



# 2

## Der Werkstoff duktiles Gusseisen

- 2.1 Allgemeines
- 2.2 Gefügebau
- 2.3 Technologische Eigenschaften
- 2.4 Literatur

## 2 Der Werkstoff duktiles Gusseisen

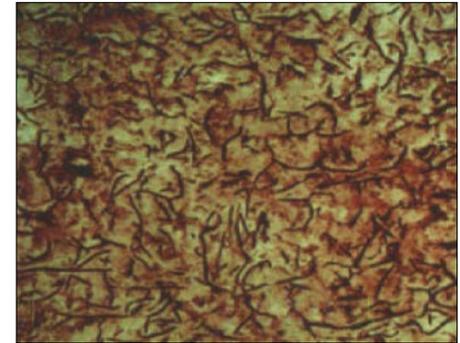
Im Gegensatz zu Grauguss, dessen freier Grafit in Lamellenform vorliegt, weist der freie Grafit im duktilen (verformungsfähigen) Gusseisen eine kugelige Form auf (Kugelgrafit). Diese Grafitform fördert die Dehnbarkeit des Gusseisens und erhöht seine Eigenfestigkeit. Erst in den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts begann die industrielle Erzeugung von Gusseisen-Rohren mit Kugelgrafit (duktiler Gussrohre).

### 2.1 Allgemeines

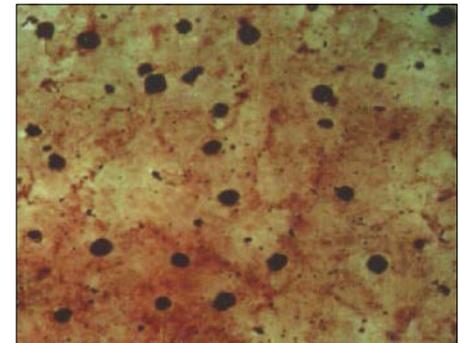
Duktiles Gusseisen ist ein plastisch verformbarer und zäher Eisen-Kohlenstoff-Werkstoff, dessen Kohlenstoffanteil überwiegend als elementarer kugelförmiger Grafit vorliegt. Vom Grauguss unterscheidet er sich hauptsächlich durch die Gestalt der Grafitteilchen. Das Wort duktil leitet sich vom lateinischen „ducere“ = verformen (ductus = führen) ab und bedeutet verformbar. In statischen Berechnungen werden Rohre aus duktilem Gusseisen deswegen als biege- weiche oder flexible Rohre betrachtet.

Bei seiner Verwendung für Rohre, Formstücke und Zubehör wird der Werkstoff als duktiles Gusseisen bezeichnet. Seine mechanisch-technologischen Eigenschaften sind in der Norm EN 545 [2.1] beschrieben. Beim Einsatz in Gehäusen für Armaturen heißt er, wie im Maschinenbau allgemein üblich, Gusseisen mit Kugelgrafit, dessen Eigenschaften in der Norm EN 1563 [2.2] fixiert sind. Beide Normen werden in unterschiedlichen technischen Normungskomitees bearbeitet.

Beim Grauguss (**Bild 2.1**) setzen die Grafitlamellen wegen ihres Kerbeffekts die relativ hohe Festigkeit des Grundgefüges herab, wobei sie seine Bruchdehnung unter 1 % sinken lassen.



**Bild 2.1:**  
Gusseisen mit Lamellengrafit (Grauguss)

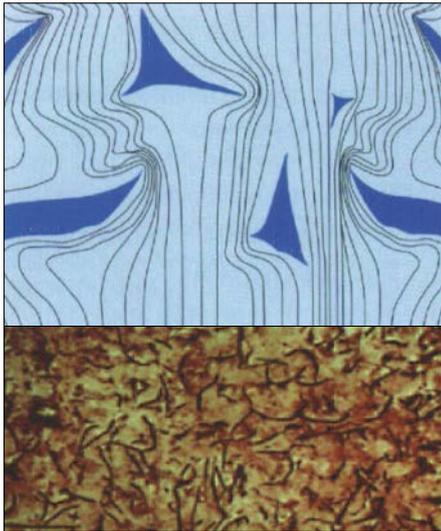


**Bild 2.2:**  
Gusseisen mit Kugelgrafit (duktiles Gusseisen)

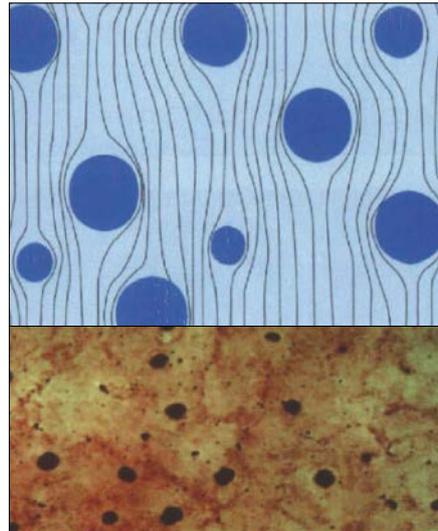
Im duktilen Gusseisen bzw. Gusseisen mit Kugelgraphit ist der Graphit kugelig ausgebildet (**Bild 2.2**). Sphärolite (kugeliges Mineralgebilde) beeinflussen die Eigenschaften des metallischen Grundgefüges deutlich weniger als Lamellen. Während beim Gusseisen mit Lamellen-

graphit (**Bild 2.3**) die Spannungslinien an den Spitzen der Graphitlamellen stark verdichtet sind, umfließen sie den in Kugelform ausgeschiedenen Graphit fast ungestört (**Bild 2.4**). Aus diesem Grunde lässt sich duktiles Gusseisen unter Last verformen.

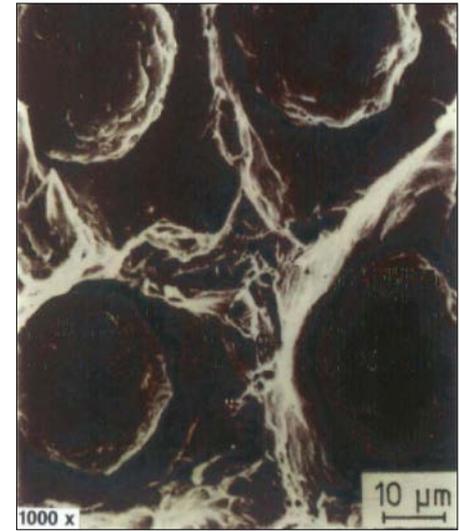
Damit bei der Erstarrung der Kohlenstoff in weitgehend kugelig Form kristallisiert, muss das flüssige Eisen mit Magnesium behandelt werden. Die Folge ist eine erhebliche Steigerung von Festigkeit und Verformbarkeit im Vergleich zum Grauguss.



**Bild 2.3:**  
Verlauf der Spannungslinien bei Gusseisen mit Lamellengrafit



**Bild 2.4:**  
Verlauf der Spannungslinien bei Gusseisen mit Kugelgraphit



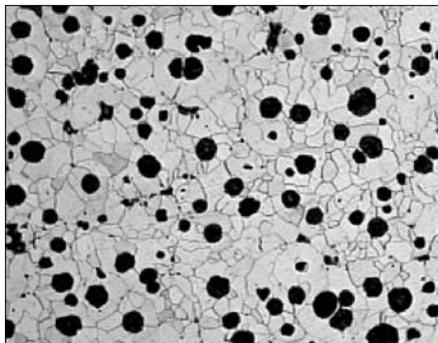
**Bild 2.5:**  
Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Graphitkugeln

**Bild 2.5** zeigt Grafitkugeln auf der Bruchfläche einer Probe aus duktilem Gusseisen. Die Größe der Grafitkugeln liegt im Bereich zwischen 0,01 mm und 0,5 mm.

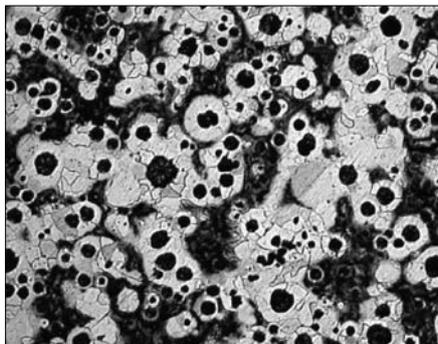
## 2.2 Gefügeaufbau

Entsprechend der maßgebenden Normen EN 545 [2.1] und EN 598 [2.3] muss der als Grafit vorliegende Kohlenstoffanteil überwiegend kugelige Form haben, damit die Werkstücke die geforderten Eigenschaften bekommen.

Das Grundgefüge der Rohre soll vorwiegend ferritisch sein (**Bild 2.6**), da der Ferrit bei niedrigster Härte zu höchsten Dehnungswerten führt. Formstücke, Armaturengehäuse und Zubehörteile werden in Sandformen erzeugt und besitzen ein ferritisch-perlitisches Gefüge. Sie bedürfen keiner zusätzlichen Wärmebehandlung (**Bild 2.7**).



**Bild 2.6:**  
Ferritisches Gefüge



**Bild 2.7:**  
Ferritisch-perlitisches Gefüge

## 2.3 Technologische Eigenschaften

### 2.3.1 Werkstoffkennwerte

Entsprechend den Normen EN 545 [2.1] und EN 598 [2.3] sind Zugfestigkeit und Bruchdehnung mittels runder Probe­stäbe zu prüfen. Weiterhin ist die Härte des Materials zu bestimmen. Sie ist nach oben begrenzt, um eine spanende Bearbeitung z. B. bei Flanschen, zu ermöglichen. Im Bereich der Wärmeeinflusszone von Schweißnähten sind höhere Härten zulässig (**Kapitel 18**).

Die genormten Werte für die mechanisch-technologischen Eigenschaften der Werkstoffe duktiles Gusseisen und Gusseisen mit Kugelgrafit enthalten die **Tabellen 2.1 a und 2.1 b**.

**Tabelle 2.1 a:**  
Eigenschaften des Werkstoffs duktiles Gusseisen

Werkstoff	Verwendung	Standard	Mindest-Zugfestigkeit $R_m$ [MPa]	0,2 %-Dehngrenze <sup>1)</sup> $R_{p0,2}$ [MPa]	Mindest-Bruchdehnung <sup>2)</sup> A [%]	Härte [HB]	Kerbschlag-Arbeit [J]	Gefüge
Duktiles Gusseisen	Rohre DN 80 bis DN 1000	EN 545 [2.1]	420	300	10	< 230	3)	3)
Duktiles Gusseisen	Rohre DN >1000		420	300	7	< 230	3)	3)
Duktiles Gusseisen	Nicht geschleuderte Rohre, Formstücke DN 80 bis DN 2000	EN 598 [2.3]	420	300	5	< 250	3)	3)

<sup>1)</sup> Die 0,2 %-Dehngrenze ( $R_{p0,2}$ ) kann bestimmt werden. Sie darf nicht kleiner sein als:

- 270 MPa, wenn  $A \geq 12$  % bei DN 80 bis DN 1000 oder  $A \geq 10$  % bei DN > 1000
- 300 MPa in anderen Fällen

<sup>2)</sup> Für Schleudergussrohre von DN 80 bis DN 1000 und einer Mindest-Wanddicke von  $\geq 10$  mm muss die Bruchdehnung mindestens 7 % betragen

<sup>3)</sup> keine Anforderung

**Tabelle 2.1 b:**  
Eigenschaften des Werkstoffs Gusseisen mit Kugelgraphit

Werkstoff	Verwendung	Standard	Mindest-Zugfestigkeit $R_m$ [MPa]	0,2 %-Dehngrenze <sup>1)</sup> $R_{p0,2}$ [MPa]	Mindest-Bruchdehnung <sup>2)</sup> A [%]	Härte [HB]	Kerbschlag-Arbeit [J]	Gefüge
EN-GJS-500-7 (GGG 50)	Armaturen und Hydranten	EN 1563 [2.2]	500	320	7	180–220	6–8	perlitisch-ferritisch
EN-GJS-400-15 (GGG 40)			400	250	15	140–180	8–12	überwiegend ferritisch
EN-GJS-400-18LT (GGG 40.3)	Armaturen zum Einsatz bei tieferen Temperaturen		400	250	18	140–150	>12	rein ferritisch

Bei Schleudergussrohren können zusätzlich zur Norm im Werk routinemäßige Duktilitätsprüfungen mit Hilfe von Ringfaltproben oder Kugeldruckproben durchgeführt werden.

Die bisher angegebenen Festigkeitseigenschaften, die überwiegend an bearbeiteten Proben nachzuweisen sind, betreffen den Werkstoff.

Eine Übersicht von weiteren Werkstoffkennwerten des duktilen Gusseisens und des Gusseisens mit Kugelgrafit, welche zum Teil anderen Normen und Quellen entstammen, enthält die folgende **Tabelle 2.2**.

Sonstige Kennwerte, die sich auf Bauteile beziehen, wurden im Rahmen einer DVGW-Studie [2.4] über Trinkwasserleitungen anhand von Versuchen ermittelt.

Druckrohre aus duktilem Gusseisen haben Festigkeiten entsprechend **Tabelle 2.3**.

Durch die hohen Berstdrücke, denen die duktilen Gussrohre widerstehen, bieten sie hohe Sicherheitsreserven.

**Tabelle 2.2:**

Mechanische und physikalische Kennwerte der Werkstoffe duktiler Gusseisen und Gusseisen mit Kugelgrafit

Eigenschaft	Dimension	Zahlenwert
Druckfestigkeit	MPa	550
E-Modul	MPa	160.000–170.000
mittlerer thermischer Längenausdehnungskoeffizient	m/m · K	$10 \cdot 10^{-6}$
Wärmeleitfähigkeit	W/cm · K	0,42
Spezifische Wärme	J/g · K	0,55

**Tabelle 2.3:**

Bauteilfestigkeiten duktiler Gussrohre

Eigenschaft	Dimension	Zahlenwert
Scheiteldruckfestigkeit	MPa	550
Längsbiegefestigkeit	MPa	420
Berstdruckfestigkeit	MPa	300
Schwingbreite	MPa	135

### 2.3.2 Werkstoffprüfung

Zur Prüfung der Schleudergussrohre werden Proberinge von den Rohreinsteckenden abgetrennt. Bei Formstücken, Zubehörteilen und Armaturengehäusen (Sandguss) werden getrennt gegossene Proben geprüft.

Die Werkstoffkennwerte

- Zugfestigkeit,
- 0,2-%-Dehngrenze und
- Bruchdehnung

werden ausschließlich an bearbeiteten Rundstäben nach Gleichung (2.1) ermittelt.

$$L_0 = 5 \cdot d_0 \quad (2.1)$$

$L_0$  Länge des bearbeiteten Rundstabes in mm

$d_0$  Durchmesser des bearbeiteten Rundstabes in mm

Die Härte wird nach Brinell gemäß ISO 6506-1 [2.5] und EN ISO 6506-1 [2.6] am Gussstück selbst oder an einer vom Gussstück abgetrennten Probe bestimmt. Die zu prüfende Oberfläche wird dabei durch leichtes örtliches Anschleifen

vorbereitet. Danach wird eine gehärtete Stahlkugel mit definiertem Durchmesser und definierter Prüfkraft senkrecht in die Probe eingedrückt. Der genau ausgemessene Eindruckdurchmesser ist umgekehrt proportional zur Brinellhärte.

Bei Rohren ergänzen faltversuche an 30 mm breiten Ringen die Bestimmung der mechanischen Kennwerte am Probestab (**Bild 2.8**).



**Bild 2.8:**  
Ringfaltversuch

## 2.4 Literatur

- [2.1] EN 545  
Ductile iron pipes, fittings, accessories and their joints for water pipelines – Requirements and test methods [Rohre, Formstücke, Zubehörteile aus duktilem Gusseisen und ihre Verbindungen für Wasserleitungen – Anforderungen und Prüfverfahren] 2010
- [2.2] EN 1563  
Founding – Spheroidal graphite cast irons [Gießereiwesen – Gusseisen mit Kugelgraphit] 2012
- [2.3] EN 598  
Ductile iron pipes, fittings, accessories and their joints for sewerage applications – Requirements and test methods [Rohre, Formstücke, Zubehörteile aus duktilem Gusseisen und ihre Verbindungen für die Abwasser-Entsorgung – Anforderungen und Prüfverfahren] 2007+A1:2009
- [2.4] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.:  
„Studie über erdverlegte Trinkwasserleitungen aus verschiedenen Werkstoffen“, Bericht II, Eschborn 1971
- [2.5] ISO 6506-1  
Metallic materials – Brinell hardness test – Part 1: Test method [Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Brinell – Teil 1: Prüfverfahren] 2005
- [2.6] EN ISO 6506-1  
Metallic materials – Brinell hardness test – Part 1: Test method (ISO 6506-1:2005) [Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Brinell – Teil 1: Prüfverfahren (ISO 6506-1:2005)] 2005

