

# Verarbeitung hochfester TM-Stähle im Fahrzeugbau

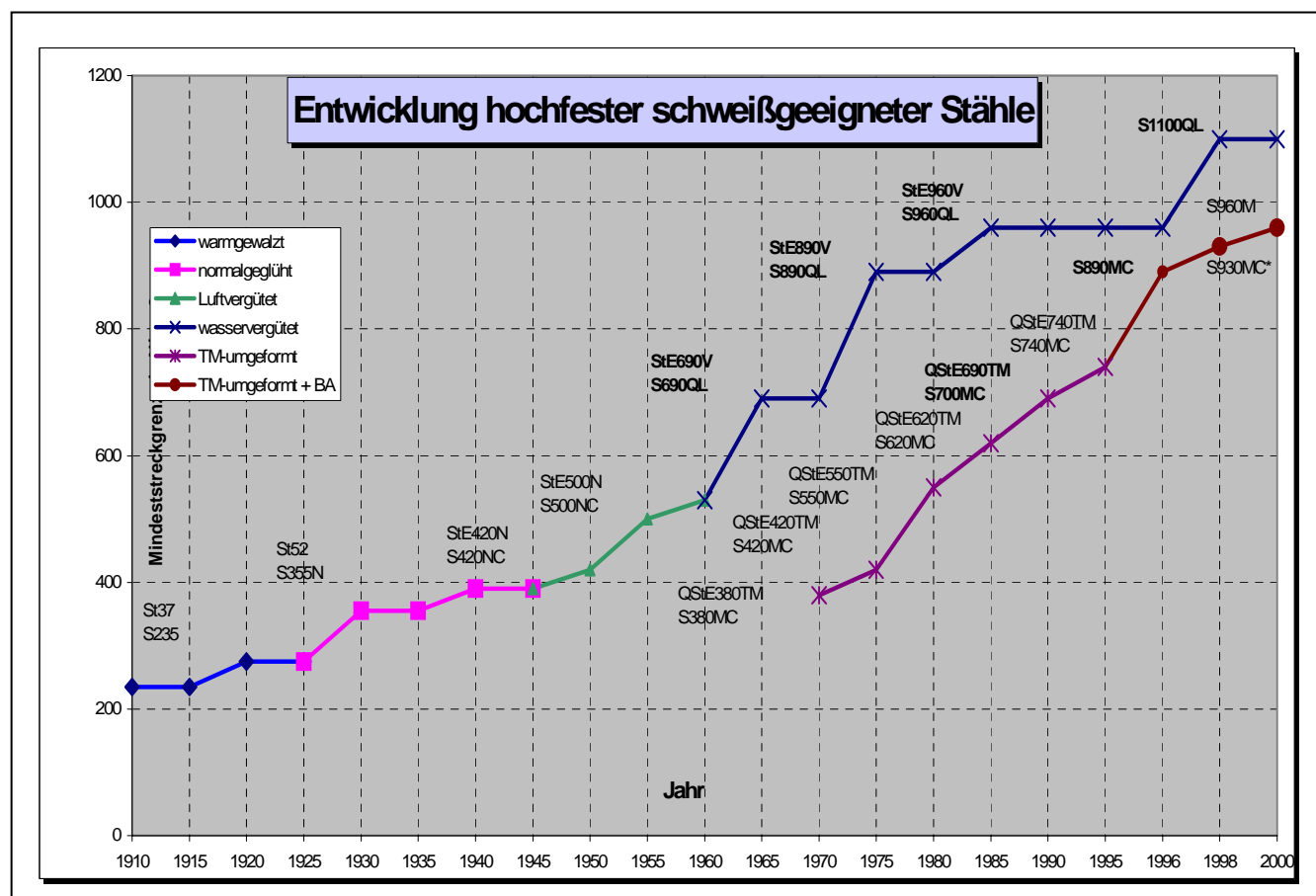
Dipl.-Ing. (FH) Peter Gerster, EWE, Ehingen

## 1 Entwicklung hochfester Feinkornstähle

Ständig steigende Anforderungen wie Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Zähigkeit, bis hin zu höchsten Festigkeitswerten bei guter Schweißbeignung, trieben die Entwicklung der Feinkornstähle immer weiter voran.

Durch den Einsatz optimierter Sekundärmetallurgie, sowie der Vakuumentgasungstechnik, konnten die Gehalte unerwünschter Begleitelemente wie z. B. Schwefel, Phosphor, Stickstoff, Sauerstoff und Wasserstoff soweit reduziert werden, daß sich immer optimalere Werkstoffwerte einstellen ließen. Beispielsweise können heute Stähle mit definierten Schwefel- und Stickstoffgehalten von nur wenigen ppm hergestellt werden.

Heute wird bereits der wasservergütete Feinkornstahl mit einer Streckgrenze von 1100 N/mm<sup>2</sup> (S1100QL) im Autokran verwendet. Durch die Weiterentwicklung der thermomechanischen Walztechnik in Verbindung mit einer nachfolgenden Intensivkühlung und anschließender Anlaßbehandlung bewegen sich neueste Entwicklungen bei TM-Stählen bis hin zu Streckgrenzen von 960 N/mm<sup>2</sup>, **Bild 1**. Alle diese Stähle sind hochzäh und unter Beachtung von einschlägigen Verarbeitungsregeln gut schweißbar.



**Bild 1.** Stahlientwicklung

## 1.1 Methoden der Festigkeitssteigerung

Bei den ersten Stählen mit höherer Festigkeit wurde dies primär über chemische Zusammensetzung durch festigkeitssteigernde Elemente, vor allem Kohlenstoff und Mangan erreicht.

Aluminium bindet den gelösten Stickstoff und trägt so zur Verbesserung der Alterungsbeständigkeit bei. Durch die dabei entstehenden Al-Nitride wird das Kornwachstum behindert, so dass das Gefüge feinkörniger wird. Umfangreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass aus diesem Grund auch das Schweißen in kaltumgeformten Bereichen ohne Beeinträchtigung der Zähigkeit möglich ist (entgegen DIN 18800).

Bei steigenden Festigkeiten ist die reine Mischkristallbildung bei C/Mn-Stählen nicht mehr einsetzbar, da die Grenzen der Schweißbarkeit schnell erreicht werden. In der weiteren Entwicklung wurden also andere festigkeitssteigernde Maßnahmen wie Kornfeinung, Teilchenausscheidung oder Versetzungsanhäufung einzeln oder in Kombination eingesetzt [1].

## 1.2 Eigenschaften von thermomechanisch gewalzten Feinkornstählen

Im Bereich niedriger und mittlerer Streckgrenzen geht die Tendenz zunehmend in Richtung der thermomechanisch gewalzten Stähle. „Als thermomechanisches Walzen bezeichnet man Walzverfahren mit einer Endumformung in einem bestimmten Temperaturbereich. Das führt zu einem Werkstoffzustand mit bestimmten mechanischen Eigenschaften, der durch eine Wärmebehandlung alleine nicht erreicht wird und nicht wiederholbar ist. Die Kurzbezeichnung für diesen Lieferzustand ist „M“ [2].

Anmerkung: Das thermomechanische Walzen kann Verfahren mit erhöhter Abkühlgeschwindigkeit (Intensivkühlung) ohne oder mit Anlassen einschließen.

Die Intensivkühlung mit Anlaßbehandlung wird bei TM-Stählen bei höheren Festigkeiten ab  $R_{p0,2} > 700 \text{ N/mm}^2$  angewandt.

In Tabelle 1 werden die Vor und Nachteile von TM-Stählen gegenübergestellt. Aufgrund der Vorteile des TM-gewalzten Stahles wird sich dieser Werkstoff zukünftig vermehrt im Bereich der Stähle von 355 bis 690 N/mm<sup>2</sup> durchsetzen.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Je nach Blechdicke und Herstellverfahren deutlich geringerer Preis</li> <li>• Bessere Ebenheit</li> <li>• Wesentlich bessere Oberflächengüte</li> <li>• Bessere Schweißbarkeit aufgrund geringerem CET (Kohlenstoffäquivalent) und damit keine oder geringere Vorwärmung erforderlich</li> <li>• Geringere Abkantradien möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Blechdicken eingeschränkt*</li> <li>• Höhere Eigenspannungen</li> <li>• Wärmebehandlung mit höheren Temperaturen oder Warmumformung nicht möglich</li> <li>• Etwas geringere Zähigkeit</li> </ul> <p>*Warmbreitband bis max.10 mm, Grobbleche intensivgekühlt und angelassen bis 25 mm Dicke</p>

**Tabelle 1:** Vor- und Nachteile von TM-Stählen im Vergleich zu den wasservergüteten Stählen

## **2 Wirtschaftliche Kriterien f. den Einsatz höherfester Stähle in Stahlkonstruktionen**

Aufgrund des hohen Kosten- und Wettbewerbsdruckes sind besonders die Hersteller schweißintensiver Produkte gezwungen, ständig ihre Fertigungsprozesse zu optimieren und die Produktion leistungsfähiger zu gestalten. Der Schlüssel dazu ist die Umsetzung neuer Technologien und damit die Erhöhung der Produktivität, beispielsweise durch den Einsatz neuer Werkstoffe. Dabei sind bei Stahlbaukonstruktionen hochfeste Stähle unverzichtbar und werden sich auch in Zukunft vermehrt durchsetzen. Dies gilt auch für den bauaufsichtlichen Bereich [3], wo bisher, neben den normalen Baustählen, nur normalisierend gewalzte Stähle mit 460 N/mm<sup>2</sup> Streckgrenze und vergütete Stähle mit 690 N/mm<sup>2</sup> Streckgrenze zugelassen sind. Im wesentlichen sind folgende Kriterien für den Einsatz hochfester Werkstoffe ausschlaggebend:

### **2.1 Erhöhung des Leistungsgewichtes Nutzlast / Eigengewicht**

Durch den Einsatz höherer Streckgrenzen können insbesondere im Fahrzeugbau Energiekosten (Treibstoff) durch geringeres Eigengewicht eingespart werden. Im Mobilkransektor kann durch den Einsatz sogenannter Taxikrane, welche die Ausrüstung und das benötigte Gegengewicht am Fahrzeug integriert transportieren, auf ein weiteres Begleitfahrzeug verzichtet werden. Außerdem werden Transportwege reduziert, da höhere Nutzlasten/Fahrzeug bewegt werden. Andererseits können höhere Nutzlasten bei gleichem Eigengewicht realisiert werden, was sich positiv auf die Wettbewerbsfähigkeit auswirkt.

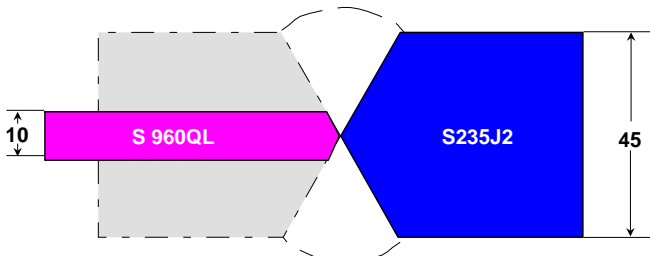
### **2.2 Verringerung der Material- und Fertigungskosten**

Die Verwendung höherfester Werkstoffe führt zu einer der Streckgrenze proportionalen Verringerung der Blechdicke. Obwohl z.B. ein Stahl mit 890 N/mm<sup>2</sup> Streckgrenze im Einkauf ca. das Doppelte im Vergleich mit S235J0 kostet, fallen aufgrund des geringeren Gewichtes geringere Materialkosten an. Ein vielfaches geringer ist dabei auch das einzubringende Schweißgut. Somit werden die anfallenden Lohnkosten deutlich reduziert.

Bei solchen Betrachtungen darf jedoch der höhere Fertigungsaufwand z.B. durch Vorwärmen und der Konstruktionsaufwand, welcher zwangsläufig aufgrund des konstanten E-Moduls auftritt, nicht außer Acht gelassen werden. Da die elastische Durchbiegung der Konstruktion oft aus funktionsbedingten und / oder psychologischen Gründen (Kranausleger, Fahrwerke) begrenzt ist, sind die Konstrukteure gefordert die nötige Steifigkeit über die Bauteilgestaltung zu realisieren. Die dabei erhöhten Kosten, z.B. durch mehr Versteifungsrippen müssen bei einer Wirtschaftlichkeitsrechnung gegengerechnet werden.

Trotzdem sind aufgrund der höheren Leistungs- und Kostenvorteile höchstfeste Feinkornbaustähle nicht mehr wegzudenken. Die Herstellung moderner Mobil- und Raupenkrane mit Nutzlasten bis zu 1000 t und mehr ist ohne diese Werkstoffe nicht möglich.

In Bild 2 ist das mögliche Einsparpotenzial dargestellt. Bei der Verwendung von S960 anstelle von S235 kann man allein beim Grundwerkstoff rund die Hälfte einsparen, da dieser nur ein Gewicht im Verhältnis 1:4,5 hat. Den höchsten Einspareffekt hat man bei den Lohnkosten, da das Schweißnahtvolumen im Verhältnis 1:16 steht und somit die Schweißzeit um ein Vielfaches reduziert wird.



**x Randbedingungen:**

- Abschmelzleistung 3 kg/h
- Lohn- und Maschinenkosten 35 €/h
- Spez.Schweißnahtkosten = Schweißzusätze+ Schweißen
- Berechnungsgrundlage Re / 1,5

<sup>1)</sup> Streckgrenze = 215 N/mm<sup>2</sup> (40-63mm)

Kenngröße	S960QL (Verhältnis)	S235J2 <sup>1)</sup> (Verhältnis)
-Streckgrenze N/mm <sup>2</sup>	1	0,22
-Blechdicke mm	1	4,5
-Schweißdrahtkosten	1	0,31
-Schweißnahtvolumen	1	16
-Schweißgutkosten	1	5
-spez. Schweißnahtkosten <sup>x</sup>	1	11,5
-spez. Stahlkosten	1	2

Bild 2. Einsparpotenzial bei hochfesten Stählen

### 3 Schweißzusätze nach DIN EN - Normen

Da von den Schweißzusätzen bzw. der Schweißverbindung in der Regel die gleichen mechanisch-technologischen Eigenschaften erwartet werden, wie beim Grundwerkstoff, müssen diese entsprechend der Festigkeitsklasse legiert sein. Bei Wurzellagen und einlagigen Kehlnähten findet eine Auflegung des Schweißgutes durch den Grundwerkstoff statt. Streckgrenze und Zugfestigkeit werden dadurch im Vergleich zum „reinen“ Schweißgut erhöht. Man verwendet deshalb, vorallem bei hochfesten Stählen, für Wurzellagen und einlagige Kehlnähte üblicherweise niedriger legierte Schweißzusätze als für Füll- und Decklagen.

In letzter Zeit wurden die Normen für diese Schweißzusätze europaweit überarbeitet. Tabelle 2 zeigt einen Überblick über die neuen EN – Normen für Feinkornstähle.

	GAS	LBH	UP	WIG	MAG / MIG	MSG / FD
<b>unleg. und Feinkornstähle</b>	EN 12536	EN 499	EN 756	EN 1668	EN 440	EN 758
<b>hochfeste Re &gt; 500 N/mm<sup>2</sup></b>		EN 757	EN 14295	EN 12534		EN 12535
<b>Schutzgase / Pulver</b>			EN 760	EN 439		
<b>Lieferbedingungen</b>	EN 759 und EN 12074					

**Tabelle 2:** EN-Normen für Kombinationen von Schweißzusätzen und Schweißverfahren

## 4 Schutzgase

Grundsätzlich sind alle Schutzgase nach DIN EN 439 für die MAG – Schweißung geeignet, wobei die Gase der Gruppe M 1 nur in Ausnahmefällen zur Anwendung gelangen. Wir setzen ein argonreiches Mischgas mit 18% CO<sub>2</sub> ein. Der Einfluß der Schutzgase auf die mechanisch-technologischen Eigenschaften ist zu berücksichtigen. Dies gilt umso mehr, je höher die Festigkeit und je tiefer die Einsatztemperatur ist.

## 5 Schweißtechnische Voraussetzungen

Beim Schweißen von Feinkornstählen sind unbedingt an jedem Arbeitsplatz Möglichkeiten für das Vorwärmen zu schaffen. Die Kontrolle der Vorwärm- und Zwischenlagentemperatur kann mit Temperaturmessstiften, Magnet-Haftthermometer, digitalen Temperaturmessgeräten oder Pyrometer erfolgen.

Vor Beginn der Schweißarbeiten ist der Nahtbereich zu säubern. Schneidschlacke, Zunder und Rost sind dabei durch Bürsten, Schleifen oder am besten durch Strahlen zu entfernen. Durch Trocknen oder Vorwärmen ist außerdem sicherzustellen, dass der Nahtbereich feuchtigkeitsfrei ist.

### 5.1 Vermeidung von Kaltrissen

Ein wirksames Mittel ist das Vorwärmen. Es verzögert die Abkühlung des Nahtbereiches und begünstigt die Wasserstoffeffusion. Das Kaltrißverhalten von Stählen hat wesentlichen Einfluß auf die Schweißkosten. Es besteht deshalb großes Interesse, Stähle hinsichtlich ihres Kaltrißverhaltens einzustufen. Dies wird ermöglicht durch das in [4,6] aus umfangreichen Kaltrißuntersuchungen abgeleitete Kohlenstoffäquivalent CET. Es lautet:

$$\text{CET [\%]} = \text{C} + (\text{Mn} + \text{Mo}) / 10 + (\text{Cr} + \text{Cu}) / 20 + \text{Ni} / 40$$

Das Kaltrißverhalten von Schweißverbindungen wird außer von der chemischen Zusammensetzung des Grundwerkstoffes und des Schweißgutes CET auch von der Blechdicke  $d$ , dem Wasserstoffgehalt des Schweißgutes HD und dem Wärmeeinbringen  $Q$  beim Schweißen sowie dem Eigenspannungszustand der Verbindung maßgebend bestimmt. Durch die Auswertung einer Vielzahl entsprechender Untersuchungen wurde die Wirkung dieser Einflußgrößen auf die Vorwärmtemperatur deutlich [5]. Sie läßt sich mittels nachfolgender Summenformel beschreiben:

$$T_p [\text{C}] = 700 \text{ CET} + 160 \tanh(d/35) + 62 \text{ HD}^{0,35} + (53 \text{ CET} - 32) Q - 330$$

In dieser Gleichung bedeuten CET das Kohlenstoffäquivalent in %,  $d$  die Blechdicke in mm, HD den Wasserstoffgehalt in cm<sup>3</sup> / 100 g deponiertes Schweißgut nach DIN 8572 und  $Q$  das Wärmeeinbringen in kJ/mm. Bei Schweißverbindungen mit günstigerem Eigenspannungsniveau sind niedrigere Vorwärmtemperaturen vertretbar. Im Falle von Schweißverbindungen mit extrem hohem Verspannungsgrad (z.B. bei Nähten an Stützen oder Rohrknöten) können jedoch höhere Vorwärmtemperaturen erforderlich sein.

Beim Auftreten von Kaltrissen stellt man immer wieder fest, dass zwar die richtige Vorwärmtemperatur gewählt, jedoch die tatsächliche Wärmeableitung am Bauteil nicht richtig eingeschätzt wurde. Zum einen muß die Vorwärmtemperatur in ausreichendem Abstand

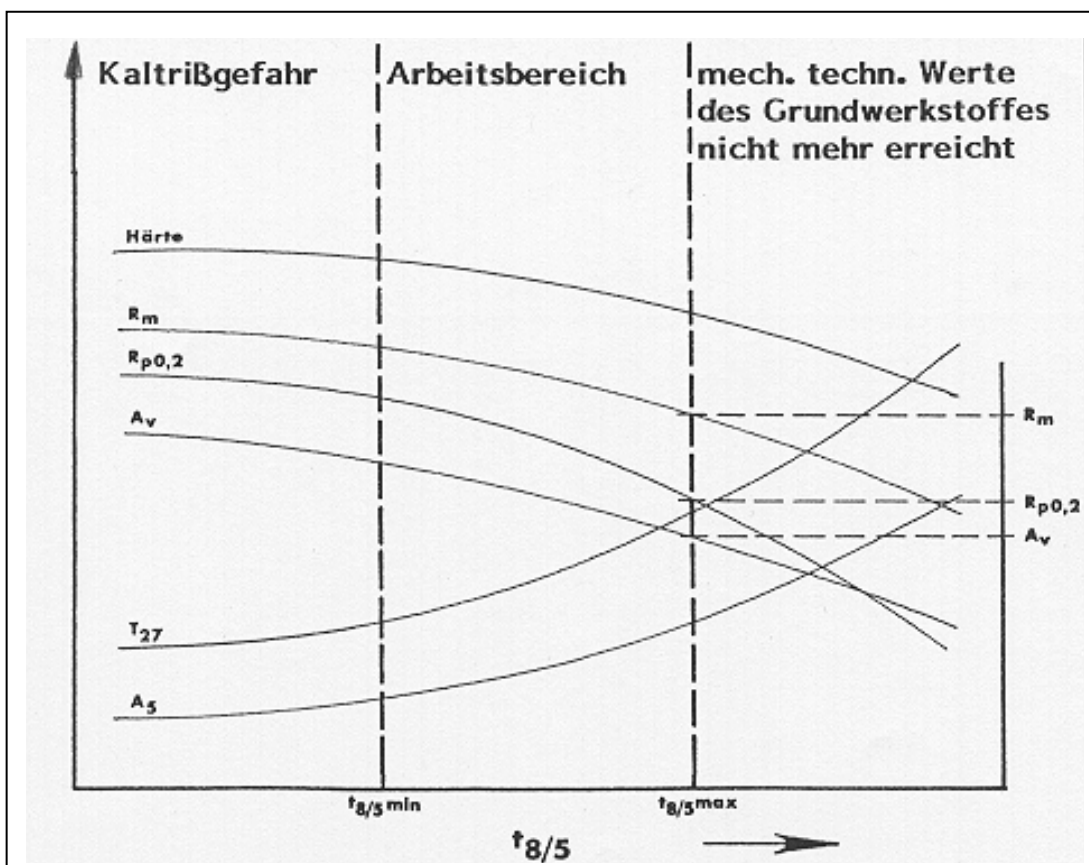
von der Schweißnaht gemessen werden, zum anderen muß natürlich an Stellen, wo mehrere Schweißnähte zusammentreffen und damit neben der höheren Wärmeableitung noch dreidimensionale Spannungszustände auftreten können, welche die Kaltrissbildung zusätzlich begünstigen, auch sorgfältiger vorgewärmt werden.

## 5.2 Mechanisch-technologischen Eigenschaften von Schweißverbindungen

Die mechanischen Eigenschaften von Schweißverbindungen werden in erster Linie bestimmt durch die chemische Zusammensetzung von Stahl und Schweißgut sowie die beim Schweißen auftretenden Temperaturzyklen. Die wichtigsten Einflußgrößen bezüglich der Temperaturzyklen sind das Schweißverfahren, die Vorwärmtemperatur, die Streckenergie sowie die Werkstückdicke und die Nahtgeometrie. Diese verfahrenstechnischen Einflußgrößen fasst man zu einer für den Temperatur-Zeit-Verlauf beim Schweißen charakteristischen Kenngröße, die Abkühlzeit  $t_{8/5}$  zusammen.

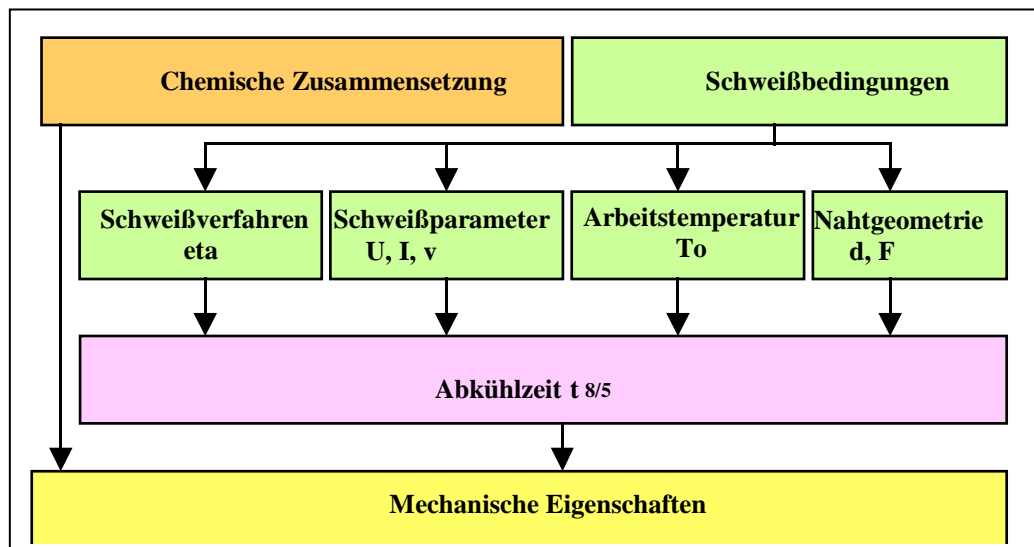
Eine zu schnelle Abkühlung der Schweißraupen aus dem Austenitgebiet wirkt sich ungünstig auf das Verformungsverhalten der Verbindung aus. Es besteht außerdem die Gefahr von Kaltrissen. Infolge des niedrigeren Wasserstoffgehaltes (HD ca. 2-3) beim MAG-Schweißen liegt die Mindestabkühlzeit  $t_{8/5}$  zur Vermeidung von Kaltrissen hier bei 5 s.

Eine zu langsame Abkühlung der Schweißraupen aus dem Austenitgebiet hat dagegen zur Folge, daß die Festigkeitseigenschaften des Schweißgutes nicht mehr denen des Grundwerkstoffes entsprechen. Es besteht dabei außerdem die Gefahr, daß die WEZ eine zu niedrige Zähigkeit aufweist. Dies trifft vor allem bei dünneren Blechdicken zu



**Bild 3.**  
Einfluss von  $t_{8/5}$

Die mechanisch-technologischen Eigenschaften werden also hauptsächlich von  $t_{8/5}$  beeinflusst. Die Abkühlzeit wird dabei von folgenden Einflussgrößen bestimmt:



**Bild 4.** Einfluß von chemischer Zusammensetzung und Schweißbedingungen auf mechanische Eigenschaften

## 6 Schweißen

Bei den TM-Stählen z.B. S700MC haben wir aufgrund der dünneren Blechdicken (bei Warmbreitband im Allgemeinen bis 8 mm, Quartobleche bis 15 mm) hauptsächlich mit größeren Abkühlzeiten zu tun. Dies bedeutet in der Praxis, dass die Problematik mit Kaltrissen eine untergeordnete Rolle spielt, jedoch die Entfestigung aufgrund zu großer Abkühlzeiten. Es ist deshalb zu beachten, dass die max. zulässigen Abkühlzeiten auf keinen Fall überschritten werden, d. h. in der Regel kleinere Streckenenergien und größere Schweißgeschwindigkeiten abhängig von der Blechdicke.

### 6.1 Überwachung der Schweißdaten

Die Überwachung der wichtigsten Schweißdaten beschränkt sich in der Praxis auf die Kontrolle der Vorwärmtemperatur und ggf. der Zwischenlagentemperatur sowie die Messung der Abkühlzeit  $t_{8/5}$ . Für den Praktiker ist es hilfreich, unter Verwendung der Diagramme im DVS-Merkblatt 0916 [8], die minimal und maximal zulässige Streckenenergie in Abhängigkeit der Blechdicke aufgrund der Vorgabe der Abkühlzeit zu bestimmen. Mit diesen Werten kann man in einem weiteren Diagramm abhängig vom Drahtelektroden-durchmesser die zugeordneten minimalen und maximalen Schweißgeschwindigkeiten ermitteln. Diese sind dann in der Praxis sehr einfach zu kontrollieren.

### 6.2 Qualifikation der Schweißer

Die Schweißer müssen eine Qualifikation nach DIN EN 287-1 für die Werkstoffgruppe W03 nachweisen. Interne Schulungen und Unterweisungen der Schweißer über Vorwärmen und ggf. Nachwärmen sowie die Einhaltung der geforderten Streckenenergie (Viellagentechnik) in Abhängigkeit der verwendeten Werkstoffe müssen laufend durchgeführt

werden. Dabei ist es sinnvoll, dass der Schweißer die Schweißgeschwindigkeit über den Nahtaufbau und Nahtquerschnitt einstellt, da dies jederzeit einfach kontrolliert werden kann.

## 7 Einsatzgebiete der thermomechanisch umgeformten Feinkornstähle

Bei der Einführung neuer Werkstoffe in der Fertigung sind umfangreiche Untersuchungen bezüglich der mechanisch-technologischen Werkstoffeigenschaften nötig. Die höherfesten Feinkornstähle finden hauptsächlich im Nutzfahrzeugbau, im Ladekran und Mobilkranbereich Anwendung.

### 7.1 Beispiel Rungen im LKW-Anhänger

Hier werden TM-Stähle in der Streckgrenzenklasse von S500MC bis S600MC eingesetzt. Durch die max. Fahrzeugbreite von 2500 mm und lichte Innenbreite von 2440 mm ergibt sich eine Rungentiefe von 30 mm bei einer gängigen Standartbreite von 120 mm. Da einerseits der Querschnitt festgelegt ist und andererseits die Prüfbedingungen entsprechend der DIN EN 283 erfüllt werden müssen, ist es erforderlich hochfeste FK-Stähle zu verwenden. Dadurch ist das Handling aufgrund des geringen Eigengewichtes wesentlich verbessert und die Nutzlast erhöht.



**Bild 5.** Runge am LKW-Aufbau



**Bild 6.** Belastungsprüfung mit 1000 daN

### 7.2 Längs- und Querträger in LKW-Anhänger

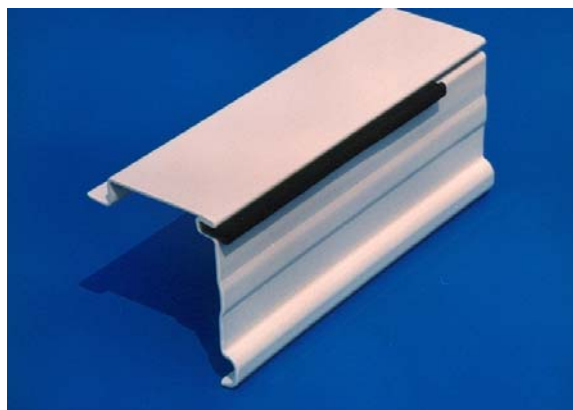
Bei den Längs- und Querträger werden in der Regel TM- Stähle S460MC bis S550MC verwendet. Höhere Streckgrenzen bei den Längsträger sind problematisch wegen der ebenfalls höheren Durchbiegung. Diese kann bei einer entsprechenden Auslastung zu Funktionstörungen (z. B. Klemmen der Bordwände) führen.

Beim Coil-Sattelanhänger werden Querträger aus S700MC eingesetzt. Gründe hierfür sind die hohe Beanspruchung durch Punktlast, sowie die geforderte hohe Nutzlast. Auch müssen die hohen Zurrkräfte auf die sonstigen Bauteile übertragen werden. Bild 7 zeigt einen Ausschnitt von einem solchen Rahmen. Selbst der Außenrahmen (Bild 8) ist trotz der hohen Kaltumformung aus S460MC.





**Bild 7.** Ausschnitt Coil- Sattelanhänger



**Bild 8.** Außenrahmen von Anhängern

### 7.3 Container-Querträger und Unterfahrerschutz

Der Container- Querträger (Bild 9) wird aus S700MC hergestellt. Dies hat den Vorteil, dass bei der erforderlichen hohen Festigkeit eine gleichzeitig hohe elastische Durchbiegung vorhanden ist. Damit haben wir einen Ausgleich ohne bleibende Verformung bei Wechselbrücken- und Container- Beladung. Außerdem konnte die Blechdicke im Vergleich zum S355 halbiert werden, was außer dem Gewichtsvorteil auch einen Kostenvorteil brachte.

Den gleichen Vorteil brachte auch der Einsatz des S700MC beim Unterfahrerschutz (Bild 9), der die hohen Verformungskräfte gemäß EG- Vorschrift aufnehmen muss.



**Bild 9.** Wechselverkehr- Anhänger



**Bild 10.** Wechselbrücke

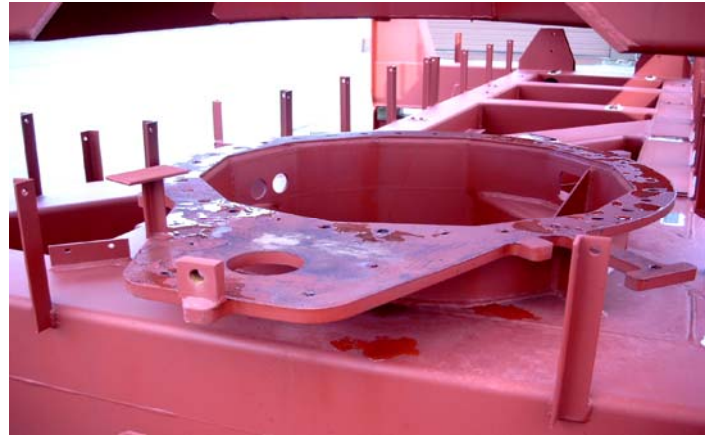
Der tragende Stahlbaurahmen der Wechselbrücke (Bild 10) ist ebenfalls aus S700MC

### 7.4 Fahrzeug- und Mobilkran

Im Autokranbau werden heutzutage für die tragende Schweißkonstruktion fast ausschließlich die wasservergüteten Feinkornstähle S960QL und neuerdings auch der S1100QL eingesetzt. Jedoch für die Anbau- und Befestigungsteile wie Konsolen und Halter für Verkleidungen werden auch wegen der guten Kaltumformbarkeit die TM-Stähle der Güten S460MC bis S700MC verwendet. Auch hier spielt das Eigengewicht eine sehr große Rolle, da in der Regel die zul. Achslasten 12 t nicht überschreiten dürfen.

## 7.5 Teleskopsteiger und Hubarbeitsbühnen

Bei den Hubarbeitsbühnen und Teleskopsteiger finden die TM-Stähle immer mehr Anwendung, speziell aus Gewichtsgründen und wegen der guten Schweißbarkeit. Hier wird bevorzugt die Festigkeitsklasse S700 MC eingesetzt.



**Bilder 11 und 12** zeigen Aufbaurahmen für Teleskop – Steiger aus Werkstoff S700MC

## 8 Zusammenfassung

Hochfeste Feinkornstähle sind heute bei der Fertigung von Nutzfahrzeugen, insbesondere im Schwerlastbereich und im Mobilkranbau unverzichtbar und werden sich auch im Stahlbau vermehrt durchsetzen. Aus wirtschaftlichen Gründen, sowie aufgrund der guten Verarbeitungseigenschaften in bezug auf Schweißen und Biegen werden thermomechanisch gewalzte Stähle im Streckgrenzenbereich bis  $690 \text{ N/mm}^2$  bevorzugt eingesetzt. Entwicklungen der TM- Stähle mit noch höheren Streckgrenzen bis  $960 \text{ N/mm}^2$  treibt bisher nur ein Stahlhersteller voran.

## Literaturhinweise

- [1] Dr. Geyer, Ing.Mag. Rauch, Dipl.-Ing. Schütz, VOEST-ALPINE Stahl Linz GmbH  
Hochfeste Feinkornstähle mit optimierten Verarbeitungseigenschaften Tagungsband zum Fortbildungsseminar für Schweißfachleute an der Schweißtechnischen Zentralanstalt in Wien, 18.05.1995, Bild 2
- [2] DIN EN 10149-1, Warmgewalzte Flacherzeugnisse aus Stählen mit hoher Streckgrenze zum Kaltumformen, Teil 1: allgemeine Lieferbedingungen  
September 1995, 3.5

- [3] Deutsches Institut für Bautechnik Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Bauprodukte aus hochfesten schweißgeeigneten Feinkornstählen...  
10.12.1997
- [4] Uwer, D. und Höhne, H.: Charakterisierung des Kaltrissverhaltens beim Schweißen  
Schweißen und Schneiden 43 (1991) Heft 4, Seite 195-199.
- [5] Uwer, D. und Höhne, H.: Ermittlung angemessener Vorwärmtemperaturen  
Schweißen und Schneiden 43 (1991) Heft 5, Seite 282-287.
- [6] DIN EN 1011-1 April 1998 Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe –  
Teil 1 Allgemeine Anleitung zum Lichtbogenschweißen  
  
DIN EN 1011-2 Mai 2001 Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe –  
Teil 2 Lichtbogenschweißen von ferritischen Stählen
- [7] SEW 088, Schweißgeeignete Feinkornbaustähle, Richtlinien für das Verhalten,  
besonders für das Schmelzschweißen, Oktober 1996, Stahl-Eisen-Werkstoffblatt  
(SEW) des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute.
- [8] DVS-Merkblatt 0916: Metall-Schutzgasschweißen von Feinkornbaustählen.