

Dr.-Ing. Fabian Grimpe<sup>\*)</sup>, Dr.-Ing. Stefan Meimeth<sup>\*)</sup>, Dr.-Ing. Heike Meuser<sup>\*)</sup>, Dr.-Ing. Andreas Liessem<sup>\*\*)</sup>

# Entwicklung, Produktion und Anwendung thermomechanisch gewalzter hoch- und ultrahochfester Grobbleche

Die Entwicklung von Grobblechen aus hoch- und ultrahochfesten Stählen auf der 5,1-m-Straße des Grobblechwalzwerkes der Mannesmannröhren Mülheim GmbH (MRM), einem Tochterunternehmen der Salzgitter AG, wird mit Ergebnissen aus Laborversuchen und der halb- und vollindustriellen Blechproduktion sowie verschiedenen Anwendungen vorgestellt. Die Kette von der Marktanforderung über Forschung und Entwicklung und industriellen Versuchen bis hin zur Serienproduktion für die Kunden ist extrem kurz.

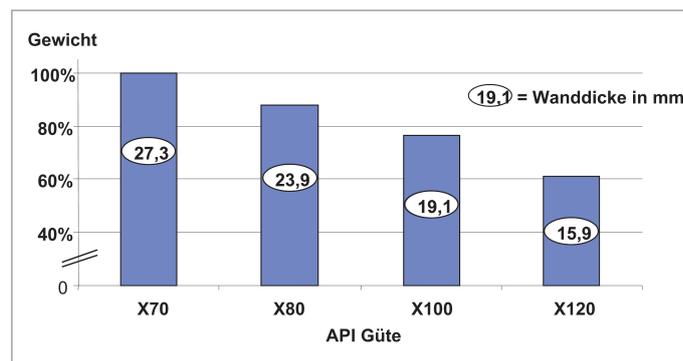
Mannesmannröhren Mülheim (MRM) in Mülheim, Deutschland, betreibt ein Blechwalzwerk mit einer Breite von 5,1 m. Während der letzten Jahrzehnte hat sich MRM immer mehr auf thermomechanische Walzverfahren spezialisiert, hauptsächlich zur Erzeugung von Röhrenstählen. Bei den Marktanforderungen für einige Anwendungen lässt sich die Tendenz zu hoch- und ultrahochfesten Stahlgüten beobachten. Der Hauptvorteil aus der Erhöhung des Festigkeitsniveaus ist die Möglichkeit der Wanddickenreduzierung, die in den meisten Fällen eine Gewichtsverringering des Bauteils bedeutet (**Bild 1**). Bei der Rohrherstellung senkt die höhere Stahlgüte einerseits das Rohrgewicht durch die kleinere Wanddicke, damit werden die Material-, Verarbeitungs-, Transport- und Schweißkosten geringer. Andererseits kann bei vorgegebener Wanddicke der Druck des durch das Rohr transportierten Mediums erhöht werden, sodass sich die Transportleistung der Pipeline erhöht. Durch einen möglichen Wechsel der Rohrgeometrie und/oder des Druckes kann ein optimales Pipeline-Layout erreicht werden.

Diese Vorteile führten bereits vor Jahrzehnten durch die Entwicklung von thermomechanischen Walzprozessen zur Erhöhung des Festigkeitsniveaus von Großrohrblechen von API X52 (Mindeststreckgrenze 359 MPa) aus warmgewalzten und normalisierten CMnV-Stäh-

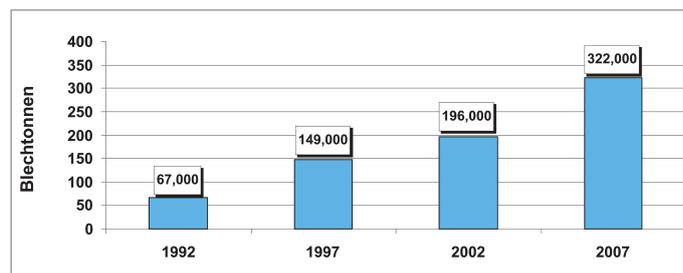
len auf das Niveau von X60, X65 und X70 (Mindeststreckgrenze 483 MPa). In den achtziger Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts wurde die Stahlgüte X80 (Mindeststreckgrenze 552 MPa) durch die Kombination des thermomechanischen Walzverfahrens von CMnNbTi-Stählen mit einem beschleunigten Kühlprozess entwickelt. Die erste X80-Pipeline der Welt wurde 1992 in Deutschland in Betrieb genommen [1]. Die Rohre für dieses Projekt wurden von Mannesmann (später Europipe) hergestellt und geliefert. Seit den achtziger und neunziger Jahren hat die stetige Weiterentwicklung von X80-Blechen und -Rohren bei Man-

nesmann hohe Priorität. Seit damals hat das Blechwalzwerk der Mannesmannröhren Mülheim GmbH mehr als 300.000 t Bleche für API-X80-Rohre oder das europäische Äquivalent L555 produziert. Die gesamte X80-Tonnage lässt erkennen, dass die Produktion von X80-Blechen inzwischen zum Tagesgeschäft des MRM-Blechwalzwerkes gehört (**Bild 2**).

Mitte der neunziger Jahre gab es einen weiteren Schritt zur Erhöhung des Festigkeitsniveaus. Verschiedene Rohrhersteller forderten weltweit Bleche für die erste halbindustrielle X100-Rohr-Produktion (Mindeststreckgrenze 690 MPa). Eines dieser Rohrwerke war Europipe, ein Tochterunternehmen von Salzgitter/Mannesmann und Dillinger Hütte. MRM lieferte Europipe Bleche mit API-X100-Festigkeitsniveau zur Herstellung von X100-Rohren mit 28“ Durchmesser und 19,1 mm Wanddicke [2]. In der Folgezeit gewann Mannesmann/Europipe detaillierte Kenntnis bei der Herstellung von X100-Blechen und -Rohren. In der



**Bild 1.** Vergleich des Gewichtes von Blechen unterschiedlicher Stahlgüte (gleiche Breite, Länge)



**Bild 2.** Mengenentwicklung X80-Bleche bei Mannesmannröhren Mülheim

<sup>\*)</sup> Mannesmannröhren Mülheim GmbH

<sup>\*\*)</sup> Großrohrwerk Europipe GmbH

**Tabelle 1. Blechanforderungen PNG-Entwicklungsprojekt**

Mechanische Materialeigenschaften	Anforderungen
Streckgrenze:	≥ 575–675 MPa
Zugfestigkeit:	≥ 625 MPa
Streckgrenzenverhältnis:	≤ 0,93
Dehnung (A <sub>5</sub> ):	≥ 20 %
Kerbschlagarbeit: (–55 °C):	75/100 J

weiteren Entwicklung zur Gütestufe X120 (Mindeststreckgrenze 827 MPa) entwickelte Salzgitter Mannesmann Forschung, die F&E-Zentrale der Salzgitter-Gruppe, im Labormaßstab Konzepte zur Herstellung von Blechen und Rohren dieser Gütestufe.

Von der Kundenanforderung bis zum fertigen Produkt erfolgten diese Entwicklungen in einer sehr engen Kooperation zwischen den Firmen Salzgitter/Mannesmann und Europipe. Nachfolgend werden verschiedene Beispiele für diese Entwicklungskette im Bereich von hoch- und ultrahochfesten Blechen und die erreichten Ergebnisse vorgestellt.

**Weiterentwicklung der Güte API X80**

Die von MRM/Europipe gelieferten Bleche und Rohre nach nordamerikanischen und europäischen Standards kamen bisher überwiegend als Landleitungen für Öl und Gas, aber auch z.B. als Heißdampfleitung zum Einsatz. Aktuelle Entwicklungen fordern eine weitere Verbesserung der Zähigkeitseigenschaften bei abgesenkter Design- und Prüftemperatur sowie optimierte Analysen zur Sicherung einer hervorragenden Schweißbeignung. Entwicklungsprojekte wie der Schiffstransport von Gas in Druckbehältern (Pressurised Natural Gas – PNG) erfordern dabei teilweise Blechdicken über 30 mm. Für ein Beispiel einer PNG-Entwicklung mit 33,5 mm sind die Anforderungen an

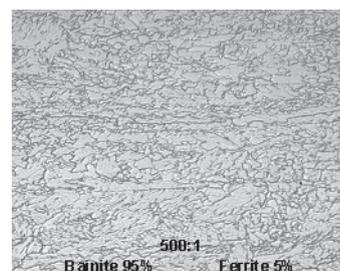
das Blech in **Tabelle 1** beschrieben.

Erfolgreich waren Betriebsversuche mit einem CuCrNiNbTi-Konzept mit 0,06 % C, 1,9 % Mn und einem Kohlenstoffequivalent PCM von 0,20. Durch beschleunigtes Abkühlen aus dem Austenitgebiet wurde ein bainitisches Gefüge mit geringen Ferritanteilen (martensitfrei) erzeugt (**Bild 3**).

**Bleche für Rohre der Festigkeitsstufe API X100**

Seit 1995 werden durch die Mannesmann/Salzgitter-Gruppe verschiedene Versuchsprogramme zur Herstellung von X100-Blechen durchgeführt. Es wurde deutlich, dass das geeignete Produktionsfenster für derart hochfeste Güten sehr schmal ist [3]. Um die gewünschten Eigenschaftskombinationen gezielt und reproduzierbar einzustellen, ist ein exaktes Zusammenspiel von Stahlherstellung und Walz- und Kühlstrategie unbedingt erforderlich. Bereits bei der Produktspezifikation müssen Besonderheiten von ultrahochfesten Stählen berücksichtigt werden. Dazu zählt das mit zunehmender Festigkeit ansteigende Streckgrenzenverhältnis ebenso wie das abnehmende Dehnungsniveau.

Als MRM im Jahre 2003 von Europipe einen Auftrag zur Lieferung von ca. 300 m Blech der Abmessung 12.000 mm x 3,742 mm x 18,5 mm für ein X100-



**Bild 3.** Gefüge eines X80 mit 33,5 mm Wanddicke (PNG-Entwicklungsprojekt)

Projekt erhielt, wurde auf Basis der Ergebnisse früherer Versuche und Tests ein CMnVNbTi-Stahl mit Zugabe von CuNiMo konzipiert. Wegen der anspruchsvollen Anforderung an die Kerbschlagzähigkeit und zur Gewährleistung einer exzellenten Schweißbarkeit, wurde ein moderater Kohlenstoffgehalt von 0,06 % ausgewählt. Die erzielten mechanischen Eigenschaften der X100-Bleche, sowie der daraus bei Europipe gefertigten Großrohre sind in **Tabelle 2** zusammengestellt. Alle Kundenanforderungen wurden übertroffen. Im Jahre 2006 wurden weitere X100-Bleche bei MRM erzeugt. Dabei sah die Produktspezifikation hohe Dehnungs- und Kerbschlagarbeitswerte vor. Auch hier wurde die Gütestufe API X100 übertroffen (**Tabelle 3**).

**Bleche für den Maschinenbau vom Grad S700MC**

Ähnlich zu der oben beschriebenen Entwicklung der Bleche für Großrohre wurden auch für andere Anwendungen hoch- bzw. ultrahochfeste thermomechanisch gewalzte Bleche entwickelt. Der Salzgitter Stahlhandel hält im Rahmen seiner großen Palette von Blechgrößen und -sorten auch Bleche mit einem Festigkeitsniveau von 700 MPa vor. Hauptanwendungen für Bleche der Stahlgüte S700MC sind neben dem Maschinenbau der Hochbau und die Baumaschinenherstellung. MRM wurde bei der Entwicklung eines passenden Legierungs- und Prozessablaufsystems von

**Tabelle 2. Geforderte und erzielte mechanische Eigenschaften für X100-Probelieferung 2003**

	Anforderung Blech	Eigenschaft Blech	Eigenschaft Rohr
Streckgrenze	710 MPa	ø 747 MPa	ø 741 MPa
Zugfestigkeit	760 MPa	ø 797 MPa	ø 854 MPa
Kerbschlagarbeit	180 J (–30 °C)	ø 251 J	ø 260 J
DWTT-Scherbruchanteil	75 % (–20 °C)	ø 91 %	ø 93 %

**Tabelle 3. Geforderte und erzielte mechanische Eigenschaften für X100-Lieferung 2006**

	Streckgrenze	Zugfestigkeit	2"-Dehnung	Streckgrenzenverhältnis	Kerbschlagarbeit	DWTT-Scherbruchanteil
Anforderung Blech	700 MPa	758 MPa	24 %	94 %	130 J (-40 °C)	75 % (-20 °C)
Mittelwert Blech	761 MPa	827 MPa	31 %	92 %	270 J (-40 °C)	88 % (-20 °C)

Salzgitter Mannesmann Forschung unterstützt und so in die Lage versetzt, z. B. S700MC-Bleche von 20 mm Wanddicke zu liefern. Auch hier werden CMnNbV-Ti-Konzepte verwendet, mit denen die Kundenforderungen voll erfüllt werden.

**Entwicklung zur Festigkeitsstufe API X120**

Noch während die ersten Teilstücke von Pipelines versuchsweise mit Großrohren der Güte API X100 versehen werden, sich diese Güte also im Entwicklungsstadium befindet, denkt man bei MRM und der Salzgitter Mannesmann Forschung bereits über den nächsten Schritt nach. So ist im Labormaßstab erfolgreich an einem Konzept zur Realisierung

von X120-Großrohrblechen gearbeitet worden [4]. Mit Laborschmelzen auf CMnNbVTi-Basis und einer gezielten Zulegierung von Bor wurde das Festigkeitsniveau X120 sicher erreicht. Mit diesen viel versprechenden Laborentwicklungen sieht sich MRM gut für den Fall vorbereitet, wenn vom Großrohrmarkt die Entwicklung von Rohrblechen über die Gütestufe X100 hinaus gefordert wird.

**Literatur**

[1] M. Gräf, H.-G. Hillenbrand and K. Niederhoff, Proc. 8<sup>th</sup> Symposium on Line Pipe Research, Houston, Texas, USA (1993)  
 [2] H.-G. Hillenbrand, E. Amoris, K. A. Niederhoff, C. Perdrix, A. Streissel-

berger, U. Zeislmaier, Proc. Pipeline Technology Conference, Ostende, Belgium (1995)

[3] P. S. Mitchell, F. Grimpe, Proc. 37<sup>th</sup> Conference of Metallurgists, Calgary, Canada (1998)  
 [4] F. Grimpe, S. Meimeth, C. J. Heckmann, A. Liessem, A. Gehrke, 1<sup>st</sup> International Conference Super-High Strength Steels November 2-4, 2005, Rome, Italy

■ **Infos+Kontakte**

Mannesmannröhren Mülheim GmbH  
 D-45466 Mülheim an der Ruhr  
 Tel. +49(0)208 4 58-01  
 www.mrw.de

**STAHL 4-2007**  
**st070454**  
**0410-03**