

# PRAXIS-SERVICE

Erfolgreiche Edelstahlverarbeitung



# VORWORT

## EDELSTÄHLE

### Hinweise zur Wärmebehandlung und Verarbeitung

Obwohl die Erzeugung und Anwendung von Eisen in Kleinasien und Ägypten bereits etwa im 2. Jahrtausend v. Chr. begonnen hat, ist Stahl als vielseitigster Vertreter der Eisenwerkstoffe trotz der Vielzahl konkurrierender Werkstoffe auch in unserer Zeit der wichtigste Werkstoff.

Diese Bedeutung verdankt der Stahl dem Umstand, dass die Eigenschaften durch unterschiedlich hohe Kohlenstoffgehalte sowie dem Zusatz von Legierungselementen in Verbindung mit entsprechenden Schmelz- und Verarbeitungstechnologien in weiten Grenzen variierbar sind.

Stähle werden daher in praktisch allen Gebieten der Technik eingesetzt, wobei die Stahleigenschaften auf die spezifischen Anforderungen der Arbeitsprozesse in den verschiedenen Industriesparten abgestimmt sind.

Eine aus technischer Sicht ganz besonders wichtige Werkstoffgruppe ist der Edelstahl. Als einer der größten Edelstahlhersteller der Welt mit einer Tradition von über 120 Jahren hat BÖHLER EDELSTAHL das Know-How und die entsprechenden Anlagen für die Erzeugung von Edelstählen, die aufgrund ihrer hohen Güte Weltruf genießen.

Unser Ziel ist es, durch enge und vertrauensvolle Zusammenarbeit zwischen den Werkstofffachleuten und den für Entwicklung, Konstruktion, Materialbeschaffung und Verarbeitung zuständigen Mitarbeitern unserer Kunden optimale Problemlösungen für die Herstellung hochwertiger Erzeugnisse unter Wahrung wirtschaftlicher Gesichtspunkte zu erarbeiten.

Wissen wir doch, dass von der Güte von Werkzeugen und Bauteilen in hohem Maß die Leistungsfähigkeit und Sicherheit von Produktionsanlagen sowie die Güte der gefertigten Werkstücke abhängt.

Diese Broschüre mit Hinweisen über die Wärmebehandlung und Verarbeitung von Edelstählen soll einen Beitrag leisten, dieses gemeinsame Ziel zu erreichen.

# INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1	Definition Stahl 5
2	Grundlagen der Wärmebehandlung 5
2.1	Gitteraufbau metallischer Werkstoffe 5
2.1.1	Atom, Element, Kristallgitter 5
2.1.2	Kristallgitter von reinem Eisen 5
2.1.3	Kristallgitter von Legierungen 6
2.2	Schaubilder zur Darstellung der Umwandlungsvorgänge 8
2.2.1	Zustandsschaubild Eisen-Eisenkarbid 8
2.2.1.1	Einfluss von Legierungselementen auf das Zustandsschaubild Fe-Fe <sub>3</sub> C 10
2.2.1.2	Umwandlungstemperaturen 10
2.2.2	ZTA-Schaubilder 11
2.2.3	ZTU-Schaubilder 12
2.3	Härtbarkeit 18
3	Wärmebehandlung 21
3.1	Allgemeine Definitionen 21
3.2	Glühfarben 24
3.3	Wärmebehandlungsarten 25
3.3.1	Wärmeumformung 26
3.3.2	Normalglühen 26
3.3.3	Weichglühen 27
3.3.4	Spannungsarmglühen 27
3.3.5	Rekristallisationsglühen 27
3.3.6	Grobkornglühen 27
3.3.7	Diffusionsglühen 27
3.3.8	Härten 28
3.3.9	Anlassen 29
3.3.10	Vergüten 31
3.3.11	Tiefkühlen 31
3.4	Zeit-Temperatur-Folge (ZTF)-Schaubilder 32
3.5	Wärmebehandlungsanlagen 35
3.6	Abkühlmedien 36
3.6.1	Flüssige Abkühlmedien 36
3.6.2	Gasförmige Abkühlmedien 36
3.7	Werkstückreinigung 36
4	Begriffe der Wärmebehandlung / Deutsch - Englisch - Französisch 37
4.1	Allgemeine Begriffsbestimmungen 37
4.2	Glühen 38
4.3	Härten, Abschrecken 38
4.4	Anlassen 39
4.5	Aufkohlen 40
4.6	Nitrieren 40
4.7	Weitere thermochemische Behandlungen 40

# INHALTSVERZEICHNIS

	Seite	
5	Verzug = Maßänderung + Formänderung	41
5.1	Volumenänderung durch Gefügeumwandlungen	42
5.2	Formänderung durch Wärmespannungen	43
5.3	Zusammenwirken von Gefügeumwandlungen und Wärmespannungen	44
5.4	Maßänderung ledeburitischer Chromstähle	45
5.5	Vermeidbarer Verzug	46
5.6	Richten	46
6	Konstruktive Gestaltung von Werkstücken	47
7	Bearbeitungszugaben	48
8	Behandlung der Werkzeuge im Einsatz	48
9	Spanabhebende Bearbeitung	49
9.1	Drehen, Hobeln, Bohren, Fräsen, Sägen	49
9.2	Schleifen	49
9.3	Polieren	49
10	Kalteinsenken	50
11	Elektroerosion	50
12	Schweißen	52
13	Oberflächenbehandlungsverfahren	53
13.1	Randschichthärten	54
13.2	Nitrieren und Nitrocarburieren	54
13.3	Einsatzhärten und Carbonitrieren	57
13.4	Weitere ausgewählte Oberflächenbehandlungsverfahren	59
14	Umrechnung °C + °F	61
15	Umrechnung HV, HB, HRC, Zugfestigkeit Rm	64
16	Umrechnung tsi-psi-N/mm <sup>2</sup>	67
17	Stichwortverzeichnis	68

# EIN BISSCHEN THEORIE

Definition Stahl

Grundlagen der Wärmebehandlung



# 1 Definition Stahl

Nach Euronorm 20 werden als **Stahl** Eisenwerkstoffe bezeichnet, die im allgemeinen für eine Warmformgebung geeignet sind und mit Ausnahme einiger chromreicher Sorten höchstens einen Masseanteil an Kohlenstoff von 2% enthalten.

Nach ihrer chemischen Zusammensetzung unterscheidet man

- ▼ unlegierte Stähle (Kohlenstoffstähle) und
- ▼ legierte Stähle.

Je nach ihrer Gebrauchseigenschaft können diese wiederum in

- ▼ Grundstähle (Massenstähle = überholter Begriff)
  - ▼ Qualitätsstähle und
  - ▼ Edelstähle
- unterteilt werden.

**Edelstähle** sind mit einigen Ausnahmen solche Stähle, die für eine Wärmebehandlung bestimmt sind.

Der richtigen und zweckentsprechenden **Wärmebehandlung** kommt daher eine wesentliche Bedeutung zu.

## 2 Grundlagen der Wärmebehandlung

### 2.1 Gitteraufbau metallischer Werkstoffe

#### 2.1.1 Atom, Element, Kristallgitter

Die Bausteine aller Stoffe sind die chemischen Elemente. Die kleinsten Bestandteile der Elemente sind die Atome. Bereiche mit einer gesetzmäßigen Anordnung der Atome (Kristallstruktur) nennt man **Kristalle**.

Technische Werkstoffe bestehen aus vielen kleinen gegeneinander unterschiedlich orientierten **Kristallen** oder **Körnern**. Den Durchmesser dieser Körner bezeichnet man als **Korngröße**. Gleichartige Körner sind durch **Korngrenzen**, ungleichartige durch **Phasengrenzen** voneinander getrennt. Als **Phase** bezeichnet man chemisch und physikalisch einheitliche Mikrobereiche in einem Gefüge. Auch innerhalb der Körner gibt es Gitterfehler, d. h. Abweichungen von der geometrischen Anordnung, z. B. **Versetzungen** und **Leerstellen**.

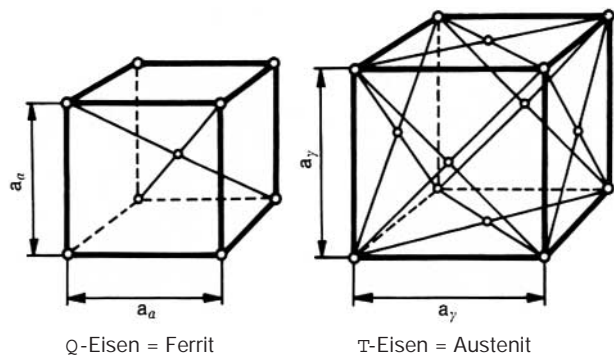
#### 2.1.2 Kristallgitter von reinem Eisen

Das Kristallgitter von reinem Eisen, dem Hauptbestandteil von Stählen, ist je nach Temperatur kubisch raumzentriert ( $\alpha$ -Eisen) oder kubisch flächenzentriert ( $\gamma$ -Eisen). Bei der Elementarzelle des  $\alpha$ -Eisens befinden sich die Atome an den Ecken und in der Mitte des Würfels. Das  $\gamma$ -Eisen hat außer den Atomen an den Ecken zusätzliche Atome auf den Würfelflächen, jedoch kein Atom in der Raummitte.

Elementarzellen des  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Eisens mit den Mittelpunkten der Eisenatom-Kugeln.

Aufgrund der höheren Packungsdichte der Atome im  $\gamma$ -Eisen ist die Umwandlung von  $\alpha$ - in  $\gamma$ -Eisen bei 911°C mit einer Volumenminderung (ca. 1 %) verbunden. Abgesehen von dieser sprunghaften Volumenänderung nimmt der Gitterparameter (= Kantenlänge des Würfels) und damit das spezifische Volumen mit steigender Temperatur zu. Diese Erscheinung heißt "**Wärmeausdehnung**". Bei 1392°C erfolgt die Rückumwandlung in die kubisch-raumzentrierte Struktur ( $\alpha$ -Eisen). Beim Schmelzpunkt werden die Atomschwingungen so stark, dass das Raumgitter zerfällt und sich der ungeordnete, flüssige Zustand einstellt.

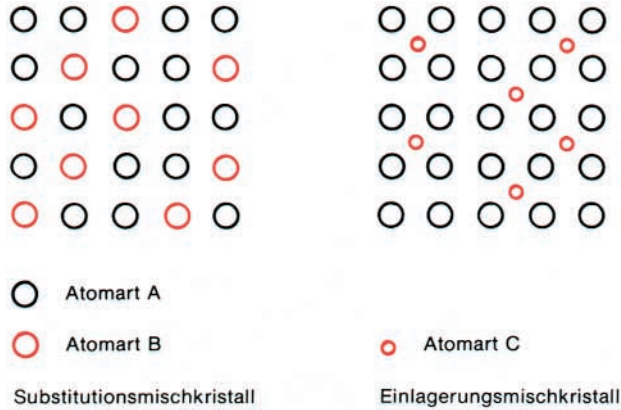
Man kann das Gitter des  $\gamma$ -Eisens auch als tetragonal raumzentriertes Gitter darstellen. Die Phasenänderung  $\gamma \ll \alpha$  kann man sich als Stauchung des tetragonalen Gitters in senkrechter Richtung bei gleichzeitiger Dehnung in der waagrechten Richtung vorstellen. Da dazu nur eine geringfügige Verschiebung der Atome notwendig ist, findet dieser Umklappvorgang nicht nur bei langsamer sondern auch bei rascher Abkühlung statt. (Siehe Abb. auf Seite 6).





Reines Eisen wird praktisch kaum verwendet. Beim Stahl sind andere Elemente zulegiert, welche mit Eisen Mischkristalle oder Verbindungen bilden.

In Mischkristallen können im Atomgitter des Eisens andere Atome den Platz der Eisenatome einnehmen (Substitutionsmischkristall, z. B. bei Chrom oder Nickel) oder sie werden zwischen den Eisenatomen eingelagert (Einlagerungsmischkristalle, z. B. bei Kohlenstoff, Stickstoff oder Bor).

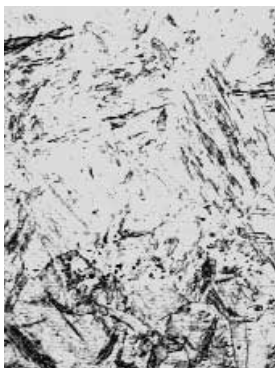


Es können auch beide Arten des Atomeinbaus in Mischkristallen vorkommen.

Einen Platzwechselfvorgang von Atomen bevorzugt in einer Richtung nennt man **Diffusion**. Dieser Vorgang ist wegen ihrer Größe für Atome vom Typ C eher gewährleistet als für solche vom Typ B. Gitterfehler erleichtern die Diffusion, ebenso eine höhere Temperatur. Außerdem muss für eine Diffusion die erforderliche Zeit gegeben sein.

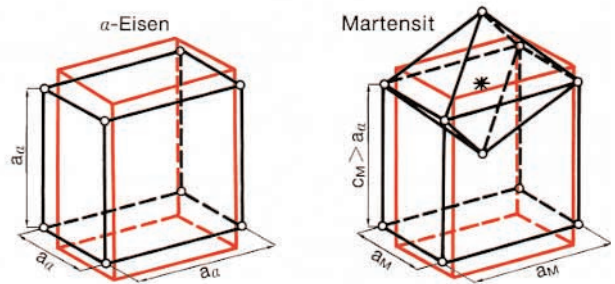
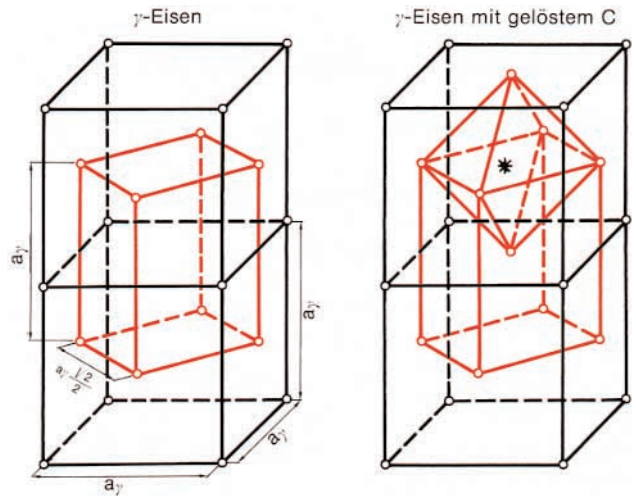
Ist die Lösung eines Elementes nicht mehr möglich, entstehen **Verbindungen**, d. h. neue Phasen. Im Fall des Kohlenstoffes bilden 3 Eisenatome mit 1 Kohlenstoffatom die Verbindung  $Fe_3C$  (Eisenkarbid = Zementit). Die Karbide lagern sich an den Korngrenzen oder im Inneren der Ferritkörner ab. Gewisse Elemente sind im Eisen unlöslich, z. B. Blei. In beiden Fällen spricht man von **Gemengen** ( $Fe+Fe_3C$  bzw.  $Fe+Pb$ ).

Im  $\tau$ -Eisen kann bis ca. 2% Kohlenstoff gelöst werden. Die Löslichkeit im  $\varrho$ -Eisen ist bei Raumtemperatur praktisch Null. Beim raschen Abkühlen hat der Kohlenstoff keine Möglichkeit, durch Diffusion aus dem Gitter zu entweichen, die Karbidausscheidung wird verhindert. Die dabei auftretende tetragonale Gitterverzerrung führt zu inneren Spannungen (Gitterverspannungen) und ist die Ursache für die hohe Härte von **Martensit**.



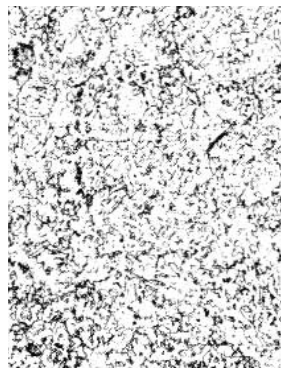
Martensit

Diese Gitterverzerrung wird durch das Verhältnis  $c_M : a_M$  beschrieben.  $c_M$  nimmt mit steigendem C-Gehalt stark zu.  $a_M$  nimmt schwach ab.



Gitterkonstanten:  $\varrho$ -Eisen  $a = 2,87 \cdot 10^{-7}$  mm;  
 $\tau$ -Eisen  $a_0 = 3,65 \cdot 10^{-7}$  mm; Martensit:  $a_M = a$ ,  $c_M > a$   
 (abhängig vom C-Gehalt): O = Fe-Atom, \* = C-Atom.

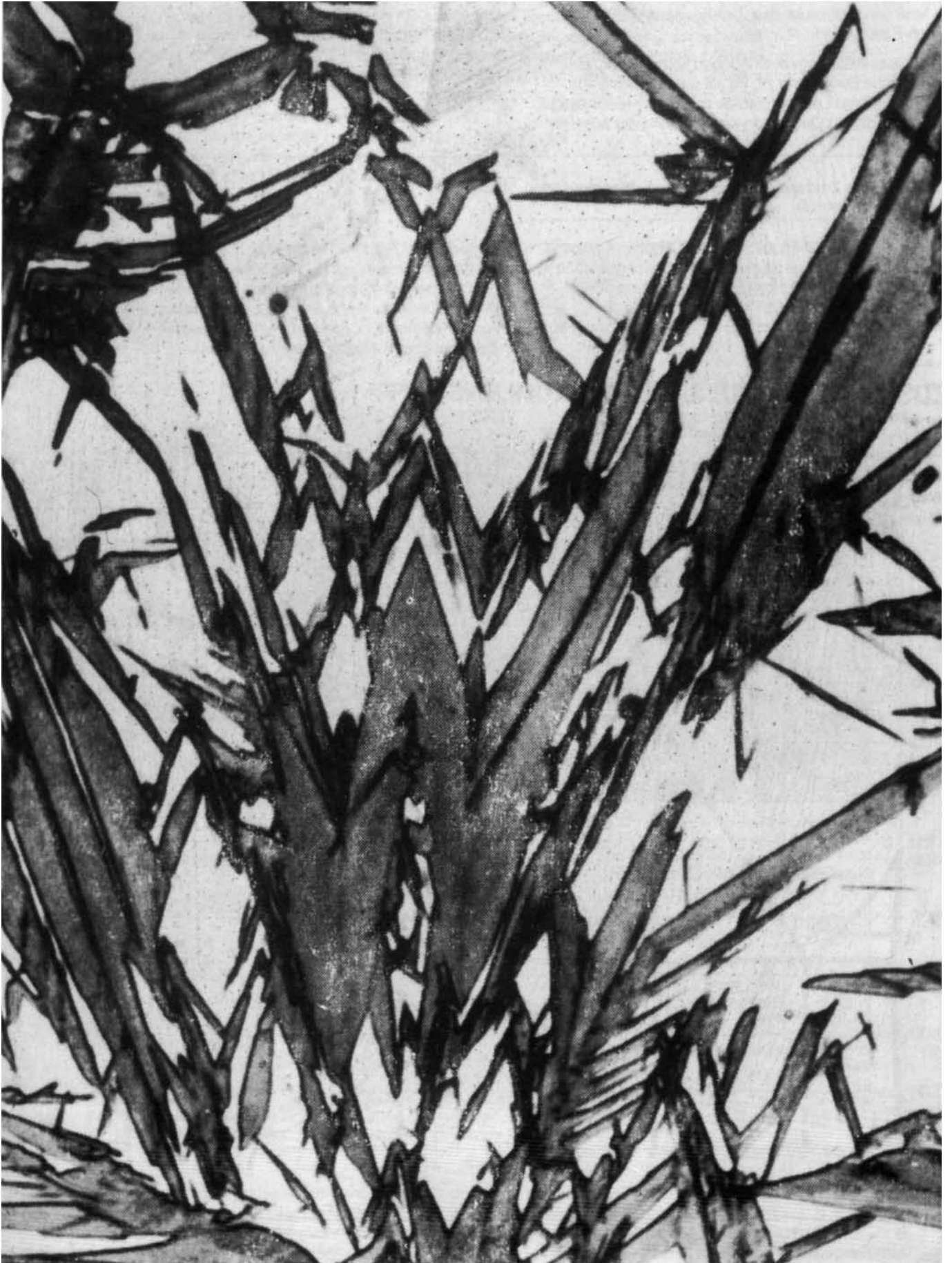
Bei Abkühlbedingungen, die weder schlagartig zu kohlenstoffübersättigtem Martensit noch zu Perlit (vgl. Kapitel 2.2.1) führen, entsteht „**Bainit**“. Wenn sich dieses Gefüge bei höheren Temperaturen bildet, ähnelt es mehr dem bei gleichgewichtsnahen Bedingungen entsprechenden Perlit, bei tiefen Temperaturen hat es mehr Ähnlichkeit mit Martensit. Im ersten Fall spricht man vom „**oberen Bainit**“, im zweiten vom „**unteren Bainit**“. Über die Bildungsmechanismen dieses Ferrit-Karbid-Gefüges bestehen nach wie vor unterschiedliche Auffassungen.



Oberer Bainit



Unterer Bainit





## 2.2 Schaubilder zur Darstellung der Umwandlungsvorgänge unter technischen Bedingungen

Die meisten technischen Wärmebehandlungen basieren auf der Umwandlung von Austenit.

Grundlage für die Beschreibung des Umwandlungsverhaltens von Stählen ist das Gleichgewichtsschaubild Eisen-Eisenkarbid.

Den Austenitierungsbedingungen kommt dabei eine wesentliche Bedeutung zu, da sie die Verteilung von Kohlenstoff und Legierungselementen im  $\gamma$ -Mischkristall, den Grad der Auflösung von Karbiden und die

Austenitkorngröße beeinflussen, welche wiederum bei der entstehenden Gefügeausbildung bei der Abkühlung wirksam werden.

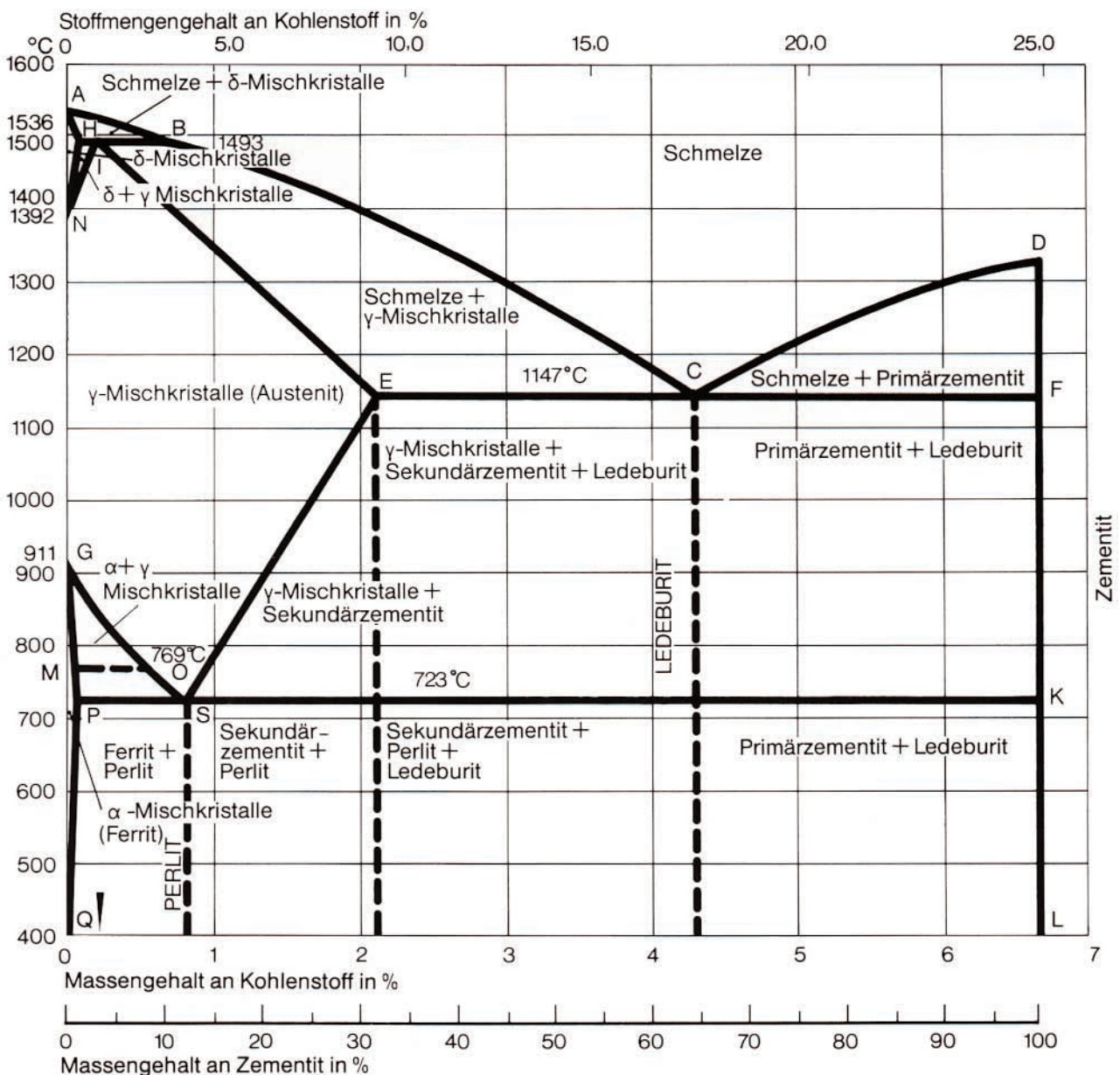
Der Ablauf der Austenitbildung beim Erwärmen wird mit ZTA(Zeit-Temperatur-Austenitierungs)-Schaubildern, jener der Austenitumwandlung während der Abkühlung mit ZTU(Zeit-Temperatur-Umwandlungs)-Schaubildern beschrieben.

### 2.2.1 Das Zustandsschaubild Eisen-Eisenkarbid (Zementit)

Dieses Schaubild zeigt die bei verschiedenen Temperaturen und Gehalten an Kohlenstoff im Gleichgewichtszustand, d. h. nach sehr langsamer Erwärmung oder Abkühlung, vorliegenden Phasen (Schmelze,  $\delta$ -Mischkristall,  $\gamma$ -Mischkristall,  $\alpha$ -Mischkristall,  $\tau$ -Mischkristall, Zementit).

Je nach dem Zeitpunkt ihrer Entstehung bezeichnet man die Phase Zementit als Primär- oder Sekundärzementit. Bestimmte Ausbildungsformen und Anordnungen der Phasen führen zu Gefügen mit eigenem Namen (Perlit = Ferrit + Zementit, „Ledeburit“ =  $\tau$ -Mischkristall + Zementit bzw.  $\alpha$ -Mischkristall + Zementit).

## ZUSTANDSSCHAUBILD EISEN-KOHLLENSTOFF



Im Folgenden soll nun der Ausschnitt aus dem Fe-C-Diagramm kurz beschrieben werden, welcher für die Wärmebehandlung von Stählen von Bedeutung ist.

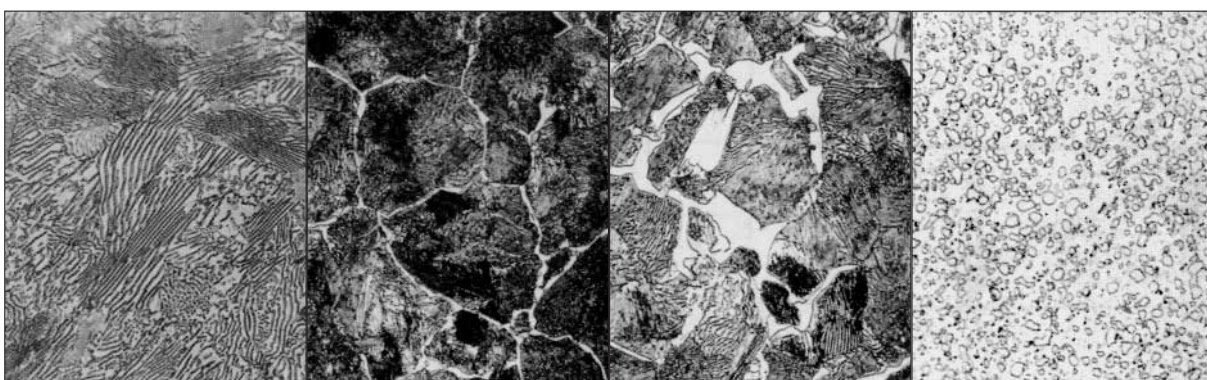
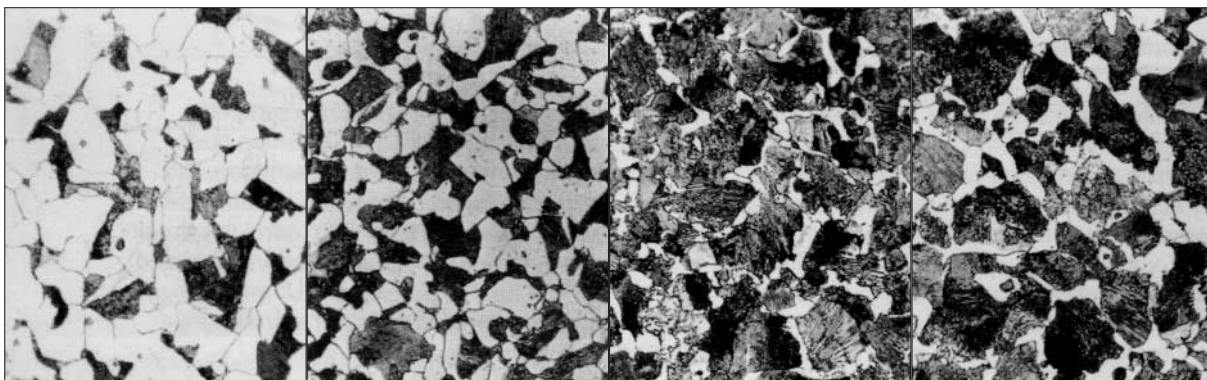
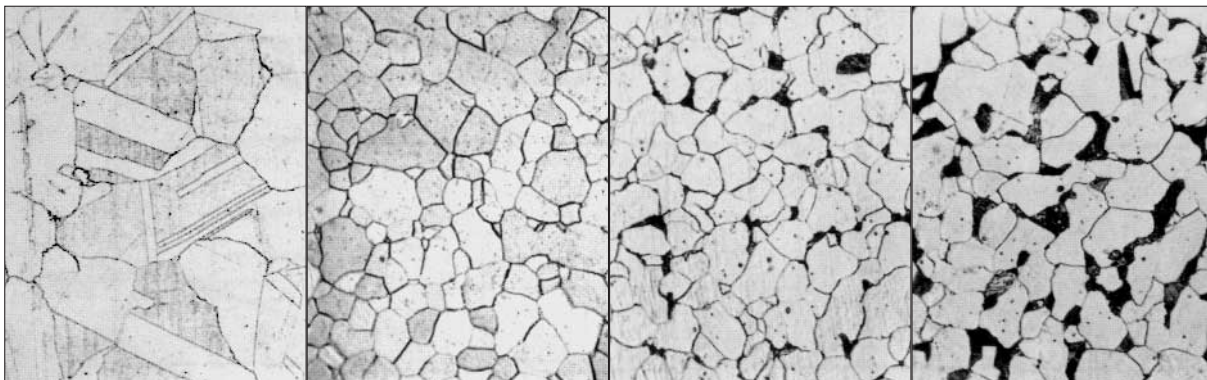
Bei Temperaturen über der Linie GOSE liegt  $\gamma$ -Mischkristall = Austenit (Bild 1) vor, in welchem bis ca. 2% Kohlenstoff gelöst werden können.

Bei untereutektoidischen Stählen (C-Gehalte unter 0,8%) scheidet sich bei der Abkühlung unter GOS  $\alpha$ -Mischkristall = Ferrit mit einer Löslichkeit von höchstens 0,02% Kohlenstoff aus. Bei übereutektoidischen Stählen (C-Gehalt über 0,8%) entsteht unter SE die Eisenkohlenstoffverbindung  $Fe_3C$ (=Zementit).

Unter PSK zerfällt der Austenit in ein heterogenes Gemenge aus Ferrit und Zementit, welches in seiner lamellaren Anordnung Perlit genannt wird. Bei rascher Abkühlung, d. h. mit zunehmender Unterkühlung des Austenits, wird das Perlitgefüge feiner.

Bei Raumtemperatur besteht das Gefüge technisch reinen Eisens aus Ferrit (Bild 2). Mit steigendem C-Gehalt nimmt der Perlitanteil zu (Bild 3 bis 8), bis schließlich beim 0,8% C nur noch reiner Perlit vorliegt (Bild 9). Über 0,8% C liegt ein Gefüge aus Perlitkörnern vor, die von einem je nach C-Gehalt unterschiedlich starken Korngrenzenkarbidnetz (Sekundärzementit) umgeben sind (Bilder 10 und 11).

Eine gleichmäßige Karbidverteilung des im Perlit enthaltenen Zementits und des Sekundärzementits in Form kugelig eingeformter Karbide (körniger Zementit) erhält man durch eine Wiedererwärmung auf Temperaturen im Bereich PSK, d. h. ein Weichgühen (Bild 12).



$V = 500 : 1$  (Bild 1  $V = 100 : 1$ )

Durch den Zusatz von Legierungselementen werden die Umwandlungstemperaturen und die Gleichgewichtslinien gegenüber reinen Eisen-Kohlenstoffwerkstoffen verändert. Für eine Beschreibung der Umwandlungs-

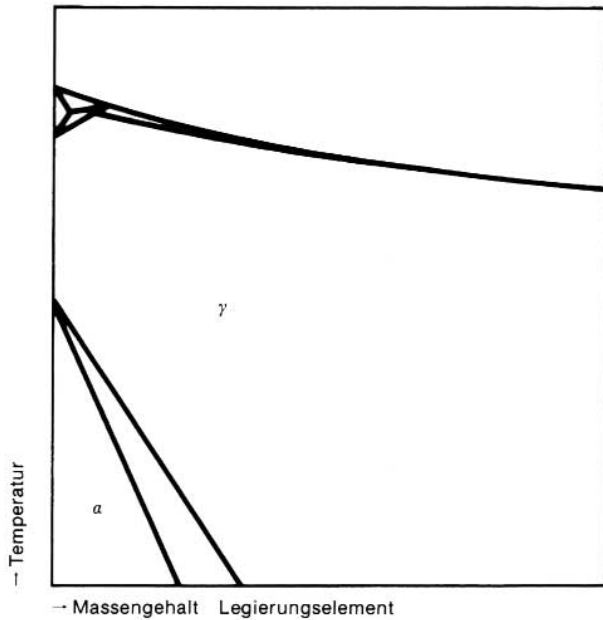
vorgänge und der entstehenden Gefügebestandteile müssen andere, z. T. Mehrstoff-Zustandsschaubilder, wie z. B. Eisen-Chrom-Kohlenstoff, herangezogen werden.



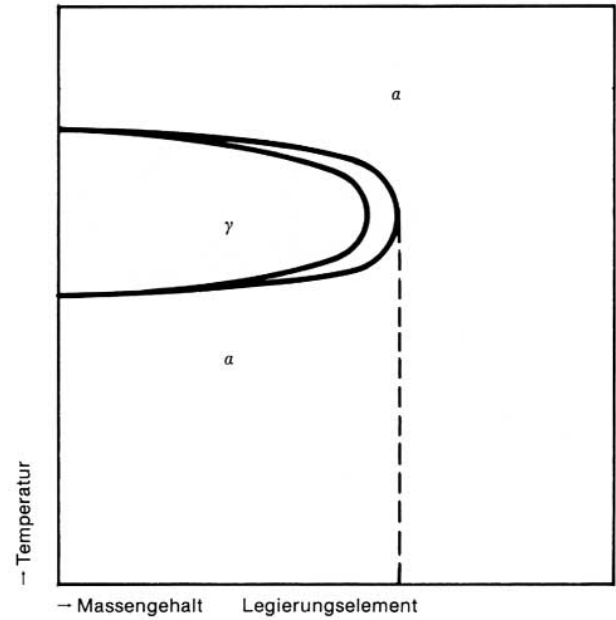
### 2.2.1.1 Einfluss von Legierungselementen auf das Zustandsschaubild Fe-Fe<sub>3</sub>C

Das Gleichgewichtsschaubild Eisen-Eisenkarbid wird durch Legierungselemente verändert. Grundsätzlich sind zwei Gruppen von Legierungselementen zu unterscheiden:

1. Elemente, die das  $\gamma$ -Gebiet erweitern (z. B. Nickel, Mangan). Bei bestimmten Gehalten bleibt das austenitische Gefüge selbst bei langsamer Abkühlung bis auf Raumtemperatur erhalten = austenitische Stähle.



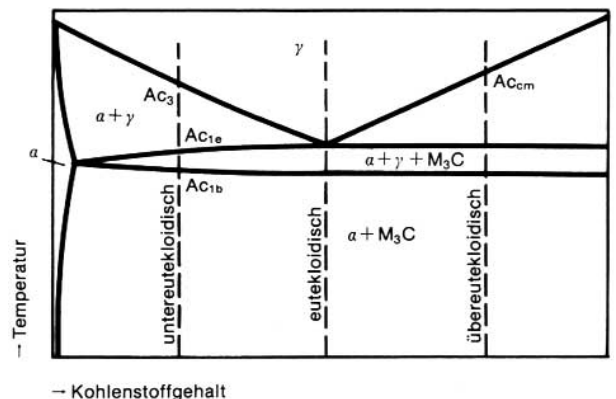
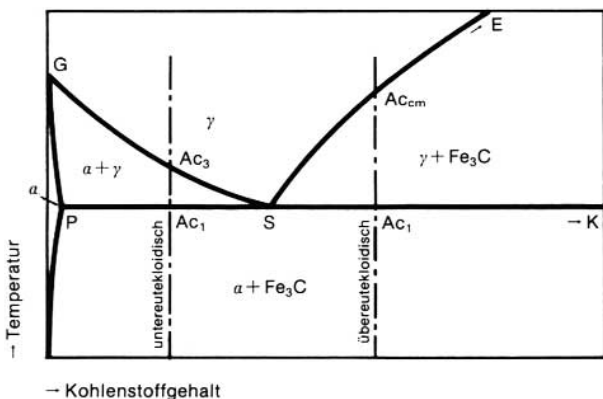
2. Elemente, die das  $\gamma$ -Gebiet verengen oder einschnüren (z. B. Chrom). Bei bestimmten Gehalten findet keine Gefügeumwandlung statt = ferritische Stähle.



### 2.2.1.2 Umwandlungstemperaturen

Die Umwandlungstemperaturen sind für die Wärmebehandlung von besonderer Bedeutung. Es wurden daher einheitliche Bezeichnungen eingeführt. Sie sind in den schematischen Zustandsschaubildern eingetragen, wobei darauf hinzuweisen ist, dass es das Dreiphasengebiet Ferrit + Austenit + Zementit bei legierten Stählen zum Unterschied von Eisen-Kohlenstoff-Werkstoffen nicht nur bei einer Temperatur (Linie PSK) sondern in einem Temperaturbereich gibt. Die Umwandlungstem-

peraturen werden je nach der Geschwindigkeit der Temperaturänderung gegenüber dem Gleichgewicht beim Erwärmen nach oben und beim Abkühlen nach unten verschoben. Die Umwandlungspunkte heißen  $Ac$  (Arret au chauffage = Haltepunkt beim Erwärmen) bzw.  $Ar$  ( $r$  = refroidissement = Abkühlen). Wesentlich für die Wärmebehandlung sind die  $Ac$ -Punkte, die für die Erstellung von Umwandlungsschaubildern im Allgemeinen mit einer Erwärmungsgeschwindigkeit von  $3^\circ\text{C}/\text{min}$  ermittelt werden.



- $Ac_1$  Temperatur, bei welcher sich Austenit zu bilden beginnt.
- $Ac_{1b}$  Temperatur, bei welcher sich bei legierten Stählen Austenit zu bilden beginnt.
- $Ac_{1e}$  Temperatur, bei welcher bei legierten Stählen die Auflösung des Perlits beendet ist. Oberhalb dieser Temperatur ist in untereutektoidischen Stählen nur noch Austenit + Ferrit und in übereutektoidischen Stählen nur noch Austenit + Zementit beständig.

- $Ac_3$  Temperatur, bei welcher die Umwandlung des Ferrits in Austenit beendet ist.
- $Ac_{cm}$  Temperatur, bei welcher der Zementit vollständig in Lösung gegangen ist.
- $Ac_c$  Bei legierten Stählen werden zum Teil andere Karbide als Zementit ( $cm$ ) gebildet. Man schreibt daher anstelle  $Ac_{cm}$  auch  $Ac_c$  ( $c$  = carbid).

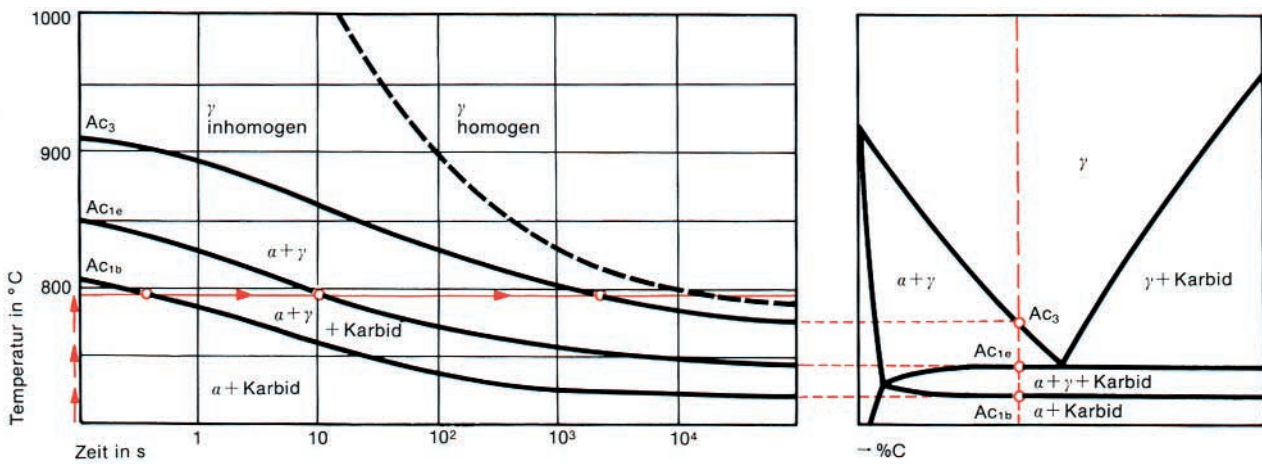
Den ZTA-Schaubildern für isothermische Austenitisierung liegt eine rasche Erwärmung der Proben auf die jeweilige Temperatur zu Grunde. Die Umwandlung wird bei konstanter Temperatur während der Haltedauer gemessen.

Diese Schaubilder sind daher nur entlang horizontaler Linien (Isothermen) zu lesen. Zu beachten ist dabei, dass ein ZTA-Schaubild für isothermische Temperaturführung nur für die Erwärmungsgeschwindigkeit gilt, für die es erstellt worden ist.

Aus der Gegenüberstellung ZTA- und Gleichgewichtsschaubild (im Beispiel für einen untereutektoidischen und einen übereutektoidischen Stahl) ist zu erkennen, dass sich mit zunehmender Dauer die Umwandlungslinien des ZTA-Schaubildes den Umwandlungspunkten  $Ac_{1b}$ ,  $Ac_{1e}$ ,  $Ac_3$  bzw.  $Ac_c$  des Gleichgewichtsschaubildes nähern.

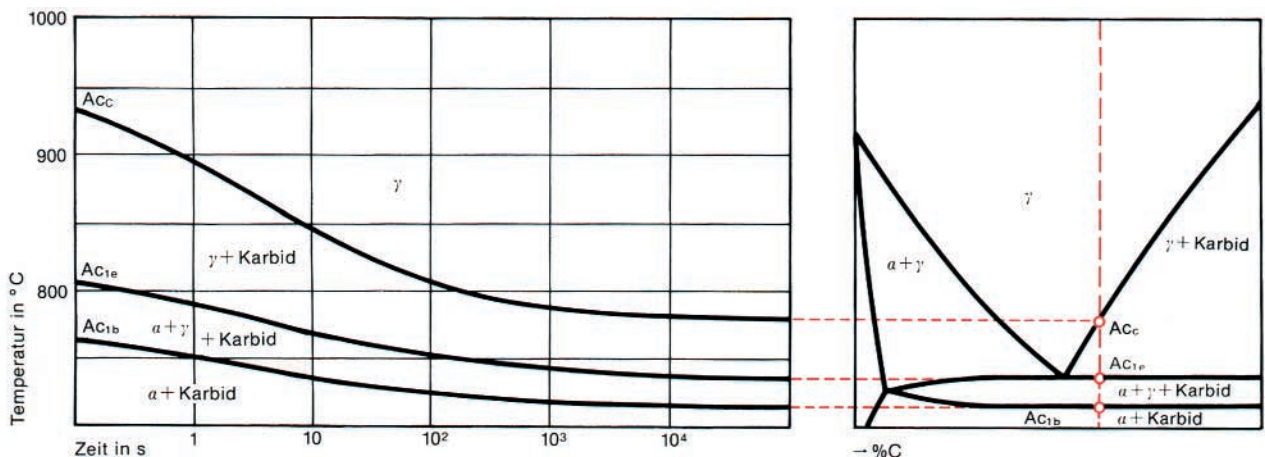
Am Beispiel des untereutektoidischen Stahles wird mit der eingezeichneten roten Linie gezeigt, dass mit Überschreiten der Zeit für  $Ac_{1b}$  (Schnittpunkt) der erste Austenit entsteht. Zwischen  $Ac_{1b}$  und  $Ac_{1e}$  werden die Karbide gelöst, der Ferrit wandelt teilweise in Austenit um. Mit Erreichen der  $Ac_3$ -Linie ist der Ferrit vollständig in Austenit umgewandelt. Über  $Ac_3$  sind zwar keine

Karbide vorhanden, der Kohlenstoff ist aber nicht gleichmäßig verteilt (= inhomogener Austenit). Erst nach einer bestimmten Zeit ist der Austenit homogen. In diesem Zustand werden beim Härten auch die höchsten Härtewerte erreicht. Weiteres Halten führt schließlich zur unerwünschten Grobkornbildung.



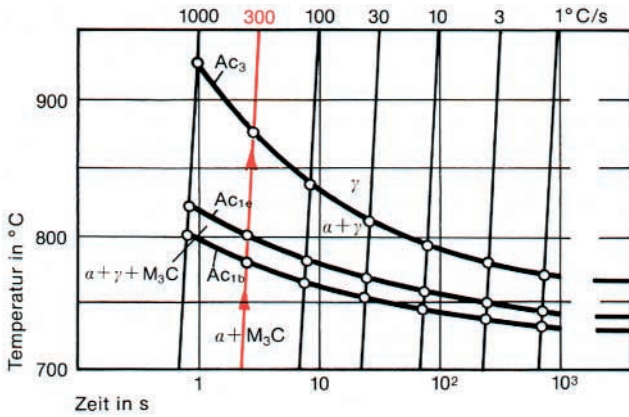
Bei übereutektoidischen Stählen besteht das Gefüge nach Überschreiten der Zeit für  $Ac_{1e}$  aus Austenit und Karbid. Bei  $Ac_c$  sind sämtliche Karbide in Lösung gegangen. Zum Unterschied von untereutektoidischen Stählen strebt man beim Austenitisieren

übereutektoidischer Stähle nicht das Gebiet des homogenen Austenits an, da die ungelösten Karbide den Verschleißwiderstand erhöhen. Außerdem entsteht beim Härten im Fall des homogenen Austenits Restaustenit, der die Härte reduziert.





Bei ZTA-Schaubildern für kontinuierliche Erwärmung werden die Umwandlungen während der Erwärmung mit konstanten Erwärmungsgeschwindigkeiten ermittelt. Diese Schaubilder sind also nur entlang den eingezeichneten Linien der Erwärmungsgeschwindigkeit zu lesen. (Im Beispiel für einen untereutektoidischen Stahl die rot eingezeichnete Linie für 300°C/s).



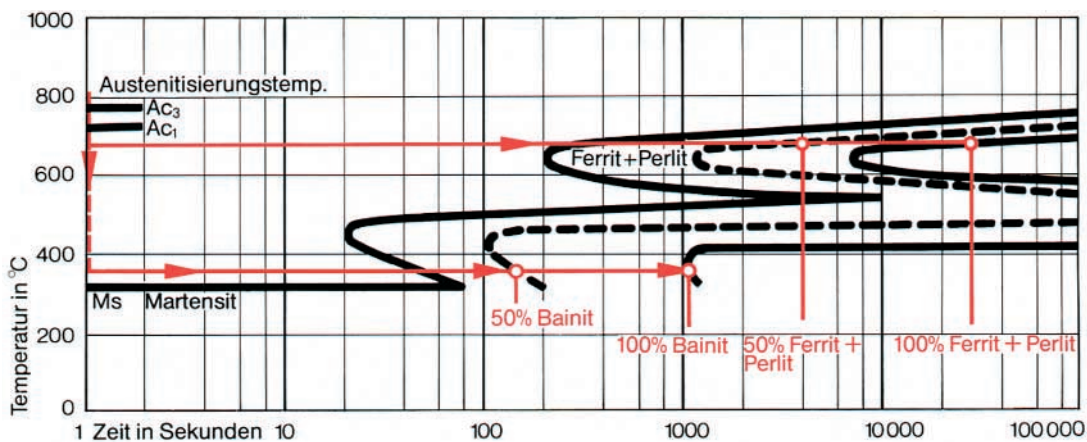
Aus den ZTA-Schaubildern sind Rückschlüsse auf die für das Härten erforderliche Austenitisierungstemperatur und -dauer (unter Berücksichtigung des Verwendungszweckes) möglich. Zusätzlich eingetragene Linien gleicher Austenitkorngröße, gleicher Härte (nach martensitischer Umwandlung) oder gleicher Karbidgehalte geben weitere Informationen.

### 2.2.3 ZTU-Schaubilder

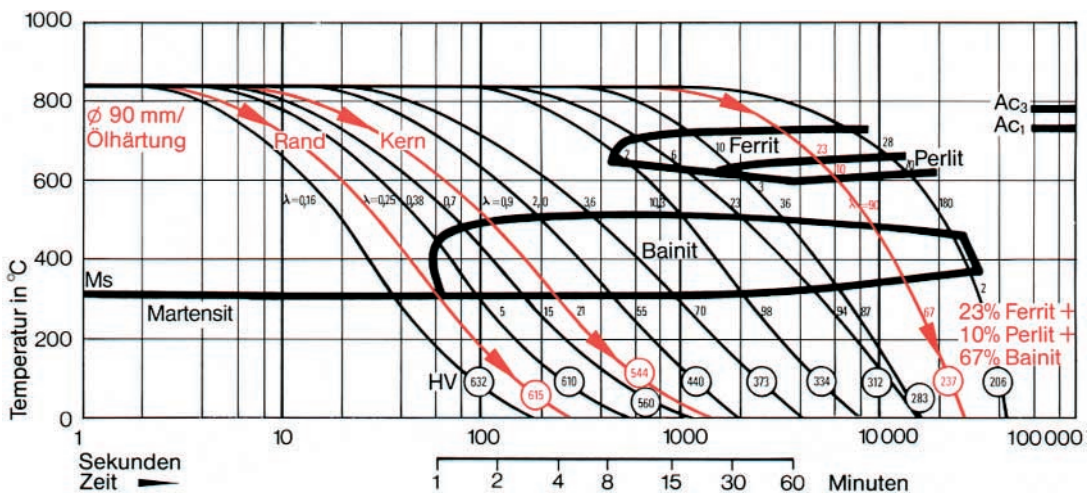
Zur Erstellung eines ZTU-Schaubildes für isothermische Temperaturführung werden Stahlproben von der Austenitisierungstemperatur rasch auf verschiedene Umwandlungstemperaturen abgekühlt, unterschiedlich lang auf Temperatur gehalten und dabei die Umwandlung durch geeignete Methoden, z. B. metallografisch

oder dilatometrisch, beobachtet. In einem Zeit-Temperatur-Diagramm mit logarithmischer Zeitachse werden bei jeder Umwandlungstemperatur die für das Umwandlungsverhalten wesentlichen Zeiten aufgetragen. Die Verbindung entsprechender Punkte ergibt die Linie des ZTU-Schaubildes.

### ZTU-SCHAUBILD FÜR ISOTHERMISCHE TEMPERATURFÜHRUNG



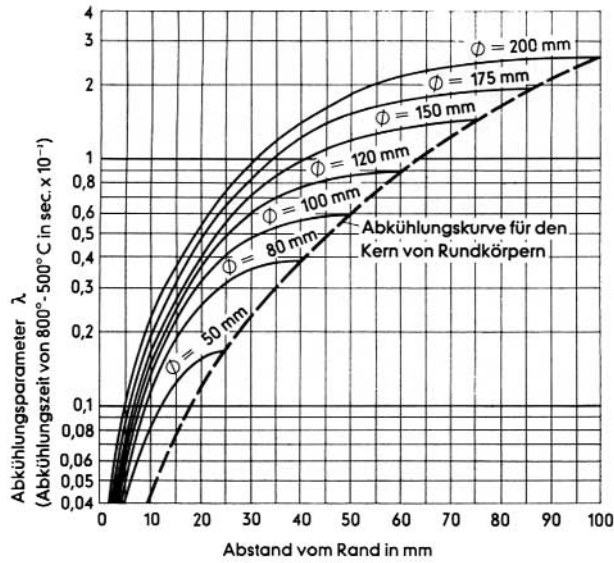
### ZTU-SCHAUBILD FÜR KONTINUIERLICHE ABKÜHLUNG



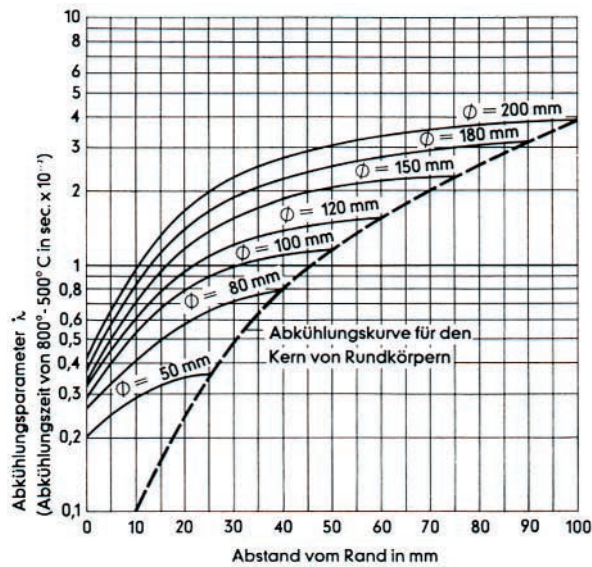




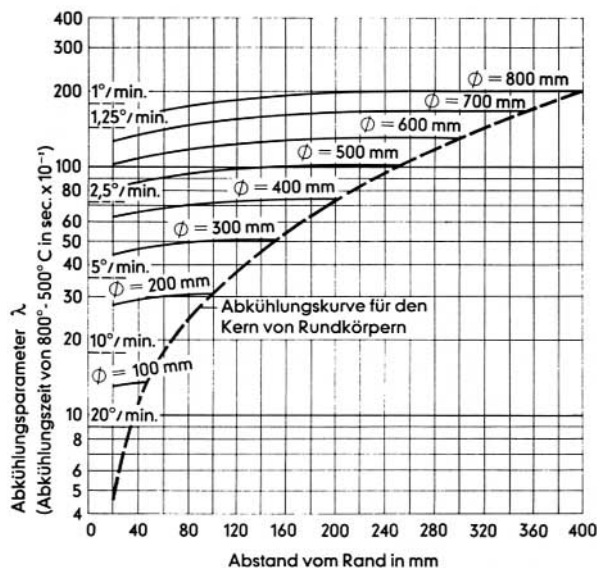
Die Abkühlgeschwindigkeit in einem bestimmten Querschnittsbereich eines Werkstückes hängt im wesentlichen vom Kühlmittel und von der Werkstückgröße ab. Für verschiedene Abkühlmittel kann daher



Verlauf des Abkühlparameters über dem Querschnitt von Rundkörpern bei Wasserabschreckung.

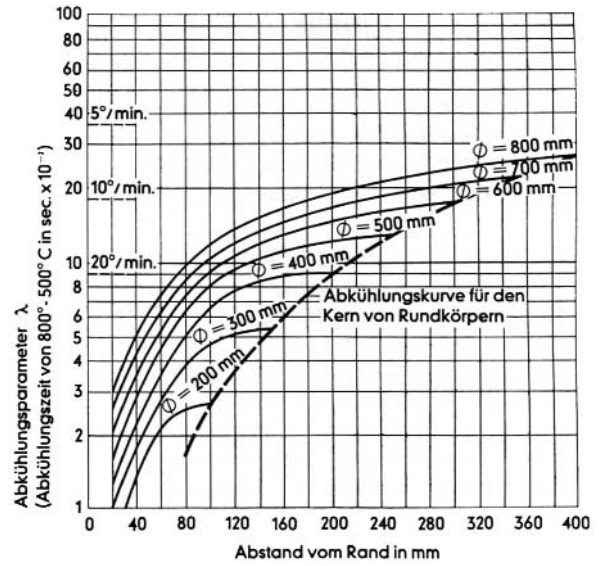


Verlauf des Abkühlparameters über dem Querschnitt von Rundkörpern bei Ölabschreckung.

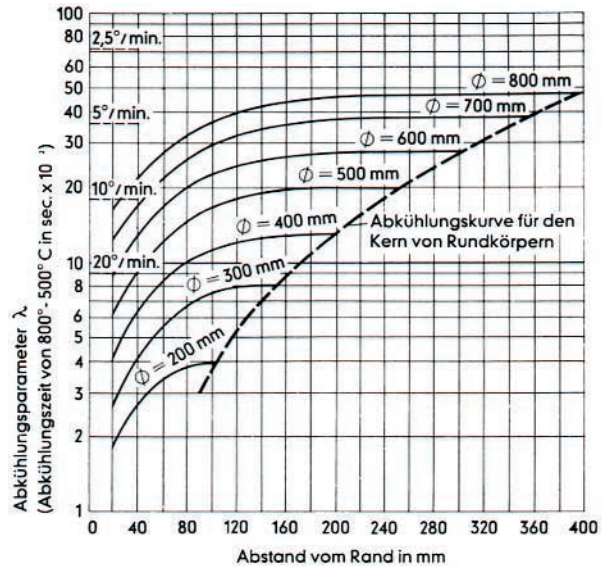


Verlauf des Abkühlparameters über dem Querschnitt von Rundkörpern bei Luftabkühlung.

jedem Punkt des Querschnittes ein bestimmter z-Wert zugeordnet werden. Für Rundstäbe ist dies mit verhältnismäßig hoher Genauigkeit möglich.

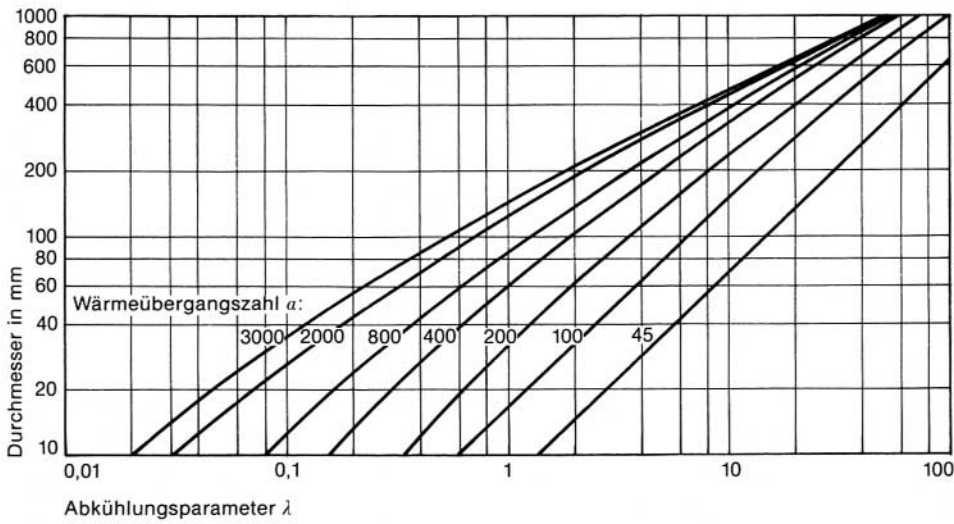
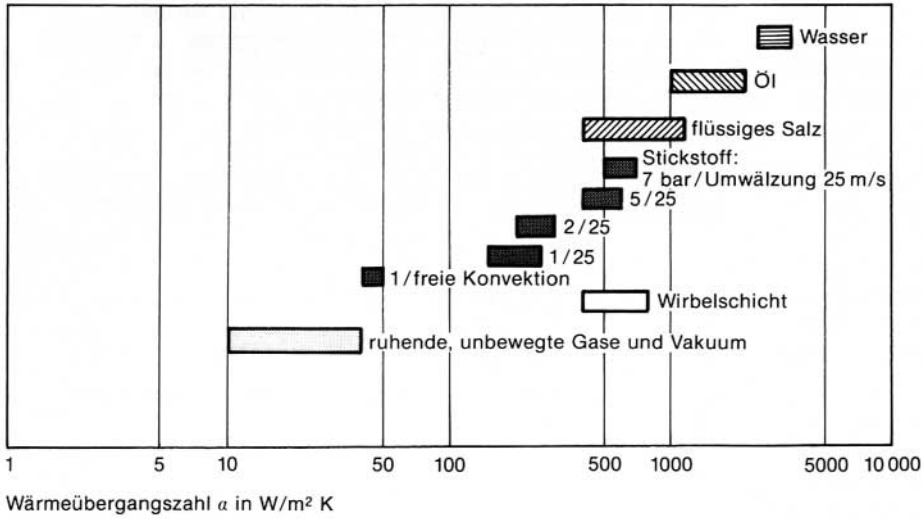


Verlauf des Abkühlparameters über dem Querschnitt von Rundkörpern bei Wasserabschreckung.



Verlauf des Abkühlparameters über dem Querschnitt von Rundkörpern bei Ölabschreckung.

Vergleichsweise sind die Abschreckintensität einiger Abkühlmedien, gekennzeichnet durch Wärmeübergangszahl  $\alpha$ , sowie z-Wert im Kern gegenübergestellt.





Um zu vermeiden, dass die z-Werte jeweils aus Tabellen oder gesonderten Kurven abgelesen werden müssen, wurde das **Kühlzeit-Schaubild** entwickelt. Das Kühlzeit-Schaubild unterscheidet sich vom ZTU-Schaubild für kontinuierliche Abkühlung dadurch, dass auf der Abszisse nicht die Zeit - gerechnet vom Beginn des Abkühlens - aufgetragen ist, sondern jene Zeit, welche bei der jeweiligen Abkühlung benötigt wird, um den Temperaturbereich von 800 bis 500°C zu durchlaufen. Jeder Abkühlungskurve im ZTU-Schaubild entspricht damit im Kühlzeit-Schaubild eine Vertikale. Dadurch ergibt sich auch eine leichte Lesbarkeit des Schau-

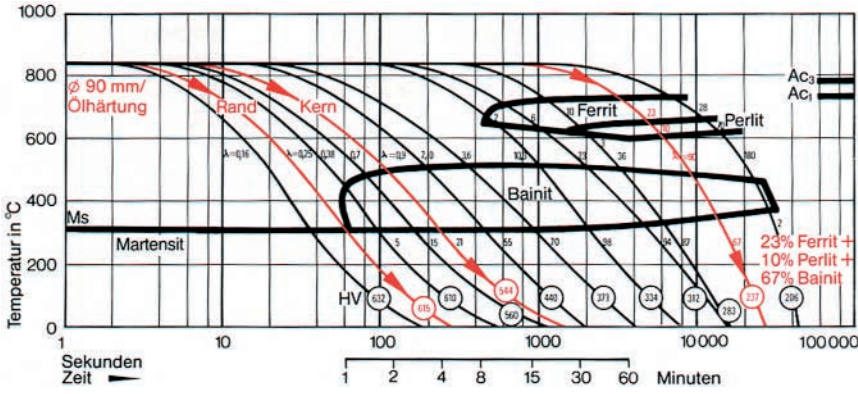
bildes. Gegenüber dem ZTU-Schaubild hat aber das Kühlzeit-Schaubild noch einen weiteren Vorteil: Statt der Kühlzeit von 800 auf 500°C kann auf der Abszisse auch der Abkühlungsparameter angegeben werden, sodass sich hierdurch wieder eine Beziehung zu den Abkühlungsverhältnissen in beliebigen Querschnitten ergibt.

Das **Gefügemengen-Schaubild**, bei welchem wie beim **Kühlzeit-Schaubild** jede Abkühlungskurve des ZTU-Schaubildes einer Vertikalen entspricht, gibt Auskunft über alle Gefügebestandteile, also sowohl umwandlungsfähige als auch nicht umwandlungsfähige.

Auf Seite 17 sind die Zusammenhänge zwischen ZTU-, Kühlzeit- und Gefügemengenschaubild und den Abkühlungsverhältnissen in Rundabmessungen sowie dem Stirnabschreckversuch (siehe Härbarkeit) dargestellt.

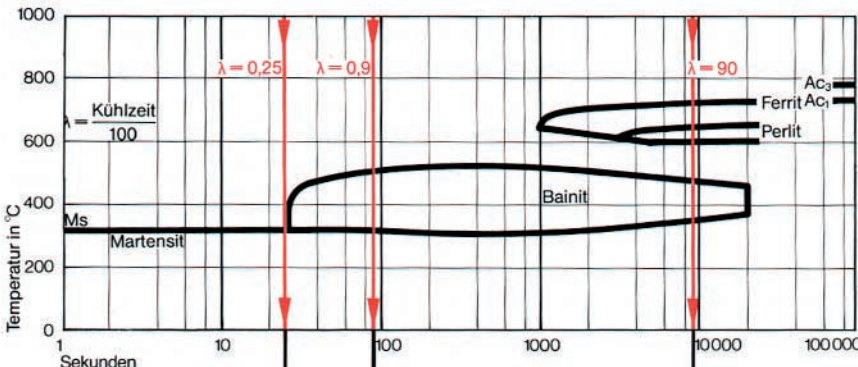
Aus den ZTU-Schaubildern für kontinuierliche Abkühlung bzw. den Gefügemengen- und Kühlzeitschaubildern können auch die **kritischen Abkühlgeschwindigkeiten** abgelesen werden. Die **kritischen Abkühlgeschwindigkeiten für die Martensitstufe** (auch obere kritische Abkühlgeschwindigkeit genannt), ist z. B. jene kleinste Abkühlgeschwindigkeit, die die Bildung von Ferrit, Perlit und Bainit gerade vermeidet, sodass nur Martensit gebildet wird. Die Umwandlung von Austenit läuft nicht immer vollständig ab. Besonders bei hohen C-Gehalten und niedrigen Umwandlungstemperaturen bleibt meist Austenit als **Restaustenit** erhalten.

ZTU-SCHAUBILD FÜR KONTINUIERLICHE ABKÜHLUNG

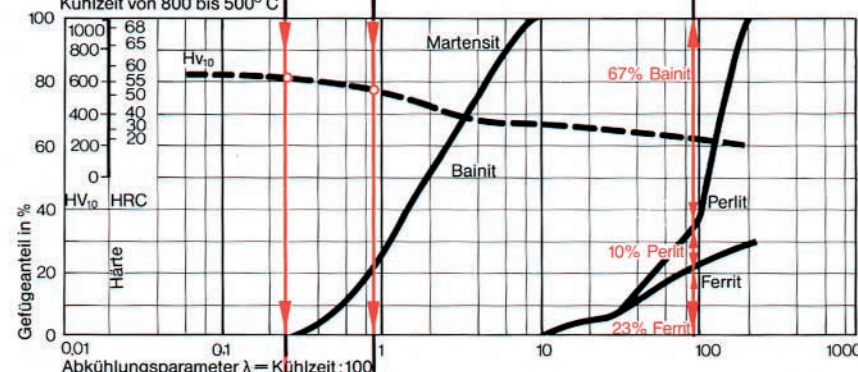


ZTU-Schaubild für kontinuierliche Abkühlung

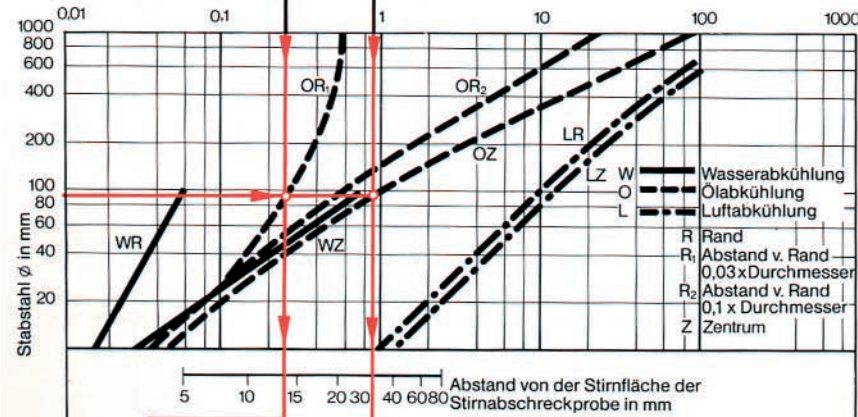
KÜHLZEIT-SCHAUBILD UND GEFÜGEMENGEN-SCHAUBILD



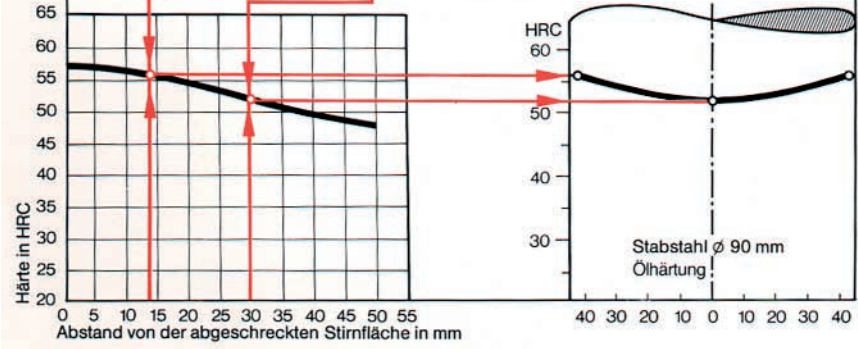
Kühlzeit-Schaubild



Gefügemengen-Schaubild



Zusammenhang Werkstückdurchmesser und Stirnabschreckprobe

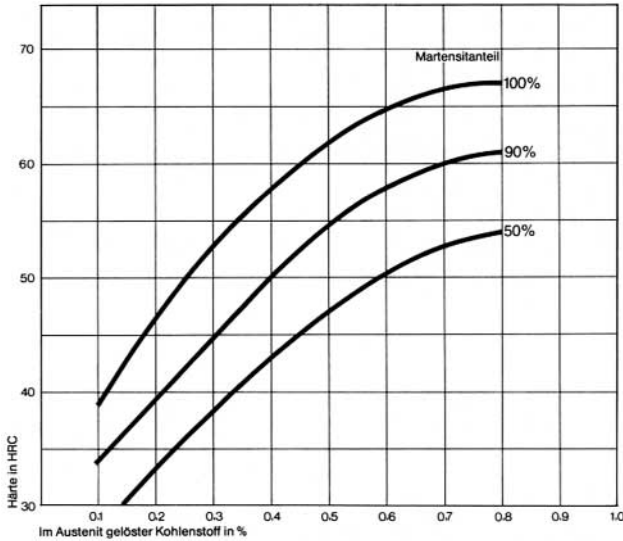


## 2.3 Härtbarkeit

Als Härtbarkeit bezeichnet man das Ansprechen eines Stahles auf das Härten. Sie ist ein Maß für die Fähigkeit eines Stahles, durch Umwandlung von Austenit in Martensit und/oder Bainit entsprechende Härtewerte anzunehmen.

Unter dem Begriff Härtbarkeit werden die **Aufhärtbarkeit** und die **Einhärtbarkeit** zusammengefasst.

Als **Aufhärtbarkeit** bezeichnet man die unter optimalen Bedingungen erreichbare **höchste Härte** eines Werkstoffes. Sie hängt von dem im Austenit gelösten Anteil des Kohlenstoffgehaltes des Stahles, welcher bei gegebener chemischer Zusammensetzung von den Austenitisierungsbedingungen bestimmt wird, ab.



Unter der Voraussetzung, dass das Gefüge aus 100% Martensit besteht, gilt für C-Gehalte bis 0,6% C angenähert:

$$\text{Härte} = (20 + 60 \cdot \% \text{ C}) \text{ HRC}$$

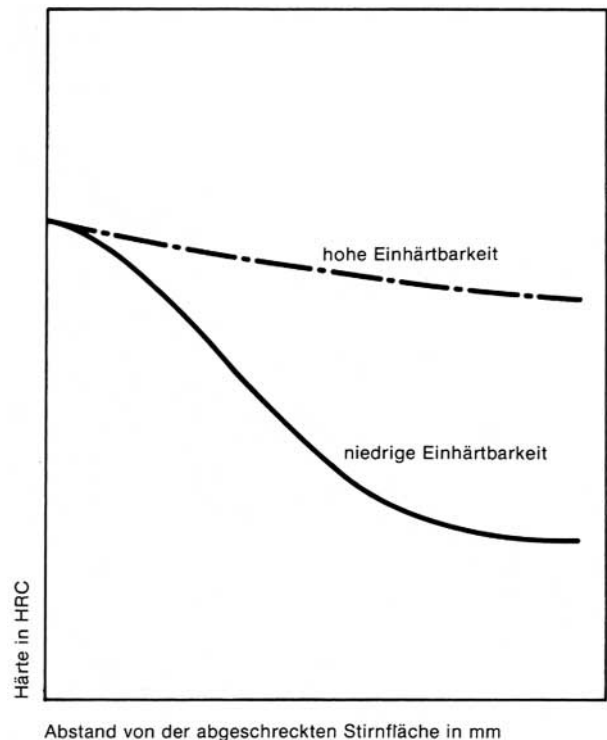
Bei der **Einhärtbarkeit** hingegen wird die Härteannahme über den Querschnitt eines Werkstückes angesprochen, welche von der kritischen Abkühlungsgeschwindigkeit für die Martensitbildung und daher außer vom C-Gehalt vom Gehalt an Legierungselementen und Korngröße abhängt. Die Einhärtbarkeit ist also die durch Härten unter optimalen Bedingungen erreichbare **größte Eindhärtungstiefe**.

Die Eindhärtungstiefe ist der senkrechte Abstand von der Oberfläche eines gehärteten Werkstückes bis zu dem Punkt, an dem die Härte einem zweckentsprechend festgelegten Grenzwert entspricht (Ermittlung z. B. nach DIN 50190, Blatt 2).

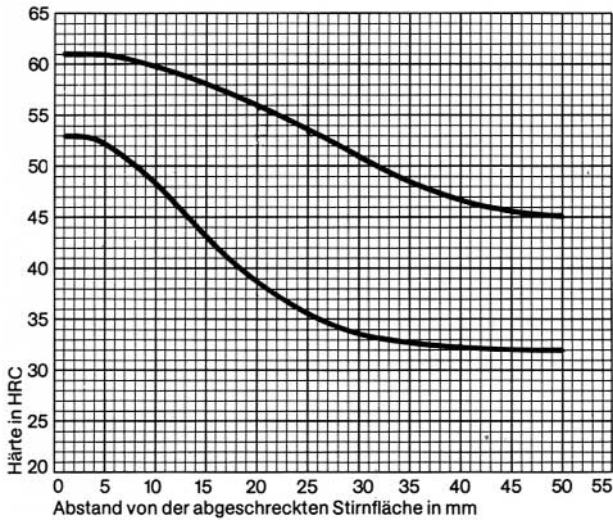
Mit **Aufhärtung** bzw. **Einhärtung** werden die unter gegebenen Bedingungen tatsächlich erreichten Werte der **Oberflächenhärte** bzw. der **Eindhärtungstiefe** bezeichnet.

Ein gebräuchliches Verfahren zur Prüfung der Härtbarkeit ist der **Stirnabschreckversuch** (Jominy-Versuch), z. B. nach DIN 50191. Dabei wird eine Probe 25 mm rd x 100 mm nach dem Austenitisieren in einer geeigneten Vorrichtung von der unteren Stirnseite her mit einem Wasserstrahl unter gleichbleibenden Bedingungen abgeschreckt. Die Abkühlungsgeschwindigkeit und somit auch die Härte, welche nach dem Abschrecken entlang einer angeschliffenen Mantelfläche gemessen wird, nimmt mit dem Abstand vom abgeschreckten Ende ab.

Der Verlauf der Härtekurve kennzeichnet die Härtbarkeit. Bei gleichem C-Gehalt ist die Aufhärtbarkeit gleich, die Eindhärtbarkeit ist legierungsabhängig.



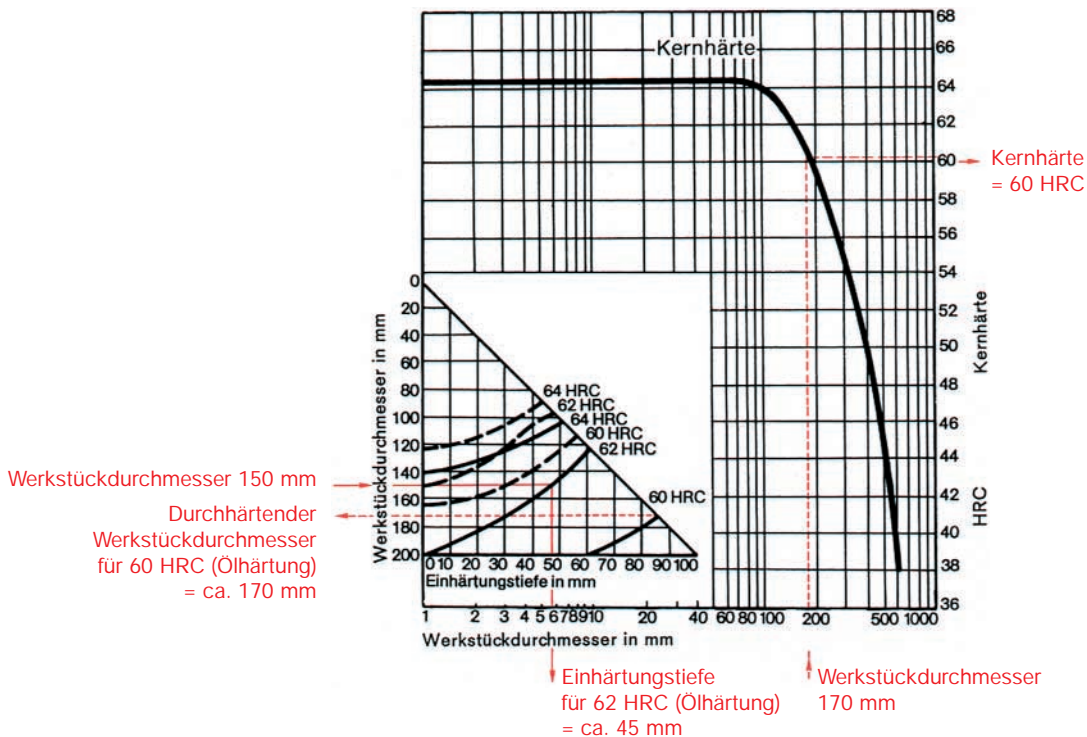
Die Chargeneinflüsse bei einem Stahltyp werden durch Härtebarkeitsstreubänder gekennzeichnet.



Jedem Abstand vom abgeschreckten Ende einer Stirnabschreckprobe kann eine bestimmte Abkühlgeschwindigkeit, ausgedrückt durch die Kühlzeit von 800 bis 500°C, zugeordnet werden. Ist die Kühlzeit in einem bestimmten Punkt eines Werkstückes bekannt, so kann aus den Ergebnissen des Stirnabschreckversuches auf die Härte an dieser Stelle geschlossen werden. Den Zusammenhang für Rundabmessungen zeigt die Abbildung auf Seite 17 (Kapitel 2.2.3).

Vor allem bei Werkzeugstählen ist noch eine andere Darstellungsart der Einhärtungstiefe üblich.

Härtetemperatur: 1030° C  
 Härtemittel:  
 ——— Öl  
 - - - - - Luft



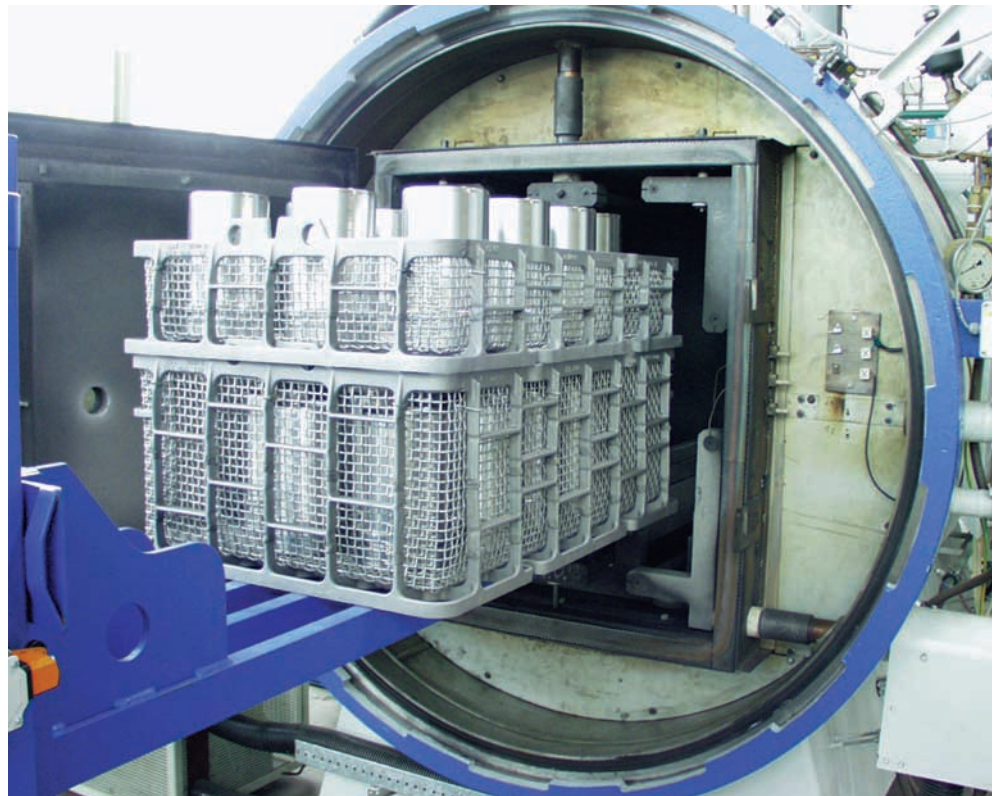
Abhängigkeit der Kernhärte und der Einhärtungstiefe vom Werkstückdurchmesser





# DIE HEISSE PRAXIS

Wärmebehandlung



# 3 Wärmebehandlung

## 3.1 Allgemeine Definitionen

**Wärmebehandlung** ist ein Vorgang, in dessen Verlauf ein Werkstück oder ein Bereich eines Werkstückes absichtlich **Temperatur-Zeit-Folgen** unterworfen wird. Gegebenenfalls kann das Werkstück dabei zusätzlich anderen **physikalischen und/oder chemischen Einwirkungen** ausgesetzt werden.

Die Wärmebehandlung hat den Zweck, einem Werkstück **Eigenschaften** zu verleihen, die für seine **Weiterverarbeitung** oder **Verwendung** erforderlich sind.

Eine Wärmebehandlung kann Umwandlungen der Gefügebestandteile hervorrufen, ohne die mittlere chemische Zusammensetzung des Werkstückes zu ändern. Die Gefüge-Bestandteile können am Ende der Behandlung im Gleichgewicht sein (z. B. Ferrit+Karbid nach dem Weichglühen) oder nicht (z. B. Martensit nach dem Härten). Sie kann auch eine Änderung der Größe, Form und Verteilung von Gefügebestandteilen bewirken, ohne deren Art zu verändern (z. B. Weichglühen). Es kann ferner in der Randzone der Gehalt an bestimmten Elementen und damit auch die Art gewisser Gefügebestandteile verändert werden (z. B. Einsatzhärten). Weiters kann die Größe und Verteilung von Eigenspannungen geändert werden (z. B. Spannungsarmglühen).

Bei der Festlegung der Wärmebehandlungstechnologie sind nicht nur die Werkstoffeigenschaften, sondern auch die Größe und Form der Werkstücke, die Dauer gewisser Abschnitte der Zeit-Temperatur-Folge und die Erwärmungs- und Abkühlungsart zu berücksichtigen, da sie das Ergebnis wesentlich beeinflussen.

Jede Wärmebehandlung umfasst die Einzelvorgänge:

### **Wärmen**

Erhöhen der Temperatur eines Werkstückes.

### **Vorwärmen**

Wärmen mit anschließendem Halten auf einer oder mehreren Temperaturen (mehrstufiges Vorwärmen) unterhalb der vorgesehenen Höchsttemperatur. Durch das Vorwärmen sollen Spannungen, die zu Verzug führen können, vermindert und Anwärmspannungsrisse vermieden werden.

### **Anwärmen**

Wärmen bis zum Erreichen der Solltemperatur in der Randschicht.

### **Durchwärmen**

Wärmen nach dem Erreichen der Solltemperatur in der Randschicht bis zum Erreichen der Solltemperatur im ganzen Querschnitt, d. h. auch im Kern.

### **Erwärmen**

Anwärmen + Durchwärmen

### **Halten**

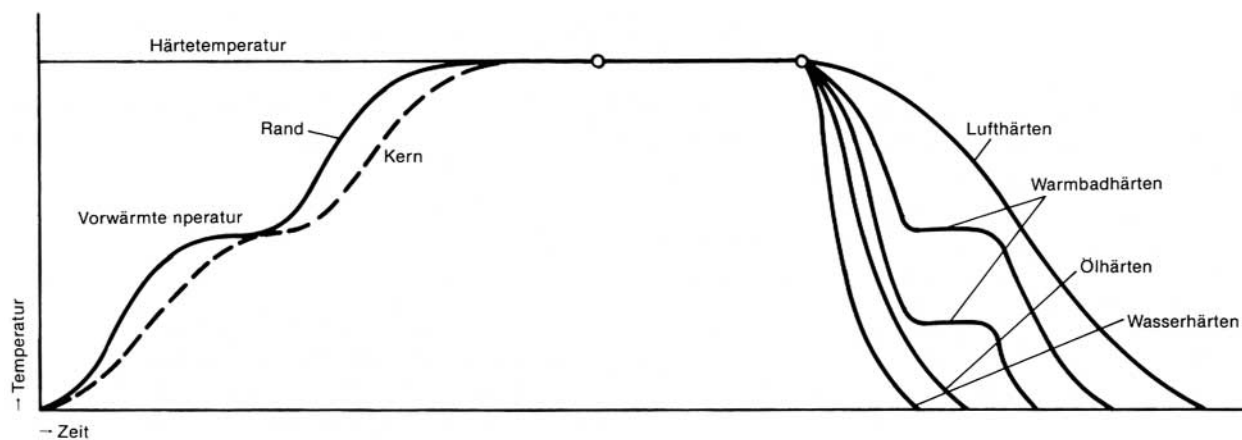
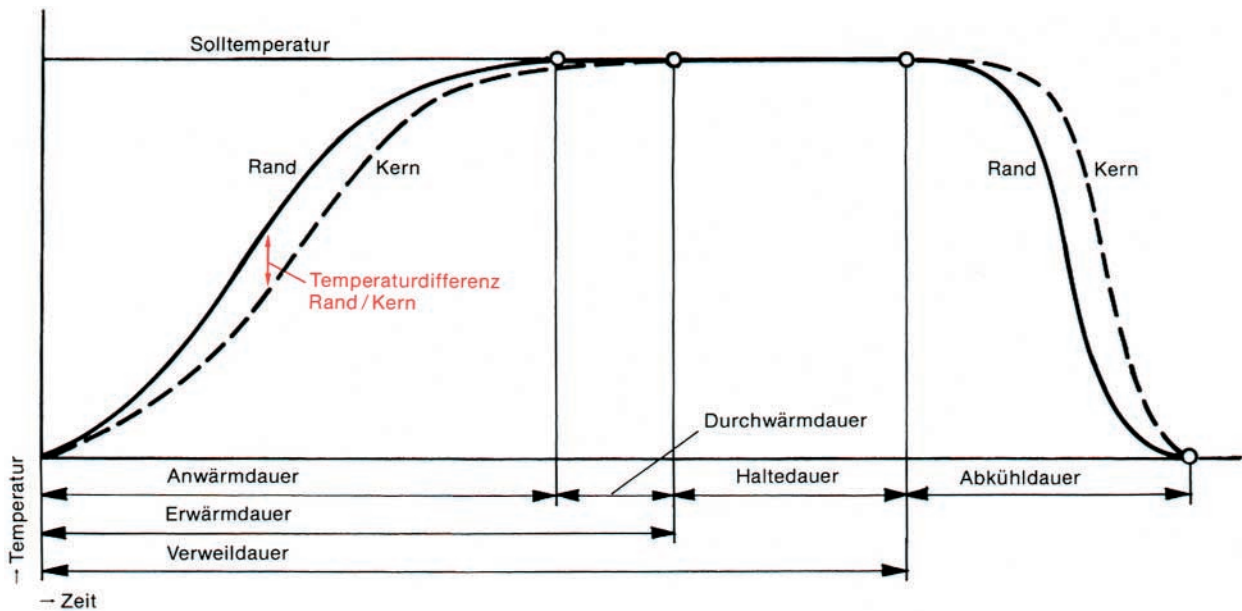
Aufrechterhalten der Temperatur über den ganzen Querschnitt.

### **Abkühlen**

Erniedrigen der Temperatur eines Werkstückes. Das Abkühlen mit größerer Geschwindigkeit als an ruhender Luft wird **Abschrecken** genannt. (Beim Abkühlen austenitischer Stähle von hohen Temperaturen zur Erreichung eines austenitischen Gefüges mit guter Zähigkeit spricht man auch bei Luftabkühlung von Abschrecken).

Die **Verweildauer** (früher bei Behandlung in Salzbadern Tauchdauer genannt), d. h. die Zeitspanne vom Einbringen eines Werkstückes in einen Ofen bis zu seiner Entnahme, setzt sich also aus Erwärm- und Haltedauer zusammen.



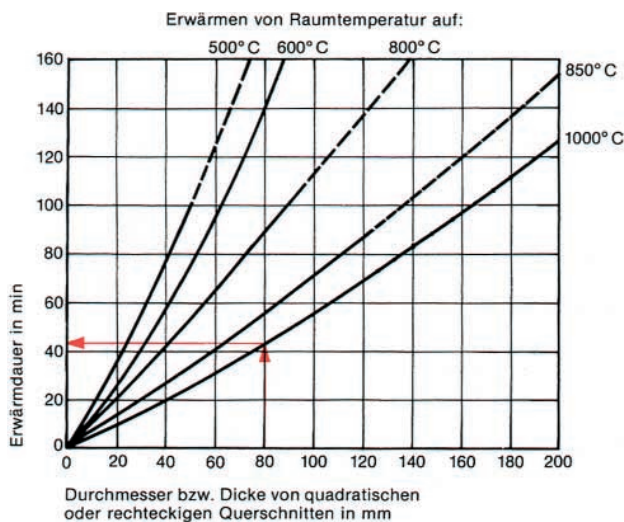


Die Anwärmdauer und die Durchwärmdauer hängen von verschiedenen Faktoren (Wärmebehandlungstemperatur, Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffes, Werkstückgröße, Anzahl der Werkstücke im Ofenraum, Wärmeübergang) ab. Es ist daher sehr schwierig, den Zeitraum abzuschätzen, wann die Kerntemperatur eines Werkstückes die Solltemperatur erreicht hat. Beim Härten aus der Verpackung kann auch die Oberflächentemperatur nicht unmittelbar optisch gemessen werden. Es können daher nur sehr allgemeine Anhaltangaben über Anwärm- und Durchwärmdauer gemacht werden.

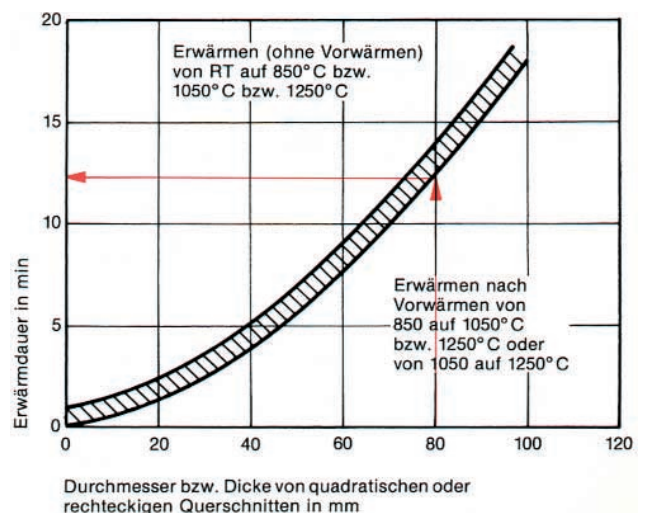
Für die Erwärmung im Kammerofen gibt das folgende Diagramm (links) Richtwerte.

Zu den Werten der Erwärmdauer ist noch die Haltezeit, die querschnittsunabhängig ist, dazuzuzählen. Sie beträgt beim Härten unlegierter Werkzeugstähle im allgemeinen 10 bis 20 Minuten, bei legierten Werkzeugstählen 15 bis 30 Minuten.

Die Erwärmung im Salzbad verläuft wesentlich rascher (Diagramm rechts).

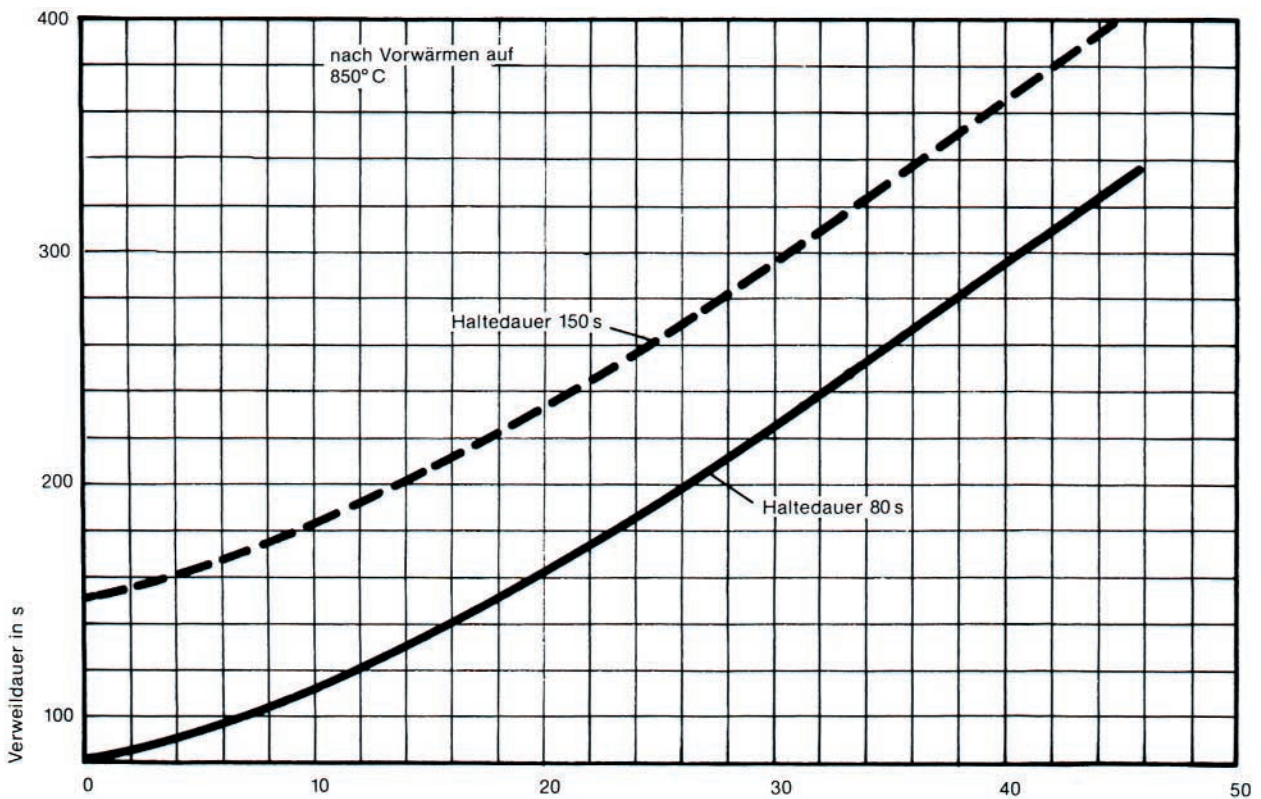
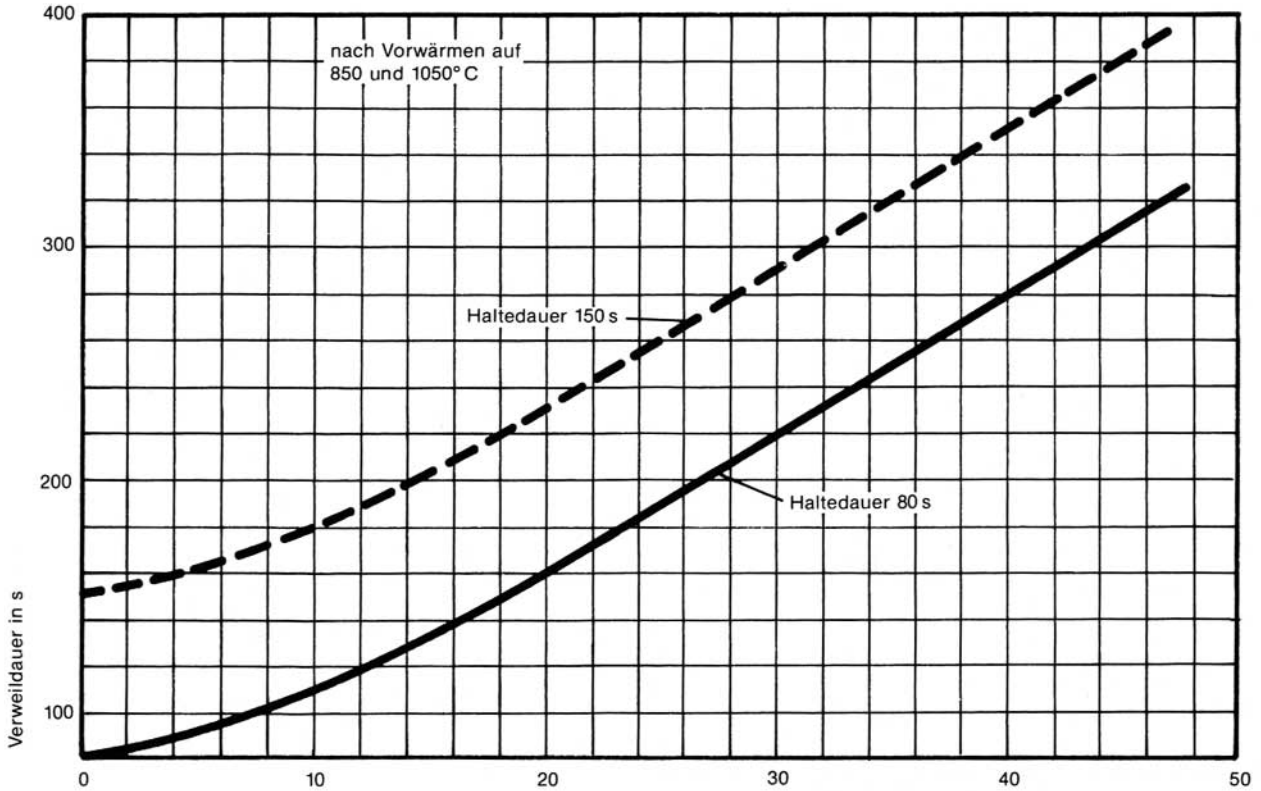


Erwärmdauer im Kammerofen



Erwärmdauer für das Erwärmen in Salzschnmelzen ohne und nach Vorwärmen (Anhaltswerte nach Versuchen mit Proben aus dem Böhler Stahl S 600 ermittelt)

Da es in der Praxis nicht möglich ist, Erwärm- und Haltezeit getrennt zu ermitteln, wird vor allem für das Härten von Schnellarbeitsstählen mit Diagrammen über die Verweildauer gearbeitet. Die Verweildauer ist in diesem Fall die Dauer von der Überführung aus dem Vorwärmofen in das Härtesalzbad bis zur Entnahme zum Abschrecken. Die Verweildauer berücksichtigt eine übliche Haltezeit von 80 Sekunden sowie eine Haltezeit von 150 Sekunden bei Forderung nach nahezu vollständiger Auflösung der Sekundär-Karbide.








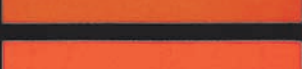


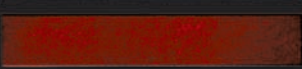
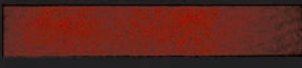


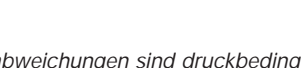
Durchmesser bzw. Dicke von quadratischen oder rechteckigen Querschnitten in mm.

Verweildauer im Härtesalzbad bei Austenitisierungstemperaturen lt. DIN 17350. (In bestimmten Fällen sind auch niedrigere Härtetemperaturen und längere Verweildauer vorteilhaft.)

## 3.2 Glühfarben

Wichtig für den Erfolg einer Wärmebehandlung ist die Einhaltung der vorgeschriebenen Wärmebehandlungstemperaturen. Die Wärmebehandlungsanlagen sollen daher mit verlässlichen und exakt arbeitenden **Temperatur-Mess-und-Regelgeräten** ausgestattet sein. Eine genaue Temperaturkontrolle der Werkstücke selbst ist vielfach nur mit zusätzlichem Aufwand möglich.

Einen **groben Anhalt** über die Temperatur eines Werkstückes gibt die Beurteilung aufgrund der **Glühfarben**.

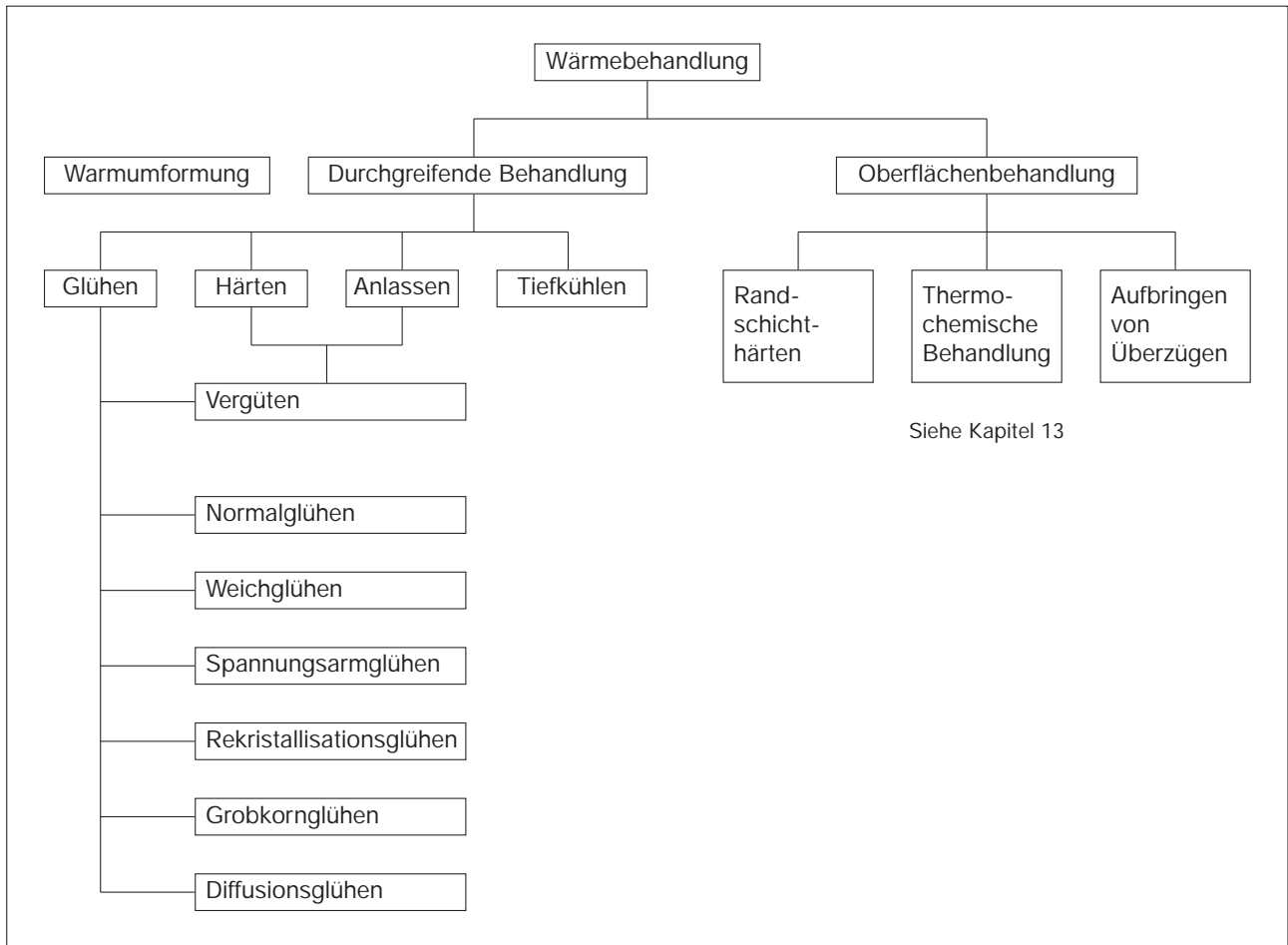
Glüh- temperatur in °C	Glühfarben	Glüh- temperatur in °F
1300		2370
1200		2190
1100		2010
1000		1830
950		1740
900		1650
850		1560
810		1490
780		1440
740		1360
680		1260
630		1170
550		1020

*(Geringfügige Farbabweichungen sind druckbedingt)*

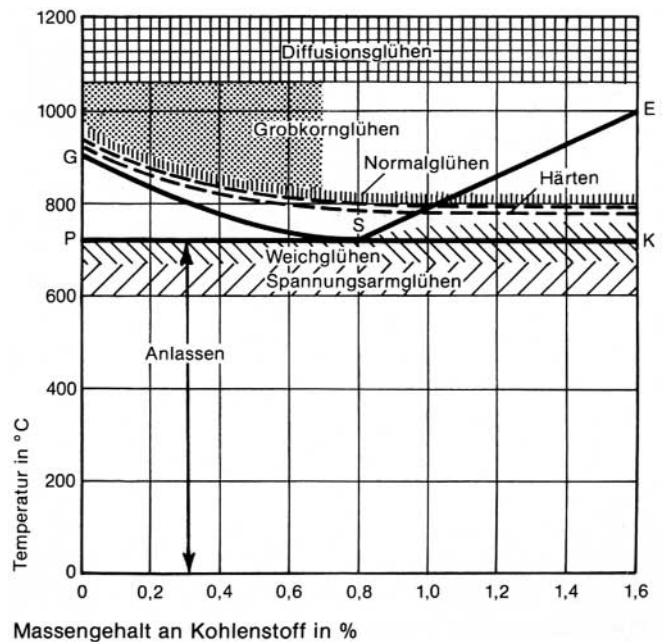


### 3.3 Wärmebehandlungsarten

In der nachstehenden Tabelle sind die wesentlichen Wärmebehandlungsarten, die im Folgenden noch näher erläutert werden, zusammengefasst.



Am Beispiel unlegierter Stähle sind für wesentliche Wärmebehandlungen die Temperaturbereiche im Eisen-Kohlenstoffdiagramm angegeben. Da sich die Lage der Umwandlungstemperaturen bei legierten Stählen ändert, verschieben sich auch die Temperaturbereiche für die einzelnen Wärmebehandlungsarten. Die zweckmäßigen Temperaturen sind in den technischen Datenblättern der BÖHLER-Stähle angeführt.



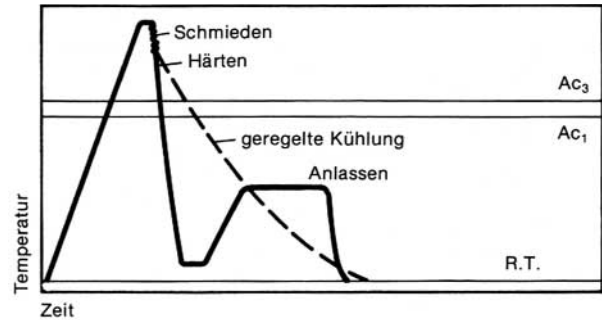
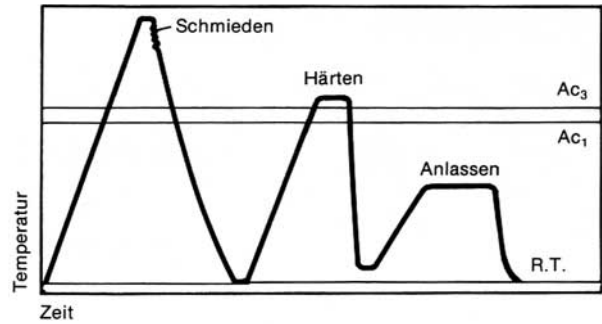
### 3.3.1 Warmumformung

Das Erwärmen zum Warmumformen zählt definitionsgemäß nicht zur Wärmebehandlung, obwohl grundsätzlich die selben Gesichtspunkte wie z. B. beim Erwärmen auf Austenitisierungstemperatur gelten.

Für das Warmumformen ist in den Behandlungsanleitungen unserer technischen Datenblätter unter Berücksichtigung des Formänderungsvermögens und der Formänderungsfestigkeit für die einzelnen Stähle ein Temperaturbereich angegeben. Die Anfangstemperatur soll so gewählt werden, dass die Verformung an der unteren Temperaturgrenze beendet ist, um Grobkornbildung zu vermeiden.

In bestimmten Fällen und unter bestimmten Voraussetzungen können Wärmebehandlungen unmittelbar an eine Warmumformung angeschlossen sein (z. B. Härten aus der Warmumformhitze ohne zwischenzeitliches Abkühlen unter  $A_{c1}$ ).

Auch die Verbindung von Umformvorgängen mit Wärmebehandlungen wird in manchen Fällen angewendet, um bestimmte Werkstoffeigenschaften zu erreichen. Zu diesen thermomechanischen Behandlungen zählt z. B. das Austenitformhärten (Austenitisieren, Abkühlen in ein Temperaturgebiet geringer Umwandlungsneigung, Umformen unter Vermeidung von Rekristallisation, weiter Abkühlen zur Härtung).



Konventionelle Vergütung (oben) und Behandlung aus der Umformwärme (unten)

### 3.3.2 Normalglühen

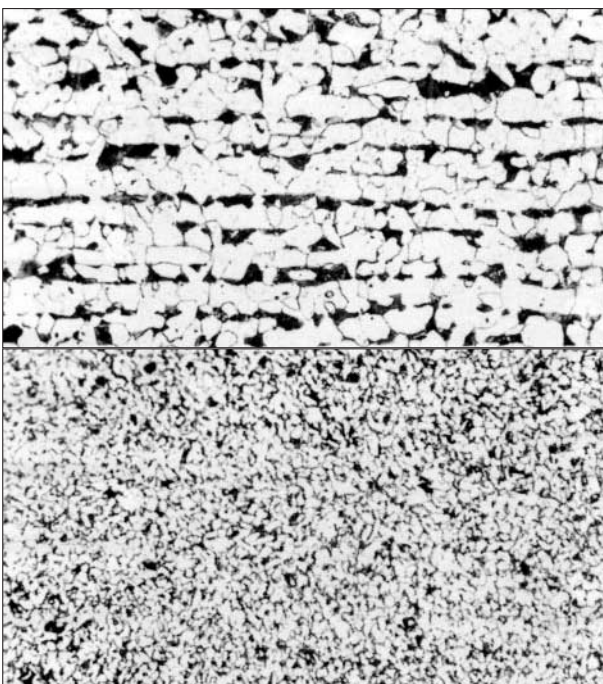
Das Normalglühen besteht aus einem Erwärmen auf eine Temperatur wenig (ca. 20 – 50°C) oberhalb  $A_{c3}$ , bei übereutektoidischen Stählen jedoch oberhalb  $A_{c1}$ , und einem Abkühlen in ruhiger Atmosphäre, im allgemeinen Luft. (Im Deutschen verwendet man bei übereutektoidischen Stählen den Begriff **Umkörnen**).

Durch das Normalglühen soll im Allgemeinen ein unregelmäßiges und grobkörniges Gefüge, welches in Gussstücken vorliegt oder bei der Warmumformung entstanden ist, durch das zweimalige Durchlaufen der

$\alpha$ -T-Umwandlung beim Erwärmen und Abkühlen in ein gleichmäßiges, feinkörniges Gefüge mit Ferrit und Perlit umgewandelt werden.

Das Normalglühen ist nur bei Stählen anwendbar, deren Umwandlung bei Luftabkühlung in der Perlitstufe abläuft (keine Martensitbildung).

Durch Walzen mit geregelter Temperaturführung können die gleichen Wirkungen wie durch Normalglühen erreicht werden.



Blech 0,25% C. Walzzustand (oben), normalgeglüht (unten)



Stahlguss 0,25% C. Gusszustand (oben), normalgeglüht (unten)

Weichglühen ist eine Wärmebehandlung zum Vermindern der Härte eines Werkstoffes auf einen vorgegebenen Wert.

Beim Weichglühen durch ein Erwärmen und ein- bis zweistündiges Halten auf Temperaturen im Bereich der  $A_{c1}$ -Umwandlung – gegebenenfalls Pendeln um  $A_{c1}$  (meist bei über-eutektoidischen Stählen) mit nachfolgender langsamer Abkühlung mit ca. 10 – 20°C/h bis ca. 500°C nehmen die Perlitlamellen kugelige Form an (man spricht auch vom **Glühen auf kugelige Karbide**, Englisch: spheroidizing). Der weichgeglühte Zustand ist in den meisten Fällen am zweckmäßigsten zum Zerspanen und Kaltumformen sowie für das Härten. Ausgenommen sind Stähle mit niedrigem C-Gehalt, die beim Drehen oder Fräsen zum „Schmieren“ neigen.

Bei unlegierten Stählen liegt die **Weichglüh-temperatur** bei ca. 700°C, bei legierten Stählen bei der  $A_{c1b}$ -Temperatur (siehe ZTU-Schaubilder).

### 3.3.4 Spannungsarmglühen

---

Beim Spannungsarmglühen werden innere Spannungen in Werkstücken ohne wesentliche Änderung anderer Eigenschaften durch Erwärmung auf hinreichend hohe Temperaturen (unter  $A_{c1}$ , d. h. im Allgemeinen ca. 650°C, bei Werkzeugstählen mit hoher Warmfestigkeit vorzugsweise im Bereich 720 bis 780°C unter entsprechenden Vorkehrungen gegen Verzunderung; bei vergüteten Stählen jedoch stets unter der Anlass-temperatur), allenfalls ein- bis zweistündiges Halten und anschließendes langsames Abkühlen (im Ofen) weitgehend abgebaut.

Die Spannungen, die beim Härten zu Rissen oder starkem Verzug führen könnten, können durch ungleichmäßiges Erwärmen und Abkühlen (z. B. Schweißen), durch Kaltverformungen (z. B. Richten, spanlose Formgebung) oder beim Zerspanen entstanden sein. Ein Spannungsarmglühen ist daher insbesondere bei unregelmäßig und schwierig geformten Werkstücken unerlässlich.

Anstelle des Spannungsarmglühens kann auch ein **Vorvergüten** (Härten und Anlassen auf eine Härte, die ein Bearbeiten ermöglicht) gewählt werden. Die Behandlung ist erforderlich, wenn geringste Maßänderung gefordert wird.

### 3.3.5 Rekristallisationsglühen

---

Durch Rekristallisationsglühen wird die durch Kaltverformung (z. B. Kaltwalzen von Blech und Band oder Kaltziehen von Draht) hervorgerufene Verzerrung der Kristallite und ihre Streckung und Verformungsrichtung, welche mit einer Zunahme der Versetzungen und mit Gitterverspannungen sowie in der Folge mit einer Festigkeitserhöhung und Zähigkeitsverminderung verbunden ist, wieder rückgängig gemacht. Zum Unterschied vom Normalglühen erfolgt beim Rekristallisationsglühen die Kornneubildung durch Keimbildung und Kornwachstum **ohne Phasenumwandlung**. Die Temperatur, bei welcher die Rekristallisation beginnt, heißt Rekristallisationstemperatur und ist abhängig von der Stahlsorte. Bei Stählen mit Gamma-Alpha-Umwandlung liegt sie im Allgemeinen unter  $A_{c1}$ , im Bereich zwischen 500 und etwa 650°C. Bei Glüh-temperaturen unter der

Rekristallisationstemperatur spricht man von **Erholungsglühen**, wobei die vor dem Kaltverformen vorhandenen Eigenschaften zumindest teilweise wieder hergestellt werden, ohne das Gefüge nennenswert zu ändern. Bei richtig durchgeführtem Rekristallisationsglühen ist das Gefüge feinkörnig und dem normalgeglühten zum Teil sogar überlegen.

Ein Rekristallisationsglühen wird vor allem zwischen den einzelnen Verformungsstufen beim Kaltwalzen und Kaltziehen durchgeführt.

### 3.3.6 Grobkornglühen

---

Grobkornglühen ist ein Glühen bei einer Temperatur meist beträchtlich oberhalb  $A_{c3}$  (z. B. bei ca. 1000°C) mit ausreichend langem Halten, um ein grobes Korn zu erzielen.

Ein grobes Korn ist im Allgemeinen mit einem Zähigkeitsabfall verbunden und deshalb meist unerwünscht. In besonderen Fällen, z. B. bei Einsatzstählen, wird das Grobkornglühen zur Verbesserung der Zerspanbarkeit angewendet. Nach dem Zerspanen kann durch Normalglühen oder Härten wieder ein feines Korn erzeugt werden.

### 3.3.7 Diffusionsglühen

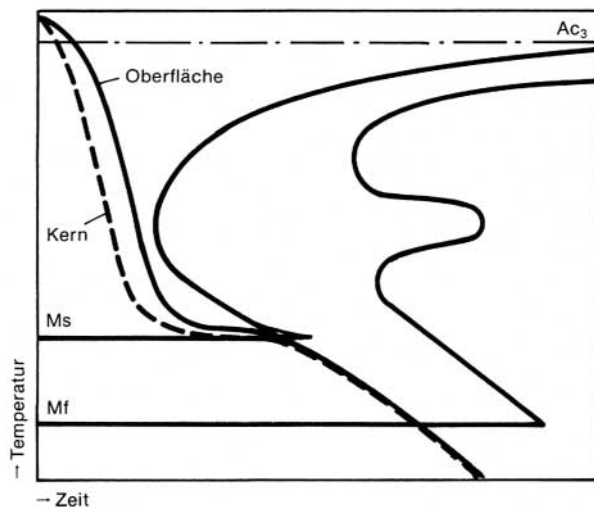
---

Unter Diffusionsglühen versteht man ein Glühen bei sehr hohen Temperaturen (meist im Bereich 1050 bis 1250°C) mit ausreichend langem Halten (bis zu 50 Stunden), um örtliche Unterschiede der chemischen Zusammensetzung infolge Seigerungen (Kristallseigenschaften) durch Diffusion zu verringern. In Verbindung mit besonderen Maßnahmen bei der Erschmelzung und Verarbeitung von Stählen können durch den Seigerungsabbau die Werkstoffeigenschaften in Querrichtung, insbesondere Zähigkeitseigenschaften, wesentlich verbessert und an die Eigenschaften in Längsrichtung angeglichen werden.



Das Härten besteht aus dem Austenitisieren (Erwärmen und Halten auf einer Temperatur oberhalb  $Ac_1$  bzw.  $Ac_3$  – der Austenitierungstemperatur –, um Austenit zu bilden) und Abkühlen mit einer solchen Geschwindigkeit, dass in mehr oder weniger großen Bereichen des Querschnittes eines Werkstückes eine erhebliche Härtesteigerung durch Martensitbildung eintritt. Bei aushärtbaren Stählen besteht die Wärmebehandlung, das Aushärten, aus Lösungsglühen (Auflösung von Ausscheidungen), ausreichend schnellem Abschrecken auf Raumtemperatur und anschließendem Auslagern auf bestimmte Temperaturen (Ausscheidung z. B. intermetallischer Phasen).

Die Härtetemperatur d. h. jene Temperatur, von der ein Werkstück beim Härten abgekühlt wird, ist im Allgemeinen gleich der Austenitierungstemperatur. Je nach kristischer Abkühlgeschwindigkeit, sowie Form und Größe der Werkstücke erfolgt das Abkühlen in verschiedenen Abkühlmitteln (siehe 3.6) und man spricht von Wasserhärten, Ölhärten, Warmbadhärten, Lufthärten, Gebläselufthärten. Beim Warmbadhärten wird in einer Salz- oder Metallschmelze auf eine Temperatur knapp über dem Martensitpunkt abgekühlt und ausreichend lang bis zum Temperatúrausgleich im Werkstück, jedoch ohne Austenitumwandlung, gehalten. Die Martensitbildung soll vornehmlich beim Abkühlen von der Temperatur des Warmbades auf Raumtemperatur stattfinden.



**Warmbadhärten**

Allgemein wird von unterbrochenem Härten (gestuftem Härten) gesprochen, wenn die Abkühlung zum Zweck des Temperatur- und Spannungsausgleiches unterbrochen wird. Wird die Kühlung nacheinander in zwei verschiedenen Abkühlmitteln durchgeführt (z. B. Wasser/Öl oder Öl/Luft), ohne dass im ersten bis zum Temperatúrausgleich gehalten wird, nennt man diesen Vorgang gebrochenes Härten.

Nach der Art der Durchführung der Härtebehandlung sind noch weitere Begriffe üblich, z. B.

#### Sprühhärten

Abkühlung durch Besprühen mit einer Flüssigkeit, meist Wasser oder Wasser/Luft

#### Quettenhärtung

Abkühlung in geeigneten Vorrichtungen, sogenannten „Quetten“ (= kalte Matrizen)

#### Härten aus der Warmumformhitze

Härten im Anschluss an ein Warmumformen ohne zwischenzeitliches Abkühlen und Wiedererwärmen (siehe 3.3.1). Voraussetzung ist ein genaues Beherrschen der Umformvorgänge hinsichtlich Temperaturhöhe und -verteilung (s. a. 3.3.1).

#### Impulshärten

Härten mit sehr kurzzeitigem Austenitisieren bei einer vergleichsweise erhöhten Temperatur, erreicht durch örtlich begrenzte hohe Energiezufuhr, z. B. durch Laserstrahl oder Elektronenstrahl.

#### Flamm- und Induktionshärten

(siehe 13.1)

#### Vakuumhärten, Schutzgashärten

(siehe 3.5)

#### Örtliches Härten (partielles Härten)

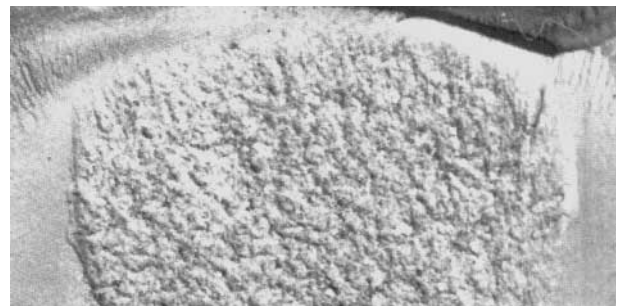
Härten, das nur vorgegebene Stellen oder Bereiche eines Werkstückes erfasst. Dies kann z. B. erreicht werden, indem nur Bereiche des Werkstückes abgeschreckt werden (teilweises Eintauchen in das Abschreckmedium oder teilweises Abdecken mit Pasten usw.).

Die Austenitisierungsbedingungen beeinflussen neben den Ankuhlbedingungen die Eigenschaften eines gehärteten Stahles sehr stark. Hinweise auf die richtige Wahl der Härtetemperatur und der Haltezeit geben die ZTA-Schaubilder (siehe 2.2.2). Zu hohe Härtetemperatur und zu lange Haltezeit führen zu unerwünschter Kornvergrößerung (Überhitzen bzw. Überzeiten).

Die Überhitzung kann auch mittels Härtebruchproben erkannt werden.



Glühzustand, zähes Bruchgefüge



Gehärtet von 810 °C – 15 Min. -> Wasser, Bruch zeigt fein ausgebildete, gehärtete Randschicht und zähen Kern (Schalenhärter)



Gehärtet von 980°C – 15 Min - > Wasser, tiefere Einhärtung und Überhitzungserscheinung leicht glitzernd am Rand erkennbar

BÖHLER K990 (C105W1, 1.1545)

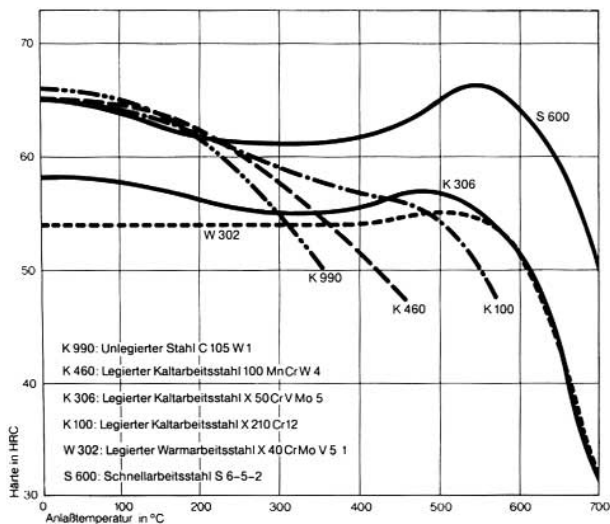
Beim **Anlassen**, bestehend aus direktem oder stufenweisem **Erwärmen** eines gehärteten Werkstückes auf eine Temperatur zwischen Raumtemperatur und  $A_{c1}$ , **Halten** auf dieser Temperatur und zweckentsprechendem **Abkühlen**, wird der beim Härten entstandene Zwangszustand (Gitterverspannung) allmählich aufgehoben. Im Allgemeinen nimmt dabei die Härte ab, die Zähigkeit steigt.

Mit zunehmender Anlasstemperatur laufen im wesentlichen folgende Anlassvorgänge ab:

- ▼ Ausscheidung instabiler Karbide und dadurch Verminderung der Kristallgitterspannungen (Übergang vom tetragonalen zum kubischen Martensit).
- ▼ Umwandlung des Restaustenits.
- ▼ Ausscheidung stabiler Karbide.
- ▼ Einformung stabiler Karbide.

Die Umwandlung des Restaustenits zu Martensit und die Bildung von Sonderkarbiden kann bei höher legierten Stählen bei Anlasstemperaturen bei oder über 500°C sogar zu einem Wiederanstieg der Härte führen (Sekundärhärtung). Bei einmaligem Anlassen liegt der aus dem Restaustenit entstandene Martensit in nicht angelassenem Zustand vor, sodass ein zweites, unter Umständen ein drittes Anlassen erforderlich ist (z. B. bei Schnellarbeits- und Warmarbeitsstählen).

Das Anlassen soll unmittelbar nach dem Härten erfolgen, um Spannungsrisse und bei höher legierten Stählen eine Restaustenit-Stabilisierung zu vermeiden. Die Höhe der Anlasstemperatur richtet sich nach den geforderten Eigenschaften, insbesondere der Arbeits-härte. Richtwerte den Anlassschaubildern der jeweiligen Stähle entnommen werden. Die unterschiedliche Anlasscharakteristik ist für einige Stahlsorten im folgenden Bild dargestellt.



Bei hohen Anforderungen an die Zähigkeit sind die Bereiche der Anlasssprödigkeit um 300 °C und 500 °C zu vermeiden.

Die Anlassvorgänge werden in erster Linie von der Anlasstemperatur beeinflusst. Es besteht jedoch eine gewisse Austauschbeziehung zwischen Anlasstemperatur und Anlassdauer (=Haltedauer).

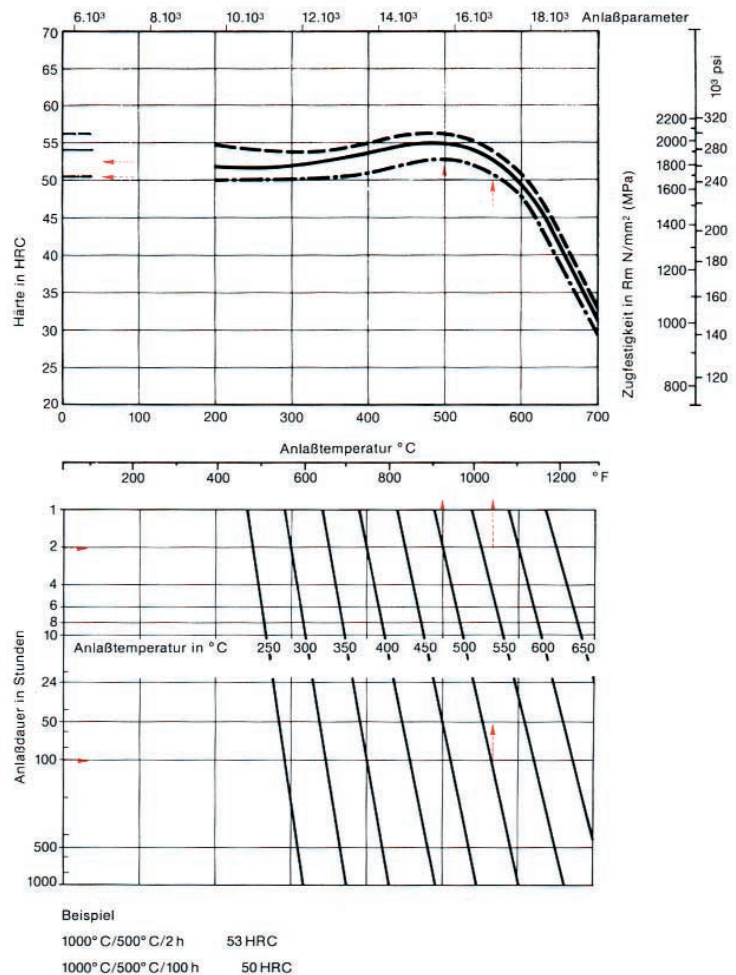
$$M = T(\log t + C)$$

M = Anlassparameter

T = Anlasstemp. in K (= °C + 273 °C)

t = Anlassdauer in h

C = Konstante (für Warmarbeitsstahl BÖHLER W 302 = 20)



Aus der Abbildung ist auch der Einfluss der Härtetemperatur auf das Anlassverhalten ersichtlich.

Anlassen ohne Temperaturmessung ist nach dem heutigen Stand der Wärmebehandlungstechnik als unzureichend anzusehen. Es kommt jedoch vor, dass aus verschiedenen Gründen die Temperatur bei der Anlassbehandlung behelfsmäßig nach der Anlassfarbe beurteilt werden muss.

Die zur Erreichung der gewünschten Arbeitshärte eines Werkzeuges notwendige Anlasstemperatur kann aus der Anlasskurve des verwendeten Stahles abgelesen und die bei dieser Temperatur auftretende **Anlassfarbe** aus der Farbtafel ersehen werden.

### Anlassfarben

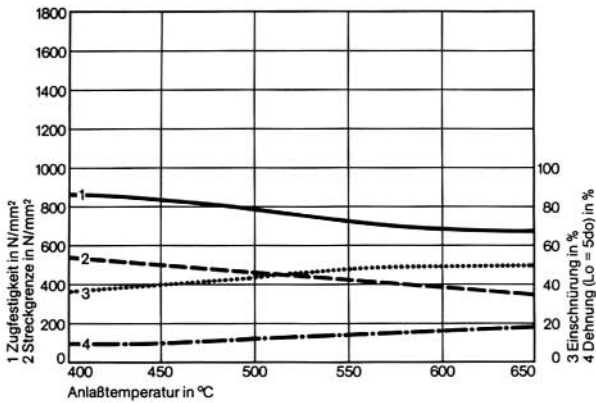
Anlasstemp. in °C	Unlegierte Werkzeugstähle C105W1, WNr. 1.1545 BÖHLER K990 C60W, WNr. 1.1740 BÖHLER K960 C45W, WNr. 1.1730 BÖHLER K945			Kaltarbeitsstahl X210Cr12, WNr. 1.2080 BÖHLER K100		Kaltarbeitsstahl 45WCrV7, WNr. 1.2542 BÖHLER K450		Anlasstemp. in °F
380								720
360								680
340								640
320								610
300								570
290								550
280								540
270								520
260								500
250								480
240								460
230								450
220								430
200								390
	5	20	35	5	35	5	35	
	Erwärmdauer in min			Erwärmdauer in min		Erwärmdauer in min		

(Geringfügige Farbabweichungen sind druckbedingt)



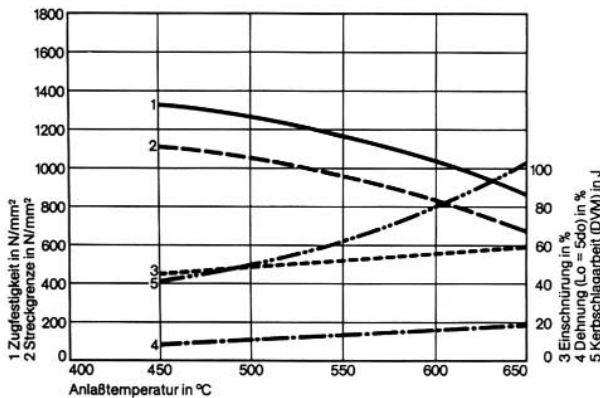
Unter Vergüten versteht man ein Härten und nachfolgendes Anlassen im oberen möglichen Temperaturbereich, um bei gegebener Zugfestigkeit gute Zähigkeitseigenschaften zu erreichen. Die höchste Zähigkeit wird erreicht, wenn das Härtegefüge aus Martensit besteht, was jedoch bei größeren Querschnitten nur bedingt möglich ist. Die Auswahl geeigneter Vergütungsstähle mit ausreichender Härbarkeit muss sich also nach der Werkstückgröße richten.

Härtetemperatur: 850°C  
 Vergütungsquerschnitt:  $\varnothing$  60 mm



Vergütungsschaubild BÖHLER V 945 (Ck 45, WNr. 1.1191)

Härtetemperatur: 840°C  
 Vergütungsquerschnitt:  $\varnothing$  60 mm



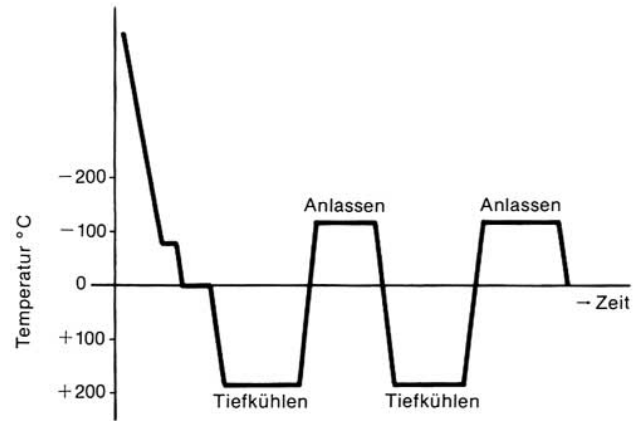
Vergütungsschaubild BÖHLER V 155 (34 CrNiMo 6, WNr. 1.6582)

Bei langsamer Abkühlung von der Anlasstemperatur kann Anlasssprödigkeit, vor allem bei Mn-, Cr-Mn- und Cr-Ni-Stählen, auftreten. Wenn die Möglichkeit einer raschen Abkühlung nicht gegeben ist, kann durch entsprechende Stahlauswahl (Mo-legierte Stähle) die Neigung zur Anlasssprödigkeit praktisch vermieden werden.

Durch Tiefkühlen auf meist erheblich unter Raumtemperatur liegende Temperaturen soll ein bestimmter Gefügestand beibehalten oder eine Gefügestandumwandlung hervorgerufen oder weitergeführt werden.

Hauptsächlich dient diese Behandlung zur Restaustenitumwandlung nach dem Härten, z. B. bei Messzeugen, um Maßstabilität zu erreichen.

Das Tiefkühlen kann an gekühlter Luft (Tiefkühlaggregate bis ca. -80°C, fallweise bis ca. -140°C) erfolgen. Im Allgemeinen werden für Temperaturen unter -80°C Trockeneis, Alkoholmischungen oder verflüssigte Gase (z. B. flüssiger Stickstoff -196°C) verwendet.



Beispiel für ZTF-Schaubild Tiefkühlen

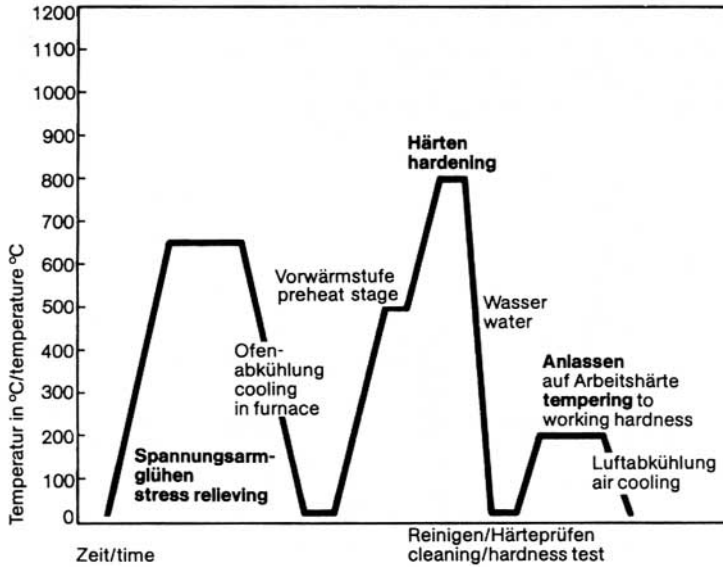


## 3.4 Zeit-Temperatur-Folge (ZTF)-Schaubilder

Als Beispiele für die Wärmebehandlung von Werkzeugen werden die Zeit-Temperatur-Folge-Schaubilder für einige wesentliche Stahlgruppen wiedergegeben.

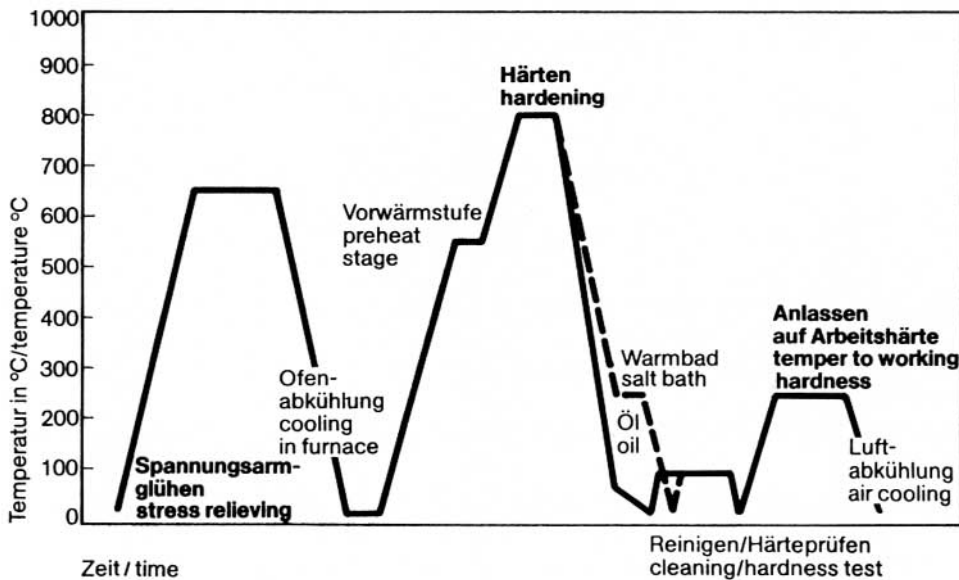
### 1. Unlegierte Werkzeugstähle

z. B.: WNr. 1.1545, C105 W1 (BÖHLER K990)

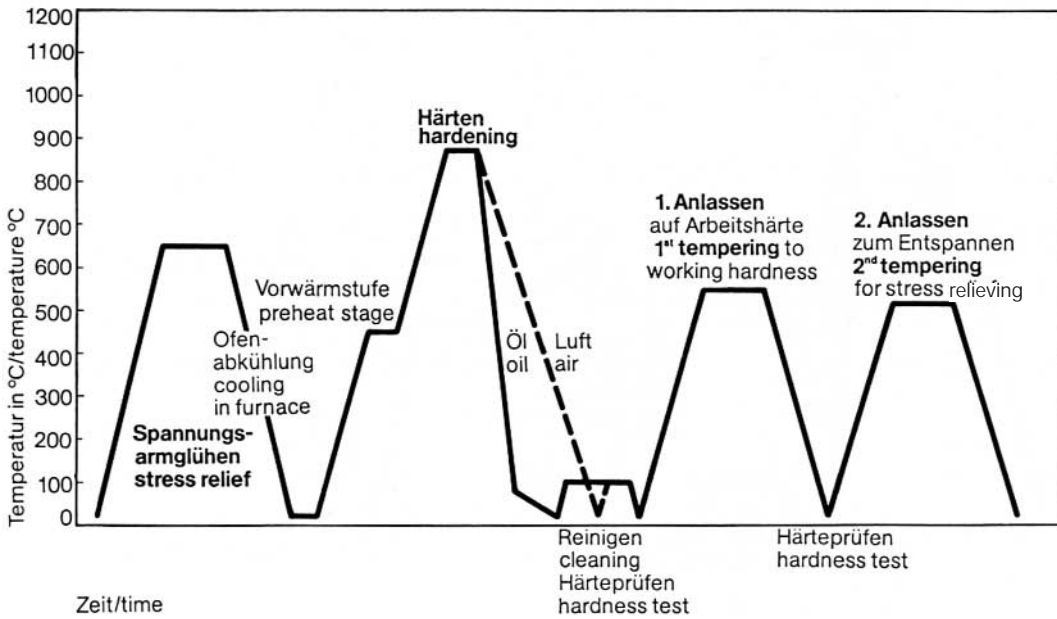


### 2. Legierte Kaltarbeitsstähle – Härtetemperatur unter 900°C

z. B.: WNr. 1.2842, 90MnCrV8 (BÖHLER K720)  
WNr. 1.2510, 100MnCrW4 (BÖHLER K460)

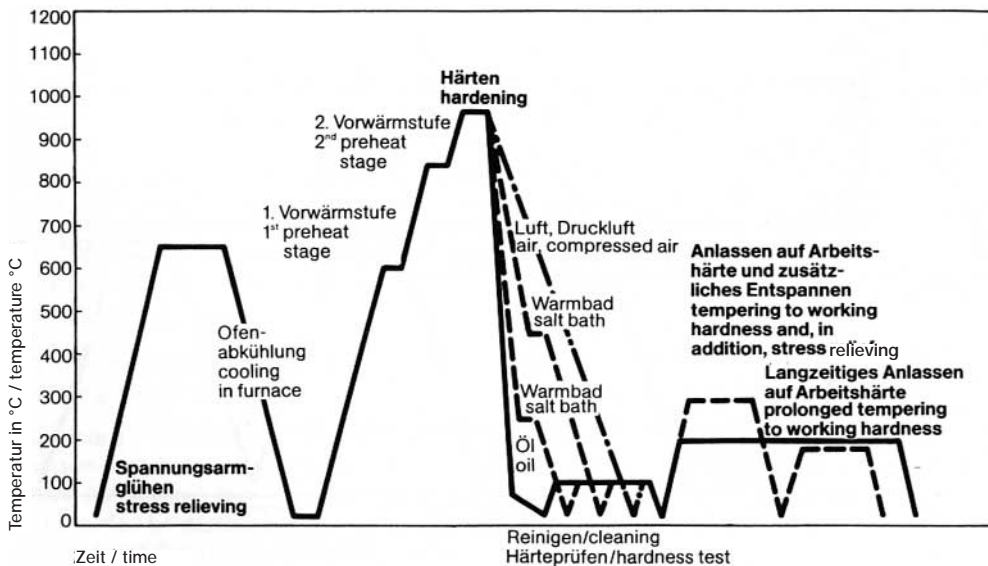


3. Warmarbeitsstähle – Härtetemperatur unter 900°C  
 z. B.: WNr. 1.2714, 56NiCrMoV7 (BÖHLER W500)

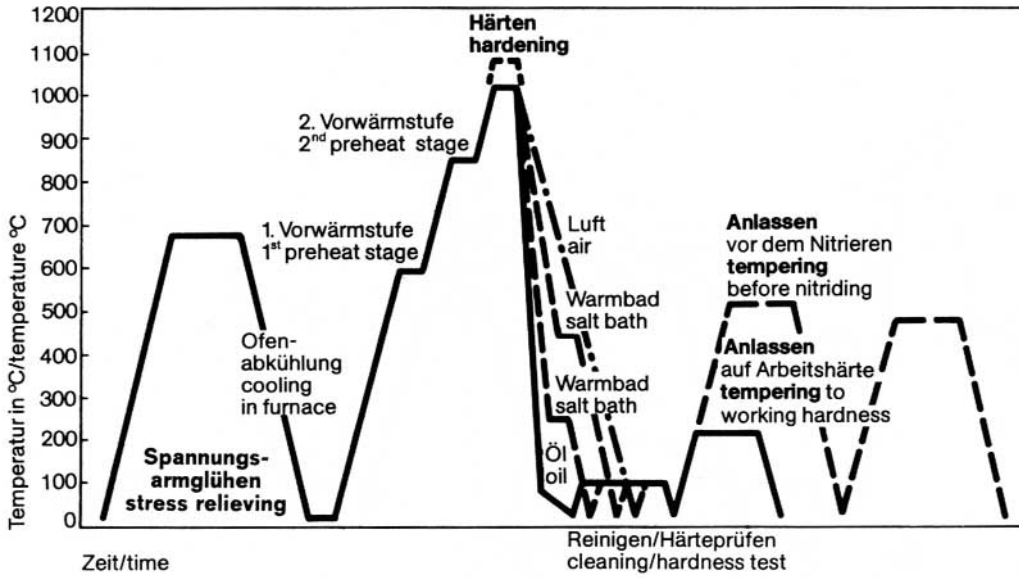


4. Legierte Kaltarbeitsstähle – Härtetemperatur über 900°C  
 z. B.: WNr. 1.2080, X210Cr12 (BÖHLER K100)  
 WNr. 1.2436, X210CrW12 (BÖHLER K107)

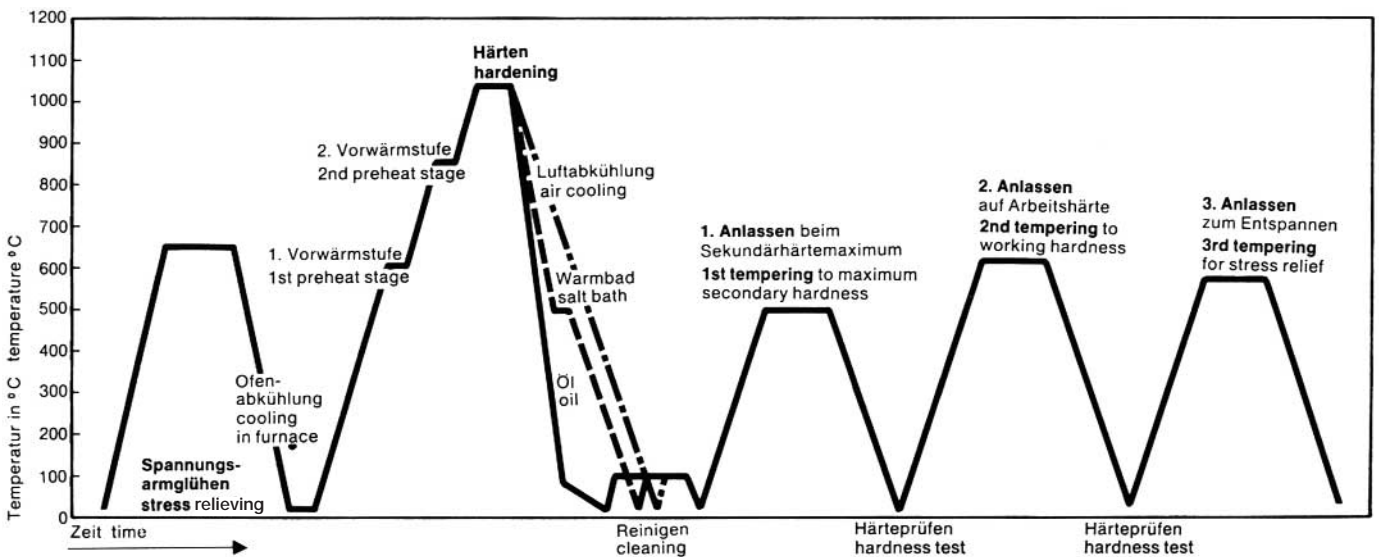
Wärmebehandlungsschema / Heat treatment cycle



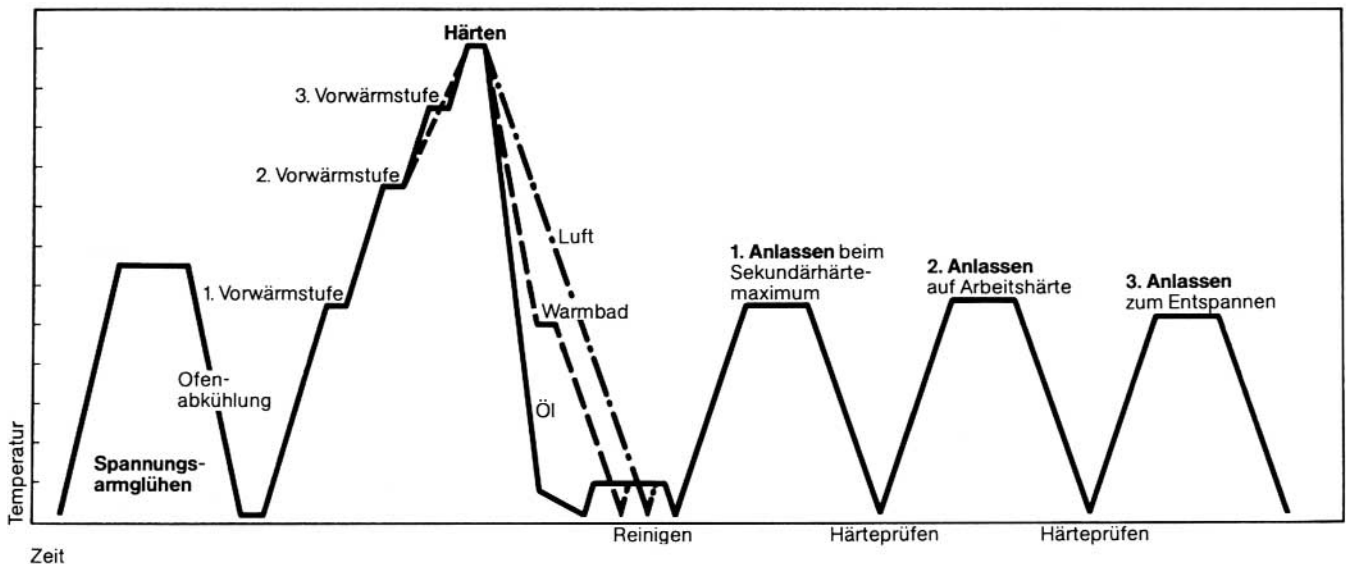
WNr. 1.2379, X155CrVMo12 1 (BÖHLER K110)  
 WNr. 1.2601, X165CrMoV12 (BÖHLER K105)



5. Warmarbeitsstähle- Härtetemperatur über 900°C  
 z. B.: WNr. 1.2344, X40CrMoV5 1 (BÖHLER W302)  
 WNr. 1.2343, X38CrMoV5 1 (BÖHLER W300)



6. Schnellarbeitsstähle  
z. B.: WNr. 1.3343, S6-5-2 (BÖHLER S600)



7. ZTF-Schaubilder für Einsatzstähle  
siehe Kapitel 13.3

### 3.5 Warmbehandlungsanlagen

Für die Wärmebehandlung stehen unterschiedliche Öfen zur Verfügung. Die Auswahl wird sich nach Werkstückform, -größe und Stückzahl sowie den vom Werkstoff abhängigen Behandlungstemperaturen richten. Zu berücksichtigen ist ferner die Art der Wärm- und Abkühlmittel.

Die Einteilung der Öfen erfolgt nach verschiedenen Kriterien. Nach der **Art der Wärmebehandlung** unterscheidet man, z. B. Vorwärmöfen, Glühöfen, Härteöfen. Die **Ofenform** (z. B. Kammer-, Schacht-, Hauben-, Tiegel-, Wannen-, Rohröfen), das **Wärmebehandlungsmedium** (z. B. Luftumwälz-, Schutzgas-, Vakuum-, Salzbad-, Wirbelbettöfen) sowie die **Art der Beheizung** (z. B. Außen- oder Innenheizung, Elektrodenheizung, Induktions- oder Widerstandsheizung, Gasheizung) sind weitere Unterscheidungsmerkmale.

Im Folgenden sollen nur ganz kurz einige wesentliche Punkte gestreift werden.

**Kammeröfen** gehören zu den ältesten Ofentypen und werden auch heute wegen ihrer praktisch stufenlos regelbaren Aufheizung, ihrer Umweltfreundlichkeit und ihrer universellen Einsetzbarkeit hinsichtlich Wärmebehandlungsart und Werkstückgröße noch vielfach verwendet. Bei nicht geregelter Ofenatmosphäre kommt es jedoch zu Reaktionen zwischen der Werkstückoberfläche und der Luftatmosphäre (Verzunderung, Auf- oder Entkohlung). Die Werkstücke werden daher zweckmäßig durch Verpacken (z. B. Papier, ausgebrannter Koksgrües) oder durch Anstriche geschützt.

Die nachteilige Beeinflussung der Werkstückoberfläche kann durch Wärmebehandlung in **Schutzgasöfen** vermieden werden. Als Schutzgase finden z. B. Stickstoff, Spaltgase, endotherm oder exotherm erzeugte Schutzgase oder Edelgase Verwendung. Schutzgase mit geregelter C-Gehalt gestatten die Abstimmung auf den C-Gehalt der zu behandelnden Werkstoffe.

Die Vorteile von **Salzbadanlagen** liegen vor allem im optimalen Wärmeübergang und in der Möglichkeit, partielle Wärmebehandlungen und Oberflächenbehandlungen durchführen zu können. Als Hauptnachteile sind der Aufwand für eine Entgiftung der Salze und die Notwendigkeit einer Reinigung der Werkstücke von Salzurückständen anzuführen.

Ein Verfahren, das in den letzten Jahren aufgrund seiner Umweltfreundlichkeit sowie seiner qualitativen und wirtschaftlichen Vorteile verstärkt eingesetzt wird, ist die Behandlung in **Vakuumöfen** (z. B. zum Vorwärmen, Austenitisieren, Anlassen, Glühen, Sintern), je nach Anforderung bei Drücken zwischen 1 und  $10^{-6}$  mbar. Dabei werden die Anteile an reaktiven Gasen so weit herabgesetzt, dass die Werkstücke ihre blanke Oberfläche beibehalten. Der Druck im Ofenraum muss auf den Dampfdruck der Legierungselemente abgestimmt sein, um ihr Abdampfen zu verhindern. Um die Vorteile der Vakuumbehandlung auch beim Härten von Werkstoffen mit hoher kritischer Abkühlgeschwindigkeit optimal nutzen zu können, wurden Vakuum-Anlagen mit Gas-Schnellkühl-Einrichtungen (Stickstoff oder Argon mit hohem Druck und hoher Geschwindigkeit sowie Gasrückkühlung) entwickelt.



Ein relativ neues Verfahren ist die Wärmebehandlung metallischer Werkstoffe in Wirbelbetten. Es beruht auf folgendem Prinzip: Wenn Gas mit ausreichender Geschwindigkeit durch eine Retorte (Bett) strömt, tritt ein Fluidisationszustand des ursprünglich am porösen Retortenboden liegenden körnigen Materials (Aluminiumoxyd) ein – das Bett verhält sich wie eine Flüssigkeit. Im Wirbelbett können außer Härten, Lösungsglühen, Anlassen usw. auch Oberflächenbehandlungsverfahren wie Aufkohlen oder Carbonitrieren in Verwendung geeigneter Gase durchgeführt werden. Wegen der großen Wärmeübergangskoeffizienten können die Werkstücke mit Geschwindigkeiten erwärmt oder abgekühlt werden, die jenen in Salzbadern sehr nahe kommen.

## 3.6 Abkühlmedien

Die verschiedenen Abkühlmedien zum Abschrecken unterscheiden sich vor allem durch ihre Abkühlintensität. Die Abkühlgeschwindigkeit reicht von ca.  $2^{\circ}\text{C}/\text{s}$  bei Ofenabkühlung bis nahezu  $3000^{\circ}\text{C}/\text{s}$  bei Wasser mit entsprechenden Zusätzen.

### 3.6.1 Flüssige Abkühlmedien

Bei flüssigen Medien läuft die Abkühlung eines Werkstückes im Allgemeinen in 3 Phasen ab: Dampfhauphase-Kochphase-Konvektionsphase. Bei Temperaturen über der Siedetemperatur des Abkühlmediums bildet sich um das Werkstück eine Dampfhauphase, welche die Abkühlwirkung verringert. Erst wenn die Dampfhauphase durchbrochen wird und die Dampfblasen an die Oberfläche steigen (Kochphase), kann ständig kühle Flüssigkeit an die Werkstückoberfläche gelangen. In der dritten Phase erfolgt die Wärmeabfuhr ausschließlich durch Konvektion.

Wasser ohne Zusätze besitzt eine sehr hohe Abschreckwirkung, die entstehenden Gasblasen haften jedoch fest an der Stahloberfläche (Leidenfrost'sches Phänomen). Dieser Nachteil kann durch Zusätze (Ätznatron, Salze) vermieden werden. Die zweckmäßige Wassertemperatur liegt unter ca.  $25^{\circ}\text{C}$ , durch die Zusätze kann sie auf ca.  $70^{\circ}\text{C}$  erhöht werden.

Härteöle werden im Allgemeinen mit Temperaturen bis  $70^{\circ}\text{C}$ , fallweise bis  $150^{\circ}\text{C}$  verwendet.

Für höhere Temperaturen gibt es eine Reihe von Salz- oder Metallschmelzen (Warmbad).

Heute gibt es bereits wässrige Abkühlmedien (polymere Lösungen), die in ihrer Abkühlintensität einen weiten Bereich bestreichen und sogar eine mildere Abkühlung als Öl ergeben.

Bei der Auswahl der Abschreckmedien ist außer der Härtetemperatur, der Härbarkeit, der Form und Abmessung der Werkstücke auch die Verträglichkeit mit den Wärmemitteln zu berücksichtigen.

### 3.6.2 Gasförmige Abkühlmedien

Die Abkühlintensität von gasförmigen Mitteln ist viel geringer als die der flüssigen, es muss daher die Härbarkeit der Werkstoffe (kritische Abkühlgeschwindigkeit) beachtet werden.

Zu den gasförmigen Abkühlmedien zählen ruhende oder bewegte Luft, Stickstoff oder andere Gase. Durch Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit und des Druckes kann die Abkühlwirkung gesteigert werden.

## 3.7 Werkstückreinigung vor und nach der Wärmebehandlung

Je nach der Art der Wärmebehandlung, der Wärmebehandlungsmittel und der Wärmebehandlungseinrichtungen kann eine Reinigung der Werkstücke vor allem vor, aber auch nach der Wärmebehandlung notwendig sein.

### Vor der Wärmebehandlung:

Nur bei sauberen Werkstückoberflächen ist eine einwandfreie Maßkontrolle möglich.

Fertigbearbeitete Teile sollen vor dem Härten frei von Fett, Öl und anderen Verunreinigungen sein, um ein Einbrennen in die fein bearbeitete Oberfläche oder chemische Reaktionen mit den Heizspiralen von elektrisch beheizten Öfen oder eine Beeinflussung der Ofenatmosphäre zu verhindern.

Eine saubere Oberfläche ist auch bei einer Reihe von Oberflächenbehandlungsverfahren Voraussetzung für eine erfolgreiche Behandlung. Dies gilt auch für das Aufbringen von Schutzschichten bei partiellen Wärmebehandlungen.

Verunreinigungen müssen ferner vermieden werden, um die Arbeitssicherheit zu gewährleisten (Wasser oder Reste von Salzen mit niedrigem Schmelzpunkt an der Werkstückoberfläche können Explosionen beim Einbringen der Werkstücke in bestimmte Härtemittel bewirken) und um die Verschmutzung von Härtemitteln und Umweltbelastungen auszuschließen. Bei der Auswahl eines Salzbadens ist dessen Reaktion mit anderen Salzbadern oder Härtemitteln zu berücksichtigen.

### Nach der Wärmebehandlung:

Die Reinigung unmittelbar nach der Wärmebehandlung ist vor allem beim Einsatz von Salzbadern erforderlich, um Werkstückoberflächenanfraßungen zu verhindern. Bei der Behandlung in Vakuum, Schutzgas oder Wirbelbett tritt dieser Fehler nicht auf. Auch nach Ölhärtung ist eine Reinigung durchzuführen. Zum Schutz gegen Rost werden die Teile nach dem Waschen mit einer Rostschutzemulsion behandelt.

Die Reinigung kann in Form einer Einzelreinigung oder in automatischen Wasch- und Trockenanlagen erfolgen.

# 4 Begriffe der Wärmebehandlung

Definitionen für Wärmebehandlungsbegriffe sind u. a. in folgenden Normen enthalten: DIN 17014, EU 52, AFNOR NFA 02-010, SAE Handbook/SAE J415.

## 4.1 Allgemeine Begriffsbestimmungen

Deutsch	Englisch	Französisch
Wärmebehandlung	Heat treatment	Traitement thermique
Thermochemische Behandlung	Thermochemical treatment	Traitement thermochimique
Thermomechanische Behandlung	Thermomechanical treatment	Traitement thermomécanique
Austenitformhärten	Ausforming	Austénitformage
Wärmen	Heating	Chauffage
Vorwärme	Preheating	Préchauffage
Anwärmen	—	—
Durchwärmen	Temperature equalization	Chauffage d'égalisation
Erwärmen	Through heating	Chauffage à coeur
Halten	Soaking	Maintien à température
Wärmdauer	Heating-up time	Durée de mise en température
Verweildauer	Holding time	—
Abkühlen	Cooling	Refroidissement
Abkühlverlauf	—	Loi de refroidissement
Abkühlkurve	Cooling curve	Courbe de refroidissement
Abkühldauer	Cooling time	Durée de refroidissement
Abkühlgeschwindigkeit	Cooling rate	Vitesse de refroidissement
Überhitzen	Overheating	Surchauffe
Überzeiten	Oversozaking	—
Entkohlung	Decarburization	Décarburation
Entkohlungstiefe	Depth of decarburization	Profondeur de décarburation
Verzug	Distortion	Déformation (de traitement thermique)
Umwandlungstemperatur (Umwandlungspunkt)	Transformation temperature	Température de transformation
Zeit-Temperatur- Umwandlungsschaubild für isother- misches Umwandeln (ZTU-Schaubild für isothermisches Umwandeln)	Time-temperature-transformation diagram (TTT diagram)	Diagramme de transformation en conditions isothermes (diagramme TTT, courbe TTT)
Zeit-Temperatur- Umwandlungsschaubild für kontinu- ierliches Abkühlen (ZTU-Schaubild für kontinuierliches Abkühlen)	Continous-cooling-transformation diagram (CCT diagram)	Diagramme de transformation en refroidissement continu (en condi- tions anisothermes) (diagramme TRC, courbe TRC)

## 4.2 Glühen

Glühen	Annealing	Recuit
Weichglühen	Softening	Adoucissement
Glühen auf kugelige Karbide	Spheroidizing	Recuit de globulisation
Grobkornglühen	Grain coarsening	Recuit de grossissement du grain
Diffusionsglühen	Homogenizing	Recuit de homogénéisation
Normalglühen	Normalizing	Normalisation
Umkörnen	Grain refining	Affinage structural (recuit de régénération)
Rekristallisationsglühen	Recrystallizing	Recristallisation
Erholungsglühen	Recovery	Restauration
Blankglühen	Bright annealing	Recuit blanc
Stabilglühen	Stress relieving	Relaxation (détensionnement)
Bläuen	Blueing	Bleissage

## 4.3 Härten, Abschrecken

Austenitisieren	Austenitizing	Austénitisation
Austenitisierungstemperatur	Austenitizing temperature	Température d'austénitisation
Härten	Quench hardening	Durcissement par trempe (trempe martensitique, trempe bainitique)
Abschrecken (siehe auch Lösungsglühen mit Abschrecken)	Quenching	Trempe
Gebrochenes Abschrecken	Interrupted quenching	Trempe interrompue
Gestuftes Abschrecken	Step quenching	Trempe étagée (trempe par étape)
Warmbadhärten	Martempering	Trempe étagée martensitique
Bainitisieren (Isothermisches Umwandeln in der Bainitstufe)	Austempering	Trempe étagée bainitique
Patentieren	Patenting	Patentage
Abschrecktemperatur	Quenching temperature	Température de trempe
Lösungsglühen	Solution treatment	Traitement de mise en solution
Lösungsglühen mit Abschrecken	Solution annealing	Hypertrempe

Härtbarkeit	Hardenability	Tempabilité
Stirnabschreckversuch	Jominy test	Essai Jominy
Kritische Abkühlgeschwindigkeit	Critical cooling rate	Vitesse de refroidissement critique
Kritischer Abkühlverlauf	—	Loi de refroidissement critique
Härtung	Quench hardening	Durcissement par trempe
Aufhärbarkeit	Maximum achievable hardness	Capacité de durcissement par trempe
Einhärtung	Depth of transformation	Pénétration de trempe
Einhärtungsschicht	Quench hardened layer	Couche durcie par trempe
Einhärtungstiefe	Depth of hardening	Profondeur de durcissement par trempe
Durchhärtung	Through-hardening	Durcissement par trempe à coeur
Örtliche Härtung	Local hardening	Durcissement local par trempe
Randschichthärten	Surface hardening	Traitement de durcissement par trempe après chauffage superficiel (trempe superficielle)
Einhärtungstiefe nach Randschichthärten	Effective case depth after surface hardening	Profondeur conventionnelle de durcissement per trempe après chauffage superficiel
Tiefemperaturbehandeln (Tiefkühlen)	Sub-zero treating (Deep freezing)	Traitement par le froid

## 4.4 Anlassen

Anlassen	Tempering	Revenu
Sekundärhärtung	Secondary hardening	Durcissement secondaire
Selbstanlassen	Auto-tempering (Self Tempering)	Auto-Revenu
Vergüten	harden and temper	—
Aushärtung	Precipitation hardening	Durcissement par précipitation
Auslagern	Ageing	Traitement de désursaturation
Aushärten	Precipitation hardening treatment	Traitement de durcissement par précipitation
Reversible Anlasssprädigkeit	Reversible temper embrittlement	Fragilité de revenu



## 4.5 Aufkohlen

Aufkohlen	Carburizing	Cémentation
Gasaufkohlen	Gas carburizing	Cémentation gazeuse
Pulveraufkohlen	Solid carburizing	Cémentation solide
Pulveraufkohlen im Kasten	Pack carburizing	Cémentation en caisse
Salzbadaufkohlen	Salt bath carburization	Cémentation liquide
Aufkohlungstiefe	Case depth	Profondeur de cémentation
Überkohlung	Overcarburization	Surcarburation
Carbonitrieren	Carbonitriding	Carbonituration
Salzbadcarbonitrieren	Cyaniding	Cyanuration
Einsatzhärten	Case hardening	—
Einsatzhärtungstiefen	Effective case depth after carburizing	Profondeur conventionnelle de cémentation
Direkthärten	Direct hardening	Traitement de durcissement par trempe directe
Doppelhärten	Double quench hardening	Traitement de durcissement par double trempe

## 4.6 Nitrieren

Nitrieren	Nitriding	Nituration
Plasmanitrieren	Plasma nitriding	Nituration par bombardement ionique (nituration ionique)
Nitrocarburieren	Nitrocarburizing	Nitrocarburation
Verbindungsschicht	Compound layer	Couche de combinaison
Diffusionsschicht	Diffusion zone	Couche de diffusion
Nitrierhärte­tiefe	Effective case depth after nitriding	—
Nitriertiefe (Aufstickungstiefe)	Depth of nitriding	Profondeur de nituration

## 4.7 Weitere thermochemische Behandlungen

Sulfonitrocarburieren	Sulphidizing	Sulfocarbonituration
Silicieren	Siliconizing	Siliciuration
Chromieren	Chromizing	Chromisation
Borieren	Boriding	Boruration
Aluminieren	Aluminizing	Aluminisation (calorisation)

# GEFAHR IM VERZUG

Verzug = Maßänderung + Formänderung



# 5 Verzug = Maßänderung + Formänderung

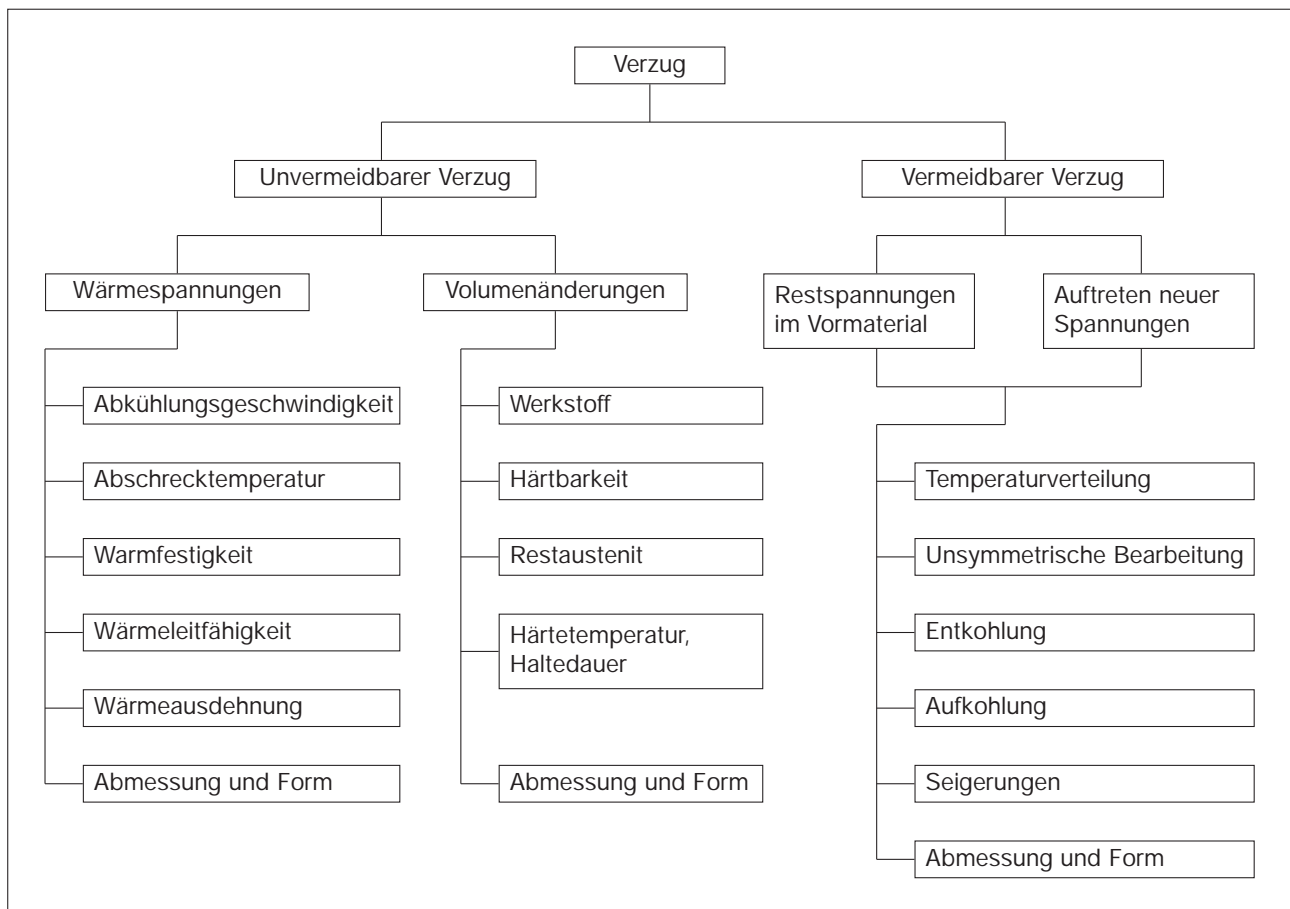
Nach DIN 17014 versteht man unter **Verzug** die Änderung der Maße und der Form eines Werkstückes durch Wärmebehandlung. Die **Maßänderung** ist nur die Änderung der Maße ohne Formänderung.

Maß- und Formänderungen können einzeln auftreten, sind jedoch meist überlagert. Es handelt sich dabei um sehr kostenwirksame Fertigungseigenschaften, da durch Verzug bei der Wärmebehandlung der Erfolg einer teuren Fertigung in den letzten Stadien zunichte gemacht werden kann.

Der **unvermeidbare Verzug** entsteht durch **Volumenänderungen infolge Gefügeänderungen** (siehe 5.1) beim Erwärmen und Abkühlen sowie durch **Wärmespannungen** (siehe 5.2) infolge von Temperaturunter-

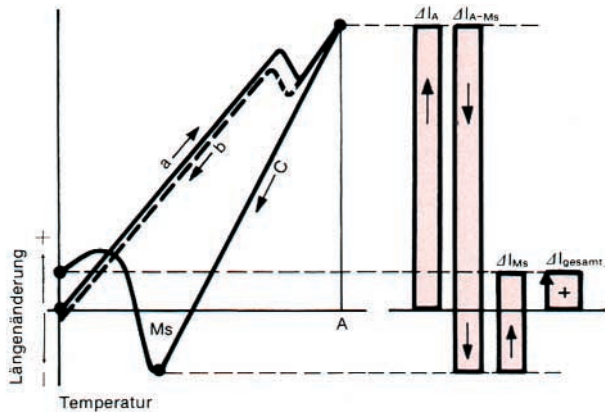
schieden im Werkstück (unterschiedliche Ausdehnung zwischen Rand und Kern beim Erwärmen und unterschiedliche Verkürzung beim Abkühlen). Er kann nur bei Kenntnis der Einflussfaktoren bereits bei der Konstruktion und Fertigung entsprechend berücksichtigt werden.

Der **vermeidbare Verzug** ist auf unsachgemäße Wärmebehandlung oder falsche Vormaterialauswahl zurückzuführen (siehe 5.5).



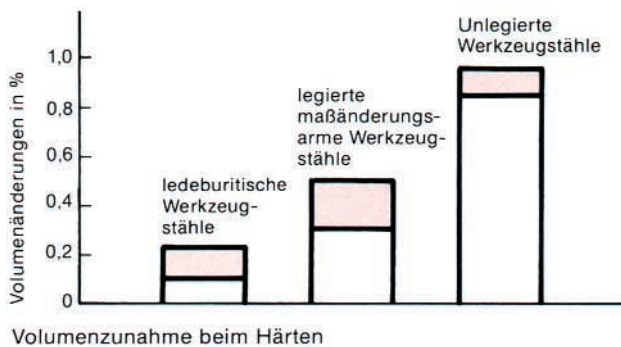
# 5.1 Volumenänderung durch Gefügeumwandlung

Infolge der Wärmeausdehnung nehmen die Maße eines Werkstückes beim Erwärmen sowohl im Bereich des Ferrits als auch des Austenits zu, die Umwandlung von Ferrit in Austenit bewirkt eine Verkürzung. Bei langsamer Abkühlung hebt sich die Änderung beim Erwärmen (Kurve a) und beim Abkühlen (Kurve b) praktisch auf. Erst mit zunehmender Abkühlgeschwindigkeit ergeben sich durch Gefügeänderungen auch bleibende Maßänderungen (Kurve c).



Dilatometerkurve und Längenänderungen  
 A = Austenitisierungstemperatur  
 Ms = Beginn der Umwandlung in Martensit

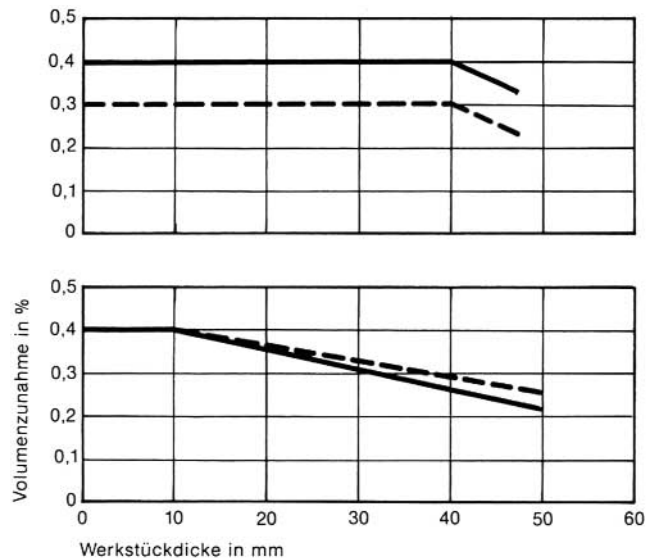
Je größer der Martensitanteil ist, desto größer ist die Volumenzunahme bzw. die Längenänderung. Zunehmende Restaustenitanteile vermindern die positive Längenänderung oder bewirken sogar eine Verkürzung. Die Volumenzunahme beim Härten hängt von Stahltyp ab. Die Werte in der folgenden Abbildung gelten für vollständige Durchhärtung.



Mit zunehmender Dicke eines Werkstückes wird eine Grenze erreicht, ab welcher die Durchhärtung nicht mehr gegeben ist. Es erfährt nur die äußere Zone eine Martensitumwandlung und somit eine Volumenzunahme, sodass die Gesamtvolumenzunahme geringer ist.

Die Maßänderung ist also von der Einhärtbarkeit eines Stahles und somit von der chemischen Zusammensetzung abhängig.

Unterschiedlich ist auch der Einfluss der Härtetemperatur. Bei Stählen geringer Einhärtbarkeit steigt mit höherer Härtetemperatur die Einhärtetiefe und damit die Volumenzunahme. Im Gegensatz dazu bringt bei Stählen hoher Einhärtbarkeit die Erhöhung der Härtetemperatur infolge höherer Restaustenitgehalte eine geringere Volumenzunahme mit sich.

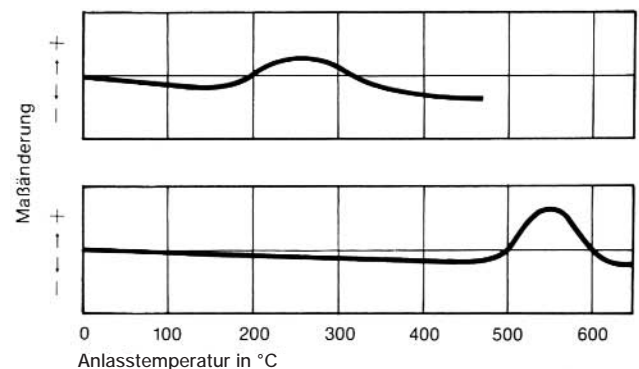


Einfluss der Einhärtbarkeit und der Härtetemperatur auf die Volumenzunahme beim Härten

BÖHLER K720, 90 MnCrV8, WNr. 1.2842 (oben); BÖHLER K 505, 145Cr6, WNr. 1.2063 (unten)  
 ————— untere Grenze der Härtetemperatur  
 ..... obere Grenze der Härtetemperatur

Schließlich ist auch die Abkühlgeschwindigkeit bzw. das Härtemittel maßgebend. Mit sinkender Abkühlgeschwindigkeit (Wasser-Öl-Warmbad-Luft) nimmt die Einhärtung und damit die Volumenzunahme ab.

Infolge der Gefügeänderungen beim Anlassen nach dem Härten ergibt sich eine weitere Volumen- bzw. Maßänderung. Durch die Entspannung des Martensits und die Ausscheidung von Karbiden tritt zuerst eine Volumenverkleinerung ein. Der Zerfall von Restaustenit in Martensit bedingt eine Volumenvergrößerung. Noch höhere Anlasstemperaturen führen durch den vermehrten Martensitzerfall wieder zu einer stärkeren Volumenverkleinerung. Je nach Stahlzusammensetzung treten die Gefügeänderungen und folglich auch die Maßänderungen bei verschiedenen Temperaturen auf.



Einfluss der Anlasstemperatur auf die Maßänderung nach dem Härten für legierte, maßänderungsarme Stähle (oben) und ledeburitische Werkzeugstähle (unten).



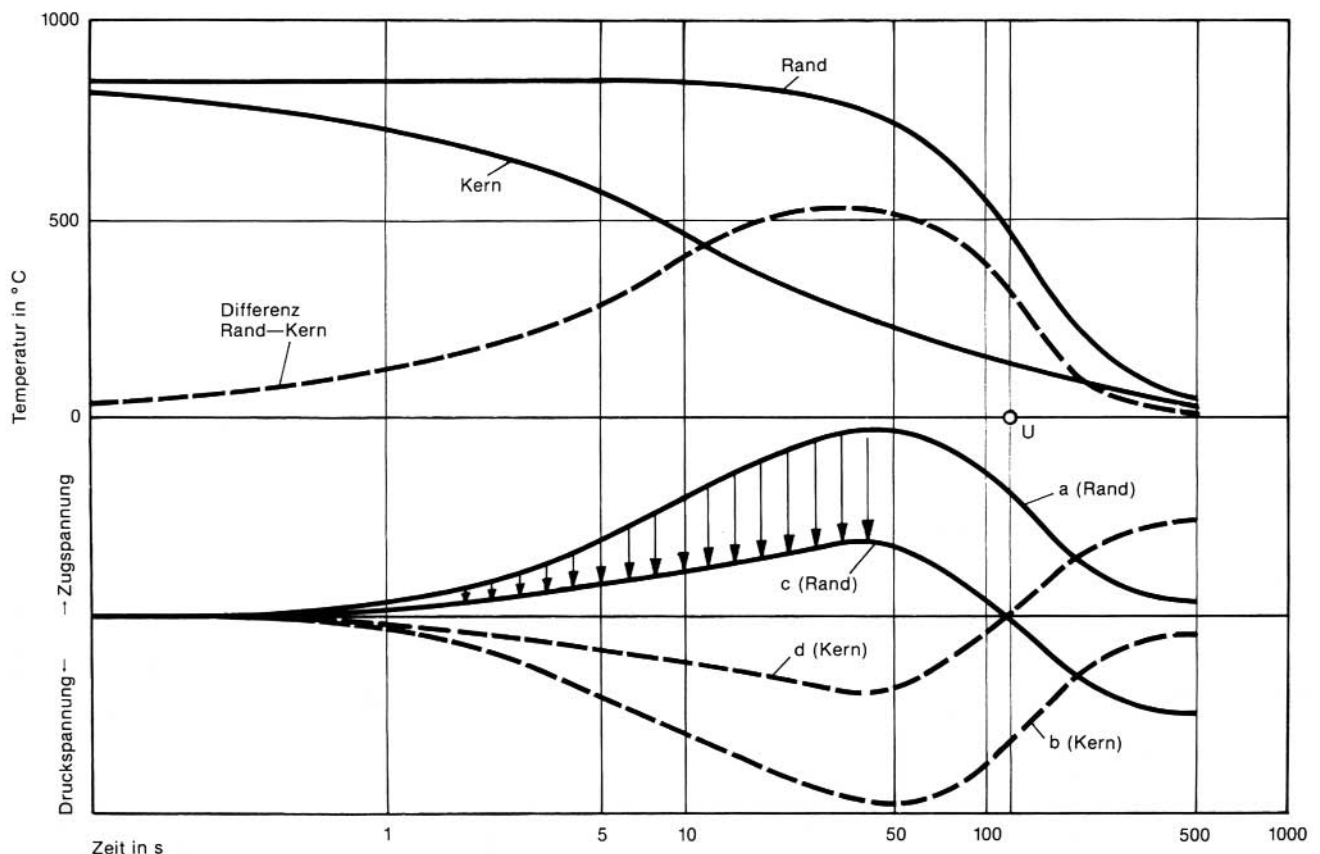
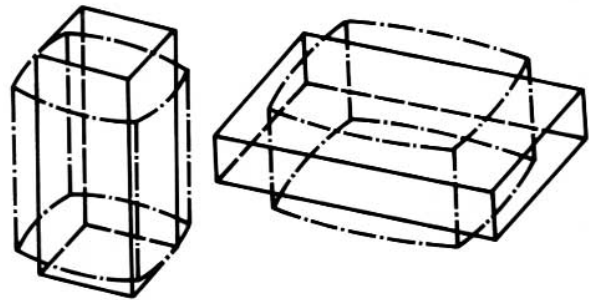
## 5.2 Formänderungen durch Wärmespannungen

Während der Erwärmung, vor allem aber bei der für die Härtung erforderlichen raschen Abkühlung, kommt es im Werkstück durch den Temperaturunterschied zwischen Oberfläche und Kern zu **Wärmespannungen**, welche Formänderungen bewirken.

Bei der Abkühlung sinkt die Temperatur in der Randzone wesentlich rascher als im Kern. Die daher entsprechend größere Schrumpfung der Randzone wird durch die geringere Schrumpfung der Kernzone behindert, so dass im Rand Zugspannungen und im Kern Druckspannungen entstehen. Wenn der Werkstoff diese Spannungen elastisch aufnehmen könnte, wäre der Körper spannungsfrei, sobald die Kerntemperatur gleich der Randtemperatur ist (Kurve a und b). Im Allgemeinen ist die Warmfestigkeit jedoch nicht so hoch. Nach Überschreiten der Warmfließgrenze tritt plastische Verformung auf, wodurch die Zugspannung in der Randzone und aus Gleichgewichtsgründen die Druckspannung in der Kernzone vermindert wird (Kurve c und d). Die Größe der plastischen Verformung ist durch die schraffierte Fläche zwischen den Kurven a und c gekennzeichnet. Nach dem Zeitpunkt der größten Temperaturdifferenz ist die Schrumpfungsneigung im Kern größer als in der Randzone und senkt die Zugspannung im Rand bis sie nach einer Zeit  $U$  den Wert Null erreicht. Infolge der weiteren Schrumpfung des noch wärmeren Kerns wird der Rand in der Folge unter Druckspannung gesetzt, welche als Restspannung bestehen bleibt. Der Kern steht dadurch nach beendeter Abkühlung unter Zugspannung.

Maßgeblich für die Formänderungen sind die Wärmespannungen, die durch plastische Verformung abgebaut werden. Mit zunehmender Abkühlungsgeschwindigkeit, Abschrecktemperatur (Austenitisierungstemperatur),

Abmessung und Wärmeausdehnung sowie mit abnehmender Warmfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit werden die Formänderungen größer. Wegen der von außen erfolgten Abkühlung und der damit verbundenen Verkleinerung der Oberfläche sind alle von der Kugelgestalt abweichenden Körper bestrebt, ihre Form derjenigen der Kugel anzugleichen, welche das kleinste Verhältnis von Oberfläche zu Volumen besitzt. Würfelförmige Körper nähern sich durch immer stärker werdende Ausbauchungen der Flächen der Kugelform. Prismatische Körper werden kürzer und dicker. Plattenförmige Körper erreichen durch Vergrößerung der Plattendicke und Verkleinerung der Plattenflächen die genannte Annäherung (**Fassform**). Die Änderung der Längen-, Breiten- und Dickenmaße eines Körpers ist also je nach dessen geometrischer Form unterschiedlich.



Verlauf der Temperatur und der Wärmespannung bei der Abkühlung

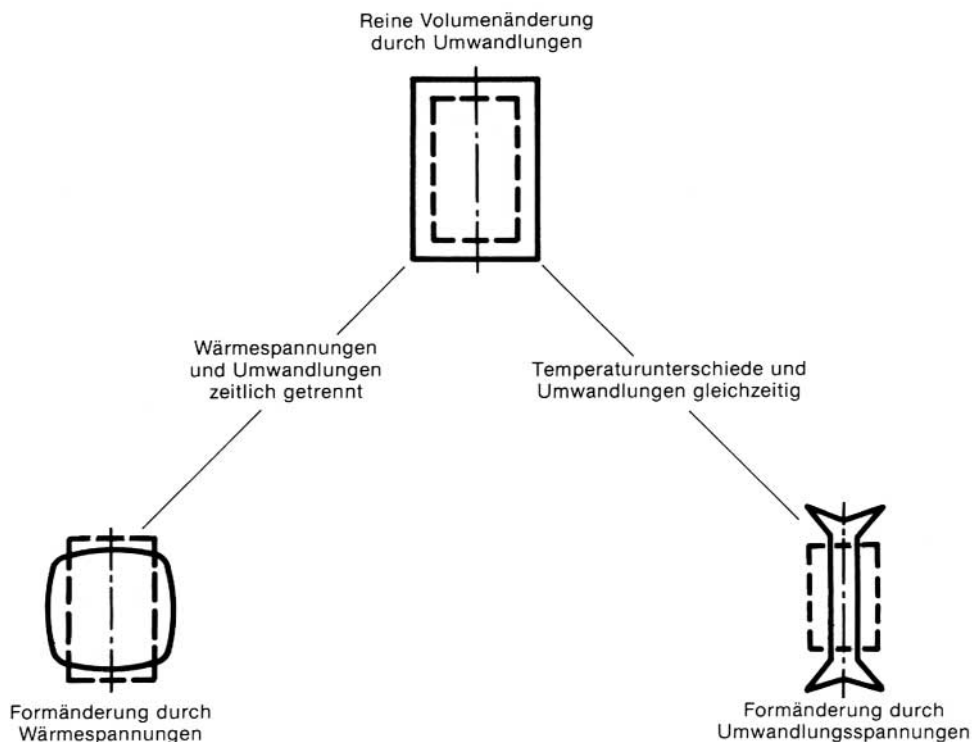
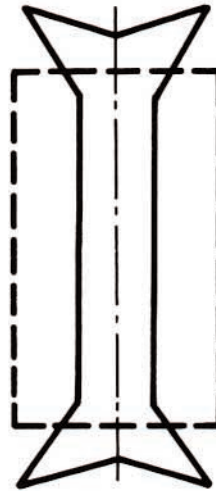
## 5.3 Zusammenwirken von Volumenänderungen durch Gefügeumwandlungen und Formänderungen durch Wärmespannungen

Da die Volumenzunahme durch Gefügeumwandlungen infolge der unterschiedlichen Abkühlungsbedingungen im Rand und Kern nicht gleichzeitig über den ganzen Querschnitt erfolgt, treten Umwandlungsspannungen auf, welche den Wärmespannungen entgegengesetzt sind.

Wenn der Austenit in Bezug auf den Zeitpunkt größter Wärmespannungen im Rand und Kern vorher oder im Rand und Kern nachher oder im Rand nachher und im Kern vorher umwandelt, überwiegt die Wirkung der Wärmespannungen. Zylindrische Körper nehmen die bereits geschilderte Fassform an.

Im Falle einer Umwandlung des Randes vor oder während der größten Wärmespannungen und im Kern nach diesem Zeitpunkt, nimmt hingegen ein im geglähten Zustand zylindrischer Körper eine **Spulenform** an. Die aufgrund der Abkühlung herrschende Oberflächen-Zugspannung wird nämlich durch die Volumenzunahme im Rand durch Martensitbildung abgebaut und in Druckspannung umgekehrt. Der Kern steht unter Zugspannungen. Ein Körper ist daher bestrebt, ein höheres Verhältnis von Oberfläche zu Volumen zu erreichen. Der Abbau der Spannungen durch plastische Verformung bewirkt somit eine Streckung in Längsrichtung und eine Verminderung der Dicke, wobei jedoch die Enden wegen der rascheren Abkühlung diese Formänderungen nicht mitmachen.

Die bei der Wärmebehandlung auftretenden Maß- und Formänderungen sind aus dem **Zusammenwirken von Wärme- und Umwandlungsspannungen** sowie der **Volumenzunahme durch Gefügeumwandlungen** zu erklären, wobei das gesamte System aus Werkstoff, Abmessungen und Wärmebehandlungsbedingungen berücksichtigt werden muss.





## 5.5 Vermeidbarer Verzug

---

Die Ursachen dieser Formänderungen liegen in unsymmetrisch verteilten Spannungen, deren plastischer Abbau bei Erwärmung zu einer Änderung von Krümmungen und Winkeln führt. Der unsymmetrische Spannungszustand kann in Form von Restspannungen durch Abkühlung, Umformen, Bearbeiten oder Schweißen bereits im Vormaterial vorliegen, bei der Wärmebehandlung entstehen, durch Unterschiede im Werkstoff bedingt sein oder in der Geometrie des Werkstückes liegen.

### Restspannungen

Ein typisches Beispiel ist die Formänderung durch Abbau von Richtspannungen oder von Spannungen nach umfangreichen Zerspanungsarbeiten. Vor der eigentlichen Wärmebehandlung soll daher ein Spannungsarmglühen durchgeführt werden.

### Wärmebehandlungsspannungen

Ungleichmäßiges Erwärmen oder Abkühlen ist zu vermeiden (langsames oder stufenweises Aufheizen mit Temperatenausgleich; hängendes Erwärmen schlanker Werkstücke; bei horizontaler Erwärmung Durchbiegen infolge Eigengewicht durch entsprechende Unterlagen vermeiden; nur so rasch abkühlen wie zur Erreichung der geforderten Eigenschaften notwendig; einseitiges Abschrecken vermeiden).

### Unterschiede im Werkstoff

Einseitige Entkohlung oder Aufkohlung durch beidseitiges Bearbeiten (Bearbeitungszugaben beachten!) vermeiden.

Bei Werkstückentnahme auf mögliche Legierungsunterschiede über den Querschnitt (Seigerungen) achten.

Die weitgehende Vermeidung von Seigerungen wird durch spezielle Herstellverfahren, z. B. Elektroschlack-Umschmelzen **RESTSPANNUNGEN ISOBLOC** und **ISODISC (BÖHLER Warmarbeitsstahlgüten)**, erreicht.

### Geometrie

Wenn möglich, soll bereits bei der Konstruktion auf eine symmetrische Gestaltung geachtet werden.

Durch Vorverformung entgegen der zu erwartenden Verzugsrichtung oder durch Haltevorrichtungen (Quetten) kann dem Verzug begegnet werden.



---

## 5.6 Richten

---

Durch Richten können die bei der Wärmebehandlung entstandenen Formänderungen in gewissen Grenzen korrigiert werden. Das Richten der Werkstücke im kalten Zustand oder vor dem Erkalten kann mit Richtpressen oder Richtmaschinen oder durch Aufbringen örtlicher Druckstellen (z. B. „Dengeln“ mit einem Richthammer) erfolgen. Unter Umständen ist es zweckmäßig, das mechanische Richten nach Abkühlen im Warmbad knapp oberhalb der Ms-Temperatur wegen der höheren Zähigkeit des Austenits durchzuführen. Nach jeder Richtoperation ist ein Spannungsarmglühen zu empfehlen.

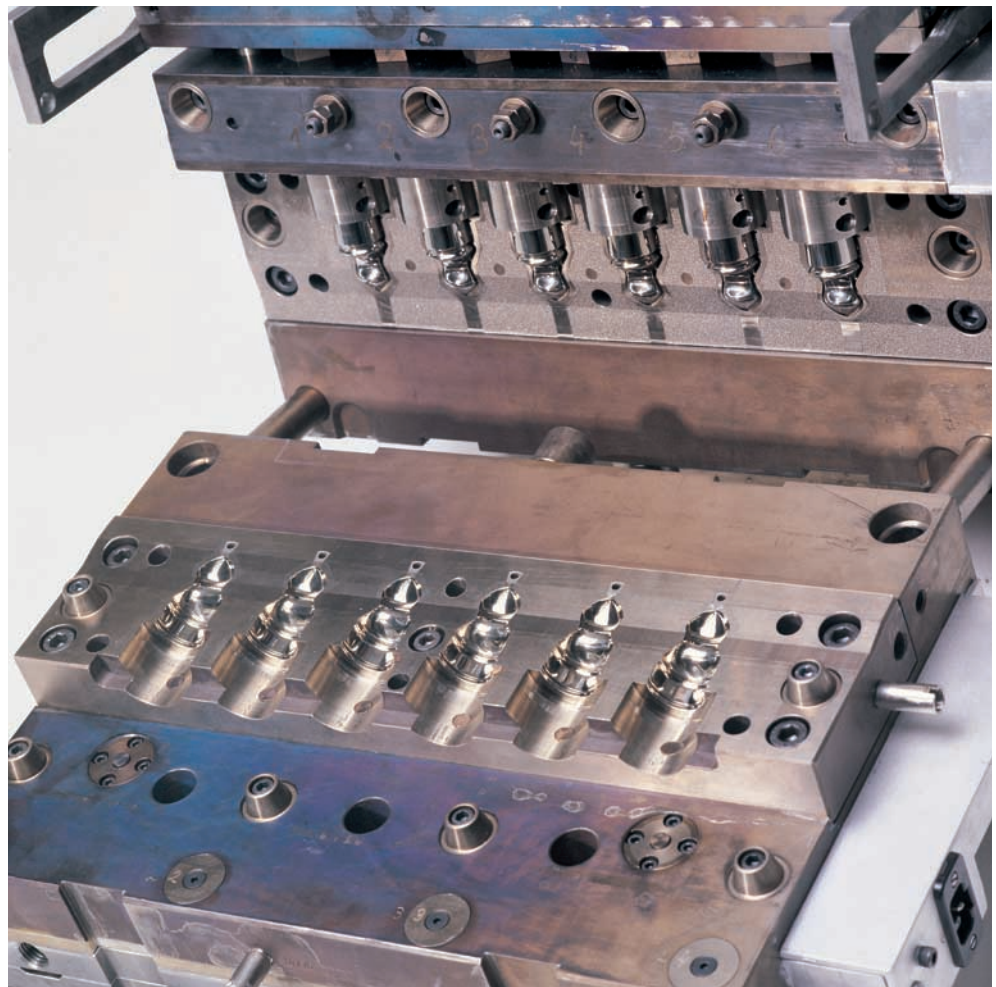


# DER HARTE ALLTAG

Konstruktive Gestaltung von Werkstücken

Bearbeitungszugaben

Behandlung der Werkzeuge im Einsatz



# 6 Konstruktive Gestaltung von Werkstücken

Im Hinblick auf mögliche Schäden durch Risse und Brüche im Laufe der Fertigung (insbesondere bei der Wärmebehandlung) oder im Betrieb müssen bereits bei der Konstruktion von Werkzeugen oder Bauteilen entsprechende Regeln beachtet werden:

Vermeiden von schroffen Querschnittsübergängen durch Abschrägen oder Abrunden. Gegebenenfalls die endgültige Form erst nach dem Härten herstellen, z. B. durch Schleifen.

Formsymmetrie anstreben.

Günstige Massenverteilung durch Zusatzbohrungen oder Aussparungen anstreben.

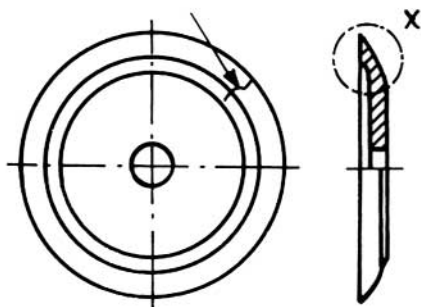
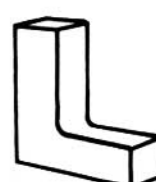
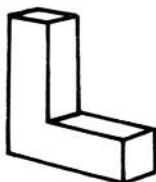
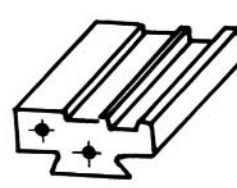
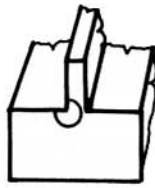
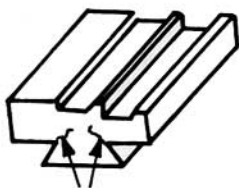
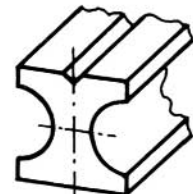
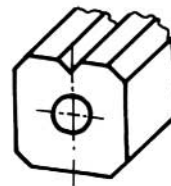
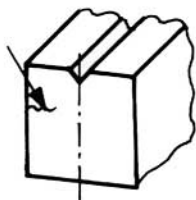
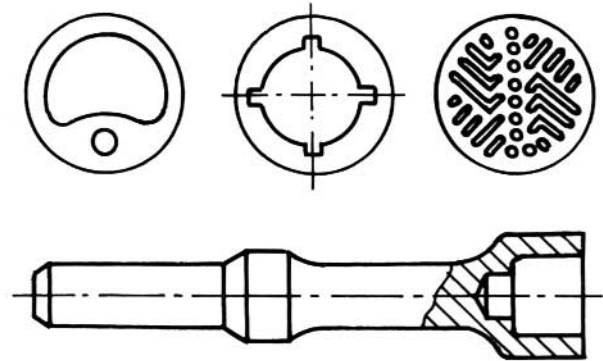
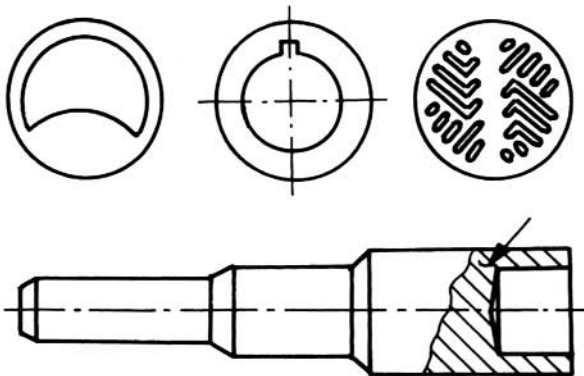
Kanten, Ecken, Einstiche, Hohlkehlen usw. mit möglichst großen Radien versehen.

Kerben möglichst vermeiden. Unter Umständen Teilung der Werkzeuge an besonders rissgefährdeten Stellen. Auch Schleif- und Drehriefen und tief eingeschlagene Stempelungen wirken wie Kerben.

Bei hohen Innendrücken Werkzeuge mehrteilig ausführen (Armierte Werkzeuge).

UNGÜNSTIG

GÜNSTIG



# 7 Bearbeitungszugaben

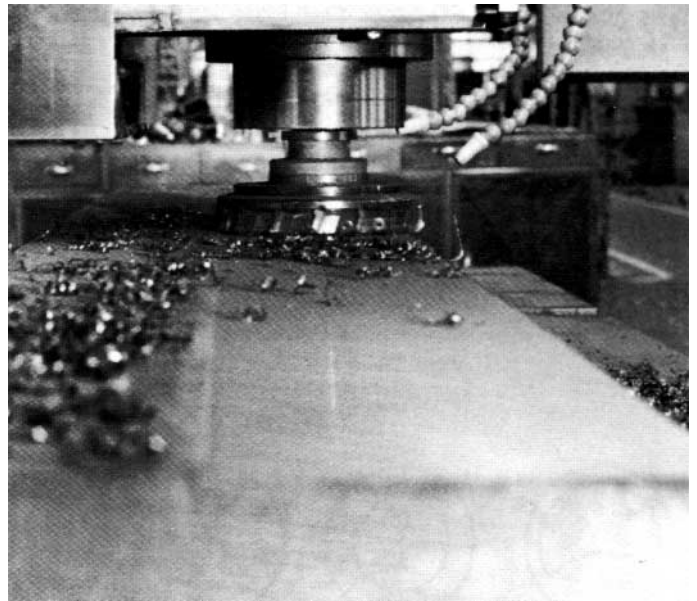
Um mit Sicherheit Oberflächenfehler, wie Entkohlung, Aufkohlung, Risse, Randoxydation oder Zunder zu entfernen, ist es notwendig, bei gewalztem oder geschmiedetem Stabstahl entsprechende Bearbeitungszugaben zum Fertigmaß zu berücksichtigen.

## Bestellbeispiel:

<i>Fertigmaß:</i>	100 mm Durchmesser
<i>Bearbeitungszugabe:</i>	6 mm
<i>Rohnenmaß:</i>	106 mm Durchmesser mit zulässiger Maßabweichung + 1,5/-0,3 mm, d. h. größtes Istmaß = 107,5 mm kleinstes Istmaß = 105,7 mm

Die Bearbeitungszugaben berücksichtigen die zulässigen Maßabweichungen, sodass nach allseitig gleich tiefem Abarbeiten vom Roh-Istmaß auch bei Minusabweichungen das Fertigmaß verlässlich frei von werkstoff- oder herstellbedingten Oberflächenfehlern ist.

Geringe Bearbeitungszugaben sind auch bei vorbereiteten Erzeugnissen erforderlich, während bei feinstbearbeiteten Erzeugnissen keine Bearbeitungszugaben mehr vorgesehen sind (bei nachfolgender Wärmebehandlung ist allerdings eine Zugabe für das Schleifen oder Polieren vorzusehen.)



# 8 Behandlung der Werkzeuge im Einsatz

Die Arbeitsbedingungen sind von wesentlichem Einfluss auf die Standzeiten von Werkzeugen. Um die Wirtschaftlichkeit eines Werkzeuges erfassen zu können, ist eine Werkzeugkarte zweckmäßig, in die alle technischen Daten, wie Stahlzusammensetzung, Wärmebehandlung, Oberflächenbehandlung der Werkzeuge sowie Angaben über den verarbeiteten Werkstoff eingetragen sind.

Besonderes Augenmerk ist den Betriebsbedingungen (vor allem bei Warmarbeitswerkzeugen), wie Vorwärmen, Kühlung, Unterbrechung des Arbeitsablaufes, Zwischenentspannen usw. zu schenken.

## Vorwärmen

Zur Verminderung von Wärmespannungen, die zu Rissen und Brüchen führen können, sollen Warmarbeitswerkzeuge vor ihrem Einsatz gleichmäßig auf Arbeitstemperatur vorgewärmt werden. Je größer die Werkzeuge und je komplizierter ihre Form ist, desto geringer muss die Erwärmungsgeschwindigkeit gewählt werden.

In Arbeitspausen sollen die Werkzeuge warmgehalten werden.

## Zwischenentspannen

Als letzte Stufe der Wärmebehandlung wird im Allgemeinen ein Anlassen 30 bis 50 °C unter der für die Arbeitshärte notwendigen Anlasstemperatur durchgeführt. Zur Erhöhung der Lebensdauer von Werkzeugen ist es zweckmäßig, diese Behandlung von Zeit zu Zeit zu wiederholen, um beim Einsatz entstandene Spannungen wieder abzubauen.

## Kühlung

Eine Kühlung der Werkzeuge ist in vielen Fällen notwendig, um eine Temperaturzunahme während des Einsatzes und damit eine Veränderung der Werkstoffeigenschaften weitgehend zu vermeiden. Die Art der Kühlung (Außen- oder Innenkühlung) sowie die Kühlintensität (Wasser, Öl oder Luft) hängen vom Werkzeug selbst sowie vom verwendeten Werkzeugwerkstoff ab.

## Heizung

In bestimmten Fällen, z. B. bei Strangpresswerkzeugen, ist eine Außen- und/oder Innenbeheizung zur Erreichung der Temperaturgleichmäßigkeit erforderlich.

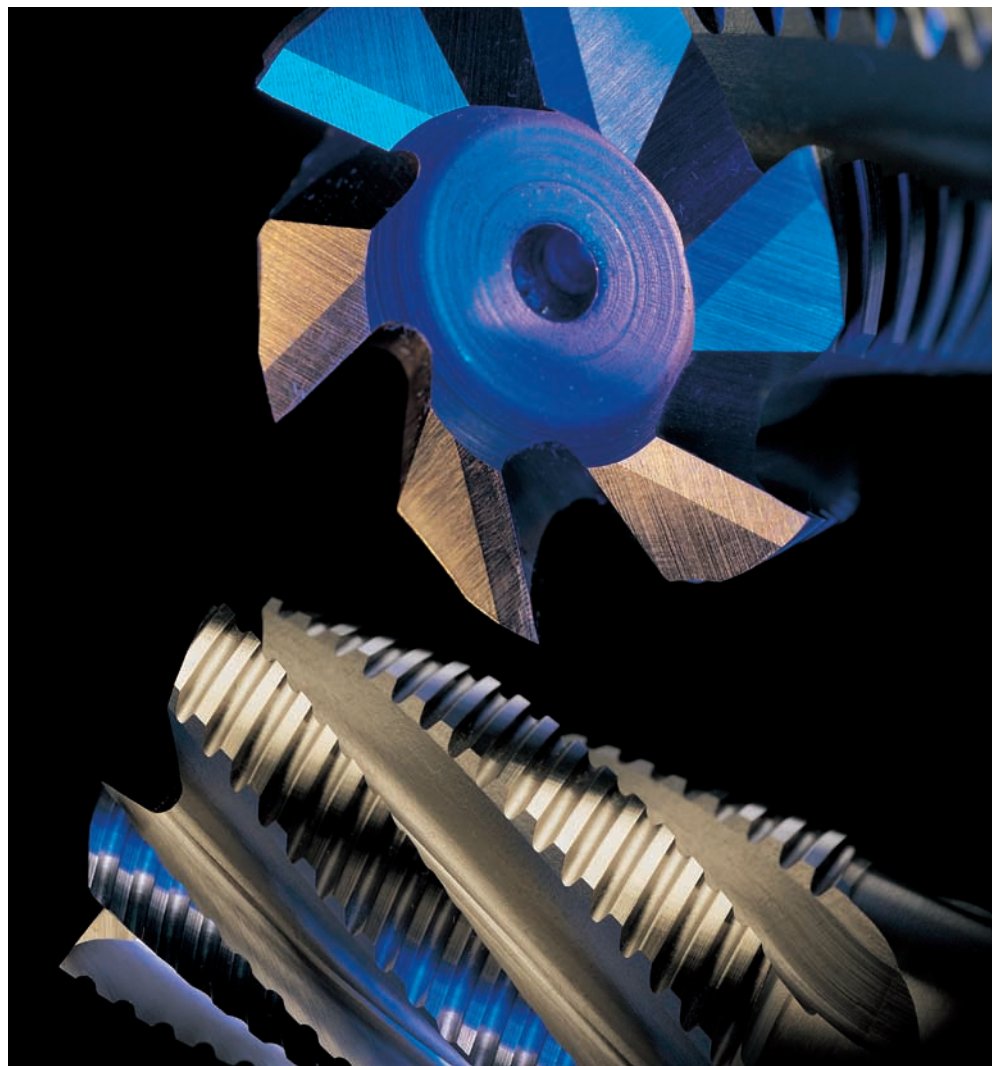
## Schmierung

Zur Vermeidung der Klebneigung des Werkstoffes am Werkzeug werden geeignete Schmiermittel oder Formtrennmittel verwendet. Auch Oberflächenbehandlungsverfahren, z. B. Nitrieren, sind geeignet, um das Kleben zu vermindern (siehe auch Kapitel 13).



# DIE KALTE PRAXIS

Bearbeitung





# 9 Spanabhebende Bearbeitung

## 9.1 Drehen, Hobeln, Fräsen, Bohren, Sägen

Die meisten Werkzeuge und Bauteile werden im Laufe ihrer Fertigung durch Zerspanen (Drehen, Hobeln, Fräsen, Bohren, Sägen) bearbeitet.

Eine gute Zerspanbarkeit der Werkstoffe ist daher aus wirtschaftlichen Gründen von großer Bedeutung, wobei für das Ergebnis der Zerspanung die Einflüsse berücksichtigt werden müssen, die sich aus dem Zusammenwirken von Werkzeugmaschine, Werkzeug, Kühlmittel und Werkstück ergeben. Die wichtigsten Kriterien für die Beurteilung der Zerspanbarkeit sind: Werkzeugverschleiß, Oberflächengüte des Werkstückes, die Spanform und die Schnittkraft.

Im Allgemeinen nimmt die Zerspanbarkeit mit zunehmender Festigkeit des Werkstückes ab. Durch unterschiedliche Gefügeausbildung können jedoch Stähle gleicher Festigkeit unterschiedlich gut bearbeitbar sein. Stähle mit niedrigem C-Gehalt (z. B. Einsatzstähle) neigen wegen ihrer zu niedrigen Festigkeit zum „Schmieren“ (daher Sonderbehandlungszustand BG oder BF nach DIN 17210).

Vergütungsstähle werden entweder im weichgeglühten oder vergüteten Zustand bearbeitet. Stähle mit hohem C-Gehalt, z. B. Werkzeugstähle und Schnellarbeitsstähle fast ausschließlich im weichgeglühten Zustand.

Trotz niedriger Festigkeit gehören austenistische Stähle zu den schwer zerspanbaren Werkstoffen, da sie zur Kaltverfestigung neigen.

Als Werkzeugwerkstoffe finden neben Schnellarbeitsstählen vor allem Hartmetalle oder keramische Schneidwerkstoffe Verwendung.

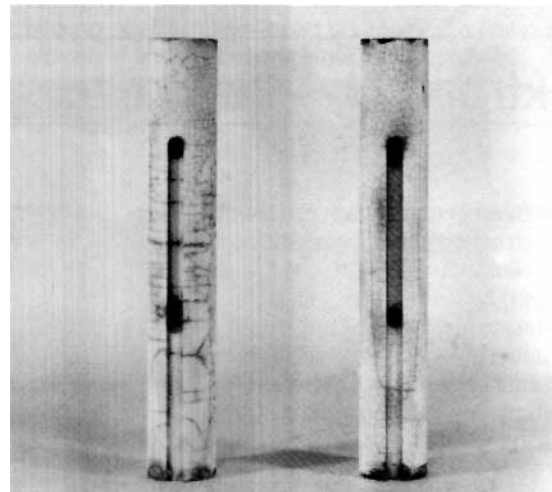
## 9.2 Schleifen

Der Erfolg des Schleifens, eines Verfahrens der spanabhebenden Formgebung, hängt in hohem Maß von der zweckmäßigen Auswahl der Schleifscheibenart (Schleifmittel, Härtegrad, Körnung und Bindung) sowie von der Arbeitsweise ab.

Es wird empfohlen, die Schleifanleitungen der Schleifmittelfirmen zu befolgen und deren Beratung in Anspruch zu nehmen.

Insbesondere bei gehärteten Teilen besteht die Gefahr, dass bei unsachgemäßem Schleifen Fehler am Werkstück entstehen.

Falsche Schleifscheibenwahl oder unzureichende Kühlung kann infolge der örtlich zu starken Wärmeentwicklung zu **Schleifrisen**, zu **Weichhautbildung** (Anlassen verbunden mit Gefüge- und Härteänderung) oder sogar zur Aufhärtung an der Oberfläche (Erwärmen bis ins  $\gamma$ -Gebiet) führen.



Schleifrisse

## 9.3 Polieren

Auch das Polieren zählt zu den spanabhebenden Verfahren. Nach der erreichbaren Rautiefe unterscheidet man Vorpulieren ( $R_a$  ca. 0,1 bis 0,5  $\mu\text{m}$ ) und Feinpolieren ( $R_a$  ca. 0,001 bis 0,01  $\mu\text{m}$ ). Als Poliermittel werden vor allem Diamantpasten unterschiedlicher Körnung in Verbindung mit Polierwerkzeugen unterschiedlicher Härte (Filz, Holz, Metall) verwendet.

Die Polierbarkeit hängt vom Werkstoff und vom Wärmebehandlungszustand ab. Im Allgemeinen lässt sich ein harter Werkstoff leichter als ein weicher polieren. Werkstoffe, deren Gefüge aus unterschiedlich harten Bestandteilen besteht (z. B. Stähle mit harten Sonderkarbiden), sind schwieriger polierbar als homogene Werkstoffe.

Bei besonders hohen Anforderungen an die Polierbarkeit werden daher für Werkzeuge mit Erfolg Werkstoffe verwendet, die durch schmelzmetallurgische und verfahrenstechnische Maßnahmen einen hohen Reinheitsgrad und hohe Gefügegenmäßigkeit aufweisen (z. B. Elektroschlacke – umgeschmolzene Werkstoffe ESU).

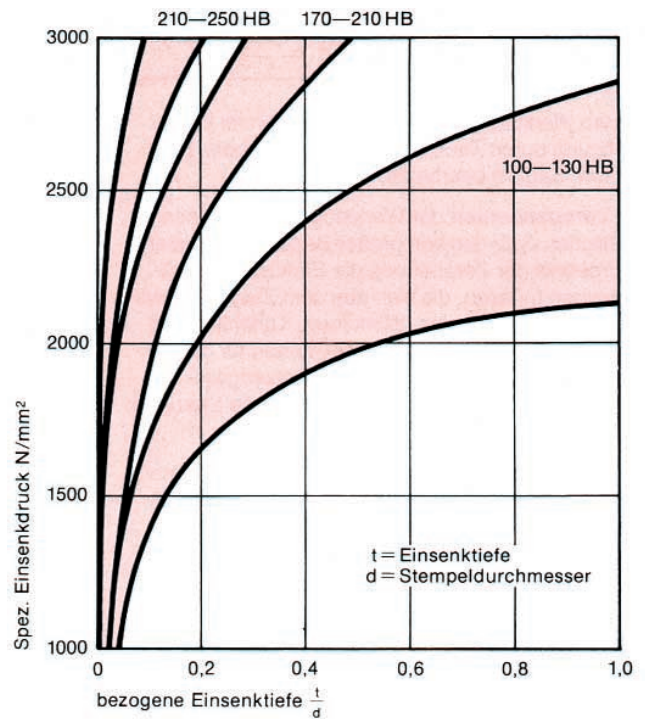
# 10 Spanlose Formgebung durch Kalteinsenken

Beim Kalteinsenken wird ein Senkstempel (Pfaffe), in den das Positiv des herzustellenden Pressteils eingearbeitet ist, unter stetig ansteigendem Druck bei Temperaturen bis etwa 150 °C in den weichgeglühten Formenstahl eingedrückt.

Niedrige Härte ist deshalb Voraussetzung für gute Kalteinsenkbarkeit. Bei Stählen, die aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung höhere Glühärten aufweisen, kann das Kalteinsenken in mehreren Arbeitsgängen durchgeführt werden. Hierbei muss man jedoch nach jedem Arbeitsgang ein Zwischenglühen (Rekristallisationsglühen) unter Schutzgas einschalten.

Für die Erzeugung von Mehrfachformen wird das Kalteinsenken seit vielen Jahren bevorzugt. Da Einsenkstempel als Positiv genauer und billiger herstellbar sind als Innengravuren, hat sich dieses Werkzeugherstellverfahren auch bei Einzelformen als wirtschaftlich erwiesen.

Siehe auch VDI-Richtlinie 3170 „Kalteinsenken von Werkzeugen“, Ausgabe August 1961.

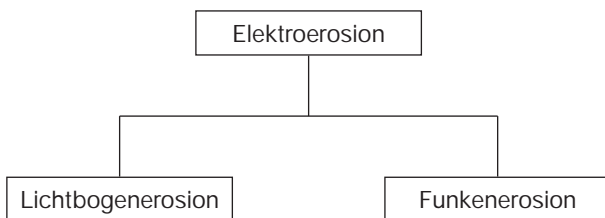


*Einsenkkurven von Werkzeugstählen*  
 Stempel: 30 mm % (verkupfert)  
 Matrize: 67 mm % x 60 mm Haltering  
 Schmierung: Zylinderöl

# 11 Elektroerosive Bearbeitung

## 1. Allgemeines

Die elektroerosive Bearbeitung umfasst alle Bearbeitungsverfahren, bei denen elektrisch leitende Werkstoffe zum Zwecke der Bearbeitung durch elektrische Entladungen (Funken, Lichtbogen) in einem Dielektrikum (Flüssigkeit mit sehr hohem elektrischen Widerstand) abgetragen werden. Es muss dabei zwischen der sogenannten „Lichtbogenerosion“, die für untergeordnete Bearbeitungsaufgaben infrage kommt, und der „Funkenerosion“, die auch hohe Bearbeitungsgenauigkeit und Oberflächengüte sicherstellt, unterschieden werden.



Das **Funkenerosieren** (EDM = Electrical Discharge Machining) hat sich in der heutigen Fertigungstechnik, z. B. für Druckgieß- oder Schneidwerkzeuge, Gesenke oder Kunststoffformen bereits einen festen Platz erobert. Der Vorteil dieses Verfahrens gegenüber den herkömmlichen Bearbeitungsmethoden besteht darin, dass komplizierte geometrische Formen in einem Arbeitsgang gefertigt und auch schwer zerspanbare Werkstoffe sowie bereits gehärtete Werkstücke verzugsfrei bearbeitet werden können.

Der Abtraggvorgang wird durch aufeinanderfolgende, zeitlich voneinander getrennte, nichtstationäre elektrische Entladungen zwischen zwei Elektroden hervorgerufen.

Dieser Vorgang kann so gesteuert werden, dass die Abtragung hauptsächlich aus einer Elektrode (meist der Kathode) auftritt. Das zu bearbeitende Werkstück wird deshalb als Kathode geschaltet, während die Werkzeugelektrode (aus Kupfer oder Graphit) als Anode dient. Die Werkzeugelektrode senkt sich in das Werkstück und hinterlässt dort eine Ausnehmung, die der Negativform der Werkzeugelektrode entspricht.

Die wesentlichste Einflussgröße bezüglich der erreichbaren Abtragarate (je Zeiteinheit vom Werkstück abgetragenes Volumen) und der Verschleißrate (Abbrand der Werkzeugelektrode je Zeiteinheit) ist die Entladeenergie, die durch Einstellen der Entladedauer (1-2000 µs) und des Entladestromes (1 bis einige 100 Ampere) in weiten Bereichen verändert werden kann.

## 2. Funkenerosive Bearbeitungsverfahren

Beim **funkenerosiven Senken** wird die Werkzeugelektrode und/oder Werkstückelektrode in der Bearbeitungsrichtung geregelt nachgestellt. Das Werkstück und/oder die Werkzeugelektrode führt dabei keine drehende Hauptbewegung um die eigene Achse aus.

Das **funkenerosive Schneiden** umfasst alle Abtraggverfahren, mit denen Werkstücke ab-, ein- oder ausgeschnitten werden. Es kann mit Hilfe einer Lamelle, eines Drahtes, eines Bandes oder einer sich drehenden Scheibe durchgeführt werden, in der Praxis wird das Drahtschneiden am häufigsten eingesetzt

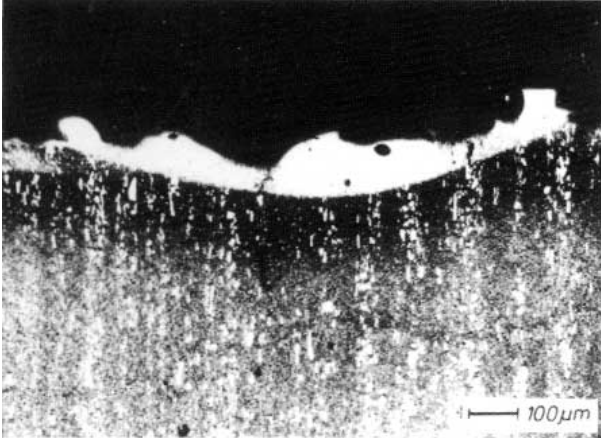
Beim **funkenerosiven Schleifen** wird die Werkzeugelektrode und/oder Werkstückelektrode in Bearbeitungsrichtung geregelt nachgestellt. Das Werkstück und/oder die Werkzeugelektrode führt dabei eine drehende Hauptbewegung um die eigene Achse aus.

### 3. Oberflächenbeeinflussung

#### 3.1 Thermische und chemische Beeinflussung der Randschicht

In der Werkstückrandzone kann man grundsätzlich zwei Bereiche unterscheiden. Es sind dies die äußere Zone aus aufgeschmolzenem Grundwerkstoff und davon scharf abgegrenzt eine wärmebeeinflusste Schicht, die allmählich in das Gefüge des Grundwerkstoffes übergeht.

Die aufgeschmolzene Zone wird auch als „Weiße Schicht“ bezeichnet. Sie ist sehr hart (bis 1.200 HV), kaum anätzbar und besteht aus Martensit und metastabilem Austenit.



Die wärmebeeinflusste Zone besteht meist aus einer neugehärteten und einer angelassenen Schicht. Im neugehärteten Bereich wurde beim Erodieren die Austenittemperatur überschritten und durch schnelle Abkühlung Martensit gebildet.

Beim Erodieren kann es neben der Gefügeveränderung auch zu einer Beeinflussung der chemischen Zusammensetzung der Werkstückrandzone durch den Elektrodenwerkstoff kommen (z. B. Aufkohlung bei Graphitelektroden).

**3.2 Der Einfluss der Eigenspannung auf die Rissbildung**  
Durch den Erodiervorgang entstehen in der Oberflächenzone Spannungen, die häufig Ursache von Rissen in der „Weißen Schicht“ sind. Diese können sich bis in den Grundwerkstoff fortsetzen und dann zu Ausbröckelungen führen oder Ausgangspunkt für Brüche sein. Besonders bei gehärteten Werkzeugen aus ledeburitischen Kaltarbeits- und Schnellarbeitsstählen ist die Neigung zur Rissbildung groß.

Die Dicke der aufgeschmolzenen Zone und somit die Höhe der Eigenspannungen hängt in erster Linie von der eingebrachten Entladeenergie ab. Sie ist beim Schrapperodieren wesentlich größer als beim Schlichterodieren.

#### 3.3 Oberflächenrauheit

Die Rauheit am bearbeiteten Werkstück ist ebenfalls von der Stromstärke und Entladedauer abhängig und wird durch Form und Tiefe der Entladungskrater bestimmt. Diese sind beim Schrapperodieren wesentlich tiefer als beim Schlichterodieren.

### 4. Maßnahmen für eine fehlerfreie Werkzeugfertigung

Da die Festigkeit eines Werkstoffes praktisch keinen Einfluss auf die Abtragrate hat, wird die funkenerosive Bearbeitung üblicherweise am fertig wärmebehandelten Werkzeug durchgeführt. Dadurch wird der Verzug, der durch eine Wärmebehandlung nach dem Erodieren auftreten würde, verhindert. Durch das abschließende Schlichten werden die beim Schruppen entstehenden Oberflächenbeeinflussungen zum großen Teil ausgeglichen.

Um die verbleibende Oberflächenbeeinflussung – die in einer Reihe von Fällen hinsichtlich der Funktionssicherheit eines Werkzeuges wenig Bedeutung hat – bei höchsten Anforderungen ebenfalls zu beseitigen, müssen noch folgende Punkte beachtet werden:

- Zum Abbau der Eigenspannungen soll nach dem Erodieren angelassen werden, und zwar bei gehärteten und vergüteten Stählen 50 °C unterhalb der letzten Anlasstemperatur und bei geglühten Werkstoffen bei ca. 650 °C.
- Oberflächenfehler, die sich durch eine thermische Behandlung nicht beseitigen lassen, wie z. B. chemische Veränderungen der Randzone (Aufkohlung) oder Risse, können durch eine mechanische Nachbearbeitung beseitigt werden. Dies kann durch Polieren, Strahlen, Läppen u. ä. geschehen.
- Durch Weichglühen und erneutes Härten und Anlassen kann die „Weiße Schicht“ vollständig eliminiert und das Ausgangsgefüge wieder hergestellt werden.
- Durch Verwendung von Werkzeugstählen höchster Homogenität (z. B. Werkzeugstähle in ESU-Güte, Warmarbeitsstähle der Güte ISOBLOC und ISODISC sowie pulvermetallurgisch hergestellter Werkzeugstahl MICROCLEAN) wird die Oberflächengüte wesentlich verbessert, die Gefahr der Rissbildung erheblich vermindert und damit die Fertigungssicherheit und die Lebensdauer erhöht.





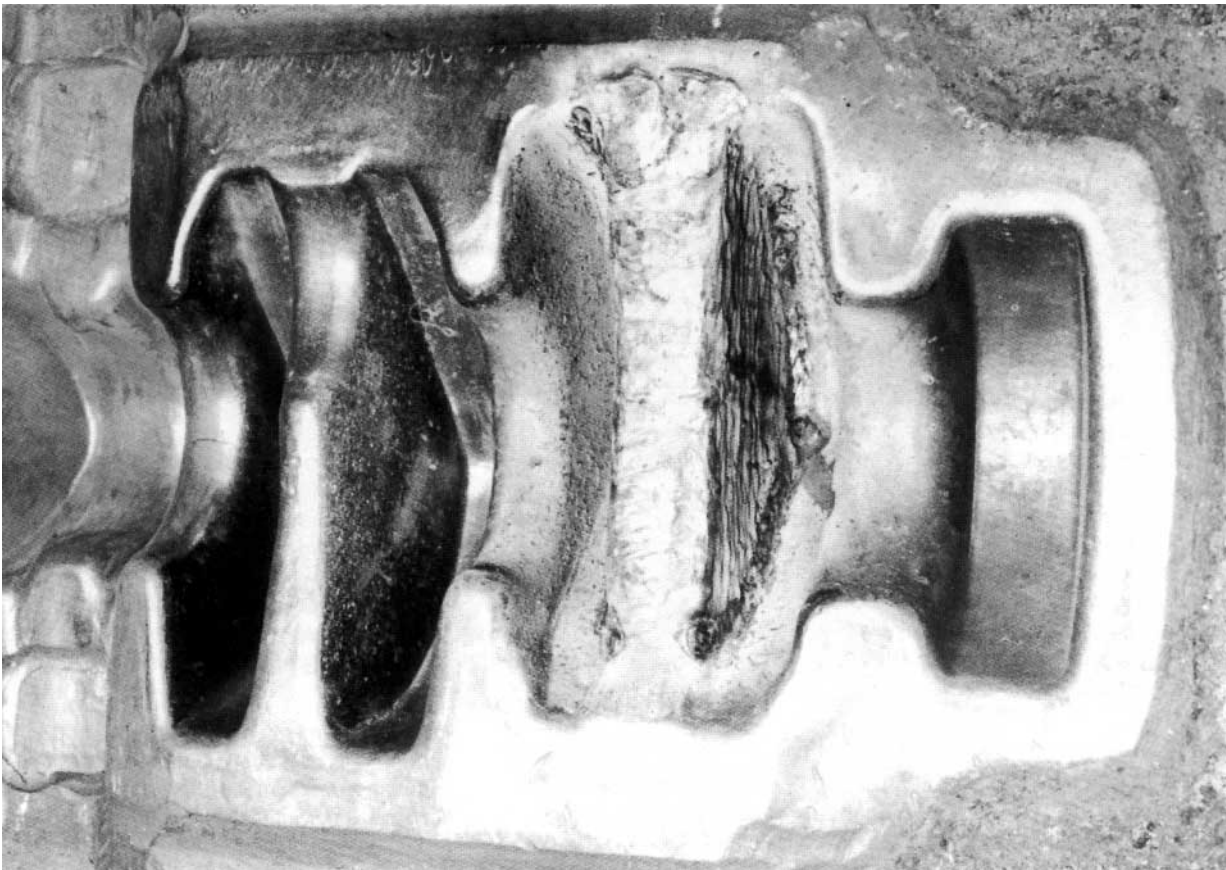
# 12 Schweißen

---

Die Bedeutung des Schweißens wird überzeugend durch die Tatsache unterstrichen, dass ein Drittel der gesamten Stahlproduktion mittels Schweißen verarbeitet wird.

Schweißen von Werkzeugstählen soll im Hinblick auf die Gefahr der Rissbildung im Allgemeinen vermieden werden. Unter Beachtung entsprechender Maßnahmen (Druckschrift „Böhler Schweißzusatzwerkstoffe für Werkzeugstähle“) stellt das Reparaturschweißen von Werkzeugen (z. B. Ausbessern ausgebrochener Kanten und Ecken mit speziellen Elektroden und Blankdrähten für die Schutzgasschweißung) ein wirtschaftliches Verfahren dar.

Für nähere Informationen steht Ihnen unser Außendienst zur Verfügung.





# OBERFLÄCHLICHES

Oberflächenbehandlungsverfahren



# 13 Oberflächenbehandlungsverfahren

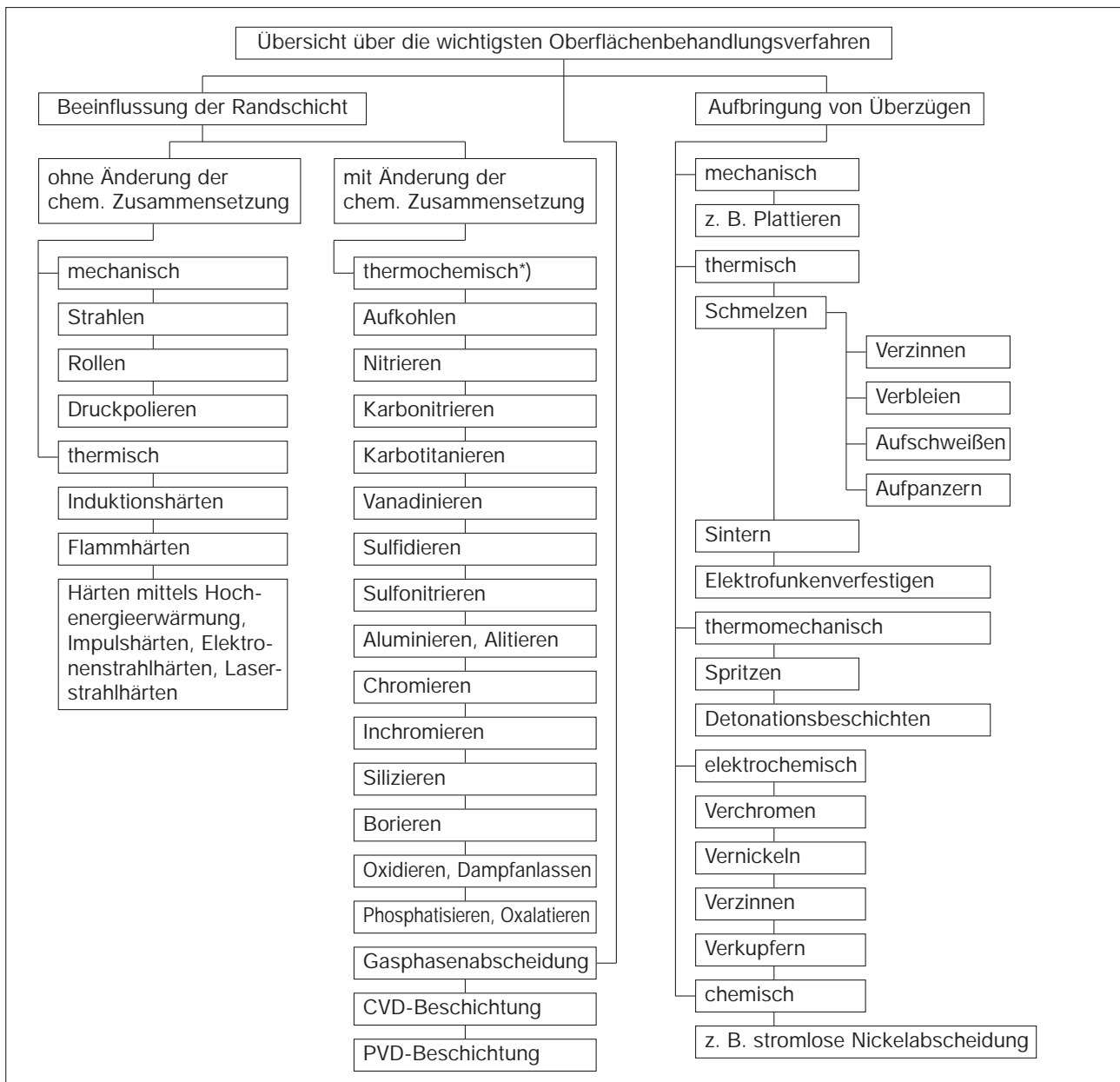
Der Oberfläche von Bauteilen und Werkzeugen können durch eine entsprechende Behandlung bestimmte chemische, physikalische und mechanische Eigenschaften verliehen werden, die der Grundwerkstoff nicht aufweist. Bei diesen sogenannten Verbundwerkstoffen, die aus Oberflächenschicht und Trägerwerkstoff bestehen, hat die Oberfläche die Aufgabe, schädigenden Angriffen entgegenzuwirken. Der Grundwerkstoff soll die auftretenden mechanischen Belastungen ohne Beeinträchtigung der Randschicht aufnehmen.

Das entsprechende Oberflächenbehandlungsverfahren wird je nach vorherrschender Beanspruchung ausgewählt. Dabei müssen die Wechselwirkung zwischen Grundwerkstoff und Oberflächenbehandlungsverfahren berücksichtigt werden. Da die verschiedenen Verfahren bei unterschiedlichen Temperaturen ablaufen, ist es wichtig, dass der jeweilige Grundwerkstoff durch die Behandlungstemperatur nicht negativ beeinflusst wird.

Die Vielzahl der heute zur Verfügung stehenden Verfahren werden im Folgenden nur in kurzer Form unter Beschränkung auf die wesentlichen Verfahren behandelt.

Härte ausgewählter Werkstoffe bzw. Gefügebestandteile

Werkstoff bzw. Gefügebestandteile	Vickershärte
Ferrit	100– 250
Austenit	300– 650
Martensit	550–1.100
Stahl gehärtet 65 HRC	ca. 900
Hartchrom	800–1.300
Zementit	900–1.200
Nitrierschichten auf Stahl	700–1.500
Korund	ca. 1.650
Hartmetall	1.600–2.500
Boridschichten	1.900–2.100
Titannitrid	2.000–2.500
Chromkarbid	2.200–2.700
Wolframkarbid	2.200–2.700
Vanadinkarbid	2.300–2.700
Titankarbid	4.000–4.600
Diamant	10.000



\*) Bei einigen dieser Verfahren wird anschließend oder nachfolgend eine Wärmebehandlung zwecks Härtung der Randschicht und gegebenenfalls des Grundwerkstoffes durchgeführt.

## 13.1 Randschichthärten

Beim Randschichthärten wird das Härten auf die Randschicht eines Werkstückes beschränkt.

Je nach der Art der Erwärmung unterscheidet man **Induktionshärten** (Erwärmung durch induzierte Wirbelströme, die durch das elektromagnetische Wechselfeld eines von Strom durchflossenen Heizinduktors erzeugt werden) und **Flammhärten** (Erwärmung durch Gasbrenner).

Dabei wird nur eine verhältnismäßig dünne, oberflächennahe Schicht auf Austenitisierungstemperatur gebracht, die beim unmittelbar folgenden, raschen Abkühlen, meist mit Wasser, wässrigen Lösungen oder Ölemulsionen, gehärtet wird. Wegen der kurzen Erwärmdauer werden die Härtetemperaturen etwa 30–100 °C höher als beim üblichen Härten bzw. Vergüten gewählt. Je nach Stahlsorte (meist besonders geeignete, unlegierte oder legierte Vergütungsstähle) werden in Abhängigkeit vom C-Gehalt Oberflächenhärten von etwa 50 bis 65 HRC erreicht. Die Einhärtungstiefe (ca. 1 bis 15 mm) hängt vom Legierungsgehalt sowie von den Erwärmungs- und Härtungsbedingungen ab (Vorschubgeschwindigkeit und Brennergröße bzw. Frequenz). Die Eigenschaften des Kerns hingegen bleiben unverändert erhalten. Sie ergeben sich aus der chemischen Zusammensetzung, den Abmessungen und der vorausgegangenen Wärmebehandlung (meist ein Vergüten) der Werkstücke.

Je nach der Art der Anordnung von Heiz- und Abkühlvorrichtung in Bezug auf das Werkstück spricht man von **Standhärtung** (Gesamtflächenhärtung, Mantelhärtung): Die gesamte zu härtende Schicht wird erwärmt und danach abgekühlt oder von

**Vorschubhärtung** (Linienhärtung):

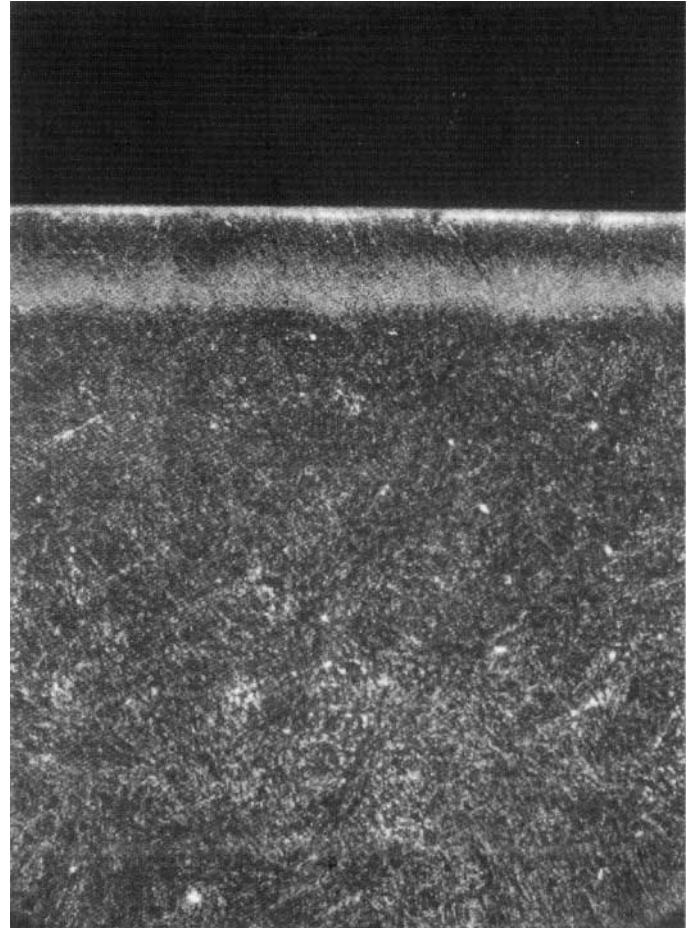
Das Werkstück bewegt sich in Längsrichtung relativ zur Heiz- und Kühlvorrichtung, die unmittelbar hintereinander angeordnet sind, wobei jeweils nur ein Teil der Oberflächenschicht behandelt wird.

In beiden Fällen können rotationssymmetrische Werkstücke zusätzlich eine Drehbewegung ausführen.

## 13.2 Nitrieren und Nitrocarburieren

Unter **Nitrieren** (Aufsticken) versteht man das Anreichern der Randschicht eines Werkstückes mit Stickstoff durch eine thermochemische Behandlung bei Temperaturen von etwa 500 bis 580 °C (fallweise auch niedriger), d. h. unterhalb A, im  $\alpha$ -Mischkristallgebiet. Erfolgt die Behandlung in Mitteln, die ein Anreichern der Randschicht mit Stickstoff und Kohlenstoff bewirken, spricht man von **Nitrocarburieren**. Zum Unterschied vom Aufkohlen und Carbonitrieren im  $\gamma$ -Mischkristallgebiet mit nachfolgendem Abschrecken zur Härtesteigerung durch Martensitbildung wird die Härte der Randschicht beim Nitrieren und Nitrocarburieren dadurch erreicht, dass sich der eindiffundierende Stickstoff an Zwischengitterplätzen einlagert, d. h. gelöst wird und außerdem mit Eisen oder geeigneten Legierungselementen, insbesondere Chrom, Aluminium, Molybdän und Vanadin Verbindungen eingeht (Nitridbildung). In Karbiden kann Stickstoff einen Teil des Kohlenstoffs ersetzen oder zusätzlich aufgenommen werden, so dass Carbonitride entstehen.

Der äußere Teil der mit Stickstoff angereicherten Schicht, die je nach den Nitrierbedingungen bis ca. 1 mm tief sein kann, bezeichnet man wegen der infolge des hohen Stickstoffgehaltes vorhandenen Verbindungen als **Verbindungsschicht**. Diese nur wenige  $\mu\text{m}$  dicke Schicht ist verantwortlich für den hohen Verschleißwiderstand und vermindert die Neigung zum „Fressen“ (Kleben, Kaltschweißen). In der metallographisch deutlich abgrenzbaren darunter liegenden Schicht, der **Diffusionsschicht**, bleibt der Stickstoff bei rascher Abkühlung im Mischkristall gelöst. Bei langsamer Abkühlung scheiden sich nadelförmige Nitride aus. Sind nitridbildende Legierungselemente vorhanden, scheiden sich auch in dieser Schicht Sondernitride aus.



V = 250:1

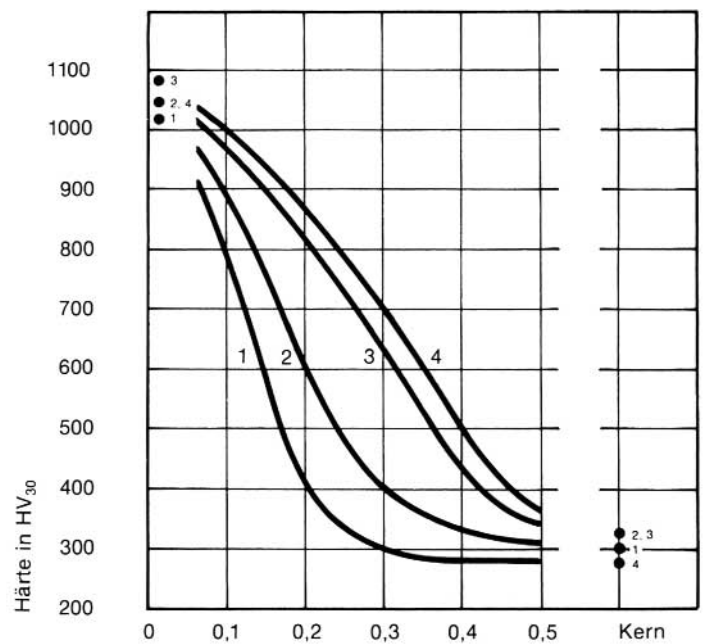
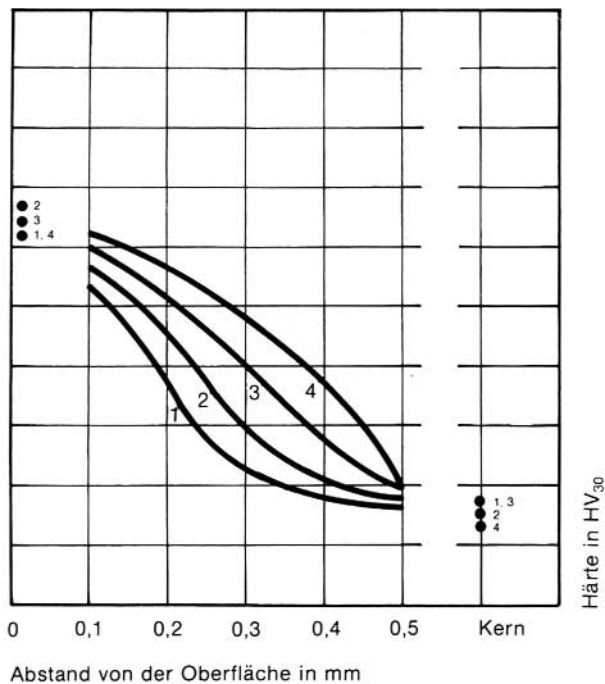
Durch das Nitrieren nimmt die Werkstückdicke ca. 0,02 bis 0,03 mm zu.

Je nach Art des Nitriermittels unterscheidet man zwischen Gas-, Salzbad-, Pulver- und Plasmanitrieren, wobei eine Vielzahl von Verfahrensvarianten, meist mit registrierten Markenschutznamen, entwickelt wurde.

Grundsätzlich lassen sich alle Stähle nitrieren. Je nach Legierungsgehalt und Verfahren werden die Eigenschaften wie Oberflächenhärte, Verschleißwiderstand, Gleit- und Notlaufeigenschaften, Dauerfestigkeit und Korrosionswiderstand unterschiedlich stark beeinflusst.

### Gasnitrieren

Höchste Oberflächenhärte erreichen jene Stähle, die einen genügend hohen Anteil an sondernitridbildenden Elementen besitzen – die klassischen Nitrierstähle für Gasnitrierung.



Härteverlauf nach dem Gasnitrieren, Nitriertemperatur 510 °C.  
 Nitrierdauer 1 = 40 h, 2 = 60 h, 3 = 85 h, 4 = 100 h  
 V304, 31CrMo 12, WNr. 1.8515 (links);  
 V810, 34CrAlMo 5, WNr. 1.8507 (rechts)

Das Gasnitrieren wird üblicherweise bei Temperaturen zwischen 490 und 520 °C im Ammoniakstrom durchgeführt. Die Nitrierdauer, welche die Nitrierhärte (= senkrechter Abstand von der Oberfläche bis zu dem Punkt, an dem die Härte einem zweckentsprechend festgelegten Grenzwert entspricht; siehe z. B. DIN 50190) beeinflusst, beträgt zwischen 1 bis 5 Tage. Die Werkstücke sollen vor dem Nitrieren einen möglichst niedrigen Eigenspannungszustand und eine entkohlungsfreie, metallisch blanke und fettfreie Oberfläche aufweisen. Die besten Ergebnisse werden erreicht, wenn die Werkstücke vergütet und spannungsarm gegläht sind. Die Nitrier-temperatur muss mindestens 30 bis 50 °C unter der Anlasstemperatur liegen.

Die verfahrensbedingte langsame Ofenabkühlung nach dem Nitrieren wirkt sich bei den Nitrierstählen nicht negativ aus (keine Ausscheidung von Nitridnadeln). Der Verzug ist sehr gering. Unlegierte Stähle und legierte Stähle ohne Nitridbilder sind für das Gasnitrieren weniger geeignet.

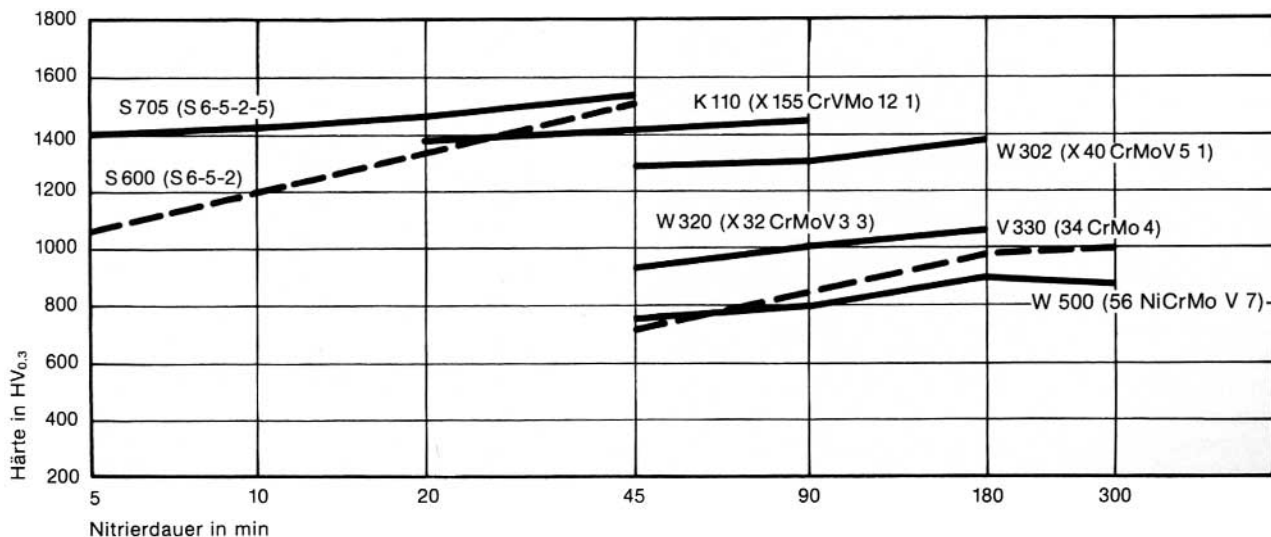
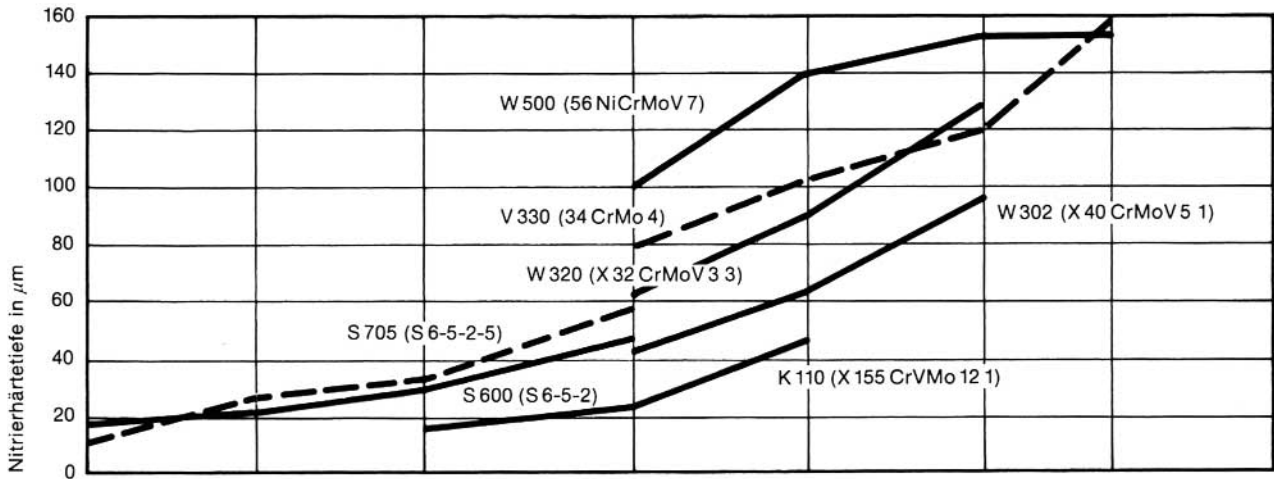
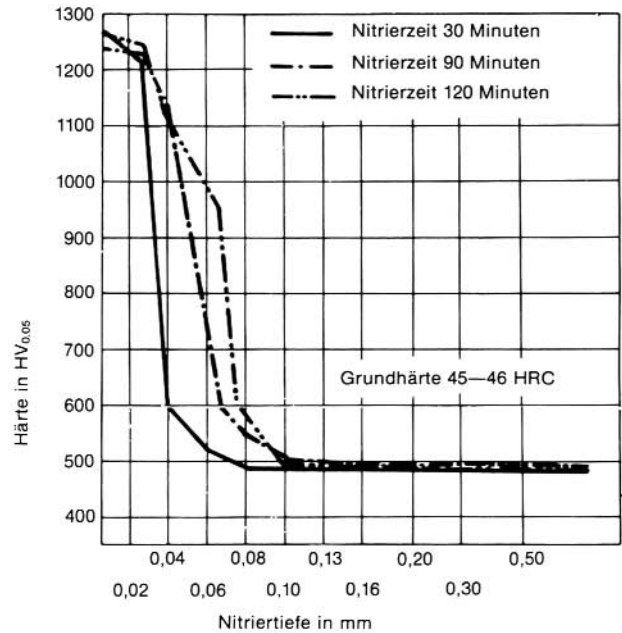


## Salzbadnitrieren

Das Nitrieren in cyanidhaltigen Salzschnmelzen ist seit fast 50 Jahren bekannt. Eine besondere Art des Salzbadnitrierens ist die Tenifer-Behandlung, bei welcher in einem Titantiegel mit Belüftung das für gute Nitrierergebnisse notwendige Verhältnis von Cyanid : Cyanat eingestellt wird. Die Behandlungstemperatur liegt bei ca. 570 °C, die Behandlungszeiten betragen im Allgemeinen 1/2 bis 2 Stunden, bei Schnellarbeitsstählen nur wenige Minuten. Die Abkühlung nach dem Nitrieren erfolgt im Wasser oder einem speziellen Abkühlbad, aber auch in Öl, Luft, in Vakuum oder Schutzgas. Auf Grund seiner Vielseitigkeit hat sich dieses Verfahren sowohl für Bauteile aus unlegierten und legierten Stählen als auch für Werkzeuge aus Schnellarbeits-, Kaltarbeits- und Warmarbeitsstählen zur Standzeitverbesserung bewährt.

Nitrierschichten werden bei Betriebstemperatur bis ca. 550 °C kaum beeinträchtigt. Höhere Temperaturen sollen vermieden werden.

Ein sehr wirtschaftliches und umweltfreundliches Verfahren ist das Nitrocarburieren mit oxidierender Nachbehandlung, wobei die Korrosionsbeständigkeit der Verbindungsschicht noch weiter verbessert wird (TENIFER-QPO-Verfahren der Fa. Degussa).



Einfluss der Nitrierdauer auf die Nitrierhärte (oben) und die Härte der Nitrierschicht (unten). Nitriertemperatur 570 °C

# 13.3 Einsatzhärten, Carbonitrieren

Unter **Einsatzhärten** versteht man ein Anreichern der Randschicht eines Werkstückes mit Kohlenstoff (**Aufkohlen**) oder Kohlenstoff und Stickstoff (**Carbonitrieren**) durch Diffusion mit anschließendem Härten.

Als Aufkohlungsmittel werden feste Mittel (Pulver oder Granulate), flüssige Mittel (Salzschmelzen) oder Gase verwendet. Man spricht daher von Pulver-, Salzbad- oder Gasaufkohlen.

Das Carbonitrieren erfolgt im Gasstrom oder in Salzschmelzen, wobei die Temperaturen im Allgemeinen niedriger als beim Aufkohlen liegen.

Die für die Einsatzhärtung geeigneten **Einsatzstähle** sind Baustähle mit verhältnismäßig niedrigem C-Gehalt (meist unter 0,25 %), die nach dem Einsatzhärten eine harte, verschleißfeste Oberflächenschicht aufweisen, welche infolge der Druckeigenspannungen auch eine erhöhte Dauerfestigkeit bewirkt, während der Kernwerkstoff vor allem hohe Zähigkeit besitzt.

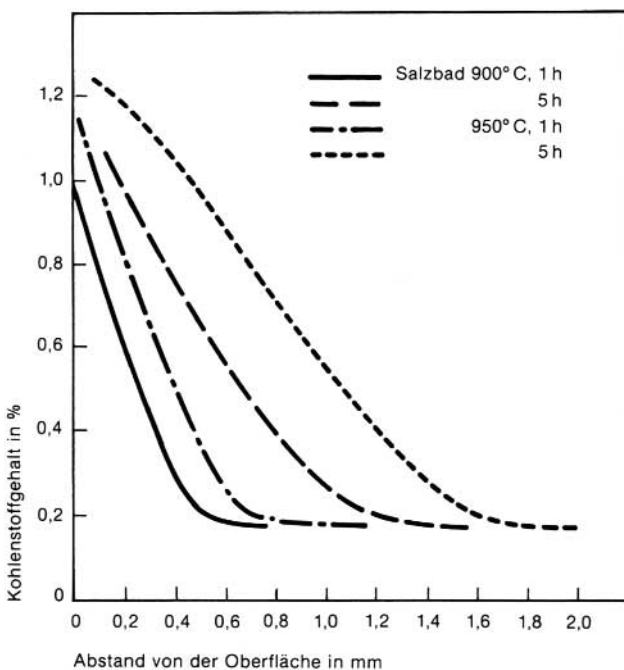
Der Verlauf der **Aufkohlungskurve** wird von der Kohlenstoffaktivität bzw. dem Kohlenstoffpegel des Aufkohlungsmittels bestimmt.

Die **Kohlenstoffaktivität** ist der frei wirksame Anteil des im Stahl gelösten Kohlenstoffes an der chemischen Reaktion beim Aufkohlen. Praktisch wird der **Kohlenstoff-Pegel** verwendet. Er ist definiert als jener C-Gehalt, der sich in unlegiertem Eisen nach unendlich langer Verweildauer beim Aufkohlen einstellt und wird an dünnen Folien und Drähten aus unlegiertem Stahl gemessen.

Die Höhe des Randkohlenstoffgehaltes wird durch zweckmäßige Wahl der Aufkohlungsmittel eingestellt, wobei die Aufkohlungstemperatur und -dauer nur geringen Einfluss hat.

Der für die Randhärbarkeit günstigste C-Gehalt beträgt etwa 0,60–0,80 %. Gebräuchlich sind Salzbad für Randkohlenstoffgehalte von 0,5 %, 0,8 % und 1,1 %.

Temperatur und Dauer verändern jedoch den Verlauf der Aufkohlungskurve entscheidend.



Aufkohlungskurve für Böhler E410 (16 MnCr 5). Die Aufkohlungstemperatur liegt im Allgemeinen zwischen 850 und 950 °C.

Als **Aufkohlungstiefe** bezeichnet man den senkrechten Abstand von der Oberfläche eines aufgekohlten Werkstückes bis zu dem Punkt, an dem der Kohlenstoffgehalt einem zweckmäßig festgelegten Grenzwert entspricht (z. B. 0,3 % C).

Die Aufkohlungstiefe kann näherungsweise berechnet werden:

$$\text{Aufkohlungstiefe} = \text{Faktor X} \cdot \sqrt{\text{Aufkohlungsdauer(h)} - \text{Korrektur (mm)}}$$

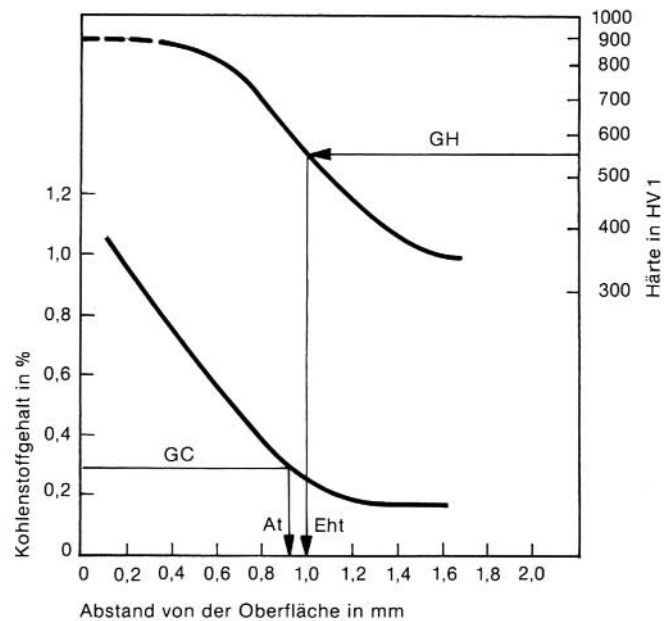
Der Faktor berücksichtigt Stahlzusammensetzung, Aufkohlungstemperatur, Kohlenstoffpegel und Aufkohlungsverfahren und beträgt etwa 0,2 bis 0,7.

Das Korrekturglied (etwa 0,1 bis 0,4 mm) ergibt sich aus der Abhängigkeit von der Kohlenstoff-Übergangszahl und dem Diffusionskoeffizienten des Kohlenstoffes im Stahl.

Die Aufkohlungstiefe wird üblicherweise nicht größer als 2 mm gewählt.

Im Allgemeinen wird nicht die Aufkohlungstiefe direkt, sondern die **Einsatzhärtungstiefe** bestimmt, d. h. der senkrechte Abstand von der Oberfläche bis zu jenem Punkt, an dem die Härte einem zweckentsprechenden Grenzwert entspricht. Nach DIN 50190/Teil 1 beträgt die Grenzhärte im Regelfall 550HV1.

Bei martensitischer Härtung entspricht die Grenzhärte 550HV ungefähr einem Grenzkohlenstoffgehalt von 0,3%, d. h. Einsatzhärtungstiefe und Aufkohlungstiefe sind praktisch gleich.



Zusammenhang zwischen Aufkohlungstiefe  $A_t$  und Einsatzhärtungstiefe  $E_{ht}$ .  $GH$  = Grenzhärte,  $GC$  = Grenzkohlenstoffgehalt.

Die Auswahl der Einsatzstähle richtet sich unter Berücksichtigung von Größe und Verwendungszweck eines Bauteils nach den erforderlichen Kerneigenschaften. Für einfache, nur auf Verschleiß beanspruchte Bauteile genügen meist unlegierte oder chromlegierte Stähle. Kommen auch dynamische Beanspruchungen durch Zug, Druck, Biegung oder Verdrehung hinzu, so werden Stähle mit höherer Kernfestigkeit erforderlich (Cr-Mo oder Cr-Mn-Stähle). Ist außerdem noch mit stärkerer schlagartiger Beanspruchung sowie kurzzeitiger Überbeanspruchung zu rechnen, sind Stähle mit höherer Zähigkeit notwendig (Ni-, Cr-Ni-, Ni-Mo-Stähle).

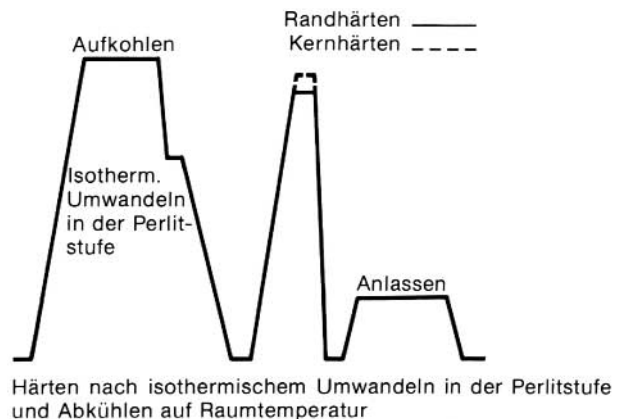
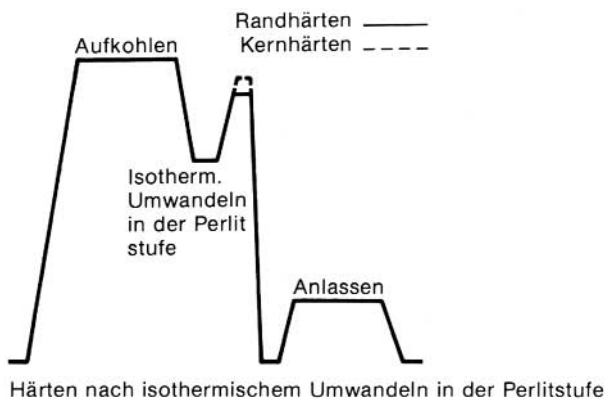
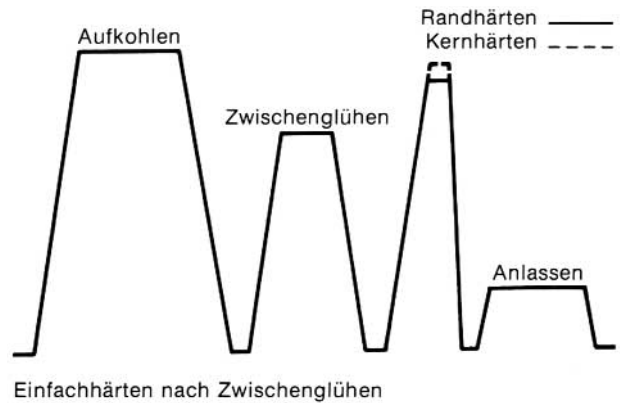
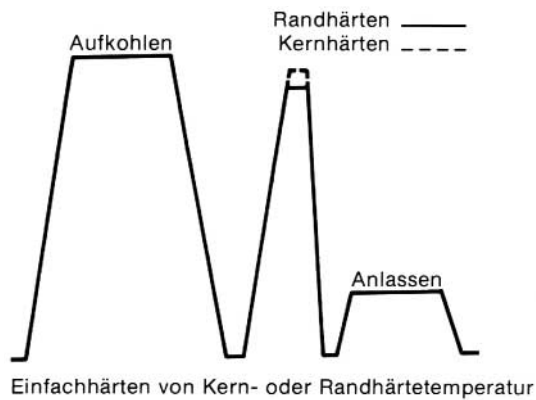
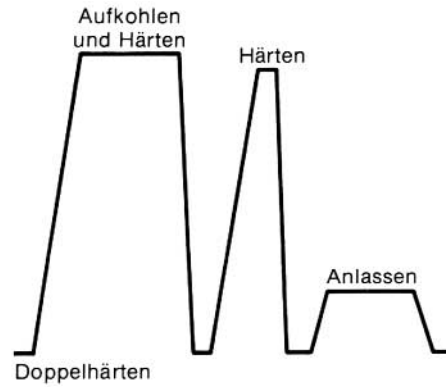
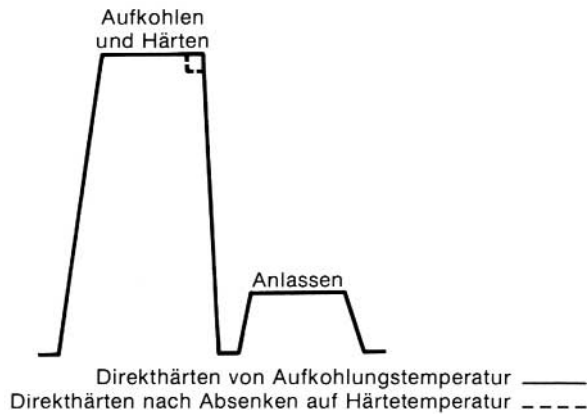
Da bei Einsatzstählen nach dem Aufkohlen praktisch zwei unterschiedliche Stähle (Randbereich mit C-Gehalt ca. 0,8 % und Kernbereich mit C-Gehalt ca. 0,2 %) mit unterschiedlichen Härtetemperaturen vorliegen, ist dies bei der Härtung entsprechend zu berücksichtigen. Je nach Werkstoff, Form, Größe und Beanspruchung der Werkstücke kommen daher verschiedene Behandlungsarten in Betracht.

Die **Direkthärtung** ist die wirtschaftlichste Wärmebehandlung mit dem geringsten Verzug. Voraussetzung sind entsprechende, für die Direkthärtung geeignete Feinkornstähle.

Eine **Doppelhärtung**, wobei die erste Härtung aus der Kernhärtetemperatur und die zweite aus der Randhärte-temperatur erfolgt, ist heute wegen der langen Behandlungszeiten und der großen Maßänderungen kaum noch üblich. Meist erfolgt die erste Härtung direkt aus der Aufkohlungstemperatur.

Durch eine **Zwischenglühung** wird ein gleichmäßiges, feines Gefüge erreicht und eine spanabhebende Bearbeitung ermöglicht.

Eine **isothermische Umwandlung** in einem Salzbad im Temperaturbereich der Perlitstufe bringt ebenfalls ein feines Gefüge.



## 13.4 Weitere ausgewählte Oberflächenbehandlungsverfahren

### CVD-Beschichtung

Bei diesem Verfahren werden aus einem Gasgemisch unter Zuführung von Wärme- und Strahlungsenergie Feststoffe chemisch abgeschieden (CVD = Chemical Vapour Deposition). Je nach Zusammensetzung des Gasgemisches sind dies Oxide, Nitride oder Karbide mit Mikrohärtungen zwischen 2000 bis 3000 HV. Für Werkzeuge und Verschleißteile haben sich in erster Linie Nitrid- und Karbidbeschichtungen bewährt.

Das Aufbringen der Schichten erfolgt bei etwa 1000 °C und dauert einige Stunden. Diese CVD-Schichten (3–10 µm), die sich auch durch Oxydations- und Korrosionsbeständigkeit auszeichnen, sind sehr hart und daher auch meist spröde und bruchempfindlich. Aus diesem Grund ist es erforderlich, durch eine möglichst hohe Härte des Grundwerkstoffes eine gute Stützwirkung sicherzustellen.

Die CVD-Beschichtung hat daher bei Hartmetallen eine besondere Bedeutung erlangt.

Auch bei Werkzeug- und Schnellarbeitsstählen wird dieses Verfahren eingesetzt. Da hier das Aufbringen der Schutzschicht bei Temperaturen über der Anlasstemperatur des Grundwerkstoffes erfolgt, ist nach dem Beschichten eine neuerliche Wärmebehandlung nötig, die unter Vakuum durchgeführt werden muss. Damit wird die erforderliche Härte, das heißt Stützwirkung, des beschichteten Werkstoffes gewährleistet.

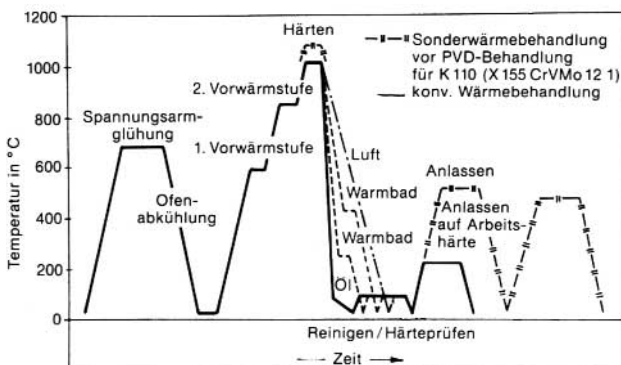
Um beim Beschichten Schädigungen des Grundwerkstoffes, wie z. B. Grobkorn zu vermeiden, muss die Beschichtungstemperatur auf die Härtetemperatur abgestimmt werden.

### PVD-Beschichtung

Die physikalischen Beschichtungsverfahren (PVD = Physical Vapour Deposition) zeichnen sich durch eine Vielzahl von charakteristischen Verfahrensvarianten aus. Zu den im Vakuum ablaufenden Verfahren zählen das Aufdampfen, Sputtern (Kathodenerstäuben) und Ion-Plating. Alle Verfahren können mit unterschiedlich reaktiven Atmosphären arbeiten und Metalle sowie Verbindungen abscheiden. Dadurch ergibt sich ein breites Anwendungsgebiet.

Für Werkzeuge hat sich das Ion-Plating mit aktivierten reaktiven Atmosphären bewährt und dient vorwiegend zur Beschichtung mit Titanitrid.

Da die Beschichtungstemperaturen in der Regel zwischen Raumtemperatur und 500 °C liegen, treten bei den wärmebehandelten Werkzeugen keine nennenswerten Gefügeänderungen oder Verzug auf.



### Borieren

Es kann in Pulver, Salzbad oder Gas durchgeführt werden. Bewährt haben sich vor allem Pasten und Pulver. Die Behandlungstemperaturen liegen vorwiegend zwischen 800 und 1.050 °C, die Behandlungsdauer üblicherweise zwischen ein und zwölf Stunden. Die dabei erzeugten Boridschichten (FeB, Fe<sub>2</sub>B) sind sehr hart und besitzen eine hervorragende Haftfestigkeit. Sie neigen nicht zum Kaltschweißen und können thermisch sehr hoch belastet werden. Dadurch besteht die Möglichkeit, bereits boriierte Teile zur Erhöhung der Kernfestigkeit einer Wärmebehandlung zu unterziehen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Härtetemperatur unter der eutektischen Temperatur von 1149 °C im System Eisen-Bor liegen muss.

### Verchromen:

Man unterscheidet zwischen Glanzverchromen, Mattverchromen, Schwarzverchromen und Hartverchromen, auch technische Verchromung genannt.

Vor dem Hartverchromen müssen die Teile ordnungsgemäß wärmebehandelt und fertigbearbeitet werden. Die Behandlungstemperaturen liegen zwischen 50 und 70 °C. Durch die harte Chromschicht – in der Regel 0,005–0,05 mm bei Stoß- und Druckbeanspruchung, 0,10–0,15 mm bei höchster Verschleißbeanspruchung – werden der Verschleißwiderstand, die Gleiteigenschaften, die Oberflächenhärte und die Korrosionsbeständigkeit erhöht.

Da bei der Hartverchromung Wasserstoff frei wird und bekanntlich Werkstoffe durch Eindiffusion von Wasserstoff verspröden, müssen die behandelten Teile einer mehrstündigen Glühung bei 150–170 °C unterzogen werden, um die Sprödigkeit der Hartchromschicht und des Grundmaterials abzubauen.

### Chromieren:

Aus der Gasphase diffundiert Cr bei etwa 950 °C in die Werkstückoberfläche ein und erzeugt eine mit dem Grundwerkstoff mechanisch unlösbar verbundene Schicht mit verbessertem Widerstand gegen Nasskorrosion sowie guter Zunderbeständigkeit.

### Aluminieren, Alitieren:

Diese Verfahren werden ähnlich wie das Chromieren durchgeführt. Durch Anreichern von Aluminium in der Oberfläche von Werkstücken wird deren Korrosions- und Zunderbeständigkeit verbessert. Dieses Verfahren wird besonders für Teile im Triebwerksbau der Luftfahrtindustrie eingesetzt, wobei die Anwendungstemperaturen bis zu 1150 °C betragen können.

### Silizieren:

Das Eindiffundieren von Si in Werkstückoberflächen zur Erhöhung des Oxidationswiderstandes wird seltener als selbständiges Verfahren, sondern meist in Verbindung mit anderen, insbesondere mit dem Alitieren, angewandt.

### Inchromieren:

Aus der Gasphase diffundiert Cr bei etwa 950 °C in die Werkstückoberfläche ein. Dieses eindiffundierte Cr verbindet sich beim nachfolgenden Härten mit dem C des Stahles und bildet eine verschleißfeste Cr-Karbid-schicht. Die zweckmäßigsten Schichtdicken liegen zwischen 0,01 und 0,05 mm. Die Eigenschaften dieser Überzüge sind mit jenen der Hartchromschichten vergleichbar.



**Dampfanlassen:**

Das Dampfanlassen beruht darauf, dass Schnellarbeitsstahlwerkzeuge nach dem Fertigschleifen in einer Dampfatmosfera bei etwa 500 °C behandelt werden. Bei dieser Temperatur spaltet sich der Wasserdampf auf, sodass der Sauerstoff in einer reaktionsfreudigen Form vorliegt. Dadurch bildet sich auf der Werkzeugoberfläche eine dünne Oxydschicht, die den Verschleißwiderstand erhöht.

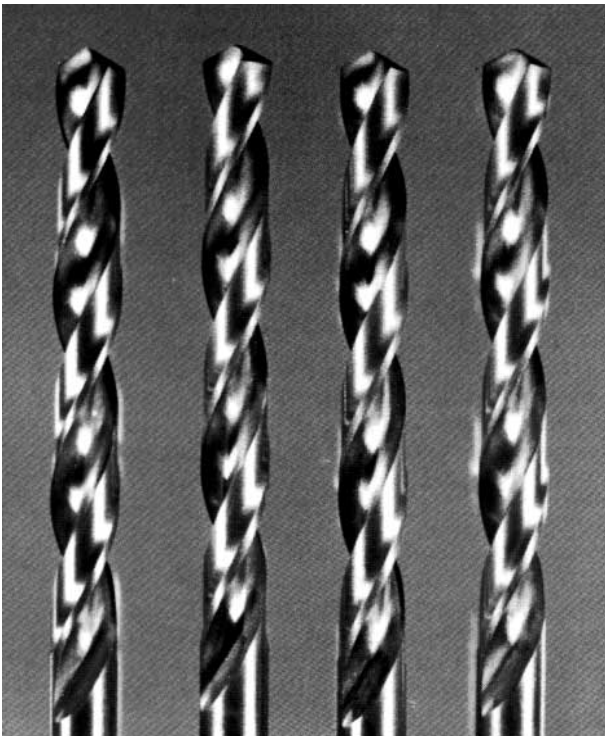
**Sulfidieren:**

Sulfidieren, auch Sulfurieren genannt, wird in Salzbädern durchgeführt, wobei gleichzeitig eine S-, N- und C-Anreicherung an der Oberschicht erfolgt. Die gebildete Metallsulfidschicht weist günstige Gleiteigenschaften auf und vermindert die Neigung zu Aufschweißungen.

**Phosphatieren, Oxalatieren:**

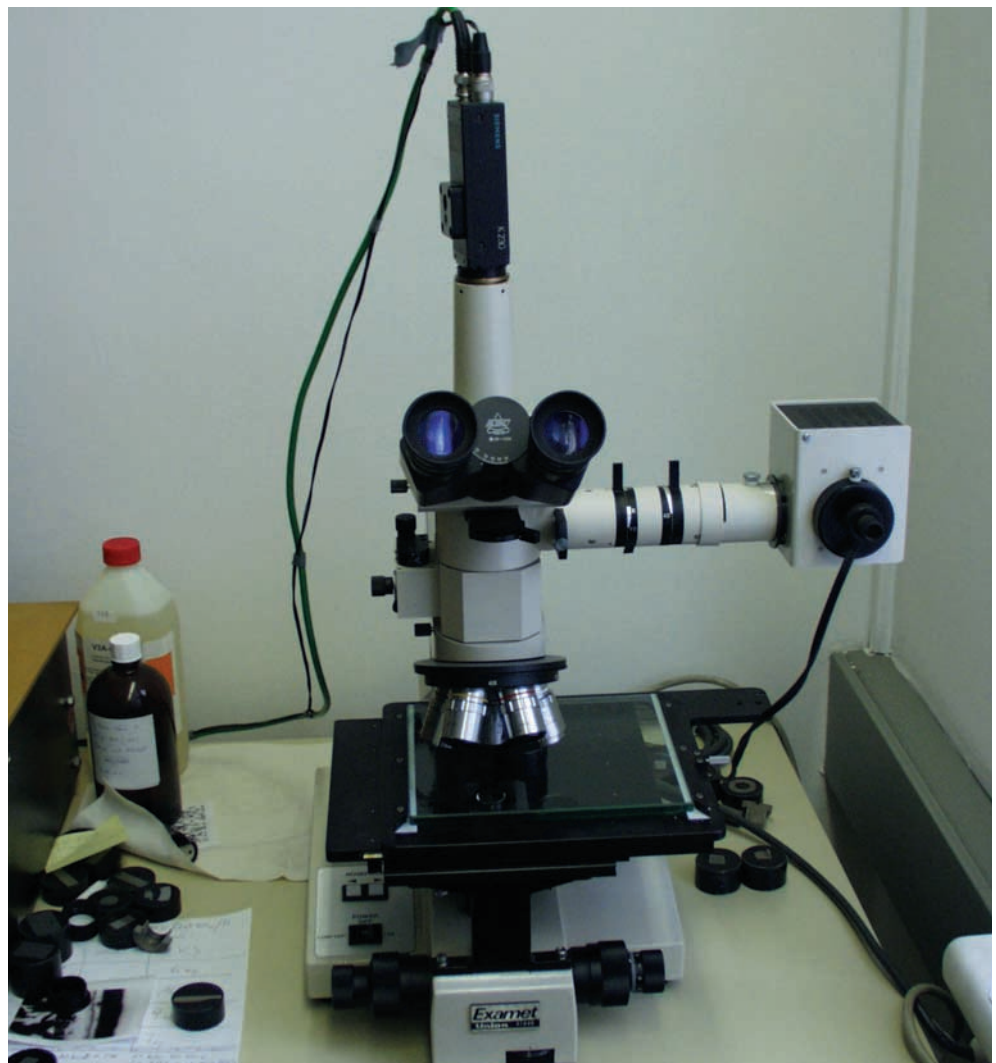
Aus phosphorsäurehaltigen, wässrigen Lösungen lassen sich an Stahloberflächen Phosphatüberzüge abscheiden. Sie bieten einen zeitlich begrenzten Korrosionsschutz, verbessern den Reibungsbeiwert, bilden guten Haftgrund für organische Beschichtungen (Lacke, Fette, Öle) und wirken elektrisch isolierend.

Edelstähle, auf denen sich wegen bestimmter höherer Legierungsanteile brauchbare Phosphatschichten nicht bilden, werden zu den gleichen Zwecken oxalatiert.



# ZUM NACHSCHLAGEN

Tabellen, Stichwörter



# 14 Umrechnen °C ! °F

Grundformel:  $^{\circ}\text{F} = (^{\circ}\text{C} \cdot \frac{9}{5}) + 32$ ;  $^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \cdot \frac{5}{9}$   
 $-273,15^{\circ}\text{C} = -459,67^{\circ}\text{F}$

$0^{\circ}\text{C} = 32^{\circ}\text{F}$   
 $100^{\circ}\text{C} = 212^{\circ}\text{F}$

Kelvin =  $^{\circ}\text{C} + 273,15$   
 Differenz:  $1\text{ K} = 1^{\circ}\text{C} = 1,8^{\circ}\text{F}$

Die fettgedruckten Zahlen geben die Temperaturgrade an, die in °C oder °F umzuwandeln sind. Bei Umwandlungen von °C wird der Wert in °F in der rechten Kolonne bzw. von °F in °C in der linken Kolonne gefunden, z. B. 4 °C (fettgedruckte Zahl) x 39,2 °F ; 4 °F (fettgedruckte Zahl) x 15,6 °C.

°C	x	°C	x	°F	°C	x	°C	x	°F	°C	x	°F
-268		<b>-450</b>		-9,44	<b>15</b>		59,0		23,9	<b>75</b>		167,0
-262		<b>-440</b>		-8,89	<b>16</b>		60,8		24,4	<b>76</b>		168,8
-257		<b>-430</b>		-8,33	<b>17</b>		62,2		25,0	<b>77</b>		170,6
-251		<b>-420</b>		-7,78	<b>18</b>		64,4		25,6	<b>78</b>		172,4
-246		<b>-410</b>		-7,22	<b>19</b>		66,2		26,1	<b>79</b>		174,2
-240		<b>-400</b>		-6,67	<b>20</b>		68,0		26,7	<b>80</b>		176,0
-234		<b>-390</b>		-6,11	<b>21</b>		69,8		27,2	<b>81</b>		177,8
-229		<b>-380</b>		-5,56	<b>22</b>		71,6		27,8	<b>82</b>		179,6
-223		<b>-370</b>		-5,00	<b>23</b>		73,4		28,3	<b>83</b>		181,4
-218		<b>-360</b>		-4,44	<b>24</b>		75,2		28,9	<b>84</b>		183,2
-212		<b>-350</b>		-3,89	<b>25</b>		77,0		29,4	<b>85</b>		185,0
-207		<b>-340</b>		-3,33	<b>26</b>		78,8		30,0	<b>86</b>		186,8
-201		<b>-330</b>		-2,78	<b>27</b>		80,6		30,6	<b>87</b>		188,6
-196		<b>-320</b>		-2,22	<b>28</b>		82,4		31,1	<b>88</b>		190,4
-190		<b>-310</b>		-1,67	<b>29</b>		84,2		31,7	<b>89</b>		192,2
-184		<b>-300</b>		-1,11	<b>30</b>		86,0		32,2	<b>90</b>		194,0
-179		<b>-290</b>		-0,56	<b>31</b>		87,8		32,8	<b>91</b>		195,8
-173		<b>-280</b>		0,00	<b>32</b>		89,6		33,3	<b>92</b>		197,6
-168		<b>-270</b>	-454	0,56	<b>33</b>		91,4		33,9	<b>93</b>		199,4
-162		<b>-260</b>	-436	1,11	<b>34</b>		93,2		34,4	<b>94</b>		201,2
-157		<b>-250</b>	-418	1,67	<b>35</b>		95,0		35,0	<b>95</b>		203,0
-151		<b>-240</b>	-400	2,22	<b>36</b>		96,8		35,6	<b>96</b>		204,8
-146		<b>-230</b>	-382	2,78	<b>37</b>		98,6		36,1	<b>97</b>		206,6
-140		<b>-220</b>	-364	3,33	<b>38</b>		100,4		36,7	<b>98</b>		208,4
-134		<b>-210</b>	-346	3,89	<b>39</b>		102,2		37,2	<b>99</b>		210,2
-129		<b>-200</b>	-328	4,44	<b>40</b>		104,0		37,8	<b>100</b>		212,0
-123		<b>-190</b>	-310	5,00	<b>41</b>		105,8		43	<b>110</b>		230
-118		<b>-180</b>	-292	5,56	<b>42</b>		107,6		49	<b>120</b>		248
-112		<b>-170</b>	-274	6,11	<b>43</b>		109,4		54	<b>130</b>		266
-107		<b>-160</b>	-256	6,67	<b>44</b>		111,2		60	<b>140</b>		284
-101		<b>-150</b>	-238	7,22	<b>45</b>		113,0		66	<b>150</b>		302
-95,6		<b>-140</b>	-220	7,78	<b>46</b>		114,8		71	<b>160</b>		320
-90,0		<b>-130</b>	-202	8,33	<b>47</b>		116,6		77	<b>170</b>		338
-84,4		<b>-120</b>	-184	8,89	<b>48</b>		118,4		82	<b>180</b>		356
-78,9		<b>-110</b>	-166	9,44	<b>49</b>		120,2		88	<b>190</b>		374
-73,3		<b>-100</b>	-148	10,0	<b>50</b>		122,0		93	<b>200</b>		392
-67,8		<b>-90</b>	-130	10,6	<b>51</b>		123,8		99	<b>210</b>		410
-62,2		<b>-80</b>	-112	11,1	<b>52</b>		125,6		104	<b>220</b>		428
-56,7		<b>-70</b>	-94	11,7	<b>53</b>		127,4		110	<b>230</b>		446
-51,1		<b>-60</b>	-76	12,2	<b>54</b>		129,2		116	<b>240</b>		464
-45,6		<b>-50</b>	-58	12,8	<b>55</b>		131,0		121	<b>250</b>		482
-40,0		<b>-40</b>	-40	13,3	<b>56</b>		132,8		127	<b>260</b>		500
-34,4		<b>-30</b>	-22	13,9	<b>57</b>		134,6		132	<b>270</b>		518
-28,9		<b>-20</b>	-4	14,4	<b>58</b>		136,4		138	<b>280</b>		536
-23,3		<b>-10</b>	14	15,0	<b>59</b>		138,2		143	<b>290</b>		554
-17,8		<b>0</b>	32	15,6	<b>60</b>		140,0		149	<b>300</b>		572
-17,2		<b>1</b>	33,8	16,1	<b>61</b>		141,8		154	<b>310</b>		590
-16,7		<b>2</b>	35,6	16,7	<b>62</b>		143,6		160	<b>320</b>		608
-16,1		<b>3</b>	37,4	17,2	<b>63</b>		145,4		166	<b>330</b>		626
-15,6		<b>4</b>	39,2	17,8	<b>64</b>		147,2		171	<b>340</b>		644
-15,0		<b>5</b>	41,0	18,3	<b>65</b>		149,0		177	<b>350</b>		662
-14,4		<b>6</b>	42,8	18,9	<b>66</b>		150,8		182	<b>360</b>		680
-13,9		<b>7</b>	44,6	19,4	<b>67</b>		152,6		188	<b>370</b>		698
-13,3		<b>8</b>	46,4	20,0	<b>68</b>		154,4		193	<b>380</b>		716
-12,8		<b>9</b>	48,2	20,6	<b>69</b>		156,2		199	<b>390</b>		734
-12,2		<b>10</b>	50,0	21,1	<b>70</b>		158,0		204	<b>400</b>		752
-11,7		<b>11</b>	51,8	21,7	<b>71</b>		159,8		210	<b>410</b>		770
-11,1		<b>12</b>	53,6	22,2	<b>72</b>		161,6		216	<b>420</b>		788
-10,6		<b>13</b>	55,4	22,8	<b>73</b>		163,4		221	<b>430</b>		806
-10,0		<b>14</b>	57,2	23,3	<b>74</b>		165,2		227	<b>440</b>		824

°C	x	°C	x	°F	°C	x	°C	x	°F	°C	x	°C	x	°F
232		450		842	593		1100		2012	954		1750		3182
238		460		860	599		1110		2030	960		1760		3200
243		470		878	604		1120		2048	966		1770		3218
249		480		896	610		1130		2066	971		1780		3236
254		490		914	616		1140		2084	977		1790		3254
260		500		932	621		1150		2102	982		1800		3272
266		510		950	627		1160		2120	988		1810		3290
271		520		968	632		1170		2138	993		1820		3308
277		530		986	638		1180		2156	999		1830		3326
282		540		1004	643		1190		2174	1004		1840		3344
288		550		1022	649		1200		2192	1010		1850		3362
293		560		1040	654		1210		2210	1016		1860		3380
299		570		1058	660		1220		2228	1021		1870		3398
304		580		1076	666		1230		2246	1027		1880		3416
310		590		1094	671		1240		2264	1032		1890		3434
316		600		1112	677		1250		2282	1038		1900		3452
321		610		1130	682		1260		2300	1043		1910		3470
327		620		1148	688		1270		2318	1049		1920		3488
332		630		1166	693		1280		2336	1054		1930		3506
338		640		1184	699		1290		2354	1060		1940		3524
343		650		1202	704		1300		2372	1066		1950		3542
349		660		1220	710		1310		2390	1071		1960		3560
354		670		1238	716		1320		2408	1077		1970		3578
360		680		1256	721		1330		2426	1082		1980		3596
366		690		1274	727		1340		2444	1086		1990		3614
371		700		1292	732		1350		2462	1093		2000		3632
377		710		1310	738		1360		2480	1099		2010		3650
382		720		1328	743		1370		2498	1104		2020		3668
388		730		1346	749		1380		2516	1110		2030		3686
393		740		1364	754		1390		2534	1116		2040		3704
399		750		1382	760		1400		2552	1121		2050		3722
404		760		1400	766		1410		2570	1127		2060		3740
410		770		1418	771		1420		2588	1132		2070		3758
416		780		1436	777		1430		2606	1138		2080		3776
421		790		1454	782		1440		2624	1143		2090		3794
427		800		1472	788		1450		2642	1149		2100		3812
432		810		1490	793		1460		2660	1154		2110		3830
438		820		1508	799		1470		2678	1160		2120		3848
443		830		1526	804		1480		2696	1166		2130		3866
449		840		1544	810		1490		2714	1171		2140		3884
454		850		1562	816		1500		2732	1177		2150		3902
460		860		1580	821		1510		2750	1182		2160		3920
466		870		1598	827		1520		2768	1188		2170		3938
471		880		1616	832		1530		2786	1193		2180		3956
477		890		1634	838		1540		2804	1199		2190		3974
482		900		1652	843		1550		2822	1204		2200		3992
488		910		1670	849		1560		2840	1210		2210		4010
493		920		1688	854		1570		2858	1216		2220		4028
499		930		1706	860		1580		2876	1221		2230		4046
504		940		1724	866		1590		2894	1227		2240		4064
510		950		1742	871		1600		2912	1232		2250		4082
516		960		1760	877		1610		2930	1238		2260		4100
521		970		1778	882		1620		2948	1243		2270		4118
527		980		1796	888		1630		2966	1249		2280		4136
532		990		1814	893		1640		2984	1254		2290		4154
538		1000		1832	899		1650		3002	1260		2300		4172
543		1010		1850	904		1660		3020	1266		2310		4190
549		1020		1868	910		1670		3038	1271		2320		4208
554		1030		1886	916		1680		3056	1277		2330		4226
560		1040		1904	921		1690		3074	1282		2340		4244
566		1050		1922	927		1700		3092	1288		2350		4262
571		1060		1940	932		1710		3110	1293		2360		4280
577		1070		1958	938		1720		3128	1299		2370		4298
582		1080		1976	943		1730		3146	1304		2380		4316
588		1090		1994	949		1740		3164	1310		2390		4334



°C	x	°C	x	°F	°C	x	°C	x	°F	°C	x	°C	x	°F
		°F					°F			°F		°F		
1316		<b>2400</b>		4352	1427		<b>2600</b>		4712	1538		<b>2800</b>		5072
1321		<b>2410</b>		4370	1432		<b>2610</b>		4730	1543		<b>2810</b>		5090
1327		<b>2420</b>		4388	1438		<b>2620</b>		4748	1549		<b>2820</b>		5108
1332		<b>2430</b>		4406	1443		<b>2630</b>		4766	1554		<b>2830</b>		5126
1338		<b>2440</b>		4424	1449		<b>2640</b>		4784	1560		<b>2840</b>		5144
1343		<b>2450</b>		4442	1454		<b>2650</b>		4802	1566		<b>2850</b>		5162
1349		<b>2460</b>		4460	1460		<b>2660</b>		4820	1571		<b>2860</b>		5180
1354		<b>2470</b>		4478	1466		<b>2670</b>		4838	1577		<b>2870</b>		5198
1360		<b>2480</b>		4496	1471		<b>2680</b>		4856	1582		<b>2880</b>		5216
1366		<b>2490</b>		4514	1477		<b>2690</b>		4874	1588		<b>2890</b>		5234
1371		<b>2500</b>		4532	1482		<b>2700</b>		4892	1593		<b>2900</b>		5252
1377		<b>2510</b>		4550	1488		<b>2710</b>		4910	1599		<b>2910</b>		5270
1382		<b>2520</b>		4568	1493		<b>2720</b>		4928	1604		<b>2920</b>		5288
1388		<b>2530</b>		4586	1499		<b>2730</b>		4946	1610		<b>2930</b>		5306
1393		<b>2540</b>		4604	1504		<b>2740</b>		4964	1616		<b>2940</b>		5324
1399		<b>2550</b>		4622	1510		<b>2750</b>		4982	1621		<b>2950</b>		5342
1404		<b>2560</b>		4640	1516		<b>2760</b>		5000	1627		<b>2960</b>		5360
1410		<b>2570</b>		4658	1521		<b>2770</b>		5018	1632		<b>2970</b>		5378
1416		<b>2580</b>		4676	1527		<b>2780</b>		5036	1638		<b>2980</b>		5396
1421		<b>2590</b>		4694	1532		<b>2790</b>		5054	1643		<b>2990</b>		5414
										1649		<b>3000</b>		5432

# 15 Umwertung HV, HB, HRC, Zugfestigkeit Rm

Vickers- härte (Fv 98N)	Kugel- eindruck (m <sup>1</sup> )	Brinell- härte <sup>2</sup> )	Rockwellhärte		Zug- festigkeit N/mm <sup>2</sup>
			HRB	HRC	
63	7,32	60			200
65	7,22	62			210
69	7,04	66			220
70	6,99	67			225
72	6,95	68			230
75	6,82	71			240
79	6,67	75			250
80	6,63	76			255
82	6,56	78			260
85	6,45	81	41		270
88	6,35	84	45		280
90	6,28	86	48		285
91	6,25	87	49		290
94	6,19	89	51		300
95	6,16	90	52		305
97	6,10	92	54		310
100	6,01	95	56		320
103	5,93	98	58		330
105	5,87	100	59		335
107	5,83	102	60		340
110	5,75	105	62		350
113	5,70	107	63,5		360
115	5,66	109	64,5		370
119	5,57	113	66		380
120	5,54	114	67		385
122	5,50	116	67,5		390
125	5,44	119	69		400
128	5,38	122	70		410
130	5,33	124	71		415
132	5,32	125	72		420
135	5,26	128	73		430
138	5,20	131	74		440
140	5,17	133	75		450
143	5,11	136	76,5		460
145	5,08	138	77		465
147	5,05	140	77,5		470
150	5,00	143	78,5		480
153	4,96	145	79,5		490
155	4,93	147	80		495
157	4,90	149	81		500
160	4,86	152	81,5		510
163	4,81	155	82,5		520
165	4,78	157	83		530
168	4,74	160	84,5		540
170	4,71	162	85		545
172	4,70	163	85,5		550
175	4,66	166	86		560
178	4,62	169	86,5		570
180	4,59	171	87		575
181	4,58	172			580
184	4,54	175	88		590
185	4,53	176			595
187	4,51	178	89		600
190	4,47	181	89,5		610
193	4,44	184	90		620
195	4,43	185			625
197	4,40	187	91		630
200	4,37	190	91,5		640
203	4,34	193	92		650
205	4,32	195	92,5		660
208	4,29	198	93		670
210	4,27	199	93,5		675
212	4,25	201			680

Vickers- härte (Fv 98N)	Kugel- eindruck (m <sup>1</sup> )	Brinell- härte <sup>2</sup> )	Rockwellhärte		Zug- festigkeit N/mm <sup>2</sup>
			HRB	HRC	
215	4,22	204	94		690
219	4,19	208			700
220	4,18	209	95		705
222	4,16	211	95,5		710
225	4,13	214	96		720
228	4,11	216			730
230	4,08	219	96,5		740
233	4,07	221	97		750
235	4,05	223			755
237	4,03	225	97,5		760
240	4,01	228	98		770
243	3,98	231		21	780
245	3,97	233			785
247	3,95	235	99		790
250	3,93	238	99,5	22	800
253	3,91	240			810
255	3,89	242		23	820
258	3,87	245			830
260	3,85	247		24	835
262	3,84	249			840
265	3,82	252			850
268	3,80	255		25	860
270	3,78	257			865
272	3,77	258		26	870
275	3,76	261			880
278	3,74	264			890
280	3,72	266		27	900
283	3,70	269			910
285	3,69	271			915
287	3,68	273		28	920
290	3,66	276			930
293	3,64	278		29	940
295	3,63	280			950
299	3,61	284			960
300	3,60	285			965
302	3,59	287		30	970
305	3,57	290			980
308	3,55	293			990
310	3,54	295		31	995
311	3,53	296			1000
314	3,52	299			1010
317	3,50	301		32	1020
320	3,49	304			1030
323	3,47	307			1040
327	3,45	311		33	1050
330	3,44	314			1060
333	3,43	316			1070
336	3,41	319		34	1080
339	3,40	322			1090
340	3,39	323			1095
342	3,38	325			1100
345	3,36	328		35	1110
349	3,35	332			1120
350	3,34	333			1125
352	3,33	334			1130
355	3,32	337		36	1140
358	3,31	340			1150
360	3,30	342			1155
361	3,29	343			1160
364	3,28	346		37	1170
367	3,26	349			1180
370	3,25	352			1190
373	3,24	354		38	1200

<sup>1</sup>) Stahlkugel 10 mm Durchmesser; <sup>2</sup>) Errechnet aus: HB = 0,95 HV

Vickers- härte (Fv 98N)	Kugel- eindruck (m <sup>1</sup> )	Brinell- härte <sup>2</sup> ) HB	Rockwellhärte		Zug- festigkeit N/mm <sup>2</sup>
			HRB	HRC	
376	3,23	357			1210
380	3,21	361			<b>1220</b>
382	3,20	363		39	1230
385	3,19	366			1240
388	3,18	369			1250
390	3,17	371			<b>1255</b>
392		372		40	1260
394	3,16	374			1270
397	3,14	377			1280
400	3,13	380			<b>1290</b>
403	3,12	383		41	1300
407	3,10	387			1310
410	3,09	390			<b>1320</b>
413	3,08	393		42	1330
417	3,07	396			1340
420	3,06	399			<b>1350</b>
423	3,05	402		43	1360
426	3,04	405			1370
429		408			1380
430	3,02	409			<b>1385</b>
431		410			1390
434	3,01	413		44	1400
437	3,00	415			1410
<b>440</b>	2,99	<b>418</b>			<b>1420</b>
443	2,98	421			1430
446	2,97	424		45	1440
449	2,96	427			1450
<b>450</b>		<b>428</b>			<b>1455</b>
452	2,95	429			1460
455	2,94	432			1470
458	2,93	435		46	1480
<b>460</b>		<b>437</b>			<b>1485</b>
461	2,92	438			1490
464	2,91	441			1500
467	2,90	444			1510
<b>470</b>	2,89	<b>447</b>			<b>1520</b>
473		449		47	1530
476	2,88	452			1540
479	2,87	455			1550
<b>480</b>		<b>(456)</b>			<b>1555</b>
481	2,86	(457)			1560
484	2,85	(460)		48	1570
486		(462)			1580
489	2,84	(465)			1590
<b>490</b>	2,83	<b>(466)</b>			<b>1595</b>
491		(467)			1600
494	2,82	(470)			1610
497		(472)		49	1620
<b>500</b>		<b>(475)</b>			<b>1630</b>
503	2,80	(478)			1640
506	2,79	(481)			1650
509		(483)			1660
<b>510</b>	2,78	<b>(485)</b>			<b>1665</b>
511		(486)			1670
514	2,77	(488)		50	1680
517	2,76	(491)			1690
<b>520</b>	<b>2,75</b>	<b>(494)</b>			<b>1700</b>
522		(496)			1710
525	2,74	(499)			1720
527		(501)		51	1730
<b>530</b>	2,73	<b>(504)</b>			<b>1740</b>
533	2,72	(506)			1750
536	2,71	(509)			1760

Vickers- härte (Fv 98N)	Kugel- eindruck (m <sup>1</sup> )	Brinell- härte <sup>2</sup> ) HB	Rockwellhärte		Zug- festigkeit N/mm <sup>2</sup>
			HRB	HRC	
539		(512)			1770
<b>540</b>	2,70	<b>(513)</b>			<b>1775</b>
541		(514)			1780
544	2,69	(517)		52	1790
547		(520)			1800
<b>550</b>	2,68	<b>(523)</b>			<b>1810</b>
553	2,67	(525)			1820
556		(528)			1830
559	2,66	(531)			1840
<b>560</b>		<b>(532)</b>		53	<b>1845</b>
561	2,65	(533)			1850
564		(536)			1860
567	2,64	(539)			1870
<b>570</b>		<b>(542)</b>			<b>1880</b>
572	2,63	(543)			1890
575	2,62	(546)			1900
578		(549)		54	1910
<b>580</b>	2,61	<b>(551)</b>			<b>1920</b>
583	2,60	(554)			1930
586		(557)			1940
589	2,59	(560)			1950
<b>590</b>		<b>(561)</b>			<b>1955</b>
591		(562)			1960
594	2,58	(564)			1970
596		(567)			1980
599	2,57	(569)			1990
<b>600</b>		<b>(570)</b>			<b>1995</b>
602	2,56	(572)			2000
605		(575)			2010
607	2,55	(577)			2020
<b>610</b>		<b>(580)</b>			<b>2030</b>
613	2,54	(582)			2040
615		(584)		56	2050
618	2,53	(587)			2060
<b>620</b>		<b>(589)</b>			<b>2070</b>
623	2,52	(592)			2080
626		(595)			2090
629	2,51	(598)			2100
<b>630</b>		<b>(599)</b>			<b>2105</b>
631		(600)			2110
634	2,50	(602)			2120
636		(604)			2130
639	2,49	(607)		57	2140
<b>640</b>		<b>(608)</b>			<b>2145</b>
641		(609)			2150
644	2,48	(612)			2160
647	2,47	(615)			2170
<b>650</b>		<b>(618)</b>			<b>2180</b>
653		(620)			2190
655	2,46	(622)		58	2200
675				59	
698				60	
<b>720</b>				<b>61</b>	
745				62	
773				63	
<b>800</b>				64	
829				65	
864				66	
<b>900</b>				<b>67</b>	
940				<b>68</b>	

<sup>1</sup>) Stahlkugel 10 mm Durchmesser; <sup>2</sup>) Errechnet aus: HB = 0,95 HV

Die Umwertungstabelle wurde in Anlehnung an DIN 50 150 Dezember 1976 erstellt. Die fettgedruckten Werte entsprechen genau den Normwerten. Zusätzliche Werte sind interpoliert.

Werte in Klammer: Härtewerte liegen außerhalb des Definitionsbereiches der genormten Härteprüfverfahren. Darüber hinaus gelten eingeklammerte Brinellhärtewerte nur bei Prüfung mit einer Hartmetallkugel.

Die Umwertungstabelle gilt nur für warmverformte oder wärmebehandelte unlegierte und niedriglegierte Stähle und Stahlguss.

Eine Umwertung von Härtewerten untereinander oder von Härtewerten in Zugfestigkeitswerte ist mit Ungenauigkeiten verbunden und soll nur dann vorgenommen werden, wenn das vorgeschriebene Prüfverfahren nicht anwendbar ist. (Bei Versuchen des VDEh ergab sich z. B. für die Umwertung von Vickershärte und Zugfestigkeit eine Streubandbreite von  $\pm 25$  HV 10 bzw.  $\pm 85$  N/mm<sup>2</sup>).

## Korrekturwerte für Härteprüfung nach Rockwell

Im Allgemeinen soll die Prüffläche eben sein. Muss die Härte an Proben mit gekrümmter Oberfläche geprüft werden, kann der Einfluss der Krümmung auf den Härtewert durch Berücksichtigung eines Korrekturwertes ausgeglichen werden. Bei der Prüfung einer konvex-zylindrischen Probe dringt der Eindringkörper tiefer ein als in eine gleichharte Probe mit ebener Fläche.

Durch Addition eines Korrekturwertes kann der Härtewert berichtigt werden.

### Beispiel:

An einer Rundabmessung von 6 mm wird eine Härte von 45 HRC gemessen. Die nachstehende Tabelle gibt den Korrekturwert an, der die Härte an der Rundabmessung dazugezählt wird, um die wahre Härte, bezogen auf die ebene Fläche, zu erhalten.

$$45 + 3,0 = 48 \text{ HRC}$$

### Additions-Korrekturwerte in HRC bzw.HRA

HRC- bzw. HRA-Härte der Probe	Probenfläche mit Zylinderdurchmesser mm								
	6	10	13	16	19	22	25	32	38
20				2,5	2,0	1,5	1,5	1,0	1,0
25			3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0
30			2,5	2,0	1,5	1,5	1,0	1,0	0,5
35		3,0	2,0	1,5	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5
40		2,5	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5
45	3,0	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5
50	2,5	2,0	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5
55	2,0	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0
60	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
65	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
70	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
75	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0
80	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0
85	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0
90	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0

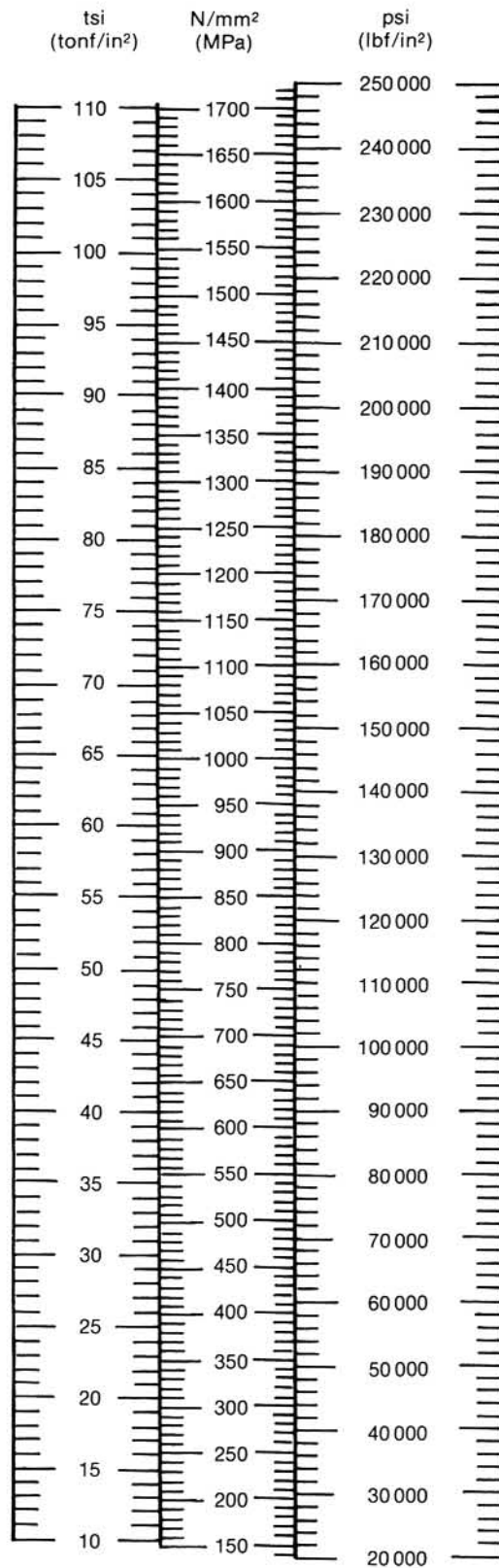
### Additions-Korrekturwerte in HRB bzw.HRF

HRB- bzw. HRF-Härte der Probe	Probenfläche mit Zylinderdurchmesser mm						
	6	10	13	16	19	22	25
0					4,5	3,5	3,0
10				5,0	4,0	3,5	3,0
20				4,5	4,0	3,5	3,0
30			5,0	4,5	3,5	3,0	2,5
40			4,5	4,0	3,0	2,5	2,5
50			4,0	3,5	3,0	2,5	2,0
60		5,0	3,5	3,0	2,5	2,0	2,0
70		4,0	3,0	2,5	2,0	2,0	1,5
80	5,0	3,5	2,5	2,0	1,5	1,5	1,5
90	4,0	3,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,0
100	3,5	2,5	1,5	1,5	1,0	1,0	0,5

Korrekturwerte von mehr als 3 HRC bzw. HRA werden nicht mehr als sinnvoll angesehen und sind deshalb in den Tabellen nicht angeführt.



# 16 Umrechnung tsi-psi-N/mm<sup>2</sup>



Umrechnungsfaktoren: 1 ksi = 1000 psi  
1 tsi = 15,444 N/mm<sup>2</sup> = 2240 psi  
1 N/mm<sup>2</sup> = 0,06475 tsi = 145,038 psi  
1 ksi = 1000 psi = 6,8948 N/mm<sup>2</sup> = 0,446 tsi

# 17 Stichwortverzeichnis

---

- Abkühlen 21, 28
- Abkühlgeschwindigkeit 14, 42
- Abkühlmedium 14, 36
- Abkühlungsparameter 13, 15
- Abschrecken 21, 38
- Alitieren 59
- Aluminieren 59
- Anlassfarbe 30
- Anlassparameter 29
- Anlasssprödigkeit 29, 31
- Anlassen 29, 31, 39, 42
- Anwärmen 21
- Atom 5
- Aufhärbarkeit 18
- Aufkohlen 40, 57
- Aufkohlung 41
- Aushärten 28
- Auslagern 28, 39
- Austenit 5, 9
- Austenitformhärten 26
- Austenitische Stähle 10
- Austenitisieren 11, 28
- Austenitisierungstemperatur 28
  
- Bainit 6
- Bearbeitungszugaben 48
- Bearbeitung, spanabhebend 49, 50
- Beschichten 53
- Bohren 49
- Borieren 59
  
- Carbonitrieren 57
- Chromieren 59
- CVD-Beschichtung 59
  
- Dampfanlassen 60
- Diffusion 6
- Diffusionsglühen 27
- Diffusionsschicht, Nitrieren 54
- Direkthärtung 58
- Doppelhärtung 58
- Drehen 49
- Durchhärtung 19, 42
- Durchwärmen 21
  
- Edelstahl 5
- Eigenspannungen 46
- Einfachhärten 58
- Einhärbarkeit 18, 42
- Einhärtungstiefe 18
- Einlagerungsmischkristalle 6
- Einsatzhärten 57
- Einsatzstahl 35
- Eisen, Kristallgitter 6
- Elektroerosion 50
- Element 5
- Entkohlung 46, 48
- Erholungsglühen 27
- Erwärmen 21
  
- Ferrit 5
- Ferritische Stähle 10
- Flammhärten 28, 54
- Formänderung 41
- Fräsen 49
- Funkenerosion 50
  
- Gasphasenabscheidung 53, 59
- Gebläselufthärten 28
- Gebrochenes Härten 28
- Gefüge 5
- Gefügemengen-Schaubild 16
- Gefügeänderung 41, 42, 44
- Gemenge 6
- Gitteraufbau 5
- Gitterfehler 5
- Gleichgewichtsschaubilder 8
- Glühen 27, 38
- Glühfarben 24
- Grobkornglühen 27
- Grundstahl 5
  
- Härbarkeit 18, 41
- Härte 18
- Härtebruchprobe 28
- Härten 28, 31, 38
- Härten aus Warmumformhitze 26, 28
- Härtetemperatur 28, 32, 41
- Härte, Umwertung 64
- Halten 21, 29
- Heizung, Werkzeuge 48
- Hobeln 49
  
- Impulshärten 28
- Inchromieren 59
- Induktionshärten 28, 54
  
- Kalteinsenken 50
- Kammerofen 22, 35
- Karbid 6
- Kerbwirkung 47
- Kohlenstoff 6
- Konstruktive Gestaltung von Werkzeugen 46, 47
- Korn Grenzen 5
- Kristalle 5
- Kristallgitter 5
- Kristallite 5
- Kritische Abkühlgeschwindigkeit 16
- Kühlung, Werkzeuge 48
- Kühlzeitschaubild 16
  
- Ledeburit 8
- Leerstellen 5
- Legierungen 6
- Legierungselemente 9, 10
- Lösungsglühen 28
- Lufthärten 28
  
- Maßstabilität 31
- Maßänderung 41
- Martensit 8, 16, 31
- Mischkristalle 6, 8
  
- Nitrierdauer 54
- Nitrieren 40, 54
- Nitrierhärte tiefe 54
- Nitrierstahl 54
- Nitrocarburieren 54
- Normalglühen 26
  
- Oberflächenbehandlung 53
- Oberflächenhärte 18
- Öfen 35
- Ölhärten 28
- Örtliches Härten 28, 35
- Ofenform 35
- Oxalatieren 60

Partielles Härten 28  
 Perlit 8, 9  
 Phasen 5  
 Phosphatieren 60  
 Polierbarkeit 49  
 Polieren 49  
 PVD-Beschichtung 59

Qualitätsstahl 5  
 Quettenhärten 28

Randschichthärten 54  
 Rekristallisationsglühen 27  
 Restaustenit 11,16, 29, 31, 41  
 Richten 46

Sägen 49  
 Salzbad 22, 26.35  
 Schleifen 49  
 Schleifrisse 49  
 Schmierung, Werkzeuge 48  
 Schnellarbeitsstahl 35  
 Schutzgashärten 28, 35  
 Schutzgasofen 35  
 Schweißen 52  
 Seigerungen 41, 46  
 Sekundärhärte 29  
 Silizieren 59  
 Sonderkarbide 29  
 Spanabhebende Bearbeitung 49  
 Spanlose Formgebung 50  
 Spannungen 29, 43, 44, 46  
 Spannungsarmglühen 27, 48  
 Sprühhärten 28  
 Stahl, Definition 5  
 Stickstoff 54, 57  
 Stirnabschreckversuch 16, 18  
 Substitutionsmischkristalle 6  
 Sulfidieren 60

Temperaturmessung 24, 30  
 Thermochemische Behandlung 40  
 Thermomechanische Behandlung 26  
 Tiefkühlen 31

Übereutektoidische Stähle 9, 11  
 Überhitzen 28  
 Überzeiten 28  
 Umkörnen 26

Umrechnung, Festigkeit 67  
 Umrechnung, Temperaturen 61  
 Umwandlungsspannungen 44  
 Umwandlungstemperaturen 10,13  
 Umwertung, Härte, Zugfestigkeit 64  
 Unterbrochenes Härten 28  
 Untereutektoidische Stähle 9, 11

Vakuumhärten 28,35  
 Vakuumofen 35  
 Verbindungen 6  
 Verbindungsschicht, Nitrieren 54  
 Verchromen 59  
 Vergüten 31  
 Vergütungsschaubild 31  
 Vergütungsstahl 31  
 Versetzungen 5  
 Verweildauer 21  
 Verzug 41, 46  
 Volumenänderung 41, 44  
 Vorvergüten 27  
 Vorwärmen 21, 48  
 Vorwärmen, Werkzeuge im Einsatz 48

Wärmeausdehnung 5, 42  
 Wärmebehandlungsanlagen 35  
 Wärmebehandlungsarten 25  
 Wärmebehandlungsmedien 35  
 Wärmebehandlung, Definitionen 21  
 Wärmebehandlung, Grundlagen 5  
 Wärmebehandlung, Begriffe, D/E/F 37  
 Wärmen 21  
 Wärmespannung 41, 43, 44, 46  
 Warmbadhärten 28  
 Warmumformung 26  
 Wasserhärten 28  
 Weichglühen 27  
 Werkstückreinigung 36  
 Werkzeugbehandlung im Einsatz 48  
 Werkzeugstahl 28, 32  
 Wirbelbett 36

Zähigkeit 29,31  
 Zeit-Temperatur-Folge-Schaubilder (ZTF) 32, 35  
 Zementit 6, 8, 9  
 Zerspanbarkeit 49  
 ZTA (Zeit-Temperatur-Austenitisierungs-)Schaubild 8, 11  
 ZTU (Zeit-Temperatur-Umwandlungs-)Schaubild 8, 12  
 Zugfestigkeit, Umwertung 64  
 Zustandsschaubild 8, 10



Nordwestbahnstraße 12–14  
1201 Wien  
Telefon: 01/33 137  
Fax: 01/33 137/301-305  
e-mail: [verkauf@boehlerstahl.at](mailto:verkauf@boehlerstahl.at)



**WÄRMEBEHANDLUNG**  
Nordwestbahnstraße 12–14  
1201 Wien  
Telefon: 01/374 87 75-205  
Fax: 01/374 87 75-348  
e-mail: [haerterei@boehlerstahl.at](mailto:haerterei@boehlerstahl.at)



BÖHLER EDELSTAHL GMBH  
MARIAZELLER STRASSE 25  
POSTFACH 96  
A-8605 KAPFENBERG  
AUSTRIA  
TELEFON: (+43) 3862/20-7181  
TELEFAX: (+43) 3862/20-7576

„Die Angaben in diesem Prospekt sind unverbindlich und gelten im Falle eines Vertragsabschlusses nicht als zugesagt. Bei diesen Angaben handelt es sich nur um Anhaltswerte, wobei diese nur dann verbindlich sind, wenn sie in einem mit uns abgeschlossenen Vertrag ausdrücklich zur Bedingung gemacht werden. Bei der Herstellung unserer Produkte werden keine gesundheitsschädigenden oder ozonschädigenden Substanzen verwendet.“

“The data contained in this brochure shall not be binding and shall, in case of a contract conclusion, not be regarded as warranted. These data shall merely constitute average values that become binding only if explicitly specified in a contract concluded with us. The manufacture of our products does not involve the use of substances detrimental to health or to the ozone layer.”