

Biegeverkürzung

Beim Biegen wird der Werkstoff in der Biegezone etwas gereckt also plastisch verlängert. Daher muß die Abwicklung für das Blech-Rohteil (Platine) vor dem Biegen eingekürzt werden. Diese Längenkorrektur ist die sogenannte Biegeverkürzung.

Einflußparameter für die Biegeverkürzung:

Die Biegeverkürzung ist abhängig vom **Werkstoff** (Duktilität, Festigkeit, Gefügeart, Korngröße), der **Blechdicke** (Verhältnis Dicke zu Radius), der **Lage der Biegung zur Walzrichtung**, der **Art des Biegens** (vgl. Biegewerkzeug, z.B. Gesenkbiegen, Freibiegen, Schwenkbiegen), der **Oberflächenrauigkeit** (Blech u. Werkzeug), dem Vorhandensein von **Schmierstoff u.o. Beschichtungen**, dem **Biegeradius** und der Größe des **Biegewinkels** (flach = geringer Einfluß, steil = Korrektur notwendig).

Auch wenn die oben genannten Parameter theoretisch genau bekannt sind und in die Berechnung der Abwicklung einfließen, kommt es in der Fertigung dennoch zu Abweichungen. Dies ist z.B. bedingt durch die abweichende Maßhaltigkeit der Blechdicke (Dicken-Toleranz), die schwankende Festigkeit, die Fertigungsgenauigkeit der Maschine (Spiel, Offsetfehler beim Anschlag und Werkzeugverfahrweg) usw.

Beim Schwenkbiegen (Kanten) ist der Radiusverlauf etwas unsymmetrisch da ein Teil des Blechs gehalten und der andere frei gebogen aber auch etwas gezwängt wird.

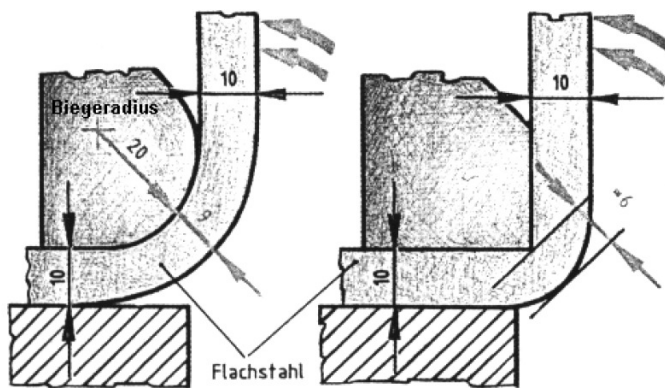
Zudem wird das Material im Biegebereich dünner und das Blech wird länger (sog. Schlupf).

Beim Biegen wird die Innenseite der Biegezone gestaucht und die Außenseite gestreckt. Das Material ist weitgehend inkompressibel (nicht zusammendrückbar = konstantes Volumen), muß also von der gestauchten Seite auf die gestreckte Seite umgelagert werden. Theoretisch heben sich Stauchung und Streckung auf. Praktisch wird das Material aber mehr gestreckt, was wegen der Volumenkonstanz zum Einschnüren führt.

Das am Innenradius anliegende Werkzeug an dem sich das Blech anschmiegt stützt diesen Bereich des Werkstoffs. Eine durchgängige Stauchung und Gleitvorgänge werden dadurch vermindert, d.h. die Materialumlagerung von der Druckzone in die Zugzone des Blechs wird teilweise verhindert. **Der Außenbereich (Material am Außenradius) wird stärker belastet und wird stärker gedehnt. Das Blech wird also gereckt und schnürt in der Biegezone etwas ein, wird also dünner.**

Die Dicke wird in der Biegezone ca. 10 bis 20% geringer, je nach Biegeradius und Material.

Bei einem sehr kleinen Radius (annähernd scharfkantiges Werkzeug) geht die Materialdicke evtl. noch stärker zurück.

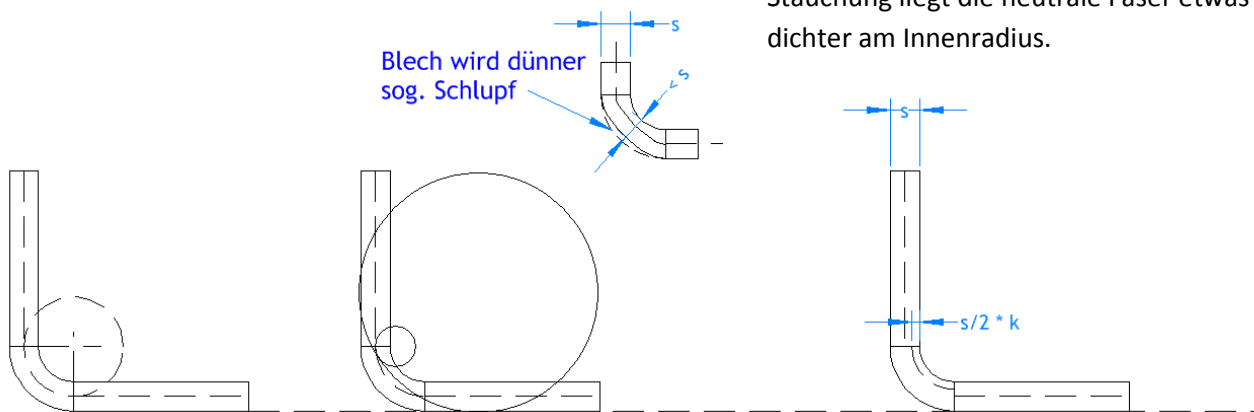


So ändert sich die Materialdicke beim Biegen

Quelle: Appold, S. 24.

Stärkere Dickenabnahme
(Einschnürung) bei scharfkantiger
Biegung

Wegen der Einschnürung des Blechs also
dem Ungleichgewicht zwischen außen-
liegender Dehnung und innenliegender
Stauchung liegt die neutrale Faser etwas
dichter am Innenradius.



Ideale Biegelinie

keine Dickenänderung
neutrale Faser in der Mitte.

Reale Biegelinie

Blech ist im Biegeradius dünner
sog. Schlupf (Werkstoffschwindung)
Neutrale Faser liegt dichter am
Innenradius.
Der Radius ist mittig im Biegebereich
größer und am Ansatz zu den geraden
Flanken kleiner.
Die Länge der neutralen Faser im
Biegebereich ist schwer zu ermitteln
da der Radius nicht konstant ist.

(imaginäre) korrigierte Biegelinie

um die neutrale Faser einfacher berechenbar
zu machen wird ein Radius im Biegebereich
eingeführt, der mit einem Korrekturfaktor
weiter zum Innenradius hin angeordnet ist.

Die ideale Neutrale Faser liegt theoretisch in der Blechmitte, also bei $s/2$.

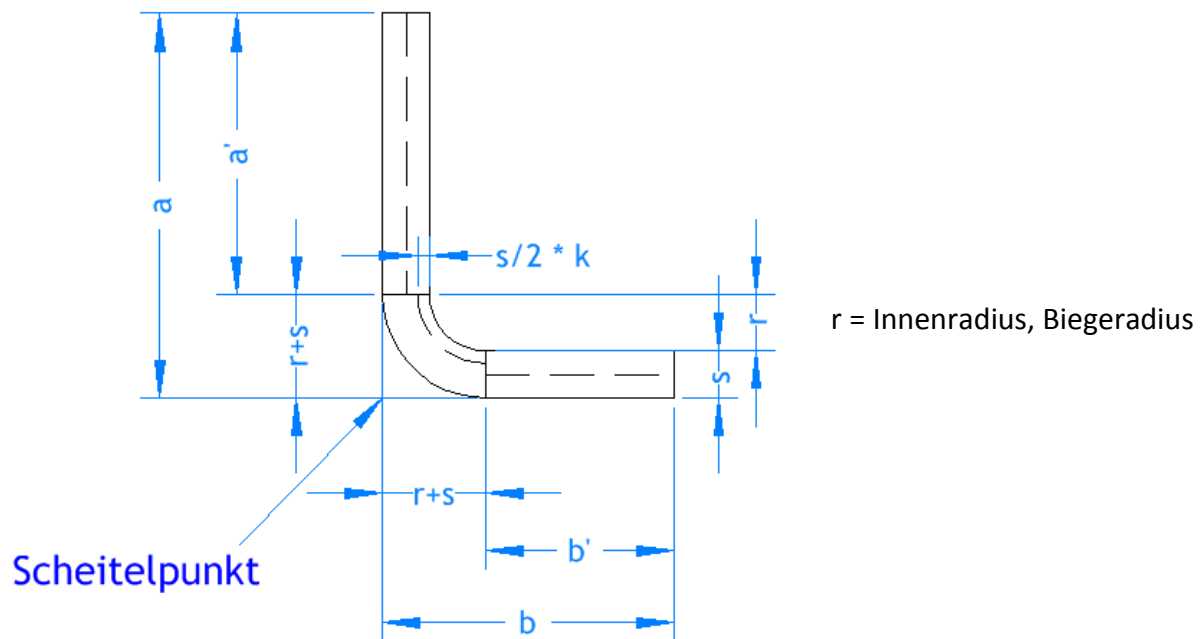
Der k-Faktor bewirkt eine Verkürzung durch den geringeren Abstand (Randabstand) der korrigierten neutralen Faser zur Innenfläche/Innenradius des Winkels. Der Radius der korrigierten neutralen Faser ist kleiner als der Radius in der Blechmitte.

Der k-Faktor gibt sozusagen eine Relation bzw. Korrektur bezogen auf den Randabstand der idealen neutralen Faser (Blechmitte) an.

Lage/Radius der korrigierten neutralen Faser = $(s/2) * k$

$K=1$ (=100% der Strecke bis zur Blechmitte) würde bedeuten die tatsächliche neutrale Faser liegt auf der idealen neutralen Faser in der Blechmitte.

$K=0,7$ (=70% der Strecke bis zur Blechmitte) bedeutet die tatsächliche Neutrale Faser hat einen Abstand von nur 70% des Abstandes den die ideale Neutrale Faser in der Blechmitte zum Rand hat.



Abweichung vom idealen Verlauf der neutralen Faser.

Die Streckung (Längung) muß am Rohteil (Platine) als Biegeverkürzung abgezogen werden.

Da der reale Verlauf der neutralen Faser schon geometrisch schwer zu erfassen ist wegen der Radienübergänge wird ein Annäherungsverfahren verwendet. Es wird eine korrigierte (imaginäre) neutrale Faser mit konstantem Radius im Bereich der Biegezone eingeführt. Die Lage dieser Faser und damit das korrigierte Bogenstück wird mit einem k-Faktor bestimmt.

Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten die Längenkorrektur vorzunehmen. Da die Einflußparameter mathematisch kaum vollständig erfasst werden können verwenden die meisten Blechverarbeiter eigene empirisch ermittelte Tabellen die auf das Material und die Werkzeuge abgestimmt sind.

Berechnungsmethoden für die Abwicklung:

1. **Empirische Methode mit Zuschlag:** Alle Längen an der Innenseite (gerade Längen innen plus Bogenlänge am Innenradius) zusammenrechnen und pauschal einen Zuschlag hinzuaddieren. Die Zuschläge werden durch Proben ermittelt und in einer Tabelle für die jeweilige Maschine/Werkzeug hinterlegt, abhängig von Blechstärke, Biegeradius und Material. Wenn keine erhöhte Genauigkeit erforderlich ist und die Blechstärken (max. 3-4mm) und Biegeradien (bis 2,5mm) nicht so groß sind kann der Zuschlag meist weggelassen werden. Vorteil ist, dass man nicht umständlich mit der neutralen Faser rechnen muß.

$$L = a' + b' + lb' (+ x)$$

$a', b' =$ gerade (ungebogene) Längen

$lb' =$ Bogenlänge am Innenradius

$x =$ empirisch ermittelter Zuschlag

2. Methode der „Biegeverkürzung“ nach DIN6935: Addition der Schenkellängen (lichtes Maß der Außenabmessungen) und Abzug eines Korrekturwertes (v).

Der Verkürzungswert (v) wird etwas irreführend teilweise auch als Biegeverkürzung bezeichnet. Weil aber mit den äußeren Schenkellängen gerechnet wird, ist allen dadurch schon eine „geometrische“ Kürzung notwendig. Die geraden Eckstücke über dem Bogen sind natürlich länger als der Bogen selbst, vgl. wenn man eine Sehne als kürzeste Verbindung an die Enden des Bogens legt ist der Bogen näher an der Sehne als die Eckstücke. Auch wenn man die neutrale Faser in der Mitte des Bogens annimmt, muß also für die Verwendung der geraden Ecke schon ein Abzug vorgenommen werden. In der Berechnungsformel wird tatsächlich von der äußeren Schenkellänge die Ecke wieder abgezogen und eine korrigierte Bogenlänge (berechnet mit k-Faktor) zuaddiert. In dieser korrigierten Bogenlänge wiederum versteckt sich die eigentliche Biegeverkürzung welche die plastische Längung bei der Biegeumformung kompensieren soll. Die Formel verlangt den Öffnungswinkel, rechnet aber intern wieder auf den Biegewinkel um.

$$L = a + b - v$$

a , b = äußere Schenkellängen

v = Korrekturwert (Verkürzung)

3. Allgemeingültige Methode (Additiver Ansatz für die Berechnung der Blechabwicklung) Addition der geraden Teilstücke und des Bogenstücks. Berechnung des Bogens mit der korrigierten (imaginären) neutralen Faser, siehe unten. Es wird direkt der Biegewinkel (nicht der Öffnungswinkel) verwendet.

$$L = a' + b' + l_b$$

a', b' = gerade (ungebogene) Längen (entspricht l1, l2)

l_b = korrigierte Bogenlänge

Die Art der Berechnung und Fertigung hat auch Einfluß auf die Bemaßung der gekanteten Blechteile.

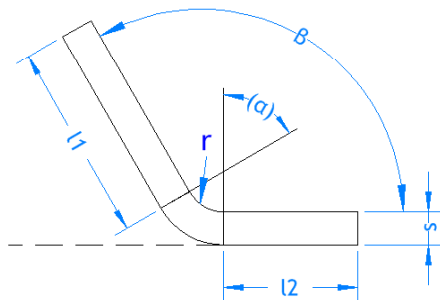
Bei 90° Kantungen also rechtwinkligen Teilen ist die Angabe der Schenkellängen brauchbar und man kann die Bestimmung der Biegeverkürzung mit DIN 6935 oder Tabellen vornehmen. Bei Mehrfachkantungen werden immer die Außenseiten und der Innenradius angegeben.

Bei Winkeln über oder unter 90° ist es günstiger die geraden Stücke bis zum Radiusansatz anzugeben. Die Berechnung der Abwicklung ist dann mit der allgemeingültigen Methode, also dem Addieren der Einzelstücke am einfachsten.

Man kann auch beim Fertigteil die Schenkellängen angeben und eine Abwicklung mit den Einzelsegmenten hinzufügen. Bei Winkeln die von 90° abweichen sollten Prüfmaße separat angegeben werden. Wenn die Abwicklung korrigiert ist, also nicht mit neutraler Faser in der Mitte, muß der Korrekturfaktor mit angegeben werden.

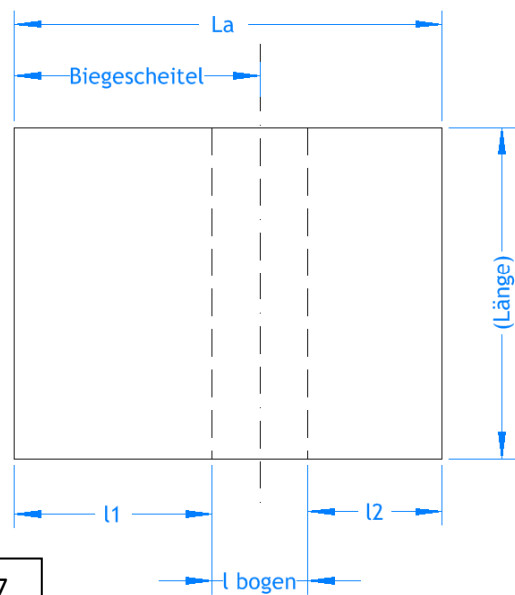
Bemaßung:

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



Korrekturfaktor: $k = 0,7$

Abwicklung

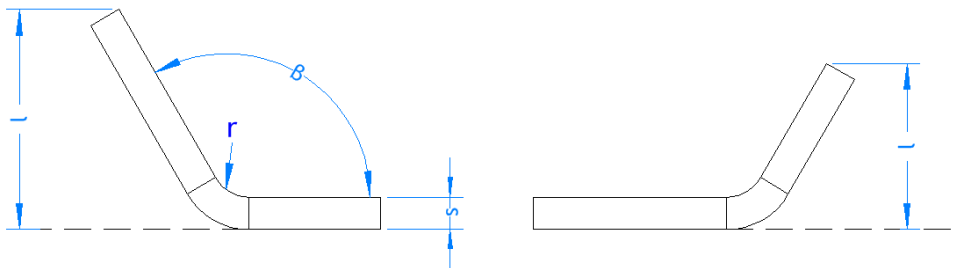


Das Maß für den **Biegescheitel** wäre das Anschlagmaß beim Freibiegen. Meist wird das kürzere Stück bemaßt, weil es gegen den Anschlag in die Maschine geschoben wird und das längere Stück außen heraussteht.

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

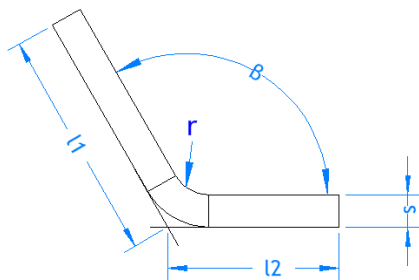


Die Winkellehre wird meistens außen angeschmiegt, man bestimmt damit den Öffnungswinkel β .

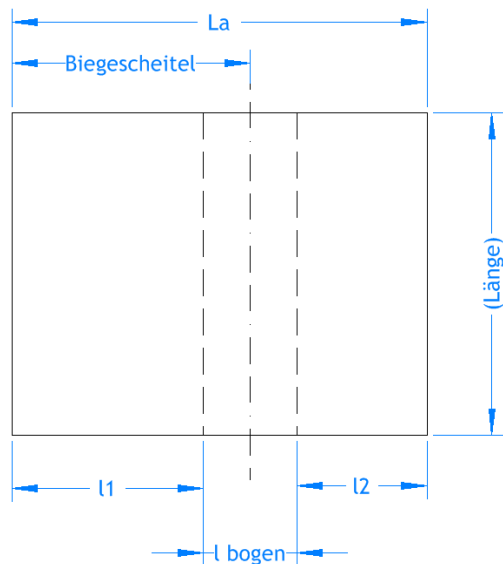
Die Schenkellängen können mit einem Vertikalmessgerät (vgl. Höhenreißer, Höhenmessschieber) geprüft werden.

Bemaßung:

Maße für Berechnung nach DIN 6935
Längen bis zum Scheitelpunkt



Abwicklung



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).

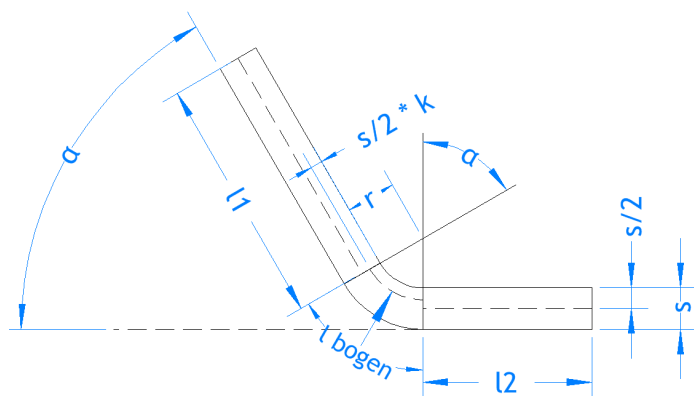
Länge Abwicklung (La) = gerades Teilstück l_1 + gerades Teilstück l_2 + Bogenstück (mit korrigierter neutraler Faser)

$$La = l_1 + l_2 + l_{\text{bogen}}$$

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

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

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



La = Länge der korrigierten Abwicklung

l_1, l_2 = gerade Teilstücke

l_{bogen} = korrigierte (imaginäre) Bogenlänge

s = Materialstärke

k = Korrekturfaktor

r = Biegeradius (Innenradius)

α = 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 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

