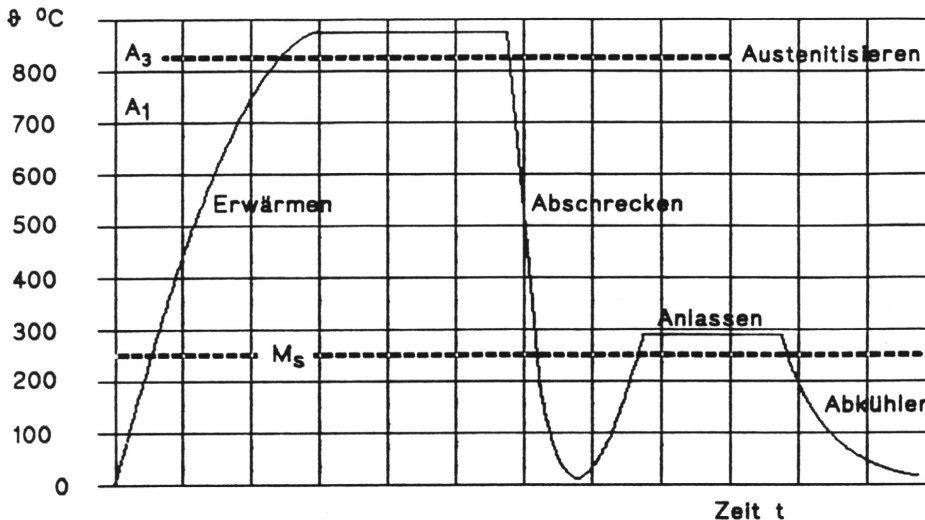


## Härteverfahren, Vergüten

### Abschreckhärten (Bild 1)

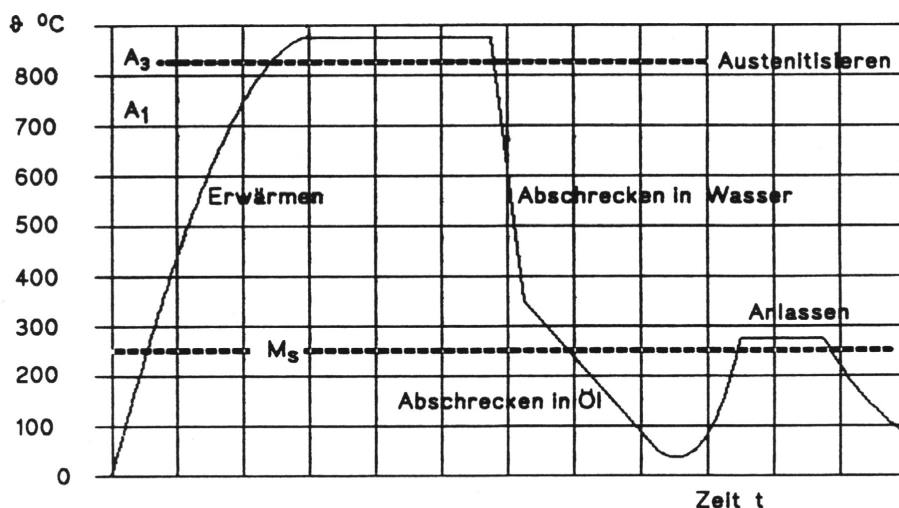


Das zu härtende Werkstück wird entsprechend seinem Kohlenstoffgehalt kurz über der Linie A<sub>3</sub> erwärmt. Danach erfolgt schnelles Abkühlen in einem Abschreckmittel, so daß die obere kritische Abkühlgeschwindigkeit überschritten wird. Nach dem Abkühlen wird das Werkstück angelassen, um innere Spannungen zu beseitigen. Die Ab-

**Bild 1: Abschreckhärten Zeit-Temperatur-Verlauf**

schreckhärtung ist nur geeignet für einfach gestaltete Teile mit geringen mechanischen Beanspruchungen. In den Härtevorschriften für Stähle sind Angaben über die Temperaturen angegeben, von denen zweckmäßig abzuschrecken ist. Es besteht grundsätzlich die Möglichkeit, die Härtebarkeit eines Stahls durch Erhöhung der Austenitisierungstemperatur zu steigern. Die Folge ist aber ein grobnadeliger, sehr spröder Martensit.

### Gebrochenes Härten (Bild 2)



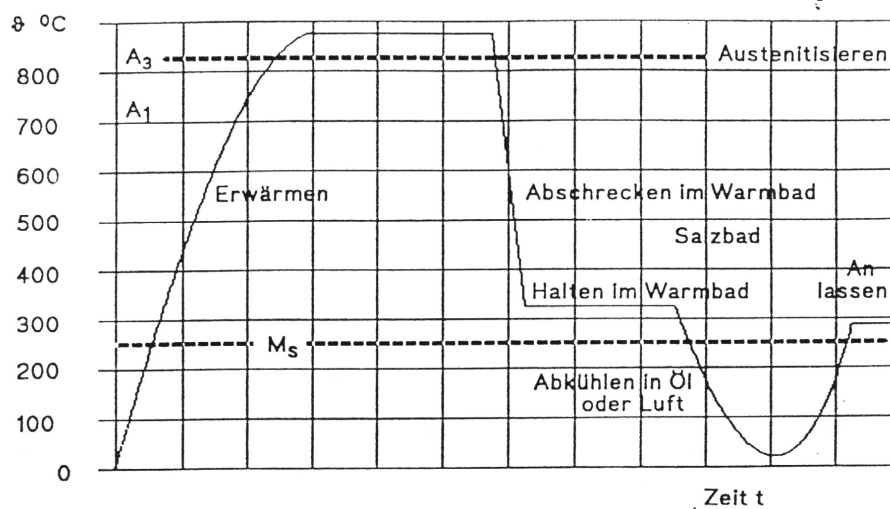
Das gebrochene Härten ist eine Abwandlung des Abschreckhärtens. Das Werkstück wird von der Härtetemperatur zuerst in Wasser (auf 300°C - 400°C) und dann sofort weiter in Öl auf Raumtemperatur abgekühlt, ohne den Temperaturengleich zwischen Mantel und Kern abzuwarten. Die Martensitbildung setzt im

**Bild 2: Gebrochenes Härten Zeit-Temperatur-Verlauf**

Ölbad ein. Es erfordert große Erfahrung, die Abfangtemperatur so zu wählen, daß durch die Nachlaufwärme aus dem Kern keine zu starke Aufheizung eintritt, die zur Umwandlung in der Perlit- oder Zwischenstufe führen würde. Andererseits darf der Mantel nicht soweit im Was-

ser abgekühlt werden, daß sich bereits Martensit bildet. Das gebrochene Härten wird für komplizierte Teile angewendet. Nach dem Härten ist anzulassen.

### Warmbadhärten (verzugsarmes Härten, Stufenhärten, Thermalhärten) (Bild 3)



Das scharfe Abkühlen ist beim Härten nur notwendig, um die Perlitbildung zu unterdrücken. Ist dadurch die Unterkühlung des Austenits gelungen, kann die weitere Abkühlung langsam erfolgen. Das Werkstück wird von der Härtetemperatur in einem Salzbad (**seltener Metallbad**), dessen Temperatur über  $M_s$  liegt, abgekühlt. Der Werkstoff bleibt im austenitischen Zustand. Hat das Werkstück die Temperatur des

**Bild 3: Warmbadhärten Zeit-Temperatur-Verlauf**

Salzbades angenommen und haben sich die Temperaturen von Rand und Kern ausgleichen können, wird es herausgenommen - gegebenenfalls nachgerichtet - und an der Luft abgekühlt. Bei diesem letzten Abkühlen tritt Martensitbildung ein. Durch zeitliche Trennung werden weitgehend Abkühlspannungen vermieden, die Umwandlungsspannungen bleiben weiterhin. Geeignet ist dieses Verfahren für formschwierige Werkstücke. Die Einhärtetiefe ist geringer als bei einfacher Wasserhärtung, bei unlegierten Stählen ist es nur für sehr dünne Teile anwendbar.

## Vergüten

### Zweck:

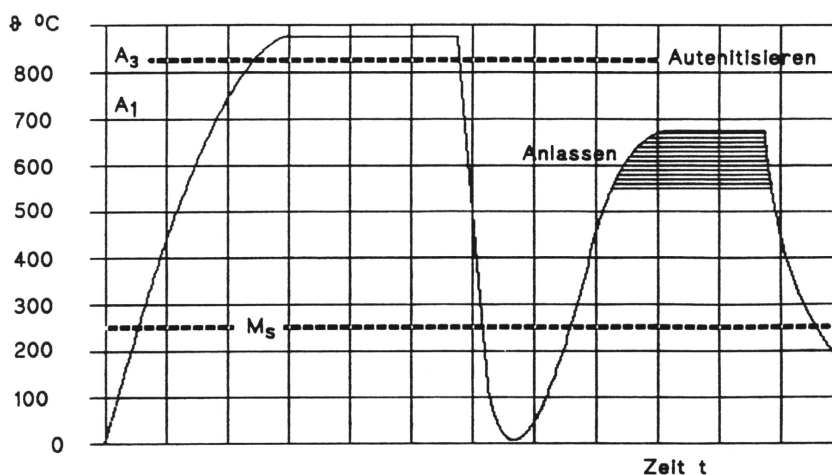
DIN EN 10052 definiert als Vergüten eine Wärmebehandlung zum Erzielen hoher Zähigkeit bei bestimmter Zugfestigkeit durch Härten und anschließendes Anlassen meist auf höhere Temperaturen (unter  $A_{c1}$ ). Die gewünschte hohe Zähigkeit wird erreicht durch die Ausscheidung feiner, möglichst gleichmäßig verteilter, Karbide. (*sh. Anlassen unter dem Punkt Härten*). Das Gefüge nach dem Anlassen ist umso feiner, je schroffer zuvor das Härten erfolgte. Mit zunehmender Anlaßtemperatur werden Zugfestigkeit, Streckgrenze und Härte herabgesetzt, während Dehnung, Einschnürung und Kerbschlagzähigkeit wachsen (*sh. Vergütungs-schaubilder*). Durch das Vergüten werden auch die mechanischen Eigenschaften bei höheren und tieferen Temperaturen (*Warmstreckgrenze und Kerbschlagzähigkeit*) verändert.

### Innere Vorgänge (siehe unter "Anlassen" beim "Härten")

Beim Vergütungsgefüge handelt es sich um eine sehr feinkörnige Mischung von Ferrit- und Zementitkristallen. Während bei der plastischen Verformung von ungehärteten Gefüge das Gleiten in den weichen Ferritkristallen beginnt (mehr oder weniger unbehindert durch vorhandenen Perlit) setzt das Abgleiten in dem sehr fein verteilten Ferrit des Vergütungsgefüges erst bei höheren Spannungen ein (erhöhte Streckgrenze).

### Verfahren:

Für Erwärmen und Abschrecken beim Vergüten gilt das Gleiche wie beim Härten



**Bild 4: Vergüten Zeit-Temperatur-Verlauf**

Die erzielten Eigenschaften sind bei sonst gleichen Bedingungen vom Querschnitt abhängig. Im ähnlichen Sinn wie von einer **Durchhärtung** kann man auch von einer **Durchvergütung** sprechen. Durchvergütung läßt sich auch ohne Durchhärtung erreichen. Die nach dem Härten zwischen Rand und Kern aufgetretenen Gefügeunterschiede werden mit zunehmender Anlaßtemperatur ausgeglichen. Voraussetzung ist allerdings, daß sich beim Abschrecken im Kern

ein feinstreifiger Perlit gebildet hat. Dieser angelassene Perlit ist in seinem Aussehen (**feiner, körniger Zementit in Ferrit**) und in seinen Eigenschaften dem Anlaßgefüge des gehärteten Randes ähnlich. Es lassen sich z.B. unlegierte Stähle als Vergütungsstähle bis über 60 mm verwenden, obwohl sie nur bis 10 mm Durchmesser zuverlässig durchhärten. Das Anlassen erfolgt im Glühofen oder in Salzschnmelzen. Nach dem Anlassen sind die Teile zäh; es kann Richten und Fertigbearbeitung erfolgen.

### Anwendung:

Vergütete Stähle haben aufgrund ihrer guten Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften ein breites Anwendungsspektrum im Maschinen- und Apparatebau. Gütevorschriften von Vergütungsstählen sind in der DIN EN 10083 angegeben (früher DIN 17200). Bei gleichem Werkstoff nimmt die Durchvergütbarkeit, d.h. die Festigkeit mit zunehmendem Durchmesser ab. Unlegierte Stähle sind nur bei kleinen Durchmessern durchvergütbar. Beim Vergüten

spricht man ebenso wie bei der Härtung je nach dem für die Härtung verwendeten Abschreckmittel von Wasser-, Öl- oder Luftvergütung.

### Zwischenstufenvergüten (Bainitisieren)

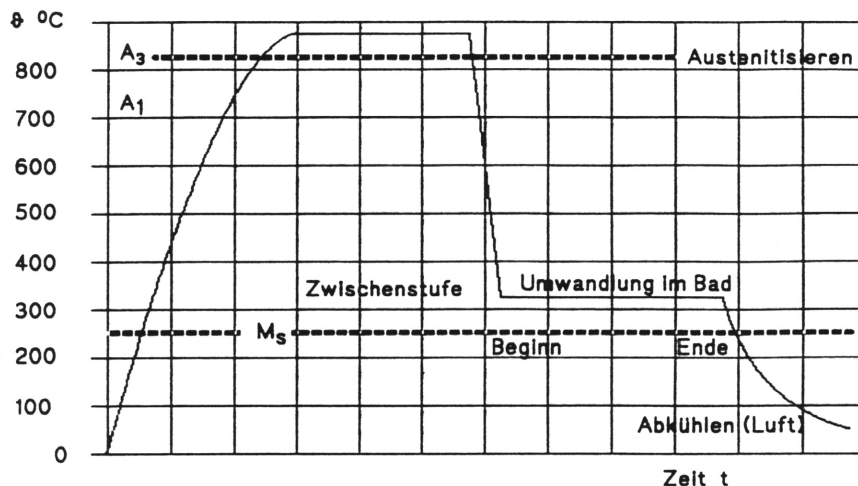
Die Gesetzmäßigkeiten der isothermen Umwandlung werden beim Vergüten in der Bainitstufe angewendet (Bainitisieren).

Zweck:

Der Vorteil des Bainitisierens gegenüber dem normalen Vergüten besteht im Erreichen besserer Festigkeitseigenschaften und Zähigkeitswerte, in den geringeren inneren Spannungen und in der Einsparung des Arbeitsganges Anlassen.

Innere Vorgänge:

Der Werkstoff wird durch Erwärmen über  $A_{c3}$  in den Austenitzustand überführt. Danach schreckt man das Werkstück in einem Warmbad (Salz- oder Metallbad) ab, das auf einer Temperatur im Bereich der Zwischenstufe gehalten wird, und hält sie darin bis zur vollständigen Umwandlung des Austenits. Das so gebildete Zwischenstufengefüge enthält die Karbide bereits in der Form, wie sie beim Anlassen im Anschluss an eine Härtung entstehen. Ein nachträgliches Anlassen des Zwischenstufengefüges erübrigt sich. Das nachfolgende Abkühlen auf Raumtemperatur kann beliebig erfolgen. Welche Temperaturen für die Bainitumwandlung in Betracht kommen, kann aus dem für den betreffenden Stahl aufgestellten ZTU-Schaubild entnommen werden. (ZTU-Schaubild für isotherme Umwandlung). Die Umwandlung setzt erst nach einer bestimmten Anlaufzeit ein. Wird das Werkstück nach Annahme der Warmbadtemperatur vor der Bainitumwandlung aus dem Warmbad entnommen, so entsteht beim Abkühlen Martensit. Beim Verweilen über dem Martensitpunkt wandelt sich der Austenit praktisch völlig in das zähe Zwischenstufengefüge um. Da der Anlaßvorgang entfällt, treten auch die zur Anlaßsprödigkeit führenden Vorgänge nicht auf. Die Zwischenstufentemperatur soll möglichst niedrig liegen, damit das Gefüge möglichst feinkörnig wird.



**Bild 5: Zwischenstufen-Vergüten (Bainitisieren) Zeit-Temperatur-Verlauf**

Verfahren:

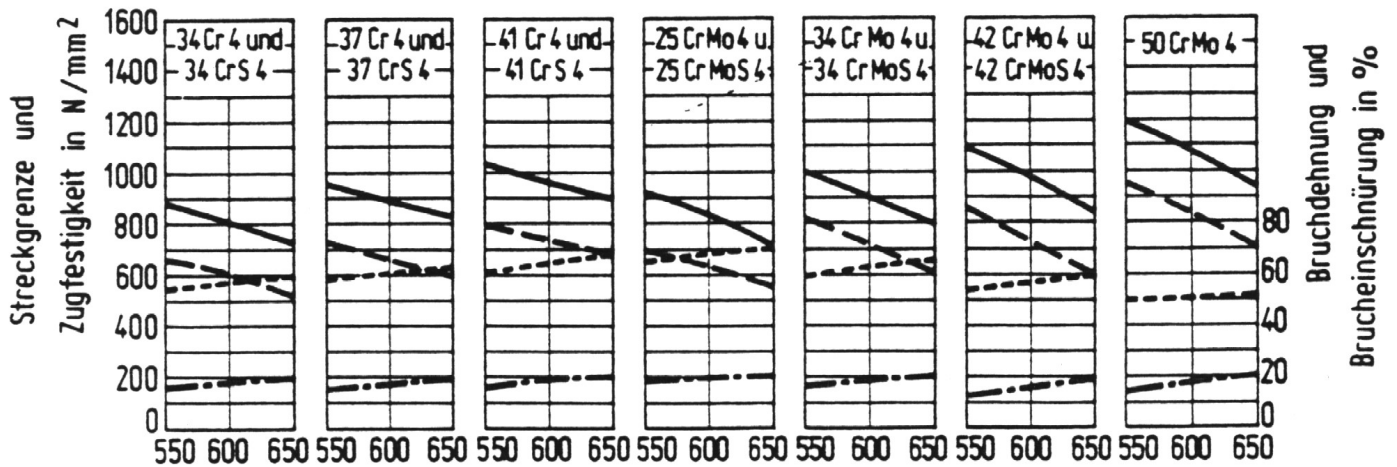
In Bild 5 ist der Zeit-Temperatur-Verlauf für die Zwischenstufenvergütung dargestellt.

Anwendung:

Für Stahl bester Härbarkeit bzw. für hochwertige Kleinteile (Massenherstellung) z.B. Federn, Drähte, Kleinmaschinenteile, kleine Gesenkschmiedeteile aus der Schmiedewärme heraus, Turbinenschaufeln u.a. Es wird derzeit allgemein angestrebt, das Bainitisieren auch auf Werkstücke größerer Abmessungen zu übertragen.

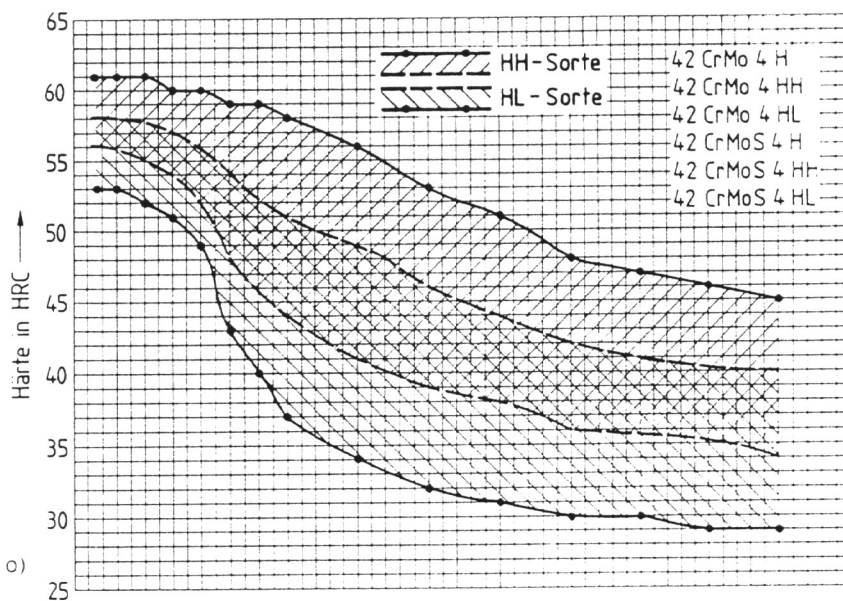
## Vergütungsschaubilder:

Für den Verbraucher werden die Eigenschaften der Vergütungsstähle in Abhängigkeit von der Anlasstemperatur in Vergütungsschaubildern festgehalten, sh. DIN EN 10083 und Bild 6.



**Bild 6: Einfluß der Anlaßtemperatur auf die Kennwerte im Zugversuch**

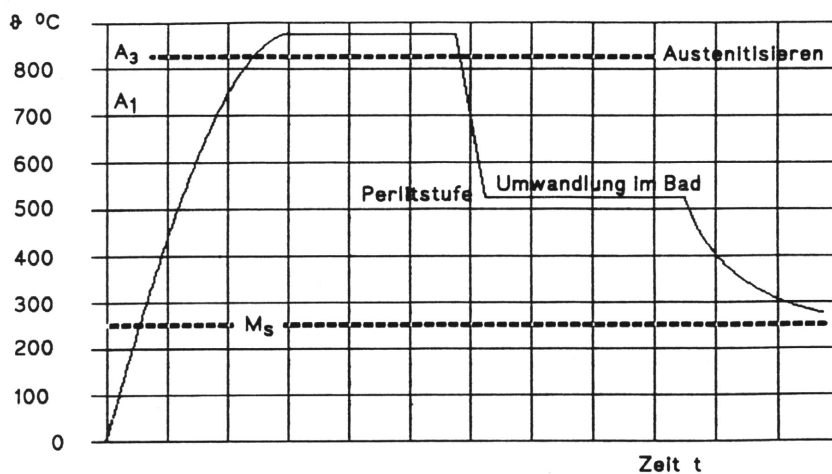
Für die Überprüfung im **Stirnabschreckversuch** auf Durchhärthbarkeit sind in der DIN EN



10083 die Streubänder der Rockwell-C-Härte, die sich im wesentlichen aus der Schwankungsbreite der genormten Zusammensetzungen und der Behandlungszustände ergeben, für verschiedene Werkstoffe aufgeführt. Als Beispiel hierfür ist in Bild 7 die Bandbreite für den Stahl 42 CrMo 4 dargestellt.

**Bild 7: Streuband der HRC-Härte für 42 CrMo 4**

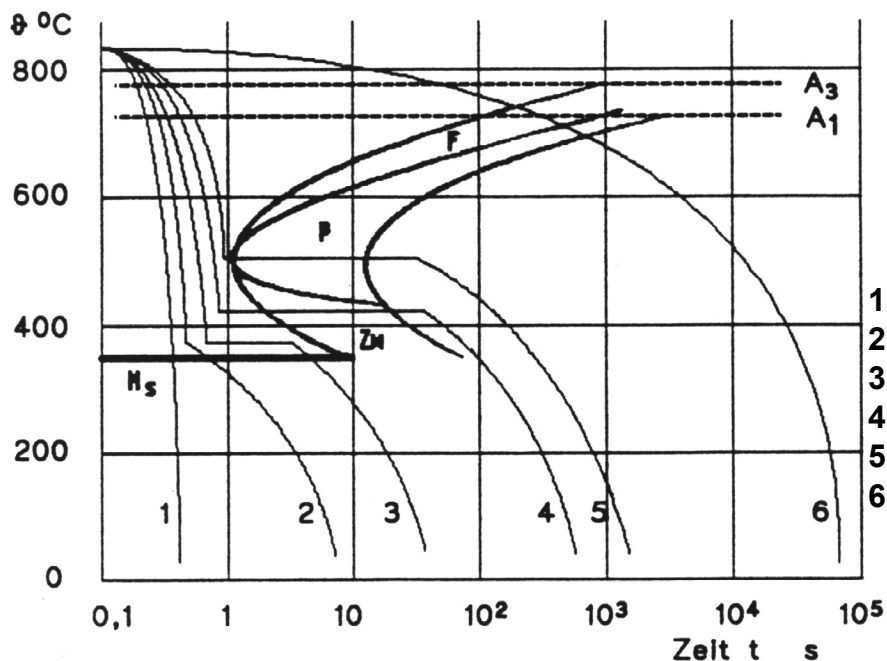
## Patentieren (Bild 8)



**Bild 8: Patentieren Zeit-Temperatur-Verlauf**

Bei diesem Verfahren wendet man so hohe Warmbadtemperaturen an, daß die Umwandlung nicht mehr in der Zwischenstufe stattfindet, sondern in der Perlitstufe. Es entsteht so ein besonders feinstreifiger Perlit, der für die Kaltverformung besonders gut geeignet ist. Dementsprechend wird dieses Verfahren vorzugsweise für Band (Kaltwalzen) und Draht (Kaltziehen) aus C-Stahl angewendet.

Das Bild 9 gibt einen Überblick über Einordnung der wichtigsten Wärmebehandlungen in einem (fiktiven) ZTU-Schaubild. Diese Darstellung dient nur zum besseren Verständnis, grundsätzlich ist eine Vermischung von kontinuierlichen und isothermen ZTU-Schaubildern nicht erlaubt.



1. Abschreckhärten
2. gebrochenes Härten
3. Warmbadhärten
4. Bainitisieren
5. Patentieren
6. Normalglühen

**Bild 9: Die wichtigsten Wärmebehandlungen eines unlegierten, untereutektoiden Stahls schematisch im ZTU-Schaubild**

