

## Allgemeiner additiver Ansatz für die Berechnung der gestreckten Länge von Blech-Abwicklung unter Berücksichtigung des Schlupfs also inkl. der Biegeverkürzung

Die Gesamtlänge der neutralen Faser (gestreckte Länge der Abwicklung) summiert sich aus den geraden Teilstücken (nur gerades Element, nicht Scheitellänge) und dem korrigierten Bogenstück. Es wird mit dem Biegewinkel gerechnet (nicht mit dem Öffnungswinkel an den Schenkeln).

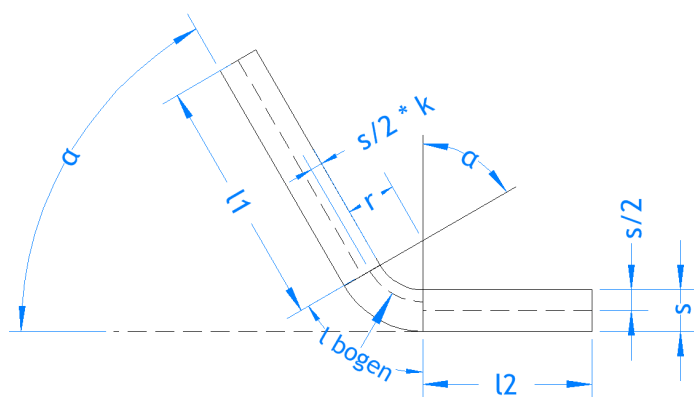
Länge Abwicklung ( $L_a$ ) = gerades Teilstück  $l_1$  + gerades Teilstück  $l_2$  + Bogenstück (mit korrigierter neutraler Faser)

$$L_a = l_1 + l_2 + l_{bogen}$$

$$l_{bogen} = \left( r + \frac{s}{2} * k \right) * \pi * \frac{\alpha}{180^\circ}$$

$$l_{bogen} = \left( r + \frac{s}{2} * k \right) * \frac{\pi}{2} \quad \leftarrow \text{vereinfacht für } 90^\circ \text{ Winkel}$$

Punktrechnung vor Strichrechnung!  
 $\rightarrow r + (s/2) * k$   
 erst  $(s/2) * k$  rechnen, dann r addieren



$L_a$  = Länge der korrigierten Abwicklung

$l_1, l_2$  = gerade Teilstücke

$l_{bogen}$  = korrigierte (imaginäre) Bogenlänge

$s$  = Materialstärke

$k$  = Korrekturfaktor

$r$  = Biegeradius (Innenradius)

$\alpha$  = Biegewinkel, Winkel um den das Blech abgelenkt wird

Bogenmaß:  $2 * \pi = 360^\circ \rightarrow \pi = 180^\circ \rightarrow \pi/2 = 90^\circ$

Die neutrale Faser liegt normalerweise in der Mitte bei  $s/2$ . Für den Schlupf, also die Dehnung und Einschnürung des Werkstoffs in der Biegezone muß eine Biegeverkürzung vorgenommen werden. Der dafür verwendete  $k$ -Faktor besagt wie weit die korrigierte (imaginäre) neutrale Faser vom Innenradius entfernt liegt.

Die korrigierte (imaginäre) neutrale Faser liegt bei  $s/2 * k$  damit wird das korrigierte also verkürzte Bogenstück berechnet.

k-Faktor für Biegekorrektur		
Biegeradius / Materialstärke	r/s	k-Faktor berechnet
1/20	0,05	0,00
1/15	0,07	0,06
1/10	0,10	0,15
1/5	0,20	0,30
1/4	0,25	0,35
1/3	0,33	0,41
1/2	0,50	0,50
1/1,33	0,75	0,59
1/1	1,00	0,65
1,25/1	1,25	0,70
1,5/1	1,50	0,74
1,75/1	1,75	0,77
2/1	2,00	0,80
2,5/1	2,50	0,85
3/1	3,00	0,89
3,5/1	3,50	0,92
4/1	4,00	0,95
4,5/1	4,50	0,98
5/1	5,00	1,00

r/s berechnen und k-Faktor ablesen

$$k = 0,65 + 0,5 * \log \frac{r}{s}$$

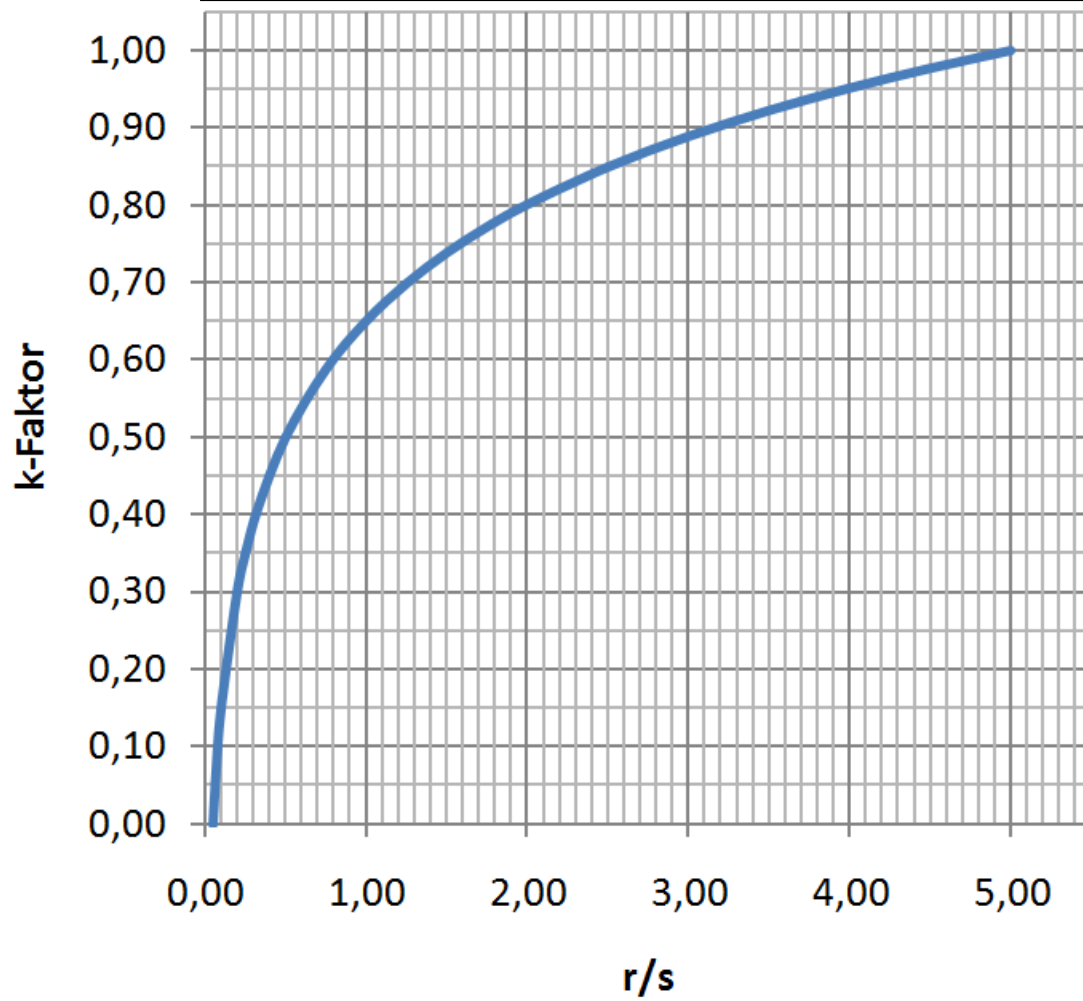
Um den Korrekturfaktor  $k$  für den Bogen zu ermitteln kann ggf. man die Tabellenwerte verwenden. Sie sind mit obiger Formel berechnet (siehe auch DIN 6935). Die Werte gelten jedoch nur für **duktilen mittelfesten Werkstoffe**. Bei hochfesten, bzw. harten spröden Werkstoffen passen die  $k$ -Werte sehr wahrscheinlich nicht mehr, insbesondere wenn der Mindestbiegeradius nicht eingehalten wird (Rissbildung).

Man dividiert den Biegeradius (Innenradius) durch die Blechdicke  $\rightarrow r/s$  und kann ggf. den zugehörigen  $k$ -Wert auslesen. Bei Werten ( $r/s$ ) die nicht genau oder nah an den Tabellenwerten liegen sollte die Formel oder ein entspr. Diagramm verwendet werden. Wenn der Radius im Verhältnis zur Dicke groß ist oder der Biegewinkel flach, liegt die neutrale Faser im Bogenstück wieder in der Mitte. D.h. die Korrektur verschwindet, das ergibt einen Korrekturfaktor:  **$k = 1$  wenn  $r \geq 5*s$  oder  $\alpha < 15^\circ$**

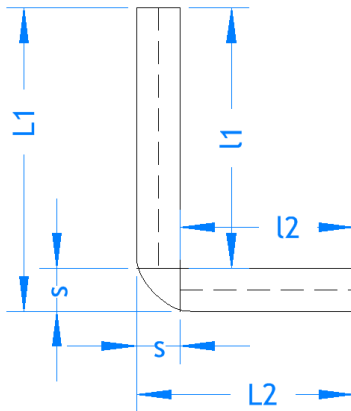
Beim scharfkantigen Biegen  $r = 0$  oder bei sehr kleinen Biegeradien  $r/s < 1/15$  gilt annähernd  **$k = 0$**  Die neutrale Faser liegt damit auf dem Innenradius. Man kann dann einfach die innenliegenden Schenkellängen addieren, weil der Biegeradius im Verhältnis zur Dicke marginal wird. Von den Schenkellängen außen braucht man also nur jeweils die Materialstärke ( $s$ ) abziehen. Das Blech wird jedoch im Biegebereich sehr dünn und einige Werkstoffe werden rissig und spröde. Die dynamische Festigkeit nimmt stark ab. Daher sollte der Biegeradius etwa (mindestens) der Materialstärke entsprechen.

**Diagramm zum Ablesen des k-Faktors**

Nur für homogene/anisotrope duktile/umformbare mittelfeste Werkstoffe



## Scharfkantige Biegung:



Der Biegeradius geht gegen Null oder ist im Verhältnis zur Materialstärke sehr klein ( $r/s < 1/15$ )

Dann braucht bei der Berechnung der geraden Teilstücke nur die Materialstärke abgezogen werden:

$$l_1 = L1 - s$$

$$l_2 = L2 - s$$

~~$$l_{bogen} = \left( r + \frac{s}{2} * k \right) * \frac{\pi}{2}$$~~

Der Bogen für die Biegekorrektur verschwindet, weil der Biegeradius Null ist ( $r=0$ ) und weil die Neutrale Faser ganz an der Innenseite liegt ( $k=0$ ), denn das Material ist im Biegebereich in der gesamten Dicke gestreckt (es gibt keine Druckzone mehr).

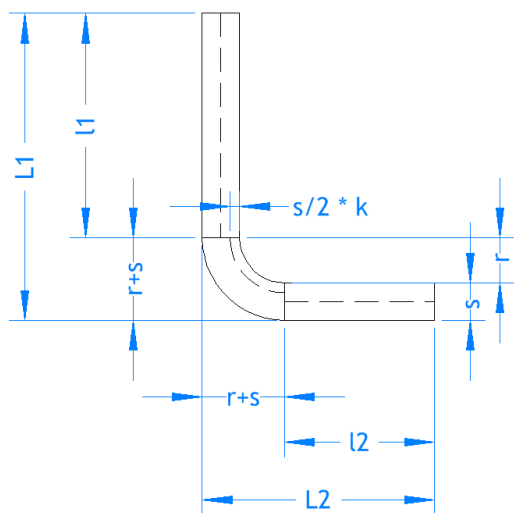
Die Abwicklung für eine scharfkantige Biegung ist somit:

$$L_a = l_1 + l_2$$

Je nach Material kann es sein, dass ein kleiner Zuschlag erforderlich ist, dieser ist allerdings empirisch zu ermitteln.

Achtung: Das Material wird stark gedehnt und es kann zu Rissen kommen, insbesondere bei hochfestem sprödem Material.

**Berechnungsschritte** für 90°-Winkel mit Biegeradius und einer bestimmten Schenkellänge (Außenmaße):



$r$  = Innenradius, Biegeradius

1.) Man zieht von den Schenkellängen (außen) die Scheitelstücke über dem Bogen ab. Das ist für jeden Schenkel praktisch der Biegeradius  $r$  und die Materialstärke  $s \rightarrow (r+s)$ .

$$l_1 = L_1 - (r + s)$$

$$l_2 = L_2 - (r + s)$$

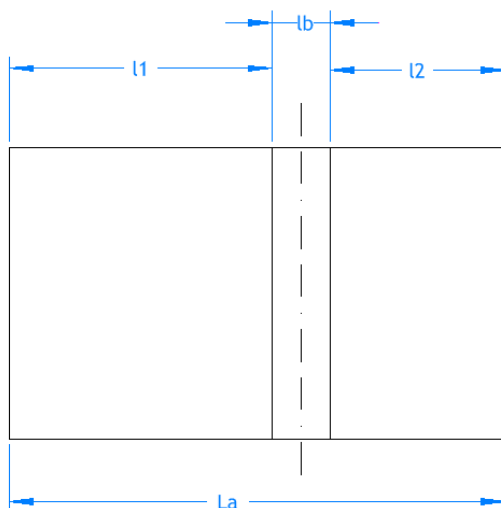
2.) Man rechnet mit der Formel für die Biegeverkürzung den korrigierten Bogen aus.

$$l_{bogen} = \left( r + \frac{s}{2} * k \right) * \frac{\pi}{2} \quad (\pi/2 \text{ gilt für } 90^\circ \text{ Bogen})$$

Für den k-Faktor bildet man den Quotient  $r/s$  und liest  $k$  aus der Tabelle aus oder verwendet die Formel für den k-Faktor.

3.) Für die gesamte Abwicklungslänge addiert man nun die geraden Teilstücke und den korrigierten Bogen.

$$L_a = l_1 + l_2 + l_{bogen} \quad \text{Die Maße der geraden Teilstücke } (l_1, l_2) \text{ werden meist als Anschlaglänge für die Biegemaschine verwendet.}$$



Beispiel: 90° Winkel, Schenkelmaße 50 x 70

Biegeradius  $r = 1,5$

Materialstärke  $s = 1$

1.) Gerade Teilstücke berechnen

$$L1 = 50 \text{ mm} \rightarrow l1 = L1 - (r+s) \quad l1 = 50 - (1,5 + 1) \quad l1 = 47,5 \text{ mm}$$

$$L2 = 70 \text{ mm} \rightarrow l2 = L2 - (r+s) \quad l2 = 70 - (1,5 + 1) \quad l2 = 67,5 \text{ mm}$$

2.) Bogen berechnen

$$\text{k-Faktor aus Tabelle (oder Formel): } r/s = 1,5 / 1 = 1,5 \rightarrow k = 0,74$$

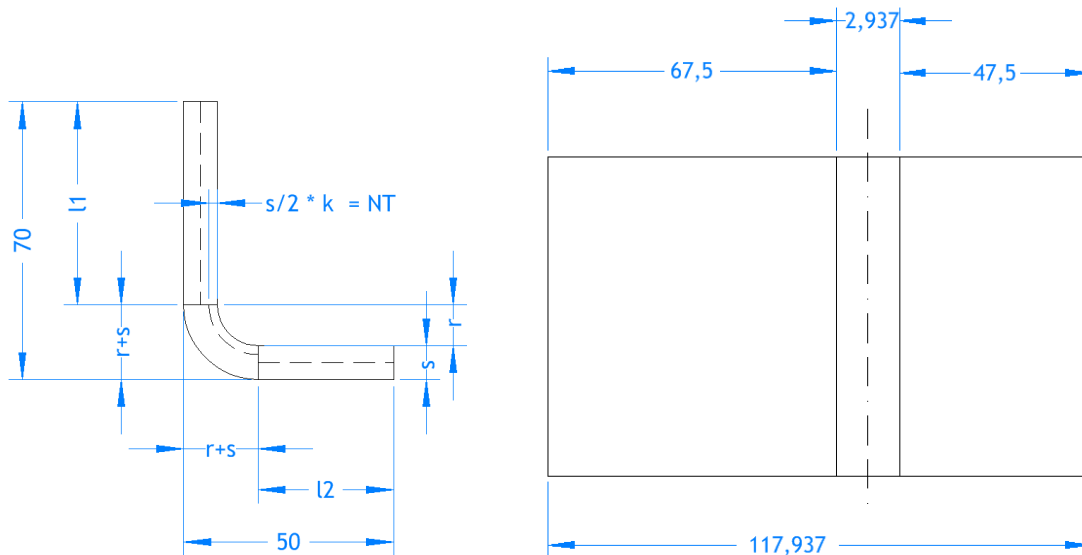
$$l_{\text{bogen}} = (r + (s/2) * k) * \pi / 2$$

$$= (1,5 + (1/2) * 0,74) * \pi / 2 = \mathbf{2,937 \text{ mm}}$$
 (3 Nachkommastellen für CAD-Teil)

Normalerweise werden die Werte für die Abwicklung in der Praxis auf volle mm aufgerundet, aber um korrekte Werte in CAD-Modell zu haben werden 3 Nachkommastellen mitgenommen. Die letzte Stelle wird normal gerundet.

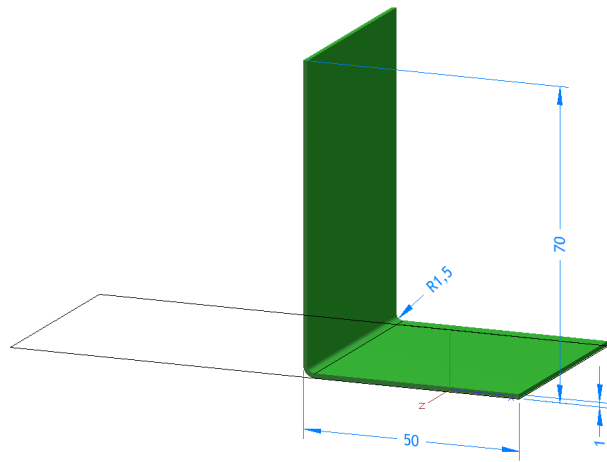
3.) Gerade Teilstücke und Bogen addieren ergibt Länge der Abwicklung

$$L_a = 47,5 + 67,5 + 2,94 = \mathbf{117,937 \text{ mm}}$$



## CAD Konstruktion von Blechteilen/Biegeteilen mit TurboCAD

Das Blechwerkzeug ist Bestandteil des Maschinebau-Pakets und befindet sich im Menü „3D-Ändern“



Biegeteil in TC16 mit Biegewerkzeug erstellt

Die Verwendung des Biegewerkzeug gibt praktisch den realen Fertigungsablauf wieder, also erst das Flachteil erzeugen und dann Biegen.

Das ist von Vorteil, wenn in der Biegezone Durchbrüche sind, da sie einigermaßen realistisch verformt werden. Beim umgekehrten Vorgang, dem Abwickeln funktioniert das nicht so ohne weiteres, da verschwinden die Durchbrüche meist.

### TurboCAD Blechwerkzeug, Verwenden der Funktion „Biegen“

In diesem Fall wird also erst das Flachteil erzeugt und dann gebogen, Eingaben im Programm:

Blechplatte zeichnen mit:

Breite (=Abwicklungslänge) 117,937 mm

Stärke 1mm

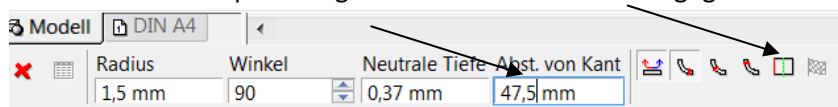
(Länge des Winkels wie gewünscht, z.B. 1000mm)

und evtl. die Markierungslinien für die geraden Teilstücke (als Biegelinie verwendbar) auf die Oberfläche zeichnen.

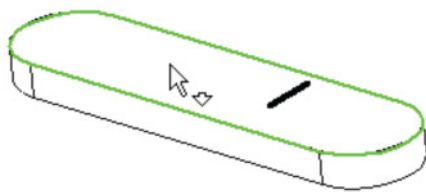
Die Lage der neutralen Faser muß als Abstand (Strecke, Länge) zur Innenseite also zum Innenradius berechnet und nach dem Aktivieren des Biegewerkzeugs bei neutrale Tiefe (NT) eingegeben werden. Neutrale Tiefe ist nicht der k-Faktor der Biegekorrektur als dimensionslose Größe sondern der Abstand der neutralen Faser von der Innenseite, also die Strecke in mm.

$$NT = (s/2) * k \text{ oder } s*k/2 = 1\text{mm}/2 * 0,74 = 0,370 \text{ mm (3 Nachkommastellen)}$$

Beim Biegewerkzeug kann man eine Biegelinie also Markierungslinie auf der Oberfläche des Blechs wählen. Dazu muß man diese auf die Biegefläche aufzeichnen. Die Biegefläche ist die Auswahlfläche beim Biegen und auch die Seite zu der der Schenkel gebogen wird. Die Biegelinie muß auf der Biegefläche liegen, sonst ist sie nicht auswählbar. Es gibt verschiedene Möglichkeiten diese Biegelinie zu definieren. Entweder als Anfang des Biegeradius, also Begrenzung der geraden Teilstücke oder Mitte des Biegescheitels (Mitte Bogenstück). Statt eine Biegelinie aufzuzeichnen kann man auch alternativ eine Referenzkante wählen und einen Abstand für die Biegelinie eingeben. Dazu wird der rechte Auswahlknopf betätigt und dann der Abstand eingegeben:

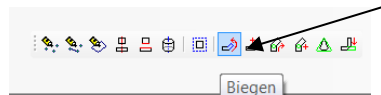


Zu empfehlen ist, die geraden Teilstücke mit einer Linie auf die Biegefläche zu zeichnen und diese dann als Biegelinie zu verwenden.



Biegelinie (Grenze für gerades Teilstück)  
auf die Biegefläche zeichnen

Biegewerkzeug in Turbocad aufrufen



Am besten erst die Werte in der Kontrollleiste eingeben, damit bei der Biegesimulation nicht veraltete Werte verwendet werden:

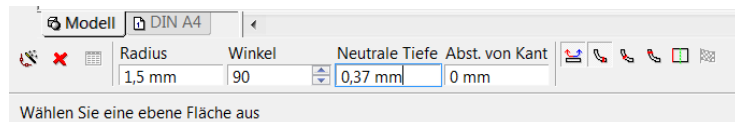
**Radius** ist der **Biegeradius** also der **Innenradius**

**Achtung! Dieser darf nicht Null (0) betragen, bei scharfkantiger Biegung z.B. min. 0,001 eingeben.**

**Winkel** ist der **Biegewinkel**, also der Winkel von der Ebene der Biegefläche aus gemessen (Winkel um den das Blech aus der Ebene herausgebogen/umgeknickt wird).

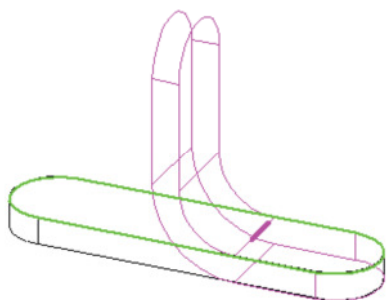
**Neutrale Tiefe** ist der **Abstand der neutralen Faser von der Innenseite**, also die Strecke in mm  
 $NT = (s/2) * k$ .

Bsp. Radius: 1,5 mm / Winkel: 90 / neutrale Tiefe 0,370 mm



**Fläche** (spätere **Innenfläche des Winkels**) am Blech anklicken

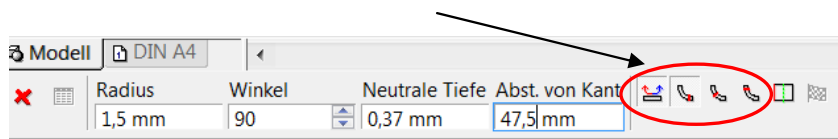
Man kann jetzt eine der Markierungslinien für die geraden Teilstücke auf der Fläche anwählen und sie zum Biegen verwenden. Die Markierungslinien muß aber auf der ausgewählten Fläche liegen, sonst wird sie nicht akzeptiert. Das Programm simuliert zunächst die Biegung, deutet sie also an.



TC-Hilfe: **Biegen** Aktivieren Sie **Biegen**. Legen Sie **Radius** und **Winkel** der Biegung fest. Die Standardmethode für die Biegelinie ist **Anfang** (2. Knopf). Dabei beginnt die Biegung an der Stelle, an der die obere Fläche und die ausgewählte Linie zusammenfallen. Wählen Sie die Fläche aus, die gebogen werden soll. Wählen Sie dann die Linie aus, um die der Volumenkörper gebogen werden soll. Stellen Sie sicher, dass die Linie auf der ausgewählten Volumenkörperfläche liegt. Wenn nicht der gewünschte Schenkel hochgebogen wird wählen Sie **Linke Seite** (1. Knopf). Die Biegung beginnt jetzt am anderen Ende des Volumenkörpers.

Die Biegung, also der Biegeradius muß hinter der Biegelinie liegen. Wenn das Programm die Biegung nicht auf der gewünschten Seite ausführt, gibt es vier Auswahlknöpfe für die Erzeugung der Biegung. Man kann mit dem ersten Knopf die Seite wechseln oder mit den drei weiteren Knöpfen die Biegung entweder vor der Linie ansetzen, hinter der Linie oder auf Mitte Biegung umschalten, je nachdem

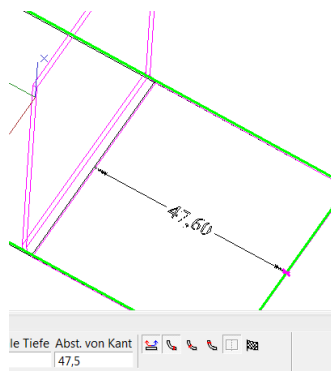
welche Biegelinie (Anfang, Mitte, Ende) man vorgegeben hat. Mit der Flagge zum Schluß die Ausführung der Biegung bestätigen.



Wenn man keine Biegelinie auf der Fläche gezeichnet hat, kann man diese auch mit dem Biegewerkzeug definieren. Man drückt dann auf den fünften Knopf mit der grünen Biegelinie, wählt eine Kante an der Fläche die parallel zur Biegung liegt und gibt den Abstand der Biegelinie zu der gewählten Kante in dem Feld „Abst. von Kante“ ein. Mit der Flagge die Ausführung bestätigen/beenden.



**Achtung:** Der Anzeigewert (Bemaßung) für den Abstand der Biegung wird bei der Biegefunktion teilweise nicht richtig wiedergegeben (vgl. Eingabe bei Abstand von Kante 47,5 aber Wert in der Biegesimulation 47,6). Es wird automatisch in 0,2 mm Schrittweite gerundet. Die Werte-Rundung kann man zwar unter Bemaßungseigenschaften einstellen, dies ist aber bei dem Biegewerkzeug wirkungslos. Normalerweise wird der eingegebene Wert richtig übernommen. Ob das Endergebnis richtig ist, muß man auch durch Nachmessen des fertigen Winkels prüfen.



Das Fertigteil sollte evtl. als separates Teil genau konstruiert werden, wenn andere Anschlußteile einer Baugruppe sich darauf beziehen, damit keine Abweichungen/Ungängen in der CAD Konstruktion auftreten. Ein fertiger Winkel würde dann z.B. aus Quadern mit den richtigen Schenkelmaßen konstruiert und mit Rundungsradien versehen.

Die eigentliche Abwicklung sollte dann aus einem separaten Blechteil angefertigt werden.

Wesentlich einfacher geht es wenn man zunächst das Fertigteil also den Winkel erzeugt, extrudiert und dann abwickelt.

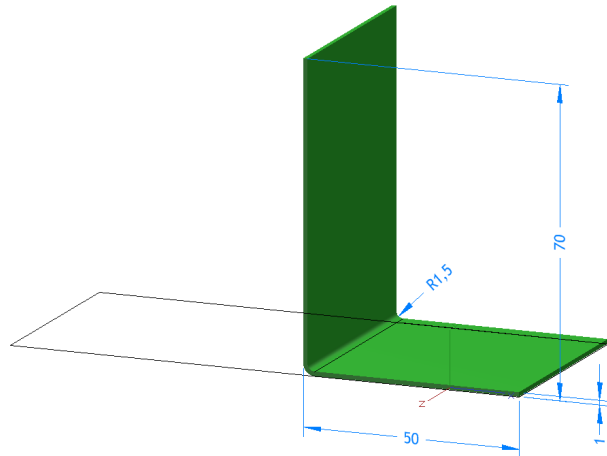


Der Vorteil ist, dass das gekantete Fertigteil exakt konstruiert vorliegt und nur die Abwicklung also das abgeleitet gesteckte Flachteil mit dem k-Faktor gerechnet wurde. Somit kann nur dort evtl. eine kleine Abweichung auftreten. Der Ablauf ist also umgekehrt, man konstruiert das Kantenteil und drückt es dann flach (sonst konstruiert man erst das Flachteil und kantet es dann).

Die Option „Abwicklung“ eines extrudierten Teils scheint aber erst in TC 16 zu funktionieren. In den Vorgängerversionen muß man dann mit den anderen Blechtools arbeiten.

## Alternative zum Biegen ist das Abwickeln (flach drücken):

Also erst den Winkel als Fertigteil erzeugen, dann abwickeln. Das ist schneller u. ist präziser weil das Kanteil genau konstruiert und nur das abgeleitet Flachteil mit dem k-Faktor berechnet wird. Wenn sich aber Durchbrüche in der Biegezone befinden, werden sie meist unterdrückt, dann sollte man das Biegewerkzeug verwenden.



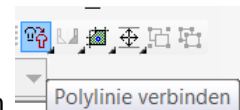
**Achtung:** Abwickeln geht nur bei Objekten mit Radien an der Knicklinie (Biegekante). D.h. eine scharfkantige Biegung kann nicht abgewickelt werden. Ein nachträglich mit Radien an den Kanten versehener 3D Körper läßt sich ebenfalls nicht abwickeln.

Das Objekt, z.B. der Winkel muß schon beim Extrudieren mit den Biegeradien versehen sein, damit man das Objekt abwickeln kann.

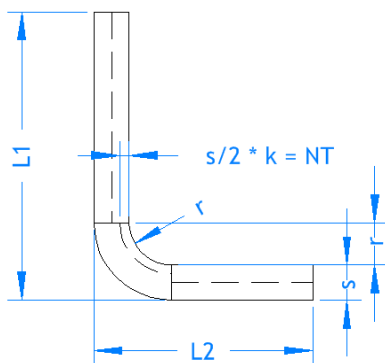
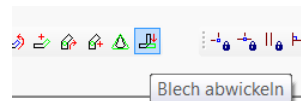
Es können nur Objekte mit konstanter dicke (Blech) abgewickelt werden, also parallel liegende Flächen und  $R=r+t$  (Außenradius = Innenradius + Blechstärke).

Beispiel: Winkel 50x70mm,  $s=1\text{mm}$ ,  $r=1,5\text{mm}$

Winkel als Querschnitt erzeugen und Kontur zu einer Polylinie vereinigen  
Dann den Querschnitt extrudieren.



Blech danach abwickeln: Blechwerkzeug aufrufen  
und zuerst unten in der Kontrollleiste den Wert für den Abstand der neutralen Faser **NT** eingeben:



k-Faktor ist abhängig von Biegeradius und Blechstärke  $k := f(r,s)$   
 $r/s$  berechnen und k-Faktor aus Tabelle entnehmen (oder Formel):

$$r/s = 1,5 / 1 = 1,5 \rightarrow k=0,74$$

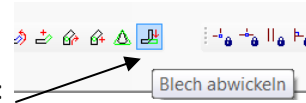
**Neutrale Tiefe** (Abstand neutral Faser) berechnen:

$$NT = (s/2) * k = 1\text{mm}/2 * 0,74 = 0,370\text{ mm} \text{ eingeben bei } \text{„Neutrale Tiefe“.}$$

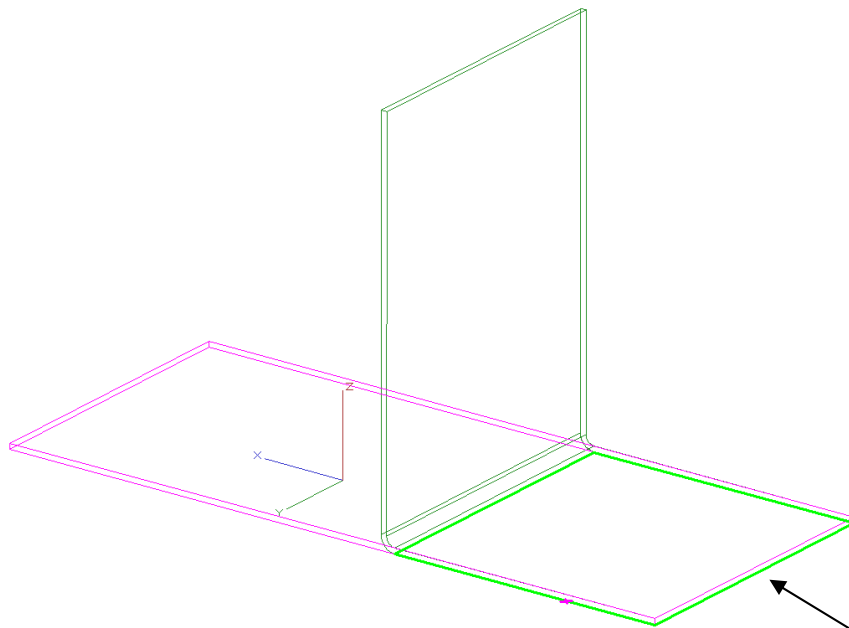
Dann eine **Außenfläche** am Blechwinkel zum Abwickeln auswählen und mit der Flagge bestätigen.

k-Faktor für Biegekorrektur		$k = 0,65 + 0,5 * \log \frac{r}{s}$
Biegeradius / Materialstärke	r/s	k-Faktor berechnet
1/20	0,05	0,00
1/15	0,07	0,06
1/10	0,10	0,15
1/5	0,20	0,30
1/4	0,25	0,35
1/3	0,33	0,41
1/2	0,50	0,50
1/1,33	0,75	0,59
1/1	1,00	0,65
1,25/1	1,25	0,70
1,5/1	1,50	0,74
1,75/1	1,75	0,77
2/1	2,00	0,80
2,5/1	2,50	0,85
3/1	3,00	0,89
3,5/1	3,50	0,92
4/1	4,00	0,95
4,5/1	4,50	0,98
5/1	5,00	1,00

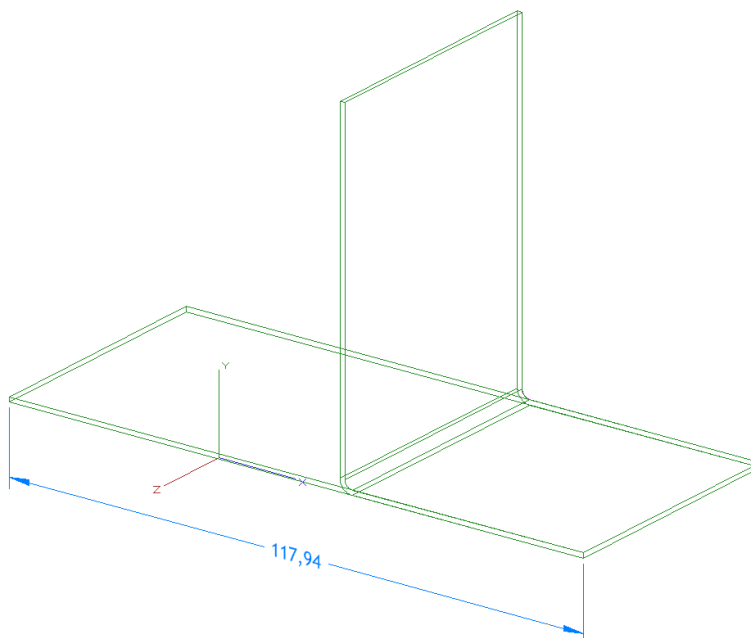
**Achtung:** Bei der Abwicklung muß die **Außenfläche** als **Basisfläche** verwendet werden. Die Neutrale Tiefe ist aber wie gehabt von der Innenseite (Innenradius). siehe Bsp.  
Sofort nach dem Aufrufen des Abwicklungswerkzeugs den Wert bei „Neutrale Tiefe“ eingeben und dann erst die Fläche wählen, sonst wird der alter Wert verwendet, der dort zuvor gestanden hat.



**Vorgang:** Winkel erzeugen, dann Werkzeug für Abwicklung aufrufen:  
*wichtig:* erst den Wert bei „Neutrale Tiefe“ = 0,370mm eingeben, dann die Basisfläche wählen. Die Simulation zeigt das Ergebnis der Abwicklung, dieses nun mit der Flagge bestätigen, also abschließen.



Außenfläche (z.B. untere Fläche) als Basisfläche wählen und Abwicklung mit Flagge bestätigen.



Die Abwicklung ist korrekt mit der automatisch eingerechneten Biegeverkürzung dargestellt und kann bemaßt werden.

Die Anschlagmaße für das Schwenkbiegen sind die geraden Teilstücke. Diese bestehen aus Schenkellängen außen abzüglich Materialstärke und Biegeradius:

$$l1 = L1 - (r+s) \quad l2 = L2 - (r+s)$$

Wenn man den Biegescheitel für das Freibiegen haben will zeichnet man I1 und I2 auf das Blech und legt den Biegescheitel mittig dazwischen.

Das Teil ist also als Fertigteil zunächst sehr genau konstruiert. Die Abwicklung ist als Beigabe „nur“ auf die zweite Nachkommastelle genau, aber das ist in der Praxis vertretbar.

Vorteil dieser Methode ist damit, daß das Fertigteil also der Winkel zunächst geometrisch exakt konstruiert wird und dann erst mit der Biegeverkürzung die Abwicklung erzeugt wird. Man hat also ein genaues Bauteil im CAD-Modell und braucht sich auch um die Berechnung der Abwicklung nicht zu kümmern, also nicht aufwendig zu rechnen oder Bezugslinien zu konstruieren, wie beim Biegen. Ein weiterer Vorteil der Abwicklung ist, dass der Winkel als Ursprungsteil erhalten bleibt und ein separates Flachteil erzeugt wird. Beim Biegen verschwindet das Ursprungsteil (aus dem Flachteil wird der Winkel und das ursprüngliche Flachteil ist weg).

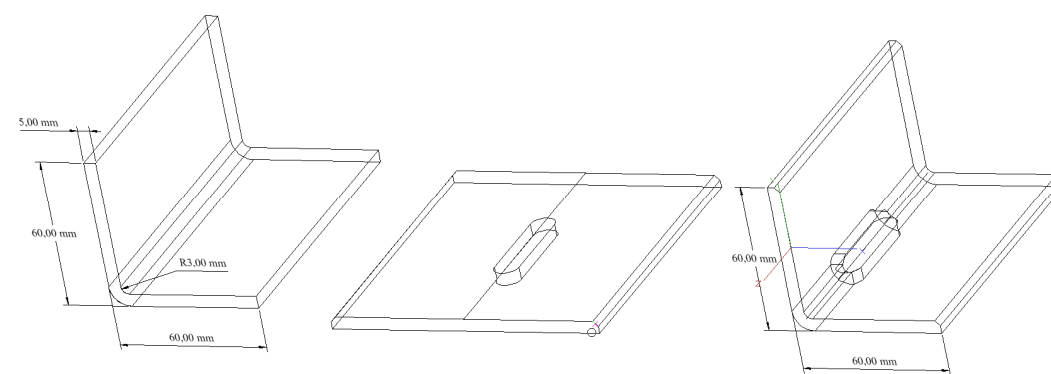
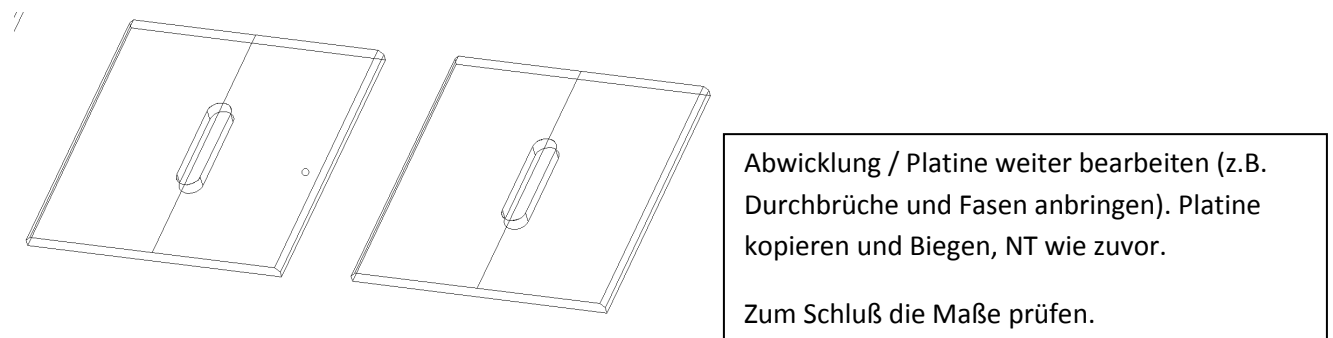
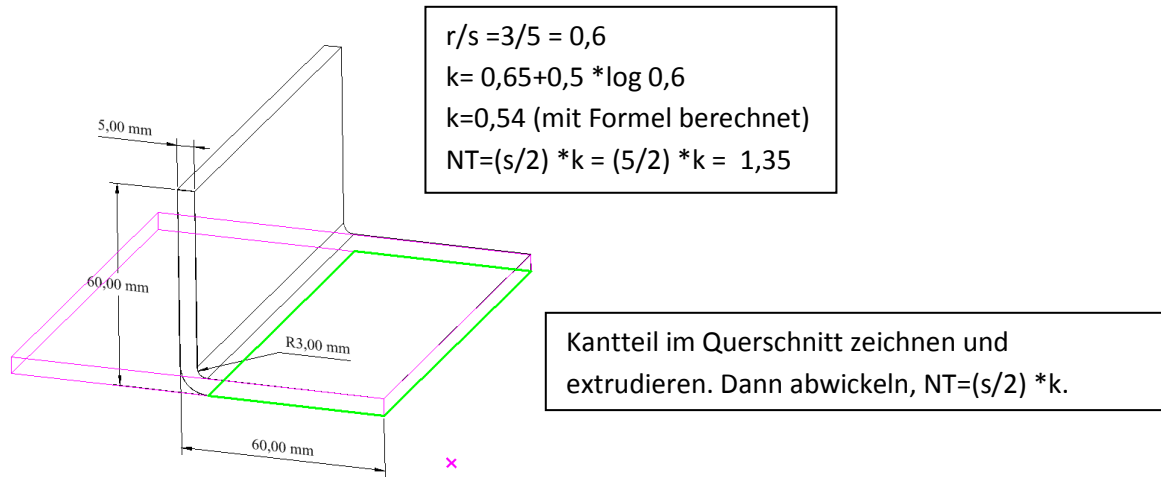
Wenn man die **Abwicklung ohne die Biegeverkürzung** anfertigen will, gibt man bei der Neutralen Tiefe die halbe Materialstärke ein, damit die Neutrale Faser in der Blechmitte liegt.

$$NT = s/2$$

Hinweis in Zeichnung: **Abwicklung mit neutraler Faser in Blechmitte (k=1)**

## Kombination: Abwickeln und Biegen

Erst ein Kantteilm als rohes Fertigteil ohne Durchbrüche konstruieren, also z.B. ein extrudierter Winkel. Das Teil dann abwickeln. Auf der Abwicklung (Platine) die Durchbrüche, Fasen usw. anbringen. Kopie der Platine erstellen und diese dann Biegen. Vorteil, man hat letztlich ein korrektes Biegeteil, ohne dass man zuvor die Abwicklung berechnen muß und die Abwicklung bleibt vorhanden.



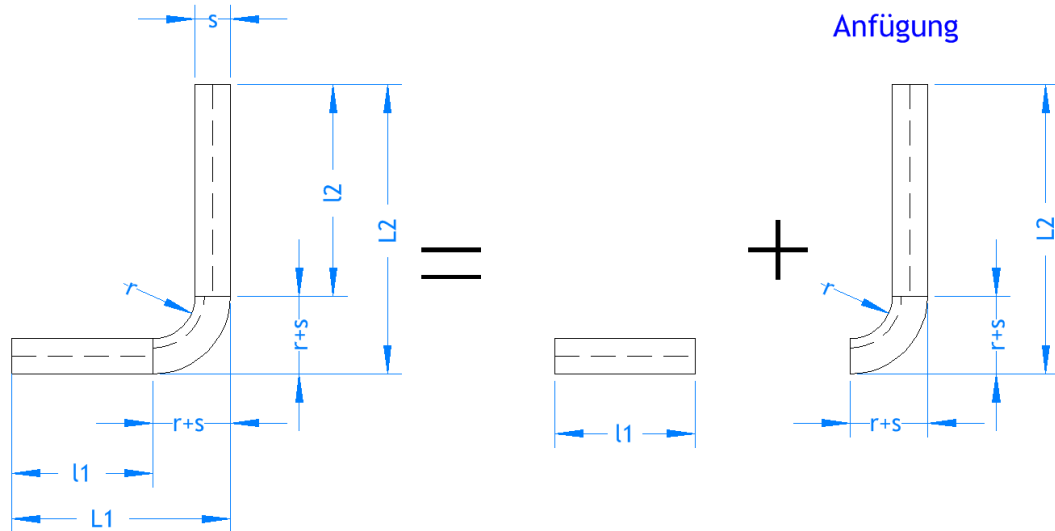
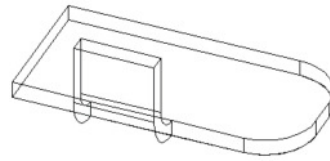
Rohes Kantteil, z.B. als Extrud erzeugt

Abwicklung erzeugt und weggeschoben, dann als Platine weiter bearbeitet

Platine kopiert und gebogen mit Biegewerkzeug. Maße prüfen

**Eine weitere Alternative ist das Blech mit einer Anfügung zu erzeugen und dann abzuwickeln.**

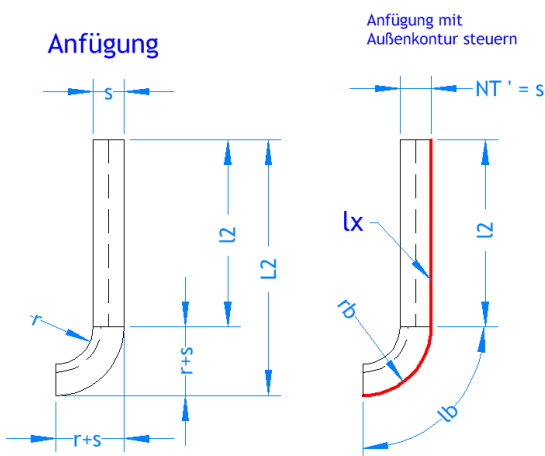
Die Anfügung ist zu empfehlen bei abgesetzten/ausgeklinkten Blechteilen



Die Anfüzungshöhe entspricht der abgewickelten Länge (Länge im flachen Zustand). Die Anfügung in TurboCAD besteht also aus einem gebogenen Schenkel, also gerades Teilstück einschließlich Bogenstück (**Anfügung = gerades Teilstück + Bogenstück**).

Ein Winkel wird mit der Funktion „Anfügung“ in 2 Schritten erzeugt. Zunächst Erstellen eines geraden Teilstücks, dann ansetzen der Anfügung also das Bogenstück mit dem zweiten geraden Teilstück.

Der einfachste rechnerische Ansatz ergibt sich, wenn man die **Längen der Außenkontur** der Anfügung verwendet. Das bedeutet, dass die neutrale Faser am Außenrand liegt. Man muß somit als „spezifische“ Neutrale Tiefe die Materialstärke im Programm eingeben **NT' = s**.



- 1.)  $Lx = l2 + lb$
- 2.)  $l2 = L2 - (r+s)$
- 3.)  $lb = \pi/2 * rb$       $rb = r+s \rightarrow lb = \pi/2 * (r+s)$

2.) und 3.) in 1.) einsetzen:

$$\begin{aligned}
 L_x &= L_2 - (r+s) + \pi/2 \cdot (r+s) \\
 &= L_2 - 1 \cdot (r+s) + \pi/2 \cdot (r+s) \\
 &= L_2 + [ -1 \cdot (r+s) + \pi/2 \cdot (r+s) ] \quad (r+s) \text{ isolieren (ausklammern)} \\
 &= L_2 + [ (r+s) \cdot (\pi/2 - 1) ] \\
 &= L_2 + [ (r+s) \cdot 0,5708 ]
 \end{aligned}$$

**$L_x = L_2 + 0,5708 \cdot (r+s)$**  Der Faktor 0,5708 ist auf 4 Nachkommastellen angegeben um die damit berechnete Länge auf 3 Stellen runden zu können (1 zu 10 Regel).

Damit kann man nun die Anfügung erzeugen und dann abwickeln:

1. Schritt: gerades Teilstück als Quader erzeugen mit Seitenlänge **I1** und Blechstärke **s** (**I1**=Schenkellänge **L1** minus 1xBiegeradius minus 1x Materialdicke):

$$I_1 = L_1 - (r+s)$$

2. Schritt: Länge der Anfügung **Lx** berechnen und mit spezifischer neutraler Tiefe **NT'** eingeben:

$$L_x = L_2 + 0,5708 \cdot (r+s)$$

$$NT' = s$$

Die spezifische Neutrale Tiefe **NT'** ist nur zum korrekten Erzeugen des Fertigteils. Die wirkliche neutrale Tiefe **NT** wird für die korrigierte Abwicklung benötigt. Dazu braucht man den **k-Faktor**, um die Biegeverkürzung bei der Abwicklung zu berücksichtigen.

3. Schritt: Mit dem Blechwerkzeug das Teil abwickeln, also zurückbiegen.

wirkliche neutrale Tiefe:  **$NT = (s/2) \cdot k$**

k-Faktor ist abhängig von Biegeradius und Blechstärke  $k := f(r,s)$   
 $r/s$  berechnen und **k** aus Tabelle entnehmen (oder Formel):

$$r/s = \dots \rightarrow k = \dots$$

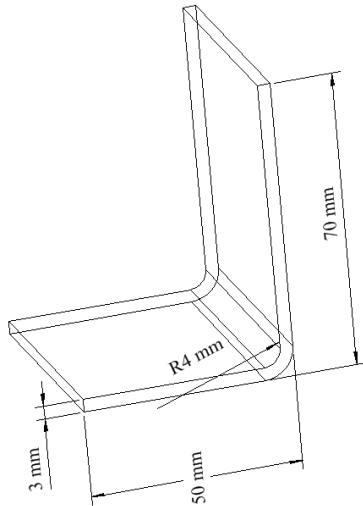
Neutrale Tiefe (Abstand neutral Faser) berechnen:

**$NT = (s/2) \cdot k$**  und eingeben bei „Neutrale Tiefe“.

**Achtung:** beim Abwickeln muß als Basisfläche eine Außenfläche gewählt werden, sonst ist die Abwicklung nicht richtig.

k-Faktor für Biegekorrektur		$k = 0,65 + 0,5 \cdot \log \frac{r}{s}$
Biegeradius / Materialstärke	$r/s$	k-Faktor berechnet
1/20	0,05	0,00
1/15	0,07	0,06
1/10	0,10	0,15
1/5	0,20	0,30
1/4	0,25	0,35
1/3	0,33	0,41
1/2	0,50	0,50
1/1,33	0,75	0,59
1/1	1,00	0,65
1,25/1	1,25	0,70
1,5/1	1,50	0,74
1,75/1	1,75	0,77
2/1	2,00	0,80
2,5/1	2,50	0,85
3/1	3,00	0,89
3,5/1	3,50	0,92
4/1	4,00	0,95
4,5/1	4,50	0,98
5/1	5,00	1,00

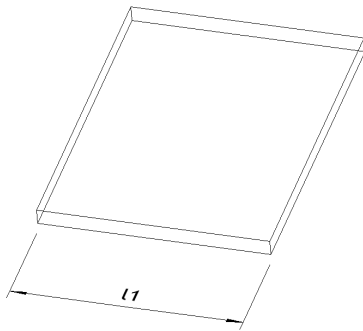
Beispiel für Verwendung der Anfügung.



$$L1 = 50 \text{ mm} \quad L2 = 70 \text{ mm} \quad r = 4 \text{ mm} \quad s = 3 \text{ mm}$$

1.) einen Quader zeichnen mit  $l1$  und Blechstärke  $s$

$$l1 = L1 - (r+s) = 50 - (4+3) = 43 \text{ mm}$$



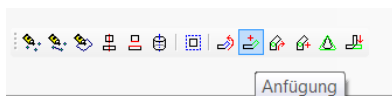
2.) Anfügung berechnen und erzeugen:

$$Lx = L2 + 0,5708 * (r+s) = 70 + 0,5708*(4+3) = 70 + 0,5708 * 7$$

$$Lx = 73,996 \text{ mm}$$

$$NT = s = 3 \text{ mm}$$

Blechwerkzeug "Anfügung" aktivieren:



In der Kontrollleiste werden nun folgende Werte eingegeben:

**Radius: 4mm**

**Winkel: 90**

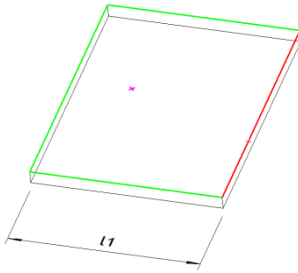
**Neutrale Tiefe: 3 mm**

**Anfügungshöhe: 73,996 mm**

**Anmerkung:** Ein scharfkantiger Knick geht nicht. Wenn bei der Anfügung in der Kontrollleiste beim Radius eine Null steht, kommt eine Fehlermeldung: *Diesem Element kann keine Anfügung hinzugefügt werden!* Also vor dem Wählen der Kante die richtigen Werte eingeben.

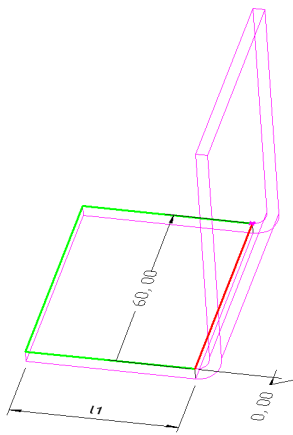


Jetzt Fläche und Kante wählen von der die Anfügung weitergeführt werden soll:



Anfügungspunkte wählen, das ist der Anfangspunkt und der Endpunkt der Kante wenn die Anfügung über die gesamte Kantenlänge verlaufen soll.

Die Anfügung wird nun simuliert und kann mit der Flagge bestätigt werden.



3.) **Blech abwickeln** mit wirklicher neutraler Tiefe:

k-Faktor ist abhängig von Biegeradius und Blechstärke  $k := f(r,s)$

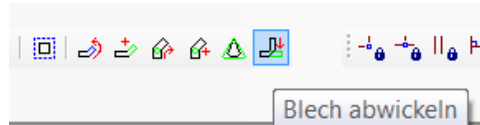
r/s berechnen und k aus Tabelle entnehmen (oder Formel):

$$r/s = 4/3 = 1,33 \rightarrow k=0,71$$

Neutrale Tiefe (Abstand neutral Faser) berechnen:

$$NT = (s/2) * k = 3\text{mm}/2 * 0,71 = \mathbf{1,071\text{ mm}}$$
 eingeben bei „**Neutrale Tiefe**“.

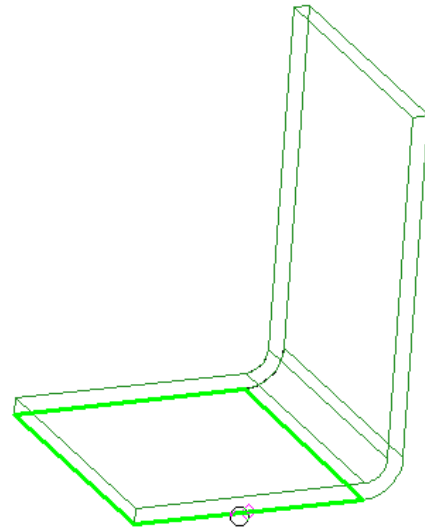
Blechwerkzeug Abwicklung „Blech abwickeln“ aufrufen



Neutrale Tiefe (NT) eingeben

Basisfläche → **Außenfläche** anklicken

Ausführung mit Flagge bestätigen.



Das Abwicklungswerkzeug rundet allerdings den Wert der neutralen Tiefe und auch das Ergebnis der Abwicklung.

Wenn man die genaue Abwicklungslänge nachrechnen will ist diese:

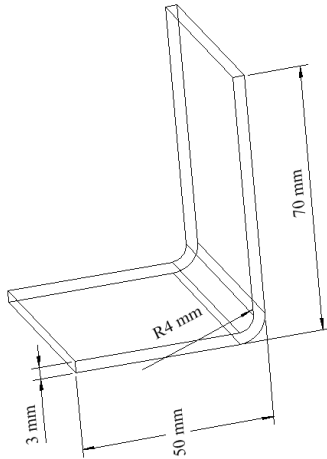
$$L_a = l_1 + l_2 + l_b$$

$$l_b = (r + NT) \cdot \pi / 2$$

$$L_a = l_1 + l_2 + (r + NT) \cdot \pi / 2 \quad (\text{gilt für } 90^\circ \text{ Winkel})$$

## Schnellverfahren, einfache Verwendung der Anfügung

Der Trick ist zunächst einen Wert für die Anfügehöhe „grob“ vorzugeben, das Ergebnis der Schenkellänge zu messen und in der Historie (Auswahlpalette unter "Anfügung" den Parameter "Höhe") entsprechend zu ändern. Als grobe Vorgabe kann man zunächst den gewünschten Wert der Schenkellänge (L2) eingeben.



$$L1 = 50 \text{ mm} \quad L2 = 70 \text{ mm} \quad r = 4 \text{ mm} \quad s = 3 \text{ mm}$$

- 1.) einen Quader zeichnen mit L1 und Blechstärke s

$$l1 = L1 - (r+s) = 50 - (4+3) = 43 \text{ mm}$$

- 2.) Anfügung erstellen mit Biegeradius r Blechstärke s und Länge der Anfügung zunächst wie Schenkellänge L2

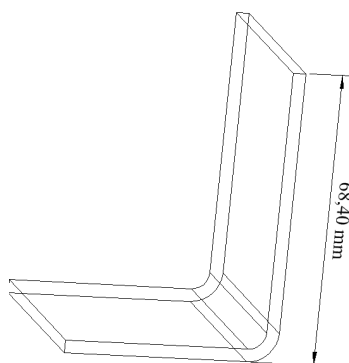
Die neutrale Tiefe entspricht der idealen neutralen Faser in der Mitte des Blechs:

$$NT = s/2 = 3 \text{ mm} / 2 = 1,5 \text{ mm}$$

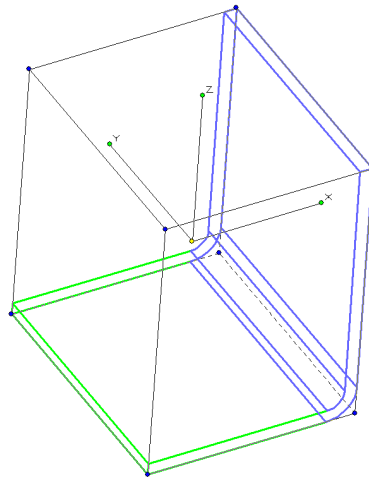
Eingabe:            Radius: 4mm    Winkel: 90        Neutrale Tiefe: 1,5 mm  
                         Anfügungshöhe: 70mm

Die Anfügung ist natürlich zu kurz, wenn man zunächst dafür die äußere Schenkellänge eingibt und muß nachträglich berichtigt werden.

Die tatsächliche aktuelle Schenkellänge der Anfügung wird ausgemessen.



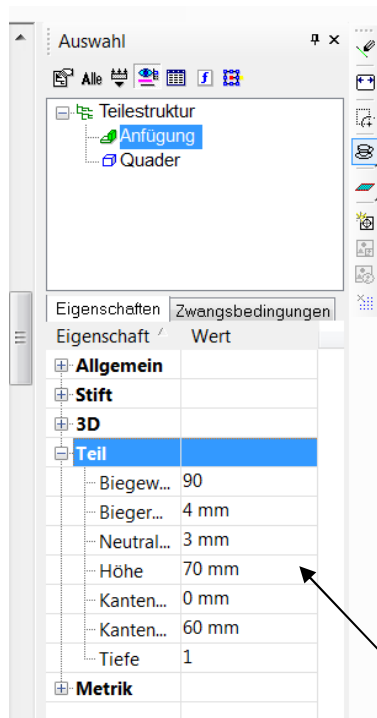
gemessene Schenkellänge (GS)



Bauteil auswählen/anklicken

In der Palette „Auswahl“ die Anfügung wählen und unter „Teil“ die „Höhe“ anklicken.

Mit Höhe ist die Abwicklungslänge der Anfügung gemeint. Diese beinhaltet jetzt noch die zuvor willkürlich eingegebene Schenkellänge von 70mm.



Höhe Anfügung (HA)

Die Höhe der Anfügung (HA) wird durch die gemessene Schenkellänge (GS) dividiert. Mit diesem Faktor (F) wird die Höhe wieder multipliziert und als neue Höhe (HA') für das Teil eingegeben.

$$F = HA/GS \quad HA' = HA * F \quad \rightarrow \quad HA' = HA * (HA/GS) = HA*HA/GS \rightarrow HA' = HA^2 / GS$$

$HA' = HA * HA/GS = 70*70/68,4 = 71,637 \text{ mm}$  diesen Wert bei Höhe eingeben, fertig.

Das Blech hat nun die richtige Schenkellänge, also gemessenen Schenkellänge=70mm

Danach das **Blech abwickeln mit wirklicher neutraler Tiefe**, siehe oben.

## Bemaßung fertigungsgerecht und prüfgerecht angeben:

Das Kantteilm (Fertigteilm) muß prüfgerecht und fertigungsgerecht bemaßt sein.

**Für die Berechnung der Abwicklung und die Prüfung ist das Fertigteilm entsprechend zu bemaßen. Die Abwicklung ist nur brauchbar wenn das Fertigungsverfahren und das Werkzeug feststeht.**

Maße für die Berechnung der Abwicklung:

### Entweder:

die lichten Maße, also Schenkelmaße (Aussenmaße der Schenkel) und der Innenradius (Biegeradius) sowie der Biegewinkel sind notwendig. Insbesondere für die Berechnung nach DIN 6935.

### Oder:

Bei Kantteilen die nicht rechtwinklig sind kann es für die Fertigung von Vorteil sein, wenn die geraden Teile bis zum Radiusansatz (tangentialer Übergang) bemaßt werden und die Radienteilstücke separat (Innenradius und Winkel).

Die Schenkellängen werden ggf. mit angegeben um das Teil besser prüfen zu können. Dafür eignet sich aber auch die senkrechte Höhe z.B. eines schrägen Schenkels von einer Auflageebene anzugeben. Man sollte also ganz praktisch überlegen, wie ein Blechteilm vermessen werden kann.

Die Toleranzen soweit notwendig angeben, z.B. für Winkelabweichungen.

Das Fertigungsverfahren für die Platine hat natürlich auch Einfluß auf das Endprodukt, z.B. Tafelschere, Laserstrahlschnitt Wasserstrahlschnitt oder Brennschnitt.

Abwicklungen machen Sinn, wenn man das Fertigungsverfahren kennt und die Randbedingungen definiert. Dazu gehört: Material-Art, Blechstärke, Verfahren, Werkzeug insbesondere Biegeradius, ggf. Schmierstoff. Der bei der Berechnung der Abwicklung angesetzte k-Faktor muß mit angegeben werden.

Beispiel Fertigungsangaben auf der Zeichnung:

Blechabwicklung

- Material: DC01 Dicke:  $t=3\text{mm}$  (entspricht Stärke „s“)
- Verfahren: Freibiegen
- Oberwerkzeug: Radius 2,5mm (ergibt sich als Biegeradius aus Zeichnung)
- Unterwerkzeug: Weite 24mm
- k- Faktor: 0,7

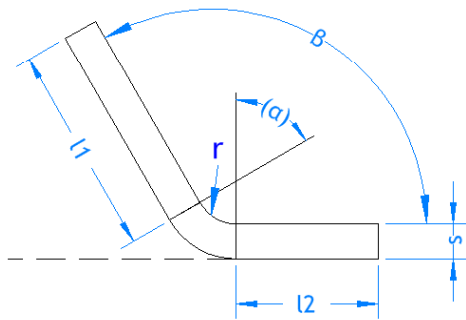
### Zumindest der k-Faktor sollte bei der Abwicklung angegeben werden!

Häufig wird die „**Abwicklung mit idealer neutraler Faser in der Mitte**“ berechnet, also der k-Faktor standardmäßig auf  $k=1$  gesetzt. Das ist nicht realistisch aber ergäbe das Maximalmaß was als Abwicklung auftreten kann. Ein k-Faktor von 0,7 dürfte allerdings für die meisten Anwendungen einigermaßen stimmen.

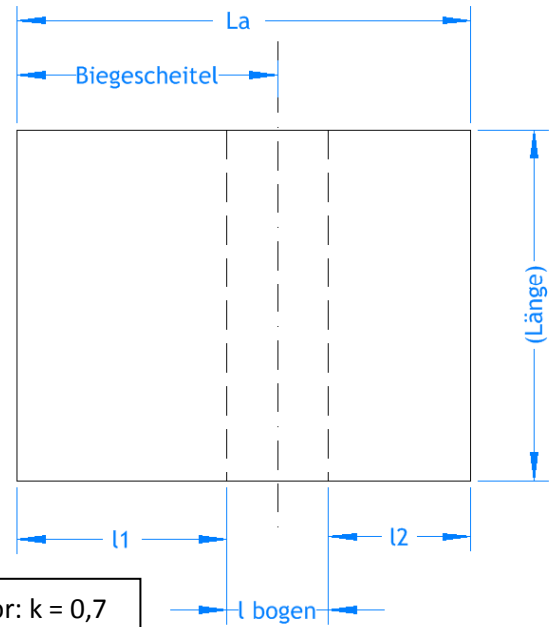
Wenn der k-Faktor nicht zur Maschine passt (z.B. anderer Biegeradius) muß die Abwicklung also das Bogenstück noch Mal mit dem neuen k-Faktor gerechnet werden. Ein lineares Umrechnen (Division durch ersten k-Faktor und Multiplikation mit neuem k-Faktor) ist nicht möglich, da die Zusammenhänge nichtlinear sind.

## Bemaßung:

Maße für Berechnung mit allgemeiner Formel  
Längen der geraden Teilstücke bis zum Bogen



## Abwicklung



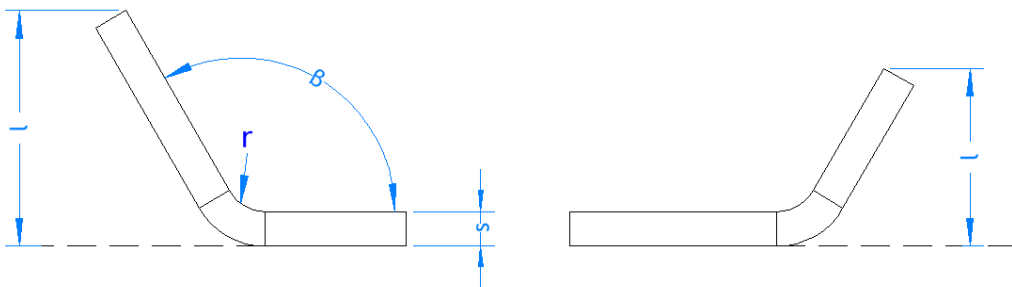
Korrekturfaktor:  $k = 0,7$

Das Maß für den Biegescheitel wäre das Anschlagmaß beim Freibiegen. Meist wird das kürzere Stück bemaßt, weil es gegen den Anschlag in die Maschine geschoben wird und das längere Stück außen heraussteht.

Die Maße für die geraden Teilstücke wären Anschlagmaße für das Schwenkbiegen.

Der k-Faktor der zum Berechnen der Biegeverkürzung bei der Abwicklung verwendet wurde, wird mit angegeben. Wenn der k-Faktor nicht zum Verfahren oder dem Werkzeug passt kann man das Bogenstück abziehen, mit der Formel für die Biegeverkürzung (siehe „Allgemeiner additiver Ansatz für Berechnung Blechabwicklung“) und einem anderen k-Faktor neu berechnen und wieder zur neuen Abwicklung hinzufügen.

## Prüfmaße

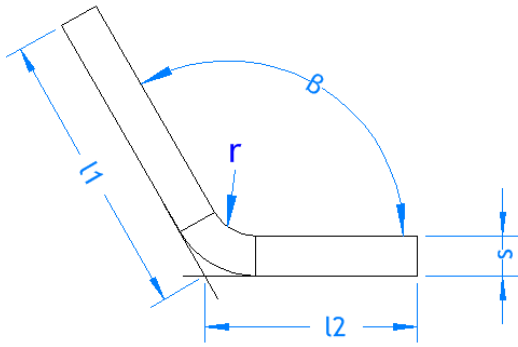


Die Winkellehre wird meistens außen angeschmiegt, man bestimmt damit den Öffnungswinkel beta.

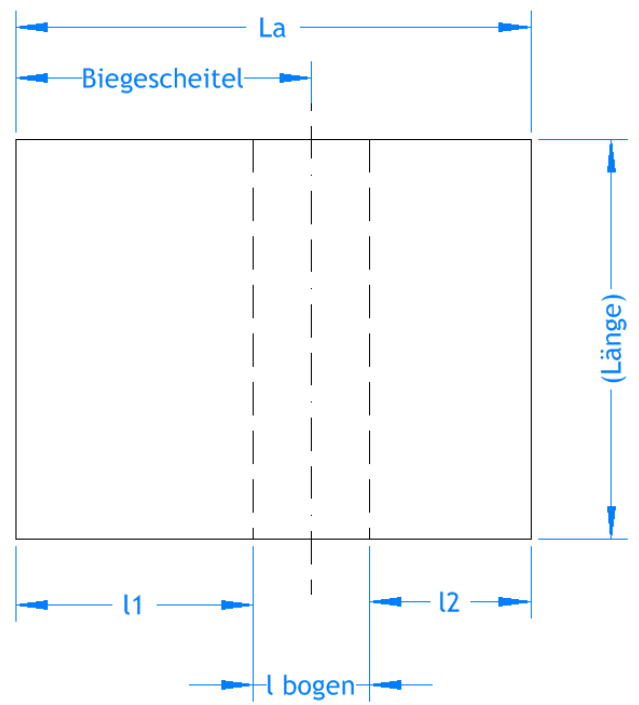
Die Schenkellängen können mit einem Vertikalmeßgerät (vgl. Höhenreißer, Höhenmessschieber) geprüft werden.

## Bemaßung:

Maße für Berechnung nach DIN 6935  
Längen bis zum Scheitelpunkt



## Abwicklung



## **Fehlermeldungen beim Biegen:**

### **Objekt kann nicht gebogen werden!**

Der Biegeradius darf nicht Null (0) betragen.

Es ist zumindest ein geringer Wert von z.B. 0,001 einzugeben

### **Biegelinie ist nicht anwählbar**

Wenn eine Linie auf die Oberfläche gezeichnet wurde muß diese auf der späteren Bezugs-Biegefläche liegen.