

Vorwort

Wir freuen uns, dass die große Nachfrage nach „Richten mit Walzenrichtmaschinen“ nun schon seit mehr als 20 Jahren anhält. Das hat uns darin bestärkt, das Standardwerk über die Richttechnik weiter zu verbessern.



80 Jahre nach Gründung unserer Firma erscheint „Richten mit Walzenrichtmaschinen“ in der 4. Auflage.

Das Thema Richten von Blechen ist aktueller denn je. Richten verbessert eindeutig die Qualität der Blechverarbeitung. Offensichtlich sind die besseren Toleranzen in der Ebenheit von Blechteilen und Coils. Weniger sichtbar sind die günstigen Verteilungen der Restspannungen im Material, die nachfolgende Prozesse wie Abkanten, Biegen oder Profilieren stabilisieren.

Mit der neuen Auflage haben wir das Buch einer Verjüngungskur unterzogen. Mit farbigen Bildern und einem zeitgemäßen Layout haben wir „Richten mit Walzenrichtmaschinen“ den heutigen Lesegewohnheiten angepasst.

An dieser Stelle möchten wir uns bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Horst Bräutigam bedanken. In der nun schon fast 30-jährigen Zusammenarbeit mit dem Autor können wir auf eine erfolgreiche Symbiose von Wissenschaft und Praxis zurückblicken.

Um auch in der Zukunft unseren Ruf als Experten der Richttechnik zu bestätigen, sind wir auf Ihre kritischen Fragen und Meinungen angewiesen.

Darauf freuen wir uns!

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Albert Reiss'.

Ihr Albert Reiss

Baden-Baden, April 2009

Impressum:

Die ARKU-Schriftenreihe erscheint im Eigenverlag der Firma
ARKU Maschinenbau GmbH
Siemensstraße 11
76532 Baden-Baden
Telefon +49 (0) 72 21 / 50 09-0
Fax +49 (0) 72 21 / 50 09-11
info@arku.de, www.arku.de

© 1987 by ARKU Maschinenbau GmbH
4. überarbeitete Auflage 2009
ISBN 978-3-8343-3143-4

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks,
der fotomechanischen Wiedergabe oder unter
Verwendung elektronischer Systeme im Ganzen
oder auszugsweise vorbehalten.

Gestaltung: Werbeagentur Rommel & Frank, Baden-Baden
Herstellung: Vogel Business Media GmbH & Co. KG, Würzburg

Baden-Baden im April 2009

Inhalt

1	Einleitung	8
2	Grundlagen der Werkstoffkunde	12
2.1	Zug und Druck	12
2.2	Biegung	17
3	Grundlagen des Richtens	24
3.1	Einzelbiegung	25
3.1.1	Elastischer Biegevorgang	25
3.1.2	Elastisch-plastischer Biegevorgang	29
3.1.3	Geometrische Grenzen	34
3.2	Gesamtbiegung	38
3.2.1	Richtkräfte	39
3.2.2	Restspannungen	41
3.2.3	Bauschinger-Effekt	43
4	Walzenrichtmaschinen	46
4.1	Grundaufbau der Richteinheit	46
4.2	Antrieb	50
4.3	Richtdiagramm	53
4.4	Maschineneinstellwerte	55
5	Richten mit Walzenrichtmaschinen	58
5.1	Ebenheitsfehler beim Coil und deren Beseitigung	58

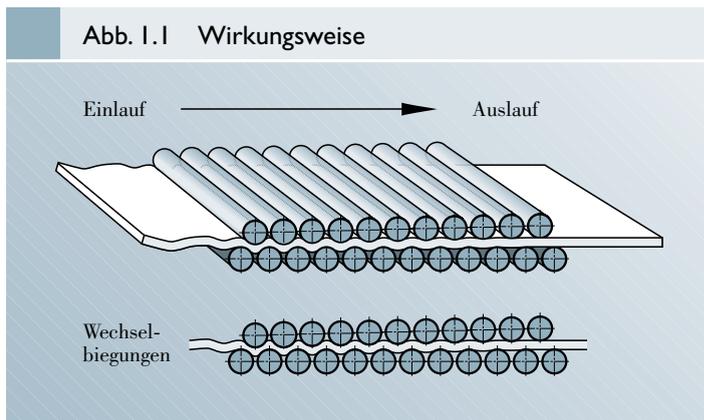
5.2	Walzenrichtmaschinen für Bänder	62
5.2.1	Walzenrichtmaschinen für Pressen und Stanzautomaten	63
5.2.2	Walzenrichtmaschinen für Profilieranlagen	68
5.2.3	Walzenrichtmaschinen für Querteilanlagen	70
5.3	Walzenrichtmaschinen für Teile	73
5.3.1	Vorteile des Teilerichtens	73
5.3.2	Merkmale moderner Teilerichtmaschinen	75
5.3.3	Richtmaschinen für Stanz- und Laserteile	79
5.3.4	Richtmaschinen für Brennteile	80
5.3.5	Richtmaschinen für die Luft- und Raumfahrt	82
5.3.6	Richtmaschinen für Lochbleche und Platinen	83
5.3.7	Zusatzeinrichtungen für Teilerichtmaschinen	84
6	Tipps und Tricks	86
7	Zusammenfassung	92
8	Glossar	98
8.1	Autor	104
8.2	Literaturverzeichnis	105
9	80 Jahre ARKU	108

Einleitung



I. Einleitung

Trotz weiter Verbreitung der Walzenrichtmaschinen ist in der Regel wenig über die Technologie dieser Maschinenart bekannt. Deshalb will ich mit den nachfolgenden Ausführungen versuchen, die beim Richten mit Walzenrichtmaschinen ablaufenden Vorgänge zu erklären.



In diesem Zusammenhang habe ich mir die Mühe gemacht, einschlägige Fachliteratur des Maschinenbaus, z.B. Dubbel oder Hütte, nach Angaben über das Richten mit Walzenrichtmaschinen zu durchforsten. Die spärlichen Angaben, falls überhaupt vorhanden, erklären die in **Abb. 1.1** dargestellte Wirkungweise etwa so:

„Bleche werden meist auf Richtmaschinen gerichtet. Dabei wird das Blech Wechselbiegungen unterworfen, die vom Einlauf zum Auslauf der Maschine hin kontinuierlich kleiner werden.“

Man wird das Gefühl nicht los, dass an dieser Erklärung entscheidende Dinge zum Verständnis fehlen.

Vielleicht bringt uns folgende Einordnung der Methode des Walzenrichtens weiter:

„Das Walzrichten ist im Bereich der Umformtechnik dem Biegen zugeordnet. Es ist ein Biegeverfahren mit drehender Werkzeugbewegung, wobei die Walzenachsen senkrecht oder geneigt zur Biegeebene stehen können“.

Das bringt uns zwar auch nicht entscheidend weiter, doch aus beiden Aussagen wird ein Sachverhalt ganz deutlich:

„Das Richtmaterial wird gebogen!“

Dazu sind aber Kräfte notwendig, die von den Richtwalzen auf das Material wirken müssen.

Um jetzt der Erklärung des Richtprinzips weiter nachgehen zu können, sollten wir zuerst die Wirkungen dieser Kräfte auf die meist metallischen Richtmaterialien untersuchen!



Grundlagen der Werkstoffkunde

2

2.1 Zug und Druck

2.2 Biegung

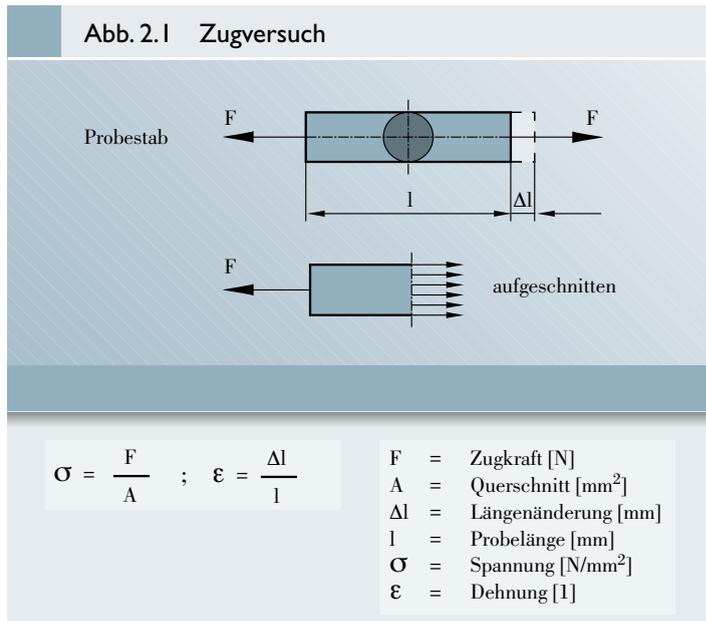
2. Grundlagen der Werkstoffkunde

Wir wollen also jetzt der Frage nachgehen, wie sich metallische Körper unter Belastung verhalten. Dabei beschränken wir uns auf Kräfteinwirkungen, die Zug-, Druck- oder Biegebeanspruchungen hervorrufen.

2.1 Zug und Druck

Das Verhalten der Körper wird in der Regel durch eine Reihe von festgelegten Prüfverfahren rein phänomenologisch untersucht. Hierbei liefert der in **Abb. 2.1** dargestellte *Zugversuch* die für die Beurteilung eines Werkstoffes wichtigsten Kennwerte.

Beim Zugversuch wird ein Probestab mit Querschnitt A durch eine Zugkraft F belastet. Abhängig von der Größe dieser Zugkraft dehnt sich der Stab um das Stück Δl , wie in der Abbildung angedeutet.

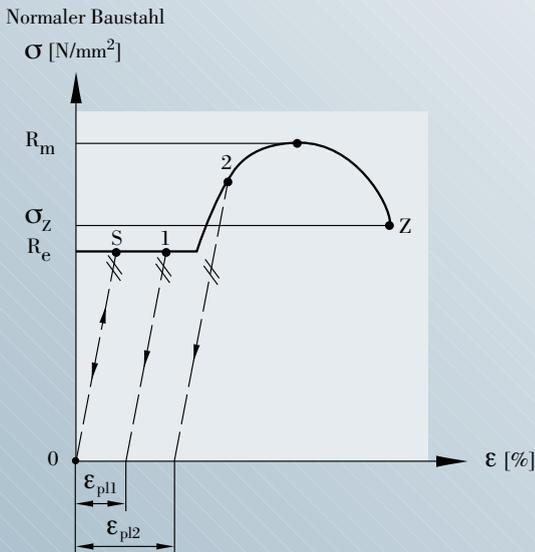


Denkt man sich den Körper irgendwo senkrecht zur Zugkraft F aufgeschnitten, so verteilt sich diese Zugkraft im Innern des Körpers über die gesamte Querschnittsfläche. Diese Verteilung nennt man *Spannung*, und man gibt sie durch kleine über den Querschnitt verteilte Pfeile an.

Entsprechend der äußeren Zugkraft F wird diese Spannung als Zugspannung σ bezeichnet. Sie ist zahlenmäßig die auf den Probenquerschnitt A bezogene Kraft F .

Es ist üblich, die Längenänderung Δl auf die ursprüngliche Probenlänge l zu beziehen. Dieses Verhältnis Δl zu l bezeichnet man als *Dehnung* ϵ .

Abb. 2.2 Ergebnis Zugversuch



R_e = Streckgrenze
 σ_z = Zerreißfestigkeit

R_m = Zugfestigkeit

Rein qualitativ erhält man jetzt aus dem Zugversuch das in **Abb. 2.2** vereinfacht dargestellte Ergebnis, das z.B. für einen normalen *Baustahl* Gültigkeit besitzt. In dieser Abbildung ist die Spannung σ über der Dehnung ϵ aufgetragen.

Betrachten wir zuerst den durch die Gerade OS gekennzeichneten Bereich. Bleibt man mit den Kräften bzw. Spannungen unterhalb des Grenzwertes R_e , der *Streckgrenze* oder auch *Fließgrenze* genannt wird, so treten nur elastische Dehnungen auf. Nach Wegnahme dieser Spannungen verschwinden die Dehnungen vollständig, der Körper federt zurück. Spannung und Dehnung sind einander direkt proportional, und der formelmäßige Zusammenhang wird durch das *Hookesche Gesetz*

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

angegeben. Die Proportionalitätskonstante E ist der *Elastizitätsmodul* des Werkstoffes.

Erhöht man die Spannung so stark, dass die Streckgrenze R_e erreicht wird, so gelangt man in den *Fließbereich* des Werkstoffes. Dieser Bereich ist durch die horizontal verlaufende Gerade gekennzeichnet. Zu den elastischen Dehnungen treten jetzt messbare plastische Dehnungen hinzu. Hier liegen also nebeneinander elastische und plastische Dehnungsanteile vor, sodass sich stets eine Gesamtdehnung

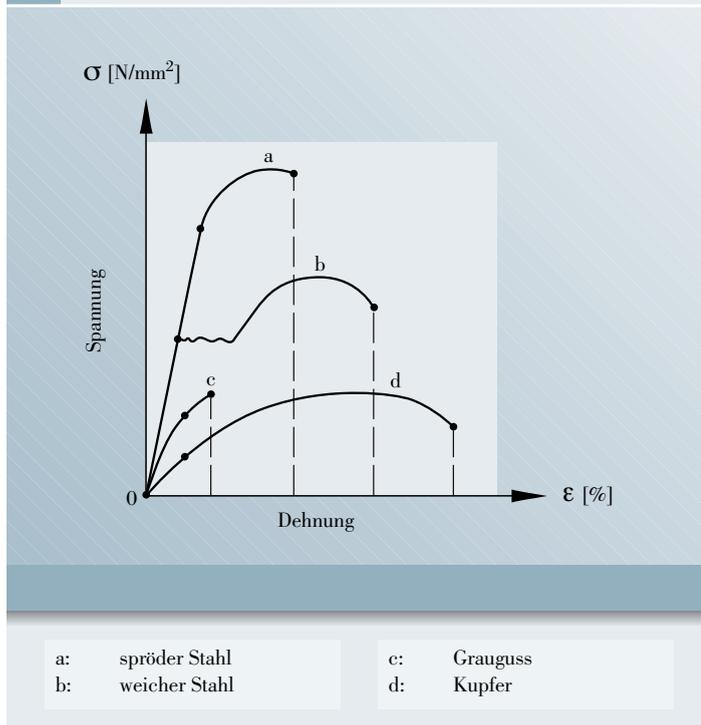
$$\epsilon_{ges} = \epsilon_{el} + \epsilon_{pl}$$

einstellt.

Entlastet man z.B. eine Probe vom Punkt „1“ aus, so findet ebenfalls ein Zurückfedern statt. Die elastische Dehnung geht entlang der strichpunktierten Linie parallel zur Hookeschen Geraden auf null zurück, es tritt jedoch eine plastische Dehnung ϵ_{pl} als bleibende Dehnung des Zugstabes auf.

An diesen durch die Streckgrenze R_e gekennzeichneten Fließbereich schließt sich jetzt der sogenannte *Verfestigungsbereich* an. Hier steigt die Spannung zunächst bis zum Erreichen des Höchstwertes, der *Zugfestigkeit* R_m , unter homogener Dehnung der Probe an. Danach schnürt sich die Probe unter Lastabfall lokal ein und geht im Punkt *Z*, der *Zerreißfestigkeit* σ_z , zu Bruch.

Abb. 2.3 Verfestigungskurven metallischer Werkstoffe



Entlastet man eine Probe z.B. vom Punkt „2“ aus im Verfestigungsbereich, so geht die elastische Dehnung wieder auf null zurück, und ϵ_{p12} tritt als bleibende Dehnung auf.

Wie aus **Abb. 2.3** zu erkennen ist, besitzen natürlich nicht alle metallischen Werkstoffe den soeben gezeigten Verlauf der *Verfestigungskurve*.

In dieser Abbildung sind die Verfestigungskurven für einen spröden und einen weichen Stahl sowie für Grauguss und weichgeglühtes Kupfer dargestellt.

Alle Kurven haben einen mehr oder weniger stark ausgeprägten linearen Anfangsbereich, also eine Hookesche Gerade. Spröder Stahl, Grauguss und Kupfer haben praktisch keine Streckgrenze, d.h., der Übergang vom elastischen in den elastisch-plastischen Verformungsbereich verläuft kontinuierlich. Bei solchem Verhalten tritt an die Stelle der Streckgrenze R_e die Dehngrenze $R_{p0,2}$. Das ist die Spannung, die eine bleibende Dehnung von 0,2 % hervorruft. Im Vergleich zu Kupfer oder weichem Stahl besitzt spröder Stahl einen sehr schwach ausgeprägten plastischen Bereich. Grauguss hat praktisch keine nennenswerte plastische Verformung. Der weiche Stahl weist das bereits eingehend diskutierte Verhalten auf.

In der Praxis ist es natürlich auch wichtig zu wissen, wie sich ein Werkstoff unter Druckbelastung verhält. Hierbei liefert der *Druckversuch* die zur Beurteilung einer Druckbeanspruchung notwendigen Kennwerte.

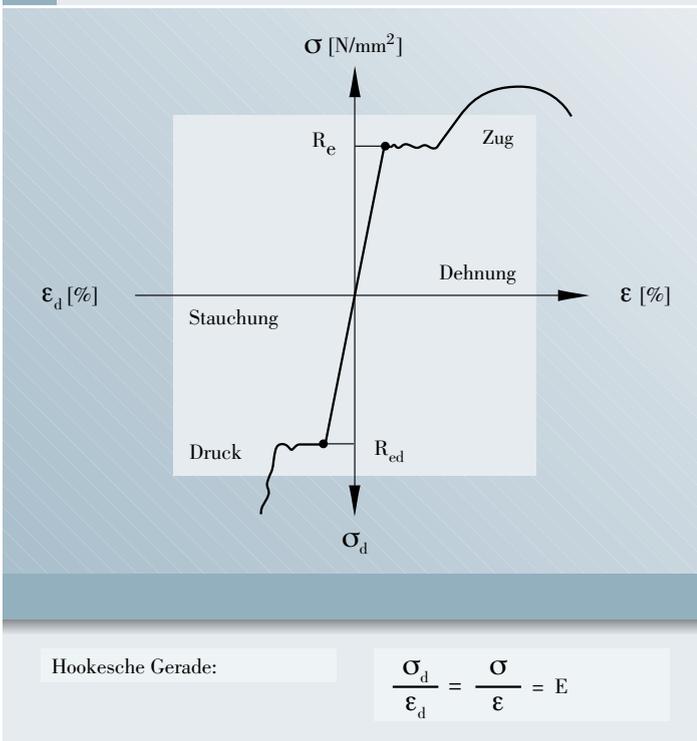
Die **Abb. 2.4** zeigt die Verfestigungskurve für Zug und Druck, wiederum am Beispiel eines normalen Baustahls.

Die Druckspannung σ_d bewirkt eine Verkürzung, d.h. Stauchung ϵ_d des Probekörpers. Das Verhältnis σ_d zu ϵ_d ist allerdings in der Regel das gleiche wie beim Zugversuch, nämlich dem Elastizitätsmodul E . Die Hookesche Gerade gilt also auch im Druckbereich.

An die Stelle der Streckgrenze R_e tritt im Druckbereich die *Quetschgrenze* R_{ed} , die bei zähen Werkstoffen den Beginn plastischer Verformungen kennzeichnet. In der Regel stimmen R_e und R_{ed} überein.

Ein der Zugfestigkeit entsprechender Wert für die *Druckfestigkeit* lässt sich nur bei spröden Werkstoffen feststellen.

Abb. 2.4 Verfestigungskurven für Zug und Druck



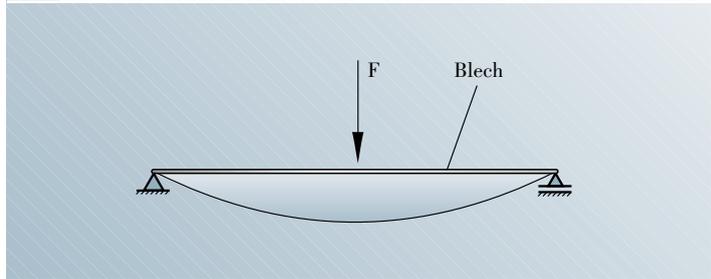
Ein zäher Werkstoff kann praktisch ohne Zerstörung zusammengequetscht werden.

Nach dieser Betrachtung der Beanspruchungen durch Zug und Druck wenden wir uns nun der Beanspruchung durch Biegung zu.

2.2 Biegung

Die **Abb. 2.5** zeigt ein beidseitig gelagertes gerades Stück Blech, das durch eine senkrecht wirkende Kraft F mittig beansprucht wird. Unter der sich als *Biegemoment* äußernden Wirkung der Kraft biegt sich das Blech entsprechend der dünnen Linie durch und es entstehen Spannungen.

Abb. 2.5 Biegebeanspruchung

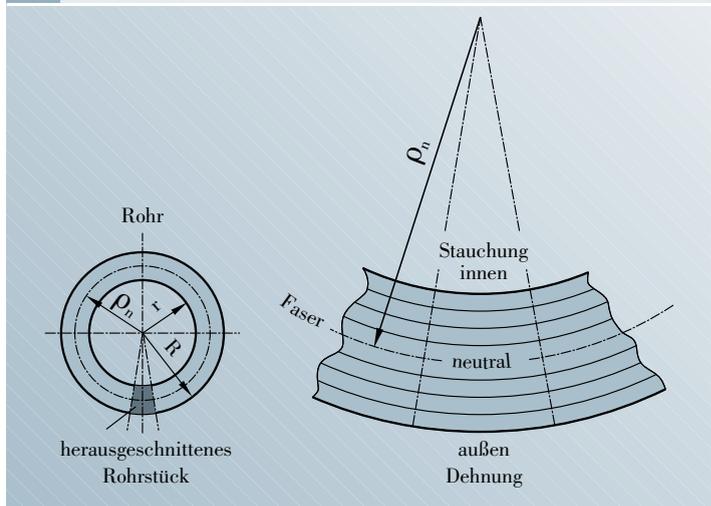


Greifen wir uns gemäß **Abb. 2.6** ein gebogenes Teilstück des Bleches heraus, so gilt Folgendes:

Innen liegende Fasern des Werkstoffes werden gestaucht, außen liegende Fasern werden gedehnt. Dazwischen liegt eine Faser, die weder gestaucht noch gedehnt wird. Sie wird *neutrale Faser* genannt.

Zum besseren Verständnis betrachten wir das nebenstehend gezeichnete Rohr mit dem Außenradius R und dem Innen-

Abb. 2.6 Gebogenes Teilstück



die neutrale Faser in der Mitte des Querschnitts verläuft. Die Dehnungen und Stauchungen der einzelnen Fasern nehmen linear mit dem Abstand von der neutralen Faser zu. Dieser Zusammenhang wird durch die oben stehende Formel beschrieben, worin n der Abstand von der neutralen Faser ist. Man beachte, dass Stauchungen negative Dehnungen sind.

Bei elastischer Beanspruchung gilt das Hookesche Gesetz, d.h., Spannung und Dehnung sind linear miteinander verknüpft. Damit erhält man einen entsprechend der Dehnung linear verteilten Spannungsverlauf, die *Biegespannungsverteilung* genannt wird. Die innen liegenden, gestauchten Fasern erfahren eine Druckspannung, die außen liegenden, gedehnten Fasern dagegen eine Zugspannung. An den Rändern sind die Spannungen und Dehnungen betragsmäßig am größten; man bezeichnet sie als *Randspannungen* σ_R und *Randdehnungen* ϵ_R .

Es sei noch bemerkt, dass die neutrale Faser dann in der Querschnittsmitte liegt, wenn neben der Biegebeanspruchung keine zusätzliche Zug- oder Druckbeanspruchung vorliegt.

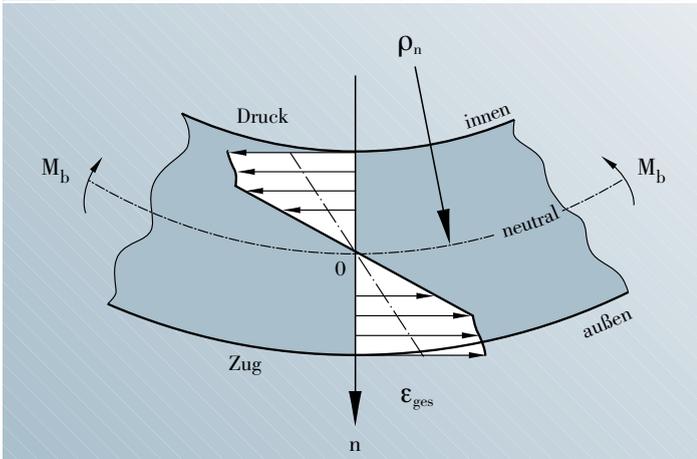
Bleiben die Maximalwerte der Randspannungen σ_R unter der Streckgrenze R_e , so federt das gebogene Teil nach Wegnahme der Kraft F wieder in seine gerade Ausgangslage zurück.

Wird jetzt die Kraft F und damit deren Biegemoment M_b so gesteigert, dass der obige Grenzwert R_e erreicht und überschritten wird, so treten zuerst in den Randfasern plastische Dehnungen auf. Mit steigendem Biegemoment werden nach und nach tiefer liegende Fasern erfasst und ebenfalls plastisch verformt. Die plastische Verformung ist aber stets durch weiter innen liegende, noch elastisch verformte Fasern behindert.

Diese *elastisch-plastische Biegebeanspruchung* hat den in **Abb. 2.8** qualitativ dargestellten Spannungs- und Dehnungsverlauf.

Man erkennt, dass nur in Bereichen nahe der Blechmitte eine linear mit dem Abstand von der neutralen Faser anwachsende

Abb. 2.8 Elastisch-plastische Biegebeanspruchung



Spannung vorliegt. In den Randbereichen stellt sich die der jeweiligen Gesamtdehnung entsprechende Fließspannung ein.

Die strichpunktierte Linie zeigt den Verlauf der Gesamtlängsdehnung ϵ_{ges} an. Sie wächst weiterhin linear mit dem Abstand von der neutralen Faser an.

Entfernt man jetzt wiederum die Kraft F , so wird das Blech zwar ebenfalls zurückfedern, es wird aber seine gerade Ausgangslage nicht mehr erreichen. Es bildet sich eine bleibende Krümmung mit entsprechenden *Restspannungen* aus.

Umgekehrt kann ein derart gebogenes Blech durch entsprechendes Gegenbiegen unter Berücksichtigung des Zurückfederns wieder in den planen Zustand übergeführt werden. Das ist aber ein entscheidender Punkt, der uns eingangs zum Verständnis des Wirkungsprinzips gefehlt hat, nämlich:

„Gegenbiegen unter Berücksichtigung des Zurückfederns!“

Der Vorgang Biegung und Gegenbiegung entspricht also dem Wirkungsprinzip von Walzenrichtmaschinen. Dabei muss die Fließgrenze des zu richtenden Materials überschritten werden, wobei gleichzeitig sichergestellt sein muss, dass das Material in keinsten Weise beschädigt werden darf. Dies ist aber z.B. bei spröden Materialien leicht der Fall, da hier bei überelastischer Biegung Risse an der Oberfläche entstehen können.

Daraus wird deutlich, dass Werkstoffe mit ausgeprägter Fließgrenze und mit ausreichendem Abstand zwischen Fließgrenze und Zugfestigkeit gut richtbar sind.

Als Faustregel ausgedrückt:

*„Was biegsam ist,
ist auch richtbar!“*

Damit wollen wir den Ausflug in die Werkstoffkunde beenden und uns der Frage nach dem Zusammenspiel *Richtmaschine–Richtmaterial* zuwenden.