

Dicke Bauteile – Spröde Brüche – Stahlgütewahl

H. Saal, M. Volz, S. Holzer

Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
Universität Karlsruhe

Einleitung

In den vergangenen Jahren war der Trend zu dickeren Querschnitten für Stahlbauteile zu beobachten. Dies wird gefördert durch

- die zunehmenden Anforderungen an die Tragfähigkeit der Bauteile
- das Angebot der Stahlhersteller, das auch in den Technischen Lieferbedingungen zum Ausdruck kommt
- mangelnde Kenntnisse mancher Tragwerksplaner hinsichtlich der Werkstoffe und der Fertigung

Bild 1 gibt für die vergangenen 50 Jahre einen Überblick über die nach den

- Technischen Lieferbedingungen
- Bemessungsvorschriften und
- Regeln zur Sprödbruchsicherheit geschweißter Konstruktionen

maximal möglichen Wanddicken von allgemeinen Baustählen S235 (St37) und S355 (St52). Mit der Regelung der zweiten Ausgabe der Anpassungsrichtlinie Stahlbau [1] zu Element 405 von DIN 18800-1: 1990 wurde der geregelte Wanddickenbereich von 80mm auf die größte in der Technischen Lieferbedingung geregelte Wanddicke angehoben. Der vollen Nutzung dieser Erweiterung stand aber noch die Beschränkung der Dicke durch die DAST-Richtlinie009:1973 [2] auf 75mm für geschweißte Bauteile aus allgemeinen Baustählen im Wege.

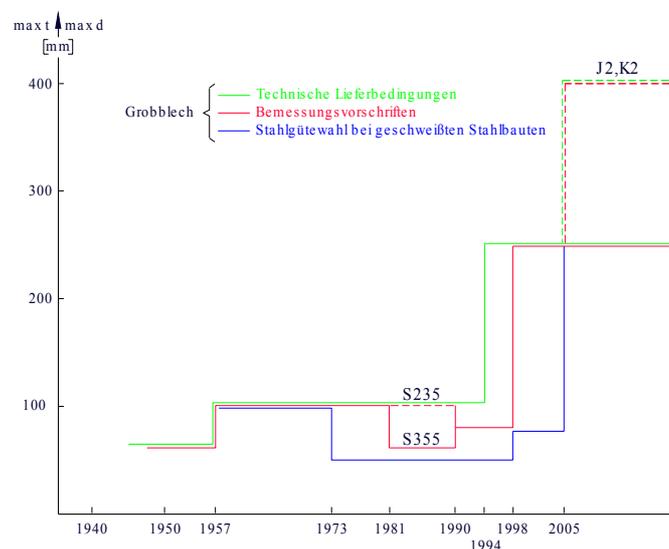


Bild 1: Vergleich der maximalen Erzeugnisdicken in den vergangenen 50 Jahren

Mit der im Januar erschienenen neuen DAST-Richtlinie009:2005 [3] zur Wahl der Stahlgüte ist dieses Hindernis beseitigt.

Im folgenden Vortrag wird auf die Probleme bei geschweißten dickwandigen Bauteilen eingegangen und der Hintergrund und die Anwendung der DAST-Richtlinie009:2005 dargestellt. Als zentrales Problem ist bei dickwandigen Bauteilen die Sprödbruchgefahr zu sehen.

Entwicklung der Nachweise der Sprödbruchsicherheit

Hinsichtlich einer Sprödbruchgefahr wurden mit der zunehmenden Verwendung von Flusstahl bereits 1890 Regeln zur Vermeidung von Kerben und Nutzungseinschränkungen bei tiefen Temperaturen vorgeschrieben [4]. Mit der Zeit schwand die Kenntnis über die Sprödbruchneigung der Stähle. Die Einführung des Lichtbogenschweißens ab 1925 ermöglichte die Herstellung von dickwandigen Querschnitten. In den 1936 erschienen Erläuterungen zu den Vorschriften für geschweißte Stahlbauten [5] stellt O. Kommerell als Beispiel einen Entwurf für die Rügendammbücke aus St37 vor mit einer Flanschdicke von 120mm.

Im gleichen Jahr verbreiten der Sprödbruch bei der Zoobrücke in Berlin und kurz darauf die Sprödbrüche bei der Rüdersdorfer Brücke (1938), bei der Brücke über den Albert-Kanal (1938) und in den Kriegsjahren die Sprödbrüche der Liberty-Schiffe und T2-Schiffe der US-Navy Schrecken und Angst. All diese Brüche sind dadurch gekennzeichnet, daß sie bei geringen Beanspruchungen und bei tiefen Temperaturen auftreten. Von da an setzen weltweit Anstrengungen zur Erklärung und Vermeidung solcher Sprödbrüche ein.

Als Ursachen werden alsbald

tiefe Temperaturen	→	meßbar,	fühlbar
Erzeugnisdicke	→	meßbar,	sichtbar
Zug(Eigen)spannungen	→	nicht meßbar	nur abschätzbar
Gefügeänderungen	→	nur sehr begrenzt durch ZfP meßbar	

erkannt.

In Deutschland werden als Ergebnis dieser Forschungen 1957 „(Vorläufige) Empfehlungen zur Wahl der Stahlgütegruppen für geschweißte Stahlbauten“ [6] eingeführt. Diese Empfehlungen wurden in der DASt-Richtlinie009 von 1973 fortgeführt und galten mit gewissen Änderungen und Erweiterungen 48 Jahre und haben sich in dieser Zeit im Gebrauch bewährt. Die große Bedeutung, die in diesem Zusammenhang den Eigenspannungen beigemessen wird, geht daraus hervor, daß diese Regeln nur bei geschweißten Stahlbauten angewendet werden müssen.

Das im wesentlichen von Klöppel und Bierett entwickelte Konzept dieser DASt-Richtlinie009:1973 sieht für die Wahl des Stahls zwei getrennte Wege vor:

1. Die Ermittlung der Stahlsorte (Fließgrenze) erfolgt in der statischen Berechnung durch den Tragwerksplaner.
2. Die Ermittlung der Stahlgüte (Zähigkeit, Reinheit) erfolgt unabhängig von der statischen Berechnung durch den Schweißfachingenieur.

Dieser zweigleisige Weg hatte zur Folge, daß sich die Werkstoffkenntnisse der Statiker häufig auf Fließgrenze und Elastizitätsmodul beschränkten.

Als Maßstab für die Zähigkeit des Stahles hat sich aufgrund des geringen Aufwandes für die Ermittlung bei der werkseigenen Produktionskontrolle die Kerbschlagzähigkeit durchgesetzt.

Auf der Einwirkungsseite erfolgt eine Klassifizierung nach Eigenspannungen, Erzeugnisdicke, Kälte, Vorzeichen der Beanspruchung (Zug/Druck) und Gefahrenklasse – Spannungen infolge der Belastung werden nicht berücksichtigt.

Eine zunehmende Erzeugnisdicke wirkt sich in mehrfacher Hinsicht ungünstig auf das Sprödbruchverhalten aus:

- Die Eigenspannungen aus dem Schweißprozeß nehmen wegen der größeren Steifigkeit des Bauteils zu.
- Der ebene Spannungszustand geht in einen ebenen Dehnungszustand (3-achsige Beanspruchung) über.
- Die Abkühlgeschwindigkeit (Martensitbildung) nimmt zu.
- Es treten zunehmend metallurgische Schwierigkeiten auf (Inhomogenität des Werkstoffes)

Die weltweiten Anstrengungen in der Mitte des 20. Jahrhunderts hatten die Entwicklung zahlreicher Verfahren zur Prüfung der Zähigkeit und des Rißauffangvermögens der Stähle und theoretische Anstrengungen insbesondere auf dem Gebiet der Bruchmechanik zur Folge [7]. Die lineare Bruchmechanik mit der Gegenüberstellung der Spannungsintensitätsfaktoren K_I mit den Bruchzähigkeiten K_{Ic} trifft für die im Stahlbau gebräuchlichen Stähle und Konstruktionen wegen der bei ihr vorausgesetzten kleinen plastischen Zonen an der Risspitze nicht zu. Die damit erforderlichen Erweiterungen bei der Ermittlung der maßgebenden Beanspruchungen (J-Integral-Konzept, R-Kurven-Konzept, CTOD-Konzept) und der Beanspruchbarkeiten (Versuche zur Bestimmung des Widerstandes gegen instabiles Risswachstum) erfordern einen für die Auswahl der erforderlichen Stahlgüte einen nicht vertretbaren Aufwand [8].

Die DAST-Richtlinie 009:2005, die mit der prEN1993-1-10 inhaltlich übereinstimmt, basiert auf den Erkenntnissen der Bruchmechanik, die in ihr mit stark vereinfachten Annahmen zu einer sehr einfachen Regel für die Bestimmung der erforderlichen Stahlgüte umgeformt sind. Als Eingangsparameter zur Bestimmung der zulässigen Erzeugnisdicke verbleiben die gewährleisteten Werte von Streckgrenze und Kerbschlagarbeit, die einwirkende Spannung und der Bemessungswert der Einsatztemperatur des Bauteils sowie gegebenenfalls der Einfluß von großen Dehngeschwindigkeiten, von Kaltumformungen und einer Feuerverzinkung als spröbruchfördernder Größen.

Der auf Untersuchungen von Kommerell [9] zurückgehende Aufschweißbiegeversuch nach SEP1390 [10] dient dem Nachweis des Rissauffangvermögens des Stahls für die Stahlsorten S235 bis S355. Da die Durchführung dieses Versuches im Gegensatz zu der Bestimmung der in der DAST-Richtlinie benötigten Kerbschlagarbeit sehr aufwendig ist, wurde dieser Versuch außerhalb Deutschlands nicht angewendet und von den Stahlherstellern darauf gedrängt, ihn durch ein anderes Kriterium zu ersetzen. Aus umfangreichen Untersuchungen, in denen sich keine Korrelation mit dem Kerbschlagversuch herstellen ließ, wurde als Ersatzkriterium die Forderung hergeleitet, daß bei den Stahlsorten S275 und S355

- für Erzeugnisdicken größer als 30mm normalisierte N oder thermomechanisch gewalzte Stähle M und
- für Erzeugnisdicken größer als 80mm deren kaltzähe Varianten NL und ML

zu verwenden sind, während bei der Stahlsorte S235

- für alle Erzeugnisdicken größer als 30mm die Zustände +N oder +M genügen.

Entwicklung der Stähle

An die Stelle der bis in die Mitte des vergangenen Jahrhunderts fast ausschließlich eingesetzten Thomasstähle sind in den vergangenen 50 Jahren im Elektroofen erschmolzene Stähle und im Sauerstoffblaskonverter mit Vakuumentgasung aus Roh-eisen hergestellte Stähle mit guter Schweißseignung und gesteigerter Streckgrenze und Zähigkeit getreten. Die Kerbschlagarbeit-Temperatur-Kurven in Bild 2 veranschaulichen diesen gewaltigen Fortschritt. Dabei ist jedoch zu beachten, daß bei den für den Zeitraum nach 1950 dargestellten Ergebnissen die Stähle von Herstellern aus Westeuropa bezogen wurden. Jüngste Erfahrungen mit Stahllieferungen aus dem osteuropäischen Raum zeigen jedoch, daß hier auch heute noch mit deutlich geringeren Werten gerechnet werden muß: In konkreten Fällen für S355J2G3 waren im Abnahmeprüfzeugnis Werte der Kerbschlagarbeit ausgewiesen, die der Kurve in Bild 2 für St52-3N entsprachen, die bei dem ohne Ü-Zeichen gelieferten Material festgestellte Kerbschlagarbeit lag aber durchweg bei ungenügenden Werten (Bild 3). Der Unterschied zwischen den Zeugniswerten und den bei der Prüfung festgestellten Werten ist bei den Erzeugnissen mit 210mm bis 250mm Durchmesser darauf zurückzuführen, daß der – nach DIN EN 10025:2005 nicht mehr zulässige - Siemens-Martin-Stahl für die Prüfung normalisiert wurde, die Erzeugnisse aber nicht normalisiert geliefert wurden.

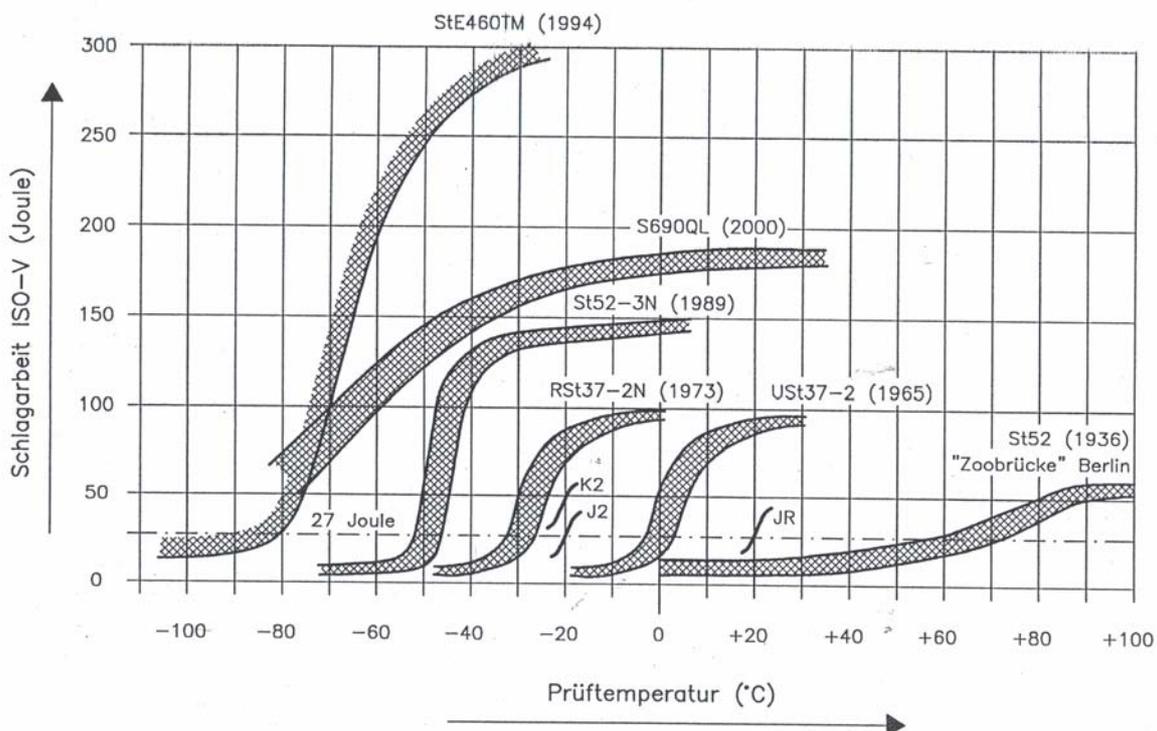


Bild 2: Kerbschlagarbeit-Temperatur-Kurve unterschiedlicher Stähle

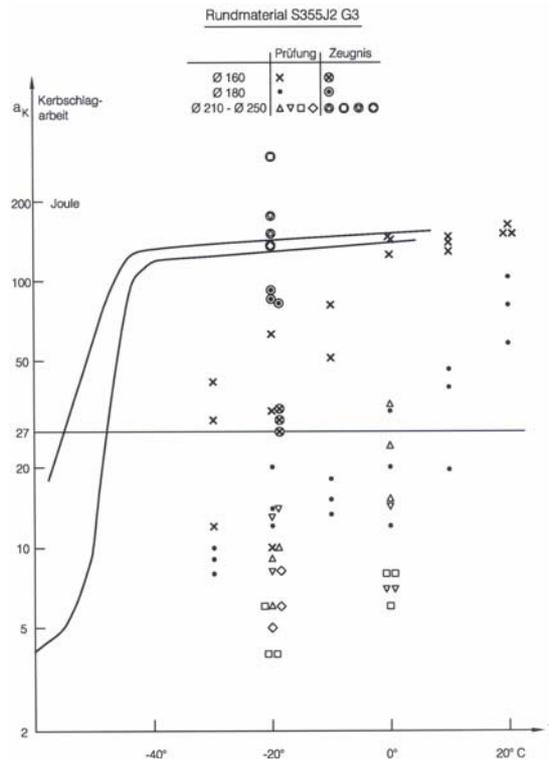


Bild 3: Kerbschlagarbeit-Temperatur-Kurve von einem Rundmaterial S355J2G3

Auch bei Stählen aus dem mitteleuropäischen Raum sind negative Einflüsse einer zunehmenden Erzeugnisdicke nicht auszuschließen. Bild 4 zeigt eine Zugprobe in Walzrichtung, deren Querschnitt die gesamte Dicke von 120mm eines Bleches aus einem thermomechanisch gewalzten Stahl erfasst. Infolge der Mittenseigerung und der behinderten Querdehnung treten in der Probenachse perlenschnurartig angeordnete Risse. Neben der Zunahme der Mehrachsigkeit ist die bei großen Erzeugnisdicken auftretende Inhomogenität ein zusätzliches Problem bei der Anwendung großer Querschnitte. Eine solche Inhomogenität wird in Bild 5 aus der Bruchfläche einer CTOD-Probe von 140mm Dicke aus Feinkornbaustahl S690QL1 ersichtlich.



Bild 4: Zugprobe in Walzrichtung



Bild 5: Bruchfläche einer CTOD-Probe

Bestimmung der Stahlgüte nach DAST-Richtlinie009:2005

Ein Vergleich der beiden Ausgaben der DAST-Richtlinie009 ist nur sehr bedingt möglich, da

- in der alten Ausgabe das Eigenspannungsniveau und in der neuen Ausgabe das Lastspannungsniveau einget.
- die neue Ausgabe nicht mehr die Gefahrenklasse der Bauteile berücksichtigt.

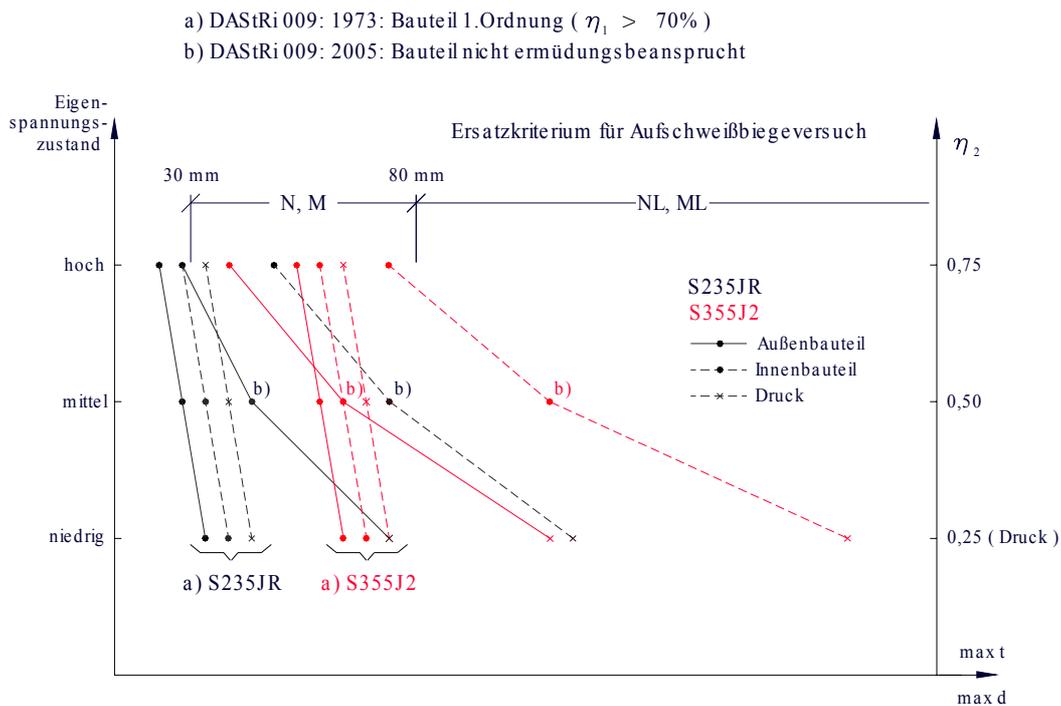


Bild 6: Vergleich der DAST-Richtlinie009 von 1973 und 2005

Trägt man für die beiden gebräuchlichen Stähle S235JR und S355J2 die nach den beiden Ausgaben zulässige Erzeugnisdicke unter der Annahme, daß es sich um ein vorwiegend ruhend beanspruchtes Bauteil 1. Ordnung handelt in Abhängigkeit von dem Spannungsniveau auf, so zeigt sich (Bild 6), dass

- die Abhängigkeit der zulässigen Erzeugnisdicken vom Lastspannungsniveau nach DAST-Richtlinie009-2005 sehr viel größer ist als die vom Eigenspannungsniveau nach DAST-Richtlinie009-1973.
- der Unterschied der zulässigen Erzeugnisdicken von Innen- und Außenbauteilen nach DAST-Richtlinie009-2005 sehr viel größer ist als nach DAST-Richtlinie009-1973.
- die zulässigen Erzeugnisdicken nach DAST-Richtlinie009-2005 bei S235JR größer sind als die nach DAST-Richtlinie009-1973, was bei S355J2 nur für geringe Ausnutzungsgrade und für Innenbauteile zutrifft.

Bei dieser Darstellung ist noch zu beachten, daß mit dem Ersatzkriterium für den Aufschweißbiegeversuch für Erzeugnisdicken größer als 30mm normalisierte N oder thermomechanisch gewalzte Stähle M und bei Erzeugnisdicken größer als 80mm deren kaltzähe Varianten NL und ML zu verwenden sind.

Beispiele ausgeführter Bauteile mit großen Erzeugnisdicken

Bei dem ersten Beispiel handelt es sich um einen Fachwerkträger aus S355J2G3 mit Ausführung der Pfosten und der Gurte in Verbundbauweise (Bild 7). Die Pfosten mit 260mm sind durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung geregelt. Die relativ komplizierten Anschlüsse der 115mm dicken Diagonalen an die Obergurtnoten (Bild 8) wurden in der Werkstatt und der Montagestoß in Diagonalenmitte als Stumpfnah auf der Baustelle ausgeführt. Die Diagonalen genügen mit ihren Kerbschlagarbeiten von 76J bis 154J bei -20°C alle den Anforderungen an die Stahlgüte S355K2G3. Damit ergibt sich nach der DAST-Richtlinie009-2005 bei der Temperatur von 10°C für innenliegende Bauteile ein zulässiger Ausnutzungsgrad von 72%, der im vorliegenden Falle eingehalten war. Da die Bauteildicken größer als 80mm waren, wurde das Ersatzkriterium für den Aufschweißbiegeversuch von dem vorliegenden Lieferzustand N nicht erfüllt. Es waren folglich Aufschweißbiegeversuche zur Gewährleistung eines ausreichenden Reißauffangvermögens erforderlich.



Bild 7: Fachwerkträger (Beispiel 1)



Bild 8: Anschluss Diagonale an Obergurtnoten

Das zweite Beispiel behandelt den maximal 95mm dicken Untergurt aus S355K2G3 eines Brückenhauptträgers (Bild 9). Die Kerbschlagarbeitswerte bei -20°C liegen bei 160Joule bis 228Joule. Mit der von Burdekin angegebenen Beziehung ergibt sich dazu ein Wert unter -50°C als Prüftemperatur, die einer Kerbschlagarbeit von 27Joule zugeordnet ist, so daß die Bewertung für 27Joule bei -50°C vorgenommen werden kann. Für die bei Stahl- und Verbundbrücken zu verwendende Einsatztemperatur von -30°C ergibt sich damit nach der DAST-Richtlinie009-2005 ein zulässiger Ausnutzungsgrad von 61%. Die für die gesamte Blechdicke ohne Abarbeitung durchgeführten Aufschweißbiegeversuche wurden bestanden. Als zusätzliche Qualitätssicherungsmaßnahme wurde in diesem Falle ein Biegeversuch mit einer unter den gleichen Bedingungen wie am Bauwerk hergestellten Probe durchgeführt. Diese Probe erfasste mit einer über dem Stumpfstoß unterbrochenen Halskehlnaht an einer Längssteife und den am Rand des Gurtbleches endenden Quersteifen und einer Prü-

fung bei -40°C die kritischsten Bedingungen am Bauwerk. Trotz des scheinbar spröden Bruchbildes (Bild 10) waren vor dem Versagen deutlich Plastizierungen zu erkennen. Die Rückrechnung aus der Versagenslast ergab eine maximale Randdehnung von 0,8%.

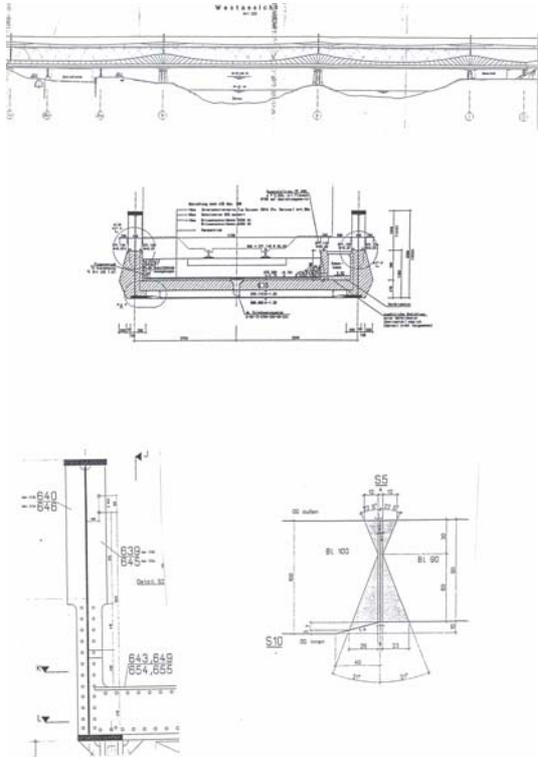


Bild 9: Untergurt eines Brückenhauptträgers (Beispiel 2)



Bild 10: Bruchbild nach Biegeversuch

Bei dem dritten Beispiel handelt es sich um eine 82m lange Unterspannung eines Bogendaches (Bild 11), die aus Rundstäben aus S355J2G3 mit 160mm und 180mm Durchmesser hergestellt wurden. Jeweils drei der 6m langen Erzeugnisse wurden durch Werkstattsschweißung zu einer Transporteinheit gefügt. Diese 18m langen Elemente wurden auf der Baustelle am Boden zu einem 72m langen Element verbunden, das in der Höhe von etwa 10m an die widerlagerseitigen Rundstäbe angeschlossen wurde. All diese Verbindungen wurden als Stumpfstöße ausgeführt. Seitens des Betreibers der Halle wird sichergestellt, daß die Betriebstemperatur nie unter 5°C liegt. Als besondere Qualitätssicherungsmaßnahmen wurden hier

- a) Werkstoffuntersuchungen
- b) Prüfungen an bauteilähnlichen Zugproben bei -20°C
- c) Prüfungen an bauteilähnlichen Biegeproben bei -20°C
- d) Baustellenüberwachung durch eine Anerkannte Stelle

durchgeführt. Die Prüfungen zu b) und c) erfolgten jeweils an Proben aus Erzeugnissen mit den geringsten Kerbschlagzähigkeiten.

Bei der Zugprobe handelte es sich um zwei durch eine unter Baustellenbedingungen geschweißte Stumpfnah verbundene Rundstäbe mit 160mm Durchmesser, die im Bereich der Wärmeeinflusszone durch einen 2mm tiefen Sägeschnitt und um 90°

versetzt dazu durch angeschweißte Kopfbolzendübel gekerbt waren. Das Versagen trat trotz der abgesenkten Temperatur und der Kerben außerhalb des gekühlten Bereiches mit großen plastischen Verformungen bei einer Last von 9500kN ein (Bild 12 a und b). Das entspricht 87% der in den Zeugnissen ausgewiesenen Zugfestigkeit des Werkstoffes. An der Probe im gekühlten Bereich entsprach die mit der Durchmesseränderung nach dem Versuch festgestellte Gleichmaßdehnung 10%. Bei den Biegeproben waren die Anschlusslaschen für die Zugstreben als Kerben abgebildet (Bild 13). Bei der Biegeprobe aus dem Stahl mit einer Kerbschlagarbeit von 87 Joule trat der Bruch erst ein, als der Querschnitt auf dem Niveau der Streckgrenze voll durchplastiziert war. Dagegen war bei der Biegeprobe aus dem Stahl mit einer Kerbschlagarbeit von 30 Joule die Plastizierung erst über die Hälfte der Querschnittshöhe eingetreten als diese brach.

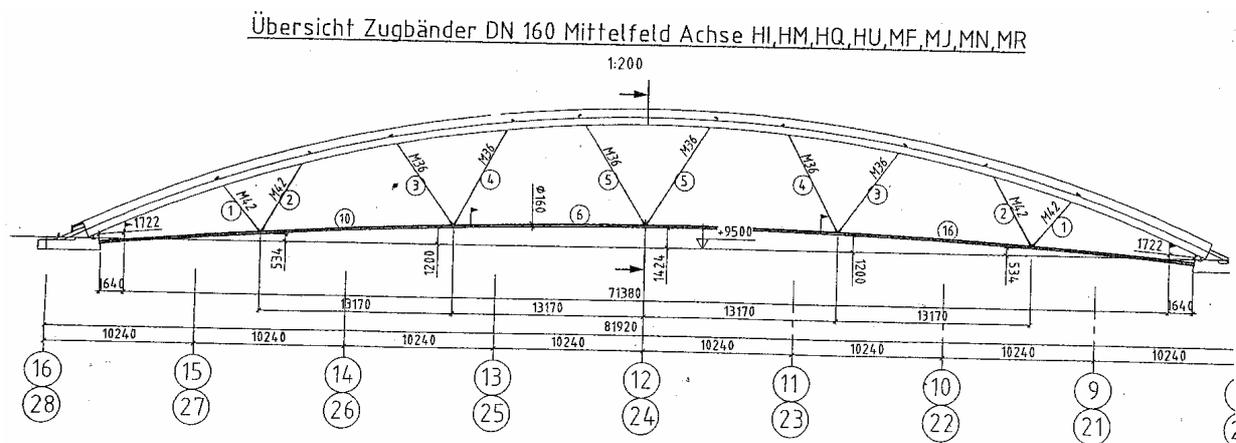


Bild 11: Unterspannung eines Bogendaches (Beispiel 3)



Bild 12 a: Probekörper in einer Zugprüfmaschine



Bild 12 b: Außerhalb des gekühlten Bereiches gebrochener Probekörper nach vorhergehender Plastizierung



Bild 13: Biegeprobe

Bei dem vierten und letzten Beispiel handelt es sich um eine der bei geschweißten Stabanschlüssen gebräuchlichen Steckverbindungen, bei der ein Rundstahl mit 160mm Durchmesser mit einem 120mm dicken Knotenblech durch Flankennähte verbunden wurde (Bild 14). Der stirnseitige Spalt zwischen Stab und Knotenblech wurde durch eine Dichtnaht – bei größeren Spaltbreiten mit einem eingesetzten Blech – geschlossen. Die Knotenbleche und die Rundstähle bestanden aus S355J2G3. Für den in Bild 14 dargestellten Anschluß ist die DAST-Richtlinie009-2005 [3] nicht anwendbar, da dieses Konstruktionsdetail weder im DIN-Fachbericht 103 [11] noch in DIN V EN V 1993-1-1 [12] erfasst ist. - Es ist zudem zu bedenken, daß diese Schweißverbindung kaum ohne Bindefehler hergestellt werden kann. – Da die DAST-Richtlinie009-2005 [3] nicht anwendbar war, wurden bruchmechanische Berechnungen und ein Bauteilversuch bei -70°C an dem mit zusätzlichen Kerben versehenen Anschluß zusätzlich zu den Aufschweißbiegeversuchen durchgeführt. Diese Untersuchungen ergaben für den vorliegenden Fall eine ausreichende Spröbruchsicherheit. Die in [13] dargestellten Untersuchungen für solche Steckverbindungen mit H-Profilen haben ergeben [14], daß bei einer Ausführung gemäß Bild 15, die die Kerbwirkung am Schweißnahtende von der durch den Querschnittsprung im Knotenblech trennt und das Umschweißen der Flankenkehlnähte ermöglicht die Regeln der DAST-Richtlinie009-2005 [3] anwendbar sind.

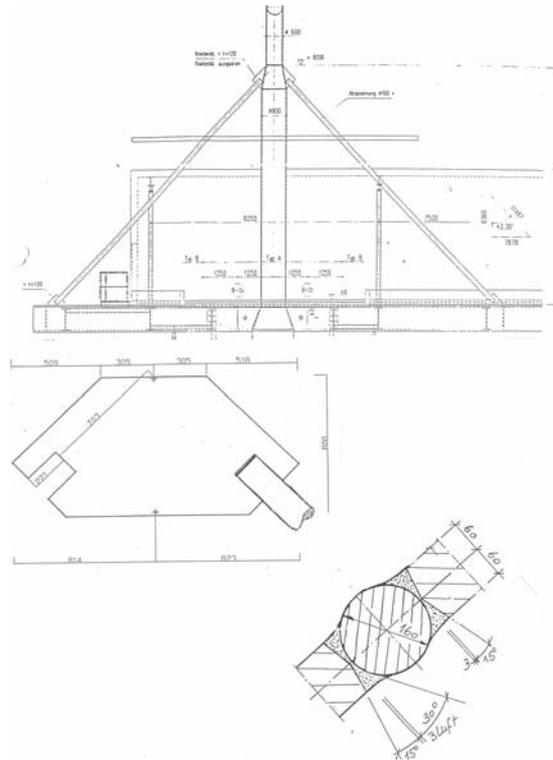


Bild 14: Stabanschluß mit geschweißter Steckverbindung (Beispiel 4)

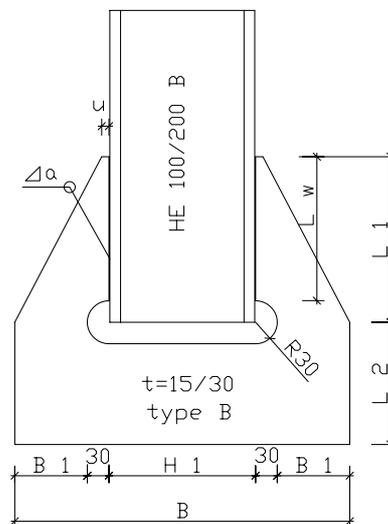


Bild 15: Steckverbindung mit H-Profil

Zusammenfassung und Schluß

Bei den Bauwerken ist ein Trend zur Verwendung immer größeren Erzeugnisdicken festzustellen. Parallel dazu sehen die Technischen Lieferbedingungen auch immer größere Erzeugnisdicken vor. Wegen der mit der Erzeugnisdicke zunehmenden Sprödbruchgefahr gewinnen die Regeln zur Vermeidung von Sprödbrüchen damit zunehmend an Bedeutung. Diese Regeln gelten im Stahlbau für geschweißte Bauteile, da diese durch Eigenspannungen, Gefügeänderungen und mögliche Schweiß-

nahtfehler zusätzlich zur Erzeugnisdicke weitere negative Einflüsse erfahren können. Die DAST-Richtlinie009:2005-01 ermöglicht den Nachweis einer ausreichenden Sprödbruchsicherheit für Erzeugnisdicken, die weit über den Bereich der bisherigen Regelungen hinausgehen. Damit erfolgt eine Harmonisierung mit den nach den Technischen Lieferbedingungen verfügbaren Erzeugnisdicken, die seit 1998 uneingeschränkt in den in der Bemessungsvorschrift DIN 18800 erfasst sind. Der Nachweis der ausreichenden Sprödbruchsicherheit erfolgt unter Beachtung der Einwirkungen und der negativen Einflüsse von Kaltverformung und Feuerverzinkung durch die Wahl ausreichender Kerbschlagzähigkeit der Grundwerkstoffe. Die Entwicklung der Stähle in den vergangenen 50 Jahren hat hierzu ganz neue Möglichkeiten eröffnet. Die Erfahrung hat aber gezeigt, daß bis heute in Einzelfällen damit zu rechnen ist, daß Stähle – im Widerspruch zum beigegebenen Abnahmeprüfzeugnis – nicht die erforderlichen und ausgewiesenen Kerbschlagzähigkeiten haben. Vier Beispiele zeigen, daß bei ausgewählten Bauwerken die Grenzen der Anwendung der DAST-Richtlinie009:2005-01 erreicht oder überschritten wurden. Daraus ergab sich die Notwendigkeit von Bauteilversuchen und genaueren bruchmechanischen Untersuchungen, bei denen die vereinfachenden vorsichtigen Annahmen der für die Materialauswahl vorgesehenen DAST-Richtlinie009:2005-01 aufgegeben wurden. Mit der DAST-Richtlinie009:2005-01 sind die Eigenspannungen pauschal erfasst und die Lastspannungen in ihrer Größe zu berücksichtigen. Damit rückt die Wahl der Stahlgüte in das Aufgabenfeld des Tragwerksplaners, und es entsteht die Gefahr, daß werkstoff- und schweißtechnischen Gesichtspunkten bei der Konstruktion weniger Aufmerksamkeit gewidmet wird. Deshalb sei hier darauf hingewiesen, daß die DAST-Richtlinie009:2005-01 voraussetzt, daß die Anforderungen der Schweißtechnik einzuhalten sind. Dies betrifft auch die Konstruktion und bedeutet, daß die Kerbwirkung aus der globalen Geometrie und der Schweißnahtform – die auch die Schweißnahtfehler und durch die Abkühlbedingungen den Werkstoff beeinflusst – gering gehalten werden muß. Dies ist neben der Gewährleistung der Zähigkeitsanforderungen des Grundwerkstoffes ebenso unentbehrlich wie die ausreichende Herstellerqualifikation, anerkannte Schweißanweisungen, geprüfte Schweißer mit Qualifikation für die zu schweißenden Bauteile, wozu bei den nun möglichen extremen Erzeugnisdicken eine die Qualitätssicherungsmaßnahmen des Herstellers begleitende Überwachung der Schweißarbeiten durch eine Anerkannte Stelle anzuraten ist.

Schrifttum

- [1] Anpassungsrichtlinie Stahlbau, Herstellungsrichtlinie Stahlbau. Mitteilungen Deutsches Institut für Bautechnik, 29. Jahrgang, Sonderheft Nr. 11, Dezember 1998.
- [2] DAST-Richtlinie009: Empfehlung zur Wahl der Stahlgütegruppen für geschweißte Stahlbauten. Deutscher Ausschuß für Stahlbau, April 1973, Köln.
- [3] DAST-Richtlinie009: Stahlsortenauswahl für geschweißte Stahlbauten. Deutscher Ausschuß für Stahlbau, Januar 2005, Düsseldorf.
- [4] Steiner, F.: Verhalten verschiedener Eisensorten bei abnorm niedriger Temperatur. Wochenschrift des österreichischen Ingenieur- und Architektenvereins 16 (1891), S. 290-291.
- [5] O. Kommerell: Erläuterungen zu den Vorschriften für geschweißte Stahlbauten mit Beispielen für die Berechnung und bauliche Durchbildung. II. Teil: Vollwandige Eisenbahnbrücken. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1936.

- [6] Vorläufige Empfehlungen zur Wahl der Stahlgütegruppen für geschweißte Stahlbauten. Deutscher Ausschuß für Stahlbau, Oktober 1957, Köln.
- [7] Saal, H., Steidl, G., Volz, M.: Sprödbruchsicherheit im Stahlbau. Stahlbau, 2001, S. 685-697.
- [8] Zerbst, U., Wiesner, C., Kocak, M., Hodulak, H.: SINTAP: Entwurf einer einheitlichen europäischen Fehlerbewertungsprozedur – eine Einführung. GKSS-Forschungszentrum Geesthacht, 1999.
- [9] Kommerell, O.: Die neuen Lieferbedingungen für St52 als Folge neuerer Versuche und Erfahrungen. Der Stahlbau, 1938, S. 49-54.
- [10] SEP 1390, Stahl-Eisen-Prüfblatt 1390, Aufschweißbiegeversuch. Verlag Stahleisen, Düsseldorf, 1996.
- [11] DIN-Fachbericht 103:2003-03, Stahlbrücken.
- [12] DIN VEN V 1993-1-1:1993-04, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Stahlbau, Deutsche Fassung ENV 1993-1-1:1992.
- [13] Saal, H., und Volz, M.: Safety against brittle fracture of welded gusset plate joints of truss members with H-section. In: Stability and Ductility of Steel Structures. Ed. M. Ivanyi, Akademiai Kiado, Budapest, September 2002, pp. 595-602.
- [14] DIBt-Bericht: Zähigkeitsanforderungen bei geschweißten Stabanschlüssen mit geschlitzten Knotenblechen. Bericht Nr.: 011503, März 2004, Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Universität Karlsruhe.