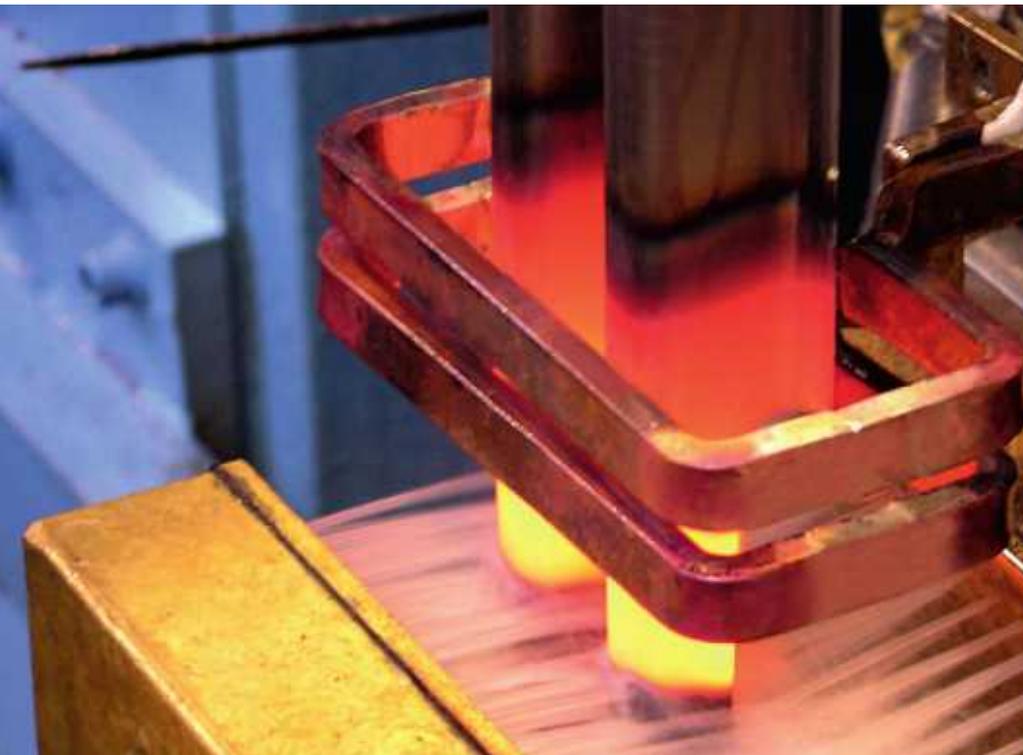


## Was ist Induktionserwärmung?



# Was ist Induktionserwärmung?



Die Induktionserwärmung ist ein Teilgebiet der heute in vielfältiger Form eingesetzten Elektrowärme in Industrie und im Haushalt. Ihr hauptsächliches Anwendungsgebiet erstreckt sich auf die stahl- und metallverarbeitende Industrie.

Auch den wesentlich gestiegenen Anforderungen des Umweltschutzes kommt die saubere und schnelle Wärmezufuhr zum beheizten Werkstück entgegen. Die Umgebung ist keiner thermischen und atmosphärischen Belastung ausgesetzt. Der besondere Vorteil des Verfahrens liegt in der Möglichkeit, die Wärme im Werkstück selbst zu erzeugen, ohne daß eine äußere Wärmequelle erforderlich ist.

Nach dem physikalischen Induktionsgesetz baut sich um jeden, von einem Wechselstrom durchflossenen Leiter ein magnetisches Wechselfeld auf. Durch starke Erhöhung dieser Magnetfelder erwärmen sich in Nähe gebrachte Metalle, da in denselben Wirbelströme erzeugt werden. Bei der Induktionserwärmung wird die Eigenschaft des magnetischen Feldes, ohne direkten Kontakt Energie übertragen zu können, genutzt. Das heißt, die Erwärmung erfolgt nicht durch Kontaktübertragung wie in der bekannten Widerstandserwärmung in Glühbirnen, Heizplatten oder Elektroöfen, wo der direkte Stromdurchfluß Widerstandsdrähte zum Glühen bringt.

Ein wesentliches Problem bei der Induktionserwärmung ist, ein genügend hohes Magnetfeld aufzubauen und das zu erwärmende Werkstück so in das Zentrum des Feldes zu bringen, daß eine optimale Übertragung der Feldlinien vom Stromleiter zum Werkstück stattfindet. Dies geschieht im allgemeinen dadurch, daß der elektrische Leiter als Schleife, Induktor oder auch Spule genannt, in einer oder mehreren Windungen ausgebildet wird. Das Werkstück wird nun in die Mitte dieses Induktors eingebracht und alle Feldlinien konzentrieren sich auf das Werkstück. Diese Feldlinien erzwingen in dem Werkstück ebenfalls einen Stromfluß, dessen Stärke nach dem Transformationsgesetz, gleich dem des Induktorstromes ist. Um aber ein ausreichend starkes Feld aufzubauen, muß der Strom im Induktor sehr groß sein (1000–10 000 A), was normalerweise ein Durchschmelzen des Induktors zur Folge hätte; als Vergleich, in einem Heizofen mit 2000 Watt fließen 10 A. Um dies zu verhindern, werden die Induktoren aus Kupferrohren gefertigt, die wassergekühlt sind. Eine weitere Möglichkeit, ein starkes magnetisches Wechselfeld aufzubauen, besteht darin, die Frequenz zu erhöhen. In unserem Stromnetz in Haushalt und Industrie wird mit einer Frequenz

von 50 Hz gearbeitet, das heißt, der Strom wechselt 50 x in der Sekunde die Richtung. In der Induktionserwärmung wird je nach Anwendung mit Frequenzen von 50 bis 1 000 000 Hz gearbeitet.

Die Erzeugung dieser höheren Frequenzen, die nicht aus dem Leitungsnetz entnommen werden können, erfolgt mit Generatoren, die im Bereich bis 10 000 Hz als Mittelfrequenz und oberhalb dieser Frequenz als Hochfrequenz bezeichnet werden. Hier drängt sich nun die Frage auf, warum ein so großer Frequenzbereich notwendig ist und nicht alle Erwärmungsaufgaben mit einer bestimmten Frequenz gelöst werden. Auch hier liegt wieder ein physikalischer Grund, nämlich der sogenannte Hauteffekt (Skinneffekt), vor. Der elektrische Strom fließt nur in der Randschicht des Werkstückes, das heißt, die Werkstückmitte bleibt theoretisch kalt.

Die Dicke der Schicht, in welcher der Strom fließt, ist wiederum abhängig von der Frequenz. Bei niederen Frequenzen ist die Schicht dick, das heißt, das Werkstück wird fast bis zur Mitte vom Strom durchflossen, folglich durchgewärmt. Bei sehr hohen Frequenzen fließt der Strom nur an der Oberfläche und die Einwärmtiefe liegt im Bereich von 0 bis 1 mm. Dieser Effekt wird nun ausgenutzt, um je nach Anwendungsfall die entsprechende Frequenz einzusetzen.

#### **Die Hauptanwendungsgebiete der Induktionserwärmung sind:**

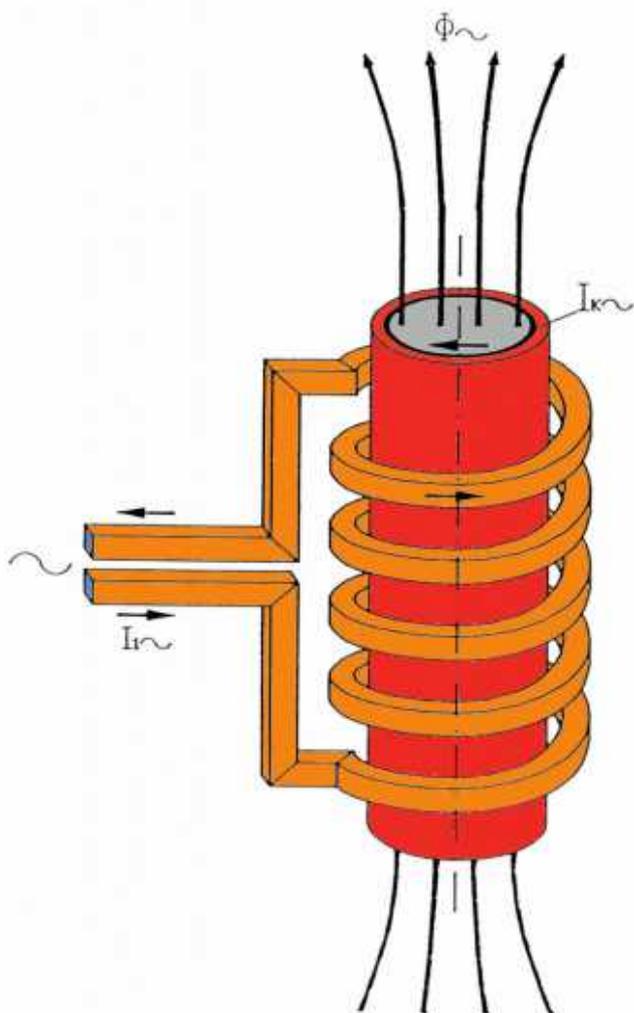
- Schmelzen von Stahl und Buntmetallen mit Temperaturen bis zu 1500°C.
- Erwärmen für das Schmieden auf 1250°C.
- Weichglühen und Normalisieren nach dem Kaltverformen mit Temperaturen von 750 bis 950°C.
- Oberflächenhärten von Werkstücken aus Stahl und Guß bei Temperaturen von 850 bis 930°C (Anlassen 200 – 300°C) und Weich- und Hartlöten mit Temperaturen bis 1100°C, sowie Sondergebiete wie z. B. Erwärmen zum Verkleben, Sintern.

Während beim Schmelzen, Schmiedeerwärmen und Glühen als Energiequelle meistens Mittelfrequenz eingesetzt wird, ist es beim Härten und Löten von den jeweiligen Forderungen abhängig, ob Hoch- oder Mittelfrequenz angewandt werden kann oder muß.

#### **Zusammenfassung:**

Die Induktionserwärmung bietet eine Wärmequelle, die sehr gut regelbar ist, auf partielle Heizzonen begrenzt werden kann und immer reproduzierbare Aufheißvorgänge schafft. Dies ergibt die Möglichkeit, Erwärmungsanlagen zu bauen, die einen hohen Automatisierungsgrad haben und sich wie Werkzeugmaschinen in den Fertigungsfluß einbauen lassen.

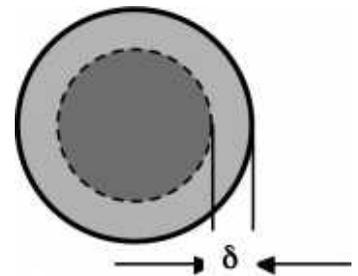
## Induzierter Wirbelstrom



## Übertragbare Leistungen bei verschiedenen Erwärmungsverfahren

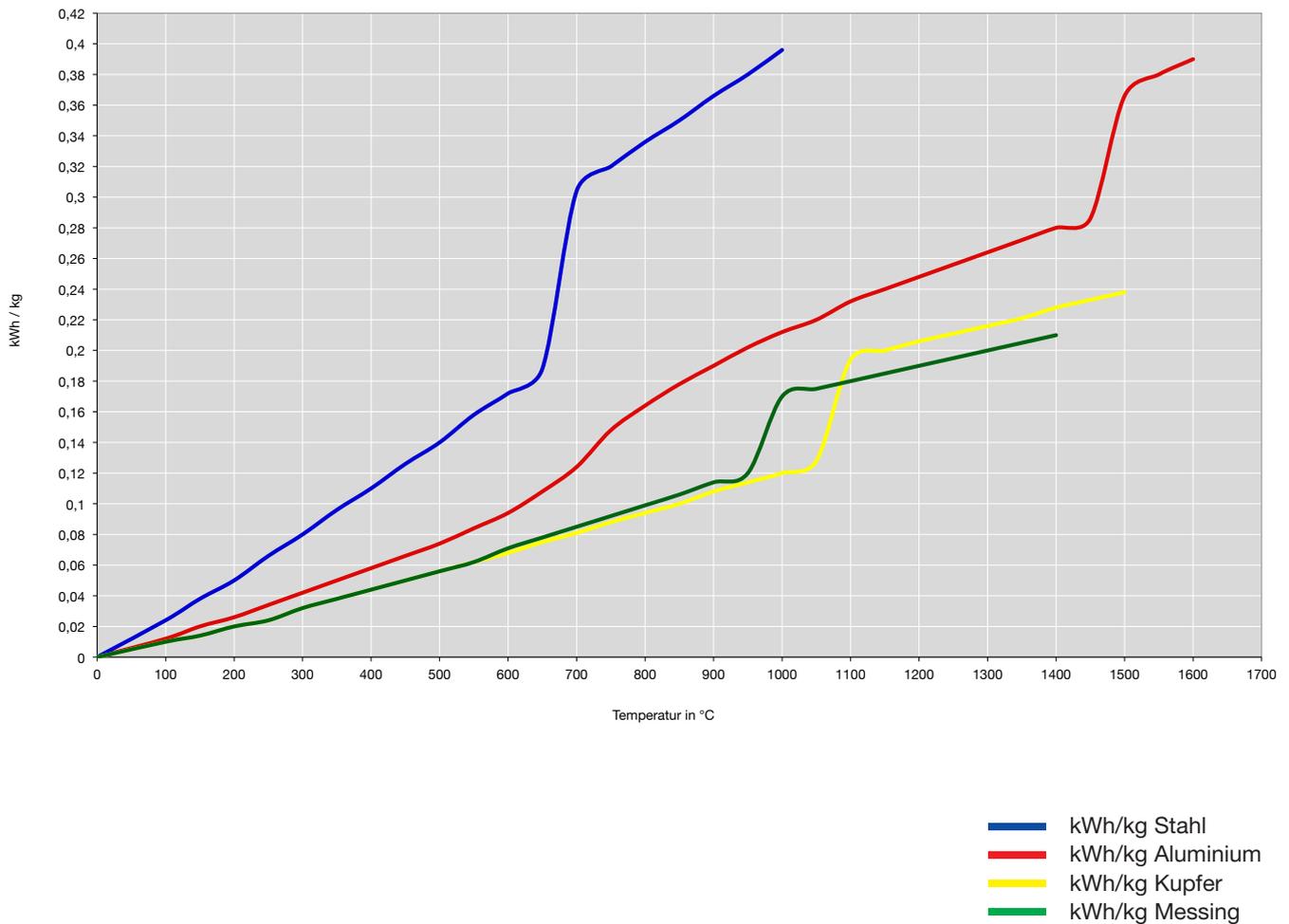
Erwärmungsart	Leistungsübertragung (W/cm <sup>2</sup> )
Konvektion (Wärmemitnahme, durch Molekularbewegung)	$5 \times 10^{-1}$
Strahlung (Elektroofen, Muffelofen)	8
Wärmeleitung, Berührung (Kochplatte, Salzbad)	20
Infrarot-Punktstrahler	$2 \times 10^2$
Flamme (Brenner)	$10^3$
Induktionserwärmung	$10^4$
Laser (CO <sub>2</sub> )	$10^8$
Elektronenstrahl	$10^{10}$

## Eindringtiefen (mm) bei verschiedenen Werkstoffen in Abhängigkeit von Frequenz und Temperatur ( $\delta$ )

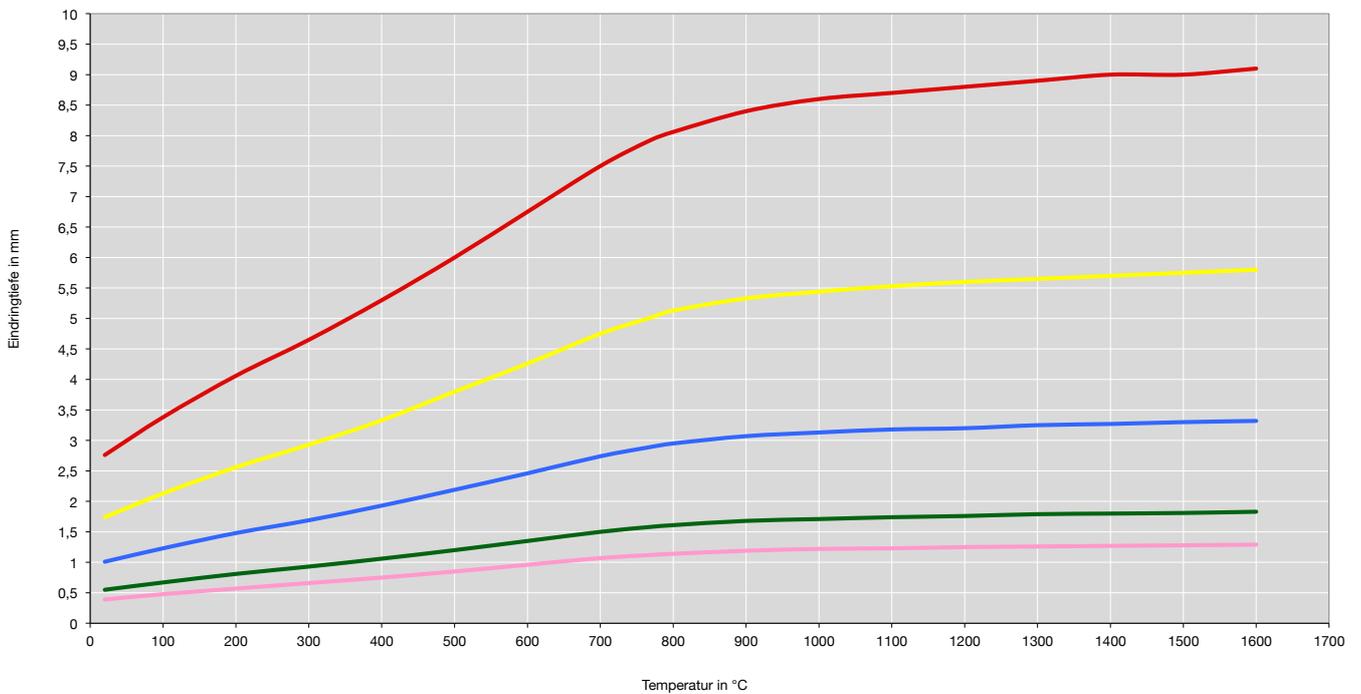


Temp.	Kupfer 20° C	Kupfer 1100° C	Stahl 20° C	Stahl 600° C	Stahl 800° C	Stahl 1500° C	Ni-Cr	Graphit	Alu 20° C
$\mu$	-	-	60-80	40	1	1	-	-	-
50 Hz	10	32							
500 Hz	2,97		1,38		22,50				3,89
600 Hz	2,91	9,4	3,78	7,75	22,50	26	20,6	65	
1000 Hz	2,2	7	2,9	5,8	17,5	20	16	50	
1800 Hz	1,68	5,44	2,18	4,31	13	15	11,87	37,6	-
2000 Hz	1,59	5,14	2,06	4,12	12,3	14,4	11,25	35,6	-
3600 Hz	1,19	3,86	1,55	3,1	9,22	10,65	8,4	26,7	-
4000 Hz	1,13	3,65	1,46	2,93	8,73	10	8,0	25,3	1,38
10 kHz	0,7	2,22	0,82	1,83	5,53	6,32	5,05	15,8	0,87
12 kHz	0,65	2,1	0,84	1,68	5,03	5,88	4,6	14,5	-
500 kHz	0,1	0,32	0,13	0,26	0,78	0,9	0,7	2,25	-
700 kHz	0,08		0,037		0,600				0,104
2500 kHz	0,043		0,020		0,320				0,055

## Theoretischer Energiebedarf verschiedener Werkstoffe (i = in kWh/kg + kcal/kg)



## Stromeindringtiefen verschiedener Frequenzen bei Stahl



- Frequenz 4 kHz
- Frequenz 10 kHz
- Frequenz 30 kHz
- Frequenz 100 kHz
- Frequenz 200 kHz

## Energiequellen für Induktionserwärmung

Je nach erforderlicher Stromeindringtiefe wird die Betriebsfrequenz der Induktionsanlage festgelegt. Der Bereich der anwendbaren Frequenzen reicht vom Wert der Netzfrequenz (50 Hz) bis hin zum Kurzwellenbereich (3 MHz) und wird in drei Teilbereiche untergliedert:

- **Niederfrequenz** 50 Hz–500 Hz
- **Mittelfrequenz** 500 Hz–50 kHz
- **Hochfrequenz** 50 kHz–3 MHz

Induktionsanlagen mit höheren Frequenzen müssen diese über Frequenzwandler aus der Netzfrequenz erzeugen. Dazu stehen folgende Verfahren zur Verfügung:

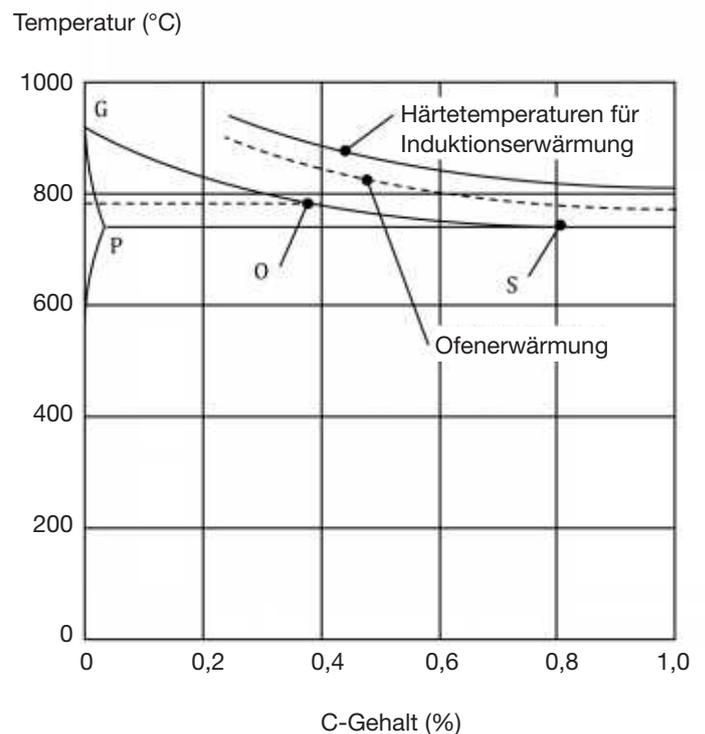
Verfahren	Frequenz in kHz	Wirkungsgrad in % (Volllast)	Leistung in kW
Frequenzvervielfacher (statischer Frequenz-Umformer)	0,15 0,25 0,45	88 – 93	bis 3000
Thyristor-Umrichter und Transistor-Umrichter	0,5 – 25	90 – 95	bis 15000
HF-Transistor-Umrichter	50 – 1200	88 – 92	bis 5000
Hochfrequenz (Röhrengenerator)	1000 – 3000	60 – 70	bis 250

## Härtungsvorgang im Werkstoff

Der beim Induktionshärten im Werkstoff ablaufende Vorgang ist der für die Eisen-Kohlenstoff-Werkstoffe bekannte Umwandlungs- bzw. Abschreckhärtevorgang. Der Stahl wird zunächst auf Temperaturen oberhalb der GOS-Linie (Abb. r.) erwärmt. Dabei bildet sich aus dem ursprünglich vorliegenden Zementit-Ferrit-Kristallgemisch ein homogener Mischkristall, das Austenit. Der Kohlenstoff, der im Zementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) gebunden war, ist im Austenit atomar gelöst.

Die nachfolgende Abkühlung muß so schnell erfolgen, daß der Kohlenstoff auch nach der Kristallumwandlung gelöst bleibt und die Umwandlung des Austenits zu Perlit und Ferrit unterdrückt wird. Dadurch entsteht das Härtegefüge Martensit. Martensit ist der Träger der erhöhten Härte. Die beachtliche Härtesteigerung durch Martensitbildung wird erst deutlich und praktisch von Nutzen, wenn der C-Gehalt des Stahls 0,35 % übersteigt. Der Härtegewinn steigt weiter bis zu C-Gehalten von 0,7 %. Höhere C-Gehalte als 0,7 % bringen keine wesentlichen Härtesteigerungen mehr. Im Gegenteil bewirken höhere C-Gehalte, besonders in Verbindung mit Legierungselementen, daß die Umwandlung des Austenits zum Martensit zu tiefen Temperaturen verschoben wird, und zwar so, daß diese bei Raumtemperatur noch nicht völlig abgeschlossen ist. Dadurch bleibt eine mehr oder weniger große Menge an Austenit (Restaustenit) im Gefüge zurück, der durch seine niedrige Härte die Gesamthärte verringert.

### Ausschnitt aus dem Eisen-Kohlenstoff-Diagramm





Der durch das Abschreckhärten erzeugte Martensit ist hart, aber auch sehr spröde. Sein spezifisches Volumen ist größer als das des Ausgangsgefüges. Das bewirkt unvermeidliche Maßänderungen im gehärteten Teil und innere Spannungen, wenn das Werkstück durch Oberflächenhärtung nur örtlich martensitisch ist. Diesen Spannungen überlagern sich Spannungen, die durch die erheblichen Temperaturunterschiede im Werkstück beim Erwärmen und Abschrecken erzeugt werden. Die Gesamtheit der Spannungen bewirkt den Härteverzug und u. U. Härterisse.

Das Anlassen bei 150–200°C führt zur Veränderung des Martensitgefüges. Der Martensit erfährt eine erhebliche Entspannung, ohne daß eine nennenswerte Härteminderung eintritt. Das wirkt sich sehr günstig auf die mechanischen Eigenschaften (Dehnung und Zähigkeit) aus. Das Werkstück ist weniger schlagempfindlich, und Risse sind kaum noch zu erwarten.

Wenn auch beim Induktionshärten im Werkstoff der gleiche Prozess abläuft, wie bei den anderen Umwandlungshärtungsverfahren, so ist aber der notwendigerweise vorausgehende Austenitisierungsvorgang infolge der Schnellerwärmung zeitlich stark eingeschränkt. Wird ein Werkstück im Ofen auf Härtetemperatur erwärmt, dann reicht im allgemeinen die Zeit, die für die Durchwärmung benötigt wird, auch aus, um das Gefüge vollständig zu austenitisieren. Vom üblichen Ferrit-Perlit-Gefüge des Stahls ausgehend, bedeutet es, daß mit steigender Temperatur und Haltedauer über den Umwandlungspunkt hinaus zunächst der Perlit zu Austenit umgewandelt wird und dann in zunehmendem Maß der Ferrit.

Da beide Gefügekomponenten einen stark unterschiedlichen C-Gehalt besitzen (Perlit  $\approx 0,9$  und Ferrit  $< 0,01$ ), muß sich im entstandenen Austenit dieser Konzentrationsunterschied an Kohlenstoff durch Diffusion ausgleichen. Der Ausgleichsvorgang ist zeit- und temperaturabhängig. Er verläuft dicht über der Umwandlungstemperatur langsam und bei erhöhten Temperaturen schneller. Liegen im Stahl außer dem Eisenkarbid (Zementit) noch Karbide von Legierungselementen (z. B. Chrom) vor, so verlängert sich der Austenitisierungsprozeß durch die verspätet einsetzende bzw. langsamer verlaufende Auflösung der Karbide.

Ein Stahl bietet die optimalen Voraussetzungen für die Härbarkeit, wenn durch den Austenitisierungsprozeß

1. der Perlit und Ferrit aufgelöst und umgewandelt,
2. die Legierungskarbide weitgehend aufgelöst und
3. alle Konzentrationsunterschiede (Kohlenstoff und Legierungselemente)

ausgeglichen sind.

Ein über das notwendige Maß hinaus verlängertes Halten (Überzeiten) führt ebenso zu einem groben Austenitkorn, wie eine zu hohe Austenitisierungstemperatur, wenn nicht gleichzeitig die Haltezeit verringert wird (Überhitzen). Die Gefahr der Grobkornbildung durch erhöhte Härtetemperaturen, wie sie zur schnelleren Austenitisierung beim Induktionshärten angewendet werden, besteht jedoch so lange nicht, wie noch unaufgelöste Karbidreste vorhanden sind.

# Induktiv härtbare Stähle

DIN-Bezeichnung	Stoffnummer	HRC-Werte	Analyse													
			C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	C				
			%	≤ %	≤ %	≤ %	≤ %	≤ %	%	%	%	%	%			
<b>Vergütungsstähle</b>																
C 35	1.0501	51 – 57	0,35	0,35	0,80	0,045	0,045									
35 S 20 <sup>1)</sup>	1.0726	50 – 55	0,35	0,40	0,90	0,060	0,250									
Ck 35	1.1181	51 – 57	0,35	0,35	0,80	0,035	0,035									
Cf 35	1.1183	51 – 57	0,35	0,35	0,80	0,025	0,035									
C 45	1.0503	56 – 61	0,45	0,35	0,80	0,045	0,045									
45 S 20 <sup>1)</sup>	1.0727	55 – 60	0,45	0,40	0,90	0,060	0,250									
Ck 45	1.1191	56 – 61	0,45	0,35	0,80	0,035	0,035									
Cf 45	1.1193	56 – 61	0,45	0,35	0,80	0,025	0,035									
Cf 53	1.1213	58 – 63	0,53	0,35	0,70	0,025	0,035									
60 S 20 <sup>1)</sup>	1.0728	58 – 62	0,60	0,40	0,90	0,060	0,250									
Ck 60	1.1221	59 – 64	0,60	0,35	0,90	0,035	0,035									
Cf 70	1.1249	60 – 64	0,70	0,35	0,35	0,025	0,035									
79 Ni 1	1.6971	60 – 64	0,79	0,30	0,55	0,025	0,025	0,15		0,15	0,05					
36 Mn 5	1.5067	52 – 56	0,36	0,35	1,50	0,035	0,035									
40 Mn 4	1.5038	53 – 58	0,40	0,50	1,10	0,035	0,035									
37 MnSi 5 <sup>2)</sup>	1.5122	55 – 58	0,37	1,40	1,40	0,035	0,035									
38 MnSi 4 <sup>2)</sup>	1.5120	54 – 58	0,38	0,90	1,20	0,035	0,035									
46 MnSi 4 <sup>2)</sup>	1.5121	57 – 60	0,46	0,90	1,20	0,035	0,035									
53 MnSi 4 <sup>2)</sup>	1.5141	58 – 62	0,53	1,00	1,20	0,035	0,035									
45 Cr 2	1.7005	56 – 60	0,45	0,40	0,80	0,025	0,035	0,50								
34 Cr 4	1.7033	51 – 55	0,34	0,40	0,90	0,035	0,035	1,05								
37 Cr 4	1.7034	53 – 58	0,37	0,40	0,90	0,035	0,035	1,05								
38 Cr 4	1.7043	53 – 58	0,38	0,40	0,90	0,025	0,035	1,05								
41 Cr 4	1.7035	54 – 58	0,41	0,40	0,80	0,035	0,035	1,05								
42 Cr 4	1.7045	54 – 58	0,42	0,40	0,80	0,025	0,035	1,05								
34 CrMo 4	1.7220	52 – 56	0,34	0,40	0,80	0,035	0,035	1,05	0,25							
41 CrMo 4	1.7223	54 – 58	0,41	0,40	0,80	0,025	0,035	1,05	0,25							
42 CrMo 4	1.7225	54 – 58	0,42	0,40	0,80	0,035	0,035	1,05	0,25							
49 CrMo 4	1.7238	57 – 62	0,49	0,40	0,80	0,025	0,035	1,05	0,25							
50 CrMo 4	1.7228	57 – 62	0,50	0,40	0,80	0,035	0,035	1,05	0,25							
50 Cr V 4	1.8159	57 – 62	0,50	0,40	1,10	0,035	0,035	1,05			0,15					
58 Cr V 4	1.8161	58 – 63	0,58	0,35	1,10	0,035	0,035	1,05			0,09					
30 CrNiMo 8	1.6580	50 – 54	0,30	0,40	0,60	0,035	0,035	2,00	0,35	2,00			ca. 1,5			
34 CrNiMo 6	1.6582	53 – 56	0,34	0,40	0,70	0,035	0,035	1,55	0,25	1,55						
36 CrNiMo 4	1.6511	54 – 57	0,36	0,40	0,80	0,035	0,035	1,05	0,25	1,05						
<b>Werkzeugstähle</b>																
X 41 CrMo V 5,1	1.2344	55 – 59	0,41	1,00	0,40	0,015	0,010	5,00	1,30		0,50					
86 CrMo V 7	1.2327	60 – 64	0,86	0,35	0,45	0,030	0,030	1,75	0,30	0,10						
X 20 Cr 13	1.2082	48 – 53	0,20	0,50	0,40	0,035	0,035	13,00								
X 40 Cr 13	1.2083	55 – 58	0,40	0,50	0,40	0,030	0,030	13,00								
<b>Rostfreie Stähle</b>																
X 90 CrMo V 18	1.4112	55 – 58	0,90	1,00	1,00	0,045	0,030	18,00	1,15							
X 90 CrCoMo V 17	1.4535	55 – 58	0,90	1,00	1,00	0,045	0,030	16,50	0,50	0,25	0,25		ca. 1,5			
X 105 CrMo 17	1.4125	56 – 60	1,05	1,00	1,00	0,045	0,030	17,00	0,60		0,10					
<b>Wälzlagerstähle</b>																
100 Cr 6	1.3505	62 – 65	1,00	0,35	0,40	0,030	0,025	1,55								
<b>Ventilstähle</b>																
X 45 CrSi 9-3	1.4718	56 – 60	0,45	3,50	0,50	0,030	0,025	9,50								
X 80 CrNiSi 20	1.4747	52 – 55	0,80	2,75	1,00	0,030	0,030	20,00		1,50						
<b>Gusswerkstoffe</b>																
GG-25	0.6025	48 – 52	}	bitte separates Merkblatt anfordern												
GTS-45		51 – 57														
GTS-65		56 – 59														
GGG-60	0.7060	53 – 59														
GGG-70	0.7070	56 – 62														
<sup>1)</sup> größere Härteschwankungen möglich <sup>2)</sup> umwandlungsfreundlich, jedoch rissempfindlich bei stark polierten Teilen																
<b>Einsatzstähle</b> geeignet für partielle Härtungen, z.B. Ck 15, 16 MnCr 5, 20 MnCr 5, 15 CrNi 6, 20 MoCr 4 etc.																
<b>Sinterwerkstoffe</b> bei Grundlage Eisen-Kohlenstoff sind Härtungen möglich																
Legende Härtetiefen: <table style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td style="background-color: #0070C0; color: white; padding: 2px;">max. 2 mm</td></tr> <tr><td style="background-color: #FF0000; color: white; padding: 2px;">max. 4 mm</td></tr> <tr><td style="background-color: #008000; color: white; padding: 2px;">max. 6 mm</td></tr> <tr><td style="background-color: #FFA500; color: white; padding: 2px;">über 6 mm</td></tr> </table>													max. 2 mm	max. 4 mm	max. 6 mm	über 6 mm
max. 2 mm																
max. 4 mm																
max. 6 mm																
über 6 mm																
										Nachdruck oder anderweitige Vervielfältigung dieser Tabelle nur gestattet mit schriftlicher Genehmigung der Firma INDUCTOHEAT Europe GmbH. <a href="http://www.inductoheat.eu">www.inductoheat.eu</a>						

## Gegenüberstellung der Induktions-, Flamm-, Tauch-, Einsatz- und Nitrier-Härteverfahren

Die Induktionshärtung soll und kann nicht die allgemein üblichen Oberflächen-Härteverfahren verdrängen. Sie ist ein zusätzliches Härteverfahren, das immer dort eingesetzt wird, wo es technische und ökonomische Vorteile mit sich bringt.

Der Vorteil wird dabei um so eindeutiger, je kleiner bei einem Werkstück die zu härtende Fläche im Vergleich zur Gesamtoberfläche ist.

Im folgenden sollen die Vor- und Nachteile der einzelnen Oberflächen-Härteverfahren zusammengestellt werden. Eine Entscheidung, welches Härteverfahren für ein bestimmtes Werkstück vorteilhaft anzuwenden ist, kann nur vom verarbeitenden Betrieb und in Zweifelsfällen unter Hinzuziehung von Fachleuten für diese Verfahren getroffen werden.



### Induktionshärtung

#### Vorteile

Gleichmäßige Aufheizung der zu härtenden Stellen. Kurze Erwärmungszeiten und infolgedessen geringe Zunderbildung. In vielen Fällen ist keine Nacharbeit erforderlich. Durch die kurzzeitige Erwärmung wird Grobkornbildung durch Überzeiten oder Überhitzen vermieden. Sichere Beherrschung der Wärmezufuhr. Die erforderlichen Temperaturen werden eingehalten. Der Verzug ist im allgemeinen gering. Im Vergleich zur Einsatzhärtung können legierte Einsatzstähle durch billige Vergütungsstähle ersetzt werden. Partielle Härtung ist meistens auch noch bei schwierigsten Werkstückformen möglich. Die Aufstellung der Härtemaschinen und Generatoren kann direkt in den Fertigungsstraßen erfolgen. Der Platzbedarf ist gering, die Bedienung einfach, die Arbeitsweise sauber und nicht gesundheitsgefährdend.

Die Härteanlage ist jederzeit betriebsbereit und bei sorgfältiger Wartung betriebssicher. Die Härtemaschinen können so hergestellt werden, daß sie vollautomatisch arbeiten.

#### Nachteile

Die Anschaffungskosten für eine Härteanlage sind hoch und amortisieren sich nur bei guter Auslastung bzw. bei größeren Werkstückmengen. Beim Härten vergüteter Stähle entsteht mitunter zwischen Kern und gehärteter Randschicht eine Zone mit geringerer Festigkeit (Weichzone). Für die einzelnen Verfahren müssen verschiedene Induktoren benutzt werden. Das Mithärten von Querschnittsübergängen ist teilweise schwierig.

## Flammhärtung

### Vorteile

Geringe Investitionskosten. Die Erwärmungszeiten sind relativ kurz. Der Verzug ist gering. Die erreichbaren minimalen Enhärtungstiefen sind nach unten stärker begrenzt als bei der Induktionshärtung. Partielle Härtung ist bis auf kleine Einschränkungen möglich. Die Aufstellung der Härteanlagen und Härtevorrichtungen kann direkt in den Fertigungsstraßen erfolgen. Der Platzbedarf ist gering, die Bedienung einfach. Die Anlage ist jederzeit betriebsbereit. Die Härtemaschinen können teilweise automatisch arbeiten.

### Nachteile

Da sich bei Stadtgasanlagen der Gasdruck und die Gaszusammensetzung ändern, ist die Flammentemperatur nicht immer gleichmäßig; deshalb ist die Härtungstiefe schwankend. Das Härten von Bohrungen ist schwierig bzw. nur bei größeren Abmessungen möglich. Für die Härtung verschiedener Werkstücke müssen verschiedene Brenner benutzt werden. Beim Härten vergüteter Stähle entsteht zwischen Kern und Härteschicht eine Anlaßzone (Weichzone).

## Tauchhärtung

### Vorteile

Niedrige Wärmebehandlungskosten. Kurze Behandlungszeiten. Der Verzug ist gering.

### Nachteile

Partielle Härtung ist nur beschränkt möglich. Das gesamte Werkstück wird oberflächengehärtet, weil ein Abdecken nicht zu härtender Stellen unmöglich ist. An Querschnittsübergängen und Kerben ist keine einwandfreie Härteschicht zu erhalten. Die Härtungen können nur in einer zentralen Härterei durchgeführt werden; dadurch entstehen zusätzliche Transportkosten. Die Dämpfe der Tauchbäder sind gesundheitsschädlich. Die gehärteten Werkstücke bedürfen einer Nacharbeit.

## Einsatzhärtung

### Vorteile

Die Härteschicht ist gleichmäßig, wenn auch relativ dünn. Partielle Härtung läßt sich nach Werkstückform teilweise erreichen. Die Kernfestigkeit erhöht sich gleichzeitig mit der Härtung der Oberfläche. Höhere Wirtschaftlichkeit im allgemeinen bei Teilen, deren Gesamtoberfläche zu härten ist.

### Nachteile

Hohe Betriebskosten, lange Glühzeiten. Es kann stärkerer Verzug auftreten, weil das gesamte Werkstück erwärmt wird. Nicht zu härtende Stellen müssen abgedeckt oder die Einsatzschicht vor dem Härten entfernt werden. Eine zentrale Härterei ist erforderlich; dadurch entstehen erhöhte Transportkosten. Die gehärteten Werkstücke bedürfen einer Nacharbeit zur Herstellung einer sauberen Oberfläche.

## Nitrierhärtung (Gasnitrieren)

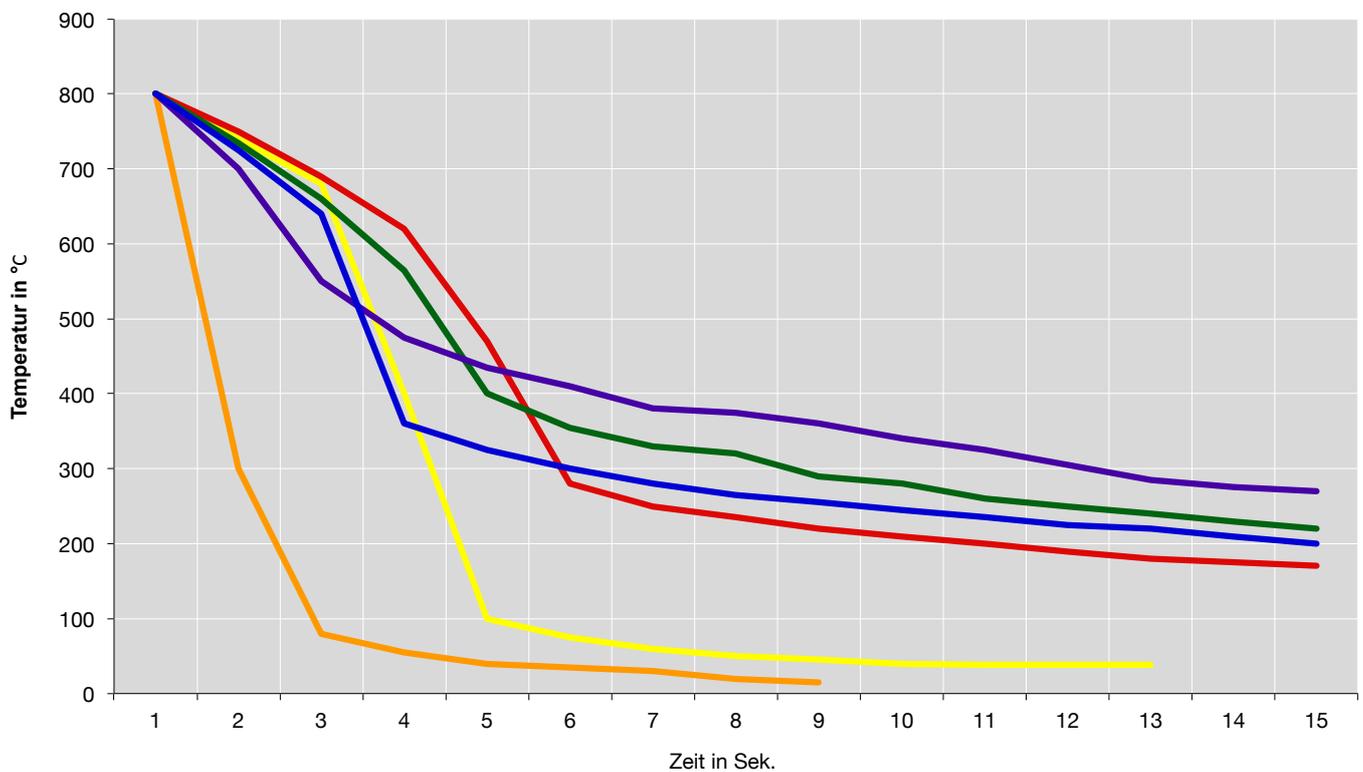
### Vorteile

Gleichmäßige Härteschicht, unabhängig von der Form der Werkstücke. Da die Behandlungstemperatur niedrig ist (etwa 500°C), ist bei spannungsfrei geglühten Werkstücken der Verzug gering. Das Werkstück braucht nicht abgeschreckt zu werden. Die erreichbare Härte ist sehr hoch und bleibt bei Temperaturen bis über 500°C fast völlig unverändert. Die Verschleißfestigkeit ist entsprechend der hohen Härte sehr groß. Nacharbeit der nitrierten Werkstücke ist nicht erforderlich.

### Nachteile

Hohe Betriebskosten. Es kommen nur Sonderstähle in Frage. Die Glühzeiten sind sehr lang, je nach Einhärtungstiefe 1 bis 4 Tage. Das gesamte Werkstück wird durchgeheizt. Die Härteschichten sind dünn. Die Härte sinkt in den Zonen unter 0,2 mm stark ab. Die Oberflächen halten keinen starken Flächen- druck aus; sie brechen ein. Nicht zu härtende Stellen müssen durch Verzinnen oder Vernickeln abgedeckt werden. Die Oberfläche der Werkstücke muß vor dem Nitrieren einwandfrei sauber sein. Zentrale Härterei, hohe Transportkosten.

## Abkühlkurven von Wasser, Mineralöl und wässrigen Lösungen



- Wasser
- SERVISCOL 78 10%ige synthetische Abschrecklösung
- DURIXOL 4 intensives Hochleistungs-Abschreckmittel
- DURIXOL W 25 verdampfungsfestes Hochleistungs-Abschreckmittel
- DURIXOL A 650 Heißbadöl für Badtemperaturen bis 250°C
- DURIXOL H 222 Vakuum-Abschrecköl

## Vergleichstabelle für Härtewerte nach Rockwell, Vickers, Brinell, Zugfestigkeit

Rockwell	Vickers	Brinell	Zugfestigkeit
HRC	HV	HB	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>
20	240	228	770
21	245	233	785
22	250	238	800
23	255	242	820
24	260	247	835
25	265	252	850
26	270	257	865
27	280	266	900
28	285	271	915
29	295	280	950
30	300	285	965
31	310	295	995
32	320	304	1030
33	330	314	1060
34	340	323	1095
35	345	330	1115
36	355	335	1140
37	365	340	1150
38	370	352	1190
39	380	361	1220
40	390	371	1255
41	400	380	1290
42	410	390	1320
43	420	399	1350

Rockwell	Vickers	Brinell	Zugfestigkeit
HRC	HV	HB	R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>
44	430	409	1385
45	445	423	1450
46	460	437	1485
47	470	447	1520
48	480	456	1555
49	500	475	1630
50	510	485	1665
51	520	495	1700
52	545	515	1780
53	560	532	1845
54	580	551	1920
55	600	570	1995
56	610	580	2030
57	630	599	2105
58	650	620	2180
59	670	–	–
60	700	–	–
61	720	–	–
62	740	–	–
63	770	–	–
64	800	–	–
65	830	–	–
66	860	–	–

## Induktoren und Härtezubehör in Erstausrüsterqualität

### Induktor-Express-Service Serviceleistungen

- Induktor-Brausekombinationen
- Induktor-Reparatur und Instandsetzung
- Eil-, Hol- und Bringservice
- Ersatzinduktoren sämtlicher Fabrikate
- Induktor-Beschichtungen
- Ausgemauerte/vergossene Induktoren
- Anfertigung und Lieferung von Induktorlehren (Prüf-, Einstell-, Lötlehren)
- Rahmen- und Wartungsverträge
- Schulungen
- Metallografische Untersuchungen

### Prozeßentwicklung/ Optimierung

- Prozessberatung und Optimierung
- Vor-Ort Service
- Induktor-Entwicklung und Neukonzeption
- Induktor-Konstruktionen (2D/3D)
- Induktor-Prototypenbau
- Optimierungen/Verbesserung von Induktor-Wirkungsgraden
- Optimierungen/Verbesserung von Induktor-Standzeiten

### Unser Leistungsspektrum

- Induktionsanlagen
- Lohnhärtereien
- Härtezubehör
- Induktor Express Service
- HF/MF-Umrichter
- IFP-Umrichter
- Prozessentwicklung
- Service rund um die induktive Erwärmung

