

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

EP 1 050 591 A2

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
08.11.2000 Patentblatt 2000/45

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: C21D 1/19, C21D 1/06,  
C21D 8/08  
// C21D1/02

(21) Anmeldenummer: 00108714.7

(22) Anmeldetag: 22.04.2000

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(72) Erfinder:  
• Meyer, Meinert  
40699 Erkrath (DE)  
• Peters, Andreas, Dr.  
40625 Düsseldorf (DE)

(30) Priorität: 07.05.1999 DE 19921286

(74) Vertreter:  
Valentin, Ekkehard, Dipl.-Ing. et al  
Patentanwälte Hemmerich, Valentin, Gihse,  
Grosse,  
Hammerstrasse 2  
57072 Siegen (DE)

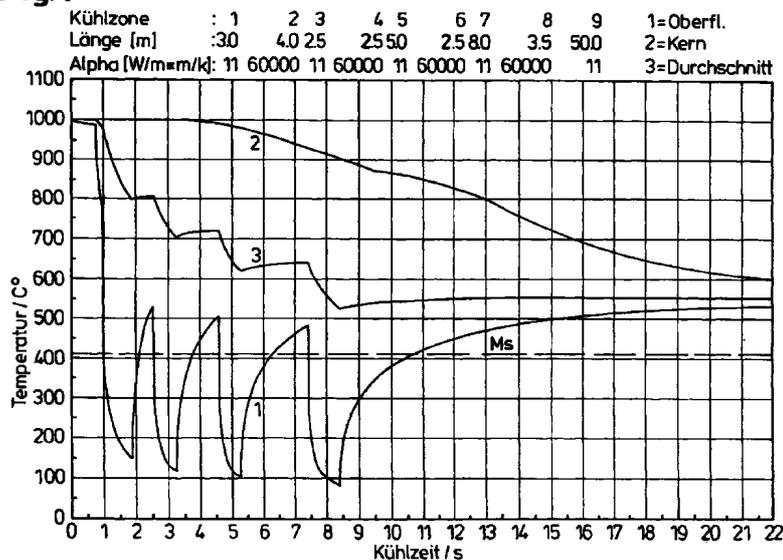
(71) Anmelder:  
SMS SCHLOEMANN-SIEMAG  
AKTIENGESELLSCHAFT  
40237 Düsseldorf (DE)

**(54) Wärmebehandlungsverfahren zur Herstellung randschichtgehärteter Lang- und Flachprodukte aus unlegierten oder niedriglegierten Stählen**

(57) Um Wärmebehandlungsverfahren zur Herstellung randschichtgehärteter Lang- oder Flachprodukte, umfassend die Schritte Abkühlen des Werkstücks auf eine Temperatur unterhalb der Martensitstarttemperatur und nachfolgendem langsamen Abkühlen des Kerns dahingehend zu verbessern, daß die Zähigkeitseigenschaften des Werkstücks verbessert werden, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, daß der erste Abkühlprozeß in mehreren, sich wiederholenden Schrit-

ten durchgeführt wird, wobei sich jeder Prozeßschritt aus einem Abkühlen auf eine Temperatur unterhalb der Martensitstarttemperatur zur martensitischen Umwandlung nur jeweils eines Teils des Werkstückrandbereichs und einer sich anschließenden zeitlichen Phase zur Entspannung der bereits gebildeten martensitischen Gefügeteile und/oder Randbereiche Martensit/Austenit zusammensetzt.

**Fig.1**



Wasserkühlstr. für Beton-Rippenstahl mit Ausgleichszonen  
CK22 , Rund D= 40.0 mm, Geschw. V= 3.70 m/s

EP 1 050 591 A2

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Wärmebehandlungsverfahren zur Herstellung randschichtgehärteter Lang- und Flachprodukte aus unlegierten oder niedriglegierten Stählen, umfassend folgende Schritte: einen ersten Abkühlprozeß des Werkstücks zum Einstellen eines martensitischen Gefüges im Werkstückrandbereich sowie einen zweiten Abkühlprozeß des Werkstücks mit einer Abkühlgeschwindigkeit unterhalb der unteren kritischen Abkühlgeschwindigkeit zur Abkühlung des Werkstückkerns. In diesem Zusammenhang wird unter der unteren kritischen Abkühlgeschwindigkeit die Abkühlgeschwindigkeit verstanden, die gerade noch ausreicht, um 1% Martensit zu bilden, d.h. der Werkstückkern wird so langsam abgekühlt, daß sich nicht ein martensitisches, sondern ein ferritisch-perlitisches Gefüge einstellt.

**[0002]** Bei einem bekannten Verfahren zur Herstellung randschichtgehärteter und selbstangelassener Langprodukte (Draht, Stabstahl, Profilhalb- und Fertigzeug, und andere) wird für gewöhnlich von Austenitisiertemperatur kommend mit Hilfe einer geeigneten Kühleinrichtung (in der Regel mittels Wasserkühlung) in der Randschicht des Werkstückes ein Härtingsgefüge durch einen einmaligen Abschreckvorgang durch Unterschreiten der Martensitstarttemperatur  $M_s$  eingestellt, das nach Abbruch der Kühlung durch die noch im Innern des Langprodukts vorhandene Restwärme nachfolgend angelassen wird. Diese Verfahrensweise wird üblicherweise direkt aus der Walzhitze kommend angewendet, kann grundsätzlich jedoch auch bei einer nachgeschalteten Wärmebehandlung (beispielsweise Normalisierung) zum Einsatz kommen. Bei den für diese Verfahrensweise verwendeten Stählen handelt es sich in der Regel um niedrig legierte Baustähle mit einem Kohlenstoffgehalt zwischen 0,03 bis 0,25 %, einem Mangangehalt von 0,3 bis 1,6 % und unterschiedlichen Beimengungen weiterer Legierungsbestandteile. So ist zum Beispiel das Abschrecken von Bewehrungsstählen für den Stahlbau in einer Wasserkühlstrecke bekannt. Nach dem Einstellen einer definierten Tiefe von martensitisch umgewandelten Gefüge im Randbereich des Langproduktes schließt sich ein Selbstanlassen durch die Restwärme im Inneren des Werkstücks an. Hieraus ergibt sich je nach Werkstoffanalyse und Ausmaß der vergüteten Randschicht eine bestimmte Kombination aus Festigkeit- und Zähigkeitseigenschaften (Duktilität).

**[0003]** Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Wärmebehandlung zur Herstellung von randschichtgehärteten Lang- und Flachprodukten zu schaffen, die im Vergleich zu den nach dem bekannten Verfahren behandelten Werkstücken bei Beibehaltung der Festigkeits- bessere Zähigkeitseigenschaften aufweisen.

**[0004]** Diese Aufgabe wird mittels eines Verfahrens mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte

Ausgestaltungen des Verfahrens sind in den Unteransprüchen offenbart.

**[0005]** Gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren wird der erste Abkühlprozeß zur Umwandlung von Austenit in Martensit in mehreren, sich wiederholenden Schritten durchgeführt, wobei sich jeder Prozeßschritt zusammensetzt aus einem Abkühlen auf eine Temperatur unterhalb der Martensitstarttemperatur zur martensitischen Umwandlung nur jeweils eines Teils des Werkstückrandbereichs und einer sich anschließenden zeitlichen Entspannungsphase der bereits gebildeten martensitischen Gefügeteile und/oder Randbereiche Martensit/Austenit.

**[0006]** Die einzelnen Schritte werden so oft wiederholt, bis das Gefüge in der gewünschten Randbereichstiefe vollständig martensitisch umgewandelt ist. Die sich bei dem vorgeschlagenen Wärmebehandlungsverfahren einstellenden besseren mechanischen Eigenschaften sind die Folge einer gegenüber dem bekannten Verfahren modifiziert ablaufenden Martensitbildung. Durch die Aufteilung des Abkühlprozesses in mehrere Unterschritte mit Pausen zwischen den einzelnen Prozessen wird ein Härtingsgefüge erzeugt, daß weniger Mikrorisse aufweist und somit bei mechanischer Beanspruchung (Kaltumformung) eine höhere Umformbarkeit aufweist, was sich unter anderem im Zugversuch in einer Steigerung der Bruchdehnungswerte bemerkbar macht.

**[0007]** Die Grundlagen für das Verständnis der Erfindung liegen im Wesen der martensitischen Umwandlung. Wird eine Eisenlegierung auf Temperaturen oberhalb  $A_{c3}$  (die Temperatur, bei der die Umwandlung des Ferrits in Austenit in einem Wärmen endet) erwärmt und diese dann mit ausreichend hoher Abkühlgeschwindigkeit abgeschreckt, so wandelt das austenitische Gefüge martensitisch um. Das besondere der Martensitumwandlung - im Vergleich zu den diffusionsgesteuerten Umwandlungsmechanismen - ist, daß sie athermisch erfolgt. Dies bedeutet, daß die Fortsetzung der Umwandlung nicht durch ein Halten auf einer bestimmten Temperatur erfolgt, sondern sie läuft nur bei einer weiteren Abkühlung kaskadenförmig weiter ab. Eine isotherme Haltezeit bewirkt nicht wie bei der diffusionsgesteuerten Umwandlung eine Zunahme des Anteils der Martensitmenge am Gesamtgefüge. Die Größe der wachsenden Martensitkristalle wird dabei durch die ehemaligen Austenitkomgrenzen beschränkt. Die Umwandlung des Martensit selber erfolgt nach dem heute als gesichert geltenden Modellen in zwei Schritten: einem gitterverändernden Deformationsschritt von kubisch-flächenzentrierten (kfz) zum kubisch-raumzentrierten (krz) Gitter und einer gittererhaltenden Anpassung des frisch gebildeten Martensits. Das Umklappen des Gitters vom kubischflächenzentrierten zum kubisch-raumzentrierten Typ und die Anpassung des frisch gebildeten Martensits führen nun zwangsläufig auch zu einer Deformation des Austenits, da die Martensitumwandlung zum einen mit einem Volumenzu-

wachs von ca. 3 % verbunden ist und an der Phasengrenze zudem zwei grundsätzlich unterschiedliche Gittertypen, nämlich kubisch-raumzentriert und kubischflächenzentriert, aufeinanderstoßen (vergleiche Figur 8). Soll es hierbei aufgrund der unvermeidbaren Anpassungsspannungen nicht zu Werkstofftrennungen an der Phasengrenze Martensit-Austenit kommen, muß der Austenit die auftretenden Deformationen durch Versetzungsgleiten oder Zwillingsbildung abfangen können. Hierbei ist nur das austenitische Restgefüge betroffen, da die Fließspannung des Martensit sehr viel höher ist als die des Austenits.

**[0008]** In der Regel erfolgt diese Anpassungsverformung nicht ohne Werkstofftrennungen, so daß technische Stähle nachgewiesenermaßen nach dem Abschrecken in der Martensitstufe eine mehr oder weniger hoher Zahl an Mikrorissen aufweisen. Diese Mikrorisse selber reduzieren die Zähigkeit sowie die Duktilität des Werkstoffes, da bei mechanischer Belastung (z. B. im Zugversuch) die Risse als Keime für die weitere Werkstofftrennung wirken und damit das generelle Versagen des Werkstoffes einleiten. Umgekehrt wirkt sich eine Reduzierung der Anzahl der Mikrorisse insgesamt positiv auf die Zähigkeit bzw. die Duktilität des Werkstoffes aus, was sich wiederum in höheren Werten für die Bruchdehnung im Zugversuch zeigt.

**[0009]** Im Hinblick auf die Reduzierung der Mikrorisse wird erfindungsgemäß ein Wärmebehandlungsverfahren vorgeschlagen, bei dem die Martensitumwandlung nicht in einem einmaligen Abschreckprozeß, sondern stufenweise abläuft und zwar mit kurzen Entspannungspausen zwischen den einzelnen Umwandlungsphasen. Hierzu wird das Werkstück immer nur kurzzeitig in die Martensitstufe abgekühlt, danach erfolgt ein Ausgleich der Temperatur und erneut eine Abschreckbehandlung auf Temperaturen unterhalb der Martensitstarttemperatur.

**[0010]** Der Ausgleich der Temperatur geschieht entweder durch ein Selbstanlassen der bei dem entsprechenden Abkühlprozeß gebildeten martensitischen Gefügeteile aufgrund der Restwärme im Werkstück auf Temperaturen unterhalb  $A_1$  und einem damit verbundenen Abbau von Gitterspannungen. Ferner wird vorgeschlagen, daß während der Entspannungsphase der einzelnen Prozeßschritte das Werkstück wieder auf Austenitisiertemperatur gebracht wird zum teilweisen Rückumwandeln des bereits gebildeten Martensit in Austenit. Neben einer dadurch bedingten weiteren Gefügefinesung entstehen deutlich weniger Mikrorisse bei der martensitischen Umwandlung.

**[0011]** Durch die vorgeschlagene Verfahrensweise werden zwei Effekte erzielt: zum einen ist die Größe der gleichzeitig umwandelnden Bereiche kleiner. Hierdurch entstehen an der Phasengrenze Austenit-Martensit insgesamt geringere Anpassungsspannungen, was die Gefahr der Mikrorißbildungen reduziert. Zum anderen hat der den Martensit umgebende Austenit durch die bei den Entspannungsphasen ablaufenden Erholungs-

vorgänge (hauptsächlich durch Versetzungsgleiten) die Möglichkeit, Anpassungsspannungen abzubauen. Dadurch wird einer Überschreitung der Trennbruchspannung der kfz-krz-Phasengrenze, die auch durch die zeitliche Überlagerung der Spannungsfelder mehrerer benachbarter Phasengrenzen eintreten kann, insgesamt entgegengewirkt.

**[0012]** Die vorgeschlagene Wärmebehandlung kann sich unmittelbar an ein Walzprozeß des Werkstücks anschließen, es ist aber auch denkbar, daß sie sich unmittelbar an eine vorher abgelaufene andere Wärmebehandlung, beispielsweise Normalglühen, anschließt.

**[0013]** Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den nachfolgenden Beschreibungen. Hierbei zeigen:

Figur 1 Temperatur-Zeitkurven eines Beton-Rippenstahls mit nach dem vorgeschlagenen Verfahren gehärteten Randbereichen mit einem Gesamtdurchmesser von 40 mm;

Figur 2 Temperaturverteilung über den Durchmesser des Beton-Rippenstahls nach Figur 1;

Figur 3 Temperatur-Zeitkurven eines Beton-Rippenstahls mit nach dem vorgeschlagenen Verfahren gehärteten Randbereich mit einem Gesamtdurchmesser von 20 mm;

Figur 4 Temperaturverteilung über den Durchmesser des Beton-Rippenstahls nach Figur 3;

Figur 5 Temperatur-Zeitkurven eines Beton-Rippenstahls mit nach dem herkömmlichen Verfahren gehärteten Randbereich mit einem Gesamtdurchmesser von 40 mm;

Figur 6 Temperaturverteilung über den Durchmesser des Beton-Rippenstahls nach Figur 5;

Figur 7 Darstellung der Bruchdehnung über der Streckgrenze bei einem unlegierten Baustahl ( $C \approx 0,25 \%$ ,  $Si \approx 0,29 \%$ ,  $Mn \approx 1,0 \%$ ) im Vergleich nach dem konventionellen und dem erfindungsgemäßen Verfahren rand-schichtgehärtet;

Figur 8 Darstellung der Bruchdehnung über der Zugfestigkeit bei einem unlegierten Baustahl ( $C \approx 0,25 \%$ ,  $Si \approx 0,29 \%$ ,  $Mn \approx 1,0 \%$ ) im Vergleich nach dem konventionellen und dem erfindungsgemäßen Verfahren rand-schichtgehärtet;

Figur 9 Martensitumwandlung und Anpassungsverformung der umgebenden austenitischen Matrix.

[0014] Figur 1 zeigt die Temperatur-Zeitkurven eines Beton-Rippenstahls mit einem Gesamtdurchmesser von 40 mm mit nach dem vorgeschlagenen Verfahren gehärteten Randbereichen. Es sind die Temperaturverläufe für die Oberfläche (1) und dem Kern (2) des Langproduktes sowie im Durchschnitt (3) dargestellt. Das Werkstück durchläuft eine Kühlstrecke, die sich aus mehreren Kühlzonen mit unterschiedlicher Länge zusammensetzt. Das Kühlmittel ist Wasser. Ausgedrückt durch einen hohen oder niedrigen  $\alpha$ -Wert wird das Werkstück in den Kühlzonen 2, 4, 6 und 8 auf eine Temperatur unterhalb der Martensitstarttemperatur abgeschreckt, die aber oberhalb der Martensitfinish-Temperatur liegt. In den Kühlzonen 1, 3, 5, 7 und 9 kommt es nachfolgend zu den zeitlichen Entspannungsphasen, hier mittels Selbstanlassen. Bei den konkreten Beispiel wird der Werkstoff, von einer Temperatur von etwa 1000°C kommend, in der Kühlzone 2 kurzzeitig auf eine Temperatur unterhalb der Martensitstarttemperatur abgeschreckt. Die Martensitstarttemperatur ist abhängig von der Stahlzusammensetzung und liegt bei dem beispielhaften Stahl bei etwa 410° C. In der nachfolgenden Kühlstrecke durchläuft der Werkstoff eine Entspannungsphase, während der die bereits martensitisch umgewandelten Bereiche aufgrund der im Werkstück vorhandenen Restwärme selbst angelassen werden. Zudem hat der den Martensit umgebende Austenit die Möglichkeit, Anpassungsspannungen abzubauen.

[0015] Dieser Ablauf eines Abkühlteilschritts, d. h. Abschrecken und Selbstanlassen mit Abbau der Anpassungsspannungen zwischen Martensit und Austenit, wird mehrere Male wiederholt. Hierbei wandeln die noch vorliegenden austenitischen Gefügeabschnitte im Randbereich des Langprodukts ebenfalls in Martensit um. Figur 1 verdeutlicht, daß es nur im Randbereich zu einem Härten und Anlassen kommt, während der Kern des Werkstückes langsam abkühlt.

[0016] Mit Hilfe von Figur 2 wird deutlich, daß es nur in den Kühlzonen 2, 4, 6 und 8 zu martensitischen Gefügeumwandlungen kommt. Nach Ablauf von vier Abkühlprozessschritten ist bei diesem Beispiel 30 % des Ausgangsquerschnitts des Langproduktes in Martensit umgewandelt. Nach Beendigung des ersten Abkühlprozesses schließt sich ein Prozeß mit einer Abkühlgeschwindigkeit an, die unterhalb der unteren kritischen Abkühlgeschwindigkeit liegt, wobei das noch austenitische Kerngefüge ferritisch-perlitisch umwandelt.

[0017] Im Vergleich hierzu zeigt Figur 3 die Temperatur-Kühlzeitkurven für den gleichen Stahl, aber für einen kleineren Durchmesser des Langproduktes (20 mm). Das Werkstück wird mit höherer Geschwindigkeit durch die einzelnen Kühlstrecken transportiert, hier beispielhaft mit 15,00 m/s. Die einzelnen Abkühlprozessschritte laufen deshalb im Vergleich schneller ab, dennoch sind auch hier die Vorgänge Abschrecken auf eine Temperatur unterhalb der Martensitstarttemperatur sowie Entspannungsphase des Gefüges durch Selbstanlassen deutlich erkennbar. Nach Durchlauf der neun

Kühlzonen sind etwa 30 % des Querschnitts des Langproduktes martensitisch umgewandelt (Figur 4).

[0018] Die Figuren 5 und 6 verdeutlichen den Unterschied des erfindungsgemäß vorgeschlagenen Verfahrens mit dem bekannten Verfahren zur Randschichthärtung von Langprodukten. Obwohl auch nach dem konventionellen Verfahren ebenfalls 35 % Martensitgefüge in den Randbereichen erreicht wird, kommt es doch aufgrund der einmaligen Abschreckbehandlung mit nachfolgenden einmaligen Selbstanlassen zu Mikrorissen im Gefüge und damit zusammenhängend schlechteren Zähigkeitseigenschaften, die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren verbessert werden. Daß die Zähigkeitseigenschaften bei gleichen Festigkeitswerten steigen, verdeutlichen die Figuren 7 und 8, in der die Bruchdehnung über der Streckgrenze bzw. Zugfestigkeit eines unlegierten Baustahls dargestellt sind, der im Vergleich nach dem konventionellen (I) und dem erfindungsgemäßen Verfahren (II) randschichtgehärtet ist.

[0019] Nach dem vorgeschlagenen Verfahren werden insbesondere Betonstähle randschichtgehärtet. Die finden vor allem Anwendung als Bewehrungsstähle zur Herstellung von Trägern im Stahlbau.

#### Patentansprüche

1. Wärmebehandlungsverfahren zur Herstellung randschichtgehärteter Lang- und Flachprodukte aus unlegierten und niedriglegierten Stählen, umfassend folgende Schritte:

einen ersten Abkühlprozeß des Werkstücks zum Einstellen eines martensitischen Gefüges im Werkstückrandbereich sowie einen zweiten Abkühlprozeß des Werkstücks mit einer Abkühlgeschwindigkeit unterhalb der unteren kritischen Abkühlgeschwindigkeit zur Abkühlung des Werkstückkerns,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß der erste Abkühlprozeß in mehreren, sich wiederholenden Schritten durchgeführt wird, wobei sich jeder Prozessschritt aus einem Abkühlen auf eine Temperatur unterhalb der Martensitstarttemperatur zur martensitischen Umwandlung nur jeweils eines Teils des Werkstückrandbereichs und einer sich anschließenden zeitlichen Phase zur Entspannung der bereits gebildeten martensitischen Gefügeteile und/oder Randbereiche Martensit/Austenit zusammensetzt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,**

daß während der Entspannungsphasen der einzelnen Prozessschritte ein Selbstanlassen der bei dem entsprechenden Abkühlprozeß gebil-

deten martensitischen Gefügeteile durch die im Inneren des Werkstücks vorhandene Restwärme stattfindet.

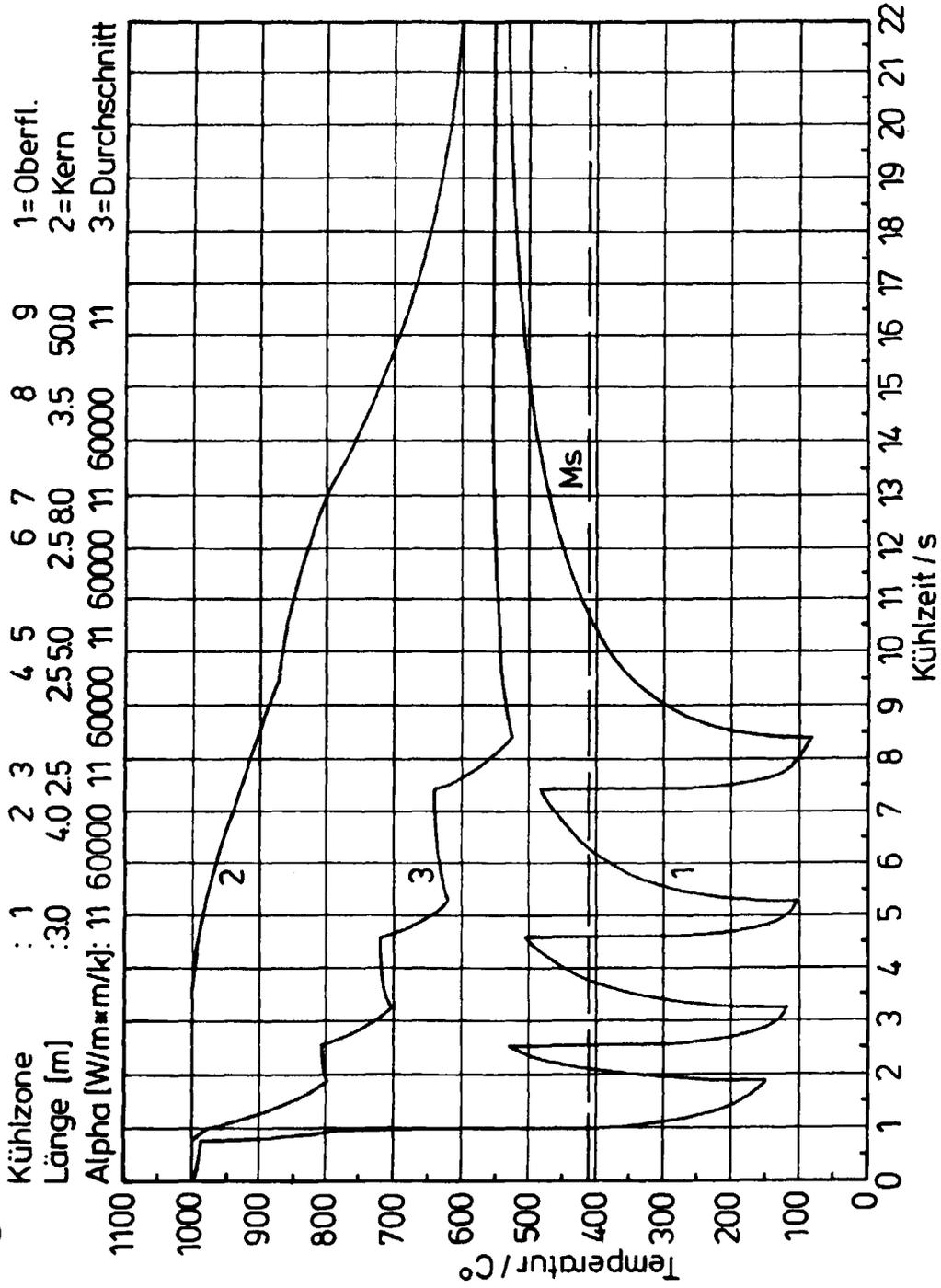
3. Verfahren nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet,** 5
- daß während der Entspannungsphasen der einzelnen Prozeßschritte das Werkstück wieder auf Austenitisiertemperatur gebracht wird zum teilweisen Rückumwandeln des bereits gebildeten Martensits in Austenit. 10
4. Verfahren nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet,** 15
- daß die Anzahl der Abkühlprozeßschritte in Abhängigkeit der gewünschten zu härtenden Randschichttiefe gewählt wird. 20
5. Verfahren nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet,**
- daß es sich unmittelbar an einen Walzprozeß des Werkstücks anschließt. 25
6. Verfahren nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet,**
- daß es sich unmittelbar an eine Wärmebehandlung anschließt. 30
7. Verfahren nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet,** 35
- daß es sich bei dem herzustellenden Stahl um Betonstahl handelt.
8. Verwendung von nach dem Verfahren nach Anspruch 1 hergestellten Stählen zur Herstellung von Trägern oder Bewehrungen. 40

45

50

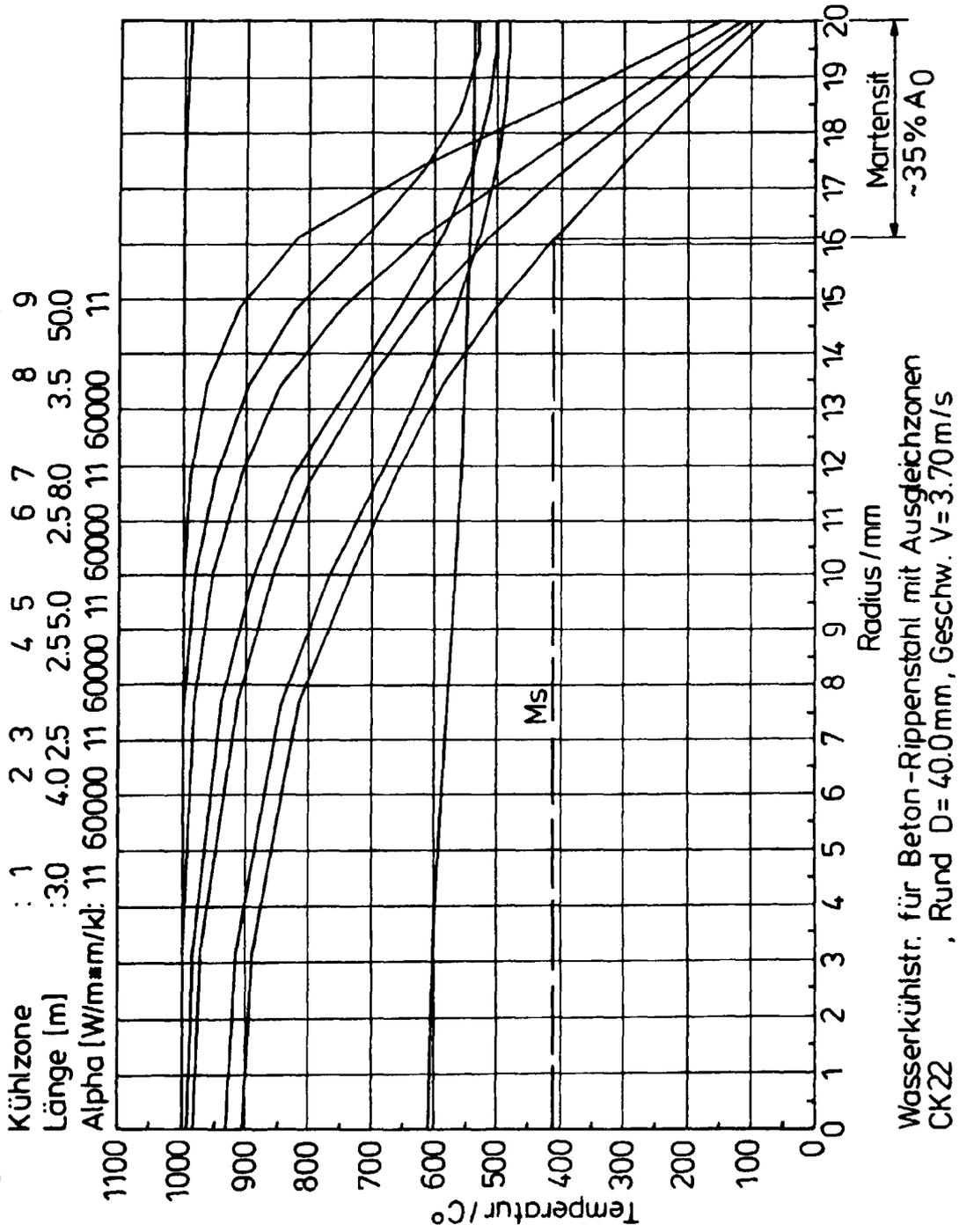
55

**Fig.1**

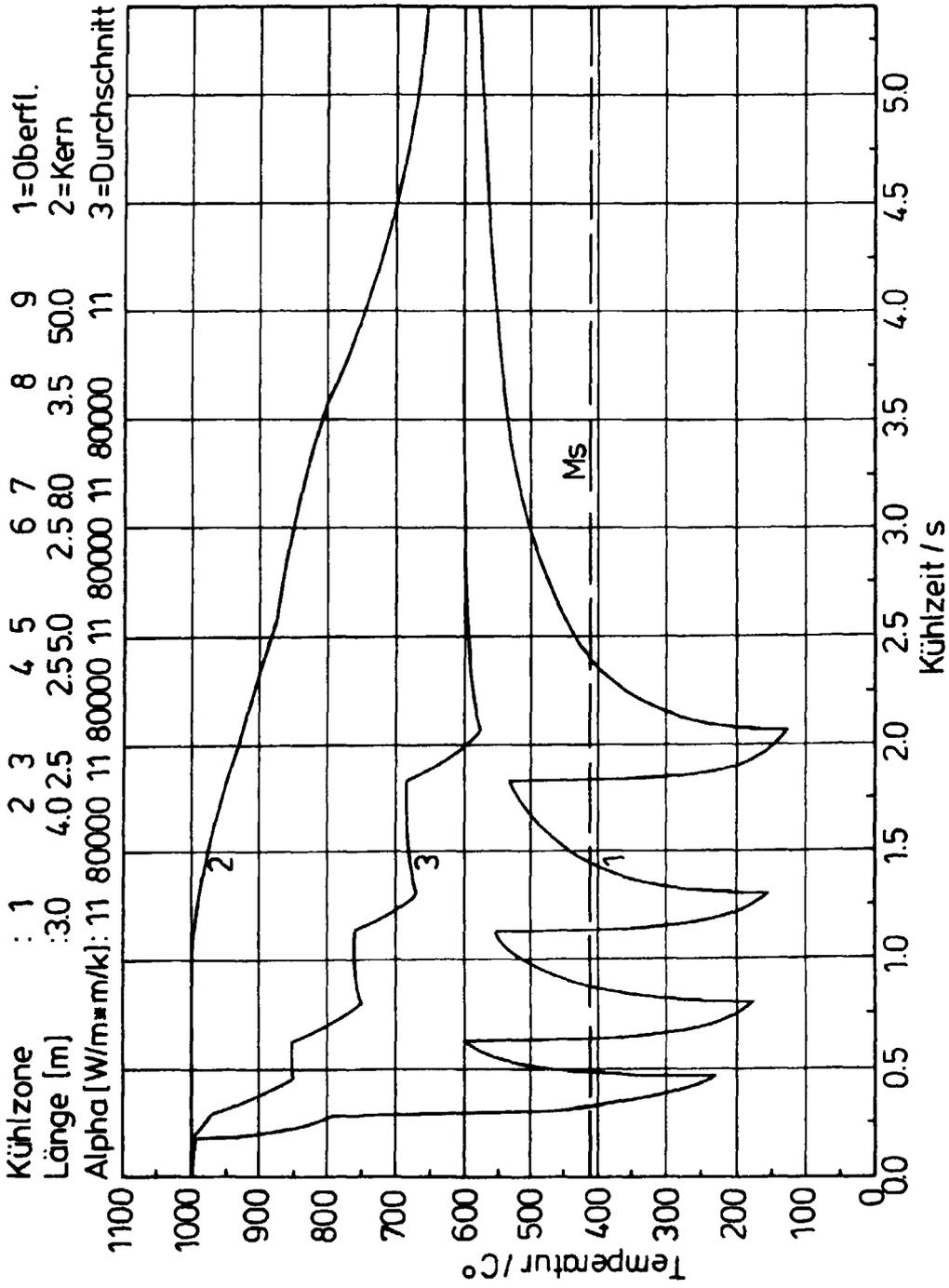


Wasserkühlstr. für Beton-Rippenstahl mit Ausgleichszonen  
 CK22 , Rund D=40.0mm, Geschw. V=3.70 m/s

**Fig.2**

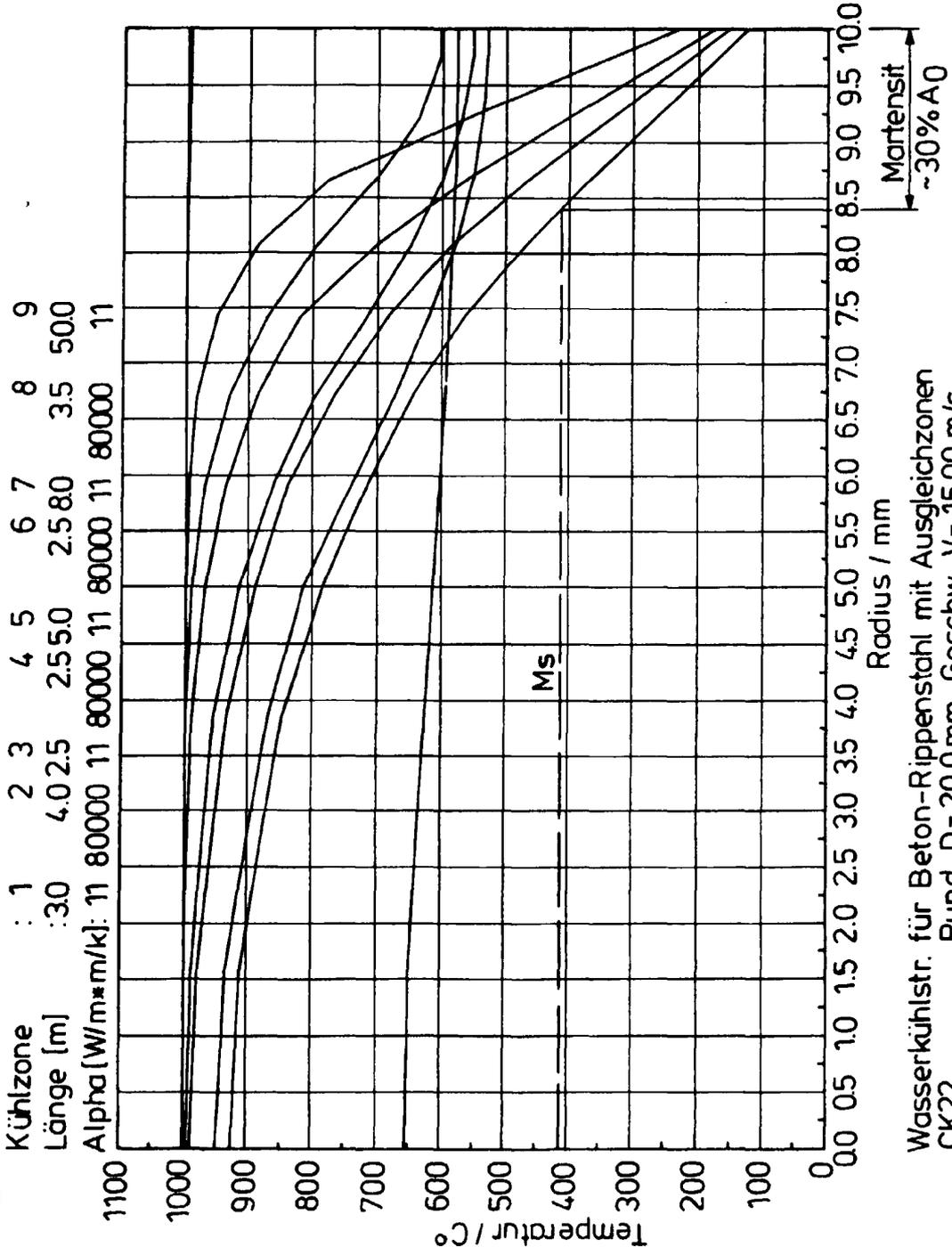


**Fig.3**

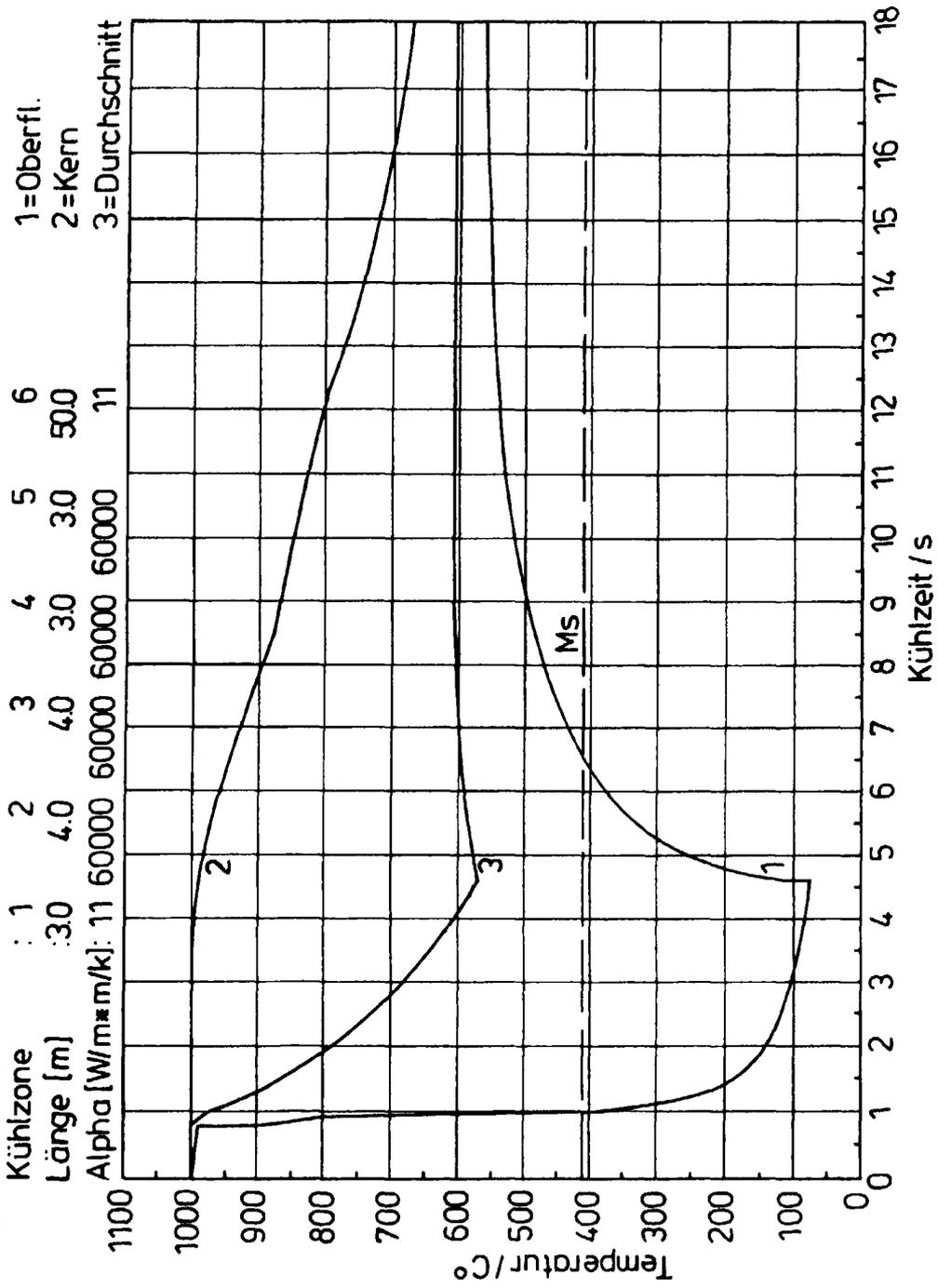


Wasserkühlstr. für Beton-Rippenstahl mit Ausgleichszonen  
 CK22 , Rund D=20.0mm, Geschw. V= 15.00 m/s

**Fig. 4**

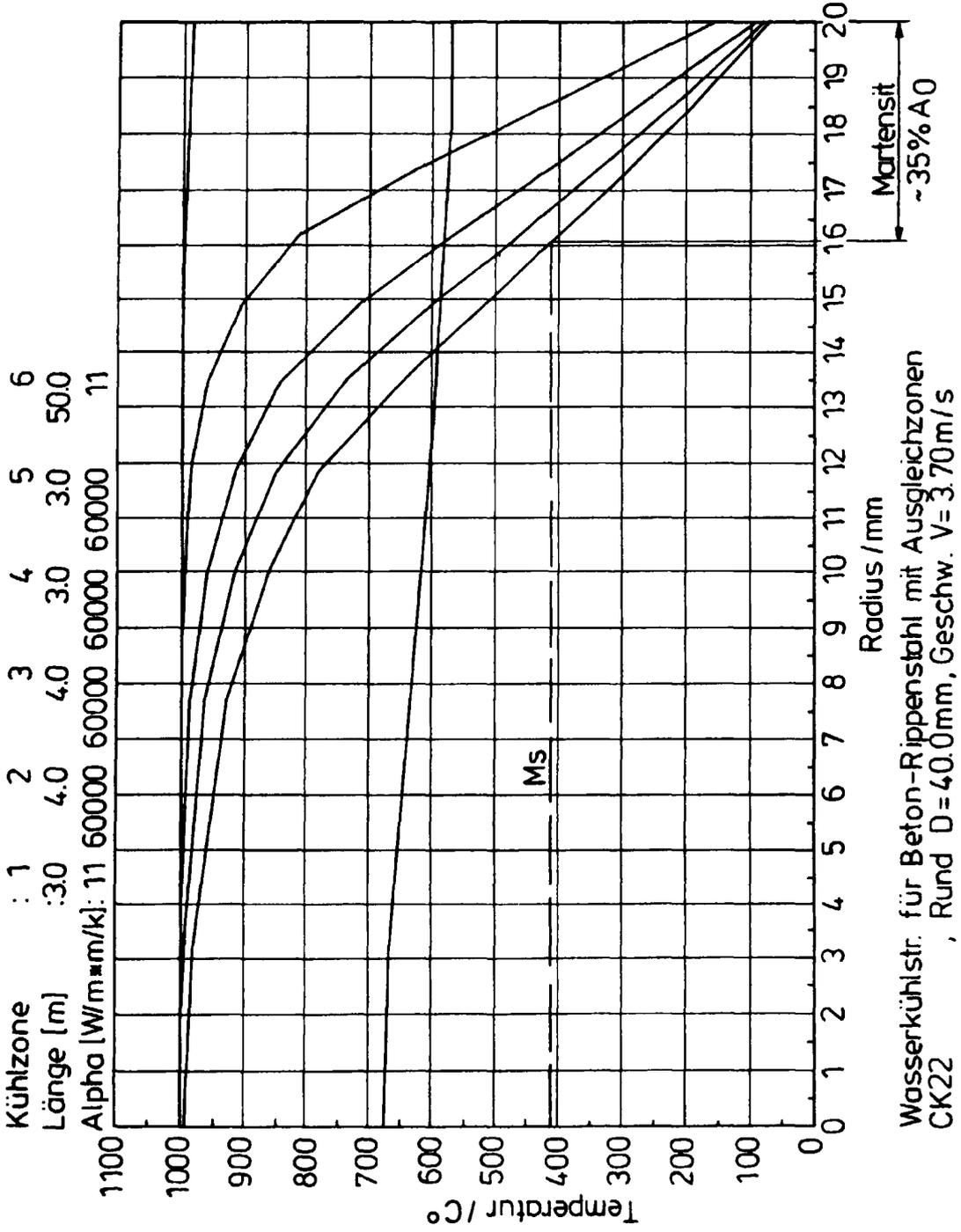


**Fig.5**

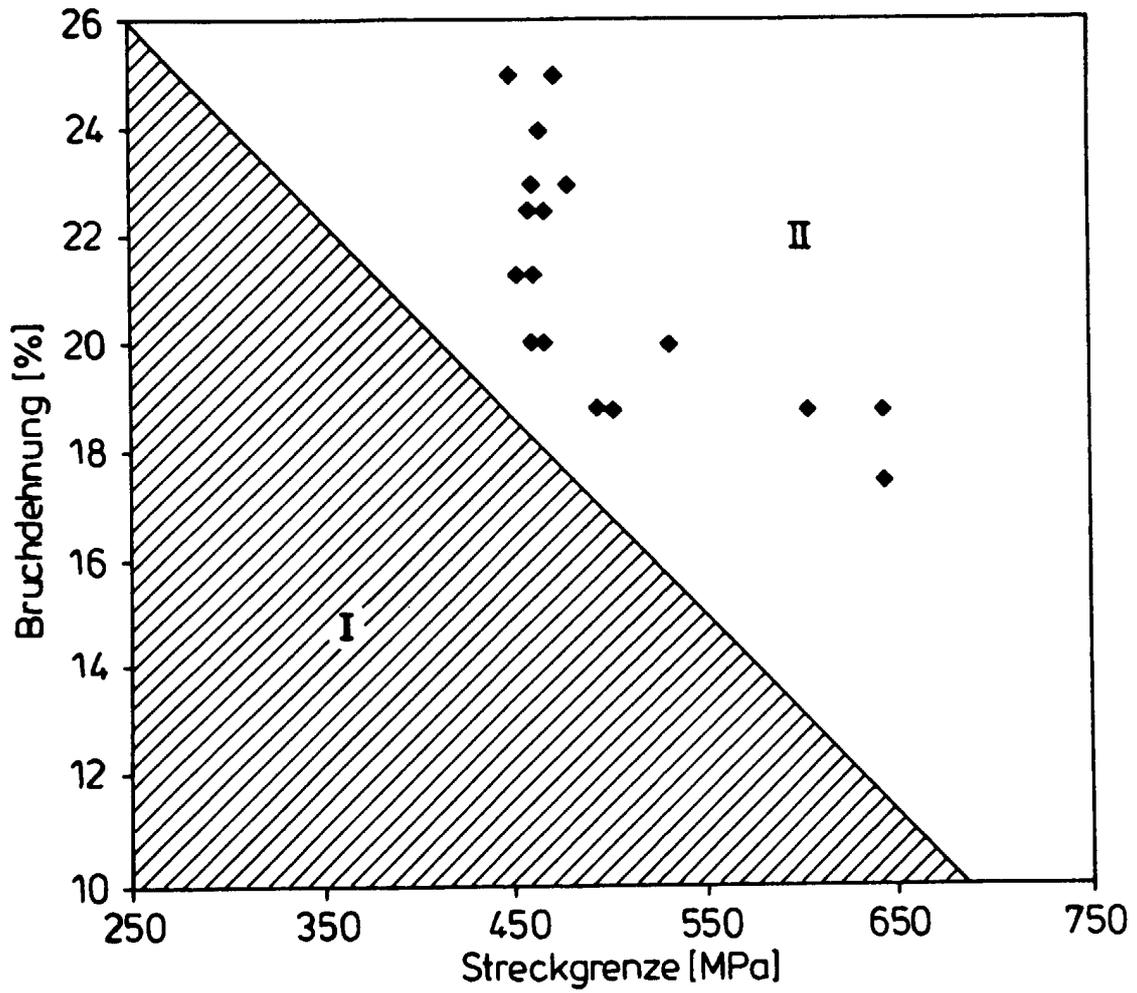


Wasserkühlstr. für Beton-Rippenstahl mit Ausgleichszonen  
 CK22 , Rund D=40.0mm, Geschw. V= 3.70 m/s

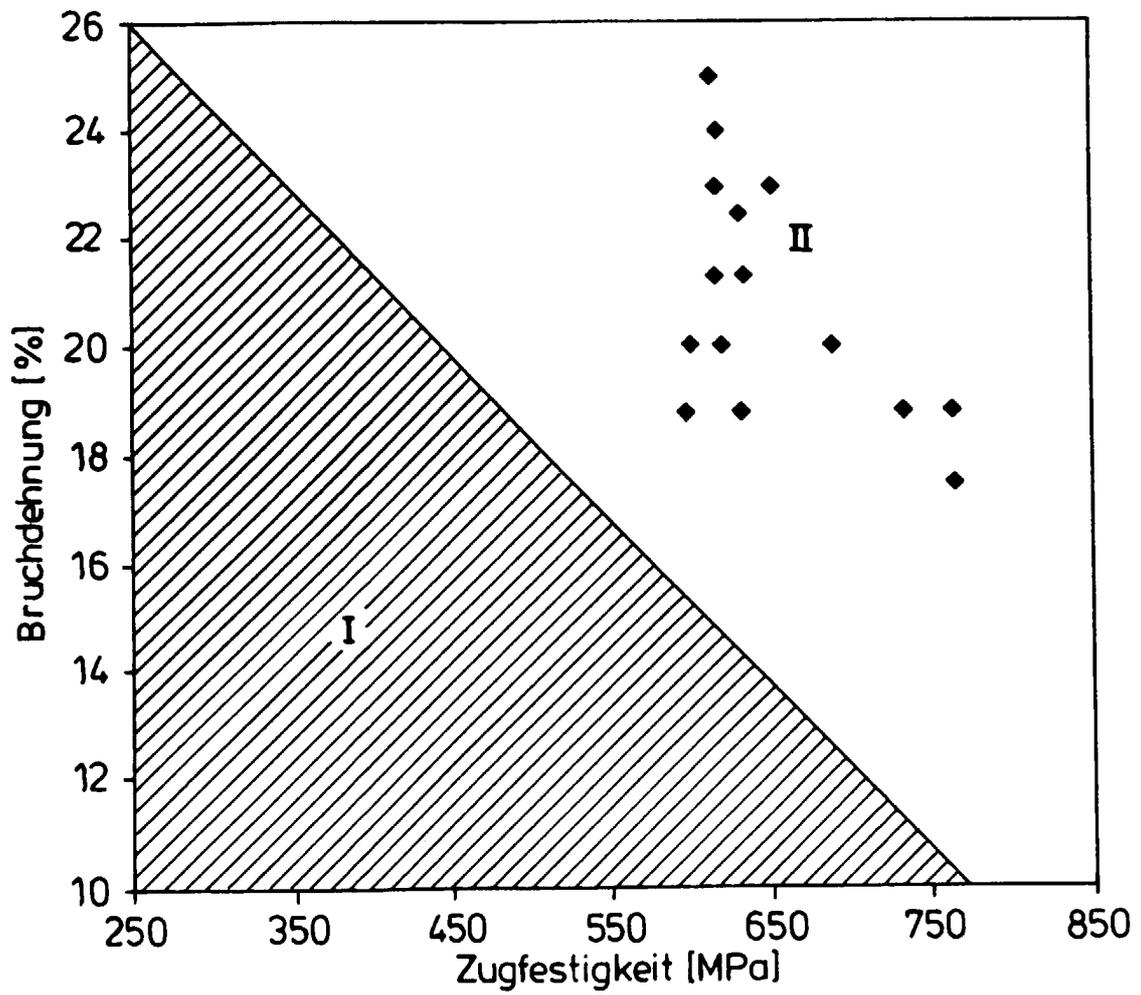
**Fig.6**



**Fig. 7**



**Fig. 8**



**Fig. 9**

