drehmaschine bauen will, wird beim aufmerksamen Lesen des Buches viel Hintergrundinformationen über die Metallbearbeitung bekommen.

Umfang: 160 Seiten **Best.-Nr.: 310 2152**
Abbildungen: 249 **Preis: 16,00 €**



Drehmaschinenpraxis für Modellbauer

In diesem Buch werden ausführlich alle wesentlichen Drehmaschinenkomponenten und Arbeitsgänge aus der Sicht der Praxis behandelt. Dazu kommen viele leicht verständliche Beispiele, klare und aussagefähige Illustrationen und eine Vielzahl von Anwendungstips. Wer alles aus seiner Drehmaschine herausholen möchte, findet in diesem Buch das theoretische Nutzzeug, das dafür nötig ist.

Umfang: 232 Seiten
Best.-Nr.: 310 2070 **Preis: 19,30 €**



Jürgen Eichardt

Kleindrehmaschine im Eigenbau

Bauen Sie eine Uhrmacherdrehmaschine nach Ihren Bedürfnissen!

Mit diesem Buch bekommen Sie die Grundlagen für den Bau einer solchen Maschine für feine Arbeiten – und das kostengünstig und zugleich als interessantes eigenständiges Projekt.

Jürgen Eichardt

Fräsen für Modellbauer

Band 1: Maschinen, Werkzeuge und Materialien

In Band 1 erfahren Sie, worauf man beim Kauf einer Fräsmaschine achten muss, wie die Maschine gepflegt wird, damit sie stets exakte Ergebnisse produziert, und wie wir sie mit einer Vielzahl von selbst gebauten Verbesserungen



und nützlichen Zubehörteilen versehen können. Ausführlich werden die verschiedenen Fräswerkzeuge und ihre Einsatzmöglichkeiten vorgestellt: vom Fingerfräser über die Metallkreissäge bis hin zu Bohrern, Eigenbauformfräsern und viele andere. Ebenso die am besten geeigneten Rohmaterialein und ihre Besonderheiten bei der Bearbeitung.

Umfang: 176 Seiten **Best.-Nr.: 310 2117**
Abbildungen: 240 **Preis: 19,00 €**

Jürgen Eichardt

Fräsen für Modellbauer

Band 2: Frästechniken, Messen und Sonderanwendungen



Hier erfährt man, wie die verschiedenen Fräswerkzeuge arbeiten und wie man sie richtig einsetzt. Einfache Fräsbearbeitungen werden ebenso gründlich besprochen wie vermeintlich schwierige Anwendungen, zum Beispiel das sehr wichtige Arbeiten nach Koordinaten, das Fräsen von Zahnrädern oder sogar das Wendelfräsen. Dazu gibt es viele Hinweise zum richtigen Messen, der Voraussetzung für genaue Ergebnisse, sowie zum sicheren Umgang mit der Maschine.

Umfang: 176 Seiten **Best.-Nr.: 310 2118**
Abbildungen: 270 **Preis: 19,00 €**

Jürgen Eichardt

Drehen für Modellbauer

Band 1: Das ABC des Hobbydrehers

In Band 1 geht es zunächst um allgemeine Anforderungen an Tischdrehmaschinen, um die Pflege und Verbesserung der Arbeitsgeräte, um die Werkzeuge und das Material, die Vorbereitung auf das Drehen und die Sicherheit bei der Arbeit. Außerdem werden die üblichen Arbeitsweisen wie zum Beispiel das Plan- und das Langdrehen, das Drehen zwischen den Spitzen sowie das Ein- und Abstechen näher beschrieben. Jürgen Eichardt nimmt den Leser dabei mit in seine Hobby-Werkstatt und lehrt ihn angesichts winziger vorbildgetreuer Modellteile das Staunen.



Umfang: 228 Seiten **Best.-Nr.: 310 2113**
Abbildungen: 278 **Preis: 19,00 €**

Jürgen Eichardt

Drehen für Modellbauer

Band 2: Besondere Aufgaben und Technologien



In Band 2 erläutert der Autor die etwas schwierigeren Operationen und zeigt ungewöhnliche Hilfsmittel. Rändeln und Kordieren, Gewindeschneiden und Formdrehen, das Fertigen von Radius- und Formstechstählen, das Drehen mit dem „Seiten-Abstechstahl" ... die Liste der besonderen Aufgaben und ihrer Technologien ist lang, die Jürgen Eichardt dem schon etwas geübteren Modellbauer vorstellt und erläutert, wiederum mit Hilfe zahlreicher Illustrationen und wichtiger technischer Tabellen.

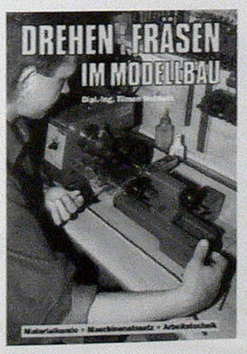
Umfang: 160 Seiten **Best.-Nr.: 310 2114**
Abbildungen: 240 **Preis: 17,00 €**

Metallbearbeitung im Modellbau



Dieses Buch beschreibt ausführlich in leicht verständlichen Texten und mit vielen Fotos und Zeichnungen alles, was man über die Metallbearbeitung im Modellbau wissen muss. Die Information über die speziellen Eigenschaften der verschiedenen Metalle wird genauso behandelt, wie die Vorbereitung der Materialien für die Bearbeitung. Weiter geht es mit den grundlegenden Bearbeitungsformen wie Bohren, Feilen und Gewindeschneiden per Hand. Den Abschluss bildet dann die Metallbearbeitung mit maschineller Hilfe, vor allem mit der Drehmaschine aber auch das Fräsen wird beschrieben.
Für jeden Modellbauer, der Metalle bearbeiten will, bildet dieses Buch eine umfassende Grundlage für die Arbeit in der Werkstatt

Umfang: 432 Seiten **Best.-Nr.: 310 2145**
Abbildungen: 466 **Preis: 29,00 €**



Drehen und Fräsen im Modellbau

Anhand unzähliger Fotos und Zeichnungen wird Schritt für Schritt gezeigt, wie Metalle, Kunststoff und Holz spanabhebend bearbeitet werden. Ein umfangreicher Tabellenteil, ein Bezugsquellenverzeichnis und ein Sachwortregister vervollständigen dieses Werk der Dreh- und Frästechnik

Umfang: 528 Seiten **Best.-Nr.: 310 2037**
Abbildungen: 470 **Preis: 34,50 €**

Materialien für den Modellbau



Dieses Buch beschreibt die vielen unterschiedlichen Materialien, die vom Funktionsmodellbauer in seiner Werkstatt verwendet werden. So unter anderem Eisen und Stahl, Nichteisen-Metalle wie Aluminium, Messing und Kupfer, Hart- und Weichhölzer sowie eine Anzahl von Kunststoffen - bearbeitbare und andere. Es enthält außerdem Einzelheiten über Schleifmittel, Klebstoffe, Lagerwerkstoffe, keramische und feuerfeste Werkstoffe, Beschichtungen, Galvanikbäder, Brennstoffe, Gase, Schmier-, Beiz- und Poliermittel, Dichtungswerkstoffe und Lote. Es dient damit als Nachschlagewerk für alle, die für eine bestimmte Aufgabe oder ein bestimmtes Teil das passende Material suchen. Vollgepackt mit nützlicher Information richtet sich dieses Buch an alle Modellbauer, egal, ob sie sich mit Flug-, Schiffs-, Truck- oder Maschinenmodellen beschäftigen. Ein Buch, das in jede Modellbauerwerkstatt gehört!

Umfang: 160 Seiten **Best.-Nr.: 310 2142**
Abbildungen: 104 **Preis: 15,00 €**

Der neue VTH-Modellbau-Katalog
Jetzt kostenlos und unverbindlich anfordern!



Best.-Nr.: 610 0101

Bestellen Sie jetzt! Wir liefern sofort.

Verlag für Technik und Handwerk GmbH
Bestellservice, 76526 Baden-Baden
Tel.: 07221/508722 · Fax 07221/508733
E-Mail: service@vth.de · Internet: www.vth.de

Wir fräsen, gravieren, bohren, schneiden und dosieren unter Windows...

- ✓ Software-Steuerungen für 3 oder 4 Schrittmotorachsen unter MS-Windows
- ✓ Steuerungen und Software für kleine und große Maschinen, für Hobby, Modellbau oder Industrie
- ✓ Schrittmotoren und Leistungskarten von 1-6A
- ✓ Sie bauen die Maschine, wir liefern den Rest

Gratisinfo : **Burkhard Lewetz** **Brückenstraße 7**
Hard-Software **D-88074 Meckenbeuren**
Tel. 07542-21886 **Fax 07542-3889**
Info@Lewetz.de **www.Lewetz.de**

UNIMAT 1-CNC **ab 699,-- €**

Alle Informationen unter:
43/2236/892666 - Fax: DW18
www.thecooltool.com
info@thecooltool.com

oder besuchen Sie uns:
Fabriksgasse 15, 2340 Mödling
Austria

- Drehen, Fräsen, Indexieren
- Modules System bis zu 6 Achsen
- Genauigkeit < 0,08mm
- Schrittmotoren mit 2 Ampere
- Professionelle CNC Steuerung



The cool Tool
www.thecooltool.com

Verlag für Technik und Handwerk GmbH

Fachbücher für Modellbau 2006



Fordern Sie jetzt kostenlos den neuen vth -Modellbau-Katalog an!

Mehr Inhalt!
Mehr Auswahl!
Mehr Format!

Einfach anrufen unter: 0 72 21/ 50 87-22

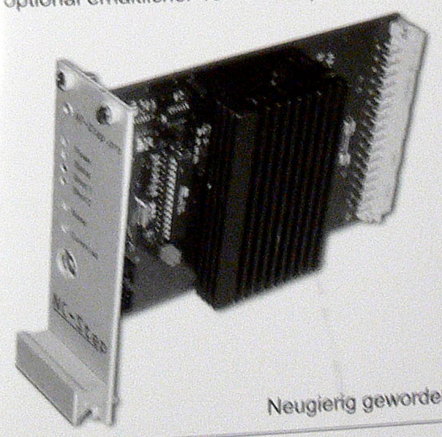
Best.-Nr.: **610 0101**
kostenlos

Bestellen Sie jetzt! Wir liefern sofort.
Verlag für Technik und Handwerk GmbH
Bestellservice, 76526 Baden-Baden
Tel.: 0 72 21/50 87-22, Fax: 0 72 21/50 87-33
E-Mail: service@vth.de, Internet: www.vth.de

vth Verlag für Technik und Handwerk GmbH • Baden-Baden

Jetzt schlägt's 19...

Schrittmotor-Endstufe "HP-Step.pro" mit optional erhältlicher 19" Teilfrontplatte



... die HP-Step.pro ist da!
- 1 Achse, bis zu 3,5/5A pro Phase
- Vollschritt bis 1/8 oder 1/10 Mikroschritt
- Schneller 10-bit DAC für die Sollwertausgabe
- Benötigt nur eine Versorgungsspannung
- Verbesserter Kurzschluss-Schutz
- Euroformat mit DIN41612-Stecker Bauform D, kompatibel zum Quasi-Standard
- Die Lieferung erfolgt aufgebaut & getestet
- Und der Preis? Kaum mehr als ein Bausatz!

Erhältliches Zubehör:
- Preiswerte Motoren, ständig ab Lager
- Backplane für 19-Zoll Gehäuse (bis zu 6 Endstufen bzw. 4 Achsen an einem Parallelport)
- Schrittmotor-Netzteil im Europa-Format
- Geschirmte Kabel, Endschalter u. vieles mehr

Neugierig geworden? Einfach reinklicken: www.nc-step.de/hpsteppro.html

NC-Step
Dipl.-Ing. Thorsten Ostermann
• Schrittmotor-Endstufen
• Motoren
• Zubehör

www.NC-Step.de
Fax: 0241 / 40 91 803
E-Mail: Ostermann@NC-Step.de

CNC-Fräsen im Modellbau

Grundlagen und Elektronik

Computergesteuertes Drehen und Fräsen, aus der Industrie nicht mehr wegzudenken, hat längst auch in den Modellbau Einzug gehalten. Die Vorteile liegen auf der Hand:
Höchste Präzision und Wiederholgenauigkeit, weniger Ausschuss und die Nutzung der computerunterstützten Produktion (CAM) machen die CNC-Technik für den Modellbauer attraktiv. Gleichzeitig sind aber ganz neue Kenntnisse und Fertigkeiten gefordert.
Wie werden elektronische Schaltungen aufgebaut?
Wie funktionieren Schrittmotorsteuerungen und welche Bauteile aus dem Elektronikhandel bieten sich dafür an?
Autor Christoph Selig beschreibt in diesem Buch ausführlich, wie sich die CNC-Technik für die Schaltung und Programmierung einer Fräsmaschine nutzen lässt.
Vom Maschinentyp über Achs- und Spindelantrieb bis hin zur eigentlichen digitalen Steuerung werden alle Themen ausführlich behandelt, die für den CNC-Einsteiger relevant sind.
Rund 140 Abbildungen mit Fotografien, Schaltplänen und Bildschirmbeispielen ergänzen den Text.

-Fachbuch
Best.-Nr. 310 2159 • Preis: 17,80 € [D]

9 783881 807593

ISBN 3-88180-759-4

Maschinen im Modellbau
-Fachbuch