

Inhalt

Vorwort	13
1. Grundlagen	15
1.1. Warum CNC-Technik für den Hobbybereich?	15
1.2. Fräs- oder Drehmaschine?	19
1.2.1. Typen von Fräsmaschinen	20
1.2.1.1. Flachbett- oder Portalmaschinen	20
1.2.1.2. Bettfräsmaschine	21
1.2.2. Drehmaschinen	24
1.3. Koordinatensysteme	25
1.3.1. Maschinen-Koordinatensystem	25
1.3.2. Werkstück-Koordinatensystem	25
1.3.3. Das Koordinatensystem einer Fräsmaschine	25
1.3.4. Das Koordinatensystem einer Drehmaschine	26
1.4. Achsantriebe	27
1.4.1. Antriebe mit Gleichstrom-Servomotor	27
1.4.2. Antriebe mit Drehstrom-Servomotor	27
1.4.3. Antriebe mit Schrittmotor	27
1.4.4. Antriebe mit Schrittmotor-Servos	27
1.5. Positionsbestimmung	29
1.5.1. Direkte Messung	29
1.5.2. Indirekte Messung	29
1.5.3. Vertrauens-Meßsystem	29
1.5.4. Absolute und inkrementelle Wegmessung	30
1.5.5. Maschinennullpunkt	30
1.5.6. Referenzposition, Referenzfahrt	30
1.5.7. Endschalter	32
1.6. Die Steuerungsarten	34
1.7. Die Software	34
1.8. Die Steuerelektronik	36
1.9. Der Computer	37
1.10. Die Parallelschnittstelle	38
1.11. CNC-Programme nach DIN 66025	40
2. Schrittmotoren	41
2.1. Was ist ein Schrittmotor?	41
2.2. Wie funktioniert der Schrittmotor?	42
2.2.1. Der Hybridmotor	42
2.2.2. Das Prinzip der Ansteuerung	42
2.2.3. Haltemoment	43
2.2.4. Aufbau und Polzahl eines realen Motors	43
2.2.5. Die Ansteuerung des Schrittmotors	44
2.2.5.1. Motorphasen	44
2.2.5.2. Vollschritt	44
2.2.5.3. Halbschritt	44
2.2.5.4. Mikroschritt	45

2.2.6. Wicklungsausführungen	45
2.2.6.1. Wicklungen für den Betrieb mit konstanten Spannungen	45
2.2.6.2. Wicklungen für den Betrieb mit konstanten Strömen	46
2.2.6.3. Motoren mit vier Anschlüssen	46
2.2.6.4. Motoren mit sechs Anschlüssen	46
2.2.6.5. Motoren mit acht Anschlüssen	46
2.2.6.6. Jede andere Anschlussanzahl	47
2.2.7. Warnung: Fremdantrieb des Schrittmotors	47
2.2.8. Kenngrößen eines Schrittmotors	47
2.2.8.1. Anzahl Phasen	47
2.2.8.2. Schrittwinkel, Anzahl Schritte	47
2.2.8.3. Haltemoment	48
2.2.8.4. Drehmoment	48
2.2.8.5. Beschleunigungs- und Bremsrampen	50
2.2.8.6. Phasenstrom	50
2.2.8.7. Nennspannung	50
2.2.8.8. Wicklungswiderstand, Wicklungsinduktivität	51
2.2.9. Beispiele für Schrittmotoren	51
2.2.10. Endstufen für Schrittmotoren	51
2.2.10.1. H-Brücken	51
2.2.10.2. Stromregelung	54
2.2.10.3. Integrierte Schaltungen für die H-Brücken	57
3. Bau und Betrieb der Schrittmotor-Steuerung SRS 1X035	59
3.1. Die CNC-Schnittstelle	60
3.2. Die Schrittmotor-Endstufen	62
3.3. Das Netzteil	63
3.4. Die Maschinen-Schnittstelle	64
3.5. Gehäuse	67
3.6. Antrieb und Steuerung der Maschinenspindel	68
3.6.1. Spindelmotor ohne Frequenzumrichter	71
3.6.2. Spindelmotor BF20	71
3.6.3. Spindelmotor mit Frequenzumrichter	72
3.6.4. Drehstrom-Hochfrequenzspindeln	73
3.6.5. Spindeln mit BLDC-Motor	74
3.6.6. Rückmeldung der Spindeldrehzahl	74
3.6.6.1. Mit einer Gabellichtschranke	74
3.6.6.2. Mit einem Hallsensor	75
3.7. Endschalter	76
3.7.1. Mechanische Endschalter	76
3.7.2. Induktive Endschalter	76
3.8. Referenzschalter	76
3.8.1. Mechanische Referenzschalter	76
3.8.2. Induktive Referenzschalter	76
3.9. Not-Aus	76
3.9.1. Not-Aus per Software	76
3.9.2. Not-Aus per Hardware	77

4. Die Steuerung SRS 1X06	79
5. Die Steuerung SRS 14035	80
6. Die Steuersoftware Mach3	83
6.1. Die Struktur der Software	83
6.2. Mach3 Erstinstallation	85
6.3. Test der Installation	87
6.4. Mach3 Update	87
6.5. Demo- und Vollversion	88
6.6. Deutsche Bedieneroberfläche	88
6.7. Mach3 starten	89
6.8. Mach3 konfigurieren	89
6.8.1. Einheiten der Längenmaße (Select Native Units)	89
6.8.2. Einstellen der Motorparameter (Motor Tuning)	89
6.8.2.1. Ermittlung der Schritte pro Millimeter Fahrweg (Steps per) ..	90
6.8.2.2. Maximale Geschwindigkeit (Velocity)	90
6.8.2.3. Beschleunigung (Acceleration)	91
6.8.3. Punkt und Komma	92
7. Nützliches Zubehör	93
7.1. Der SmoothStepper mit LAN-Anschluss	93
7.2. Das elektronische Handrad	94
7.3. Die Bedieneinheit	95
7.4. Werkzeuglängen-Sensor	96
7.5. Kantentaster	97
7.6. Drehachse (Rundtisch)	98
8. Die Praxis	99
8.1. Erzeugen des CNC-Programms	101
8.1.1. Die Elemente eines Frästeils	101
8.1.1.1. Konturen	101
8.1.1.2. Taschen und Inseln	101
8.1.1.3. Bohrungen	102
8.1.2. Ablauf der CNC-Fertigung des Beispielteils	102
8.2. Am Anfang steht die Zeichnung	102
8.2.1. Vektor- oder Rastergrafik?	102
8.2.2. Konvertieren vom Raster- ins Vektorformat	103
8.2.3. Zeichenprogramme	103
8.2.3.1. Für Grafiker	104
8.2.3.2. Für Maschinenbauer und Architekten	105
8.3. Programmiersprachen	106
8.3.1. G-Code	106
8.3.2. HPGL	106
8.3.3. Dateinamenerweiterungen von CNC-Programmen	107
8.4. Manuelle Programmierung in G-Code	108
8.5. Aus DXF oder HPGL G-Code generieren	108
8.6. Von der Idee zum fertigen Teil	108
8.7. Sonderfall CNC-Drehen	110
8.7.1. CNC-Generator RCLATHE	110

8.7.2. Herstellen eines Drehteils mit den Wizards in Mach3	112
8.8. Marktübersicht CNC-Generatoren für das Fräsen	112
8.9. Ausgewählte Programme	115
8.9.1. Filou-NC	115
8.9.2. SimplyCAM	116
8.9.3. RealCAM	117
8.9.4. SheetCam TNG	117
8.9.5. LazyCAM	118
8.10. Steuersoftware mit integrierten Zeichenfunktionen	118
8.11. Sonderfall PC-NC	118
9. Technologie Fräsen	119
9.1. Wahl der Fräswerkzeuge für die Metallbearbeitung	119
9.1.1. Schrupp- oder Schlichtfräser?	119
9.1.2. Länge und Durchmesser	119
9.1.3. Schneiden über Mitte	120
9.1.4. Material des Fräasers	121
9.1.5. Wie viele Zähne?	121
9.2. Einspannen der Fräser	121
9.2.1. Bei Bettfräsmaschinen	121
9.2.2. Bei Portalmaschinen	123
9.3. Zu bearbeitendes Material	124
9.4. Drehzahl, Frästiefe und Vorschubgeschwindigkeit	125
9.4.1. Für die Bettfräsmaschine	125
9.4.2. Für die Portalfräsmaschine	125
9.5. Gleichlauf oder Gegenlauf?	126
9.6. Kühlung und Schmierung	126
9.7. Staubabsaugung	127
9.8. Resonanzen	128
9.9. Aufspannen des Werkstücks	129
9.9.1. Auf den Maschinentisch	130
9.9.2. Mit einer Zwischenplatte	131
9.9.3. Im Maschinenschraubstock	131
9.9.4. Aufspannen runder Teile im Drehfutter	132
9.9.5. Aufspannen dünner, flacher Materialien	133
9.9.6. Auf der Vakuumplatte	136
9.10. Einrichten der Maschine	137
9.10.1. Der Werkstück-Nullpunkt	137
9.10.2. Finden des Werkstück-Nullpunkts	138
9.10.2.1. Mit der Mess-Spitze	138
9.10.2.2. Mit dem rotierenden Kantentaster	138
9.10.2.3. Mit dem 3D-Taster	139
9.10.2.4. Mit dem elektronischen Kantentaster	139
9.10.2.5. Verwendung von Anschlägen	140
9.10.3. Der Werkzeug-Nullpunkt	141
9.10.4. Einstellen des Werkzeug-Nullpunkts	142
10. Technologie Drehen	145

10.1. Wahl der Drehwerkzeuge	145
10.2. Einspannen der Werkzeuge	146
10.2.1. Maschinen mit einfachen Stahlhaltern	146
10.2.2. Maschinen mit Wechsel- oder Mehrfach-Stahlhaltern	146
10.3. Einmessen der Werkzeuge	147
10.4. Drehzahl, Vorschub und Zustellung	148
10.5. Kühlung	148
11. Praktische Beispiele Fräsen	149
11.1. Getriebegehäuse aus Aluminium	151
11.1.1. Erstellen der Zeichnung	151
11.1.2. Konfigurieren von Maschine und Material	152
11.1.3. Die Werkzeugleisten des Programms	153
11.1.4. Einlesen der Zeichnung	153
11.1.5. Bearbeitungswerkzeuge anlegen	154
11.1.6. Definition der Bearbeitungsprozesse	156
11.1.6.1. Tasche	156
11.1.6.2. Innenkonturen	157
11.1.6.3. Bohrungen	158
11.1.6.4. Außenkontur	158
11.1.6.4.1. Schnittanfang	159
11.1.6.4.2. Schnittpfad	160
11.1.7. Linienfarben ändern	160
11.1.8. Prozesse ein- und ausblenden	160
11.1.9. 3D-Ansicht	161
11.1.10. Prozesse neu anordnen, ändern oder löschen	161
11.1.11. Generieren des G-Code	161
11.1.12. Simulation	161
11.1.13. Änderungen vornehmen	163
11.1.14. Eigene Postprozessoren	163
11.1.15. Fräsen des Getriebegehäuses	163
11.2. Spant für ein Modellschiff	170
11.2.1. Umwandlung einer Rastervorlage in eine DXF-Datei	170
11.2.2. Generieren des Fräsprogramms	171
11.2.3. Fräsen des Spants	172
11.3. Fräsen von Frontplatten	174
11.4. Schriften fräsen	178
11.5. Frontplatten ganz einfach	180
11.6. Platinen Fräsen	180
11.6.1. Pro und Contra	180
11.6.2. Das Verfahren	181
11.6.3. Die Software pcb-gcode für Eagle	182
11.6.4. Konfigurieren von pcb-gcode	182
11.6.5. Generieren der Fräs- und Bohrdaten in Eagle	185
11.6.6. Das Aufspannen der Platine	187
11.6.7. Das Fräswerkzeug	189
11.6.8. Werkstück-Nullpunkt	189

11.6.9. Höheneinstellung	189
11.6.10. Eintauchtiefe	189
11.6.11. Spindeldrehzahl	190
11.6.12. Das Fräsen	190
11.6.13. Das Bohren	190
11.6.14. Doppelseitige Platinen	190
11.6.15. Andere Layout-Programme	190
11.6.16. Sonstige Informationen	190
12. Praktisches Beispiel Drehen	191
12.1. Programmerstellung mit RCLATHE	192
12.2. Programmerstellung mit Wizards	192
13. Die CNC-Fräsmaschine als Zeichenmaschine	195
14. Manuell GCode programmieren	197
14.1. CNC-gerechte Zeichnungen	197
14.2. Werkstück-Nullpunkt	198
14.3. Arbeitsablauf festlegen	198
14.4. Programmaufbau	200
14.5. Satzaufbau	200
14.5.1. Satznummer	200
14.5.2. Sonderzeichen	200
14.5.3. Wegbedingungen (G-Codes)	201
14.5.4. Zielkoordinaten	201
14.5.5. Schaltfunktionen (M-Codes)	202
14.5.6. Parameter	202
14.6. Zahlen	202
14.7. Maßangaben	202
14.7.1 Absolute Maßangaben	202
14.7.2 Inkrementelle Maßangaben (Kettenmaße)	203
14.8. Zerspanungsdaten (Drehzahl und Vorschub)	203
14.9. Programmierung von Geraden	205
14.10. Kreisprogrammierung	206
14.10.1. Vollkreise	206
14.10.2. Kreisbögen	207
14.10.2.1. Das Radiusformat	206
14.10.2.1.1. Absolute Maßangaben	206
14.10.2.1.2. Inkrementelle Maßangaben	207
14.10.2.2. Das Mittelpunktformat	207
14.10.2.2.1. Absolute Maßangaben, I-J absolut	208
14.10.2.2.2. Absolute Maßangaben, I-J inkrementell	208
14.10.2.2.3. Inkrementelle Maßangaben, I-J inkrementell	208
14.10.2.3. Beispiel für die Kreisprogrammierung	209
14.11. Werkzeugbahnkorrektur	209
14.11.1. Sinn und Zweck	209
14.11.2. Festlegen des Fräserdurchmessers	211
14.11.3. Richtige und falsche Werkzeugbahnen	211
14.11.4. Anfahren der Kontur	211

14.11.5. Wegfahren und Abbau der Korrektur.	214
14.11.6. Pause während der Werkzeugbahnkorrektur.	215
14.12. Unterprogramme.	215
14.13. Polare Koordinaten.	219
14.14. Bohrzyklen.	222
14.14.1. Zyklus Bohren, Rückzug im Eilgang – G81.	222
14.14.2. Zyklus Bohren, Verweilen, Rückzug mit Eilgang – G82.	223
14.14.3. Zyklus Tieflochbohren – G83.	223
14.14.4. Zyklus Bohren, Rückzug mit Vorschub – G85.	224
14.14.5. Zyklus Bohren, Spindel aus, Rückzug mit Eilgang – G86.	224
14.14.6. Zyklus Bohren, Spindel aus, manueller Rückzug – G88.	225
14.14.7. Zyklus Bohren, Verweilen, Rückzug mit Vorschub – G89.	225
14.14.8. Zyklus schnelles Tieflochbohren – G73.	226
14.14.9. Lineare Lochreihen programmieren.	226
14.14.10. Rückzugebene definieren – G98, G99.	227
14.15. Werkstück- und Werkzeug-Offsets programmieren.	228
14.15.1. Setzen der Werkzeug-Offsets.	228
14.15.2. Setzen der Werkstück-Offsets.	228
14.16. Nullpunktverschiebung im Koordinatensystem.	228
14.17. Drehen des Koordinatensystems.	229
14.18. G-Code Referenz (Wegbedingungen).	230
14.18.1. Fahren im Eilgang – G0.	231
14.18.2. Lineares Fahren mit Vorschubgeschwindigkeit – G1.	231
14.18.3. Kreisbogen mit Vorschubgeschwindigkeit – G2 und G3.	231
14.18.3.1 Radiusformat.	231
14.18.3.2 Mittelpunktformat.	231
14.18.4. Verweilen – G4.	231
14.18.5. Werkstück- und Werkzeug-Offsets – G10.	232
14.18.6. Vollkreis – G12 und G13.	232
14.18.7. Polares Koordinatensystem abschalten – G15.	232
14.18.8. Polares Koordinatensystem einschalten – G16.	232
14.18.9. Ebenen auswählen – G17, G18, G19.	232
14.18.10. Längeneinheit wählen – G20, G21.	232
14.18.11. Maschinen-Nullpunkt anfahren – G30.	233
14.18.12. Werkzeugbahn-Korrektur – G40, G41, G42.	233
14.18.13. Werkzeuglängen-Offsets – G43, G44, G49.	233
14.18.14. Skalierungsfaktoren setzen – G50, G51.	233
14.18.15. Nullpunktverschiebung im Koordinatensystem – G52.	233
14.18.16. Folgende Position in Maschine-Koordinaten – G53.	234
14.18.17. Werkstück-Nummer wählen – G54 bis 59.	234
14.18.18. Bahn-Modus setzen – G61, G64.	234
14.18.19. Drehen des Koordinatensystems – G68, G69.	234
14.18.20. Längeneinheit wählen – G70, G71.	234
14.18.21. Zyklus schnelles Tieflochbohren – G73.	234
14.18.22. Modale Bewegungen ausschalten – G80.	235
14.18.23. Zyklus Bohren, Rückzug im Eilgang – G81.	235

14.18.24. Zyklus Bohren, Verweilen, Rückzug mit Eilgang – G82	235
14.18.25. Zyklus Tieflochbohren – G83	235
14.18.26. Zyklus Bohren, Rückzug mit Vorschub – G85	235
14.18.27. Zyklus Bohren, Spindel aus, Rückzug mit Eilgang – G86	235
14.18.28. Zyklus Bohren, Spindel aus, manueller Rückzug – G88.	235
14.18.29. Zyklus Bohren, Verweilen, Rückzug mit Vorschub – G89	235
14.18.30. Absolute Maßangaben – G90	236
14.18.31. IJ-Modus absolut – G90.1	236
14.18.32. Inkrementelle Maßangaben – G91	236
14.18.33. IJ-Modus inkrementell – G91.1	236
14.18.34. Rückzugebene definieren – G98, G99.	236
14.19. M-Code Referenz (Schaltfunktionen).	236
14.19.1. Programm Pause – M0.	236
14.19.2. Programm Ende – M2	236
14.19.3. Spindel an im Uhrzeigersinn – M3	237
14.19.4. Spindel an im Gegenuhrzeigersinn – M4	237
14.19.5. Spindel aus – M5	237
14.19.6. Werkzeugwechsel – M6.	237
14.19.7. Kühlung Nebel an – M7.	237
14.19.8. Kühlung Schwall an – M8.	237
14.19.9. Kühlung aus – M9	238
14.19.10. Programmende und Rücklauf – M30.	238
14.19.11. Programm ab dem ersten Satz wiederholen – M47	238
14.19.12. Manuelle Änderung von Vorschub und Drehzahl erlauben – M48	238
14.19.13. Manuelle Änderung von Vorschub und Drehzahl verbieten – M49	238
14.19.14. Ausführen eines Unterprogramms – M98	238
14.19.15. Rückkehr aus einem Unterprogramm – M99	238
14.20. Referenz Adressbuchstaben	239
14.21. Reihenfolge der Befehlsausführung in einem Programmsatz.	239
14.22. Standard-Programmanfang	240