

MAG-Schweißen von hochfesten Feinkornstählen

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/mm² (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/mm², **Bild 1**. Alle diese Stähle sind hochzäh und unter Beachtung von einschlägigen Verarbeitungsregeln gut schweißbar.

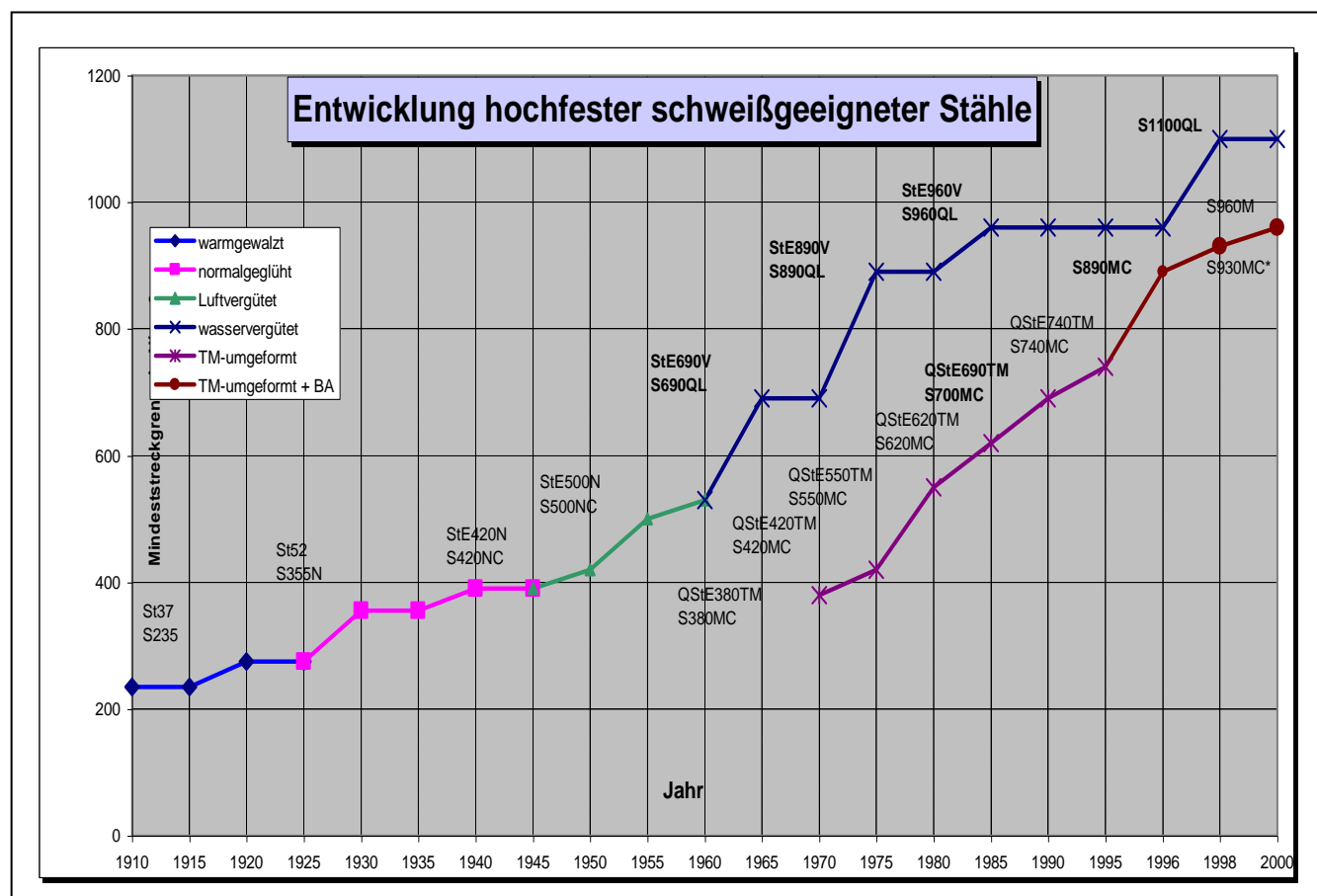


Bild 1. Stahlientwicklung

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. Durch Zulegieren von Aluminium zusätzlich zu Silizium wurde der erste höherfeste und gut schweißbare Stahl St 52-3 entwickelt.

Aluminium bindet den gelösten Stickstoff und trägt so zur Verbesserung der Alterungsbeständigkeit bei. Durch die dabei entstehenden Al-Nitride wird das Kornwachstum behindert, sodass 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].

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.

Im hochfesten Bereich werden fast ausschließlich wasservergütete Feinkornstähle eingesetzt. Hierbei wird im vorallem im Mobilkranbereich aus Gewichtsgründen immer mehr der S1100QL verwendet. Bei diesem Stahltyp ist es jedoch besonders wichtig zur Erreichung der entsprechenden mechanisch-technologischen Eigenschaften die richtige Wärmeeinbringung zu wählen.

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^2 Streckgrenze und vergütete Stähle mit 690 N/mm^2 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.

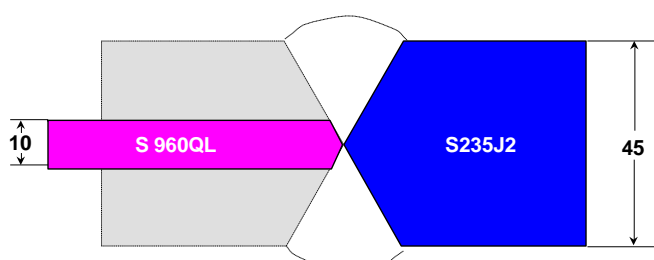
2.2 Verringerung der Material- und Fertigungskosten

Die Verwendung höherfester Werkstoffe führt zu einer der Streckgrenze proportionalen Verringerung der Blechdicke. Obwohl z.B. ein Stahl mit 890 N/mm² 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 60 DM/h
- Spez. Schweißnahtkosten = Schweißzusätze+ Schweißen
- Berechnungsgrundlage Re / 1,5

¹⁾ Streckgrenze = 215 N/mm² (40-63mm)

Kenngroße	S960QL (Verhältnis)	S235J2 ¹⁾ (Verhältnis)
-Streckgrenze N/mm ²	1	0,22
-Blechdicke mm	1	4,5
-Schweißdrahtkosten	1	0,31
-Schweißnahtvolumen	1	16
-Schweißgutkosten	1	5
-spez. Schweißnahtkosten ^x	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, 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.

In letzter Zeit wurden die Normen für diese Schweißzusätze europaweit überarbeitet. Tabelle 1 zeigt einen Überblick über die neuen EN – Normen für Feinkornstähle.

	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/mm²		EN 757	EN 14295	EN 12534		EN 12535
Schutzgase / Pulver			EN 760	EN 439		
Lieferbedingungen		EN 759 und EN 12074				

Tabelle 1: 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. In der Regel wird argonreiches Mischgas mit ca. 18 –20% CO₂ eingesetzt. 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 Feinkornbaustählen sind unbedingt an jedem Arbeitsplatz Möglichkeiten für das Vorwärmen zu schaffen. In der **DIN EN ISO 13916** vom Nov.1996 [3] sind die verschiedenen Definitionen sowie Temperaturmesspunkte beschrieben. Hierbei wird zwischen Vorwärmtemperatur T_p, Zwischenlagentemperatur T_i und Haltetemperatur T_h unterschieden.

Die Kontrolle der Vorwärm- und Zwischenlagentemperatur kann mit Temperaturmessstiften(TS), Kontaktthermometer(CT), digitalen Temperaturmessgeräten(TE) oder berührungslos messende optische oder elektrische Geräte(TB) erfolgen. Die Lage der Messpunkte sind in Bild 3 dargestellt.

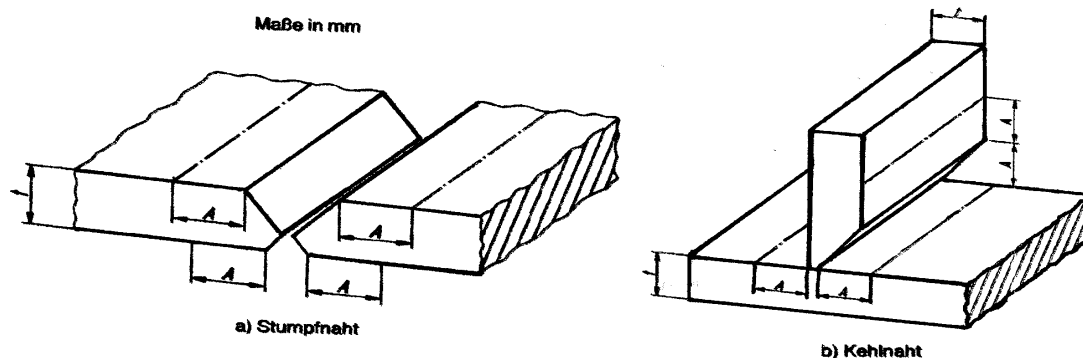


Bild 3 Lage der Messpunkte: $t \leq 50$: $A = 4 \times t$, max. 50 mm $t > 50$: $A = 75$ mm

Nach **DIN EN 1011-2** gilt jedoch bei allen Dicken mindestens $A = 75$ mm von der Nahtmitte. 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 Wasserstoffrissen (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 neuen DIN EN 1011-2 Ausgabe Mai 2001 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:

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

Dieses CE basiert auf der Härtebarkeit des Stahles und berücksichtigt weniger die Kaltrissempfindlichkeit der hochfesten Feinkornbaustähle.

Durch umfangreiche Untersuchungen zum Kaltrissverhalten von Stählen beim Schweißen der Fa. Thyssen hat sich das Kohlenstoffäquivalent CET ergeben. Dieses Konzept fand seinen Niederschlag im SEW 088 und wurde als Methode B übernommen.

Methode B (C.3)

Spezielle Kaltrisstests auch an Schweißverbindungen [4] ermöglichten eine 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 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:

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

In dieser Gleichung bedeuten CET das Kohlenstoffäquivalent in %, d die Blechdicke in mm, HD den Wasserstoffgehalt in $\text{cm}^3 / 100 \text{ g}$ deponiertes Schweißgut nach DIN 8572 und Q das Wärmeeinbringen in kJ/mm . Bei der Ableitung dieser Beziehung wurden Eigenspannungen in Höhe der Streckgrenze des Grundwerkstoffs 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 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-technologische Eigenschaften von Schweißverbindungen

Die mechanisch-technologischen 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 Streckenenergie 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. Bei hochbeanspruchten Konstruktionen empfiehlt sich deshalb, die Abkühlzeit $t_{8/5}$ entsprechend nach oben zu begrenzen.

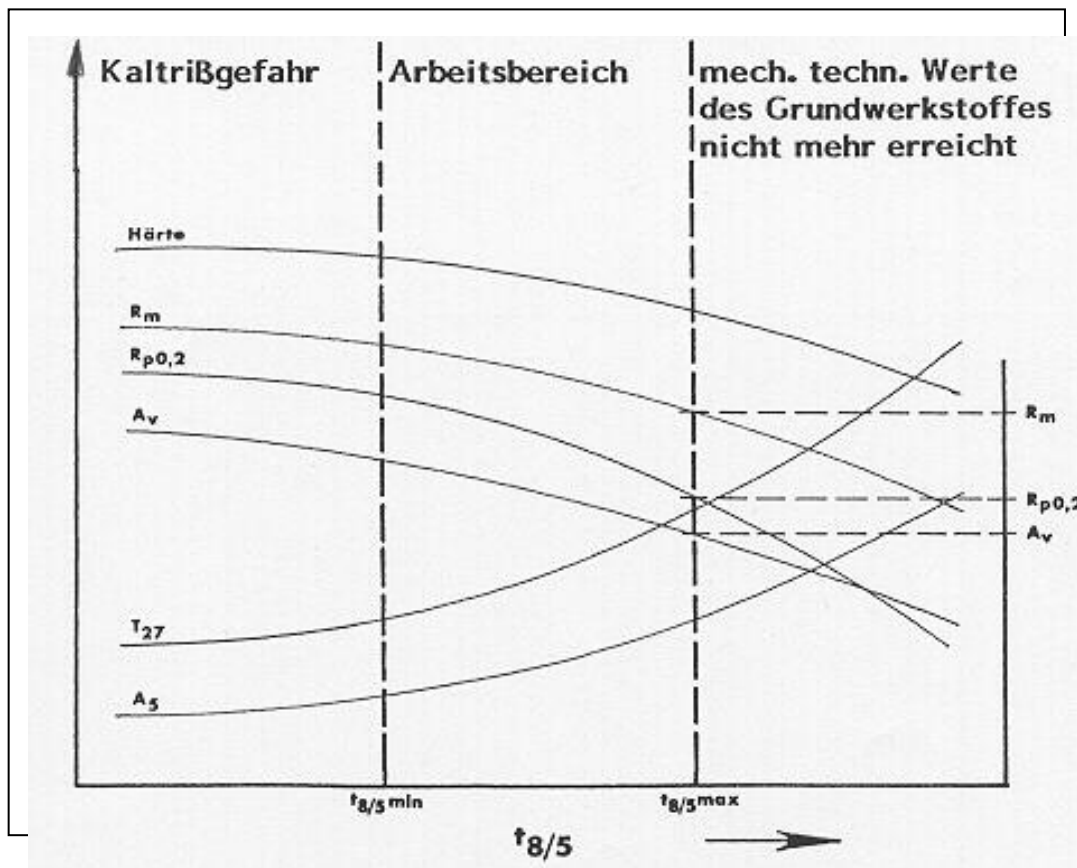


Bild 4
Einfluss von $t_{8/5}$

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

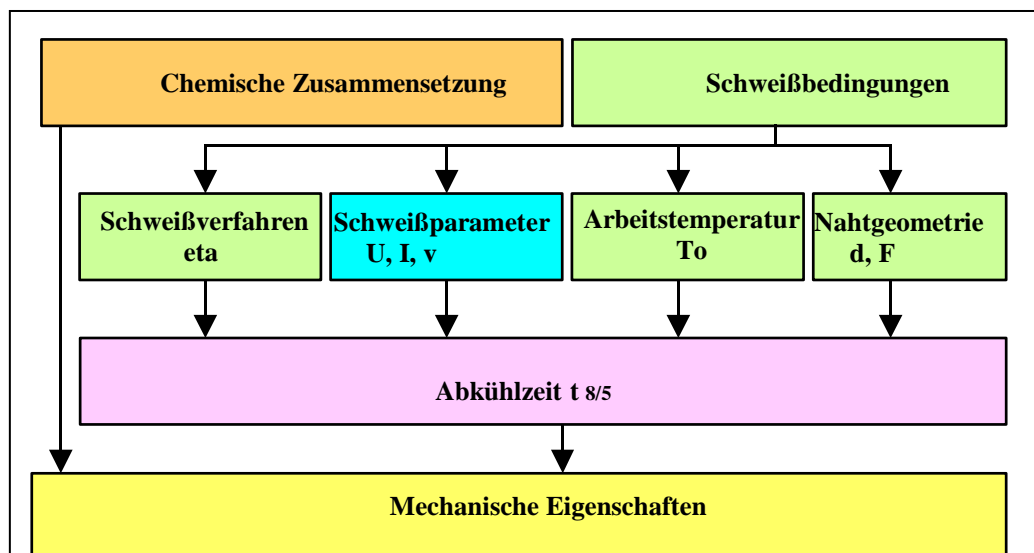


Bild 5. Einfluß von chemischer Zusammensetzung und Schweißbedingungen auf mechanischen Eigenschaften

Aus Bild 5 ist ersichtlich, dass die Wärmeeinbringung (Schweißparameter) während des Schweißens als veränderlichen Haupteinflussfaktor auf die Eigenschaften der Schweißungen angesehen werden kann. Sie beeinflusst am meisten den Temperatur-Zeit-Zyklus, der

sich während des Schweißens abspielt. Nach der neuen DIN EN 1011-1 Ausgabe April 1998 kann der Wert für die **Wärmeeinbringung Q** wie folgt berechnet werden:

$$Q = k \times U \times J / v \times 10^{-3} \text{ in kJ/mm}$$

Noch mehr als für den Grundwerkstoff gilt die Abkühlzeit auch für den Schweißzusatz.

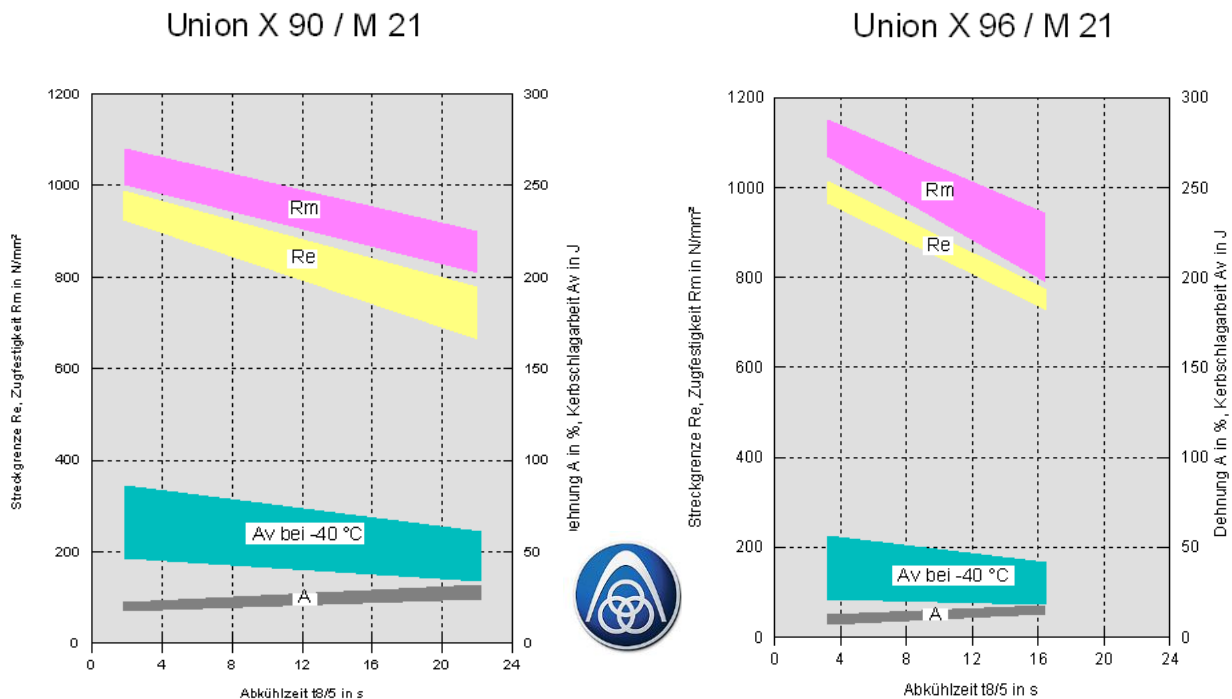


Bild 6 + 7 Einfluss der Abkühlzeit $t_{8/5}$ auf die Schweißguteigenschaften

Aus der Formel für die Wärmeeinbringung ist ersichtlich, dass diese am besten durch die Schweißgeschwindigkeit gesteuert werden kann. Eine Verdoppelung der Geschwindigkeit bringt eine Halbierung der Wärmeeinbringung, ohne die Abschmelzleistung zu verringern, dabei wird jedoch die Anzahl der Lagen auch verdoppelt.

Der thermische Wirkungsgrad k beträgt beim MAG – Schweißen 0,8 nach DIN EN 1011-1 laut Tabelle 1.

6 Einführung eines hochfesten Werkstoffes im Mobilkranbau am Beispiel des Stahles S1100QL

Bei der Einführung neuer Werkstoffe in der Fertigung sind umfangreiche Untersuchungen bezüglich der mechanisch-technologischen Werkstoffeigenschaften nötig. Daneben müssen zunächst die Voraussetzungen in bezug auf Gesetzeslage, Regelwerk und Normung geprüft werden. Im Mobilkranbau haben sich heute genormte Vergütungsstähle mit Streckgrenzen von 690 N/mm² bis 960 N/mm² als Standard etabliert. Die Einführung eines neuen, nicht genormten Feinkornbaustahles im Fahrzeugkranbau soll nachfolgend am Beispiel eines Stahles mit 1100 N/mm² Streckgrenze beschrieben werden.

Die Anzahl von Stahlherstellern, die das Know-how besitzen hochfeste Stähle herzustellen verringert sich, wenn Anforderungen an Streckgrenze und Reinheit steigen. Nur drei Hersteller bieten zur Zeit einen hochfesten, zähen Feinkornbaustahl mit 1100 N/mm² Streckgrenze an:

- SSAB Schweden Weldox 1100

- Thyssen Deutschland Xabo 1100
- Dillinger Hütte Dillimax 1100

6.1 Schweißen

Die Aufgabenstellung für die Verfahrensprüfung war eine Mindeststreckgrenze von 1100 N/mm² bei belassener Nahtüberhöhung. Für die Kerbschlagzähigkeit wurden 27J bei -40°C als Mindestanforderung zugrundegelegt. Als Schweißzusatz wurde für das Heften ein weicher Schweißzusatz EN 440-G 50 3 M G4Si1, die Wurzelschweißung ein Zusatzwerkstoff mit $R_{p0,2}=700$ N/mm² (G 69 4 M Mn3Ni1CrMo) und für die Füll- und Decklagen ein hochfester Zusatzwerkstoff mit 900 N/mm² Streckgrenze (G 89 4 M Mn4Ni2,5CrMo) nach [6] verwendet. Sämtliche Schweißdaten wurden zunächst nach SEW 088 [7] ermittelt. Das CET lag bei beiden Sorten bei 0,39 und unter Beachtung der Schweißgutanalyse bei 0,42. Daraus wurden die Mindestvorwärmtemperaturen bestimmt (Tabelle 3).

Hersteller/Werkstoff	Blechdicke	Mindestvorwärmtemperatur
SSAB/Weldox 1100	8	97
Thyssen/Xabo 1100	10	105

Tabelle 3: Errechnete Mindestvorwärmtemperatur

Es war von vorne herein klar, dass die geforderten Werkstoffwerte der Schweißverbindung nur mit extrem kurzen Abkühlzeiten erreicht werden können. Für die Versuchsreihe wurde ein Abkühlzeitfenster ($t_{8/5}$) von 5 – 8 s über die Schweißparameter eingestellt und daraus Zugversuche mit abgearbeiteter Nahtüberhöhung durchgeführt. Die Streckgrenze des Schweißgutes lag erwartungsgemäß unter den Werten des Grundwerkstoffes, waren aber durch die kurze Abkühlzeit und durch Aufmischungsvorgänge höher als die beim reinen Schweißgut.

Die Mittelwerte der Streckgrenze lagen bei allen Proben zwischen 940 und 1000N/mm² und sind aus Tabelle 4 zu entnehmen.

Proben	04SL	06SQ	04TL	04TQ	01STL
Mittelwert Rp0,2 N/mm ²	1003	1062	938	1019	957
Mittelwert Rm N/mm ²	1190	1191	1070	1167	1100

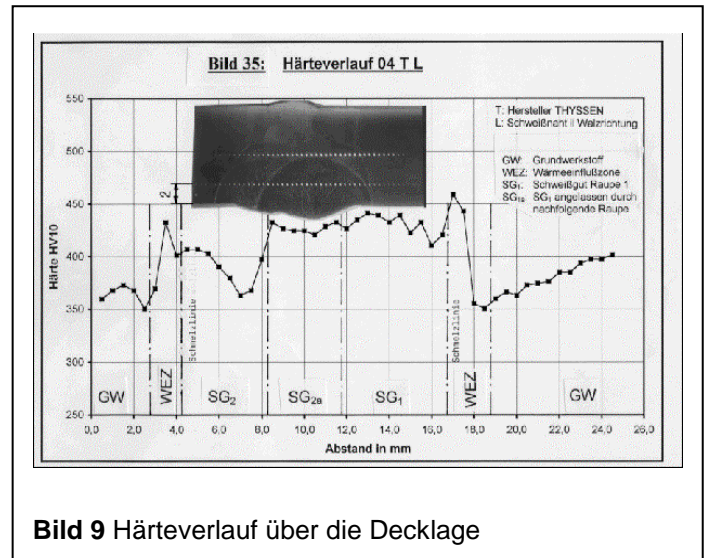
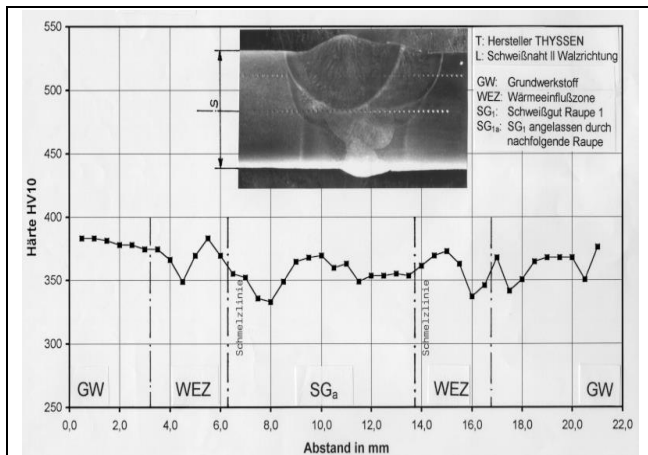
Tabelle 4: Mittelwerte aus dem Zugversuch

Nachdem die Schweißparameter mit den vorangegangenen Versuchsreihen festgelegt waren, wurde anhand dieser Werte eine Schweißanweisung (WPS) erstellt, die als Arbeitsgrundlage für die nachfolgende Verfahrensprüfung mit nicht abgearbeiteter Nahtüberhöhung diente. Diese Vorgehensweise konnte festgelegt werden, da in der Praxis die Schweißnähte ebenfalls nicht abgeschliffen werden. Die Ergebnisse waren entsprechend der Forderung (Tabelle 5).

Nr.	Rp0,2	Rm	Kerbschlagzähigkeit -40°C (Mittelwerte aus allen Versuchsreihen)
1	1180 N/mm ²	1200 N/mm ²	45 J
2	1315 N/mm ²	1330 N/mm ²	75 J

Tabelle 5: Ergebnisse der Verfahrensprüfung

Zusätzlich wurden verschiedene Schriffe angefertigt. Trotz der hohen Härteverläufe ist der Einsatz dieses Stahles aufgrund der guten Zähigkeitseigenschaften gegeben. **Bild 8 + 9** zeigen typische Härteverläufe über eine Fülllagen- und Decklagenschweißung.



6.2 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 $t_{8/5}$ 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 und zu dokumentieren.

6.3 Qualifikation der Schweißer

Die Schweißer müssen eine Qualifikation nach DIN EN 287-1 bzw. prEN ISO 9606 für die Werkstoffgruppe W03 nachweisen. Interne Schulungen und Unterweisungen der Schweißer über Vorwärmen und ggf. Nachwärmen sowie die Einhaltung der geforderten Wärme einbringung (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 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. Aufgrund der vorangegangenen Untersuchungen geht jedoch deutlich hervor, dass es sehr wichtig ist, die Wärmeleitung genau festzulegen und entsprechend einzuhalten, um entsprechende mechanisch-technologische Eigenschaften der Schweißverbindungen zu erreichen. Die Ausführungen zeigen, dass das Kaltrissverhalten durch die chem. Zusammensetzung des Grundwerkstoffes und des Schweißgutes, die Blechdicke, den Wasserstoffgehalt des Schweißgutes, das Wärmeeinbringen während des Schweißens und den Spannungszustand beeinflusst. Eine Zunahme des Legierungsgehaltes, der Blechdicke und des Wasserstoffgehaltes erhöht die Kaltrissgefahr. Dagegen wird sie durch eine Erhöhung des Wärmeeinbringens vermindert.

Mit der neuen DIN EN 1011 Teil 1 und Teil 2 ist nun auch ein Normenwerk auf europäischer Ebene geschaffen worden, das es ermöglicht einheitliche Verarbeitungsregeln zumindest europaweit festzulegen.

Höchstfeste Feinkornbaustähle wie der S1100QL müssen jedoch ausgiebig auf Ihre Verwendung untersucht werden. Diese Stähle eignen sich nicht für die breite Masse der Anwendungen, können aber in Einzelfällen zur optimierten Gestaltung leistungsfähiger Konstruktionen eingesetzt werden.

- [1] Dr. Geyer, Ing.Mag. Rauch, Dipl.-Ing. Schütz, VOEST-ALPINE Stahl Linz GmbH
Hochfeste Feinkornstähle mit optimierten Verarbeitungseigenschaften Tagungs-
band 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 Streck-
grenze zum Kaltumformen, Teil 1: allgemeine Lieferbedingungen
September 1995, 3.5

- [3] DIN EN ISO 13916 Anleitung zur –Messung der Vorwärm-, Zwischenlagen- und
Haltetemperatur

- [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 Empfehlungen zum Schweißen metallischer Werkstoffe
Teil 1: Allgemeine Anleitung für das Lichtbogenschweißen (April 1998)
Teil 2: Lichtbogenschweißen von ferritischen Werkstoffen (Mai 2001)

- [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.