

Manfred Vogel
Einstieg in CAD



Bleiben Sie einfach auf dem Laufenden:
www.hanser.de/newsletter

Sofort anmelden und Monat für Monat
die neuesten Infos und Updates erhalten.

Manfred Vogel

Einstieg in CAD

HANSER

Der Autor:

Manfred Vogel ist ●●●●

Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht, auch nicht für die Verletzung von Patentrechten, die daraus resultieren können.

Ebenso wenig übernehmen Autor und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt also auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

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.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

ISBN 3-446-22381-9

© 2004 Carl Hanser Verlag München Wien

<http://www.hanser.de>

Titelillustration und Umschlaggestaltung: Atelier Frank Wohlgemuth, Bremen

Herstellung: Der Buchmacher, Arthur Lenner, München

Satz: Page create, Freigericht

Druck und Bindung: Kösel, Krugzell

Printed in Germany

Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser.

In diesem Buch geht es um virtuelle Werkzeuge für den modernen Maschinenbau – Werkzeuge, die Sie von der Idee einer Maschine bis zu ihrer Fertigstellung begleiten.

Nicht *alles* Werkzeug freilich: Jedes Kapitel verdiente eigentlich ein ganzes Buch für sich. Ich musste auswählen. Und so ist auch kein Kompendium des modernen Maschinenbaus daraus geworden, sondern eine Ausstellung, eine Werkschau all der Binärkünstler, die die Industrielandschaft durch intensives Nachdenken und fantasievolles Ausprobieren so gründlich erneuert haben.

Sie lernen allgemeines Werkzeug zum technischen Zeichnen und Entwerfen kennen und solches, mit dem Sie in drei Dimensionen modellieren, und zwar vom ersten Bauteil bis zur virtuellen Maschine. Sie werden exotisches Werkzeug kennen lernen, mit dem Sie Kinematik, Kinetik und Beanspruchung eines Entwurfs simulieren, um seine konzeptionelle Gesundheit zu prüfen. Ferner treffen Sie echt abgedrehte Werkzeuge an, mit denen Sie am Bildschirm eine CNC-Drehbank programmieren – und laufen lassen. Leider kann ich Ihnen keine Shareware-Fräse für die ersten Versuche beilegen, sonst würde ich auch das tun.

Doch dieses Buch ist auch selbst ein Werkzeug: Eine Machete, die Ihnen helfen soll, sich Ihren Weg durch den Dschungel der modernen Produktionslandschaft zu bahnen, wie er sich selbst Fachleuten heute darbietet. Wenn Sie, am anderen Ende angekommen, eine Karte dieses Urwaldes und seiner Gefahren im Kopf haben, so dass Sie Ihre persönlichen Wegmarken setzen können, so hat dieses Werkzeug seinen Sinn erfüllt.

Ich jedenfalls darf Ihnen nun viel Vergnügen wünschen auf Ihrer Dschungelexpedition.

Harald Vogel

Aachen, im Winter 2004

Wer noch alles dabei war:

Ein Buch ist nie das Werk eines Einzelnen. Die folgenden Personen haben jeder auf seine Weise am Entstehen dieser Seiten mitgewirkt, wofür ich mich ganz herzlich bei ihnen bedanke:

Reiner Weber-Nobis war und ist mein Leser Nummer Eins. Ihm verdanken Sie die neue Rechtschreibung, Seiten mit selten weniger als einem Bild, Sätze mit selten mehr als achtundvierzig Wörtern, einiges an Zusammenhängen, einige Zusammenhänge in der richtigen Reihenfolge sowie die nahezu vollkommene Abwesenheit von Klammern und Semikola.

Hildegard Nobis sorgte durch eine einzige Anmerkung für die notwendige Bodenhaftung von Text und Autor.

Andreas Krüchten zog mit der Kamera durch die Metallbetriebe, um Werkzeugmaschinen für das CAM-Kapitel und den Farbteil zu fotografieren.

Volker Meimberg versorgte mich mit Informationen über den aktuellen Stand der G-Codes. Mit seiner Hilfe entdeckte ich, dass Postprozessoren keine Programme, sondern Quelldateien sind.

Und **Volker Herzberg** vom Hanser Verlag brachte dieses Projekt überhaupt erst ins Rollen.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5	
1	2 D: Zeichnen am elektronischen Reißbrett	11
1.1	Koordinatensysteme in der Fläche	12
1.1.1	Das kartesische Koordinatensystem	12
1.1.2	Polarkoordinaten	15
1.1.3	Verschiebbare Koordinatensysteme	16
1.2	Einheiten im Koordinatensystem	16
1.2.1	Längeneinheiten	17
1.2.2	Winkeleinheiten	18
1.3	Zeichenelemente	18
1.3.1	Linien	18
1.3.1.1	Konstruktionslinien	18
1.3.1.2	Polylinien	19
1.3.1.3	Mehrteilige Linien	19
1.3.2	Kreise	20
1.3.2.1	Radius	20
1.3.2.2	Durchmesser.....	20
1.3.2.3	Zwei Punkte	21
1.3.2.4	Drei Punkte	21
1.3.2.5	Zwei Tangenten und ein Radius	22
1.3.2.6	Drei Tangenten	23
1.3.3	Bogen	23
1.3.3.1	Drei Punkte auf dem Radius (3P)	23
1.3.3.2	Startpunkt, Zentrum, Endpunkt (SZE)	24
1.3.3.3	Startpunkt, Zentrum, Winkel (SZW)	24
1.3.3.4	Startpunkt, Zentrum, Sehnenlänge (SZSe)	24
1.3.3.5	Startpunkt, Endpunkt, Winkel (SEW)	24
1.3.3.6	Startpunkt, Endpunkt, Richtung (SERi)	25
1.3.3.7	Startpunkt, Endpunkt, Radius (SER)	25
1.3.3.8	Zentrum, Startpunkt, Endpunkt (ZSE)	25
1.3.3.9	Zentrum, Startpunkt, Winkel (ZSW)	26
1.3.3.10	Zentrum, Startpunkt, Sehnenlänge (ZSSe)	26
1.3.4	Ellipsen und elliptische Bogen	26
1.3.4.1	Isometrischer Kreis	27
1.3.4.2	Ellipsenbogen	27
1.3.5	Polygone	28
1.3.6	Splines	29
1.3.7	Punktobjekte	30
1.3.8	Textobjekte	30
1.4	Zeichenhilfen	30
1.4.1	Raster	31
1.4.2	Funktion Fang	32
1.4.2.1	Polarer Fang	32
1.4.3	Objektfang	33
1.4.3.1	Endpunkt	33
1.4.3.2	Mittelpunkt	34
1.4.3.3	Schnittpunkt	35
1.4.3.4	Erweiterung	36
1.4.3.5	Zentrum	36
1.4.3.6	Quadrant	37
1.4.3.7	Tangente	38
1.4.3.8	Lotrecht	40
1.4.3.9	Parallele	41
1.4.3.10	Basispunkt	42
1.4.3.11	Punkt	42
1.4.3.12	Nächster	43
1.4.3.13	Temporärer Spurpunkt	43
1.4.3.14	Ausgangspunkt	44
1.4.4	Polarfang und Objektspur	45
1.4.4.1	Polarfang	45
1.4.4.2	Objektspur	46
1.5	Modifikatoren	47
1.5.1	Löschen	47
1.5.2	Verschieben	47
1.5.3	Drehen	48
1.5.4	Skalieren	49
1.5.5	Zentrische Streckung	50
1.5.6	Kopieren	50
1.5.7	Spiegeln	51

1.5.8	Stutzen und Dehnen	52	2.3.1.2	Geometrische Beziehungen	88
1.5.9	Aufbrechen	53	2.3.1.3	Beziehungen in Kombination	101
1.5.10	Radius und Fase	53	2.3.2	Die dritte Dimension:	
1.5.10.1	Radius	53		Strukturelle Features	102
1.5.10.2	Fase	54	2.3.2.1	Lineare Extrusion	102
1.6	Zusammengesetzte Objekte	54	2.3.2.2	Extrudierter Schnitt	104
1.6.1	Schraffuren	54	2.3.2.3	Rotation	105
1.6.1.1	Assoziative Schraffuren	55	2.3.2.4	Rotierter Schnitt	106
1.6.1.2	Inseln	55	2.3.2.5	Nichtlineare Extrusion, Austragung	106
1.6.1.3	Füllungen	59	2.3.2.6	Loft, Ausformung	108
1.6.2	Blöcke	60	2.3.3	Additive Features	110
1.6.3	Anordnung	61	2.3.3.1	Abrundung, Radius	111
1.6.3.1	Rechteckige Anordnung	61	2.3.3.2	Fase	116
1.6.3.2	Polare Anordnung	62	2.3.3.3	Bohrungen	118
1.6.4	Regionen	64	2.3.3.4	Formschrägen	120
1.6.5	Bemaßung	65	2.3.3.5	Wandstärke	121
1.6.5.1	Lineare Bemaßung	66	2.3.3.6	Verstärkungsrippen	123
1.6.5.2	Parallel oder Basislinie	66	2.3.3.7	Gummihaut oder Form	124
1.6.5.3	Steigendes oder Kettenmaß	67	2.3.4	Muster im Raum	125
1.6.5.4	Koordinatenbemaßung	68	2.3.4.1	Polare Anordnung	125
1.6.5.5	Radius	68	2.3.4.2	Rechteckige Anordnung	127
1.6.5.6	Durchmesser	69	2.3.4.3	Kurvengesteuerte Anordnung	128
1.6.5.7	Winkel	69	2.3.4.4	Spiegeln	129
1.6.5.8	Toleranzangaben	69	2.3.5	Boole'sche Operation	130
1.6.5.9	Assoziative Bemaßung	70	2.3.5.1	Vereinigung oder Union	130
1.7	Das Layer-Konzept	71	2.3.5.2	Differenz oder Subtraktion	131
1.8	Bibliotheken und Vorlagen	78	2.3.5.3	Schnittmenge	131
1.8.1	Symbolbibliotheken	78	3	Die Bearbeitung virtueller Bauteile	133
1.8.2	Externe Referenzen	79	3.1	Oberflächen	133
1.8.3	Pixelbilder	79	3.1.1	Features für Oberflächen	134
1.8.4	Schriftfelder	80	3.1.1.1	Extrusion	134
1.8.4.1	Attribute	81	3.1.1.2	Rotation	134
1.8.5	Dokument- und Druckvorlagen	81	3.1.1.3	Nichtlineare Extrusion, Austragung	135
2	3D-Konstruktion: Die Basis	83	3.1.1.4	Loft, Ausformung	136
2.1	Die Vorteile von 3D	84	3.1.1.5	Schneiden mit Oberflächen	137
2.2	Koordinatensysteme	85	3.1.1.6	Parallele Fläche, Offsetfläche	138
2.2.1	Kartesische Koordinaten	85	3.1.1.7	Schnittflächen	138
2.2.2	Sphärische oder Kugelkoordinaten	86	3.1.1.8	Verlängerung, Erweiterung	139
2.2.3	Zylinderkoordinaten	86	3.1.1.9	Trimmen	139
2.3	Bauteile: Virtuelle Körper	87	3.1.1.10	Ausfüllen	140
2.3.1	Noch immer 2D: Die Skizze	87	3.1.1.11	Flächen kopieren	142
2.3.1.1	Skizzenbemaßung	88	3.1.1.12	Ersatzfläche	142
			3.1.2	Freiflächen, NURBS	143

3.1.2.1	Punktflächen	143	4.2.1.2	Reibung und Lagerreaktionen	180
3.1.2.2	Kontrollpunktgesteuerte Flächen	144	4.2.1.3	Start der Simulation	180
3.2	Bleche	146	4.2.1.4	Die Simulation wirft Fragen auf	181
3.2.1	Konstruktion mit Volumenkörpern	147	4.2.1.5	Die Doppelkurbel: ein Scheibenwischer-Mechanismus	190
3.2.1.1	Schnitte und Fugen	147	4.2.2	Ein kinetischer Baukasten	190
3.2.1.2	Freischnitte	148	4.2.2.1	Motoren, und warum sie nicht umlaufen	191
3.2.1.3	Laschen	149	4.2.2.2	Federn, Dämpfer und die Chaostheorie	196
3.2.1.4	Formgebende Verknüpfungen	150	4.2.2.3	Was Federn sonst noch alles können	197
3.2.1.5	Bauteilfeatures in Blechteilen	151	4.2.2.4	Vom Viereck zum Chaospendel	199
3.2.1.6	Abwicklung von Blechbauteilen	151			
3.2.1.7	Nicht prismatische Körper	151	5	Finite-Elemente-Analyse	201
3.2.2	Konstruktion des Blechkörpers	152	5.1	FEA: Ein Verfahren stellt sich vor	201
3.2.2.1	Zungen	153	5.1.1	FEA = Grafik	202
3.2.2.2	Skizzierte Biegekante	153	5.1.2	FEA = Wissenschaft	202
3.2.2.3	Die Lage der Biegung	154	5.1.3	Die Methoden der FEA	203
3.2.2.4	Blechkanten	155	5.2	Spannungsanalyse	204
3.3	Gussformen	155	5.2.1	Die Kunst der Frage	205
3.4	Steuerung von Features	157	5.2.2	Kerbwirkung – Achillessehne der Konstruktion	206
3.4.1	Gleichungen	157	5.2.2.1	Eine virtuelle Zerreißprobe	207
3.4.2	Vererbung	159	5.2.2.2	Kraftströme, sichtbar gemacht	208
3.4.3	Unterdrücken von Features	161	5.2.2.3	Kerbwirkung von innen: Die Schnittdarstellung	209
3.4.4	Variantenkonstruktion	162	5.2.2.4	Optimieren mit der FEA	210
3.5	Analyse von Bauteilen und Flächen	163	5.3	Thermoanalyse	211
3.5.1	Rendern	163	5.3.1	Dreißigtausend thermodynamische Gleichungen	211
3.5.2	Zebrastrifen	164	5.3.2	Isothermische Plots	212
3.5.3	Flächenkrümmung	165	5.3.3	Thermische Spannung	213
4	Endmontage und Bewegungssimulation	167	5.4	Vibrationsanalyse	214
4.1	Der Zusammenbau	167	5.4.1	Schwingende Wellen	214
4.1.1	Baugruppenverknüpfungen	169	5.4.2	Beliebte Resonanzen	217
4.1.2	Konstruktion eines Klassikers	172	5.5	Programmoptimierte Bauteile	218
4.1.2.1	Montage der Lagerböcke	173	5.5.1	Optimierung einer Achse	219
4.1.2.2	Verknüpfen der Kurbel	173	5.5.2	Auswertung der Optimierung	220
4.1.2.3	Kollisionsprüfung	174	5.5.3	Wissen und Erfahrung	222
4.1.2.4	Editieren im Zusammenbau: Die Top-Down-Methode	176	6	Von CAD nach CAM	225
4.1.2.5	Einbau der Koppel	177	6.1	Drehen am Computer	227
4.1.2.6	Einbau der Schwinge	177	6.1.1	Vorarbeiten	228
4.2	Maschinen in Bewegung	178	6.1.1.1	Konfiguration des Spannfutters	228
4.2.1	Kinetische Studien	179			
4.2.1.1	Natürliche Eigenschaften eines Körpers	179			

6.1.1.2	Definition des Rohteils	229
6.1.1.3	Die Referenzpunkte	229
6.1.1.4	Material- und Werkzeugparameter	230
6.1.2	Die Bearbeitungsfolge	231
6.1.2.1	Plandrehen	232
6.1.2.2	Abspann längs der Außenkontur	233
6.1.2.3	Bahnkorrekturen	234
6.1.2.4	Schlichten der Außenkontur	235
6.1.2.5	Werkzeugversatz	236
6.1.2.6	Aufbohren	236
6.1.2.7	Abspann der Innenseite	239
6.1.2.8	Ein Problem mit dem Rückzug	240
6.1.2.9	Werkstück umspannen	241
6.1.3	Drehen mit zwei Spindeln	243
6.1.3.1	Und wieder: Die Freiheitsgrade	244
6.1.4	Zusätzliche Achsen beim Drehen	245
6.1.4.1	Bohren mit der C-Achse	245
6.1.4.2	Synchronisieren von Arbeitsabläufen	247
6.1.4.3	Fräsen mit der Drehmaschine	247
6.1.4.4	C ist nicht genug: Die Y-Achse	248
6.1.4.5	Schwenkbare Y-Achse: Die B-Achse	248
6.1.5	Generalprobe: Der Postprozessor	249
6.1.5.1	Der Postprozessor: eine Kostenfrage	253
6.1.5.2	Verifizierung von NC-Daten	253

7 Datenübermittlung255

7.1	Datentransfer über Plugins	255
7.1.1	Von MCAD nach FEA	256
7.1.2	Von CAD nach CAM	257
7.1.3	Von CAM nach CNC	259
7.1.3.1	Kampf der Sprachen	259
7.1.3.2	Verifizierung von NC-Code	260
7.2	Normierte Schnittstellen	261
7.2.1	ACIS	261
7.2.2	Parasolid	263
7.2.3	Weitere Formate	263
7.2.3.1	IGES	263
7.2.3.2	STL	263
7.3	Im- und Export von Dateien	264

8 Hardware: Ein Platz an der Sun 265

8.1	Die Basis	265
8.1.1	Arbeitspferd PC	265
8.1.2	Speicher	266
8.1.3	Die Grafikkarte	266
8.2	Der Monitor	266
8.3	Eingabegeräte	267
8.4	Die Arbeitsumgebung	268

9 Software: Never Change A Running System! 269

Farbteil 277

Literaturverzeichnis 295

Stichwortverzeichnis 297

1 2 D: Zeichnen am elektronischen Reißbrett

Im Grunde besteht das *Computer Aided Design* in einem Programm, das den technischen Zeichner bei seiner Arbeit *unterstützt* – genau das bedeutet ja auch das Akronym CAD: rechnergestütztes Zeichnen. Die einfachsten CAD-Programme sind denn auch nicht viel mehr als eine Art „elektronisches Reißbrett“, das zur Anfertigung einer technischen Zeichnung dient. Nur dass das Zeichenbrett durch den Bildschirm, das Lineal durch das Zeichenraster und der Stift durch den Drucker ersetzt werden. Wie die Zeichnung selbst anzufertigen ist, wie Parallelprojektion oder Perspektive entstehen und wie die Bemaßung – möglichst fertigungsgerecht – anzubringen ist, bleibt indessen dem Zeichner überlassen. Die Standardanwendung für 2D-CAD heißt nach wie vor Autodesk *AutoCAD* (Bild 1.1).

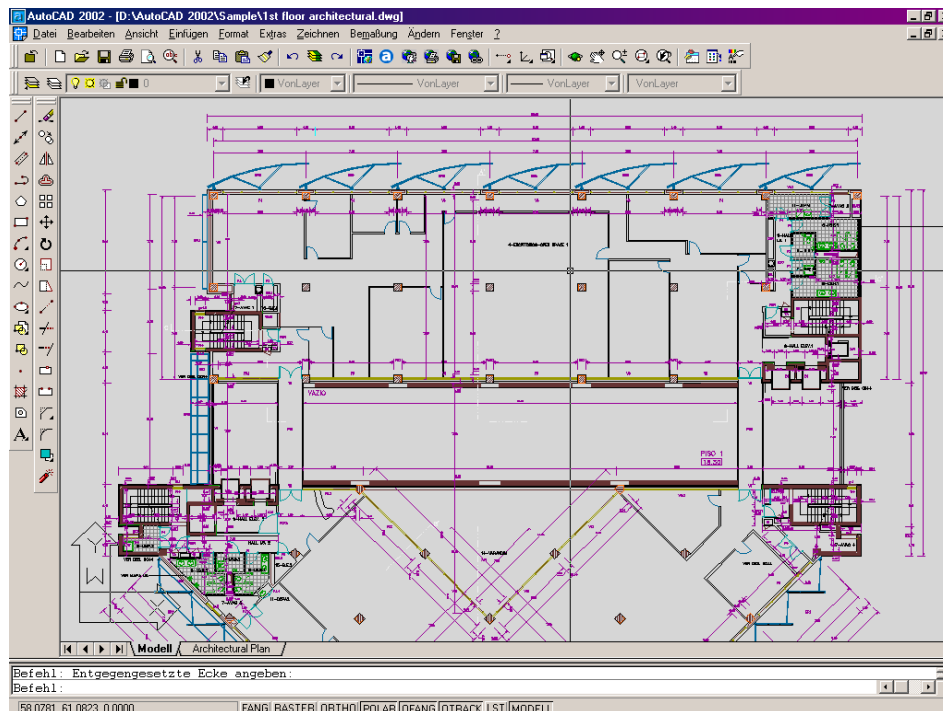


Bild 1.1:
AutoCAD, der Standard
für 2D-Zeichnungen.

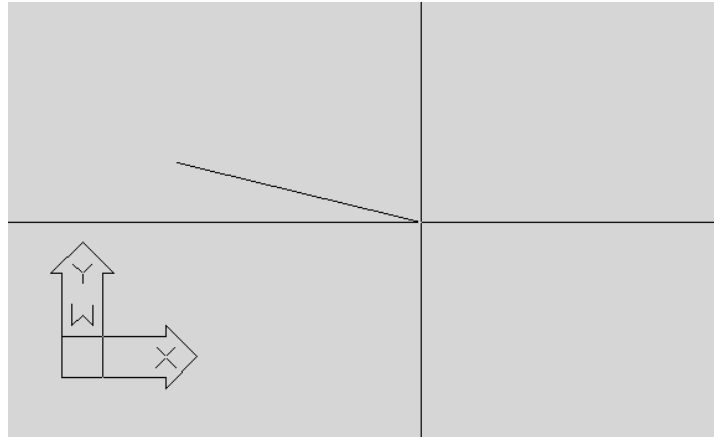
AutoCAD wird für die folgenden Beispiele herangezogen, weil dessen User-Interface, Funktionsweise und Bedienung mittlerweile ungeschriebener Standard sind und einer Reihe von Mitbewerbern als Orientierung dienen.



Die Linie

Am Anfang des CAD wie auch des Handzeichnens steht die einfache, gerade Linie. Sie wird mit Hilfe ihrer Endpunkte definiert (Bild 1.2).

Bild 1.2:
Das einfachste Zeichenelement, die Linie. Links unten das Koordinatensymbol, das Ausrichtung und Nullpunkt des Koordinatensystems markiert.



Diese Punkte werden durch Mausklick oder über die Tastatur definiert. Über die Befehlszeile eingegeben, sieht das am Beispiel von AutoCAD folgendermaßen aus:

Der Befehl wird mit der Eingabetaste abgeschlossen.

Befehl: **Linie**

Ersten Punkt angeben: **7,4**

Nächsten Punkt angeben oder [Zurück]: **10,3**

Nächsten Punkt angeben oder [Zurück]: (Return)

Doch was bedeutet es zwei Punkte einzugeben? Und worauf beziehen sie sich überhaupt? Werfen wir zunächst einen Blick auf die Zeichenebene, wie sie im CAD definiert ist.

1.1 Koordinatensysteme in der Fläche

Genau wie der Zeichner benötigt auch der Computer ein Bezugssystem für geometrische Angaben. Im CAD findet hier das so genannte *Koordinatensystem* Verwendung, wie es aus der Schule bekannt ist. Es dient dazu, die Position eines Punktes auf der Ebene in Bezug zu einem Nullpunkt zu definieren. Im 2D-Zeichnen werden zwei Varianten verwendet, das rechtwinklige oder *kartesische* und das *polare* Koordinatensystem.

1.1.1 Das kartesische Koordinatensystem

Die übliche Darstellung eines Punktes in der Ebene wird über das Achsenkreuz oder das *kartesische Koordinatensystem* vorgenommen: An zwei senkrecht aufeinander

1.1 Koordinatensysteme in der Fläche

stehenden Achsen namens x und y wird die jeweilige Entfernung vom Nullpunkt, dem *Ursprung*, angetragen. Nach dem obigen Beispiel betragen diese $x=7$ und $y=4$. Durch diese beiden Entfernungen können Parallelen zur jeweils anderen Achse gezogen werden, die sich an einer – und *nur* einer! – Stelle schneiden. Das Zahlenpaar stellt somit die *Koordinaten* des gesuchten ersten Punktes dar (Bild 1.3).

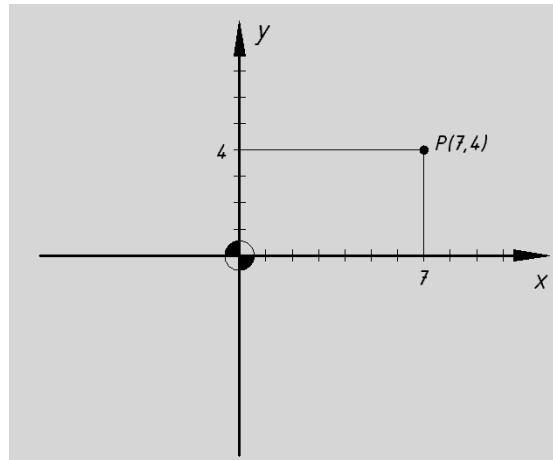


Bild 1.3:
Parallelkoordinaten: Ein Punkt wird durch Angabe von x und y eindeutig auf der Ebene definiert.

Der zweite Endpunkt unserer Linie – $x=10$, $y=3$ – wird auf die gleiche Weise gefunden. Dann werden diese beiden Punkte vom CAD-Programm mit einer Geraden verbunden (Bild 1.4).

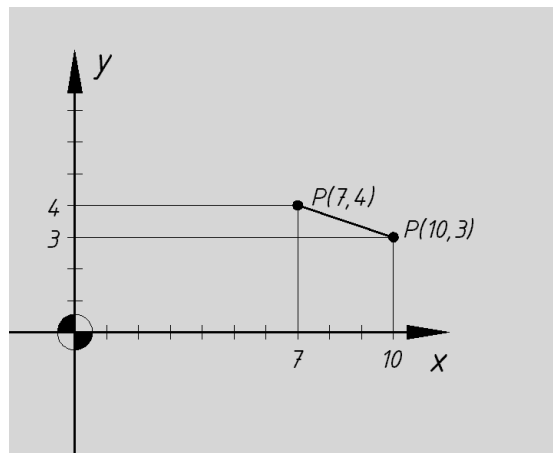


Bild 1.4:
Anatomie einer Linie: Insgesamt vier Teilkoordinaten werden zur Definition benötigt.

Genau wie in der Mathematik gibt es auch hier jeweils eine positive und eine negative Halbachse, wobei negative Werte durch ein vorangestelltes Minuszeichen dargestellt werden.

Relative Koordinaten

Das Besondere liegt indessen in der Verschiebbarkeit des Ursprungs: Im CAD können Koordinatensysteme in beliebiger Zahl, an beliebigen Orten und in beliebiger Ausrichtung angeordnet werden, was das Umrechnen der Koordinaten und Winkel an weit entfernten oder gedrehten Positionen erspart. Als Ursprung kann demnach ein beliebiger Punkt dienen.

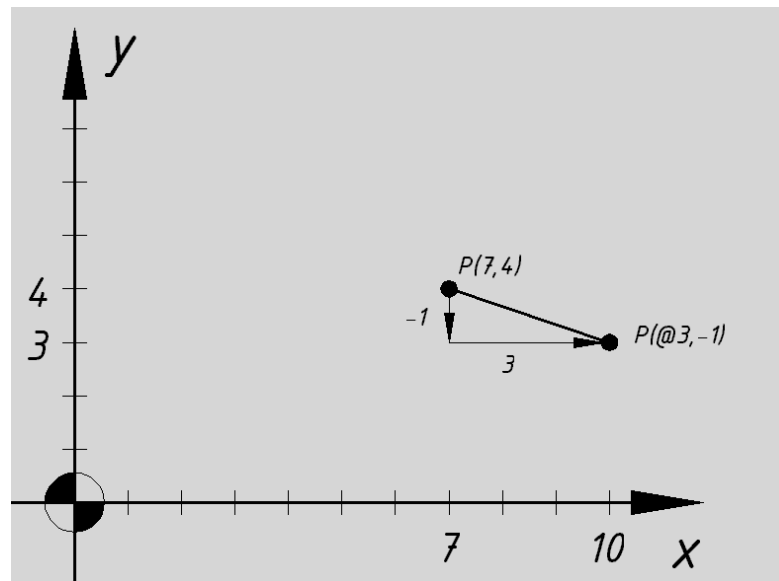
Angenommen, die beiden Endpunkte unserer Linie liegen weit auseinander, die Werte sind nicht ganzzahlig oder wir kennen lediglich die Steigung der Geraden, dann ist das Verfahren mit den oben benutzten so genannten *absoluten Koordinaten* mühsam. Dann bietet es sich an, zur Eingabe des zweiten Punktes nur die *Entfernung* vom ersten anzugeben, und zwar nach Teilkoordinaten gesondert:

$$x_2 - x_1 = 10 - 7 = 3;$$

$$y_2 - y_1 = 3 - 4 = -1$$

In AutoCAD wird diese Bezugnahme auf einen zuvor eingegebenen Punkt durch den vorangestellten „Klammeraffen“ @ gekennzeichnet (Bild 1.5).

Bild 1.5:
Relative Koordinaten beziehen sich auf den zuletzt eingegebenen Punkt.



Der Befehl für relative kartesische Koordinaten wird im Unterschied zum Listing von S. 12 wie folgt formuliert:

Befehl: **Linie**

Ersten Punkt angeben: **7,4**

Nächsten Punkt angeben oder [Zurück]: **@3,-1**

Nächsten Punkt angeben oder [Zurück]: (Return)

1.1.2 Polarkoordinaten

Die Koordinateneingabe kann auch in der Form $r<\alpha$ erfolgen, als so genannte *Polarkoordinaten*. Vom Ausgangspunkt (dem *Pol*) wird dabei ein Radius r im Winkel α zu einem willkürlich gewählten Bezugsstrahl angetragen. In den meisten CAD-Systemen hat sich als Bezugsstrahl die positive x-Achse eingebürgert. Die Zählrichtung erfolgt hierbei „links herum“, das bedeutet, ein positiver Winkel wird gegen den Uhrzeigersinn angetragen. Diese ungewöhnliche Richtung resultiert aus der Definition des mathematischen Drehsinns des Koordinatensystems.

In Bild 1.6 sehen Sie die Darstellung des zweiten Punktes mit Hilfe relativer Polarkoordinaten.

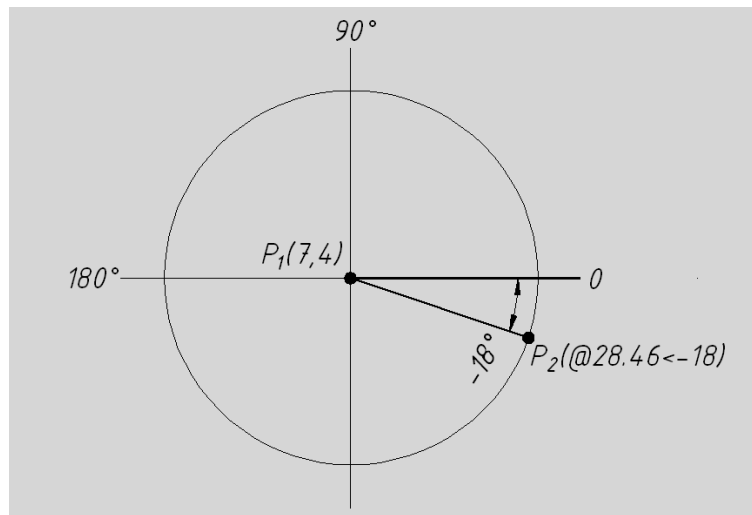


Bild 1.6:
Polarkoordinaten: Durch einen Radius und dessen Winkel gegenüber dem Bezugsstrahl „0“ wird ein Punkt definiert. Polarkoordinaten eignen sich gut für die relative Eingabe.

Im folgenden Listing sehen Sie die zugehörige Befehlszeile.

Befehl: **Linie**

Ersten Punkt angeben: **7,4**

Nächsten Punkt angeben oder [Zurück]: **@28.46<-18**

Nächsten Punkt angeben oder [Zurück]: (Return)

-
1. Das Polare Koordinatensystem in CAD unterscheidet sich ein wenig von der mathematischen Definition, denn hier wird die Einheit Grad (°) statt Radiant benutzt.
 2. Auch die Schreibweise des Winkels mit dem „Kleiner“-Symbol (<) entspricht weniger dem mathematischen Lehrbuch als den praktischen Erfordernissen der Dateneingabe.
 3. Absolute Polarkoordinaten sind möglich, aber nicht üblich!
-

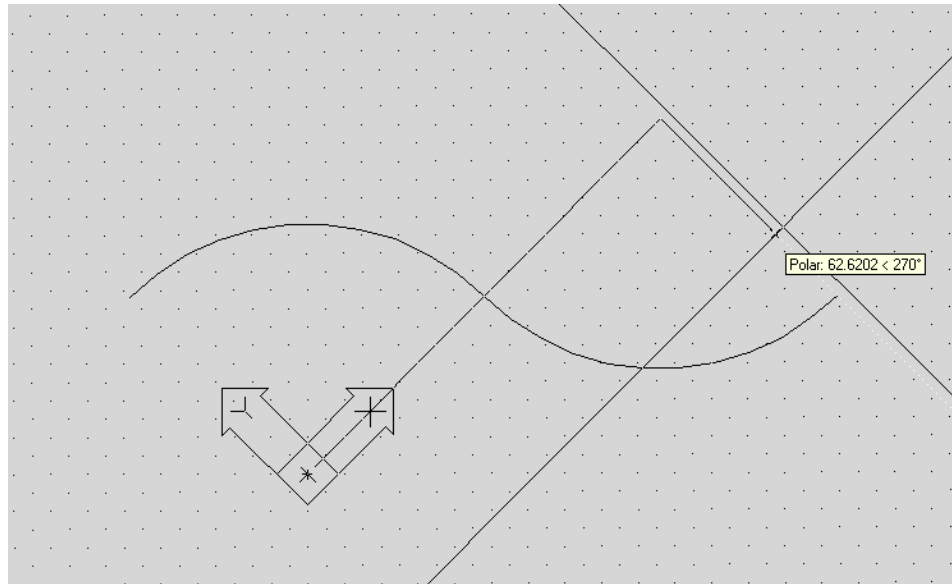


1.1.3 Verschiebbare Koordinatensysteme

Komplexe und/oder gedrehte Elemente lassen sich leichter konstruieren und vermaßen, wenn man nicht jede Eingabe auf einen festen Nullpunkt beziehen muss. Besonders in großen Zeichnungen sind daher eine dauerhafte Verschiebung des Koordinatenursprungs und manchmal sogar ein drehbares Koordinatensystem wünschenswert (Bild 1.7).

Bild 1.7:

Mit einem verschiebbaren Koordinatensystem kann jeder Ort in der Zeichnung zum Ursprung werden. Auch gedrehte Elemente sind so wesentlich einfacher zu konstruieren.



Zeichenhilfen s. S. 30

Verschiebbare Koordinatensysteme können meist in beliebiger Weise angelegt, benannt und gespeichert werden. Praktisch ist, dass auch die Zeichenhilfen und der Bezugsstrahl nach dem neuen Koordinatensystem ausgerichtet werden.

1.2 Einheiten im Koordinatensystem

Eine Einheit im klassischen CAD muss keiner bestimmten Maßeinheit entsprechen. 4 Einheiten können demnach ebenso gut den Kerndurchmesser eines M5-Gewindes in Millimetern bezeichnen wie den Abstand unserer Sonne zu Proxima Centauri in Lichtjahren. Aus diesem Grund entfällt auch die mühsame Umrechnung von Echtein Zeichenmaße: Man zeichnet stets im Maßstab 1:1. Der Maßstab der resultierenden Papierzeichnung wird erst in einem späteren Arbeitsschritt, beim Layouten und Plotten festgelegt (Bild 1.8).

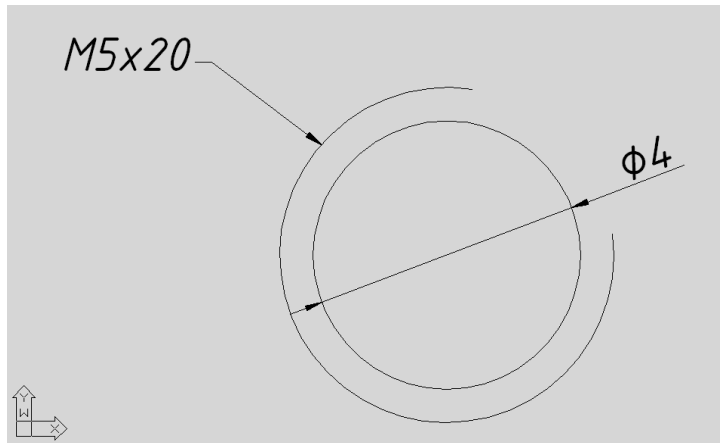


Bild 1.8:
Ein Gewinde M5 mit dem
Kerndurchmesser 4 mm.

1.2.1 Längeneinheiten

Allerdings lassen sich auch dimensionslose Einheiten unterschiedlich darstellen:

- Die gebrochen rationale Darstellung von Metern, Zentimetern und Millimetern ist in Maschinenbau, Architektur und Schreinerei üblich, etwa die 4 mm aus Bild 1.8.
- Um mehrere Größenordnungen in einer Zeichnung zu vereinigen, eignet sich die exponentielle Schreibweise am besten: „ $3.97E13$ “ bedeutet 39.700.000.000.000 km oder 40 Billionen Kilometer oder auch 4,2 Lichtjahre (Bild. 1.9).

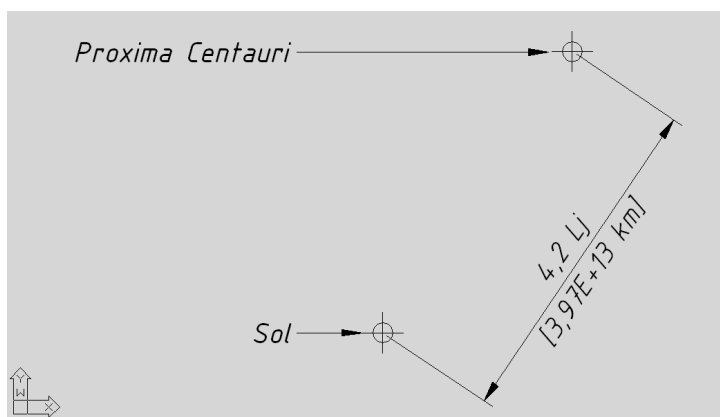


Bild 1.9:
Der Abstand zwischen
Proxima Centauri und un-
serer Sonne, jeweils in
Lichtjahren und Kilome-
tern ausgedrückt.

Um Aufträge für das englischsprachige Ausland auszuführen, können Längeneinheiten auch in Fuß und Zoll dargestellt werden. Die Umrechnung der Einheiten auf das jeweils andere System erfolgt entweder automatisch oder mit wenig Aufwand durch einmalige Definition.

1.2.2 Winkeleinheiten

Auch für die Winkeingabe bieten die meisten CAD-Programme unterschiedliche Formate an:

- Neben den üblichen, dezimal gebrochenen Altgrad – etwa 18.5° – besteht noch die Form Grad/Minuten/Sekunden, also $18^\circ 30'$.
- In der Schreibweise Neugrad besitzt ein Vollkreis 400 gon.
- Die von Naturwissenschaftlern bevorzugte Angabe in Bogenmaß oder Radiant drückt einen Winkel als Vielfaches der Kreiszahl π aus. Ein Vollkreis besitzt den Wert $2\pi \approx 6.28$.
- Für Geografische Informationssysteme (GIS) besonders hilfreich ist die Möglichkeit der Winkelmessung in Feldmaß. Sie ist wegen der Form unseres Globus aus dem Kugelkoordinatensystem abgeleitet und gibt eigentlich zwei Winkel an: Eine nördliche oder südliche Breite sowie eine östliche oder westliche Länge in der Form $N18^\circ 30' E28^\circ 21'$.

1.3 Zeichenelemente

Als Zeichenelemente gelten alle geometrischen Elemente im CAD. Dazu zählen Linien, Kreise, Bogen, Ellipsen, Polygone und Splines, aber auch Textobjekte gehören dazu.

1.3.1 Linien

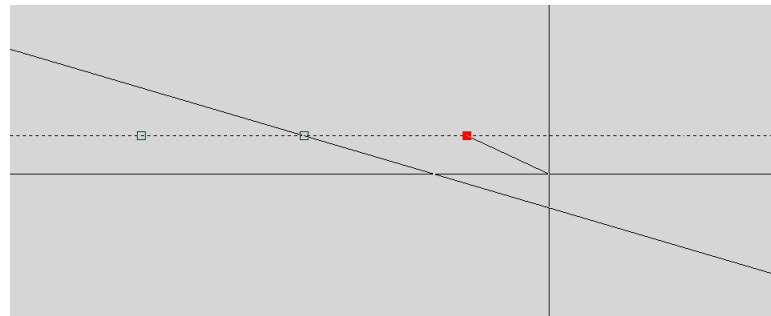
Linie s. S. 12

Die Linie als einfachstes Zeichenelement haben wir bereits zu Anfang dieses Kapitels besprochen. Sie wird durch Eingabe ihrer beiden Endpunkte definiert.

1.3.1.1 Konstruktionslinien

Für Hilfskonstruktionen steht noch eine andere Art der Linie zur Verfügung, die Konstruktionslinie. Sie ist ein- oder beidseitig unendlich lang, wird aber ebenfalls durch zwei Punkte definiert (Bild 1.10).

Bild 1.10:
Konstruktionslinien sind zwar unendlich lang, lassen sich aber ebenso leicht bearbeiten wie ihre endlichen Pendants.



1.3.1.2 Polylinien

Polylinien sind Linienzüge, die gerade und gebogene Elemente aufweisen können. In Bild 1.11 sehen Sie ein Objekt, das aus einer einzigen Polylinie entstand.

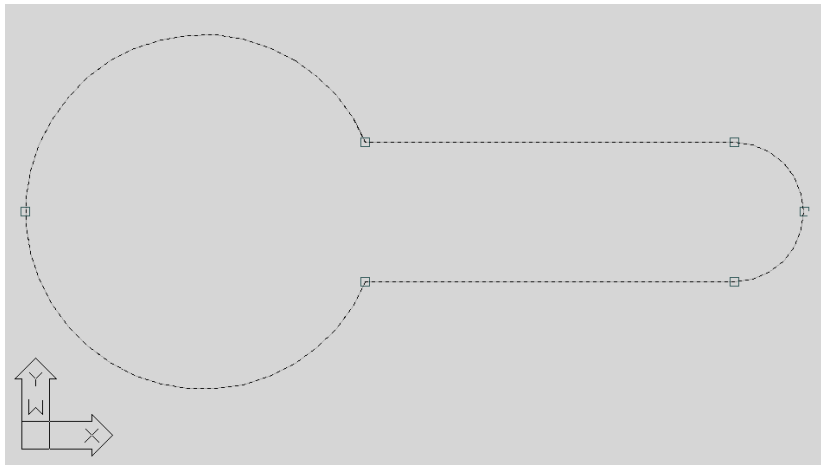


Bild 1.11:
Blindscheibe: Dieses Objekt wurde mit einer einzigen Polylinie gezeichnet.

Die eigentliche Stärke der Polylinien liegt allerdings in ihrer Programmierbarkeit. Mit Hilfe eines Makros lassen sich so ganze Zeichnungen automatisch erstellen.

1.3.1.3 Mehrteilige Linien

Besteht eine Linie aus mehreren *parallelen* Teilen, so wird dies in AutoCAD als *Multiline* bezeichnet. Mit dieser Linienart lassen sich immer wiederkehrende Liniengruppen rationell erstellen (Bild. 1.12).

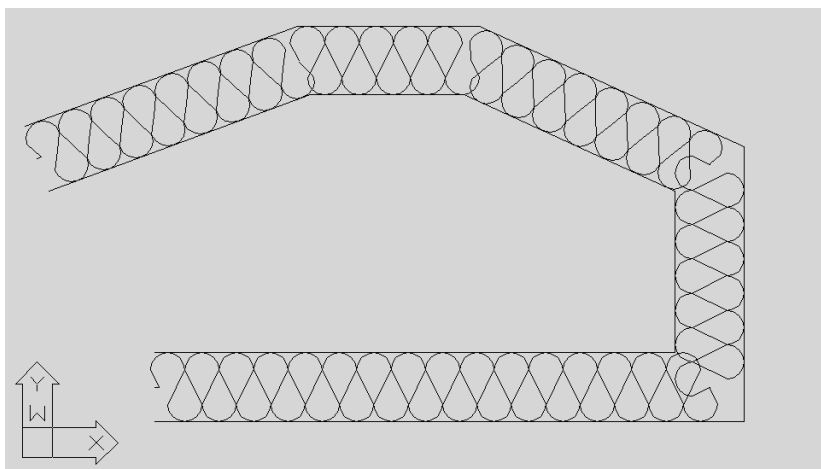


Bild 1.12:
Mit Multilinen kein Problem: Eine Dämmschicht, beidseitig kaschiert, wird wie eine normale Linie gezeichnet.

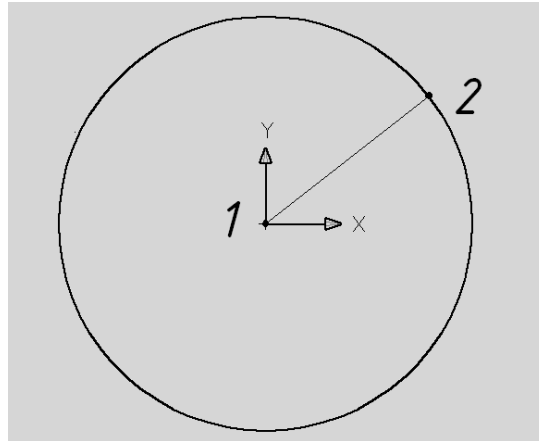
1.3.2 Kreise

Der Kreis ist im technischen Zeichnen mindestens ebenso wichtig wie die Linie. Aus diesem Grund halten CAD-Programme eine Vielfalt von Erstellungsoptionen für die Kreisfunktion bereit.

1.3.2.1 Radius

Die übliche Methode, einen Kreis zu erstellen, führt über die Definition seines Zentrums (1 in Bild 1.13) und des Radius (2), also wiederum mit Hilfe zweier Punkte.

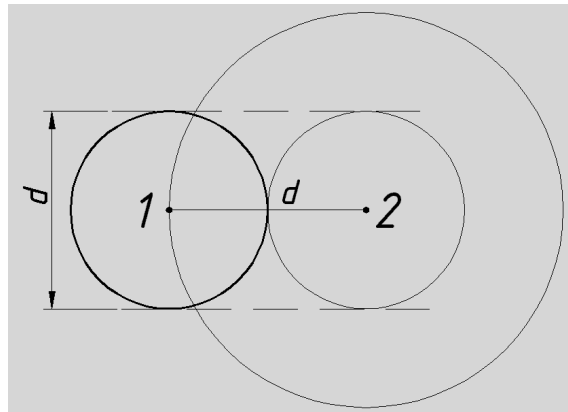
Bild 1.13:
Ein Kreis ist durch sein Zentrum und den Radius vollständig definiert.



1.3.2.2 Durchmesser

Definiert man den Kreis über seinen *Durchmesser*, kann man zwei identische Kreise ohne Hilfskonstruktion gleichmäßig über eine gegebene Strecke verteilen (1 u. 2, Bild 1.14).

Bild 1.14:
Die Durchmesserdefinition erleichtert das gleichmäßige Aufteilen von Strecken.



1.3.2.3 Zwei Punkte

Die Methode *Zwei Punkte* ähnelt der Durchmesservariante, doch werden hier tatsächlich zwei gegenüberliegende Punkte auf dem Kreis definiert, was genutzt werden kann, um eine Strecke zur Definition des Durchmessers heranzuziehen, statt sie wie oben zu halbieren (1 und 2, Bild 1.15).

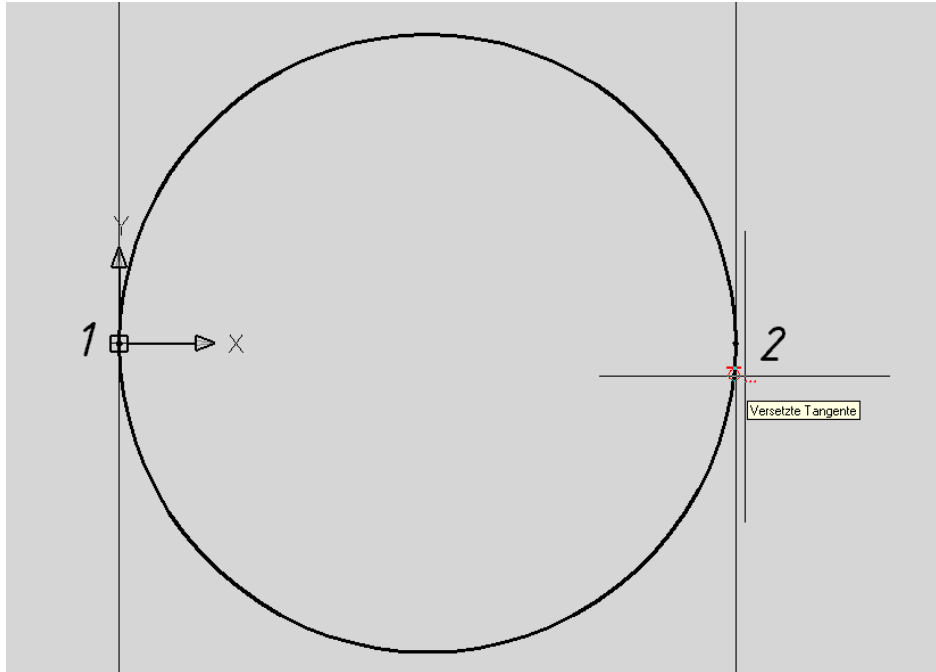


Bild 1.15:
Eine Spielart der Durchmesser-
methode: Mit der
Zwei-Punkte-Methode
kann man beliebige Strecken zur Kreisdefinition
benutzen.

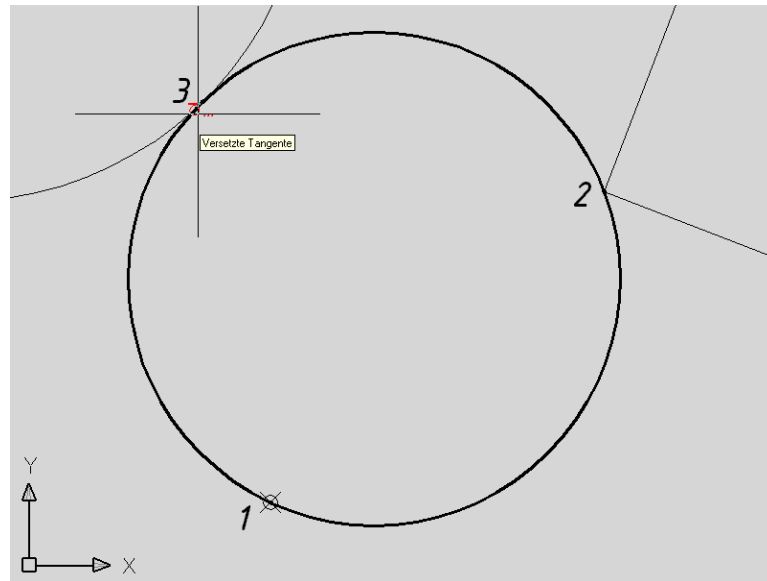
1.3.2.4 Drei Punkte

Mit drei *beliebig* auf dem Kreis verteilten Punkten lassen sich selbst anspruchsvollste Aufgaben bewältigen. Zusammen mit den *Zeichenhilfen*, deren Markierungen immer wieder in den nachfolgenden Bildern auftauchen, können Sie beinahe jede vorhandene Geometrie oder Eigenschaft zur Konstruktion heranziehen, ohne das Zentrum des zu erstellenden Kreises oder auch nur seinen Durchmesser zu kennen (Bild 1.16, Seite 22).

Zeichenhilfen s. S. 30 f.

Bild 1.16:

Kreis durch drei Punkte:
Ein Punktojekt (unten),
eine Ecke und die Tangen-
te eines anderen Kreises
dienen zur Erstellung.

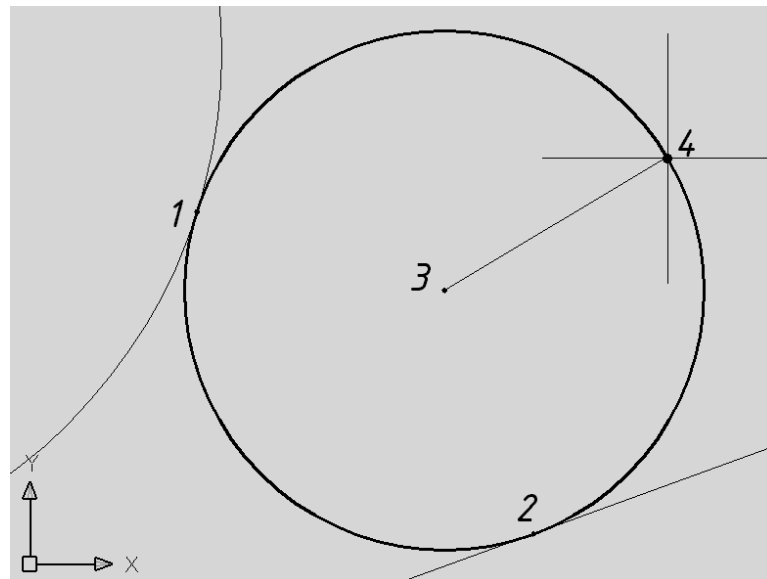


1.3.2.5 Zwei Tangenten und ein Radius

Eine Steigerung des vorigen Beispiels ist die *tangentiale* Ausrichtung eines Kreises an zwei vorhandenen Objekten (1 u. 2, Bild 1.17). Der Kreis bzw. dessen Zentrum wird allerdings erst durch Angabe seines *Radius* festgelegt (3 u. 4).

Bild 1.17:

Kreisdefinition durch zwei
Tangenten und einen Ra-
dius. Beachten Sie, dass
auch lineare Objekte als
Tangenten dienen kön-
nen.



1.3.2.6 Drei Tangenten

Auch mit *drei Tangenten* lässt sich ein Kreis definieren. Es wird deutlich, wo die Vorteile des CAD gegenüber dem Handzeichnen liegen (Bild 1.18)!

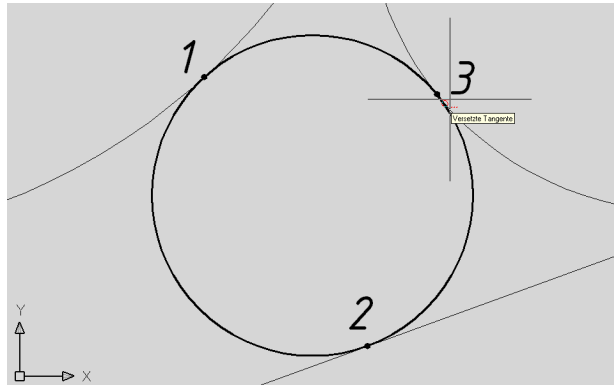


Bild 1.18:
Oberster Schwierigkeitsgrad: Ein Kreis, der drei Objekte berührt.

1.3.3 Bogen

Kreisbogen stellen ebenfalls ein wichtiges Konstruktionselement dar. Entsprechend vielfältig sind die Möglichkeiten der Generierung. Allen Varianten gemeinsam ist lediglich, dass stets drei Punkte benötigt werden.

In den nachfolgenden Beschreibungen wird die Erstellungsart abgekürzt, also etwa **SZE** für **Startpunkt**, **Zentrum**, **Endpunkt**. Weitere Kürzel: **W** steht für *Winkel*, **R** für *Radius*, **Se** für *Sehnenlänge*, **Ri** für *Richtung* und **P** für *Punkt*.



1.3.3.1 Drei Punkte auf dem Radius (3P)

Der allgemeine Bogen wird durch drei Punkte auf seinem Radius beschrieben, genauer durch Anfangs- und Endpunkt (1 u. 3, Bild 1.19) sowie einen beliebigen weiteren Punkt (2).

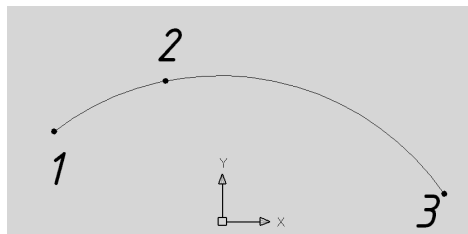
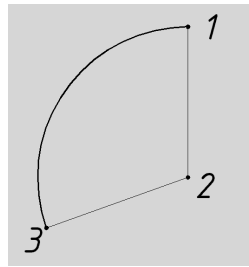


Bild 1.19:
Definition eines Kreisbogens durch drei Punkte. Punkt 2 muss nicht der geometrische Mittelpunkt der Kurve sein.

Ähnlich wie bei *Kreis 3 Punkte* sind auch hier weder der Mittelpunkt noch der Radius des Bogens bekannt.

Bild 1.20:

Bogen SZE. Der Radius wird durch die Punkte 1 und 2 definiert.

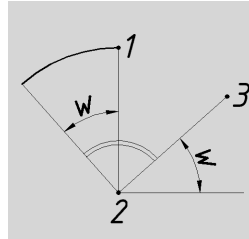


Anders wird dies bei der Variante *Startpunkt, Zentrum, Endpunkt*. Durch die Definition des Startpunktes und des Zentrums (1 u. 2, Bild 1.20) wird der Radius gleichsam mitgeliefert. Beachten Sie, dass die Zeichenrichtung gegen den Uhrzeigersinn verläuft, also „links herum“ (3).

1.3.3.3 Startpunkt, Zentrum, Winkel (SZW)

Bild 1.21:

Zeichnen eines Bogens SZW. Der Winkel wird vom Bezugsstrahl aus definiert (rechts).



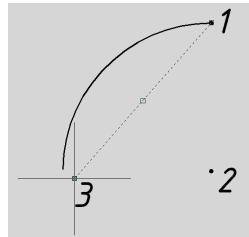
Nahe verwandt mit der vorigen Version ist SZW, wo der dritte Punkt den eingeschlossenen Winkel des Bogensegments festlegt. Dies geschieht über einen temporären Bezugsstrahl, der am Startpunkt angelegt wird (3, Bild 1.21).

Der Winkelwert – positiv oder negativ – kann natürlich auch gut über die Tastatur eingegeben werden.

1.3.3.4 Startpunkt, Zentrum, Sehnenlänge (SZSe)

Bild 1.22:

Spezialfall: Definition eines Bogens über die Sehnenlänge.

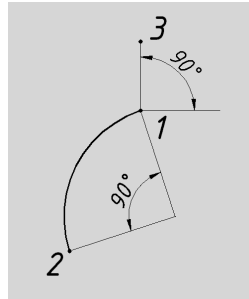


Bei diesem Verfahren werden zunächst wieder Radius und Zentrum des Bogens definiert (1 u. 2, Bild 1.22). Die Bogenlänge folgt aus der Längenangabe der zugehörigen Bogen-sehne (3).

1.3.3.5 Startpunkt, Endpunkt, Winkel (SEW)

Bild 1.23:

Definition eines Bogens über den eingeschlossenen Winkel.



Diese Art der Bogendefinition erlaubt das feinfühliges Zeichnen von Bogen mit sehr großen Radien. Zunächst werden Start- und Endpunkt des Bogens festgelegt (1 u. 2, Bild 1.23).

Der Radius ist unbekannt, er folgt indirekt aus der abschließenden Definition des eingeschlossenen Winkels. Diese erfolgt wieder über einen temporären Bezugsstrahl und die Eingabe des dritten Punktes (3).

1.3.3.6 Startpunkt, Endpunkt, Richtung (SERi)

Will man einen Bogen tangential an bestehende Linien anschließen, so bietet sich diese Option an. Hier wird nach Eingabe von Start- und Endpunkt (1 u. 2, Bild 1.24) mit Hilfe eines dritten Punktes zugleich die Tangente an den entstehenden Bogen gebildet (3).

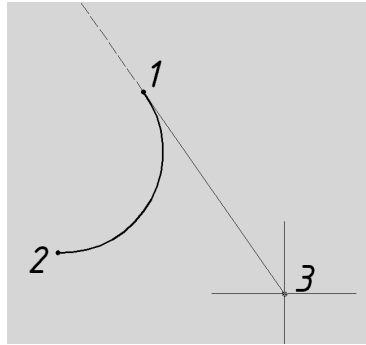


Bild 1.24:
Schöne, tangentiale Anschlüsse gelingen mit der Option SERi.

1.3.3.7 Startpunkt, Endpunkt, Radius (SER)

Ein einfaches Verfahren bietet diese Variante. Nach Eingabe von Anfangs- und Endpunkt (1 u. 2, Bild 1.25) wird der Radius durch direkte Längendefinition festgelegt (3). Dabei spielt die Richtung des Vektors keine Rolle, was es erleichtert, den dritten Punkt an bestehende Geometrie anzulehnen.

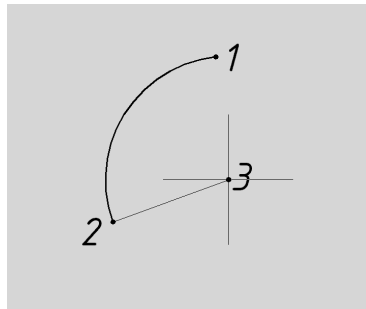


Bild 1.25:
Einfacher geht's nicht: direkte Eingabe des Radius.

1.3.3.8 Zentrum, Startpunkt, Endpunkt (ZSE)

Dieses Verfahren ist verwandt mit SZE, nur mit dem Unterschied, dass zuerst das Zentrum, dann der Startpunkt definiert werden (1 u. 2, Bild 1.26). Der Endpunkt befindet sich in Radienabstand auf dem Fahrstrahl *Mittelpunkt-Endpunkt* (3).

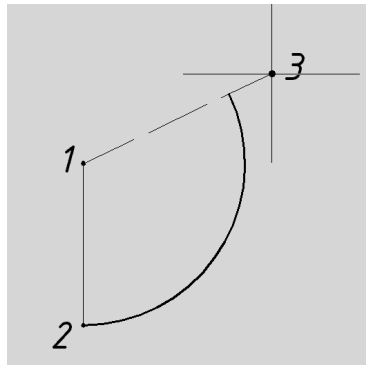


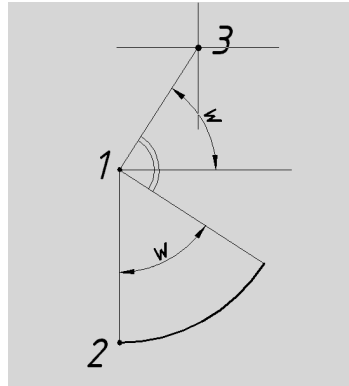
Bild 1.26:
Umkehrung des Verfahrens: Bogen ZSE.
SZE s. S. 24

Bild 1.27:

Halb so schlimm: Die Eingabe des Winkels kann auch über Tastatur erfolgen.

SZW s. S. 24

1.3.3.9 Zentrum, Startpunkt, Winkel (ZSW)



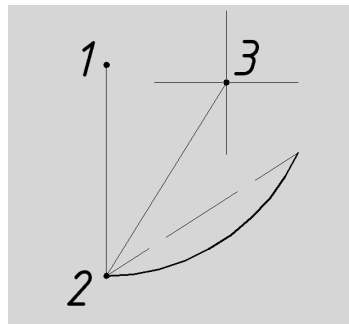
Dieses Verfahren ist wiederum verwandt mit SZW, allerdings ist hier ebenfalls die Reihenfolge vertauscht. Zunächst wird das Zentrum des Bogens, dann sein Startpunkt definiert (1 u. 2, Bild 1.27). Der Winkel wird nach dem Polarverfahren mit Hilfe eines temporären Bezugsstrahls definiert (3).

Bild 1.28:

ZSSe: Die Strecke 2-3 definiert die Sehnenlänge des zu erzeugenden Bogens. Zur Verdeutlichung wurde die Sehne in ihrer korrekten Lage gestrichelt eingezeichnet.

SZSe s. S. 24

1.3.3.10 Zentrum, Startpunkt, Sehnenlänge (ZSSe)



ZSSe ist verwandt mit SZSe, aber auch hier ist die Erstellung der ersten beiden Punkte vertauscht. Zunächst wird das Zentrum definiert (1 u. 2, Bild 1.28), dann folgt die Angabe der Sehnenlänge, zu der dann ein passender Bogenabschnitt gezeichnet wird (3).

1.3.4 Ellipsen und elliptische Bogen

Neben den Kreisen existieren natürlich auch noch andere geschlossene Gebilde im CAD-Vokabular. Dazu gehören die *Ellipsen*.

Je nach Software ist die Methode etwas gewöhnungsbedürftig, denn oft hat die Ergonomie Vorrang vor der Geometrie. In AutoCAD wird zunächst der große *Durchmesser* definiert, dann die kleine *Halbachse* (Bild 1.29).

Die geometrische Alternative – Definition auf Grundlage der beiden Brennpunkte – ist nicht anzutreffen, allerdings gibt es meist die Möglichkeit, das Zentrum und davon ausgehend die beiden Halbachsen festzulegen.

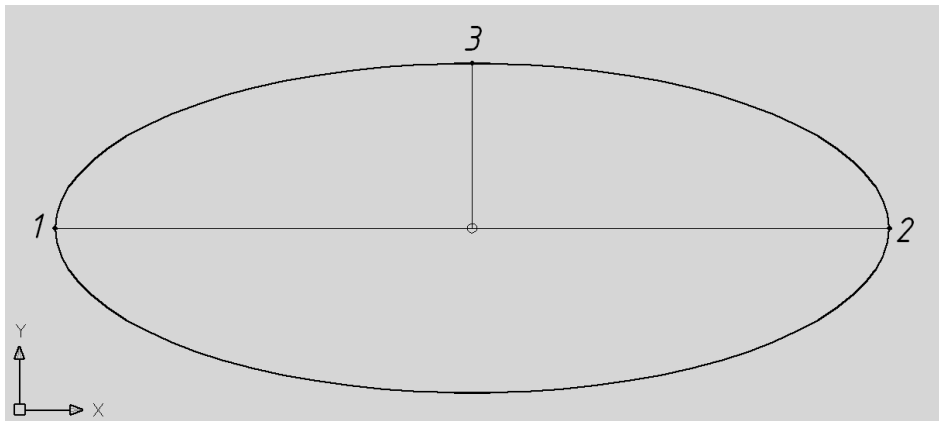


Bild 1.29:
Nicht aus dem Lehrbuch:
Ellipsendefinition durch
große Achse und kleine
Halbachse.

1.3.4.1 Isometrischer Kreis

Eine nicht ganz so offensichtliche Anwendung der Ellipse ist der isometrische Kreis. Denn da zwei von drei Koordinatenachsen in der Isometrie um 30° geneigt dargestellt werden, erscheinen Kreise – Bohrungen etwa – als Ellipsen. Entsprechend schwierig kann es werden, sie in die Ansicht zu integrieren (Bild 1.30).

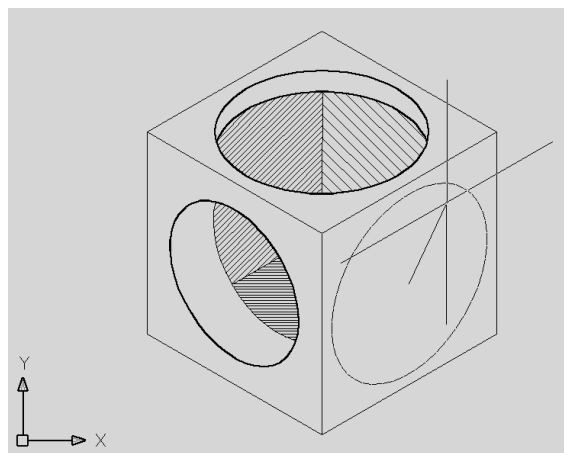


Bild 1.30:
Räumliches in der Fläche:
Isometrische Kreise erleichtern die Projektionsarbeit erheblich – besonders für Ungeübte!

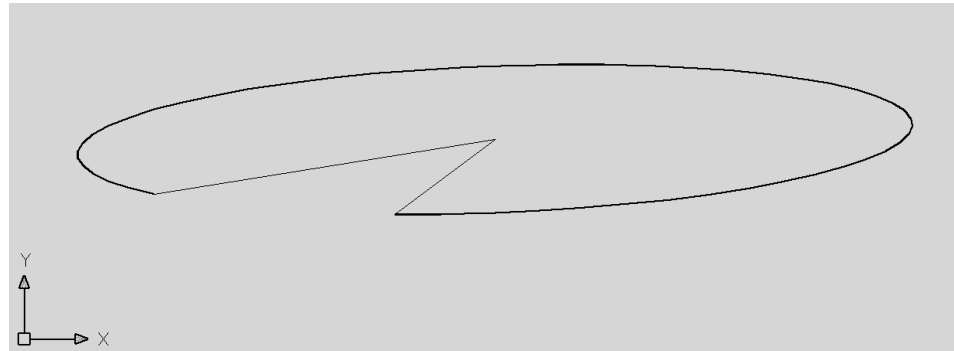
Der große Nutzen solcher Hilfsmittel ist die Zeitersparnis gegenüber der manuellen Methode – bis man als Handzeichner im Isometriezeichnen so firm ist, dass man Bohrungen in Körpern darstellen kann, braucht es schon eine ganze Menge Übung. Im CAD hingegen genügt es meist schon, das Prinzip zu verstehen, um mit Hilfe der Software ein brauchbares Ergebnis zu erzielen.

1.3.4.2 Ellipsenbogen

Zu den Ellipsen gehören auch noch die *Ellipsenbogen*. Sie werden genau wie Ellipsen definiert, nur dass noch der Anfangs- und der Endwinkel angegeben werden müssen (Bild 1.31, Seite 28).

Bild 1.31:

Ein Stück vom Kuchen:
Ellipsenbogen lassen sich
allerdings leichter mit der
Stutzfunktion aus Ellipsen
gewinnen.

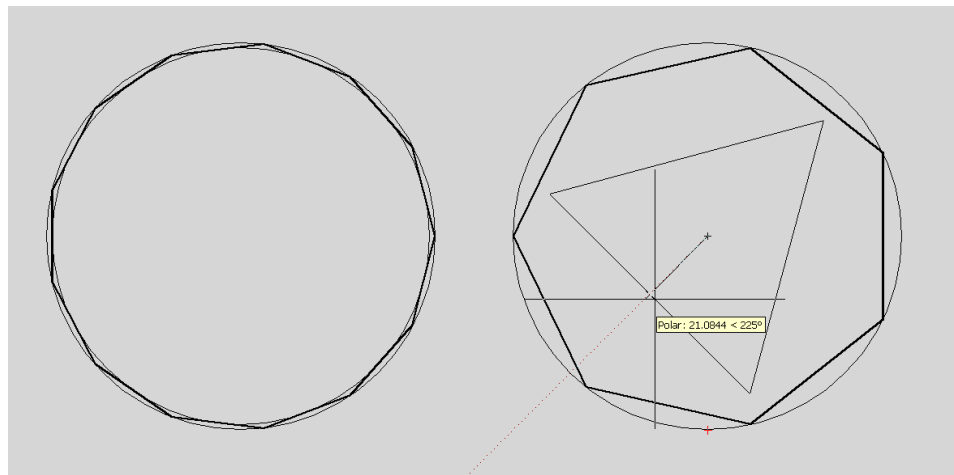


1.3.5 Polygone

Eine andere Herausforderung für jeden Handzeichner ist es, ein gleichseitiges Polygon mit ungerader Eckenzahl, etwa ein 7- oder 13-Eck, zu zeichnen. Aufwändige Zirkelkonstruktionen sind als Vorarbeit nötig, um einen Kreis in n genau gleich lange Abschnitte einzuteilen, was meist doch nur zu einer Näherung statt einer präzisen Lösung führt. Nun, in Zeiten des CAD stellt das Polygonzeichnen keine Schwierigkeit mehr dar: Man übergibt der Software die gewünschte Zahl der Ecken, definiert Zentrum und Radius des In- oder Umkreises und zieht denselben auf – die Software erledigt den Rest (Bild 1.32).

Bild 1.32:

Ob Drei-, Sieben- oder
Dreizehn-Eck – Polygone
sind kein Grund zur Sorge
mehr.



Während in der Abbildung das Sieben-Eck durch seinen Umkreis definiert wurde, liegt dem darin liegenden Dreieck der Inkreisdurchmesser zugrunde. Der Inkreis tangiert das Polygon an der Mitte seiner Seiten, der Umkreis berührt die Spitzen. Natürlich ist es auch möglich, die Vielecke gedreht zu zeichnen.

Zur Linken ist ein 13-Eck abgebildet. Man erkennt, wie Inkreis und Umkreis sich mit der Zahl der Ecken immer mehr einander annähern, bis sie bei unendlich vielen Ecken – dem Kreis selbst – identisch werden.

1.3.6 Splines

Eigentlich ist ein *spline* (engl.) ein plastisch biegsames Lineal. Mit solch einem scheinbar widersprüchlichen Gerät lassen sich beliebige Punkte in der Fläche in einer weichen, stetigen Kurve miteinander verbinden. Oder besser gesagt, einander *annähern*, denn der dieser Funktion zugrunde liegende Bézier-Algorithmus entstammt einem Näherungsverfahren aus der Statistik. Dort versucht man damit einer Schar wild verstreuter Punkte ein innewohnendes Bildungsgesetz zu entlocken, den so genannten *Trend*. Dadurch lassen sich Voraussagen über die weitere Entwicklung treffen.

Im CAD indessen wird der Spline dazu benutzt, wunderschöne, fließende Formen zu erzeugen, die sich so mit keiner Bogenfunktion realisieren lassen würden (Bild 1.33).

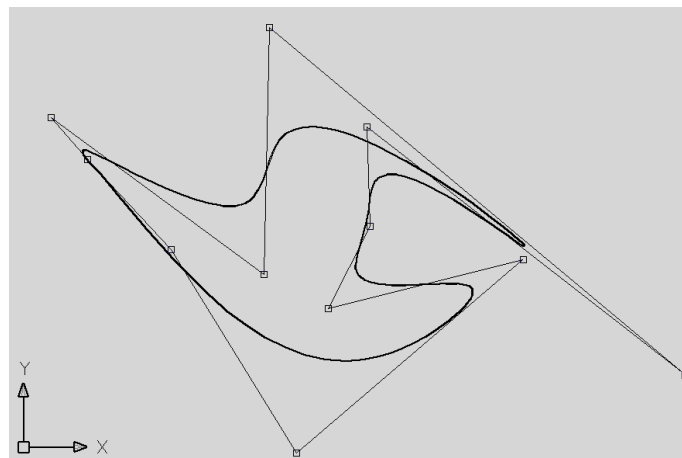


Bild 1.33:

Der Widerspenstigen Zähmung: Auch aus der wildesten Punkteschar wird unter der Splinefunktion ein fließendes, harmonisches Ganzes inklusive Kurvenfunktion.

In der Abbildung wurde der Spline-Rahmen sichtbar gemacht, also die direkte, lineare Verbindung der Punkte zu einander. Diese bleiben verschiebbar, der Spline wird interaktiv nachgeführt.

Der Spline des obigen Beispiels berührt seine Kontrollpunkte nicht, was durch die kubische Gleichung der Kurve – ein Polynom dritten Grades – bedingt ist.

Es existieren auch quadratische Splines, deren Verschiebepunkte stets von der Kurve durchlaufen werden. Sie entstehen durch ein Polynom zweiter Ordnung.

In der 3D-Konstruktion wird uns der Spline wieder begegnen – in Form des *Non-Uniform Rational B-Spline* oder kurz NURBS.



Objektfang *Punkt*
s. S. 42

1.3.7 Punktobjekte

Das wohl einfachste Zeichenelement ist der *Punkt*. Er besitzt nur ein einziges Koordinatenpaar und wird vornehmlich dazu benutzt, Markierungen in der Zeichnung anzubringen, etwa Ausgangspunkte für die Koordinatenbemaßung, Werkstücknullpunkte und ähnliches.

Punkte eignen sich zur Lösung spezieller Zeichenprobleme, etwa in sehr großen und/oder dichten Zeichnungen, und zwar dann, wenn sie einen eigenen *Objektfangmodus* besitzen.

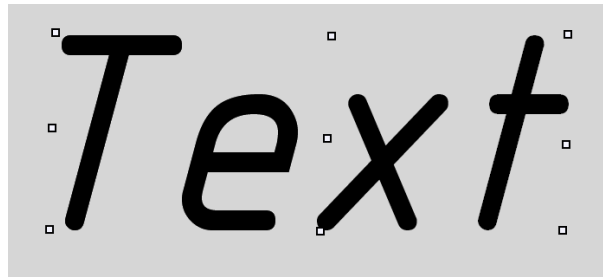
1.3.8 Textobjekte

Auch Text zählt zu den Zeichenobjekten, da er in der Zeichensoftware genau wie diese behandelt wird. Text wird in der Zeichnung oder sogar mit einem eigenen kleinen Editor erstellt. Heutzutage sind all diese Editoren *TrueType*-kompatibel, so dass einer normgerechten Beschriftung nichts im Wege steht.

In alle CAD-Programme lassen sich Texte aus anderen Anwendungen und Formaten importieren – besonders schön bei umfangreichen Texten, die man dann doch lieber im gewohnten Editor erstellt und formatiert.

Das Besondere am CAD-Textobjekt ist indessen die Zahl seiner Ausrichtungspunkte: Anfasser, mit deren Hilfe das Textobjekt an bestehender Geometrie ausgerichtet werden kann. In den meisten CAD-Editoren ist dies jede der neun Kombinationen, die sich aus *Oben Mitte/Unten* und *Links/Mitte/Rechts* bilden lassen (Bild 1.34).

Bild 1.34:
Ein Textobjekt und seine
potentiellen Ausrich-
tungspunkte.



1.4 Zeichenhilfen

Unter *Zeichenhilfen* versteht man sämtliche Hilfsmittel, die das CAD-Programm dem Zeichner an die Hand gibt, um bestimmte geometrische Aufgaben leichter lösen zu können. Dies kann ein einfaches Zeichenraster sein, das ähnlich wie Karos auf Papier die Einteilung der Zeichnung nach Sicht erlaubt, oder ein Rasterfang, der präzise Mauseingaben ermöglicht, oder der Objektfang, der das Einfangen beinahe jeder Art von vorhandener Geometrie erlaubt, um neue daran auszurichten. Die Möglichkeiten sind vielfältig, die Instrumente werden stetig weiter entwickelt, aber ebenso steigt auch der Anspruch an das Vorstellungsvermögen des Users (Bild 1.35).