



Schweizer Verband Gussrohre  
Association Suisse de Fournisseurs de Tuyaux en Fonte  
Associazione Svizzera dei Fornitori di Tubi in Ghisa



# Weiterbildungskurs

## Praxisseminar duktile Gussrohre

### Vortrag SVG



## Duktile Gussrohre: Werkstoff, Herstellung, Normierung

### Der Werkstoff

#### Duktiles Gusseisen

Im Grauguss befindet sich der Kohlenstoff in Lamellenform.

Im Gegensatz zum normalen Grauguss wird der Kohlenstoff im duktilen Gusseisen kugelförmig. Dies verhindert die Rissbildung. Die besonderen mechanischen Werkstoffeigenschaften die entstehen sind:

- plastisch verformbar
- biegsam
- dehnbar, streckbar
- besondere Härte
- lange Lebensdauer

#### Gusseisen als Rohrwerkstoff

Graugussrohre sind schon seit mehr als 500 Jahre im Einsatz. Ihre lange Lebensdauer ist allgemein bekannt. Im Laufe der Zeit ist der Werkstoff Gusseisen in Anpassung an die ständig steigende Belastung der Rohrnetze weiterentwickelt worden, bis zum heutigen Rohrwerkstoff, duktiles Gusseisen. Die guten mechanischen Eigenschaften erlauben grosse Belastbarkeit, ohne Schaden zu nehmen (kleine oder grosse Überdeckungshöhe, Verkehrsbelastungen und andere Baustellenrisiken).

Das Wort Guss umfasst eine breite Vielfalt an Fe-C-Si Legierungen, die unter anderem nach dem Stand des Graphits klassifiziert wurden. Der Grauguss oder Guss mit lamellenartigem Graphit wurde durch die Lamellen, als Ausgangspunkte von Rissen, zerbrechlich.

Durch Hinzufügen von Magnesium in die flüssige Eisenschmelze wird erreicht, dass sich der Kohlenstoff in Kugelform, sogenannten Sphärolithen und nicht mehr in Lamellenform - wie beim Grauguss- ausscheidet. Die duktilen Eigenschaften verdankt der Werkstoff der Kugelform des Kohlenstoffes der 3,3 - 4,0 % des Gewichts beträgt.



**Grauguss**  
Graphit in Lamellenform



**Duktilguss (Nodularguss, Sphäroguss)**  
Graphit in Kugelform

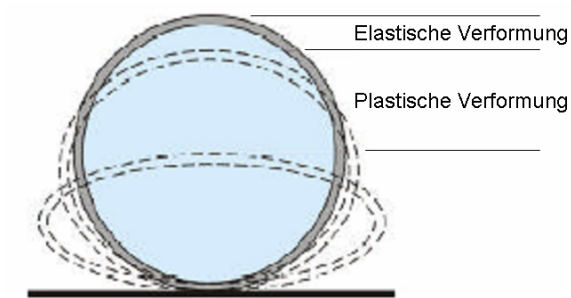
- Beim Duktilguss ist der Kohlenstoff in Kugelform und verhindert die Rissfortbildung.
- Im alten Grauguss ist der Kohlenstoff in Lamellenform und macht der Werkstoff brüchig.

## Duktile Gussrohre

Rohre aus duktilem Gusseisen besitzen ein Verhalten zwischen jenem der flexiblen Materialien und jenem der starren Materialien. Die mechanischen Eigenschaften können von den Vorteilen beider profitieren. Duktiles Gusseisen ist im Gegensatz zum normalen Grauguss ein plastisch verformbarer Werkstoff. Zeitliche Überbeanspruchungen durch innere oder äussere Belastungen werden durch Verformen abgebaut und führen nicht zum Bruch.

Duktiles Gusseisen ist die genormte Werkstoffbezeichnung für Teile, die im Rohrleitungsbau Verwendung finden. Die Rohrleitungen ertragen auch dank hohen Sicherheitsfaktor Belastungen wie Bodensetzungen durch Verschiebungen, starke Verkehrsbelastungen oder Wassereinflüsse.

Der metallische Querschnitt ist bei duktilem Gusseisen nicht mehr mit spitz auslaufenden Lamellen von Kohlenstoff, sondern mit Kugeln durchsetzt, der Form von Einschlüssen also, die bei einer Deformation die geringsten Spannungskonzentrationen ergeben.



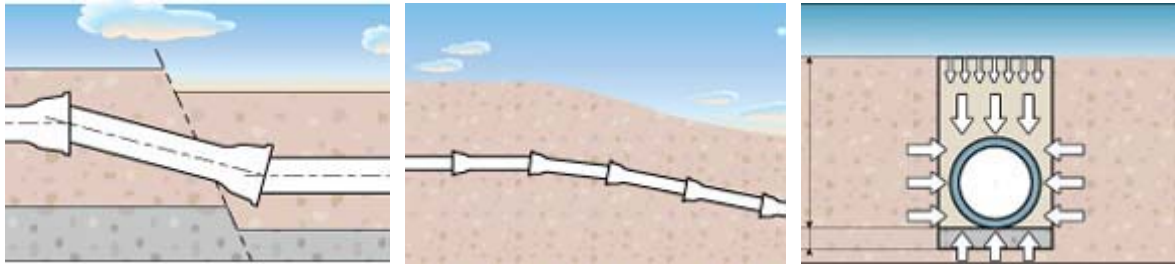
## Kennwerte Duktilguss

- |                            |                       |                                     |
|----------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| • Mindestzugfestigkeit     | 420                   | R <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] |
| • Berstfestigkeit:         | 300                   | N/mm <sup>2</sup>                   |
| • Scheiteldruckfestigkeit: | 550                   | N/mm <sup>2</sup>                   |
| • Längsbiegefestigkeit:    | 420                   | N/mm <sup>2</sup>                   |
| • Elastizitätsmodul:       | 1,7 x 10 <sup>5</sup> | N/mm <sup>2</sup>                   |

## Rohreigenschaften

Die hohen Werkstoffkennwerte gewährleisten ausgezeichnete Rohreigenschaften: Torsionstest an einem Probekörper.





Die hohen Werkstoffkennwerte von duktilem Gusseisen führen zu ausgezeichneten Rohreigenschaften und bewirken die hohe Belastbarkeit des Rohrsystems.

### Mechanische Eigenschaften

- Schlagfestigkeit: Duktilguss ist sehr widerstandsfähig.
- Verformbarkeit: Rohrleitungen aus duktilem Guss lassen sich kaum verformen.
- Eignung für instabile Böden und Längsdurchbiegung.

Die im Boden verlegten Leitungen können hohe Längsdurchbiegungskräfte aufnehmen, vorwiegend, wenn die Rohre auf eine ungünstige Bettung oder schlechtem Bodenuntergrund verlegt werden:

Die Rohrbettung wurde instabil oder durch Grundwasserbewegungen ausgewaschen. Die Leitung durchquert Zonen mit Erdbewegungen oder / und Erdbebengebiete.

Leitungen mit duktilen Gussrohren können dank der hohen Verformbarkeit des Werkstoffes und den weichen Verbindungen mit elastomer Dichtungen starke Verformungen ohne Bruch überstehen.

### Belastbarkeit

Die äusseren Belastungen kommen hauptsächlich vom Füllmaterial über dem Rohr (Dauerbelastung) und Wechselbelastungen durch den Verkehr. Die Anforderungen einer Baustelle bedingen kleine oder starke Überdeckungshöhen und vermehrten Durchgang von Kraftfahrzeugen.



### Abwinkeln der Muffenverbindungen

Zu den Vorteilen beim Verlegen oder Abfangen von Bodenbewegungen ist es möglich, Rohrleitungen mit einem grösseren Krümmungsradius ohne Einsatz von Formteile sowie Profilkorrekturen zu gestalten.





## Mechanische Festigkeit

Das hervorragende mechanische Verhalten der Leitungen aus duktilen Gussrohren, die es ermöglicht, hohe Belastungen standzuhalten (Bodenbelastungen, Verkehrslasten, Bodensetzungen oder kleinere Bodenverschiebungen, unvorgesehene Lastfälle, ...) erklären sich durch 3 Eigenschaften:

- Die Duktilität vom Werkstoff: Das Gusseisen kann sich über den elastischen Bereich dehnen und verfügt über eine ausgeprägte Fähigkeit, Energie zu absorbieren.
- Die Flexibilität der Elastomer- Dichtungen ermöglicht, an der Leitung kleineren Erdbewegungen zu folgen, ohne die einzelnen Rohre zu belasten.
- Hohe Sicherheitsfaktoren sind Pflicht für die Berechnung der Wandstärken der Rohre und der Formstücke. Der zulässige Bauteilbetriebsdruck (PFA) wird gemäss Norm EN 545 nach der folgende Formel berechnet:

$$\text{PFA} = \text{berechneter Bruchdruck} / \text{Sf}$$
$$\text{Also } \text{PFA} = 20 * e * \text{Rm} / \text{D} * \text{Sf}$$

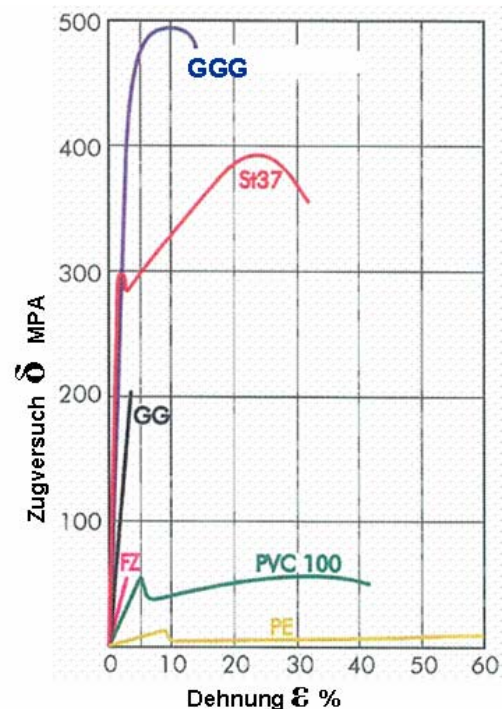
PFA : zulässiger Bauteilbetriebsdruck (bar)  
e : minimaler Wandstärke in Guss (mm)  
Rm : Bruchlast vom Duktilguss (Rm > 420 MPa)  
D : Aussendurchmesser vom Rohr (mm)  
Sf : Sicherheitsfaktor (Sf = 3)



Duktile Gussleitungen verfügen über einen Sicherheitsfaktor 3 zwischen dem zulässigen erwünschten Betriebsdruck und dem berechneten Berstdruck.

## Werkstoffvergleich:

- GGG: Duktilguss
- GG: Grauguss
- St37: Stahl 37
- FZ: Zementrohre (Eternit)
- PVC: PVC
- PE: Polyethylen





## **Innendruck**

Rohre aus duktilem Gusseisen sind für alle in der Wasserversorgung vorkommenden Drücke einsetzbar. Durch die hohen erreichbaren Berstdrücke der duktilen Gussrohre bieten sie ausgezeichnete Sicherheitsreserven.

## **Korrosionsschutz von Rohrleitungen aus duktilem Gusseisen**

Die Forschungsergebnisse auf dem Sektor des Korrosionsschutzes sowie umfangreiche jahrzehntelange Erfahrungen haben dazu geführt, dass wir für jede Bodenart das optimale Rohr anbieten können.

Die wichtigsten Schutzarten gegen Aussenkorrosion sind:

- Zink-Überzug mit Deckbeschichtung
- Zink-Aluminium-Überzug mit Deckbeschichtung
- Umhüllung mit armiertem Zementmörtel
- Umhüllung mit Polyethylen
- Umhüllung mit Polyurethan

## **Dichtungen**

Der Bau von Leitungen aus duktilen Gussrohren wird durch zusammenstecken realisiert, ohne Schweißen, mit einfachen Baustellenwerkzeugen. Die Verbindung erfolgt mit dem Einlegen einer Dichtung aus Elastomer zwischen beide Elemente. Die Dichtheit wird mit dem Einführen des Einsteckendes in die Muffe hergestellt, ohne dass weitere Arbeitsgänge erforderlich sind. Die Dichtringe werden strengen Typenprüfungen unterzogen. Sie bieten dem System eine ausserordentliche Modularität und hohe Funktionssicherheit. Sie garantieren eine Dichtheit des Systems bei hohe Drücken, einen gewissen Axialspielraum sowie eine Abwinkelbarkeit.



## Innenbeschichtung der duktilen Gussrohre mit Zementmörtel

Rohre aus duktilem Gusseisen erhalten auf den Innenflächen eine Zementmörtelauskleidung nach EN 545 bzw. DIN 2880. Für die Zementmörtelauskleidung wird als Bindemittel ein hochsulfatbeständiger Hochofenzement eingesetzt. Der Zementmörtel wird in die duktilen Gussrohre eingeschleudert, dabei werden Beschleunigungen von mehr als dem 50-fachen der Erdbeschleunigung erreicht. Im Zusammenwirken mit einer ausgesuchten Korngrössenverteilung der Zuschlagstoffe entsteht bei diesem Verfahren ein äusserst dichtes, festhaftendes Mörtelgefüge, das von sich aus geeignet ist, mechanischen Belastungen bestens zu widerstehen. Die Zementmörtelauskleidung eignet sich für Trinkwasser und die meisten Roh- und Brauchwässer.



### Wirkungsweise der Zementmörtel-Auskleidung

Die Auskleidung hat eine aktive und passive Schutzwirkung. Die aktive Wirkung beruht auf einem elektrochemischen Prozess. In die Poren des Zementmörtels dringt Wasser ein. Dabei nimmt das Wasser durch Aufnahme von freiem Kalk aus dem Mörtel einen pH-Wert von über 12 an. In diesem pH Wert-Bereich ist bei Gusseisen keine Korrosion möglich.

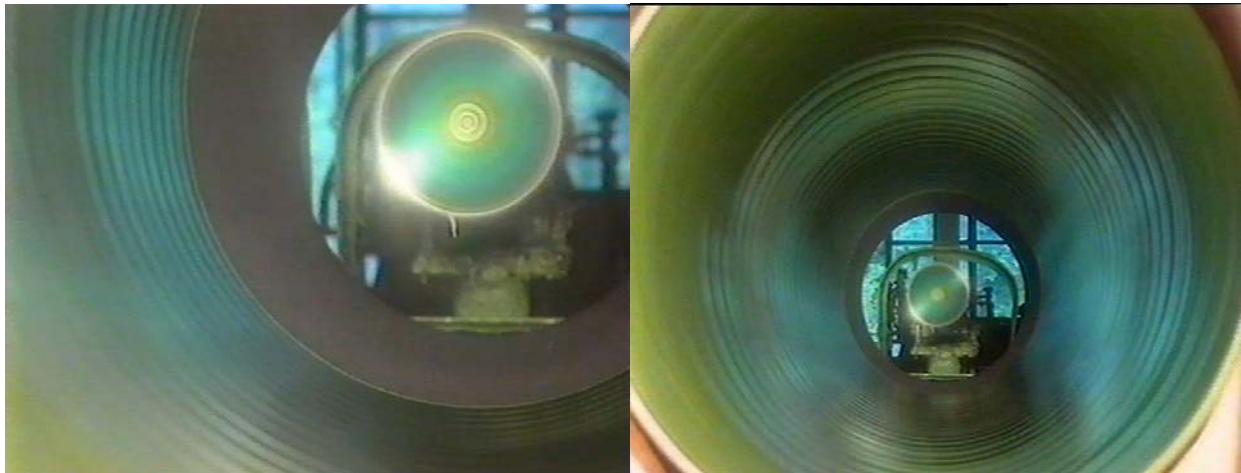
Die passive Wirkung ergibt sich durch die mechanische Trennung von gusseiserner Rohrwand und Wasser.



## Innenbeschichtung der duktilen Gussrohre mit Polyurethan

Die zu beschichtende Innenfläche wird in einer Strahlanlage von der Glühhaut befreit und gleichzeitig die Oberfläche aufgeraut. Ein Ofen erwärmt die Rohre auf die Beschichtungstemperatur. Die Beschichtung von bis zu 1.5mm Schichtdicke geschieht in einem einzigen Durchgang. Durch den Schleuderprozess verteilt und verdichtet sich die PUR Masse und verbindet sich mit der Oberfläche des Rohres.

Die Innenbeschichtung hat eine sehr hohe Haftfestigkeit auf der Gussoberfläche.



## Wirkungsweise der Polyurethan-Auskleidung

Die glatte und lösungsmittelfreie PUR Innenauskleidung ist hygienisch einwandfrei und verhindert dauerhaft Inkrustationen. Die spiegelglatte Oberfläche (Rauheitswert 0.01 Millimeter) weist beste Durchflusseigenschaften auf.

Durch die Elastizität von Polyurethan, bleibt auch bei einer Verformung des Rohres die Beschichtung einwandfrei.

## Die Herstellung der duktilen Gussrohre

Der Fertigungsprozess von Rohren und Formstücken umfasst drei Etappen:

- Erschmelzen des Eisens im Kupolofen; Behandlung mit Magnesium
- Schleudergiessverfahren von Rohren; Giessen von Formstücken
- Auskleidung und Beschichtung

Zu jedem Prozess gehören die entsprechenden Prüfungen.

### Erschmelzung des Eisens

Das flüssige Metall wird im Hochofen aus Erzen, bzw. im Kupolofen aus sorten-reinem, geprüftem Recyclingmaterial erschmolzen. Anschliessend wird das flüssige Eisen entschwefelt, die Analyse erstellt und auf optimale Giesstemperatur gebracht. Unmittelbar vor dem Vergiessen wird die Schmelze zur Umwandlung vom Grauguss in duktilen Gusseisen mit Magnesium behandelt.

### Besonderheit: Magnesiumbehandlung zur Ausbildung des Kugelgraphites

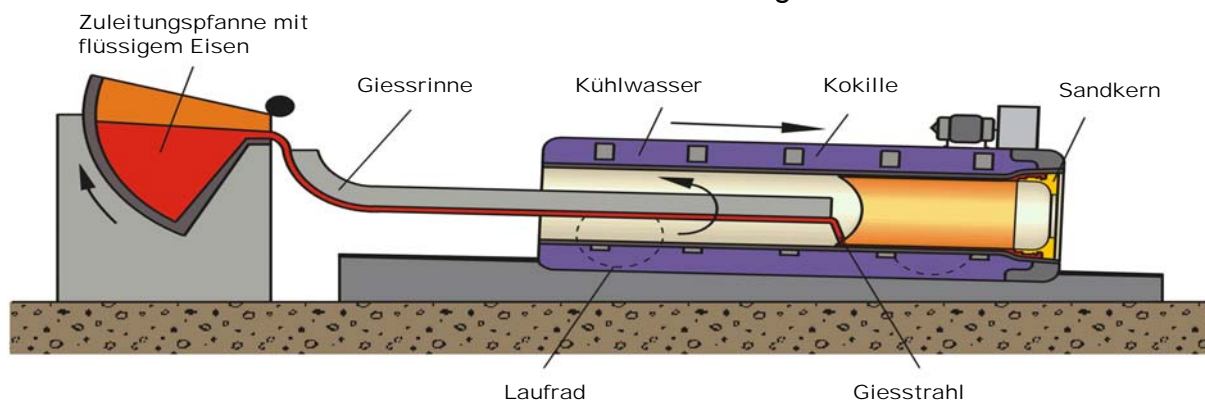
Würde das Eisen aus dem Kupolofen direkt vergossen so würde es als Grauguss mit lamellarem Graphit erstarren. Für Rohre und Formstücke aus duktilem Gusseisen wird die kugelige Ausbildung des Graphits dadurch erreicht, dass unmittelbar vor dem Vergiessen eine Impfung des flüssigen Eisens mit Magnesium erfolgt. Für diese Behandlung wird Magnesium an einer keramischen Tauchglocke befestigt und bis auf den Boden der mit flüssigem Eisen gefüllten Pfanne gedrückt.

Das Magnesium beeinflusst den Kristallisationsprozess derart, dass die vorrangige Längenausdehnung des Graphitkristalls im Verhältnis zur Dicke von 10:1 bis 100:1 unterbunden wird. Es wird angenommen, dass sich die Magnesiumatome in das Eisengitter einlagern und die Längenausdehnung der Graphitkristalle so beeinflussen, dass sie gleichmässig in allen Richtungen wachsen. Der Graphit wandelt sich von der Lamellen- zur Kugelstruktur und gibt dem Eisen seine hohen Festigkeits-Eigenschaften. Neben der hohen Zugfestigkeit von 420 [N/mm<sup>2</sup>] hat der Werkstoff duktiler Gusseisen auch eine beträchtliche Bruchdehnung von 10 [%].

### Schleudern / Giessen

Rohre werden im Schleudergiessverfahren hergestellt. Flüssiges Eisen wird über eine Rinne in eine rotierende Metallform (Kokille) eingebracht. Durch die Zentrifugalkraft wird das flüssige Eisen an die Kokillenwand geschleudert.

- Die Aussenform des Rohres ist durch die Innenform der Kokille vorgegeben, damit auch die Rohrlänge.
- Die Muffeninnenform wird durch einen Sandkern gebildet.





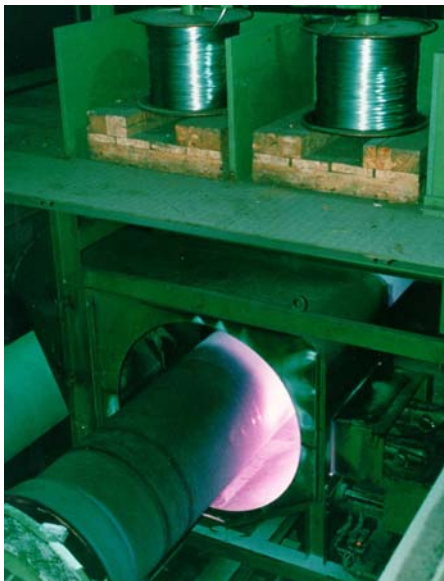
Durch anschliessendes Glühen der Rohre werden die genormten Materialkennwerte erreicht. Formstücke werden in verlorenen Sandformen gegossen. Für die Innenkonturen werden Sandkerne verwendet.



### Rohrgiessmaschine

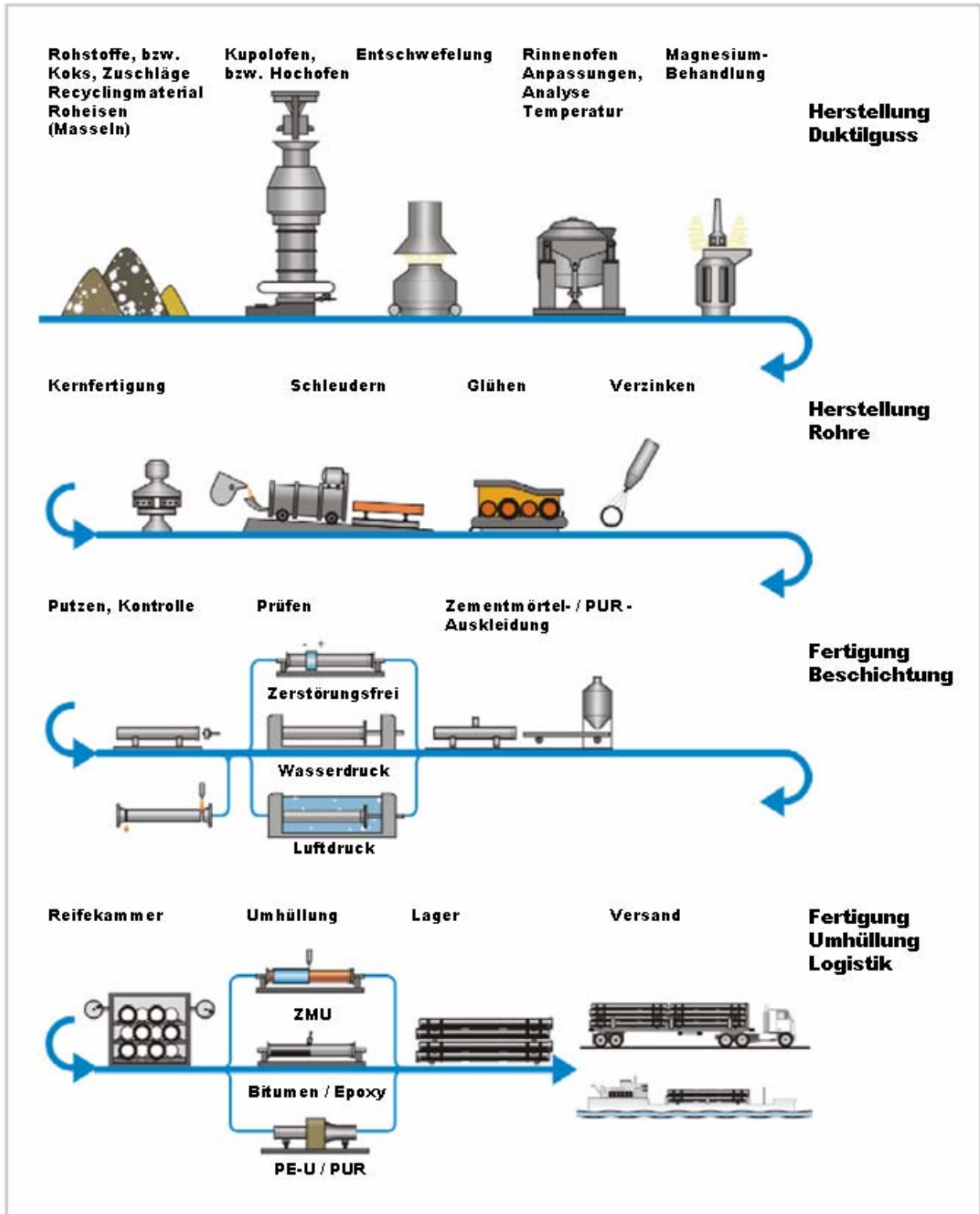
Nach der thermischen Behandlung wird auf die noch warmen Rohre ein im Lichtbogen aufgeschmolzener ZnAl- bzw Zn-Draht, mittels Druckluft auf die rotierenden Rohre aufgesprüht.

Die Muffeninnenseite erhält auf einer eigenen Station ebenfalls einen metallischen Überzug.



**Verzinkung (ZnAl oder Zn) vom Rohr und von der Muffe**

## Schematische Darstellung der Herstellung:





## Die Normierung der duktilen Gussrohre

EN 545

Norm Ausgabedatum: 2002-09 Rohre, Formstücke, Zubehörteile aus duktilem Gusseisen und ihre Verbindungen für Wasserleitungen - Anforderungen und Prüfverfahren;  
Deutsche Fassung EN 545:2002

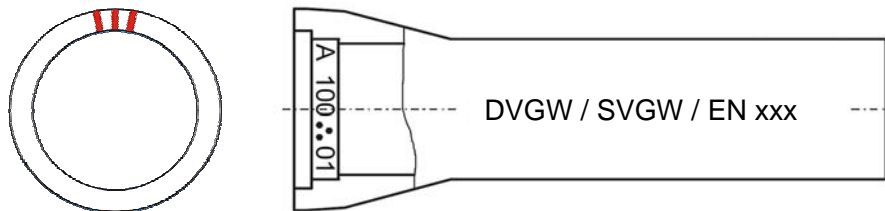
### Kennzeichnung der Rohre:

In der EN 545: 2002 ist die Kennzeichnung von Rohren und Formstücken ganz klar geregelt.

Alle Rohre und Formstücke müssen leserlich und dauerhaft gekennzeichnet sein und mindestens die folgenden Informationen tragen:

- Name oder Kennzeichen des Herstellers
- Kennzeichnung des Herstelljahres
- Kennzeichnung für duktilen Gusseisen
- Nennweite (DN)
- Überwachungsorgan
- Hinweis auf die Norm
- Rohrklasse

Positionierung der Kennzeichnungen:



Zusätzlich müssen Rohre mit einer Nennweite über DN 300, die zum Ablängen geeignet sind, gekennzeichnet werden (sofern nicht alle Rohre derselben DN zum Ablängen geeignet sind).

Die ersten fünf Angaben müssen eingegossen oder eingeschlagen sein. Die übrigen Kennzeichnungen können durch ein beliebiges anderes Verfahren angegeben werden, z.B. auf dem Gusstück aufgemalt oder der Verpackung beigelegt sein.



## Rohrklassen:

Ein Trinkwasserversorgungsnetz wird generell mit Drücken unter 16 bar betrieben. Wenn wir diese Übersicht der zulässigen Drücke bei duktilen Gussrohren betrachten, so wird eines klar; es ist kein Problem für ein duktiles Gussrohr die geforderte Druckstufe zu erreichen. Zumal bei Guss immer ein Sicherheitsfaktor „3“ zugrunde liegt. Das heisst, um den Berstdruck zu berechnen kann der zulässige Bauteilbetriebsdruck (PFA) mal drei gerechnet werden.

Somit wird klar, dass in den überwiegenden Fällen die duktilen Gussrohre nicht die kritische Komponente in der Planung und Ausführung darstellen.

DN	Wanddickenklasse								
	C 40			K 9			K 10		
	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA
80	64	77	82	85	102	107	85	102	107
100	64	77	82	85	102	107	85	102	107
125	64	77	82	85	102	107	85	102	107
150	62	74	79	79	95	100	85	102	107
200	50	60	65	62	74	79	71	85	90
250	43	51	56	54	65	70	61	73	78
300	40	48	53	49	59	64	56	67	72
350	40	48	53	45	54	59	51	61	66
400	40	48	53	42	51	56	48	58	63
450	a.A.	a.A.	a.A.	40	48	53	45	54	59
500	a.A.	a.A.	a.A.	38	46	51	44	53	58
600	a.A.	a.A.	a.A.	36	43	48	41	49	54

a.A.: auf Anfrage

PFA: Zulässiger Bauteilbetriebsdruck

PMA: Höchster zulässiger Bauteilbetriebsdruck

PEA: Zulässiger Bauprüfdruck