

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Rammelsberg, Jürgen**

## **Duktile Guss-Rohrsysteme für Wasserkraftanlagen**

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103711>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Rammelsberg, Jürgen (2009): Duktile Guss-Rohrsysteme für Wasserkraftanlagen. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Wasserkraftnutzung im Zeichen des Klimawandels. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 39. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 277-286.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



## Duktile Guss-Rohrsysteme für Wasserkraftanlagen

Jürgen Rammelsberg

Mit dem Bau von Triebwasserleitungen in Wasserkraftanlagen konnte das Einsatzgebiet von Gussrohren neben der Trinkwasserversorgung erweitert werden. Vorge stellt werden Werkstoff und Verbindungstechnik von Rohren aus duktilem Gusseisen. Wegen des höheren Sicherheitsniveaus bei den Hochdruckleitungen im Kraftwerksbau kommt dem bruchmechanischen Verhalten des Werkstoffes besondere Bedeutung zu. Weiterhin wird auch die Leistungsfähigkeit der Gussrohrverbindung eingehender behandelt. Anhand mehrerer praktisch ausgeführter Triebwasserleitungen in alpinem Gelände werden die besonderen bautechnischen Vorteile duktiler Gussrohre in dieser Spezialanwendung herausgestellt.

The construction of high pressure pipelines for waterpower plants could extend the field of use of cast iron pipes beside the usual application in the drinking water distribution. Material and jointing of ductile cast iron pipes are presented. Due to the increased safety level of high pressure pipelines in water power plants fracture mechanics of the material is highlighted. Additional attention is drawn to the performance of cast iron pipe joints. Several headrace pipelines constructed under alpine conditions show the special constructive advantages of ductile cast iron pipes for this particular application.

### 1. Einleitung

Wasserkraft und Klimawechsel – Strategien und Technologien, unter diesem Motto steht das diesjährige Wasserbaukolloquium der TU Dresden. Wenn man sich die Strategiestudien der Bundesregierung zum Thema „Förderung der erneuerbaren Energien“ anschaut, so findet man die großen Steigerungsraten bei der Windenergie und der Fotovoltaik. Bei der Erzeugung elektrischer Energie mittels Wasserkraftanlagen haben wir bestenfalls Stagnation, was aber nicht auf den fehlenden guten Willen zurückzuführen ist, sondern auf die Topographie hierzulande: mehr Wasserkraft ist in Deutschland wohl kaum zu erzeugen.



Daher werden sich bei uns die Aktivitäten mehr in den Bereichen Sanierung, Erneuerung, Effizienzsteigerung bewegen. In den alpinen Ländern warten hingegen noch genügend Wasserläufe darauf, ihren Beitrag zu den erneuerbaren Energien zu leisten. Hier werden Rohre aus duktilem Gusseisen in großem Umfang eingesetzt.

## 2. Werkstoff, Verbindungstechnik und Einsatzbereich duktiler Gussrohre

Der Werkstoff der Gussrohre, mit denen unsere Wasserversorgung seit etwa 1870 aufgebaut wurde, war bis etwa 1965 der Grauguss, in dem der elementare Graphit in Form von Lamellen kristallisiert. Der Bestand dieser Rohre im Netz der öffentlichen Wasserversorgung beträgt noch etwa die Hälfte bis zwei Drittel.

Der wichtigste Innovationsschritt war schon 1923 mit der Erfindung des Schleudergießverfahrens ausgeführt.

Ab Mitte der 60er wurde das Gusseisen mit Kugelgraphit eingeführt, in der Gussrohreterminologie „duktiler Gusseisen“, mit Rücksicht auf das gegenüber dem Sandguss andere Verhältnis von Streckgrenze und Zugfestigkeit der Schleudergussrohre, genannt.

In der Verbindungstechnik verlief die Entwicklung von der Stemm-Muffenverbindung über die Schraubmuffe zur Steckmuffe TYTON<sup>®</sup>, die bis zum Bersten des Rohres dicht bleibt. Die Abmessungen dieser Verbindung sind national in DIN 28603 [1] genormt (Abbildung 1).

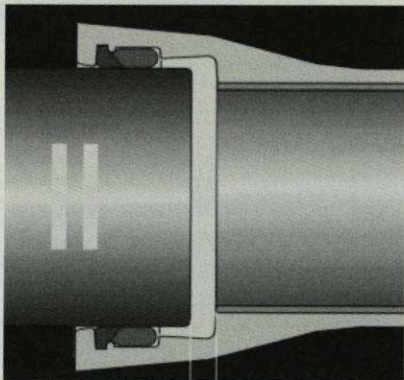


Abbildung 1 TYTON<sup>®</sup>-Verbindung



DIN EN 545 [2] gibt nur generelle Anforderungen an die Funktion vor, deren Einhaltung in der Verantwortung des Herstellers liegt; von den Abmessungen ist aus Gründen der Kompatibilität nur der Außendurchmesser des Einsteckendes festgelegt.

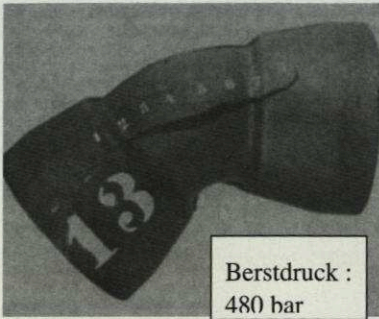
Ein neues Element in der Europäischen Norm besteht in den Anforderungen an die Funktion, die mit bestimmten Typtests abgeprüft werden. Wesentlich ist hierbei die Dichtheit der Verbindung unter verschiedenen Randbedingungen, die grundsätzlich worst-case-Betrachtungen zugrunde legen.

DIN EN 545 weist den Anwendungsbereich der Rohre für den Trinkwassertransport aus. Danach geht der Temperaturbereich des Mediums bis 50°C, bei den in der Wasserverteilung üblichen Wanddickenklassen wird der Druckbereich nennweitenabhängig mit 85 bar begrenzt. Mit höheren Wanddicken lassen sich nahezu beliebige Betriebsdrücke beherrschen. Die Einsatzgrenzen bezüglich der Wasserqualität regelt ein informativer Anhang mit Blick auf die Dauerbeständigkeit der Zementmörtelauskleidung.

Für den Außenschutz erdüberdeckter Rohre ist in einem weiteren informativen Anhang die Eignung bestimmter Schutzarten in Abhängigkeit von der Bodenaggressivität festgelegt.

Ein nicht genormter Aspekt der Leistungsfähigkeit der TYTON®-Verbindung ist die Fähigkeit, den Berstdruck des zugehörigen Rohres bzw. Formstückes ohne Leck zu überstehen; bei DN 100 liegt dieser Druck bei 400 bis 500 bar [3]. (Abbildung 2). Die Rohrverbindung ist also nicht das schwächste Glied der Kette. Ihre Gelenkeigenschaft ist vielmehr ein Vorteil, weil die Leitung spannungsfrei bleibt, wenn bei der Aktivierung des Erdwiderstandes während der Druckprobe kleine Verschiebungswege auftreten. Ebenso werden thermische Längenänderungen kompensiert, die Verbindung nimmt die Dilatationswege zwängungsfrei auf.





**Abbildung 2** Berstversuch an einem Doppelmuffenformstück DN 100 x 45°

All diese Eigenschaften, Anforderungen und Prüfungen sind in Hinblick auf eine übliche Anwendung der Rohre im Bereich der öffentlichen Wasserversorgung optimiert. Dabei schöpfen die praktischen Anforderungen dieser Anwendungsbereiche das Leistungsvermögen der Rohre bei weitem nicht aus. So ist z. B. der übliche Betriebsdruck der städtischen Wasserverteilung meist nicht höher als 10 bar, während der zulässige Bauteilbetriebsdruck für Rohre der Wanddickenklasse K 9 bis zu PFA = 85 bar beträgt.

So ist es nicht weiter verwunderlich, dass immer mehr Anwendungsbereiche für duktile Gussrohre außerhalb der städtischen Wasserversorgung und Abwasserentsorgung entwickelt wurden, wo man die Robustheit dieser Rohre und ihr Leistungsvermögen stärker ausnutzt. In diesen Rahmen fallen auch die Druckrohrleitungen zwischen hochgelegenen Quellfassungen und tiefer liegenden Trinkwasserbehältern. Mit der Fallhöhe des Trinkwassers lässt sich mittels Klein- und Kleinstturbinen preiswert elektrische Energie erzeugen. Hierbei wird das Rohr aus duktilem Gusseisen bevorzugt eingesetzt [4].

Über den Einsatz duktiler Gussrohre in Triebwasserleitungen für Wasserkraftwerke soll im Folgenden berichtet werden.

### 3. Triebwasserleitungen aus duktilen Gussrohren

Zu Beginn des Ausbaus von Wasserkraftanlagen wurden die Triebwasserleitungen meist oberirdisch auf Betonfundamenten angeordnet, damit sie für Inspektion und Wartung immer zugänglich sind. Diese Bauweise musste aus naturschutzrechtlichen Gründen zugunsten eines Einbaus in Stollen bzw. als erdüberdeckte Leitung verlassen werden. Mit dem robusten Werkstoff duktiles Gusseisen in Verbindung mit zuverlässig dauerhaften Schutzhüllungen und Auskleidungen waren die Voraussetzungen für eine wartungsfreie erdüberdeckte



Leitung gegeben (Abbildung 3). Hier bieten faserververstärkte Zementmörtel-Umhüllungen erhebliche Vorteile in alpinem Gelände, weil für die Rohrgrabenverfüllung Korngrößen bis etwa 100 mm verwendet werden können und somit das Aushubmaterial meist ohne aufwendiges Absieben wieder eingebaut werden kann.

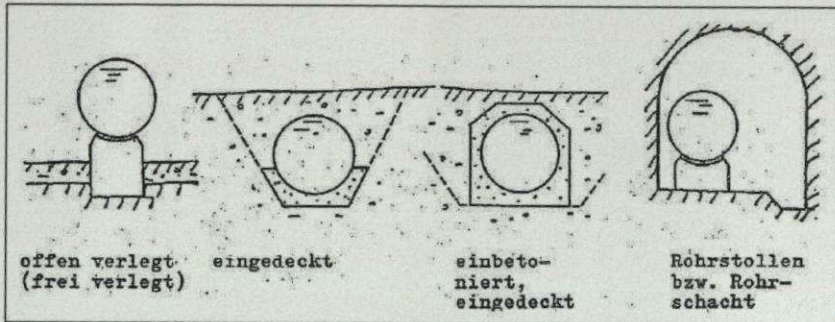


Abbildung 3 Druckrohrleitungstypen (aus [5])

Bereits 10 Jahre nach der Einführung der duktilen Gussrohre wird ihre Anwendung beim Bau von Turbinenriebwasserleitungen beschrieben [6]. Geht es 1974 noch um Nennweiten zwischen 200 und 500 bei kleineren Anlagen, wird 1983 der Anwendungsbereich auf DN 1000 und Drücke von 30 bis 40 bar erweitert [7]. 1988 berichten Blind, Kockelmann und Reeh über bruchmechanische Untersuchungen, deren Ergebnis die hohe Sicherheit der Rohre gegenüber Druckstößen und gegen rasches Risswachstum belegt [8]. Damit lässt sich das bei Turbinenleitungen wichtige Kriterium Leck vor Bruch verwirklichen, was 1997 mit einer außergewöhnlichen Maßnahme in Vorarlberg unter Beweis gestellt wurde [9]: Der Betreiber forderte einen  $K_{Ic}$ -Wert von  $2200 \text{ N/mm}^{3/2}$  der an jedem einzelnen Rohr nachzuweisen war! Eine eigene Werkstoffentwicklung in Zusammenarbeit mit mehreren werkstoffwissenschaftlichen Hochschulen wurde zur sicheren Darstellung der geforderten Eigenschaften notwendig. Die Kernanforderungen an die Rohre und an die damit gebaute Leitung lauten:

DN 1400

MDP = 37,5 bar

$K_{Ic} > 2200 \text{ N/mm}^{3/2}$

$A_5 > 15 \%$



Tabelle 1 fasst die Eigenschaften der Standardfertigung, die Sonderanforderungen des Projektes sowie die Daten nach der Werkstoffentwicklung zusammen:

**Tabelle 1** Werkstoffdaten für die Rohre der Turbinenleitung Klösterle

Werkstoffkennwert	Dimension	Anforderung EN 545	Anforderung für Projekt	Istwert
R <sub>p</sub>	MPa	> 270	> 270	> 275
R <sub>m</sub>	MPa	> 420	> 400	> 400
A <sub>5</sub>	%	> 7	> 15	> 22
AV	J	Keine Anforderung	> 9,49	> 9,49
K <sub>Ic</sub>	N/mm <sup>3/2</sup>	Keine Anforderung	> 2200	2250 - 2400

Die beschriebene Werkstoffvariante ist wegen der besonderen Einsatzmaterialien und vor allem wegen des enormen Prüfaufwandes deutlich aufwändiger als die in EN 545 genormte Standardversion. So sind seitdem viele weitere Triebwasserleitungen gebaut worden, deren Werkstoff den Anforderungen der EN 545 genügt; ihr Betriebsverhalten ist unauffällig. Die praktischen Erfahrungen weisen den Standardwerkstoff als ausreichend aus.

Der große Vorteil duktiler Gussrohre ist vor allem ihre besonders einfache Handhabung auf Baustellen in schwierigem alpinem Gelände. Der Schlüssel liegt in den besonderen bautechnischen Anforderungen (Abbildung 4) bei den alpinen Steilhängen.

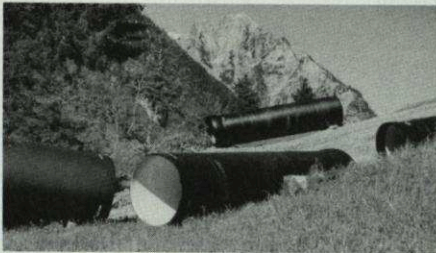




**Abbildung 4** Steilhangeinbau DN 1600 im Fels

In den meisten Projektbeschreibungen wird dies deutlich: Wegen der akuten Gefährdung des Turbinengebäudes und weiterer Einrichtungen am Fußpunkt der Leitungen während stärkerer Regenereignisse in der Bauphase werden häufig folgende Zusatzbedingungen gestellt:

- Bauzeit nur zwischen Mai und September (Abbildung 5),
- Grabenöffnung maximal nur für eine Rohrlänge erlaubt (Abbildung 6),
- Nach Einbau eines jeden Rohres muss der Rohrgraben sofort verfüllt, abgedeckt und mit Alpenflora besät werden, damit sich im Falle eines Regens keine Schlammlawine ausbilden kann (Abbildung 7).



**Abbildung 5** Rohre DN 1400 im Sommer

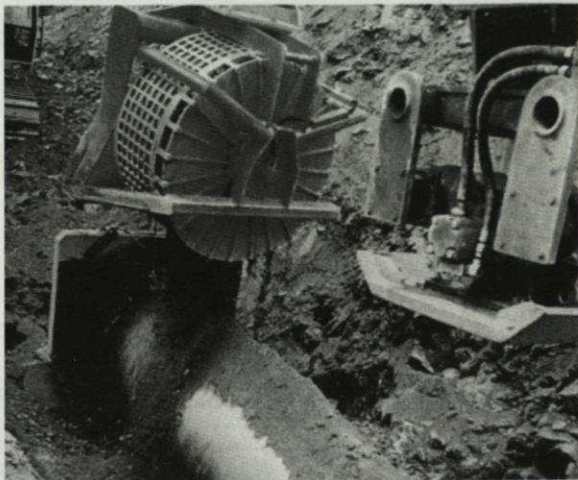


**Abbildung 6** Auf-Zu-Methode

Generell wird dieses als „Auf-Zu-Methode“ benannte Bauverfahren favorisiert, auf sie wird in allen einschlägigen Werkstoffentscheidungen verwiesen. Zum einen entfällt der ohnehin schwierige Transport des Aushubmaterials an geeignete Stellen, zum anderen ist das Risiko von Murenabgängen angesichts



des schnell umschlagenden Wetters minimiert. Die Methode erlaubt einen raschen und einfachen Einbau.



**Abbildung 7** Einbetten im abgiesebten Material

An besonders steilen Hängen können zusätzliche Hangabtriebskräfte auf die Rohrleitung einwirken, wodurch zusätzliche Sicherungsmaßnahmen erforderlich werden. In Fällen, wo der Hang selbst geringen Bewegungen unterliegt, haben sich Sandsackbarrieren anstelle von Betonriegeln bewährt (Abbildung 8). Sie sind so dicht auszuführen, dass der Rohrgraben nicht als Drainage wirken kann.



**Abbildung 8** Einbau von Sandsackbarrieren

In der folgenden Tabelle sind fünf herausragende Beispiele der letzten Jahre zusammengestellt.



**Tabelle 2** Zusammenstellung einiger Projekte

Ort	Baujahr	Nennweite	Betriebsdruck [bar]	Leistung [MW]
Klösterle, Vorarlberg [9]	1997	1400/1600	37,5	16
Raron, Wallis [10]	2000	200/300	73	Trinkwasserkraft- werk
Seealpsee, Appenzell [11]	2005	700	25	2,5
Mettental, Obwalden [4]	2005	200	90	Trinkwasserkraft- werk
Dorferbach Osttirol [5]	2006	800	73	9,8

#### **4. Zusammenfassung**

Rohre aus duktilem Gusseisen sind hervorragend zum Bau von Triebwasserleitungen im alpinen Raum geeignet und haben sich im Nennweitenbereich von DN 200 bis DN 1600 aus folgenden Gründen bewährt:

- Robustes Rohr mit nahezu beliebigen Wanddicken und Betriebsdrücken,
- Bewegliche Steckmuffenverbindung, dicht bis zum Berstdruck des Rohres,
- Mechanisch robuster Außenschutz, Bettungsmaterial bis 100 mm Korngröße kann wieder eingebaut werden,
- Baulänge von 6 m ist optimal für Auf-Zu-Methode,
- Schnelle Rohrverbindungs montage ermöglicht kurze Bauzeit, die meist auf die Sommermonate beschränkt ist.



## Literatur/References

- [1] DIN 28 603: Rohre und Formstücke aus duktilem Gusseisen, Steckmuffenverbindungen; Mai 2002
- [2] DIN EN 545: Rohre, Formstücke und Zubehörteile aus duktilem Gusseisen und ihre Verbindungen für Wasserleitungen – Anforderungen und Prüfungen; 2006
- [3] Raffenberg, N.: Ergebnisse von Berstdruckversuchen an Formstücken aus duktilem Gusseisen; FGR-Information 7 (1972) S. 22
- [4] <http://www.iteco.ch/de/erneuerbare-energien/projects/trinkwasserkraftwerk.html>
- [5] Boes, R. und Senn, G.: Duktile Gussrohre in Triebwasserleitungen für Wasserkraftwerke; Vortrag Rohrleitungsforum Oldenburg 2007
- [6] Zimmermann, W.: Duktile Gußrohre im Kraftwerksbau; FGR-Information 9 (1974), S. 34-38
- [7] Vigl, L.: Verlegung duktiler Gussrohre DN 400, DN 600, DN 700 und DN 1000 für eine Turbinenleitung unter extremen Schwierigkeiten im alpinen Gelände; FGR-Information 18 (1983), S. 5
- [8] Blind, D., Kockelmann, H. und Reeh, K.: Mechanisch-technologische und bruchmechanische Untersuchungen an duktilem Gusseisen; FGR-Information 23 (1988), S. 40
- [9] Fussenegger, F. et al.: Planung und Bau einer Turbinenrohrleitung aus duktilen gussrohren unter Berücksichtigung bruchmechanischer Bemessungsverfahren; GUSSROHRTECHNIK 32 (1997), S. 58
- [10] Solenthaler, B.: Neubau der Trinkwasserversorgungsanlage Kalter Brunnen, Raron; GUSSROHRTECHNIK 37 (2003), S. 18
- [11] Solenthaler, B., und Tannò, G.-A.: Wasserkraft – die erneuerbare Energie. Erneuerung und Ausbau des Klein-Wasserkraftwerkes Seealpsee- Wasserauen; GUSSROHRTECHNIK 39 (2005), S. 5

### Autor:

Dr.-Ing. Jürgen Rammelsberg  
c/o Fachgemeinschaft Guss-Rohrsysteme (FGR) e.V.  
Im Leuschnerpark 4  
D - 64347 Griesheim  
Tel.: +49 (0) 33201/63979  
e-mail: rammelsberg@arcor.de