

Stahlguss



Herstellung – Eigenschaften – Anwendung



Stahlguss

Herstellung – Eigenschaften – Anwendung

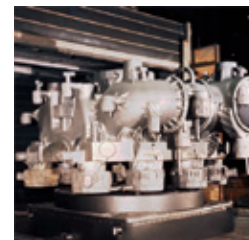
Autoren:

M.-O. Arnold, Dr.-Ing. C. Escher, Dr. H. Hammelrath, R. Hanus,
U. Knobloch, K. Kohlgrüber, Dr. H. Löblich, A. Oldewurtel,
G.-W. Overbeck, J. Schädlich-Stubenrauch, C. Schmees, K.-H. Schütt
Dr. I. Steller, Dr. H.-J. Wieland, J. Wiesenmüller, R. Wiesenmüller



Titelbild: Nabe für Gasturbine im fertig bearbeiteten Zustand aus GX-23CrMoV12-1, Gewicht 3055 kg

1	Was ist und kann Stahlguss	2
2	Konstruieren in Stahlguss	4
3	Gießtechnik	
	mit den Sonderthemen:	
	Computergestützte Methoden	7
	und Simulationstechniken	
	Feingießverfahren	9
	Keramikformverfahren	10
	Lost-Foam-Verfahren	11
4	Erschmelzen von Stahlguss	12
5	Wärmebehandeln	14
6	Schweißen von Stahlguss	16
7	Prüfen und Überwachen der Stahlgussherstellung	21
8	Die Stahlgusswerkstoffe	
	Stahlguss für allgemeine Verwendungszwecke	27
	Stahlguss für das Bauwesen	27
	Stahlguss für Druckbehälter	30
	Hochfester Stahlguss mit guter Schweißbeignung	30
	Vergütungsstahlguss	32
	Warmfester Stahlguss	35
	Kaltzäher Stahlguss	39
	Stahlguss mit weichmagnetischen Eigenschaften	40
	Nichtrostender Stahlguss	43
	Hitzebeständiger Stahlguss	50
	Nichtmagnetisierbarer Stahlguss	55
	Verschleißbeständiger Stahlguss	55
	Werkzeug-Stahlguss	61
9	Internationale Normenübersicht	64



Ein Turbinengehäuse-Unterteil mit kompletter Gießtechnik



Strator für Strömungsbremse (Retarder), hergestellt im Feingießverfahren



Moderne Konverterverfahren realisieren die steigenden Qualitätsanforderungen

Anhang: ab Seite 68 werden typische Anwendungsbeispiele für Stahlgussteile gezeigt



1 Was ist und kann Stahlguss

1.1 Definition

Stahl ist eine Eisenlegierung, dessen wichtigstes Legierungselement Kohlenstoff ist. Weitere ständige Begleitelemente sind Silicium, Mangan und in geringen Gehalten Phosphor und Schwefel. Kohlenstoff kann bis zu 2 % enthalten sein. Wird flüssiger Stahl in feuerfesten Formen vergossen, spricht man vom Stahlguss. Je nach verwendeter Stahlsorte und der gegebenenfalls anschließend vollzogenen Wärmebehandlung können dem Werkstoff Stahl in weiten Grenzen variable Eigenschaften verliehen werden. Dies macht den Stahlguss für weite Abnehmerkreise zu einem interessanten Werkstoff. Eine sehr große Anzahl technischer Anwendungen ist darstellbar.

1.2 Vielfalt von Stahlguss

Der Gießer unterteilt die Stahlgussorten generell in unlegierten, niedriglegierten und hochlegierten Stahl.

unlegierter Stahl:

Der Kohlenstoff (0,1 bis 0,7 %) ist im unlegierten Stahl das wichtigste Begleitelement für die Gefügeausbildung und damit für die mechanischen und physikalischen Eigenschaften. Der Einfluss des Kohlenstoffgehaltes auf die mechanischen Eigenschaften ist im **Bild 1** dargestellt.

legierter Stahl:

Die Steigerung der Zugfestigkeit durch eine einfache Erhöhung des Kohlenstoffgehaltes ist nicht zweckmäßig, da die Zähigkeitseigenschaften zu stark absinken. Jedoch ist es möglich, durch Zugabe weiterer Legierungselemente hohe Festigkeiten bei gleichzeitig hohen Dehnungswerten zu erzielen. Legierter Stahl wird in niedrig- und hochlegierte Werkstoffe unterteilt.

niedriglegierter Stahl:

Diese Stahllegierungen weisen in der Regel neben Kohlenstoff bis zu 5 % Legierungselemente, wie z. B. Cr, Ni, Mo, V, W und Nb auf.

hochlegierter Stahl:

Als hochlegierte Stahlgussorten werden Stähle mit mehr als 5 % Legierungselementen bezeichnet. Diese Stähle zeichnen sich durch spezifische Eigenschaften (z. B. hochwarmfest, zunderbeständig, korrosionsbeständig, säurebeständig) aus.

Systematiken für die Benennung von Stahlgussorten nach chemischer Zusammensetzung bzw. Gebrauchseigenschaften sind in der Norm DIN EN 10027 festgelegt.

Stahlguss wird nach dem Hand-, Maschinen-, Masken- und Keramikformverfahren unter Verwendung von Dauermodellen und verlorenen Sandformen hergestellt. Als weitere interessante Verfahren sind das Feingießverfahren, das Schleudergießen und das Lost-Foam- und Vollformgießverfahren zu erwähnen. Bei Letzteren handelt es sich um die Herstellung von Gussteilen mit Hilfe von vergasbaren Schaumstoffmodellen, die unter Vakuum in binderfreien Sandformen abgegossen werden.

1.3 Vorteile von Stahlguss

Stahlgussteile zeichnen sich im Vergleich zu Bauteilen, die mit anderen Werkstoffen bzw. durch andere Fertigungsverfahren hergestellt werden, durch eine Reihe von Vorteilen aus. Die wichtigsten sind:

- Die große Werkstoffvielfalt gestattet die Wahl des für den Einsatzzweck optimal geeigneten Werkstoffes. Dies bezieht sich auf Festigkeitseigenschaften, Verschleißseigenschaften, Korrosionsbeständigkeit und Einsatztemperaturen.
- Gießen ermöglicht die freien Gestaltung der Bauteilgeometrie und besitzt konstruktive Freiheiten zur funktional optimalen Auslegung der Bauteilkonturen.
- Die Werkstoffeigenschaften machen Stahlguss nahezu unbegrenzt anwendbar hinsichtlich der Größe und Wanddicke der Bauteile.
- Durch Wärmebehandlungsverfahren sind die Festigkeitseigenschaften des Bauteils anwendungsbezogen einstellbar. Gleichzeitig können die Eigenschaften über das gesamte Bauteil weitgehend Geometrie unabhängig eingestellt werden.
- Durch die Flexibilität des Werkstoffes in Verbindung mit der geometrischen Gestaltungsfreiheit werden Bauteillösungen kostengünstig möglich, die andere Verfahren bzw. Werkstoffe so nicht bieten können.
- Durch beherrschte, moderne Fertigungsverfahren wird ein sehr hohes Qualitätsniveau erreicht. Dadurch zeichnet sich das Gießen von Stahl durch eine höhere Wirtschaftlichkeit gegenüber anderen Fertigungsverfahren aus.
- Aufgrund seiner sehr guten Schweißbarkeit ist Stahlguss ein idealer Konstruktionswerkstoff für eine Fülle von Anwendungen. Besonders im Fahrzeugbau, Anlagenbau und dem Stahlbau werden viele Projekte erst durch Stahlgussteile realisierbar.

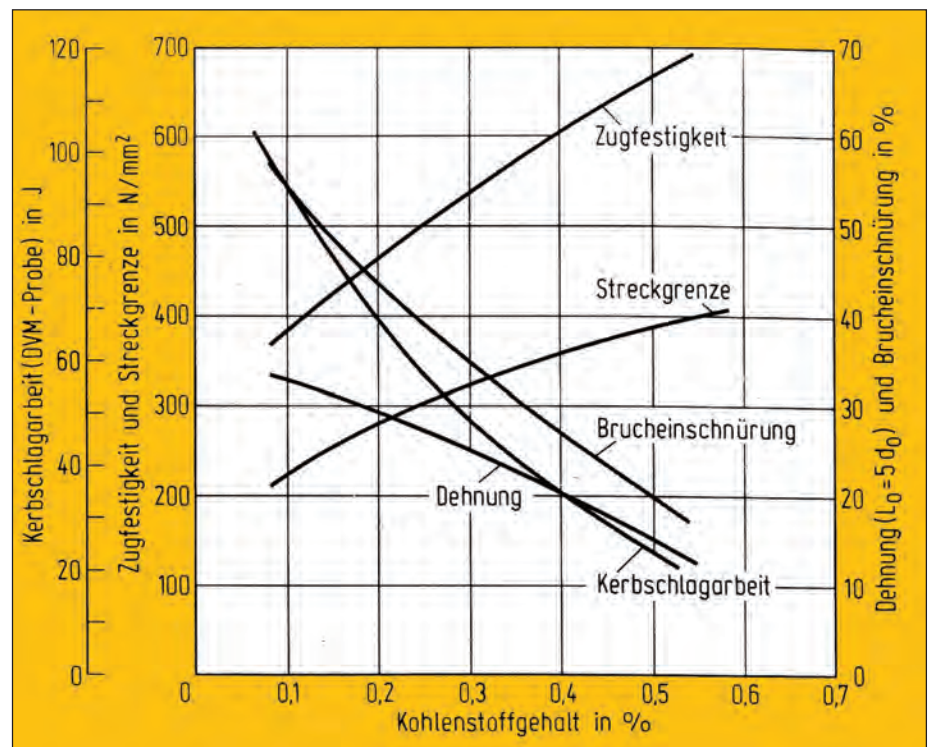


Bild 1: Kerbschlagzähigkeit und Festigkeitseigenschaften von unlegiertem, geglühtem Stahlguss in Abhängigkeit vom Kohlenstoffgehalt (nach [1])

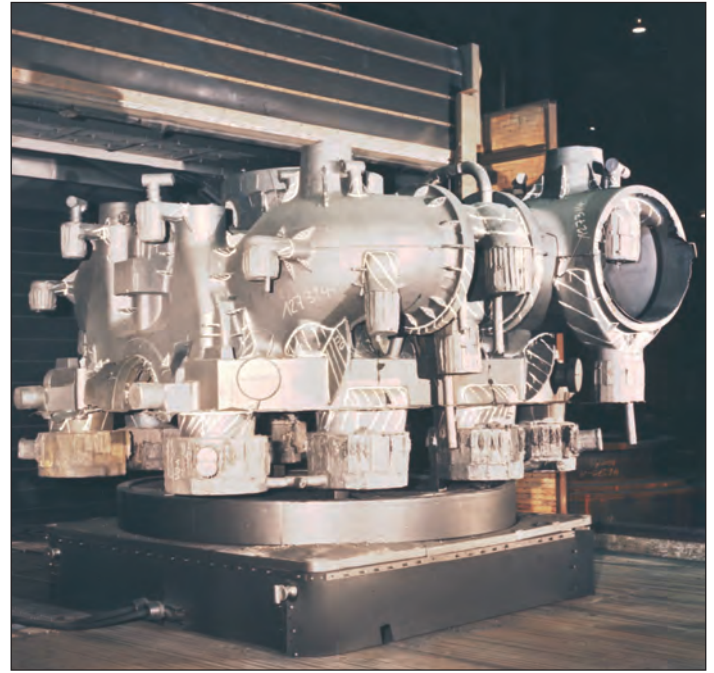


Bild 2: Komplexe Formhälfte mit diversen Kernen für ein großes Turbinengehäuse-Unterteil aus Stahl

Bild 3: In der Form im Bild 2 gegossenes Turbinengehäuse-Unterteil mit vollständiger Gießtechnik

1.4 Entwicklungstendenzen

Durch technologische Entwicklungen im Bereich der Schmelztechnik können bei Stahlsorten immer höherer Reinheitsgrade und somit verbesserte technologische Eigenschaften erzeugt werden. Mit der Kenntnis der beeinflussenden Elemente und der sicheren Prozessführung können Stahlgussteile für fast jeden technischen Anwendungsfall optimiert hergestellt werden. Durch ständige Weiterentwicklung auf allen Gebieten, z. B. der Metallurgie, der

Verfahrenstechnik und der Wärmebehandlung ist gewährleistet, dass die Eigenschaften der Gussteile den steigenden Anforderungen der Gussverbraucher gerecht werden.

Der Einsatz C-gestützter Methoden ermöglicht es, den zur Erstarrungslenkung erforderlichen abgestuften Wärmeentzug auch für komplexe Bauteile zu berechnen und durch Simulieren des Erstarrungsablaufes zu kontrollieren. Ferner kann die Gießtechnik, die einen optimalen Formfüllvorgang hinsichtlich Strömungsverhältnis-

sen und Temperaturverteilung ermöglicht, mit Hilfe der C-Methoden verbessert werden. Leistungsfähige Rechneranlagen einschließlich benutzerfreundlicher Programme stehen heute zur Verfügung.

Durch umfangreiche Normungsarbeit und die ständige Verbesserung und Harmonisierung von Normen und Regelwerken auf nationaler und internationaler Ebene ist sichergestellt, dass die Lieferbedingungen zwischen Hersteller und Verbraucher immer dem neuesten Stand der Technik entsprechen.



Bild 4: Fertigung von Keramikgießform und Kernen für das Bauteil „Produktverteiler“ aus Duplexstahlguss GX2CrNiMoN22-5.

Das Stahlgussteil ersetzt eine Schweißkonstruktion. Durch den Einsatz des Keramikformverfahrens mit Modellen und Kernkästen aus Holz/Kunstharz-Kombinationen konnte eine Kostenersparnis gegenüber der Fügekonstruktion von über 30 % erzielt werden.

Kernfertigung im Kernkasten (oben)
Aus dem Kernkasten entpackter Kern (Mitte)
Formblock beim Abflammen der Schlichte (rechts)



2 Konstruieren mit Stahlguss

Bei jedem Fertigungsverfahren sind seitens der Konstruktion des Bauteils bestimmte Regeln einzuhalten, um zu einer wirtschaftlich und anwendungstechnisch überzeugenden Lösung zu gelangen. Dies trifft auch auf das Gießen zu.

Beim Gießen erfolgt die Formgebung vom Ausgangsmaterial (dem flüssigen Metall) bis zum Werkstück, das in großen Bereichen schon die verwendungsfertige Endform hat, in einem einzigen Fertigungsschritt. Dies gibt dem Konstrukteur die größte Gestaltungsfreiheit, die nur durch wirtschaftliche oder fertigungstechnische Einschränkungen Grenzen gesetzt sind. Das Optimum ist hier nur zu erzielen, wenn eine frühzeitige Kontaktaufnahme des Konstrukteurs mit dem Gießer erfolgt. In frühen Stadien eines Projektes ist eine gießgerechte Konstruktion, die alle Vorteile vereint, auch für sehr anspruchsvolle Gussteile zu finden. Dies wirkt sich auch auf die anschließende Produktionszeit eines Bauteiles positiv aus (Bild 5).

Durch die Verwendung von CAD-Systemen und Simulationsprogrammen gehören heute Begriffe wie Simultaneous Engineering zur täglichen Realität in Stahlgießereien. So werden in den Gießereien Zeiten zum Erstellen der Modellein-

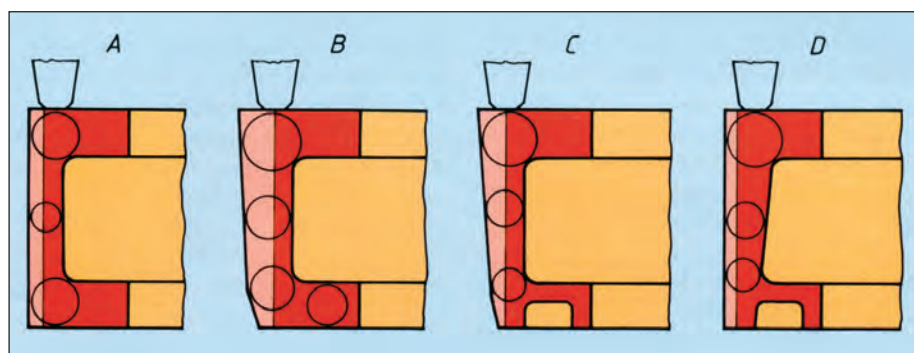


Bild 6: Gestaltung eines Stahlgussteiles nach der Heuvers'schen Kreismethode
A - ungünstige Wanddickengestaltung
B - gießtechnisch möglich, jedoch hoher Bearbeitungsaufwand
C - richtige Auslegung der Wanddicke ohne hohen Bearbeitungsaufwand
D - optimal hinsichtlich des Bearbeitungsaufwandes, wenn die Materialzugabe an der Innenkontur nicht stört und verbleiben kann

richtung und zum Auslegen der Gießtechnik stark reduziert. Stellt der Konstrukteur dreidimensionale Datensätze zur Verfügung, so können diese von der Gießerei dazu verwandt werden, nach einer Anpassung am CAD-Arbeitsplatz eine Simulation der Gießtechnik durchzuführen. Durch eine solche Simulation kann die Gießtechnik ohne Zeitverluste optimiert werden. Das Ergebnis ist eine prozesssichere Fertigung von entsprechend hochwertigen Gussteilen. Weitere Möglichkeiten bietet die

Simulation bei der Spannungsberechnung, der Berechnung der Elementverteilung im erstarrten Gussteil und der Verteilung der Mikroporosität.

Eine gute Konstruktion zeichnet sich neben der Erfüllung der Bauteilaufgabe auch durch eine fertigungsgerechte Gestaltung aus. Eine erfolgreiche Zusammenarbeit von Gießer und Konstrukteur führt deshalb letztendlich zur Kosten optimierten Herstellung des Gussteils, was mit Einsparungen bei der Modellfertigung beginnt und sich über die eigentliche Fertigung des Gussteils bis zu seiner Fertigbearbeitung fortsetzt. Hier sind die Fachleute der Gießereien als kompetente Berater der Konstrukteure zu sehen.

Die Herstellung einwandfreier Gussteile aus Stahlguss ist an das Einhalten einiger fundamentaler geometrischer Gestaltungsmerkmale gebunden [3, 4, 5]. Es ist auf eine gerichtete Erstarrung hinzuwirken. Abrupte Änderungen der Wanddicken sowie Materialanhäufungen sind zu vermeiden. Radien sollten an die Stelle von eckigen Konstruktionen treten.

In den Bildern 6 bis 8 werden Beispiele angeführt, wie konstruktive Grundelemente gießgerecht gestaltet werden können.

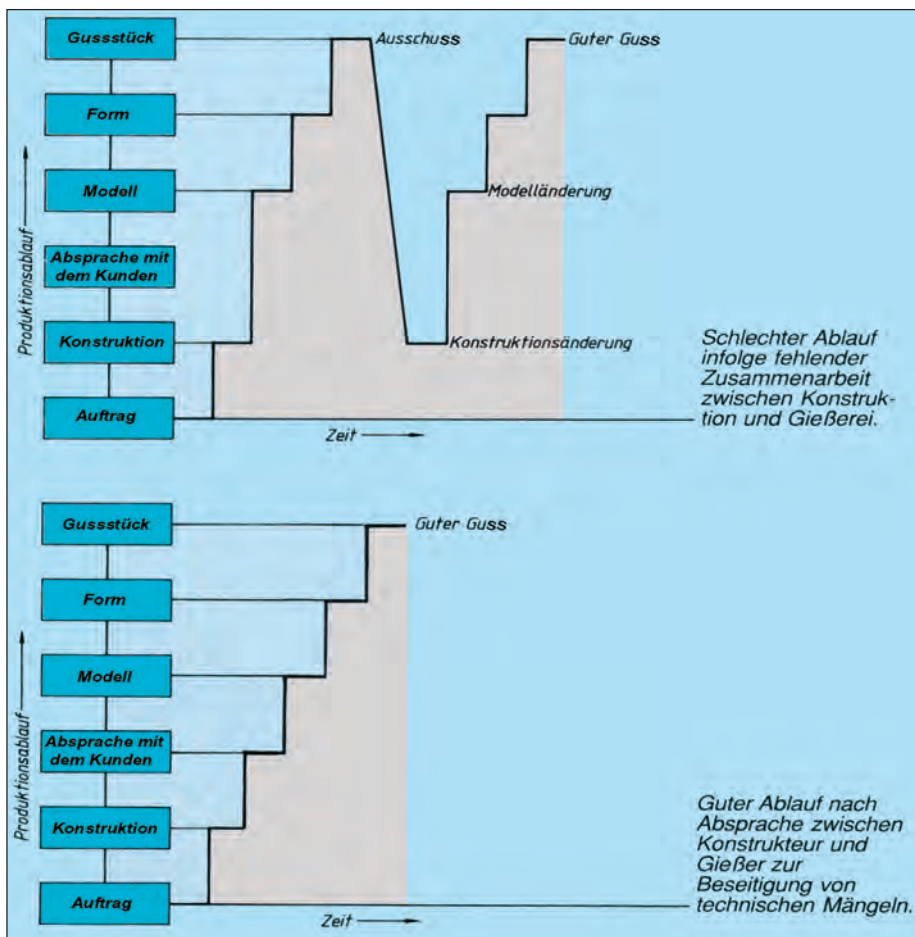


Bild 5: Einfluss des Produktionsablaufes auf Fertigungszeit und -kosten (nach [2])

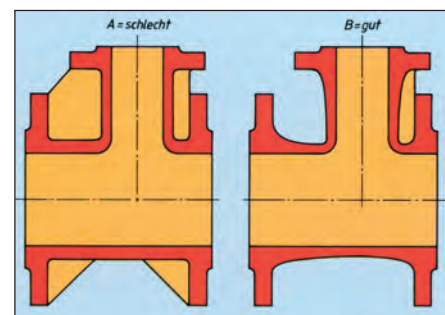


Bild 7: Armaturengehäuse in ungünstiger Konstruktion mit gleichmäßigen Wanddicken (Variante links); der konische Verlauf bei Variante rechts gewährleistet eine gerichtete Erstarrung der Schmelze (nach [6])

Die wirtschaftliche Gußkonstruktion

Vieles kann man mit Gußwerkstoffen optimal konstruieren, denn „Gießen heute“ – das bedeutet ausgereifte Metallurgie mit sicher beherrschter Formtechnik.

Ungünstig

Scharfkantige Querschnittsübergänge: Gefahr von Rissen und Gefügauflockerungen, ungünstiger Spannungsverlauf

Ungünstige Geometrie führt bei Werkstoffen mit höherer Druck- als Zugfestigkeit zu Zugspannungen

Unnötige Materialanhäufung, Lunker Gefahr

Ungünstige Form bei spröden Werkstoffen: Zugspannungen in der Rippen spitze

Schwierigkeiten beim Bearbeiten: kein Werkzeugauslauf

Beidseitiger Bearbeitungsauslauf in dieser Form gießtechnisch nicht auszuführen

Sternverrippung führt zu unerwünschter Materialanhäufung

Ungünstige Lage der Rippe bei Werkstoffen mit höherer Druck- als Zugfestigkeit

Werkzeugein- und -auslauf nicht senkrecht zur Bearbeitungsachse: Verlauf des Werkzeuges

Kreuzverrippung führt zu Materialanhäufung mit Gefügauflockerung im Knotenpunkt

Ungünstiger Spannungsverlauf, Biegespannungen

Aufwendige Bearbeitung, Materialanhäufung

Richtig

Alle Übergänge verrundet: dichtes Gefüge, keine Spannungsspitzen

Durch geänderte Form Umwandlung von Zug- in Druckspannungen

Das Zusammenführen mehrerer Rippen zu einer Ringrippe vermeidet Materialanhäufung

Keine Materialanhäufung, dichtes Gefüge

Beanspruchungsgerechte Rippenform bei Zugspannungen und spröden Werkstoffen

Durch vorgegossenen Werkzeugauslauf einfache Bearbeitung (wenn ohne Kern zu gießen)

Bei beidseitigem Bearbeitungsauslauf ist es günstiger, ihn spanabhebend herzustellen

Beanspruchungsgerechte Lage der Versteifungsrippe – sie steht jetzt unter Druckspannung

Werkzeugein- und -auslauf senkrecht zur Bohrungsachse, kein Werkzeugverlauf

Versetzte Verrippung, auch Diagonalverrippung, löst Materialanhäufung auf

Günstiger Spannungsverlauf, Druckspannungen

Einfache Bearbeitung, Materialeinsparung

Bild 8: Wichtige Grundregeln zum gießgerechten Gestalten von Gussteilen links: fertigungstechnisch ungünstige Ausführung mit hohem Eigenspannungsanteil rechts: gießtechnisch angepasste, spannungsminimierte Ausführung

Weiteres Informationsmaterial zum gießgerechten Konstruieren ist bei der Zentrale für Gussverwendung in Düsseldorf erhältlich [4 bis 7].

3 Gießtechnik

Unter Gießtechnik fasst man die im Vorfeld der Formherstellung und des Abgießens notwendigen Maßnahmen zusammen, die Voraussetzung für den erfolgreichen Abguss eines Stahlgussstückes sind. Damit werden einerseits das schnelle Füllen der Gießform, andererseits das sogenannte Speisen des Gussstücks beim Abkühlen und Erstarren der Schmelze gesichert.

Beispielsweise muss für ein 20 t schweres Werkstück in weniger als einer Minute etwa 40 t flüssiger Stahl vergossen sein (**Bild 9**), entsprechend ist das Anschnittsystem auszulegen. Das Speisen gleicht das Volumenschrumpfen von 6 bis 8 % aus, das während der Phasenumwandlung des vergossenen Stahls vom flüssigen in den festen Zustand auftritt. Damit lässt sich die Gießtechnik unterteilen in die Anschnitt- und Speisetechnik [10].

3.1 Anschnitttechnik

Die Anschnitttechnik befasst sich mit dem sachgerechten Füllen der Gießform. Dazu wird für jedes Gussstück ein spezielles Anschnittsystem oder auch Gießsystem entworfen, das bei der Formherstellung in der Gießerei entsprechend ausgeführt wird. Das Gießsystem besteht im allgemeinen aus einem Trichter, einem oder mehreren Läufen und Anschnitten. Das Gießsystem ist Bestandteil der Modelleinrichtung oder kann nach dem Baukastenprinzip aus feuerfesten Kanalsteinen aufgebaut sein.

Das Gießsystem hat die Aufgabe, den flüssigen Stahl aus der Gießpfanne zu übernehmen und in der Form zu verteilen.

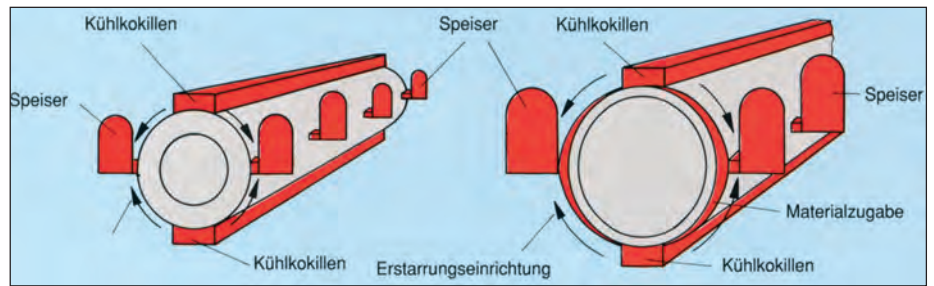


Bild 10: Durch Kühlkokillen, Speiser und/oder Materialzugaben wird ein gerichtetes Erstarren der Schmelze in der Gießform erzielt - Beispiel links: an einem dickwandigen Gussteil; Beispiel rechts: an einem dünnwandigen Rohrteil

Die Querschnitte der verschiedenen Teile des Gießsystems sind exakt aufeinander abgestimmt, berechnet nach den klassischen Grenzen der Hydromechanik (Bernoulli'sche Gleichungen), um trotz möglichst schneller Formfüllung weitgehend laminare Strömung zu gewährleisten. Man sieht es heute als sehr wichtig an, durch schnelles, ruhiges Formfüllen eine möglichst gleichmäßige Temperaturverteilung in der Form zu erreichen.

3.2 Speisetechnik

In seinen grundlegenden Untersuchungen hat N. Chvorinov die Abhängigkeit der Erstarrungszeit eines Gussstückes von seinem Volumen und seiner Oberfläche nachgewiesen. Er führte den Begriff Modul als quantitative Beziehung zwischen der Erstarrungszeit und dem Volumen/Oberflächenverhältnis ein. Diese Verfahrensweise wurde bis heute ständig verfeinert. Die Methoden der „gelenkten Erstarrung“ und zur „Sättigungslänge“ sind hier bezüglich dem Dichtspeisen von Gussstücken von besonderem Interesse.

Die gelenkte oder gerichtete Erstarrung verläuft vom Gussstück zum Speiser, wobei selbstverständlich die Module zum Speiser hin kontinuierlich größer werden müssen, denn er soll schließlich zuletzt erstarren. Die auf funktionalen Berechnungen basierende geometrische Gestalt eines Gussstücks ermöglicht meist kein gelenktes Erstarren. Um dies doch zu erreichen, muss der Gießer geeignete Maßnahmen anwenden, wie Ändern der Geometrie durch Überschnitte (Materialzugaben), Anlegen von Kühlkörpern, Verwenden exothermer Massen, Zerlegen des Gussstücks in mehrere unabhängige Speisungsbereiche mit entsprechenden Speisern. Im **Bild 10** wird dies schematisch an zwei rohrförmigen Körpern mit dickwandigem beziehungsweise dünnwandigem Querschnitt und im **Bild 11** an einem Holzmodell gezeigt. An dem Gussstück im **Bild 3** sind ebenfalls die gießtechnischen Elemente gekennzeichnet, die in der Gießerei durch Trenn- und Nachbehandlungsarbeitsgänge entfernt werden.

Die hier beschriebenen Verfahren werden heute Rechner gestützt angewendet und können so bereits in einem frühen Stadium der Konstruktion genutzt werden.



Bild 9: Abguss eines großen Stahlgussstücks mit mehreren Pfannen



Bild 11: Holzmodell für ein Dampfturbinengehäuse mit eingezeichneter Gießtechnik

3.3 Computergestützte Methoden und Simulationstechniken

Aufgrund der rasanten Entwicklung in der Computer- und Informationstechnologie, sowohl im Software- als auch im Hardwarebereich, haben sich in relativ kurzer Zeit numerische Anwendungen zur Simulation in den verschiedensten Prozessen der Gießereitechnik etabliert. Es ist heute möglich, Zeichnungsdaten in digitaler Form vom Kunden als dreidimensionales Modell zu übernehmen und sowohl für die Produktion, als auch für die Simulation in den verschiedensten Bereichen zu verarbeiten [8, 9].

Die C-Techniken (CAD/CAE/CAM) haben in den wesentlichen Prozessen der Stahlgussherstellung Einzug gehalten.

3.3.1 CAD

Vom Kunden kann eine Zeichnung über eine CD oder über das Internet als 3-D-Daten-

file in das gießereieigene CAD-System transferiert werden. Damit können die gießtechnischen Ergänzungen (Schrumpfungszugabe, Keilanzüge, Speiser, Speiserverbindungen, Rippen, Kühleisen usw.) auf der bestehenden Zeichnung ergänzt werden. Ein Beispiel eines dreidimensionalen CAD-Modells als Basis für ein Simulationsprogramm ist im **Bild 12** zu sehen.

3.3.2 CAE

Das mit CAD erstellte Modell wird in den Pre-Prozessor für die Simulationsanwendungen transferiert, wo die Netzelemente nach bestimmten Vorgaben automatisch generiert werden.

Mit der Methode der Finiten Elemente (FEM) oder der Methode der Finiten Differenzen (FDM) werden diese Netzelemente mit komplexen Differentialgleichungen verarbeitet. Damit kann in jedem definierten Element des Netzes der Verlauf von

verschiedenen Größen wie Temperatur, Spannung, Dehnung, usw. bestimmt werden. Im **Bild 13** ist der Spannungszustand eines Gasturbinegehäuses für einen bestimmten Zeitpunkt während der Erstarrung und im **Bild 14** der dazugehörige Dehnungszustand abgebildet.

Mit eingebauten Algorithmen, wie beispielsweise dem Warmrisskriterium, kann direkt auf das Warmrissverhalten geschlossen und für das Auftreten von Warmrissen kritische Bereiche identifiziert werden. Darstellbar ist auch das Temperaturfeld in jedem beliebigen Schnitt eines Gussteiles zu verschiedenen Zeitpunkten während der Erstarrung. Dadurch werden Problembereiche am Gusskörper früh erkannt und es können entsprechende gießtechnische Gegenmaßnahmen getroffen werden. Es ist aber auch möglich, den Temperaturverlauf beliebiger Kontrollpunkte während der Erstarrung darzustellen. Im **Bild 15** wird die Temperaturverteilung zu

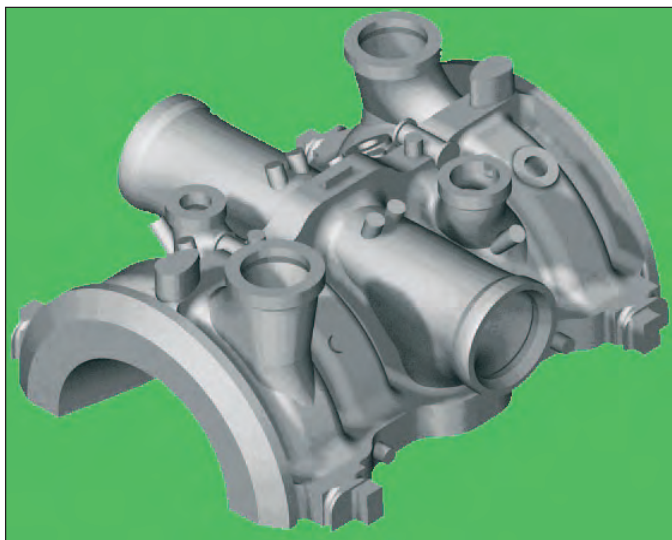


Bild 12: 3-D-CAD-Modell einer Innengehäusehälfte (60 t)

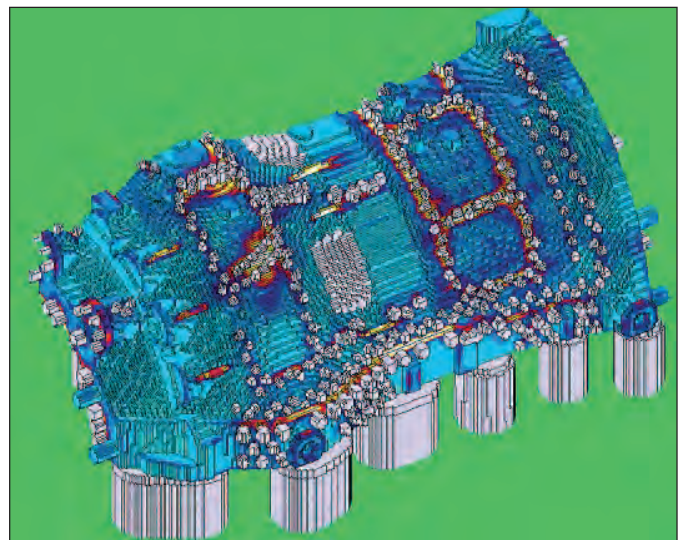


Bild 13: Spannungszustand (von-Mises-Vergleichsspannung) während der Erstarrung

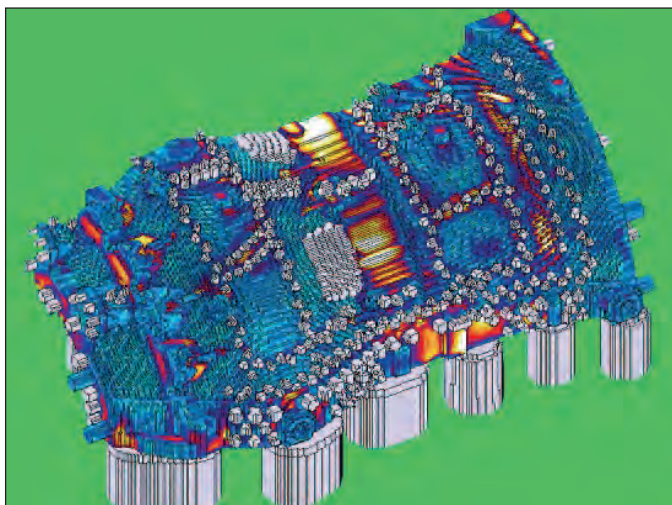


Bild 14: Dehnrate während der Erstarrung

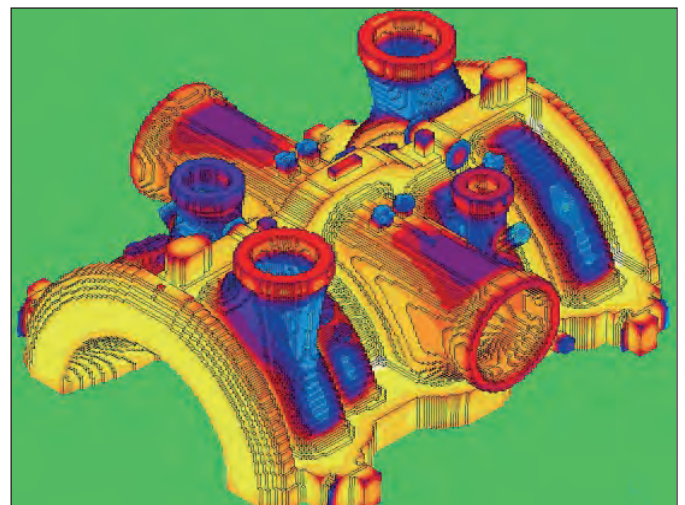


Bild 15: Temperaturfeld während der Erstarrung

einem festen Zeitpunkt während der Erstarrung gezeigt.

Bis vor kurzem beschränkten sich die Simulationstechniken auf die Simulation von Schrumpfungen und des Füllvorganges. Seitdem hat sich das Anwendungsgebiet der Simulationsprogramme enorm erweitert und heute können nun auch Spannungen während der Erstarrung und der Wärmebehandlung simuliert werden. Das ergibt nicht nur Aufschluss über ein mögliches Warmrissverhalten bei der Erstarrung (**Bilder 13 und 15**), sondern auch über Temperatur- und Spannungsverteilung im Gussstück während der Wärmebehandlung.

Weiterhin ist es bereits möglich, die Entwicklung des Mikrogefüges in groben Zügen (Hauptgefügeanteile Ferrit, Perlit, Martensit) und der mechanischen Eigenschaften zu simulieren. In den **Bilder 16 und 17** ist der Spannungszustand eines Ventilgehäuses zu einem bestimmten Zeitpunkt bei der Wärmebehandlung dargestellt.

Das Vorhandensein der thermophysikalischen und thermodynamischen Parameter für die zu simulierenden Werkstoffe in Abhängigkeit der Temperatur sowie die entsprechenden Zeit-Temperatur-Umwandlungs(ZTU)Schaubilder in digitaler Form sind Voraussetzungen für sinnvolle Ergebnisse. Entsprechendes theoretisches Wissen, praktische Erfahrung und gute Handhabung der Simulationssoftware sind notwendig, um die Ergebnisse interpretieren zu können.

In manchen Fällen ist es notwendig, eine Finite-Elemente-Berechnung der Spannungen für das Gussstück unter Einsatzbedingungen durchzuführen. Besonders im Offshore-Bereich wird dies von der Gießerei organisiert. Das mit Hilfe der gießtechnischen Berechnungen und Simulationen optimierte Design wird an ein Ingenieurbüro übergeben, welches die entsprechenden Rechenmodelle der Finite-Elemente-Methode zur Spannungsbeurteilung anwendet.

3.3.3 CAM

Das wie oben beschrieben entwickelte, endgültige CAD-Modell kann nun über bestimmte Schnittstellen für CNC-gesteuerte Maschinen weiter verwendet werden, zum Beispiel im Modellbau (**Bild 18**), in der Maßkontrolle oder bei der mechanischen Bearbeitung.

Voraussetzung für die durchgängige vernetzte Anwendung computergestützter Methoden ist, dass die verschiedenen Anwendungsprogramme (von CAD über Prozesssimulationen bis hin zu CAM) gut aufeinander abgestimmt sind, so dass die

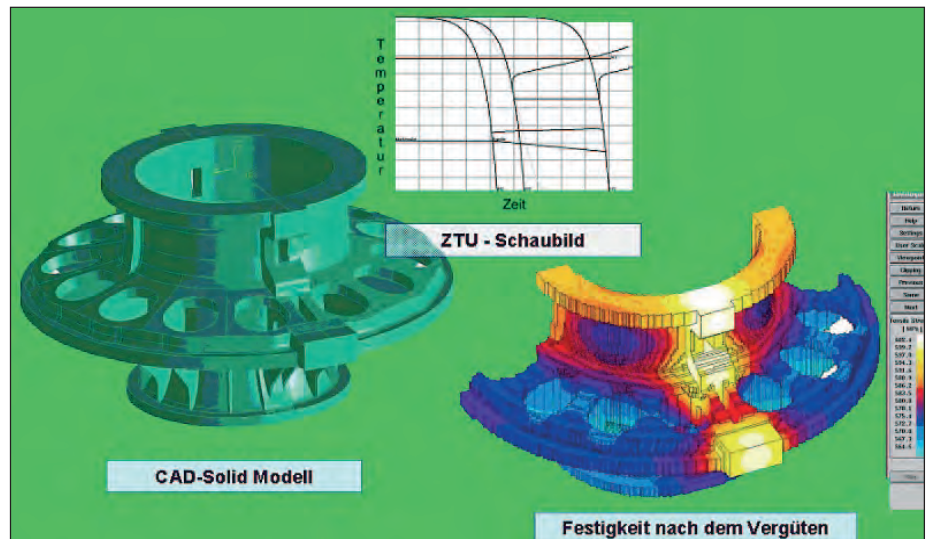


Bild 16: Gefüge und mechanische Eigenschaften während der Wärmebehandlung

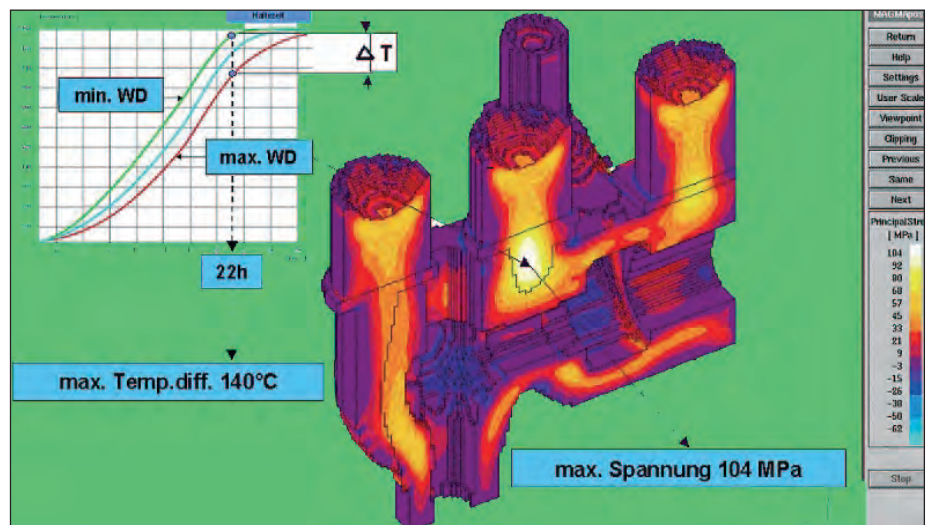


Bild 17: Spannungen während der Wärmebehandlung



Bild 18: CNC-gesteuerte Modellfräsmaschine

entstehenden Daten über einfache Schnittstellen zwischen den Systemen transferiert werden können. Einige Hersteller solcher Systeme haben sich auf Gießereitechnik und Simulation von Prozessen in der Gießerei spezialisiert.

Für viele technische Prozesse in der Gießerei gibt es spezielle Simulationsanwendungen. Besonders in den Bereichen Schweißtechnik, Wärmebehandlung und

Schmelztechnik sind bereits ausgereifte Anwendungen für den Betriebsingenieur am Markt erhältlich. Weiterhin werden zur Lösung spezieller Probleme mit konkreten Anforderungen analytische Methoden angewendet, wie sie heute in vielen Bereichen der Werkstoff- und Schweißtechnik Verwendung finden. Dabei ist eine Gießerei oft auf die Zusammenarbeit mit Universitäten und Instituten angewiesen, die auf Prozessmodellierung spezialisiert sind.

3.4 Sonderverfahren

Der Bedarf an hochwertigen Stahlgussteilen mit hoher Oberflächengüte nimmt ständig zu. Die Erhöhung der Wirkungsgrade aller Motoren, Turbinen, Pumpen und Verdichter, die Steigerung der Gestaltfestigkeit sowie die Reduzierung der Gewichte insbesondere bewegter Komponenten sind wirtschaftlich und ökologisch motiviert. Dies betrifft alle Branchen des Kraftwerks-, Anlagen- und Maschinenbaus und in steigendem Maße auch die der Kraftfahrzeugindustrie [10].

Hiermit steigen auch die Anforderungen, die an die Bauteile gestellt werden, wie die

- Korrosionsbeständigkeit,
- Hitzebeständigkeit,
- Steigerung der mechanischen Eigenschaften,
- Fehlerfreiheit der Oberflächen bis Hochglanz polierfähig,
- Erhöhung der Komplexität der Guss-
teilgeometrie,
- Verringerung der Wanddicke.

Diese Anforderungen stellen höchste Ansprüche an die Gießerei. Insbesondere die Metallurgie, die Gießtechnik sowie die Formtechnik sind gefordert, da zunehmend gießtechnisch problematische Werkstoffe wie Duplex-Stähle oder Nickelbasis-Legierungen verarbeitet werden müssen.

Höhere Reinheitsgrade der Schmelzen, der Einsatz hochwertiger Formstoffe und die simulationsgestützte Auslegung der Gießtechnik führen zu hochwertigen Gussteiloberflächen und schaffen die Basis für eine ausgeklügelte Gefügekontrolle der Werkstoffe. Mit speziellen Formtechniken sind solche hochwertigen Stahlgussteile heute herstellbar.



Bild 19: Hochverschleißfeste Feingussteile aus CrV-Stahl für Anwendungen unter extremen Einsatzbedingungen

3.4.1 Feingießverfahren

Das oft auch als Wachsausschmelzverfahren bezeichnete Feingießverfahren arbeitet im Gegensatz zu den meisten anderen Gieß- und Formverfahren mit verlorenen, ausschmelzbaren Modellen und verlorenen ungeteilten Sand-Keramik-Formschalen. Die hergestellten Gussteile sind meist vorgefertigte Halbfabrikate, die neben sehr guter Oberflächen- und Abblidenauigkeit über einen Endkontur nahen Zustand verfügen, weshalb das Verfahren auch zu den Genaußverfahren gezählt wird. Technisch machbar sind heute komplexe Bauteile von wenigen Gramm bis zu über 100 kg Masse (**Bilder 19 bis 20**).

Die hohe Abblidenauigkeit lässt das Feingießverfahren mit zunehmender Bauteilkomplexität und steigendem Bearbeitungsaufwand wirtschaftlicher werden. Feingussteile haben eine glatte und reproduzierbare Oberfläche, so dass in vielen Fällen auch auf eine Bearbeitung der Guss-
oberflächen verzichtet werden kann. Das ist besonders dann von Vorteil, wenn es sich um schwer zerspanbare Legierungen handelt. Die sehr hohe Maßgenauigkeit und die realisierbaren geringen Rautiefen sind verantwortlich für eine hohe Reproduzierbarkeit in der Serie. Feingussteile sind deshalb auch in vielen Fällen einbaufertige Teile, die in größeren Stückzahlen gefertigt werden. Die engen Toleranzen und hohe Oberflächengüte lassen zudem eine Minimierung des Bearbeitungsaufwandes zu.

Je nach Anforderung können die Gussteile durch Wärme- und Oberflächenbehandeln sowie auch durch mechanische Be-

arbeitung in der Gießerei an die Funktionalität und die Einsatzbedingungen angepasst werden.

Im Bauteilentwicklungsprozess ermöglicht das Feingießen dem Konstrukteur ein Höchstmaß an gestalterischem Spielraum. Die Restriktionen für die Formenfertigung mit Dauermodellen gelten nicht, so dass Bauteile wirtschaftlich herstellbar sind, die auch über Hinterschnidungen und hochkomplexe Konstruktionsdetails verfügen. Der Einsatz von Kernen für die Gestaltung von komplexen Innenräumen, engen Schlitzen, tiefen Bohrungen mit geringem Durchmesser und engen kompliziert gestalteten Hinterschnidungen ist möglich. Spezielle Informationen zu den konstruktiven Potenzialen des Feingusses sind in dem VDG-Merkblatt P 690 [11] enthalten.

Neben keramischen Kernen, die in der Form mit abgegossen werden, kommen auch wasserlösliche Kerne zum Einsatz, die noch vor der Modellmontage entfernt werden und dann zum Einsatz kommen, wenn bei der Formenfertigung Hinterschnidungen oder andere schwer zu entfernende Formteile vorhanden sind.

Alle metallischen Werkstoffe können feingegossen werden, so auch alle Stahlgussorten. Die Feingießereien sind schmelztechnisch deshalb in der Lage, eine breite Palette an unterschiedlichen niedrig und hoch legierten Stahlgussorten zu fertigen.

Diese breite Werkstoffpalette und die verfahrensbedingten Qualitätsvorteile haben dazu geführt, dass Feingussteile heute in allen Industriezweigen Einsatz finden, so auch in den Spezialbereichen Luftfahrt sowie Medizin- und Implantattechnik. Diese Entwicklung basiert im wesentlichen auf den folgenden Forderungen der Verbraucher [12]:



Bild 20: Feingussteil Stator für eine Strömungsbremse (Retarder) mit 320 mm Dmr. aus GX45CrNiW18-9

- Gussstücke aus Sonderwerkstoffen herzustellen, die schon eine fast fertige Kontur besitzen (Near net shape),
- Immer größere Bauteile herzustellen, bei denen der Einsatz von Feingussteilen schwierige und kostenaufwändige Bearbeitungsvorgänge einspart.
- Hochkomplexe Gussteile zu fertigen, die mit anderen Verfahren nicht oder nur aufwändig herzustellen wären.

Das Feingießen bietet dabei folgende Vorteile:

- hohe Maßgenauigkeit und enge Toleranzen,
- hohe Oberflächengüte,
- hohe Gestaltungsfreiheit,
- geringer Bearbeitungsaufwand,
- alle metallischen Legierungen gießbar,
- energiesparendes Fertigungsverfahren durch Verringerung der Anzahl weiterer Bearbeitungsstufen,
- sowohl für Einzelteil- als auch Serienfertigung geeignet.

Die Vorteile des Feingießens lassen sich durch die besondere Eignung des Verfahrens für die Rapid-Prototyping(RP)-Techniken bereits in der Entwicklungsphase und der Kleinserienfertigung nutzen. Generativ gefertigte RP-Modelle für das Feingießen nach den Verfahren Stereolithographie (SL), Selektives Lasersintern (SLS), Fused Deposition Modeling (FDM), 3D-Plotting und Multi Jet Modelling" (MJM) sind prinzipiell einsetzbar.

Die Kombination des Feingießverfahrens nach dem Wachs ausschmelzverfahren mit den oben genannten generativen Fertigungstechniken bietet in allen Bereichen des Rapid Prototypings sowie der Vorserien- und Kleinserienfertigung eine Vielzahl von weiteren Anwendungsmöglichkeiten. Vor allem in den Bereichen Automobilbau, Luft- und Raumfahrt und dem Werkzeugbau sind heute eine Vielzahl von Anwendungsfällen bei der Herstellung von metallischen Prototypen und Werkzeugeinsätzen zu finden.

Zudem erlauben die generativen Verfahren für die CAD-Daten gesteuerte Formgebung der Wachsmodele und die Formenfertigung noch komplexere Bauteilgeometrien in ein anspruchsvolles Gussteil umzusetzen. Damit kommt das Feingießen als Teilefertigungsverfahren den Forderungen nach kürzeren Produktentwicklungszeiten, schnellerer Marktpresenz und wachsenden Qualitätsanforderungen entgegen.

3.4.2 Keramikformverfahren

Das Keramikformverfahren verbindet die Vorteile des klassischen Sandgussverfahrens mit denen des hochpräzisen Feingießverfahrens. Wie beim herkömmlichen Sandgießverfahren werden für die Herstellung der Formen und Kerne geteilte Holz- oder Kunststoffmodelle verwendet. Das bedeutet, dass in vielen Fällen, wenn eine höherwertige Gussteiloberfläche benötigt wird, die vorhandenen Sandguss-Modell-einrichtungen nach geringfügigen Anpassungsarbeiten für das Keramikformverfahren verwendet werden können. Formschrägen und Kernmarken lassen sich übernehmen. Die Anschnitt- und Speisertechnik einschließlich der Erstarrungslenkung wird von der Gießerei verfahrensgerecht angepasst. Vor allem für die Herstellung von hochwertigem Stahlguss als Einzelteile und Prototypen bis zu Kleinserien ist das Verfahren geeignet.

Verfahrenstechnisch folgt das Keramikformverfahren daher im Prinzip den Prozessschritten des Sandformverfahrens. Die Form- bzw. Kernkästen werden mit selbstaushärtenden, hochwertigen, metallurgisch inerten Keramikmassen gefüllt, nach der Aushärtung derselben entformt und getrocknet. Die Herstellung der Kerne erfolgt ähnlich. Sie werden anschließend in den Formen positioniert, diese hiernach zugelegt und bei hohen Temperaturen gebrannt.

Der Abguss erfolgt in an die Gussteilgeometrien angepassten, temperierten Formen. In den **Bildern 21 und 22** sind nach diesem Verfahren gefertigte Gussteile abgebildet. Grundsätzlich sind Bauteile aus allen Legierungen mit dem Keramikformverfahren herstellbar. Bei einigen Sorten, die zur



Bild 21: Düserringe für Turbolader aus hitzebeständigem Stahlguss GXCrNiSi26-10-5 mit einem Radius von 0,5 mm an den Schaufeleintrittskanten

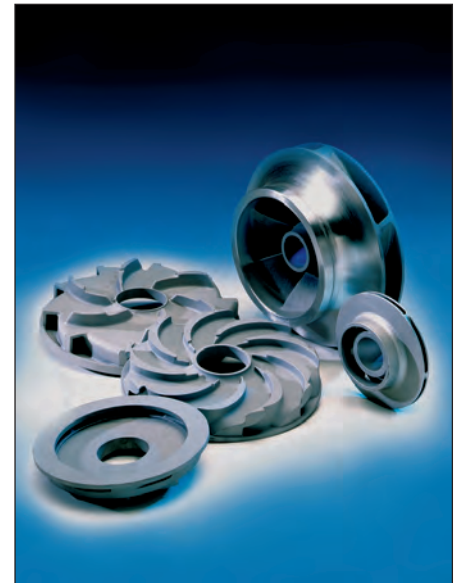


Bild 22: Pumpenlauf- und -leiträder aus verschiedenen korrosionsbeständigen Chrom- und Chrom-Nickel-Stählen mit Abmessungen von wenigen Zentimetern bis zu einem Meter

Randentkohlungen neigen, werden von der Gießerei verfahrenstechnische Maßnahmen durchgeführt, die die Randentkohlungen wirksam unterbinden, zum Beispiel durch das Gießen unter Schutzgasatmosphäre bzw. die Schaffung einer reduzierenden Atmosphäre beim Gießen und Abkühlen der Gussteile.

Das Keramikformverfahren bietet folgende Vorteile:

- hohe Oberflächengüte, gemäß DIN 4762,
- geringer Mittenrauhwert Ra von je nach Geometrie zwischen 3,2 und 12,5 µm (entspricht Rubert N 8 bis N 10),
- Reaktionsprodukt freie Oberflächen,
- emailierfähige Oberflächen,
- geringe Wanddicken,
- hohe Maßgenauigkeit, enge Toleranzfelder, gemäß DIN 1680 Gussallgemeintoleranz-Reihe GTA 16/5.

Das Keramikformverfahren ist einsetzbar:

- bei geringen bis mittleren Losgrößen,
- für Gussteile mit Abmessungen bis etwa 1000 mm Kantenlänge,
- für Gussteile bis zu 1000 kg Gewicht.

Möglich ist auch eine Kombination von Formteilen oder Kernen, die nach dem Keramikformverfahren gefertigt wurden, mit Sandgussformen. Hier lassen sich die Vorteile beider Verfahren kombinieren:

- Glatte, sehr maßgenaue Oberflächen und Konturen in den Bereichen der Keramikoberflächen, die dem Gussteil zugewandt sind,
- Preisgünstigere Herstellung der Sandgussformteile,
- Nahezu keine Begrenzung in den Abmessungen und Gussteilgewichten.

3.4.3 Lost-Foam-Stahlguss

Das Lost-Foam-Verfahren bietet mit seiner einteiligen Form und Verwendung von beim Gießprozess verdampfenden Modellen Möglichkeiten, noch komplexere, kern- und gratlose Gussteile herzustellen, und das zu vergleichsweise günstigen Kosten. Die Entwicklung des Lost-Foam-Verfahrens geht auf ein Patent von H. F. Shroyer aus dem Jahre 1958 zurück. Dieses Verfahren hat bei Aluminium und Gusseisen bereits eine breite Anwendung gefunden. Vor allem in den USA hat das Verfahren wegen seines großen Gestaltungsfreiraumes, der bearbeitungsarmen, weil formteilungs- und kerngratfreien sowie maßgenauen Gussfertigung bei der Herstellung hochkomplexer Gussteile eine große Anwendungsbreite gefunden.

Relativ neu ist dagegen die Anwendung des Verfahrens im Stahlgussbereich. 1987

in Deutschland entwickelt, fertigt auch nur eine Gießerei als einzige im europäischen Raum mit Erfolg Lost-Foam-Gussteile in Serie, die vor allem in den Bereichen Zementanlagenbau, Anlagen zur thermischen Reststoffverwertung und medizinisch-technischer Gerätebau zum Einsatz kommen.

In enger Zusammenarbeit mit dem Gießerei-Institut der RWTH Aachen wurden Verfahrens- und Anwendungstechniken ständig verbessert, wodurch sich die Anwendungsmöglichkeiten dieser speziellen Gussfertigungsart ständig erhöhen und kundenspezifische Lösungen entwickelt werden können (Bilder 23 bis 26).

Bei dieser Entwicklungsarbeit geht es um die Applikation der Vorteile des Lost-Foam-

(Vollform)Verfahrens in das betreffende Stahlgussteil, die wie folgt charakterisiert werden können:

- Fertigung komplexester Geometrien durch kernlose Fertigung, Mitgießen von Bohrungen, Schlitten und Hinterschneidungen,
- Massereduzierungen durch Verringerungen der Wanddicken und die realisierbare große Komplexität der Bauteilgeometrien,
- Einsparung von Bearbeitungsaufwand durch Gratfreiheit und endabmessungsnahes Gießen,
- Verringerung von Fügeaufwendungen durch Fertigung komplexer Integralgussteile anstatt mehrerer Fügeteile.

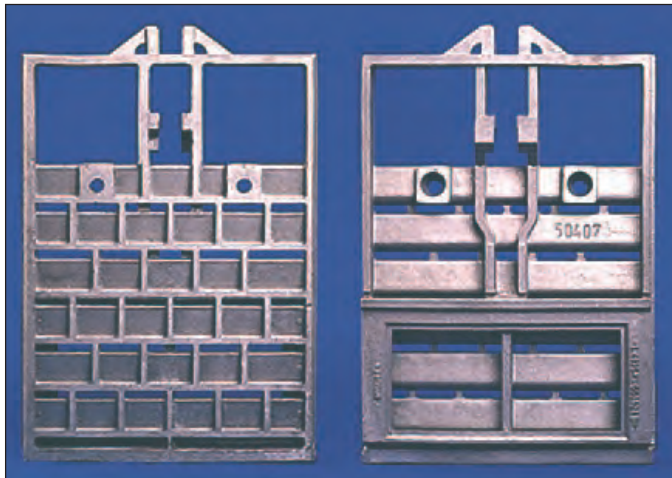


Bild 23: Jet-Stream-Rostplatte (Grundkörper einer Rostplatte für einen Klinkerkühler, Bauart Krupp-Polysius aus hitzebeständigem Stahlguss GX40CrNiSi25-12, Gewicht 10 kg, dünnwandiges Serien-gussteil mit Wanddicken von 6 bis 10 mm



Bild 24: Nockenwelle für Ventiltrieb eines V6-PKW-Motors aus Stahlguss G100Cr6, Machbarkeitsstudie für eine hohlgegossene Nockenwelle mit stark reduzierter Bearbeitungszugabe (teilweise 6 mm), Gewicht 2,1 kg

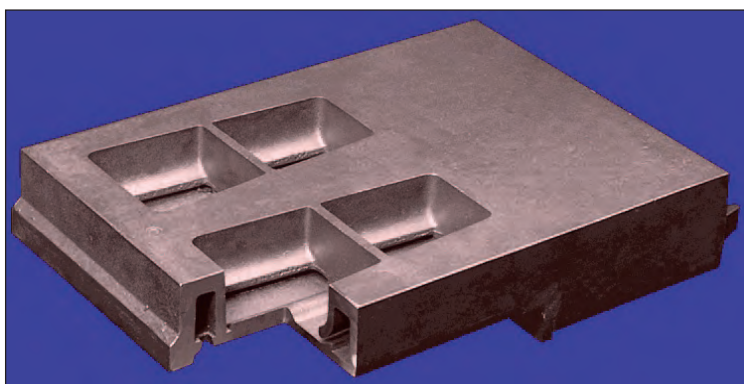


Bild 25: Einzel belüftete Omega-Rostplatte für einen Klinkerkühler, Bauart Humboldt Wedag aus hitzebeständigem Stahlguss GX40CrNiSi25-12, einteiliges Gussteil mit komplexen eingegossenen Luftkanälen, Wanddicke 8 - 12 mm, Gewicht 23 kg

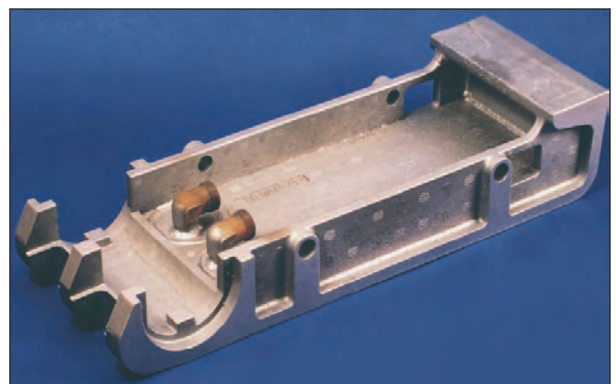


Bild 26: Wassergekühlter Verbrennungsroststab für eine Müllverbrennungsanlage aus hitzebeständigem Stahlguss GX40CrNiSi27-4 mit in der Länge eingegossenen Kühlwasserkälen zur Reduzierung des Verschleißes bei hohen Müllbrennwerten, Gewicht 32 kg, Wanddicke 10 bis 25 mm

4 Erschmelzen von Stahlguss

Bereits das Erschmelzen des Stahls aus den Rohstoffen beeinflusst entscheidend die Qualität des Gussstücks. Von Bedeutung sind nicht nur das Einhalten von Analysen- und Temperaturvorschriften, sondern es lassen sich hier bereits die Fehler erzeugenden Einflussgrößen auf ein Minimum reduzieren. Dies ist Voraussetzung für das Ziel eines fehlerfreien gegossenen Bauteils mit besten Werkstoffeigenschaften, wozu der Stahlgießer mit dem ihm zur Verfügung stehenden Schmelzaggregaten die nötigen Vorkehrungen und metallurgischen Schritte zu treffen hat.

Die Wahl des Schmelzverfahrens für die Herstellung von Flüssigstahl richtet sich nach folgenden Merkmalen:

- dem Stahlsortenprogramm der Gießerei,
- den geforderten Verarbeitungseigenschaften,
- den für die Stückmassen (Einzelguss) bzw. Losgrößen (Serienguss) erforderlichen Flüssigstahlmengen,
- der Rohguss-Produktionsrate der Gießerei,
- der Beschaffbarkeit (und damit den Kosten) von Hilfs- und Betriebsstoffen, z. B. Schrott.

4.1 Schmelzverfahren

In Stahlgießereien wird Stahl vorwiegend im Induktions- oder Lichtbogenofen elektrisch erschmolzen.

Mittelfrequenz-Induktionsöfen mit Einsätzen von 10 kg bis zu 10 t und mehr werden zum Umschmelzen von Stahl aus "kalten" Einsätzen ohne "Sumpf" verwendet. Der frequenzveränderte Strom erzeugt in den Kuperspulen ein elektromagnetisches Wechselfeld, welches im metallischen Einsatzmaterial zum Entstehen von Induktionsströmen (Wirbel- oder Kurzschlussströme) führt. Diese wiederum erzeugen die benötigte Schmelzwärme. Der Stromfluss bewirkt gleichzeitig eine elektromagnetische Krafteinwirkung. Dadurch entsteht beim Einschmelzen und Aufheizen eine frequenz- und leistungsabhängige Badbewegung, die die Legierungsstoffe schnell und homogen im Stahlbad auflöst. Durch diese Vorzüge ist eine hohe Analysensicherheits gegeben.

Aufgrund der kleinen Badoberfläche, die induktiv nicht beheizt werden kann, ist mit dem Induktionsofen eine metallurgische Arbeit in der Regel nicht möglich. Gasreaktionen zum Senken des Kohlenstoff-, Stickstoff- und Wasserstoffgehalts sowie Schlackenreaktionen zum Verringern des Phosphor- und Schwefelgehalts werden in der betrieblichen Praxis nicht nennenswert

Tabelle 1: Durchschnittliche Endgehalte der Begleitelemente von Stahlguss in der Abstichpfanne in Abhängigkeit vom Schmelzaggregat

Begleitelement	Induktionsofen ¹⁾ Stahlgussorte		Lichtbogenofen Stahlgussorte		
	unlegiert/legiert	rostfrei	unlegiert	legiert	rostfrei
Phosphor [Masse -%]	0,013	0,035	0,010	0,012	0,035
Schwefel [Masse -%]	0,011	0,013	0,007 bis 0,012	0,007 bis 0,012	0,012
Stickstoff [ppm]	120 bis 140	300	110	130	300
Wasserstoff [ppm]	4,5 bis 5,5	-	5	5,5	-
Sauerstoff [ppm]	60	80	40 bis 80	40 bis 80	100

¹⁾ Die Werte für den Induktionsofen hängen vornehmlich von der Güte der Einsatzstoffe ab

angewendet. Um die in **Tabelle 1** genannten durchschnittlichen Analysenendgehalte der Begleitelemente zu erreichen, muss ein entsprechend hochwertiger Schrott- und Legierungseinsatz verwendet werden.

Beim Lichtbogenofen wird die elektrische Energie zum Schmelzen von Schrott und Heizen des flüssigen Einsatzes durch direkte Lichtbogenerwärmung eingebracht. Die Energieübertragung an das Einsatzgut erfolgt durch die intensive Lichtbogenstrahlung bei Temperaturen von etwa 4000 bis 6000 K. Der als Drehstrom-Lichtbogenofen gebaute Herdofen mit einem relativ großen Speicherenergiebedarf und dadurch erhöhtem spezifischem Energieverbrauch bei Ein- oder Mehr-Chargen-Betrieb pro Tag kommt überwiegend als Halbportalofen mit Schwenkdeckel und Korbbeschickung zum Einsatz. Zunehmend werden Lichtbogenöfen als Einschmelzaggregat mit nachfolgender Sekundärmetallurgie betrieben.

Für Stahlguss sind Nenngößen ab 2 t im Einsatz. Die Mehrzahl der Öfen liegt bei 5 bis 10 t Nenngöße. Seltener sind wesentlich größere Ofeneinheiten. Unter bestimmten Einsatzbedingungen sind heute selbst mit kleinen Ofengrößen sehr gute Betriebsergebnisse erreichbar.

Aufgrund der direkten, großflächigen Badbeheizung ist eine metallurgische Arbeit sowohl über gaskinetische als auch über schlacken-chemische Reaktionen möglich. Das Einsatzgut Reakt ist wesentlich kostengünstiger, bezüglich Schrottdichte, Stückigkeit und Beschaffenheit sowie wesentlich anspruchsloser und in seiner analytischen Zusammensetzung variabler als der Induktionsofen. Diese Gründe machten den Lichtbogenofen für größere Stahlmengen zum Hauptschmelzaggregat in den Stahlgießereien.

Wie die metallurgischen Möglichkeiten des Lichtbogenofens für das Erschmelzen eines qualitativ sauberen Stahlgusses voll genutzt werden können, ist in **Tabelle 2** an einem detaillierten Verfahrensablauf nach dem Zwei-Schlacke-Verfahren dargestellt. Die mit dieser Schmelzföhrung zu erreichenden durchschnittlichen Analysenendwerte für Begleitelemente enthält **Tabelle 1**.

4.2 Sekundärmetallurgie

Steigende Qualitätsanforderungen hinsichtlich

- besserer mechanischer Eigenschaften bei ungeänderter Stahlgussorte,
- erhöhten Reinheitsgrades und
- sehr enger Analysengrenzen

beeinflussten die schmelzmetallurgischen Überlegungen für die Stahlgussherstellung. Die in den Großstahlwerken bewährten Nachbehandlungsanlagen wurden auf die für Stahlguss spezifischen Bedingungen modifiziert. Dabei wird im Induktions- und Lichtbogenofen nur noch der Schrott geschmolzen sowie die metallurgische Arbeit des Entphosphorens durchgeführt. Die weiteren Prozessschritte des Entkohlens, des Entgasens, der Desoxidation und des Entschwefelns übernehmen die Nachbehandlungsanlagen. In der betrieblichen Praxis haben sich für die Stahlgussherstellung durchgesetzt:

- für kleinere Schmelzeinheiten der Vakuum-Induktionsofen (VIO),
- für größere Abstichmassen der AOD-

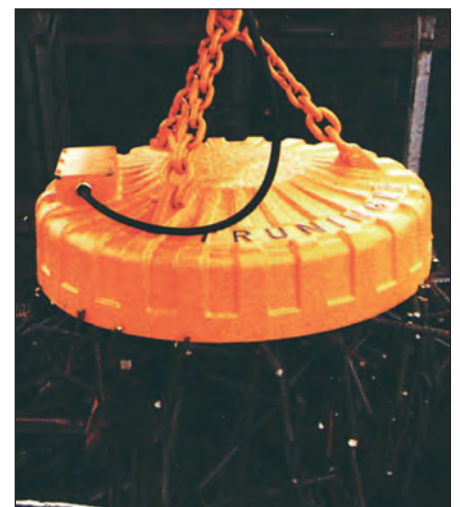


Bild 27: Nahezu ausschließlich aus Schrott und Kreislaufmaterial wird Stahlguss erschmolzen. Da die Gussteile nach Gebrauch vollständig dem Stoffkreislauf durch Erschmelzen wieder zugeführt werden, ist Guss Rohstoffe und Umwelt schonend.

(Argon-Oxygen-Decarburization)- oder MRP (Metal-Refining-Process)-Konverter und der geschlossene VOD (Vacuum-Oxygen-Decarburization)-Konverter (VARP-Verfahren).

Die Entwicklung beider Verfahren resultiert aus den Forderungen bei der Herstellung hochlegierter Chrom-Nickel-Stähle. Es war hierbei das Ziel, mit hoch Kohlenstoff haltigen, kostengünstigen Einsatzstoffen zu arbeiten und anschließend die Schmelze durch Sauerstoffzufuhr auf niedrigste Gehalte (< 0,03 % C) zu entkohlen.

Die **Bilder 28 a** und **b** zeigen das Füllen und das sogenannte Blasen eines Konverters. Beide Verfahren basieren auf den gleichen metallurgischen Grundlagen und erhalten auch vergleichbare Ergebnisse. Das Endprodukt des Konverterverfahrens ist, wie die **Tabellen 3** und **4** zeigen, ein Stahlguss

- höchster Reinheit,
- mit niedrigstem Sauerstoff-, Schwefel-, Stickstoff- und Wasserstoffgehalt,
- optimaler Homogenität sowohl in Temperatur als auch chemischer Zusammensetzung durch die starke Badbewegung.

Da bei den Konverterverfahren die Reaktionen fast stöchiometrisch ablaufen, ist das Einstellen enger Analysengrenzen aller Elemente gegeben.

Vertiefende Informationen zu metallurgischen Aspekten des Gießens enthält [10].



Bild 28: Füllen eines VARP-Konverters (oben) und Blasen eines AOD-Konverters (unten) für die Sekundärmetallurgie bei der Stahlerzeugung

Tabelle 2: Verfahrensablauf für das Erschmelzen von unlegiertem und legiertem Stahlguss im Lichtbogenofen (Zwei-Schlacken-Verfahren) und anschließende Pfannenbehandlung

Verfahrensschritt	Metallurgischer Prozess	Temperatur	Analysenablauf
I. Einschmelzen: Einsatz: Schrott, ggfs. Legierungsmittel, Kalk, ggf. zusätzlich Erz, Kohle (Sollwert + ~ 0,6 %)	Schmelzen, ggf. mit Sauerstoffunterstützung bei starker Entstaubungsanlage		Schrott: ~ 0,035 % P ~ 0,030 % S
II. Frischperiode Zugabe von Kalk und Erz Sauerstoff-Blasen Abschlacken Zugabe von Aluminium und Silicium	Entphosphoren: $3P_2 + 3CaO + 5Fe_2O_3 \rightarrow 3CaOP_2O_5 + 10Fe$ Entkohlen: $C + O \rightarrow CO/(CO_2)$ Entgasen: durch Bilden von CO/CO_2 werden N_2 und H_2 entfernt Abziehen der oxidreichen (schwarzen) Schlacke Vordesoxidation durch Abbinden des freien Sauerstoffs in der Schmelze	1540 - 1580 °C bis 1640 °C	Schmelze: C: unterer Sollwert P: < 0,008 % S: ~ 0,017 % H_2 : ~ 3,5 ppm N_2 : ~ 60 ppm
III. Feinungsperiode: Aufgabe von Kalk, Schlacke elektrisch „dünn fahren“. Rühren zum Durchmischen von Stahl und Schlacke Zugabe von geringen Mengen Kohlenstoffgries und ggf. Legierungsmitteln	Entschwefeln: $FeS + CaO \rightarrow CaS + FeO$ (weiße Schlacke) Reduktion der Oxide in der Schlacke; Aufnahme von Wasserstoff und Stickstoff durch Kalk, die Ofenatmosphäre und den ionisierten elektrischen Lichtbogen	~ 1670 °C	Schmelze: P: < 0,012 % S: ~ 0,012 % H_2 : ~ 45 ppm N_2 : ~ 80 - 120 ppm
IV. Abstich: Zugabe von Aluminium in die Pfanne Mitlaufen der Feinungsschlacke beim Abstich Messen des Sauerstoffgehalts Argon-Spülung in der Pfanne	Enddesoxidation und Einstellen des Aluminium-Sollwertes Entschwefeln in der Pfanne: Durchmischen von Schlacke und Stahl Bei zu hohen Sauerstoffwerten entsprechende Zugabe von zusätzlichem Aluminium Homogenisieren der Stahlguss-temperatur; Aufspülen von nichtmetallischen Einschlüssen und deren Aufsteigen in die Pfannenschlacke	1640 °C 1580 °C	Schmelze: O: 6 - 12 ppm P: ≤ 0,014 % S: ≤ 0,010 % H_2 : ~ 5 ppm N_2 : ~ 90 - 130 ppm

Tabelle 3: Gehalte an Begleitelementen von Konverter behandeltem unlegiertem und legiertem Stahlguss (B - Beginn und E - Ende der Behandlung)

Konverter	Phosphor [Masse - %]	Schwefel [Masse - %]		Stickstoff [ppm]		Wasserstoff [ppm]		Sauerstoff gelöst [ppm]		Aluminium [Masse - %]
	B, E ¹⁾	B	E	B	E	B	E	B	E	E
MRP, AOD	< 0,015	> 0,015	0,001	120	40	> 6	2	200	5	0,025 - 0,040
VOD (VARP)	< 0,015	> 0,015	0,001	120	< 40	> 6	< 2	200	5	0,020 - 0,045

Tabelle 4: Endgehalte der Begleitelemente von Konverter behandeltem hochlegiertem, rost-, säure- oder hitzebeständigem Stahlguss

Konverter	Kohlenstoff [Masse - %]	Schwefel [Masse - %]	Sauerstoff gelöst [ppm]	Wasserstoff [ppm]	Stickstoff [ppm]
MRP, AOD	< 0,030	< 0,003	10	3	< 200
VOD (VARP)	< 0,010	< 0,003	10	< 3	< 100

5 Wärmebehandeln

Stahlguss wird mit wenigen Ausnahmen immer wärmebehandelt (**Bild 29**). Dabei werden folgende Ziele angestrebt:

- Vermindern der erstarrungsbedingten Seigerungen, hauptsächlich bei größeren Gießquerschnitten,
- Kornfeinen des relativ grobkörnigen Erstarrungsgefüges bei umwandlungsfähigen Sorten,
- Erzielen der legierungsabhängigen Werkstoffeigenschaften durch qualitätsbestimmendes Wärmebehandeln.

Im Vergleich zu den umgeformten Stählen sind die Haltezeiten beim Wärmebehandeln von Stahlguss im allgemeinen länger, was dem gewünschten Diffusionsausgleich der Seigerungen sowie den meist größeren Wanddicken entgegenkommt. Im übrigen besteht bezüglich der legierungstechnisch erforderlichen Wärmebehandlungsschritte zwischen umgeformtem und gegossenem Stahl kein grundsätzlicher Unterschied.

Die Ofeneinrichtungen zum Wärmebehandeln sind in der Mehrzahl leicht isoliert und werden über eine Vielzahl gleichmäßig verteilter, vorwiegend rechnergesteuerter Kleinbrenner beheizt. Dies gewährleistet das exakte Einhalten der Aufheiz- und Abkühlkurven und während der Haltezeit eine gleichmäßige Temperaturverteilung im Ofen, auch bei stark wechselnder Belegungsdichte.

Kurze Wege zu den Abschreckbädern begünstigen das Einhalten einer gleichmäßigen Abschrecktemperatur am ganzen Gussstück (**Bild 30**). Mögliche Maßabweichungen durch Verzug oder Verzundern der Oberfläche werden durch entsprechende Maßnahmen wie zum Beispiel Auflagen im Glühofen oder Maßzugaben kontrolliert. Da üblicherweise nicht in Schutzgasatmosphäre wärmebehandelt wird, weist die Randschicht meist eine legierungsabhängige Entkohlungszone auf.

Die nachfolgend beschriebenen wichtigsten Wärmebehandlungsverfahren beziehungsweise -schritte können je nach Werkstoffgruppe oder Gussstückkategorie teilweise entfallen oder werden miteinander kombiniert. Eine Übersicht der Temperaturlagen beim Wärmebehandeln von unlegiertem Stahlguss wird im **Bild 29** gegeben.

5.1 Vorbereitendes Wärmebehandeln

Zu den vorbereitenden Wärmebehandlungsverfahren gehören unter anderem das Diffusionsglühen, das Normalglühen, das Weichglühen und das Spannungsarmglühen. Angestrebt werden die im Folgenden aufgeführten Ziele:

- Ausgleich von Kristallseigerungen,
- feineres Ausgangsgefüge für ein nachfolgendes Vergüten,

- Senken des Risikos der Rissbildung beim thermischen Bearbeiten wie Brennschneiden oder Fugenhobeln,
- Erleichtern des spanenden Vorbearbeitens, zum Beispiel zum Verringern der maßgebenden Wanddicken, damit das Durchvergüten begünstigt wird.

5.2 Qualitätsbestimmendes Wärmebehandeln

Die Art der qualitätsbestimmenden Wärmebehandlung ist in der Regel in Normen, normähnlichen Regelwerken und/oder Kundenvorschriften spezifiziert. Hierzu gehören beispielsweise das Normalglühen (Normalisieren), Härten, Vergüten und Spannungsarmglühen. Zur Gewährleistung der erwarteten Eigenschaften sind einige stahlgusspezifische Besonderheiten zu beachten, die sich im Wesentlichen aus der freien Gestaltungsmöglichkeit von Stahlgussstücken ergeben:

- Die Gestalt des Gussstückes muss ein gegebenenfalls erforderliches Abschrecken in einem Flüssigkeitsbad zulassen. Neben schroffen Wanddickenübergängen müssen auch schlecht zugängliche Innenräume beachtet werden.
- Die angestrebten Eigenschaften können im Allgemeinen nur bis zu den in den Normen oder normähnlichen Regelwerken aufgeführten maßgeblichen Wanddicken erwartet werden.
- Die vom Konstrukteur festgelegte Werkstoffsorte muss bezüglich der erwarteten Eigenschaften mit der maßgeblichen Wanddicke beziehungsweise mit der erreichbaren Abkühlgeschwindigkeit abgestimmt sein. Abgekühlt wird üblicherweise im Wasser- oder Ölbad sowie an bewegter oder ruhender Luft.
- Die Werkstoffspezifikation darf nicht überbestimmt sein, zum Beispiel durch zu enge Spannen bei den Wärmebehandlungstemperaturen bei gegebenen Mindestwerten für die mechanischen Eigenschaften.

Die werkstofftechnischen Zielsetzungen für die wichtigsten Werkstoffgruppen lauten:

- Feinkörniges Schwarz-Weiß-Gefüge (Ferrit-Perlit) bei un- bis niedriglegiertem Stahlguss, erzielt durch ein Normalglühen,
- Möglichst 100 % Vergütungsgefüge (angelassener Martensit und unterer Bainit) bei niedrig- bis hochlegiertem Vergütungsstahlguss zum Gewähr-

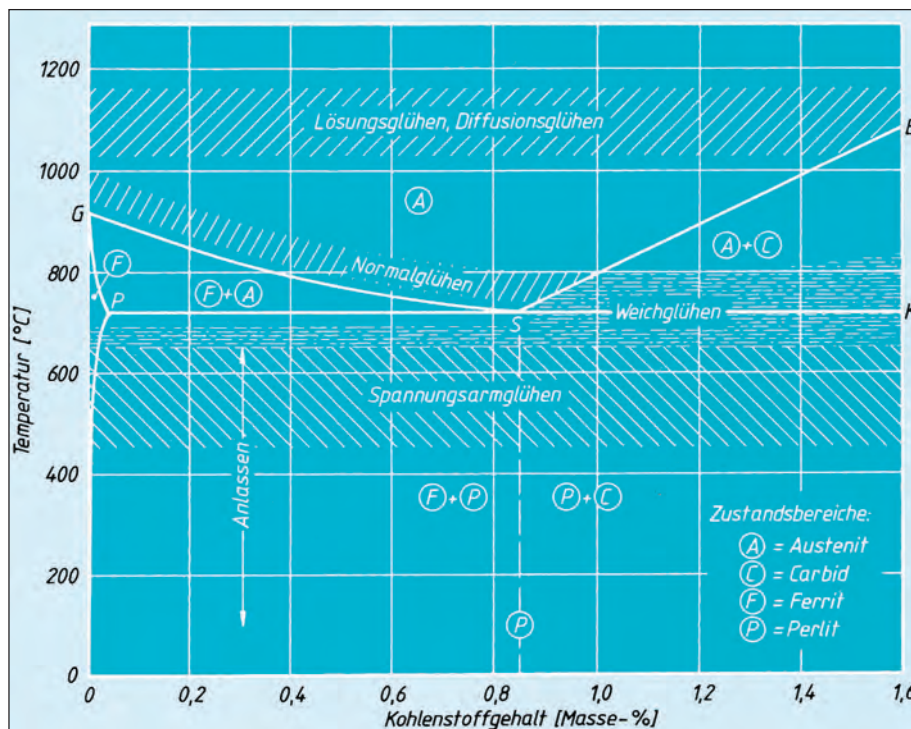


Bild 29: Temperaturlage der Wärmebehandlungsverfahren für unlegierten Stahlguss im Zustandschaubild Eisen - Kohlenstoff

A1 - Umwandlungstemperatur Austenit - Perlit (Linie P - S)

A3 - Umwandlungstemperatur Ferrit - Austenit (Linie G - S)

leisten des gewünschten Festigkeits-/Zähigkeits-Verhältnisses. Dazu sind mindestens zwei Wärmebehandlungsschritte erforderlich: Härten und Anlassen,

- Möglichst ausscheidungsfreies austenitisches oder austenitisch-ferritisches Gefüge bei den umwandlungsfreien hochlegierten Stahlgussorten, erreicht durch ein Lösungsglühen mit nachfolgendem Abschrecken,
- Nach umfangreichem spanenden Bearbeiten kann unter Umständen ein Spannungsarmglühen empfehlenswert sein.

5.3 Wärmebehandeln von Fertigungs- und Konstruktionsschweißungen

Bei un-, mittel- und hochlegierten ferritisch-martensitischen Stahlgussorten wird üblicherweise nach dem Schweißen zum Härte- und Eigenspannungsausgleich ein weiteres Anlassglühen durchgeführt. Wenn dabei die Abkühlrate höchstens 25 °C/h beträgt, kann auf ein zusätzliches Spannungsarmglühen verzichtet werden.

Bei ungleichen Werkstoffpaarungen, die unter anderem bei Konstruktionsschweißungen auftreten können, müssen die Glüh-temperaturen werkstoffgerecht angepasst werden. Für bestimmte Anwendungsgebiete, wie beispielsweise warmfester Stahlguss, sind die entsprechenden Regelwerke zu beachten. Eine erneute qualitätsbestimmende Wärmebehandlung nach dem Schweißen ist nur in Ausnahmefällen üblich, wie beispielsweise bei Werkstoffen mit Sondereigenschaften (kaltzäh, hochkorrosionsbeständig). In diesen Fällen kann bei Fertigungsschweißungen der in den betreffenden Normen beschriebene Dokumentationsnachweis entfallen.

5.4 Ausscheidungshärten

Ein Ausscheidungshärten kann bei der Verwendung von mikrolegiertem Vergütungsstahlguss sowie bei martensitischem, austenitischem und austenitisch-ferritischem Stahlguss, der über Sonderelemente wie Kupfer und Niob ausscheidungshärtbar ist, angewendet werden. Diese Sonderelemente werden nach einem Lösungsglühen über eine weitere thermische Behandlung, üblicherweise im unteren Temperaturbereich des Anlassens, gezielt ausgeschieden und können so zu einer beachtlichen Festigkeitssteigerung bei vertretbarer Zähigkeitsminderung führen. Bei den hochlegierten korrosionsbeständigen Stahlgussorten ist zusätzlich ein Abfall der Korrosionsbeständigkeit zu beachten.

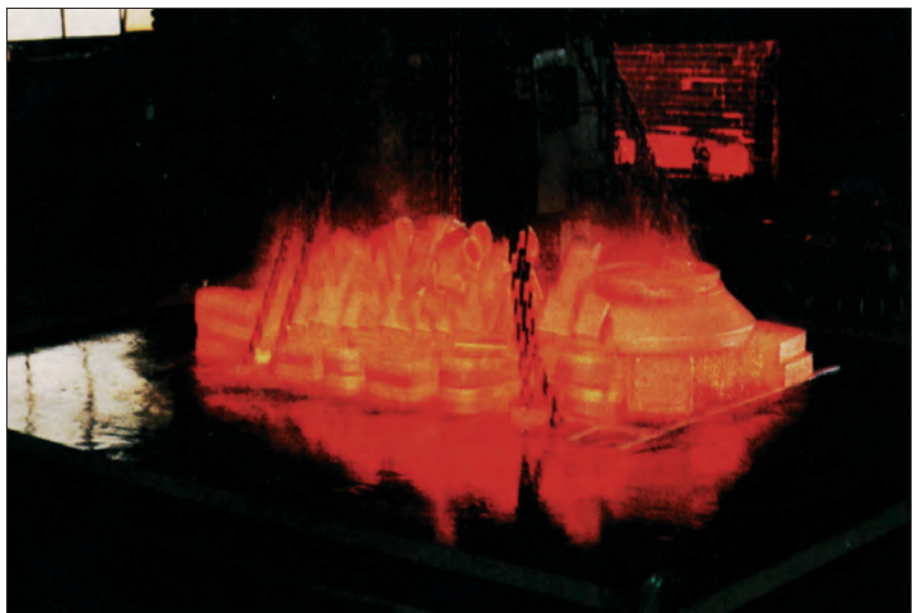
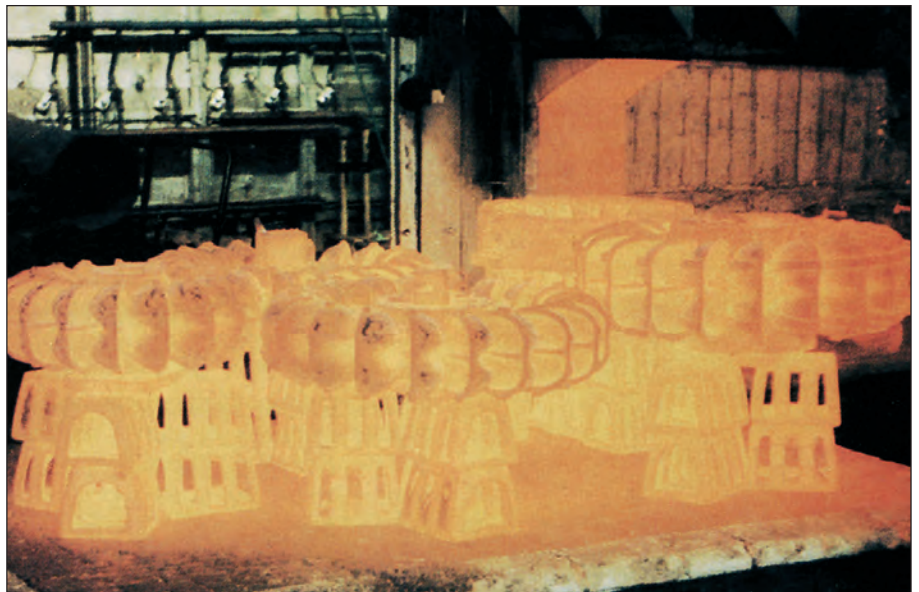
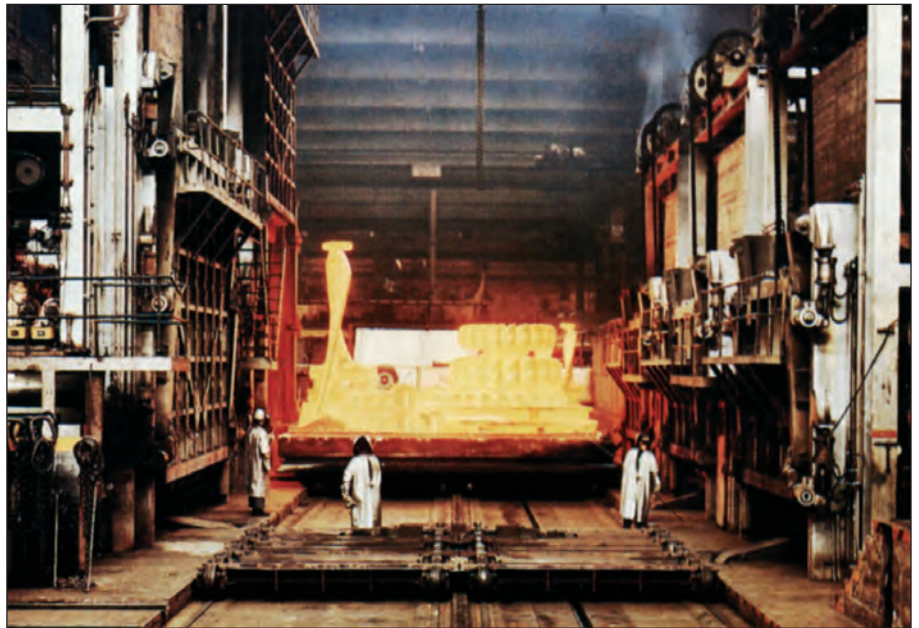


Bild 30: Ausfahren und gesteuertes Abkühlen nach dem Glühen eines beladenen Wagens

6 Schweißen von Stahlguss

Bauteile aus Stahlguss werden auch in der heutigen Zeit noch in großem Umfang in den verschiedensten technischen Bereichen, wie z. B. im Maschinen- und Anlagenbau, in der Pumpenindustrie, im Werkzeugbau und im Automobilbau eingesetzt. Der Anwendungsbereich, in dem Stahlguss eingesetzt wird, ist mit entscheidend für die Qualität und die Werkstoffauswahl der Produkte.

Die hohe Vielfalt der Anforderungen an unterschiedliche Herstellungsverfahren für Stahlguss an Oberflächen und Volumengüten, an die Geometrie und die Maßhaltigkeit der Produkte zwingt dazu, immer häufiger konstruktive Veränderungen vorzunehmen oder aber Oberflächen- und Volumengüten zu verbessern. Hierzu ist es unumgänglich, Verfahren anzuwenden, wie zum Beispiel das Schweißen, damit auch die Wirtschaftlichkeit gewährleistet bleibt.

6.1 Grundlagen für das Schweißen an Stahlguss

Nach den gängigen Regelwerken, zum Beispiel der DIN EN 1559 "Gießereiwesen, Technische Lieferbedingungen", ist das Schweißen an Stahlgussstücken grundsätzlich erlaubt und als Produktionsschweißung definiert.

Definition: "Das Produktionsschweißen schließt die Begriffe Fertigungs- und Verbindungsschweißen ein."

Unter angemessener Berücksichtigung des Werkstoffs und der Form des Gussstücks sind Produktionsschweißungen so durchzuführen, dass die im Schweißwerkstoff und in der Schweißzone relevanten Eigenschaftswerte den Anforderungen an die Eigenschaften des Grundwerkstoffs ausreichend entsprechen.

Die Bereiche, wo Produktionsschweißungen durchgeführt werden sollen, sind so vorzubereiten und zu prüfen, dass eine einwandfreie Schweißung sichergestellt ist. Die Dokumentation dieser Bereiche kann vereinbart werden (Auszug aus DIN EN 1559):

"Unter angemessener Berücksichtigung des Werkstoffs und der Form des Gussstücks sind Produktionsschweißungen so durchzuführen, dass die im Schweißwerkstoff und in der Schweißzone relevanten Eigenschaftswerte den Anforderungen an die Eigenschaften des Grundwerkstoffes ausreichend entsprechen. Die Bereiche, wo Produktionsschweißungen durchzuführen sind, sind so vorzubereiten und zu prüfen, dass

eine einwandfreie Schweißung sichergestellt ist. Die Dokumentation von Bereichen von Produktionsschweißungen kann vereinbart werden."

Ebenso bedarf es der Vereinbarung zwischen Kunde und Lieferant/Hersteller, Schweißverfahrensprüfungen zum Beispiel nach DIN EN 288-3 oder Schweißerqualifikation nach DIN EN 287 zu verlangen zum Nachweis, dass der Hersteller die Produktionsschweißungen korrekt ausführen kann, gegebenenfalls in Verbindung mit einer Wärmebehandlung nach dem Schweißen. Eine Stahlguss spezifische Schweißverfahrensprüfung wie zum Beispiel nach SEW 110 ist in den meisten EN-Regelwerken nicht vorgesehen (**Bild 31**).

6.2 Schweißbeignung

Unter den Gusswerkstoffen zeichnet sich Stahlguss neben seinen gleichmäßigen mechanischen Eigenschaften in allen Richtungen durch seine gute Schweißbarkeit aus. Dieser besondere Vorteil der Erzeugnisform Stahlguss kann bei der konstruktiven Gestaltung von hochbeanspruchten Teilen vorteilhaft genutzt werden.

Bezüglich der Schweißbeignung von Stahlguss gelten die gleichen Kriterien wie für Walz- und Schmiedestahl. Es wird deshalb

Bericht über eine Verfahrensprüfung
Welding Procedure Approval Report

Prüf-Nr.: 811/026274

Inspektion-Nr.: —

Werk-Nr.: —

Werk-Nr.: —

Verfahrensprüfung-Nr.: 229/02

Welding Proc. Appr. No.: —

TÜV

Hersteller / Manufacturer: Gießerei GmbH

Antrag vom / Application dated: 02.04.2002

Prüfgrundlage / Requirements: AD-HP 2/1 und SEW 110

Prüfgegenstand / Subject matter of approval: Verbindungsschweißung an Gußplatten

Werkstoffe / Materials: 1.4439 DIN 17445 (alte Bezeichnung)
1.4448 EN 10263 (neue Bezeichnung)

Abmessungen / Dimensions: s = 7 bis 60 mm

Schweißverfahren / Welding procedures: 111 (m-E)

Nahtform / Weld shape: V-Naht 60° mit Gegenschweißung

Schweißzusätze (Marke, Normbezeichnung) / Filler metal (Marke, Type): Lincoln Electric Arosta 4439
E 18 16 S L R 23 DIN 8556
E 18 16 S L R 12 EN 1600

Hilfsstoffe / Auxiliary materials: —

Schweißposition / Welding position: PA (waagrecht)

Wärmenachbehandlung / Post-weld heat treatment: Lösungsgeglüht

zul. Betriebstemperaturen / Admissible working temperatures: wie Grundwerkstoff bzw. Schweißzusatz, nicht tiefer als -10 °C

Ergebnis / Result:
Der Hersteller hat aufgrund der in den Anlagen aufgeführten Ergebnisse nachgewiesen, dass er in der Lage ist, Schweißarbeiten im oben genannten Umfang durchzuführen.
On the basis of the results listed in the annexes, the manufacturer has proved that he is capable of carrying out welding work in the scope stated above.

Datum der Prüfung / Date of the test: 25.04.2002

Bemerkung / Remarks:
Die Gültigkeitsdauer von Verfahrensprüfungen beträgt nach TRD 201 zwei Jahre, nach AD-HP 2/1 ein Jahr ab Datum der Prüfung.
The period of validity of the welding procedure approval is two years acc. to TRD 201, one year acc. to AD-HP 2/1 from the date of the test.

Wuppertal, den 16.09.2002
811-lep-Nr.

Der Sachverständige/The Inspector
Dipl.-Ing. Leonhardt

Anlagen 1 bis 6

Technische Überwachung
Bezirk 1

2. Bezeichnung: EN 287-1 111 P BW W11 RB 120 PA bs gg

Seite 1

3. Hersteller-Schweißanweisung: WPS 1

Prüfwerk: TÜV Rheinland/Berlin-Brandenburg

4. Beleg-Nr. (falls verfügbar): 227/02

Prüf-Nr.: 026274

5. Name des Schweißers: —

6. Legitimation: —

7. Art der Legitimation: —

8. Geburtsdatum und -ort: —

9. Beschäftigt bei: —

10. Vorname/Name: —

11. (falls nötig): —

12. Bemerkung: —

13. Fachkunde: bestanden

14. Schweißprozess: 111 (E)

15. Halbbogen: P, R

16. Nahtart: BW, Stumpfnaht

17. Werkstoffgruppen: 1.4448 (W11)

18. Zusatzstoff / Bezeichnung: Arosta 4439 (RB)

19. Schutzgas: —

20. Pulver: —

21. Hilfsstoffe: —

22. Profildicke (l in mm): 20,00

23. Rohprüfkörpermesser (l in mm): PA

24. Bezeichnung: 18 gg

25. Zusätzliche Hinweise: siehe beigefügtes Blatt unendlicher Schweißanweisung

26. Art der Prüfung: ausgeführt und bestanden

27. nicht verlangt: —

28. Sichtprüfung: X

29. Durchstrahlungsprüfung: X

30. MP-Prüfung: X

31. FE-Prüfung: X

32. Mikroschnitt: X

33. Bruchprüfung: X

34. Zugprüfung: X

35. Zusatzprüfungen: X

36. (falls notwendig, Angaben auf Zusatzblatt)

37. VERÄNDERUNG DER PRÜFUNG DURCH BESTÄTIGUNG DES/ARBEITGEBERS/ ODER AUFSICHTSPERSON

38. Datum: —

Unterschrift: —

Dienststellung oder Titel: —

39. Datum: —

Unterschrift: —

Dienststellung oder Titel: —

40. mit EURONORM erfüllt

Technische Überwachung
Bezirk 1

Bild 31: Beispiel für den Bericht über eine Verfahrensprüfung

darauf verzichtet, näher auf die werkstoffbedingte Schweißeignung beispielsweise durch Definition des Kohlenstoff-äquivalentes einzugehen. Sie wird im Wesentlichen durch die Eigenschaftsänderungen in der Wärmeeinflusszone (WEZ) bestimmt, die ihrerseits bei gegebener chemischer Zusammensetzung durch die Wanddicke sowie die Schweißparameter, zum Beispiel Vorwärm- und Zwischenlagentemperatur, und/oder Wärmeeinbringung bedeutend beeinflussen kann. Die Erfahrungen aus dem Bereich der Walz- und Schmiedetechnik können dabei als wesentliche Richtlinien übernommen werden. Den im Allgemeinen größeren Wanddicken ist durch eine entsprechende Temperaturführung vor oder nach dem Schweißen Rechnung zu tragen. Dabei sind die bei Stahlguss im Vergleich zu äquivalenten Knetwerkstoffen oft etwas höheren Kohlenstoff- und Legierungsinhalte zu berücksichtigen.

6.3 Schweißvorbereitung

Die zum Schweißen vorbereiteten Bereiche sind grundsätzlich durch eine Sichtprüfung zu beurteilen. Wenn möglich, zusätzlich mittels der Farbeindring- oder Magnetpulverprüfung.

Die Kriterien für die Beurteilung der Schweißbereiche sollten mindestens denjenigen des Gussstückes beziehungsweise der Gussstückzone entsprechen. Im Allgemeinen sollten jedoch verschärfte Kriterien angelegt werden. Lineare Anzeigen, die auf Risse schließen lassen, sind grundsätzlich zu beseitigen.

Zu beachten ist, dass die zum Schweißen vorbereitete Mulde oder Schweißflanke vor dem Schweißen frei von Schmutz, Öl oder Prüfmittelresten ist.



Bild 32: Einsatz eines Industrieroboters für das Schweißen einer Peltonturbinen-Laufrades aus GX5CrNi13-4 nach dem MSG-Verfahren

6.4 Vorgaben und Regelwerke für das Schweißen an Stahlguss

Die Schweißzusatzwerkstoffhersteller informieren auf den Schweißzusatzwerkstoffverpackungen, zum Beispiel bei E-Hand-Elektroden, umfangreich über Stromstärke, Stromart oder Vorwärmtemperaturen. Zusätzlich können viele wichtige Informationen aus den Herstellerkatalogen entnommen werden. Da die meisten Stahlgussorten in Regelwerken enthalten sind, zum Beispiel in DIN 17182 oder DIN EN 10283 oder SEW 410 usw., erhält der Anwender auch hier die notwendigen Informationen, die für eine fachgerechte Schweißung notwendig sind (**Tabelle 5**).

6.5 Stahlgusstypische Schweißverfahren

In den letzten Jahren erfolgte ein Umbruch bei den Schweißverfahren. Durch die Erzeugung von Fülldrähten für das Metallschutzgasschweißen (MSG) konnte die Angebotspalette an den verschiedensten Schweißzusatzwerkstoffen deutlich erhöht werden. Zur Herstellung dieser Drähte können kostengünstige Standardgrundwerkstoffe eingesetzt werden. Durch Einbringen der verschiedensten Legierungselemente in Pulverform entsteht ein Draht mit genau definierter Zusammensetzung. Hierdurch wurde der Anteil an Schweißelektroden für das E-Hand-Schweißen deutlich reduziert. Stark auf den Markt drängen die Hersteller von Elektronenstrahl- oder Laserschweißmaschinen.

Mit den steigenden Anforderungen an die Technik wachsen auch die Anforderungen an den Schweißer und den

Mechanisierungsgrad, deutlich zu sehen bei der Herstellung von Serienteilen wie zum Beispiel im Automobilbau (**Bild 32**).

Inzwischen wird auch hier das Laserschweißen eingesetzt und perfektioniert. Auch Kombiverfahren, wie das Laserhybridschweißen, werden genutzt. Mit diesem Verfahren lassen sich die Vorteile vom Lichtbogen- und Laserschweißen verbinden. Das Prinzip ist einfach: Beim Laserhybridsystem trifft die mit Lichtgeschwindigkeit transportierte Energie des Laserstrahls mit dem Plasma des Lichtbogens zusammen. Sie wirken gleichzeitig in dieselbe Schweißzone und verstärken ihre Wirkung. Die Ergebnisse der Kombination gegenüber den Einzelverfahren sprechen für sich:

- größere Spaltüberbrückbarkeit bei gleichzeitig deutlich höherer Fügegeschwindigkeit,
- tieferer Einbrand und schmale Naht bei geringerer Wärmeeinbringung,
- höhere Zähigkeit der Naht, Festigkeit der Verbindung und Gefügebeeinflussbarkeit über den Zusatzwerkstoff,
- größere Prozessstabilität und Anlagenverfügbarkeit,
- geringerer Aufwand für die Nahtvorbereitung und Nacharbeit,
- kürzere Fertigungszeiten und -kosten, sowie größere Produktivität,
- geringere Investitionskosten, bezogen auf die Gesamtleistung,
- bessere optische Gestaltungsmöglichkeiten.

Das Wolfram-Inertgas-Schweißverfahren (WIG) hat ebenfalls in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen, nicht zuletzt wegen sehr guter Zähigkeitswerte im



Bild 33: Zentrifugaltrommel aus zwei Schleudergusszylindern nach dem UP-Verfahren verschweißt; Werkstoff: GX5CrNiMoCuN26-6-3; Abmessungen Dmr. 1540 x 1750 mm

Tabelle 5: Schweißbedingungen für legierten Stahlguss nach DIN EN 10283

Bezeichnung		Vorwärm- temperatur [°C ¹⁾]	Maximale Zwischenlagen- temperatur [°C]	Wärmebehandlung nach dem Schweißen ²⁾	
Kurzname	Werkstoff- Nummer			Kleinere Schweiß- stellen	Größere Schweiß- stellen
Martensitische Sorten					
GX12Cr12	1.4011	250 bis 300	350	+ T	+ T
GX7CrNiMo12-1	1.4008	150 bis 200	300	+ T	+ T
GX4CrNi13-4	1.4317	20 bis 200	³⁾	+ T	+ T
GC4CrNiMo16-5-1	1.4405	kein Vorwärmen	200	+ T	+ T
GX4CrNiMo16-5-2	1.4411	kein Vorwärmen	200	+ T	+ T
GX5CrNiCu16-4	1.4525	20 bis 100	120	+ T	+ T
Austenitische Sorten					
GX2CrNi19-11	1.4309	kein Vorwärmen	³⁾	nein ⁴⁾	nein ⁴⁾
GX5CrNi19-10	1.4308	kein Vorwärmen	³⁾	+ AT	+ AT
GX5CrNiNb19-11	1.4552	kein Vorwärmen	³⁾	nein ⁴⁾	nein ⁴⁾
GX2CrNiMo19-11-2	1.4409	kein Vorwärmen	³⁾	nein ⁴⁾	nein ⁴⁾
GX5CrNiMo19-11-2	1.4408	kein Vorwärmen	³⁾	+ AT	+ AT
GX5CrNiMoNb19-11-2	1.4581	kein Vorwärmen	³⁾	nein ⁴⁾	nein ⁴⁾
GX5CrNiMo19-11-3	1.4412	kein Vorwärmen	³⁾	+ AT	+ AT
GX2CrNiMoN17-13-4	1.4446	20 bis 100	³⁾	+ AT	+ AT
Voll austenitische Sorten					
GX2NiCrMo28-20-2	1.4458	20 bis 100	200	nein ⁴⁾	+ AT
GX4NiCrCuMo30-20-4	1.4527	20 bis 100	200	+ AT	+ AT
GX2NiCrMoCu25-20-5	1.4584	20 bis 100	200	nein ⁴⁾	+ AT
GX2NiCrMoN25-20-5	1.4416	20 bis 100	200	+ AT	+ AT
GX2NiCrMoCuN29-25-5	1.4587	20 bis 100	200	nein ⁴⁾	+ AT
GX2NiCrMoCuN25-20-6	1.4588	20 bis 100	200	nein ⁴⁾	+ AT
GX2CrNiMoCuN20-18-6	1.4557	20 bis 100	200	+ AT	+ AT
Austenitisch-ferritische Sorten					
GX6CrNiN26-7	1.4347	20 bis 100	250 ⁵⁾	+ AT ⁵⁾	+ AT
GX2CrNiMoN22-5-3	1.4470	20 bis 100	250 ⁵⁾	+ AT ⁵⁾	+ AT
GX2CrNiMoN25-6-3	1.4468	20 bis 100	250 ⁵⁾	+ AT ⁵⁾	+ AT
GX2CrNiMoCuN25-6-3-3	1.4517	20 bis 100	250 ⁵⁾	+ AT ⁵⁾	+ AT
GX2CrNiMoN25-7-3	1.4417	20 bis 100	250 ⁵⁾	+ AT ⁵⁾	+ AT
GX2CrNiMoN26-7-4	1.4469	20 bis 100	250 ⁵⁾	+ AT ⁵⁾	+ AT

¹⁾ Die Vorwärmtemperatur hängt zusammen mit der Geometrie und Dicke des Gussstückes sowie den klimatischen Bedingungen

²⁾ + T: Anlassen (wie übliche Anlassstemperatur für den Grundwerkstoff)
+ AT: Lösungsglühen + Wasserabschreckung (wie übliches Lösungsglühen für den Grundwerkstoff (siehe Tabelle 2)

Je nach den Korrosionsbedingungen kann für sehr kleine und dünne Gussstücke Luftabschreckung vereinbart werden.

³⁾ Dem Hersteller überlassen, falls nicht anders vereinbart.

⁴⁾ Entsprechend den Korrosionsbedingungen sind besondere Vereinbarungen zu treffen.

⁵⁾ Bei geringem Vorwärmen und niedriger Zwischenlagentemperatur ($\leq 150^\circ\text{C}$) kann nach entsprechender Vereinbarung die Wärmebehandlung nach dem Schweißen entfallen.

Schweißgut, bedingt durch einen niedrigen Gehalt an oxidischen Einschlüssen. Die hohe Zuverlässigkeit hinsichtlich der Fehlerfreiheit ist ebenfalls zu erwähnen. Die geringe Abschmelzleistung ist nach wie vor als nachteilig anzusehen, im Bezug auf die anderen Verfahren.

Für große Konstruktionsschweißungen kommen nach wie vor die weitgehend mechanisierten Verfahren UP (Unter Pulver) oder ES (Elektroschlacke) zum Einsatz (**Bilder 33 und 34**).

6.6 Thermische Behandlung vor und nach dem Schweißen

Je nach Art und Größe der Schweißungen wird niedriglegierter bis martensitischer Vergütungsstahl entweder in geglühten oder vergüteten Zustand geschweißt.

Sofern im geglühten Zustand geschweißt wird, muss danach die Vergütung erfolgen. Andererseits ist es möglich, dass vor dem Schweißen vergütet, nach dem Schweißen angelassen oder entspannt wird. Hierbei ist zu beachten, daß die Anlass-/Spannungsarmglühtemperatur etwa 20 bis 30 °C unterhalb der gewählten Anlaßtemperatur liegt, damit die eingestellten, mechanisch-technologischen Werte nicht verändert werden.

Austenitischer Stahlguss wird grundsätzlich im abgeschreckten Zustand geschweißt. Bezüglich eines erneuten Lösungsglühens nach dem Schweißen muss unterschieden werden in die Standard-austenite mit C-Gehalten bis 0,07 % ohne Niob-/Titanzusätze und in die Gruppe der Austenite mit C-Gehalten < 0,03 % oder Niob-/Titan-stabilisiert.

Grund hierfür ist beispielsweise die Gefahr von interkristalliner Korrosion in der Wärme-

einflusszone, die durch chemischen Angriff entlang der Korngrenzen entstehen kann. Hierbei wird das Gefüge aufgelockert und der metallische Zusammenhang gestört.

Bei den Standardausteniten scheidet sich durch das hohe Wärmeeinbringen beim Schweißen Chromcarbid aus, der Chrommindestgehalt für die Passivierung der Oberfläche in der Matrix nahe den Korngrenzenbereichen wird unterschritten und es entsteht interkristalline Korrosion.

Um dies zu verhindern, werden häufig sogenannte Low-Carbon-Austenite oder Niob- und Titanvarianten eingesetzt. Hierdurch können längere Verweilzeiten im kritischen Temperaturbereich zwischen 600 bis 700°C gefahrlos durchlaufen werden, oder es erfolgt ein Post weld heat treatment, ein Lösungsglühen.

6.7 Schweißen von Werkstoffen mit höheren Kohlenstoffgehalt

Werkzeugstähle mit einem Kohlenstoffgehalt von 0,3 bis 2,0 % galten lange als nicht oder nur schwer schweißbar. Daher wurde in der Vergangenheit meist vom Schweißen dieser Werkstoffe von den Stahl- beziehungsweise Gusslieferanten abgeraten.

Inzwischen ist jedoch ein Wandel eingetreten auf den nachfolgend eingegangen wird.

6.7.1 Schweißen von Werkzeugstahlguss

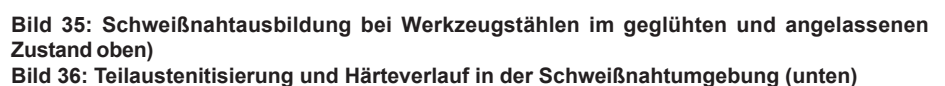
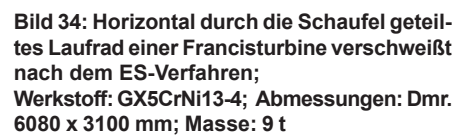
Diverse Verbesserungen zum Beispiel in der Schweißtechnik, bei den Schweißzusatzwerkstoffen und den Schweißanlagen sowie insbesondere Verbesserungen und Neuentwicklungen bei den Werkzeugstahl- und -Gusswerkstoffen haben dazu geführt, dass das Schweißen dieser Werkzeuge durchaus im Rahmen des Möglichen liegt. Seitens der Anwender, die oft teure Werkzeuge einsetzen, kommt zudem die Forderung, diese Werkzeuge zu schweißen. Das Einsatzgebiet der Werkzeugstähle umfasst Druckgießformen, Kunststoffformen, Schmiedegesenke, Karosserie-, Schneid- und Umformwerkzeuge.

Die Gründe für das Schweißen - meist an fertigen Werkzeugen - sind vielfältig. Reparaturen, bedingt durch Konstruktionsänderungen oder Fehlstellen in der Prägefläche, sind eine sehr attraktive, wirtschaftliche Alternative, verglichen mit den Kosten für die Herstellung eines neuen Werkzeugs.

Das Hauptproblem beim Schweißen von Werkzeugstählen liegt in deren hoher

Große Unterschiede hinsichtlich der Härte treten beim Schweißen der gehärteten und angelassenen Ausführung auf. Für den Bereich des Schweißzusatzwerkstoffes bzw. der ersten Zone gelten die Aussagen, wie sie auch für die geglühte Ausführung gemacht wurden. Darunter kommt es dann zum Abfall der Ursprungshärte, da die Anlassstemperatur bei der Abkühlung aus der konstruieren + giessen 29 (2004) Nr. 1

Sehr gerne wird bei größeren Schweißungen, zumindest in der Tiefe, das Schweißen mittels Pufferlagen angewendet. Dann wird nicht mit einem Art ähnlichen oder Art gleichen Schweißzusatzwerkstoff gearbeitet, sondern mit einem austenitischen Schweißzusatzwerkstoff mit 29 % Cr und 9 % Ni. Dieser austenitische Bereich hat den Vorteil, dass er verhältnismäßig weich und zäh ist, so dass Rissbildung praktisch unterdrückt wird. Sofern dieses Material in den Funktionsbereich ragt, kommt es dort zu einem sehr unterschiedlichen Ver-



schweißverhalten. Andererseits ist natürlich bei der Pufferung zu beachten, dass das Substratmaterial auch hier mit der Schweißwärme beaufschlagt wird und die Umwandlungen usw. in genau gleicher Art und Weise auftreten, wie unter 6.2 aufgeführt

Die Temperaturführung beim Schweißen und nach dem Schweißen ist sehr wichtig. Diese ist unter anderem abhängig vom vorliegenden Gefügestand des zu schweißenden Teiles. Sofern es sich um weichgeglühtes Material handelt, kann von Schweißtemperatur sofort auf Glüh-temperatur aufgeheizt werden und die Glühung durchgeführt werden. Von Glüh-temperatur wird natürlich bis auf Raumtemperatur langsam abgekühlt. Sofern der gehärtete und angelassene Zustand vorliegt und keine weitere Wärmebehandlung mit Austenitisierung vorgesehen ist, muss zuerst auf etwa 100 °C abgekühlt werden, um eine teilweise martensitische Umwandlung zu erreichen und erst dann kann das erste Anlassen nach dem Schweißen erfolgen. Sofern nicht ein Abfall der Temperatur auf rund 100 °C stattfindet,

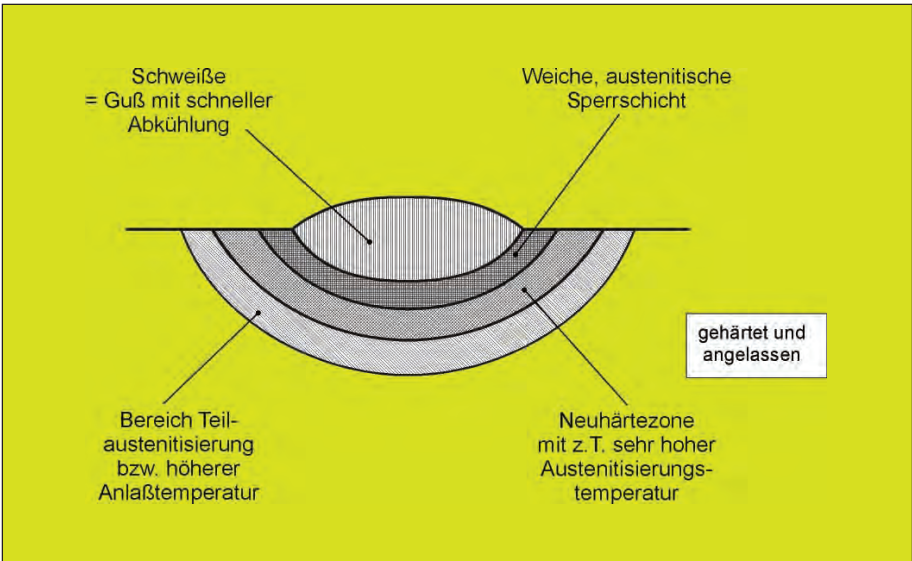


Bild 38: Härteausbildung im Schweißnahtumfeld bei gehärtetem und angelassenem Stahlguss

bleibt der austenitische Zustand bestehen und beim Abkühlen vor dem ersten Anlassen würde Martensit entstehen,

der entsprechend spröde ist. Die praktischen Hinweise sind in den Bildern 38 und 39 aufgeführt.

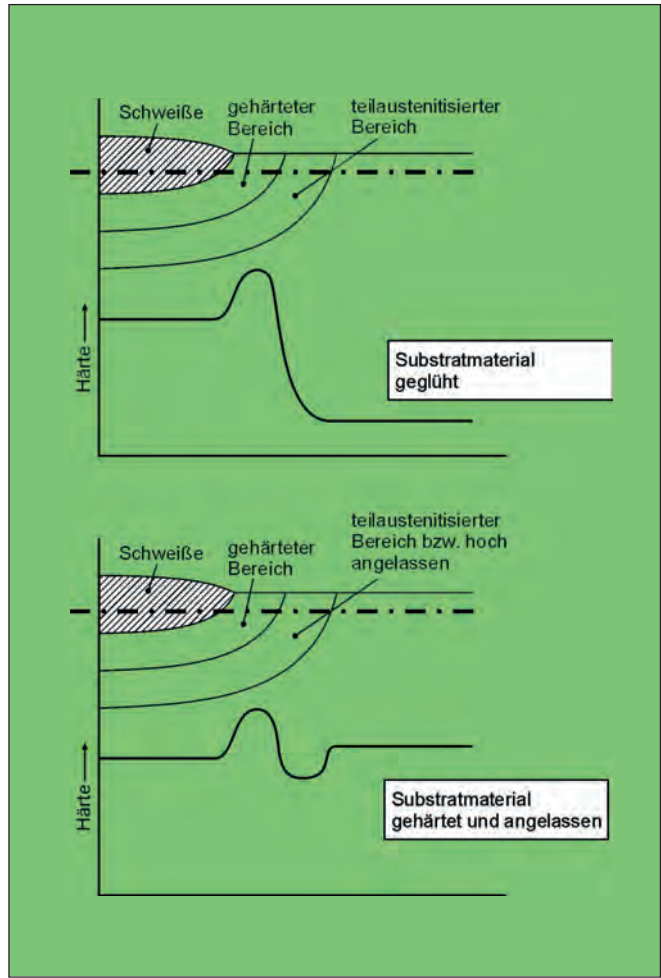


Bild 37: Härteverlauf für die Ausgangszustände „geglüht“ (oben) sowie „gehärtet und angelassen“ (unten)

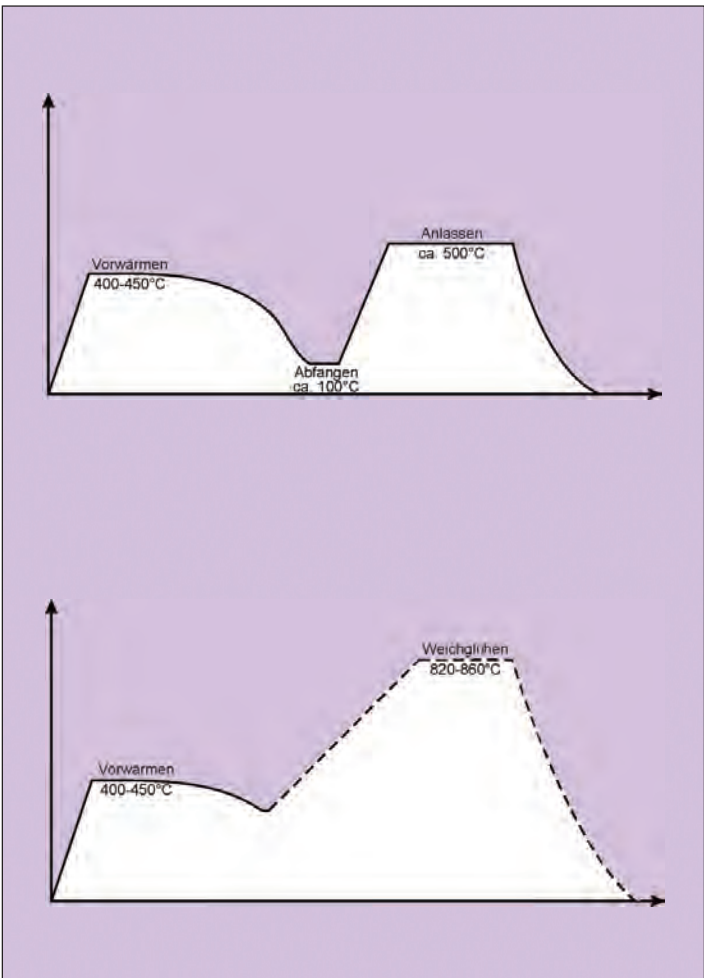


Bild 39: Prozessführung beim Anlassen von Stahlguss (oben) und beim Weichglühen (unten)

7. Prüfen und Überwachen der Stahlgussherstellung

7.1 Allgemeine Lieferbedingungen

Zum Festlegen der allgemeinen technischen Lieferbedingungen für Stahlguss stehen die folgenden Normen und Richtlinien zur Verfügung:

- **DIN ISO 8062** (August 1998) Gussstücke – System für Maßtoleranzen und Bearbeitungszugaben (nur für Neukonstruktionen, nicht für bestehende Modelle),
- **DIN 1683-1** (August 1998) Gussrohre aus Stahlguss – Allgemeintoleranzen, Bearbeitungszugaben (nicht für Neukonstruktionen),
- **DIN EN 1559-1** (Juni 1997) Gießereiwesen – Technische Lieferbedingungen – Teil 1: Allgemeines,
- **DIN EN 1559-2** (April 2000) Gießereiwesen – Technische Lieferbedingungen – Teil 2: Zusätzliche Anforderungen an Stahlgussstücke,
- **BNIF No 359** Richtreihen zur Beschreibung der Oberflächenbeschaffenheit von Stahlgussstücken anhand von Musterteilen oder Vergleichsoberflächen,
- **SCRATA**-Vergleichsoberflächen zum Beschreiben der Oberflächengüte von Stahlgussstücken.

DIN 1683 basiert auf der für alle Rohgussteile gültigen Norm **DIN 1680** und beschreibt im Wesentlichen den Genauigkeitsgrad und die Bearbeitungszugaben von Stahlgussstücken. Die Bezeichnung "Allgemeintoleranz" ersetzt den früher üblichen Begriff "Freimaßtoleranz". Für Stahlguss gilt die Gruppe B der Gussallgemeintoleranz, die – empirisch ermittelt – auf der Basis des Trendverlaufes von Messungen beruht. Der Genauigkeitsgrad von Längenmaßen ist kleiner, sie sind also enger toleriert als Dickenmaße, wie beispielsweise für eine Wand, einen Steg oder eine Rippe. Das Toleranzfeld für Außen- und Innenrundungen ist so aufgeteilt, dass das untere Abmaß stets Null wird.

Typische Genauigkeitsgrade für Stahlgussstücke sind in Abhängigkeit vom Formverfahren:

- Maskenformverfahren: GTB 16,5,
- Maschinenformverfahren: GTB 17,5,
- Handformverfahren: GTB 19.

wobei je nach Geometrie auch engere Toleranzen eingehalten werden können.

konstruieren + giessen 29 (2004) Nr. 1

Die Bearbeitungszugaben im Sinne einer Schnittzugabe richten sich unabhängig vom gewählten Genauigkeitsgrad nach dem größten Außenmaß des Gussstückes.

Seit dem Erscheinen der **DIN ISO 8062** gilt die DIN 1683-1 nur noch für bestehende Konstruktionen. Für Neukonstruktionen sind die Anforderungen der DIN ISO 8062 (1998) einzuhalten. Dies bedeutet im Einzelnen Änderung der Toleranzbezeichnung von GTB in CT.

Die **DIN EN 1559** regelt als Basisnorm für alle metallischen Gusswerkstücke die einzelnen Punkte der Lieferbedingungen einschließlich der Definition der abzuliefernden Qualität. Die Werkstoffbezogenen Anforderungen werden in speziellen Werkstoffnormen geregelt.

Aktuell wird die DIN ISO 8062 überarbeitet und voraussichtlich in drei Teilen erscheinen. Teil 1 beinhaltet Definitionen usw., Teil 2 beschreibt das Tolerieren von Bauteilen im rohen, vor- und fertig bearbeiteten Zustand und Teil 3 enthält im Wesentlichen die Toleranztabellen für Gussstücke. Die drei Teile stehen auch im unmittelbaren Zusammenhang mit der Zeichnungsnorm ISO 10135 für Guss, die ebenfalls zum Zeitpunkt der Drucklegung dieser Broschüre überarbeitet wird.

Ergänzend zur **DIN EN 1559** gelten für besondere Anwendungsbereiche spezielle Regelwerke und Normen, beispielsweise für Druck führende Teile, Kern technische Anlagen, Armaturen usw., auf die hier nur allgemein hingewiesen werden soll.

Die **DIN EN 1559 Teil 1** regelt die

- erforderlichen Bestellangaben,
- zu definierenden Angaben bezüglich Herstellung, chemischer Zusammensetzung, Werkstoffeigenschaften sowie der allgemeinen Gussstückbeschaffenheit,
- Prüfungen und Bescheinigungen einschließlich der Stichprobenregelung,
- Vorschriften zum Kennzeichnen der Gussstücke,
- Hinweise für eventuelle Beanstandungen.

Die **DIN EN 1559 Teil 2** legt weitere stahlgusspezifische Lieferbedingungen fest. Diese betreffen:

- das Herstellen und Schweißen,
- Grenzabweichungen zwischen der festgelegten Schmelzeanalyse und der an Prüfblöcken ermittelten Stückanalyse für die wichtigsten Legierungselemente,



Bild 40: Pumpenlaufrad aus niedrig gekohltem CrNiMo-legiertem austenitischem Stahlguss bei der Maßkontrolle auf einer rechnergestützten 3D-Messmaschine (Gussteilabmessungen Dmr. 1930 x 1300 mm, Masse 4,3 t)

- die DIN 1559-1 Anforderungen an Werkstoff, Gussstück und Prüfverfahren,
- das Ermitteln von Prüfmerkmalen einschließlich Wiederholungsprüfung.

Der informative Anhang der Norm enthält eine Checkliste mit wahlfreien Informationen, die vereinbart werden können.

Das *Fertigungsschweißen* ist im Herstellablauf integriert und unterliegt strengen Anforderungen bezüglich der Qualifikation der Schweißer sowie des Schweißverfahrens. Hierfür gelten **DIN EN 287** und **DIN EN 288**.

Der *Nachweis der Werkstoffeigenschaften* erfolgt in der Regel an angegossenen oder getrennt gegossenen Proben, deren Dicke in Beziehung zur maßgebenden Wanddicke des Gussstückes steht. Alle neueren Stahlguss-Werkstoffnormen lassen – nach vorheriger Vereinbarung – den Nachweis der für die Referenzprobe spezifizierten Mindestwerte teilweise auch im Gussstück zu.

Die *Oberflächenbeschaffenheit* ist in **DIN EN 1559** nicht quantitativ definiert. Als Basis für verbindliche Festlegungen haben sich im deutschsprachigen Raum die Richtreihen nach der Empfehlung des **CTIF (No 359-01)** oder **SCRATA** durchgesetzt [13]. Hierauf wird inzwischen in einigen Regelwerken in verbindlicher Form Bezug genommen. Es wird empfohlen, bei besonderen Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit (zum Beispiel in Abhängigkeit vom Einsatzgebiet) mit der Gießerei Rücksprache zu nehmen, da dies einen erheblichen Einfluss auf die Herstellkosten haben kann.

Die *innere und äußere Beschaffenheit* ist ebenfalls in **DIN EN 1559** nicht näher definiert. Die Beurteilung der Beschaffenheit erfolgt über verschiedene Prüfnormen, deren Ergebnisse in Form von Gütestufen klassifiziert werden. Die Gütestufen sind bei der Anfrage und Bestellung zu vereinbaren.

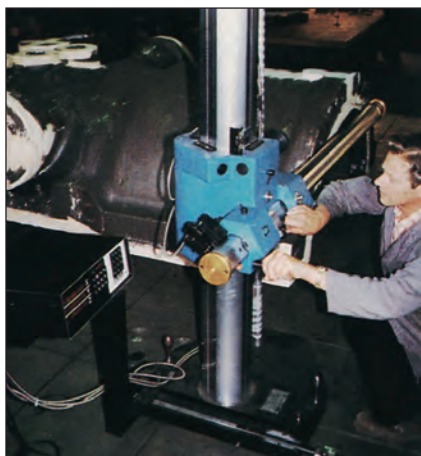


Bild 41: Rechnergestütztes Vermessen eines Dampfturbinengehäuses aus warmfestem Stahlguss



Bild 42: Spektralanalyseanlage mit Plasmaregelung zur Untersuchung der chemischen Zusammensetzung

7.2 Werkstoffprüfung

Die Werkstoffprüfung von Stahlguss unterscheidet sich nicht von der entsprechenden Prüfung von Schmiede- oder Walzstählen. Stahlguss spezifisch ist die Probennahme mit angegossenen oder getrennt gegossenen Proben wie vorstehend beschrieben. Die Planung aller Werkstoffprüfungen und die Überwachung der Geräte ist Bestandteil der Qualitätssicherung, die beispielsweise in einem Qualitätsmanagementsystem nach **DIN EN ISO 9001** beschrieben ist.

7.2.1 Chemische Analyse

Die chemische Zusammensetzung von Stahlguss wird mit physikalischen Mitteln bestimmt wie zum Beispiel der Emissions-Spektralanalyse (**Bild 41**) und der Röntgenfluoreszenz-Spektralanalyse. Auch die Gasbestimmung findet nach Extraktion auf physikalischem Weg statt. Maßgebend ist die Schmelzeanalyse. In Sonderfällen kann eine Stückanalyse vereinbart werden.

7.2.2 Mechanische Eigenschaften

Die mechanischen Eigenschaften werden nachgewiesen mit

- dem Zugversuch nach **DIN EN 10002 Teil 1**,
- dem Kerbschlag-Biegeversuch nach **DIN EN 10045, Teil 1** (im allgemeinen mit der ISO-V-Probe),

- der Härteprüfung nach Brinell HBW (**DIN EN ISO 6506-1**), Vickers HV (**DIN EN ISO 6507-1**) oder Rockwell HRC (**DIN EN ISO 6508-1**).

Bei verschleißbeständigem Stahlguss wird in der Regel nur die Härte geprüft.

Bei besonderen Anforderungen an die verschiedenen Stahlgussgruppen (zum Beispiel warmfest, kaltzäh oder andere mechanisch-technologische Eigenschaften) werden die hierfür maßgebenden Kennwerte zusätzlich bestimmt, wie beispielsweise im Warmzug- und/oder Zeitstandversuch nach **DIN EN 10291** für warmfesten Stahlguss. Für kaltzähnen Stahlguss oder Stahlguss mit besonderen Zähigkeitsanforderungen wird der Kerbschlag-Biegeversuch bei tiefen Temperaturen durchgeführt und die Übergangstemperatur zwischen zähem und sprödem Bruch bestimmt. Hierfür wird üblicherweise entweder die Übergangstemperatur für 50 % kristallinen Bruchanteil (FATT50) oder die Übergangstemperatur für eine Kerbschlagarbeit von 27 J (LT_{27J}) benutzt. Eine weitere Möglichkeit für ein Sprödbbruchkriterium besteht in der Auswertung des instrumentierten Kerbschlag-Biegeversuches nach **SEP 1315** oder im Pellini-Test (NDT-Temperatur) nach **SEP 1325**.

Hinweise auf das Sprödbbruchverhalten lassen sich auch aus bruchmechanischen Untersuchungen gewinnen, zum Beispiel mit Hilfe der linear-elastischen Bruchmechanik nach **ASTM-E 399**.

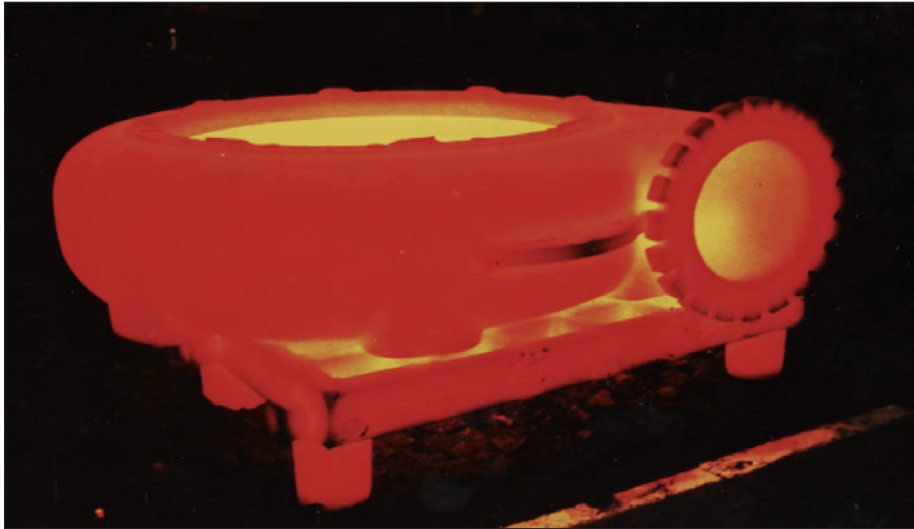


Bild 43: Die Wärmebehandlung ist ein entscheidender Abschnitt bei der Herstellung von Stahlguss. Ein gesteuertes Abkühlen nach dem Glühen sichert die gewünschte Gefügeausbildung und damit die Werkstoffeigenschaften dieser Stahlgussteile

Für Stahlguss-Bauteile mit Wechselbeanspruchung wird der Dauerschwingversuch nach **DIN 50 100** durchgeführt. Er kann als Umlauf-Biegeversuch nach **DIN 50 113** oder je nach Lage der Mittelspannung als Zug-Schwellversuch sowie als Zug-Druckversuch geführt werden. Für geringere Lastwechselzahlen und im allgemeinen langperiodische Lastwechsel mit plastischen Anteilen ist auch das Dehn-Wechselverhalten bei Raumtemperatur und erhöhten Temperaturen zu prüfen.

Innenhochdruckbeanspruchte Bauteile können in einem Innendruckversuch nach

DIN 50 104 der Dichtheitsprüfung unterzogen werden.

Zur Abnahmeprüfung von Stahlguss gehören im Allgemeinen nur der Zugversuch und der Kerbschlag-Biegeversuch bei Raumtemperatur und tiefen Temperaturen, nur gelegentlich der Warmzugversuch oder die Bestimmung der Übergangstemperatur im Kerbschlag-Biegeversuch. Die weiteren Prüfungen sind zum Teil sehr aufwändig und werden üblicherweise nur für das Herstellerwerk oder teilweise sogar – wie zum Beispiel bei der Zeitstandprüfung – nur für den Werkstoff in Gemeinschaftsarbeit von Stahlgussherstellern und -verbrauchern durchgeführt.

7.2.3 Metallographische Untersuchungen

Die Metallographie hat die Aufgabe, das Gefüge eines Stahls zu bestimmen. Hierzu dient in erster Linie die Lichtmikroskopie von Schliffen, um den Reinheitsgrad nach **SEP 1570**, die Korngröße nach **SEP 1510**, die Gefügebestandteile einschließlich beispielsweise der Carbide sowie die Erstarrungsstrukturen (Seigerungen usw.) zu bestimmen.

Ergänzende Untersuchungen der Bruch- oder Schliffflächen werden üblicherweise mit dem Rasterelektronenmikroskop durchgeführt (**Bild 44**). Für spezielle Untersuchungen der inneren Strukturen kommt die Transmissionselektronenmikroskopie zum Einsatz.

Die chemische Analyse der Gefügebestandteile kann quantitativ im Rasterelektronenmikroskop mit energiedispersivem Röntgenspektrometer oder in der Elektronenstrahl-Mikrosonde durchgeführt werden.

Als Beispiel zeigt **Bild 45** eine Mikrosondenanalyse an dem Vergütungsstahlguss G19CrMo9-10 (1.7382) für das Element Molybdän.

7.2.4 Korrosionsuntersuchungen

Korrosionsbeständige Stahlgussorten werden der Beanspruchung entsprechend verschiedenen Korrosionstests unterworfen oder zum Beispiel durch Aufnahme von Stromdichte-Potenzial-Kurven in verschiedenen Medien untersucht. Diese Untersuchungen, auf die später noch eingegangen wird, sind die gleichen wie bei Schmiede- und Walzstahl.

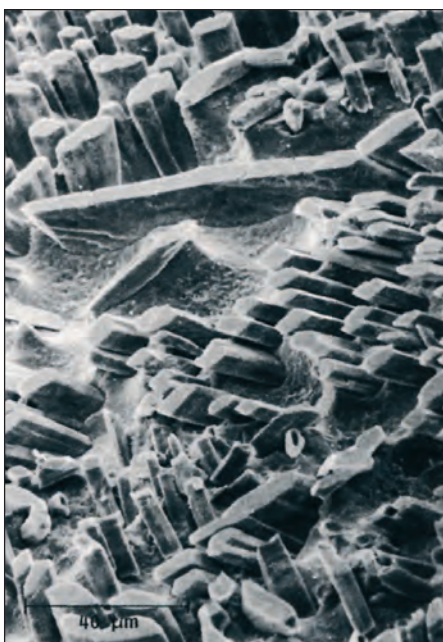


Bild 44: REM-Aufnahme der tiefgeätzten Oberfläche eines ferritisch-austenitischen Duplex-Stahlgusses [12]

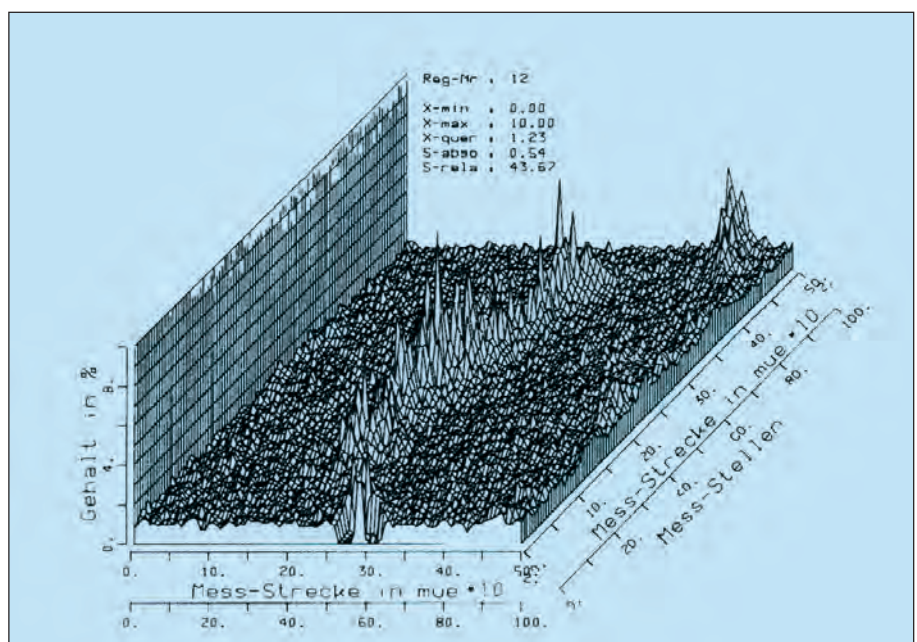


Bild 45: Relief vom Molybdängehalt eines GS19CrMo9-10 mit einer Mikrosondenuntersuchung ermittelt

7.3 Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung

Die zerstörungsfreien Prüfverfahren dienen dazu, die Beschaffenheit von Stahlgussstücken zu prüfen.

Prüfverfahren für die äußere Beschaffenheit sind die Magnetpulver-Prüfung (**DIN EN 1369**) und die Eindringprüfung (**DIN EN 1371, Teil 1**).

Prüfverfahren für die innere Beschaffenheit sind die Ultraschallprüfung (**DIN EN 12680, Teile 1 und 2**) und die Durchstrahlungsprüfung (**DIN EN 12681**). Eine Übersicht gibt **Bild 46**.

Zur Beurteilung der Prüfergebnisse werden Stahlgussstücke in fünf Gütestufen mit unterschiedlichen Anforderungen an die äußere und innere Beschaffenheit eingeteilt. Die Oberflächenzone und das Innere eines Bauteils werden häufig unterschiedlich beansprucht. Deshalb sind die Gütestufen für äußere und innere Beschaffenheit unabhängig voneinander definiert, können also je nach Anforderung unterschiedlich gewählt werden.

7.3.1 Visuelle Prüfung

Die Oberflächenbeschaffenheit muss zwischen Besteller und Hersteller vereinbart werden. Für die visuelle Beurteilung, die sich auf Oberflächenfehler, zum Beispiel Sand- und Schlackenstellen, Kaltschweißen, Schülpen, Formstoffreste, aber auch

auf Unebenheiten und Grate bezieht, gibt es die Norm **DIN EN 12454**. Sie stützt sich auf die **BNIF-** und **SCRATA-Richtreihen** zur Bestimmung der Oberflächenfehler. Diese Richtreihen enthalten Oberflächen-Vergleichsmuster, mit denen die Oberflächenfehler klassifiziert werden können.

Es werden drei Oberflächenserien je nach Art und Umfang der Fertigbearbeitung unterschieden:

- Serie 1: beschränkte Fertigbearbeitung (gestrahlte Guss Oberfläche),
- Serie 2: besondere Fertigbearbeitung (geschliffene Flächen),
- Serie 3: spezielle Fertigbearbeitung (thermisches Schneiden und Hämmern).

Jede Serie umfasst eine Anzahl von Beispielen, die für einige gängige Oberflächenzustände repräsentativ sind. Kunststoffplättchen mit den Abmessungen 110 x 160 mm sowie deren Fotografien veranschaulichen die Beispiele.

7.3.2 Magnetpulverprüfung

Die Magnetpulverprüfung, die Beurteilung der Anzeigen und die Einteilung in Gütestufen ist in **DIN EN 1369** beschrieben. Das Verfahren ist auf ferromagnetische Stahlgussarten beschränkt. Austenitische und teilaustenitische Stähle sind nur schwach magnetisierbar und daher nicht mit diesem Verfahren prüfbar.

Alle Magnetisierungsverfahren und Prüfmittelkombinationen sind anwendbar. Bevorzugt wird mit Selbstdurchflutung und mit nassen Prüfmitteln gearbeitet. Die Prüfoberfläche muss dabei sauber sein und eine bestimmte Mindestbeschaffenheit haben, die durch den kleinsten nachzuweisenden Fehler bestimmt wird [13].

7.3.3 Farbeindringprüfung

Die Farbeindringprüfung, die Beurteilung der Anzeigen und die Einteilung in Gütestufen ist in **DIN EN 1371** beschrieben. Diese Norm ist bei allen Stahlgussarten anwendbar, wird jedoch üblicherweise nur bei austenitischem und austenitisch-ferritischem Stahlguss vorgesehen. **DIN EN 1371, Teil 1** gilt für Sand-, Schwerkraftkokillen- und Niederdruck-Kokillengussstücke, die **DIN EN 1371, Teil 2** für Feingussstücke. Die Anforderungen an die Oberfläche sind dabei höher als bei der Magnetpulverprüfung. Die Anzeigenbeschreibung und -beurteilung ist die gleiche wie bei der Magnetpulverprüfung, wird allerdings unterstützt durch Bildreihen für nichtlineare Anzeigen, die ebenfalls in **DIN EN 1371** wiedergegeben sind [14].

7.3.4 Volumenprüfung

Die Verfahren zur Prüfung der inneren Beschaffenheit ergänzen sich gegenseitig. Die Verfahren werden daher häufig miteinander kombiniert. Die Ultraschallprüfung wird bevorzugt bei größeren Wanddicken, ferritischen Werkstoffen oder in der Serienfertigung angewendet. Die Durchstrahlungsprüfung wird entsprechend bei dünnwandigen Teilen, bei austenitischen und austenitisch-ferritischen Werkstoffen oder in Kombination mit der Ultraschallprüfung angewendet.

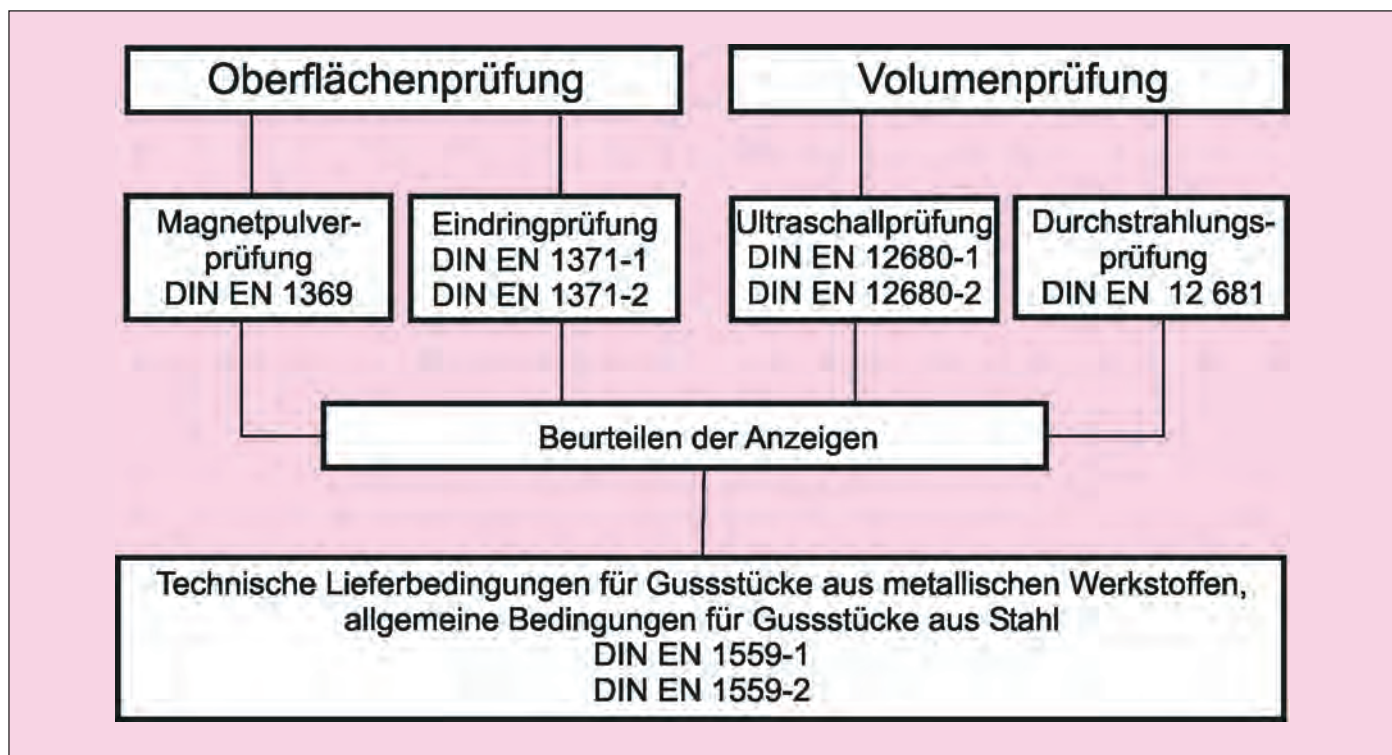


Bild 46: Genormte Prüfverfahren für Stahlguss und technische Lieferbedingungen in der Bundesrepublik Deutschland (Stand: Juni 2003)

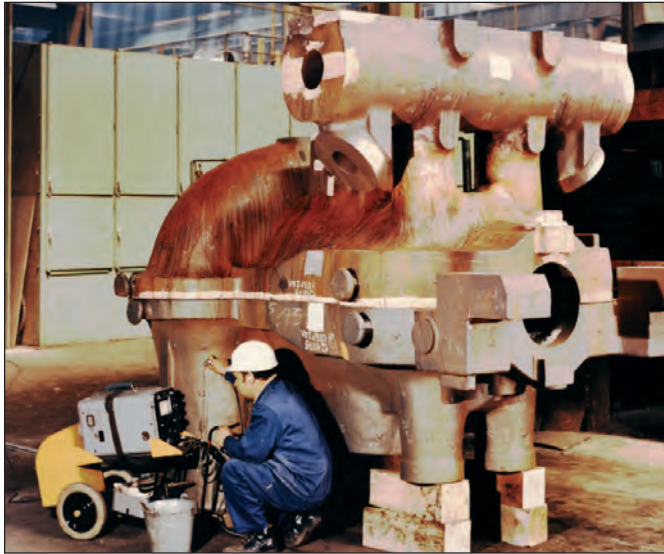


Bild 47: Ultraschallprüfung an einem Dampfturbinenzylinder aus warmfestem Stahlguss in Gussverbundkonstruktion

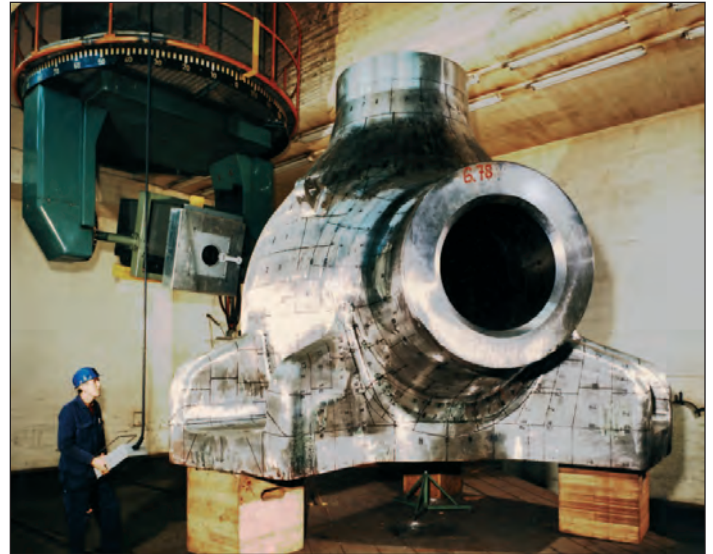


Bild 49: Durchstrahlungsprüfung eines Pumpengehäuses aus ASTM CF-3 für ein Kernkraftwerk mit Hilfe eines Linearbeschleunigers (Masse 32 t)

7.3.4.1 Ultraschallprüfung

Die Ultraschallprüfung, die Beurteilung der Anzeigen und die Einteilung in Gütestufen ist in **DIN EN 12680** beschrieben. **Teil 1** der Norm gilt bei Stahlgussstücken für allgemeine Verwendung, **Teil 2** enthält verschärfte Anforderungen für hoch beanspruchte Bauteile, zum Beispiel für bestimmte Turbinenkomponenten.

Mit der Ultraschallprüfung (Bild 47) sind alle stahlgusstypischen Fehler auffindbar. Mit einem Normalprüfkopf sind Fehler mit Volumenausdehnung bestimmbar, mit einem Winkelpprüfkopf werden planare (rissartige) Fehler bestimmt. Besonders wichtig bei der Ultraschallprüfung ist das Beobachten der Echodynamik, das heißt das Wandern des

Echos auf dem Bildschirm und seine gleichzeitige Höhenänderung beim Bewegen des Prüfkopfes (Bild 48).

Wenn hierdurch Hinweise auf rissähnliche, also gefährliche Fehler gegeben werden, müssen solche Anzeigen registriert werden, auch wenn die Echohöhe sehr gering ist. Das Ausmessen der Anzeigenhöhe in seitlicher und Tiefenrichtung wird so beschrieben und festgelegt, dass die Wahrscheinlichkeit, die wahre Fehlergröße zu erfassen, sehr groß ist. Versuche haben das bestätigt [15].

Wichtig für eine einwandfreie Ultraschallprüfung ist ferner qualifiziertes Prüfpersonal und eine genaue Prüfanweisung, die die Lage und Orientierung zu erwartender Fehler berücksichtigt.

7.3.4.2 Durchstrahlungsprüfung

Für die Durchstrahlungsprüfung, Bild 49, gilt **DIN EN 12681** [16]. Die möglichen Aufnahmeanordnungen, Strahlenquellen und deren Anwendungsbereiche sind beschrieben. Nach den erforderlichen Prüfbedingungen werden die Prüfklassen A und B unterschieden. Im allgemeinen ist die Prüfkategorie A ausreichend. Die Prüfkategorie B gilt nur für Sonderfälle. Die bei der Durchstrahlungsprüfung erhaltenen Anzeigen sind auf der Grundlage von ASTM-Bildreihen nach Güteklassen (Level 1 bis 5) eingeteilt.

7.4 Qualitätsmanagement

Seit der Einführung des Regelwerkes DIN EN ISO 9000 ff im Jahre 1994 ist es zum Standard geworden, dass in den Unternehmen Qualitätsmanagementsysteme aufgebaut und implementiert wurden. Nach anfänglich zögerlichem Verhalten bezüglich der Zertifizierung dieser Systeme vor allem aus Kostengründen mussten die Unternehmen erkennen, dass eine Zertifizierung durch eine akkreditierte Organisation zwingend erforderlich ist. Zum Teil kamen die Forderungen dafür aus der Kundschaft, zum Teil wurde erkannt, welches Verbesserungspotential und mögliche Kostenreduzierungen durch die Festbeschreibung der Prozesse und Tätigkeiten vorhanden waren.

Die Ausgabe der DIN EN ISO 9000 ff von 1994 war Elemente bezogen gegliedert. Unterschieden wurde in DIN EN ISO 9001, 9002 und 9003, wobei die DIN EN ISO 9001 den höchsten Dokumentationsnachweis forderte. Es stellte sich nach der Einführung dieser Normen sehr schnell heraus, dass es mehr Sinn macht, Prozesse, die im Unternehmen ablaufen, zu beschreiben.

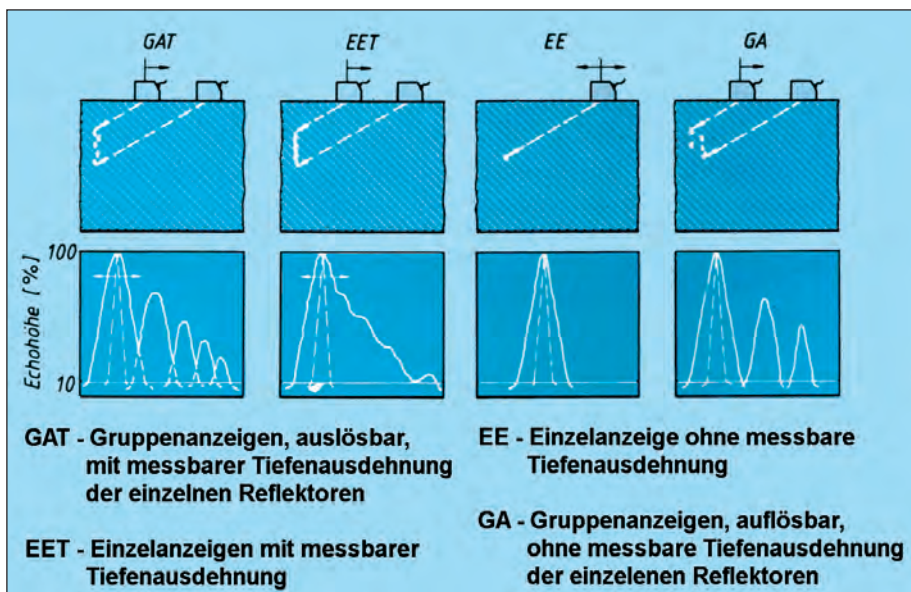


Bild 48: Kennzeichnende Formen der Echodynamik beim Messen gusstypischer Fehler mit dem Winkelpprüfkopf [15]

Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse und Erfahrungen entstand die DIN EN ISO 9001, Ausgabe 2000, die Prozess orientiert gegliedert ist.

Als wichtigste Neuerungen in der DIN EN ISO 9001:2000, die auch für die Gießereien verbindlich sind, und in deren Qualitätssystemen Berücksichtigung finden, sind [17]:

- Kundenorientierung und -zufriedenheit (Bewusstsein für die Kundenanforderungen bei Mitarbeitern fördern und Analyse der Kundenanforderungen),
- Prozessorientierung (Tätigkeiten nicht Elemente, sondern Ablauf bezogen darstellen),
- Mitarbeiterorientierung (Mitarbeiterfähigkeiten fördern und ausnutzen),
- Messbarkeit der Ziele (Wirksame Entscheidungen beruhen auf Analysen von Daten).

Die wohl wichtigste Neuerung aber ist die Betrachtungsweise der Abläufe im Qualitätsmanagement-System als Prozess, wobei ein Prozess nach DIN EN ISO 9000 wie folgt definiert ist: "...Satz von in Wechselbeziehung oder Wechselwirkung stehenden Tätigkeiten, der Eingaben in Ergebnisse umwandelt." Das Managementsystem muss die Prozesse erkennen und definieren, die dann Eingang in die Qualitätsmanagement-Dokumentation der Gießerei finden. Damit ist das Qualitätssicherungs-Handbuch der Gießerei das aussagefähige Dokument für die lieferbare Qualität und die organisatorischen Aspekte der Produktionsabwicklung bis hin zu den Kundenbeziehungen.

Im **Bild 1** ist der Prozessregelkreis, so wie die Norm ihn definiert, beispielhaft aufgezeigt. Die bisher am häufigsten angewendete Gliederung der Qualitätsmanagement-Dokumentation in Arbeits- und Betriebsanweisungen, Verfahrensanweisungen und das Qualitätssicherungs-Handbuch ist dabei geblieben.

Inzwischen hat die Computertechnik Einzug in alle Unternehmen gehalten, so dass es sinnvoll ist, die Qualitätsmanagement-System-Dokumentation auch per EDV anzubieten. Ausgenommen hier von können Arbeits- und Betriebsanweisungen sein, die der Mitarbeiter direkt an seinem Arbeitsplatz in der Produktion benötigt. Wurde die papierlose Variante gewählt, ist es von großer Bedeutung, eine Anwender freundliche, für den Mitarbeiter gut handhabbare Software und Darstellungsform zu benutzen. Beispielhaft erläutert wird dies in dem **Bild 51**. Über die Benutzung der Schaltflächen in der Kopf- und Fußzeile auf jeder Seite, ist der Zugriff auf die gewünschte Information sehr schnell verfügbar.

Immer häufiger wird neben der Frage nach einem zertifizierten Qualitätsmanagement-

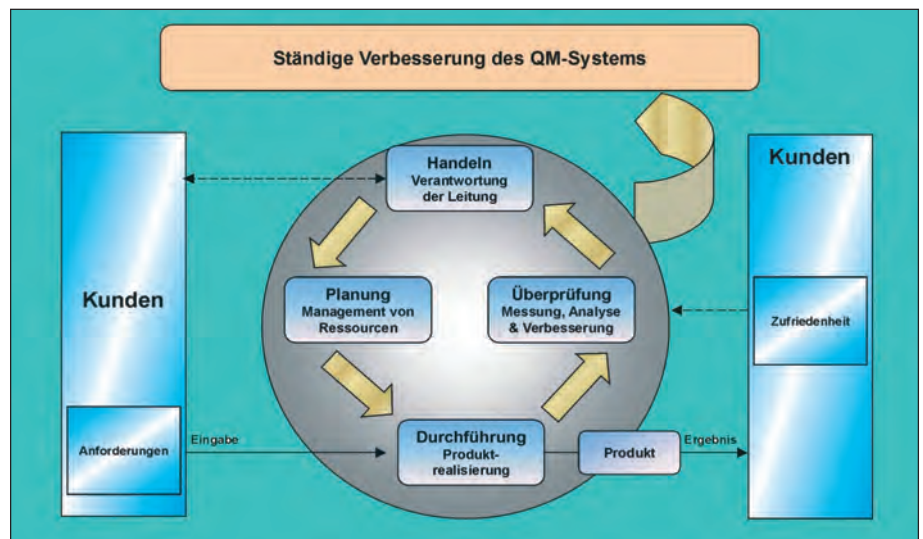


Bild 50: Qualitätskreis eines Qualitätsmanagementsystems (oben)

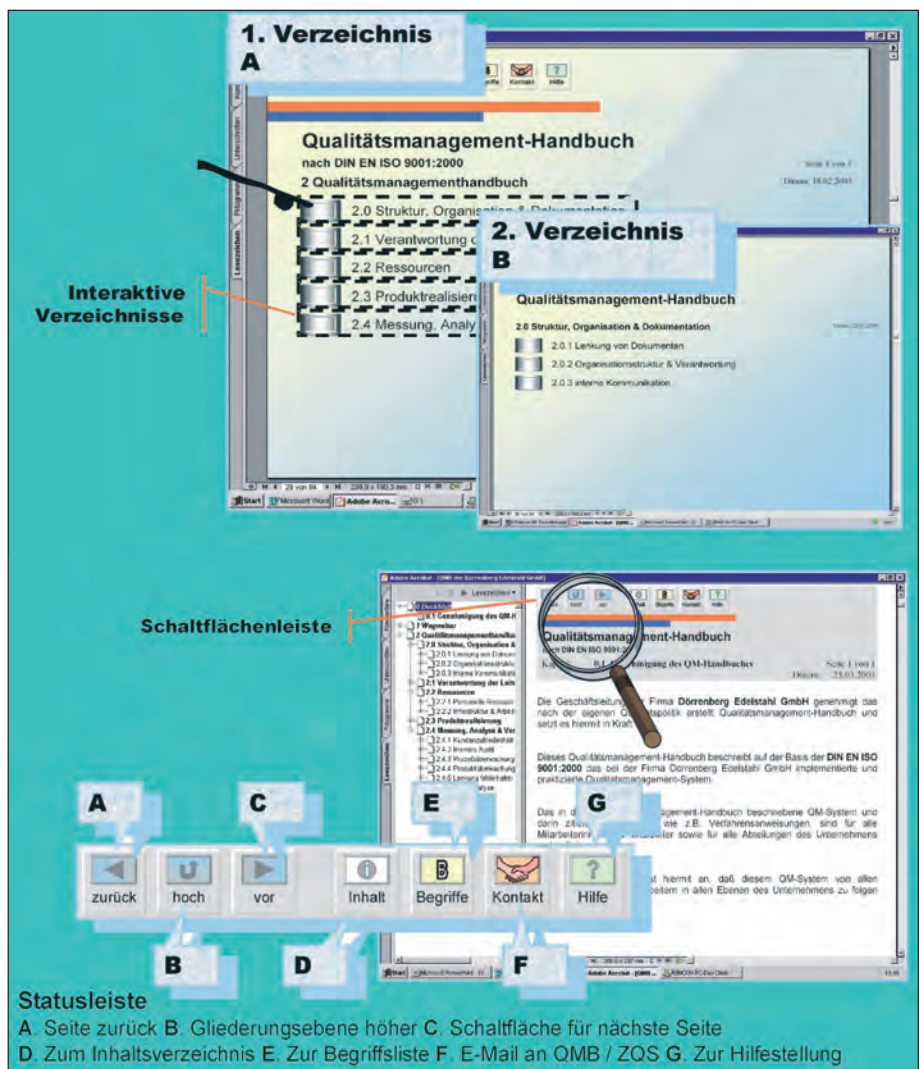


Bild 51: Navigationsmöglichkeiten in der elektronischen Qualitätsmanagement-Dokumentation über Verzeichnisse (Mitte) und Schaltflächenleiste (unten)

System auch die Frage nach einem Umweltmanagement-System gestellt. Nicht zuletzt aus Standortgründen, beispielsweise wenn ein Unternehmen in einem Wohnmischgebiet liegt, wird zusätzlich ein Umweltmanagement-System

nach DIN EN ISO 14000 oder vergleichbaren Regelwerken eingeführt. Da sich in beiden Dokumentationen viele Dinge gleichen, wird verstärkt dazu übergegangen, diese Systeme zusammenzufassen.

8 Die Stahlgussorten

Die Werkstoffgruppen beim Stahlguss werden vor allem nach ihren mechanischen, technologischen oder chemischen Eigenschaften unterteilt, wobei die Werkstoffpalette der Gießereien häufig von unlegiert bis hochlegiert reicht. Die große Werkstoffvielfalt gestattet es, für alle Anwendungsfälle eine geeignete Sorte mit der gewünschten Eigenschaftskombination zu finden.

Die in vielen Bereichen der Technik angewandten Stahlgussorten sind durch bestimmte Eigenschaften gekennzeichnet, die sie für die jeweils auftretenden Beanspruchungen geeignet machen. Je nach den hauptsächlich geforderten Eigenschaften kann dies die Festigkeit bei Raumtemperatur oder höheren Temperaturen, die Zähigkeit, ausgedrückt durch die Kerbschlagarbeit, besonders bei tiefen Temperaturen die bruchmechanischen Kennwerte, die Dauer- oder Zeitstandfestigkeit sein. Bei erhöhten Temperaturen spielen auch die Zeitstandfestigkeit und die Dehnwechselbelastbarkeit eine Rolle. Ferner sind die Korrosions- und Verschleißbeständigkeit in vielen Anwendungsfällen von entscheidender Bedeutung.

Ein besonderer Vorteil von Stahlguss ist dessen gute Schweißbarkeit, die es gestattet, ihn in Schweißverbundkonstruktionen einzusetzen. Aus diesem Grund sind viele Stahlgussorten auf gute Schweißbarkeit konzipiert. Die beim Schweißen zu beachtenden Maßnahmen richten sich nach dem Legierungsgehalt, wobei der Kohlenstoffgehalt eine besondere Rolle spielt. Weiterhin ist die Schweißgeometrie (Wanddicke, Art und Form des Bauteils) von Bedeutung.

Für die vielfältigen Anwendungsfälle, die bis zum Einsatz unter hohen und tiefen Temperaturen reichen sowie im hohen wie im niedrigen Festigkeitsbereich liegen können oder besonders gute Schweißbarkeit, Korrosions- und Verschleißbeständigkeit verlangen, gibt es genormte Stahlgussorten. Darüber hinaus ist es möglich, zur Anpassung an besondere Eigenschaftskombinationen zusätzliche Sorten, wie beispielsweise solche mit spezieller chemischer Zusammensetzung oder Wärmebehandlung herzustellen.

Im folgenden Kapitel wird ein Überblick über die Zusammensetzung und die zu erwartenden Eigenschaften der genormten Stahlgussorten gegeben.

8.1 Stahlguss für allgemeine Verwendungszwecke

Stahlguss für allgemeine Verwendungszwecke (**Tabelle 6**) umfasst die unlegierten und niedriglegierten Sorten nach **DIN 1681**,

konstruieren + gießen 29 (2004) Nr. 1

die durch ihre mechanischen Eigenschaften bei Raumtemperatur gekennzeichnet sind, und die niedriglegierten Sorten nach **DIN 17 182**, die bei gleichen Festigkeitseigenschaften erhöhte Zähigkeit und verbesserte Schweißbarkeit haben. Mit Erscheinen der **DIN EN 10293** werden die genannten Normen zurückgezogen. Die mechanischen Eigenschaften dieser Sorten sind in **Tabelle 7** genannt. Sie sind weitgehend richtungsunabhängig, also für alle Beanspruchungsrichtungen gleich. Die Sorteneinteilung von Stahlguss für allgemeine Verwendungszwecke richtet sich nach den in **DIN 1681** genannten Mindestwerten der mechanischen Eigenschaften bei Raumtemperatur. Abhängig vom Kohlenstoffgehalt (0,1 bis 0,5 %) wird nach dem Normalglühen eine Mindestzugfestigkeit zwischen 380 und 600 N/mm² bei Mindestwerten für die Streckgrenze von 200 bis 300 N/mm² erreicht. Die Bruchdehnung nimmt mit steigender Zugfestigkeit ab und beträgt 25 bis 15 %.

Stahlguss für allgemeine Verwendung nach **DIN 1681** wird vorwiegend im Temperaturbereich zwischen -10 und 300 °C für Bauteile verwendet, die mittleren dynamischen und stoßartigen Beanspruchungen ausgesetzt sind.

Für den Konstrukteur ist wichtig zu wissen, dass der wesentliche Berechnungskennwert die Streckgrenze bis zu Wanddicken von 100 mm auch für das Gussstück selbst und nicht nur für die (angegossene) Probenleiste gewährleistet wird.

Zur Verbesserung des Schweißverhaltens ist es seit langem üblich, den Kohlenstoffgehalt im Stahlguss abzusenken und durch einen erhöhten Mangangehalt auszugleichen. Auf diese Weise sind die Stahlgussorten mit verbesserter Schweißleistung G17Mn5 (1.1131) und G20Mn5 (1.1120) entstanden. Diese Sorten zeichnen sich wegen des begrenzten Kohlenstoffgehalts auch durch erhöhte Zähigkeit aus. Durch Flüssigkeitsvergrüßung gelingt für Wanddicken bis 40 mm der Anschluss an die mikrolegierten Feinkornbaustähle, mit denen diese Stahlgussorten in Schweißverbundkonstruktionen gemeinsam eingesetzt werden.

Für die gleichen Verwendungszwecke, aber größere Wanddicken, steht der Feinkornstahlguss G8MnMo7-4 (1.5430) zur Verfügung. Wegen dessen Fähigkeit zum Ausscheidungshärten können die gewünschten Eigenschaften – weitgehend unabhängig von der Wanddicke – eingestellt werden. Dieser Werkstoff hat ein extrem niedriges Kohlenstoffäquivalent und ist daher auch noch in größeren Wanddicken ohne Vorwärmen und ohne Wärmehaftbehandlung zu schweißen. Weder in

der chemischen Zusammensetzung noch in den mechanischen Eigenschaften – insbesondere auch in den Tieftemperatureigenschaften – unterscheidet sich G8MnMo7-4 (1.5430) vom gewalzten oder geschmiedeten Feinkornbaustahl P355N (1.0562) oder P355NL1 (1.0566) nach DIN EN 10028-3. Diese Stahlgussorte bietet sich insbesondere für große Konstruktionen im Offshore-Bereich oder dem Hochbau an.

G8MnMo7-4 (1.5430) zeichnet sich neben guter Schweißbarkeit auch durch hohe Dauerfestigkeit, das heißt Ermüdungsbeständigkeit, aus. G8MnMo7-4 (1.5430) und die speziell für den Offshore-Einsatz entwickelte Stahlgussorte G13MnNi6-4 (1.6221) (**Bild 52**), die problemlose Schweißbarkeit auch für große Wanddicken gewährleistet, verfügen neben einer guten Schweißbarkeit auch über eine hohe Dauerfestigkeit, das heißt hohe Ermüdungsbeständigkeit.

8.2 Stahlguss für das Bauwesen

Die neue Europäische Norm befand sich zur Zeit der Drucklegung dieser Broschüre erst im Entwurfsstadium und trägt daher noch keine Nummer. Sie wird vorwiegend unlegierte, aber auch einige korrosionsbeständige Werkstoffsorten enthalten. Eine Übersicht gibt **Tabelle 8**. Darin sind auch die mechanischen Kennwerte der Werkstoffsorten enthalten.

Der Normentwurf spezifiziert außerdem Anhaltsangaben für das Schweißen. Es ist allerdings zu betonen, dass die Angaben in **Tabelle 8** nur vorläufig sind und sich in Einzelheiten noch ändern können.



Bild 52: Einteilig gegossene Knoten für den Bau von Offshore-Ölbohrplattformen aus der Stahlsorte G13MnNi6-4; Masse 1250 bzw. 1050 kg

Tabelle 6: Chemische Zusammensetzung in Masse-% (Gussanalyse) der Stahlgussorten für allgemeine Verwendung nach DIN EN 10 293 (Entwurf)

Stahlgussorten		C		Si	Mn		P	S	Cr		Mo		Ni		V		W
Kurzname	Werkstoff-Nummer	min.	max.	max.	min.	max.	max.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	max.
GE200		-	-	-	-	-	0,035	0,030	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GS200		-	0,18	0,60	-	1,20	0,030	0,025	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GE240		-	-	-	-	-	0,035	0,030	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GS240		-	0,23	0,60	-	1,20	0,030	0,025	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GE300		-	-	-	-	-	0,035	0,030	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G17Mn5	1.1131	0,15	0,20	0,60	1,00	1,60	0,020	0,020 ¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G20Mn5	1.6220	0,17	0,23	0,60	1,00	1,60	0,020	0,020 ¹⁾	-	-	-	-	0,80	-	-	-	-
G24Mn6	1.1118	0,20	0,25	0,60	1,50	1,80	0,020	0,015	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G28Mn6		0,25	0,32	0,60	1,20	1,80	0,035	0,030	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G20Mo5	1.5419	0,15	0,23	0,60	0,50	1,00	0,025	0,020 ¹⁾	-	-	0,40	0,60	-	-	-	-	-
G10MnMoV6-3		-	0,12	0,60	1,20	1,80	0,025	0,020	-	-	0,20	0,40	-	-	0,05	0,10	-
G15CrMoV6-9		0,12	0,18	0,60	0,60	1,00	0,025	0,020 ¹⁾	1,30	1,80	0,80	1,00	-	-	0,15	0,25	-
G17CrMo5-5	1.7357	0,15	0,20	0,60	0,50	1,00	0,025	0,020 ¹⁾	1,00	1,50	0,45	0,65	-	-	-	-	-
G17CrMo9-10	1.7379	0,13	0,20	0,60	0,50	0,90	0,025	0,020 ¹⁾	2,00	2,50	0,90	1,20	-	-	-	-	-
G26CrMo4		0,22	0,29	0,60	0,50	0,80	0,025	0,020 ¹⁾	0,80	1,20	0,15	0,30	-	-	-	-	-
G34CrMo4		0,30	0,37	0,60	0,50	0,80	0,025	0,020 ¹⁾	0,80	1,20	0,15	0,30	-	-	-	-	-
G42CrMo4		0,38	0,45	0,60	0,60	1,00	0,025	0,020 ¹⁾	0,80	1,20	0,15	0,30	-	-	-	-	-
G30CrMoV6-4	1.7725	0,27	0,34	0,60	0,60	1,00	0,025	0,020 ¹⁾	1,30	1,70	0,30	0,50	-	-	0,05	0,15	-
G35CrNiMo6-6		0,32	0,38	0,60	0,60	1,00	0,025	0,020 ¹⁾	1,40	1,70	0,15	0,35	1,40	1,70	-	-	-
G9Ni14	1.5638	0,06	0,12	0,60	0,50	0,80	0,020	0,015	-	-	-	-	3,00	4,00	-	-	-
G9Ni19		0,06	0,12	0,60	0,50	0,80	0,020	0,020	-	-	-	-	4,50	5,50	-	-	-
G20NiCrMo4		0,17	0,23	0,60	0,80	1,20	0,025	0,015 ¹⁾	0,30	0,50	0,40	0,80	0,80	1,20	-	-	-
G32NiCrMo8-5-4		0,28	0,35	0,60	0,60	1,00	0,020	0,015	1,00	1,40	0,30	0,50	1,60	2,10	-	-	-
G17NiCrMo13-6	1.6781	0,15	0,19	0,50	0,55	0,80	0,015	0,015	1,30	1,80	0,45	0,60	3,00	3,50	-	-	-
G30NiCrMo14		0,27	0,33	0,60	0,60	1,00	0,030	0,020	0,80	1,20	0,30	0,60	3,00	4,00	-	-	-
GX3CrNi13-4	1.6982	-	0,05	1,00	-	1,00	0,035	0,015	12,00	13,50	-	0,70	3,50	5,00	-	-	-
GX4CrNi13-4	1.4317	-	0,06	1,00	-	1,00	0,035	0,025	12,00	13,50	-	0,70	3,50	5,00	-	-	-
GX4CrNi16-4		-	0,06	0,80	-	1,00	0,035	0,020	15,50	17,50	-	0,70	4,00	5,50	-	-	-
GX4CrNiMo16-5-1	1.4405	-	0,06	0,80	-	1,00	0,035	0,025	15,00	17,00	0,70	1,50	4,00	6,00	-	-	-
GX23CrMoV12-1	1.4931	0,20	0,26	0,40	0,50	0,80	0,030	0,020	11,30	12,20	1,00	1,20	-	1,00	0,25	0,35	0,50



Bild 53: Sechskantverbundplatten für mobile Oberflächenbefestigung aus GE260, Plattengewicht 23 kg



Bild 54: Einschließlich der Gewinde Rd 90 x 10 einbaufertig aus GE260 gegossene Traverse und Spannmutter für ein Transportgeschirr

Tabelle 7: Mechanische Eigenschaften der Stahlgussorten für allgemeine Verwendung nach DIN 10 293 (Entwurf), gültig bis Angussproben und getrennt gegossene Proben, mit Ausnahme der Bruchdehnung auch für Proben aus dem Stück (Seite 29)

Legende zu Tabelle 7:

- ¹⁾ Temperatur (nur zur Information)
- ²⁾ bei zwei Kerbschlagzähigkeiten
- ³⁾ + N - Normalisieren; + QT - Abschrecken und Anlassen
- ⁴⁾ 1 N/mm² = 1 MPa
- ⁵⁾ Luftkühlung (nur zur Information)
- ⁶⁾ RT = Raumtemperatur
- ⁷⁾ Flüssigkeitskühlung (nur zur Information)
- ⁸⁾ Die Sorte G15CrMoV6-9 ist anwendbar, wenn kurze Zeit eine höhere Temperatur und folgende Streckgrenzenverhältnisse eingehalten werden:

Rp _{0,2 min.} [MPa]				
Temperatur [°C]	350	450	500	550
G15CrMoV6-9 + QT1	610	550	510	420
+ QT2	750	670	610	520

Stahlgussorten		Wärmebe- handlung ^{1, 3)}	Wanddicke t	Mechanische Eigenschaften bei RT		Schlagversuch ⁴		
Kurzname	Werkstoff- Nummer	Symbol ⁷⁾	[mm]	R _{p0,2} ⁴⁾ min. [N/mm ²]	R _m ⁴⁾ [N/mm ²]	A min. [%]	KV min. [J]	Temperatur [°C]
GE200		+ N ⁵⁾	≤ 300	200	380 bis 530	25	27	RT ⁶⁾
GS200		+ N ⁵⁾	≤ 100	200	380 bis 530	25	35	RT ⁶⁾
GE240		+ N ⁵⁾	≤ 300	240	450 bis 600	22	27	RT ⁶⁾
GS240		+ N ⁵⁾	≤ 100	240	450 bis 600	22	31	RT ⁶⁾
GE300		+ N ⁵⁾	≤ 30	300	600 bis 750	15	27	RT ⁶⁾
			> 30 - ≤ 100	300	520 bis 670	18	31	RT ⁶⁾
G17Mn5	1.1131	+ QT ^{5, 7)}	≤ 50	240	450 bis 600	24	27 70	- 40 RT ⁶⁾
G20Mn5	1.6220	+ N ⁵⁾	≤ 30	300	480 bis 620	20	27 50	- 30 RT ⁶⁾
		+ QT ^{5, 7)}	≤ 100	300	500 bis 650	22	27 60	- 40 RT ⁶⁾
G24Mn6	1.1118	+ QT1	≤ 50	550	700 bis 800	12	27	- 20
		+ QT2 ⁵⁾	≤ 100	500	650 bis 800	15	27	- 30
		+ QT3 ⁵⁾	≤ 150	400	600 bis 800	18	27	- 30
G28Mn6		+ N ⁵⁾	≤ 250	260	520 bis 670	18	27	RT ⁶⁾
		+ QT1 ⁷⁾	≤ 100	450	600 bis 750	14	35	RT ⁶⁾
		+ QT2 ⁷⁾	≤ 50	550	700 bis 850	10	31	RT ⁶⁾
G20Mo5	1.5419	+ QT ⁷⁾	≤ 100	245	440 bis 590	22	27	RT ⁶⁾
G10MnMoV6-3		+ QT1 ⁵⁾	≤ 50	380	500 bis 650	22	27 60	- 20 RT ⁶⁾
			> 50 - ≤ 100	350	480 bis 630	22	60	RT ⁶⁾
			> 100 - ≤ 150	330	480 bis 630	20	60	RT ⁶⁾
			> 150 - ≤ 250	330	450 bis 600	18	60	RT ⁶⁾
		+ QT2 ⁷⁾	≤ 50	500	600 bis 750	18	27 60	- 20 RT ⁶⁾
			> 50 - ≤ 100	400	550 bis 700	18	60	RT ⁶⁾
			> 100 - ≤ 150	380	500 bis 650	18	60	RT ⁶⁾
			> 150 - ≤ 250	350	460 bis 610	18	60	RT ⁶⁾
		+ QT3 ⁷⁾	≤ 100	400	520 bis 650	22	27 60	20 RT ⁶⁾
G15CrMoV6-9		+ QT1 ^{7, 8)}	≤ 50	700 ⁷⁾	850 bis 1000	10	27	RT ⁶⁾
		+ QT2 ⁷⁾	≤ 50	930 ⁷⁾	980 bis 1150	6	27	RT ⁶⁾
G17CrMo5-5	1.7357	+ QT ^{5, 7)}	≤ 100	315	490 bis 690	20	27	RT ⁶⁾
G17CrMo9-10	1.7379	+ QT ^{5, 7)}	≤ 150	400	590 bis 740	18	40	RT ⁶⁾
G26CrMo4		+ QT1 ^{5, 7)}	≤ 100	450	600 bis 750	16	40	RT ⁶⁾
			> 100 - ≤ 250	300	550 bis 700	14	27	RT ⁶⁾
G34CrMo4		+ QT1 ⁷⁾	≤ 100	540	700 bis 850	12	35	RT ⁶⁾
			> 100 - ≤ 150	480	620 bis 770	10	27	RT ⁶⁾
			> 150 - ≤ 250	330	620 bis 770	10	16	RT ⁶⁾
		+ QT2 ⁷⁾	≤ 100	650	830 bis 980	10	27	RT ⁶⁾
G42CrMo4		+ QT1 ⁷⁾	≤ 100	600	800 bis 950	12	31	RT ⁶⁾
			> 100 - ≤ 150	550	700 bis 850	10	27	RT ⁶⁾
			> 150 - ≤ 250	350	650 bis 800	10	16	RT ⁶⁾
		+ QT2 ⁷⁾	≤ 100	700	850 bis 1000	10	27	RT ⁶⁾
G30CrMoV6-4	1.7725	+ QT1 ⁷⁾	≤ 100	700	850 bis 1000	14	45	RT ⁶⁾
			> 100 - ≤ 150	550	750 bis 900	12	27	RT ⁶⁾
			> 150 - ≤ 250	350	650 bis 800	12	20	RT ⁶⁾
		+ QT2 ⁷⁾	≤ 100	750	900 bis 1100	12	31	RT ⁶⁾
G35CrNiMo6-6		N ⁵⁾	≤ 150	550	800 bis 950	12	31	RT ⁶⁾
			> 150 - ≤ 250	500	750 bis 900	12	31	RT ⁶⁾
		+ QT1 ^{5, 7)}	≤ 100	700	850 bis 1000	12	45	RT ⁶⁾
			> 100 - ≤ 150	650	800 bis 950	12	35	RT ⁶⁾
			> 150 - ≤ 250	650	800 bis 950	12	30	RT ⁶⁾
		+ QT2 ⁷⁾	≤ 100	800	900 bis 1050	10	35	RT ⁶⁾
G9Ni14	1.5638	+ QT ⁷⁾	≤ 35	360	500 bis 650	20	27	- 90
G9Ni19		+ QT ⁷⁾	≤ 30	380	550 bis 700	18	27 100	- 100 RT ⁶⁾
G20NiCrMo4		+ QT ⁷⁵⁾	≤ 150	410	570 bis 720	16	27 40	- 45 RT ⁶⁾
G32NiCrMo8-5-4		+ QT1 ^{5, 7)}	≤ 100	700	850 bis 1000	16	50	RT ⁶⁾
		+ QT2 ^{5, 7)}	> 100 bis ≤ 250	650	820 bis 970	14	35	RT ⁶⁾
G17NiCrMo13-6	1.6781	+ QT ^{5, 7)}	≤ 100	950	1050 bis 1200	10	35	RT ⁶⁾
G30NiCrMo14		+ QT1 ^{5, 7)}	≤ 200	600	750 bis 900	15	27	- 80
			≤ 100	700	900 bis 1050	9	30	RT ⁶⁾
			> 100 bis ≤ 150	650	850 bis 1000	7	30	RT ⁶⁾
		+ QT2 ^{5, 7)}	> 150 bis ≤ 250	600	800 bis 950	7	25	RT ⁶⁾
			≤ 50	1000	1100 bis 1250	7	20	RT ⁶⁾
GX3CrNi13-4	1.6982	+ QT ⁵⁾	≤ 300	500	700 bis 900	15	27	- 120
GX4CrNi13-4	1.4317	+ QT ⁵⁾	≤ 300	550	760 bis 960	15	50	RT ⁶⁾
GX4CrNi16-4		+ QT1 ⁵⁾	≤ 300	540	780 bis 980	15	60	RT ⁶⁾
		+ QT2 ⁵⁾	≤ 300	830	1000 bis 1200	10	27	RT ⁶⁾
GX4CrNiMo16-5-1	1.4405	+ QT ⁵⁾	≤ 300	540	760 bis 960	15	60	RT ⁶⁾
GX23CrMoV12-1	1.4931	+ QT ^{5, 7)}	≤ 150	540	740 bis 880	15	27	RT ⁶⁾

Tabelle 8: Mechanische Eigenschaften der Stahlgussorten für das Bauwesen (DIN-EN-Entwurf)

Stahlgussorten		Wärmebe- handlung ^{1,3)}	Wanddicke t	Zugversuch bei RT			Schlagversuch ²⁾	
Kurzname	Werkstoff- Nummer			R _{pe,2} ⁴⁾ min.	R _m ⁴⁾	A min.	KV min.	Tempe- ratur
				[N/mm²]	[N/mm²]	[%]	[J]	[°C]
GS200		+ N ⁵⁾	100	200	380 bis 530	25	35	RT ⁶⁾
GS240		+ N ⁵⁾	100	240	450 bis 600	22	31	RT ⁶⁾
G17Mn5	1.1131	+ QT ^{5,7)}	50	240	450 bis 600	24	27 70	- 40 RT ⁶⁾
G20Mn5	1.6220	+ N ⁵⁾	60	300	480 bis 620	20 20	27 40	- 30 RT ⁶⁾
		+ QT ^{5,7)}	100	300	500 bis 560	22	27 60	- 20 RT ⁶⁾
G24Mn6	1.1118	+ QT1 ⁷⁾	550	550	700 bis 800	12	27	- 20
		+ QT2 ⁷⁾	100	500	650 bis 800	15	27	- 30
		+ QT3 ⁷⁾	150	400	600 bis 800	18	27	- 30
G10MnMoV6-3		+ QT1 ⁵⁾	50	380	500 bis 650	22	27 60	- 20 RT ⁶⁾
			50 - 100	350	480 bis 630	22	60	RT ⁶⁾
			100 - 450	330	480 bis 630	20	60	RT ⁶⁾
			150 - 250	330	450 bis 600	18	60	RT ⁶⁾
		QT2 ⁷⁾	50	500	600 bis 750	18	27 60	- 20 RT ⁶⁾
			50 - 100	400	550 bis 700	18	60	RT ⁶⁾
			100 - 150	380	500 bis 650	18	60	RT ⁶⁾
			150 - 250	350	460 bis 610	18	60	RT ⁶⁾
		+ QT3 ⁷⁾	100	400	520 bis 650	22	27 60	- 20 RT ⁶⁾
G18NiMoCr3-6	1.6759	+ QT1 ⁷⁾	80	700	830 bis 980	12	27	- 40
		+ QT2 ⁷⁾	150	630	780 bis 930	12	27	- 40
GX2CrNi19-11	1.4309	+ AT ⁸⁾	150	185	440 bis 640	30	70 80	- 196 RT ⁶⁾
GX4CrNi13-4	1.4317	+ QT ³⁾	< 300	500	700 bis 900	15	27	RT
GXCrNiMo16-5-1	1.4405	+ QT	< 300	540	760 bis 960	15	60	RT
GX2CrNiMo19-11-2	1.4405	+ AT ⁸⁾	< 150	-	440 bis 640	30	80	RT
GX2CrNiMoN26-7-4	1.4469	+ AT ⁸⁾	< 150	480	650 bis 850	22	50	RT

¹⁾ Temperatur und Abkühlmedium (nur zur Information)

²⁾ bei zwei Kerbschlagzähigkeiten

³⁾ + N = Normalisieren + QT = Abschrecken + AT = Lösungsglühen (Austenitisierungsglühen) + Anlassen

⁴⁾ 1 MPa = 1 N/mm²

⁵⁾ Luftkühlung (nur zur Information)

⁶⁾ RT = Raumtemperatur

⁷⁾ Flüssigkeitskühlen (nur zur Information)

⁸⁾ Austenitisierungsglühen mit Abschrecken in Wasser

N - Normalgeglüht

QT - Vergütet

AT - Austenitisierungsglühen

8.3 Stahlguss für Druckbehälter

Auf der Basis der ISO-Norm für Stahlguss für Druckbehälter (ISO 4991) wurde seinerzeit mit DIN EN 10213 eine neue Europäische Norm für Stahlguss für Druckbehälter erstellt. Damit entstand erstmalig eine auf einen besonderen Anwendungsfall bezogene Norm für Stahlguss. Die bisherigen Normen teilen die Werkstoffe nach ihren Eigenschaften ein. Die neue Norm enthält vorwiegend unlegierte aber auch einige korrosionsbeständige Werkstoffsorten, die bei der Herstellung von Druckbehältern eingesetzt werden.

Die Norm (Ausgabe 1995) gliedert sich in vier Teile:

Teil 1. Allgemeines,

Teil 2. Stahlsorten für die Verwendung bei Raumtemperatur und erhöhten Temperaturen,

Teil 3. Stahlsorten für die Verwendung bei tiefen Temperaturen,

Teil 4. Austenitische und austenitisch-ferritische Stahlsorten

Teil 1 der Norm gibt die allgemeinen technischen Lieferbedingungen an. Die darin aufgeführten 30 Stahlsorten überschneiden sich teilweise mit DIN EN 10293. Spezifiziert sind außerdem die Schweißbedin-



Bild 55: Gehäuseunterteil für den Niederdruckteil eines zweistufigen Turbokompressors zur Verdichtung von Rohgas aus dem Werkstoff GE380; Masse 36 t

gungen und die Langzeit-Eigenschaften von einigen Stahlsorten.

Teil 2 der Norm beinhaltet die Stahlsorten, die für den Einsatz bei Raumtemperatur und erhöhten Temperaturen geeignet sind. Spezifiziert ist die Langzeitfestigkeit bei Anwendungstemperaturen von 400 bis 600 °C.

Teil 3 der Norm umfasst die Stahlsorten, die für den Einsatz bei tiefen Temperaturen geeignet sind. Die Werte der Kerbschlagarbeit sind für Temperaturen von -30 bis -120 °C angegeben.

Teil 4 der Norm gibt alle austenitischen und austenitisch-ferritischen Werkstoffsorten an. Die hochlegierten Stähle haben Chromgehalte von 18 bis 27 % und Nickelgehalte von 4,5 bis 30 %.

Eine Übersicht über alle spezifizierten Werkstoffsorten gibt **Tabelle 9**. Darin sind auch die mechanischen Kennwerte der Werkstoffsorten enthalten. Spezifiziert sind außerdem die Schweißbedingungen und die Langzeit-Eigenschaften von einigen Stahlsorten.

Derzeit befindet sich die Norm in Überarbeitung. Dabei werden die Teile der Norm zu einer Einzigen zusammengefasst werden. Neu aufgenommen wird die Werkstoffsorte 1.4859 (Alloy 800). Im Zuge dieser Überarbeitung können sich einige Eigenschaften noch ändern.

8.4 Hochfester Stahlguss mit guter Schweißbeignung

Die gute Schweißbarkeit ist ein besonderer Vorteil von Stahlguss gegenüber allen anderen Gusswerkstoffen auf Eisenbasis. Stahlguss bietet sich deswegen für Schweißverbundkonstruktionen an, weil auch die weiteren Vorteile von Gusswerkstoffen, nämlich die Freiheit der Gestaltung und die Isotropie der mechanischen Eigenschaften, optimal zu nutzen sind. In einer Konstruktion können auf diese Weise Kerbwirkungen vermieden und der Kraftfluss verbessert werden.

Ein gewisser Nachteil gegenüber den Walz- und Schmiedestählen bestand bisher beim Einsatz von Stahlguss in Schweißverbundkonstruktionen darin, dass keine hochfesten Sorten mit ausreichender Schweißbarkeit zur Verfügung standen. Die metallurgischen Fortschritte in der Stahlerstellung und insbesondere die Sekundärmetallurgie haben es ermöglicht, die Werkstoffe so weit zu verbessern, dass heute Stähle erzeugt werden können, die als Stahlguss im vergüteten Zustand die gleichen Eigenschaften haben wie die Walz-

Tabelle 9: Mechanische Eigenschaften der Stahlgussorten für Druckbehälter nach DIN EN 10 213 im Vergleich zur ISO 4991

Stahlguss für allgemeine Verwendung warmfest / nichtrostend		Stahlguss für Druckbehälter DIN EN 10213		Stahlguss für Druckbehälter ISO 4991	
Stahlguss aus DIN 17245					
GS-C 25	1.0619	GP240GR	1.0621	G240	-
-	-	GP240GH	1.0619	-	-
-	-	GP280GH	1.0625	G280	-
-	-	-	-	G18Mo5	-
GS-22 Mo 4	1.5419	G20Mo5	1.5419	G20Mo5	-
GS-17 CrMo 5 5	1.7357	G17CrMo5-5	1.7357	G17CrMo5-5	-
GS-18 CrMo 9-10	1.7379	G17CrMo9-10	1.7379	G17CrMo9-10	-
-	-	G12MoCrV5-2	1.7720	G12MoCrV5-2	-
GS-17 CrMoV 5-11	1.7706	G17CrMoV5-10	1.7706	G17CrMoV5-10	-
-	-	-	-	G25NiCrMo3	-
-	-	-	-	G25NiCrMo6	-
-	-	GX15CrMo5	1.7365	GX15CrMo5	-
-	-	-	-	GX15CrMo9-1	-
G-X 8 CrNi 12	1.4107	GX8CrNi12	1.4107	GX8CrNi12-1	-
-	-	GX4CrNi13-4	1.4317	GX4CrNi13-4	-
G-X 22 CrMoV 12 1	1.4931	GX23CrMoV12-1	1.4931	GX23CrMoV12-1	-
Stahlguss aus DIN 17182					
GS-16 Mn5	1.1131	GX4CrNiMo16-5-1	1.4405	GX4CrNiMo16-5-1	-
GS-20 Mn 5	1.1120	G17Mn5	1.1131	G17Mn5	-
Gs-8 Mn 7	1.5015	G20Mn5	1.6220	G20Mn5	-
GS-8 MnMo 7 4	1.5450	-	-	-	-
GS-13 MnNi 6 4	1.6221	-	-	-	-
-	-	G18Mo5	1.5422	-	-
-	-	G9Ni10	1.5636	G9Ni10	-
-	-	G17NiCrMo13-6	1.6781	G17NiCrMo13-6	-
Stahlguss aus DIN 17445					
G-X 8 CrNi 13	1.4408	G9Ni14	1.5638	G9Ni14	-
G-X 20 Cr 14	1.4027	-	-	-	-
G-X 22 CrNi17	1.4059	-	-	-	-
G-X 5 CrNi 13 4	1.4313	-	-	-	-
-	-	GX3CrNi13-4	1.6982	GX3CrNi13-4	-
-	-	GX2CrNi19-11	1.4309	<i>GX2CrNi19-10</i>	-
G-X 6 CrNi 18 9	1.4308	GX5CrNi19-10	1.4308	<i>GX5CrNi19-9</i>	-
G-X 5 CrNiNb 18 9	1.4552	GX5CrNiNb19-11	1.4552	<i>GX6CrNiNb19-10</i>	-
-	-	GX2CrNiMo19-11-2	1.4409	GX2CrNiMo19-11-2	-
G-X 6 CrNiMo 18 10	1.4408	GX5CrNiMo19-11-2	1.4408	GX5CrNiMo19-11-2	-
G-X 5 CrNiMoNb 18 10	1.4581	GX2CrNiMoNb19-11-2	1.4581	<i>GX6CrNiMoNb19-11-2</i>	-
G-X 3 CrNiMoN 17 13 5	1.4439	-	-	-	-
-	-	GX2NiMoCr28-20-2	1.4458	-	-
-	-	-	-	GX2NiCrMo28-20-2	-
-	-	GX2CrNiMoN22-5-3	1.4470	GX2CrNiMoN22-5-3	-
-	-	GX2CrNiMoCuN25-6-3-3	1.4517	<i>GX2CrNiMoCuN25-5-3-3</i>	-
-	-	GX2CrNiMoN26-7-4	1.4469	<i>GX2CrNiMoN26-7-4</i>	-

fett: enthalten in prEN 10293

und Schmiedestähle, mit denen sie zu verschweißen sind. Hierfür kommen die Feinkornbaustähle und die in der Streckgrenze noch darüber hinausgehenden vergüteten Baustähle, wie zum Beispiel S890QL1 (1.8925) in Frage. Wie die ent-

sprechenden Walz- und Schmiedestähle müssen die hochfesten Stahlgussorten folgende Eigenschaften haben: hohe Streckgrenze beziehungsweise 0,2%-Dehngrenze, gute Zähigkeit auch bei tiefen Temperaturen oder nach Stauchalterung,

Schweißbarkeit weitgehend ohne Vorwärmen und ohne Wärmenachbehandeln. Mit diesem Eigenschaftsprofil sind die hochfesten schweißbaren Stahlgussorten für Schweißverbundkonstruktionen auf vielen Gebieten des Maschinenbaus geeignet wie zum Beispiel Bergbau, Brücken- und Tragkonstruktionen, Fahrzeugbau sowie insbesondere für Massen- und Schwertransport, Schienenfahrzeuge, Hebe- und Erdbewegungsmaschinen, Schiffbau.

Die hochfesten schweißbaren Stahlgussorten nach **DIN EN 10293** sind im Allgemeinen kostengünstig legiert und haben Kohlenstoffgehalte um 0,2 % als Voraussetzung für gute Schweißbarkeit. Zum Erzielen der gewünschten Bauteileigenschaften ist darüber hinaus eine gute Durchvergütbarkeit erforderlich, um über den ganzen Bauteilquerschnitt und auch den zu verschweißenden Querschnitten das notwendige Gefüge von Martensit und unterem Bainit zu erzeugen und damit gleichmäßige Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften sicherzustellen.

Die Durchvergütbarkeit wird mit zunehmendem Legierungsgehalt besser, jedoch gleichzeitig die Schweißbarkeit etwas gemindert. Aus diesem Grunde ist es zweckmäßig, niedriger legierte hochfeste Stahlgussorten für Wanddicken bis 100 mm und höher legierte für Wanddicken über 100 mm einzuführen. Zusätzlich gibt es das Stahl-Eisen-Werkstoffblatt **SEW 520** für hochfeste Stahlgussorten mit verbesserter Schweißbeignung. **Tabelle 10** enthält die chemische Zusammensetzung und **Tabelle 11** die mechanischen Eigenschaften von Stahlgussorten nach **SEW 520**.

Der Wanddickenbereich bis 100 mm umfasst niedriglegierte Stähle, deren Legierungsgehalt pro Element unter 1,5 % liegt und deren Kohlenstoffgehalte etwa 0,2 % betragen. Die Sorte G24Mn6 (1.1118) schließt an den Stahlguss für allgemeine

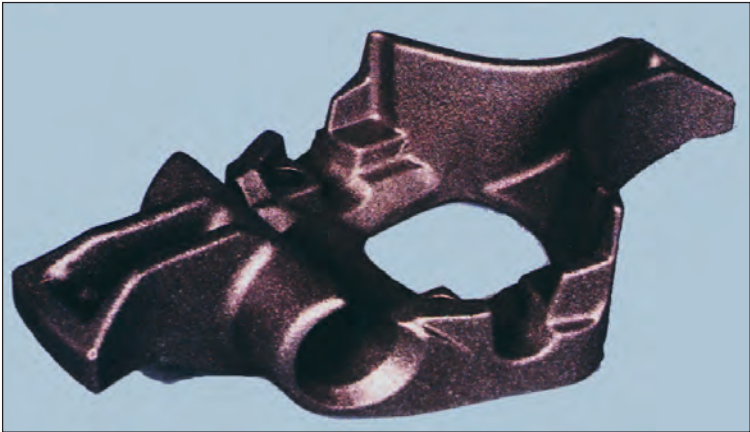


Bild 56: Hochbeanspruchtes Bauteil für einen Förderer im Bergbau zum Transport und zur Gewinnung von Kohle aus G22NiMoCr5-6; Abmessungen 710 x 380 x 160 mm; Masse 66 kg

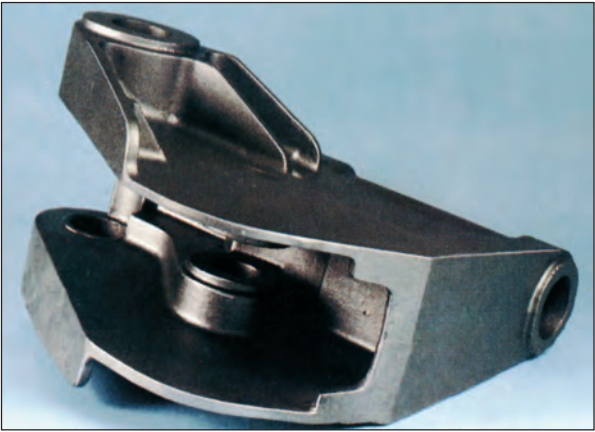


Bild 57: Lenker für eine Baggerschaufel aus dem Werkstoff G32NiCrMo6-4; Abmessungen 630 x 620 x 360 mm; Masse 165 kg

Tabelle 10: Chemische Zusammensetzung nach der Schmelzanalyse der hochfesten Stahlgussorten mit guter Schweißeignung nach SEW 520

Stahlgussorten		Chemische Zusammensetzung [Masse-%]								
Kurzname	Werkstoffnummer	C	Si max.	Mn	P max.	S max.	Cr	Mo	Ni	Sonstige
G24Mn6	1.1118	0,20 bis 0,25	0,60	1,50 bis 1,80	0,020	0,015	≤ 0,30	-	-	-
G18CrMnMo5-5	1.7352	0,15 bis 0,21	0,60	1,20 bis 1,60	0,020	0,015	1,20 bis 1,50	0,45 bis 0,55	-	-
G17CrMo9-10	1.7379	0,13 bis 0,20	0,60	0,50 bis 0,90	0,020	0,020	2,00 bis 2,50	0,90 bis 1,20	-	-
G18NiMoCr3-6	1.6759	0,17 bis 0,22	0,60	0,80 bis 1,20	0,020	0,015	0,40 bis 0,90	0,40 bis 0,70	0,60 bis 1,00	-
G22NiMoCr5-6 ¹⁾	1.6760	0,18 bis 0,24	0,60	0,80 bis 1,20	0,015	0,005	0,50 bis 1,00	0,50 bis 0,70	0,80 bis 1,30	-
G12MnMo7-4	1.5431	0,08 bis 0,15	0,60	1,50 bis 1,80	0,020	0,015	≤ 0,20	0,30 bis 0,40	-	Nb: ≤ 0,05 V: ≤ 0,10 N: ≤ 0,02
G20MnMoNi5-5	1.6309	0,17 bis 0,23	0,60	1,20 bis 1,50	0,020	0,015	≤ 0,30	0,45 bis 0,60	0,50 bis 0,80	-
G14NiCrMo10-6	1.6779	0,12 bis 0,16	0,30	0,55 bis 0,70	0,010	0,010	1,30 bis 1,80	0,45 bis 0,55	2,70 bis 3,00	-
G17NiCrMo13-6	1.6781	0,15 bis 0,19	0,50	0,55 bis 0,80	0,015	0,015	1,30 bis 1,80	0,45 bis 0,60	3,00 bis 3,50	-
GX4CrNi13-4	1.4317	≤ 0,06	1,00	≤ 1,00	0,035	0,025	12,00 bis 13,50	≤ 0,70	3,50 bis 5,00	-

Verwendungszwecke an (siehe **Tabellen 6 und 7**), bietet aber deutlich erhöhte Streckgrenzen. Bis zu einer Streckgrenze von 700 MPa und Wanddicken von 50 bis 80 mm kommt nickelfreier Stahlguss zum Einsatz, während höhere Festigkeitseigenschaften statt eines Mangan- einen Nickelzusatz erfordern, um als Voraussetzung für die gewünschte Eigenschaftskombination das nötige Gefüge aus Martensit und unterem Bainit einstellen zu können.

Die Reihe der Stahlgussorten für größere Wanddicken beginnt mit dem mikrolegierten Feinkornbaustahlguss G12MnMo7-4 (1.5431), bei dem aufgrund seiner Fähigkeit zum Ausscheidungshärten weitgehend unabhängig von der Wanddicke die gewünschten Eigenschaften eingestellt werden können. Dieser Werkstoff hat ebenso wie G8MnMo7-4 (1.5430) ein extrem niedriges Kohlenstoffäquivalent und ist daher auch noch in größeren Wanddicken ohne Vorwärmen zu schweißen. G12MnMo7-4 (1.5431) entspricht in seinen mechanischen Eigenschaften und seiner Schweißbarkeit den gewalzten oder geschmie-

deten Feinkornbaustählen P460N (1.8905) und S500N (1.8907) und bietet sich daher für hochfeste Schweißverbundkonstruktionen im Maschinen- und Hochbau sowie im Offshore-Bereich an.

Die weiteren Stahlgussorten für Wanddicken über 100 mm sind mit steigender Streckgrenze zunehmend legiert. Die Schweißbarkeit wird hierdurch jedoch nur wenig beeinträchtigt. Eine Sonderstellung nimmt der nichtrostende 13%ige Chromstahlguss GX4CrNi13-4 (1.4317) ein, der in der Martensitstufe umwandelt und dessen Perlitumwandlung erst nach längeren Zeiten einsetzt. Auch in größten Wanddicken ist er mit Luftabkühlung durchvergtübar. Größere und kompliziert gestaltete Gussstücke können vorteilhaft und mit großer Sicherheit aus dieser Stahlgussorte hergestellt werden. Der extrem niedrige Kohlenstoffgehalt führt darüber hinaus zu einem hochzähen und gut schweißbaren Gefüge. Je nach Beanspruchung kann dieser Werkstoff sogar ohne Wärmebehandlung geschweißt werden.

wird. Sie ist so einzustellen, dass je nach Schweißverfahren, Nahtdicke und Nahtform sowie gegebenenfalls je nach gewählter Vorwärmtemperatur die Abkühldauer von 800 auf 500 °C zwischen 10 und 25 s liegt.

Im Interesse der Kaltrissicherheit der Schweißverbindung sollten zum Schweißen nur Zusätze verwendet werden, die ein Schweißgut mit sehr niedrigem Wasserstoffgehalt haben.

Spannungsarmglühen nach dem Schweißen ist im Hinblick auf die mechanischen Eigenschaften der Schweißverbindung nicht erforderlich. Wenn aufgrund von Bauvorschriften oder aus konstruktiven Gründen ein Spannungsarmglühen in Betracht kommt, sollte es im Temperaturbereich von 530 bis 600 °C durchgeführt werden.

Die gute und problemlose Schweißbarkeit, für die diese Stahlgussorten konzipiert sind, macht sie für Konstruktionsschweißungen jeder Art geeignet.

8.5 Vergütungsstahlguss

Die als Vergütungsstahlguss bezeichneten niedriglegierten Stahlgussorten werden im vergüteten Zustand bei Temperaturen bis etwa 300 °C verwendet. Als Grundlage für die Berechnung einer Konstruktion dient bei diesen zähen Werkstoffen die Streckgrenze.

Von großem Einfluss auf die Vergütbarkeit eines Werkstoffs ist die Bauteilwanddicke, da auch für die Kernzone eine Mindestabkühlgeschwindigkeit erforderlich ist. Bei unlegiertem Stahlguss liegt die Grenze der Durchvergtübarkeit bei einer Wanddicke von etwa 20 mm. Durch geeignete Legierungselemente wird dieser Grenzwert zu größeren Wanddicken verschoben. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass die erreichbaren Festigkeitswerte teilweise mit steigender Wanddicke etwas ab-



Bild 58: Schlaghaube aus GX5CrNi13-4 zum Einrammen von Rohren; Masse 28 t

Nach den geltenden Regeln ist die Schweißeignung aller Stahlgussorten nach **Tabelle 11** als gut zu bezeichnen. Das bedeutet, dass dünnwandige Gussstücke ohne Vorwärmen geschweißt werden können. Jedoch ist bei hochbeanspruchten Nähten ein Vorwärmen dann vorzunehmen, wenn es für das entsprechende Feinkornblech vorgeschrieben ist. Eine Wärmenachbehandlung ist aus Werkstoffgründen nicht erforderlich. Hinweise für das Schweißen und die Schweißzusatzwerkstoffe werden in **Tabelle 12** gegeben.

Die Eigenschaften der hochfesten Stahlgussorten mit guter Schweißeignung werden bei Anwendung geeigneter Schweißverfahren und Schweißzusatzwerkstoffe nicht beeinflusst. Voraussetzung ist jedoch, dass die Streckgrenze nach oben begrenzt

Tabelle 11: Mechanische Eigenschaften der hochfesten Stahlgussorten mit guter Schweißeignung¹⁾

Stahlgussorten		Größte maßgebende Wanddicke [mm]	Festigkeitsstufe	0,2%-Dehngrenze ²⁾ Rp _{0,2} min. [N/mm²]	Zugfestigkeit ¹⁾ R _m [N/mm²]	Bruchdehnung A ₅ [%]	Kerbschlagarbeit ³⁾ (Charpy-V-Probe) bei 20°C min. [J]	Übergangstemperatur ⁴⁾ für A _V (Charpy-V) = 27 J [°C]
Kurzname	Werkstoff-Nummer							
G24Mn6	1.118	150	I	400	600 bis 750	18	60	- 30
		100	II	500	650 bis 800	15	50	- 30
		50	III	550	700 bis 800	12	40	- 20
G18CrMnMo5-5	1.7352	80	I	600	730 bis 880	12	50	- 50
		50	II	700	820 bis 970	12	40	- 40
G17CrMo9-10	1.7379	150	I	500	700 bis 850	18	50	- 40
		150	II	650	750 bis 900	15	40	- 30
G18NiMoCr3-6	1.6759	150	I	630	780 bis 930	12	40	- 40
		80	II	700	830 bis 980	12	40	- 40
G22NiMoCr5-6	1.6760	50	I	825	930 bis 1080	10	50	- 50
		50	II	950	1050 bis 1200	10	40	- 30
G12MnMo7-4	1.5431	150		500	600 bis 750	16	50	- 40
G20MnMoNi5-5	1.6309	300	I	400	550 bis 700	16	55	- 30
		200	II	450	600 bis 750	16	45	- 20
G14NiCrMo10-5	1.6779	150		550	650 bis 800	16	90	- 80
G17NiCrMo13-6	1.6781	200		650	750 bis 900	15	80	- 80
GX4CrNi13-4	1.4317	500	I	550	760 bis 960	15	50	- 80
		300	II	830	900 bis 1100	12	35	- 40
		150	III	920	980 bis 1130	10	27	+20

¹⁾ Die Werte gelten für Proben aus angegossenen oder getrennt gegossenen Probestücken.

²⁾ Die Werte gelten auch für Proben aus dem Gussstück.

³⁾ Mittelwert aus drei Kerbschlagbiegeversuchen.

⁴⁾ Anhaltswerte

nehmen. Aus diesem Grund sind in Normen und Vorschriften die mechanischen Eigenschaften von Vergütungsstahlguss für unterschiedliche Wanddicken angegeben.

Vergütungsstahlguss ist in **DIN 17205** genormt, die mit Erscheinen der **DIN EN 10293** zurückgezogen wird. Sie umfasst alle wichtigen Vergütungsstahlgussorten für Wanddickenbereiche bis 400 mm und

enthält die mit modernen Stahlerzeugungsmaßnahmen einstellbaren Werkstoffeigenschaften.

In **Tabelle 7** (Seite 29) werden die in **DIN 17 205** genormten Stahlgussorten mit ihren Eigenschaften im flüssigkeitsvergüteten Zustand vorgestellt. Die Norm enthält darüber hinaus auch die Eigenschaften im luftvergüteten Zustand. Die **DIN 17 205** enthält dagegen nur Vergütungsstahlgussorten, bei denen aus Wirtschaftlichkeitsgründen der Kohlenstoffgehalt maßgeblich zur Festigkeitssteigerung benutzt wird, weil die Schweißbarkeit nicht im Vordergrund steht.

Die Vergütungsstahlgussorten nach **DIN 17 205** sind unterschiedlich legiert. Mit dem Legierungsgehalt steigt die Wanddicke, für die die jeweilige Sorte eingesetzt werden kann, wobei zu beachten ist, dass die für Zugfestigkeit, 0,2%-Dehngrenze und Kerbschlagarbeit in **Tabelle 7** genannten Werte auch für das Gussstück selbst, das heißt über die gesamte maßgebende Wanddicke hinweg, gewährleistet werden.

Die Werkstoffauswahl wird daher durch die für eine gegebene Wanddicke gewünschte Festigkeit und Zähigkeit bestimmt. Erreichen mehrere Sorten bei gleicher Wanddicke die gewünschten Festigkeitseigen-

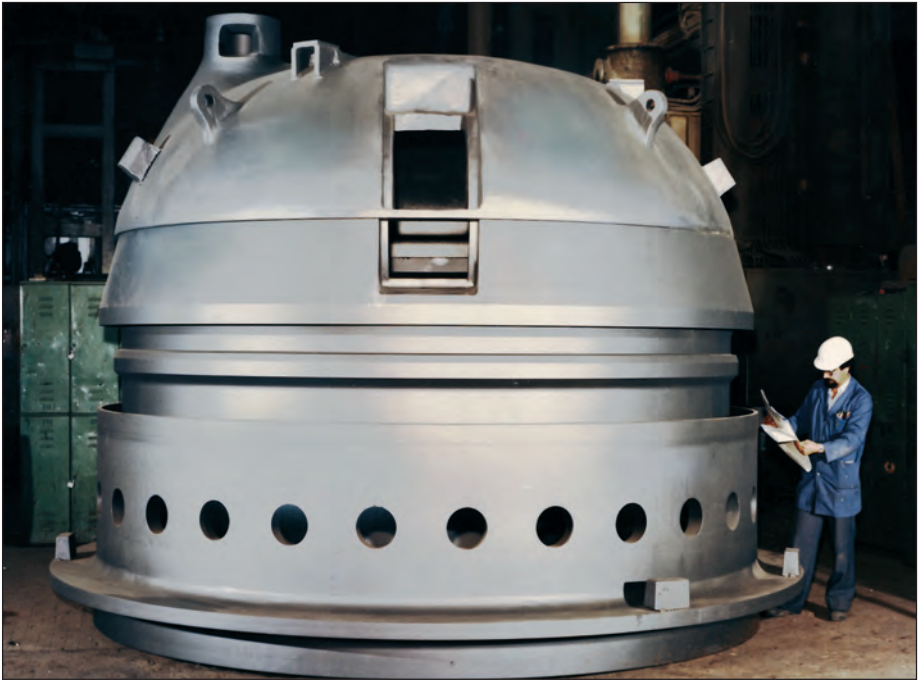


Bild 59: Mehrteiliges Schutzgehäuse für eine wehrtechnische Anlage aus dem Werkstoff G30NiCrMo8-5; Masse gesamt 52 t

schaften, kann die jeweils niedriger Legierte gewählt werden, wobei aber meistens eine geringere Zähigkeit in Kauf genommen werden muss.

Die Stahlgussorten nach **DIN 17 205** sind grundsätzlich schweißbar. Für Gussverbundschweißungen sind sie jedoch, wenn Einschränkungen in der möglichen Wärmebehandlung bestehen, weniger gut geeignet. Allerdings kann in Abhängigkeit von der Schweißgeometrie bei dünnwandigen Gussstücken ähnlich wie beim hochfesten Stahlguss mit guter Schweißeignung auf ein Anlassen bei Baustellenschweißungen verzichtet werden. Auch für die höher legierten Stahlgussorten genügt oft ein örtliches Anlassen.

Vergütungsstahlguss wird in allen Industriebereichen für Bauteile verwendet, die statisch und dynamisch besonders stark beansprucht werden. Die hohe Streckgrenze dieser Werkstoffe erlaubt es dem Konstrukteur, höhere zulässige Spannungsbeträge in seine Konstruktionsberechnung einzusetzen oder gibt ihm die Möglichkeit, durch Materialersparnis leichter zu bauen.

Hochbeanspruchte Werkstücke aus Vergütungsstahl lassen sich besonders vorteilhaft durch Gießen fertigen. Die Gestaltungsfreiheit erlaubt eine beanspruchungsgerechte konstruktive Formgebung, zum Beispiel durch Anbringen von Ausrundungen und durch Angleichen der Wanddicken an den Spannungsverlauf. Dadurch wird das Auftreten von Spannungsspitzen verhindert.

Tabelle 12: Angaben über das Konstruktionsschweißen der hochfesten Stahlgussorten

Stahlguss-Sorten		0,2-%-Dehngrenze R _{p0,2} min. [N/mm²]	Geeigneter Schweißzusatz ¹⁾ nach DIN 8529 Teil 1	Vorwärm- und Zwischenlagetemperatur ²⁾ [°C]	min. Glüh-temperatur nach dem Schweißen ³⁾ [°C]
Kurzname	Werkstoffnummer				
G24Mn6	1.1118	400	EY 50 65 1 NiMo B	150 bis 300	4)
		500	EY 55 76 2 NiMo B	150 bis 300	
		550	EY 62 76 2 NiMo B	150 bis 300	
G18CrMnMo5-5	1.7352	600 700	EY 69 75 Mn 2 NiCrMo B H5 EY 89 53 Mn 2 Ni 1 CrMo B H5	150 bis 300 150 bis 300	
G17CrMo9-10	1.7379	500 650	EY 55 76 2 NiMo B EY 69 75 Mn 2 NiCrMo B	200 bis 350 200 bis 350	
G18NiMoCr3-6	1.6759	630 700	EY 69 75 Mn 2 NiCrMo B H5 EY 89 53 Mn 2 Ni 1 CrMo B H5	150 bis 300 150 bis 300	
G22NiMoCr5-6	1.6760	825 950	EY 89 53 Mn 2 Ni 1 CrMo B H5 EY 89 53 Mn 2 Ni 1,5 CrMo B H5	150 bis 300 150 bis 300	
G12MnMo7-4	1.5431	500	EY 50 65 1 NiMo B	100 bis 250	
G20MnMoNi5-5	1.6309	400 450	EY 50 65 1 NiMo B EY 50 65 1 NiMo B	150 bis 300 150 bis 300	
G14NiCrMo10-6	1.6779	550	EY 55 76 2 NiMo B H5	200 bis 350	
G17NiCrMo13-6	1.6781	650	EY 69 75 Mn 2 NiCrMo B H5	200 bis 350	
GX4CrNi13-4	1.4317	550	13 4 B 20+ ⁵⁾	150 bis 300	5), 7)
		830	13 4 B 20+ ⁵⁾	150 bis 300	
		920	X 3 CrNi 13 4 ^{5,6)}	150 bis 300	

¹⁾ Falls nach dem Schweißen gegläht wird, sind Schweißzusätze zu wählen, die ein Schweißgut ergeben, das im spannungsarmgeglühten Zustand die erforderlichen Werte der mechanischen Eigenschaften aufweist.

²⁾ Die zweckmäßige Vorwärmtemperatur ist abhängig von der Stahlgussorte, von den Schweißbedingungen, von der Wanddicke und von der Bauteilform. Mit zunehmendem Eigenspannungsniveau sollten höhere Vorwärmtemperaturen gewählt werden. Die genannten Werte sind Anhaltswerte für Wanddicken zwischen 30 und 80 mm beim Lichtbogenhandschweißen mit basisch umhüllten Stabelektroden.

³⁾ Soweit ein Glühen nach dem Schweißen erforderlich ist.

⁴⁾ Die Temperatur für das Glühen nach dem Schweißen soll mindestens 20 K, aber höchstens jedoch 50 K unter der angewendeten Anlasstemperatur liegen.

⁵⁾ Schweißzusatz nach DIN 8556 Teil 1.

⁶⁾ Wolfram-Inert-Gas(WIG)-Verfahren.

⁷⁾ Nach dem Schweißen muss auf eine Temperatur unter 100 °C abgekühlt werden.



Bild 60: Einsatzfertig gegossener zweiteiliger Meißel mit Brecherkappe für einen Bergbauhobel aus dem Werkstoff G42CrMo4 bzw. G28Mn6; Masse 12 kg

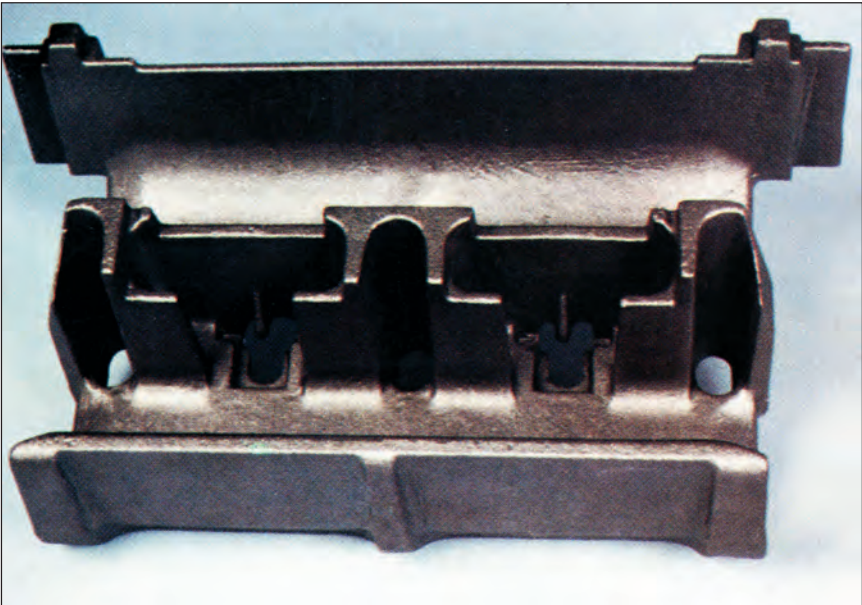


Bild 61: Lager- und Schutzhaube für die Transportkette eines Bergbauförderers aus G42CrMo4; Abmessungen 740 x 480 x 340 mm; Masse 265 kg

8.6 Warmfester Stahlguss

Bekanntlich fällt die Warmstreckgrenze (0,2%-Warmdehngrenze) von Stahlguss mit zunehmender Temperatur. Bis zu einer Einsatztemperatur von 400 bis 450 °C ist somit die Warmstreckgrenze eine der wesentlichsten Werkstoffkennwerte. Werden Bauteile noch höheren Temperaturen über eine längere Zeit ausgesetzt, beginnt sich der Werkstoff plastisch zu verformen. Diese unter Langzeitbeanspruchung und höherer Temperatur auftretende plastische Verformung wird auch Kriechen genannt. Im Bereich des Kriechens spielen deshalb Werkstoffkennwerte wie Zeitstandfestigkeit und Zeitdehngrenze die wesentliche Rolle für die Auslegung der Bauteile.

Als warmfest gelten unlegierte und legierte Stahlgussorten, die im Hochtemperaturbereich unter Langzeitbeanspruchung ihre charakteristischen Werkstoffeigenschaften behalten.

Darüber hinaus ist bei instationär thermisch hochbelasteten Komponenten, wie etwa Gasturbinen, die Ermüdung bei niedriger Lastspielzahl (LCF) eine wichtige Werkstoffkenngröße. Darüber gibt es jedoch keine genormten Kennwerte.

Weiterhin ist die Hochtemperatur-Korrosionsbeständigkeit von Interesse, die je nach Anwendungsfall separat zu berücksichtigen ist.

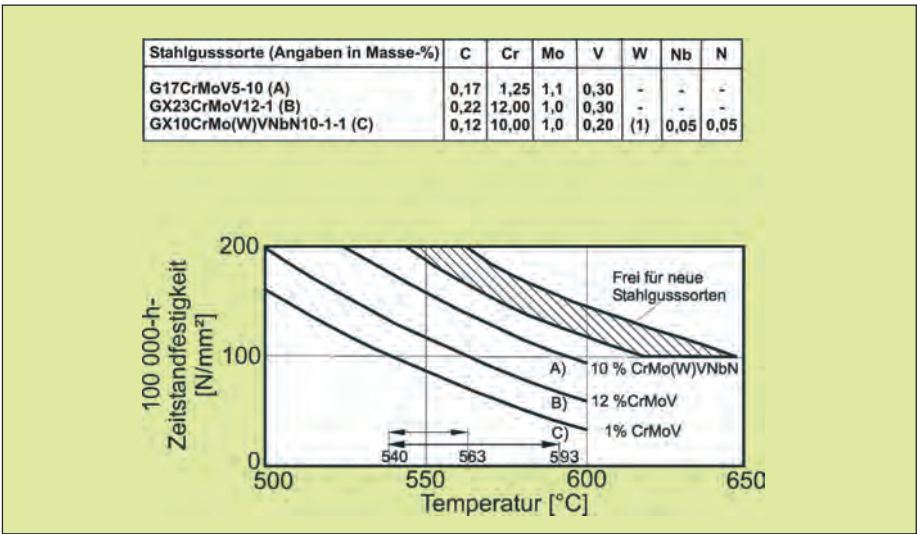


Bild 62. 100 000-h-Zeitstandfestigkeit verschiedener warmfester Stahlgussorten in Abhängigkeit von der Temperatur [20]

Im Gegensatz zu den Rohwerkstoffen ist jedoch bei Stahlguss die Korrosion meist nur von sekundärer Bedeutung.

Die Eigenschaften der warmfesten Stahlgusswerkstoffe sind in **DIN EN 10213** genormt. Die Norm enthält auch Anhaltswerte zum Wärmebehandeln (in der Regel werden diese Werkstoffe vergütet), zur Langzeitfestigkeit (1%-Zeitdehngrenze und Zeitstandfestigkeit) in Abhängigkeit von

der Temperatur und der Beanspruchungsdauer, siehe **Tabellen 13** und **14**.

Die bisherigen Ergebnisse von Zeitversuchen langer Dauer mit den Stahlgussorten nach **DIN EN 10213** sind in [18] zusammengefasst. Die darin angegebenen Werte der Zeitstandfestigkeit basieren auf diesen Ergebnissen.

Im **Bild 62** ist die 100 000-Stunden-Zeitstandfestigkeit verschiedener warmfester

Tabelle 13: Mechanische Eigenschaften der warmfesten ferritischen Stahlgussorten nach DIN EN 10213, Stahlguss für Druckbehälter

Stahlgussorten		Wärmebehandlung ³⁾	Dicke max.	Prüfung bei Raumtemperatur				Prüfung bei erhöhter Temperatur							
				Zugversuch			Kerbschlagbiegeversuch	Zugversuch							
				0,2%-Dehngrenze R _{p0,2} ⁴⁾ min.	Zugfestigkeit R _m ³⁾	Bruchdehnung A min.		0,2%-Dehngrenze R _{p0,2} ⁴⁾ min. [N/mm ²]							
Kurzname	Werkstoffnummer	Symbol ¹⁾	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]	[J] min	100 °C	200 °C	300 °C	350 °C	400 °C	450 °C	500 °C	550 °C
GP24OGR	1.0621	+ N	100	240	420 bis 600	22	27	-	-	-	-	-	-	-	-
GP240GH	1.0619	+ N	100	240	420 bis 600	22	27	210	175	145	135	130	125	-	-
		+ QT	100	240	420 bis 600	22	40	210	175	145	135	130	125	-	-
GP280GH	1.0625	+ N	100	280	480 bis 640	22	27	250	220	190	170	160	150	-	-
		+ QT	100	280	480 bis 640	22	35	250	220	190	170	160	150	-	-
G20Mo5	1.5419	+ QT	100	245	440 bis 590	22	27	-	190	165	155	150	145	135	-
G17CrMo5-5	1.7357	+ QT	100	315	490 bis 690	20	27	-	250	230	215	200	190	175	160
G17CrMo9-10	1.7379	+ QT	150	400	590 bis 740	18	40	-	355	345	330	315	305	280	240
G12MoCrV5-2	1.7720	+ QT	100	295	510 bis 660	17	27	264	244	230	-	214	-	194	144
G17CrMoV5-10	1.7706	+ QT	150	440	590 bis 780	15	27	-	385	365	350	335	320	300	260
GX15CrMo5	1.7365	+ QT	150	420	630 bis 760	16	27	-	390	380	-	370	-	305	250
		+ QT1	300	355	540 bis 690	18	45	-	275	265	-	255	-	-	-
GX8CrNi12	1.4107	+ QT2	300	500	600 bis 800	16	40	-	410	390	-	370	-	-	-
		+ QT	300	550	760 bis 960	15	50	515	485	455	440	-	-	-	-
GX23CrMoV12-1	1.4931	+ QT	150	540	740 bis 880	15	27	-	450	430	410	390	370	340	290
GX4CrNiMo16-5-1	1.4405	+ QT	300	540	760 bis 960	15	60	515	485	455	-	-	-	-	-

¹⁾ + N - Normalglühen, + T - Anlassen, + Q - Abschrecken
²⁾ + Q bedeutet: Abschrecken in Luft oder Flüssigkeiten
³⁾ Wenn es alternative Wärmebehandlungen gibt, ist die gewünschte Alternative in der Bestellung anzugeben, z.B. GX8CrNi12 + QT1 oder 1.4107 + QT1.
⁴⁾ 1/N/mm² = 1MPa

Tabelle 14: Langzeitfestigkeit (Zeitstandfestigkeit und 1%-Dehngrenze) der warmfesten ferritischen Stahlgussorten nach DIN EN 10213

Bezeichnung		Temperatur [°C]	400			450			500			550			600		
Kurzname	Werkstoffnummer	Zeit [h]	10000	100000	200000	10000	100000	200000	10000	100000	200000	10000	100000	200000	10000	100000	200000
GP40GH	1.0619	σ_f σ_{AL}	205 147	160 110	145 -	132 88	83 50	71 -	74 43	40 20	32 -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
GP280GH	1.0625	σ_f σ_{AL}	210 148	165 110	-	135 90	85 52	-	75 45	42 22	-	-	-	-	-	-	-
G20Mo5	1.5419	σ_f σ_{AL}	360 -	310 -	290 -	275 185	205 150	180 130	160 125	85 65	70 50	66 41	30 15	23 10	-	-	-
G17CrMo5-5	1.7357	σ_f σ_{AL}	420 271	370 222	356 -	321 196	244 145	222 -	187 130	117 81	96 -	98 65	55 35	44 -	-	-	-
G17CrMo9-10	1.7379	σ_f σ_{AL}	404 350	324 300	304 278	282 229	218 168	200 148	188 141	136 96	120 80	106 70	56 40	52 31	58 36	28 18	22 14
G12MoCrV5-2	1.7720	σ_f	-	-	-	365	277	-	208	140	-	135	75	-	89	-	-
G17CrMoV5-10	1.7706	σ_f σ_{AL}	463 427	419 385	395 356	340 305	275 243	254 218	229 196	171 133	157 110	151 120	96 70	83 49	80 50	28 18	19 10
GX15CrMo5	1.7365	σ_f	-	-	-	228 ¹⁾	165 ¹⁾	-	168	106	-	93	58	-	51	-	-
GX23CrMoV12-1	1.4931	σ_f σ_{AL}	504 -	426 -	394 -	383 305	309 259	279 239	269 216	207 172	187 153	167 131	118 91	103 77	83 66	49 34	39 25

Stahlgussorten in Abhängigkeit von der Temperatur dargestellt [19]. Anhand von Kriechversuchen hat sich gezeigt, dass die CrMo- und CrMoV-legierten Stahlgussorten bei einem Gefüge von oberem Bainit mit nur geringen Ferritgehalten die besten Zeitstandeigenschaften haben. Ein solches Gefüge führt aber zu geringeren Werten der Kerbschlagarbeit bei Raumtemperatur, das heißt, Zeitstandverhalten und Zähigkeit sind bis zu einem gewissen Grade gegenläufig. Da bei warmfesten Stählen das Zeitstandverhalten im Vordergrund steht, dürfen an die Zähigkeit also keine allzu hohen Anforderungen gestellt werden. Entsteht beim Vergüten Martensit, der die Zähigkeit bei Raumtemperatur verbessert, so kann neben einer verminderten Zeitstandfestigkeit eine unerwünschte, allerdings vorübergehende Zeitstand-Kerbversprödung auftreten. Dies gilt vor allem für die CrMoV-legierten Sorten.

Die warmfesten Stahlgussorten sind gut schweißbar, die Zeitstandfestigkeit der Schweißverbindung soll innerhalb des Streubandes der Zeitstandfestigkeit des Grundwerkstoffes liegen. Die Schweißzusatzwerkstoffe für Stabelektroden für warmfeste Stähle sind in **DIN EN 1599** genormt, jene für Drahtelektroden in **DIN EN 12070**.

Die unlegierten Stahlgussorten GP240GR (1.0621), GP240GH (1.0619) und GP280GH (1.0625) haben nur eine geringe Zeitstandfestigkeit und werden daher meist nur im Bereich der Warmstreckgrenze, in erster Linie für Armaturen, eingesetzt. Durch Wasservergüten können neben besserer Kerbschlagarbeit auch eine höhere 0,2%-Dehngrenze und Zugfestigkeit gegenüber den Angaben in **Tabelle 9** eingestellt werden.

Die im Kraftwerksbereich für Turbinenkomponenten hauptsächlich eingesetzten Stahlgusswerkstoffe sind die Mo-, CrMo-, bzw. CrMoV-legierten Typen G20Mo5, G17CrMo5-5, G17CrMo9-10, G17CrMoV5-10. Diese niedriglegierten, warmfesten Werkstoffe werden im Zeitstandbereich bis zu einer Einsatztemperatur von 550 °C verwendet.

Aufgrund der Anstrengungen zur Verringerung des Schadstoff- und CO₂-Ausstoßes ist man bestrebt, immer höhere Wirkungsgrade in den Kraftwerksprozessen zu erreichen, siehe **Bild 64**. Dies kann in thermischen Kraftwerken, neben der ständigen Verbesserung der Turbinen-

Designs, durch die Kombination von Gas- und Dampfprozess bzw. über eine Erhöhung der Prozesstemperaturen und -drücke (Frischdampf, überhitzter Dampf) erreicht werden.

Für Temperaturen bis 580 °C wurde bisher der hochlegierte Stahlguss GX23CrMoV12-1 eingesetzt. Er wird außerhalb des Turbinenbaus auch zum Beispiel für Haspel-segmente von Breitbandstraßen, siehe **Bild 65**, verwendet. Da heute besonders im Mitteldruckbereich von Dampfturbinen Temperaturen bis 625 °C gefragt sind, wurde diesen Anforderungen im Rahmen von groß angelegten internationalen Forschungsprojekten Rechnung getragen.

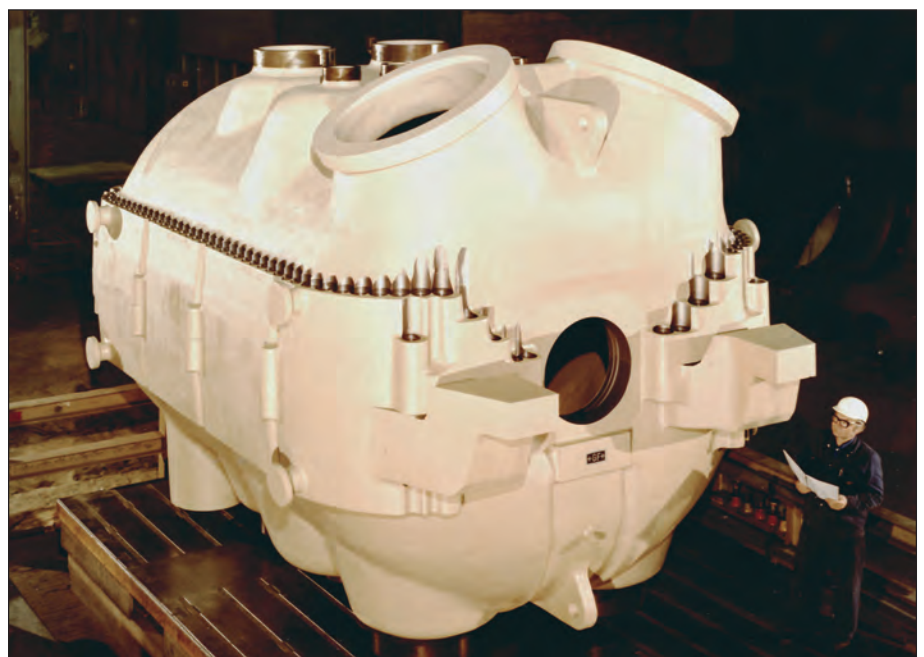


Bild 63: Außengehäuse aus G17CrMo5-5 für eine Dampfturbine, Masse 80 t

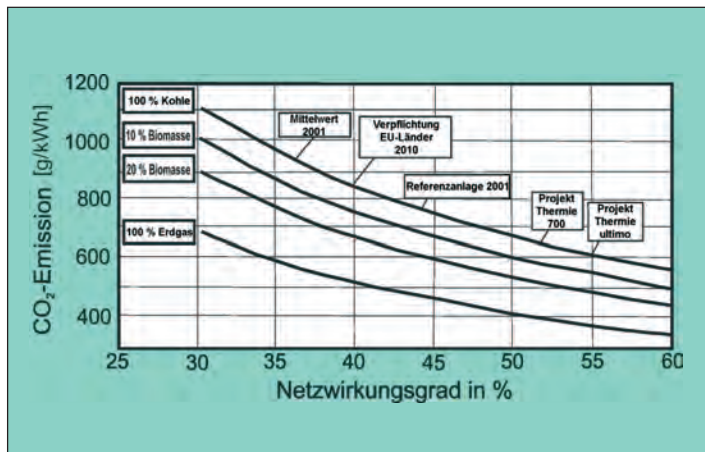


Bild 64: CO₂-Emission fossil befeuerter Kraftwerke

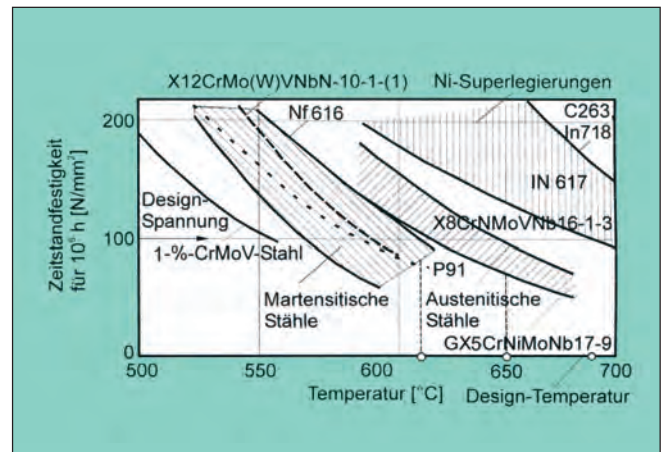


Bild 66: Einsatzgrenzen von Hochtemperatur-Turbinenwerkstoffen

Dabei ist man bemüht, die ferritisch-martensitischen Werkstoffe so weit wie möglich auszureizen, da die für höhere Temperaturen eher geeigneten austenitischen Werkstoffe negative thermische Eigenschaften (höherer Wärmeausdehnungskoeffizient, geringe Wärmeleitfähigkeit) aufweisen, was zu Problemen in der Beherrschung der thermischen Ausdehnung der Komponenten führt.

Neben erhöhten Gehalten an Cr sollen hier die Elemente V, Nb, W, N, B einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Kriechfestigkeit liefern. Außerdem sind Duktilität, Zähigkeit und Thermoschockbeständigkeit gefragt. Man spricht allgemein von der Gruppe der 9- bis 10-%-Cr-Stähle.

Der in den USA (Forschungsprogramm EPRI) entwickelte 9-%-Cr-Werkstoff ist in ASTM als Rohr- und Schmiedewerkstoff genormt (z. B. ASTM A 235, Grade P91).

In einem europäischen Forschungsprogramm (COST 501) wurde ein mit Wolf-



Bild 65: Haspelsegmente aus GX23CrMoV12-1 für eine Warmbreitbandstraße, 2350 mm lang

ram modifizierter 10-%-Cr-Stahl entwickelt einschließlich der Stahlguss-Variante GX12CrMoWVNbN10-1-1. Dieser Werkstoff ist noch nicht genormt, wird jedoch für fortschrittliche Kraftwerke mit erhöhten Wirkungsgraden bereits häufig eingesetzt. Diese komplex legierten 9- bis 10-%-Cr-Stahlgussorten mit verbessertem Langzeitkriechverhalten bieten die Chance, fortschrittliche Kraftwerke herzustellen, die bei höheren Temperaturen (bis zu 600 °C) und sehr hohen Drücken (> 300 bar) betrieben werden können [20]. In einem weiteren europäischen Forschungsprogramm (COST 522) wird die chemische Zusammensetzung dieses warmfesten 9- bis 10-%-Cr-Stahlgusses weiter optimiert, um die Einsatztemperatur dieser Werkstoffe auf 650 °C erhöhen zu können. Das zusätzliche Legieren mit Co und B scheint sehr vielversprechend. In den internationalen Normen für Stahlguss sind diese Werkstoffe jedoch noch nicht enthalten.

Um in den thermischen Kraftwerken noch höhere Temperaturen (bis zu 700 °C) reali-



Bild 67: Ventilgehäuse aus GX12CrMoWVNbN10-1-1; Masse 27 t



Bild 68: Innengehäuse für die Mitteldruckstufe einer Turbine aus GX12CrMoWVNbN10-1-1; Masse 60 t

Tabelle 15: Mechanische Eigenschaften der austenitischen Stahlgussorten nach DIN EN 10213

Stahlgussorten		Wärme- behandlungs- zustand	Maßge- bende Wand- dicke max. t	Mechanische Eigenschaften											
				im Zugversuch bei Raumtemperatur			im Kerb- schlagversuch		im Zugversuch bei einer Temperatur von [°C]						
R _{p0,1} ⁵⁾ min.	R _m [N/mm ²]			A min. [%]	Kerb- schlag- arbeit KV min. [J]	Tem- pera- tur [°C]	R _{p0,1} ⁵⁾ [N/mm ²]								
							100	200	300	350	400	500	550		
GX2CrNi19-11	1.4309	1050 bis 1150	150	210	440 bis 640	30	80 ⁷⁾	RT ⁷⁾	165	130	110	100	-	-	-
GX5CrNi19-10	1.4308	1050 bis 1150	150	200	440 bis 640	30	60 ⁷⁾	RT ⁷⁾	160	125	110	-	-	-	-
GX5CrNiNb19-11	1.4552	1050 bis 1150	150	200	440 bis 640	25	40	RT	165	145	130	-	120	110	100
GX2CrNiMo19-11-2	1.4409	1080 bis 1150	150	220	440 bis 640	30	80 ⁷⁾	RT ⁷⁾	175	145	115	-	105	-	-
GX5CrNiMo19-11-2	1.4408	1080 bis 1150	150	210	440 bis 840	30	60 ⁷⁾	RT ⁷⁾	170	135	115	-	105	-	-
GX5CrNiMoNb19-11-2	1.4581	1080 bis 1150	150	210	440 bis 640	25	40	RT	185	160	145	-	130	120	115
GX2NiCrMo28-20-2	1.4458	1100 bis 1180	150	190	430 bis 630	30	60 ⁷⁾	RT ⁷⁾	165	135	120	-	110	-	-
GX2CrNiMoN22-5-3	1.4470	1120 bis 1150 ²⁾³⁾	150	420 ⁶⁾	600 bis 800	20	30	RT	330 ⁶⁾	280 ⁶⁾	4)	-	-	-	-
GX3CrNiMoCuN25-6-3-3	1.4517	1120 bis 1150 ²⁾³⁾	150	480 ⁶⁾	850 bis 850	22	50 ⁷⁾	RT ⁷⁾	390 ⁶⁾	330 ⁶⁾	4)	-	-	-	-
GX2CrNiMoN26-7-4	1.4469	1140 bis 1160 ²⁾³⁾	150	480 ⁶⁾	650 bis 850	22	50 ⁷⁾	RT ⁷⁾	390 ⁶⁾	330 ⁶⁾	4)	-	-	-	-

sieren zu können und den Wirkungsgrad noch weiter zu verbessern, wurde ein weiteres europäisches Projekt (THERMIE) mit dem Titel “Advanced (700 °C) pulverised coal-fired (PF) Power Plant“ gestartet. Mit Hilfe von Nickelbasis-Werkstoffen soll ein kohlebefeuertes Pilotkraftwerk mit einem maximalen Wirkungsgrad von 55 % errichtet werden [18]. Einen Überblick über die Einsatzgrenzen von Hochtemperatur-Turbinenwerkstoffen gibt **Bild 66** [21].

In solchen Forschungsprojekten wird üblicherweise nach der Erarbeitung der optimalen chemischen Zusammensetzung mit Hilfe von Labor-Schmelzversuchen und mechanisch- technologischen und metallo-

graphischen Untersuchungen auch die großtechnische Machbarkeit geprüft. Für die Prozesse in Gießereien bedeutet dies den Abguss von Pilotkomponenten, die dann in den verschiedenen Querschnitten untersucht werden [22]. Ein wesentlicher Faktor ist natürlich die Schweißbarkeit. Dabei ist sowohl das Fertigungsschweißen als auch das Konstruktionsschweißen, bei dem Komponenten wie Schmiedeteile, Rohrteile oder auch Stahlgussteile an das Gussteil anzuschweißen sind, von Bedeutung.

Warmfeste austenitische Werkstoffe sind in **DIN EN 10213** genormt (siehe **Tabelle 15**). Die Werkstoffe sind vom Typ CrNi19-11 und können mit Nb und/oder Ta stabilisiert sein.

Die Einsatzgebiete für warmfeste Werkstoffe erstrecken sich von der Energietechnik über die chemische Industrie und die Antriebstechnik bis zum Maschinenbau und der Hüttentechnik. Das Hauptanwendungsgebiet ist jedoch der thermische Kraftwerksbau.

Folgende typische Kraftwerkskomponenten werden beispielsweise aus den beschriebenen warmfesten Stahlguss-Werkstoffen hergestellt: Ventilgehäuse, Innen- und Außengehäuse, Krümmer für den Hoch- und Mitteldruckbereich von Dampfturbinen sowie Gehäusemäntel, Kompressor-gehäuse und Gehäuseinnenteile von Gasturbinen. Beispiele für solche Komponenten sind in den **Bildern 67 - 70** zu sehen.

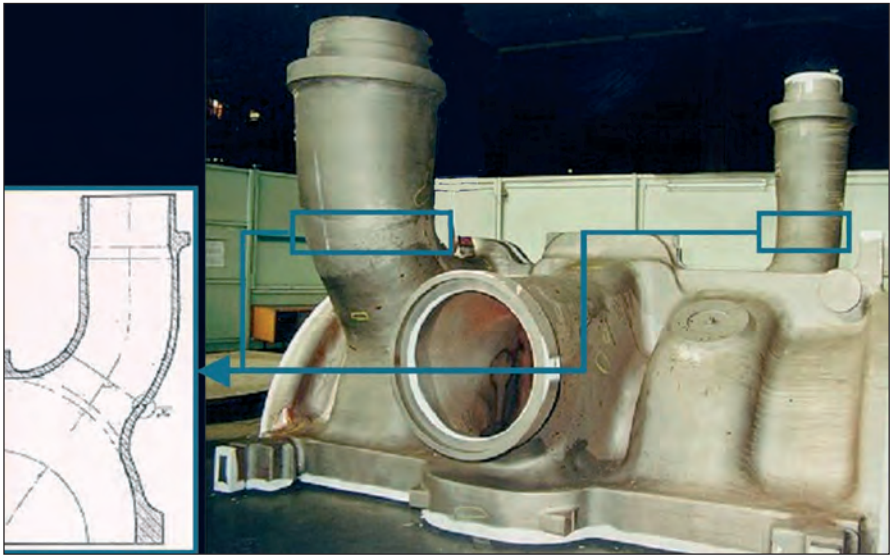


Bild 69: Innengehäuse für die Mitteldruckstufe einer Turbine mit angeschweißten Krümmern aus GX12CrMoWVNbN10-1-1



Bild 70: Außengehäuse einer Turbine mit angeschweißten Krümmern aus G17CrMoV5-10

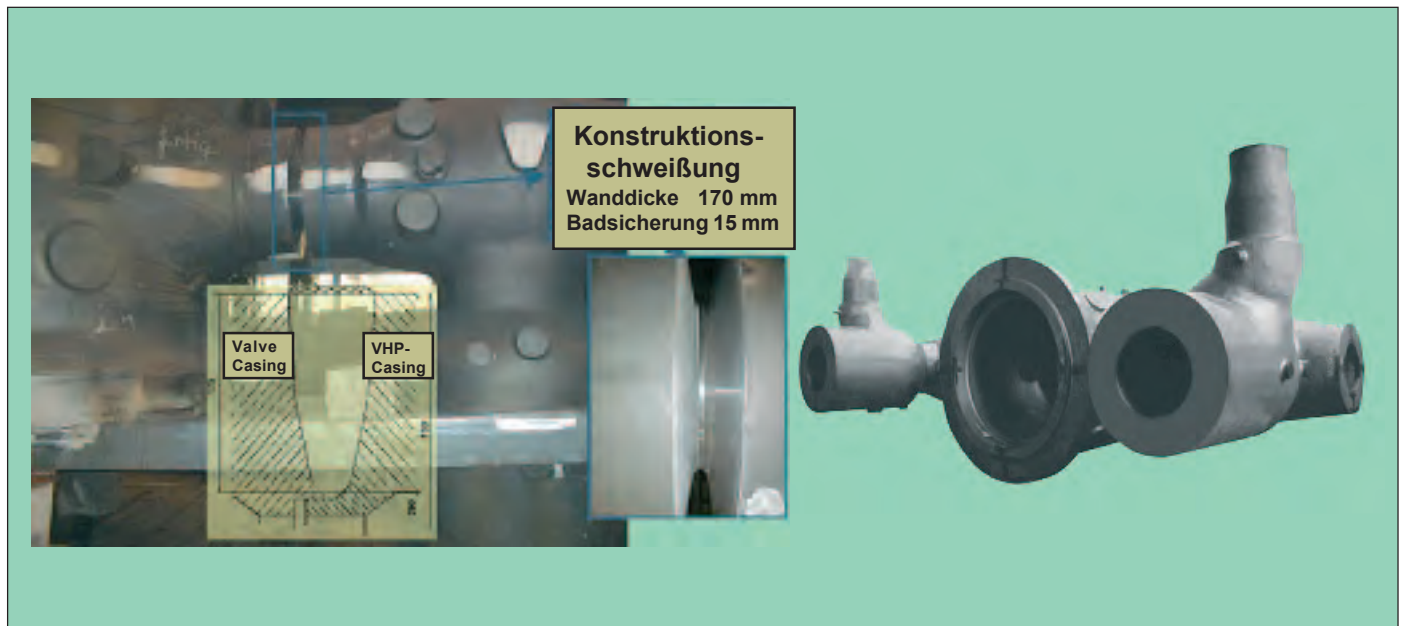


Bild 71: Außengehäuse für die Hochdruckstufe einer Turbine mit angeschweißten Ventilen aus GX12CrMoWVNbN10-1-1; Masse 31 t + 2 x 19 t = 69 t

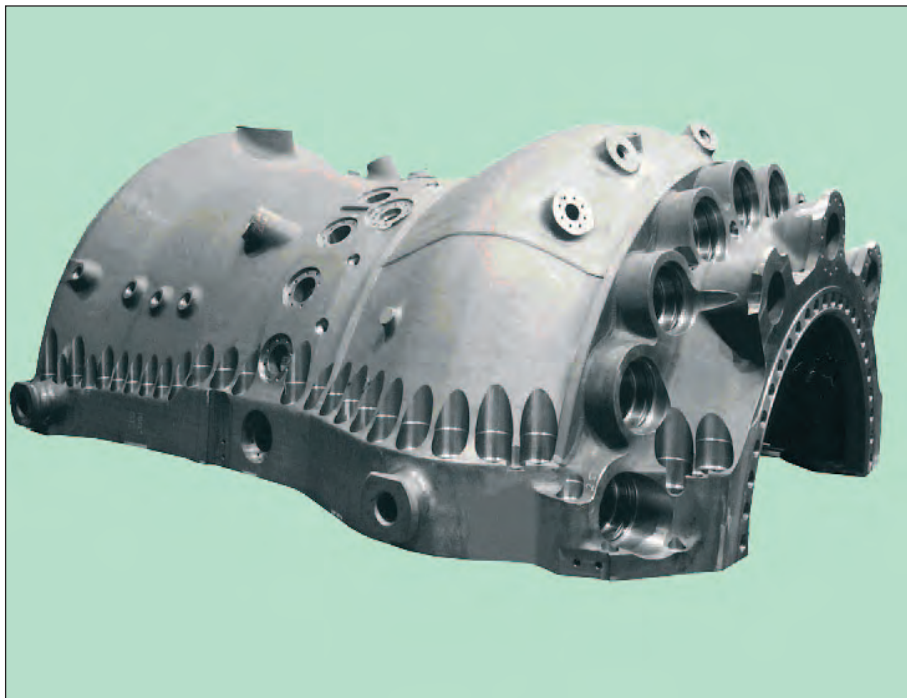


Bild 72: Gasturbinengehäuse aus G17CrMo5-5; Masse 27 t

8.7 Kaltzäher Stahlguss

Als kaltzäh gelten diejenigen Stahlguss-sorten, die auch bei tieferen Temperaturen unterhalb etwa $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ gute Zähigkeits-eigenschaften bei ausreichend hoher Zug-festigkeit haben. Als Merkmal ausreichend guter Zähigkeit gilt ein Mindestwert der Kerbschlagarbeit (ISO-V-Probe) von 27 J. Die niedrigste Anwendungstemperatur liegt je nach Stahlgussorte zwischen -45 und $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$. **Tabellen 16** und **17** enthalten

nähere Angaben zu den in **DIN EN 10213-3** genannten Stahlgussorten.

Die kaltzähenden Stähle für Gussstücke umfassen unterschiedliche Sorten, wo-bei teilweise die gleichen Legierungs-kombinationen wie beim hochfesten Stahlguss mit guter Schweiß-eignung auftreten. In **Tabelle 18** sind die Werkstoffe in Gruppen etwa gleicher Kalt-zähigkeit und innerhalb dieser Gruppen nach zunehmender Durch-

vergütbarkeit und Festigkeit geordnet. Die Nickelstähle entsprechen in ihrer Zusam-mensetzung den vergleichbaren Walz- und Schmiedestählen. Ihre Neigung zu grobkör-niger Erstarrung macht sie allerdings für gegossene Bauteile weniger geeignet. Es wird daher empfohlen, statt dessen möglichst die CrMo- oder NiCrMo-legierten Sorten zu verwenden.

Die Sorte GX3CrNi13-4 (1.6982) hat eine Besonderheit: Sie verbindet hohe Festig-keit mit äußerst guten Tieftemperatur-Eigenschaften und wird daher mehrfach nach Wärmebehandlungsaufwand für ab-gestufte Tieftemperaturzähigkeit in **Tabel-le 17** genannt.

Die austenitische Sorte GX6CrNi18-10 (1.6902) hat zwar die niedrigste 0,2%-Dehngrenze, ist aber auch bei Wechsel-tauchbeanspruchung bis zu Temperaturen des flüssigen Wasserstoffs und sogar flüssigen Heliums einsetzbar. Dieser Werkstoff wird daher zum Beispiel für Bauteile von supraleitenden Spulen ver-wendet.

Gegenüber den in **Tabelle 17** angege-benen mechanischen Eigenschaften kann durch ein Anlassen bei niedrigen Tempe-raturen die 0,2%-Dehngrenze insbeson-dere der CrMo- und NiCrMo-legierten Stahlgussorten angehoben werden. Der dabei entstehende Verlust an Tieftempera-tur-zähigkeit kann durch Anwenden der Sekundärmetallurgie und durch besonders geführte Wärmebehandlung ausgeglichen werden. Umgekehrt kann, wenn geringere Anforderungen an die Festigkeit gestellt

Tabelle 16: Chemische Zusammensetzung /Schmelzanalyse) der kaltzähren Stahlgussorten nach SEW 685

Stahlgussorten		Chemische Zusammensetzung [Masse-%]							
Kurzname	Werkstoff-Nummer	C	Si max.	Mn	P max.	S max.	Cr	Mo	Ni
G21Mn5	1.1138	0,17 bis 0,23	0,60	1,10 bis 1,30	0,020	0,015	≤ 0,30	-	-
G10Ni6	1.5621	0,06 bis 0,12	0,60	0,50 bis 0,80	0,015	0,015	-	-	1,30 bis 1,80
G26CrMo4	1.7221	0,22 bis 0,29	0,60	0,50 bis 0,80	0,015	0,015	0,80 bis 1,20	0,20 bis 0,30	-
G15CrMo9-10	1.7377	0,12 bis 0,19	0,60	0,60 bis 1,00	0,015	0,015	2,00 bis 2,50	0,90 bis 1,10	-
G20NiMoCr3-7	1.6750	0,17 bis 0,23	0,60	0,70 bis 1,10	0,015	0,015	0,30 bis 0,50	0,40 bis 0,80	0,60 bis 1,10
G14NiCrMo10-6	1.6779	0,12 bis 0,16	0,30	0,55 bis 0,70	0,010	0,010	1,30 bis 1,80	0,45 bis 0,55	2,70 bis 3,00
GX3CrNiMo16-5	1.6983	≤ 0,05	0,80	≤ 1,00	0,035	0,015	15,00 bis 16,50	0,50 bis 2,00	4,50 bis 6,00
GX6CrNi18-10	1.6902	≤ 0,07	2,00	≤ 1,50	0,035	0,015	18,00 bis 20,00	≤ 0,50	9,00 bis 11,00

werden, durch Teilaustenitisieren beim Wärmebehandeln die Tieftemperatur-zähigkeit verbessert werden.

Die Kaltzähigkeit erfordert ein möglichst feinkörniges Gefüge aus Martensit mit nur geringen Anteilen an unterem Bainit. Für die Zähigkeit des Martensits ist ein niedriger Kohlenstoffgehalt vorteilhaft; die kaltzähren Stahlgussorten enthalten daher im Allgemeinen nicht mehr als 0,2 % Kohlenstoff.

Ein niedriger Kohlenstoffgehalt ist aber zugleich für die Schweißbarkeit von Vorteil. Die kaltzähren Sorten sind daher im Allgemeinen gut schweißbar und teilweise für Schweißverbundkonstruktionen geeignet. Im Hinblick auf die Tieftemperatur-Eigenschaften ist jedoch eine Wärmenachbe-

handlung erforderlich. Dies gilt ganz besonders dann, wenn durch Anlassen bei niedrigen Temperaturen die Festigkeitswerte erhöht werden.

Hauptanwendungsgebiet von kaltzähem Stahlguss ist die industrielle Kältetechnik zum Verflüssigen und Fraktionieren von Gasen, vor allem für statisch und dynamisch beanspruchte Bauteile, wie zum Beispiel für Anlagen zur Gewinnung von Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Kohlenwasserstoffen, Kohlensäure und Edelgasen. Ein weiteres umfangreiches Anwendungsgebiet ist der Schwerfahrzeugbau für den Einsatz bei niedrigen Temperaturen sowie der Flugzeugbau, wo die Werkstoffe Stratosphärentemperaturen bis zu -70 °C ausgesetzt werden können.

8.8 Stahlguss mit weichmagnetischen Eigenschaften

Gemäß IEC-Publikation 4041 werden Werkstoffe mit einer Koerzitivfeldstärke $B_H < 1000 \text{ A/m}$ als weichmagnetisch bezeichnet. Die diesen Forderungen entsprechenden Stahlgussorten werden dort verwendet, wo hohe Spitzenwerte oder große Änderungen des Magnetisierungszustandes erreicht werden müssen, darüber hinaus, wenn aus Gründen der Wirtschaftlichkeit der Aufwand an elektrischer Energie möglichst gering sein muss. Anwendungsbeispiele sind Konstruktionselemente des Elektromaschinenbaus, aber zunehmend auch Magnete und Abschirmungen in kernphysikalischen Anlagen.

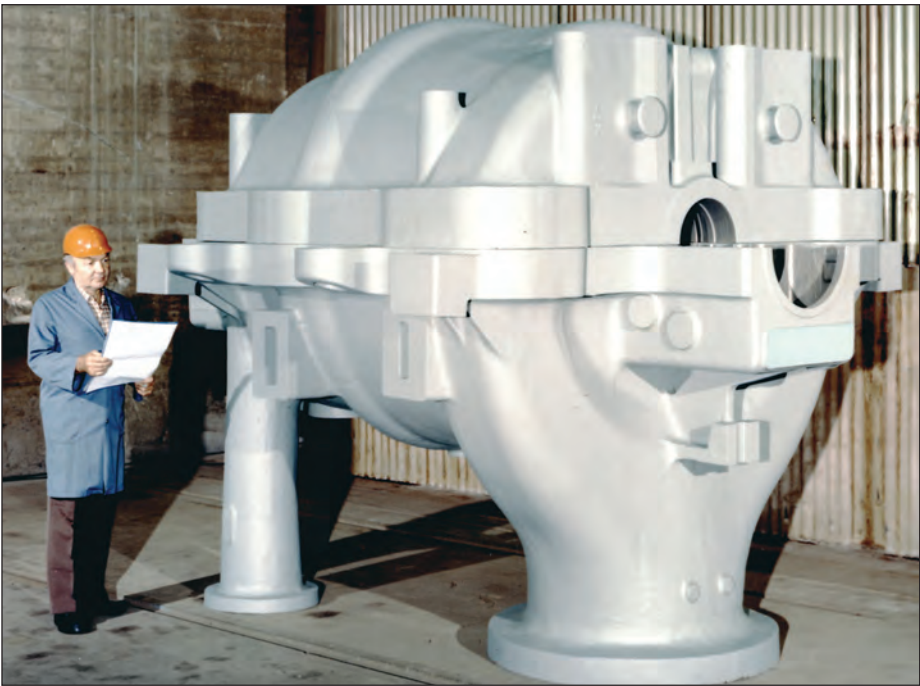


Bild 73: Verdichtergehäuse aus niedriglegiertem, kaltzähem NiMo-Stahlguss der Abmessungen 3,6 x 2,7 x 1,6 m; Masse 18,6 t nach ASTM A 352 LC2



Bild 74: DN-12“-Absperrgehäuse aus kaltzähem Stahlguss nach ASTM A 351 CF 8 M für flüssige Gase bis -196 °C; Masse 140 kg

Tabelle 17: Mechanische Eigenschaften der kaltzähnen Stahlgussorten

Stahlgussorten		Wärmebehandlungs- zustand ¹⁾	Maßgebende Wand- dicke max. [mm]	Mechanische Eigenschaften ²⁾				
				im Zugversuch bei Raumtemperatur			im Kerbschlagbiegeversuch (Charpy-V)	
Kurzname	Werkstoff- nummer			0,2-%- Dehngrenze ³⁾ R _{p0,2} min. [N/mm ²]	Zugfestigkeit ³⁾ R _m [N/mm ²]	Bruchdeh- nung (L ₀ = 5d ₀) A ₅ min. [%]	Prüftem- peratur T [°C]	Kerbschlag- arbeit ^{3),4)} A _V min. [J]
G21Mn5	1.1138	+ N + QT	30 100	300	480 bis 620	20	- 30 - 50	27 35
G10Ni6	1.5621	+ QT	35	250	400 bis 550	18	- 50	27
G26CrMo4	1.7221	+ QT	75	340	550 bis 700	16	- 50	27
G15CrMo9-10	1.7377	+ QT	100	400	540 bis 690	18	- 50	27
G20NiMoCr3-7	1.6750	+ QT	150	410	570 bis 720	16	- 50	27
G14NiCrMo10-6	1.6779	+ QT	150	550	650 bis 800	16	- 80	35
GX3CrNiMo16-5	1.6983	+ QT	300	500	760 bis 960	15	- 80 - 120	45 35
GX6CrNi18-10	1.6902	+ AT	300	180	440 bis 640	20	- 196	50 ⁵⁾

¹⁾ + N - normalgeglüht, + QT - vergütet, + AT - lösungsgeglüht
²⁾ Die Werte gelten für Proben aus angegossenen oder getrennt gegossenen Probenstücken
³⁾ Die Werte gelten auch für Proben aus dem Gussstück
⁴⁾ Mittelwert aus drei Kerbschlagbiegeversuchen
⁵⁾ Für -269 °C kann ein Wert der Kerbschlagarbeit (Charpy-V) von mindestens 27 J angenommen werden.

Gegenüber verformtem Stahl bietet Stahlguss oft beträchtliche konstruktive und wirtschaftliche Vorteile. Der für den Elektrogroßmaschinenbau verwendete Stahlguss muss neben entsprechend hohen magnetischen Werten auch verhältnismäßig hohe Festigkeitswerte aufweisen. Dagegen kommt es bei Magneten und Abschirmungen für kernphysikalische Anlagen, Gleichstrommagneten und dergleichen vor allem auf hohe Sättigungsinduktion, hohe Permeabilität und niedrige Koerzitivfeldstärke an, während die Festigkeitswerte eine untergeordnete Rolle spielen. Dem entsprechend reicht das Gebiet der weichmagnetischen Stahlgusswerkstoffe von niedriglegierten über unlegierte Sorten hin zu solchen mit extrem niedrigen

Gehalten an Kohlenstoff und sonstigen Elementen, wie **Tabelle 18** in einer Übersicht zeigt.

Je nach Verwendungszweck muss für weichmagnetischen Stahlguss eine auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten optimale Kombination zwischen den erforderlichen Festigkeitswerten und den magnetischen Eigenschaften gefunden werden, da in der Regel legierungstechnische Maßnahmen zur Festigkeitssteigerung wesentliche magnetische Daten verändern. Auch die Art der Wärmebehandlung beeinflusst die manetischen Eigenschaften zum Teil beträchtlich.

Für die unlegierten und niedriglegierten weichmagnetischen Stahlgusswerkstoffe

in **Tabelle 18** nennt **Tabelle 19** die mechanischen und magnetischen Eigenschaften. Für die weichmagnetischen Stahlgussorten beschränkt sich die deutsche Normung heute noch auf DIN 1681.

Ausgehend vom reinen Eisen bewirkt der Zusatz von anderen Elementen ein Herabsetzen der Induktion. Den stärksten Einfluss übt Kohlenstoff aus. Mit steigender magnetischer Feldstärke nimmt der Einfluss der einzelnen Elemente auf die magnetische Induktion ab. Die festigkeitssteigernden Elemente Mangan, Chrom und Molybdän verringern bei niedriger Feldstärke die Induktion stärker als beispielsweise Silicium, Aluminium und Kupfer. Nickel beeinträchtigt die magnetische Induktion

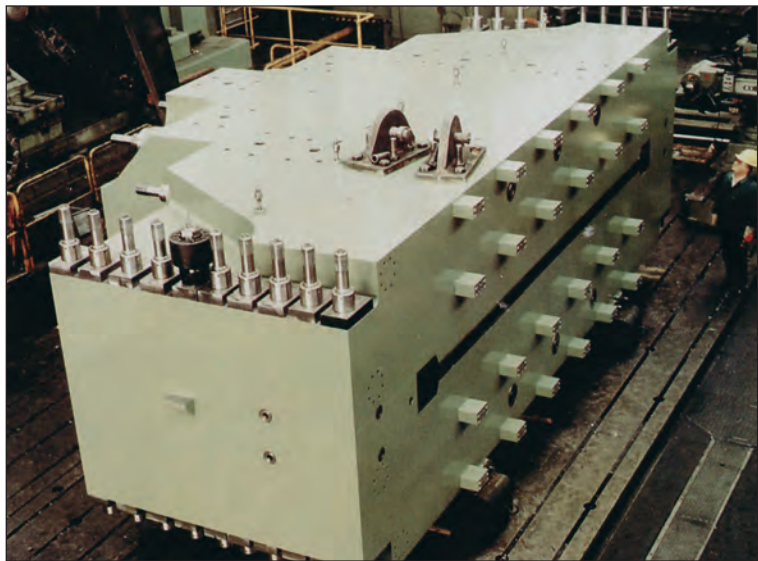


Bild 75: Ein Teil eines zweiteiligen Hochleistungsmagneten aus weichmagnetischem Stahlguss mit weniger als 0,01 % C-Gehalt; Masse 420 t

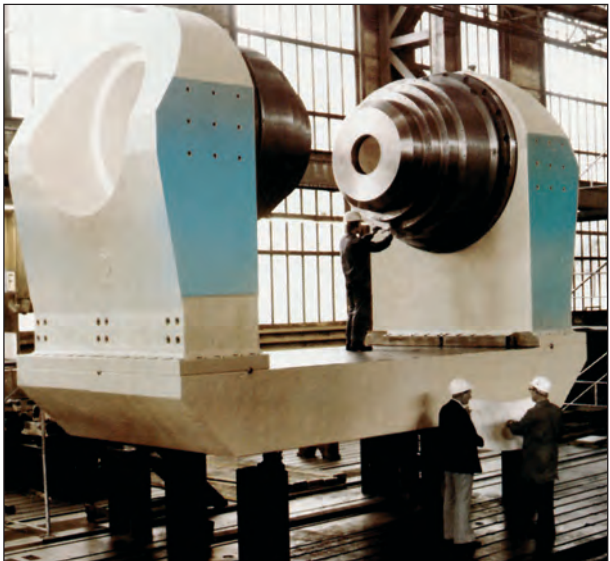


Bild 76: Mehrteiliges Magnet aus dem Kernforschungszentrum CERN aus einem weichmagnetischen Stahlguss mit einer Koerzitivfeldstärke von weniger als 100A/m; Masse 350 t

Tabelle 18: Chemische Zusammensetzung (Schmelzanalyse) und Wärmebehandlung von weichmagnetischem Stahlguss

Stahlgussorten		Chemische Zusammensetzung [Masse-%]								Wärmebehandlung
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	
GE200 ¹⁾ GE240 ¹⁾ GE300 ¹⁾										Glühen mit Gefügeumwandlung und Abbau schädlicher innerer Spannungen
Sonder-Stahlguss	Nr. 1	0,01	0,10	0,20	-	-	-	-	-	Normalglühen mit Ofenabkühlung
	Nr. 2	0,03	-	0,30	0,020	0,010	-	-	-	
	Nr. 3	0,08	0,40	0,50	-	-	-	-	-	
	Nr. 4	0,15	0,38	0,94	0,011	0,015	0,04	0,02	0,01	Normal- und Spannungsarmglühen
	Nr. 5	0,45	0,37	1,03	0,014	0,022	-	-	-	
	Nr. 6	0,32	0,39	1,24	0,016	0,018	-	-	-	Ölvergüten
	Nr. 7	0,33	0,45	1,36	0,013	0,016	-	-	-	Wasservergüten
	Nr. 8	0,42	0,44	1,20	0,019	0,015	-	-	-	
	Nr. 9	0,29	0,47	1,20	0,014	0,014	0,06	0,27	1,40	Luftvergüten, Wasservergüten, Vergüten, Normalglühen, Wasservergüten.
	Nr. 10	0,26	0,48	1,20	0,014	0,010	0,10	0,28	1,35	
	Nr. 11	0,27	0,50	0,50	-	-	0,10	0,10	2,00	
	Nr. 12	0,08	0,44	1,18	-	-	-	-	0,93	
	Nr. 13	0,08	0,44	1,18	-	-	-	-	0,93	

¹⁾ Sorten nach DIN EN 10 293, keine Angaben zur chemischen Zusammensetzung spezifiziert.

praktisch nicht, trägt aber andererseits außer beim Vergüten nur wenig zur Festigkeitssteigerung bei. Phosphor und Schwefel zeigen nur einen relativ geringen Einfluss. Neben diesen Elementen wirken sich auch Gase, wie Sauerstoff und Stickstoff, nachteilig auf die magnetischen Eigenschaften, vor allem auf die Koerzitivfeldstärke, aus. Somit kann auch die Art des Erschmelzens, die Desoxidation sowie das Nachbehandeln die magnetischen Eigenschaften erheblich beeinflussen, insbesondere das magnetische Altern.

Großen Einfluss auf die Eigenschaften von weichmagnetischem Stahlguss hat auch die Wärmebehandlung. Bereits ein Spannungsarmglühen unterhalb A_{c1} verringert gegenüber dem Gusszustand oft etwas die Koerzitivfeldstärke und die Remanenz. Optimale Werte lassen sich bei unlegiertem Stahlguss geringerer Festigkeit durch ein Glühen oberhalb A_{c3} mit langsamer Ofenabkühlung erzielen, wie überhaupt ein möglichst spannungsarmer Zustand sich positiv auf die weichmagnetischen Eigenschaften auswirkt.

Weichmagnetische Stahlgusswerkstoffe können durch Vergüten mit entsprechenden Abschreckmedien, zum Beispiel Luft, Öl oder Wasser, mit erhöhten Festigkeits- und ausreichenden Zähigkeitseigenschaften hergestellt werden. Dadurch ist es möglich, in gewissem Umfang Legierungselemente mit weichmagnetisch negativen Auswirkungen einzusparen. Andererseits können Vergütungsbehandlungen angewendet werden, welche die magnetische Induktion nur wenig beeinträchtigen.

Tabelle 19: Mechanische und magnetische Eigenschaften der weichmagnetischen Stahlgussorten

Stahlgussorten	Mechanische Eigenschaften			Magnetische Flussdichte B bei einer Feldstärke in A/m von					Koerzitiv- Feldstärke	
	Streck- grenze R _p [N/mm ²]	Bruch- dehnung A ₅ [%]	Kerb- schlag- arbeit A [J]	2500	5000	10000 B [T]	20000	30000	H [A/m]	
GE200 ¹⁾	≥ 200	≥ 25,0	≥ 35 ³⁾	≥ 1,45	≥ 1,60	≥ 1,750	-	-	-	
GE240 ¹⁾	≥ 230	≥ 22,0	≥ 27 ³⁾	≥ 1,40	≥ 1,55	≥ 1,700	-	-	-	
GE300 ¹⁾	≥ 300	≥ 15,0	2,3)	≥ 1,30	≥ 1,50	≥ 1,650	-	-	-	
Sonder- Stahlguss	Nr. 1	100	25,0	-	1,62	1,70	1,810	1,960	1,060	90
	Nr. 2	120	40,0	-	1,61	1,69	1,800	1,930	2,020	100
	Nr. 3	170	25,0	-	1,55	1,65	1,770	1,920	2,020	140
	Nr. 4	285	34,0	81 ⁴⁾	1,465	1,630	1,760	-	-	-
	Nr. 5	367	20,3	34 ⁴⁾	1,419	1,574	1,706	1,848	1,927	-
	Nr. 6	390	23,3	-	1,321	1,541	1,692	-	-	-
	Nr. 7	392	24,6	76 ⁴⁾	1,433	1,597	1,730	-	-	-
	Nr. 8	467	21,0	54 ⁴⁾	1,308	1,522	1,669	1,804	1,870	-
	Nr. 9	498	22,2	48 ⁴⁾	1,430	1,620	1,750	1,890	1,970	-
	Nr. 10	629	18,5	85 ⁴⁾	1,515	1,675	1,802	1,932	2,022	-
	Nr. 11	≥ 440	≥ 15,0	44 ⁴⁾	1,330	1,620	1,750	1,900	1,950	-
	Nr. 12	300	25,0	35 ⁵⁾	1,461	1,654	1,802	1,957	2,044	413
	Nr. 13	400	20,0	27 ⁵⁾	1,492	1,665	1,806	1,958	2,045	458

8.9 Nichtrostender Stahlguss

Stahlguss gilt als nichtrostend, wenn er eine besondere Beständigkeit gegenüber chemischer Beanspruchung aufweist. Diese Beständigkeit liegt vor, wenn der jeweilige Stahl einen auf den Kohlenstoffgehalt abgestimmten Chromgehalt von mindestens 10,5 % aufweist. Nichtrostende Stahlgussorten sind in **DIN EN 10213**, **DIN EN 10283** und in **SEW 410** genormt.

Entsprechend der Gefügeausbildung werden die verschiedenen nichtrostenden Stahlgussorten unterteilt in martensitischen, ferritisch-carbidischen, ferritisch-austenitischen und austenitischen Stahlguss. Angaben zur chemischen Zusammensetzung und den mechanischen Eigenschaften bei Raumtemperatur sind in den **Tabellen 20** und **21** aufgeführt. Die Angaben über die 0,2%-Dehngrenzen bei erhöhten Temperaturen enthalten die **Tabelle 22** und **23**.

8.9.1 Martensitischer Stahlguss

Diese Werkstoffgruppe umfaßt die 12- bis 17%-Chromstähle, die sich durch einen erhöhten Korrosionswiderstand im Süßwasserbereich auszeichnen. Aufgrund des hohen Legierungsgehaltes wandeln diese Stähle beim Abkühlen von der Austenitisierungs-(Härte)Temperatur bis zu großen Wanddicken praktisch ausschließlich in der Martensitstufe um, wobei – vor allem auch beim Schweißen – auf die niedrigen Umwandlungspunkte zu achten ist.

Die konventionellen martensitischen Chromstahlgussorten

GX12Cr12	(1.4011)*
GX8CrNi12	(1.4107)

GXCrNiMo12-1	(1.4008)*
GX20Cr14	(1.4027) und
GX22CrNi17	(1.4059)

haben einen relativ hohen Kohlenstoffgehalt und sind für allgemeine Verwendungszwecke bestimmt. Ihr Einsatz empfiehlt sich für Anwendungsfälle, bei denen keine Konstruktions- und/oder Instandsetzungsschweißungen bei Abnutzungsschäden möglich sind sowie keine besonderen Anforderungen an die Zähigkeitseigenschaften gestellt werden.

Die weichmartensitischen Stahlgussorten

GX4CrNi13-4	(1.4317)*
GX3CrNi13-4	(1.6982)
GX4CrNiMo16-5-1	(1.4405)*
GX4CrNiMo16-5-2	(1.4411)*
GX5CrNiCu16-4	(1.4525)*

mit optimalen Gebrauchseigenschaften haben einen abgesenkten Kohlenstoffgehalt. Hierdurch werden die Schweißbarkeit und die Zähigkeit wesentlich verbessert. Mit diesen Luft härtenden Werkstoffen lassen sich vor allem in Verbindung mit sekundärmetallurgischen Herstellverfahren äußerst homogene Werkstoffeigenschaften bis zu Wanddicken über 500 mm erreichen.

Bei den weichmartensitischen Stahlgussorten wird der tiefe Kohlenstoffgehalt durch einen äquivalenten Anteil an Nickel kompensiert. Insbesondere beim Werkstoff GX4CrNi13-4 (1.4317) wird dadurch ein deltaferritfreies, martensitisches Ge-

füge eingestellt. Damit wird das beste Eigenschaftspaket dieser Legierungsgruppe für Süßwasserbedingungen bestehend aus einem günstigen Festigkeits-/Zähigkeits-Verhältnis, einer guten Schweißbarkeit sowie einem hohen Erosions-/Kavitations-Widerstand erreicht. Beim WIG-Schweißverfahren können im artgleichen, nur angelassenen Schweißgut praktisch gleich hohe Zähigkeitswerte wie im Grundwerkstoff erreicht werden. Dies ist für das Konstruktions- oder Instandsetzungsschweißen ein wesentlicher Vorteil.

Wie aus **Tabelle 21** hervorgeht, wird der GX4CrNi13-4 (1.4317) in zwei Vergütungsstufen ($R_m \geq 760 \text{ N/mm}^2$ und $R_m \geq 900 \text{ N/mm}^2$) hergestellt. Der Hauptanwendungsbereich der unteren Festigkeitsstufe ist der Wasserturbinenbau (**Bild 77**). Die obere Festigkeitsstufe wird für hochfeste Gebläse- und Pumpenräder eingesetzt (**Bild 78**). Die Anwendung als erosionsbeständigere Variante im Wasserturbinenbau hat sich noch nicht durchgesetzt.

Wird der Werkstoff GX4CrNi13-4 (1.4317) entsprechend den Angaben der Tabelle 2 aus DIN EN 10283 (siehe auch **Tabelle 13**), hergestellt, das heißt mit niedrigeren Mindestwerten für die Festigkeitseigenschaften ($R_{p0,2} \geq 500 \text{ N/mm}^2$, $R_{p0,2} \geq 700 \text{ N/mm}^2$), kann diese Güte auch für Spannungsrissskorrosion auslösende Medien zum Beispiel nach NACE MR0175 eingesetzt werden. Hierzu sollte der Kohlenstoffgehalt der Legierung abgesenkt werden. Fertigungs- und Konstruktionsschweißungen erfordern allerdings eine mehrstufige Wärmenachbehandlung zur Gewährleistung der spezifizierten niedrigen Härte von $< 22 \text{ HRC}$.

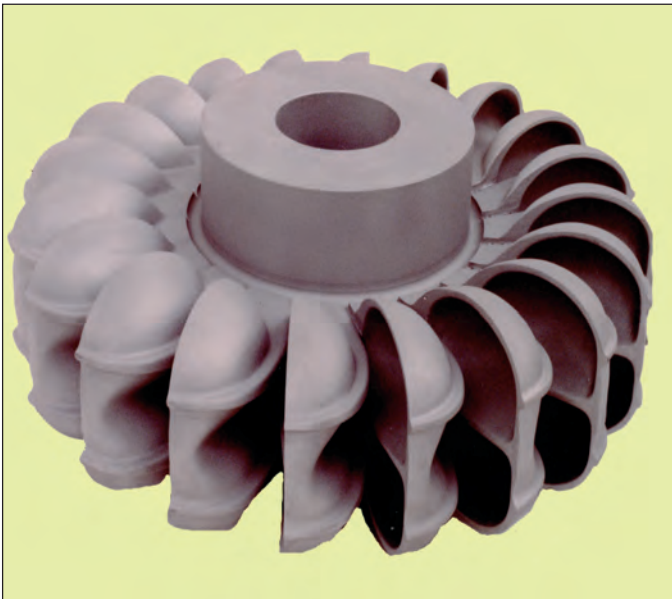


Bild 77: Peltonrad im Keramikformverfahren gefertigt aus GX5CrNi13-4 mit einem Durchmesser von 845 x 210 mm



Bild 78: LaufRad aus GX5CrNi13-4 für einen Radialverdichter mit einem Durchmesser von 1,2 m

Tabelle 20: Chemische Zusammensetzung (Schmelzanalyse) der nichtrostenden Stahlgussorten nach DIN EN 10 213, DIN EN 10 283 und SEW 410

Stahlgussorte		Chemische Zusammensetzung [Masse-%]					
Kurzname	Werkstoff-Nummer	C	Cr	Ni	Mo	N	Sonstige
Martensitische Sorten							
GX12Cr12 ²⁾	1.4011	≤ 0,15	11,5 bis 13,5	≤ 1,0	≤ 0,5	-	-
GX7CrNiMo12-1 ²⁾	1.4008	≤ 0,1	12,0 bis 13,5	1,0 bis 2,0	0,2 bis 0,5	-	-
GX20Cr14 ³⁾	1.4027	0,16 bis 0,23	12,5 bis 14,5	≤ 1,0	-	-	-
GX22CrNi17 ³⁾	1.4059	0,20 bis 0,27	16,0 bis 18,0	1,0 bis 2,0	-	-	-
GX4CrNi13-4 ²⁾	1.4317	≤ 0,06	12,0 bis 13,5	3,5 bis 5,0	≤ 0,7	-	-
GX4CrNiMo16-5-1 ²⁾	1.4405	≤ 0,06	15,0 bis 17,0	4,0 bis 6,0	0,7 bis 1,5	-	-
GX4CrNiMo16-5-2 ²⁾	1.4411	≤ 0,06	15,0 bis 17,0	4,0 bis 6,0	1,5 bis 2,0	-	-
GX5CrNiCu16-4 ²⁾	1.4525	≤ 0,07	15,0 bis 17,0	3,5 bis 5,5	≤ 0,8	≤ 0,05	Cu: 2,5 bis 4,0 Nb ⁵⁾ : ≤ 0,35
Ferritisch-carbidische Sorten							
GX70Cr29 ³⁾	1.4085	0,50 bis 0,90	27,0 bis 30,0	-	-	-	-
GX120Cr29 ³⁾	1.4086	0,90 bis 1,30	27,0 bis 30,0	-	-	-	-
GX120CrMo29-2 ³⁾	1.4138	0,90 bis 1,30	27,0 bis 30,0	-	2,0 bis 2,5	-	-
GX40CrNi27-4 ³⁾	1.4340	0,30 bis 0,50	26,0 bis 28,0	3,5 bis 5,5	-	-	-
GX40CrNiMo27-5 ³⁾	1.4464	0,30 bis 0,50	26,0 bis 28,0	4,0 bis 6,0	2,0 bis 2,5	-	-
Ferritisch-austenitische Sorten							
GX6CrNiN26-7 ²⁾	1.4347	≤ 0,08	25,0 bis 27,0	5,5 bis 7,5	-	0,10 bis 0,20	-
GX2CrNiMoN22-5 ^{1) 2)}	1.4470	≤ 0,03	21,0 bis 23,0	4,5 bis 6,5	2,5 bis 3,5	0,12 bis 0,20	-
GX3CrNiMoCuN24-6-5 ³⁾	1.4573	≤ 0,04	22,0 bis 25,0	4,5 bis 6,5	4,5 bis 6,0	0,15 bis 0,25	Cu: 1,5 bis 2,5
GX3CrNiMoCuN24-6-2-3 ³⁾	1.4593	≤ 0,04	23,0 bis 26,0	5,0 bis 8,0	2,0 bis 3,0	0,10 bis 0,20	Cu: 2,75 bis 3,5
GX2CrNiMoN25-6-3 ²⁾	1.4468	≤ 0,03	24,5 bis 26,5	5,5 bis 7,0	2,5 bis 3,5	0,12 bis 0,25	-
GX2CrNiMoCuN26-6-3 ³⁾	1.4515	≤ 0,03	24,5 bis 26,5	5,5 bis 7,0	2,5 bis 3,5	0,12 bis 0,25	Cu: 0,8 bis 1,3
GX2CrNiMoCuN25-6-3-3 ^{2) 3)}	1.4517	≤ 0,03	24,5 bis 26,5	5,0 bis 7,0	2,5 bis 3,5	0,12 bis 0,22	Cu: 2,75 bis 3,5
GX2CrNiMoN25-7-3 ²⁾	1.4417	≤ 0,03	24,0 bis 26,0	6,0 bis 8,5	3,0 bis 4,0	0,15 bis 0,25	Cu: ≤ 1,0 W: ≤ 1,0
GX3CrNiMoWCuN27-6-3-1 ³⁾	1.4471	≤ 0,03	25,5 bis 28,0	5,5 bis 8,0	3,0 bis 4,0	0,15 bis 0,28	Cu: 0,8 bis 1,3 W: 0,9 bis 1,1
GX2CrNiMoN26-7-4 ^{1) 2) 4)}	1.4469	≤ 0,03	25,0 bis 27,0	6,0 bis 8,0	3,0 bis 5,0	0,12 bis 0,22	Cu: ≤ 1,3
Austenitische Sorten							
GX2CrNi19-11 ^{1) 2)}	1.4309	≤ 0,03	18,0 bis 20,0	9,0 bis 12,0	-	≤ 0,20	-
GX5CrNi19-10 ^{1) 2)}	1.4308	≤ 0,07	18,0 bis 20,0	8,0 bis 11	-	-	-
GX5CrNiNb19-11 ^{1) 2)}	1.4552	≤ 0,07	18,0 bis 20,0	9,0 bis 12,0	-	-	8 x %C ≤ Nb ⁵⁾ ≤ 1,0
GX2CrNiMo19-11-2 ^{1) 2)}	1.4409	≤ 0,03	18,0 bis 20,0	9,0 bis 12,0	2,0 bis 2,5	≤ 0,20	-
GX5CrNiMo19-11-2 ^{1) 2)}	1.4408	≤ 0,07	18,0 bis 20,0	9,0 bis 12,0	2,0 bis 2,5	-	-
GX5CrNiMoNb19-11-2 ^{1) 2)}	1.4581	≤ 0,07	18,0 bis 20,0	9,0 bis 12,0	2,0 bis 2,5	-	8 x %C ≤ Nb ⁵⁾ ≤ 1,0
GX5CrNiMo19-11-3 ²⁾	1.4412	≤ 0,07	18,0 bis 20,0	10, bis 13,0	3,0 bis 3,5	-	-
GX2CrNiMoN17-13-4 ²⁾	1.4446	≤ 0,03	16,5 bis 18,5	12,5 bis 14,5	4,0 bis 4,5	0,12 bis 0,22	-
Vollaustenitische Sorten							
GX2CrNiMoCuN20-18-6 ²⁾	1.4557	≤ 0,025	19,5 bis 20,5	17,5 bis 19,5	6,0 bis 7,0	0,18 bis 0,24	Cu: 0,5 bis 1,0
GX2CrNiMnMoNNb21-15-4-3 ³⁾	1.4569	≤ 0,03	20,0 bis 22,0	14,0 bis 17,0	3,0 bis 3,5	0,02 bis 0,35	Mn: 3,0 bis 6,0 Nb: ≤ 0,25
GX1NiCrMoCuN25-20-5 ³⁾	1.4538	≤ 0,02	19,0 bis 21,0	24,0 bis 26,0	4,0 bis 5,0	0,04 bis 0,15	Cu: 1,0 bis 2,0
GX2NiCrMoCuN25-20 ³⁾	1.4536	≤ 0,03	19,0 bis 21,0	24,0 bis 26,0	2,5 bis 3,5	0,10 bis 0,20	Cu: 1,5 bis 2,0
GX2NiCrMo28-20-2 ^{1) 2)}	1.4458	≤ 0,03	19,0 bis 22,0	26,0 bis 30,0	2,0 bis 2,5	≤ 0,20	Cu: ≤ 2,0
GX4NiCrCuMo30-20-4 ²⁾	1.4527	≤ 0,06	19,0 bis 22,0	27,5 bis 30,5	2,0 bis 3,0	-	Cu: 3,0 bis 4,0
GX2NiCrMoCu25-20-5 ²⁾	1.4584	≤ 0,025	19,0 bis 21,0	24,0 bis 26,0	4,0 bis 5,0	≤ 0,20	Cu: 1,0 bis 3,0
GX2NiCrMoN25-20-5 ²⁾	1.4416	≤ 0,03	19,0 bis 21,0	24,0 bis 26,0	4,5 bis 5,5	0,12 bis 0,20	-
GX2NiCrMoCuN29-25-5 ²⁾	1.4587	≤ 0,03	24,0 bis 26,0	28,0 bis 30,0	4,0 bis 5,0	0,15 bis 0,25	Cu: 2,0 bis 3,0
GX2NiCrMoCu25-20-6 ²⁾	1.4588	≤ 0,025	19,0 bis 21,0	24,0 bis 26,0	6,0 bis 7,0	0,10 bis 0,25	Cu: 0,5 bis 1,5

¹⁾ Technische Lieferbedingungen für Stahlguss für Druckbehälter Teil 4: Austenitische und austenitisch-ferritische Stahlsorten

²⁾ nach DIN EN 10283:1998-12 Korrosionsbeständiger Stahlguss

³⁾ nach SEW 410:1998-06 Nichtrostender Stahlguss Technische Lieferbedingungen

⁴⁾ Für diese Stahlgussgüte kann ein PRE(N)-Wert größer 40 vereinbart werden.

⁵⁾ Der Wert für den Massenanteil an Niob gilt für die Summe von Niob und Tantal.

Tabelle 21: Mechanische Eigenschaften der nichtrostenden Stahlgussorten nach DIN EN 10 213, DIN EN 283 und SEW 410 bei Raumtemperatur für Angussproben oder getrennt gegossene Probestücke für eine maßgebende Wanddicke entsprechend den Angaben der Tabelle

Stahlgussorte		Wand Dicke max. [mm]	Brinellhärte HB	0,2-%-Dehngrenze ⁴⁾ min. [N/mm²]	1-%-Dehngrenze ⁴⁾ min. [N/mm²]	Zug Festigkeit ⁴⁾ [N/mm²]	Bruchdehnung A min. [%]	Kerbschlagarbeit (ISO-V) min. [J]
Kurzname	Werkstoff-Nummer							
Martensitische Sorten								
GX12Cr12 ²⁾	1.4011	150	-	450	-	≥ 620	15	20
GX7CrNiMo12-1 ²⁾	1.4008	300	-	440	-	≥ 590	15	27
GX20Cr14 ³⁾	1.4027	150	170 bis 240	440	-	590 bis 790	12	-
GX22CrNi17 ³⁾	1.4059	150	230 bis 300	590	-	780 bis 980	4	-
GX4CrNi13-4 +QT1 ²⁾	1.4317	300	-	550	-	≥ 760	15	-
GX4CrNi13-4 +QT2 ²⁾	1.4317	300	-	830	-	≥ 900	12	50
GX4CrNi13-4 +QT3 ²⁾	1.4317	300	-	500	-	≥ 700	16	35
GX4CrNiMo16-5-1 ²⁾	1.4405	300	-	540	-	≥ 760	15	50
GX4CrNiMo16-5-2 ²⁾	1.4411	300	-	540	-	≥ 760	15	60
GX5CrNiCu16-4 +QT1 ²⁾	1.4525	300	-	750	-	≥ 900	12	60
GX5CrNiCu16-4 +QT2 ²⁾	1.4525	300	-	1000	-	≥ 1100	5	20
Ferritisch-carbidische Sorten								
GX70Cr29 ³⁾	1.4085	150	210 bis 280	-	-	-	-	-
GX120Cr29 ³⁾	1.4086	150	260 bis 330	-	-	-	-	-
GX120CrMo29-2 ³⁾	1.4138	150	260 bis 330	-	-	-	-	-
GX40CrNi27-4 ³⁾	1.4340	150	230 bis 300	-	-	-	-	-
GX40CrNiMo27-5 ³⁾	1.4464	150	230 bis 300	-	-	-	-	-
Ferritisch-austenitische Sorten								
GX6CrNiN26-7 ²⁾	1.4347	150	-	420	-	≥ 590	20	30
GX2CrNiMoN22-5 ^{1) 2)}	1.4470	150	-	420	-	600 bis 800	20	30
GX3CrNiMoCuN24-6-5 ³⁾	1.4573	150	200 bis 320	480	-	690 bis 890	22	50
GX3CrNiMoCuN24-6-2-3 ³⁾	1.4593	150	200 bis 260	450	-	650 bis 850	23	60
GX2CrNiMoN25-6-3 ²⁾	1.4468	150	-	480	-	≥ 650	22	50
GX2CrNiMoCuN26-6-3 ³⁾	1.4515	200	-	480	-	650 bis 850	22	60
GX2CrNiMoCuN25-6-3-3 ^{1) 2)}	1.4517	150	-	480	-	650 bis 850	22	50
GX2CrNiMoN25-7-3 ²⁾	1.4417	150	-	480	-	≥ 650	22	50
GX3CrNiMoWCuN27-6-3-1 ³⁾	1.4471	150	-	480	-	650 bis 850	22	60
GX2CrNiMoN26-7-4 ^{1) 2)}	1.4469	150	-	480	-	650 bis 850	22	50
Austenitische Sorten								
GX2CrNi19-11 ^{1) 2)}	1.4309	150	-	185	210	440 bis 640	30	80
GX5CrNi19-10 ^{1) 2)}	1.4308	150	-	175	200	440 bis 640	30	60
GX5CrNiNb19-11 ^{1) 2)}	1.4552	150	-	175	200	440 bis 640	25	40
GX2CrNiMo19-11-2 ^{1) 2)}	1.4409	150	-	195	220	440 bis 640	30	80
GX5CrNiMo19-11-2 ^{1) 2)}	1.4408	150	-	185	210	440 bis 640	30	60
GX5CrNiMoNb19-11-2 ^{2) 2)}	1.4581	150	-	185	210	440 bis 640	25	40
GX5CrNiMo19-11-3 ²⁾	1.4412	150	-	205	230	≥ 440	30	60
GX2CrNiMoN17-13-4 ²⁾	1.4446	150	-	210	235	440	20	50
Vollaustenitische Sorten								
GX2CrNiMoCuN20-18-6 ²⁾	1.4557	50	-	260	285	≥ 500	35	50
GX2CrNiMnMoNNb21-15-4-3 ³⁾	1.4569	150	-	315	340	500 bis 750	20	65
GX1NiCrMoCuN25-20-5 ³⁾	1.4538	200	-	200	225	440 bis 640	20	60
GX2NiCrMoCuN25-20 ³⁾	1.4536	200	-	200	225	440 bis 640	20	60
GX2NiCrMo28-20-2 ^{1) 2)}	1.4458	150	-	165	190	430 bis 630	30	60
GX4NiCrCuMo30-20-4 ²⁾	1.4527	150	-	170	195	≥ 430	35	60
GX2NiCrMoCu25-20-5 ²⁾	1.4584	150	-	185	210	≥ 450	30	60
GX2NiCrMoN25-20-5 ²⁾	1.4416	150	-	185	210	≥ 450	30	60
GX2NiCrMoCuN29-25-5 ²⁾	1.4587	150	-	220	245	≥ 480	30	60
GX2NiCrMoCu25-20-6 ²⁾	1.4588	50	-	210	235	≥ 480	30	60

¹⁾ nach DIN EN 10213-1:1996-01 Technische Lieferbedingungen für Stahlguss für Druckbehälter Teil 1: Allgemeines und DIN EN 10213-4:1996-01 Technische Lieferbedingungen für Stahlguss für Druckbehälter Teil 4: Austenitische und austenitisch-ferritische Stahlsorten

²⁾ nach DIN EN 10283:1998-12 korrosionsbeständiger Stahlguss

³⁾ nach SEW 410:1998-06 Nichtrostender Stahlguss Technische Lieferbedingungen

⁴⁾ Die Werte gelten auch für Proben aus dem Gussstück

Die Werkstoffe GX4CrNiMo16-5-1 (1.4405) und GX4CrNiMo16-5-2 (1.4411) haben erhöhte Gehalte an Chrom und Molybdän, wodurch vor allem die Korrosionsbeständigkeit, speziell in chloridhaltigen Medien, verbessert wird. Die bei einem martensitischen Werkstoff maximal mögliche Wirksumme (zum Beispiel Cr + 3 Mo + 16 N) reicht jedoch nicht aus, um im Meerwasser bei Raumtemperatur ohne kathodischen Schutz auskommen zu können. Hinweise für die Verwendung werden in **Tabelle 24** gegeben.

Der Werkstoff GX4CrNiMo16-5-1 (1.4405) hat eine gegenüber dem Werkstoff GX4CrNi13-4 (1.4317) noch verbesserte Kaltzähigkeit (siehe **Tabelle 24**). Das Gefüge ist dreiphasig (etwa 65 % Martensit, 10 % Delta-Ferrit und 25 % Restaustenit). Der Martensit-Umwandlungsbereich liegt aufgrund des relativ hohen Legierungsgehaltes knapp oberhalb Raumtemperatur, was im Zusammenhang mit Konstruktions- und Instandsetzungsschweißungen einschließlich thermischer Nachbehandlung zu berücksichtigen ist.

Es ist möglich, mit dem Werkstoff GX4CrNiMo16-5-1 (1.4405) durch Zulegieren von Niob und Kupfer durch Ausscheidungs- härten auch bei relativ hohen Anlasstemperaturen eine Mindestdehngrenze $R_{p0,2} \geq 830 \text{ N/mm}^2$ zu erreichen (17/4 PH). Dies führt zu Vorteilen speziell bei durch Spannungsrissskorrosion gefährdeten Teilen.

8.9.2 Ferritisch-carbidischer Chromstahlguß

Die *nickelfreien* Stahlgussorten

GX70Cr29	(1.4085)
GX120Cr29	(1.4086)
GX120CrMo29-2	(1.4138)

haben im Wesentlichen eine Chromferrit-Matrix mit eingelagerten Chromcarbiden. Diese Werkstoffe können nicht durch eine Wärmebehandlung umgewandelt werden, weshalb sie üblicherweise nur spannungsarmgeglüht werden. Die Festigkeitseigenschaften sind mit einem hochwertigen Gusseisen vergleichbar, der hohe Chromgehalt vermittelt eine gute Korrosionsbeständigkeit auch im nicht bearbeiteten Zustand.

Die *nickelhaltigen* Werkstoffe

GX40CrNi27-4	(1.4340)
GX40CrNiMo27-5	(1.4464)

haben ein ferritisch-austenitisch-carbidi-sches Gefüge mit wesentlich verbesserten Zähigkeitseigenschaften bei gutem Verschleißwiderstand. Diese Stahlgussorten haben vor allem im REA-Bereich eine Bedeutung erhalten. Sie werden

Tabelle 22: Mindestwerte für die 0,2%-Dehngrenze der nichtrostenden Stahlgussorten nach DIN 17 445 und SEW 410-88 bei erhöhten Temperaturen

Stahlgussorten		0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ min. in $[\text{N/mm}^2]$ bei einer Temperatur von						
Kurzname ¹⁾	Werkstoff-Nummer	100 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	350 °C	400 °C
Martensitische Sorten								
GX8CrNi13 ³⁾	1.4008	365	355	345	335	325	315	305
GX20Cr14 ³⁾	1.4027	365	355	345	335	325	315	305
GX22CrNi17 ³⁾	1.4059	-	-	-	-	-	-	-
GX5CrNi13-4 V1 ³⁾	1.4313	515	500	485	470	455	440	-
GX5CrNi13-4 V2 ³⁾	-	810	770	750	725	700	680	-
GX5CrNiMo16-5 ⁴⁾	1.4405	515	-	485	-	455	-	-
Ferritisch-austenitische Sorten								
GX8CrNiN26-7 ⁴⁾	1.4347	260	-	240	-	210	-	-
GX3CrNiMoN26-6-3 ⁴⁾	1.4468	360	-	300	-	265	250	-
GX3CrNiMoCuN26-6-3 ⁴⁾	1.4515	390	-	330	-	295 ⁵⁾	280	-
GX3CrNiMoCuN26-6-3-3 ⁴⁾	1.4517	390	-	330	-	295	280	-
GX2CrNiMoN25-7-4 ⁴⁾	1.4469	390	-	330	-	295	280	-
Austenitische Sorten								
GX6CrNi18-9 ³⁾	1.4308	145	125	115	105	100	-	-
GX5CrNiNb18-9 ³⁾	1.4552	150	135	130	125	120	115	110 ¹⁾
GX6CrNiMo18-10 ³⁾	1.4408	150	130	120	110	100	-	-
GX5CrNiMoNb18-10 ³⁾	1.4581	165	150	140	135	130	125	120 ²⁾
GX3CrNiMoN17-13-5 ³⁾	1.4439	165	150	140	130	120	115	110
GX2CrNi18-9 ⁴⁾	1.4306	135	-	105	-	87	80	-
GX2CrNiMoN18-10 ⁴⁾	1.4404	140	-	110	-	92	85	80
Vollaustenitische Sorten								
GX2NiCrMoCuN25-20 ⁴⁾	1.4536	150	-	120	-	110	105	100
GX2CrNiMnMoNb21-15-3 ⁴⁾	1.4569	220	-	170	-	140	130	120

¹⁾ 0,2%-Dehngrenze bei 550 °C: 90 N/mm²

²⁾ 0,2%-Dehngrenze bei 550 °C: 105 N/mm²

³⁾ Nach DIN 17 445

⁴⁾ Nach SEW 410-88

⁵⁾ Nicht geeignet für Betriebstemperaturen > 280 °C

im Wesentlichen im spannungsarmgeglühten Zustand geliefert und eignen sich auch für komplexe Gussstücke, wie Pumpengehäuse und Laufräder (**Bild 78 bis 82**). Weitere Verwendungshinweise enthält **Tabelle 24**

8.9.3 Ferritisch-austenitischer Stahlguss

Ferritisch-austenitischer Stahlguss, der sogenannte Duplex-Stahlguss, hat definitionsgemäß ein Gefüge, das zu je etwa



Bild 79: Gehäuse und Laufrad für die Pumpe einer Rauchgas-Entschwefelungsanlage aus dem Werkstoff GX40CrNiMo27-5

Tabelle 23: Mindestwerte der 0,2%-Dehngrenze der nichtrostenden Stahlgussorten bei erhöhten Temperaturen nach SEW 410

Stahlgussorten		Wärme-behand-lungs-zustand ¹⁾	Maßgebende Wanddicke t max. [mm]	0,2%-Dehngrenze $R_{m0,2}$ min. ²⁾ in $[\text{N/mm}^2]$ bei einer Temperatur von				
Kurzname	Werkstoff-Nummer			100 °C	200 °C	300 °C	350 °C	400 °C
GX1NiCrMoCuN25-20-5	1.4538	+ AT	200	150	120	110	105	100
GX2NiCrMoCrN25-20	1.4536	+ AT	200	150	120	110	105	100
GX3CrNiMoWCuN27-6-3-1	1.4471	+ AT	150	390	330	295 ³⁾	-	-

¹⁾ + QT - vergütet; + AT - lösungsgeglüht und abgeschreckt in Wasser

²⁾ Die Werte gelten für Proben aus angegossenen oder getrennt gegossenen Probenstücken.

³⁾ Nicht geeignet für Betriebstemperaturen > 280 °C

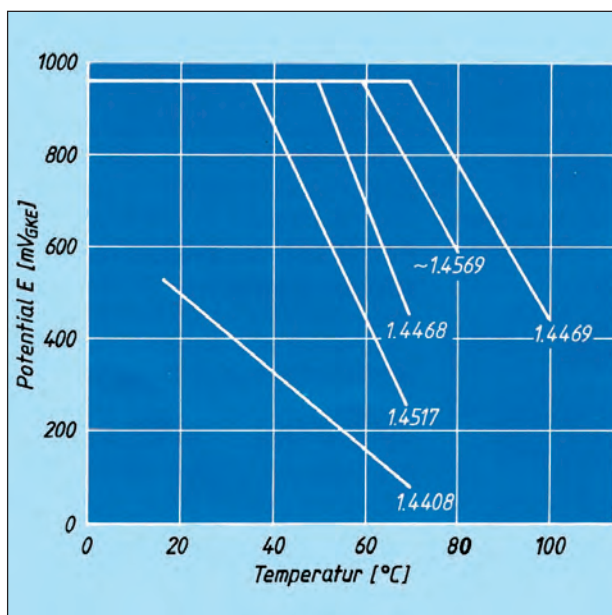


Bild 80: Durchbruchpotentiale von ferritisch-austenitischem, austenitischem und vollaustenitischem Stahlguss in synthetischem Meerwasser (DIN 50 900) in Abhängigkeit von der Temperatur nach DIN 50 900

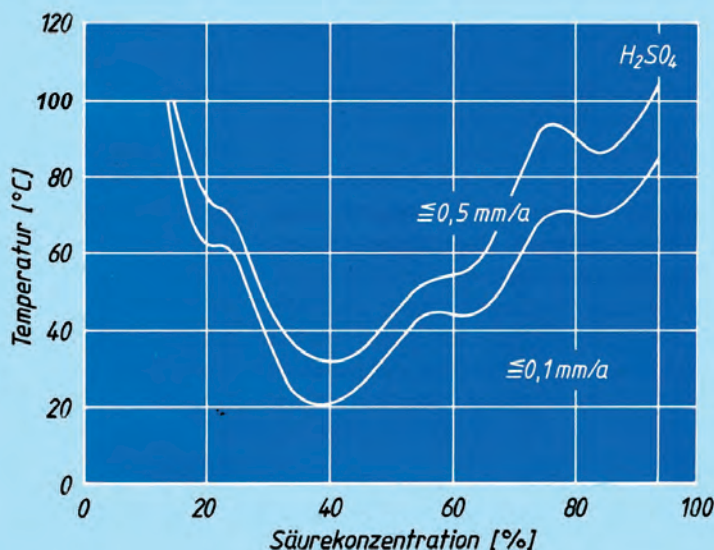


Bild 81: Isokorrosionskurve von GX3CrNiMoCuN26-6-3 gegenüber Schwefelsäure

50 % aus Austenit und Ferrit besteht. Gegossene Duplexstähle sind schon seit über 50 Jahren bekannt und haben vor allem im Meerwasser- und REA-Bereich eine verstärkte Anwendung gefunden. Durch legerungstechnische Maßnahmen können die gegossenen Duplex-Stähle auch mit einer Chromwirksamkeit ($PRE_{(N)} \geq 40$) geliefert werden.

Hinweise zur Verwendung der Duplex-Stahlgussarten gibt **Tabelle 24**.

Die besondere Stellung der Duplex-Stahlgussarten resultiert aus der Kombination günstiger Eigenschaften:

- Die 0,2%-Dehngrenze beträgt 420 bis 480 N/mm² statt 185 N/mm² bei austenitischem Stahlguss,
- die Wirksamkeit $Cr + 3 Mo + 16 N$ als Beurteilungsgröße für die Beständig-

keit gegen Lochfraßkorrosion in chloridhaltigen Medien liegt zwischen 28 (GX8CrNiN2-6-7, 1.4347) und 41 (GX2CrNiMoN2-6-7-4, 1.4469) anstelle von 26 bei austenitischem Stahlguss mit 2,5 % Mo (GX5CrNiMo19-11-2, 1.4408).

Gegenüber den Walz- und Schmiedestählen des Typs CrNi-22-5 sollten die gegossenen Duplexstähle etwas höher legiert sein, womit das durch den Verformungsprozess bewirkte Homogenisieren im Sinne eines Vermeidens örtlicher Schwachstellen ausgeglichen wird. Werkstücke aus Duplex-Stahlguss werden üblicherweise im lösungsgeglühten Zustand geliefert.

Steigende Molybdän- und Stickstoffgehalte erhöhen die Lochfraßbeständigkeit, wie aus dem Vergleich der Sorten GX3CrNiMoN26-6-3 (1.4468) mit GX2CrNiMoN26-7-4

(1.4469) im **Bild 80** zu entnehmen ist. Vor allem gilt dies bei erhöhten Temperaturen oder steigenden Chlorid-Konzentrationen. Kupfer verbessert die Beständigkeit gegen Medien, die mit Schwefelwasserstoff oder anderen Schwefelverbindungen belastet sind. Dies gilt speziell auch für schwefelsaure Medien. Als Beispiel ist im **Bild 81** die Beständigkeit von GX3CrNiMoN26-6-3 (1.4515) gegenüber Schwefelsäure bis zum Siedepunkt dargestellt.

Aufgrund des hohen Chromgehaltes treten bei Duplex-Stahlguss keine Probleme mit der Beständigkeit gegenüber interkristalliner Korrosion auf (zum Beispiel **ASTM A 262, Practice C und E**).

Nichtrostender Duplex-Stahlguss wurde von Herstellern, Abnahmegesellschaften, Komponentenherstellern, Anwendern und Überwachungsbehörden eingehenden



Bild 82: Gehäuse für Pumpen einer Rauchgas-Entschwefelungsanlage aus der Stahlgussorte GX3CrNiMoCuN26-6-3

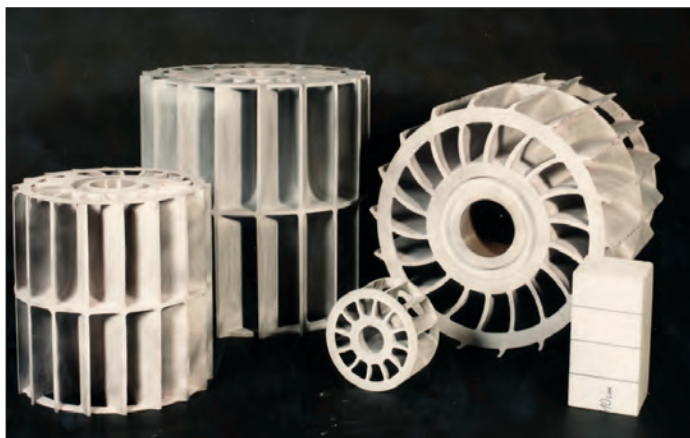


Bild 83: Laufblätter aus verschiedenen austenitischen Stahlgussorten für Flüssigkeitspumpen im Massebereich von 40 bis 830 kg

Tabelle 24: Beispiele für die Verwendung von nichtrostenden Stahlgussorten nach SEW 410

Stahlgussorte Kurzname	Werkstoff- nummer	Verwendungsbeispiele
GX20Cr14	1.4027	Pumpenkomponenten
GX22CrNi17	1.4059	Pumpenlaufräder
GX70Cr29 GX120Cr29	1.4085 1.4086	Gussstücke mit Festigkeitseigenschaften eines hochwertigen Gusseisens bei hoher Korrosionsbeständigkeit, besonders auch der nicht bearbeiteten noch mit der Gusshaut behafteten Stücke; Anwendung in der Nahrungsmittel- und chemischen Industrie sowie im Bergbau und Schiffbau
GX120CrMo29-2	1.4138	Korrosionsbeständige Gussstücke besonders für die chemische Industrie und den Kalibergbau usw. und bei Angriff von schwefliger Säure und Chloriden
GX40CrNi27-4	1.4340	Gegenüber 1.4085 und 1.4086 besonders für größere und form-schwierigere Gussstücke, bei denen die Zähigkeitseigenschaften dieser Werkstoffe nicht ausreichen, z. B. für große Pumpengehäuse und Laufräder, für die chemische Industrie und den Bergbau
GX40CrNiMo27-5	1.4464	Gegenüber 1.4340 verbesserte Korrosionsbeständigkeit; Gussstücke für kombinierte Verschleiß- und Korrosionsbeanspruchung; Pumpengehäuse für Rauchgas-Entschwefelungsanlagen und für die chemische Industrie
GX3CrNiMoCuN26-6-3	1.4515	Erhöhte Festigkeitseigenschaften; nicht geeignet für Betriebstemperaturen über 280 °C! Gussstücke mit erhöhter Beständigkeit gegen Lochfraß- und Spaltkorrosion in chloridhaltigen Medien, Gussstücke aus der Stahlgussorte 1.4515 auch in Gegenwart von H ₂ S (Brackwasser)
GX2CrNiMnMoNb21-15-4-3	1.4569	Vollaustenitische Gussstücke mit erhöhter Streckgrenze und guter Beständigkeit gegen Meerwasser
GX1NiCrMoCuN25-20-5	1.4538	Gussstücke mit guter Beständigkeit besonders bei Angriff von Schwefelsäure und Lösungen ihrer Salze
GX2NiCrMoCuN25-20	1.4536	Gussstücke mit guter Beständigkeit besonders bei Angriff von Schwefelsäure und Lösungen ihrer Salze
GX3CrNiMoCuN24-6-5	1.4573	Superduplex-Stahlguss mit verbesserter Beständigkeit gegen Loch- und Spaltkorrosion in heißen chloridhaltigen Medien, sehr gute Beständigkeit in reduzierenden organischen und anorganischen Säuren; in vielen Bereichen der chemischen Verfahrenstechnik, der Abwasserförderung, Umweltschutztechnik und Meeres- und Offshoretechnik; kann teilweise Ni-Basis-Gusslegierungen ersetzen.
GX3CrNiMoCuN24-6-2-3	1.4593	Mechanisch hochbelastete Bauteile für saure Medien, halogenidhaltige Lösungen, hydroabrasive und kavitative Belastung, gute Beständigkeit in reduzierenden organischen und anorganischen Säuren sowie gegen Loch- und Spaltkorrosion, Einsatzgrenze für Dauerbetrieb 280 °C
GX3CrNiMoWCuN27-6-3-1	1.4471	Gussstücke mit hoher Beständigkeit gegen Lochfraß- und Spaltkorrosion sowie gegen interkristalline Korrosion in chlorid- und fluoridhaltigen Medien, z. B. für Rauchgasentschwefelungsanlagen, Einspritzwasser mit H ₂ S

Korrosionsprüfungen unterzogen. Beispielformat erwähnt wird das NAM-Testprogramm mit Prüfungen der Lochfraßbeständigkeit und Spannungsrisskorrosionsbeständigkeit (unter anderem nach **NACE MR01**) in unterschiedlichen Medien und Belastungsstufen.

Im REA-Bereich werden vor allem die kupferhaltigen Duplex-Stahlgussorten GX3CrNiMoN26-6-3 (1.4515) und GX-2CrNiMoCuN25-6-3-3 (1.4517) mit Erfolg

eingesetzt. Die hoch korrosiven Medien enthalten Festkörperanteile mit unterschiedlichen Härtegraden, die zu einem Erosionsverschleiß führen. Daneben kann noch Kavitationsbeanspruchung auftreten. Die höhere Festigkeit dieser Werkstoffe führt zu einer deutlichen Überlegenheit gegenüber austenitischem Stahlguss, zum Beispiel GX5CrNiMo19-11-2 (1.4408). Interessant ist die Feststellung, dass auch unter REA-Bedingungen, im Vergleich zum ferritisch (austenitisch)-carbidgehaltigen

Stahlguss GX40CrNiMo27-5 (1.4464), ein günstigeres Korrosions-Verschleißverhalten für die Duplexsorten feststellbar ist, wie die Angaben im **Bild 84** zeigen.

Durch ein Ausscheidungshärten, besonders des höher kupferhaltigen Werkstoffes GX2CrNiMoCuN25-6-3-3 (1.4517), ist es möglich, die Härte auf 300 bis 330 HBW zu steigern. Diese Behandlung empfiehlt sich, wenn der Verschleiß des Bauteils gegenüber der Korrosion deutlich im Vordergrund steht.

Die Einsatztemperatur von Duplex-Stahlguss liegt zwischen -50 und +280 °C. Die obere Temperaturgrenze sollte nicht längere Zeit überschritten werden, da sonst die Gefahr der Werkstoffversprödung besteht.

Parallel zum Duplex-Stahlguss wurden artgleiche Schweißzusatzwerkstoffe entwickelt. Durch Einhalten optimierter Schweißbedingungen ist es möglich, homogene mechanische Eigenschaften in den Schweißverbindungen zu erhalten. Dabei ist es vorteilhaft, größere Fertigungsschweißungen einem Lösungsglühen zu unterziehen.

8.9.4 Austenitischer Stahlguss

Gemeinsames Merkmal dieser Werkstoffgruppe ist ein über das Chrom-Nickel-Verhältnis gezielt eingestellter Delta-Ferritgehalt, der üblicherweise 5 bis 20 % beträgt. Als Hilfsmittel für das Einstellen eines bestimmten Ferritgehaltes steht eine Reihe modifizierter Schaeffler-Diagramme zur Verfügung. In jüngster Zeit hat sich das speziell für Stahlguss entwickelte Schaeffer-Ferritdiagramm nach **ASTM A 800** als zuverlässige Methode herausgestellt.

Durch Einstellen eines geringen Delta-Ferritgehaltes wird die Erstarrungsreaktion geändert mit dem Ergebnis, dass die Korngrenzen der relativ groben Erstarrungsstruktur nicht mehr mit unerwünschten Seigerungsprodukten angereichert sind. Dadurch wird die Empfindlichkeit für Heiß- und Wiederaufschmelzrisse – beispielsweise beim Schweißen – entscheidend verringert beziehungsweise je nach Legierungstyp völlig beseitigt.

Mit Hilfe höherer Delta-Ferritgehalte kann die relativ niedrige Streckgrenze von austenitischem Stahlguss angehoben werden, im Grenzfall wird das Gefüge von Duplex-Stahlguss erzielt. Die Streckgrenze kann aber ebenso gut über ein Erhöhen des Stickstoffgehaltes verbessert werden.

Der Chromgehalt beträgt bei allen Legierungsvarianten des austenitischen Stahlgusses etwa 19 %. Um den Korrosionswiderstand besonders gegen Halogenide zu verbessern, wird 2 bis 3 % Molybdän

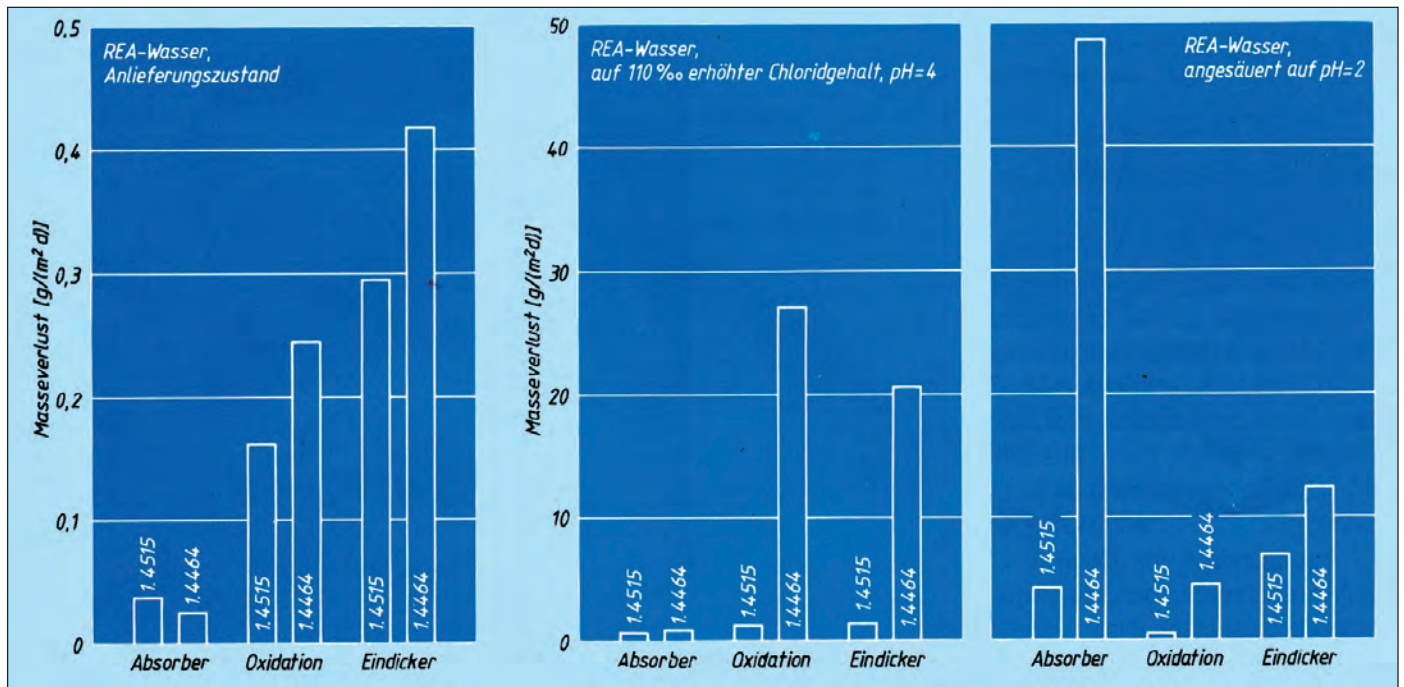


Bild 84: Masseverlust bei einem ferritisch-carbidischen (W.-Nr. 1.4464) und einem ferritisch-austenitischen Stahlguss (W.-Nr. 1.4515) nach Auslagerung in verschiedenen REA-Wässern an mit 2 700 1/min rotierenden Proben bei T = 70 °C ermittelt

zulegiert (GX5CrNiMo19-11-2, 1.4408). Der Nickelgehalt beträgt etwa 10 %. Er wird dem Molybdängehalt zur Kompensation des Delta-Ferrit-Gehaltes angepasst. Zur Verbesserung der Korrosionseigenschaften kann der Kohlenstoffgehalt auf maximal 0,03 % begrenzt werden. Zur Verbesserung der Beständigkeit gegen interkristalline Korrosion insbesondere im Bereich von Konstruktionsschweißungen können zwei Maßnahmen ergriffen werden:

- Absenken des Kohlenstoffgehalts unter 0,03 % (GX2CrNi19-11, 1.4309 und

GX2CrNiMo19-11-2, 1.4409). Dies ist mit sekundärmetallurgischen Prozessen wirtschaftlich zu erreichen. **Tabelle 24** enthält Verwendungshinweise.

- Stabilisieren des Kohlenstoffs über einen Niobzusatz im Bereich von 8 bis 10 % C zum Schutz vor Chromcarbidbildung oder Chromverarmung in der Wärmeeinflusszone einer Schweißung (GX5CrNiNb19-11, 1.4552 und GX5CrNiMoNb19-11-2, 1.4581). Titan als Stabilisierungselement sollte bei Stahlguss nicht eingesetzt werden.

Die Schweißbarkeit dieser leicht ferrithaltigen austenitischen Stahlguss-Werkstoffe ist problemlos. Artgleiche Schweißzusatzwerkstoffe stehen zur Verfügung. Ein Lösungsglühen nach dem Schweißen kann je nach Korrosionsbeanspruchung entfallen, wenn mit tiefgeköhlten oder niobstabilisierten Werkstoffen gearbeitet wird.

8.9.5 Vollaustenitischer Stahlguss

In sehr aggressiven Medien in Anwendungsbereichen ähnlich der Duplex-Stähle werden hochlegierte vollaustenitische

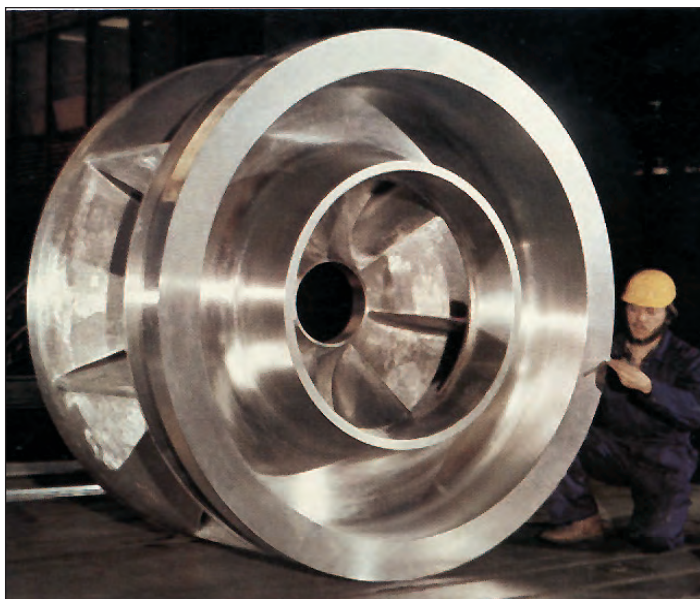


Bild 85: Sauggehäuse für eine Kernkraftwerkspumpe aus GX6CrNi18-9 der Abmessungen Dmr. 1880 x 860 mm; Masse 4050 kg

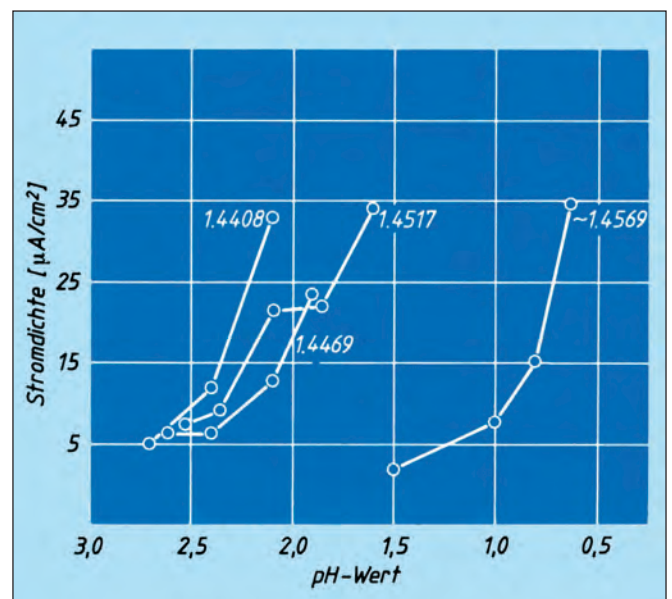


Bild 86: Charakteristische Aktivierungs-pH-Wert-Kurven von ferritisch-austenitischem und vollaustenitischem Stahlguss in künstlichem Meerwasser nach DIN 50 900



Bild 87: Mehrstufen-Pumpengehäuse aus GX2NiCrMoCuN25-20 der Abmessungen 1800 x 700 x 500 mm; Masse gesamt 3220 kg



Bild 88: Hohlgegossene Scheiben für REA-Absperrklappen der Größen DN 500 bis DN 1200 aus dem Werkstoff GNiMoCr16-15W

Stahlgussorten eingesetzt. Die höheren Molybdän- und/oder Nickelgehalte verbessern erheblich den Korrosionswiderstand, speziell gegen Lochfraß- und Spaltkorrosion.

Im **Bild 85** sind als Maß für die Beständigkeit gegen Spaltkorrosion die pH-Aktivierungskurven in künstlichem Meerwasser für den vollaustenitischen Werkstoff GX2CrNiMnMoNb2-11-5-4-3 (1.4569) verglichen mit zwei Duplex-Stahlgussorten und dem austenitisch (ferritisch)en GX5CrNiMo19-11-2 (1.4408) gezeigt.

Der erhöhte Stickstoffgehalt der voll-austenitischen Stahlgusswerkstoffe zum Beispiel nach **SEW 410** verbessert einerseits die Streckgrenze, andererseits wird die Schweißbarkeit günstig beeinflusst. **Tabelle 24** gibt Hinweise für den Einsatz dieser Werkstoffe.

Für Fertigungs- und Konstruktionsschweißungen stehen artgleiche Zusatzwerkstoffe zur Verfügung. Es wird Schweißen ohne Vorwärmen mit niedriger Streckenenergie empfohlen. Eine thermische Nachbehandlung ist bei diesen tiefgekohten Werkstoffen nicht erforderlich.

8.9.6 Sonderwerkstoffe

In Fällen, wo aus Korrosions- oder Verschleißgründen die hochlegierten Stahlgusswerkstoffe nicht ausreichend beständig sind, können mit den gleichen Fertigungsverfahren Gussstücke aus Nickel- oder Cobaltbasis-Legierungen hergestellt werden. Typische Vertreter sind in **Tabelle 25** aufgeführt.

Für spezielle Anwendungen kann auf die umfangreichen Erfahrungen der Gusshersteller zurückgegriffen werden.

8.10 Hitzebeständiger Stahlguss

Als hitzebeständig gilt Stahlguss dann, wenn er eine besonders hohe Beständigkeit gegenüber der verzundernden Wirkung von Gasen oberhalb von 600 °C hat. Diese Werkstoffe sind in **DIN EN 10295**, **SEW 471** und **SEW 595** (zurückgezogen) als Kompromiss erfasst. Die **Tabellen 28** und **26** geben ihre chemische Zusammensetzung und die mechanischen Eigenschaften bei Raumtemperatur an. **Tabelle 27** enthält Anhaltswerte für die Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen. Es sei darauf hingewiesen, dass die Angaben dieser Normen zum Langzeitverhalten der Werkstücke durch Weiterentwicklung im Sinne gezielter Analyseneinengungen und metallurgischer Sondermaßnahmen teilweise überholt sind. Es ist empfehlenswert, hier auf die Werkstoffblätter der Stahlgusshersteller zurückzugreifen.

Tabelle 25: Chemische Zusammensetzung korrosionsbeständiger Gusswerkstoffe auf Nickel- und Kobaltbasis und Hinweise für die Anwendung

Stahlgussorte			Chemische Zusammensetzung [Masse-%]								Anwendungsbeispiele
Kurzname	Werkstoffnummer	Wärmebehandlungszustand	C	Cr	Cu	Mo	Ni	W	Co	Fe	
GNiMo30	2.4810	abgeschreckt	0,05	-	-	30	Rest	-	-	-	chemische Industrie, Armaturen
GNiCr20Mo15	2.4811	abgeschreckt	0,05	20	-	15	Rest	-	-	-	Pumpen
GCoCrW65-33	-	Gusszustand	1,00	33	-	-	-	5	Rest	-	Ventile, Düsen
GNiCu30Fe	2.4361	Gusszustand	0,15	-	30	-	Rest	-	-	-	korrosionsbeständige Bauteile
GCoCr28	2.4778	Gusszustand	0,15	28	-	-	-	-	50	Rest	hitzebeständige Ofenteile

Tabelle 26: Chemische Zusammensetzung der Stahlgussorten (nach der Schmelzanalyse) für den Einsatz bei höheren Temperaturen nach SEW 595

Stahlgussorte		Chemische Zusammensetzung [Masse-%]								
Kurzname	Werkstoffnummer	C	Si	Mn	≤ P	≤ S	Cr	Mo	Ni	Sonstige
G12CrMo9-10	1.7380	0,08 bis 0,15	0,30 bis 0,50	0,40 bis 0,70	0,040	0,040	2,0 bis 2,5	0,90 bis 1,10	-	-
G12CrMo19-5	1.7363	0,08 bis 0,15	0,30 bis 0,50	0,40 bis 0,70	0,035	0,035	4,5 bis 5,5	0,45 bis 0,55	-	-
GX12CrMo10-1	1.7389	0,08 bis 0,15	0,30 bis 0,50	0,50 bis 0,80	0,035	0,035	9,0 bis 10,0	1,1 bis 1,4	-	-
GX8CrNi19-10	1.4815	≤ 0,08	0,50 bis 1,50	0,50 bis 1,50	0,045	0,030	18,0 bis 20,0	-	9,0 bis 11,0	-
GX8CrNiNb19-10	1.4827	≤ 0,08	0,50 bis 1,50	0,50 bis 1,50	0,045	0,030	18,0 bis 20,0	-	9,0 bis 11,0	(8 % C) Nb
GX15CrNi25-20	1.4840	0,10 bis 0,20	0,50 bis 1,50	0,50 bis 1,50	0,045	0,030	24,0 bis 26,0	-	19,0 bis 21,0	-
GX40CrNiSi25-20 ¹⁾	1.4848	0,30 bis 0,50	1,00 bis 2,50	0,50 bis 1,50	0,045	0,030	24,0 bis 26,0	-	19,0 bis 21,0	-
GX50CrNi30-30	1.4868	0,40 bis 0,60	1,00 bis 2,50	0,50 bis 1,50	0,045	0,030	29,0 bis 31,0	-	29,0 bis 31,0	-
GX10NiCrNb32-20	1.4859	0,05 bis 0,15	0,50 bis 1,50	0,50 bis 1,50	0,045	0,030	19,0 bis 21,0	-	31,0 bis 33,0	0,5 bis 1,5 Nb
GX40NiCrSi35-25 ¹⁾	1.4857	0,30 bis 0,50	1,00 bis 2,50	0,50 bis 1,50	0,045	0,030	24,0 bis 26,0	-	34,0 bis 36,0	-
GX30CrNiSiNb24-24 ²⁾	1.4855	0,25 bis 0,40	0,50 bis 2,00	0,50 bis 1,50	0,045	0,030	23,0 bis 25,0	-	23,0 bis 25,0	1,0 bis 2,0 Nb
GX40NiCrNb35-25	1.4852 ³⁾	0,35 bis 0,45	1,00 bis 2,00	0,50 bis 1,50	0,045	0,030	24,0 bis 26,0	-	33,0 bis 35,0	1,2 bis 1,8 Nb
GNiCr50Nb	2.4813 ³⁾	≤ 0,10	≤ 0,60	≤ 0,50	0,045	0,030	48,0 bis 52,0	-	≥ 46,0	1,2 bis 1,8 Nb
GNiCr28W ²⁾	2.4879	0,35 bis 0,55	0,5 bis 2,0	0,50 bis 1,50	0,045	0,030	27,0 bis 30,0	-	47,0 bis 50,0 ⁴⁾	4,0 bis 5,5 W

¹⁾ Siehe auch DIN 17465 – Hitzebeständiger Stahlguss
²⁾ Siehe auch Stahl-Eisen-Werkstoffblatt 471 – Hitzebeständiger Stahlguss
³⁾ In der 5. Auflage der Stahl-Eisen-Liste (1975) wird unter dieser Werkstoffnummer ein anderer Stahl genannt, der jedoch nach Erscheinen der Stahl-Eisen-Liste gestrichen wurde. Infolge dessen konnte die freigewordene Werkstoffnummer für den hier genannten Stahl verwendet werden.
⁴⁾ Ein gegebenenfalls vorhandener Kobaltgehalt wird dem Nickelgehalt zugerechnet.
⁵⁾ Ist die Streckgrenze nicht oder nicht deutlich genug ausgeprägt, so ist die 0,2-Dehngrenze maßgebend.

Die hitzebeständigen Werkstoffe können in die drei Gruppen ferritische und austenitische Stahlgussorten sowie Nickel- und Cobaltbasis-Legierungen unterteilt werden. Dabei ist als besonderes Merkmal für alle drei Gruppen herauszustellen, dass die meisten dieser Werkstoffe im Gefüge deutliche Carbidausscheidungen aufweisen, die ein wesentliches Kriterium für deren gute Zeitstandfestigkeit sind. Allerdings haben die zunderbeständigen ferritisch-carbidischen Stahlgussorten im Vergleich zu den nickellegierten austenitisch-carbidischen Werkstoffen deutlich geringere Zeitstandwerte bei gleicher höchster Anwendungstemperatur.

Die für den allgemeinen Einsatzzweck in erster Linie geforderte Oxidationsbeständigkeit wird durch die Legierungselemente Silicium und Chrom sowie – um die Haftfähigkeit des Oxidfilms zu steigern – durch Nickel erzielt.

Chlor und Schwefel als zusätzliche Bestandteile im Angriffsmedium können ebenso wie Flugasche-Bestandteile die höchstmögliche Anwendungstemperatur deutlich herabsetzen.

In Erdöl- und Erdgasanlagen wird in erster Linie die Beständigkeit der eingesetzten

Werkstoffe gegen Aufkohlen gefordert. Auch hier sind Chrom und Silicium sowie das die Kohlenstoffdiffusion hemmende Nickel als Legierungselemente von besonderer Bedeutung. Zusätzlich kann die Aufkohlungsbeständigkeit noch durch starke Carbiddbildner, wie Niob und Wolfram, gesteigert werden.

Bei stickstoff- oder Ammoniak haltigen Ofengasen hat ebenfalls Nickel als Legierungsbestandteil wesentlichen Einfluss. Speziell in stickstoffreicher Atmosphäre werden daher häufig Nickel-Chrom-Guss-



Bild 89: Ringhälfte für eine Gasturbine aus hitzebeständiger Nickel-Basislegierung mit 2000 mm Dmr.; Masse 192 kg



Bild 90: Rohrtragplatte aus GX40NiCrSi35-25 für eine Spaltrohranlage der Petrochemie

Tabelle 27: Anhaltswerte für die chemische Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften der hitzebeständigen Stahlgussorten sowie der Nickel- und Kobalt-Basislegierungen nach DIN EN 10 295

Stahlgussorte		Chemische Zusammensetzung [Masse-%]										Zugversuch			Härte	
Kurzname	Werkstoffnummer	C	Si	Mn	P max.	S max.	Cr	Mo	Ni	Nb	Co	Sonstige	0,2-%-Dehngrenze bei 20 °C R _{0,2} ¹⁾ min. [N/mm ²]	Zugfestigkeitt R _m ¹⁾ min. [N/mm ²]	Bruchdehnen (L ₀ =5d ₀) A ₅ min. [%]	Brinellhärtemax.
Fertigsorte und austenitische Sorten																
GX30C/Si7 ¹⁾	1.4710	0,20 bis 0,35	1,00 bis 2,50	0,50 bis 1,00	0,035	0,030	6,00 bis 8,00	max 0,50	max 0,50	-	-	-	-	-	-	300
GX40C/Si13	1.4729	0,30 bis 0,50	1,00 bis 2,50	max 1,00	0,040	0,030	12,00 bis 14,00	max 0,50	max 1,00	-	-	-	-	-	-	300
GX40C/Si17	1.4740	0,30 bis 0,50	1,00 bis 2,50	max 1,00	0,040	0,030	16,00 bis 19,00	max 0,50	max 1,00	-	-	-	-	-	-	300
GX40C/Si24	1.4745	0,30 bis0,50	1,00 bis 2,50	max 1,00	0,040	0,030	23,00 bis 26,00	max 0,50	max 1,00	-	-	-	-	-	-	300
GX40C/Si28	1.4776	0,30 bis 0,50	1,00 bis 2,50	max 1,00	0,040	0,030	27,00 bis 30,00	max 0,50	max 1,00	-	-	-	-	-	-	300
GX130C/Si29	1.4777	1,20 bis 1,40	1,00 bis 2,50	0,50 bis 1,00	0,035	0,030	27,00 bis 30,00	max 0,50	max 1,00	-	-	-	-	-	-	300
GX160C/Si18	1.4743	1,40 bis 1,80	1,00 bis 2,50	max 1,00	0,040	0,030	17,00 bis 19,00	max 0,50	max 1,00	-	-	-	-	-	-	300
GX40C/NiSi27-4	1.4823	0,30 bis 0,50	1,00 bis 2,50	max 1,50	0,040	0,030	25,00 bis 28,00	max 0,50	max 1,00	-	-	-	-	-	-	300
Austenitische Sorten																
GX25C/NiSi18-9	1.4825	0,15 bis 0,35	0,50 bis 2,50	max 2,00	0,040	0,030	17,00 bis 19,00	max 0,50	max 0,50	-	-	-	-	-	-	15
GX40C/NiSi22-10	1.4826	0,30 bis 0,50	1,00 bis 2,50	max 2,00	0,040	0,030	21,00 bis 23,00	max 0,50	max 0,50	-	-	-	-	-	-	8
GX25C/NiSi20-14	1.4832	0,15 bis 0,35	0,50 bis 2,50	max 2,00	0,040	0,030	19,00 bis 21,00	max 0,50	max 0,50	-	-	-	-	-	-	0
GX40C/NiSi25-12	1.4837	0,30 bis 0,50	1,00 bis 2,50	max 2,00	0,040	0,030	24,00 bis 27,00	max 0,50	max 0,50	-	-	-	-	-	-	6
GX40C/NiSi25-20	1.4848	0,30 bis 0,50	1,00 bis 2,50	max 2,00	0,040	0,030	24,00 bis 27,00	max 0,50	max 0,50	-	-	-	-	-	-	8
GX40C/NiSi24-24	1.4855	0,30 bis 0,50	1,00 bis 2,50	max 2,00	0,040	0,030	23,00 bis 25,00	max 0,50	max 0,50	-	-	-	-	-	-	4
GX35NiC/Si25-21	1.4805	0,20 bis 0,50	1,00 bis 2,00	max 2,00	0,040	0,030	19,00 bis 23,00	max 0,50	max 0,50	-	-	-	-	-	-	8
GX40NiC/Si35-17	1.4806	0,30 bis 0,50	1,00 bis 2,50	max 2,00	0,040	0,030	16,00 bis 18,00	max 0,50	max 0,50	-	-	-	-	-	-	6
GX40NiC/Si35-18	1.4807	0,30 bis 0,50	1,00 bis 2,50	max 2,00	0,040	0,030	17,00 bis 20,00	max 0,50	max 0,50	-	-	-	-	-	-	4
GX40NiC/Si38-19	1.4865	0,30 bis 0,50	1,00 bis 2,50	max 2,00	0,040	0,030	18,00 bis 21,00	max 0,50	max 0,50	-	-	-	-	-	-	6
GX40NiC/Si38-19	1.4849	0,30 bis 0,50	1,00 bis 2,50	max 2,00	0,040	0,030	18,00 bis 21,00	max 0,50	max 0,50	-	-	-	-	-	-	4
GX10NiC/Si32-20	1.4859	0,05 bis 0,15	0,50 bis 1,50	max 2,00	0,040	0,030	19,00 bis 21,00	max 0,50	max 0,50	-	-	-	-	-	-	20
GX40NiC/Si35-26	1.4857	0,30 bis 0,50	1,00 bis 2,50	max 2,00	0,040	0,030	24,00 bis 27,00	max 0,50	max 0,50	-	-	-	-	-	-	6
GX40NiC/SiNb35-26	1.4852	0,30 bis 0,50	1,00 bis 2,50	max 2,00	0,040	0,030	24,00 bis 27,00	max 0,50	max 0,50	-	-	-	-	-	-	4
GX50NiC/Co20-20-0	1.4874	0,35 bis 0,65	max 1,00	max 2,00	0,040	0,030	19,00 bis 22,00	max 0,50	max 0,50	-	-	-	-	-	-	6
GX30NiC/CoW35-25-15-5	1.4866	0,45 bis 0,55	1,00 bis 2,00	max 1,00	0,040	0,030	24,00 bis 26,00	-	33,00 bis 37,00	-	-	-	-	-	-	5
GX40NiC/Nb45-35 ²⁾	1.4889	0,35 bis 0,45	1,50 bis 2,00	1,00 bis 1,50	0,040	0,30	32,50 bis 37,50	-	42,00 bis 46,00	-	-	-	-	-	-	3
Nickel- und Cobalt-Basislegierungen																
G-NiC/28W	2.4879	0,35 bis 0,55	1,00 bis 2,00	max 1,50	0,040	0,030	27,00 bis 30,00	max 0,50	47,00 bis 50,00	-	-	-	-	-	-	3
G-CoC/28	2.4778	0,05 bis 0,25	0,50 bis 1,50	max 1,50	0,040	0,030	27,00 bis 30,00	max 0,50	max 4,00	max 0,50	48,00 bis 52,00	-	-	-	-	6
G-NiC/50Nb	2.4680	max 0,10	max 1,00	max 0,50	0,020	0,020	48,00 bis 52,00	max 0,50	Rest	1,00 bis 1,80	-	-	-	-	-	8
G-NiC/r15	2.4815	0,35 bis 0,65	1,00 bis 2,50	max 2,00	0,040	0,030	12,00 bis 18,00	max 1,00	58,00 bis 66,00	-	-	-	-	-	-	3

¹⁾ Diese Sorte kann auch für Verschleißbeständige Gussstücke verwendet werden, sie darf dann ohne Wärmebehandlung geliefert werden.
²⁾ Diese Sorte ist eine neue Legierung. Zum Beispiel kann es für Betriebstemperaturen unter 1 000 °C ratsam sein, die Grenzen für den Massenanteil Cr auf 29,00 bis 32,00 % und für den Massenanteil Si auf 1,00 bis 1,50 % einzuschränken, da ungünstige Bedingungen zu Versprödung führen können.
³⁾ Die Gussstücke können auch im gegülten Zustand geliefert werden, in diesem Falle kann ein Höchstwert für die Härte vereinbart werden.

Tabelle 28: Anhaltswerte für die Zeitdehngrenze und Zeitstandfestigkeit der hitzebeständigen Stahlgussorten sowie der Nickel- und Kobalt-Basislegierungen nach DIN 17465

Stahlgussorte		Mittlere Spannung in MPa für Zeitstandfestigkeit σ_r bei 100 und 1000 Stunden und Zeitdehngrenze bei 10 000 Stunden $\sigma_{1\%}$ in [%] ^{1), 2)}												Höchste Temperatur in Luft [°C]	
Kurzname	Werkstoff-Nummer	bei einer Temperatur von													
		600 °C		700 °C		800 °C		900 °C		1000 °C		1100 °C			
		σ_r	$\sigma_{1\%}$	σ_r	$\sigma_{1\%}$	σ_r	$\sigma_{1\%}$	σ_r	$\sigma_{1\%}$	σ_r	$\sigma_{1\%}$	σ_r	$\sigma_{1\%}$	σ_r	$\sigma_{1\%}$
		100	1 000	100	10 000	100	1 000	100	10 000	100	1 000	100	1 000	100	10 000
Ferritische und austenitisch-ferritische Sorten															
GX30CrSi7	1.4710	-	-	-	19	-	-	-	2,5	-	-	-	-	-	-
GX40CrSi13	1.4729	120	75	22	22	10	7	-	3,5	-	-	-	-	-	-
GX40CrSi17	1.4740	-	-	-	22	-	-	-	3,5	-	-	-	-	-	-
GX40CrSi24	1.4745	-	-	-	22	-	-	-	3,5	-	-	-	-	-	-
GX40CrSi28	1.4776	-	40	26	25	-	-	8	6,5	-	-	-	-	-	-
GX130CrSi29	1.4777	-	-	26	-	12	11	7	5	-	-	-	-	-	-
GX160CrSi18	1.4743	-	-	-	25	-	-	4	4	-	-	-	-	-	-
GX40CrNiSi27-4	1.4823	100	80	28	45	25	-	15	8	15	5	-	-	-	-
Austenitische Sorten															
GX25CrNiSi18-9	1.4825	-	220	78	120	60	50	40	22	40	30	-	-	-	-
GX40CrNiSi22-10	1.4826	-	-	82	-	-	-	-	23	-	-	-	-	-	-
GX25CrNiSi20-14	1.4832	-	-	82	-	-	-	-	23	-	-	-	-	-	-
GX40CrNiSi25-12	1.4837	-	-	-	100	70	40	45	26	47	25	15	6	-	-
GX40CrNiSi25-20	1.4848	-	-	-	100	75	50	60	36	60	45	16	7	12	-
GX40CrNiSi24-24	1.4855	-	-	-	170	97	70	60	46	60	45	23	7,5	10	-
GX35NiCrSi25-21	1.4805	-	-	-	-	80	70	-	45	-	45	22	7,5	10	-
GX40NiCrSi35-17	1.4806	-	-	-	-	55	50	48	30	48	30	17	6	6	3
GX40NiCrSiNb35-18	1.4807	-	-	-	180	140	70	60	-	60	35	-	18	10	-
GX40NiCrSi38-19	1.4865	-	-	-	-	55	50	48	32	48	30	18	7	6	3
GX40NiCrSiNb38-19	1.4849	-	-	-	-	60	50	49	38	49	36	20	8	-	-
GX10NiCrSiNb32-20	1.4859	-	-	-	135	84	60	49	36	49	36	15,5	5	-	-
GX40NiCrSi35-26	1.4857	-	-	-	-	70	70	41	40	49	38	20	8	-	-
GX40NiCrSiNb35-26	1.4852	-	-	-	155	120	70	49	41	49	38	20	9	15	8,3
GX50NiCrCo20-20-20	1.4874	-	-	-	-	135	100	80	-	80	60	32	17	-	-
GX50NiCrCoW35-25-15-5	1.4869	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	-	-
GX40NiCrNb45-35	1.4889	-	-	-	-	-	-	50	-	50	35	20	8	13	9
Nickel- und Cobaltbasislegierungen															
G-NiCr28W	2.4879	-	-	-	-	-	80	-	41	-	45	22	10	-	-
G-CoCr28	2.4778	-	-	-	-	-	-	48	34	25	25	16	9,5	-	-
G-NiCr50Nb	1.4680	-	-	-	170	105	70	60	38	60	38	18	6,8	6	-
G-NiCr15	2.4815	-	-	-	-	-	-	60	-	60	24	-	-	-	-

¹⁾ σ_r – Bruch nach 100 Stunden und 1 000 Stunden (Zeitstandfestigkeit)

²⁾ $\sigma_{1\%}$ – Dehnung nach 10 000 Stunden (Zeitdehngrenze)

³⁾ Für zyklische Erwärmungen ist die höchste Temperatur in Luft 1 100 °C

⁴⁾ Diese Sorte wird in Fällen von Oslascheneinwirkung bis z einer höchsten Temperatur von 950 °C angewendet

Tabelle 29: Anhaltswerte für die Zeitstandfestigkeit der Stahlgussorten bei erhöhten Temperaturen nach SEW 595

Stahlgussorte		Zeitstandfestigkeit σ_r [N/mm ²]																		Höchste Anwen- dungs- tempe- ratur in Luft [°C]
Kurzname	Werkstoff- nummer	Für 10 000 h bei einer Temperatur in °C von									für 100 000 h bei einer Temperatur in °C von									
		450	500	550	600	650	700	800	900	1000	450	500	550	600	650	700	800	900	1000	
G12CrMo9-10	1.7380	310	200	100	55	-	-	-	-	-	260	135	60	28	-	-	-	-	-	580
G12CrMo19-5	1.7363	-	145	80	45	-	-	-	-	-	-	98	44	15	-	-	-	-	-	580
GX12CrMo10-1	1.7389	-	175	120	60	-	-	-	-	-	-	135	74	34	-	-	-	-	-	600
GX8CrNi19-10	1.4815	-	180	120	85	55	35	-	-	-	-	120	80	50	30	18	-	-	-	800
GX8CrNiNb19-10	1.4827	-	250	190	150	95	50	-	-	-	-	200	150	100	60	35	-	-	-	800
GX15CrNi25-20	1.4840	-	-	-	-	-	45	21	10	5	-	-	-	-	-	30	14	5,5	1,8	1100
GX40CrNiSi25-20	1.4848	-	-	-	-	-	75	42	20	9	-	-	-	-	-	50	25	11	4,0	1100
GX50CrNi30-30	1.4868	-	-	-	-	-	70	41	22	10	-	-	-	-	-	55	29	13	4,3	1100
GX10NiCrNb32-20	1.4859	-	-	-	-	-	65	36	20	-	-	-	-	-	-	47	25	11	-	1050
GX40NiCrSi35-25	1.4857	-	-	-	-	-	70	41	22	10	-	-	-	-	-	55	29	13	4,3	1150
GX30CrNiSiNb24-24	1.4855	-	-	-	-	-	84	50	28	9	-	-	-	-	-	63	36	15	4,0	1050
GX40NiCrNb35-25	1.4852	-	-	-	-	-	84	50	28	12	-	-	-	-	-	63	36	16	5,0	1100
GNiCr50Nb	2.4813	-	-	-	-	-	80	42	19	8	-	-	-	-	-	50	25	10	3,5	1050
GNiCr28W	2.4879	-	-	-	-	-	84	50	29	14	-	-	-	-	-	65	38	17	6,0	1150

1) Bei den angegebenen Werten handelt es sich um Mittelwerte

legierungen mit niedrigem Eisenanteil ein-
gesetzt.

Bezüglich der Schweißbarkeit ist zu beach-
ten, dass die ferritisch-carbidischen Stahl-
gussorten nur bedingt und nach hohem

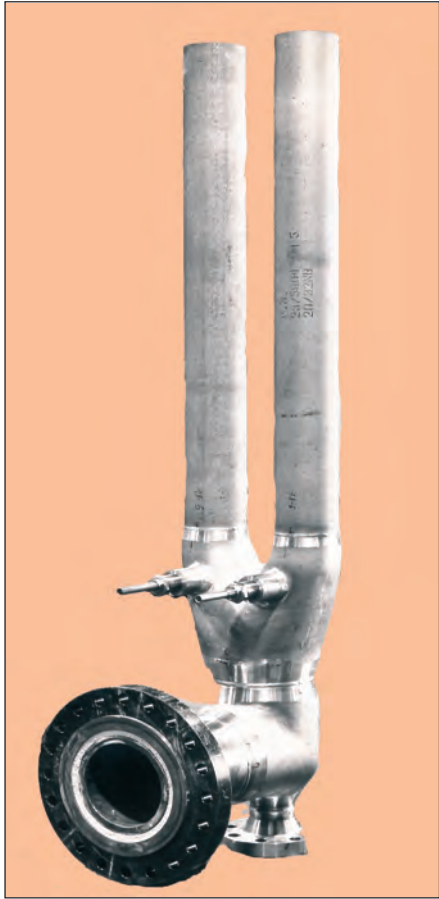


Bild 91: Austrittsrohr für einen Ethylen-
ofen in Gussverbundkonstruktion bestehend
aus Form- und Schleudergussteilen aus
verschiedenen hitzebeständigen austeniti-
schen Stahlgussorten; Höhe 2,6 m

Tabelle 30: 0,2-%-Dehngrenze einiger Stahlgussorten bei erhöhten Temperaturen
nach SEW 595

Stahlgussorte		0,2-%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ min. bei einer Temperatur von [N/mm ²]						
Kurzname	Werkstoff- nummer	200 °C	300 °C	350 °C	400 °C	450 °C	500 °C	550 °C
G12CrMo9-10	1.7380	320	295	280	265	245	225	-
G12CrMo19-5	1.7363	375	355	345	320	295	265	-
GX12CrMo10-1	1.7389	375	355	345	320	295	265	-
GX8CrNi19-10	1.4815	115	100	90	80	70	50	-
GX8CrNiNb19-10	1.4827	125	120	115	110	105	100	90

Vorwärmen schweißbar sind, so dass von
Konstruktionsschweißungen abzuraten ist.
In jedem Fall ist nach dem Schweißen eine
Wärmebehandlung durchzuführen.

Die austenitisch-carbidischen Stahlguss-
sorten wie auch die Nickel- und Cobalt-
Basis-Gusslegierungen sind unter Beach-
tung der werkstoffspezifischen Parameter
gut schweißbar, wobei als Verfahren über-
wiegend das WIG- und Plasma-Schweiß-
verfahren neben dem Schweißen mit um-
hüllten Stabelektroden zum Einsatz kom-
men. Ein Vorwärmen oder Nachbehandeln
der Schweißung ist normalerweise nicht
notwendig.

Bei der Konstruktion von hitzebeständigen
Bauteilen muss beachtet werden, dass die
Wärmedehnung möglichst ungehindert er-
folgen kann, damit keine zusätzlichen
Spannungen auftreten. Die Temperaturbe-
anspruchung erfolgt oft einseitig, so dass
in einem Bauteil beträchtliche Temperatur-
unterschiede vorliegen können. Die ge-
samte Konstruktion sollte deshalb nicht zu
steif ausgelegt sein. Eine versetzte Anord-
nung von Rippen oder die Unterteilung in
mehrere Einzelteile verhindern Spannun-
gen durch Wärmedehnung.

Die hitzebeständigen Stahlgussorten wer-
den für thermisch und mechanisch hoch-
beanspruchte Bauteile verwendet, die bei
Temperaturen von etwa 600 bis 1150 °C
dauernd oder wechselnd gasförmigen

korrosiven Medien ausgesetzt sind. Im
Industrieofenbau haben diese Werkstoffe
den wirtschaftlichen Bau kontinuierlich
arbeitender Öfen erst ermöglicht und
werden dort für die vielfältigen Trans-
porteinrichtungen verwendet. Weitere Ein-
satzgebiete sind zum Beispiel die Erz-
aufbereitungsanlagen (Röstöfen), die
Ofenanlagen der Zement- und Erdölindus-
trie sowie die petrochemischen Betriebe.
In Dieselmotoren bestehen Ventilkörbe und
Glühshalen sowie in neuerer Zeit die Aus-
lasskrümmer aus hitzebeständigem Stahl-
guss.

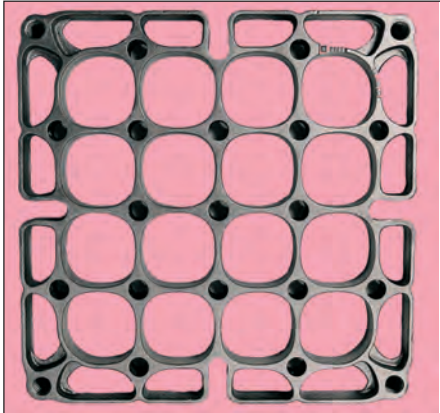


Bild 92: Rost für einen Durchstoß-Glühofen,
der je nach Beanspruchung aus einer hier-
für geeigneten hitzebeständigen Stahlguss-
sorte gegossen wird; Abmessungen 580
x 580 mm

8.11 Nichtmagnetisierbarer Stahlguss

Für die nichtmagnetisierbaren Stahlguss-sorten ist die relative Permeabilität eine wichtige Kenngröße für deren Nichtmag-netisierbarkeit. Sie liegt unter 1,02. Hierfür ist ein voll-austenitisches Gefüge erforder-lich. Nichtmagnetisierbare Stahlguss-sorten finden für Bauteile Anwendung, die keine Störung oder Abschirmung eines magnetischen Feldes hervorrufen dürfen, zum Beispiel im Elektromaschinenbau und im Schiffbau.

In der **Tabelle 31** sind die Eigenschaften und in der **Tabelle 32** die chemische Zusammensetzung der in **SEW 395** aufgeföhrten Stahlguss-sorten enthalten. Der in erster Linie verschleißbeständige Werkstoff GX120Mn13 (1.3802) ("Mangan-Hartstahl") wird nur für Teile eingesetzt, die nicht bearbeitet werden müssen. Sein Hauptanwendungsgebiet liegt im Bereich des Verschleißschutzes. GX25MnCrNi8-8-6 (1.3966) hat aufgrund des hohen Kohlenstoffgehaltes ebenfalls eine erschwerte Bearbeitbarkeit, ist aber vom Legierungs-einsatz her kostengünstig.

Die CrNiMo-legierten nichtmagnetisier-baren Stahlguss-sorten haben auch eine vorzügliche Korrosionsbeständigkeit in Meerwasser. Dies gilt bei den tiefgeköhlten Varianten ($C \leq 0,03 \%$) auch für den geschweißten Zustand. Die Schweiß-barkeit dieser Werkstoffe ist bei korrekt eingestellter chemischer Zusammenset-zung gut, wozu auch der erhöhte Stick-stoffgehalt beiträgt. Über die geeigneten Art gleichen Schweißzusätze informiert **SEW 395**.

Bei der Herstellung von Werkstücken aus nichtmagnetisierbarem Stahlguss ist zu beachten, dass die Permeabilität des ein-baufertigen Bauteils gegenüber den an einer Probe gemessenen Werten ab-weichen kann. Kaltverformen der Werk-stückrandschicht durch das Bearbeiten oder ein Ändern der chemischen Zusam-mensetzung in der Randschicht – zum Bei-spiel aufgrund einer Wärmebehandlung – sind hierfür die Ursachen. In solchen Fällen ist es häufig erforderlich, die mit höherer Permeabilität versehene Randschicht durch Beizen oder Schleifen abzutragen.

8.12 Verschleißbeständiger Stahlguss

Unter Verschleiß wird der unerwünschte Abtrag eines Werkstoffes an der Ober-fläche verstanden, der durch vorwiegend mechanische Wechselwirkung mit anderen Körpern oder Stoffen entsteht. Je nach Verschleißart und mechanischer Belastung kommen die unterschiedlichsten Stähle zum Einsatz.

8.12.1 Manganhartstahl

Der klassische Manganhartstahl mit Koh-lenstoffgehalten von 1,0 bis 1,4 % und ei-nem Mangangehalt von 12 % wurde erst-malig 1888 beschrieben und hat bis zur Gegenwart seine Bedeutung behalten. Voraussetzung für die Erzielung optimaler Verschleiß-eigenschaften ist eine Kaltver-festigung durch Druck oder Schlag. Aus-gehend von einer Ausgangshärte von 250 bis 350 HBW können auf der Verschleiß-fläche durch Kaltverfestigung Härten bis zu 550 HBW erreicht werden.

Tabelle 31: Mechanische Eigenschaften und relative magnetische Permeabilität bei Raumtemperatur der nichtmagnetisierbaren Stahlguss-sorten nach SEW 395

Stahlguss-sorte		0,2-%-Dehn-grenze $R_{p0,2}$ min. [N/mm²]	Zugfestig-keit R_m [N/mm²]	Bruch-dehnung A_5 min. [%]	Relative magnetische Permeabilität ¹⁾ μ_r max.	Kerbschlag-arbeit ²⁾ (ISO-V) A_v min. [J]	Lösungsglüh-temperatur (Anhaltswert) [C]
Kurzname	Werkstoff-nummer						
GX120Mn13	1.3802	295	≤ 590	25	1,01	-	1000 bis 1100
GX25MnCrNi8-8-6	1.3966	215	≤ 490	30	1,02	65	1050 bis 1150
GX12CrNi18-11	1.3955	195	440 bis 590	20	1,01	80	1050 bis 1150
GX2CrNi18-13	1.3940	210	440 bis 640	30	1,01	115	1050 bis 1150
GX2CrNiMoN18-14	1.3952	240	490 bis 690	30	1,01	80	1050 bis 1150
GX2CrNiMnMoNNb21-16-5-3	1.3964	315	570 bis 800	20	1,01	65	1080 bis 1180

1) Die Werte gelten für Gussstücke mit Wanddicken bis 50 mm
2) Mittelwert aus drei Kerbschlagbiegeversuchen



Bild 93: Nichtmagnetisierbare Spillköpfe für den Schiffbau aus GX5CrNi18-11 in verschiedenen Abmessungen bis zum Dmr. 620 mm



Bild 94: Nichtmagnetisierbare Propellerflügel für einen Schiffs-antrieb aus GX2CrNiMnMoNNb21 - 16-5-3 der Abmessungen 800 x 900 mm; Masse proTeil 150 kg

Tabelle 32: Chemische Zusammensetzung (nach der Schmelzanalyse) der nichtmagnetisierbaren Stahlgussorten nach SEW 395-87

Stahlgussorte		Chemische Zusammensetzung [Masse-%]									
Kurzname	Werkstoffnummer	C	Si max.	Mn	P max.	S max.	Cr	Mo	Ni	N	Sonstige
GX25MnCrNi8-8-6	1.3966	0,22 bis 0,28	≤ 0,70	7,50 bis 9,50	≤ 0,045	≤ 0,030	7,00 bis 8,50	-	5,00 bis 6,50	-	-
GX12CrNi18-11	1.3955	≤ 0,15	≤ 1,00	≤ 2,00	≤ 0,045	≤ 0,030	16,55 bis 18,50	≤ 0,75	10,00 bis 12,00	-	-
GX2CrNi18-13	1.3940	≤ 0,030	≤ 1,00	≤ 2,00	≤ 0,035	≤ 0,020	16,50 bis 18,50	-	12,00 bis 14,00	0,100 bis 0,200	-
GX2CrNiMo18-14	1.3960	≤ 0,030	≤ 1,00	≤ 2,00	≤ 0,035	≤ 0,020	16,50 bis 18,50	2,50 bis 3,00	13,00 bis 15,00	0,150 bis 0,250	-
GX2CrNiMnMoNb21-16-5-3	1.3967	≤ 0,030	≤ 1,00	4,00 bis 6,00	≤ 0,025	≤ 0,010	20,00 bis 21,50	3,00 bis 3,50	15,00 bis 17,00	0,200 bis 0,350	Nb: ≤ 0,25

Im Gusszustand kann neben Carbid auch Ferrit vorliegen. Zum Erreichen eines zähen austenitischen Gefüges wird ein Lösungsglühen bei etwa 1050 °C mit nachfolgendem Abschrecken in Wasser vorgenommen.

Aufgrund der hohen Duktilität von austenitischem Manganhartstahl ist in einer Reihe von Anwendungsfällen mit erheblichen Formänderungen der Gussteile zu rechnen. Dem kann durch Absenken des Mangangehaltes sowie Zulegieren von Chrom und/oder Molybdän entgegengewirkt werden. Durch die Ausscheidung von Sondercarbiden werden die Gleitebenen blockiert und die Formänderung erschwert. Bei Anwendungsfällen mit vorwiegendem Reibverschleiß ist Manganhartstahl nicht geeignet.

Das Regelwerk für Manganhartstahl ist **ISO 13521**. Die chemische Zusammensetzung der darin genormten Werkstoffe ist aus **Tabelle 33** zu entnehmen.

8.12.2 Vergütbarer Stahlguss

Vergütbare Stahlgussorten werden dort eingesetzt, wo neben Reibverschleiß auch hohe mechanische Beanspruchung auftritt. Die notwendige Verschleißbeständigkeit wird durch Abschrecken von etwa 850 bis 950 °C in Öl erreicht. Die vollständige Umwandlung in der Martensitstufe wird dabei angestrebt. Härte und Verschleißbeständigkeit nehmen mit zunehmendem Kohlenstoffgehalt bei gleichzeitiger Abnahme der Zähigkeit zu. Eine möglichst gleichmäßige

Härte über den gesamten Querschnitt wird durch Zulegieren von Chrom, Nickel, Molybdän und Vanadin erreicht.

Je nach mechanischer Beanspruchung der Werkstücke kann ein Anlassen nach dem Abschrecken notwendig sein. Hierdurch wird die Zähigkeit erhöht, die Härte und damit die Verschleißbeständigkeit jedoch verringert.

Die Carbidbildner Molybdän und Vanadin scheiden beim Anlassen zwischen 500 °C und 600 °C feindisperse Sondercarbide aus. Dieser als Sekundärhärtung bekannte Effekt erhöht die Warmfestigkeit bei Betriebstemperaturen bis 500 °C und verbessert damit die Beständigkeit gegen Warmverschleiß.

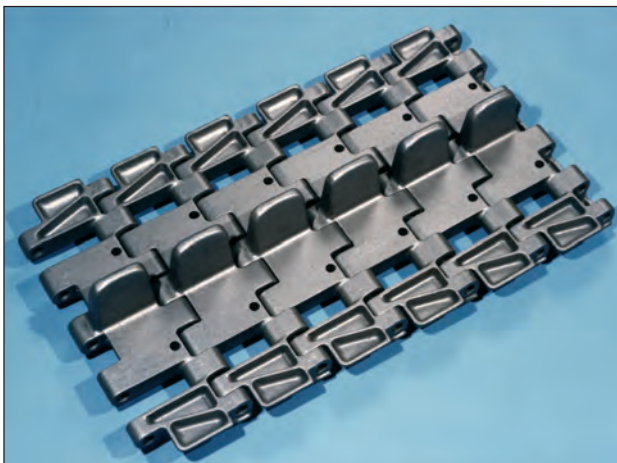


Bild 95: Kettenglieder für ein Kettenfahrzeug aus dem Werkstoff GX120Mn12; Kettenbreite 620 mm



Bild 96: Mahlplatten (Dmr. 1000 mm) aus hochverschleißfestem Stahlguss, deren Zahnpartien mit hoher Teilungsgenauigkeit und Oberflächengüte bearbeitungsfrei vorgegossen sind



Bild 97: Shredderhämmer mit einer Stückmasse von 150 kg aus CrNiMo-legiertem Vergütungsstahlguss; die Augen wurden partiell auf höhere Zähigkeit angelassen

Durch partielle Härtung kann die dem Verschleiß ausgesetzte Zone eines Bauteils auf Maximalhärte gebracht werden, während der restliche Teil seine Zähigkeit behält.

Verschleißbeständiger, vergütbarer Stahlguss ist nicht genormt. In der **Tabelle 34** sind einige typische Sorten zusammengefasst, die bei unterschiedlichen Wanddicken eingesetzt werden. Zusätzlich kann je nach Beanspruchungsart auf die Vergütungsstahlgusssorten nach **DIN 17205** beziehungsweise nach der neuen Norm **DIN EN 10293** (siehe **Tabelle 7**) verwiesen werden



Bild 98: Einbaufertig gegossene Rohrbögen (Maskenformguss) zur Förderung von Beton aus GX120MnCr13-2 der Baugröße DN 100; Stückmasse 12,4 kg

8.12.3 Vergütbare martensitische Stahlgusssorten mit höherem Carbidgehalt

Bei diesen Stahlgusssorten liegt nach dem Abschrecken in Öl oder an Luft ein überwiegend martensitisches Grundgefüge vor, in welches hochharte Sondercarbide eingelagert sind. Sie können dort eingesetzt wer-

den, wo keine hohe Anforderung an die Zähigkeit gestellt wird. Wie aus **Tabelle 35** ersichtlich, sind die Hauptlegierungselemente 1 bis 2 % Kohlenstoff und bis zu 12 % Chrom. Zur Verbesserung der Durchvergütbarkeit werden Molybdän und Vanadium zulegiert. Zur Verbesserung der Zähigkeit folgt dem Abschrecken eine Anlassbehandlung. Die Verschleißbeständigkeit wird hierdurch gemindert. Bei den hier

Tabelle 34: Richtwerte für die chemische Zusammensetzung und erreichbare Härten verschleißbeständiger vergütbarer Stahlgusssorten

Stahlgusssorte		Wanddicke t max.	Chemische Zusammensetzung [Masse-%]							Härte HRC max.
Kurzname	Werkstoffnummer	[mm]	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	
G46MnSi4	1.5121	50	0,46	0,8	1,0	-	-	-	-	45
G50CrMo4	1.7228	100	0,50	-	-	1,05	0,25	-	-	45
G85CrMo7	(1.2304)	100	0,85	-	-	1,75	0,35	-	-	55
G34CrNiMo6	1.6582	100	0,34	-	-	1,55	0,25	1,5	-	50
G40NiCrMoV8-4	-	200	0,40	-	-	2,05	0,45	2,0	0,1	50
G50NiCrMoV5-4-6	-	200	0,50	-	-	1,25	0,65	1,5	0,1	55
G56NiCrMoV-7	1.2714	200	0,55	-	-	1,15	0,55	1,7	0,1	55
GX40CrMoV5-1	1.7783	200	0,40	1,0	-	5,05	1,25	-	0,5	50

Tabelle 33: Anhaltswerte für die chemische Zusammensetzung von verschleißbeständigen Stahlgusssorten nach ISO 13 521

Stahlgusssorte	Chemische Zusammensetzung [Masse-%]							
	C	Si	Mn	P max.	S max.	Cr	Mo	Ni
GX120MnMo7-1	1,05 bis 1,35	0,3 bis 0,9	6 bis 8	0,060	0,045	-	0,9 bis 1,2	-
GX110MnMo13-1	0,75 bis 1,35	0,3 bis 0,9	11 bis 14	0,060	0,045	-	0,9 bis 1,2	-
GX100Mn13 ¹⁾	0,90 bis 1,05	0,3 bis 0,9	11 bis 14	0,060	0,045	-	-	-
GX120Mn13 ¹⁾	1,05 bis 1,35	0,3 bis 0,9	11 bis 14	0,060	0,045	-	-	-
GX120MnCr13-2	1,05 bis 1,35	0,3 bis 0,9	11 bis 14	0,060	0,045	1,5 bis 2,5	-	-
GX120MnNi13-3	1,05 bis 1,35	0,3 bis 0,9	11 bis 14	0,060	0,045	-	-	3 bis 4
GX120Mn17 ¹⁾	1,05 bis 1,35	0,3 bis 0,9	16 bis 19	0,060	0,045	-	-	-
GX90MnMo14	0,70 bis 1,00	0,3 bis 0,6	13 bis 15	0,070	0,045	-	1,0 bis 1,8	-
GX120MnCr17-2	1,05 bis 1,35	0,3 bis 0,9	16 bis 19	0,060	0,045	1,5 bis 2,5	-	-

¹⁾ Diese Sorten werden gelegentlich genutzt für nicht magnetische Anwendungen



Bild 99: Walzenmantel für eine Mühle aus GX165CrMoV12 der Abmessungen Dmr. 1000 x 500 mm; Masse 900 kg

besprochenen Werkstoffen liegen bereits im Gusszustand aus der Schmelze ausgeschiedene Primärkarbide vor, die durch die nachfolgende Wärmebehandlung nicht aufgelöst werden. Mit steigendem Kohlenstoffgehalt nimmt auf Kosten der Zähigkeit der Verschleißwiderstand durch die ebenfalls steigende Härte des martensitischen Grundgefüges und einem zunehmenden Anteil an Sondercarbiden zu.

Die Sondercarbide bewirken bei diesem Werkstoff einen hohen Widerstand gegen Warmverschleiß. Beim Anlassen auf 500 bis 600 °C tritt durch Ausscheiden weiterer Sondercarbide eine Sekundärhärtung ein.

Schädlich kann sich das Vorhandensein von Restaustenit auswirken, da dieser durch Druck- oder Schlagbeanspruchung zu Martensit umwandeln kann. Dieser Vorgang ist mit einer Volumenzunahme verbunden, die zu Abplatzungen führen kann.

Dem kann durch Anlassen bei Temperaturen im Bereich des Sekundärhärtens begegnet werden. Hier scheiden sich weitere Sekundärkarbide aus, die zur Verarmung des Restaustritts an Kohlenstoff führen und diesen beim anschließenden Abkühlen zu Martensit umwandeln lassen.

Die hier erwähnten Werkstoffe lassen sich im weichgeglühten Zustand recht gut mechanisch bearbeiten. Die nachfolgende Wärmebehandlung zur Erzielung einer hohen Verschleißbeständigkeit kann allerdings zum Verzug der bearbeiteten Flächen führen. Mit keramischen Werkzeugen können jedoch auch hochharte Werkstoffe durch Drehen oder Fräsen bearbeitet werden. Beim Schleifen sollten diese Werkstoffe zur Vermeidung von Schleifrisen gekühlt werden.

Tabelle 35: Anhaltswerte zur chemischen Zusammensetzung vergütbarer martensitischer Stahlgussorten mit höherem Carbidgehalt und erreichbare Härten

Stahlgussorte		Masseanteil [%]				Härte
Kurzname	Werkstoffnummer	C	Cr	Mo	V	HRC
GX100CrMoV5-1	1.2363	1,00	15,0	1,0	0,2	≤ 62
GX120CrMo12-1	-	1,20	12,0	1,0	-	≤ 62
GX165CrMoV12	1.2602	1,65	12,0	0,6	0,3	≤ 64

Tabelle 36: Anhaltswerte zur chemischen Zusammensetzung von verschleißfestem Chromhartguss nach DIN 1695 und erreichbare Härten

Werkstoff		Masseanteil [%]				Härte HRC
Kurzname	Werkstoff-Nummer	C	Cr	Ni	Mo	max.
G-X 300 CrMo 15 3	0.9635	2,3 bis 3,6	14 bis 17	bis 0,7	1,0 bis 3,0	62
G-X 300 CrMoNi 15 2 1	0.9640	2,3 bis 3,6	14 bis 17	0,8 bis 1,2	1,8 bis 2,2	62
G-X 260 CrMoNi 20 2 1	0.9645	2,3 bis 2,9	18 bis 22	0,8 bis 1,2	1,4 bis 2,0	62
G-X 260 Cr 27	0.9650	2,3 bis 2,9	24 bis 28	bis 1,2	bis 1,0	62
G-X 300 CrMo 27 1	0.9655	3,0 bis 3,5	23 bis 28	bis 1,2	1,0 bis 2,0	62

8.12.4 Verschleißbeständiger Chromhartguss

Chromhartguss hat von allen Stahlgusswerkstoffen die höchste Verschleißbeständigkeit. Bei Kohlenstoffgehalten von 2,5 bis 3,5 % und Chromgehalten von 15 bis 27 % erreichen diese Werkstoffe ihren höchsten Verschleißwiderstand nach einem Härten von 900 bis 1050 °C mit beschleunigter oder ruhender Luftabkühlung durch ihren hohen Gehalt an Chrom-Mischcarbiden in einem möglichst weitgehend martensitischen Grundgefüge. In Abhängigkeit von der Wanddicke wird bis zu 3 % Molybdän zulegiert.

Von allen verschleißbeständigen Werkstoffen hat diese Gruppe die niedrigste Zähigkeit. Ihr betriebssicherer Einsatz setzt daher geringe Anforderungen an die Zähigkeitseigenschaften der Werkstücke voraus. Insbesondere sollten die aus diesen Werkstoffen hergestellten Gusstücke im Einsatz frei von Biegebeanspruchungen sein. Das erfordert vielfach ein Schleifen oder spananhebendes Bearbeiten der Anlageflächen der Gussstücke. Hinzuweisen ist auf die Schleifrisseignung dieser Werkstoffe.

Das spanabhebende Bearbeiten ist aufgrund der hohen Härte erschwert. Ein Weichglühen, um die Bearbeitbarkeit zu verbessern, ist möglich. Anschließend müssen die Teile wieder gehärtet werden.

Tabelle 36 nennt die chemische Zusammensetzung verschiedener Sorten Chromhartguss. Je nach Anwendungsfall ist jedoch das Chrom/Kohlenstoffverhältnis zu beachten. Daher werden ein Reihe von

Werkstoffen mit wechselnden Chrom- und Kohlenstoffgehalten mit Erfolg und ausreichender Betriebssicherheit überall dort eingesetzt, wo Reibverschleiß überwiegt, die Schlag- und/oder Druckbeanspruchung jedoch gering ist.

8.12.5 Stahlguss für das Einsatzhärten

Einsatzstähle sind für Bauteile bestimmt, die an besonders beanspruchten Oberflächenbereichen aufgekohlt und dann gehärtet werden. Sie werden verwendet, wenn es darauf ankommt, eine harte und verschleißbeständige Randschicht mit einem zähen Kern zu kombinieren. Das Bauteil ist dadurch in der Lage, hohe Verschleißbeanspruchungen und gleichzeitig Schlag- oder Biegebeanspruchungen zu ertragen. Einsatzhärten steht als Randschichthärteverfahren hinsichtlich Dicke beziehungsweise Härte und Verschleiß-eigenschaften der gehärteten Schicht zwischen dem Flamm- oder Induktionshärten und dem Nitrieren. Das Gleiche gilt für die Maßbeständigkeit nach dem Härten.

Beim Einsatzhärten entstehen Druckspannungen an der Oberfläche, die ähnlich wie beim Nitrierhärten die Dauerschwingfestigkeit erhöhen.

Im Interesse einer ausreichenden Kernzähigkeit ist der Kohlenstoffgehalt von Einsatzstählen geringer als 0,3 %. Einsatzstähle sind je nach gewünschter Durchvergütung beziehungsweise Kernfestigkeit niedrig- bis mittellegiert.

Nach dem Verwendungszweck sind die Anforderungen an die Härtebarkeit des Kern-



Bild 100: Schlagleisten aus verschleißbeständigem Chromhartguss; Stückmasse 104 kg

werkstoffes verschieden. Bei vorwiegend gleitendem oder reibendem Verschleiß wird mit einer geringen Härtebarkeit auskommen, während bei gleichzeitiger Schlag- oder Biegebeanspruchung hohe Härtebarkeit gefordert wird.

Maßgebend für Einsatzstähle ist ihre Aufkohlbarkeit und Randschichthärtbarkeit. Zum Direkthärten, das heißt, Härten aus der Einsatzbehandlung, ist zudem ein hinreichend feines Austenitkorn Voraussetzung.

Wegen der einzustellenden hohen Randschichthärte ist nach dem Härten kein Anlassen wie bei Vergütungsstählen, sondern nur ein Entspannen bei etwa 200°C möglich. Der Kernwerkstoff muss auch hierfür ausreichende Zähigkeit haben. Niedriger Kohlenstoffgehalt und geringer Gehalt an schädlichen Spurenelementen, wie er durch die Sekundärmetallurgie einstellbar ist, sind vorteilhaft.

Einsatzstähle werden mit Elementen legiert, die die Härtebarkeit erhöhen, aber gleichzeitig durch geeignete Gefügeausbildung ausreichende Zähigkeit gewährleisten. Mangan und Chrom erhöhen die Härtebarkeit, wobei ein Chromzusatz für die Zähigkeit günstiger ist als Mangan. MnCr-Stähle sollten daher nur dann eingesetzt werden, wenn an die Kernzähigkeit keine hohen Anforderungen gestellt werden. Auch Molybdän und Nickel wirken härtebarkeits-

konstruieren + giessen 29 (2004) Nr. 1

und zähigkeitssteigernd. Am günstigsten sind daher CrNiMo-Stähle.

Der erhöhte Kohlenstoffgehalt der Randschicht senkt die Umwandlungstemperaturen und damit die Härtetemperatur. Außerdem kann durch den zur Oberfläche hin zunehmenden Kohlenstoffgehalt beim Direkthärten Restaustenit und dadurch ein Härteabfall in der äußersten Randschicht entstehen. Das Direkthärten wird also einerseits durch maximalen Kohlenstoffgehalt zum Vermeiden von Restaustenit und andererseits durch minimalen Kohlenstoffgehalt zum Einhalten einer Mindesthärte begrenzt.

Wenn ein Direkthärten nicht möglich ist, müssen andere Behandlungsfolgen, wie Einfachhärten oder Doppelhärten, gewählt werden. Übliche Behandlungsfolgen sind in DIN 17 210 zusammengestellt. In dem Zusammenhang ist auch auf Maßänderungen zu achten, die mit zunehmender Härtebarkeit und Festigkeit, aber auch mit der Häufigkeit des Aufheizens und Abkühlens zunehmen.

Für Stahlguss gelten hinsichtlich des Einsatzhärtens die gleichen Bedingungen wie für verformte Stähle (Walz- und Schmiedestähle), sie lassen sich alle in gleicher Weise Einsatzhärten. Allerdings sollte Stahlguss für Einsatzhärtung nur in vollständig

Tabelle 37: Für das Einsatzhärten geeignete Stahlgussorten und Eigenschaften an blind gehärteten Querschnitten von 30 bzw. 63 mm Durchmesser

Stahlgussorte	Behandlung	0,2-%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ [N/mm ²]	Zugfestigkeit R_m [N/mm ²]	Bruchdehnung A [%]
GCk16	Direkthärten/ Einfachhärten	350 / -	600 / -	12 / -
G16MnCr5	Einfachhärten	600 / 450	800 / 650	8 / 10
G25CrMo4	Direkthärten	700 / -	1000 / -	6 / -
G17CrMnMo5-5	Einfachhärten	800 / -	1100 / -	6 / -
G22NiMoCr5-6	Einfachhärten	950 / 700	1200 / 875	6 / 10



Bild 101: Gehäuse aus verschleißfestem Chromhartguss für eine Nassbaggerpumpe; Masse 2400 kg

wärmebehandeltem Zustand (BF, BG, siehe DIN 17 210) bestellt werden, um ein feinkörniges Gefüge sicherzustellen.

Zum Einsatzhärten sind die genormten Vergütungsstahlgussorten mit niedrigem Kohlenstoffgehalt geeignet, aber auch alle den verformten Stählen in der chemischen Zusammensetzung entsprechenden Stahlgussorten. Es können alle üblichen Aufkohlungsverfahren – zum Beispiel Pulver-, Gas- oder Salzbadaufkohlen – eingesetzt werden.

In **Tabelle 37** sind einige zum Einsatzhärten geeignete Stahlgussorten mit der empfohlenen Behandlungsfolge und den mechanischen Eigenschaften nach Blindhärtung zusammengestellt.

8.12.6 Stahlguss für das Nitrierhärten

Wie bei den Stahlgussorten für das Flamm- und Induktionshärten wird auch beim Nitrieren der Zustand des Kernwerkstoffes nicht verändert. Durch das Nitrieren wird eine Randschicht sehr hoher Härte und damit hoher Verschleißbeständigkeit erzeugt und zusätzlich die Dauerschwingfestigkeit verbessert. Die wichtigsten Nitrierverfahren sind das Gasnitrieren und das Salzbadnitrieren.

Die Nitrierschicht besteht aus der Verbindungs- und der Diffusionsschicht. In der äußeren Verbindungsschicht ist das Eisen durch Stickstoffaufnahme vollständig zu Eisennitrid beziehungsweise Eisencarbonitrid umgewandelt. In der angrenzenden Diffusionsschicht ist der Stickstoff im Eisen gelöst oder ist in Form feinsten Nitride ausgeschieden. Die Härte der Verbindungsschicht und Diffusionsschicht hängen wesentlich von der chemischen Zusammensetzung des Stahlgusses sowie von der Nitriertemperatur ab.

Beim Nitrieren von unlegiertem Stahlguss werden Härtewerte von etwa 400 HV erreicht. Zusätze an Legierungselementen, die harte Sondernitride bilden wie Chrom, Molybdän und Vanadin, führen zu Härtewerten von mindestens 650 HV und je nach Werkstoff bis zu 1100 HV.

Unlegierte Stahlgussorten werden im normalgeglühten Zustand und mit Chrom, Molybdän und Vanadin, legierte Stahlgussorten im Vergütungszustand nitriert. Bei vergütbaren Stahlgussorten ist darauf zu achten, dass das Anlassen beim Vergüten oberhalb der Nitriertemperatur liegt. Diese beträgt üblicherweise etwa 500 °C. Die aus den Einsatzbedingungen geforderten mechanisch-technologischen Eigenschaften des Kernwerkstoffes sind durch entsprechende Werkstoffauswahl sicherzustellen. **Tabelle 38** enthält Beispiele für Stähle unterschiedlicher Durchverfügbarkeit, die für das Nitrieren verwendet werden können.

8.12.7 Stahlguss für das Flamm- und Induktionshärten

Beim Flamm- und Induktionshärten wird durch Erwärmen der Randschicht auf Härtetemperatur und anschließendes Abschrecken eine vollständige Martensitbildung angestrebt, so dass die erreichbare Randschichthärte vom Kohlenstoffgehalt des Stahles beziehungsweise von dem beim Austenitisieren gelösten Kohlenstoffanteil abhängt.

Die beim Randschichthärten erreichbare Einhärtetiefe ist abhängig von der Dicke der austenitisierten Schicht, der Abkühlgeschwindigkeit und der Härtebarkeit des Stahles. Unmittelbar nach dem Härten wird ein Spannungsarmglühen bei etwa 140 bis 200°C empfohlen.

Im Regelfall wird Vergütungstahlguss im vergüteten, unlegierter Stahlguss im normalgeglühten Zustand randschichtgehärtet. Das Randschichthärten verändert nicht die mechanisch-technologischen Eigenschaften des Kernwerkstoffes. Es werden der Verschleißwiderstand und die Dauer-

Tabelle 38: Anhaltsangaben zur chemischen Zusammensetzung und zur erreichbaren Härte der für das Nitrierhärten geeigneten Stahlgussorten

Stahlgussorte		Chemische Zusammensetzung [Masse-%]						Nitrierhärte
Kurzname	Werkstoffnummer	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	HV
GcK45	1.1191	0,45	0,25	0,7	-	-	-	400
G12CrMo19-5	1.7363	0,12	0,30	0,6	5,0	0,50	-	1100
G42CrMo4	1.7225	0,42	0,50	0,8	1,0	0,25	-	650
G30CrMoV6-4	1.7725	0,30	0,50	0,8	1,5	0,40	0,1	800
G35CrMoV10-4	1.7755	0,35	0,40	0,8	2,5	0,40	0,1	800

schwingfestigkeit verbessert. Besser als beim Einsatz- oder Nitrierhärten ist es möglich, auf diese Weise Bauteile partiell an den höchstbeanspruchten Stellen randschichtzuhärten.

Für das Randschichthärten sind grundsätzlich alle vergütbaren Stahlgussorten nach DIN 17 205 brauchbar, deren Kohlenstoffgehalt die gewünschte Härte und deren Vergütungseigenschaften die er-

forderlichen mechanisch-technologischen Eigenschaften je nach Wanddicke im Kern sicherstellen. Da mit zunehmendem Kohlenstoffgehalt die Zähigkeit des Kernwerkstoffes abnimmt und gleichzeitig die Härterisempfindlichkeit zunimmt, sollte der Kohlenstoffgehalt nicht höher sein, als es zum Erreichen der gewünschten Härte erforderlich ist. Bewährte Stahlgussorten für das Flamm- und Induktionshärten sind in **Tabelle 39** aufgeführt.

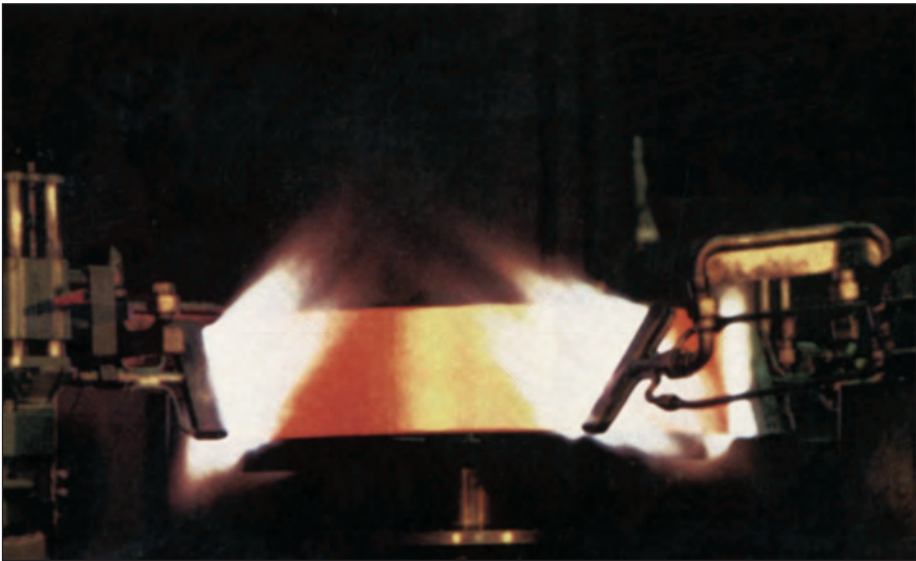


Bild 102: Flammhärten eines Stahlguss-Laufrades für einen Kran

Tabelle 39: Mindestwerte für die mechanischen Eigenschaften von Stahlgussorten für das Flamm- und Induktionshärten nach SEW 835

Stahlgussorte		Zugfestigkeit ¹⁾ R _m [N/mm²]	Streckgrenze ¹⁾ R _{p0,2} [N/mm²]	Bruchdehnung ¹⁾ A ₅ [%]	Randschichthärte ²⁾ HRC	Einhärtetiefe ²⁾ t [mm]
Kurzname	Werkstoffnummer					
GcK45 ³⁾	1.1191	600	340	14	53	2
G36Mn5	1.5067	550	320	17	50	3
G46Mn4	1.5041	600	340	14	53	3
G42CrMo4	1.7225	700	480	12	54	5
G50CrMo4	1.7228	750	530	11	57	6
G50CrV4	1.8159	750	530	11	57	6

¹⁾ Die Werte gelten für angegossene Probeleiten mit rund 40 mm Dicke.
²⁾ Die Werte gelten nach einem Entspannen der Werkstücke bei 140 bis 180 °C.
³⁾ oder GC45

8.13 Werkzeug-Stahlguss

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Beanspruchungen von Werkzeugen werden viele Stahlgusssorten verschiedenster chemischer Zusammensetzungen für den Einsatz im Werkzeugbereich erschmolzen [23].

Da die Beanspruchung jedes Werkzeuges ein entscheidendes Kriterium für dessen Werkstoffauswahl ist, kann nur dann eine begleitende optimale Beratung des Verbrauchers erfolgen, wenn dem Gießer die auftretenden Beanspruchungen bekannt gegeben werden. Hierbei sollten der Gießer außer Festigkeit, Härte, Korrosionsbeständigkeit, Narbungsfähigkeit und/oder Polierbarkeit auch eine eventuelle Temperaturbelastung, Kühlung oder das zu verarbeitende Material genannt werden.

Stahlgusswerkstoffe für Werkzeuge lassen sich unterteilen in solche für Warmarbeit, Kaltarbeit und Kunststoffformen. Da für diese drei Hauptgruppen eine Vielfalt von Werkstoffen zur Anwendung gelangen, wird in **Tabelle 40** nur eine Auswahl genannt, die aber eine breite Palette bezüglich der Anwendbarkeit repräsentiert. Anwendungsbeispiele werden in den **Bildern 103** bis **106** gezeigt.

8.13.1 Stahlguss für Warmarbeitswerkzeuge

Für diesen Bereich werden überwiegend die Sorten GX38CrMoV5-1 (1.2346), GX40CrMoV5-1 (1.2348), GX37CrMoW5-1 (1.2607) und G56NiCrMoV7 (1.2717) eingesetzt, beispielsweise für Gesenke, Pressstempel und Formrahmen.

Die Sorte GX38CrMoV5-1 (1.2346) ist ein hoch-CrMoV-legierter Warmarbeits-Stahlguss mit guter Anlassbeständigkeit und Warmverschleißfestigkeit. Er ist ferner unempfindlich gegen Warmrissbildung auch bei stärkerer Kühlung. Dieser Werkstoff wird zum Beispiel für Kokillen und Gesenke mit einer Verwendungsfestigkeit von 1000 bis 1600 N/mm² eingesetzt.

Die Sorte GX40CrMoV5-1 (1.2348) ist ebenfalls ein hoch-CrMoV-legierter Warmarbeits-Stahlguss bester Anlassbeständigkeit und Warmverschleißbeständigkeit sowie guter Warmfestigkeit. Er ist unempfindlich gegen Hochtemperaturkorrosion durch flüssige Metalle. Aufgrund dieser Eigenschaften werden Gesenkeinsätze und Teilpressgesenke bei besonderer Verschleißbeanspruchung aus diesem Werkstoff gefertigt, wobei bevorzugt eine Fest-

Tabelle 40: Anhaltswerte zur chemischen Zusammensetzung von Werkzeugstahlguss

Stahlgusssorte		Chemische Zusammensetzung [Masse-%]							
Kurzname	Werkstoffnummer	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W	Ni
G40CrMnMo7	1.2310	0,40	0,30	1,50	2,00	0,20	-	-	-
G60CrMoV10-7	1.2320	0,60	0,50	1,10	2,50	0,70	0,20	-	-
G59CrMoV18-5	1.2333	0,60	0,40	0,80	4,50	0,50	0,30	-	-
GX38CrMoV5-1	1.2346	0,40	1,10	0,40	5,00	1,30	0,40	-	-
GX40CrMoV5-1	1.2348	0,40	1,10	0,40	5,00	1,40	1,00	-	-
GX100CrMoV5-1	1.2370	1,00	0,30	0,60	5,00	1,10	0,20	-	-
GX155CrVMo12-1	1.2382	1,55	0,70	0,50	12,00	0,80	1,00	-	-
GX165CrMoV12	1.2602	1,65	0,40	0,30	12,00	0,60	0,30	0,50	-
GX37CrMoW5-1	1.2607	0,35	1,10	0,50	5,50	1,50	0,30	1,30	-
G56NiCrMoV7	1.2717	0,55	0,30	0,80	1,00	0,50	0,10	-	1,70
G45CrNiMo4-2	1.2769	0,45	0,40	0,60	0,90	0,20	-	-	0,50
G47CrMn6	1.7140	0,50	0,60	0,90	1,50	-	-	-	-

tigkeit von 1300 bis 1600 N/mm² eingestellt wird.

Die Sorte GX37CrMoW5-1 (1.2607) ist ein CrMoWV-legierter Warmarbeits-Stahlguss mit hervorragender Anlassbeständigkeit und Warmfestigkeit; er ist unempfindlich gegen Warmrissbildung. Verwendet wird diese Sorte für Gesenkeinsätze, Matrizen und Stempel sowie Formpressteile.

Die Sorte G56NiCrMoV7 (1.2717) ist ein niedriglegierter, sehr zäher Warmarbeits-Stahlguss mit guter Warmverschleißbeständigkeit. Er wird für Form- und Prägewerkzeuge sowie für Werkzeugaufnahmen in der Kunststoffverarbeitung eingesetzt, bei denen die Zähigkeitseigenschaften im Vordergrund stehen. Außerdem werden Richt- und Formrollen sowie Ziehwerkzeuge aus diesem Werkstoff hergestellt.

8.13.2 Stahlguss für Kaltarbeitswerkzeuge

In diesem Bereich werden je nach Beanspruchung mittel- bis hochlegierte Sorten, wie G60CrMoV10-7 (1.2320), G59CrMoV18-5 (1.2333), GX100CrMoV5-1(1.2370), GX155CrVMo12-1 (1.2382), GX165CrMoV12 (1.2602), G45CrNiMo4-2 (1.2769) und G47CrMn6 (1.7140) verwendet. Sie kommen beispielsweise für Rollen, Messer, Werkzeugaufnahmen, Prägwerkzeuge sowie für Schnitt-, Form- und Tiefziehwerkzeuge zum Einsatz. Sie werden üblicherweise im vorvergüteten oder weichgeglühten Zustand geliefert. Über eine anschließende Durch- beziehungsweise Randschichthärtung lassen sich in Abhängigkeit von der Gusssorte Härten von 56 bis 62 HRC einstellen [23, 24].

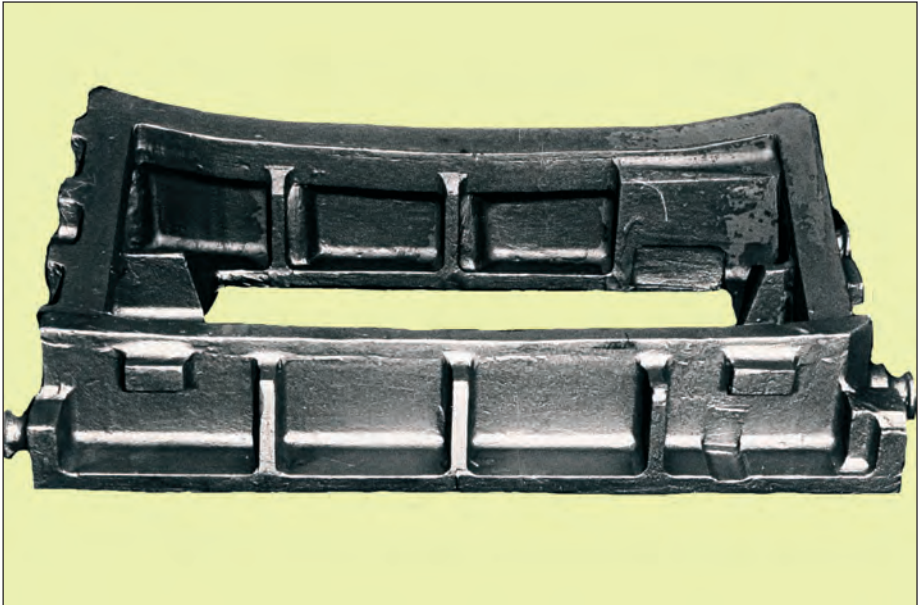


Bild 103: Drückrahmen aus GX165CrMoV12; Abmessungen 1700 x 900 x 400 mm

Die Sorte G60CrMoV10-7 (1.2320) ist ein mittelliegender Stahlguss. Er ist in großen Abmessungen darstellbar, gut schweißbar und erreicht Härte von 60 HRC. Üblicherweise wird dieser Werkstoff für Monoblockwerkzeuge (< 4000 kg) oder große Werkzeugsegmente (< 1000 kg) gewählt und in vorvergüteter Form (800 bis 950 N/mm²) geliefert. Typische Einsatzgebiete sind Schnitt-, Form- und Prägwerkzeuge für die Blechumformung [25]. **Bild 103** zeigt den vorvergüteten Abguss für ein Seitenwandwerkzeug

Die Sorte G59CrMoV18-5 (1.2333) ist etwas höher legiert als die Sorte G60CrMoV10-7 (1.2320). Stahlgusswerkzeuge aus diesem Werkstoff besitzen damit eine bessere Härte und sind PVD-beschichtbar. Auch hier sind die Einsatzgebiete Schnitt-, Form- und Prägwerkzeuge, wobei das empfohlene Gießgewicht etwas geringer ausfällt.

Die Sorte GX100CrMoV5-1 (1.2370) ist ebenfalls ein mittelliegender Stahlguss. Anders als die beiden vorher genannten Gusswerkstoffe wird er fast ausschließlich in gegläuter Form (maximal 275 HBW) geliefert. Seine Arbeitshärte von rund 60 HRC erhält er ausschließlich über die Durch- und Randschichthärtung. Auf Grund seiner Verschleißbeständigkeit und Schnittfähigkeit wird er häufig als Schnittmesser beziehungsweise Schneidrahmen eingesetzt. Er findet aber auch bei hoch beanspruchten Präge- und Ziehwerkzeugen, Form- und Profilrollen sowie für Richtrollen Anwendung, bei denen die Zähigkeit ledeburitischer Werkstoffe nicht aus-

reichend ist, Anwendung. Nachteilig wirkt sich jedoch das begrenzte Herstellgewicht (< 1000 kg), die schlechte Schweißbarkeit sowie die nur bedingte PVD/CVD-Beschichtbarkeit aus, so dass hier für hochbeanspruchte Blechumformwerkzeuge neuentwickelte Stahlgusswerkstoffe wie beispielsweise der Werkstoff GP4M zum Einsatz kommen [26].

Die Sorte GX155CrMo12-1 (1.2382) ist ein hochlegierter ledeburitischer Werkzeugstahlguss, der auf Grund seiner besseren Sekundärhärte bei der Durchhärtung die Sorte GX165CrMoV12 (1.2602) fast vollständig vom Markt verdrängt hat. Beide Werkstoffe weisen ein verschleißfestes Karbidnetz auf und zeichnen sich deshalb durch eine hohe Schnittfähigkeit und Kantenfestigkeit sowie eine sehr gute Maßhaltigkeit aus. Sie werden im gegläuteten Zustand mit maximal 285 HBW geliefert und kommen bevorzugt als Schnitt-, Form- und Tiefziehwerkzeuge zum Einsatz. Darüber hinaus finden sie Anwendung für hochbeanspruchte Richt-, Kalibrier- und Profilrollen sowie für Verschleiß beanspruchte Zerkleinerungswerkzeuge, wobei die Verschleißbeständigkeit im Vordergrund steht und eine verminderte Zähigkeit ausreicht. Im **Bild 104** ist ein Ziehwerkzeug dargestellt, welches mit CVD beschichteten Stahlgusssegmenten aus dem Werkstoff GX155CrMo12-1 (1.2382) bestückt ist. Auf Grund der hervorragenden PVD/CVD-Beschichtbarkeit des Gusswerkstoffes wird er häufig für derartige Segmente (< 250 kg) eingesetzt. Aber

auch hier kommen durch den Trend, größere Segmente zu verwenden und der Forderung nach einer besseren Schweißbarkeit [27] neuentwickelte Gusswerkstoffe wie GP4M immer stärker zum Einsatz.

Bei der Sorte G45CrNiMo4-2 (1.2769) handelt es sich um einen niedrig CrNi-legierten, vergüteten Werkzeugstahlguss hoher Zähigkeit. Er wird üblicherweise im vorvergüteten Zustand (850 bis 1050 N/mm²) geliefert und kann in den Verschleiß beanspruchten Bereichen mittels Randschichthärtung auf eine Härte von etwa 56 HRC gebracht werden. Reicht diese Härte nicht aus, besteht auf Grund der guten Schweißbarkeit die Möglichkeit, exponierte Kanten zu panzern. Typische Anwendungen sind Führungsrollen, Tragrollen, Form- und Prägwerkzeuge, Niederhalter und Rahmen sowie Aufnahmen von Schnittwerkzeugen in der Automobilindustrie. Gussteile bis zu einem Stückgewicht von etwa 12 000 kg konnten aus diesem Werkstoff bereits gefertigt werden.

Die Sorte G47CrMn6 (1.7140) ist ebenfalls ein niedriglegierter Werkzeugstahlguss, der auf Grund seiner Legierungszusammensetzung sehr wirtschaftlich ist. Er wird bevorzugt für Monoblock-Werkzeuge (**Bild 105**) eingesetzt. Auch er ist gut schweißbar, problemlos Randschicht härtbar und hat eine hohe Zähigkeit. Damit wird er ähnlich wie der Werkstoff G45CrNiMo4-2 (1.2769) eingesetzt. Häufig handelt es sich hierbei um Form- und Prägwerkzeuge, die hohe Zähigkeiten erfordern.

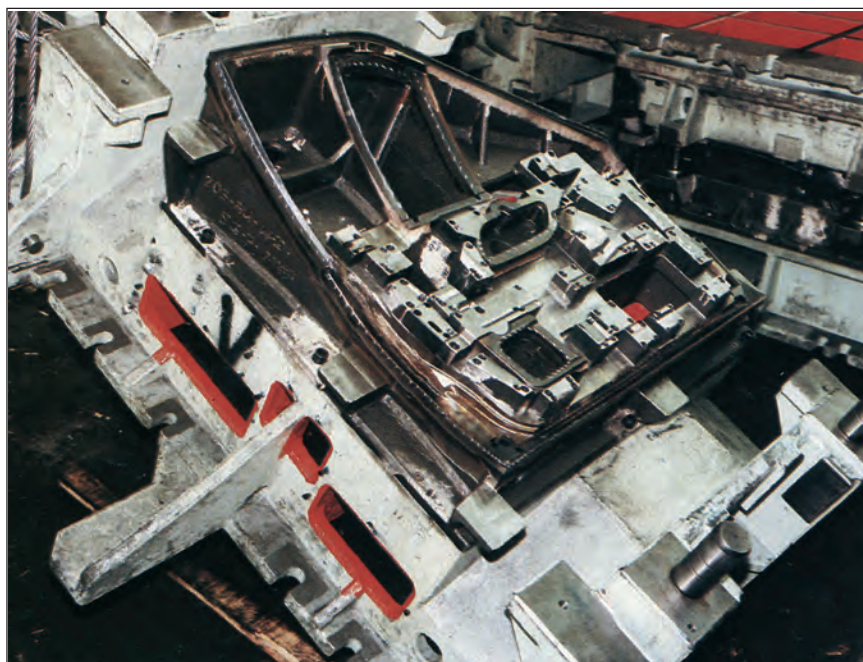


Bild 104: Schnittwerkzeug aus G47CrMn6 (1.7140) zum Herstellen von Karosserieteilen für Pkw

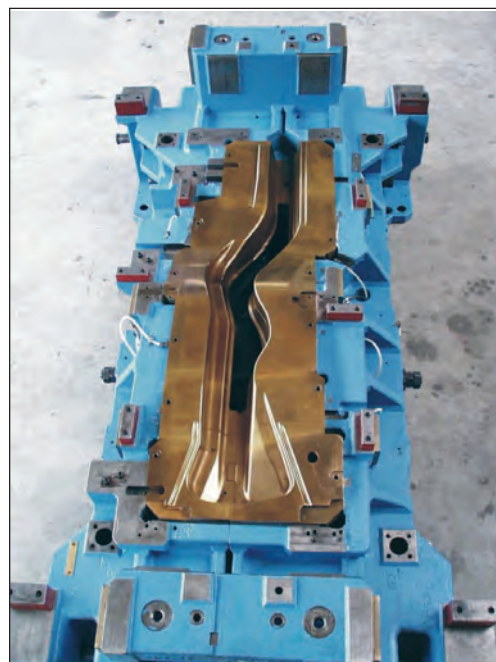


Bild 105: Ziehmatrize mit Segmenten aus GX155CrMo12-1 (1.2382), CVD-beschichtet, Härte 58 - 60 HRC



Bild 106: Werkzeug aus G60CrMoV10-7 (1.2320) vergütet auf 850 bis 1000 N/mm²

8.13.3 Stahlguss für Kunststoffformen

Für diesen Anwendungsbereich werden bevorzugt die Stahlgussorten G40CrMnMo7 (1.2310) sowie die bei den Warmarbeitsstählen bereits beschriebenen GX38CrMoV5-1 (1.2346) und GX40CrMoV5-1 (1.2348) eingesetzt. Üblicherweise werden diese Werkstoffe im vergüteten Zustand mit Zugfestigkeiten von 800 bis 1600 N/mm² je nach Beanspruchung verwendet. Wichtige Forderungen, die von diesen Werkstoffen erfüllt werden, sind gute Polierbarkeit, Ätz- und Narbungsfähigkeit.

Die Sorte G40CrMnMo7 (1.2310) ist ein bewährter, niedriglegierter Werkstoff guter Polier- und Zerspanbarkeit. Üblicherweise wird er im vergüteten Zustand geliefert, wobei eine Zugfestigkeit von 800 bis 1050 N/mm² eingestellt wird. Diese Sorte findet Anwendung für Druckgießformen beim Leichtmetallguss, weiterhin für Niederhalter sowie für Anwendungen in der Kunststoffindustrie.

8.13.4 Wärmebehandlung von Stahlguss-Werkzeugen

Ein entscheidender Faktor für die Standzeit von Werkzeugen ist ihre Wärmebehandlung. Wird sie unsachgemäß vorgenommen, was vielfach auch auf Unkenntnis, fehlende Zeit oder fehlende Einrichtungen zurückzuführen ist, wird der frühzeitige Ausfall schon vorprogrammiert. Die Wärmebehandlung ist abhängig von der chemischen Zusammensetzung des Werkstoffs und vom Querschnitt des Werkstücks. Genaue Angaben sind der jeweiligen Norm oder Richtlinie zu entnehmen.

Vor allem bei komplexen Werkzeugen empfiehlt es sich, zwischen dem Vor- und Fertigbearbeiten auf Schleifmaß ein Spannungsarmglühen durchzuführen. Um Verzug oder Rissbildung zu vermeiden, muss langsam und durchgreifend auf Austenitisierungstemperatur erwärmt werden, gegebenenfalls stufenweise. Nur bei richtiger Temperatur beziehungsweise ausreichender Haltedauer wird die optimale Härteannahme erreicht.

Das Abschrecken wird je nach Gusswerkstoff in Luft, Öl oder im Warmbad vorgenommen. Darüber hinaus hat sich das Härten in Vakuumöfen sehr bewährt, da hier reproduzierbar und vom Gussteil abhängig mit variablem Gas(N₂)-Druck abgeschreckt werden kann. Grundsätzlich sollte die Abschreckung nicht schroffer als notwendig erfolgen, um die Gefahr von Spannungsrissen und Verzug zu minimieren.

Besteht eine große Neigung zur Rissbildung, ist es beim Durchhärten üblich, dass das Abschrecken bei 70 bis 90 °C abgefangen und das Gussteil direkt zum Entspannen bei 120 bis 150 °C umgesetzt wird. Je nach Werkzeugquerschnitt ist bei dieser Temperatur ein Halten von 3 bis 6 Stunden erforderlich. Anschließend wird an Luft abgekühlt. Die sekundärhärtenden Gussorten GX38CrMoV5-1 (1.2346), GX40CrMoV5-1 (1.2348) GX155CrVMo12-1 (1.2382) und GX165CrMoV12 (1.2602) werden üblicherweise nach dem Abschrecken nicht erst entspannt, sondern gleich im Sekundärhärtebereich oberhalb von 500 °C angelassen.

Unmittelbar nach dem Härten und Entspannen muss angelassen werden. Damit werden einerseits die beim Abschrecken auftretenden Spannungen ausgeglichen, andererseits wird die Härte für den jeweiligen Verwendungszweck eingestellt.

Auch beim Anlassen muss langsam auf die vorgeschriebene Temperatur erwärmt und mehrstündig gehalten werden. Es kann notwendig sein, mehrmals anzulassen, um optimale Eigenschaften zu erreichen.

Weiterführende Informationen zu den modernen Werkzeugstählen werden in [23] gegeben.

Stahlguss-Werkstoffnormen

Normenübersicht

Die nachfolgenden Tabellen geben einen Überblick über die wichtigsten nationalen und internationalen Stahlguss-Werkstoffnormen (Stand: 2003). Zwischenzeitlich können einzelne Normen zurückgezogen oder auch neu aufgenommen worden sein. Daher wird empfohlen, die angegebenen Listen bei Bedarf anhand der angegebenen E-Mail-Adressen zu prüfen.

Zuordnung von Kennziffern zu den Werkstoffeigenschaften

Kennziffer	Bedeutung
1	Unlegierter Stahlguss
2	Gut schweißbarer Stahlguss mit hoher Zähigkeit
3	Vergütungsstahlguss
4	Warmfester Stahlguss
5	Kaltzäher Stahlguss
6	Hochfester, gut schweißbarer Stahlguss
7	Verschleißbeständiger Stahlguss
8	Werkzeugstahlguss
9	Stahlguss für Oberflächenhärtung
10	Nichtrostender Stahlguss
11	Hitzebeständiger Stahlguss
12	Nichtmagnetisierbarer Stahlguss
13	Legierungen auf Cobalt- oder Nickelbasis

Internationale Werkstoffnormen (ISO) (www.iso.ch)

Nummer	Titel	Kennziffer
ISO 3755	Cast carbon steels for general engineering purposes Stahlgussstücke für allgemeine Verwendungszwecke	1
ISO 9477	High strength cast steels for general engineering and structural purposes Hochfester Stahlguss für den allgemeinen Maschinen- und Stahlbau	1
ISO 14737	Cast non-alloy and low alloy steels for general application Unlegierter und niedrig legierter Stahlguss für allgemeine Verwendung	1
ISO 4991	Steel castings for pressure purposes Stahlguss für Druckbehälter	1, 10
ISO 11973	Heat-resistant cast steels and alloys for general applications Hitzebeständiger Stahlguss und Legierungen für allgemeine Verwendung	11
ISO 11972	Corrosion-resistant cast steels for general applications Korrosionsbeständiger Stahlguss für allgemeine Verwendung	10
ISO 13521	Austenitic manganese steel castings Austenitischer Manganstahlguss	7
ISO 13583-1	Centrifugally cast steel and alloy products – Part 1: General testing and tolerances Schleudergusserzeugnisse aus Stahl und Legierungen – Teil 1: Allgemeine Prüfung und Toleranzen	
ISO 13583-2	Centrifugally cast steel and alloy products – Part 2: Heat resistant alloys Schleudergusserzeugnisse aus Stahl und Legierungen – Teil 2: Hitzebeständige Legierungen	11
ISO 19960	Cast alloys with special physical properties Gusslegierungen mit besonderen physikalischen Eigenschaften	13

Europäische Werkstoffnormen (EN) (www.cenorm.be)

Nummer	Titel	Kennziffer
EN 10293	Stahlguss für allgemeine Anwendungen	1, 2, 3
...	Stahlguss für das Bauwesen	1, 10
EN 10213	Technische Lieferbedingungen für Stahlguss für Druckbehälter Teil 1: Allgemeines Teil 2: Stahlsorten für die Verwendung bei Raumtemperatur und erhöhten Temperaturen Teil 3: Stahlsorten für die Verwendung bei tiefen Temperaturen Teil 4: Austenitische und austenitisch-ferritische Stahlsorten	1, 10
EN 10295	Hitzebeständiger Stahlguss	11
EN 10283	Korrosionsbeständiger Stahlguss	10

Deutschland (www.din.de)

Nummer	Titel	Kennziffer
DIN 1681	Stahlguss für allgemeine Verwendungszwecke – Technische Lieferbedingungen	1
DIN 17182	Stahlsorten mit verbesserter Schweißbarkeit und Zähigkeit für allgemeine Verwendungszwecke – Technische Lieferbedingungen	2
SEW 520	Hochfester Stahlguss mit guter Schweißbarkeit – Technische Lieferbedingungen	6
DIN 17205	Vergütungsstahlguss für allgemeine Verwendungszwecke – Technische Lieferbedingungen	3
SEW 595	Stahlguss für Erdöl- und Erdgasanlagen	4, 10, 11, 13
SEW 410	Nichtrostender Stahlguss – Technische Lieferbedingungen	10
SEW 685	Kaltzäher Stahlguss – Technische Lieferbedingungen	5
SEW 395	Nichtmagnetisierbarer Stahlguss – Technische Lieferbedingungen	11, 13
SEW 835	Stahlguss für Flamm- und Induktionshärtung	9
VDG W 60	Feinguss-Werkstoffe	1-13

Informationen zu den nationalen Normen anderer Länder

Australien: www.standards.com.au
Belgien: www.ibn.be
Canada: www.scc.ca
Dänemark: www.ds.dk
Finnland: www.sfs.fi
Frankreich: www.afnor.fr
Großbritannien: www.bsi-global.com
Indien: www.bis.org.in
Italien: www.uni.com

Japan: www.jisc.org
Niederlande: www.nen.nl
Norwegen: www.standard.no
Österreich: www.on-norm.at
Schweden: www.sis.se
Schweiz: www.snv.ch
Spanien: www.aenor.es
Südafrika: www.sabs.co.za

ASTM- Nummer	Titel	Kennziffer
A 27M-95	Unlegierter Stahlguss für allgemeine Verwendungszwecke	1
A 128M-93	Austenitischer Manganstahlguss	7
A 148M-01	Hochfester Stahlguss für das Bauwesen	3
A 216M-93	Unlegierter, schweißbarer, warmfester Stahlguss	4
A 217M-02	Martensitischer, nichtrostender Stahlguss und legierter warmfester Stahlguss für Druckbehälter	4,10
A 297M-97	Hitzebeständige gegossene Stähle, Fe-Cr- und Fe-Cr-Ni-Legierungen für allgemeine Verwendung	11,13
A 351M-00	Austenitischer und Duplex-Stahlguss für Druckbehälter	10,11
A 352M-93	Kaltzäher Stahlguss (ferritisch, martensitisch) für Druckbehälter	5
A 356M-98	Dickwandiger unlegierter und legierter Stahlguss für Dampfturbinen	4
A 389M-93	Legierter warmfester Stahlguss mit bes. Wärmebehandlung für Druckbehälter	4
A 426M-02	Schleudergussrohre aus legiertem ferritischem warmfestem Stahl	4
A 447M-93	Warmfester Cr-Ni-Stahlguss	4,11
A 451M-02	Schleudergussrohre aus austenitischem warmfestem Stahl	4,10
A 487M-93	Stahlguss für Druckbehälter	1,3,4, 10,11
A 583-93	Stahlguss für Eisenbahnräder	1,7
A 597-87	Gegossene Werkzeugstähle	7
A 608-91	Schleudergussrohre aus hochwarmfesten, hochlegierten Fe-Cr-Ni-Legierungen	11,13
A 660-96	Unlegierter warmfester Stahlguss für Schleudergussrohre	4
A 743M-98	Korrosionsbeständige Fe-Cr-, Fe-Cr-Ni-Legierungen für allgemeine Verwendung	10,13
A 744M-00	Hitzebeständige Fe-Cr-Ni-Legierungen für hohe Beanspruchungen	11,13
A 747M-99	Ausscheidungshärtender nichtrostender Stahlguss	10
A 757M-00	Kaltzäher ferritischer und martensitischer Stahlguss für Druckbehälter und andere Verwendung	5
A 995-98	austenitisch-ferritischer korrosionsbeständiger Stahlguss für Druckbehälter	10
A 990-00	Eisen-Nickel-Chrom- und Nickel-Legierungen, spezielle Kontrollen für Druck dichte Gussteile	13

Technische Lieferbedingungen

Für die technischen Lieferbedingungen sind die folgenden, gültigen Normen anzuwenden. Zurückgezogene Normen sind nicht mehr aufgeführt.

Inhalt	Deutsche Norm (DIN)	Europäische Norm (EN)	Internationale Norm (ISO)
Technische Lieferbedingungen, Allgemeines	-	DIN EN 1559-1	ISO 4990
Technische Lieferbedingungen, Stahlguss	-	DIN EN 1559-2	-
Technische Lieferbedingungen, Feinguss	-	-	ISO 16468
Allgemeintoleranzen (Stahlguss)	DIN 1680-1 DIN 1683-1	-	DIN ISO 8062
Bezeichnungssystem	-	DIN EN 10027	ISO 4949

Prüfverfahren

Für die Prüfungen der mechanisch-technologischen Kennwerte sind die folgenden, gültigen Normen anzuwenden. Zurückgezogene Normen sind nicht mehr aufgeführt.

Allgemeine Prüfverfahren

Inhalt	Deutsche Norm (DIN)	Europäische Norm (EN)	Internationale Norm (ISO)
Zugversuch (RT)	-	DIN EN 10002-1	ISO 6892
Zugversuch (HT)	-	DIN EN 10002-5	ISO 783
Brinellhärte	-	-	DIN EN ISO 6506-1
Vickershärte	-	-	DIN EN ISO 6507-1
Rockwellhärte	-	-	DIN EN ISO 6507-1
Härte-Umwertung	DIN 50150	-	ISO 4964
Umrechnung Bruchdehnungswerte bei Stahl	-	-	DIN EN ISO 2566
Kerbschlagarbeit (Charpy-V)	DIN 50115	DIN EN 10045-1	ISO 148
Umlaufbiegeversuch	DIN 50113	-	-
Zeitstandversuch Zug	-	DIN EN 10291	-
Innendruckversuch	DIN 50104	-	-

Spezielle Prüfverfahren

Prüfverfahren	Deutsche Norm (DIN, SEP)	Europäische Norm (EN)	Internationale Norm (ISO)
Oberflächenbeschaffenheit	-	DIN EN 1370 DIN EN 12454	ISO 11971
Magnetpulverprüfung	SEP 1935	prEN ISO 9934-1 (Allg.) DIN EN 1369	ISO 4986
Farbeindringprüfung	SEP 1936	DIN EN 571-1 (Allg.) DIN EN 1371-1 DIN EN 1371-2	ISO 4987
Ultraschallprüfung	-	DIN EN 583-1 (Allg.) DIN EN 12680-1 DIN EN 12680-2	ISO/WD 4992
Durchstrahlungsprüfung	-	DIN EN 444 (Allg.) DIN EN 12681	ISO 4993

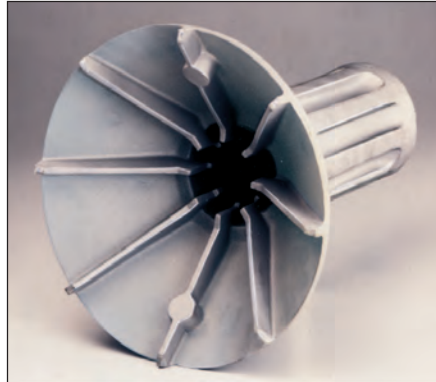
Stahlguss in Anwendung



Knethälften für den Chemieanlagenbau aus GX6CrNi18-9 mit Stückgewichten von 1250 bis 1500 kg



Zentrifugentrommel aus GX2CrNiMoN17-13-4, Masse 500 kg



Verteiler für Milchzentrifugen aus GX6CrNi18-9, Masse 28 kg, Abmessungen Dmr. 270 x 360 mm



Auflöseräder für die Papierindustrie der Abmessungen 300 bis 2000 mm, Masse von 30 bis 2000 kg, Werkstoff: GX5CrNiMoNb19-11-2



Mahlkörper für die Stoffaufbereitung in der Papierindustrie aus GX20CrMo13, Masse 65 kg, Abmessungen Dmr. 345 x 490 mm



Schwinghebel für Mühlen aus GE240, Masse 13,1 t, Abmessungen 3,56 x 2,02 x 1,67 m

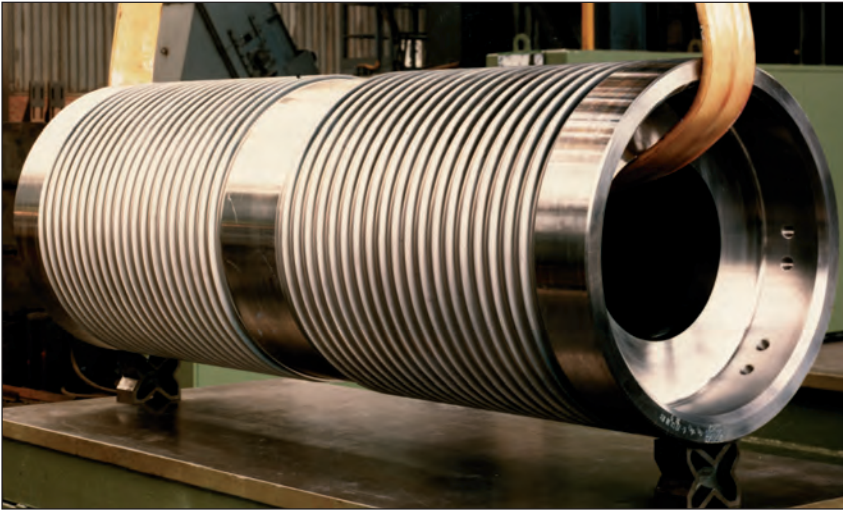


Hohlgegossener Knetflügel für ein Mischaggregat aus GX5CrNiMoNb19-11-2 (links)

Segmente für Brikkettieranlagen in der Erzaufbereitung aus GX120W-MoCrV6-5-4-3 (rechts)



Stahlguss in Anwendung



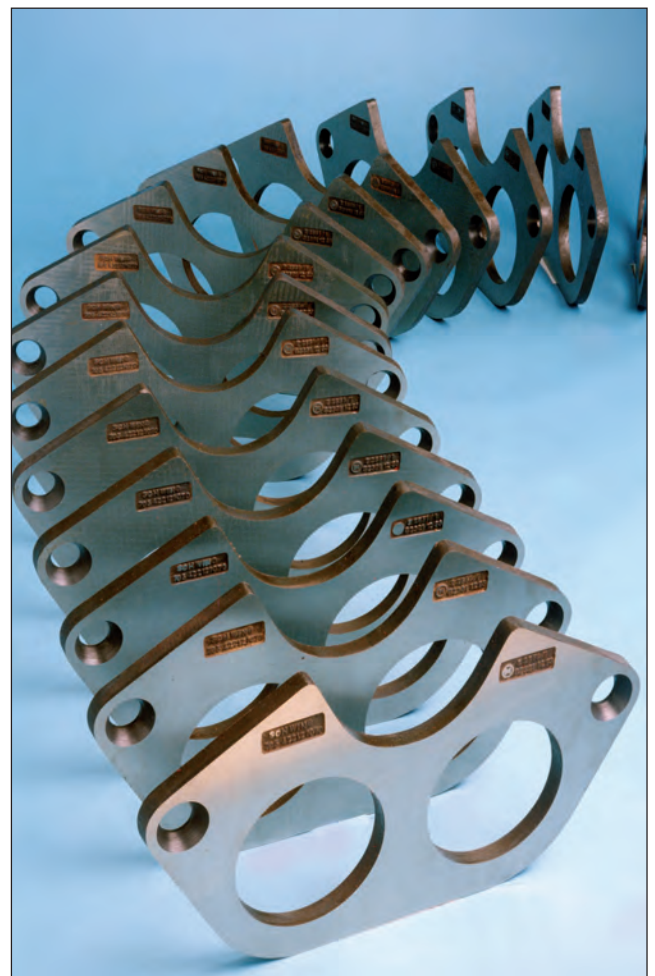
Seiltrommel für den Einsatz unter extremen Bedingungen aus GX7CrNiNb18-9, Masse 2080 kg



Planetenträger eines Antriebs für Zuckerrohrmühlen auf Mauritius aus G20MnMoNi5-5, Masse 3,8 t



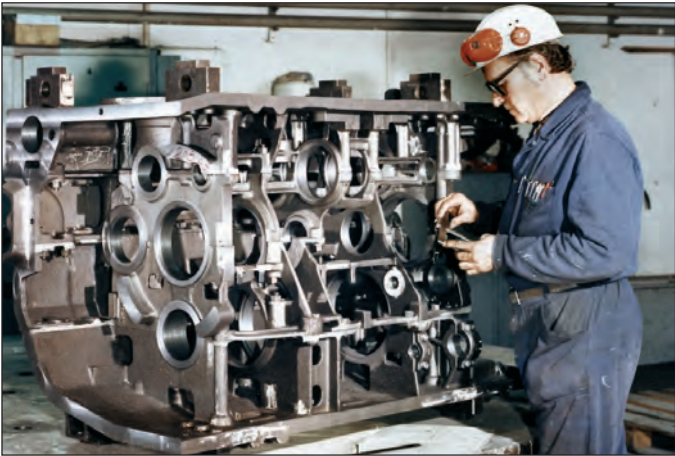
Kutterschüsseln für die Lebensmittelindustrie aus GX40CrNi27-4, Masse 200 bis 600 kg



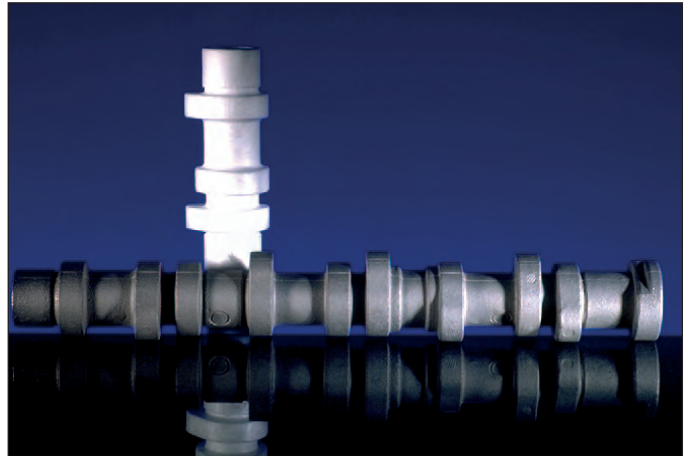
Gehäuseauskleidung für Betonmischer aus GX180CrMoCo14-1-1, Masse 15 kg (oben)

Flügel für Mischanlage aus GX2CrNiMo19-11-2, Stückmasse 5 kg (links)

Stahlguss in Anwendung



Getriebegehäuse, aus mehreren Stahlgussteilen zusammen geschweißt, aus G20Mn5



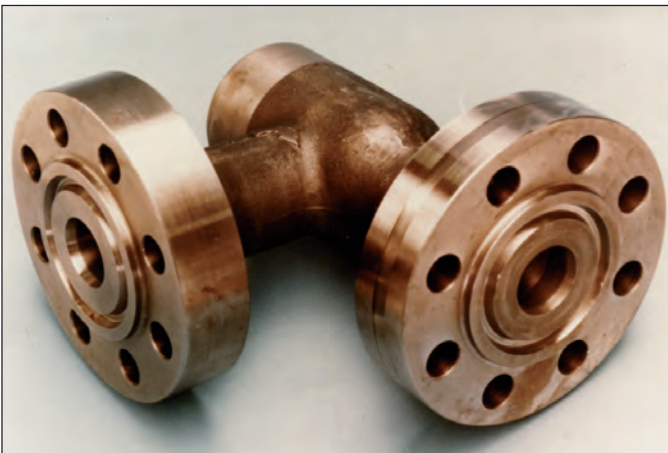
Im Lost-Foam-Verfahren gefertigte hohl gegossene Nockenwelle mit reduzierter Wanddicke aus G100Cr6, Masse 2,1 kg, Dmr. 50 x 360 mm



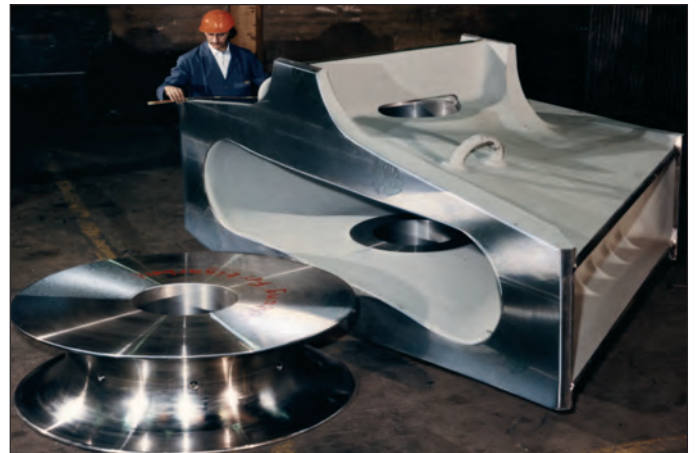
Komponenten für den Bau von Offshore-Plattformen aus G13MnNi6-4 im Massebereich von 10,5 bis 12,4 t (links)



Knoten für eine Offshore-Plattform aus G13CrNi6-4, Masse 4,5 t (rechts)

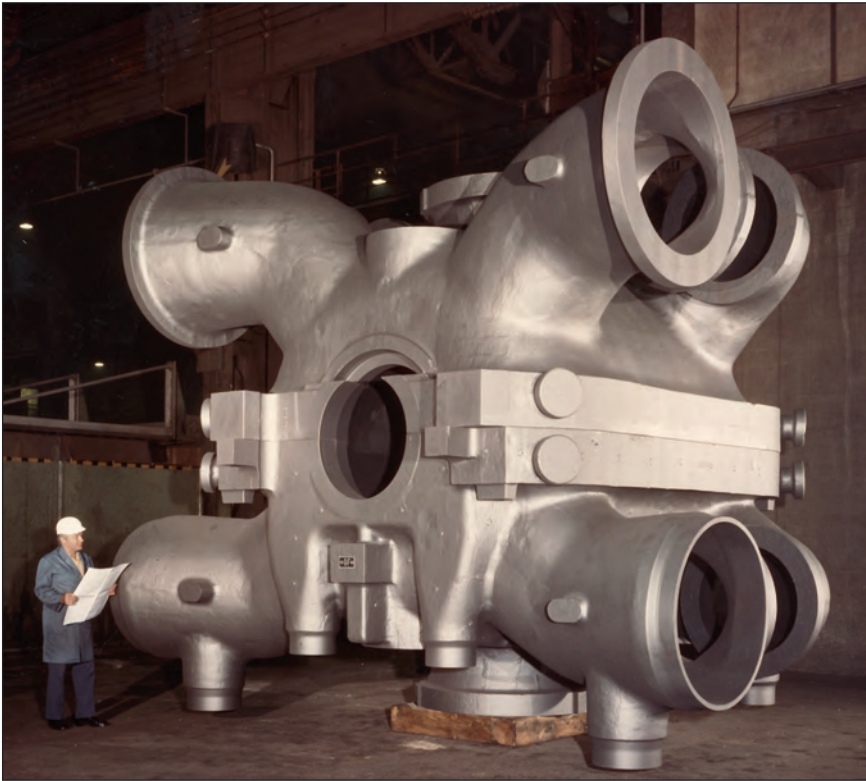


Eckventil aus GX3CrNiMoCuN26-6-3 zum Einsatz für Sauer gas auf einer Offshore-Plattform



Hebeknoten und zugehörige Seilumlenscheibe für eine Ölförderplattform aus G32NiCrMo8-4-6, Gesamtmasse 140 kg

Stahlguss in Anwendung



Außengehäuse bestehend aus Ober- und Unterteil einer Dampfturbine aus G18CrMo9-10



Absperrklappe für eine Dampfleitung aus warmfesten Vergütungsstahl der Abmessungen Dmr. 1080 x 340 mm, Masse 745 kg



HD-Außengehäuse für eine Dampfturbine aus G17CrMoV5-11, Masse 85 t



Ober -und Unterteil einer Dampfturbine aus G17CrMo5-5, Masse etwa 90 t



Ventilgehäuse für Dampfturbine aus G17CrMoV5-11, Masse 14,2 t

Stahlguss in Anwendung



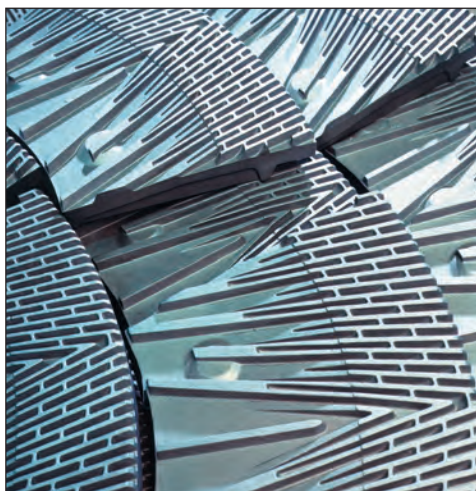
Shredderhämmer aus NiCrMoV-legiertem Vergütungsstahl
Masse 80 bis 185 kg



Mahlring (Dmr. 2860 mm, Masse 7,5 t) und Mahlkugeln (Dmr. 1000 mm, Stückmasse 2570 kg) für eine Kohlemühle aus G40CrNiMoV7-6



Prallschwinge für einen Brecher aus GX120Mn12, Masse 18 t, Abmessungen 3,3 x 2,8 x 0,94 m



Hoch verschleißbeständige Mahlsegmente aus Maskenformguss, Werkstoff: GX350CrMo20-2, Masse etwa 20 kg



Baggereimer für einen Schwimmbagger mit einem Durchmesser von 1,7 m aus G50MnCr4-4,



Gebogenes Schleudergussrohr für Streamcracker aus GX40NiCrSiNb35-25



Innenprofiliertes Schleudergussrohr für den Einsatz in Streamcrackern aus GX40NiCrSiNb35-25

Stahlguss in Anwendung



Stahlbaukonstruktion am Tagungszentrum Hannover mit gegossenen Knotenteilen (Teilbilder rechts) aus G20Mn5, normalisiert
Kapitell-Aufsatz mit Pylonanschluss aus G20Mn5 N, Dmr. 1,78 m, Masse 4 t (rechts oben)
Kapitell-Aufsatz aus G20Mn5 N, Dmr. 1,54 m, Masse 2,05 t (rechts unten)



Gussknoten aus G20Mn5 N für die Stahlkonstruktion in baumähnlicher Bionikausführung am Stuttgarter Flughafen; diese 2,3 t schweren Gussteile bilden die Grundebene, die die gesamte Stahlkonstruktion hält

Francis-Laufrad aus GX25CrNiSi20-14, etwa 1,2 t schwer

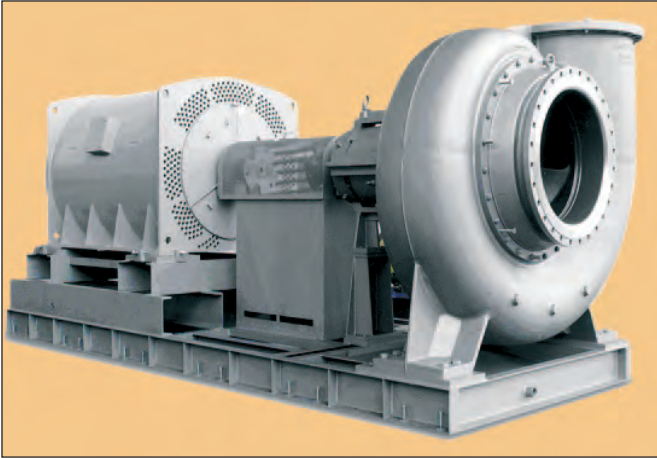
Stahlschleudergussrohre und Kragarme aus G22CrMnMo4-4 tragen die Außenkonstruktion des „Centre Pompidou“ in Paris



Plattenteile für Schnellbau-Fahrbahnen und -straßen für höhere Belastungsfälle sind Gussteile aus GE260, Stückmasse 25 kg, Dmr. 620 mm

Die Deckenteile für die Gelsenkirchener U-Bahn bestehen aus G16Mn4-Elementen, die durch Konstruktionsschweißen miteinander verbunden sind

Stahlguss in Anwendung



Gehäuse aus hochlegiertem Stahlguss finden wegen ihrer guten mechanischen Eigenschaften und hohen Beständigkeit gegen diverse Medien für Pumpen und Armaturen bevorzugt Anwendungen.



Armaturengehäuse für ein Kernkraftwerk aus GX5CrNiNb18-9



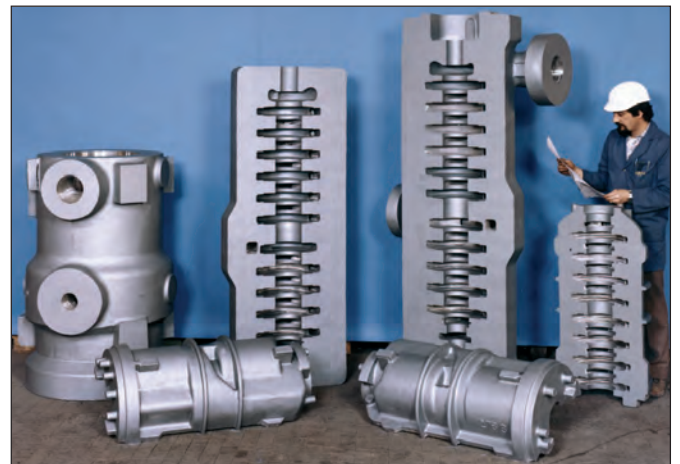
Pumpengehäuse aus GX6CrNiMo18-10, Stückmasse 250 kg



Pumpengehäuse aus GX5CrNiMo19-11-2, Stückmasse 25 kg

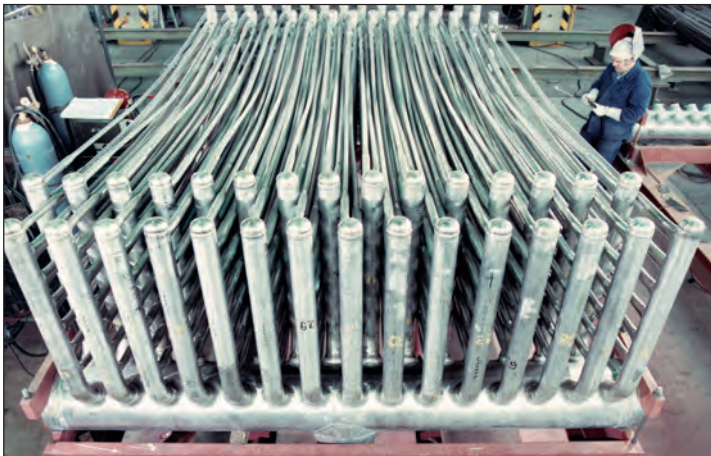


Pumpenlaufräder aus weichmartensitischem bzw. austenitischem Stahlguss im Massebereich von 160 bis 1050 kg



Gehäuse für Barrel- und Mehrstufenpumpen aus GX2NiCrMo25-20-5 mit Stückmassen von 1 bis 3 t

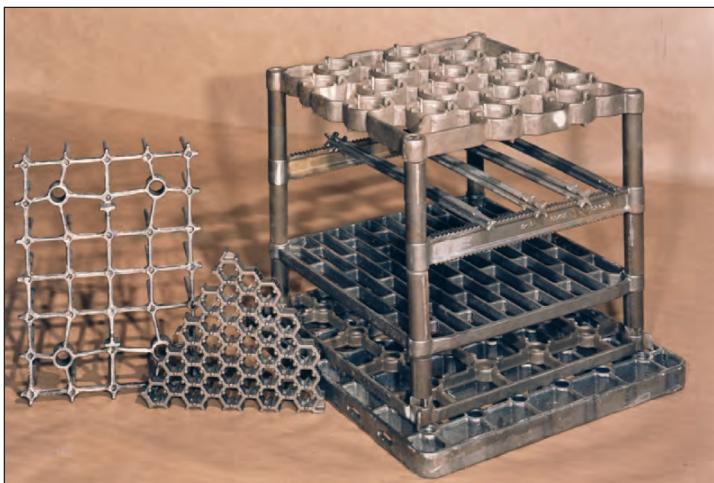
Stahlguss in Anwendung



Ethylenofen mit Schleudergussteilen aus dem Werkstoff GX40NiCrSiNb35-25



Coilsystem aus Form- und Schleuderguss, Werkstoff: GX40NiCrSiNb35-25



Roste und Chargiervorrichtung aus verschiedenen hitzebeständigen Stahlgussorten



Chargiervorrichtung für Industrieöfen aus GX12NiCr36-18

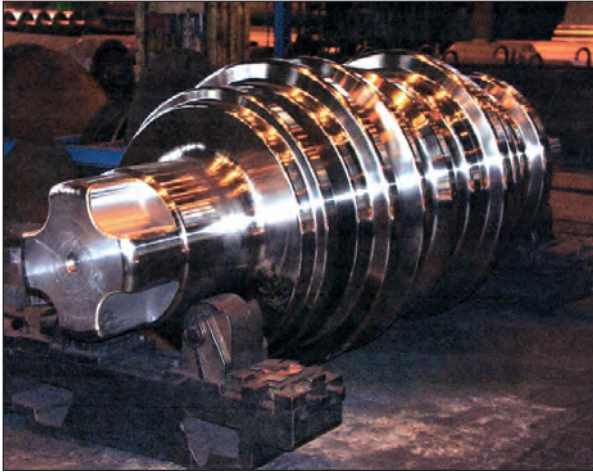


Segmente für Rekuperatoren, die zu kompletten Strahlheizrohren für Industrieöfen verschweißt werden, aus GX40CrNiSi22-9, Segmentmasse 7,5 kg

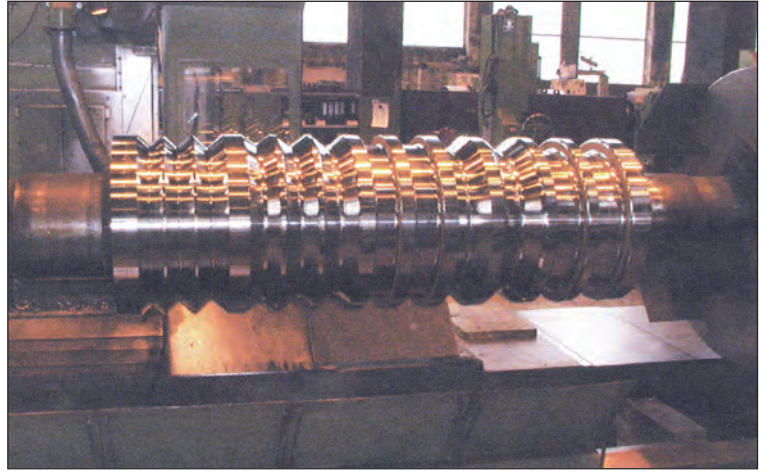


Feingegossene Brennerköpfe und Katalysatorroste aus GX25CrNiSi20-14

Stahlguss in Anwendung



Eine Schienenwalze aus bainitischem Stahlguss hat sehr hohe Festigkeitseigenschaften von $> 1000 \text{ N/mm}^2$



Gusswalzen aus unter- und übereutektoidem Stahlguss kommen in der Umformtechnik zum Einsatz



Walzenringe aus perlitischem Stahlguss erzielen durch eingelagerte Carbide hohe Festigkeitswerte



Umlenkrollen für Verzinkungsanlagen aus GX40CrNiSi22-9

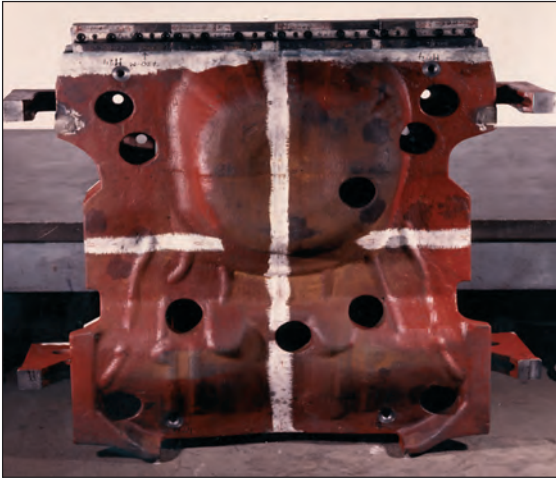


Rollenkörper für Transportbänder aus GX165CrMoV12, Masse 90 kg



Walzarmaturen aus verschiedenen hoch verschleißbeständigen Stahlguss-sorten

Stahlguss in Anwendung



Prägewerkzeug für einen Pkw-Kofferaumboden aus G45CrNiMo4-2, Masse 1,6 t, Abmessungen 1,0 x 1,3 m



Prägewerkzeug für ein Pkw-Seitenteil aus G45CrNiMo4-2, Masse 8 t, Abmessungen 3,0 x 1,8 x 0,8 m



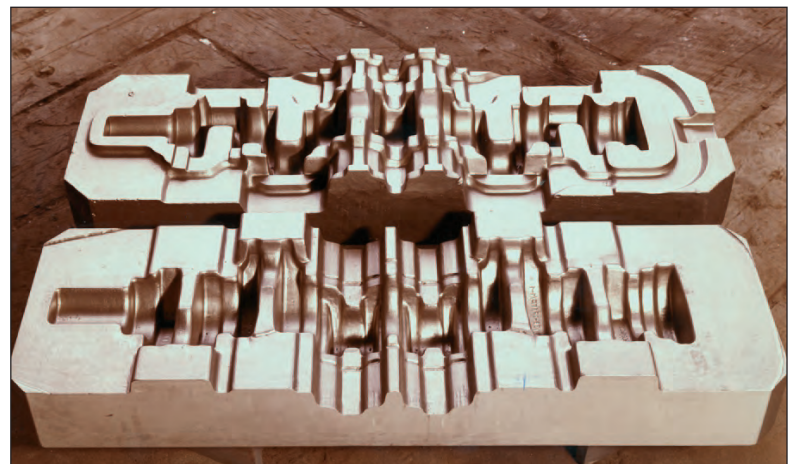
Ober- und Unterteil eines Vorpresswerkzeuges zum Herstellen von Pkw-Achsschenkeln



Blechumformwerkzeuggussteile aus verschiedenen hoch verschleißbeständigen Stahlgussorten für den Automobilbau im Massebereich von 100 bis 5000 kg



Gesteinsbohrkopf aus hoch verschleißbeständigem Vergütungsstahlguss, Masse 38 kg, Abmessungen Dmr. 350 x 250 mm



Ober- und Unterteil von einem Schmiedegesenk zum Herstellen von Kurbelwellen aus GX40CrMoV5-3, Stückmasse zwischen 310 und 345 kg, Abmessungen des Gesenkes 1020 x 320 x 160 mm

Stahlguss in Anwendung



Produktverteiler - ursprünglich eine Schweißkonstruktion, jetzt ein Stahlgussstück aus dem Duplexstahl GX2CrNiMoN22-5 im Keramikformverfahren gefertigt



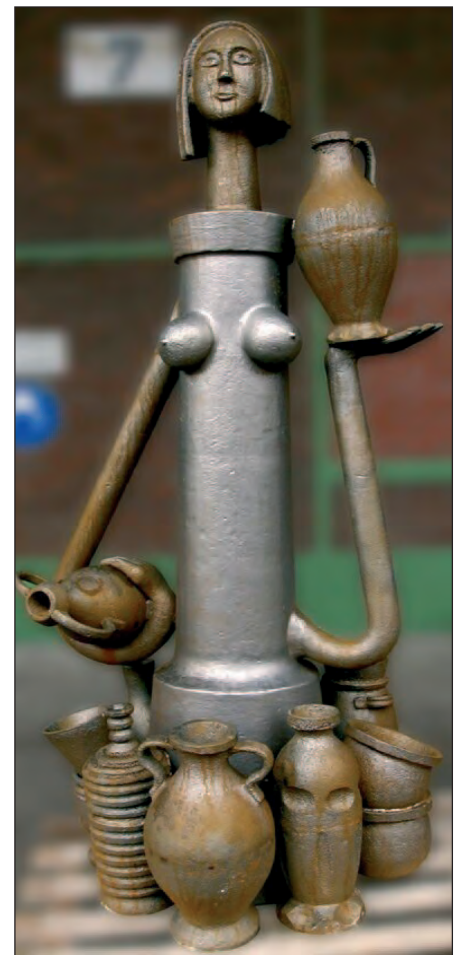
„Der Grande Splash“, eine Gussplastik aus Edelstahl von Horst Gläser



Lüfterschaufeln aus Feinguss, Werkstoff: NiCr23Mo16 DI, Stückmasse 85 kg

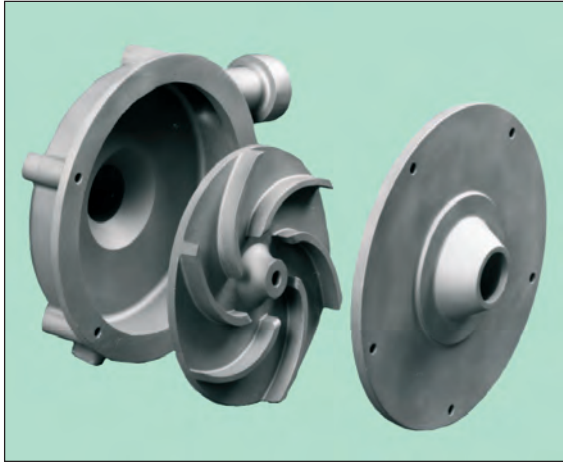


Stahlgussplastik „Burda-Rose“ aus G20Mn5 N von Isa Genzken, die an mehreren Standorten steht (hier der Erstguss in Baden-Baden); Masse 1,4 t, Höhe 8 m

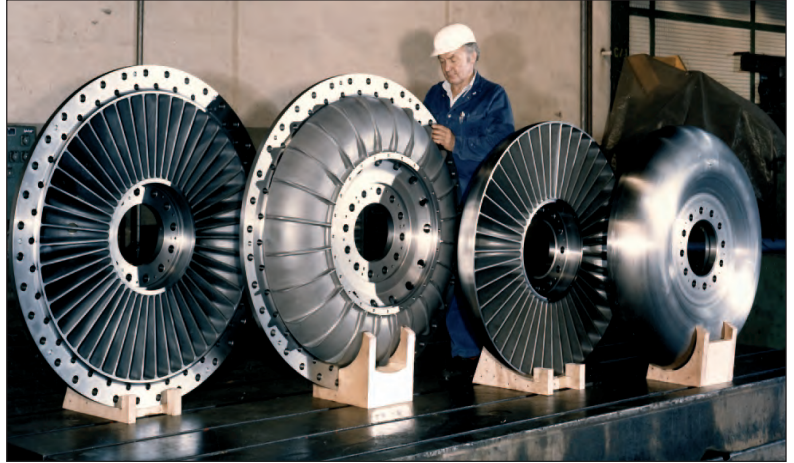


Stahlgussplastik für den Brunnen von Langwehe aus Edelstahl, Masse 1,5 t, Höhe der Figur 2 m

Stahlguss in Anwendung



Gehäuse, Laufrad und Deckel einer Spiralpumpe aus korrosionsbeständigem Edelstahlguss (GX5CrNiMoNb19-11-2)



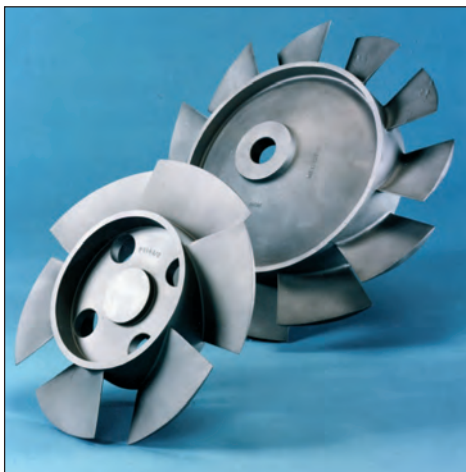
Laufräder für Flüssigkeitskupplung von Kernkraftwerken aus unlegiertem Baustahl E295 mit Massen von 690 bis 420 kg und Dmr. von 1162 bis 1372 mm



Filterplatten für Entsorgungsanlagen aus GX3CrNiMoN26-6-3 der Abmessungen 1,62 x 1,28 m



Schwinggabeln für die Flüssigkeitsmessung aus chemisch beständigem Stahlguss



Lüfterräder für Großmotoren aus Stahlfeinguss, Werkstoff GX5CrNiMo16-5, Masse etwa 14 kg (links)



Knetarm für die Lebensmittelindustrie aus Feinguss, Werkstoff GX8CrNiMo27-5, Masse 28 kg, Abmessungen 480 x 870 mm (Mitte)



Schiffspropeller aus Korrosion und Seewasser beständigem Stahlguss in diversen Ausführungen (rechts)

Stahlguss in Anwendung



Gehäuse für Zellenradschleudern zum Dosieren von Feststoffen aus GX6CrNiMo18-10



Laufräder aus hoch verschleißbeständigem Stahlguss für Nassbagger-pumpen mit bis 1750 mm Dmr.



Primär- und Sekundärräder aus Vergütungsstahl für hydrodynamische Kupplungen, Abmessungen Dmr. 680 mm



Drillhaken für eine Verpackungsmaschine aus Vergütungsstahlguss G42CrMo4, Masse 1,6 kg; Abmessungen 20 x 120 x 120 mm, 4 bis 25 mm Wanddicke. Das im Lost-Foam-Verfahren hergestellte einteilige Gussteil (Bild unten rechts) ersetzt eine Schweiß-konstruktion (Bild unten links) aus vier Fügeteilen (Bild oben) unter Einsparung von Montageaufwand und einem Großteil der Bearbeitung.

Schrifttum

- [1] Rosch, R. und K. Zimmermann: Stahlguss, Verlag Stahleisen GmbH Düsseldorf 1982.
- [2] Richter, R.: Form- und gießgerechtes Konstruieren. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig 1978.
- [3] Bode, K.-H.: Konstruktionsatlas. Verlag Hoppenstedt & Co. Darmstadt/Haalem/Wien/Zürich 1988.
- [4] Werning, H.: Gießgerechtes Konstruieren. Sonderdruck aus "konstruieren + giessen", Herausgeber: Zentrale für Gussverwendung im Deutschen Gießereiverband DGV Düsseldorf.
- [5] Steinbauer, G.: Richtig Guss bestellen – bei der Konstruktion fängt es an. Sonderdruck aus "konstruieren + giessen", Herausgeber: Zentrale für Gussverwendung im Deutschen Gießereiverband DGV Düsseldorf.
- [6] Hänel, B. und Th. Schmidt: Festigkeitsnachweis nach der FKM-Richtlinie. Sonderdruck aus "konstruieren + giessen", Herausgeber: Zentrale für Gussverwendung im Deutschen Gießereiverband DGV Düsseldorf.
- [7] Konstruieren wie die Natur – Gussteile wachsen wie Bäume und Knochen. Sonderdruck aus "konstruieren + giessen", Herausgeber: Zentrale für Gussverwendung im Deutschen Gießereiverband DGV Düsseldorf.
- [8] Gosch, R.: Virtuelle Produktentstehung und die Rolle des Gießers. konstruieren + giessen 28 (2003) Nr. 3, S. 2 – 4.
- [9] du Maire, E.: Die Gießerei als Entwicklungspartner – Wertschöpfung auf kreativen Wegen. konstruieren + giessen 26 (2001) Nr. 3, S. 18 – 25.
- [10] Herfurth, K., N. Ketscher und M. Köhler: Gießereitechnik kompakt – Werkstoffe, Verfahren, Anwendung. Herausgeber: Verein Deutscher Gießereifachleute VDG, Gießerei-Verlag Düsseldorf 2003.
- [11] VDG-Merkblatt P 690. Feinguss – Maßtoleranzen, Oberflächen, Bearbeitungs-
- zugabe. Herausgeber: Verein Deutscher Gießereifachleute VDG, Düsseldorf.
- [12] Feinguss für alle Industriebereiche. Sonderdruck aus "konstruieren + giessen", Herausgeber: Zentrale für Gussverwendung im Deutschen Gießereiverband DGV Düsseldorf.
- [13] Christianus, D. und K. Herfurth: Prüfung der Oberflächenrauheit mit Hilfe von Vergleichsmustern – DIN EN 1370/Visuelle Bestimmung von Oberflächenfehlern an Stahl-Sandgussstücken – DIN EN 12 454. Sonderdruck aus "konstruieren + giessen", Herausgeber: Zentrale für Gussverwendung im Deutschen Gießereiverband DGV Düsseldorf.
- [14] Christianus, D. und K. Herfurth: Europäische Normung: Magnetpulverprüfung und Eindringprüfung. Sonderdruck aus "konstruieren + giessen", Herausgeber: Zentrale für Gussverwendung im Deutschen Gießereiverband DGV Düsseldorf.
- [15] Das Krautkrämer Taschenbuch, 3. Auflage, herausgeber: Krautkrämer GmbH, Hürth 1994.
- [16] Henke, P. und D. B. Wolters: Fehlervergleichskatalog für die Bewertung von Durchstrahlungsprüfungen. konstruieren + giessen 27 (2002) Nr. 4, S. 20 – 26.
- [17] DIN EN 9001, Ausgabe 2000. Beuth-Verlag Berlin.
- [18] Ergebnisse deutscher Zeitstandversuche langer Dauer nach DIN 17245 - Warmfester ferritischer Stahlguss. Hrsg.: Forschungsvereinigung warmfester Stähle und Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen, Bericht Nr. 1/86, VDEh, Düsseldorf, 1986.
- [19] Kjaer, S., F. Klauke, R. Vanstone, A. Zeijseink, G. Weissinger, P. Kristensen, J. Meier, R. Blum und K. Wieghardt: The advanced Super Critical 700°C Pulverised coal-fired power plant. Proceedings VGB Congress Power Plants 2001, Brüssel 2001.
- [20] Mayer, K. H., R. Hanus, T. Kern, M. Stäubli und D.V. Thornton: COST 501/522 Ultra Efficient low Emission Power Plants, Work Package Steam Power Plant, Subgroup Cast Steel. High temperature cast components for advanced steam power plants. Proceedings 6th Conference Materials for Advanced Power Engineering, 5.-7.10.1998, Liege.
- [21] Hanus, R., K.-H. Schönfeld und H. Wagner: Transformation of knowledge and technology from research and development to the commercial production of heavy steel castings and forgings for power engineering, made of advanced creep resistant steels. Proceedings Parsons 2000 Conference, 3. - 7.7.2000, Cambridge.
- [22] Mayer, K. H.: Worldwide development of new 9-12%Cr steels for advanced power stations 28. MPA-Seminar 10.-11.10.2002, Stuttgart.
- [23] Oldewurtel, A.: Werkzeugwerkstoffe für Großwerkzeuge – Herstellung, Eigenschaften und Anwendung. konstruieren + giessen 28 (2003) Nr. 1, S. 23 – 32.
- [24] Oldewurtel, A.: Für Großwerkzeuge: gegossene Werkzeuge und deren Verarbeitung. konstruieren + giessen 25 (2000) Nr. 1, S. 4 - 18.
- [25] Oldewurtel, A.: Sonderwerkstoff DE-GP3M - Neue Stahlgussorte für den Großwerkzeugbau. konstruieren + giessen 22 (1997) Nr. 4, S. 4 - 8.
- [26] Oldewurtel, A. und C. Escher: GP4M - Die neue Werkstoffgeneration im Großwerkzeugbau. Der Schnitt- & Stanzwerkzeugbau (2003) Nr. 1, S. 58 - 62 und Nr. 2, S. 28 - 31.
- [27] Oldewurtel, A., und K. Kohlgrüber: Schweißen von Werkzeugwerkstoffen im Großwerkzeugbau. Der Schnitt- & Stanzwerkzeugbau (2002) Nr. 5, S. 22 - 28 und Nr. 6, S. 132 - 140.

Bildnachweis

Titelfotos:

Schmolz + Bickenbach Guss, Krefeld
Edgar Schoepal

Bildarchiv des Bundesverbandes
der Deutschen Gießerei-Industrie (BDG)

Dörrenberg, Engelskirchen

Friedrich-Wilhelms-Hütte, Mülheim an der Ruhr

Georg Fischer, Schaffhausen

Gussstahl Lienen

KSB, Pegnitz

Lohmann, Witten

PHB, St. Ingbert-Rohrbach

Pleißner, Herzberg

Schmees, Langenfeld

Schmidt + Clemens, Lindlar

Tweer, Bielefeld-Sennestadt

Voest Alpine, Linz



**Bundesverband
der Deutschen
Gießerei-Industrie (BDG)**

Sohnstraße 70
40237 Düsseldorf
Internet: www.bdguss.de

Telefon: +49 (0)2 11/68 71-0
Telefax: +49 (0)2 11/68 71-3 6 1
E-mail: infozentrum@bdguss.de