

# Schweißtechnische Verarbeitung und Anwendung hochfester Baustähle im Nutzfahrzeugbau

Horst Wegmann, Duisburg und Peter Gerster, Ehingen

Der Einsatz von Stählen hoher Festigkeit im Kran- und Fahrzeugbau ist Voraussetzung für leichtere und damit wirtschaftlichere Konstruktionen. Häufig werden bestimmte technische Lösungen erst durch die Verwendung entsprechend hochfester Stähle ermöglicht. Mit Hilfe verbesserter metallurgischer und walztechnischer Maßnahmen sowie durch die Weiterentwicklung bewährter wie auch durch die Einführung neuer Stahlsorten ist es gelungen, den Forderungen nach höherer Festigkeit, größerer Zähigkeit und einer verbesserten Schweißeignung Rechnung zu tragen. So stehen heute verarbeitungsfreundliche, hochfeste Stähle mit Mindeststreckgrenzen von 355 N/mm<sup>2</sup> bis 1100 N/mm<sup>2</sup> zur Verfügung, die gleichzeitig hohe Zähigkeitsreserven aufweisen. Genauso wichtig wie die Verbesserungen der Stahleigenschaften waren die schweißtechnischen Fortschritte. Das gilt sowohl für das thermische Schneiden wie auch für die Herstellung kaltrißsicherer und anforderungsgerechter Schweißverbindungen.

## 1 Einleitung

Der Einsatz niedriglegierter hochfester Baustähle bietet in vielen Anwendungsbereichen sowohl technische wie auch wirtschaftliche Vorteile. Diese Stähle ermöglichen eine deutliche Reduzierung der Blechdicke und somit des Eigengewichts. Das führt zu einer erheblichen Verringerung der Herstellungs- und Betriebskosten. **Bild 1** zeigt als Beispiel einen 800-t-Mobilkran, bei dem Stähle mit einer Streckgrenze von bis zu 1100 N/mm<sup>2</sup> zum Einsatz kommen. Sie werden sowohl für den Unterwagen wie auch für die Teleskopausleger verwendet. Derartige Fahrzeuge wären ohne die Verfügbarkeit hochfester Stähle nicht zu realisieren.



**Bild 1.** 800 t-Mobilkran aus XABO 960 (S960 QL), Hubhöhe 134 m, Gesamtgewicht ohne Ausleger 96 t

Grundlage sind die hohe Tragfähigkeit und das günstige Verarbeitungsverhalten dieser Stähle. Dabei sind die Anforderungen an den Werkstoff Stahl in den zurückliegenden Jahrzehnten ständig gestiegen. Das gilt besonders für die Festigkeit, die Zähigkeit und die Schweißeignung, wobei Zähigkeit und Schweißeignung mit zunehmender Blechdicke an Bedeutung gewinnen. Durch metallurgische und walztechnische Fortschritte konnten die mechanischen Eigenschaften und das Verarbeitungsverhalten hochfester Baustähle deutlich verbessert werden. Dank des vertieften Einblicks in den Zusammenhang zwischen den Schweißbedingungen und den Eigenschaften von Schweißverbindungen ist man in der Lage, gezielt den Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften der Schweißverbindungen entsprechende und gleichzeitig wirtschaftliche Schweißbedingungen anzuwenden. Auch die in der Vergangenheit so gefürchteten Kaltrisse beim Schweißen der niedriglegierten hochfesten Stähle lassen sich heute zuverlässig vermeiden.

## 2 Stahlientwicklung

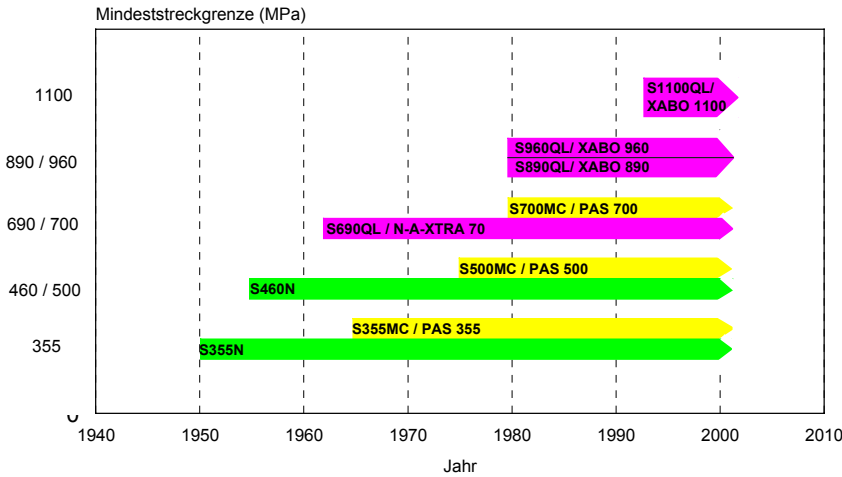
Seit Einführung der Feinkornbaustähle in den 50er Jahren hat es bei den hochfesten Stählen eine rasante Entwicklung gegeben, **Bild 2**. Normalgeglühte Stähle lassen sich bis etwa 460 N/mm<sup>2</sup> Mindeststreckgrenze erzeugen. Typische Vertreter dieser Gruppe sind z. B die Stahlsorten S355N und S460N. Um bei normalgeglühten Stählen noch höhere Streckgrenzen zu erreichen, müsste der Legierungsgehalt weiter erhöht werden, was dann zu einer deutlichen Beeinträchtigung der Schweißeignung führen würde. Wesentlich höhere Streckgrenzen bei gleichzeitig hervorragender Zähigkeit lassen sich durch eine Vergütung erreichen. Besonders wirkungsvoll ist dabei die Wasservergütung. Wasservergütete Baustähle mit Mindeststreckgrenzen von 690, 890 und 960 N/mm<sup>2</sup> sind seit vielen Jahren verfügbar [1-3]. Vom Mengenaufkommen ist die Stahlsorte S690Q/QL der wichtigste Vertreter dieser Stahlgruppe. Doch auch Stähle mit einer Mindeststreckgrenze von 890 N/mm<sup>2</sup> und

960 N/mm<sup>2</sup> werden in beachtlichen Mengen z. B. im Druckbehälter-, Kran- und Fahrzeugbau sowie für Bergbaugeräte eingesetzt. Die obere Grenze bildet heute der wasservergütete Stahl mit einer Mindeststreckgrenze von 1100 N/mm<sup>2</sup>. Anwendungsgebiet ist hier vorzugsweise der Kranbau.

Schritt zur Verbesserung der Schweißseignung und des Umformverhaltens. Durch den Zusatz von Mikrolegierungselementen wird der Festigkeitsabfall infolge der Kohlenstoffabsenkung ausgeglichen und eine zusätzliche Verfestigung erreicht.

Interessante Alternativen zu den wärmebehandelten Stählen bilden die durch den Zusatz MC gekennzeichneten

Ausgewiesen werden die **wasservergüteten Stähle** mit Mindeststreckgrenzen zwischen 690 und 1100 N/mm<sup>2</sup>. Diese erfüllen auch bei größeren Blechdicken



**Bild 2.**  
Entwicklung hochfester Baustähle

neten thermomechanisch gewalzten Stähle mit Mindeststreckgrenzen von 355 N/mm<sup>2</sup> bis 690 N/mm<sup>2</sup> [4-5]. Diese finden in der Großrohrfertigung und zunehmend im Schiffbau, im Nutzfahrzeugbau sowie bei besonderer Anforderung an das Kaltumformverhalten Anwendung.

höchste Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften. Wasservergütete Baustähle sind niedriglegierte Stähle auf der Basis Chrom-Molybdän bzw. Chrom-Molybdän-Nickel-Vanadin. Der Kohlenstoffgehalt ist auf maximal etwa 0,20 % begrenzt und der Legierungsgehalt wird im Interesse der Schweißbarkeit so niedrig wie möglich gehalten. Der Legierungsgehalt ist Voraussetzung dafür, daß bei der Wasserabschreckung über den gesamten Querschnitt ein günstiges martensitisch-bainitisches Gefüge entsteht. Bei der nachfolgenden Anlaßglühung stellt man die mechanischen Eigenschaften der Bleche durch die Wahl einer angemessenen Anlaßtemperatur ein. Die so hergestellten Stähle weisen neben der geforderten Festigkeit eine ausgezeichnete Kerbschlagzähigkeit auf.

**Tabelle 1** gibt einen Überblick über die Eigenschaften hochfester Stähle. Sie werden als Warmband mit Dicken zwischen 1,5 mm und 20 mm oder als Grobblech mit Dicken ab 3 mm bis 125 mm hergestellt. Neben dem bekannten normalgeglühten S355N fallen die **thermomechanisch gewalzten Stähle** auf. Ihr besonderes Merkmal sind ein niedriger Kohlenstoffgehalt und ein geringer Zusatz an Mikrolegierungselementen wie Niob, Titan oder Vanadin. Die Verringerung des Kohlenstoffgehalts ist der wichtigste

Güte	Norm	TKS-Güte	Typische chemische Zusammensetzungen Gew. %										min ReH N/mm <sup>2</sup>	Rm N/mm <sup>2</sup>	r min.
			C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Nb	Ti	typ. CET				
S355J2G3	10025	-	0,18	0,05	1,50							0,34	355	490 630	2,5 a
S355MC	10149-2	PAS 355	0,07	0,05	1,10					0,04		0,18	355	430 550	1,0 a
S500MC	10149-2	PAS 500	0,07	0,05	1,35			0,08	0,05			0,21	500	600 760	2,0 a
S700MC	10149-2	PAS 700	0,07	0,45	1,80		(0,18)		0,06	Ti 0,12		0,25 (0,29)	700	750 950	2,5 a (WB) 3,0 a (GB)
S690QL	10137-2	N-A-XTRA 70	0,17	0,20	0,95	0,20	0,25					0,30	690	770 940	3,0 a
S960QL	10137-2	XABO 960	0,17	0,40	1,45	0,60	0,35	0,05				0,38	960	980 1150	4,0 a
S1100QL	(10137-2)	XABO 1100	0,17	0,30	0,95	0,70	0,55	0,07		Ni 2,0		0,41	1100	1200	4,0 a

**Tabelle 1.**  
Eigenschaften hochfester Stähle

$$CET = C + (Mn+Mo)/10 + (Cr+Cu)/20 + Ni/40$$

### 3 Schweißtechnische Verarbeitung

Voraussetzung für die Nutzung der günstigen Eigenschaften der hochfesten Baustähle ist, daß die Schweißverbindungen dem Grundwerkstoff entsprechende mechanische Eigenschaften aufweisen. Es sind weiterhin Vorkehrungen zu treffen, um Kaltrisse beim Schweißen zu vermeiden. Durch umfangreiche Untersuchungen ist es gelungen, für die schweißtechnische Verarbeitung dieser Stähle ein solides, an wissenschaftlichen Erkenntnissen orientiertes Fundament zu schaffen.

Schneidgeschwindigkeit und damit verbunden eine geringe Wärmebeeinflussung im Schneidbereich. Als Folge ergeben sich eine schmalere Wärmeeinflußzone und geringerer Verzug. Untersuchungen belegen ein ausgezeichnetes Verformungsverhalten der Schnittkanten. Ein entsprechender Unterschied infolge der verschiedenen Schneidverfahren ist nicht erkennbar.

#### 3.2 Schweißverfahren und Schweißzusätze

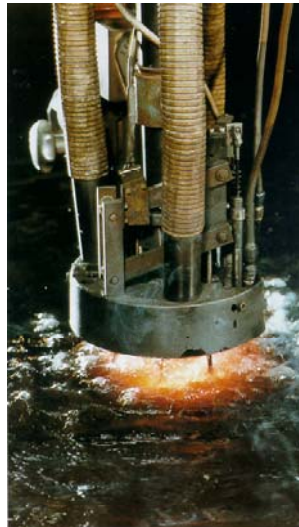
Moderne hochfeste Baustähle lassen sich nach allen in der Praxis üblichen Verfahren problemlos schwei-



autogenes  
Brennschneiden



Laserstrahl-  
schneiden



Unterwasser-  
Plasmaschneiden

**Bild 3.** Thermisches Schneiden hochfester Baustähle

#### 3.1 Schweißnahtvorbereitung

Die schweißtechnische Verarbeitung beginnt im allgemeinen mit der Nahtvorbereitung. Hochfeste Stähle lassen sich nach allen thermischen Schneidverfahren verarbeiten, **Bild 3**.

Am gängigsten ist immer noch das autogene Brennschneiden, das zwar nur geringe Schneidgeschwindigkeiten ermöglicht, dafür aber bis zu großen Blechdicken angewendet werden kann. Bei dünnen Blechen besteht jedoch die Gefahr, daß infolge der vergleichsweise langsamen Schneidgeschwindigkeit Verzug und Verwerfungen auftreten. Hier liegen die Vorteile des Laserstrahl- und Plasmaschneidens. Das Plasmaschneiden wird heute bis etwa 40 mm Blechdicke eingesetzt, vorzugsweise als Unterwasserverfahren. Beim Laserstrahlschneiden liegt die vertretbare Blechdicke z. Z. bei ca. 20 mm. Dabei ist die Blechoberfläche für die Schnittqualität entscheidend. Als günstig haben sich gestrahlte und mit einer dünnen Primerschicht versehenen Oberfläche erwiesen. Vorteil der beiden letztgenannten Verfahren sind die hohe

936-01  
ßen. Wegen des hohen Mechanisierungsgrades und des geringeren Wasserstoffgehaltes im Schweißgut steht häufig das Schutzgasschweißen im Vordergrund. **Bild 4** zeigt das Schutzgasschweißen eines Fahrzeugrahmens aus S960QL.



**Bild 4.** Fahrzeugrahmen aus S960QL für einen 80t-Mobilkran



Daneben wird besonders bei größeren Blechdicken bevorzugt das Unterpulver-Verfahren eingesetzt. Rückläufig ist der Einsatz des Lichtbogenhandschweißens.

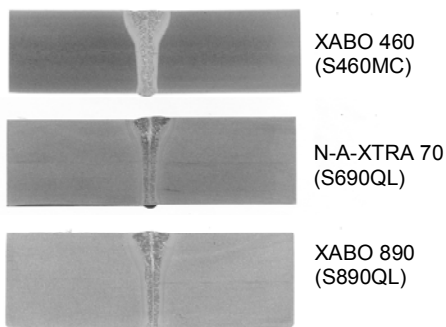
Da von den Schweißzusätzen bzw. der Schweißverbindung in der Regel die gleichen mechanisch-technologischen Eigenschaften erwartet werden wie beim Grundwerkstoff, müssen diese entsprechend der Festigkeitsklasse legiert sein. Daneben ist jedoch zu beachten, daß das Schweißgut unter Umständen durch den Grundwerkstoff auflegiert wird. Man verwendet deshalb, vor allem bei hochfesten Stählen, für Wurzellagen und einlagige Kehlnähte üblicherweise niedriger legierte Schweißzusätze als für Füll- und Decklagen. Je höher die Streckgrenze ist, desto größer wird die Gefahr der wasserstoffinduzierten Risse. Nachfolgende **Tabelle 2** gibt einen Überblick der aktuellen europäischen Normung für Schweißzusätze.

**Tabelle 2.** Stand der EN-Normen für die Schweißzusätze

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

Eine Ausnahme gilt für Stähle mit einer Mindeststreckgrenze von 1100 N/mm<sup>2</sup>, hier gibt es bisher keine artgleichen Schweißzusätze, es werden die für Stähle mit 890 bzw. 960 N/mm<sup>2</sup> gebräuchlichen eingesetzt.

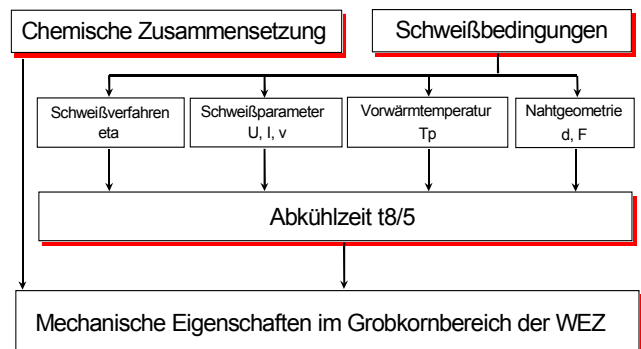
Seit einiger Zeit findet für Blechdicken bis etwa 12 mm auch das Laserstrahlschweißen Anwendung. Im Rahmen eines ECSC-Projektes wurden bereits Schweißverbindungen an 15 mm Blechen aus hochfesten Stählen mit sehr guten Ergebnissen hergestellt, **Bild 5**.



**Bild 5.** Laserstrahlschweißen hochfester Baustähle, 15 mm Blechdicke

### 3.3 Mechanische Eigenschaften von Schweißverbindungen

Die mechanischen Eigenschaften von Schweißverbindungen, das heißt Festigkeit, Härte und Zähigkeit in der Wärmeeinflußzone, werden in erster Linie bestimmt durch die chemische Zusammensetzung von Stahl und Schweißgut sowie durch den beim Schweißen auftretenden Temperaturzyklus, den Temperatur-Zeit-Verlauf. **Bild 6** macht den Zusammenhang nochmals deutlich. Dem Einfluß der chemischen Zusammensetzung trägt man durch den Legierungsaufbau des Stahles und durch Einsatz angemessen legierter Schweißzusätze Rechnung. Entscheidend für den Temperatur-Zeit-Verlauf sind die Schweißbedingungen mit ihren verfahrenstechnischen Einflußgrößen. Diese faßt man üblicherweise zu einer für den Temperatur-Zeit-Verlauf beim Schweißen charakteristischen Kenngröße zusammen, der Abkühlzeit  $t_{8/5}$  [6-7]. Das ist die Zeit, die während des Abkühlens einer Schweißraupe und ihrer Wärmeeinflußzone benötigt wird, um den Temperaturbereich von 800 °C bis 500 °C zu durchlaufen. Die Zusammenfassung der verfahrenstechnischen Einflußgrößen zu einer zentralen Kenngröße, der Abkühlzeit  $t_{8/5}$ , trägt wesentlich dazu bei, die Behandlung des Zusammenhanges zwischen den Schweißbedingungen und den mechanischen Eigenschaften in Schweißgut und WEZ zu erleichtern.



**Bild 6.** Einflußgrößen für die mechanischen Eigenschaften

Der Zusammenhang zwischen den Schweißbedingungen und der Abkühlgeschwindigkeit läßt sich durch mathematische Beziehungen beschreiben, die aus der Theorie der Wärmeleitung in festen Körpern abgeleitet wurden. Einzelheiten bezüglich der Berechnung der Abkühlzeit  $t_{8/5}$  werden sowohl im Schrifttum wie auch in der neuen EN 1011-2 „Schweißen – Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe“ – Teil 2 ausführlich erläutert [8]. Um die Berechnung für den Anwender zu erleichtern, hat die ThyssenKrupp Stahl AG ein einfach anzuwendendes Computerprogramm entwickelt, das Verarbeiter auf Wunsch zur Verfügung gestellt wird.

### 3.4 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. In der bereits genannten EN 1011-2 sind im Anhang C zwei Methoden zur Vermeidung von Wasserstoffrissen in unlegierten Stählen, Feinkornbaustählen und niedriglegierten Stählen beschrieben:

#### Methode A (C.2)

Hier wird das Kohlenstoffäquivalent CE zu Beurteilung herangezogen. Es lautet:

$$CE [\%] = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V) / 5 + (Ni + Cu) / 15$$

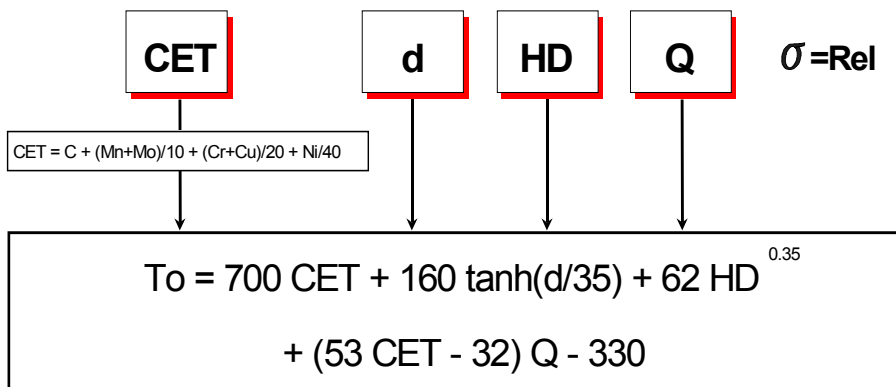
Dieses CE basiert auf der Härtebarkeit eines Stahles und berücksichtigt weniger die Kaltrissemphindlichkeit der hochfesten Feinkornbaustähle.

#### Methode B (C.3)

Aus umfangreichen Untersuchungen zum Kaltrissverhalten von Stählen beim Schweißen wurde das CET-Konzept abgeleitet [9]. Dieses Konzept fand seinen Niederschlag zunächst im SEW 088 und wurde dann als Methode B in EN 1011-2 übernommen. Spezielle Kaltrisstests auch an Schweißverbindungen [10-11] ermöglichten ein genaueres Bestimmen der notwendigen Vorwärmung durch das abgeleitete Kohlenstoffäquivalent CET. Es lautet:

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

Das Kaltrissverhalten von Schweißverbindungen wird neben der chemischen Zusammensetzung des Grundwerkstoffes bzw. des Schweißgutes, gekennzeichnet, durch das Kohlenstoffäquivalent CET, durch die Werkstückdicke d, den Wasserstoffgehalt des Schweißgutes HD, das Wärmeeinbringen beim Schweißen Q sowie das Eigenspannungsniveau der Konstruktion maßgebend bestimmt, Bild 7.



To = Vorwärmtemperatur, °C  
 CET = Kohlenstoffäquivalent, %  
 d = Blechdicke, mm

HD = Wasserstoffgehalt des Schweißgutes, cm<sup>3</sup> / 100g deponiertes Schweißgut  
 Q = Wärmeeinbringen, kJ / mm  
 $\sigma$  = Eigenspannung im Nahtbereich, N/mm<sup>2</sup>

Bei der Ableitung dieser Beziehung wurden Eigenspannungen in Höhe der Streckgrenze des Grundwerkstoffes bzw. des Schweißgutes unterstellt. Bei Schweißverbindungen mit günstigerem Eigenspannungsniveau sind niedrigere Vorwärmtemperaturen vertretbar. Im Falle von Schweißverbindungen mit extrem hohem Verspannungsgrad (z. B. bei Nähten an Stützen oder Rohrknoten) können jedoch höhere Vorwärmtemperaturen erforderlich sein.

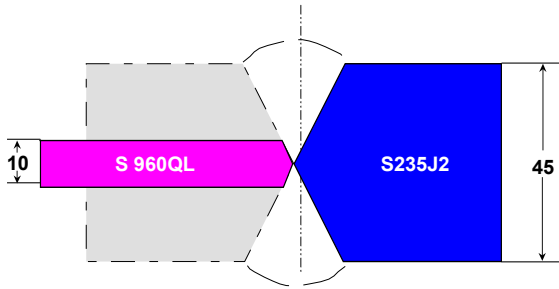
Beim Auftreten von Kaltrissen stellt man immer wieder fest, dass zwar die richtige Vorwärmtemperatur gewählt, jedoch die tatsächliche Wärmeableitung am Bauteil nicht richtig eingeschätzt wurde. Zum einen muß die Vorwärmtemperatur in ausreichendem Abstand von der Schweißnaht gemessen werden, zum anderen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

### 4 Verringerung der Material- und Fertigungskosten

Die Verwendung höherfester Werkstoffe führt zu einer der Streckgrenze proportionalen Verringerung der Blechdicke. Obwohl z.B. ein Stahl mit 960 N/mm<sup>2</sup> Streckgrenze im Einkauf ca. das Doppelte im Vergleich zu S235J2 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.

In **Bild 8** 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.

**Bild 7.** Einflußgrößen für das Kaltrissverhalten



Kenngröße	Verhältnis	
	S960QL	S235J2 <sup>1)</sup>
- 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

<sup>x)</sup> Randbedingungen:

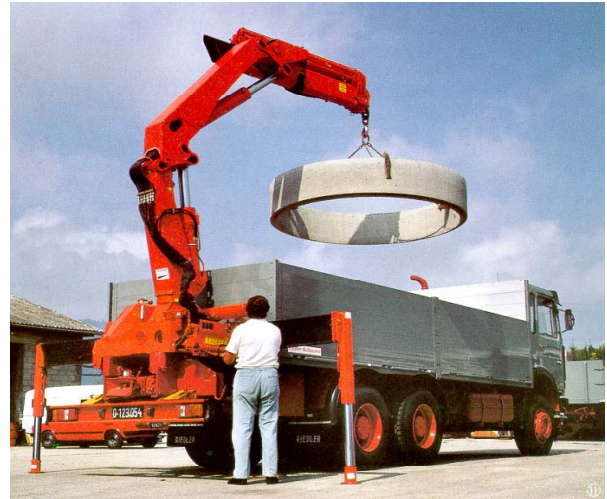
- Abschmelzleistung 3 kg/h
- Lohn- und Masch.-kosten 60 DM/h
- Spez. Schweißnahtkosten = Schweißzusatzwerkstoffe + Schweißen
- Berechnungsgrundlage Re / 1,5
- <sup>1)</sup> Streckgrenze = 215 N/mm<sup>2</sup> (40-63 mm)

**Bild 8.** Einsparpotenzial bei hochfesten Stählen

## 5 Beispiele für geschweißte Konstruktionen aus hochfesten Baustählen

Hochfeste Baustähle haben inzwischen in vielen hochbeanspruchten Konstruktionen Verwendung gefunden. Häufig waren bestimmte Ausführungen erst durch den Einsatz dieser Stähle und ihr günstiges Verarbeitungsverhalten möglich. Die Wahl weniger fester Stähle hätte unwirtschaftliche Lösungen zur Folge. Die nachfolgenden Bilder enthalten einige Beispiele für den erfolgreichen Einsatz hochfester Stähle in unterschiedlichen Anwendungsbereichen. **Bild 9** zeigt einen Bordkran, der unter Verwendung der thermomechanisch gewalzten, perlitarmer Stähle S500MC und S700MC mit einer Mindeststreckgrenze von 500 bzw. 700 N/mm<sup>2</sup> gefertigt wurde.

Dabei werden die Längs- und Querträger, der Rahmen und die Achskonstruktion häufig aus S500MC hergestellt. Für die Längs- und Querträger von Aufliegern, wie auch für den Kranausleger findet vorzugsweise S700MC Verwendung. Ausschlaggebend für den Einsatz der thermomechanisch gewalzten Stähle sind das hervorragende Umformvermögen und das günstige Verhalten beim thermischen Schneiden und beim Schweißen.



**Bild 9.** Bordladekran aus PAS 500 (S500MC) bzw. PAS 700 (S700MC)

Auch für die Herstellung von Betonpumpen verwendet man TM-gewalzte Stähle, jedoch in größerem Umfang die wasservergüteten Sorten S690QL und S890 QL, **Bild 10.** TM-gewalzte Stähle werden bevorzugt für die Mastsegmente, die wasservergüteten auch für die sicherheitsrelevanten Abstützholme eingesetzt.



**Bild 10.** LKW-Betonpumpen, Verteilermaste aus PAS 700, N-A-XTRA 70 oder XABO 890, Abstützungen aus N-A-XTRA 70

Im Mobilkranbau dominieren Stähle mit Mindeststreckgrenzen von 890 bzw. 960 N/mm<sup>2</sup>. Sie werden nicht nur für die Ausleger, sondern auch für die unter sicherheitstechnischen Aspekten wichtigen Drehbühnen, Unterwagen und Abstützholme der Fahrzeuge eingesetzt. **Bild 11** zeigt einen Mobilkran mit einer Tragfähigkeit von 250 t. Sein vierteiliger Teleskopausleger hat eine Gesamtlänge von 72 m und ermöglicht bei Verwendung einer abgespannten Gitterspitze eine maximale Hubhöhe von 142 m.





**Bild 11.** 250 t-Mobilkran mit max. 72 m Teleskopausleger und Klappspitze, Drehbühne, Fahrzeugrahmen, Abstützung aus XABO 890 / 960, Teleskopausleger aus XABO 1100

Für die tragende Konstruktion des Mobilkranes fand der wasservergütete Stahl S960QL in Blechdicken von 6 bis 50 mm Verwendung. Für die Teleskopausleger setzt man inzwischen zunehmend wasservergütete Baustähle mit einer Mindeststreckgrenze von 1100 N/mm<sup>2</sup> ein.



<b>Außendurchmesser</b>	: 4,4 m
<b>Länge</b>	: 26 m
<b>Blechdicke</b>	
<b>Mantel</b>	: 12,5 mm
<b>Boden</b>	: 14,5 mm
<b>Rauminhalt</b>	: 380 m <sup>3</sup>

**Bild 12.** Flüssiggasbehälter aus N-A-XTRA 70 (S690QL)

Neben dem Nutzfahrzeugbau finden diese Stähle auch in anderen Bereichen zunehmend Anwendung. So zeigt zum Beispiel **Bild 12** einen Druckbehälter aus der Stahlsorte S690QL für den Transport von LPG-Flüssiggasen (liquefied petroleum gas). Der Behälter wiegt ca. 50 t. Jeweils sechs dieser Tanks werden in ein Tankschiff eingebaut. Durch die Verwen-

dung des als Druckbehälterstahl zugelassenen S690QL konnte bei gleichem Ladevolumen der Tiefgang der Schiffe erheblich reduziert werden. Dadurch lassen sich die Verarbeitungsbetriebe am Oberrhein z. B. ohne ein zusätzliches Umfüllen von den Nordseehäfen aus erreichen.

## 6 Zusammenfassung

Niedriglegierte hochfeste Baustähle werden heute im Nutzfahrzeugbau sowie weiteren unterschiedlichen Anwendungen eingesetzt und nach allen in der Praxis üblichen Verfahren geschweißt. Die günstigen Eigenschaften derartiger Stähle kommen jedoch nur dann zum Tragen, wenn die Stähle sachkundig und mit entsprechender Sorgfalt verarbeitet werden. Besonders beim Schweißen ist es wichtig, werkstoffspezifische Gesichtspunkte zu beachten und den zu erwartenden Beanspruchungen Rechnung zu tragen. Dem Verarbeiter stehen heute erprobte Mittel für eine kaltrissichere und anforderungsgerechte schweißtechnische Verarbeitung zur Verfügung. Bei entsprechender Berücksichtigung bereitet der Einsatz niedriglegierter hochfester Baustähle für geschweißte Konstruktionen erfahrungsgemäß keine Schwierigkeiten.

## 7 Schrifttum

- [1] DASt-Richtlinie 011: Hochfeste schweißgeeignete Feinkornbaustähle StE 460 und StE 690 - Anwendungen für Stahlbauten. Deutscher Ausschuss für Stahlbau, Stahlbau-Verlagsgesellschaft mbH, Köln.
- [2] Uwer, D. und H. Dißelmeyer : Erfahrungen mit dem Verarbeiten des hochfesten wasservergüteten Baustahls StE 890. Schweißen und Schneiden 38 (1986) Heft 9, S. 430 - 436.
- [3] Uwer, D., J. Degenkolbe und D. Herr: Schweißen moderner hochfester Baustähle. Stahl und Eisen, 112 (1992) Nr. 4, S. 29 - 35.
- [4] Uwer, D. und H. de Boer: Thermomechanisch gewalzte Stähle. Technica 2 (1989), S. 65 - 70.
- [5] Bleck, W., C. Preisendanz, H.-M. Sonne, M. van Gijzel und J. Martens: Werkstoff- und umformtechnische Untersuchungen an thermomechanisch gewalzten Warmbreitbändern der Stahlsorten PAS 60 und PAS 70. Thyssen Technische Berichte, Heft 1/93, S. 41-54
- [6] Degenkolbe, J., D. Uwer und H. Wegmann: Kennzeichnung von Schweißtemperaturzyklen hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die mechanischen Eigenschaften von Schweißverbindungen durch die Abkühlzeit  $t_{8/5}$  und deren Ermittlung. Thyssen Technische Berichte (1985) Heft 1, S. 57-73 und IIW-Doc. IX-1336-84.

- [7] Stahl-Eisen-Werkstoffblatt 088, Schweißgeeignete Feinkornbaustähle, Richtlinien für die Verarbeitung, besonders für das Schweißen. 4. Ausgabe, Oktober 1993, Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf
- [8] EN 1011-2 (2001), Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe – Teil 2: Lichtbogenschweißen ferritischer Stähle.
- [9] Uwer, D. und H. Höhne: Charakterisierung des Kaltrißverhaltens von Stählen beim Schweißen. Schweißen und Schneiden 43 (1991) Heft 4, S. 195-199 und IIW-DOC IX-1630-91.
- [10] Uwer D. und H. Höhne: Ermittlung angemessener Mindestvorwärmtemperaturen. Schweißen und Schneiden 43 (1991), Heft 5, S. 282-287. und IIW-Doc. IX-1631-91.
- [11] Uwer, D. und H. Wegmann: Anwendung des Kohlenstoffäquivalentes CET zur Berechnung von Mindestvorwärmtemperaturen für das kaltrißsichere Schweißen von Baustählen. Jahrbuch Schweißtechnik '96, Deutscher Verband für Schweißtechnik e.V., S. 46-55.