Neue hochfeste Stahlgüten: Herstellung und Anwendungen von Formstahl in der hochfesten Feinkornstahlgüte FeE460 Fritenar

Autor(en): **Frantz, A. / Stoll, G.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **107 (1989)**

Heft 19

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-77100

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

- Erfolgversprechend, weil auch in sehr schwierigen Projektsituationen eklatante positive Wirkungen in den Bereichen Optimierung, Akzeptanz und Zeitverkürzung zu erzielen sind.
- Notwendig, weil der Druck, die Zahl der Planungs-Misserfolge insbesondere im Ingenieurbereich abzubauen, noch steigen wird. Es geht um nicht weniger als um den Sozialstatus und die beruflichen Zukunftsaussichten von Ingenieuren, aber auch von Architekten. Zudem geht es um den Abbau der vielen «Kleinkriege» in der täglichen Praxis.

Zum erstgenannten Punkt: Diese Bedeutung entspricht belegbarer Praxis. Daher haben auch diverse grössere Unternehmen (z.B. die Deutsche Bundesbahn) die Ausbildung von spezialisierten Generalisten begonnen. Zum zweitgenannten Punkt: Wie ernst diese Herausforderung der Ingenieure genommen wird, zeigt sich daran, dass eine eigene SIA-Kommission «Vertrauensförderung» am Wirken ist. Diese kommt übrigens zu ähnlichen Erkenntnissen.

□ Darum erscheint es auch als wenig guter Zustand, dass an unseren ETHs die *Spezialisierung zum Generalisten* immer noch nicht stattfinden kann. Zwar wird ein Teil der dafür wichtigen Fächer angeboten, doch bilden sie kein in sich abgestimmtes Studienpaket. Der Versuch, zumindest ein Nachdiplomstudium «Integrale Planung» an der ETH Zürich zu etablieren, ist leider gescheitert. Es dürfte im ureigensten Interesse der Ingenieure, insbesondere der beratenden Ingenieure sein, hier Initiativen zu starten. Es ginge um entsprechende Studienmöglichkeiten für Studenten und um Weiterbildungsmöglichkeiten für Praktiker.

Zusammenfassung

Die Ausführungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Planungsprobleme wachsen weiterhin, und Planungs-Misserfolge (unzureichende Optimierung, zu hoher Zeitbedarf, fehlende Akzeptanz) könnten noch zunehmen.
- Um mit den heutigen Planungsproblemen besser fertig zu werden, ist mehr generalistisches Denken erforderlich!
- Insbesondere sind auch mehr Voll-Generalisten, die Projekte erfolgreich leiten können, nötig.
- Generalisten fallen nicht vom Himmel. Sie müssen ihr «Handwerk» erlernen.
- Ausbildungsangebote, insbesondere an der ETH, um das Handwerk der Generalisten zu erlernen, sind dringend erforderlich!

Adresse des Verfassers: *J. Wiegand*, p.a.Planconsult W+B AG, St.-Alban-Vorstadt 90, 4052 Basel.

Neue hochfeste Stahlgüten

Herstellung und Anwendungen von Formstahl in der hochfesten Feinkornstahlgüte FeE460 Fritenar

Die Entwicklung des modernen Stahlbaus stellt wachsende Anforderungen an die zum Einsatz gelangenden Stahlprodukte. Hohe Streckgrenze, gute Zähigkeitseigenschaften bei tiefen Temperaturen sowie hervorragende Schweisseignung werden von diesen Stählen erwartet.
Im vorliegenden Bericht werden die Stahlherstellung, das thermomechanische Walzen, die mechanischen und technologischen Eigenschaften sowie die Anwendungen der hochfesten Stahlgüte FeE460Fritenar (Streckgrenze = 460 MPa mind.) beschrieben.
Des weiteren wird eine neue Technologie, das sogenannte QST-Verfahren, zur Herstellung von hochfesten Stählen vorgestellt. Eine die Walzhitze ausnutzende Wärmebehandlung, bestehend aus einem Härten und Selbstanlassen, führt zu einer neuen Generation von hochfesten Baustählen. Diese zeichnen sich durch eine hervorragende Zähigkeit und Schweissbarkeit aus.

Einleitung

Das Bestreben, durch verbesserte Produkte und kostengünstigere Herstellungsverfahren die Wettbewerbsfähigkeit des Stahles zu steigern, hat in den letzten Jahren zur Entwicklung von verbesserten hochfesten Stahlgüten bei der ARBED beigetragen [1, 2, 3, 4].

Im Vergleich zu Stählen mit niedrigerer Streckgrenze weisen hochfeste Stähle eine Reihe von technischen und wirtschaftlichen Vorteilen für den Stahlbau auf. Je nach Art der Stahlkonstruktion können sich für den hochfesten Baustahl folgende Vorteile ergeben:

VON A. FRANTZ,
ESCH-SUR-ALZETTE,
G. STOLL, DIFFERDANGE

- Grössere Belastbarkeit der Bauteile.
- Leichtere Stahlbauten.
- Geringere Transport- und Handhabungskosten.
- Geringere Anarbeitungskosten.
- Geringere Anzahl von Bauteilen.
- Geringere Bauzeit.

Die Entwicklung des modernen Stahlbaus stellt wachsende Anforderungen an die zum Einsatz gelangenden Stahlprodukte. Die Baustähle sollen eine Kombination folgender mechanischer und technologischer Eigenschaften aufweisen:

- Hohe Streckgrenze.
- Ausgeprägter Widerstand gegenüber Sprödbruch.
- Gute Schweissbarkeit.
- Unempfindlichkeit gegenüber Terrassenbrüchen bei Beanspruchung des Materials in Dickenrichtung (Z-Qualität).
- Keine Beeinträchtigung der Materialeigenschaften durch Spannungsarmglühen.
- Gewährleistete Ultraschallklasse betreffend innere Fehler.

Die erforderlichen Materialeigenschaften hängen vom Verwendungszweck der Stähle ab. Im Falle von Profilstahl kommen folgende Anwendungsgebiete in Frage:

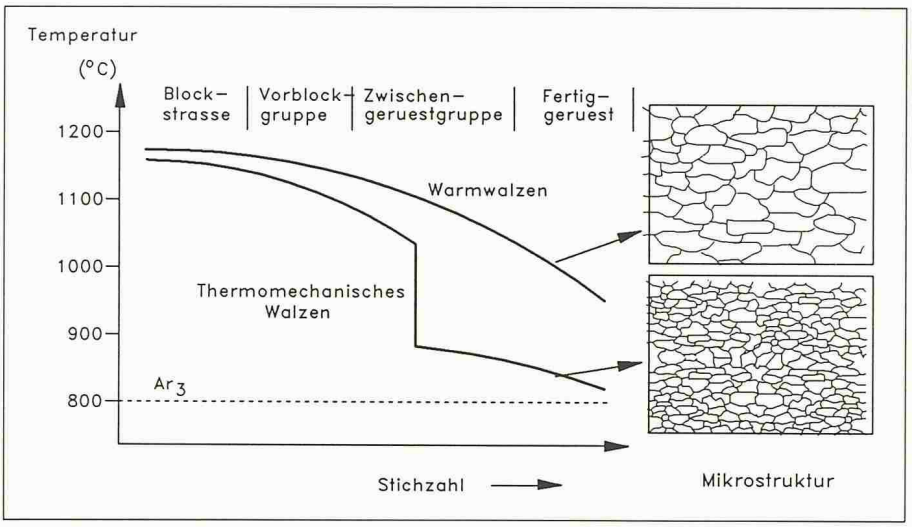


Bild 1. Schematischer Vergleich von Warmwalzen und thermomechanischem Walzen von Trägern

- Pfahlgründung.
- Industrielle Anlagen und Ausrüstungen.
- Gebäude.
- Kernkraftwerke.
- Offshore-Industrie.
- Arktische Anwendungen.

Der vorliegende Bericht beschreibt die Stahlherstellung, das thermomechanische Walzen, die mechanischen und technologischen Eigenschaften sowie die Anwendungen der hochfesten ARBED-Feinkornstahlgüte FeE460Fritenar.

Die Stahlgüte, welche eine Mindeststrecke von 460 MPa aufweist und eine hohe Kerbschlagzähigkeit bei −20 °C gewährleistet, ist als Formstahl in Materialstärken bis 60 mm lieferbar.

FeE460Fritenar entspricht den Vorschriften folgender genormten Stahlgüten:

Norm	*Stahlgüte*
DAST Richtlinie 011 (BRD)	St E460
Stahl-Eisen-Werkstoffblatt 084 (BRD)	FSt E460 TM
BS 4360 (GB)	Grade 55 C
ASTM A 572 (USA)	Grade 65
ISO 4950 Teil 2	E460 Grad DD

Zu bemerken ist, dass für Profilstahl in der Güte FeE460-Fritenar der ARBED eine Zulassung für die Bundesrepublik Deutschland durch das Institut für Bautechnik in Berlin erteilt wurde.

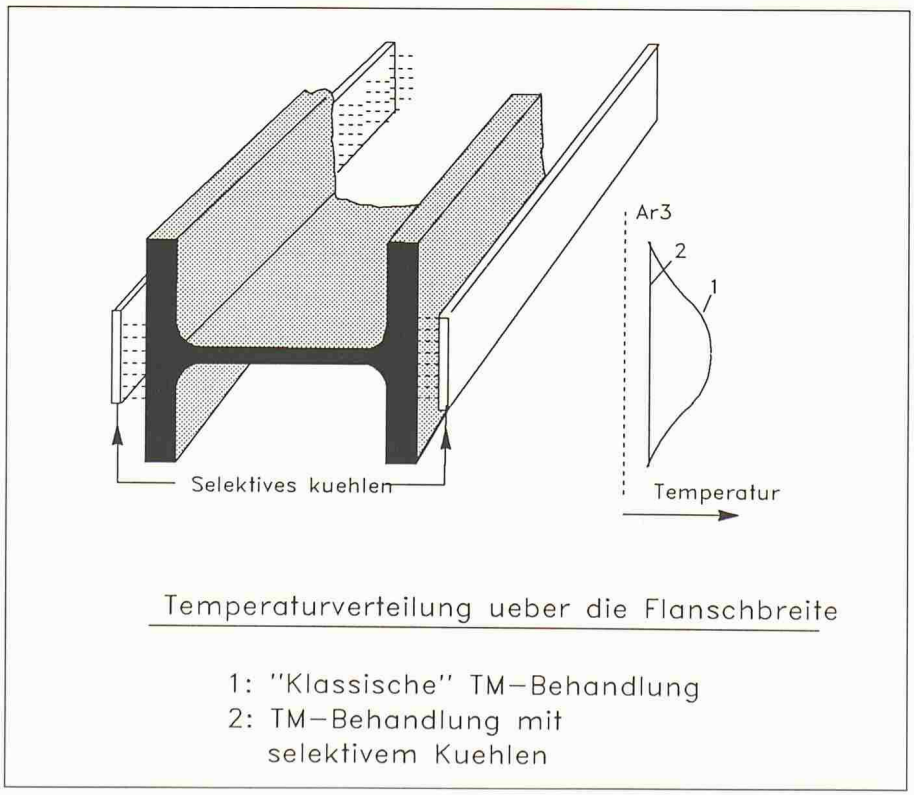


Bild 2. Prinzip des selektiven Kühlens von Trägern während des Walzens

Herstellungsprozess

Für Profilstahl ist der Herstellungsprozess bei der ARBED folgender:

Roheisenerzeugung im Hochofen
↓
Stahlerzeugung nach dem Sauerstoffblasverfahren
↓
Pfannenbehandlung
↓
Vakuumentgasung
↓
Blockguss
↓
Profilstrasse
↓
Adjustage
↓
Qualitätskontrolle

Zurzeit wird weltweit ein grosser Teil der Stahlproduktion im Strangguss hergestellt, bedingt durch die grosse Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens. Dies trifft besonders zu bei der Herstellung von Halbzeug für Flachprodukte und Draht. Aus diesem Grunde wird bei der ARBED für die Herstellung von Walzdraht ausschliesslich Stranggussmaterial eingesetzt.

Für Profilstahl hat ARBED eine Reihe von Versuchen und Untersuchungen durchgeführt, um zu überprüfen, ob es ebenfalls von Interesse sei, Strangguss für Profilstahl zu verwenden. Diese Studie hat gezeigt, dass weiterhin Blockguss zu verwenden ist, da letzterer ganz allgemein eine Reihe von Vorteilen sowohl für den Verbraucher wie auch für den Hersteller bietet:

- Durch den hohen Verformungsgrad vom Block zum Walzträger (≧20:1) ist es möglich, auch bei schwersten Profilen die strengsten Verbrauchereigenschaften zu gewährleisten.
- Die wirtschaftliche Erzeugung sämtlicher Qualitäten ist aufgrund der Arbeitsweise in einer Hitze vom Stahlwerk bis zum Endprodukt gegeben.
- Es kann dem Verbraucher eine optimal weit gefächerte Produktpalette angeboten werden, beinhaltend Träger mit Flanschdicken bis 135 mm, Flanschbreiten bis 450 mm und Profilhöhen bis 1100 mm.
- Des weiteren ist eine grosse Flexibilität vorhanden, Spezialstähle in kleinen Mengen innerhalb kürzester Lieferfrist herzustellen.

Stahlerzeugung

Früher wurde Kohlenstoff benutzt, um die Festigkeit der Stähle zu erhöhen. Dies war einfach und billig, hatte je-

% C	< = 0,20	< = 0,20	< = 0,20
% Si	0,10–0,55	0,10–0,55	0,10–0,55
% Mn	1,10–1,70	1,10–1,70	1,10–1,70
% P	< = 0,025	< = 0,025	< = 0,025
% S	< = 0,020	< = 0,020	< = 0,020
% Al	> = 0,020	> = 0,020	> = 0,020
% N	< = 0,010	< = 0,010	< = 0,010
% Nb	0,02–0,06	0,02–0,06	0,02–0,06
% V	-	0,06–0,18	0,06–0,18
% Ni	-	-	0,20–0,70
Material-dicke	<=10mm	>=10mm <=20mm	>=20mm <=60mm

Tabelle 1. Chemische Zusammensetzung (Schmelzenanalyse) der Stahlgüte FeE460 Fritenar

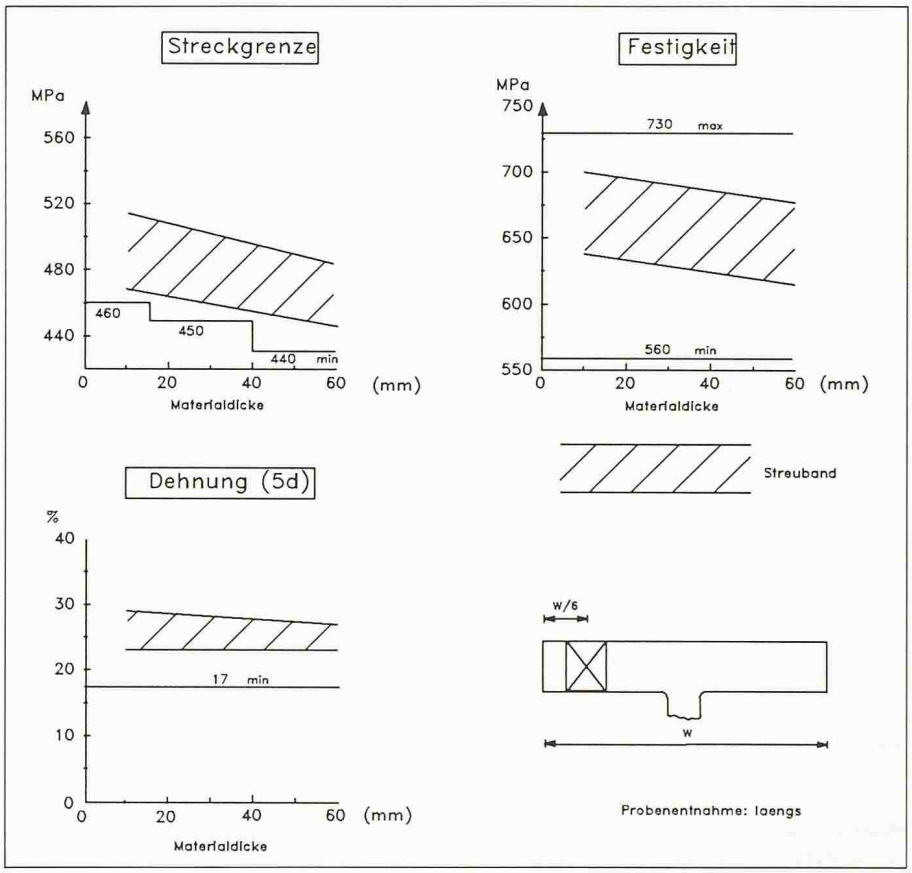


Bild 3. Ergebnis von Zugversuchen auf Trägern in der Güte FeE460Fritenar

doch den grossen Nachteil, dass dadurch die Zähigkeit und die Schweissbarkeit deutlich verschlechtert wurden. Moderne Baustähle sind durch einen niedrigen Kohlenstoffgehalt gekennzeichnet (< 0,20%), bei denen die Festigkeitsverringerung, bedingt durch die Reduzierung des Kohlenstoffgehaltes, weitgehendst durch Verwendung von Mikrolegierungselementen und thermomechanisches Walzen ausgeglichen wird.

Des weiteren war die Entwicklung neuer metallurgischer Technologien notwendig, um eine Stahlverbesserung in folgender Hinsicht zu erreichen:

- Chemische Zusammensetzung: enge Spannen für die verschiedenen Elemente.
- Niedriger Sauerstoff- und Einschlussgehalt.
- Niedriger Schwefelgehalt.
- Günstige Morphologie der Einschlüsse durch Einformen.
- Niedriger Phosphorgehalt.
- Niedriger Gehalt an Wasserstoff und Stickstoff.
- Niedriger Gehalt an Begleitelementen.

Walzprozess

Bei der ARBED wird das thermomechanische Walzen (TM-Behandlung) seit 1970 mit Erfolg bei Profilstahl angewendet.

Dieses Verfahren wurde kontinuierlich verbessert, so dass es mit der heutigen Technologie möglich ist, Spitzenprodukte (z.B. für die Offshore-Industrie) herzustellen, welche den schärfsten Materialanforderungen entsprechen.

Bei der TM-Behandlung von Profilstahl werden sowohl Temperatur als auch Umformung so gesteuert, dass die Endumformungen in einem Temperaturbereich durchgeführt werden, der sich etwa 50 °C oberhalb des Umwandlungspunktes Ar_3 befindet. Eine schematische Darstellung der TM-Behandlung im Vergleich zum klassischen Warmwalzen ist in Bild 1 angegeben. Beim Walzen von Trägern wird während des Walzens die Verbindungszone Flansch– Steg selektiv gekühlt, um eine gleichmässige Temperaturverteilung im Flansch zu erreichen, was eine Verbesserung der Homogenität der Materialeigenschaften im Produktquerschnitt bedingt (Bild 2). Die Kombination von TM-Behandlung und selektivem Kühlen wird als TM-SC-Verfahren bezeichnet.

Durch die TM-Behandlung wird eine feinkörnige Mikrostruktur erreicht, welche folgende, früher als unvereinbar geltende Materialeigenschaften kombiniert:

- Hohe Streckgrenze.
- Ausgezeichnete Zähigkeitseigenschaften.
- Hervorragende Schweissbarkeit.

Im Vergleich zum Normalglühen weist eine TM-Behandlung folgende Vorteile auf:

- Niedrigeres Kohlenstoffäquivalent, verbunden mit einer besseren Schweissbarkeit.
- Kostengünstigere Herstellung.
- Kürzere Lieferfristen, da eine Wärmebehandlung ausserhalb des Produktionsflusses entfällt.
- Keine spezielle Längenbegrenzung der Walzträger.

Streckgrenze MPa			*Festigkeit* MPa	*Dehnung* (Lo = 5 do) %
Materialdicke (mm)				
≤ 16	16 < t ≤ 40	40 < t ≤ 60	≤ 60	≤ 60
460 mind.	450 mind.	440 mind.	560–730	17 mind.

Tabelle 2. Festigkeitseigenschaften der Güte FeE460 Fritenar in Längsrichtung

Kerbschlagarbeit in Joules mind.		
−20 °C	−0 °C	+20 °C
40	47	55

Tabelle 3. Kerbschlagzähigkeit (Charpy V-Probe) der Güte FeE460 Fritenar in Längsrichtung

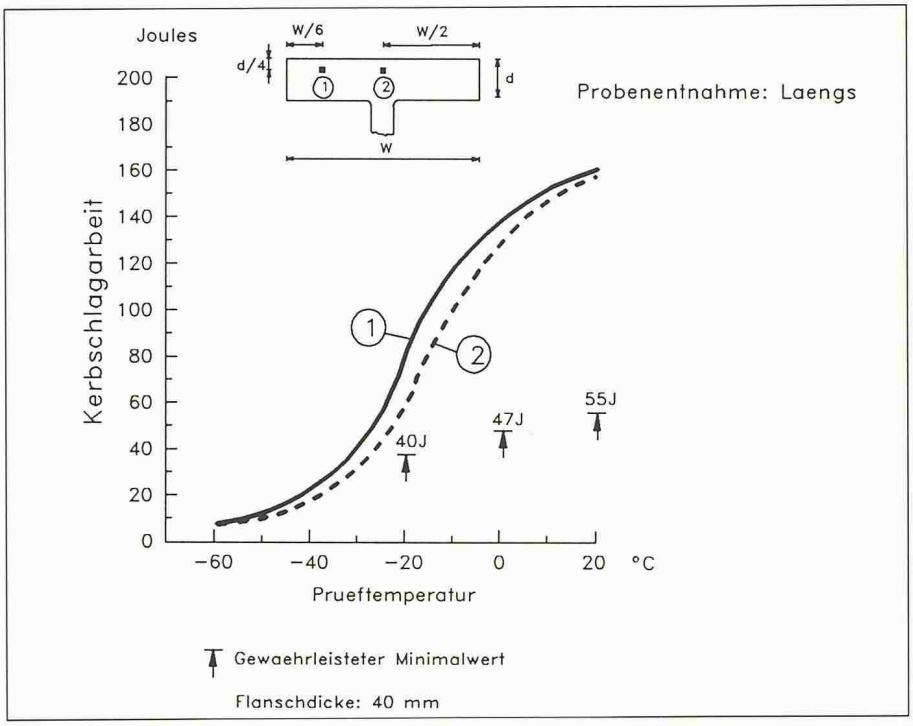


Bild 4. Charpy V-Kerbschlagbiegeversuch auf Trägern in der Güte FeE460Fritenar

Hochfeste Stahlgüte FeE460Fritenar

Chemische Zusammensetzung

Die chemische Zusammensetzung der Stahlgüte FeE460 Fritenar ist Tabelle 1 zu entnehmen.

Der Stahl ist Al-beruhigt und mikrolegiert. Die chemische Analyse ist abhängig von der Materialdicke.

Festigkeitseigenschaften

Die in Längsrichtung zu gewährleistenden Zugfestigkeitseigenschaften für die Güte FeE460 Fritenar sind in Tabelle 2 angegeben.

In Bild 3 sind für Materialdicken von 10–60 mm die Streubänder für die im Zugversuch erreichten Werte angegeben. Die garantierten Mindestwerte werden problemlos eingehalten.

Zähigkeitseigenschaften

Die Zähigkeitseigenschaften der Stähle werden durch den Kerbschlagbiegeversuch ermittelt. Die für den Charpy-V-Kerbschlagbiegeversuch in Längsrichtung gewährleisteten Mindestwerte sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Bild 4 zeigt die Versuchsergebnisse des Kerbschlagbiegeversuches auf einem HE-Träger mit einer Flanschdicke von 40 mm. Die Probenentnahme erfolgte in der genormten Probenlage (1/6 Flanschbreite) und in der Verbindungszone Flansch–Steg. Für beide Probenlagen wurde ein ausgezeichnetes Kerbschlagzähigkeitsniveau erreicht, was die grosse Sicherheit der Güte FeE460 Fritenar gegenüber Sprödbruch bestens beweist.

Schweissbarkeit

Die Güte FeE460 Fritenar kann mit sämtlichen manuellen und automatischen Schweissverfahren geschweisst werden, vorausgesetzt, dass die allgemeinen Regeln und Vorschriften beachtet werden.

Die Schweissbedingungen sind abhängig vom Schweissverfahren, der Materialdicke und dem Wasserstoffgehalt des Schweissgutes.

Schweissversuche, welche auf verschiedenen Profilen durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass bei Streckenenergien von 18–25 kJ/cm die Zähigkeitseigenschaften des Stahles durch das Schweissen nicht beeinträchtigt werden. Wie die Ergebnisse in Bild 5 zeigen, weist die wärmebeeinflusste Zone jeweils ein ausgezeichnetes Zähigkeitsverhalten auf.

Bolzenschweissen

Im Falle einer Verbundbau-Konstruktion kann es vorkommen, dass Bolzen durch Hubzündung an das Bauteil angeschweisst werden. Die Güte FeE460 Fritenar ist bestens für dieses Schweissverfahren geeignet, wie eine Reihe von Versuchen, durchgeführt durch die Schweisstechnische Lehr- und Versuchsanstalt Duisburg, bewiesen hat. Bei dem Eignungsnachweis wurden Bolzen von 13 mm und 22 mm Durchmesser an einem Träger von 21 mm Flanschdicke angeschweisst. Die Ergebnisse der metallografischen Prüfung, der Härteprüfung sowie des Schlagbiegeversuches entsprachen ganz den Vorschriften nach DIN 8563, Teil 10.

Zu bemerken ist, dass der ARBED für das Bolzenschweissen eine Zulassung

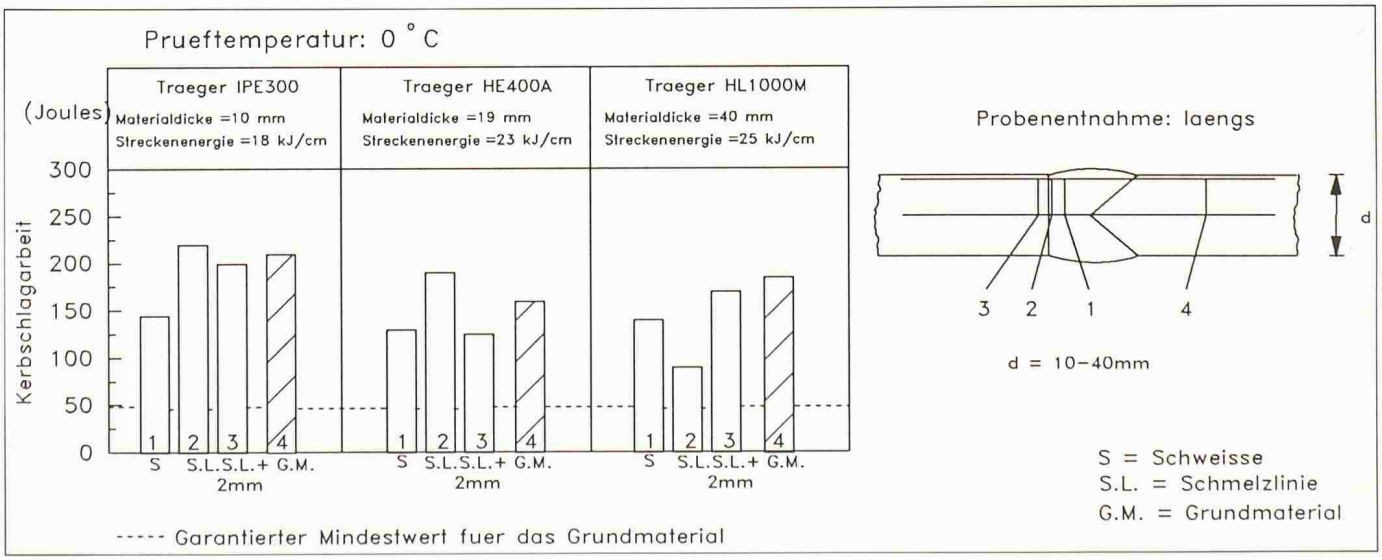


Bild 5. Charpy V-Kerbschlagebiegversuch auf einer Lichtbogen-handgeschweissten Schweissverbindung

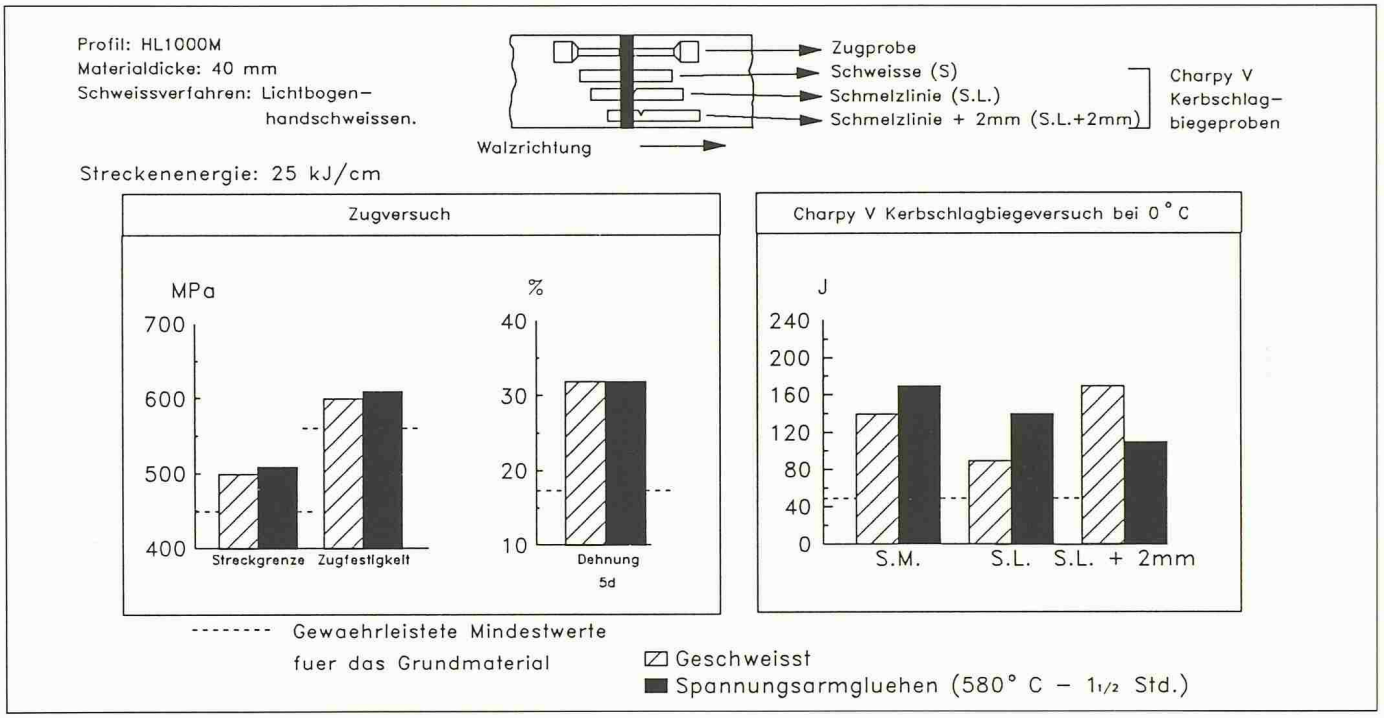


Bild 6. Einfluss eines Spannungsarmglühens auf die mechanischen Eigenschaften von Schweissverbindungen in der Güte FeE460Fritenar

für die Bundesrepublik Deutschland erteilt wurde.

Spannungsarmglühen

Um den Einfluss des Spannungsarmglühens auf die Materialeigenschaften zu ermitteln, wurden Glühversuche bei 580 °C auf geschweisstem und ungeschweisstem Material durchgeführt. Sowohl für den ungeschweissten als auch für den geschweissten Zustand (Bild 6) konnte eine Beeinträchtigung der mechanischen Eigenschaften durch das Spannungsarmglühen nicht festgestellt werden.

Feuerverzinken

Für bestimmte Stahlbauten ist ein Korrosionsschutz durch Feuerverzinken erforderlich.

Die Stahlgüte FeE460 Fritenar lässt sich problemlos verzinken, auch im Zustand mit aufgeschweissten Bolzen. Um eine korrekte Zinkschichtdicke zu erreichen, ist es von grosser Wichtigkeit, dass das Silizium, welches bekanntlich die Reaktion Eisen–Zink beim Feuerverzinken stark beeinflusst, den für Verzinken geeigneten Gehalt aufweist.

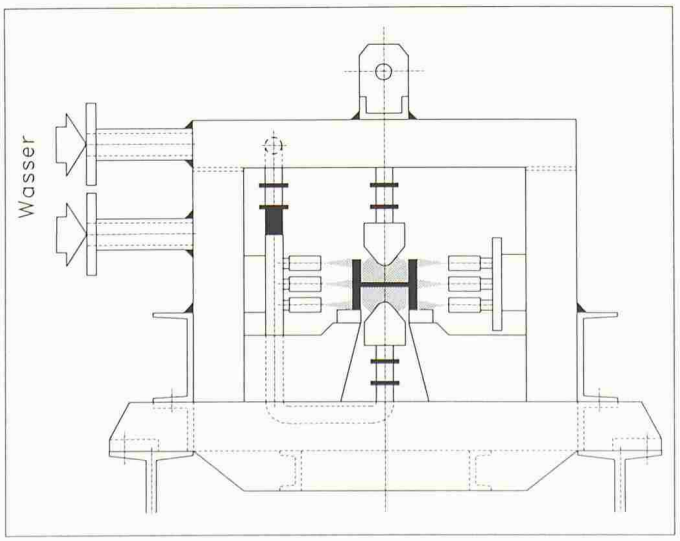
QST-Verfahren

Beschreibung

Durch die Entwicklungen im Bereich des thermomechanischen Walzens war es möglich, die Eigenschaften der Baustähle wesentlich zu verbessern. So konnten Kombinationen von Eigenschaften erreicht werden, die in der Vergangenheit als unvereinbar galten.

Weiteren Entwicklungen der thermomechanischen Walzprozesse sind jedoch durch die maximal zulässige Belastbarkeit der Anlagen Grenzen gesetzt. Um diese Begrenzung zu umgehen, ist die ARBED zurzeit dabei, in Zusammenarbeit mit dem CRM aus Lüttich und der BSC (Grossbritannien) eine im Walzfluss stattfindende Wärmebehandlung für Träger zu entwikkeln, wobei die Walzhitze vorteilhaft genutzt wird. Dieses Verfahren mit der Bezeichnung QST (Quenching and Self-Tempering, Härten und Selbstanlassen) wird im ARBED-Werk Differdingen entwickelt und zum Teil von der EGKS im Rahmen eines Pilot-Projektes finanziert.

Beim QST-Verfahren werden die Träger nach dem Fertigwalzen mit Wasser so schnell abgeschreckt, dass an der



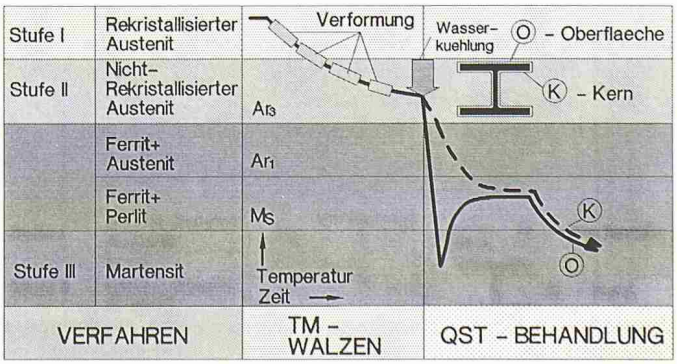


Bild 8. Prinzipschema einer QST-Behandlung von Trägern in Verbindung mit einem thermomechanischen Walzen

Bild 7. QST-Verfahren: Wärmebehandlung in der Walzhitze von Trägern

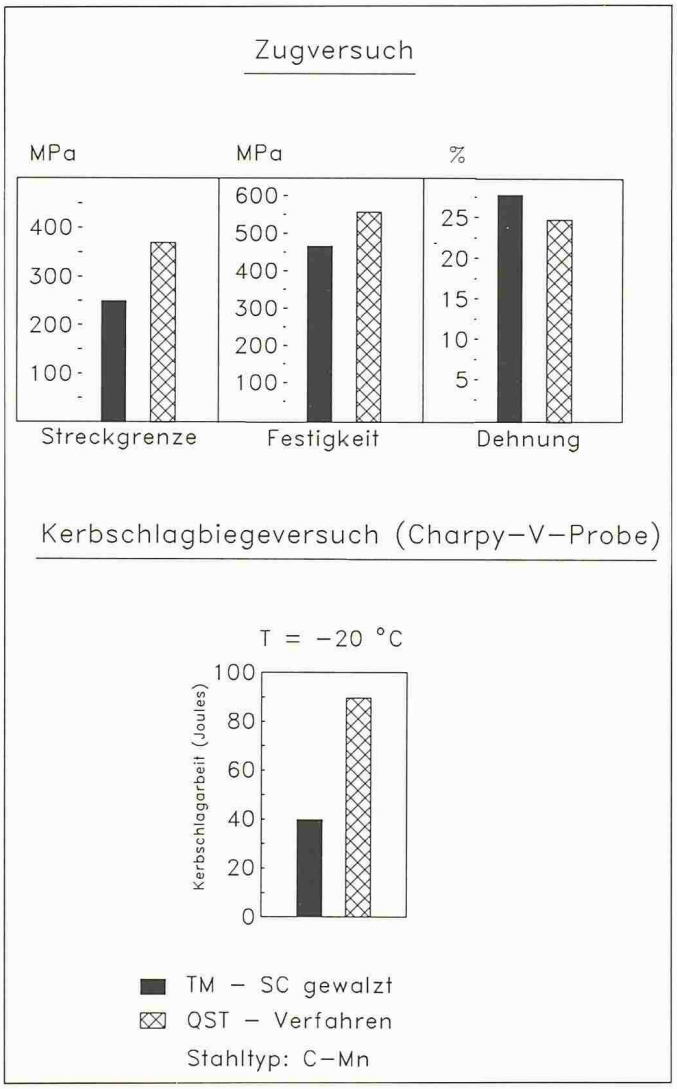


Bild 9. Einfluss einer QST-Behandlung auf die mechanischen Eigenschaften eines Trägers mit einer Flanschdicke von 28 mm

Festigkeitseigenschaften

	QST	TM – Walzen	Garantierte Werte
Re (MPa)	475	494	450 mind.
Rm (MPa)	588	650	560–730
A5d (%)	27	27	17 mind.

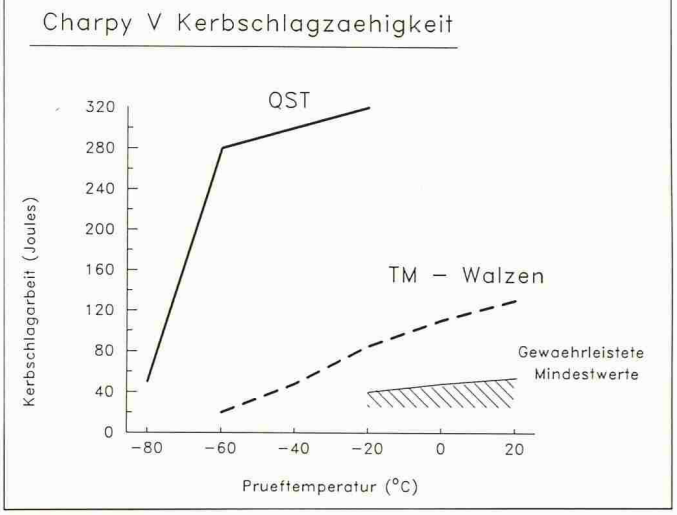


Bild 10. Einfluss des Herstellungsverfahrens auf die mechanischen Eigenschaften von Trägern mit Flanschdicken von 40 mm in der Güte FeE460Fritenar

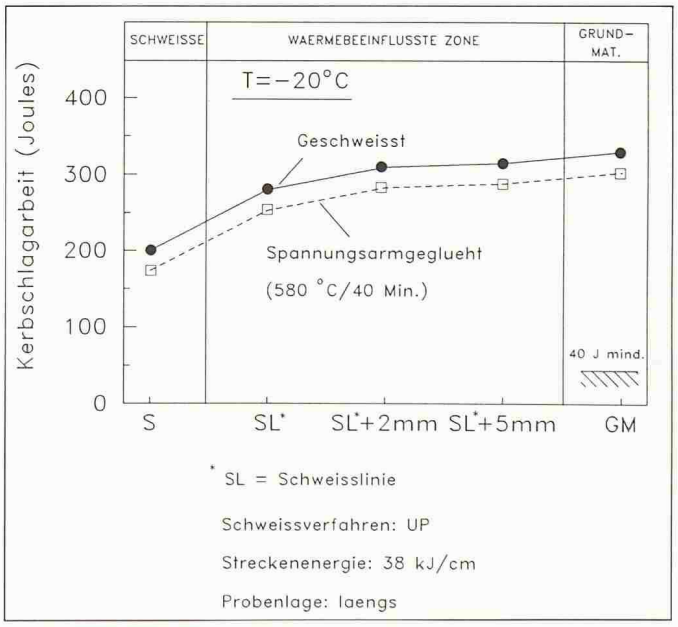


Bild 11. Einfluss des Schweissens und Spannungsarmglühens auf die Charpy V-Kerbschlagzähigkeit von QST-behandelten Trägern in der Güte FeE460Fritenar

Oberfläche Martensit entsteht (Bild 7). Die Kühlung wird unterbrochen, bevor der Kern des Werkstückes abgekühlt ist. Das Selbstanlassen des Martensitgefüges an der Oberfläche geschieht durch die im Kern gespeicherte Wärme (Bild 8). Die wesentlichsten Vorteile dieses Verfahrens sind:

- Hohe Streckgrenze: Steigerung von 100–150 MPa im Vergleich zu unbehandeltem Material bei gleicher chemischer Zusammensetzung.
- Ausgezeichnete Zähigkeit durch günstige metallurgische Mikrostrukturen.
- Verbesserte Schweissbarkeit durch Verringerung des Legierungsgehaltes bei gegebenen mechanischen Eigenschaften.
- Möglichkeit zur Herstellung verschiedener Stahlsorten ausgehend von einer gegebenen chemischen Zusammensetzung.
  Die Einstellung der mechanischen Eigenschaften erfolgt durch Veränderung der Bedingungen der QST-Behandlung.
- Geringe Betriebskosten.

QST-Behandlungsanlage

Mit der jetzigen Pilotanlage ist es möglich, Träger mit einer Flanschdicke bis 40 mm im Durchlauf zu behandeln. Zu einem späteren Zeitpunkt ist vorgesehen, die Kühlstrecke zu verlängern, damit auch dickere Abmessungen im Durchlauf behandelt werden können.

Um eine korrekte QST-Behandlung durchführen zu können, ist es erforderlich, dass vor der Kühlstrecke die Temperaturverteilung im Querschnitt möglichst homogen ist. Diese Bedingung wird durch selektives Kühlen der Übergangszone Flansch–Steg (TM-SC-Verfahren) während des Walzens erfüllt.

Versuchsergebnisse von QST-Behandlungen

Versuche wurden durchgeführt auf Breitflanschträgern mit einer Flanschdicke von 12–40 mm.

Bild 9 zeigt die mechanischen Eigenschaften von Trägern mit einer Flanschdicke von 28 mm in thermomechanisch gewalztem Zustand sowie nach einer QST-Behandlung. Durch die Wärmebehandlung konnten Streckgrenze, Festigkeit und Kerbschlagzähigkeit deutlich gesteigert werden.

In Tabelle 4 werden für die Güte FeE460 Fritenar die chemische Analyse sowie die Vorwärmbedingungen beim Schweissen für TM-gewalztes und QST-behandeltes Material verglichen.

Wie aus Tabelle 4 hervorgeht, hat das QST-Verfahren einen bedeutenden Einfluss auf die chemische Zusammensetzung: Der C- und Mn-Gehalt können deutlich verringert werden, während auf V und Ni vollständig verzichtet werden kann. Der niedrige Gehalt an Legierungselementen von QST-Material führt zu einem aussergewöhnlich niedrigen Kohlenstoffäquivalent, was sich äusserst günstig auf die Schweissbarkeit auswirkt. In der Tat kann man feststellen, dass für die Güte FeE460 Fritenar QST-behandeltes Material beim Schweissen nicht vorgewärmt werden muss, während bei TM-gewalztem Stahl eine Vorwärmtemperatur von 130 °C erforderlich ist.

Die hervorragenden Eigenschaften von QST-Material werden auch in Bild 10 verdeutlicht, wo der Einfluss des Herstellungsverfahrens auf die Materialeigenschaften von Trägern mit einer Flanschstärke von 40 mm in der Güte FeE460 Fritenar dargestellt ist. Bei vergleichbaren Werten für Streckgrenze und Dehnung weist der QST-behandelte Träger eine wesentlich höhere Kerbschlagzähigkeit auf als der TM-gewalzte Stahl. Durch den erhöhten Widerstand gegenüber Sprödbruch bietet QST-Material eine höhere Sicherheit im Betrieb.

Die ausgezeichnete Schweissbarkeit von QST-Material wurde anhand einer Reihe von Schweissversuchen bewiesen, welche auf 20 mm dickem Material in der Güte FeE460 Fritenar durchgeführt wurden. Streckenenergien bis 40 kJ/cm sind möglich, ohne dass es zu einer merklichen Erweichung des Grundwerkstoffes kommt. Die Zähigkeit der wärmebeeinflussten Zone ist hervorragend, dies sowohl im geschweissten als auch im spannungsarmgeglühten Zustand (Bild 11).

Anwendungsgebiete der Stahlgüte FeE460 Fritenar im Stahlbau

Allgemeines

Die Anzahl der Tragwerke, bei denen Walzträger aus hochfestem Stahl der Güte FeE460 eingesetzt worden sind, ist zurzeit noch begrenzt. Hierfür gibt es insbesondere zwei Gründe:

- Die meisten Normen berücksichtigen nur Stahlgüten bis zu einer Streckgrenze von 360 MPa.
- Ingenieure und Stahlbauer sind sehr vorsichtig bei der Anwendung neuer Baustoffe.

Durch die Einführung der Güte FeE460 in nationalen und internationalen Normen sowie durch die Veröffentlichung von Bemessungshilfen und Anleitungen, welche die Herstellung und die Anwendung der neuen Stahlgüte betreffen, werden diese Argumente demnächst entkräftet.

In der ARBED-Forschungsabteilung wird zurzeit ein umfangreiches Forschungsprojekt durchgeführt, um dem Anwender alle wichtigen Grundlagen für die Bemessung und die Anwendung dieser hochfesten Stahlgüte zur Verfügung zu stellen, aber auch um diese Aussagen wissenschaftlich zu untermauern.

Stützen in FeE460Fritenar

Im Vergleich zu Stahl Fe510 (Re = 355 MPa) werden bei Stützen in Stahl FeE460 durchschnittliche Gewichtsreduzierungen von rund 22% erzielt. Im Einzelfall, bei bestimmten Knicklängen oder bei verschiedenen Profilen, können diese Gewichtsersparnisse auch weit grösser sein (Bild 12). Gleichzeitig kann die von der Stütze eingenommene Fläche um etwa 25% gesenkt werden, wodurch die Nettogeschossfläche entsprechend erhöht wird.

	QST-Verfahren	TM gewalzt
% C	0,08	0,18
% Mn	1,20	1,53
% P	0,020	0,024
% S	0,005	0,007
% Si	0,30	0,43
% Al	0,038	0,050
% Nb	0,030	0,036
% V	-	0,095
% Ni	-	0,51
% C äqu.	0,28	0,49
Vorwärmtemperatur* (°C)	-	130 °C

* Für eine Streckenenergie von 20 kJ/cm

Tabelle 4. Einfluss des Herstellungsverfahrens auf die chemische Zusammensetzung und Vorwärmbedingungen beim Schweissen von Trägern mit einer Flanschdicke von 40 mm in der Güte FeE460 Fritenar

Biegeträger in FeE460Fritenar

Die Verwendung von Biegeträgern in Stahl FeE460 führt bei gleicher Trägerhöhe zu einer Gewichtsreduzierung von etwa 15% gegenüber Stahl Fe510 oder bei gleichem Materialverbrauch zu einer um etwa 11% reduzierten Bauhöhe. Durchbiegungsprobleme können durch die Verwendung von Verbundträgern vermieden werden, wobei die Verbundwirkung zwischen Betondecke und Walzträger mittels Kopfbolzendü-

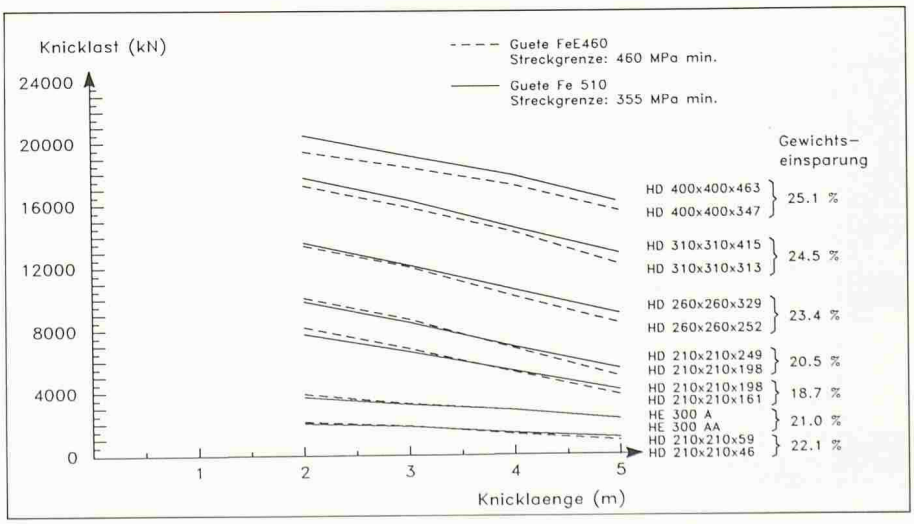


Bild 12. Knickverhalten von Stützen in den Güten Fe 510 und FeE 460

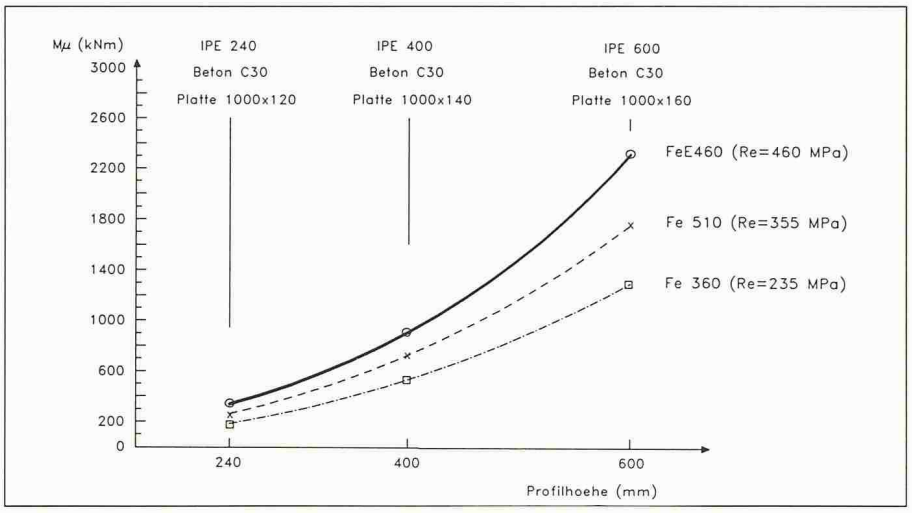


Bild 13. Grenzbiegemoment von Deckenträgern im Verbund

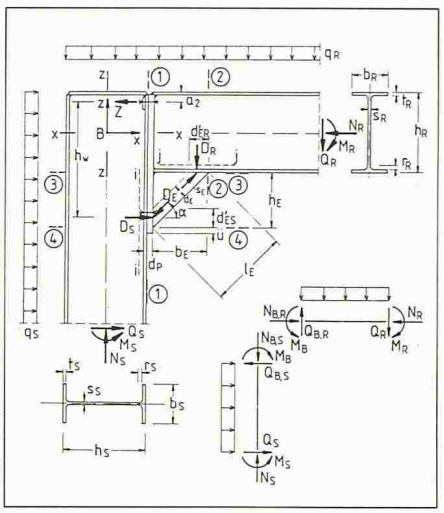


Bild 14. Berechnungsmodell für geschraubte Verbindungen

bel erreicht wird (Bild 13). Das Widerstandsschweissen der Kopfbolzendübel kann ohne Vorwärmen erfolgen.

Rahmentragwerke in FeE460-Fritenar

Bei Rahmentragwerken erreichen die Gewichtsersparnisse bis zu 30% gegenüber Fe510. Vor einiger Zeit hat ARBED mehrere Versuche an biegesteifen Rahmenecken an der Technischen Hochschule in Karlsruhe durchgeführt (Bild 14) [5]. Erstaunlicherweise wurde, obschon das Versuchsmaterial die sehr hohe Streckgrenze von 570 MPa aufwies, das vollplastische Moment ohne lokales Beulen nahezu erreicht. Die Plastifizierung begann erst bei Lasten, die sehr nahe der Traglast waren (Bild 15).

Referenzobjekte

Die technischen und wirtchaftlichen Vorteile der neuen Stahlgüte können anhand der nachfolgenden Referenzobjekte belegt werden.

A: Bürogebäude in Luxemburg

Das Tragwerk des staatlichen Rechenzentrums in Luxemburg (Bild 16), das 1987 gebaut wurde, besteht aus einer Stahlkonstruktion. Bei dem Entwurf war es wichtig, die Stützenabmessungen auf ein Minimum zu verringern, um eine freie Gestaltung des Innenraumes zu ermöglichen. So konnte die von den Stützen eingenommene Fläche mit Walzträgern in FeE460 um 40% gegenüber Fe510 verringert werden. Zusätzlich konnte eine Gewichtsersparnis von 30% erreicht werden. Beide Vorteile hatten einen entscheidenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Konstruktion.

B) Parkhäuser in der BRD

In Deutschland wurden bereits mehrere Parkhäuser mit Deckenträgern aus FeE460 ausgeführt. Die dabei erreichten Spannweiten von 16 m erlauben ein Aufstellen der Fahrzeuge in zwei Reihen, senkrecht zu einer mittleren Fahrgasse (Bild 17). Stahl FeE460 wurde aus wirtschaftlichen Gründen und wegen der verringerten Bauhöhe der Deckenkonstruktion gewählt. Die Deckenträger wurden als Verbundträger ausgeführt oder es wurden, wie es bei demontierbaren Parkhäusern der Fall war, vorgefertigte Stahlbetonplatten ohne Verbundwirkung auf die Träger verlegt.

Der Parkhausbau ist die erste Anwendung, bei der Walzträger aus FeE460 als Standard-Tragelemente eingesetzt wurden.

C) Verbundbrückenbau in der Türkei

Bei im Bau von mehreren Brücken, die für das neue Metro-System in Istanbul ausgeführt wurden (Bild 18), führten das festgelegte Lichtraumprofil und die

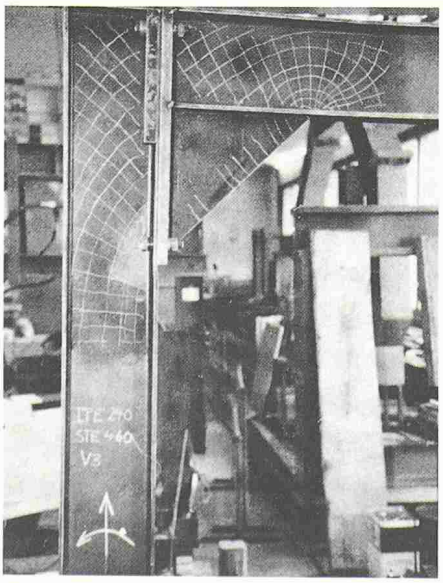


Bild 15. Versuchskörper in der Güte FeE460 nach der Prüfung

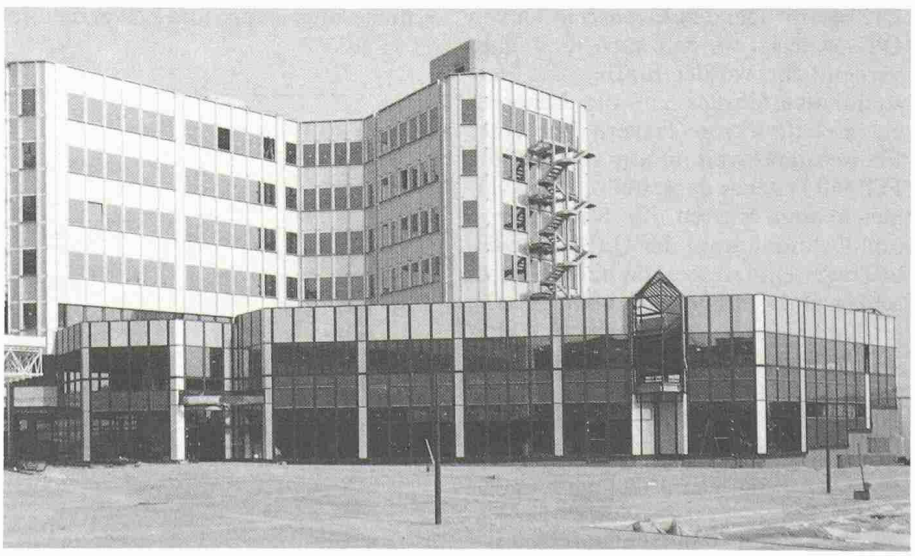


Bild 16. Data Processing Center in Luxemburg



Bild 17. Parkhaus in der BRD

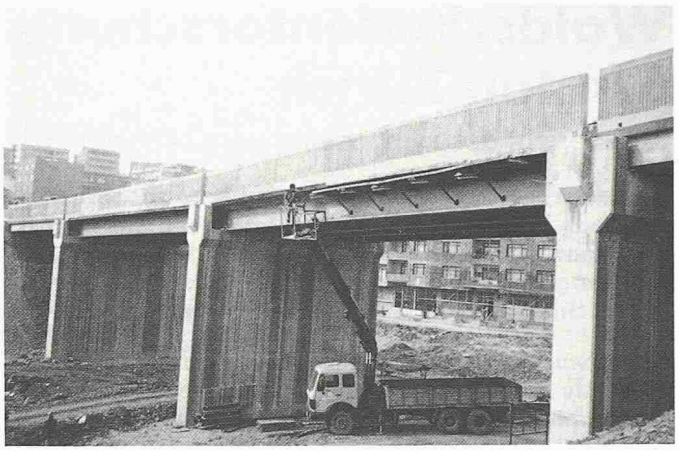


Bild 18. Eisenbahnbrücke in Istanbul (Türkei)

geforderten Spannweiten zur Anwendung von Trägern nach Mass der Serie HL1000 mit Flanschdicken von 55 mm aus hochfestem Stahl der Güte FeE460Fritenar. Die Fahrbahnplatte aus 25 cm dickem Stahlbeton wurde auf vier Hauptträger mit einer Spannweite von 34 m betoniert. Diese Anwendung von FeE460Fritenar für eine Eisenbahnbrücke beweist ebenfalls das gute Ermüdungsverhalten von Walzträgern aus hochfestem Stahl.

Zusammenfassung

Im vergangenen Jahrzehnt wurden erhebliche technische Fortschritte bei der Stahlherstellung und insbesondere bei dem thermomechanischen Walzverfahren erzielt. Diese Entwicklungen führten zu einer wirtschaftlichen Herstellung von Walzprofilen mit einer Kombination von Eigenschaften, die in der Vergangenheit als unvereinbar galten:

- Hohe Streckgrenze.
- Gute Schweissbarkeit.
- Ausgeprägter Widerstand gegenüber Sprödbruch.

ARBED hat das Walzverfahren für Profile verbessert durch das Einführen des selektiven Kühlens während des Walzprozesses (TM-SC-Prozess). Dies führt zu einer Verbesserung der Produktqualität bei gleichzeitiger Verminderung der Herstellungskosten.

Eine weitere Verbesserung der Stahleigenschaften durch eine während des Walzprozesses stattfindende Wärmebehandlung (QST-Prozess), wobei die Walzhitze vorteilhaft genutzt wird, führt zu einer neuen Generation von hochfesten Baustählen mit verbesserter Zähigkeit und Schweissbarkeit.

Die technischen und wirtschaftlichen Vorteile bei der Anwendung der hochfesten Stahlgüte FeE460Fritenar wurden anhand von einigen Anwendungen sowie anhand von verschiedenen Referenzobjekten aufgeführt.

Die rezenten Projekte in FeE460Fritenar bestätigen ein wachsendes Interesse bei Planungsbüros und Stahlbauern.

Die Entwicklung von Baustählen mit sehr hoher Streckgrenze gibt dem Anwender neue Möglichkeiten, Tragwerke herzustellen, die leichter sind und einfacher zu fertigen sind. Dies führt insgesamt zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von Stahlbauten.

Literatur

[1] Advanced Techniques for the Production of HSLA Steel Products. J. de la Hamette, American Society for Metals 8500-017

[2] Thermomechanisches Walzen von schweren Trägerprofilen mit qualitativen Sonderansprüchen. J. de la Hamette, A. Zenner, Stahl und Eisen 104 (1984), Heft 23

[3] Thermomechanische Behandlung von Profilen. J. de la Hamette, P. Belche, F. Becker, C. Panunzi, 16. Metalltagung in der DDR, Dresden, Mai 1987

[4] Production and applications of high strength steel sections. A. Frantz, J.B. Schleich; Microalloying 1988, World Materials Congress, Chicago, September 1988

[5] Biegesteife Stirnplatten-Verbindungen aus St37 und StE460 mit Vouten ohne Rippen. *P. Dangelmeier, R. Pepin, J.B. Schleich, G. Valtinat;* Sonderdruck aus Stahlbau 56 (1987)

Adresse der Verfasser: Dipl. Ing. *A. Frantz*, ARBED-Recherches, 66, rue de Luxembourg, Esch-sur-Alzette (L), Dipl. Ing. *G. Stoll*, ARBED-TECOM-Structures, rue Emile Mark, L-4503 Differdange.