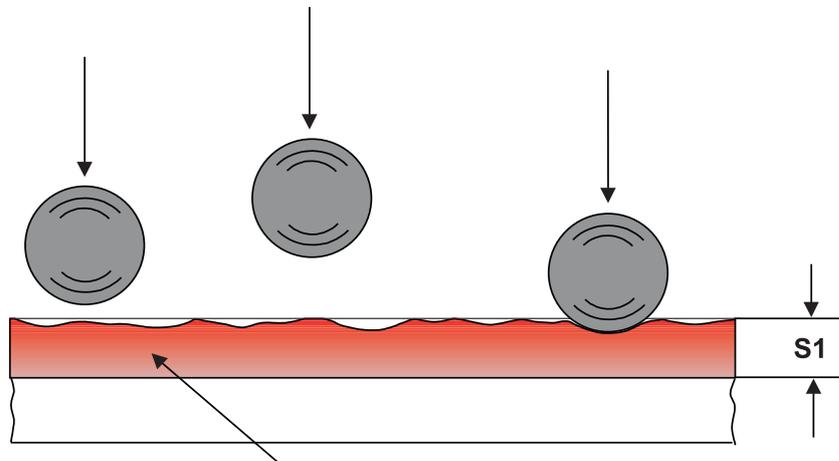
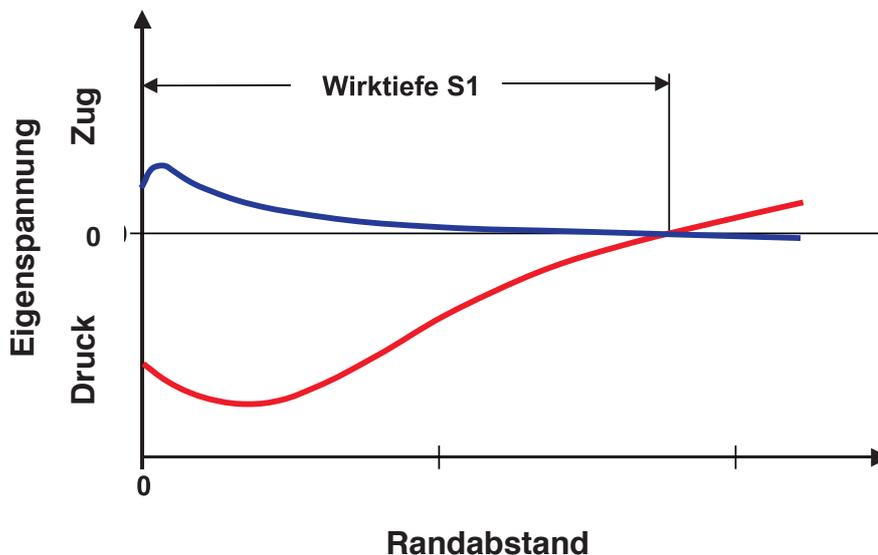


Einflüsse auf Werkstoff und Bauteil durch Verfestigungsstrahlen



Plastifizierte Zone



	ungestrahlt
	verfestigungsgestrahlt

Beim Verfestigungsstrahlen werden durch gezielten Beschuss mit durch Pressluft oder Fliehkraft beschleunigten, kugelförmigen Partikeln, die wie winzige Schmiedehämmer wirken, begrenzte plastische und elastische Verformungen in der Bauteilrandschicht erzeugt. Bei der Herz'schen Pressung werden die plastische und elastische Verformung unter der Oberfläche erzeugt. Beide Wirkungen treten stets nebeneinander auf und werden durch die Strahlkenngrößen beeinflusst. Die elastische Verformung induziert in der plastifizierten Zone hohe Druckeigenstressungen. Das Bauteil wird durch die induzierte Druckeigenstressung an bzw. unter der Oberfläche von externen Zugspannungen entlastet und die Dauerschwingfestigkeit und die Beständigkeit gegen Spannungsriss- und Schwingungsrisskorrosion wird gesteigert. Gleichzeitig wird die Entstehung und Fortpflanzung von Rissen behindert.



Anwendungsbeispiele

Fahrzeuge und Landmaschinen

Achswellen, Radwellen, Antriebswellen, Gelenkwellen, Planetenradträger, Gabelflansche, Kreuzgelenke, Achsschenkelbolzen, Schaltstangen, Felgen, Stabilisatoren, Kupplungshebel, Kupplungsfedern, Kupplungsscheiben, Kugelstangen, Turbinenräder, Achsfedern

Antriebstechnik und Getriebebau

Zahnräder, Ritzel, Hohlräder, Tellerräder, Schneckenwellen, Ankerwellen, Triebstockräder, Schneckenräder, Hypoidräder, An- und Abtriebswellen

Verbrennungsmotore

Pleuelstangen, Zylinderlaufbuchsen, Ventilkipphebel, Ventulfedern, Ventilstößel, Tassenstößel, Kurbelwellen, Nockenwellen, Kolbenkronen, Kolbenbolzen, Kettenlaschen, Kettenräder

Dampf- und Gasturbinen

Radscheiben, Turbinenschaufeln, Turbinenläufer

Kompressoren und Pumpen

Gehäuse, Laufräder, Leitapparate, Stopfbuchskörper, Ventilplättchen, Ventilsitze, Ventilkörper, Verdichterschrauben, Kurbelwellen, Flügelräder, Wellen, Zylinder

Elektrische und pneumatische Werkzeuge

Zylinder, Zylindermäntel, Schlagkolben, Ambosse, Werkzeugträger, Trägerbügel, Tragstifte, Treiber, Antriebsblöcke, Taumeltriebe, Mitnehmer, Handgriffe, Hammerbohrer, Bohrkronen, Bohrer

Luft- und Raumfahrt

Integrale Strukturteile, Fahrwerkskomponenten, Lenkringe, Kolbenrohre, Kolben und Zylinder, An- und Abtriebswellen, Felgen, Lande- und Steuerklappen

Maschinenteile

Extruderwellen, Schneckenwellen, Schneckenbuchsen, Spindeln, Dehnschrauben, Passschrauben, Mitnahmeverzahnungen, Drehstabfedern, Federn aller Art, Membranen, Mitnehmerflansche, Verschlussschieber, Schmiedestempel, Gesenke, Lagerringe, Lagerkäfige, Laufrollen, Sollbruchsicherungen etc.

Chemische Geräte

Rührer, Zentrifugen, Mischer, Trockner, Wendelförderer, Wärmetauscher, Kolonnen, Behälter, Tauchrohre, Kompensatoren, Schwingförderer

Sonderanwendungen

Verdichten, Raustrahlen, Strukturstrahlen, Reinigen, Formen, Richten, Mattieren, Entgraten, Glätten, Gravieren, Entzundern, Abtragen, Dekontaminieren



Verfahren zur Erzeugung von Druckeigenstressungen

Wärmebehandlung

- Einsatzhärten
- Induktionshärten
- Flammhärten
- Nitrieren
- Abschreckhärten
- etc.

Kaltverformung

- Verfestigungsstrahlen
- Festwalzen
- Fließverfestigen
- Kalibrieren
- Autofrettieren
- etc.



Verfestigungsstrahlen induziert Druckeigenstressungen in der Randschicht

Druckeigenstressungen können durch verschiedene Prozesse induziert werden.

Verfestigungsstrahlen hat besondere Vorteile:

- kurze Vorlaufzeiten
- geringe Vorrichtungs- und Werkzeugkosten
- Form- und Größenunabhängigkeit
- erzeugt im Vergleich die höchsten Druckeigenstressungen an der Oberfläche
- ist besonders wirkungsvoll bei Stoß- und Schlagbeanspruchung
- ist besonders wirkungsvoll bei hochfesten Werkstoffen und bei hohen Spannungskonzentrationen

Verfestigungsstrahlen ist kein Ersatz für Wärmebehandlungen, aber eine sehr wirksame zusätzliche Maßnahme zur Steigerung der Dauerschwingfestigkeit gehärteter Bauteile.



Einflüsse und Verfahrensziele beim Verfestigungsstrahlen

Einflüsse beim Verfestigungsstrahlen

Verfestigungsstrahlen

- verändert den Spannungszustand im Bauteil
- verändert das Gefüge in der Bauteilrandzone
- steigert die Härte in der Bauteilrandzone
- verändert die Oberflächentopographie

Verfahrensziele beim Verfestigungsstrahlen

Verfestigungsstrahlen

- steigert die Schwingfestigkeit
(Zeit und Dauerfestigkeit)
- steigert die Korrosionsbeständigkeit
(Spannungsrissskorrosion und Schwingungsrissskorrosion)
- reduziert den Schwingungsverschleiß
(Passungsrost und Reibkorrosion)
- steigert die Verschleißfestigkeit
(Reibung und Kavitation)



Vorteile durch Verfestigungsstrahlen

Das wichtigste Ziel der Maßnahme ist die Steigerung der Dauerschwingfestigkeit.

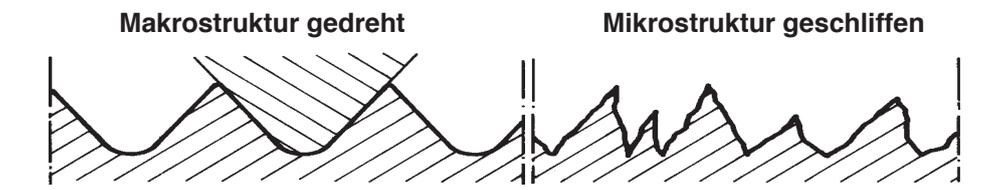
Höhere Dauerschwingfestigkeit bedeutet:

- geringeres Gewicht bei gleicher Leistung
- höhere Leistung bei gleichem Gewicht
- kleinere Abmessung bei gleicher Leistung
- höhere Leistung bei gleicher Abmessung
- größere Werkstoffauswahl bei gleicher Leistung
- höhere Leistung bei gleichem Werkstoff
- niedrigere Oberflächenqualität bei gleicher Leistung
- höhere Leistung bei gleicher Oberflächenqualität
- höhere Sicherheit gegen Bauteilversagen
- längere Lebensdauer der Bauteile
- Ertüchtigung nach Betriebsversagen
- Wettbewerbsvorteile durch die Produktaufwertung
- Kostensenkung im Service und bei Gewährleistung

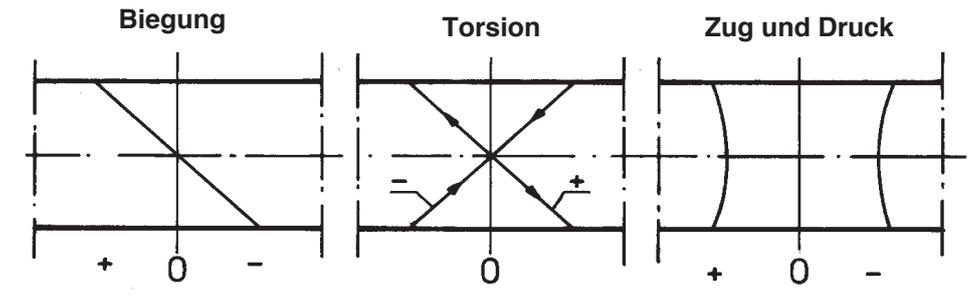
Die Steigerung der Schwingfestigkeit ist bei hochfesten und gehärteten Bauteilen, bei dünnen Bauteilen, bei Bauteilen mit hohen Kerb- und Formfaktoren und bei Stoßbelastungen relativ am Größten.

Oberflächenschwächen

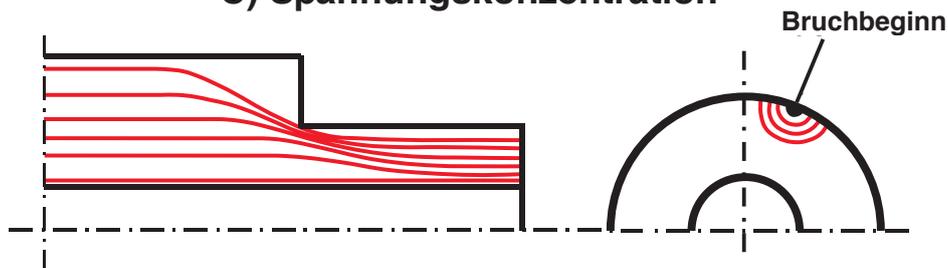
A) Kerbwirkung



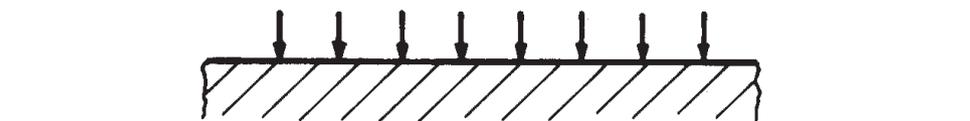
B) Spannungsverteilung



C) Spannungskonzentration



D) Korrosion



E) Korneinbindung



Schadensanalysen zeigen, dass, von seltenen Ausnahmen abgesehen, die Schäden an Bauteilen unter Betriebsbedingungen von der Oberfläche ausgehen.

Die Gründe dafür sind vielfältig:

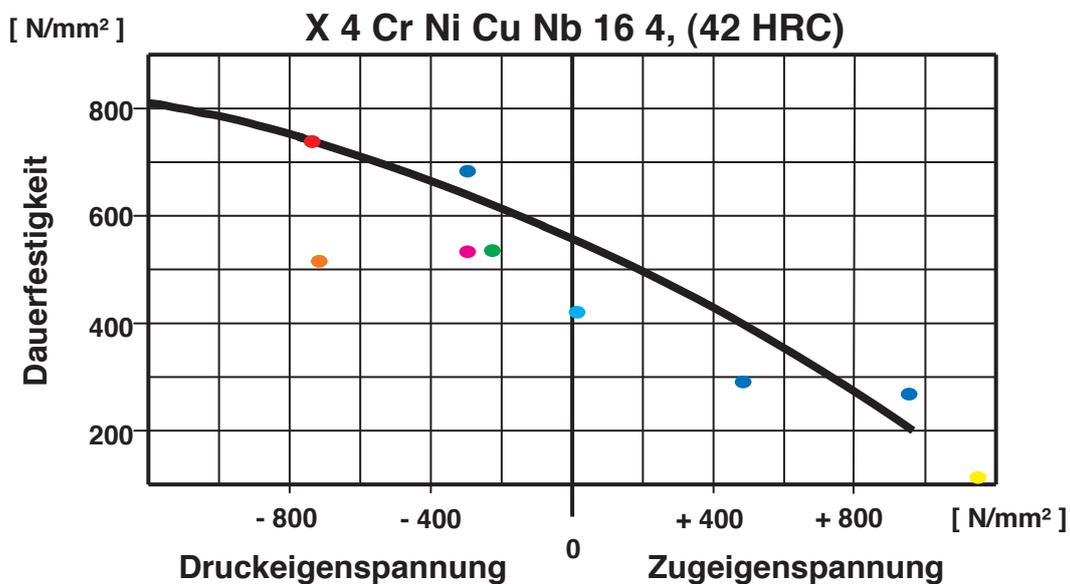
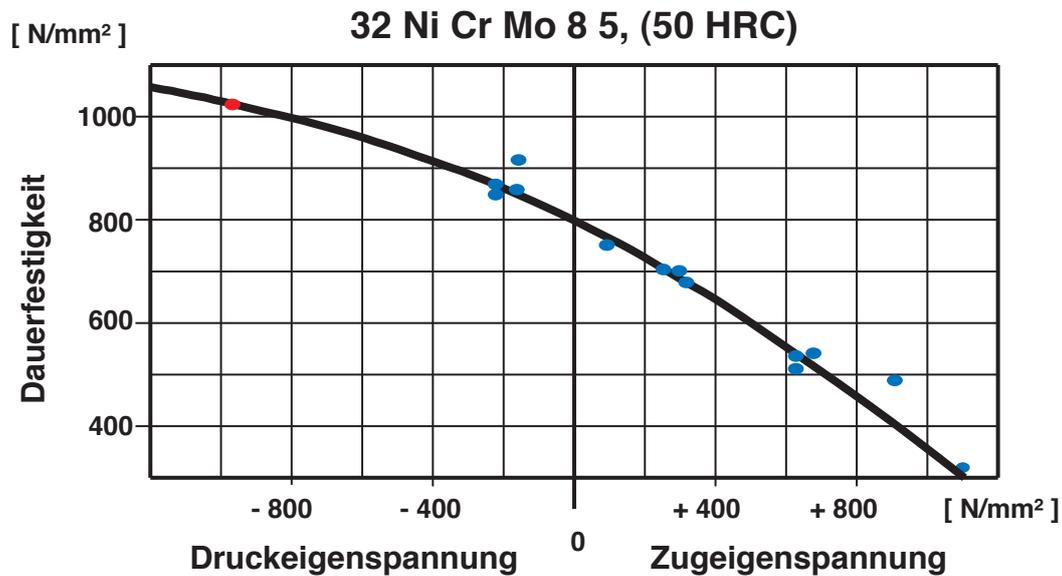
- mechanische Bearbeitung erzeugt Kerben
- die höchste Spannung bei fast allen Belastungsarten findet sich an der Oberfläche
- Korrosion startet fast immer an der Oberfläche
- die Korneinbindung ist an der Oberfläche durch die Bearbeitung geschwächt

Verfestigungsstrahlen verlagert die hohen Eigenspannungen von der Oberfläche in das Innere der Bauteile (siehe Seite 16 und 17).

Aus diesem Grund erhöht Verfestigungsstrahlen bei hochfesten und gehärteten Werkstoffen besonders wirkungsvoll die Schwingfestigkeit und die Lebensdauer.



Eigenstress und Dauerfestigkeit



●	geschliffen
●	gefräst (gebrauchtes Werkzeug)
●	gefräst (neues Werkzeug)
●	chemisch abgetragen

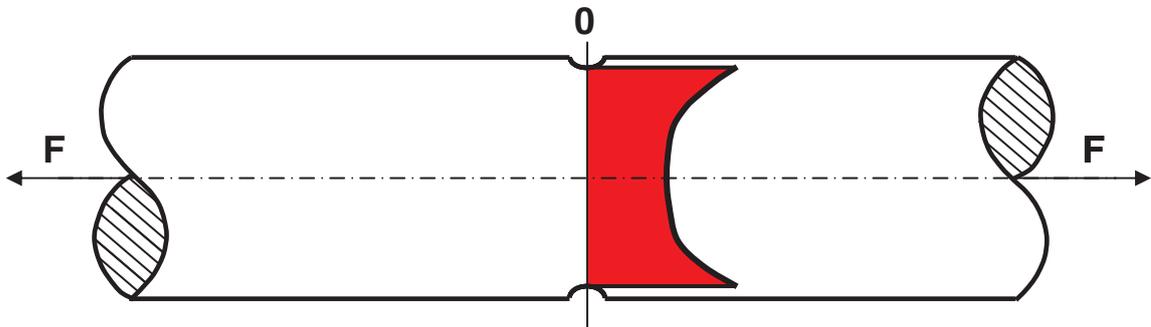
●	funktenerosiv abgetragen
●	gedreht
●	verfestigungsgestrahlt

Die Eigenstress an der Oberfläche eines Bauteiles steht im direkten Zusammenhang mit seiner Dauerschwingfestigkeit.

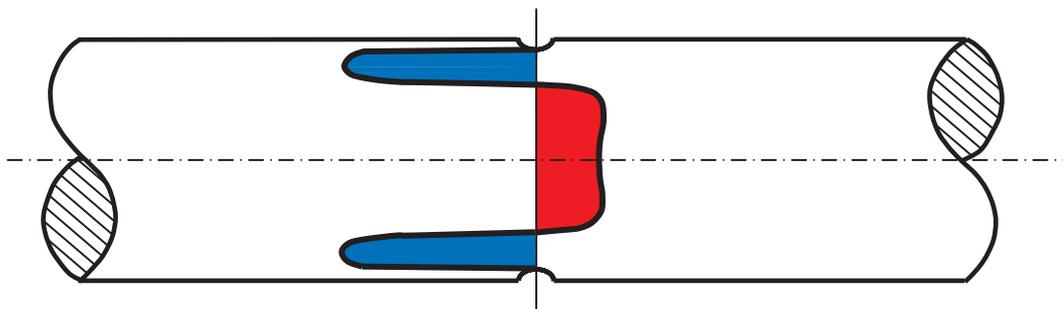
Verfestigungsstrahlen induziert in der Bauteilrandschicht hohe Druckeigenstressungen, die sich mit den Betriebsspannungen überlagern und zu einer deutlichen Entlastung der Oberfläche durch die Reduzierung der Zugspannungskomponente führt. An der Oberfläche geschwächte Bauteile (z. B. durch Beschichtung, Entkohlung, Aufkohlung, Entfestigung, Korrosion und mechanische Bearbeitung) verlieren dramatisch an Dauerfestigkeit. Verfestigungsstrahlen ertüchtigt diese Bauteile und stellt in der Regel deren Dauerfestigkeit im ungeschädigten Zustand wieder her.

Spannungsverlagerung durch Verfestigungsstrahlen

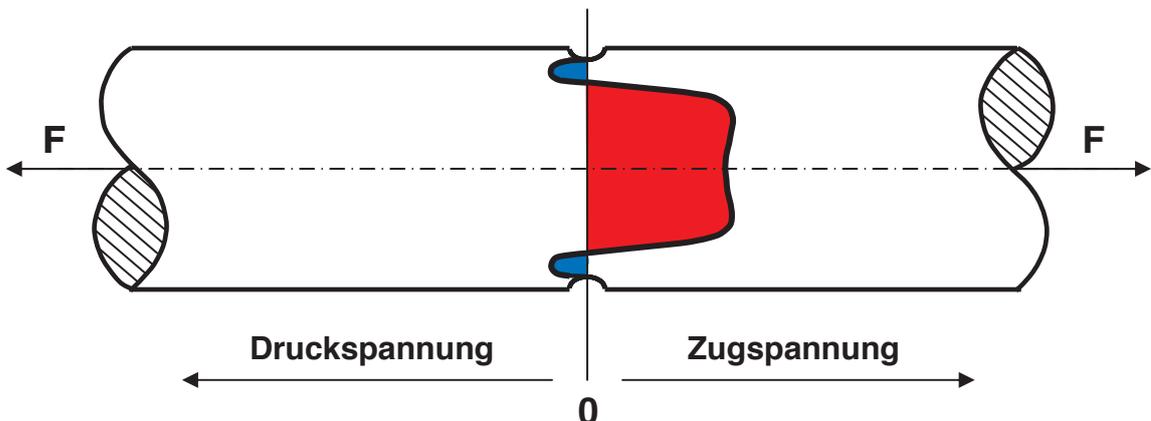
A) unter Zugspannung, ungestrahlt



B) durch Verfestigungsstrahlen induzierte Eigenspannung



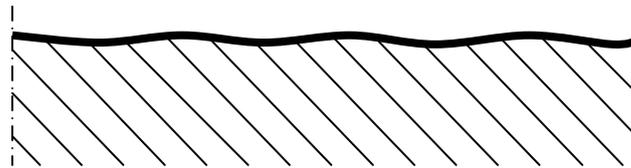
C) Resultierende aus Zug- und Eigenspannung



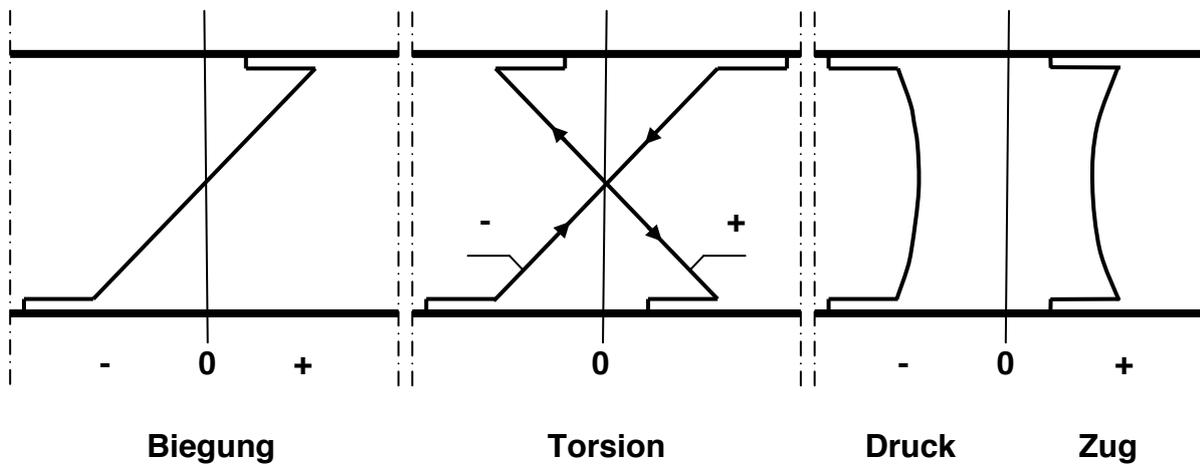
Verfestigungsstrahlen verändert nur in unbedeutendem Maße die physikalischen Eigenschaften der Bauteile wie Festigkeit, Zähigkeit, Gefüge und Härte. Der Vorteil und Nutzen des Verfahrens liegt in der Verlagerung der Zugspannung in das Innere der Bauteile.



Spannungsverlagerung und Oberflächenstruktur durch Verfestigungsstrahlen



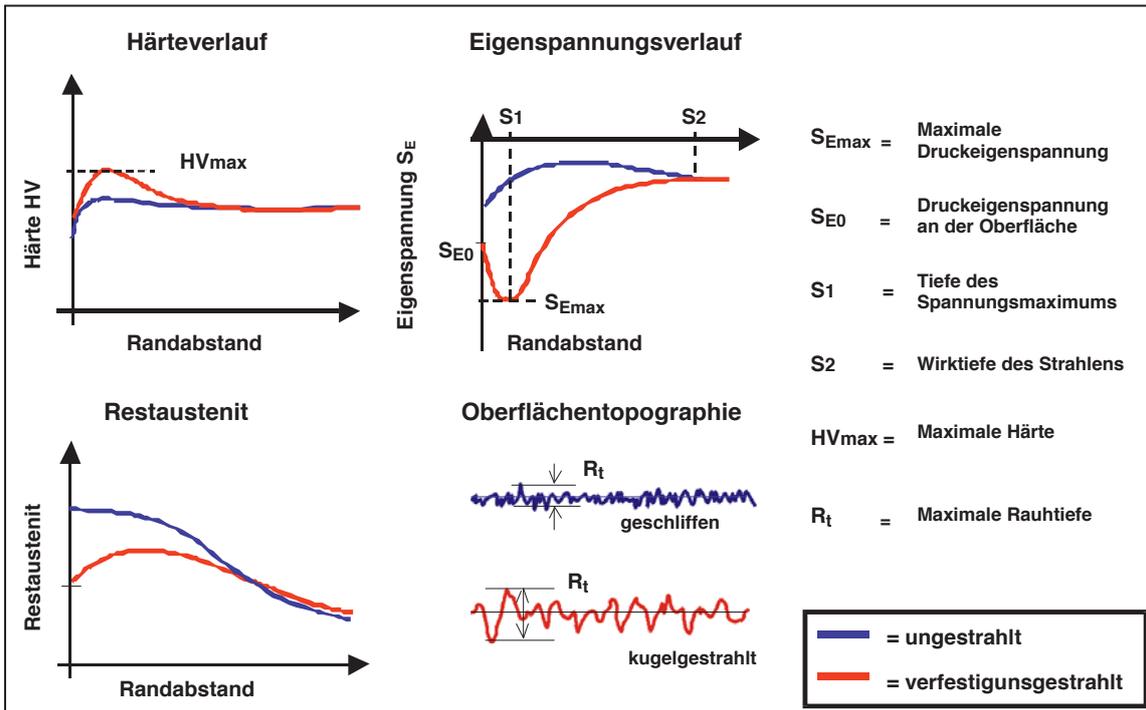
Makrostruktur



Spannungsverlagerung

Die positive Veränderung der Oberflächentopographie und die Steigerung der Härte in der Randschicht sind Nebeneffekte, die je nach Einsatz und Anwendung, positiv oder auch negativ sein können. Unzulässige Oberflächenqualitäten können im Anschluss an das Verfestigungsstrahlen durch geeignete Verfahren (z. B. Verfestigungsstrahlen im "DUO Prozess", Gleitschleifen, Polieren, Läppen, etc.) nachgebessert werden (siehe Seite 85).

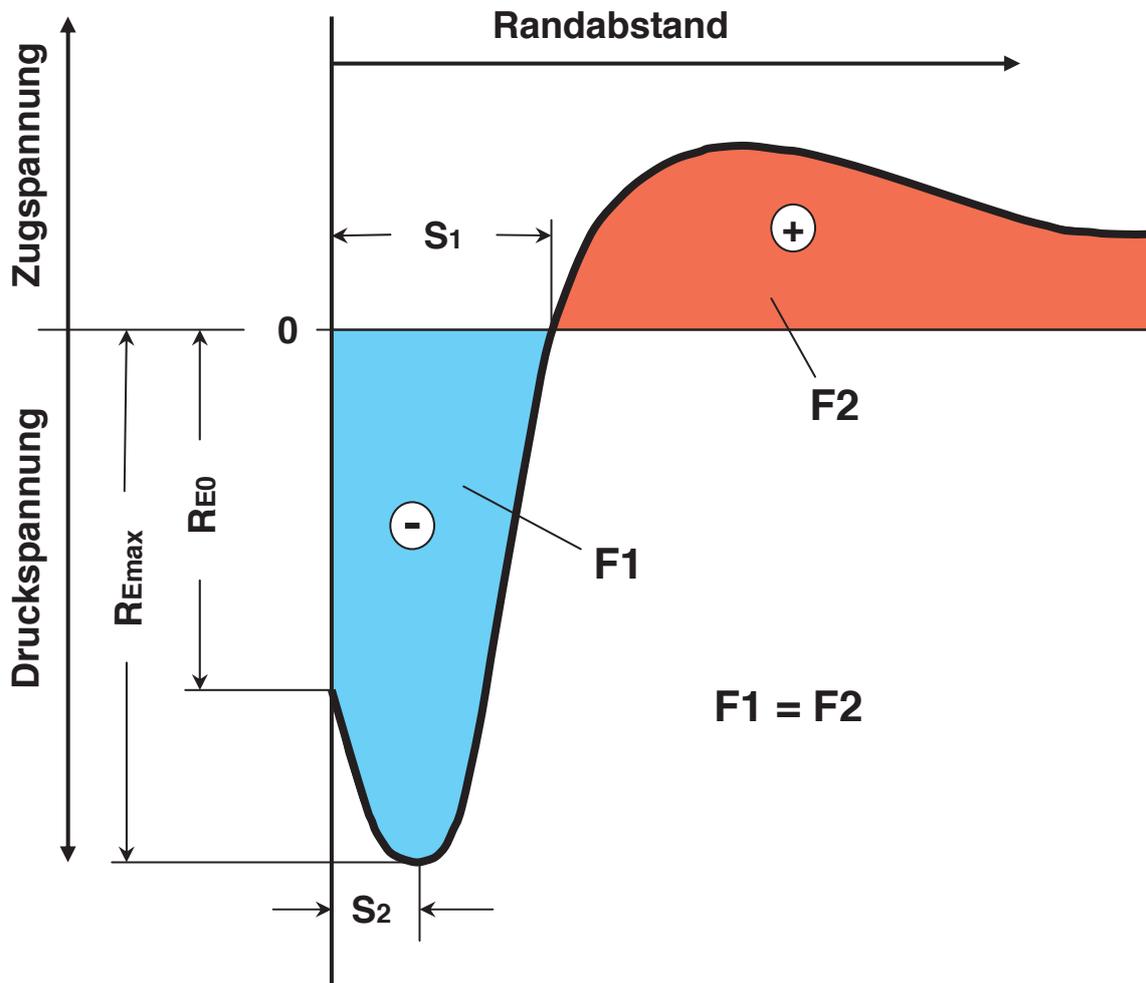
Strahlkenngrößen und Auswirkungen beim Verfestigungsstrahlen



	Druckluftstrahlen	Schleuderstrahlen
Wahl des Strahlsystemes		
Strahlmittel-geschwindigkeit und -aufreffwinkel		
Kornklasse und Dichte des Strahlmittels		
Härte des Strahlmittels		
Strahlmitteltreffer während der Strahldauer	Strahlmittelbedeckungsgrad	

Verfestigungsstrahlen verändert den Spannungszustand, die Oberflächentopographie, die Härte und das Gefüge in der Randschicht von metallischen Bauteilen. Die Auswirkungen werden durch das Zusammenspiel von Strahlkenngrößen, Plastifizierung und Werkstoffeigenschaften beeinflusst.

Eigenstressverlauf und Funktionen beim Verfestigungsstrahlen



RE_{max} = maximale Druckeigenstressung

RE_{max} = f [Werkstoff, Strahlmittel, Vorspannung]

RE_0 = Druckeigenstressung an der Oberfläche

RE_0 = f [Werkstoff, Strahldauer, Strahlintensität, Strahlmittel, Vorspannung]

S_1 = Druckspannungsschichtdicke (Null - Durchgang)

S_1 = f [Werkstoff, Strahlintensität, Strahldauer]

S_2 = Tiefe des Spannungsmaximum

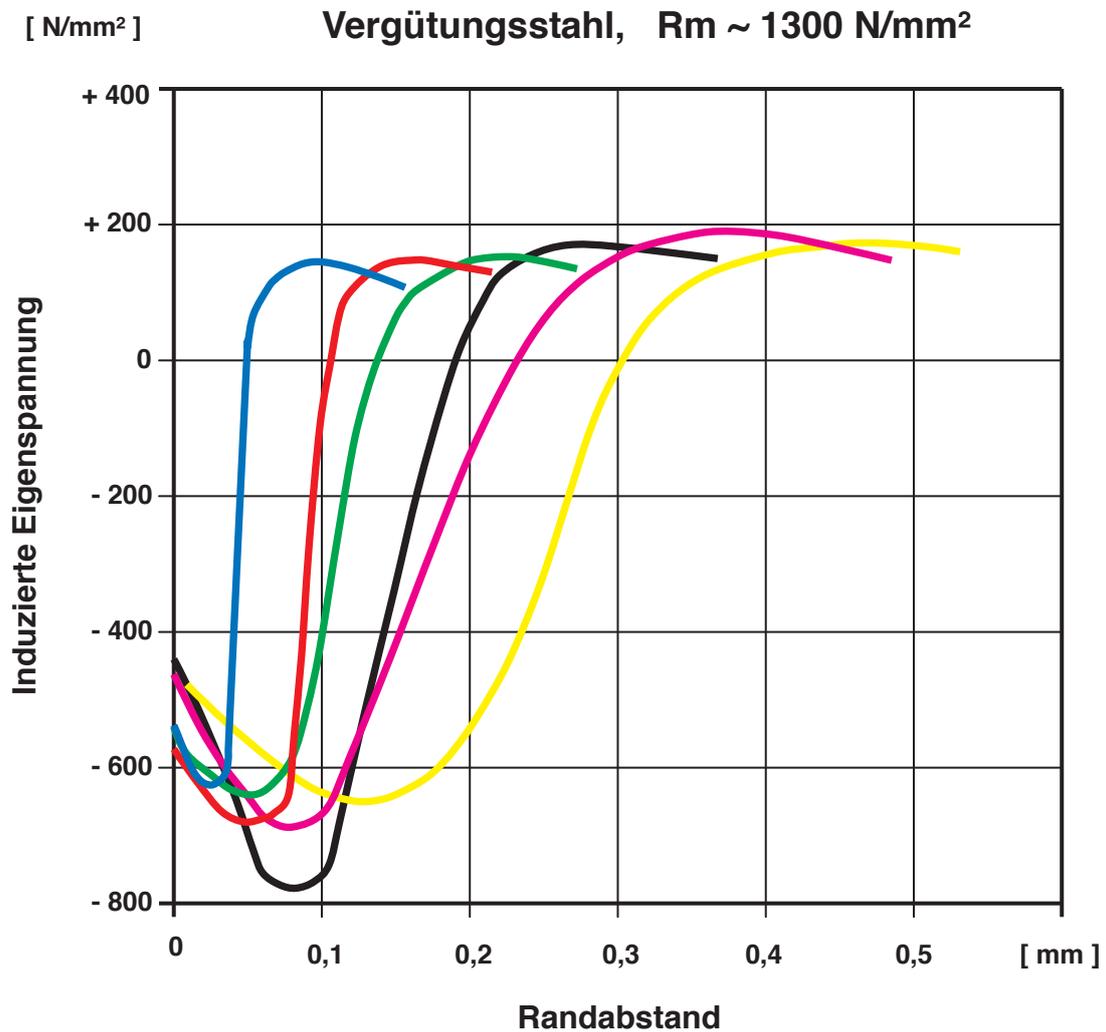
S_2 = f [Werkstoff, Strahldauer, Strahlintensität]

Für das wichtigste Ziel der Maßnahme, die Steigerung der Schwingfestigkeit, ist der Tiefenverlauf der Druckeigenstressung die entscheidende Kenngröße.

Die Spannung an der Oberfläche, das Spannungsmaximum, die Schichtdicke der plastifizierten Zone und die Tiefenlage des Spannungsmaximums können durch die richtigen Strahlkenngrößen an die Betriebsbelastungen angepasst werden.



Druckeigenspannungstiefenverlauf durch Verfestigungsstrahlen

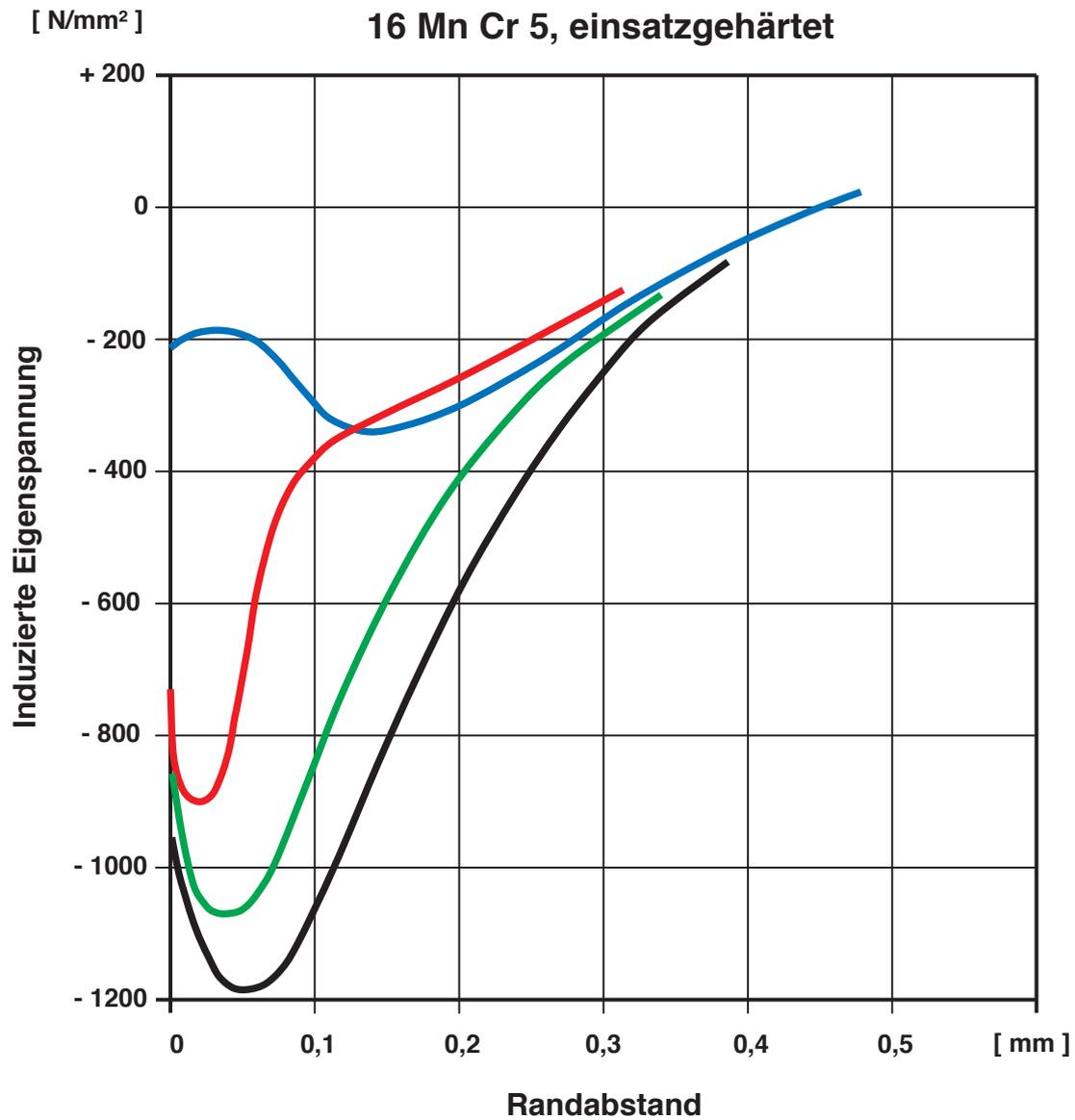


Kennlinie	Strahlintensität [mm A]	Sollkörnung [mm Ø]	Strahlmittel-Bedeckungsgrad
	0,10	0,3	98 %
	0,18	0,3	2 x t 98 %
	0,22	0,6	98 %
	0,30	0,6	2 x t 98 %
	0,38	1,6	98 %
	0,48	1,6	2 x t 98 %

Unterschiedliche Werkstoffe, Wärmebehandlungen und Strahlkenngrößen ergeben unterschiedliche Druckeigenspannungstiefenverläufe.



Druckeigenspannungstiefenverlauf durch Verfestigungsstrahlen

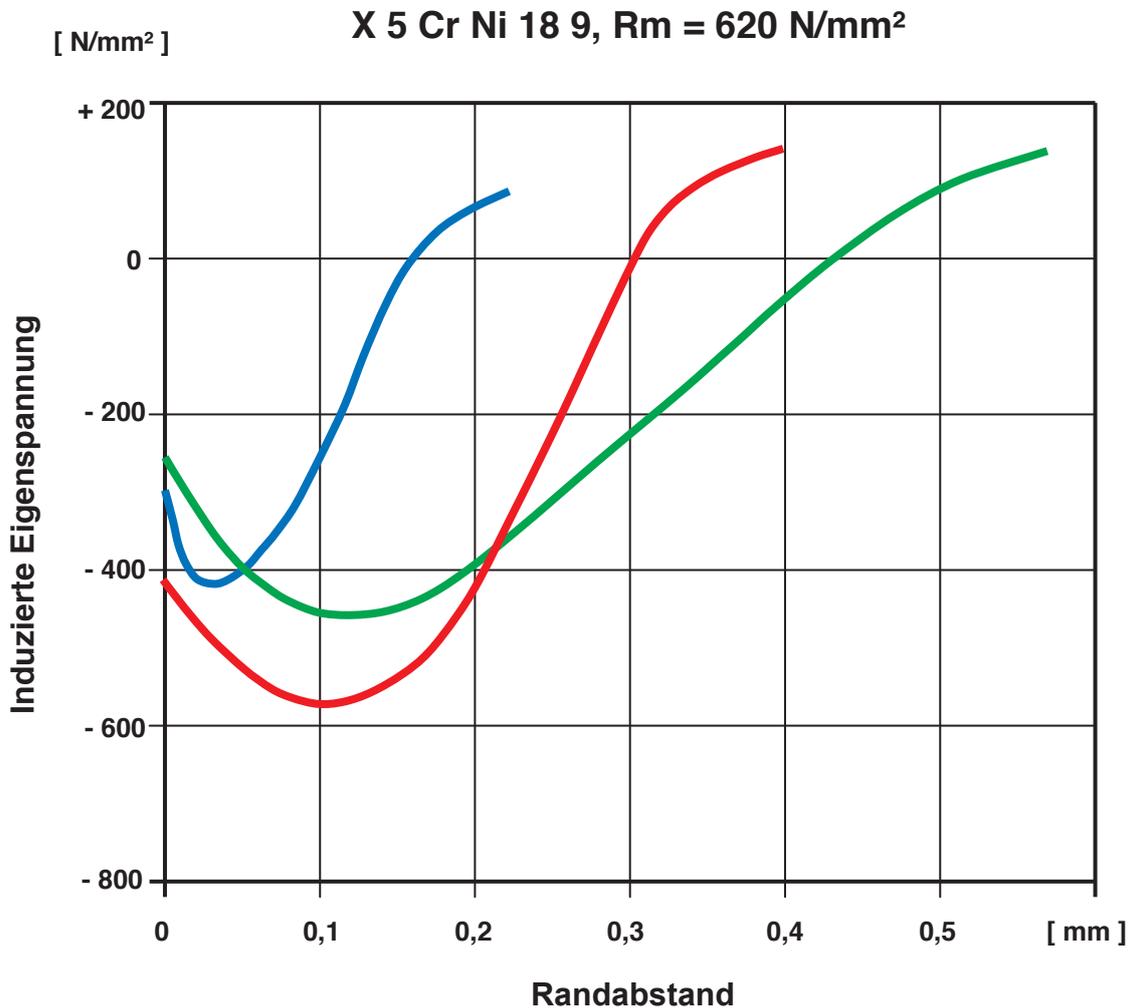


Kennlinie	Strahlintensität [mm A]	Strahlmittel-Bedeckungsgrad	Strahlmittelhärte [HRC]
—	—	—	—
—	0,25	98 %	46 - 51
—	0,55	98 %	46 - 51
—	0,55	98 %	53 - 58

Nur ausgewogene, an die Belastung, den Werkstoff und das Bauteil angepasste Strahlkenngrößen, führen zum Ziel der Maßnahme und liefern die gewünschten Ergebnisse.



Druckeigenspannungstiefenverlauf durch Verfestigungsstrahlen

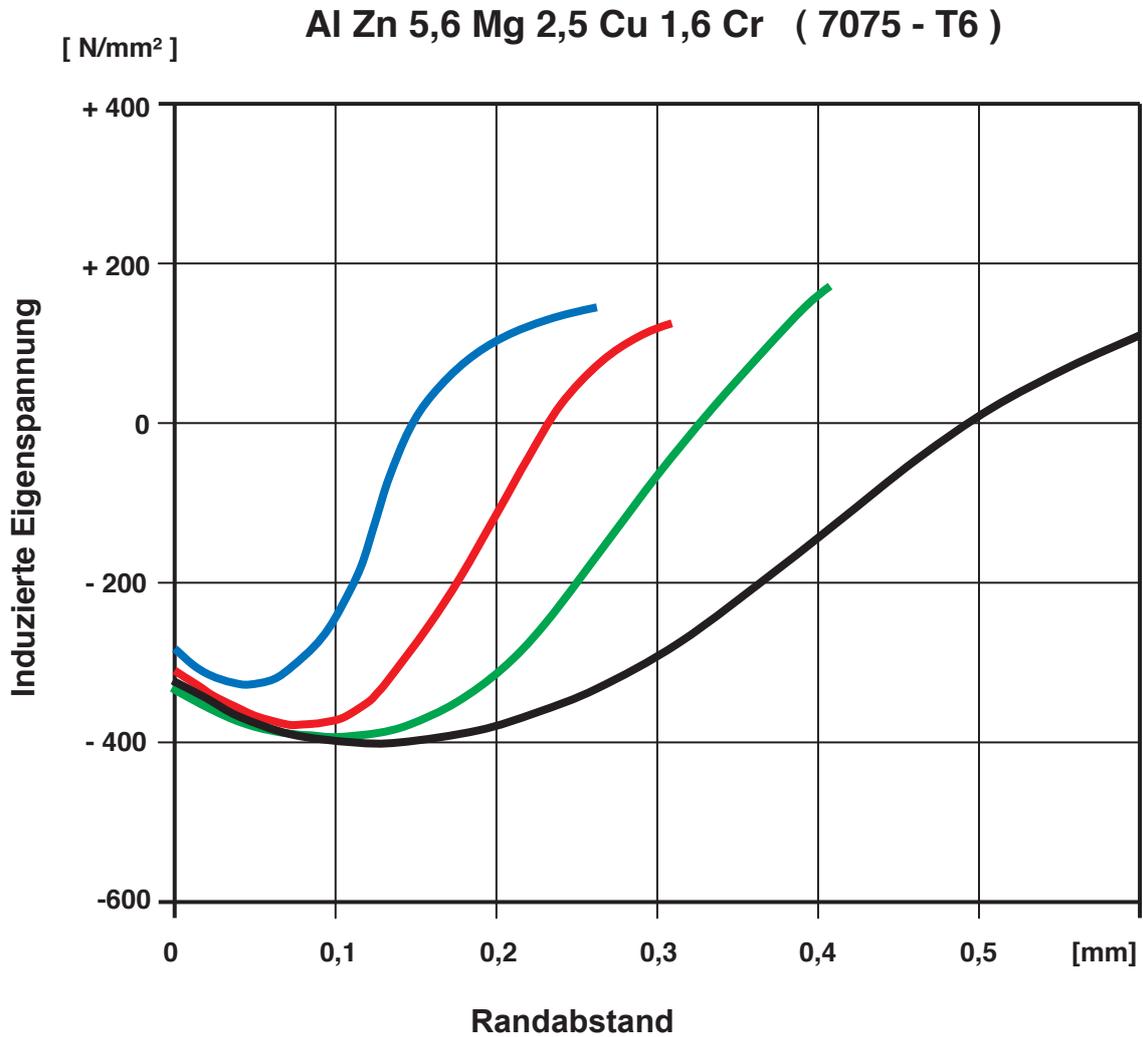


Kennlinie	Strahlmittel	Sollkörnung [mm Ø]	Strahlintensität [mm A]
—	Glasperlen	0,2	0,15
—	Stahldrahtkorn	0,6	0,30
—	Stahldrahtkorn	1,0	0,40

Auch Sonderwerkstoffe, wie hochlegierte Stähle, Aluminiumlegierungen, Titanlegierungen, Magnesiumlegierungen, Nickelbasislegierungen, etc. bauen durch Plastifizierung Druckeigenspannungen auf und halten diese bei Betriebsbelastungen über lange Zeiträume aufrecht.



Druckeigenspannungstiefenverlauf durch Verfestigungsstrahlen



Kennlinie	Strahlintensität [mm A]	Sollkörnung [mm Ø]	Strahlmittel-Bedeckungsgrad
—	0,18	0,5	98 %
—	0,28	0,5	98 %
—	0,35	0,8	98 %
—	0,90	1,2	98 %