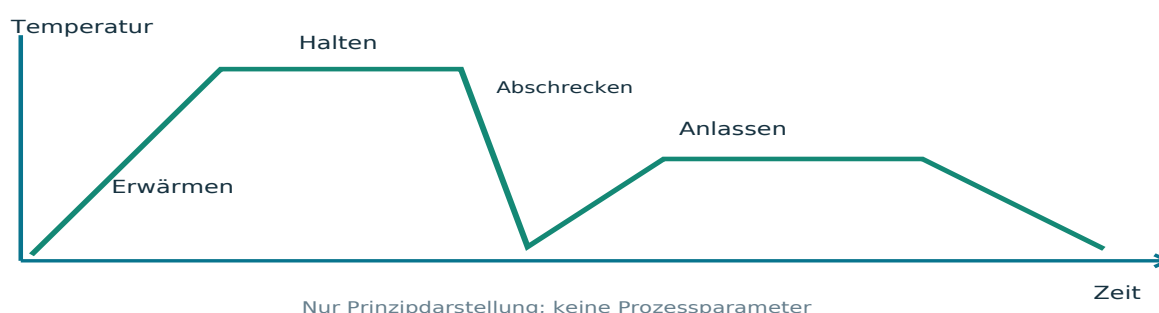


Was Wärme im Metall verändert

Der Werkstoffname bleibt gleich, während sich der innere Aufbau und damit die Eigenschaften ändern können.

Metalle bestehen aus Kristallen beziehungsweise Körnern. Ihr **Gefüge** beschreibt unter anderem Art, Größe und Anordnung der Bestandteile. Temperatur, Haltezeit und Abkühlung beeinflussen diesen Aufbau. Deshalb genügt die Aussage „warm gemacht“ nicht, um ein Verfahren zu beschreiben.

Bei geeigneten Stählen kann durch Austenitisieren und ausreichend schnelles Abkühlen ein harter Gefügezustand mit Martensit entstehen. Beim anschließenden Anlassen verändert sich dieser Zustand wieder gezielt. Nicht jede Legierung besitzt dieselben Umwandlungen. Aluminium wird nicht nach dem Stahlprinzip auf Martensit gehärtet.



Stellgröße	Warum sie wichtig ist
Temperatur	Bestimmt, welche Vorgänge möglich sind
Haltezeit	Beeinflusst Durchwärmung und Umwandlung
Abkühlung	Steuert mit, welche Gefügebestandteile entstehen
Atmosphäre	Kann Oxidation, Entkohlung oder Stoffaufnahme beeinflussen
Querschnitt	Rand und Kern kühlen unterschiedlich schnell

Praxisbeispiel

Zwei C45-Bolzen mit unterschiedlichem Durchmesser erhalten denselben Ofenzyklus. Trotzdem kann der Kern des dickeren Bolzens anders reagieren, weil er langsamer abkühlt.

Typischer Fehler

Die sichtbare Glühfarbe als ausreichende Prozesskontrolle verwenden. Werkstoff, Temperaturführung und Messung müssen festgelegt sein; dieses Heft liefert keine Ofenrezeptur.

Selbst erklären

Warum gehört die Abkühlung zur Wärmebehandlung und nicht nur das Erwärmen?

Lösung: Weil sie bei vielen Verfahren entscheidend festlegt, welche Umwandlungen stattfinden. Ein anderer Abkühlverlauf kann aus demselben Ausgangsmaterial andere Eigenschaften erzeugen.

METALL · KAPITEL 02 / 08

Härten: mehr Widerstand gegen Verschleiß

Beim Umwandlungshärten braucht es einen geeigneten Stahl und einen passenden Prozess.

Vereinfacht wird der Stahl auf eine geeignete Temperatur gebracht, ausreichend gehalten und so abgekühlt, dass der gewünschte harte Gefügestand entsteht. Das Abschreckmedium und die Abkühlbedingungen müssen zu Werkstoff, Geometrie und Ziel passen. „Immer Wasser“ wäre falsch.

Härtbarkeit umfasst insbesondere, wie weit in den Querschnitt hinein ein geeigneter harter Zustand erreichbar ist. Die erreichbare Härte und die Einhärtungstiefe sind nicht dasselbe. Kohlenstoff und Legierung wirken auf unterschiedliche Weise mit.

Der frisch gehärtete Zustand kann hohe innere Spannungen und eine ungünstige Sprödigkeit besitzen. In üblichen Härtefolgen schließt sich deshalb ein geeignetes Anlassen an.

Erwünschte Wirkung	Mögliche Nebenwirkung
Höherer Verschleißwiderstand	Schwierigere Zerspanung
Hohe Oberflächenhärte	Ungünstige Sprödigkeit ohne passende Folgebehandlung
Definierter Gefügestand	Maßänderung und Verzug
Gezielte Eigenschaften	Rissrisiko bei ungeeigneter Prozessführung

Praxisbeispiel

Ein Werkzeugrohling wird vor dem Härten weitgehend bearbeitet. Für präzise Funktionsflächen kann ein festgelegtes Aufmaß bleiben, das später beispielsweise durch Schleifen entfernt wird.

Typischer Fehler

Härte nur mit „länger abschrecken“ erhöhen wollen. Chemie, Austenitisierung und Abkühlung begrenzen das Ergebnis. Ein fehlerhaftes Rezept wird nicht durch blindes Verlängern richtig.

Selbst erklären

Ist Durchhärten gleichbedeutend mit „der ganze Querschnitt hat sicher denselben Härtewert“?

Lösung: Nein. Der tatsächliche Verlauf hängt unter anderem von Querschnitt und Härbarkeit ab. Geforderte Härte und Prüfstellen müssen angegeben und nachgewiesen werden.

Anlassen und Vergüten

Härte muss zur Beanspruchung passen. Oft wird ein tragfähiger Kompromiss benötigt.

Anlassen ist eine Wärmebehandlung nach dem Härten. Sie verändert den gehärteten Zustand so, dass Spannungen und Eigenschaften gezielt eingestellt werden. Häufig sinkt dabei die Härte, während sich die Gebrauchseignung verbessert. Der genaue Verlauf ist legierungsabhängig; manche Werkzeugstähle zeigen beispielsweise Sekundärhärtung.

Vergüten bezeichnet Härten mit anschließendem Anlassen bei höherer Temperatur, mit dem Ziel einer günstigen Kombination aus Festigkeit und Zähigkeit. Härten mit niedrigem Anlassen ist dagegen kein Vergüten. Es ist kein eigener Überzug und nicht gleichbedeutend mit Verzinken.

Anlasstemperatur, Zeit und Zahl der Behandlungen ergeben sich aus Sorte und Spezifikation. „Einmal kurz warm machen“ ist keine ausreichend bestimmte Vorgabe.

Begriff	Ziel	Typischer Zusammenhang
Härten	Harten Gefügezustand erzeugen	Verschleißbeanspruchung
Anlassen	Gehärteten Zustand gezielt einstellen	Härte, Spannungen und Zähigkeit beeinflussen
Vergüten	Festigkeit und Zähigkeit kombinieren	Beanspruchte Wellen, Bolzen und Verbindungsteile

Praxisbeispiel

Eine Welle soll hohe Kräfte übertragen und Stoßbelastungen vertragen. Ein korrekt vergüteter Zustand kann passender sein als maximale Härte ohne ausreichende Zähigkeit.

Typischer Fehler

Vergüten und Beschichten verwechseln. Beim Vergüten wird der Werkstoffzustand durch Wärmebehandlung verändert; eine Beschichtung ist ein anderer Fertigungsschritt.

Selbst erklären

Warum lässt man ein gehärtetes Teil wieder an, obwohl die Härte oft sinkt?

Lösung: Weil die höchste Härte nicht automatisch die beste Gebrauchseigenschaft ist. Der gewünschte Kompromiss mit Spannungszustand und Zähigkeit kann wichtiger sein.

Glühen: nicht jedes Mal dasselbe Ziel

Weichglühen, Spannungsarmglühen und Normalisieren erfüllen unterschiedliche Aufgaben.

Weichglühen kann bei geeigneten Stählen einen gut bearbeitbaren Ausgangszustand schaffen.

Spannungsarmglühen zielt darauf, innere Spannungen zu vermindern, etwa nach ungünstiger Bearbeitung oder Schweißvorgängen. Es macht nicht automatisch jeden Stahl maximal weich.

Normalisieren kann bei passenden Stählen einen gleichmäßigeren, feinkörnigeren Gefügezustand erzeugen. **Rekristallisationsglühen** kann die Folgen vorausgegangener Kaltverformung beeinflussen und die Umformbarkeit wieder verbessern.

Die Bezeichnung allein enthält noch keine Temperatur- oder Zeitvorgabe. Außerdem können sich Maßhaltigkeit und Oberflächenzustand verändern. Wärmebehandlung muss daher in die Fertigungsfolge eingeplant werden.

Verfahren	Leitfrage	Beispiel
Weichglühen	Soll die Bearbeitbarkeit verbessert werden?	Ausgangszustand vor Zerspanung
Spannungsarmglühen	Sollen innere Spannungen vermindert werden?	Vor präziser Fertigbearbeitung
Normalisieren	Soll ein geeigneter gleichmäßiger Gefügezustand entstehen?	Passende Stähle nach Vorprozessen
Rekristallisieren	Soll Kaltverfestigung für weitere Umformung abgebaut werden?	Zwischenbehandlung umgeformter Halbzeuge

Praxisbeispiel

Eine grob bearbeitete Platte verzieht sich nach weiterem Materialabtrag. Innere Spannungen sind eine mögliche Ursache. Eine abgestimmte Zwischenbehandlung und Bearbeitungsfolge können sinnvoll sein.

Typischer Fehler

Spannungsarmglühen als Garantie für „danach völlig spannungsfrei“ verstehen. Wirkung und verbleibender Zustand hängen vom Prozess und Werkstück ab.

Selbst erklären

Welches Glühziel passt eher zu einer stark kaltverformten, weiter zu biegenden Probe?

Lösung: Eine geeignete Rekristallisationsbehandlung kann die Umformbarkeit wieder verbessern. Das konkrete Verfahren muss zum Metall und zum Ausgangszustand passen.

Einsatzhärten: außen hart, innen tragfähig

Der Rand bekommt zusätzlich Kohlenstoff; anschließend wird gehärtet und angelassen.

Einsatzhärten wird häufig für geeignete Stähle mit relativ niedrigem Kohlenstoffgehalt verwendet. Beim **Aufkohlen** gelangt Kohlenstoff in die Randzone. Nach der anschließenden Härtebehandlung kann der Rand eine hohe Härte erhalten, während der Kern andere Eigenschaften behält.

Die harte Schicht ist kein einfach aufgeklebter Überzug. Ihre Tiefe und der Verlauf der Eigenschaften sind Teil der Spezifikation. Die effektive Einsatzhärtungstiefe wird über ein festgelegtes Prüfkriterium bestimmt. Sie darf nicht mit irgendeiner sichtbaren Schichtdicke gleichgesetzt werden.



Schicht und Kern schematisch; nicht maßstäblich

Schritt	Was sich verändert
Aufkohlen	Kohlenstoffgehalt im Rand steigt
Härten	Geeigneter harter Zustand entsteht
Anlassen	Eigenschaften und Spannungszustand werden eingestellt
Prüfen / fertiggearbeiten	Tiefe, Härte, Risse und Maße nach Vorgabe beurteilen

Praxisbeispiel

Ein Zahnrad braucht verschleißfeste Zahnflanken und einen belastbaren Kern. Ein passender Einsatzstahl wie 16MnCr5 mit spezifiziertem Verfahren ist dafür eine mögliche Werkstoffrichtung.

Typischer Fehler

Beim Fertigschleifen beliebig viel Material abtragen. Zu viel Abtrag kann die wirksame Randschicht zu stark verringern. Aufmaß und Schichtanforderung müssen zusammenpassen.

Selbst erklären

Worin liegt der Unterschied zwischen Aufkohlen und vollständigem Einsatzhärten?

Lösung: Aufkohlen verändert die Zusammensetzung der Randzone. Die vollständige Folge umfasst die zur Zielerreichung erforderliche Härte- und Anlassbehandlung sowie die festgelegten Prüfungen.

Nitrieren oder Induktionshärten?

Beide können den Rand härter machen, nutzen aber unterschiedliche Mechanismen.

Nitrieren bringt Stickstoff in die Randzone geeigneter Werkstoffe ein. Dabei bilden sich unter anderem harte Nitride. Eine geeignete Legierung und ein passender Ausgangszustand unterstützen das Ergebnis. Für die Nitrierwirkung ist kein anschließendes Abschrecken wie beim klassischen Umwandlungshärten nötig.

Beim **Induktionshärten** wird ein Bereich durch elektromagnetische Induktion rasch erwärmt und anschließend abgeschreckt. Es wird dabei kein zusätzlicher Kohlenstoff wie beim Aufkohlen eingebracht. Der Werkstoff muss den benötigten Kohlenstoff und eine geeignete Härbarkeit bereits besitzen.

Auch Flammhärten gehört zu den örtlichen Umwandlungshärteverfahren; es verwendet eine andere Wärmequelle.

Verfahren	Rand wird verändert durch	Wichtige Planung
Nitrieren	Stickstoffaufnahme und Nitridbildung	Geeignete Sorte, Vorzustand und Schichtanforderung
Induktionshärten	Örtliches Erwärmen und Abschrecken	Geometrie, Spule, Leistung, Tiefe und Werkstoff
Flammhärten	Örtliches Erwärmen mit Flamme und Abschrecken	Gleichmäßigkeit, Führung und Abkühlung

Praxisbeispiel

Bei einer Welle sollen nur bestimmte Laufbahnen hart sein. Induktionshärten kann passend sein. Bei einem nahezu fertig bearbeiteten Bauteil kann eine spezifizierte Nitrierbehandlung wegen ihres anderen Prozessverlaufs interessant sein.

Typischer Fehler

Nitrieren als völlig verzugsfrei bezeichnen. Es ist häufig verzugsarm, aber auch dort sind Maßänderungen, Vorzustand und Prüfung zu beachten.

Selbst erklären

Kann jeder kohlenstoffarme Stahl durch Induktionshärten eine sehr harte Randzone erhalten?

Lösung: Nein. Anders als beim Aufkohlen wird kein Kohlenstoff hinzugefügt. Die vorhandene Zusammensetzung muss den gewünschten Härtezustand ermöglichen.

Aluminium wird anders härter

Ausscheidungshärtung ist nicht das martensitische Härten von Stahl.

Bestimmte Aluminiumlegierungen lassen sich **aushärten**. Vereinfacht werden bei einer geeigneten Lösungsglühbehandlung Bestandteile gelöst. Durch das passende Abkühlen entsteht ein Zustand, aus dem sich beim Auslagern feine Ausscheidungen bilden können. Diese behindern Verformungsvorgänge im Kristall.

Das Auslagern kann je nach Legierung bei Raumtemperatur oder erhöhten Temperaturen erfolgen. Nicht jede Aluminiumlegierung ist dafür geeignet. Andere Sorten erreichen höhere Festigkeit vor allem durch Kaltverformung.

Zustandskennzeichen wie T6 oder H-Zustände sind deshalb keine dekorativen Zusätze. Sie geben Hinweise auf Behandlung und Zustand; die vollständige Definition gehört zum jeweiligen Werkstoffsystem.

Weg	Grundidee	Wichtige Unterscheidung
Aushärten	Lösen, gezielt abkühlen, auslagern	Nur bei geeigneten Legierungen
Kaltverfestigen	Plastisch verformen	Verändert auch Duktilität und Restspannungen
Glühen	Geeigneten weicheren Zustand schaffen	Kann vorherige Verfestigung abbauen

Praxisbeispiel

Ein Profil aus einer aushärtbaren Al-Mg-Si-Legierung kann im festgelegten T-Zustand andere mechanische Eigenschaften besitzen als dieselbe Legierung in einem weicheren Zustand.

Typischer Fehler

Ein Aluminiumteil nach einem Stahl-Härterezept behandeln. Temperaturen, Mechanismen und Schmelzbereiche unterscheiden sich deutlich. Eine ungeeignete Behandlung kann das Teil zerstören.

Selbst erklären

Ist ein höherfester Aluminiumzustand automatisch besser zum engen Biegen?

Lösung: Nein. Höhere Festigkeit kann mit geringerer Umformbarkeit verbunden sein. Biegeradius, Zustand und Legierung müssen zur Aufgabe passen.

Das richtige Verfahren begründen

Das Ziel kommt zuerst, danach Werkstoff, Prozess und Prüfung.

Beschreibe den gewünschten Zustand möglichst konkret: hohe Kernfestigkeit, harte Randzone, bessere Bearbeitbarkeit, geringere innere Spannungen oder höhere Umformbarkeit. Daraus entsteht eine Verfahrensauswahl. Nicht jedes Ziel lässt sich mit jedem Werkstoff erreichen.

Plane die Folge gemeinsam mit der Fertigung: Vorbearbeitung, Aufmaß, Behandlung, eventuelles Richten, Fertigbearbeitung und Prüfung. Je nach Verfahren müssen bestimmte Flächen geschützt oder nachbearbeitet werden. Eine reine Härtezahl sagt noch nichts über Risse, Tiefe oder Maßhaltigkeit aus.

Anforderung	Zu prüfende Verfahrensrichtung
Festigkeit und Zähigkeit im Bauteil	Vergüten bei geeigneter Sorte
Harte Flanken bei tragfähigem Kern	Einsatzhärten bei geeignetem Einsatzstahl
Örtlich harte Laufbahn	Induktionshärten bei härtbarem Werkstoff
Harte Stickstoff-Randschicht	Nitrieren bei geeignetem Werkstoffzustand
Besser zerspanbarer Ausgangszustand	Passendes Weichglühen
Weniger Restspannungen vor Feinbearbeitung	Geeignete Spannungsarmbehandlung

Praxisbeispiel

Ein Prüfplan für eine gehärtete Welle nennt nicht nur die Härte, sondern auch Prüfstellen, Maßtoleranzen, zulässigen Rundlauf und erforderliche Rissprüfung. Das konkrete Paket folgt der Zeichnung.

Typischer Fehler

Ein Bauteil mit korrekter Härte automatisch freigeben. Es kann trotzdem verzogen sein, eine falsche Randschichttiefe haben oder Risse aufweisen.

Selbst erklären

Was fehlt bei „Bitte auf 60 HRC härten“ für eine eindeutige Beauftragung?

Lösung: Unter anderem Sorte, Ausgangszustand, relevante Flächen, Toleranz des Härtewerts, gegebenenfalls Tiefe, Nacharbeit und weitere Prüfanforderungen. Nicht jeder Werkstoff kann diese Forderung erfüllen.

Dein Lernweg

Härten, Anlassen, Vergüten, Glühen und Randschichtverfahren: Verstehe die Ziele, Unterschiede und Folgen für die Fertigung.

Kapitel	Thema
01	Was Wärme im Metall verändert
02	Härten: mehr Widerstand gegen Verschleiß
03	Anlassen und Vergüten
04	Glühen: nicht jedes Mal dasselbe Ziel
05	Einsatzhärten: außen hart, innen tragfähig
06	Nitrieren oder Induktionshärten?
07	Aluminium wird anders härter
08	Das richtige Verfahren begründen

Wissen in die Werkstatt übertragen

Wähle ein reales Bauteil oder eine Aufgabe aus deinem Alltag. Erkläre die passenden Begriffe in eigenen Worten, begründe die Verfahrens- oder Werkstoffwahl und notiere, welche Angaben du vor einer praktischen Umsetzung noch benötigst. Vergleiche deine Begründung mit den Beispielen und Lösungen im Heft.

Online weiterlernen

Auf LehrLynx findest du dieselben Kapitel unter „Lernhefte“. Jedes Thema ist einzeln anwählbar und über die Suche auffindbar. Unter „Rechner“ und „Interaktiv“ kannst du Zusammenhänge selbst ausprobieren.