



Leseprobe

Wolfgang Hägele

Bohrungsbearbeitung mit der TNC

Praxislösungen und Programmierung von Fertigungsaufgaben

ISBN (Buch): 978-3-446-43434-9

ISBN (E-Book): 978-3-446-43700-5

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-43434-9>

sowie im Buchhandel.

Vorwort

Dieses Buch soll die Klartext-Programmierung der Heidenhain-TNC-Steuerungen anhand von praxisorientierten Bohrungsaufgaben zeigen. Es soll sowohl eine auto-didaktische Einarbeitung als auch eine möglichst umfassende und vertiefte Behandlung des gewählten Stoffgebietes ermöglichen. Da die Bedienung und die elementare Nutzung der Programmfunktionen der Steuerung durch die Standardliteratur und die Programmierkurse ausgiebig erklärt werden, wird deren Kenntnis vorausgesetzt und darauf nur in begründeten Sonderfällen eingegangen.

Sie finden in diesem Buch eine umfassende Sammlung von leistungsfähigen Lösungen für spezielle Bearbeitungsaufgaben wie

- Bohrabläufe für wirklich tiefe Bohrungen, die nur mit längenmäßig abgestuften Bohrersätzen zu fertigen sind,
- Bohrungen mit sehr großem Durchmesser,
- solche mit einem „krummen“ Durchmesser,
- Bohrungen in schwierigem Material,
- Anordnungsmuster wie Ellipse, Spirale, unregelmäßige Anordnung sowie
- fertigungstechnische Anforderungen, wie möglichst schnelle Taktraten, werkzeug- und werkstückschonende Abläufe, unterbrechbare Abläufe usw.
- Gezeigt werden auch Nachbearbeitungen wie Entgratungsabläufe von Bohrungen auf einem liegenden Zylinder. Schon die 3-achsige Lösung – die besser als nichts, aber eben doch ein Provisorium ist – ist sicher nicht mehr als trivial zu bezeichnen. Und ganz bestimmt nicht die 5-Achs-Version, die erst die wirklich guten Ergebnisse liefert.
- Im Kapitel „Bohrung fräsen“ finden Sie allein für die Herstellung einer konischen Wand sechs verschiedene Lösungen mit völlig verschiedenen Schnittstrategien, aus denen Sie nach Aufwand und gewünschtem Ergebnis wählen können.
- Die Gewinde-Herstellung mit ihren Besonderheiten wird mitbehandelt.
- CAD/CAM hilft hier ausnahmsweise nicht – gängige Systeme kennen nur Standardabläufe.

Das Buch richtet sich speziell an Verwender der TNCs der Firma Heidenhain (JH). Die Einschränkung wurde bewusst in Kauf genommen.

Zum einen ist es in Anbetracht der Verschiedenheit der Systeme unmöglich, die Thematik universell und doch so konkret zu beschreiben, dass Nutzer eines anderen Herstellers hier direkt verwendbare Lösungen finden könnten.

Zum anderen ist es zumindest bei den weiteren großen Steuerungsherstellern ziemlich unüblich, dass die Facharbeiter ihre Programme selbst schreiben und daher detaillierte Programmierkenntnisse benötigen.

Das Buch ist als konkrete Handlungsanweisung gedacht, daher wurde besonderer Wert auf einen sicheren und ausgiebig beschriebenen Einstieg gelegt. Der Facharbeiter, der ein in Jahrzehnten gewachsenes Paket an Lösungen nutzen will, kann – bei aller Sorgfalt, die bei der Entwicklung der Steuerung und ihren Beschreibungen an den Tag gelegt wurde – dies beim heutigen Umfang der Benutzer-Handbücher von zusammengenommen ca. 1250 Seiten (Stand 2012) nur schwer ohne Hilfestellung bewältigen.

Die Absicht ist, dem Anwender in wohlüberlegten Schritten möglichst vom Anfang der Programmierung bis zur Bewältigung der 5-achsigen Entgratungsabläufe immer alles das und nur das zu geben, was er im Moment wissen muss.

Bei der Beschränkung auf die TNCs ergibt sich ein wohl einzigartig „rundes“ Gesamtbild der Lernsituation:

- sehr umfangreiches und praxisorientiertes Kursprogramm des Steuerungsherstellers sowie ausführliche, stets aktuelle Benutzer-Handbücher
- Helpline, die wirklich hilft, wenn man selbst nicht weiterkommt
- Ein Programmierplatz lässt sich beim Hersteller gratis downloaden. Er kann alles ausführen, was das System maximal beherrscht, und ist nur in der Programmlänge eingeschränkt (reicht aber für die besprochenen Lösungen). Er stellt alles zur Verfügung, was für die beschriebenen Lösungen gebraucht wird.
- Die meisten hier beschriebenen Beispiele lassen sich mit den Systemfunktionen realisieren.
- Viele weitere kann man ebenfalls kostenlos von der NC-Datenbank auf der Homepage von JH downloaden: <http://applications.heidenhain.de/ncdb/>.
- Dank der sehr konsequenten Programm-Kompatibilität bei JH sind die gezeigten Lösungen sowohl an Uralt-Steuerungen wie der TNC 155 (mit der viele Lösungen erarbeitet wurden) als auch an neuesten Systemen wie iTNC direkt oder mit geringen Anpassungen zu verwenden.
- TNC-Fachwissen veraltet daher nicht.

Natürlich ist das bequemste Verfahren, um mit der NC-Programmierung vertraut zu werden, der Besuch eines Programmierkurses beim Steuerungshersteller oder einem seiner autorisierten Partner.

Das Buch ermöglicht zusätzlich Folgendes:

- Gelernt werden kann zu Hause. Details kann man sich durch die beigelegten Erklärungen trotzdem klarmachen.
- Das Buch bietet einen Tiefgang in dem angebotenen Themenbereich, welcher auch durch den Besuch aller Kurse des Steuerungsherstellers nicht übermittelt werden kann, zu einem Bruchteil des Preises: Dem Kaufpreis von ca. 30 € des Buches stehen Gesamtkosten von mehreren Tausend € für einen regulären Kursbesuch inklusive Kursgebühren, Spesen und Fertigungsausfall für die Zeit der Abwesenheit des Mitarbeiters gegenüber.
- Für die Klärung der Details kann jederzeit nachgelesen werden.
- Die Lösungen sind weitestgehend so gehalten, dass sie für Generationen von Steuerungen nutzbar sind. Mehrstufige Berechnungen, die heute mit einer Programmzeile zu erledigen sind, sind aus diesem Grund mit mehrzeiligen Einzeloperationen, wie sie schon bei der TNC 150 benutzbar sind, erklärt.

Das Buch soll darüber hinaus denen Gelegenheit geben, sich intensiv in die Programmierung von Bohrarbeiten autodidaktisch einzuarbeiten, die den Besuch regulärer Kurse aus zeitlichen, finanziellen oder weiteren Gründen nicht oder nicht in ausreichendem Maße realisieren können. Gedacht ist dabei unter anderem an den Benutzer, der ausnahmsweise eine problematische Bohrbearbeitung zu erledigen hat, oder die Techniker und Ingenieure der Maschinenhersteller, die ohne große Zusatzausbildung Sonderzyklen zu erstellen haben.

Standardkurse bedeuteten für diese Situationen zu viel Zeitaufwand und zu wenig Spezialwissen zu dem Thema „Bohren“.

Es wurde großer Wert darauf gelegt, möglichst das ganze Spektrum dieses Gebiets mit strikt praxisorientierten Lösungen abzudecken. Der Autor hat diese Lösungen während seiner ca. 30-jährigen Tätigkeit in Applikation und Kundenberatung zufolge von konkreten Anforderungen der Steuerungskunden selbst entwickelt.

Erfunden wurden dabei nicht die Aufgabenstellungen, streng genommen nicht einmal die Abläufe der Lösungen, die ja bei den jeweiligen Anfragen von den Benutzern formuliert wurden, sondern nur die Programme zur Realisierung der Lösungen. Weitere Lösungen sind vorhanden und können ggf. vom Autor nach Kontaktnahme geliefert werden.

Das Buch richtet sich an den Facharbeiter, der mit Fräs- und Bohrarbeiten zu tun hat, ebenso wie an betriebliche Ausbilder, Berufsschullehrer, Programmierer. Für Ausbildungspersonal liefert es erweitertes Hintergrundwissen für die Situationen, in denen man mit gut vorgebildeten Teilnehmern zu tun hat. Da grundlegendes Wissen zu Bedienung und Programmierung der Steuerungen vom Hersteller und mit ihm zusammenarbeitenden Firmen und Ausbildungsinstituten vermittelt wird, wird dies als bekannt vorausgesetzt und nur in begründeten Sonderfällen erläutert.

Die in den Steuerungs-Handbüchern beschriebenen Beispiele werden der Vollständigkeit wegen teilweise erwähnt. Der Schwerpunkt liegt aber auf den weiterführenden Lösungen, welche in Programmierkursen enthalten sind, auf in der NC-Datenbank der Firma Heidenhain zugänglichen und zahlreichen weiteren Lösungen bis zur Nacharbeit.

Diese umfangreiche Behandlung der Thematik erspart dem Benutzer das Suchen in den oben aufgelisteten Quellen, welche überdies nicht jedem Interessenten direkt zugänglich sind. Sie gibt Ansätze und Anregungen für die Erstellung weiterer Varianten und bewahrt ihn auch davor, das Rad wieder einmal neu zu erfinden. Außerdem ist sie strikt anwenderorientiert.

Die Lösungen entspringen wirklichen Anfragen von TNC-Anwendern und wurden generell auch an der Maschine gefahren. Damit wird dem verständlichen Wunsch des Anwenders Rechnung getragen, gängige und verwendbare Lösungen zu bekommen.

Zur Benutzung

Dieses Buch soll den Anwender bei der rationellen Programmierung von Bohraufgaben unterstützen.

Als grobe Übersicht:

Es existieren derzeit (2012) ca. neun aktuelle und zwei alte Bearbeitungsabläufe und drei Anordnungsmuster als TNC-Systemzyklen.

In der NC-Datenbank befinden sich weitere ca. 15 Bearbeitungsabläufe und acht Anordnungslösungen, also insgesamt annähernd 40 Lösungen. Viele zusätzliche Lösungen werden Sie im Buch kennenlernen. Hier sind ca. 72 Lösungen enthalten.

Wenn der Anwender noch nicht in der glücklichen Lage ist, einen guten Lösungsgang zu kennen, muss er sich darauf beschränken, die Zyklen-Beschreibungen im Handbuch durchzulesen, und – wenn am Arbeitsplatz verfügbar – kann er auch noch auf die NC-Datenbank der Firma Heidenhain zugreifen und sich dann auf eine Variante konzentrieren.

Da wohl kaum jemand dieses Buch komplett durcharbeiten und auf Vorrat „intern abspeichern“ wird, sind folgende Arten der Verwendung beabsichtigt:

Sie möchten sich generell in die Programmierung einarbeiten.

Dann beginnen Sie ganz vorne. Bei den ersten Beispielen werden viele, aus der Praxiserfahrung langer Kursleiter-Tätigkeit gewonnene Hinweise gegeben, die hilfreich oder gültig sein mögen und auch den Einstieg erleichtern sollen. Bei den späteren Aufgaben, die generell schwieriger sind, wird auf Grundlegendes nicht mehr eingegangen, einesteils, um das Buch nicht mit endlosen Wiederholungen aufzublähen, andererseits aus didaktischen Gründen, weil sie an der Stelle als bekannt vorausgesetzt werden müssen, da sonst zu viel Neues zusammenkäme.

Sie haben z. B. die konkrete Aufgabe, eine besonders tiefe Bohrung herzustellen.

Man steigt ein beim Hauptkapitel, z. B. „Senkrechte Bohrabläufe“, und findet am Anfang eine Übersicht der Aspekte, welche hier von Belang sind. Dabei wird jeweils auf das passende Beispiel verwiesen. Bei den Beschreibungen wurde vor allem Wert gelegt auf eine möglichst klare Kennzeichnung der Unterschiede der ausgefalleneren Abläufe. Elementare Beschreibungen finden Sie jeweils bei den Zyklen selber (Handbuch, NC-Datenbank usw.), ausführlichere jeweils bei den Buchbeispielen.

Verwendete Software

Zur Erstellung dieses Buchs wurde die Programmierplatz-Software 340 494-5 verwendet.

Traunreut, Juni 2013

Wolfgang Hägele

Inhalt

Vorwort	V
Der Autor	XVII
1 Grundlagen	1
1.1 Systematik.....	1
1.2 Regeln	2
1.3 Kompatibilität	3
1.4 Empfehlungen zur Benutzung	4
1.5 Die Programmierkurse des Steuerungsherstellers	4
1.6 Die Anwenderdokumentation	5
1.7 Der Programmierplatz	6
1.8 Die NC-Datenbank.....	7
1.9 Testmittel Grafik.....	7
1.10 Testmittel Maschine oder Maschinenmodell.....	8
1.11 Werkzeug und Material	9
1.12 Dokumentation.....	9
2 Konventionelles Vortraining	11
2.1 Einfache, senkrechte Bohrbläufe, konventionell programmiert	11
2.1.1 Systemzyklen: Alte/aktuelle Bohrzyklen	11
2.1.2 Konventionelles Vortraining	13
2.1.3 Simulation.....	15
2.1.4 Variablere Lösung /Übergang in die Verwendung von Q-Parametern.....	15
2.2 Lösung mit einigen Parametern	16
3 Senkrechte Bohrbläufe	19
3.1 Übersicht/Programmplanung.....	19
3.2 Lernbohrzyklus LBZ	22

3.3	Zeitersparnis ZEZ.....	24
3.4	Rückzug mit stehender Spindel RSS	28
3.5	Rückzug mit stehender Spindel bei Altsteuerungen RSA.....	30
3.6	Sprungbohren SPB.....	32
3.7	Schonender Ansatz SAZ.....	33
3.8	Rohrbohrzyklus RBZ	36
3.9	UniversalTiefbohrzyklus UTB.....	39
3.10	Wirklich tiefe Bohrung WTB.....	46
	3.10.1 Ladegang und Ablauf zu „ArbeitK“	48
	Programm-Planungsblatt Tiefbohren	49
4	Bohrungen fräsen	55
4.1	Zerspanungs- und Zustell-Strategien.....	55
	4.1.1 Komplet zerspanen.....	55
	4.1.2 Nur Wand zerspanen.....	55
	4.1.3 2 ½D-Schnitt bei senkrechter Wand	56
	4.1.4 2½D-Schnitt bei konischer Bohrungswand	56
	4.1.5 Die Helixbewegung bei senkrechter Wand.....	57
	4.1.6 Konische Bohrungswand.....	57
	4.1.7 Spezielle Zustellstrategien für einen konischen Ring	58
	4.1.8 Die konische 3D-Helix (Schraubenlinienbewegung)	58
	4.1.9 Der vertikale lineare 3D-Schnitt bei konischer Wand	59
4.2	Senkrechte Wand	59
	4.2.1 RINGHEL	59
4.3	Konische Wand	62
	4.3.1 Konischer Ring 2 ½D-Technik KON214	62
	4.3.2 Konischer Ring mit 3D-Helix KONHELE.....	64
	4.3.3 KONHEL2	67
	4.3.4 KonRotZX	69
	4.3.5 3D-lineare konische Wand KONHEL.....	71
	4.3.6 Vertikaler 3D-Schnitt KON3D	74
4.4	Vergleich der konischen Lösungen	80
5	Gewinde bohren	81
5.1	Systemzyklen.....	81
5.2	Maschine, Steuerung, Werkzeuge.....	81
5.3	Gewindebohren 7408	82
5.4	Gewindebohrzyklus 7473 mit 7474	85

6 Gewinde fräsen	89
6.1 Übersicht	89
6.2 Gleich weites Gewinde fräsen	90
6.2.1 Senkrechtes Innengewinde fräsen 76280i	91
6.2.2 Außengewinde fräsen 76280a	97
6.3 Konisches Gewinde fräsen.....	99
6.3.1 Lernschritt Bedingte Verzweigung	99
6.3.2 Konisches Innengewinde KonIG	100
6.3.3 Konisches Außengewinde fräsen KonAG.....	106
7 Schräge Bohrabläufe.....	115
7.1 Ältere Steuerungen.....	115
7.1.1 Schräg bohren in Ebene ZX 7466	116
7.1.2 Schräg bohren in der Ebene YZ.....	119
7.1.3 Schräg bohren in der Ebene XY	121
7.2 Aktuelle Steuerungen.....	122
7.2.1 Übersicht.....	122
7.2.2 M114.....	124
7.2.3 Zyklus 19.....	125
7.2.4 Function Plane Bohrungen in XY waagrecht	128
7.2.5 Milhdüse 1860 mit einem Werkzeug	131
7.2.5.1 Milhdüse 18603 mit 3 Werkzeugen.....	133
8 Bohrungsanordnungen	137
8.1 Übersicht/Besonderheiten.....	137
8.2 Lochkreis konventionell LoKrKon.....	138
8.3 Lochkreis parametrisch	140
8.4 Lochfläche in kartesischer Anordnung KartAn	141
8.5 Elliptische Anordnung 7546BohrElli.....	145
8.6 Spiralförmige Anordnung SB4.....	156
8.7 Waagerechte Zeilen in Kreisfläche KREISZE.....	162
9 Anordnung + Bearbeitung	169
9.1 Übersicht	169
9.2 Bohrkreise mit Helix-Bewegung konventionell BOHELK.....	170
9.3 Bohrkreise mit Helix-Bewegung, parametrische Vorstufe BOHELPV	172
9.4 Bohrkreise mit Helix-Bewegung, parametrisch BOHELP	174
9.5 Besonders tiefe Bohrungen mit Satzbohrern und Freier Tabelle ArbeitTBZ4.....	180

10 Entgraten	191
10.1 Übersicht.....	191
10.2 Senkrechte Bohrung und Rechtecktasche auf waagerechter Ebene	194
10.3 Senkrechte Bohrung auf gekippter Ebene 3D.....	196
10.4 Kreistasche 5D mit M128 KrTaEntM128.....	199
10.5 Rechtecktasche 5D.....	201
10.6 Schweißvorbereitung stehender Zylinder auf liegendem Zylinder Oberseite SVSZLZo	204
10.7 Schweißvorbereitung stehender Zylinder auf liegendem Zylinder Unterseite SVSZLZu	208
10.8 Hilfsprogramm In Y liegender Zylinder außen/oben SVSZLZu.....	209
10.9 Senkrechte Bohrung auf einem in X liegenden Zylinder oben SeBoLiZyo3D.....	212
10.10 Hilfsprogramm In Y liegender Zylinder innen/unten Zylinn	215
10.11 Senkrechte Bohrung auf liegendem Zylinder unten 3D-Lösung SeBoLiYzu3D	216
10.12 Hilfsprogramm Kegelstumpf in X3D KegX	218
10.13 Senkrechte Bohrung auf liegendem Kegel oben 3D-Lösung SeBoKe.....	222
10.14 Senkrechte Bohrung auf liegendem Kegel oben entgraten 5D SeBoKeM128	225
 11 Nacharbeiten	 235
11.1 Bohrungsausrundung BohrAusrund	235
11.2 Seileinlauf Trompete	238
11.3 Kabelauslass Kabela.....	240
11.4 Konus-Übergang KonusEckig	243
11.5 Rechteck auf Kreis RechtKreis	245
 12 Sondersituationen	 249
12.1 Bohrungen/Bearbeitungen auslassen bei Lochkreis 7416.....	249
12.2 Bohrungen/Bearbeitungen auslassen bei Lochfläche KartanAus	251
Programm-Planungsblatt KartanAus	252
12.3 Schräge Bohrungszeile auf waagerechter Oberfläche ReiheB30	256
 13 Anhang	 261
13.1 Zu den Lösungsdateien	261
13.1.1 Nullpunktlage.....	261

13.1.2	Verwendete Mittel.....	261
13.1.3	Was Sie auf jeden Fall selbst in eigener Verantwortung tun müssen:	262
13.1.4	Haftungsausschluss.....	262
13.2	Stichwortverzeichnis	263

```

24 LBL 22
25 FN 1: Q36 ==+Q36 + +Q5
26 CALL LBL 2
27 CALL LBL 3
28 FN 12: IF +Q47 LT +Q46 GOTO LBL 22
29 L X+Q21 Y+Q22 M99
30 FN 12: IF +Q36 LT +Q4 GOTO LBL 21
31 CYCL DEF 10.0 DREHUNG
32 CYCL DEF 10.1 ROT+0
33 CYCL DEF 7.0 NULLPUNKT
34 CYCL DEF 7.1 X+0
35 CYCL DEF 7.2 Y+0
36 LBL 0
37 FN 9: IF +0 EQU +0 GOTO LBL 99

38 LBL 2
39 FN 7: Q21 = COS +Q36
40 FN 3: Q21 ==+Q21 * +Q1
41 FN 6: Q22 = SIN +Q36
42 FN 3: Q22 ==+Q22 * +Q2
43 LBL 0

44 LBL 3
45 FN 1: Q37 ==+Q36 + +Q5
46 FN 7: Q31 = COS +Q37
47 FN 3: Q31 ==+Q31 * +Q1
48 FN 6: Q32 = SIN +Q37
49 FN 3: Q32 ==+Q32 * +Q2
50 FN 2: Q34 ==+Q31 - +Q21
51 FN 2: Q35 ==+Q32 - +Q22
52 FN 8: Q39 ==+Q35 LEN +Q34
53 FN 1: Q40 ==+Q40 + +Q39
54 FN 1: Q47 ==+Q40 + +0
55 LBL 0
56 LBL 101
57 FN 14: ERROR= 1
58 LBL 99
59 L Z+Q12 R0 F9999 M5
60 END PGM BoellBo MM

```

■ 8.6 Spiralförmige Anordnung SB4

Auf einer archimedischen Spirale angeordnete Bohrungen für eine Siebfläche. Die Abstände sind auf äquidistanter Bogenlänge. Der Umlaufsinn ist über das Vorzeichen des Start-Winkelschritts wählbar.

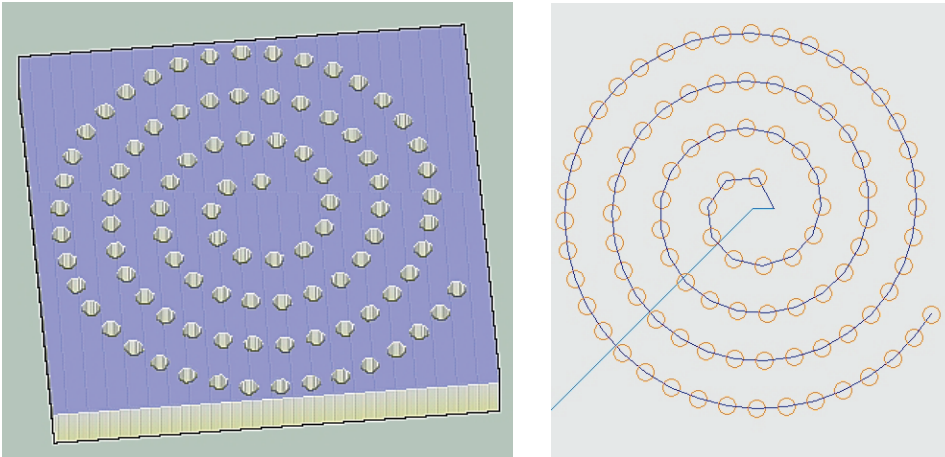


Abb. 8.6 Spirale, links 3D-Ansicht, rechts Bewegungsablauf mit Start beim Zentrum

Die besondere Schwierigkeit liegt in der Forderung nach der äquidistanten Bogenlänge.

Ohne diese Anforderung wäre die Realisierung buchstäblich kinderleicht: Der Satz LP IPA...IPR M99 in einer Schleife würde dies schon ermöglichen. Die Abstände nahe der Mitte wären aber dann viel dichter als weiter außen und die geforderte gleichmäßige Verteilung nicht zu erreichen.

Wie kann die Forderung erfüllt werden? Folgende Überlegung führte zum Ziel:

Beginnt man konkret nach der ersten – der innersten – Bohrung auf Radius 10 mit einem Versatz im Radius 1mm und im Winkel 60° , dann ist dies mit LP IPR+1 IPA+60 M99 zu programmieren. Geht man in Gedanken auf eine Position mit Radius 20, dann wäre man mit einem Winkelschritt von 30° für praktische Belange beim gleichen Abstand. Folglich kommt man dann zu einer verwendbaren Lösung, wenn bei jedem neuen Schritt der Radiusabstand konstant gehalten wird, der Winkelschritt aber umgekehrt proportional zu dem momentanen Abstand zur Mitte gemacht wird.

Im Zuge der Realisierung zeigt sich, dass man mit dieser Lösung zwar eine passende Verteilung auf der Spirale erreicht, die Spirale selber aber noch ungünstig steil ausfällt.

Daher wird derselbe Faktor für die endgültige Lösung SB4 auch für die Steuerung des Radius benutzt.

Das Programm

```

0 BEGIN PGM SB4 MM
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-12
2 BLK FORM 0.2 X+100 Y+95 Z+0
3 FN 0: Q1 ==+50 ; Mitte X
4 FN 0: Q2 ==+50 ; Mitte Y
5 FN 0: Q3 ==+2 ; START-Radiusschritt
6 FN 0: Q4 ==+80 ; StartWinkelschritt
7 FN 0: Q6 ==+5 ; STARTRADIUS
8 FN 0: Q7 ==+0 ;StartWinkel
9 FN 0: Q16 ==+49 ;Endradius
10 CYCL DEF 1.0 TIEFBOHREN
11 CYCL DEF 1.1 ABST2
12 CYCL DEF 1.2 TIEFE-10
13 CYCL DEF 1.3 ZUSTLG10
14 CYCL DEF 1.4 V.ZEITO
15 CYCL DEF 1.5 F1000
16 TOOL CALL 2 Z S1120
17 L X+50 Y+50 R0 F9999 M3
18 CC X+Q1 Y+Q2
19 CALL LBL 2
20 L Z+20 R0 F9999
21 FN 9: IF +0 EQU +0 GOTO LBL 99
22 LBL 2
23 LP PR+Q6 PA+Q7 R0 F9998
24 L Z+2 M99
25 FN 0: Q26 ==+Q6 ;Aktueller Radius
26 FN 0: Q27 ==+Q7 ;Aktueller Winkel
27 LBL 1
28 FN 4: Q20 ==+Q6 DIV +Q26 ;Schrittfaktor
29 FN 3: Q36 ==+Q3 * +Q20 ;Radiusschritt
30 FN 3: Q37 ==+Q4 * +Q20 ;Winkelschritt
31 FN 1: Q26 ==+Q26 + +Q36 ;Akt. Radius
32 FN 1: Q27 ==+Q27 + +Q37 ;Akt. Winkel
33 LP PR+Q26 PA+Q27 M99
34 FN 12: IF +Q26 LT +Q16 GOTO LBL 1
35 L Z+20 F9999 M5
36 LBL 0
37 LBL 99
38 END PGM SB4 MM

```

Details der Lösung

Die Positionierung in Polarkoordinaten bietet sich bei dieser Aufgabenstellung als einfachste Lösung an. Dazu gehören: die Festlegung einer Bezugs-Position in der Bearbeitungsebene XY durch den Befehl CC in der Zeile 18 und die Positionierungen des Werkzeugs mit 23 und 33.



Die Polfestlegung erfordert die Angabe zweier Achswerte – hier konkret X50 Y50. Bitte beachten, dass damit nicht nur eine maßliche Festlegung erfolgt, sondern auch die Ebenenauswahl getroffen wird.

In 19 wird der aktive Teil gerufen.

In 21 finden Sie den M2-Ersatz, welcher notwendig ist, wenn dieses Programm von einem anderen aus gerufen werden soll.

In 24 findet die Startbohrung statt, in 33 die zweite und alle folgenden.

Q26 enthält den aktuellen Radius, Q27 den aktuellen Winkel. Die Startwerte dazu werden in 25 und 26 gebildet.

Mit Q20 wird pro Durchlauf der aktuelle Schrittfaktor Q20 umgekehrt proportional zum momentanen Mittenabstand gebildet. „Schrittfaktor“ bezeichnet hier den Wert, mit welchem die ursprünglichen Schritte in Radius und Winkel multipliziert werden. Mit Q36 und Q37 wird für jede neue Position der passende Veränderungswert für Radius und Winkel ermittelt. Die jeweils aktuellen Positionswerte werden in 31 und 32 errechnet und in 33 gefahren.

Zwischenstände

SB1 einfache Spiral-Lösung

Die Bogenabstände werden mit steigendem Mittenabstand immer größer.

Dieses Verhalten bekommt man, wenn in den Zeilen 31 und 32 feste Werte für Radius-(Q) und Winkelschritt (Q4) verwendet werden.

Das Bild verdeutlicht mit willkürlich vergrößertem Winkelschritt die Abhängigkeit der Bogenlänge vom Abstand zum Zentrum.

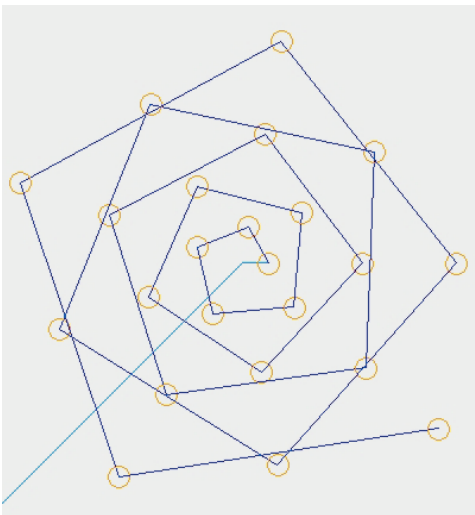


Abb. 8.7 Spirale mit gleichmäßigem Winkel- und Radius-Schritt

SB2 Lösung mit variablem Winkelschritt

Die Bogenabstände bleiben auch mit steigendem Mittenabstand gleichmäßig, die Spirale weitet sich aber zu schnell.

Dieses Verhalten bekommt man, wenn in Zeile 32 der variable Wert für den Radius Winkelschritt (Q37) verwendet wird.

Diese Abbildung zeigt die veränderte Geometrie, wenn der Winkelschritt alleine vom Mittenabstand abhängig gemacht wird.

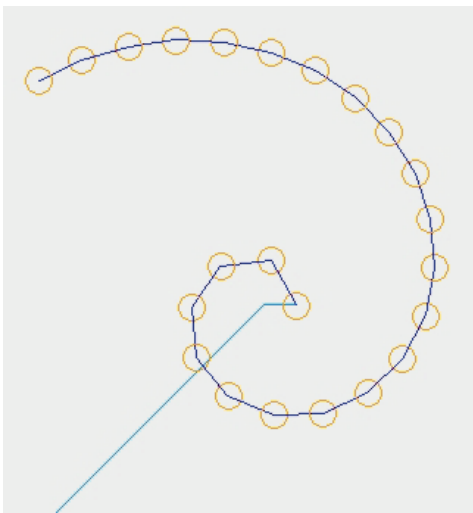


Abb. 8.8 Spirale mit gleichmäßigem Radius-Schritt und variablem Winkelschritt

SB3 Lösung mit variablem Radius- und Winkelschritt

Die Bogenabstände bleiben auch mit steigendem Mittenabstand gleichmäßig, die Spirale weitet sich in passender Weise auf.

Dieses Verhalten bekommt man, wenn in den Zeilen 31 und 32 variable Werte für Radius (Q36) und Winkelschritt (Q37) verwendet werden.

So sollte die Anordnung werden: Winkelschritt und Radiusschritt werden dynamisch mit dem Mittenabstand abgeglichen.

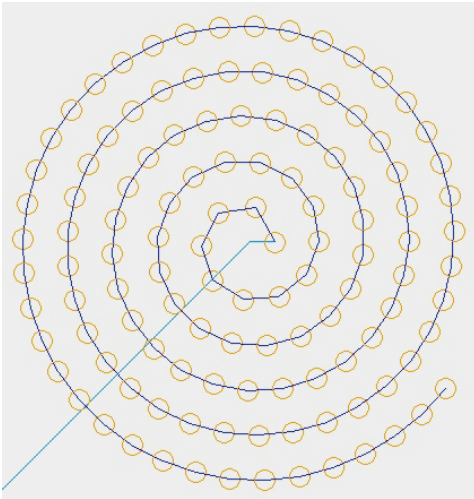


Abb. 8.9 Spirale mit variablem Radius- und Winkelschritt

Lernschritt mnemonische Arbeitsweise

So wie nachfolgend als Lösung SPIRALBO abgedruckt, wurde das Programm ursprünglich erstellt. Die ausgiebig erklärte Lösung SB4 ist mit der nachfolgenden funktionsmäßig identisch. Sie wurde aber wegen der besseren Erklärbarkeit in folgenden Punkten überarbeitet: mnemonische Zuordnung der verwendeten Parameter, eingebbarer Mittelpunkt. Die Mnemonik zeigt sich z. B. an der Verwendung der Einerstellen 6 für den Radius und 7 für den Winkel: Q7=Startradius, Q16 =Endradius, Q26= zu verfahrens Radius, Q36 = Radiusschritt. Vergleichbares finden Sie zur Verwendung der Einerstelle 7 für Winkelwerte.

Bei solcherart zugewiesenen Parameter-Nummern sind der Aufbau und die Wirkungsweise erheblich leichter zu verstehen als bei Verwendung beliebiger Nummern, auch noch Jahre nach der Entstehung!

```

0 BEGIN PGM SPIRALBO MM
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-12
2 BLK FORM 0.2 X+100 Y+95 Z+0
3 FN 0: Q1 =+49 ; ENDRADIUS
4 FN 0: Q2 =+5 ; STARTRADIUS
5 FN 0: Q3 =+80 ; START-WINKELSCHRITT
6 FN 0: Q4 =+2.5 ; RADIUS-SCHRITT
7 CYCL DEF 1.0 TIEFBOHREN
8 CYCL DEF 1.1 ABST2
9 CYCL DEF 1.2 TIEFE-10
10 CYCL DEF 1.3 ZUSTLG10
11 CYCL DEF 1.4 V.ZEITO
12 CYCL DEF 1.5 F1000

```

```
13 TOOL CALL 2 Z S1120
14 L X+50 Y+50 R0 F9999 M3
15 CC
16 CALL LBL 2
17 L Z+20 R0 F9999
18 FN 9: IF +0 EQU +0 GOTO LBL 99
19 LBL 2
20 LP PR+Q2 PA+0 R0 F9998
21 L Z+2
22 FN 0: Q14 ==+Q4
23 FN 0: Q13 ==+Q3
24 FN 3: Q34 ==+Q2 * +Q4
25 FN 3: Q33 ==+Q2 * +Q3
26 FN 0: Q24 ==+Q2
27 FN 0: Q23 ==+0
28 LBL 1
29 FN 4: Q14 ==+Q34 DIV +Q24
30 FN 4: Q13 ==+Q33 DIV +Q24
31 FN 1: Q24 ==+Q24 + +Q14
32 FN 1: Q23 ==+Q23 + +Q13
33 LP PR+Q24 PA+Q23 M99
34 FN 11: IF +Q1 GT +Q24 GOTO LBL 1
35 L Z+20 F9999 M5
36 LBL 0
37 LBL 99
38 END PGM SPIRALBO MM
```

■ 8.7 Waagerechte Zeilen in Kreisfläche KREISZE

Für die Lochplatte eines Wärmetauschers wurde eine zeilenförmige lineare Anordnung von Bohrungen innerhalb einer Kreisfläche auf dichtester Packung verlangt. Es sollen so viele Bohrungen eingebracht werden, wie nach den vorgegebenen Linien- und Spaltenabständen möglich.