



# **PA - Software**

**Eckenrunden**

**PA 8000**

AUSGABE

12.99

Software Revision

1.9

Copyright

PA

IRRRTUM UND TECHNISCHE ÄNDERUNGEN VORBEHALTEN



# Inhalt

<b>1 Eckenrunden .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 G-Codes .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rundungsradius.....</b>	<b>1</b>
<b>1.3 Eckenabweichung E.....</b>	<b>2</b>
<b>1.4 Minimale Satzlänge .....</b>	<b>3</b>
<b>1.5 Beschleunigungsüberwachung .....</b>	<b>4</b>
<b>1.6 Minimaler und maximaler Knickwinkel.....</b>	<b>5</b>
<b>1.7 G200 G203 Eckenrunden .....</b>	<b>6</b>
<b>1.8 Notwendigkeit von Eckenrunden.....</b>	<b>7</b>
<b>1.9 Programmierung .....</b>	<b>8</b>
1.9.1 G201 Eckenrunden mit definiertem Krümmungsradius .....	8
1.9.2 G202 Eckenrunden mit definierter Eckenabweichung .....	9
1.9.3 G203 Eckenrunden mit definiertem Rundungsradius und maximaler Abweichung .....	9
1.9.4 Eckenrunden mit 5-Achs-Fräserradiuskorrektur .....	10
<b>1.10 Problemfall: Zu spitzer Winkel .....</b>	<b>14</b>
<b>1.11 Problemfall: Kollision bei aktiver Echtzeitfräserradiuskorrektur.....</b>	<b>15</b>
<b>2 Maschinenparameter Tabelle.....</b>	<b>16</b>

# 1 Eckenrunden

## 1.1 G-Codes

Das Eckenrunden wird mit den G-Codes

G200	Eckenrunden AUS
G201 R	Eckenrunden mit definiertem Krümmungsradius
G202 E	Eckenrunden mit definierter Eckenabweichung
G203 E.....R	Eckenrunden mit definiertem Radius bis maximaler Abweichung

Der erste G-Code ist applizierbar mit dem Maschinenparameter CornerSmoothGcode. Standardmäßig steht er auf 200. Die drei weiteren G-Codes (hier G201 - G203) belegen die dem ersten G-Code folgenden Nummern.

## 1.2 Rundungsradius

Der Rundungsradius wird standardmäßig mit dem Buchstaben R programmiert.

Wenn ein anderer Buchstabe verwendet werden soll, weil R schon von anderen Funktionen belegt ist, so kann über dem Maschinenparameter CornerSmoothAddressR dessen ASCII-Code angegeben werden.

### Defaultwert:

- Nach Reset, oder wenn beim Aktivieren von Eckenrunden kein Rundungsradius programmiert ist, ist der mit CornerSmoothRadius applizierte Wert aktiv.

### 1.3 Eckenabweichung E

Die Eckenabweichung E gibt die Distanz zwischen der programmierten Ecke und dem eingefügten Kreis an.

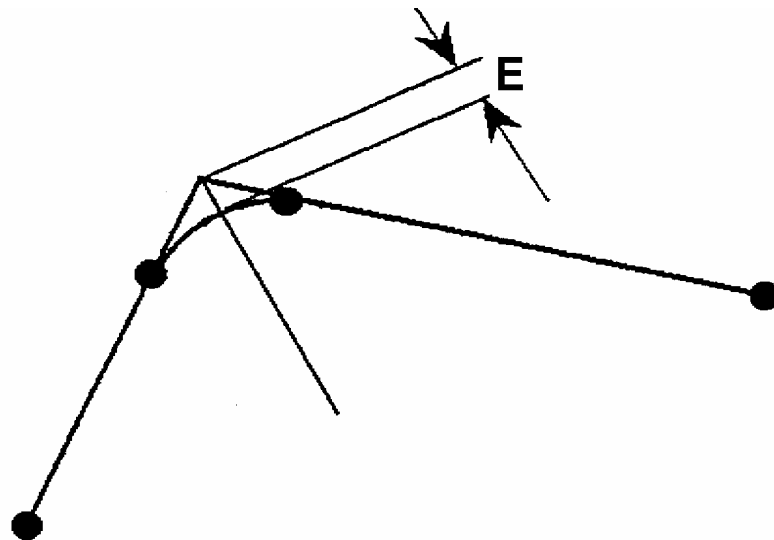


Abb. 1

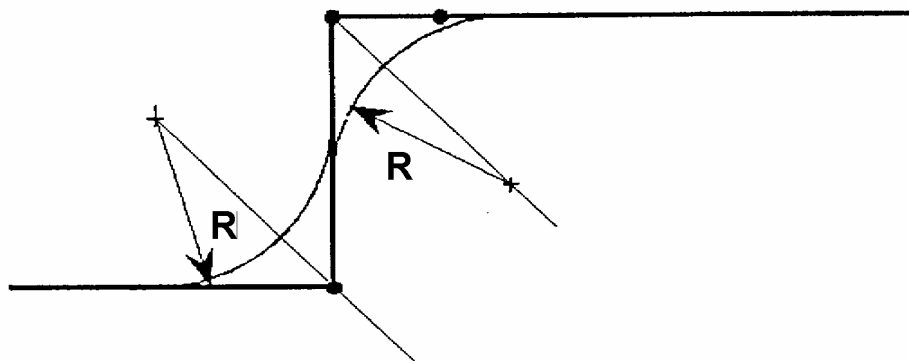
Soll die Eckenabweichung mit dem Buchstaben "E" programmiert werden, so ist 0045H in dem Maschinenparameter CornerSmoothAddressL.einzutragen.

#### Default wert:

- Nach Reset, oder wenn beim aktivieren von Eckenrunden keine Eckenabweichung programmiert ist, ist der mit CornerSmoothContourError applizierte Wert aktiv.

## 1.4 Minimale Satzlänge

Wenn im Verhältnis zum programmierten Rundungsradius oder zur zulässigen Eckenabweichung kurze Sätze programmiert sind, treten Fälle auf, in denen sich durch das Einfügen der Kreisbögen die einschließenden NC-Sätze in unzulässiger Weise verkürzen, oder gar das Einfügen der Kreise nicht möglich ist, wie es das folgende Beispiel zeigt:



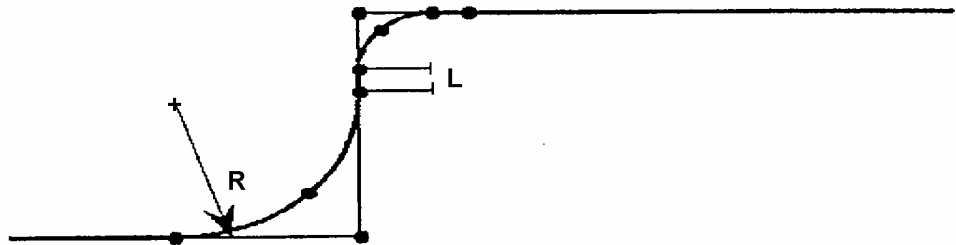
**R**      **programmierter Rundungsradius**

•      **Satzendpunkte**

Abb. 2

Der Maschinenparameter CornerSmoothBlockMin gibt die minimale Satzlänge an, auf die die einschließenden Sätze verkürzt werden dürfen.

Am Beispiel ergibt sich dann folgende Bahn:



- L** minimale satzlänge
- R** programmierter Rundungsradius
- Satzendpunkte
- programmierte Bahn
- gerundete Bahn

Abb. 3

Die Sätze, die kürzer als das Applikationsdatum sind, werden halbiert.

## 1.5 Beschleunigungsüberwachung

Bei aktiver Echtzeitradiuskorrektur und Eckenrunden ist eine spezielle Beschleunigungsüberwachung aktiv.

Diese überwacht die Beschleunigungen, die infolge von Vorschubrichtungsänderungen auf der korrigierten Bahn auftreten. Maximal erlaubte Beschleunigung ist die über die Maschinenparameter CircleContourError und CircleKVApp definierte Kreisbeschleunigung.

Der Bahnvorschub wird an Sätzen, an denen die zulässige Beschleunigung überschritten wird, so begrenzt, daß diese gerade eingehalten wird.

Mit FiveAxCornerG09Appl wird der zulässige Bahnvorschub multipliziert, womit die Geschwindigkeitsbegrenzung verstärkt oder verringert werden kann. Standardmäßig hat das Datum FiveAxCornerG09Appl den Wert 1.0

### Ein einfaches Beispiel:

Der D - Korrekturwert ist 100 mm.

Der aktuelle Verfahrenssatz führt 1 mm auf der X-Achse in X-Richtung. Am Anfang des Satzes steht das Werkzeug in Richtung der Y-Achse. Am Satzende steht das Werkzeug genau um 180 Grad gedreht in umgekehrter Richtung zur Y-Achse. Der D - Korrekturwert dreht sich also innerhalb des Satzes von positiver Z-Richtung in die entgegengesetzte negative Z-Richtung. Das heißt, daß der Arbeitspunkt annähernd auf einem Halbkreis von  $Z = -100 \text{ mm}$ ,  $Y = 0$  auf  $Z = +100 \text{ mm}$ ,  $Y = 0$  wandert. Die Beschleunigungsüberwachung begrenzt den Bahnvorschub so, daß die zulässige Kreisbeschleunigung auf diesem Kreis nicht überschritten wird.

### 1.6 Minimaler und maximaler Knickwinkel

Die Zeichnung unten gibt die Definition des Knickwinkels wieder.

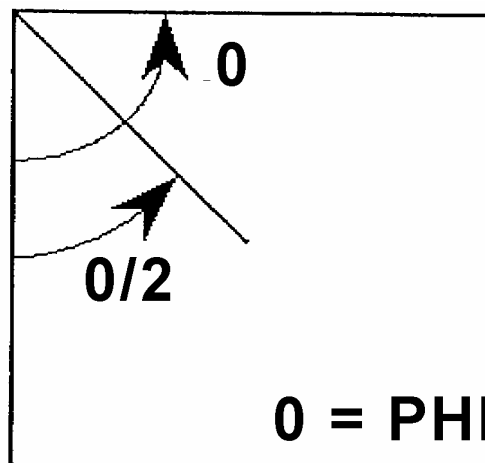


Abb. 4



Phi kann Werte zwischen 0 und 180 Grad annehmen. Mit dem Maschinenparameter CornerSmoothCosMin wird der Cosinus des maximalen halben Knickwinkels angegeben. Bei CornerSmoothCosMin =0 ist Phi/2 gerade 90 Grad bzw. Phi = 180 Grad. Ecken, deren eingeschlossener Winkel größer als der applizierte ist, werden nicht gerundet.

Mit dem Maschinenparameter CornerSmoothSinMin wird der Sinus des minimalen eingeschlossenen Winkels Phi/2 angegeben, bei dem Ecken noch gerundet werden. Wenn der eingeschlossener Winkel kleiner als CornerSmoothSinMin ist, wird ab diesem Winkel die Ecke außen herum umfahren.

## 1.7 G200 G203 Eckenrunden

### Syntax

G200	Eckenrunden AUS
G201 R..	Eckenrunden mit definiertem Krümmungsradius
G202 E..	Eckenrunden mit definierter Eckenabweichung
G203 E..R..	Eckenrunden mit definiertem Radius bis maximaler Abweichung

## 1.8 Notwendigkeit von Eckenrunden

Mit der Funktion "Eckenrunden" soll es ermöglicht werden, Ecken, die in einer Folge von Linearsätzen auftreten, zu vermeiden. Dadurch soll insbesondere auch eine bequemere Handhabung der 5-Achsfräserradiuskorrektur ermöglicht werden.

Beim Abfahren einer programmierten Bahn erfolgt für 5-AchsMaschinen eine 3D-Fräserradiuskorrektur in Echtzeit. Die Korrektur erfolgt senkrecht zur aktuellen Werkzeugausrichtung. Bei der Bestimmung der Korrektur werden nur die Bahnanteile der Linearachsen berücksichtigt. Dies stellt bei der TCP-Programmierung (G181 und G182) keine Einschränkung dar, da in diesem Fall die Rundachsen keinen Beitrag zur Bahn liefern. Bei nicht aktiver Transformation wird der Bahnanteil der Rundachsen nicht mit einbezogen.

Die Echtzeitfräserradiuskorrektur führt an Satzübergängen, die nicht tangetial sind, zu Sollweitsprüngen, wie es das folgende Schaubild verdeutlicht.

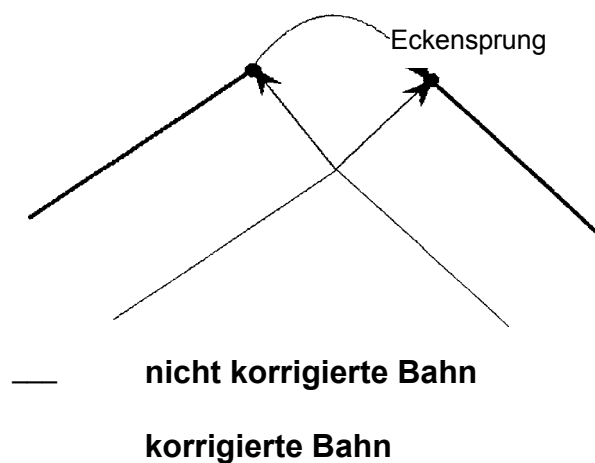


Abb. 5

Zur Vermeidung dieser Sprünge ist die Funktion Eckenrunden notwendig.

## 1.9 Programmierung

Es gibt drei unterschiedliche Aktivierungsmechanismen der Funktion.

Diese sind durch G200-G203 gegeben. (G201-G203) für die Aktivierung, G200 für die Deaktivierung. Wird nur der Aktivierungscode programmiert, so werden die Ecken in der gerade aktiven Ebene, die mit G16-G20 programmiert ist, gerundet. In diesem Fall werden Ecken, die dadurch entstehen, daß man eine Bewegung aus der aktiven Ebene heraus macht, nicht gerundet. Will man, daß beliebig im Raum orientierte Ecken gerundet werden, so müssen die drei Achsen, die das räumliche Koordinatensystem bilden, mit einem beliebigen Wert im Aktivierungssatz programmiert werden. Im folgenden sind die einzelnen G-Codes erklärt.

### 1.9.1 G201 Eckenrunden mit definiertem Krümmungsradius

Über G201 wird die Funktion "Eckenrunden mit definiertem Krümmungsradius" aktiviert. Mit R kann ein Krümmungsradius programmiert werden.

Dieser kann ohne erneutes Programmieren von G201 beliebig im NC-Programm geändert werden. Wird kein Radius programmiert, so wird der mit CornerSmoothRadius applizierte Wert genommen.

Ein Satz, in dem Eckenrunden aktiviert ist, könnte also folgendermaßen aussehen:

N4711 G201 R10

aktiviere Eckenrunden mit definiertem Rundungsradius von 10 mm

### **1.9.2 G202 Eckenrunden mit definierter Eckenabweichung**

Es wird statt des Krümmungsradius eine ebenfalls programmierbare Eckenabweichung verwendet. Auch diese kann in jedem Satz neu programmiert werden. Als Defaultwert wird der mit CornerSmoothContourError applizierte Wert angenommen. Ein Aktivierungssatz würde also folgendermaßen aussehen:

```
N4711 G202 E47.11 X1 Y1 Z1
```

aktiviere Eckenrunden mit definiertem Eckenfehler im durch die X-, Y- und Z-Achse gebildeten räumlichen Koordinatensystem.

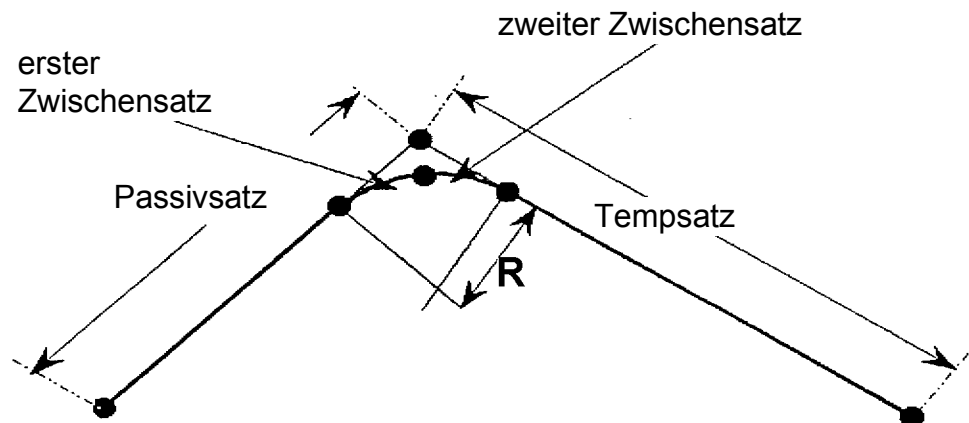
### **1.9.3 G203 Eckenrunden mit definiertem Rundungsradius und maximaler Abweichung**

Entspricht im wesentlichen G201. Jedoch kann hier zusätzlich zum Radius noch ein Eckenfehler programmiert werden. Dieser Eckenfehler wird dann als maximal zulässige Eckenabweichung interpretiert. Sind Abrundungen mit dem programmierten (oder voreingestellten) Krümmungsradius möglich, ohne die programmierte (oder voreingestellten) Eckentoleranz zu verletzen, so wird mit diesem Krümmungsradius gerundet. Im anderen Falle wird so gerundet, daß die maximale Toleranz gerade eingehalten wird. Es müßte also folgendermaßen programmiert werden:

```
N4711 G203 R10 E47.11
```

aktiviere Eckenrunden mit definiertem Radius und maximalem Eckenfehler

Das folgende Schaubild verdeutlicht noch einmal die geschilderten Zusammenhänge:



- **Satzendpunkte**
- **ursprüngliche Bahn**
- **gerundete Bahn**

Abb. 6

#### 1.9.4 Eckenrunden mit 5-Achs-Fräsradiuskorrektur

Zur Fräsradiuskorrektur bei einer beliebigen Bahn im Raum ist i.a. eine Korrekturbewegung in allen drei Linearachsen erforderlich. Die Korrektur ist rechts und links der Bahn in Fahrtrichtung möglich.

Zur Eindeutigkeit der Korrektur ist es nicht erforderlich, daß der Werkzeugvektor und die Bahntangente senkrecht aufeinander stehen. Die Korrektur erfolgt immer senkrecht zur Ebene, die durch die Bahntangente und den Werkzeugvektor aufgespannt wird. Diese Eindeutigkeit ist nur dann nicht gegeben, wenn Werkzeugvektor und Bahntangente parallel sind oder wenn die Bahntangente Null ist.

Der erste Fall tritt nur auf, wenn in Werkzeugrichtung verfahren wird. In diesem Fall wird der alte Korrekturwert beibehalten. Der zweite Fall kann durch alleiniges Verfahren der Rundachsen zustande kommen. In diesem Fall wird die alte Bahntangente, aber die neue Werkzeugausrichtung zur Berechnung der Korrektur verwendet.

Die Programmierung der Echtzeitfräserradiuskorrektur erfolgt mit voreinstellbaren G-Codes.

- G150 schaltet die Echtzeitfräserradiuskorrektur aus
- G151 Korrektur erfolgt links von der Bahn in der Verfahrrichtung
- G152 Korrektur erfolgt rechts von der Bahn in Verfahrrichtung

Der Fräserradius wird über einen im Korrekturspeicher **D** abgelegten Wert bestimmt.

Ein einfaches Programmierbeispiel ohne die Zusatzfunktionalität Eckenrunden:

- N10 D7 Aufruf des 7. Korrekturspeichers D
- N20 G151 X10 Aktivieren der Echtzeitfräserradiuskorrektur, Anfahren der korrigierten Bahn
- N30 X40
- N40 G150 X60 Ausschalten der Korrektur
- N50 M30

Es ist auch die Aktivierung der Korrektur ohne Weginformation erlaubt:

N10 D7

N20 G152

N30 G90

N40 G81

N50 X22

Der Eintritt in die korrigierte Bahn erfolgt durch lineares Aufbauen des Korrekturwerts.

Das Wegfahren von der korrigierten Bahn erfolgt durch lineares Abbauen des Korrekturwertes.

Eine Echtzeitfräserradiuskorrektur ohne die Funktion Eckenrunden ist im allgemeinen nicht anwendbar, da Ecken nicht bearbeitet werden können und an allen Satzübergängen, an denen die Bahnkrümmung sich sprunghaft ändert (Spline Gerade, Kreis -Gerade, Kreis - Kreis) Geschwindigkeitssprünge auftreten.

Die primäre Aufgabe der Funktion Eckenrunden ist , für die Echtzeitradiuskorrektur knickfreie Bahnen zu erzeugen und dafür zu sorgen, daß auf der korrigierten Bahn der programmierte Vorschub eingehalten wird. Die Funktion Eckenrunden weicht deshalb bei aktiver 5-Achsfräserradius korrektur in zwei Punkten vom Standardfunktionsumfang ab:

- An Innenecken wird in der durch die Ecke gebildeten Ebene ein Kreis eingefügt, der dafür sorgt, daß die Ecke ohne Konturverletzung umfahren wird. Wenn das Werkzeug senkrecht auf der Ecke steht, so wird genau ein Kreis mit dem Korrekturwert als Radius eingefügt, so daß eine Ecke wie bei der Standard-2D-Radiuskorrektur entsteht.
- An Außenecken wird ein Kreis mit vernachlässigbarem Radius eingefügt, wodurch dann durch die Echtzeitradiuskorrektur ein Kreis mit dem Korrekturwert als Kreisradius gefahren wird.

Die Programmierung der Echtzeitradiuskorrektur mit Eckenrunden sieht dann zum Beispiel folgendermaßen aus:

N10 D7	Aufruf des 7. Korrekturspeichers D
N20 G203 X1 Y1 Z1	Eckenrunden aktivieren
N30 G151 X10 Y0	Aktivieren der Echtzeitfräserradiuskorrektur, Anfahren der korrigierten Bahn
N40 X40 Y0	
N50 X40 Y40	
N60 G150 X60	Ausschalten der Korrektur
N70 G200	Eckenrunden deaktivieren
N50 M30	

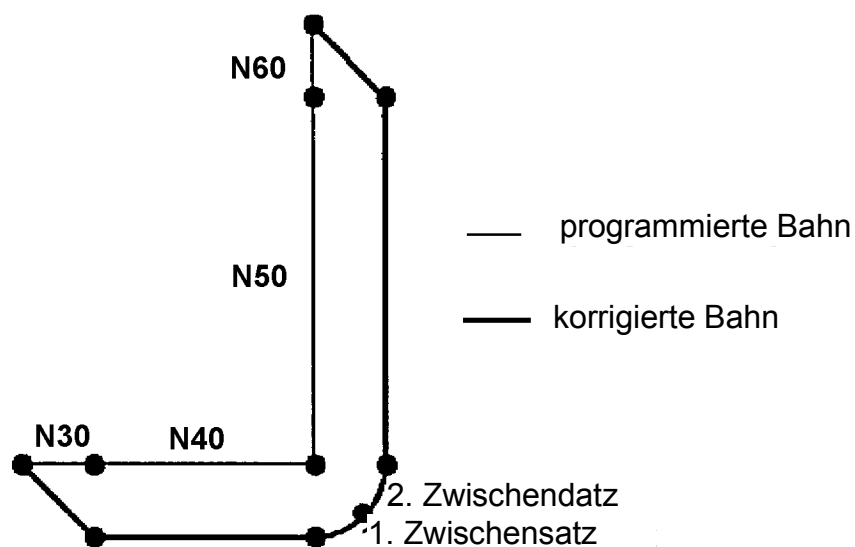


Abb. 7



## 1.10 Problemfall: Zu spitzer Winkel

Bei zu spitzem Winkel, bzw. wenn der durch die Ecke eingeschlossene Winkel nahe 0 Grad ist, entstehen mehrere Probleme:

- die zulässige Eckenabweichung läßt nur einen minimalen Krümmungsradius zu.
- durch das Runden werden die einschließenden Sätze stark verkürzt, weshalb der Eckenfehler sehr groß wird.
- es wird mit einem zu kleinen Radius gerundet, wodurch in Verbindung mit Echtzeitradiuskorrektur am Werkstück ein Fehler entsteht.

Die Funktion Eckenrunden kann, um diese Probleme zu beheben, so voreingestellt werden, daß ab einem bestimmten Grenzwinkel die Ecken nicht innen, sondern außen gerundet werden, wie es in dem folgenden Schaubild verdeutlicht wird.

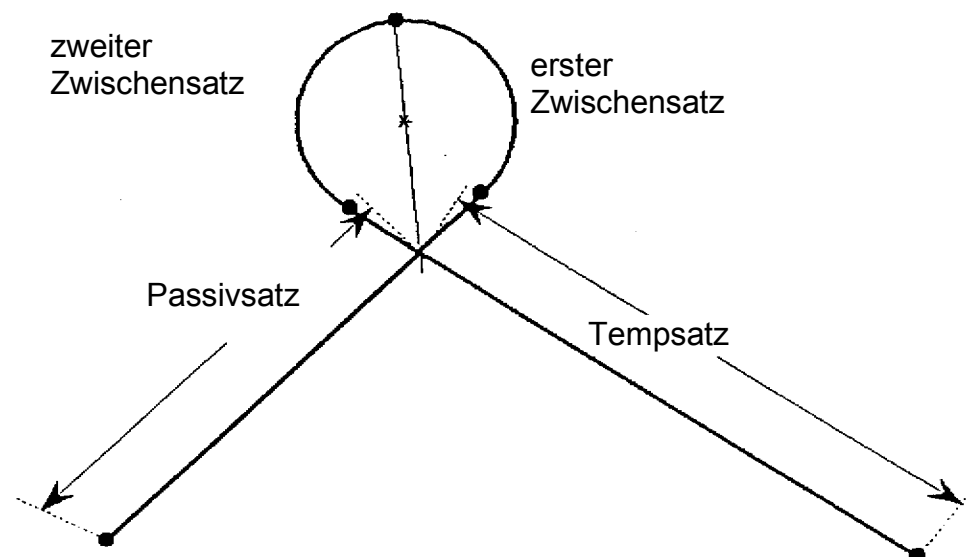


Abb. 8

### **1.11 Problemfall: Kollision bei aktiver Echtzeitfräserradiuskorrektur**

Im Gegensatz zur Fräserradiuskorrektur mit G40 - G44 erfolgt bei der Echtzeitfräserradiuskorrektur keine Kollisionsüberwachung. Dadurch können verschiedene Fehler am Werkstück wie z.B. Hinterschneidungen entstehen. Es muß deshalb sichergestellt werden, daß der programmierte Korrekturwert noch überall problemlos gefahren werden kann.

Darüber hinaus weicht die gefahrene Bahngeschwindigkeit an Stellen, an denen Kollisionen auftreten, stark von der programmierten Geschwindigkeit ab.

Solange keine Splines oder Kreise programmiert sind, kann dieses Problem im Zusammenhang mit Eckenrunden nicht auftreten, da Eckenrunden immer Kreise einfügt, die nicht zu Kollisionen führen.

## 2 Maschinenparameter Tabelle

Die benötigten Maschinenparameter sind: (siehe PA MPTool):

CornerSmoothAppl  
CornerSmoothGcode  
CornerSmoothAddres  
CornerSmoothDeltaRadius  
CornerSmoothRadius  
CornerSmoothContourError  
CornerSmoothBlockMin  
CornerSmoothCosMin  
CornerSmoothSinMin  
CircleContourError  
CircleKVAppl