



STAHL wird immer besser, immer leistungsfähiger. Jetzt steht im hochfesten, feinkörnigen Bereich mit thermomechanisch gewalzten Langprodukten eine neue Generation von Stählen bereit, die bisher unerreichbare Verarbeitungseigenschaften, sprich: Schweißeignung, aufweisen.

## Hochfest, feinkörnig, wirtschaftlich

Zur neuen DBS 918002-2: thermomechanisch gewalzte Langprodukte im Vergleich mit klassischen Stählen

Mit thermomechanisch hergestellten Stählen stellt die Industrie bessere Werkstoffeigenschaften, geringere Kosten, hochfeste, feinkörnige Stahlträger mit bisher unerreichbaren Eigenschaften und, wie die Autoren des folgenden Artikels schreiben, auch einen Beitrag zur Wirtschaftlichkeit von Stahlbaukonstruktionen in Aussicht. Der Artikel wendet sich an Projektmanager, Planer, Einkäufer, Bauleiter und Projektleiter, die für Infrastrukturprojekte tätig sind, vor allem im Geltungsbereich der Richtlinie 804 des Deutschen Bahn Standards für Eisenbahnbrücken und Ingenieurbauwerke, die seit März 2011 sehr hohe Ansprüche an die Qualität der Materialbeschaffung stellt. Der Artikel erläutert deshalb die wesentlichen Änderungen dieser Neufassung sowie Eigenschaften und Vorteile des Lieferzustandes +M im Vergleich mit anderen Lieferzuständen.

Andreas Girkes | Marc Blum |  
Georges Axmann

Mit diesem Aufsatz möchten die Autoren parallel zur Einführung des aktualisierten Deutschen Bahn Standards (DBS), einen Beitrag für den praktischen Umgang mit dem Thema Lieferzustände leisten. Neben dem Lieferzustand +N ist nun bei Lieferungen gemäß DBS 918002-2 vom März 2011 für Langserzeugnisse nämlich auch der Lieferzustand +M zugelassen. Das Regelwerk wird dem Anspruch qualitativ hochwertiger Stähle gerecht und berücksichtigt in seiner Fassung

vom März 2011 weiterhin die Anwendung von Stählen bis zur Festigkeitsklasse S460 (ausgenommen S450), beziehungsweise der Stahlsorten S420 und S460, sofern der Hersteller sich der ergänzenden herstellerbezogenen Produktqualifikation (HPQ) unterzogen hat. Dies ist ein richtiger und wichtiger Schritt auf dem Weg zu nachhaltigen und ressourcenschonenden Lösungen im Infrastrukturbereich. Typische Anwendungsbereiche dafür sind zum Beispiel Brückenträger oder Lärmschutzpfosten (Abb. 1 und Abb. 2).

Seit ihrer Einführung in den siebziger Jahren hat der Anteil thermomechanisch ge-

walzter Produkte in Baukonstruktionen stetig zugenommen. Mitte der achtziger Jahre etwa begann bei den Langprodukten die Umstellung auf das moderne ressourcensparende Elektrostahlverfahren (auf Schrottbasis), wodurch der Produktionsfluss erheblich verkürzt wurde. Mit der parallelen Optimierung des Stranggussverfahrens auf ein endproduktnahes Abgießen des Halbzeuges, konnte der Walzprozess deutlich verkürzt werden.

Die Stahlgüte wird zwar bereits während der Stahlherstellung im Elektroofen im wesentlichen bestimmt, jedoch ist das anschließende Walzen mitentscheidend für die Qualität des fertigen Profils.

Die im Stahlinstitut VDEh (früher: Verein deutscher Eisenhüttenleute) zusammengeschlossenen Stahlhersteller haben sich diesbezüglich auf die Begriffe *Normalisierendes Umformen* und *Thermomechanisches Umformen* geeinigt, in der DIN EN 10025-2:2005 gelten die Begriffe *Normalisierendes Walzen* und *Thermomechanisches Walzen*, der internationale Begriff *controlled rolling* deckt beide Verfahren ab (siehe auch: Abb. 3, Kurve D).



### Andreas Girkes

Dipl.-Ing., Bausachverständiger; Ingenieur für Industrie-, Stahl- und Apparatebau in Planungsbüros; seit 1999 technischer Leiter für Vertrieb, Anarbeitung und Marketing bei ArcelorMittal Commercial Long Deutschland; Mitwirkung in mehreren Normengremien  
[andreas.girkes@arcelormittal.com](mailto:andreas.girkes@arcelormittal.com)



### Marc Blum

Dipl.-Ing., Dipl.-Wirt.-Ing., Schweißfachingenieur, Bausachverständiger; Ingenieur für Industrie- und Stahlbau in Planungsbüros, technischer Leiter mittelständischer Stahlbauunternehmen; seit 1999 Geschäftsführer der ArcelorMittal Commercial Long Deutschland  
[marc.blum@arcelormittal.com](mailto:marc.blum@arcelormittal.com)



### Georges Axmann

Dipl.-Ing., technisches Marketing für Arcelor in den USA, China und Südostasien; seit 2008 Leiter der technischen Beratung bei ArcelorMittal Commercial Sections (Luxemburg); Obmann des VDEh-Fachausschusses für unlegierte Baustähle  
[georges.axmann@arcelormittal.com](mailto:georges.axmann@arcelormittal.com)

## Warmwalzverfahren und Lieferzustände:

Warmwalzen ist das klassische Walzverfahren, bei dem unter hohen Temperaturen möglichst große Stichverformungen erzielt werden. Anwendung findet dieses Verfahren heute noch bei dünnwandigen Profilquerschnitten, wie zum Beispiel bei Stabstahl, bei denen sich aufgrund der Querschnittsverhältnisse kaum Gefügeverfeinerungen erzielen lassen und bei denen hinsichtlich ihrer Güte keine besonderen Anforderungen an Festigkeit und Zähigkeiten zu erfüllen sind (kennzeichnend für warmgewalzte Stähle ist der Lieferzustand +AR).

Die Einflussmöglichkeiten der chemischen Zusammensetzung des Stahls und des Gefüges sind vom Zeitpunkt der Erstarrung an kaum mehr veränderbar. Basis für eine Beeinflussung des Gefüges bildet die allotrope Phasenumwandlung des Eisens, die es auf die Stähle überträgt. So ist es möglich, durch mitlaufende Wärmebehandlungsprozesse beim Walzen eine Änderung des Gefüges und seiner Eigenschaften herbeizuführen. Diese Einflussmöglichkeit ist bei sehr dünnen Querschnittswerten allerdings gering und steigt mit zunehmenden Querschnittsdicken. Bei unlegierten Langprodukten übliche Verfahren werden mit +AR → wie gewalzt, +N → normalisierend gewalzt oder +M → thermomechanisch gewalzt bezeichnet.

Das typische Warmumformen ist technologisch durch große Formänderung und hohe Umformgeschwindigkeiten charakterisiert, dabei wird das Gefüge erheblich verändert. Die Längs- und Quereigenschaften warmgewalzter Langprodukte sind in Abhängigkeit des Umformgrades verschieden.

Unter dem Lieferzustand +AR → wie gewalzt, versteht man einen Warmformen auf relativ hohem Temperaturniveau, bei dem im Walzprozess weitere, das Gefüge und damit Eigenschaften beeinflussende thermomechanische Prozesse keine Anwendung finden, man spricht allgemein von einem Lieferzustand ohne Walz- und/oder Wärmebehandlungsbedingungen.

**Kontrolliertes Walzen** ist allgemein das Walzverfahren, bei dem Temperatur und Verformung während des Walzens gesteuert

werden, um gezielte Materialeigenschaften zu erreichen. Kontrolliertes Walzen bedeutet:

- Normalisierendes Walzen (Kennzeichnung: Lieferzustand +N). Die dabei erreichten Materialeigenschaften ähneln denen nach einem Normalglühen.

- Beim Thermomechanischen Walzen (Kennzeichnung: Lieferzustand +M) ohne und mit Selbstanlassen (Kennzeichnung: TM-QST) werden Materialeigenschaften erreicht, die sich durch Wärmebehandlung allein nicht erzielen lassen. Mit diesem Verfahren ist es möglich, einkörnigere Stähle mit hohen Streckgrenzen, guten Zähigkeitseigenschaften und verbesserten Verarbeitungseigenschaften herzustellen. Eine weitere Verfeinerung der Gefüge kann mit zunehmenden Dicken durch eine beschleunigte Kühlung

(mit Wasser, Abb. 4) und Selbstanlasseffekt (QST) nach der letzten Verformung erreicht werden. Dies ermöglicht die Herstellung von Stählen mit hohen, garantierten Streckgrenzen und hervorragenden Zähigkeitseigenschaften, die zum Beispiel bei Werkstofftemperaturen über 5 Grad Celsius ohne Vorwärmen schweißbar sind (Markenstahl Histar®)

Unter dem Lieferzustand +N → normalisierendes Walzen versteht man ein Warmformen unter verhältnismäßig rascher Abkühlung zwecks Beseitigung des sich sonst vorwiegend ausbildenden groben Gefüges. Der zeitliche Ablauf von Temperaturänderung und Umformung wird so gesteuert, dass sich ein bestimmter Werkstoffzustand einstellt.

Man unterscheidet Verfahren mit vollständigem und ohne wesentliche Rekrystalli-



Abb. 1: WIB-Brücke als Durchlaufträger



Abb. 2: Verbundbrücke



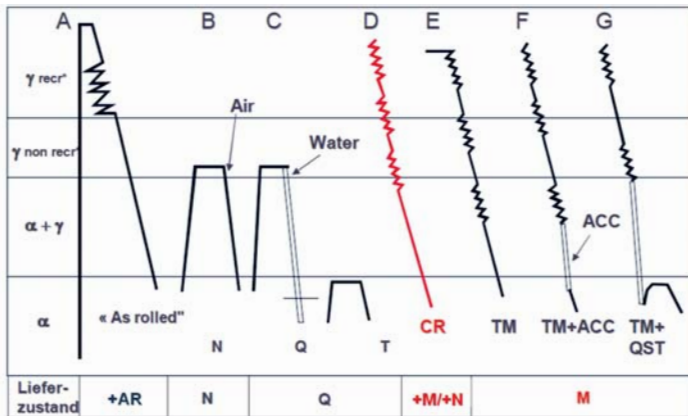


Abb. 3: Walzprozesse

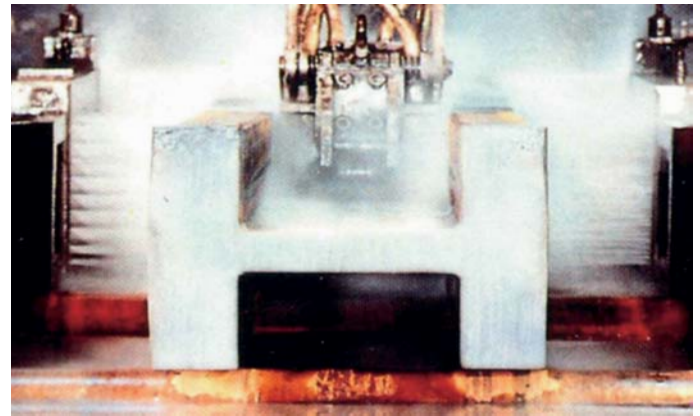


Abb. 4: QST-Verfahren

sation des Austenits. Entsprechend behandelte Teile zeichnen sich durch ein feines Korn und eine hohe Streckgrenze aus. Die optimale Endwalztemperatur beträgt für Baustähle etwa 850 bis 900 Grad Celsius. Sie liegt damit etwa in dem Bereich der üblichen Normalglühtemperatur für schweißgeeignete Baustähle. Das normalisierende Walzen ist ein Walzverfahren mit einer Endumformung in einem bestimmten Temperaturbereich, das zu einem Werkstoffzustand führt, der dem nach einem Normalglühen gleichwertig ist, sodass die Sollwerte der mechanischen Eigenschaften auch nach einem zusätzlichen Normalglühen (zum Beispiel Spannungsarmglühen) eingehalten werden.

Der Lieferzustand +M → thermomechanisches Walzen unterscheidet sich vom vorher beschriebenen dahingehend, dass ein Umformen mit gesteuerter Endumformung derart stattfindet, dass ein Werkstoffzustand erreicht wird, der durch eine thermische Behandlung allein nicht eingestellt werden kann und der nicht wiederholbar ist. Hauptziel ist das Erreichen hoher Streckgrenzwerte bei gleichzeitiger ausreichender Zähigkeitseigenschaft und guter Schweißbarkeit. Die Endumformung erfolgt knapp oberhalb von 650 bis 700 Grad Celsius.

Durch eine zusätzliche QST-Behandlung (Quenching and Self-Tempering = Abschrecken und Selbstanlassen, Abb. 4 und Abb. 5) ist es weiterhin möglich, für Lang-

produkte hochfesten Stahl mit einer Streckgrenze bis 460 N/mm<sup>2</sup> herzustellen (Siehe Abb. 3, Kurve G). Diese speziell auf der schweren Trägerstraße in Differdingen (Luxembourg) entwickelte Behandlung erfolgt nach der Endumformung des Trägers in einem niedrigen Temperaturbereich, hier spricht man allgemein vom TM-QST-Walzen. Diese Stähle sind unter dem Markennamen Histar® erhältlich und über die europäisch technische Zulassung (European technical Approval) ETA-10/0156 anwendbar.

### Einfluss der Walzverfahren auf die mechanischen Eigenschaften

Langprodukte werden heute überwiegend als Flüssigstahl im Strang vergossen. Stand der Technik für die Herstellung von Langprodukten ist, dass ihr Stahlgefüge und damit ihre Eigenschaften bei festgelegter chemischer Zusammensetzung durch Wärmebehandlung in weiten Grenzen verändert werden. Die eingesetzten Walzverfahren beeinflussen das sich bildende Gefüge beziehungsweise die zu erzielenden mechanischen Eigenschaften, insbesondere Streckgrenze, Zugfestigkeit und Zähigkeit. Hauptparameter sind Materialdicken, Endverformungstemperatur, Abkühlgeschwindigkeit. Darüber hinaus muss die chemische Zusammensetzung des Stahls abhängig vom Walzver-

fahren abgestimmt werden. Mit zunehmender Materialdicke ist es möglich, die Vorteile des modernen thermomechanischen Walzens mehr und mehr zu nutzen.

Klassisch hergestellte Stähle stoßen hier an ihre Grenzen: so führen feinkornbildende Elemente zwar grundsätzlich zur Feinkörnigkeit des Gefüges und damit hohen mechanischen Werten, allerdings ist das Hinzulegiere von Feinkornbildnern verknüpft mit einem begrenzten Zähigkeitsverlust und schlechterer Schweißbeignung, bedingt durch höhere CEV-Werte. Dieser Nachteil stellt sich bei thermomechanisch gewalzten Stählen nicht ein, da bei der Herstellung gleichwertiger Festigkeiten auf Basis einer Umformung mit Temperaturführung weitestgehend auf das Hinzulegiere von Feinkornbildnern verzichtet werden kann (Abb. 6 und Abb. 9).

Mit der Weiterentwicklung des TM-Walzens zum TM-QST-Walzen (Markenstahl Histar®) wurden grundlegende Schritte in drei Richtungen unternommen:

- wesentliche Verbesserung der Homogenität der Werkstoffeigenschaften,
- erhebliche Verringerung der Fertigungskosten sowohl für Herstellung als auch für die Weiterverarbeitung,
- Schaffung einer neuen Generation von gewalzten Stahlträgern im hochfesten, feinkörnigen Bereich mit bisher nicht erreichten Verarbeitungseigenschaften, sprich: Schweißbeignung.

### Anwendung und Eigenschaften von TM-gewalzten Stählen im Vergleich mit klassischen Stählen

*Anwendung im bauaufsichtlichen Bereich:* Für Langstähle in allen drei Lieferzuständen +AR, +N, +M, gelten zunächst einmal die selben Tabellen und Werte der Werkstoffnorm DIN EN 10025-2. Das Regelwerk macht keine Unterschiede hinsichtlich der Verwendungszwecke und schreibt auch keine Lieferzustände vor. Die Mindestanforderungen an die Stähle sind somit zunächst

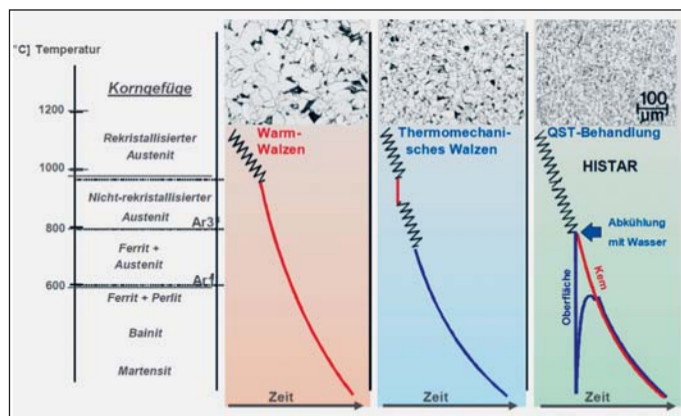


Abb. 5: Vergleich Walzverfahren

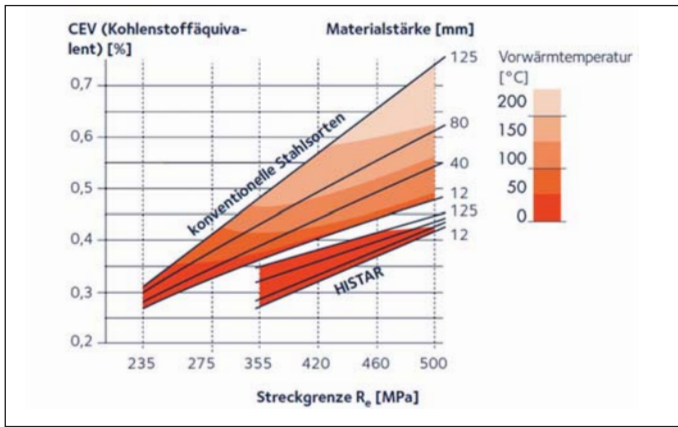


Abb. 6: TM-QST-Stähle – Vorwärmtemperaturen

Dokument	Oberflächen-Erwärmung	Durchgreifende Erwärmung	Durchgreif. Erwärmung mit längerer Haltezeit
SEW 088	≤ 950 °C	≤ 700 °C	/
CEN / TR	≤ 900 °C	≤ 700 °C	≤ 650 °C

SEW 088: Schweißgeeignete Feinkornbaustähle. Richtlinien für die Verarbeitung besonders für das Schmelzschiessen

CEN / TR: Guidance for forming of structural steels in processing (EN TR 10347:2005)

American welding society: Bridge welding code: 650°C (excepted Q)

Abb. 7: Flammrichten von +M / M

einmal vollkommen identisch. Für Stahlbaukonstruktionen muss jedoch für Stähle in S235, S275 und S355 über dreißig Millimeter Dicke der Nachweis der Schweißbarkeit erbracht werden, welcher gemäß Element (506) nach DIN 18800-7 durch Verwendung einer schweißgeeigneten Stahlsorte erbracht ist. Der Nachweis ist erbracht, wenn Stähle in Festigkeitsklasse S235 im Lieferzustand +M oder +N verwendet werden beziehungsweise wenn Stähle in Festigkeitsklasse S355 als Feinkornbaustahl S355M/ML oder S355N/NL gemäß DIN EN 10025-4 beziehungsweise -3 verwendet werden. Klassische Stähle im Lieferzustand +AR stoßen hier an ihre Grenzen oder es muss für den klassischen Lieferzustand +AR ein individueller Nachweis der Schweißbarkeit für Dicken über dreißig Millimeter durch einen Aufschweißbiegeversuch nach SEP 1390 erbracht werden.

**Anwendung im Infrastrukturbereich:** Im Geltungsbereich der Richtlinie 804 (Eisenbahnbrücken und sonstige Ingenieurbauwerke planen, bauen und instandhalten) dürfen Stähle im Lieferzustand +AR gemäß DBS 918002-2: März 2011 nicht verwendet werden, wenn Eisenbahnlasten wirken. Der hohe Qualitätsanspruch der Deutschen Bahn AG wird weiterhin durch Erweiterung der ergänzenden Bestimmungen deutlich:

- gemäß EB 4 muss der Hersteller für Lieferungen im Geltungsbereich der Richtlinie 804 den Nachweis über die Einhaltung der Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung für die uneingeschränkte Freigabe von festen Stoffen durch Bescheinigung im Abnahmeprüfzeugnis erbringen,
- weiterhin dürfen im Geltungsbereich der Richtlinie 804 gemäß EB 6 (neu) aus einer Schmelze keine unterschiedlichen Güten verwendet werden.

Kennzeichnend für die modernen thermomechanisch gewalzten (TM-)Stähle, im Vergleich mit klassisch gewalzten Baustählen, ist der

Delivery condition	Recommended maximum values of the flame-straightening temperature		
	Short superficial heating °C	Short full section heating °C	Full section heating with longer holding time °C
normalized	≤ 900	≤ 700	≤ 650
thermomechanical rolled up to S460	≤ 900	≤ 700	≤ 650
thermomechanical rolled S500 to S700	≤ 900	≤ 600	≤ 550
quenched and tempered	≤ tempering temperature applied to the original product – 20 K (generally below 550 °C)		

Abb. 8: Flammrichten – Vergleich M/N

im Schweißgut beschränkt sein. Bei TM-QST-Stählen kann selbst bis zu Mindeststreckgrenzen von 460 N/mm<sup>2</sup> aus metallurgischer Sicht auf das Vorwärmen, das Einhalten von Zwischenlagentemperaturen und gegebenenfalls auf die Wärmenachbehandlung des Nahtbereichs verzichtet werden, ohne dass mit einer Schädigung der Schweißverbindung zu rechnen ist. Einzige Voraussetzung sind die richtige Auswahl der Schweißzusätze und das Einhalten praxisüblicher Qualitätssicherungsmaßnahmen.

niedrige Kohlenstoffgehalt und gegebenenfalls der Gehalt an Mikrolegierungselementen, wie zum Beispiel Niob und Vanadium. Dies verleiht dem Stahl eine ausgezeichnete Schweißbarkeit.

Durch den niedrigeren Kohlenstoffgehalt und die geringere Korngröße der TM-Stähle, verbunden mit einem hohen Reinheitsgrad, ergibt sich eine deutliche Zähigkeitsverbesserung. Diese spiegelt sich auch in der tieferen Übergangstemperatur der Kerbschlagarbeit wider. Thermomechanische Stähle zeichnen sich daher auch durch eine hohe Bruchzähigkeit aus.

Bedingt durch die niedrigen Kohlenstoffäquivalente der thermomechanisch gewalzten Stähle kann aus rein metallurgischer Sicht, auf das sonst bei klassischen Baustählen zwingend notwendige Vorwärmen zur Vermeidung von Kaltrissen, verzichtet werden (siehe Abb. 6).

TM-Stähle sind nicht geeignet für die Warmumformung (bezeichnend für längerfristige Temperatureinbringung oberhalb der Rekristallisationstemperatur, das heißt, zwischen 950 und 1.250 Grad Celsius). Hierzu bleibt anzumerken, dass bei Langprodukten im Bauwesen/Stahlbau eine Weiterverarbeitung durch Warmumformen in der Praxis nicht üblich, beziehungsweise eine Wärmebehandlung generell für alle Stähle nach DIN EN 10025-2 (Pkt. 1 Anwendungsbereich) nicht vorgesehen ist.

Thermomechanisch gewalzte Baustähle lassen sich ohne Schwierigkeiten Flamm-

richten. Wie bei anderen Baustählen auch, muss darauf geachtet werden, dass die Flammrichttemperatur bestimmte Höchstwerte und Zeitintervalle nicht überschreitet (Abb. 7 und Abb. 8). Bei Flammrichttemperaturen bis 700 Grad Celsius erfolgt noch keine Austenitisierung des Werkstoffes, das heißt, solange die Flammrichttemperatur 700 Grad Celsius nicht überschreitet, ist eine Beeinträchtigung der Werkstoffeigenschaften durch den Flammrichtvorgang nicht zu erwarten. Die mögliche Beeinträchtigung der Zähigkeit beim Flammrichten nimmt mit dem Kohlenstoffgehalt der Stähle zu. Sie ist bei den thermomechanischen Stählen, deren Kohlenstoffgehalt niedriger ist, geringer als bei den übrigen Stählen.

Spannungsarmglühen, welches für die üblichen Fertigungsprozesse im Stahlbau eher unüblich ist, ist nach dem Schweißen nur dann vorzunehmen, wenn die Art der Konstruktion und/oder die zu erwartende Betriebsbeanspruchung einen Abbau der Eigenspannungen ratsam erscheinen lassen oder wenn dies in den in Betracht kommenden Regelwerken gefordert wird. SEW 088 gibt genaue Angaben zum Temperaturbereich und zur Haltedauer, und zwar  $530\text{ °C} \leq T \leq 580\text{ °C}$  und  $30\text{ Min} \leq t \leq 90\text{ Min}$ .

Durch den Einfluss des Legierungsgehalts in Grund- und Schweißzusatzwerkstoff sind klassische Bau- und Feinkornbaustähle mit Streckgrenzen über 355 N/mm<sup>2</sup> verhältnismäßig kaltrissanfällig, so muss unter anderem der Gehalt an diffusiblem Wasserstoff

### Fazit

Mit der Einführung der thermomechanisch hergestellten Stähle gelang der erste Schritt in Richtung einer Verbesserung der Werkstoffeigenschaften von höherfesten Feinkornbaustählen. Mit der Weiterentwicklung des TM-Walzens zum TM-QST-Walzen wurden grundlegende Schritte in drei Richtungen unternommen:

- Wesentliche Verbesserung der Werkstoffeigenschaften,
- erhebliche Verringerung der Fertigungskosten für Produktion und Weiterverarbeitung,
- Schaffung einer neuen Generation gewalzter Stahlträger im hochfesten, feinkörnigen Bereich mit bisher nicht erreichten Eigenschaften.

Bei Ausnutzung des Potenzials, welches TM/TM-QST-Stähle bieten, leisten diese im harten Wettbewerb von Stahl mit anderen Baustoffen einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Gesamtwirtschaftlichkeit von Stahlbaukonstruktionen (Abb. 10).

### Literatur

- [1] DIN EN 10025:2005; DBS 918002-2: März 2011; Ril 804
- [2] Broschüre: Arcelor Commercial Sections informiert seine Kunden, 2005
- [3] Blum, M.: Schweißignung einer neuen Generation gewalzter Stahlträger. In: „der Praktiker“ Heft 10 (1998). Düsseldorf: DVS Verlag
- [4] Schumann, H. und Oettel, H.: Metallografie, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2005
- [5] Blum, M., Girkes, A.: Wirtschaftlicher bauen mit Walzträgern aus TM-QST-Stahl, In: „der Praktiker“ Heft 7 (2000). Düsseldorf: DVS Verlag



Abb. 9: Markenstahl Histar – Schweißen ohne Vorwärmen  
Abb. 10: TM-QST-Stähle – Markenstahl Histar bietet Optimierungspotenzial

