

# Verbindungsschweissung zwischen Armierungsstahl III und nichtrostendem Stahl

Autor(en): **Buess, Ernst**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **103 (1985)**

Heft 45

PDF erstellt am: **23.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-75925>

## **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.

# Verbindungsschweissung zwischen Armierungsstahl III und nichtrostendem Stahl

Von Ernst Buess, Basel

**In der Diskussion um die Verwendung und das Korrosionsverhalten nichtrostender Stähle im Bauwesen gibt der Verfasser sachliche Präzisierungen zu einzelnen Aussagen in verschiedenen Aufsätzen, die kürzlich im «Schweizer Ingenieur und Architekt» erschienen sind.**

**Die Erläuterung der zum Teil recht komplexen Zusammenhänge soll dazu beitragen, Überraschungen bei der Anwendung vermeiden zu helfen. (Red.)**

## Ausgangssituation

In zwei kürzlich in dieser Zeitschrift erschienenen Artikeln [1, 2], die sich u. a. auch mit der Anwendung nichtrostender CrNi-Stähle für Armierungen im Bereich korrosiver Gefährdungen befassen, sind nach unserer Auffassung zu gewissen Aussagen Präzisierungen anzubringen.

Im Artikel von T. Erb [1] betrifft dies das Herstellungsverfahren bzw. den Lieferzustand des zur Diskussion stehenden CrNiMo-Stahles sowie die angegebene Korrosionsbeständigkeit. Nach einer Aussprache mit der Vertriebsfirma dieses Stahles können folgende Fakten festgehalten werden:

- Die Bezeichnung des Stahles als «naturhartzäh» ist nicht zutreffend. Dieser Stahl wird zur Verbesserung der Festigkeitswerte einer thermomechanischen Sonderbehandlung unterworfen. Die dadurch erreichten Werte sind dickenabhängig, die Streckgrenze kann aber den vierfachen Wert üblicher CrNi-Stähle erreichen. Korrekterweise müsste der Stahl als «thermomechanisch behandelt» bezeichnet werden.
- Die im Artikel [1] gemachten Aussagen in Bezug auf die Korrosionsbeständigkeit dieses Stahles («widersteht der Lochkorrosion, weltweit kein Versagen durch Spannungsrisskorrosion bekannt») sind nur mit Einschränkung gültig. Diese Feststellungen treffen nur für atmosphärische und andere übliche Umweltbedingungen zu (z. B. Angriff durch Streusalz im Verkehrsbereich). Bei andern chemischen Belastungen können diese Schäden sehr wohl auftreten; massgebend sind dabei Zugspannungszustand, Korrosionsmedium und Temperatur.

Im Artikel von H. Wieland [2] bedarf die Aussage, wonach Stahl III mit nichtrostendem Stahl ohne grössere Probleme verschweisst werden kann, einer Präzisierung.

Wohl wird als Literaturangabe eine Zulassung des Institutes für Bautechnik in Berlin [4] genannt. Die Gefahr ist sehr gross, dass lediglich zur Kenntnis genommen wird, dass derartige Verbindungen möglich sind, und dass man sich jedoch nicht darum kümmert, welche Auflagen mit dieser Zulassung verbunden sind.

Die Problematik derartiger Verbindungen und die wichtigsten Auflagen der zitierten Zulassung sind daher eingehender darzulegen.

## Schweisbarkeit von Stahl III mit CrNi-Stahl

Im Prinzip können Schweissverbindungen zwischen Stahl III und CrNi-Stahl ohne weiters hergestellt werden, der Kern der Angelegenheit liegt – wie so oft – im «Gewusst wie». Der Verfasser dieses Artikels hat als Montageingenieur im Bereich geschweisster Bauwerke jahrelang Kontakt mit der Bauindustrie und damit auch mit den Verlegern von Armierungsstählen gehabt. Generell kann gesagt werden, dass in diesen Bereichen die Kenntnisse in der Schweissttechnik mager sind und dass den angetroffenen Schweissverbindungen höchstens Fixierungsfunktion, aber keine Tragfunktion zugesprochen werden konnte.

Vermutlich in Berücksichtigung dieser Tatsache schreiben Bauingenieure selten geschweisste Armierungsstösse mit wichtiger Tragfunktion vor; meist wird auf den Überlappstoss oder auf den Schraubmuffenstoss ausgewichen. Bei

den Kernkraftwerksbauten, wo beim Durchziehen der wichtigen Armierungen nicht auf das Schweißen verzichtet werden konnte, wurden derartige Arbeiten den Stahl- und Behälterbauern übertragen, die mit ihren ausgebildeten und geprüften Schweissern in der Lage waren, qualitativ einwandfreie Verbindungen herzustellen.

Die Frage, ob die üblichen Verleger von Armierungsstählen in der Lage sind, Stahl III mit CrNi-Stahl zu verschweissen und zwar so, dass ein tragfähiger Stoss entsteht, kann nach meinen Beobachtungen mit einem klaren Nein beantwortet werden.

Einerseits muss das manuelle Können eines guten Schweissers vorhanden sein, andererseits spielen metallurgische Vorgänge beim Herstellen derartiger Verbindungen eine wichtige Rolle. Ein Nichtkennen dieser Vorgänge kann aber bei tragenden Elementen katastrophale Folgen haben.

Verbindungen zwischen un- und hochlegierten Stählen gehören zu den sogenannten heterogenen Verbindungen (Mischverbindungen), denen der nächste Abschnitt von den Grundlagen her gewidmet ist.

## Das Schaeffler-Diagramm

Das Schweissgut von Verbindungen zwischen un- und hochlegiertem Stahl besteht aus einer Mischung aus unlegiertem und hochlegiertem Grundwerkstoff und dem Werkstoff, der von der Schweisselektrode kommt. Welches Gefüge eine derartige Mischung aufweist, lässt sich mit Hilfe des Schaeffler-Diagrammes (Bild 1) bestimmen.

Der Aufbau dieses Diagrammes basiert auf folgenden Eigenheiten des Eisens: Die kristalline Gitterstruktur des Eisens kann zwei verschiedene Formen aufweisen. Bei Raumtemperatur ist sie kubisch-raumzentriert (krz), oberhalb 910 °C klappt das Gitter in eine kubisch-flächenzentrierte (kfz) Struktur um. Bei Erhöhung der Temperatur auf über 1390 °C erfolgt ein Zurückklappen des Gitters in die krz-Form. Diese Umklappvorgänge, die die verschiedenen Wärmebehandlungen von Eisen und Stahl ermöglichen, werden allotrope Umwandlung genannt. Das Zulegieren von andern Elementen zum Eisen kann bewirken, dass sich die Umwandlungspunkte zu andern Temperaturen verschieben. Die Legierungselemente können dabei in zwei Gruppen eingeteilt

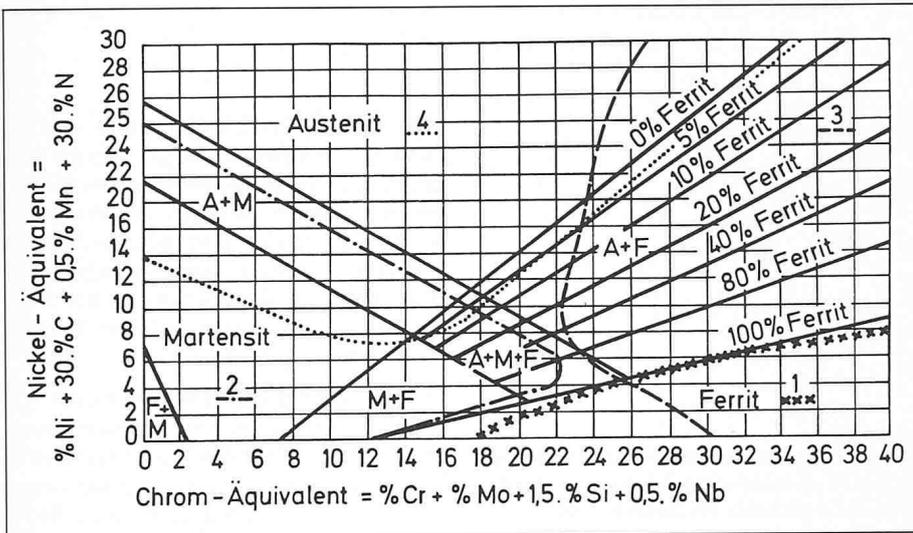


Bild 1. Das Schaeffler-Diagramm

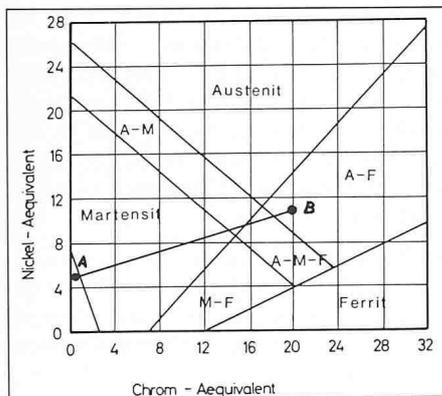


Bild 2. Verbinden von Stahl III mit CrNi-Stahl ohne Schweisszusatzwerkstoff

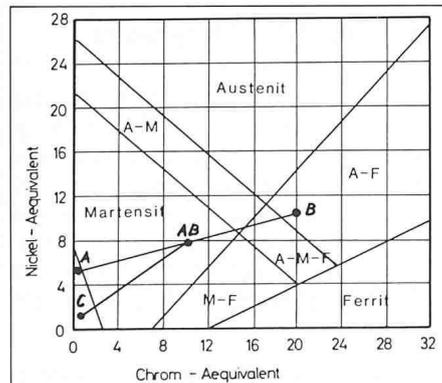
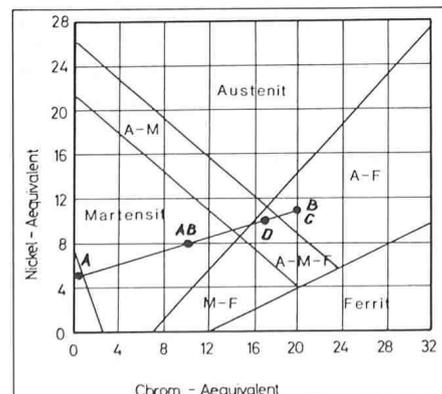


Bild 3. Verbinden von Stahl III mit CrNi-Stahl mit unlegierter Stabelektrode

Bild 4. Verbinden von Stahl III mit CrNi-Stahl mit 18/8-Elektrode



werden, nämlich in solche, die das kfz-Gebiet ausweiten und in solche, die es einschränken.

Da die kfz-Struktur auch als *Austenit*, die kfz-Struktur als *Ferrit* bezeichnet wird, nennt man die eine Elementegruppe Austenitbildner und die andere Ferritbildner.

Als charakteristische Elemente dieser Gruppen sind Chrom Cr und Nickel Ni zu nennen. Genügende *Chromzugabe* bewirkt, dass das kfz-Gebiet verschwindet; Stähle die mehr als 13% Cr aufweisen, sind bei niedrigem Kohlenstoffgehalt umwandlungsfreie, ferritische Stähle.

Genügende *Nickelzugabe* bewirkt, dass das kfz-Gebiet ausgeweitet wird, es entsteht ein umwandlungsfreier, austenitischer Stahl. Je nach den Gehalten an Cr und Ni stellt sich somit im Normalfall ein Mischgefüge ein, das zu X% aus Austenit und zu Y% aus Ferrit besteht. Mit Hilfe des Schaeffler-Diagrammes können auf Grund der Legierungszusammensetzung mit genügender Genauigkeit die Gefügeanteile bestimmt werden.

Das Diagramm (Bild 1) ist prinzipiell wie folgt aufgebaut: Auf der horizontalen Achse ist das Cr-Äquivalent aufgetragen. Dieser Wert ist eine Zahl, die aus den Prozentsätzen der ferritbildenden Elemente Cr, Mo, Si und Nb ermittelt wird. Auf der vertikalen Achse liegt das Ni-Äquivalent, dieses wird aus den Anteilen der austenitbildenden Elementen Ni, C, Mn und N berechnet. Innerhalb des Diagrammes können die Extrembereiche folgenden Werkstoffen zugeordnet werden:

- Ecke links unten: un- und niedriglegierte Stähle,
- Ecke rechts unten: hochlegierte ferritische Cr-Stähle,
- Ecke links oben: hochlegierte Ni-Stähle,

- Ecke rechts oben: Legierungen mit weniger als 50% Fe, Rest Cr und Ni.

Korrekterweise ist festzuhalten, dass dieses Diagramm in erster Linie für Schweißgut und nur beschränkt für Grundwerkstoffe gilt. Es ist mittels Schweißversuchen mit Stabelektroden von 4 mm Durchmesser und bei normalen Abkühlbedingungen ermittelt worden. Aus diesem Grunde wird es praktisch auch ausschliesslich für die Gefügebewertung von Schweißgütern angewendet.

### Anwendung des Schaeffler-Diagrammes

Wenden wir uns nun dem Problem des Verbindens von Stahl III mit einem 18/18-CrNi-Stahl, Werkstoff-Nr. 1.4301, zu. Im Diagramm, Bild 2, sind die Grundwerkstoffe gemäss ihren Cr- und Ni-Äquivalenten eingetragen. Punkt A kennzeichnet die Lage von Stahl III, Punkt B die Lage des CrNi-Stahles. Verbinden wir die beiden Werkstoffe ohne Zusatzwerkstoff, also nur durch Verschmelzen mit einer Brennerflamme miteinander, so muss die Zusammensetzung des aufgeschmolzenen und vermischten Schweißgutes auf der Verbindungsgeraden der beiden Punkte liegen. Dabei kann festgestellt werden, dass in einem breiten Streubereich das Schweißgut aus reinem Martensit besteht. Dieser Martensit, der auf Grund des C-Gehaltes des Stahles III und des Cr- und Ni-Gehaltes des hochlegierten Stahles, verbunden mit den Abkühlbedingungen beim Schweißen, entsteht, ist ein hartes, sprödes und dadurch äusserst rissgefährdetes Gefüge.

Wird die Schweißverbindung mit Zusatzwerkstoff hergestellt, so sind zusätzlich die Aufmischungsverhältnisse zu berücksichtigen. In Bild 3 ist dargestellt, welche Verhältnisse sich beim Schweißen mit einer unlegierten Stabelektrode einstellen. Zusätzlich zu den Punkten A und B ist der Punkt C für die Stabelektrode festzuhalten. Nehmen wir an, dass die Werkstoffe A und B zu gleichen Teilen aufgeschmolzen werden, so bringen sie die Zusammensetzung des Punktes AB in die Verbindung ein. Die Zusammensetzung des Schweißgutes muss nun auf der Verbindungslinie AB-C liegen. Ungeachtet der Mischungsverhältnisse wird das Schweißgut auch hier zu einem hohen Prozentsatz aus Martensit bestehen.

Verwenden wir eine Stabelektrode 18/8, also dem hochlegierten Werkstoff entsprechend, so ändern sich die Ver-

hältnisse gemäss Bild 4. Die Punkte *B* und *C* sind in diesem Falle identisch, das Schweissgut muss somit auf der Verbindungsgeraden *A-BC* liegen, wobei für die genaue Lage das Aufmischungsverhältnis verantwortlich ist. Für die Elektrodenhandschweissung darf angenommen werden, dass das Schweissgut zu einem Drittel aus den Grundwerkstoffen und zu zwei Dritteln aus Zusatzwerkstoff besteht.

Das aufgemischte Grundmaterial mit der Zusammensetzung *AB* ist demnach zu einem Drittel, der Zusatz mit der Zusammensetzung *C* zu zwei Dritteln am Schweissgut beteiligt. Dies bedeutet, dass das Schweissgut die Zusammensetzung *D* aufweist. Es besteht somit aus einer Mischung aus Austenit, Martensit und Ferrit. Dies ergibt eine bedeutend günstigere Konstellation als die bisher behandelten Fälle; ideal kann die Zusammensetzung aber noch keineswegs bezeichnet werden.

Ein allen Ansprüchen genügendes Schweissgut erhalten wir bei Verwendung einer sogenannten überlegierten Elektrode vom Typ 23/12, die mindestens 23% Cr und 12% Ni enthält (Bild 5). Ihre Lage im Diagramm ist wiederum als Punkt *C* dargestellt. Die Zusammensetzung des Schweissgutes muss auf der Verbindungslinie *AB-C* liegen, bei gleicher Aufmischung von ein Drittel zu zwei Dritteln wie in den vorbehandelten Beispielen ergibt sich Punkt *D*. Dieser liegt in einem Bereich, der etwa 95% Austenit und 5% Ferrit anzeigt, was der idealen Zusammensetzung dieser Art von nichtrostendem Schweissgut entspricht.

### Versuchsschweissung

Um diese theoretischen Erkenntnisse praktisch zu erhärten, sind Mischverbindungen von Stahl III und CrNi-Stahl 1.4301, Durchmesser 26 mm, hergestellt worden. Verwendet wurden: eine unlegierte Stabelektrode mit basischer Umhüllung, wie sie im Stahl- und Behälterbau oft verwendet wird; - eine 18/8-Elektrode; sowie eine 23/12 überlegierte Elektrode, die speziell für Mischverbindungen geeignet ist.

Im Bild 6 ist der Querschnitt der Verbindung fotografisch festgehalten, das Bild 7 zeigt den Querschnitt schematisch. Die darunterliegenden Härtekurven sind den Verbindungen mit den unterschiedlichen Elektroden zuzuordnen.

#### Härtemessungen

An jedem Querschliff sind in Oberflächennähe und in der Mitte der Verbindungsgeraden je eine Härtereihe HV 10 (Vickers-Härtemessung) aufgenommen worden.

Die sich ergebenden Härtekurven können wie folgt interpretiert werden:

Beim Schweißen mit der unlegierten Stabelektrode sind auf der Seite des hochlegierten Stahles durch die Aufmischung Härtewerte von max. 500 HV 10 entstanden. Dies bedeutet, dass das Schweissgut hier einen hohen Martensitanteil aufweist, der vor allem die plastische Verformungsfähigkeit der Verbindung reduziert und dadurch rissgefährdend wirkt. Die Härtewerte sind in Stabmitte durch die geringere Aufmischung wesentlich kleiner.

Bei Verwendung einer 18/8-Elektrode begrenzt sich die Härte auf der Aufmischungsseite mit dem Stahl III auf max. 390 HV 10. Dieser Wert kann nicht mehr unbedingt als kritisch betrachtet werden, wegen des Martensitanteils muss aber doch mit reduzierter Verformungsfähigkeit gerechnet werden.

Bei dem mit der 23/12-Elektrode hergestellten Schweissgut sind keine Aufhärtingen mehr festzustellen, die vorhandenen Differenzen in den Härtewerten entsprechen den üblichen Messdifferenzen bei der Kontrolle auch von homogenen Verbindungen.

#### Biegeversuch

Wie schon erwähnt, reduziert der Martensit vor allem das plastische Verformungsvermögen einer Schweissverbindung. Dies kann im Biegeversuch getestet werden.

Je eine der mit den drei unterschiedlichen Elektroden geschweissten Verbindungen wurde einem Biegeversuch unterworfen. Gewählt wurde ein Biegedurchmesser von 50 mm.

Folgende Biegewinkel ergaben sich bis zum Anreissen:

- Probe 1: 30° (unlegierte Elektrode)
- Probe 2: 90° (18/8-Elektrode)
- Probe 3: 180° ohne Anriss (23/12-Elektrode)

In den Bildern 8 und 9 ist das extrem unterschiedliche Verformungsvermögen der Proben 1 und 3 ersichtlich.

### Folgerungen

Nach bundesdeutschen Vorschriften für Schweissarbeiten an Betonstählen im bauaufsichtlichen Bereich sind im Prinzip zwei Hauptbedingungen zu erfüllen:

- Die Werkstoffe müssen behördlich zugelassen sein

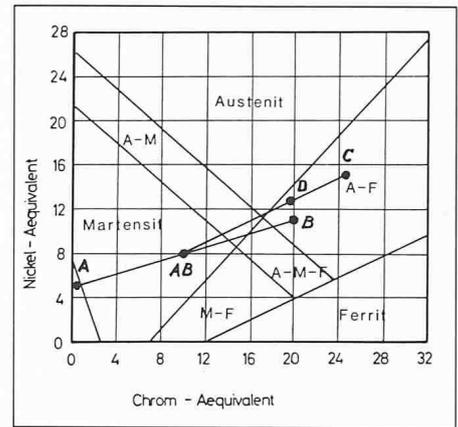


Bild 5. Verbinden von Stahl III mit CrNi-Stahl mit 23/12-Elektrode

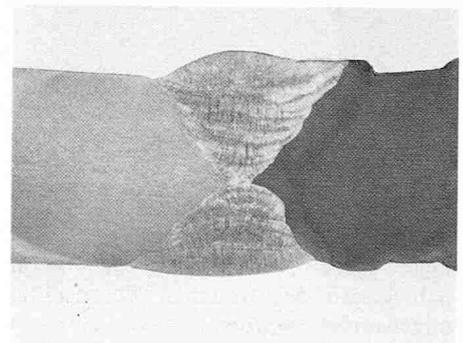
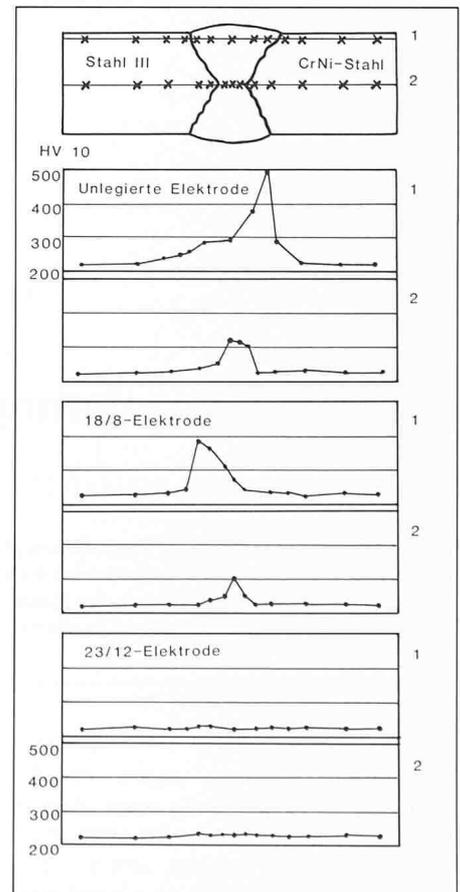


Bild 6. Makroschliff der Verbindungsschweissung

Bild 7. Querschnitte mit Härteverlauf



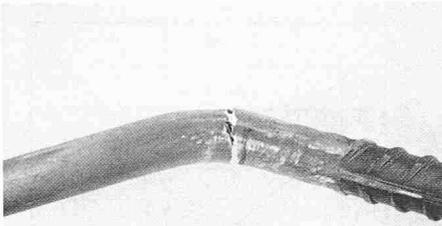


Bild 8. Biegeprobe, geschweisst mit unlegierter Stabelektrode

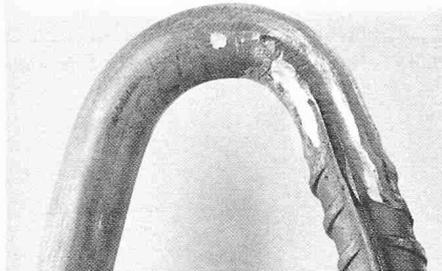


Bild 9. Biegeprobe, geschweisst mit 23/12-Elektrode

– Die Schweissarbeiten sind nach DIN 4099, «Schweissen von Betonstahl» [3], durchzuführen.

Dass diese Norm nicht nur beim Schweissen der üblichen Betonstähle angewendet werden muss, sondern auch in den Fällen, wo metallurgisch anspruchsvolle Verbindungen herzustellen sind, wie die Verbindung von unlegiert- hochlegiert, ist als selbstverständlich zu betrachten. Welche Auflagen werden nun in dieser Norm gemacht? Greifen wir nur die wichtigsten Punkte heraus:

□ Es dürfen nur Unternehmungen mit derartigen Schweissarbeiten betraut werden, die die notwendigen Fachkräfte und erforderlichen Einrichtungen besitzen.

□ Die Schweissaufsicht ist durch einen ausgebildeten Schweissfachmann auszuüben. Er muss zusätzlich eine spezielle Ausbildung im Schweissen von Betonstahl besitzen. Er muss die Schweissarbeiten ständig überwachen.

□ Die Schweisser müssen im Schweissen von Betonstahl speziell ausgebildet sein, sie haben eine Schweisserprüfung nach DIN 8560, Prüfgruppe BIM, abzulegen.

□ Vor Beginn der Schweissarbeiten ist unter örtlichen Herstellungsbedingungen eine Verfahrensprüfung zu schweissen. An den Probestücken sind die Zugfestigkeit und die Verformbarkeit nachzuweisen.

□ Während dem Schweissen sind Arbeitsproben anzufertigen, an denen ebenfalls die Festigkeit und die Verformbarkeit nachzuweisen sind.

Betrachten wir die Verhältnisse in der Schweiz, so müssen wir feststellen, dass die wesentlichsten Bedingungen, nämlich eine ausgebildete Schweissaufsichtsperson und ausgebildete und geprüfte Schweisser, nicht einmal für die Herstellung geschweisster Stahlkonstruktionen gefordert werden. Gleiches gilt natürlich auch für das Schweissen von Betonstahl. Dass aber echtes schweisstechnisches Fachwissen für derartige Arbeiten notwendig ist, sollte jedem bauleitenden Ingenieur bekannt sein.

Der Schweizerische Verein für Schweisstechnik hat vor einiger Zeit versucht, Kurse im Schweissen von Betonstahl zu organisieren. Das Interesse war aber verschwindend klein, es sind lediglich vereinzelte Schweisser und diese meist für ganz konkrete Aufträge ausgebildet worden. Wir sind aber der Auffassung, dass in dieser Beziehung noch einiges nachzuholen wäre und dass der geschweinste Armierungsstoss eine wirtschaftliche Lösung darstellen kann. Der Schweizerische Verein für Schweisstechnik mit seiner Ausbildungsstelle in Basel ist jederzeit bereit, Kurse für das Schweissen von Betonstahl für Schweisser und Aufsichtspersonen durchzuführen, diese Kurse können ohne weiteres auch mit einer kleinen Werkstoffkunde in bezug auf die zur Anwendung gelangenden Stähle verbunden werden.

Adresse des Verfassers: E. Buess, Vizedirektor Schweiz. Verein für Schweisstechnik, St. Alban-Vorstadt 95, 4052 Basel.

#### Literatur

- [1] Erb, T. Korrosion und deren Folgen in der Bauindustrie. Schweizer Ingenieur und Architekt 103 (1985) H. 26, S. 656
- [2] Wieland, H. Wirkung und Sicherheit wärmegeämmter Kragplattenanschlüsse. Schweizer Ingenieur und Architekt 103 (1985) H. 26, S. 650
- [3] DIN 4099. Schweissen von Betonstahl. Beuth Verlag Berlin 1972
- [4] Institut für Bautechnik, Berlin. Zulassung nichtrostender Stähle. Nr. Z 30.1-44 vom 1.2.1979

## Stabbündelarmierung

Von Heinz Wieland, Maienfeld

Obwohl die tiefen Stahlpreise zusätzlichen planerischen Aufwand zum Einsparen von Armierungsstahl nicht besonders attraktiv erscheinen lassen, sind ganz bedeutende Einsparungen möglich. Stabbündelarmierung in der Hand des qualifizierten Ingenieurs lässt diese Einsparungen ohne grossen Aufwand und damit wirtschaftlich verwirklichen.

### Einleitung

Der tiefen Stahlpreise wegen wird der sparsamen Verwendung von Armierungsstahl heute wenig Beachtung geschenkt. Man ist geneigt, einen hohen Armierungsgehalt als Qualitätsmerk-

mal von Stahlbeton zu betrachten. Armierung am falschen Ort verbessert aber die Eigenschaften eines Stahlbetontragwerkes kaum, und Einsparungen bei der Armierung können die Baukosten nach wie vor erheblich senken.

Sparsam, aber richtig armierte Beton-

bauteile heben den qualifizierten Ingenieur aus der Masse der gewöhnlichen Eisenbetonplaner hervor. Dazu kommt, dass die Technologien noch fehlen, um einbetonierten Armierungsstahl mit vernünftigem Aufwand einem Recycling zuzuführen – ein weiterer wesentlicher Grund, warum Armierungsstahl äusserst sparsam verwendet werden sollte.

### Einsparungen an Armierungsstahl

Einsparungen an Armierungsstahl sind nur dann sinnvoll, wenn diese wirt-