

---

# Stanzen von Kupfer und Kupferlegierungen

Spanlose Bearbeitung durch Scherschneiden und Biegen



Deutsches  
Kupferinstitut  
Copper Alliance



---

# Vorwort

Kupfer ist für unsere Gesellschaft von großer Bedeutung und eines der wichtigsten Funktionsmetalle: Kupfer liefert Strom und Wasser in unsere Häuser, sorgt für technologische Innovationen und unterstützt die nachhaltige Entwicklung dabei vorbildlich durch CO<sub>2</sub>-Reduzierung und als wichtiges Element der Kreislaufwirtschaft. **Denn Kupfer ist ein natürliches Material und lässt sich ohne Qualitätsverlust zu 100 % recyceln** – ein Vorteil für die Umwelt und die langfristige Sicherung der Verfügbarkeit von Kupfer. Dazu sind die Einsatzmöglichkeiten von Kupfer unendlich. Dies verdankt der Werkstoff vor allem seinen außergewöhnlichen Materialeigenschaften wie seiner hervorragenden Wärme- und elektrischen Leitfähigkeit sowie seiner guten Beständigkeit und Verarbeitbarkeit: Kupfer ist ein relativ weiches und dehnbares, aber auch widerstandsfähiges Metall, das sich gut formen lässt.

Bei Kupfer erreicht man eine weitreichende Variation der mechanischen und physikalischen Eigenschaften durch Modifikation der Legierungsbestandteile, so dass Kupfer und Kupferlegierungen auf sehr verschiedene Art und Weise verarbeitet werden können. Die Bandbreite reicht dabei von Schmelzen und Gießen, über Wärmebehandlung und diverse Fügeverfahren, bis hin zum Umformen.

Die vorliegende Broschüre beschäftigt sich mit einem insbesondere für große Stückzahlen anwendbaren Fertigungsverfahren, dem Stanzen. Der Fokus der Betrachtung liegt dabei auf dem Scherschneiden und Biegen von Kupferwerkstoffen.

**Herausgeber:**

Deutsches Kupferinstitut Berufsverband e. V.

Heinrichstraße 24  
40239 Düsseldorf

Tel.: +49 211 239469-0  
Fax: +49 211 239469-10

info@kupferinstitut.de  
www.kupferinstitut.de

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen  
Nachdrucks und der photomechanischen  
oder elektronischen Wiedergabe, vorbehalten.

**Autoren:**

Dr.-Ing. Tim Benkert und Jens Stahl, M.Sc. (TUM)

**Mitarbeit:**

Dr. Peter Böhlke KME Germany GmbH  
Marc Kovermann KME Germany GmbH  
Dr. Benjamin Hertweck, Bruker-Spaleck GmbH  
Dr. Philipp Skoda, Deutsches Kupferinstitut  
Berufsverband e.V.

**Titelbild:**

KME Germany GmbH

---

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	3
Inhaltsverzeichnis .....	5
<b>1. Einführung</b> .....	<b>6</b>
<b>2. Scherschneiden</b> .....	<b>7</b>
2.1 Definition, Einordnung und Verfahrensprinzip .....	7
2.2 Schnittflächenausprägung bei Kupferwerkstoffen .....	9
2.2.1 Maßhaltigkeit und Schnittfläche nach VDI 2906 .....	9
2.2.2 Beeinflussung der Schnittfläche bei Kupferwerkstoffen .....	9
2.2.3 Feinschneiden und Präzisionsschneiden .....	11
2.3 Schneidkraft .....	12
2.3.1 Bestimmung der Schneidkraft .....	12
2.3.2 Beeinflussung der Schneidkraft bei Kupferwerkstoffen .....	12
2.4 Richtwerte für Werkzeugparameter beim Scherschneiden von Kupferwerkstoffen .....	13
2.4.1 Normale Schnittfläche ohne besondere Anforderungen .....	13
2.4.2 Kleine Grathöhe .....	13
2.4.3 Hoher Glattschnittanteil .....	13
2.4.4 Geringe Bauteildurchbiegung .....	13
2.4.5 Geringe Schneidkraft .....	13
2.4.6 Rauheit des Glattschnitts .....	13
<b>3. Biegen</b> .....	<b>14</b>
3.1 Qualitätsmerkmale beim Biegen .....	15
3.2 Berechnung der Biegekraft bei Kupferwerkstoffen .....	15
Literatur .....	18

# 1. Einführung

Stanzteile sind in DIN 9870-1 definiert als Teile, die durch eine Kombination von Trenn-, Umform- und Fügeoperation hergestellt werden. Jede dieser Fertigungsoperationen wird dabei in einem Hub durch zweiteilige formgebundene Werkzeuge durchgeführt. Somit werden verschiedene spanlose Fertigungsverfahren, wie zum Beispiel Scherschneiden, Biegen und Tiefziehen, in der Regel in einem Werkzeug kombiniert. Nahezu ausschließlich wird dies zur Fertigung von Blechbauteilen angewandt.

Umgangssprachlich werden oft auch Bauteile, die nur durch Scherschneiden oder einer Kombination aus Scherschneiden und Umformen gefertigt werden, als Stanzteile bezeichnet. Stanzen kommt insbesondere bei der Herstellung von Bauteilen in großer Stückzahl zum Einsatz. Durch die gute Leitfähigkeit in Kombination mit einer ausgezeichneten Umformbarkeit werden eine Vielzahl von Elektronikkomponenten wie Stecker, Kontaktbleche und Leiterrahmen aus Kupfer und Kupferlegierungen durch Stanzen hergestellt. Weitere Anwendungen sind zum Beispiel dekorative Automobilembleme oder Kühlkörper.

Typische Kupferlegierungen, die beim Stanzen zum Einsatz kommen, sind reine Kupfersorten wie Cu-ETP, Cu-HCP, Cu-DHP und Cu-OFE, die Bronzen CuSn4 bis CuSn8 sowie die Messingorten CuZn5 bis CuZn40. Auch Kupferaluminium- und Kupfernickellegierungen sind zu finden. Neben den produktspezifischen gewünschten Eigenschaften wie Festigkeit oder elektrische Leitfähigkeit muss auch die Umformbarkeit bei der Werkstoffauswahl beachtet werden. Entsprechende Werkstoff-Datenblätter, die bei der Auswahl unterstützen, sind auf [www.kupferinstitut.de](http://www.kupferinstitut.de) zu finden.

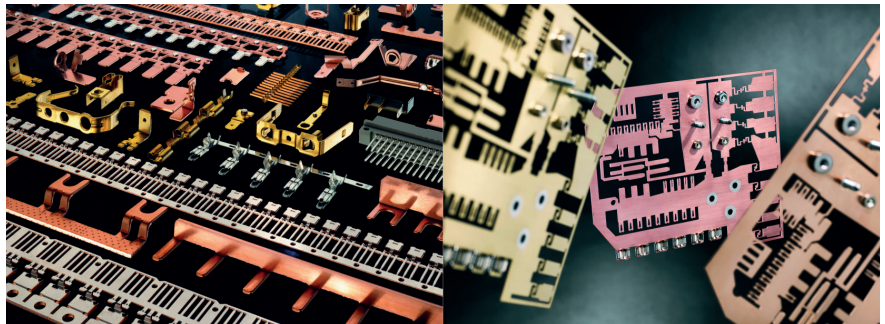


Abbildung 1: Verschiedene Stanzteile aus Kupferlegierungen (Copyright KME Germany GmbH).

Für komplexe Bauteile ist eine Vielzahl von einzelnen Fertigungsoperationen nötig, die in der Regel in einem Werkzeug realisiert werden. Dies ist schematisch in Abbildung 2 dargestellt.

Für eine wirtschaftliche Fertigung müssen Prozesse und Prozessparameter so ausgewählt werden, dass die geforderten Bauteileigenschaften prozesssicher einzuhalten sind. Dies stellt insbesondere durch die immer komplexer werdenden Werkzeuge und die Vielzahl der verfügbaren Kupferwerkstoffe eine Herausforderung dar. Die folgenden Informationen sollen den Anwender dabei unterstützen, geeignete spanlose Fertigungsverfahren für die Verarbeitung von Kupfer und Kupferlegie-

rungen auszuwählen. Hierzu werden die Qualitätsmerkmale der verschiedenen Prozesse erläutert. Weiterhin werden Richtwerte für die spezifischen Prozessparameter zur Beeinflussung dieser Qualitätsmerkmale bereitgestellt. Wie Anfangs erläutert, wird für Stanzteile eine Vielzahl von spanlosen Trennverfahren, umformenden Fertigungsverfahren und Fügeoperationen angewendet. Hiervon werden zwei Verfahren mit besonders hoher Praxisrelevanz im Detail erläutert: das Scherschneiden und das Biegen. Hinsichtlich der Fügeoperationen sei auf die Broschüren des Deutschen Kupferinstituts „Löten von Kupfer und Kupferlegierungen“ und „Schweißen von Kupfer und Kupferlegierungen“ verwiesen.

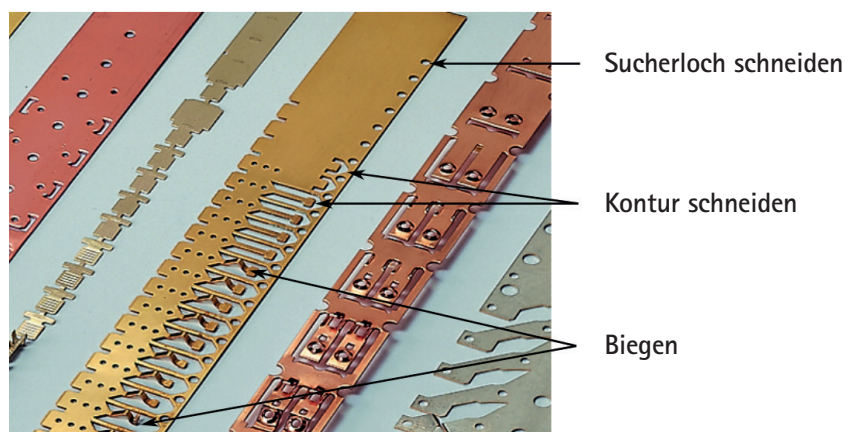


Abbildung 2: Herstellung eines Bauteils aus einer Kupferlegierung am Stanzstreifen durch mehrere Scherschneid- und Biegeoperationen (Copyright KME Germany GmbH).

## 2. Scherschneiden

### 2.1 Definition, Einordnung und Verfahrensprinzip

Das spanlose Trennverfahren Scherschneiden ist das am Häufigsten angewendete Verfahren in der Blechbearbeitung (Fritz Schiess AG 2012; DIN 8580). Beim Scherschneiden werden Werkstücke durch zwei Schneiden zerteilt, die sich aneinander vorbeibewegen (Schuler GmbH 1996). Dementsprechend ist es nach DIN 8588 den zerteilenden Verfahren zugeordnet.

Man unterscheidet zwischen offenem und geschlossenem Schnitt. Bei offenem Schnitt kreuzt die Schnittkontur die Werkstückberandung, beim geschlossenen nicht. Ein Vergleich ist in Abbildung 3 zu finden.

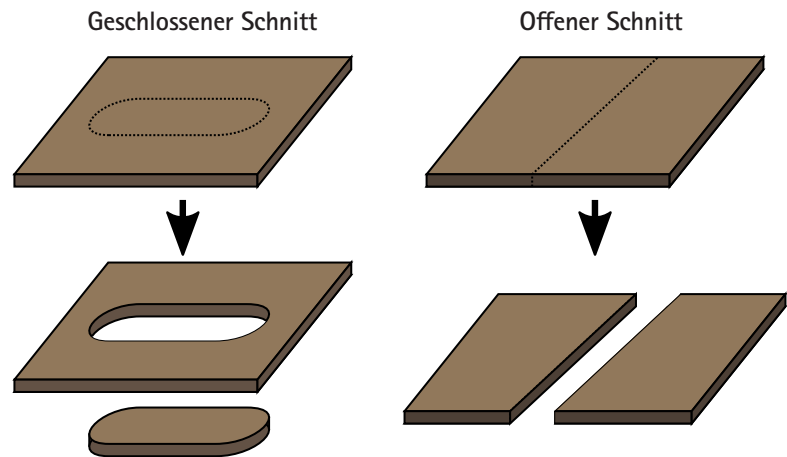


Abbildung 3: Offener und geschlossener Schnitt nach DIN 8588.

Eine weitere Unterscheidung erfolgt hinsichtlich des verfolgten Zwecks und der angestrebten Werkstückform. In DIN 8588 werden Zerschneiden, Beschneiden, Schälen, Ausklinken, Einschnitten, Kiemen und Abschneiden genannt. Eine Übersicht ist in Abbildung 4 dargestellt.

Das Verfahrensprinzip zeigt Abbildung 5.

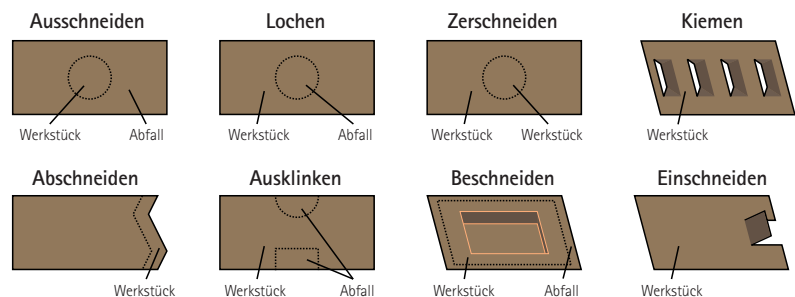


Abbildung 4: Unterscheidung verschiedener Verfahrensvariationen des Scherschneidens nach dem verfolgten Zweck nach DIN 8588 und Hoffmann et al. (2012).

Zur Trennung des Bleches sind die Aktivelemente Stempel und Matrize erforderlich. Beim offenen Schnitt werden diese oft auch als Ober- und Untermesser bezeichnet. Stempel und Matrize trennen durch ihre Relativbewegung zueinander den Blechwerkstoff. Hierfür muss die Schneidkraft  $F_S$  aufgebracht werden.

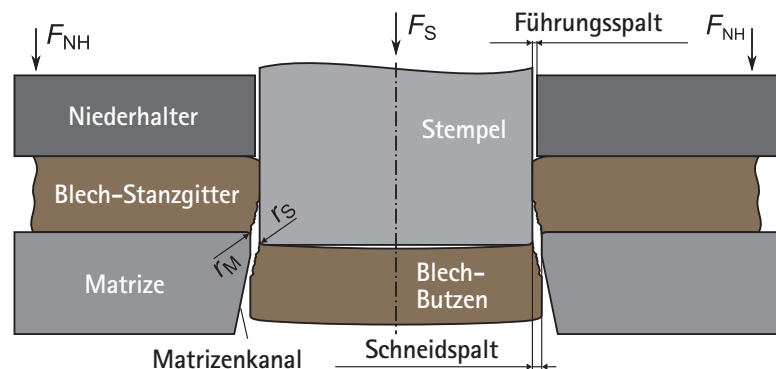


Abbildung 5: Verfahrensprinzip des Scherschneidens mit am Prozess beteiligten Aktivelementen nach DIN 8588 und Doege et al. (2016).

Der umlaufende Spalt zwischen Stempel und Matrize wird als Schneidspalt  $u$  bezeichnet. Dieser ist der wichtigste Parameter zur Beeinflussung von Bauteilqualität und Prozesssicherheit. Dieser Einfluss ist detailliert in Kapitel 2.2 beschrieben. Meist wird der Schneidspalt relativ zur Blechdicke als relativer Schneidspalt  $u_r$  angegeben. Für runde Aktivelemente berechnet er sich wie folgt:

$$u_r = 100 \times \frac{u}{s} = 100 \times \frac{0,5 \times (d_s - d_M)}{s}$$

- $u_r$  Relativer Schneidspalt in Prozent
- $u$  Absoluter Schneidspalt in mm
- $s$  Blechdicke in mm
- $d_s$  Stempeldurchmesser in mm
- $d_M$  Matrizendurchmesser in mm

Die Schneidkante von Stempel und Matrize kann zum Beispiel scharfkantig, mit einer Fase oder mit Radien  $r_s$  und  $r_M$  an Stempel und Matrize ausgeführt werden (siehe Abbildung 5) um die Bauteilqualität zu beeinflussen. Auch Verschleiß kann zu zunehmender Verrundung der Schneidkanten führen.

Die Matrize weist einen Matrizenkanal auf. Dieser wird zum Entfernen der Butzen aus dem Werkzeug verwendet. Insbesondere bei schnell laufenden Schneidoperationen und der Verwendung von harzigem Schmierstoff kann es vorkommen, dass der Butzen vom Stempel

wieder mit hochgezogen wird. Dies kann zu Prozessstörungen und Werkzeugschäden führen. Um dies zu verhindern, wird der Matrizenkanal oftmals konstruktiv angepasst, damit der Butzen in diesem abgestreift wird. Weiterhin kann der Butzen mit Druckluft aus dem Matrizenkanal geblasen werden oder eine Butzenabsaugung zum Einsatz kommen. (Volk et al. 2018)

Um eine Durchbiegung des Blechstreifens zu vermeiden, wird oft ein Niederhalter, belastet mit der Niederhalterkraft  $F_{NH}$ , die zum Beispiel mit Schraubenfedern aufgebracht wird, verwendet. Der Niederhalter wird oftmals als Stempelführung genutzt. Da das Blech nach dem Trennvorgang den Stempel meist fest umschließt, wird der Niederhalter zudem zum Abstreifen des Stanzgitters vom Stempel während des Rückhubes eingesetzt.

Mit einer Werkzeugkonfiguration mit Niederhalter lässt sich der Scherschneidprozess somit in sechs Phasen einteilen. Diese sind in Abbildung 6 dargestellt.

#### 1) Aufsetzen von Niederhalter und Stempel:

Zu Beginn liegt der Blechstreifen im geöffneten Werkzeug. Durch die Abwärtsbewegung des Pressenstößels setzt zuerst der Niederhalter auf das Blech auf und klemmt dieses. Anschließend setzt der Stempel auf das Blech auf.

2) **Elastische Deformation:** Dadurch, dass sich der Pressenstößel weiter senkt, wird das Blech zunächst elastisch verformt. Hierdurch werden auch in Werkzeug und Presse elastische Deformationen hervorgerufen. Der Niederhalter verhindert bei ausreichender Niederhalterkraft eine Durchbiegung des Blechstreifens.

3) **Plastische Deformation:** Ist die Fließgrenze des Blechwerkstoffs überschritten, wird das Blech plastisch verformt.

4) **Trennen des Bleches:** Ist das Formänderungsvermögen des Blechwerkstoffs erschöpft, bildet sich ein Riss. Das Entstehen von zwei Rissen, ausgehend von den Schneidkanten des Stempels und der Matrize, ist ebenfalls möglich. Bei passender Prozessparameterwahl breitet sich der Riss weiter aus und führt schließlich zur Trennung des Bleches. Die zuvor gespeicherte elastische Energie wird frei, was sich im Schnittschlag (kurzer, lauter Schlag beim Abriss) äußert.

5) **Ausstoßen des geschnittenen Teils:** Durch weiteres Absenken des Stempels wird das ausgeschnittene Teil durch den Matrizenkanal hindurchgedrückt, fällt herab und kann schließlich aus dem Werkzeug entfernt werden.

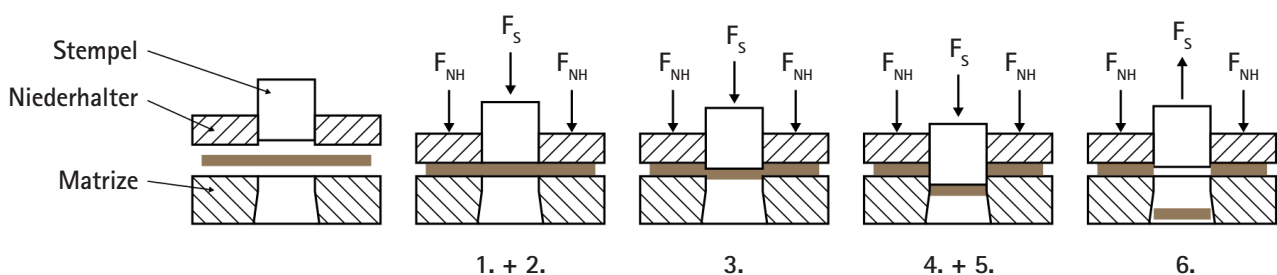
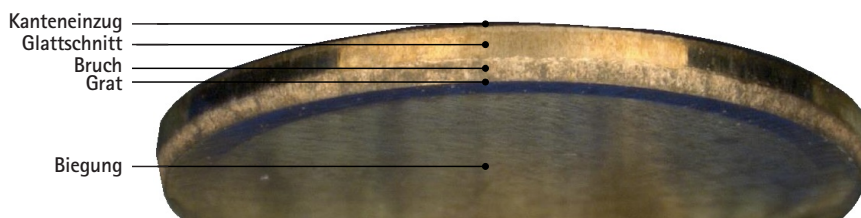


Abbildung 6: Verfahrensablauf des Scherschneidens.





- 6) **Rückhub bis Ausgangsstellung:** Nach Durchlaufen des unteren Umkehrpunktes ändert der Pressenstößel seine Bewegungsrichtung und bewegt sich wieder nach oben. Das Stanzgitter umschließt den Stempel, wodurch an diesem eine durch Reibung hervorgerufene Rückzugskraft überwunden werden muss. Der Niederhalter wirkt dieser Kraft entgegen und streift somit den Blechstreifen vom Stempel. Nachdem der Stempel aus dem Blechstreifen gezogen wurde, hebt sich der Niederhalter und der Blechstreifen kann vorgeschoben werden. Mit dem Erreichen des oberen Umkehrpunktes ist die Ausgangsstellung erreicht.

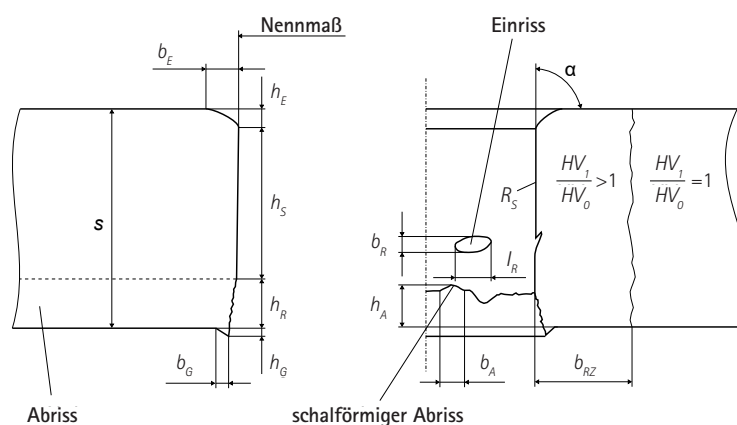


Abbildung 7: Schnittflächenausprägung am Beispiel eines Butzens aus CuSn6 (oben) und Schnittflächenkenngrößen nach VDI 2906-2 (unten).

Diese Phasen finden sich auch im Pressenkraftverlauf wieder (vgl. Abbildung 10).

## 2.2 Schnittflächenausprägung bei Kupferwerkstoffen

### 2.2.1 Maßhaltigkeit und Schnittfläche nach VDI 2906

Die Allgometoleranzen von Stanzteilen sind in DIN 6930-2 definiert. Bei der Auslegung muss der Schneidspalt für das finale Bauteilmaß mitberücksichtigt werden. So wird das Maß eines Lochs vom Stempeldurchmesser bestimmt, während das des ausgeschnittenen Teils vom Matrizendurchmesser definiert wird. Neben der allgemeinen Maßhaltigkeit weisen schergeschnittene Kanten zusätzliche Abweichungen von einer perfekten rechtwinkligen Kante auf. Diese Abweichungen sind über die Schnittflächenkenngrößen definiert, welche in VDI 2906-1 bis VDI 2906-5 standardisiert sind. Eine typische Schnittflächenausprägung eines schergeschnittenen Bronzeteils ist in Abbildung 7 dargestellt.

Eine Schnittfläche weist einen Kanteneinzug, einen Glattschnittanteil, eine Bruchfläche und einen Grat auf. Der Glattschnitt ist ein Bereich

mit sehr glatter Oberfläche, die zur Kraftübertragung benutzt werden kann. Dem steht die sehr raue Bruchfläche gegenüber, die den Traganteil reduziert. Kleinere Bruchflächen innerhalb des Glattschnitts sind möglich und werden bei lokaler Ausprägung als schalenförmige Abrisse bezeichnet. Jedoch können auch zwei Glattschnittflächen beobachtet werden, die von einer umlaufenden Bruchfläche voneinander getrennt sind. Auch der Kanteneinzug führt zu einer Verringerung der nutzbaren Fläche. Weiterhin wird eine Durchbiegung des Bauteils beobachtet, die bei duktilen Kupferwerkstoffen besonders ausgeprägt ist. Zudem wird die Rechtwinkligkeit des Glattschnitts über den Glattschnittwinkel quantifiziert. Neben diesen geometrischen Merkmalen weist die Schnittfläche im plastisch verformten Randbereich eine höhere Härte auf. Diese wird durch die Kaltverfestigung des Materials hervorgerufen.

Welche Schnittflächenkenngrößen erstrebenswert sind, hängt vom jeweiligen Anwendungsfall ab. Zur Kraftübertragung wird in der Regel

ein möglichst hoher Glattschnittanteil angestrebt. Ein großer Kanteneinzug reduziert hingegen den Traganteil. Da der Grat zur Verringerung der Verletzungsgefahr oft entfernt werden muss, ist in diesen Fällen ein möglichst kleiner Grat von Vorteil. Hierbei sei auch auf DIN 9830 verwiesen, in der typische Grathöhen von Stanzteilen zu finden sind. Meist wird eine kleine Bruchflächenhöhe angestrebt. Da die Bruchfläche eine verhältnismäßig geringe Aufhärtung und somit ein großes Restumformvermögen aufweist, kann eine große Bruchfläche bei einer Nachverformung auch Vorteile mit sich bringen.

### 2.2.2 Beeinflussung der Schnittfläche bei Kupferwerkstoffen

Die meisten Kupferwerkstoffe eignen sich äußerst gut für die Bearbeitung durch Scherschneiden. Durch die ausgezeichnete Duktilität von Kupfer wird bei gleichen Prozessparametern ein höherer Glattschnittanteil als bei Aluminium und ein vergleichbarer mit weichen Stählen beobachtet. Die

Grathöhe, die wesentlich von der Verrundung der Aktivelemente bzw. deren Verschleiß bestimmt wird, ist dabei vergleichbar mit anderen Werkstoffen.

Durch die hohe Duktilität und Kaltverfestigung wird bei Kupferwerkstoffen eine tendenziell größere Bauteildurchbiegung beobachtet. Eine Übersicht über typische Schnittflächenkenngrößen bei Kupferwerkstoffen ist in Tabelle 1 zu finden.

Klocke (2017) bzw. Jahnke et al. (1981) geben für weichgeglühtes Kupfer Schneidspalte von 6-9 %, für weichgeglühtes Messing von 6-10 %, für halbhartes Messing 7-10,5 % und für halbhartes Kupfer von 8-11 % an. Je nach Anwendungsfall kann somit ein Schneidspalt von 5-10 % für das Scherschneiden von Kupferlegierungen empfohlen werden.

Möglichkeiten zur Beeinflussung der Schnittfläche können aus Tabelle 2 abgeleitet werden.

Da der Werkzeugverschleiß insbesondere die Grathöhe beeinflusst, werden Stempel und Matrize oftmals beschichtet. Zusammen mit einer hohen Oberflächenqualität von Stempel und Matrize kann so auch die Rauheit des Glattschnitts reduziert werden.

Zusätzlich kann der Blechstreifen beölt werden um Verschleiß und Adhäsionen weiter zu verringern.

*Tabelle 1: Schnittflächenkenngrößen Kanteneinzugs- (KE) und Glattschnittanteil (GS) von Kupferwerkstoffen für den offenen (O) und geschlossenen Schnitt (G) für verschiedene bezogene Schneidspalte*

Werkstoff	Schnitt	Werkzeugzustand	ur	KE	GS	Quelle
CuZn37 (R550)	O	Neu	8 %	6 %	55 %	Sachnik 2017
	O	Verschlissen	8 %	7 %	56 %	Sachnik 2017
CuSn6	G	Neu	3 %	-	64 %	Volk et al. 2018
	G	Neu	10 %	-	51 %	Volk et al. 2018
	G	Neu	15 %	-	41 %	Volk et al. 2018
	G	Verschlissen	10 %	-	58 %	Volk et al. 2018

*Tabelle 2: Möglichkeiten zur Beeinflussung der Schnittfläche*

	Kanteneinzug	Glattschnitt	Grathöhe	Quellen
Kleinerer Schneidspalt	↘	↗	↘	DIN 9830
Werkzeugverschleiß	↗	↗	↗	DIN 9830; Sachnik 2017

### 2.2.3 Feinschneiden und Präzisionsschneiden

Bei besonders hohen Anforderungen an die Schnittflächenqualität bezüglich eines hohen Glattschnittanteils, geringer Kanteneinzugs-höhe und Rechtwinkligkeit kommt das Feinschneidverfahren bei Kupferwerkstoffen zum Einsatz. Meist ist hier das ausgeschnittene Teil von Interesse. Der prinzipielle Ablauf ist in Abbildung 8 dargestellt.

Das Feinschneiden unterscheidet sich vom normalen Scherschneiden durch einen besonders kleinen Schneidspalt, den Einsatz

einer Ringzacke und eines Gegenhalters. Der Schneidspalt beträgt meist 0,5 %. Die Ringzacke kann auf der Niederhalterplatte und/oder auf der Matrizenplatte angebracht werden. Ringzacke und kleiner Schneidspalt führen zu hohen Druckspannungen in der Scherzone, die die Rissentstehung verhindern und somit zu einem hohen Glattschnittanteil führen (Hörmann 2008). Der Gegenhalter verhindert die Durchbiegung des Butzens. Verschiedene Verfahrensvarianten des Feinschneidens sind in der Lage einen ähnlich hohen Glattschnittanteil zu produzieren. Zu diesen Verfahrensvarianten zählen zum

Beispiel das Genauschneiden oder das Normalschneiden mit Ringzacke. Hörmann (2008) bietet dazu eine Übersicht. Ist statt eines hohen Glattschnittanteils ein gratfreies Bauteil gefordert, kann zum Beispiel das gratfreie Scherschneiden nach Sachnik (2017) eingesetzt werden. Hier wird zuerst eine Kerbe ins Blech geprägt, das an dieser Stelle anschließend geschnitten wird. Dieser Ablauf ist in Abbildung 9 zu sehen.

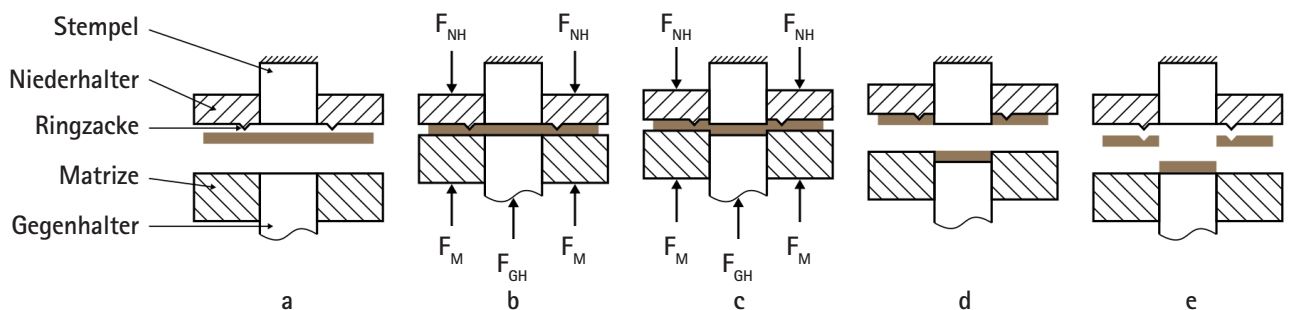


Abbildung 8: Prinzip des Feinschneidens aus Benkert (2020) nach Hoffmann et al. (2012) und Hörmann (2008).

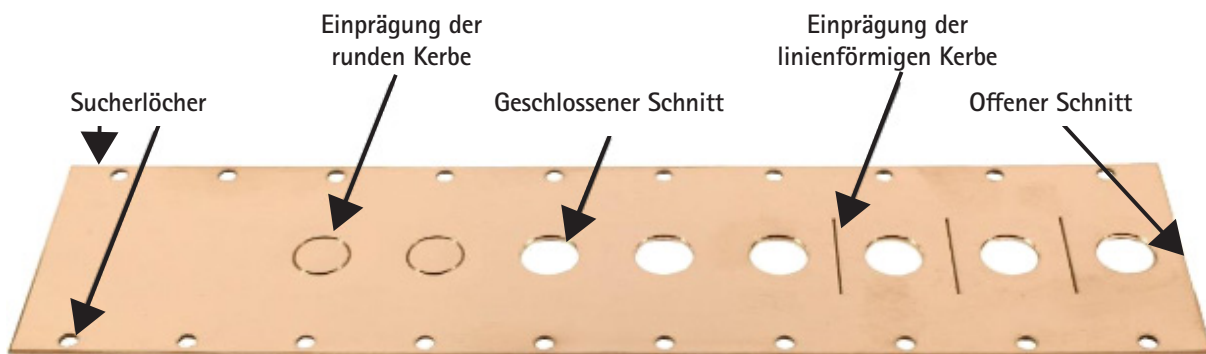


Abbildung 9: Gratfreies Scherschneiden aus Sachnik (2017).

## 2.3 Schneidkraft

### 2.3.1 Bestimmung der Schneidkraft

Die Schneidkraft ist die Kraft, die vom Stempel bzw. der Matrize aufgebracht werden muss, um den Werkstoff plastisch zu verformen und schließlich zu trennen. Da nur eine begrenzte Kraft von der verwendeten Presse aufgebracht werden kann, ist die Schneidkraft somit ein wichtiges Auslegungskriterium. In der Schneidkraft ist die Niederhalterkraft nicht enthalten. Diese muss jedoch auch bei der Auswahl der Presse berücksichtigt werden.

Die Schneidkraft ist nach König et al. (1995) abhängig von den folgenden Faktoren:

- Blechdicke  $s$
- Länge der Schittlinie  $l$
- Scherfestigkeit des Blechwerkstoffs
- Schneidspalt
- Verschleißzustand der Aktivelemente
- Geometrie der Schnittlinie
- Schmierung

Die maximale Schneidkraft  $F_{S,max}$  kann mit folgender Formel anhand der Zugfestigkeit  $R_m$  des Blechwerkstoffs und einem Korrekturfaktor  $k$ , oder alternativ mit der spezifischen Schneidkraft  $k_s$  abgeschätzt werden (Hellwig 2006; Lange 1990):

$$F_S = s \times l \times R_m = s \times l \times k_s$$

- $s$  Blechdicke in mm
- $l$  Schnittlinienlänge in mm
- $R_m$  Zugfestigkeit des Blechwerkstoffs in  $N/mm^2$
- $k$  Einheitenloser Korrekturfaktor
- $k_s$  Spezifische Schneidkraft in  $N/mm^2$

Der Faktor  $k$  muss experimentell bestimmt werden. Für die meisten Kupferwerkstoffe liefert  $k = 0,8$  eine gute Schätzung. Anhaltswerte für die spezifische Schneidkraft sind bei Hellwig (2006) zu finden.

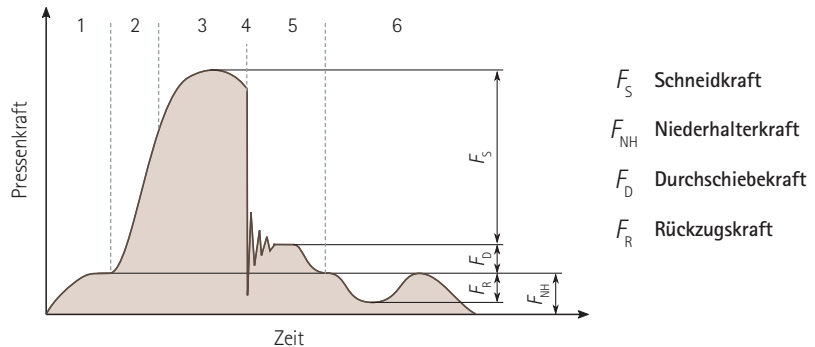


Abbildung 10: Typischer Pressenkraftverlauf nach Hoffmann et al. (2012) und Doege et al. (2016).

Weiterhin ist zu beachten, dass die kraftresultierende aller im Werkzeug wirkenden Kräfte möglichst in der Mitte des Pressentisches wirken soll. So können Werkzeugverlagerungen vermieden werden, die das Schneidergebnis negativ beeinflussen können.

### 2.3.2 Beeinflussung der Schneidkraft bei Kupferwerkstoffen

Die Schneidkraft ist ein maßgebliches Kriterium für die Werkzeugauslegung und die Pressenwahl. Ist die gleichzeitig wirkende Schneidkraft aller Fertigungsoperationen im Werkzeug größer als die Kraft, die von der Presse aufgebracht werden kann, ist die Fertigung auf dieser Maschine nicht möglich. Daher ist eine Verringerung der maximalen Schneidkraft oft erstrebenswert.

Die zuvor genannten Einflussfaktoren auf die Schneidkraft sind in der Praxis oft durch die vorgegebene Bauteilkontur, Blechdicke und Schnittflächengeometrie nur in geringem Maße beeinflussbar. Eine einfache Möglichkeit, die Maximalkraft zu reduzieren, ist das Verwenden unterschiedlich langer Stempel. Diese schneiden somit nicht gleichzeitig, sondern - je nach ihrer Länge - zeitversetzt. Wird diese Methode zur Maximalkraftreduzierung angewandt, sollte eine asymmetrische Pressenbelastung vermieden werden, da diese das Arbeitsergebnis negativ beeinflussen kann. Weiterhin ist bei der Verwendung ungleichlanger Stempel in der Regel eine größere Hubhöhe nötig. Diese ist ebenfalls von der Presse begrenzt.

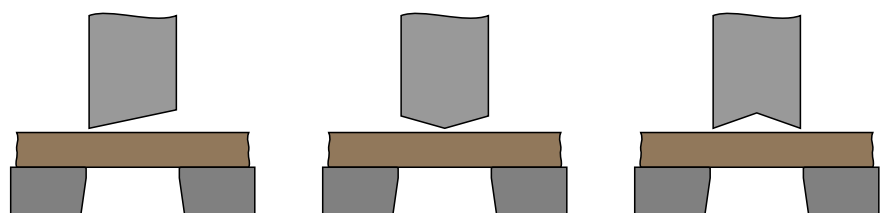


Abbildung 11: Stempelgeometrien zur Verringerung der Schneidkraft nach Schmidt (2007).

Um eine niedrigere maximale Schneidkraft pro Stempel zu erreichen, werden oftmals spezielle Stempelgeometrien verwendet. Typisch ist zum Beispiel ein Dachschriff. Mögliche Geometrien sind in Abbildung 11 dargestellt. Allen Geometrien ist gemein, dass durch das ungleichmäßige Eindringen des Stempels das Kraftmaximum reduziert, jedoch der nötige Arbeitsweg vergrößert wird. Weiterhin wird eine ungleichmäßige Ausbildung der Schnittfläche beobachtet. Somit muss ein Kompromiss aus Schneidkraftreduzierung und Bauteilqualität getroffen werden. Ist deshalb eine spezielle Stempelgestaltung nicht möglich, kann eine Kraftreduzierung durch die Beölung erzielt werden. Der Schmierstoff und die Schmierstoffmenge ist mit dem Schmierstoffhersteller abzustimmen. Häufiges Nachschleifen der Aktivelemente kann ein verschleißbedingtes Ansteigen der Schneidkraft vermeiden.

#### 2.4 Richtwerte für Werkzeugparameter beim Scherschneiden von Kupferwerkstoffen

Zusammenfassend können folgende Richtwerte für Werkzeug- und Prozessparameter beim Schneiden von Kupferwerkstoffen für die jeweiligen Bauteil- und Prozessanforderungen gegeben werden.

##### 2.4.1 Normale Schnittfläche ohne besondere Anforderungen

Hier ist ein Schneidspalt von 5-10 % zusammen mit scharfen Schneidkanten zu empfehlen. Große Schneidspalte sollten vermieden werden, um bei hohen Hubzahlen das Hochkommen von Stanzbutzen zu unterbinden. Zu kleine Schneidspalte können den Werkzeugverschleiß vergrößern und sind somit ebenfalls nicht zu empfehlen.

##### 2.4.2 Kleine Grathöhe

Die Grathöhe wird maßgeblich vom Schneidkantenzustand bestimmt. Scharfe Schneid-

kanten führen in der Regel zu einer geringen Grathöhe. Daher ist der Aktivelementverschleiß, z.B. durch Beschichten oder Beölen, gering zu halten. Auch ein häufigeres Nachschleifen der Aktivelemente reduziert die Grathöhe.

Sind gratfreie Schnittflächen gefordert, kann das gratfreie Scherschneiden eingesetzt werden (siehe Kapitel 2.2.3).

##### 2.4.3 Hoher Glattschnittanteil

Kupfer weist einen vergleichsweise hohen Glattschnittanteil bei gleichen Prozessparametern wie beim Scherschneiden von Stahl auf. Sind besonders hohe Glattschnittanteile gefordert, muss ein kleiner Schneidspalt gewählt werden. Weiterhin sind Schneidkanten mit einem Radius oder einer Fase zu empfehlen. Ist eine Schnittfläche ohne Bruchanteil gefordert, ist dies z.B. durch Feinschneiden erreichbar.

##### 2.4.4 Geringe Bauteildurchbiegung

Eine geringe Durchbiegung kann für den Blechstreifen durch den Einsatz eines Niederhalters erzielt werden. Ist das ausgeschnittene Teil von Interesse wird der gleiche Effekt durch einen Gegenhalter erreicht.

##### 2.4.5 Geringe Schneidkraft

Zur Reduzierung der Schneidkraft können die allgemein bekannten Maßnahmen ergriffen werden. Zu diesen zählen z.B. schräg angeschliffene Stempel oder Stempel mit Dachschriff. Diese können jedoch die Schnittflächenqualität negativ beeinflussen. Unterschiedlich lange Stempel verringern die Maximalkraft des Gesamtwerkzeug auch bei flacher Stirnfläche. Weiterhin ist der Aktivelementverschleiß gering zu halten, da dieser die Schneidkraft erhöhen kann.

##### 2.4.6 Rauheit des Glattschnitts

Eine geringe Rauheit des Glattschnitts wird mit glatten Aktivelementen erzielt. Um eine

Aufrauung durch Verschleiß zu verhindern, sollten beschichtete Aktivelemente eingesetzt werden. Auch eine Beölung des Blechstreifens ist zu empfehlen.

# 3. Biegen

Nach DIN 8586 ist Biegen als „Umformen eines festen Körpers, wobei der plastische Zustand im Wesentlichen durch eine Biegebeanspruchung herbeigeführt wird“ definiert. In der genannten Norm wird das Biegen weiter in Biegen mit geradliniger bzw. rotierender Werkzeugbewegung unterteilt. Die größte wirtschaftliche Bedeutung hat dabei das sogenannte Querkraftbiegen. Beim Querkraftbiegen wird das zum Biegen benötigte Biegemoment über einen Hebelarm in das Bauteil eingeleitet, was meist mit geradliniger Werkzeugbewegung geschieht. Die wichtigsten Verfahren dieser Kategorie sind Freibiegen und Gesenkbiegen (Abbildung 12). (Hoffmann et al. 2012) Beim Freibiegen bildet sich die finale Bauteilgeometrie frei, also ohne direkten Werkzeugkontakt, aus. Der schlussendlich nicht genau definierten Bauteilgeometrie steht ein vereinfachter Werkzeugaufbau gegenüber, da mit einem hohen Anteil von Normteilen gearbeitet werden kann.

Das Gesenkbiegen unterscheidet sich vom Freibiegen dadurch, dass es zumindest zum Ende des Umformvorgangs zur Anlage des Werkstückes im Gesenk kommt. Das Bauteil erfährt hier allseitigen Werkzeugkontakt. Dies erhöht die Genauigkeit der gefertigten Bauteile, geht jedoch mit einem gesteigerten werkzeugtechnischen Aufwand einher. Das Gesenkbiegen läuft in den in Abbildung 13 dargestellten Phasen ab. In der Abbildung wird deutlich, wie die beiden Verfahren Frei- und Gesenkbiegen miteinander verknüpft sind. Dem Gesenkbiegen geht ein Freibiegen voraus, da sich der für das Gesenkbiegen maßgebliche, allseitige Werkzeugkontakt erst zum Ende des Umformprozesses einstellt. An die Phase des Gesenkbiegens schließt sich unter Umständen noch ein Prägebiegen an. Dabei wird das Werkzeug weiter zusammengefahren als zur Formgebung nötig ist. Der Vorteil des Prägebiegens liegt in der Minimierung der Bauteilrückfederung und dem Ausgleich von Blechdickenunterschieden. Nachteilig sind die

hohen Prozesskräfte, die bei falscher Werkzeugeinstellung zur Zerstörung des Werkzeugs führen können.

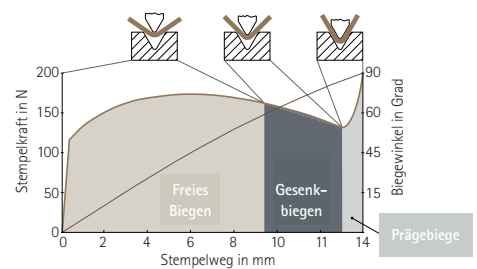


Abbildung 13: Phasen des Gesenkbiegens nach Hoffmann et al. (2012)

Für einige häufig verwendete Kupferwerkstoffe zeigt Tabelle 3 die minimalen Biegeradien. Um minimale Biegeradien für hier nicht genannte Werkstoffe zu bestimmen, finden sich in DIN EN ISO 7438 passende Versuche. Auch ist bei den meisten Halbzeugherstellern der minimale Biegeradius im entsprechenden Werkstoffdatenblatt aufgeführt.

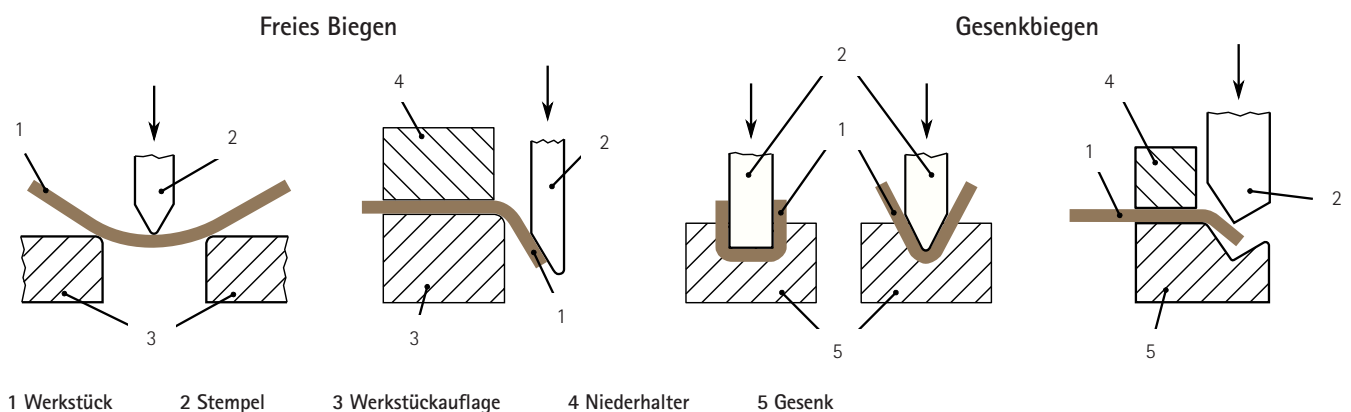


Abbildung 12: Verfahrensablauf des Freibiegens und des Gesenkbiegens nach DIN 8586

Tabelle 3: Minimale Biegeradien für ausgesuchte Kupferwerkstoffe

Werkstoff	Zustand	Minimaler Biegeradius			
		s < 0,25 mm		s > 0,25 mm	
		GW	BW	GW	BW
Cu-ETP	R220	0	0	0	0
	R240	0	0	0	0
	R290	0	0	0	0,5 s
	R360	1 s	2 s	-	-
CuSn6	HV160	0	0	0	1 s
	HV160	0	1s	0	2 s
CuZn36	HV150	0	1s	0	2 s

s = Blechdicke

### 3.1 Qualitätsmerkmale beim Biegen

Das wichtigste Qualitätskriterium beim Biegen ist die Maßhaltigkeit der Bauteile. Darüber hinaus können Oberflächendefekte wie Abdrücke und Risse auftreten, wobei die größten Probleme beim Biegen die Elastizität des Werkstoffes verursacht. Sie ist verantwortlich für die Bauteilrückfederung, die nach dem Entlasten des Biegebauteils auftritt. Darauf folgen werkstückseitige Einflussgrößen wie Rohteilabmessungen (Größe des Halbzeuges, Blechdicke, Querschnitt) und ein genau ausgelegter Zuschnitt. Zu den werkstückseitigen Einflussgrößen wird auch die Positionierung des Halbzeuges in der Biegemaschine gezählt. Die am schwierigsten zu kontrollierenden Einflüsse auf das Biegeergebnis ergeben sich durch die Werkstoffparameter und deren stochastische Änderungen. Diese haben signifikanten Einfluss auf den Biegeprozess und können zu allen Formen von Maßfehlern sowie zu vorzeitiger Rissbildung führen. Des Weiteren nehmen Maschinenauffederung, Werkzeugparameter und -verschleiß und - falls vorhanden - der Wiederholgenauigkeit von NC-Achsen Einfluss auf das Biegeergebnis. (Hoffmann et al. 2012)

Abbildung 14 verdeutlicht die verschiedenen Fehler, die an einem Biegebauteil auftreten können. Eine besondere Art der Maßhaltigkeitsfehler stellt die Aufwölbung der Biegekante dar. Diese entsteht vor allem bei

dicken Blechen und kleinen Biegeradien. Neben der ungewünschten Abweichung von der geometrischen Spezifikation nimmt diese Aufwölbung plastische Deformationen auf und erlaubt so kleinere Biegeradien. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass mit zunehmender Breite des zu biegenden Bauteils eher eine Rissbildung stattfindet (Lange 1990). Auf Grund dieses Effektes, sind geometrisch ähnliche Bauteile unterschiedlicher Breite mit angepassten Biegeradien zu fertigen.

Den Zusammenhang zwischen einigen Werkstoff- bzw. Prozesskennwerten und der Rückfederung zeigt Abbildung 15. Zu sehen sind vier Spannungs-Dehnungs-Diagramme mit vereinfachten, bilinearen Spannungs-Dehnungs-Verläufen. Steigerungen der Gesamtdehnung, der Streckgrenze und des Verfestigungsexponenten n haben jeweils einen verstärkenden Einfluss auf die Rückfederung. Lediglich eine Steigerung des Elastizitätsmoduls E reduziert sie.

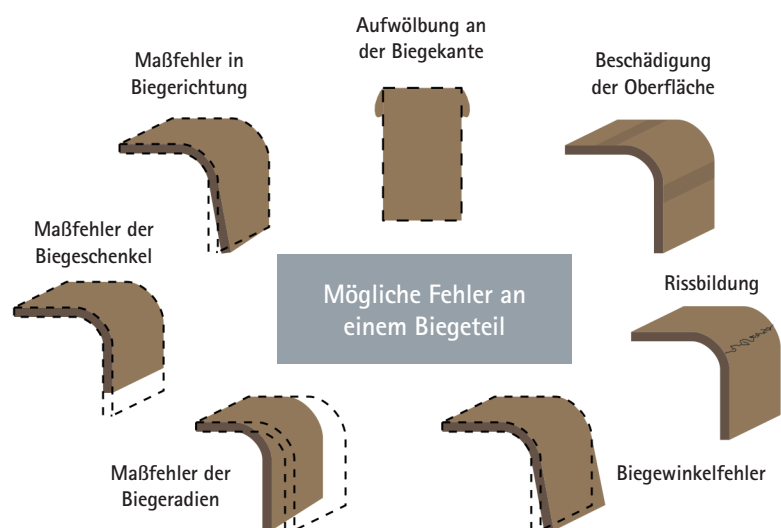


Abbildung 14: Bauteilfehler an Biegebauteilen nach Hoffmann et al. (2012)

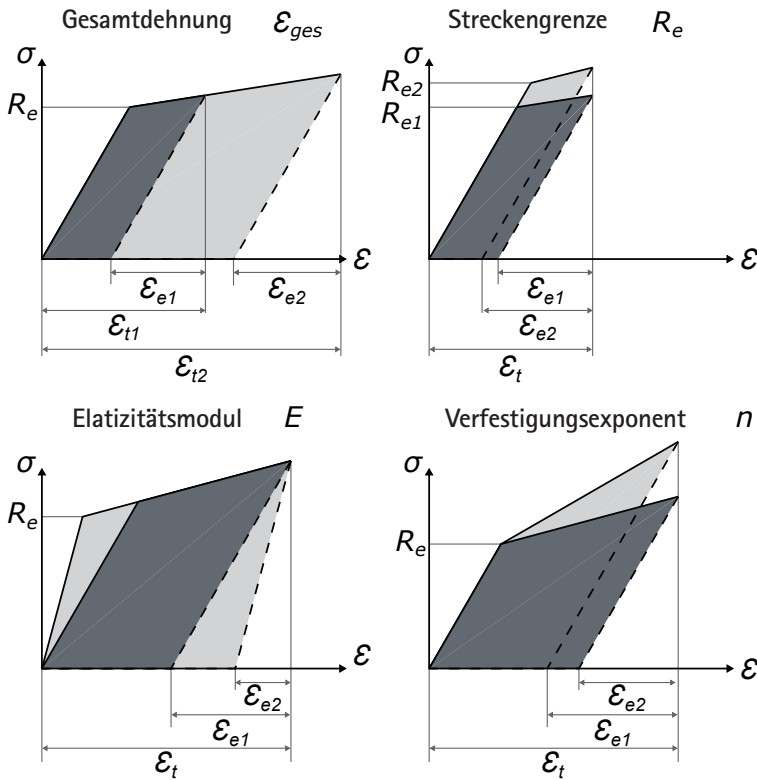


Abbildung 15: Einfluss verschiedener Werkstoffparameter auf die Rückfederung beim Biegen nach Hoffmann et al. (2012)

Um hochgenaue Bauteile fertigen zu können, ist eine präzise Bestimmung der Rückfederung bei der Auslegung des Werkzeugs bzw. des Biegeprozesses notwendig. Analytische und halbanalytische Ansätze, die auf der elementaren Biegetheorie beruhen, können dabei unterstützen. Die besten Berechnungsergebnisse verspricht die Finite-Elemente Methode, wobei diese auch den höchsten Aufwand erzeugt. Durch die Vorhersagen lässt sich das Bauteil überbiegen und somit die Rückfederung kompensieren. Allerdings zeigen alle Berechnungsmethoden immer wieder Schwächen, daher ist die Durchführung eines Stichversuches auch heute noch eine häufig angewendete Methode um die Rückfederung vor der Werkzeugauslegung sicher zu bestimmen. In beiden Fällen sollte die Biegegeschwindigkeit der Berechnung bzw. des Versuches der späteren Biegegeschwindigkeit im Fertigungsprozess möglichst nahekommen, da die Rückfederung auch von der Umformgeschwindigkeit abhängt (Krininger et al. 2016).

**3.2. Berechnung der Biegekraft bei Kupferwerkstoffen**

Die Berechnung der Biegekraft vor der Werkzeug- und Prozessauslegung findet sinnvollerweise durch Überschlagsrechnungen statt. Im Prinzip sind Kraftberechnungen mit der Finite-Elemente-Methode ebenfalls denkbar, jedoch erhält der Anwender mit den Überschlagsrechnungen schnell und ohne großen Aufwand ein Ergebnis, welches für den Zweck der Maschinenauswahl ausreicht.

Wie bereits erwähnt, wird beim Biegen die plastische Formänderung durch Biegespannungen verursacht. Daher wird in den folgenden Formeln ein Biegemoment berechnet, aus welchem sich zusammen mit einem Hebelarm auf die Biegekraft zurückrechnen lässt.

Für die Annahme eines idealplastischen Materialverhaltens ergibt sich ein maximales Biegemoment wie folgt.

$$M_b = \frac{1}{4} \times k_{i0} \times b \times s_0^3$$

- $M_b$  Biegemoment
- $k_{i0}$  initiale Fließspannung
- $b$  Biegebreite
- $s_0$  Ausgangsblechdicke

Aus dem Biegemoment lässt sich die Biegearbeit abschätzen. Die Biegebreite ist die Kantenlänge, um die gebogen wird. Im einfachsten Fall ist die Biegebreite gleich der Breite des Blechstreifens.

$$W_b = 2 \times \int_0^\alpha M_d d\alpha$$

- $W_b$  Biegearbeit
- $M_b$  Biegemoment
- $\alpha$  Biegewinkel





# Literatur

- Benkert, T. (2020).** Blechraddkörper für Leichtbauzahnäder: Eine Machbarkeitsstudie zur Herstellung von tiefgezogenen und feingeschnittenen Innenteilen mehrteiliger Zahnäder. München:TUM.University Press. isbn: 978-3-95884-046-1. doi: 10.14459/2019md1481732.
- DIN EN ISO7438 (2018).** Metallische Werkstoffe - Biegeversuch.
- DIN6930-2 (2011).** Stanzteile aus Stahl: Teil 2: Allgemeintoleranzen.
- DIN8580 (2003).** Fertigungsverfahren - Begriffe, Einteilung.
- DIN8586 (2003).** Fertigungsverfahren Biegeumformen.
- DIN8588 (2013).** Fertigungsverfahren Zerteilen - Einordnung, Unterteilung, Begriffe.
- DIN9830 (2011).** Schnittgrathöhen an Stanzteilen.
- DIN9870-1 (1974).** Begriffe der Stanztechnik - Fertigungsverfahren und Werkzeuge, Allgemeine Begriffe und alphabetische Übersicht.
- Doege, E. und B.-A. Behrens (2016).** Handbuch Umformtechnik. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. isbn: 978-3-662-43890-9. doi: 10.1007/978-3-662-43891-6.
- Fritz Schiess AG (2012).** „Feinschneidverfahren für Zahnäder“. In: Blech Rohre Profile 6-7, S. 34. url: [https://www.blechrohreprofile.de/blechumformtechnik-fachartikel/feinschneidverfahren-fuer-zahnraeder\\_12221\\_de/](https://www.blechrohreprofile.de/blechumformtechnik-fachartikel/feinschneidverfahren-fuer-zahnraeder_12221_de/).
- Hellwig, W. (2006).** Spanlose Fertigung: Stanzen: Grundlagen für die Produktion einfacher undkomplexer Präzisionxs-Stanzteile ; mit 48 Tabellen. Wiesbaden: Friedr. Vieweg Et Sohn Verlag| GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden. isbn: 9783834890436. doi: 10.1007/978-3-8348-9043-6.
- Hoffmann, H., R. Neugebauer und G. Spur, Hrsg. (2012).** Handbuch Umformen. München: Hanser. isbn: 978-3-446-42778-5.
- Hörmann, F. (2008).** Einfluss der Prozessparameter auf einstufige Scherschneidverfahren zum Ausschneiden mit endkonturnaher Form: Technische Universität München.
- München: Hieronymus.** isbn: 978-3-89791-388-2.
- Jahnke, H., R. Retzke und W. Weber, Hrsg. (1981).** Umformen und Schneiden. Berlin: VEB Verlag Technik.
- Klocke, F. (2017).** Fertigungsverfahren 4. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. isbn: 978-3-662-54713-7. doi: 10.1007/978-3-662-54714-4.
- König, W. und F. Klocke (1995).** Fertigungsverfahren: Massivumformung. Berlin Heidelberg: Springer. isbn: 978-3-662-11732-3. doi: 10.1007/978-3-662-11731-6.
- Krinninger, M., D. Opritescu, R. Golle und W. Volk (2016).** „Experimental Investigation of the Influence of Punch Velocity on the Springback Behavior and the Flat Length in Free Bending“. In: Procedia CIRP 41, S. 1066-1071. issn: 22128271. doi: 10.1016/j.procir.2015.12.137.
- Lange, K., Hrsg. (1990).** Umformtechnik - Handbuch für Industrie und Wissenschaft: Band 3: Blechbearbeitung. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, Imprint und Springer. isbn: 978-3-662-10687-7.
- Sachnik, P. (2017).** Methodik für gratfreie Schnittflächen beim Scherschneiden: Dissertation. München. url: <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn:nbn:de:bv-b:91-diss-20160406-1304184-1-8>
- Schmidt, R.-A. (2007).** Umformen und Feinschneiden: Handbuch für Verfahren, Stahlwerkstoffe, Teilgestaltung. München und Wien: Hanser. isbn: 3-446-40964-5.
- Schuler GmbH, Hrsg. (1996).** Handbuch der Umformtechnik. Berlin Heidelberg New York: Springer. isbn: 978-3540610991. doi: 10.1007/978-3-662-07703-0.
- VDI2906-1 (1994).** Schnittflächenqualität beim Schneiden, Beschneiden, Lochen von Werkstücken aus Metall: Allgemeines, Kenngrößen, Werkstoffe.
- VDI2906-2 (1994).** Schnittflächenqualität beim Schneiden, Beschneiden, Lochen von Werkstücken aus Metall: Scherschneiden.
- VDI2906-5 (1994).** Schnittflächenqualität beim Schneiden, Beschneiden, Lochen von Werkstücken aus Metall: Feinschneiden.
- Volk, W., A. Kindsmüller, I. Pätzold und J. Stahl (2018).** Ursache und Vorhersage von hochkommenden Stanzbutzen. Hannover: Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V. (EFB). isbn: 9783867765473.





**Deutsches  
Kupferinstitut**  
Copper Alliance

**Deutsches Kupferinstitut  
Berufsverband e. V.**

Heinrichstraße 24  
40239 Düsseldorf

Tel.: +49 211 239469-0  
Fax: +49 211 239469-10

[info@kupferinstitut.de](mailto:info@kupferinstitut.de)  
[www.kupferinstitut.de](http://www.kupferinstitut.de)