

**Zeitschrift:** IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen

**Band:** 21 (1975)

**Rubrik:** Theme II: Fabrication and erection

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 08.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

**Diminution du nombre de goujons connecteurs d'une poutre mixte par l'emploi de semelles de contact acier-béton à adhérence renforcée**

Verwendung von Obergurten mit erhöhter Beton-Stahl-Haftung zur Verminderung der Anzahl Dübel bei Verbundträgern

Decrement of the Connectors of a Composite Beam by Use of an Upper Flange with an Improved Grip for Steel-Concrete

J. JANSS      E. PIRAPREZ  
 C. R. I. F.  
 Liège, Belgique

**1. INTRODUCTION.**

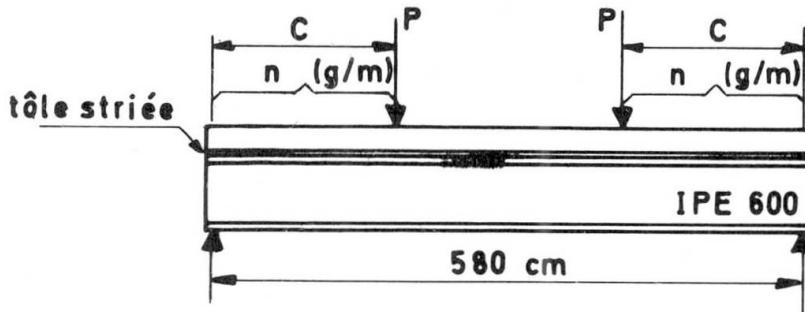
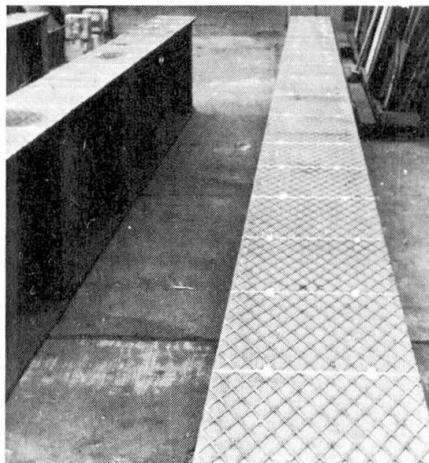
Un des points fondamentaux lors de la mise en oeuvre de poutres mixtes, aussi bien pour le calcul que pour l'exécution, est la liaison entre les deux matériaux acier et béton. Cette liaison est souvent réalisée au moyen de goujons connecteurs soudés sur le profilé en acier. Cependant ces connecteurs sont assez onéreux et des essais ont été entrepris dans le but de réduire le nombre de goujons connecteurs en ayant recours à des profilés métalliques dont la semelle de contact avec le béton porte des empreintes particulières créant une adhérence artificielle entre les deux matériaux.

Une première série d'essais statiques et dynamiques sur éprouvettes du type "push out" a mis en évidence l'efficacité de cette solution. La présence d'empreintes ou de stries à la surface de liaison entre l'acier et le béton permet de réduire de 50 % le nombre de goujons connecteurs lorsque ces connecteurs sont dimensionnés à partir des formules classiques autorisant un glissement résiduel maximum de 0,08 mm [1] [2].

**2. ESSAIS.**

L'objectif des présents essais est de vérifier si les premiers résultats acquis sont applicables à des poutres de dimensions importantes dont les goujons sont dimensionnés soit par les formules classiques soit par les formules donnant la résistance ultime des goujons.

Les essais ont porté sur 6 poutres mixtes de 6 m de longueur composées d'un profilé IPE 600 et d'une dalle en béton dont la section est de 120 x 10 cm. La surface de contact à adhérence artificielle entre l'acier et le béton a été réalisée en soudant sur la semelle supérieure du profilé une tôle striée de 10 mm d'épaisseur. La hauteur des stries est de  $\pm 1$  mm (figure 1). Les six poutres ont les mêmes dimensions et elles ne diffèrent entre elles que par le nombre de goujons et la valeur de l'effort rasant auquel les goujons sont soumis. (Figure 2)



- Figure 1 -

N° de la poutre	C en cm	Nombre de goujons effectivement placés par mètre courant : n (g/m)
1	140	21
2	190	16
3	240	10
4	190	8
5	240	10
6	140	14

- Figure 2 -

Les goujons connecteurs ont les caractéristiques suivantes : hauteur 70 mm, diamètre 15,88 mm (5/8"), contrainte de rupture  $R_{a,r} = 50 \text{ kg/mm}^2$ . Dans la zone des moments constants et efforts rasants nuls, les goujons sont distants de 60 cm.

L'effort repris par un goujon a été déterminé à partir des formules suivantes (avec  $R'_{br}$  et  $E'_b$  la résistance à la compression sur cube du béton et  $E'_b$  le module d'élasticité en  $\text{kg/cm}^2$ ) :

a) effort admissible (glissement résiduel : 0,08 mm) : [3]

$$F_{G,adm} = 40 d^2 \sqrt{R'_{br}} \quad (\text{kg et cm})$$

d'où  $n_1$  le nombre de goujons par m pour reprendre l'effort rasant sous la charge de service  $P_s$ .

b) effort ultime : la plus petite des deux valeurs suivantes: [4] [5]

$$F_{G,b} = 0,32 d^2 \sqrt{R'_{br} \cdot E'_b} \quad (\text{kg et cm}) \text{ ou } F_{G,c} = 0,7 \frac{\pi d^2}{4} R_{a,r}$$

d'où  $n_2$  le nombre de goujons par mètre pour reprendre l'effort rasant ultime.

c) effort ultime : [6]

$$F_{G,R} = 225 d^2 \sqrt{R'_{br}}$$

d'où  $n_3$  le nombre de goujons par mètre pour reprendre l'effort rasant ultime.

Il y a lieu de noter que cette dernière formule donne des valeurs surestimées de la résistance ultime des goujons [7].

Le tableau I donne le nombre de goujons théorique  $n_i$  par mètre de longueur, calculé à partir des trois formules ci-dessus en tenant compte des caractéristiques géométriques et mécaniques réelles de chaque poutre.

Tableau I. Nombre de goujons connecteurs.

Numéro de la poutre	$R'_{br}$ kg/cm <sup>2</sup>	$E'_b$ kg/cm <sup>2</sup>	$F_{G,adm}$ kg	$n_1$ gouj/m	$F_{G,b}$ kg	$F_{G,c}$ kg	$n_2$ gouj/m	$F_{G,R}$ kg	$n_3$ gouj/m
1	407	318640	2035	33	9190	6935	41	11447	26
2	375	291020	1953	24	8430	6935	29	10986	18
3	363	303270	1922	20	8467	6935	22	10812	14
4	385	314530	1979	25	8880	6935	29	11132	18
5	344	315340	1871	20	8405	6935	20	10524	14
6	382	298610	1971	33	8619	6935	40	11087	25

Les poutres d'essai bi-appuyées sont sollicitées par deux charges  $P$  (figure 2). La mise en charge est effectuée par paliers successifs en deux cycles :

1° jusqu'à la charge de service  $P_s$  (calculées par la méthode classique) et retour à zéro

2° jusqu'à la ruine de la poutre.

La poutre n° 5 a préalablement été soumise à une mise en charge dynamique.

### 3. RESULTATS DES ESSAIS.

#### 3.1. Essais statiques.

Malgré la réduction parfois importante du nombre de goujons connecteurs (tableaux I et II) les poutres se sont comportées comme des poutres dont la liaison est parfaite. Sous les charges de service les contraintes et les déformées mesurées correspondent aux valeurs calculées (méthode de calcul élastique). La comparaison entre les charges ultimes mesurées et calculées est très satisfaisante. Les charges ultimes théoriques sont déterminées en considérant l'état plastique complet des deux matériaux composant la section mixte à l'exclusion du béton tendu, en admettant une liaison acier béton suffisante et en tenant compte des caractéristiques réelles de chaque matériau (tableau II).

On peut voir à ce tableau que lorsqu'on réduit le nombre de connecteurs jusqu'à 55 % et même 28 % du nombre nécessaire ( $n_2$ ) le comportement de la poutre est le même que celui d'une poutre comportant 100 % de goujons connecteurs. Même dans le cas où l'on utilise la formulation la plus optimiste pour déterminer l'effort repris par un goujon ( $n_3$ ) cette diminution peut aller jusqu'à 45 % du nombre calculé. La ruine des poutres se produit toujours par entrée en plastification de la semelle tendue du profil métallique suivie d'un éclatement de la dalle de béton. Dans le cas de la poutre n° 4 la ruine a été précédée par un cisaillement des goujons connecteurs.

Tableau II. Résultats des essais statiques.

Numéro de la poutre	1	2	3	4	5	6
n : nombre effectif de goujons /m	21	16	10	8	10	14
n/n <sub>1</sub> (tableau I)	0,64	0,67	0,50	0,32	0,50	0,42
n/n <sub>2</sub> (tableau I)	0,51	0,55	0,46	0,28	0,50	0,35
n/n <sub>3</sub> (tableau I)	0,81	0,89	0,71	0,45	0,71	0,56
flèche mesurée fm flèche calculée fc	1,11	1,06	1,02	1,07	1,13	1,01
Charge ultime	calculée P <sub>u</sub> (kg)	108400	81200	67200	81500	67600
	mesurée P <sub>m</sub> (kg)	107000	77000	64000	77100	75500
	P <sub>m</sub> /P <sub>u</sub>	0,99	0,95	0,95	0,95	1,12
	calculée : liaison insuffisante P <sub>C</sub> * (kg)	88220	66842	50987	54747	51066
	P <sub>m</sub> /P <sub>C</sub> *	1,214	1,152	1,255	1,408	1,479

Il est également apparu intéressant de calculer les charges ultimes théoriques des poutres essayées en négligeant la présence de la tôle striée et en considérant une liaison acier-béton insuffisante étant donné le nombre réduit de connecteurs [6]. Ces charges (P<sub>C</sub>\*) sont données au tableau II et comparées aux charges ultimes mesurées. Les charges (P<sub>C</sub>\*) sont déterminées en prenant en compte le nombre de goujons connecteurs n<sub>2</sub> (§ 2.c - tableau I). Comme on peut le voir à ce tableau la charge ultime mesurée (P<sub>m</sub>) est nettement supérieure à la charge ultime (P<sub>C</sub>\*) calculée en tenant compte du nombre de connecteurs placés et en négligeant la présence bénéfique de la surface de contact acier-béton à adhérence artificielle.

### 3.2. Essai dynamique.

La poutre n° 5 a été soumise à des sollicitations dynamiques avant d'être sollicitée statiquement jusqu'à la ruine. Cet essai a pour but de vérifier l'effet des charges répétées sur l'adhérence artificielle acier-béton due à la présence de la tôle striée. Les sollicitations dynamiques adoptées sont celles prévues par les recommandations britanniques [8] pour de tels essais, c'est-à-dire :

$$P_{\max} = 0,36 P_{\text{ult}} \text{ et } \frac{P_{\min}}{P_{\max}} = 0,2$$

Sous cette sollicitation la poutre a été soumise à  $1,5 \cdot 10^6$  cycles de mise en charge avec une fréquence de 250 cycles par minute. La poutre n'a subi aucune détérioration au cours de cet essai. Le glissement acier-béton est très faible et il se stabilise à une valeur voisine de 0,02 mm.

Comme on peut le voir au tableau II cette mise en charge dynamique n'a pas influencé le comportement de la poutre sous les charges statiques ultimes, au contraire la charge ultime mesurée est supérieure de 12 % à la même charge calculée.

#### 4. CONCLUSIONS.

Ces essais montrent que l'emploi d'une semelle de contact acier-béton à adhérence renforcée (tôle striée) permet de réduire considérablement le nombre théorique de goujons connecteurs, que ce nombre de goujons soit déterminé par les formules classiques (efforts admissibles) ou par les formules conduisant à la charge ultime du goujon.

Les essais sont trop peu nombreux pour déterminer la valeur limite de la réduction possible du nombre de goujons en utilisant une tôle striée classique comme surface de contact acier-béton. Les présents essais montrent que cette valeur limite est voisine de 70 % mais il est évident qu'une réduction de 50 % du nombre de connecteurs est parfaitement raisonnable pour la réalisation de poutres mixtes dont les dimensions sont celles habituellement rencontrées dans la pratique et qui sont soumises à des efforts statiques ou dynamiques.

Malgré une telle réduction du nombre de goujons connecteurs, la présence de la surface de contact acier-béton à adhérence artificielle permet aux poutres de se comporter tant sous les charges de service que sous les charges de ruine comme des poutres dont la liaison acier-béton est parfaite.

#### BIBLIOGRAPHIE.

1. J. JANSS - Développement des recherches concernant les constructions mixtes exécutées par le CRIF à l'Université de Liège. Rapport Préliminaire du 9<sup>e</sup> Congrès de l'AIPC à Amsterdam 1972.
2. J. JANSS - J.C. LAMBERT - Constructions mixtes acier-béton. Diminution du nombre de connecteurs. Rapport CRIF MT 88 - Avril 1974 (Bruxelles).
3. J. ZUCKA - Utilisation de goujons connecteurs dans les constructions mixtes acier-béton. Acier-Stahl-Steel - n° 11, 1966.
4. Statisch bepaalde staal-beton liggers - Théorie en riththijnen - rapport 1. Publikatie van Staalbouwkundig Genootschap - Rotterdam.
5. OLLGAARD a.o. Shear strength of steel connectors en lighweight and normal weight concrete - Fritz Engineering Laboratory, Report 360.2, 1970.
6. A. SLUTTER and R. DRISCOLL - Flexural strength of steel concrete composite beams - Journal of the Structural Division - ASCE Vol. 91, April 1965.
7. I. VIEST - Composite Steel-Concrete Construction by the sub-committee of the state-of-the-Art Survey, of the Task Committee on Composite Construction, of the Committee on Metals of the Structural Division. Journal of the Structural Division - ASCE. Vol. 100 ST 5, May 1974.
8. British Standard Code of Practice CP117. Composite Construction in structural Steel and Concrete. Part II.

## RESUME

Le nombre de goujons connecteurs assurant la liaison acier-béton de poutres mixtes peut être réduit de manière très sensible en utilisant des semelles de contact acier-béton à adhérence renforcée (par exemple: semelle striée).

Les essais ont montré que grâce à l'adhérence artificielle ainsi créée, il est possible de réduire de plus de 50 % le nombre de goujons nécessaires.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Anzahl der Verbundmittel kann durch die Verwendung von Obergurten mit erhöhter Beton-Stahl-Haftung (z.B. Riffelblechgurte) merklich vermindert werden.

Versuche haben gezeigt, dass durch die erreichte künstliche Haftung eine Verminderung der erforderlichen Dübelzahl um mehr als 50 % möglich ist.

## SUMMARY

The number of connectors for steel-concrete linking in composite beams can be reduced by use of upper flanges with improved grip for steel-concrete (i.e. striated flange).

Tests have shown the possibility of reducing the number of connectors by more than 50 %, thanks to this artificial grip.

**Einfluss der Schweißverformungen und Schweißeigenspannungen auf die Stabilität von versteiften dünnwandigen Druckgurten von Kastenträgern**

Influence of Welding's Deformation and Residual Stresses on the Stability of Thin Stiffened Compression Flanges of Box-Girders

Influence des déformations et des contraintes résiduelles de soudure sur la stabilité des membrures comprimées de poutres en caisson raidies

H. HÄNSCH

Dozent Dr.-Ing.

Ingenieurhochschule Cottbus

Cottbus, DDR

**1. Einleitung**

Eine Serie von Brückeneinstürzen in den letzten Jahren war Anlaß, wiederum die Wirkungen der einer Schweißkonstruktion anhaftenden Schrumpfverformungen und -spannungen ins Blickfeld zu rücken. Es drängten sich unwillkürlich Parallelen zu den Schäden an Brücken und Schiffen vor 30-40 Jahren auf, als die ungünstige Wirkung von Schweißeigenspannungen auf das Sprödbruchverhalten einer Schweißkonstruktion "entdeckt" wurde. Seitdem beschäftigte man sich intensiv mit den im Nahtbereich auftretenden hohen Zugeigenspannungen, die die Größe der Fließgrenze erreichen. Die diesen Zugeigenspannungen das Gleichgewicht haltenden Druckeigenspannungen wurden erst in den letzten Jahren interessant, als auch bei druckbeanspruchten Baugliedern die Sicherheitsreserven im Zuge der allgemeinen Erhöhung der zulässigen Spannungen (Knickstäbe) bzw. mit der Einführung des Kastenträgers (Druckgurte) abgebaut wurden. Obwohl bei stabförmigen Bauelementen (Druckstäben) keine schweren Unfälle infolge falscher Einschätzung des Einflusses von Druckeigenspannungen auf die Traglast bekannt geworden sind, hat man in das Berechnungsverfahren schon bald nach Vorliegen ausreichender Erkenntnisse auch die graduelle Wirkung der Eigenspannungen einfließen lassen. Schon 1957 hat Bornscheuer [1] auf den Einfluß von Druckeigenspannungen auf die Beulstabilität von dünnwandigen Flächentragwerken aufmerksam gemacht, aber erst in jüngster Zeit sind Untersuchungen dazu unter dem Aspekt von Schadensfällen angelaufen. Auch in [2] wird schon darauf hingewiesen, daß bei dünnen Blechen (<10 mm) die beim Schweißen unvermeidlichen Verwerfungen (Beulen) zur Verringerung der Tragfähigkeit infolge Ausschaltung von Querschnittsteilen von der Tragwirkung führen können.

Mit Rippen und Steifen versehene Platten und Scheiben weisen nach dem Schweißen technologisch bedingte Abweichungen vom projektierten Zustand (Imperfektionen) auf, deren Einfluß auf die Tragsicherheit und Erhaltung der Stabilität qualitativ und quantitativ zu untersuchen ist. Die sich als Folge des Schrumpfens des Nahtbereiches einstellenden Formabweichungen von der geplanten idealen Form des Flächenelementes (Geometrie-Imperfektionen) gehen als Vorverformungen in das Bauelement ein. Außerdem muß den nach dem Schweißen in der Konstruktion verbliebenen Eigenspannungen (Restspannungen = residual stresses), die als Struktur-Imperfektionen zu verstehen sind und als Vorspannungen in das Bauteil eingehen, nachgegangen werden.

Größe und Richtung sowohl der Form- als auch der Strukturveränderungen während des Schweißens sind zeitabhängig. Der Zustand während des Schweißens ist für den Fertigungsprozeß interessant. Für die Erfassung der Schweiß-Imperfektionen bei der Bemessung sind jedoch nur die nach der Abkühlung verbliebenen Spannungen und Verformungen von Bedeutung. In dem verarbeiteten Material schon vor dem Schweißen vorhandene Struktur-Imperfektionen als Walz-, Brennschnitt- und sonstige Wärmebehandlungs-Eigenspannungen und Eigenspannungen aus anderen Bearbeitungsprozessen werden in der Regel vernachlässigt. Diese werden auch z.T. durch den Schweißprozeß kompensiert. Hingegen sind Eigenspannungen vom nachträglichen Richten von größerer Bedeutung.

## 2. Schweißverformungen

Für die hier interessierende Fragestellung sind nur solche Verformungen zu betrachten, die sich infolge außermittiger Schrumpfwirkungen ergeben, wenn also die Wirkungslinien der resultierenden Schrumpfkräfte nicht in der Mittelfläche (geometrischer Ort der Schwerachsen) des Flächentragwerkes liegen. Außermittige Schrumpfkräfte haben Schrumpfmomente zur Folge, die zu Krümmungen und Beulen (Verwerfungen) führen. Als Ursache für diese Vorverformungen kommen in Betracht:

- Außermittige Querschrumpfung (quer zur Naht) verursacht Winkeländerung der die Schweißnaht einschließenden Schweißteilflanken, so daß ebene Flächen an der Schweißnaht einen Knick erhalten (Abb. 1).
- Außermittige Längsschrumpfung (längs zur Naht) verursacht eine kontinuierliche Krümmung der Mittelfläche des Elementes (Abb. 4).

An einachsig exzentrisch ausgesteiften ebenen Blechen entstehen infolge außermittiger Querschrumpfung der Verbindungsnahte (z.B. Doppelkehlnähte) zwischen Steifen und Blech Winkeländerungen, die Vorbeulen zwischen den Steifen erzeugen (Abb. 1) mit einer Durchbiegung in der Mitte von

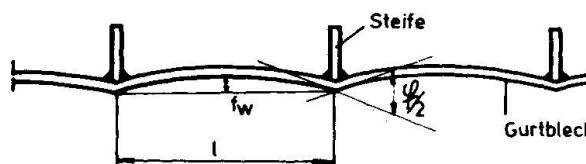


Abb. 1: Vorbeulen infolge Winkeländerung von Doppelkehlnähten

ne Blechdicke  $s = 10 \text{ mm}$  und Nahtdicke  $a = 4 \text{ mm}$  würde sich mit  $100 \cdot \tan \delta = 1,1$  nach Abb. 2 eine Vorbeule ergeben von

$$f_w = \frac{1,1 \cdot 1}{400} = \frac{1}{360},$$

Dabei kann  $\tan \varphi$  oder  $\tan \delta$  als Maß für die Winkeländerung bei freier Schrumpfung (freie Blechkanten) für Doppelkehlnähte aus Abb. 2 entnommen werden. Für ei-

Abb. 2: Mittelwerte der Winkeländerung (Vorknickmaße) von Doppelkehlnähten bei freier Schrumpfung in Abhängigkeit von Naht- und Blechdicke für horizontale Einlagenschweißung

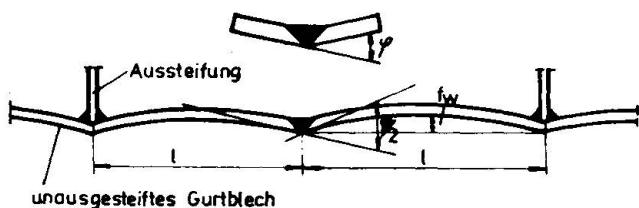
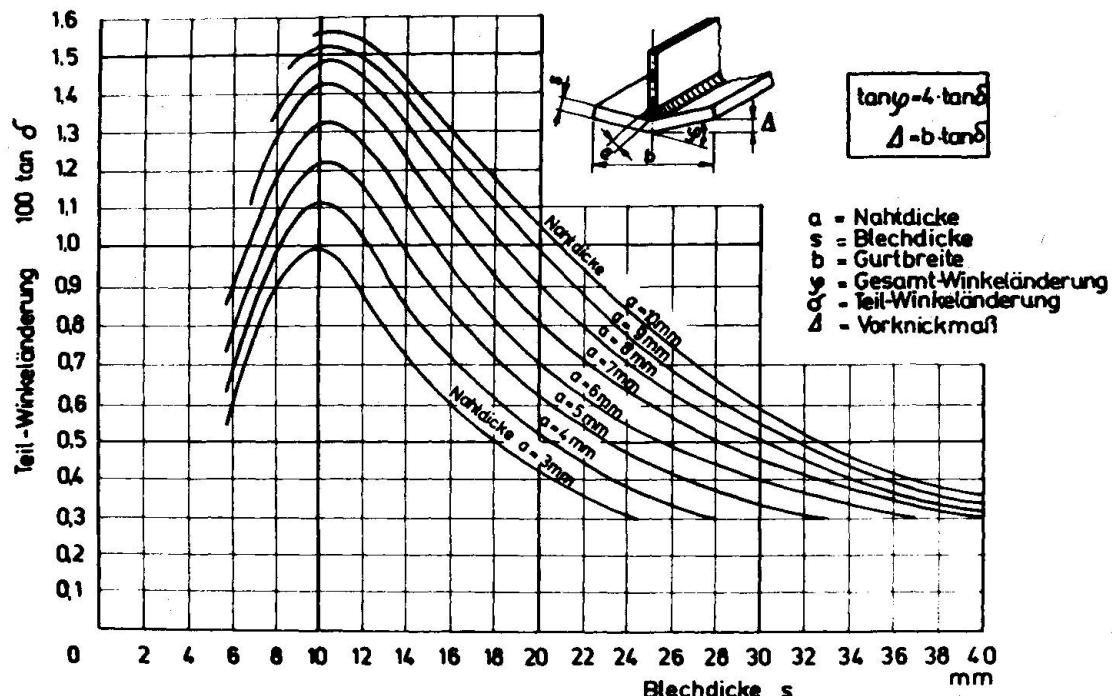


Abb. 3: Vorbeulen infolge Winkeländerung von Stumpfnähten

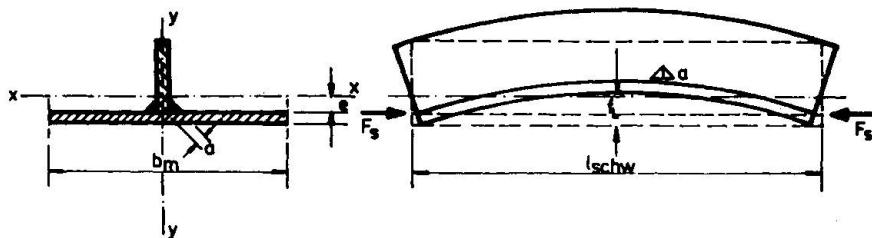


Abb. 4: Krümmung infolge außermittiger Längsschrumpfung

ein Wert, der mit gemessenen Vorbeulen zwischen Steifen von Hohlkastenträgergurten von 1/300 recht gut übereinstimmt [3]. Analog werden Vorbeulen von Stumpfnähten ermittelt (Abb. 3).

Krümmungen in Steifenlängsrichtung ergeben sich an exzentrisch ausgesteiften ebenen Blechen infolge der außermittigen Wirkung der Längsschrumpfung der Anschlußnähte der Steifen entsprechend Abb. 4. Je nach Lage der Steifen und Randbedingungen des Schweißteiles erhalten die ausgesteiften Gurtfelder Vorbeulen, für die als Anhaltswert (Größtwert) die Durchbiegung in der Mitte des Ersatzstabes bei

## freien Längs- und Querrändern

$$f_L = p_s A_{schw} e \frac{l_{schw}^2}{8 E J_x} \quad (2)$$

dienen kann.

Hierin bedeuten

$p_s = \frac{F_s}{A_{schw}}$	Längsschrumpfkraft je $\text{mm}^2$ Schweißnahtfläche (spezifische Längsschrumpfkraft)	in $\text{kp}/\text{mm}^2$
$A_{schw}$	Schweißnahtquerschnittsfläche	in $\text{mm}^2$
$e$	Abstand der Schweißnaht vom Schwerpunkt des Querschnitts	in cm
$l_{schw}$	Schweißnahtlänge	in cm
$E$	Elastizitätsmodul	in $\text{kp}/\text{cm}^2$
$J_x$	Trägheitsmoment bezogen auf maßgebende Biegeachse	in $\text{cm}^4$

Nach Messungen an geschweißten Brückenträgern haben sich spezifische Längsschrumpfkräfte für einlagige Kehlnähte bei Elektrodenhandschweißung ergeben von

$$p_s = 900 \dots 1000 \text{ kp}/\text{mm}^2.$$

Berechnungen auf der Grundlage der Lichtbogenleistung und der wärme-physikalischen Eigenschaften niedrig gekohlter Baustähle führen für eine einlagige V-Stumpfnaht (Elektrodenhandschweißung) zu einer spezifischen Längsschrumpfkraft von

$$p_s = 1080 \text{ kp}/\text{mm}^2.$$

Bei Hochleistungsschweißverfahren weichen die Schrumpfkräfte nach oben und unten davon ab. Mehrlagen- und unterbrochene Schweißungen haben geringere Schrumpfkräfte.

Der in Abb. 4 als freies Element wiedergegebene, aus dem Druckgurt herausgetrennte Ersatzstab muß natürlich mit seinen Randbedingungen mit der Gesamtkonstruktion des Kastenträgers verträglich gemacht werden. Aber nicht nur das. Hier sind die technologischen Bedingungen von entscheidendem Einfluß. Die für den Endzustand nach Abschluß des Fertigungs- und Montageprozesses zur Einschätzung der Tragsicherheit des Druckgurtes bzw. des ganzen Kastenträgers interessierende Vorverformung ist nämlich das Ergebnis der Überlagerung einer Vielzahl von Verformungs-Zwischenzuständen der einzelnen Fertigungs- und Montagestufen. Mit der Wahl der Schweiß- und Zusammenbaufolge beeinflußt der Technologe die Qualität des Ergebnisses "Vorverformung" ganz erheblich. Es sollte daher die Kapazität, die beim nachträglichen Richten aufgewendet werden muß, in den Vorbereitungsprozeß zur Erreichung einer minimalen Vorverformung gesteckt werden; der Gewinn ist dabei noch eine spannungsärmere Konstruktion.

## 3. Eigenspannungen

Die Schrumpfkräfte der Verbindungs nähte zwischen den Einzel-

teilen von ausgesteiften Platten und Scheiben werden auf den zugehörigen Querschnitt so verteilt, daß den Zugeigenspannungen in den Nahtzonen Druckeigenspannungen des übrigen Querschnittes entgegenstehen. Nach [4] ergibt sich die Größe der Zone  $A_{200}$ , die während des Schweißens  $200^\circ C$  erreicht hat und nach dem Abkühlen mit einer Zugeigenspannung in Höhe der Streckgrenze vorgespannt ist, aus Versuchen zu

$$A_{200} \approx 44 A_{schw}$$

Aus Gleichgewichtsgründen muß sein:

$$A_{200} \sigma_s = \int \sigma_{ed} dA_{ed}, \quad (3)$$

$$\text{oder } 44 A_{schw} \sigma_s = \int \sigma_{ed} dA_{ed}. \quad (3a)$$

Die für gedrückte Bauglieder wichtigen Druckeigenspannungen  $\sigma_{ed}$  sind, wie aus Gl. (3) ersichtlich, vom Verhältnis des Schweißnahtquerschnittes  $A_{schw}$  zum zugehörigen Querschnittsteil  $A_{ed}$  mit Druckeigenspannungen abhängig. Dabei ist die Vernachlässigung der Querschnittsfläche der Zugzone in  $A_{ed}$  bei im Verhältnis zum Nahtquerschnitt großem Querschnitt zulässig, was bei ausgesteiften Druckgurten von Kastenträgerbrücken der Fall ist. Weiter kann näherungsweise angenommen werden, daß die Druckeigenspannungen auf den zugehörigen Anteil der Querschnittsfläche allseitig der Naht gleichmäßig verteilt sind. Für den ausgesteiften Druckgurt nach Abb. 5 werden dann mit

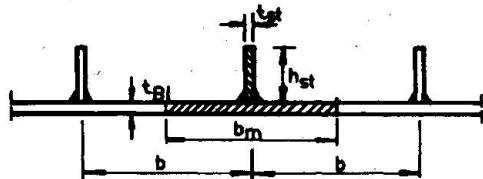


Abb. 5: Ausgesteifter Druckgurt eines Kastenträgers

$$A_{ed} = b_m t_{Bl} + h_{St} t_{St}$$

die Druckeigenspannungen

$$\sigma_{ed} = \frac{p_s A_{schw}}{A_{ed}} = \frac{p_s A_{schw}}{b_m t_{Bl} + h_{St} t_{St}} \quad (4)$$

$$\text{oder } \sigma_{ed} = \frac{44 \sigma_s A_{schw}}{A_{ed}} = \frac{44 \sigma_s A_{schw}}{b_m t_{Bl} + h_{St} t_{St}} \quad (4a)$$

#### 4. Einfluß der Schweiß-Imperfektionen auf die Beullast

Auf den Fall der Instabilität zylindrischer Silozellen wurde schon hingewiesen. Die beim Ablassen des Füllgutes an drei Stellen zwischen den Rundschweißnähten an 6 bis 8 mm dicken Blechwandungen gleichzeitig aufgetretenen Beulen werden auf die Wirkung der quer zu den Lastspannungen gerichteten Tangential-Druckeigenspannungen zurückgeführt. Aus den Untersuchungen geht hervor, daß die Beulstabilität theoretisch ausreichend war und sogar gegenüber der unteren aus Versuchen abgeleiteten Grenze der Traglastbeulspannung eine Sicherheit von  $\nu_B = 1,3$  bestand. Auch Vorverformungen werden als beulfördernd nicht in Betracht gezogen, da der Zylindermantel kurz vorher auf Formabweichungen geprüft worden war.

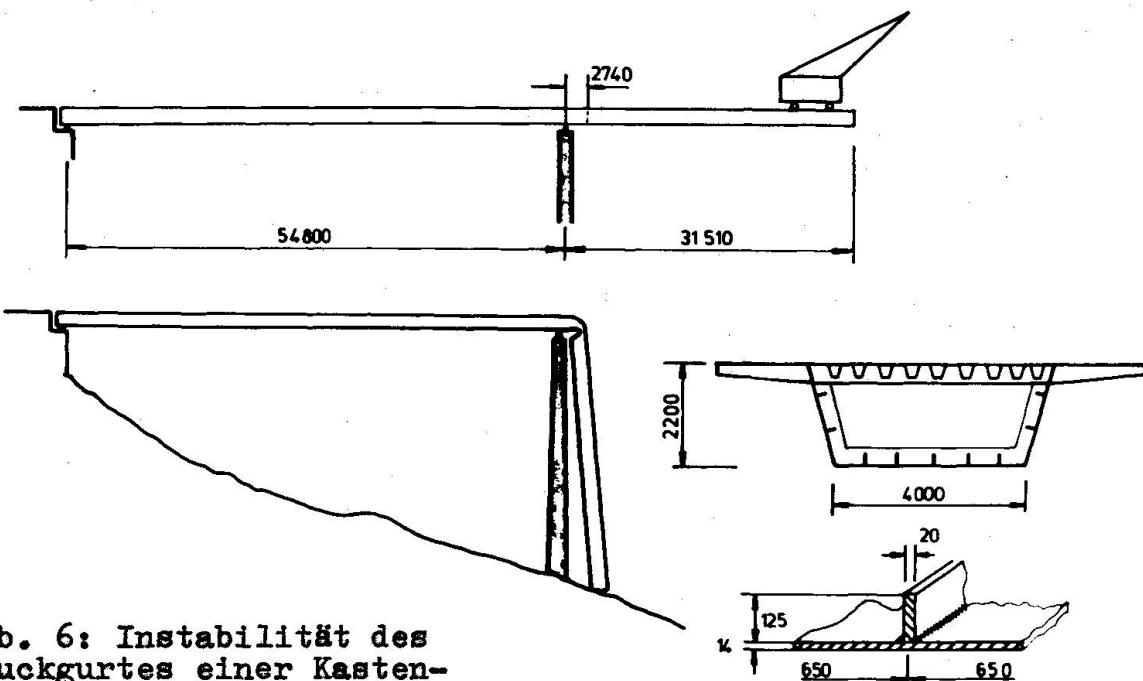


Abb. 6: Instabilität des Druckgurtes einer Kastenträgerbrücke beim Freivorbau

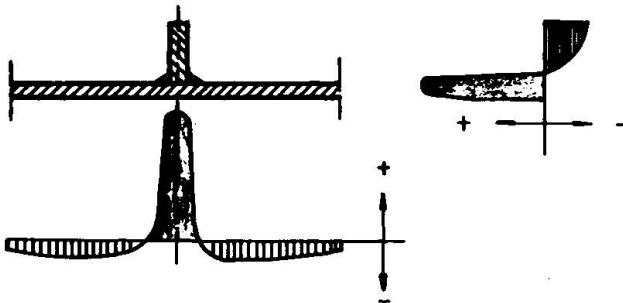


Abb. 7: Eigenspannungsverteilung am Druckgurt mit Flachstahlsteifen kann entsprechend Abb. 7 angenommen werden. Zu diesen Struktur-Imperfektionen kommt noch eine Vorverformung (Geometrie-Imperfektion) als Beule nach dem Kasteninneren infolge der Schrumpfvorgänge beim Schweißen des Kastengurtes und anderer Fertigungs- und Montageungenauigkeiten hinzu. Der aus St 52 bestehende untere Druckgurt versagte bei einer Beanspruchung von  $2400 \text{ kp/cm}^2$ , obwohl die auf der Grundlage der linearen Beultheorie des ebenen Bleches ermittelte Beulspannung  $3040 \text{ kp/cm}^2$  betrug. Aber schon bei einer Vorverformung des Gurtes aus seiner Ebene von 6 mm verringert sich die Beulspannung auf ca.  $2700 \text{ kp/cm}^2$ , wenn man den Gurt als freien Druckstab auffaßt. Es bedürfte also bei Beachtung der Eigenspannungen als Vprspannungen nur noch eines kleinsten Spannungszuwachses, möglicherweise durch die am Tage des Einsturzes außergewöhnlich starke Sonneneinstrahlung auf die stählerne Fahrbahnplatte, um die verbliebene Sicherheitszone von

$$2700 - 2400 - 250 = 50 \text{ kp/cm}^2$$

abzubauen, wenn man eine Vorverformung von 6 mm als real ansieht. Dieser Wert entspricht  $1/450$  des Abstandes der Querrahmen und steht damit völlig im Einklang mit gemessenen Verformungen von  $1/300 \dots 1/600$  [3]. Es scheint also offensichtlich kaum eine überkritische Reserve gegeben zu haben, höchstens in der Größenordnung des hier nicht erfaßten Einflusses der Stützung der Längsränder des breiten Gurtfeldes durch die Stege. (Die elastischen Einspannbedingungen an den Querrahmen sind näherungsweise berücksichtigt.)

Wertet man den letzten Schadensfall (Abb. 6) in der Serie der Brückeneinstürze, bei denen der Druckgurt durch Instabilität versagte, mit der Gl. (4) aus, so erhält man eine mittlere Druckeigenspannung von

$$\sigma_{ed} \approx 250 \text{ kp/cm}^2,$$

d.s. 7 % der Fließgrenze. Die Verteilung der Eigenspannungen kann entsprechend Abb. 7 angenommen werden. Zu diesen Struktur-Imperfektionen kommt noch eine Vorverformung (Geometrie-Imperfektion) als Beule nach dem Kasteninneren infolge der Schrumpfvorgänge beim Schweißen des Kastengurtes und anderer Fertigungs- und Montageungenauigkeiten hinzu. Der aus St 52 bestehende untere Druckgurt versagte bei einer Beanspruchung von  $2400 \text{ kp/cm}^2$ , obwohl die auf der Grundlage der linearen Beultheorie des ebenen Bleches ermittelte Beulspannung  $3040 \text{ kp/cm}^2$  betrug. Aber schon bei einer Vorverformung des Gurtes aus seiner Ebene von 6 mm verringert sich die Beulspannung auf ca.  $2700 \text{ kp/cm}^2$ , wenn man den Gurt als freien Druckstab auffaßt. Es bedürfte also bei Beachtung der Eigenspannungen als Vprspannungen nur noch eines kleinsten Spannungszuwachses, möglicherweise durch die am Tage des Einsturzes außergewöhnlich starke Sonneneinstrahlung auf die stählerne Fahrbahnplatte, um die verbliebene Sicherheitszone von

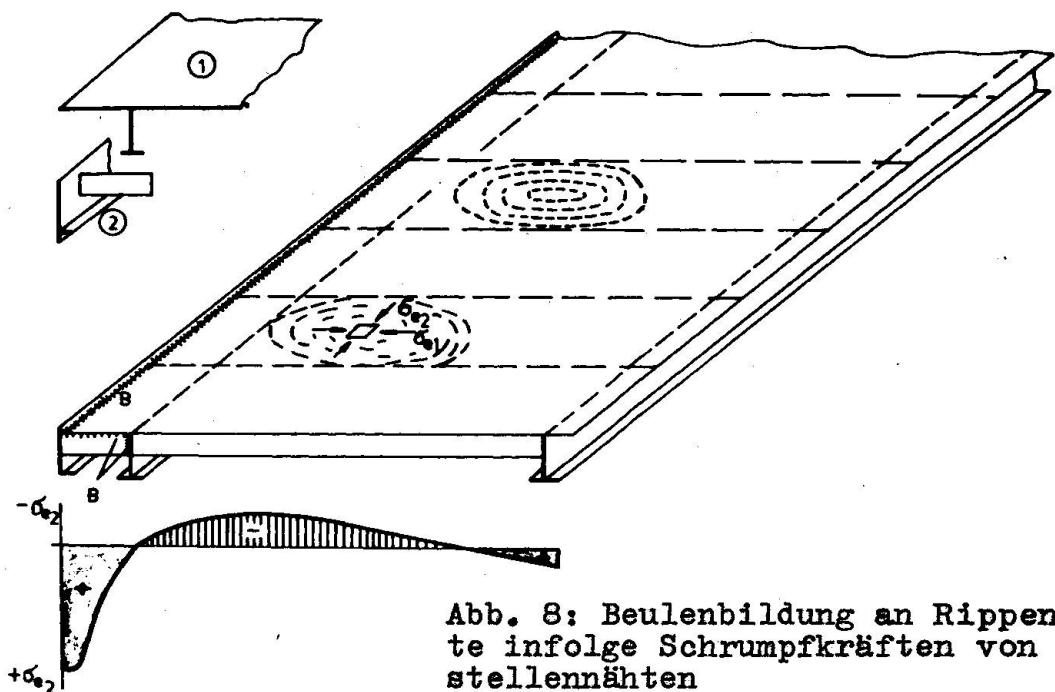


Abb. 8: Beulbildung an Rippenplatte infolge Schrumpfkräften von Baustellennähten

Schon ohne Einwirkung von Lastdruckspannungen können dünne Bleche infolge der Wirkung von Druckeigenspannungen ausbeulen. Ein praktisches Beispiel dafür gibt ein mit Flachstahlrippen verstiftetes ebenes Bleches der Fußwegplatte einer Brücke (Abb. 8), bei dem nach dem Zusammenschweißen der Teile 1 und 2 mit den Baustellennähten "B" Beulen aufgetreten sind, die auf die außermittige Wirkung von Schrumpfkräften infolge der Quernähte der Rippenanschlüsse und vor allem infolge der Längsnähte des Gesimsanschlusses hindeuten. Zu den schon durch das Schweißen der Querrippenanschlüsse in der Werkstatt eingetragenen Druckeigenspannungen  $\sigma_{e1}$  quer zur Plattenlängsrichtung kommen nach dem Schweißen der Baustellennähte Druckeigenspannungen  $\sigma_{e2}$  senkrecht dazu hinzu. Zusammen mit den Geometrie-Imperfektionen (Vorbeulen) infolge Winkeländerung der Rippenanschlüsse bewirkten die zweiachsigen Druckeigenspannungen ein Erreichen der kritischen Beulbeanspruchung, ohne daß eine äußere Last eingetragen wurde.

## 5. Schlußfolgerungen

Die bestehenden Festlegungen über die Berechnung von druckbeanspruchten geschweißten Kastenträgergurten sind zu überprüfen. Geometrie- und Strukturimperfektionen dürfen bei der Berechnung und Gestaltung nicht außer Acht gelassen werden. Für die Berücksichtigung von Eigenspannungen und Vorverformungen beim Stabilitätsnachweis genügen lineare Theorien nicht mehr. Es müssen Berechnungsgrundlagen geschaffen werden, die den Einfluß der konstruktiven Gestaltung und der technologischen Ausführung differenziert erfassen. Die Forderungen des Konstrukteurs an den Technologen, eine möglichst verzugs- und eigenspannungsfreie Konstruktion zu schaffen, müssen mit den Zielen des Technologen, die Konstruktion mit vertretbarem wirtschaftlichem Aufwand funktionsgerecht herzustellen, in Einklang gebracht werden. Mehrlagenschweißungen z.B. verringern die Schrumpfwirkungen, erfordern aber höheren technologischen Aufwand. Richtarbeiten vermindern Vorverformungen und machen damit die Konstruktion gegenüber Stabilitätsfällen sicherer, erzeugen aber neue innere Spannungen, die in ihrer Wirkung

auf die Tragsicherheit noch schwerer erfaßbar sind als Schweißeigenspannungen; und vor allem: Richten bedeutet hohen technologischen Aufwand, meist manueller Art. Es ist deshalb notwendig, die zu erwartenden Schweißverformungen und Eigenspannungen vorauszubestimmen, durch optimale Technologien zu minimieren, die aber praktisch unvermeidbaren Imperfektionen in der Konstruktion zu "verkraften" und ohne Richtarbeiten auszukommen. Die künftigen Berechnungs- und Bauvorschriften sollten dieser Zielstellung Rechnung tragen.

Aufgabe dieses Beitrages sollte es sein, Vorschläge zur Vorausbestimmung von Eigenspannungen und Vorverformungen zu unterbreiten, die für die Tragsicherheit von Druckgurten in Kastenträgern von Bedeutung sind. Dabei wurde bewußt auf die Fragestellung der Praxis orientiert, um ingenieurmäßige Lösungen des Problems anzuregen.

#### Literaturverzeichnis:

- [1] Bornscheuer, F.-W.: Durch Schweißeigenspannungen an zylindförmigen Konstruktionen ausgelöste Beulerscheinungen. Schweißen und Schneiden 9 (1957), H. 11, S. 492-494
- [2] Hänsch, H. und Krebs, J.: Eigenspannungen und Schrumpfungen in Schweißkonstruktionen, VEB Verlag Technik, Berlin 1961
- [3] Leonhardt, F. und Hommel, D.: The necessity of quantifying imperfections of all structural members for stability of box girders (Über die Notwendigkeit der quantitativen Erfassung von Imperfektionen aller stabilisierenden Konstruktionselemente von Hohlkastenträgern). Bericht Nr. 2 der Internationalen Konferenz über stählerne Hohlkastenträgerbrücken. London 1973
- [4] Buttenschön, K.: Beulen von dünnwandigen Kastenträgern aufgrund von Schweißeigenspannungen. Schweißen und Schneiden 25 (1972), H. 6, S. 217

#### ZUSAMMENFASSUNG

Das ausgesteifte ebene Blech des Druckgurtes eines Kastenträgers weist von der Fertigung und Montage her Imperfektionen auf, die durch den thermischen Prozess beim Schweißen bedingt sind und sich hauptsächlich als Eigenspannungen und Formabweichungen darstellen. In dem Beitrag werden Vorschläge zur Vorausbestimmung dieser zu erwartenden Vorspannungen und Vorverformungen und in Auswertung von Schadensfällen notwendigen Berücksichtigung dieser Einflüsse bei Entwurf und Ausführung von Druckgurten unterbreitet.

#### SUMMARY

The stiffened plane plate of the compression flanges of a box-girder shows failures during fabrication and erection, which are caused by the welding's heat, and which cause residual stresses and deformation. Suggestions are made for determining beforehand these possible tensions and deformations; the study of accidents allows also to improve the fabrication and erection of compression flanges.

#### RESUME

Les tôles de membrure des poutres en caisson raidies présentent des imperfections dues au retrait des soudures lors de la fabrication et du montage; ces imperfections se manifestent sous forme de contraintes résiduelles et de déformations. L'auteur montre comment estimer à l'avance ces contraintes et flèches initiales et comment en tenir compte pour l'étude et l'exécution, à la lumière de l'analyse d'accidents.

## II

### Einfluss der Schweißtechnologie auf die Qualität bzw. Zuverlässigkeit im vorgesehenen Nutzungszeitraum einer geschweißten Konstruktion

Impact of Welding's Technology on Quality and Safety of Welded Constructions during the Planned Service Life

Influence de la technologie de soudage sur la qualité et la sécurité d'une construction soudée pendant la durée de service prévue

Alexis NEUMANN  
Prof. Dr.-Ing. habil.  
Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt  
Karl-Marx-Stadt, DDR

#### 1. Übersicht von Zusammenhängen der Schweißfertigung und der rechnerischen Sicherheitsnachweise

In der Konstruktionspraxis des Stahlbaus bildet das Fundament für die gesamte Dimensionierung der einzelnen Querschnitte der Bauteile und der dazugehörigen Verbindungen bekanntlich die Festigkeitslehre.

Ausgehend von den jeweils bekannten Werkstoff-Kennwerten der ausgewählten Stähle, wie Streckgrenze ( $G_s$ ), Bruchfestigkeit ( $G_B$ ), E-Modul, Zeit- und Dauerfestigkeit ( $G_z$ ) sowie auch Ermüdungsfestigkeit ( $G_D$ ), werden bekanntlich rechnerische Sicherheitsnachweise geführt.



Solche Sicherheitsnachweise ermöglichen in letzter Zeit auch die Bestimmung der Lebensdauer bzw. die Abschätzung der Zuverlässigkeit in einem vorgesehenen Nutzungszeitraum.

Im Bild 1 ist dies schematisch und sehr vereinfacht dargestellt.

Diese Vorgehensweise, so sehr sie auch zur Perfection geführt wurde, reicht zur rechnerischen Ermittlung einer Gesamt-Sicherheit gegen Versagen einer geschweißten Konstruktion aus Stählen nicht aus.

Die Schweißfertigung ist verbunden mit einer Einbringung von örtlicher Wärme in die einzelnen Bauteile der Stahlbauten, gleichgültig, ob diese Herstellung in der Werkstatt oder auf Außen-Montage erfolgt. Diesem Aspekt der Fertigung wird noch zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt.

Bild 1 Schema der "Festigkeits- (Sicherheitsnachweise"

Die örtliche Wärme des Vorganges beim Schweißen, aber auch beim autogenen Brennschneiden, führt bekanntlich zu bleibenden Verformungen und zu Eigenspannungen. Über die Einflüsse, besonders der Schweiß-Eigenspannungen auf das Ermüdungsverhalten von geschweißten Stahlkonstruktionen, ist viel berichtet worden. /1/, /2/. Den Einfluß der Schweiß-Verformungen und Eigenspannungen auf das Versagen der Stabilität behandelt auf diesem Symposium Hänsch /3/.

Die nachstehenden Ausführungen sollen einen Beitrag über den Einfluß dieser obengenannten Schweiß-Eigenspannungen auf das Sprödbruch-Verhalten von geschweißten Stahlkonstruktionen leisten. Es wird die Frage aufgeworfen, ob es ausreicht, einen, wenn auch umfassenden, Festigkeits-(Sicherheits)-Nachweis zu führen und gegen zu große plastische Verformungen, gegen Versagen der Stabilität, gegen statischen Gewaltbruch oder gegen den Ermüdungsbruch mit allen dazugehörigen Einflüssen der Fertigung und ihrer Fehler abzusichern? In Anbetracht des großen Einflusses einer Stahlgüte auf die Schweiß-Eignung und Schweiß-Sicherheit und verknüpft damit auf das Sprödbruchverhalten bei einer gegebenen Schweißkonstruktion, wird ein weiterer möglichst rechnerischer Teil-Sicherheits-Nachweis gegen Sprödbruch vorgeschlagen.

Hier könnten die technologischen Einflüsse der Schweißfertigung exakter als bisher erfaßt und berücksichtigt werden.

Vielleicht wäre auch eine bessere Möglichkeit einer statistisch gesicherten Ermittlung der Zuverlässigkeit der geschweißten Konstruktion in Zukunft damit gegeben.

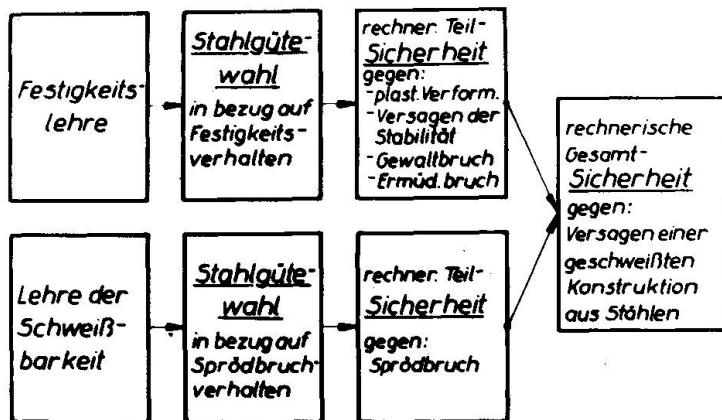


Bild 2 Rechnerische Gesamtsicherheit gegen Versagen einer geschweißten Konstruktion aus Stählen

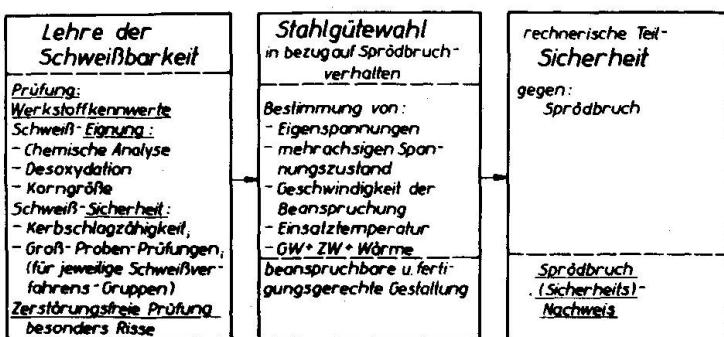


Bild 3 Schema des Sprödbruch-(Sicherheits)-Nachweises

In Bild 3 ist wiederum schematisch und sehr vereinfacht der Vorschlag des rechnerischen Sprödbruch-(Sicherheits)-Nachweises dargestellt. Leicht ist zu erkennen, daß werkstoffliche und schweißtechnologische Einflußgrößen maßgebend sind. Hierbei sind besonders die Fragen der Schweißbarkeit und dazugehörig die Abstimmung von

Grundwerkstoff (Stahl) mit den Schweißzusatzwerkstoffen, sowie der Wärmeverteilung aus dem Schweißverfahren zu beachten. Außerdem haben die Größe und Verteilung der Schweiß-Eigenspannungen einen ausschlaggebenden Einfluß auf das Sprödbruchverhalten. Von großer Bedeutung sind auch alle Schweißfehler, besonders Risse, deren Fortpflanzung zum spröden Bruch im vorgesehenen Nutzungszeitraum führen können, wie dies mit Hilfe der Bruchmechanik auch sinnvoll berechnet werden kann.

Erst die exakte Bestimmung beider Teil-Sicherheiten nach Bild 2 würde die Möglichkeit geben, eine rechnerische Gesamtsicherheit gegen Versagen einer geschweißten Konstruktion aus Stählen zu ermitteln, die die maßgeblichsten Einflüsse der Konstruktion und Technologie beinhaltet.

## 2. Schweißbarkeit; Schweiß-Eignung; Schweiß-Sicherheit

Es ist zweckmäßig, vor der Erörterung des Sprödbruchverhaltens von Stählen und Schweißverbindungen die Schweißbarkeit von Stählen zu behandeln.

### Schweißbarkeit:

Die Erörterung über die Voraussetzungen zum Sprödbruch führen bei Schweißkonstruktionen zu den Auslegungen des Begriffes "Schweißbarkeit" als Summe von einerseits werkstofflichen, andererseits konstruktiven und fertigungstechnischen Kriterien.

Der klassische Begriff der Schweißbarkeit, der oft in der internationalen Literatur anzutreffen ist und sehr global definiert wurde, lautet: "Schweißbarkeit ist die Eigenschaft eines Stahls, sich bei bestimmten werkstofflichen Voraussetzungen und zweckentsprechenden Arbeitsanforderungen (bei einem bestimmten Schweißverfahren) mit sich selbst oder mit anderen Stählen so verbinden zu lassen, daß die Verbindung mechanisch, physikalisch und chemisch sowie den betrieblichen Anforderungen genügt".

Aus dieser Definition ist klar zu ersehen, daß die Schweißbarkeit eines Stahls direkt mit einem Schweißverfahren bzw. mit einer Schweißverfahrensgruppe verbunden ist. So unterscheidet man heute schon eine unterschiedliche Schweißbarkeit bei Schmelzschweißverfahren und bei Preßschweißverfahren. Maßgeblich ist die jeweilige Wärmekonzentration und die gesamte Wärmeverteilung bei einem Schweißverfahren.

Die jeweilige Schweißtechnologie, d.h. die gewählte Fertigung mit allen dazugehörigen Einzelheiten wie Arbeitswerte des Schweißverfahrens, Schweißfolge, Schweißpositionen usw. hat auf die Schweißbarkeit einen maßgeblichen Einfluß.

In Anlehnung an bisherige Begriffe wird die Schweißbarkeit in Schweißeignung und Schweißsicherheit gegliedert.

### Schweißeignung:

Die Schweißeignung ist die werkstoffliche Voraussetzung der Schweißbarkeit, allein von seiten des Grundwerkstoffs. Die Einflußfaktoren sind im Bild 4 schematisch zusammengestellt.

Bild 4

Schweißbarkeit (in bezug auf eine Schweißverfahrensgruppe)

## Schweiß-Eignung

Voraussetzung zum Schweißen (mit einem Schweißverfahren; temperaturabhängig) allein vom Grundwerkstoff

verantwortlich: Stahl-Entwickler - Hersteller

Einflußfaktoren:

- Stahlherstellungs-technologie
- Erschmelzungsart
- Desoxydationsgrad
- Walzvorgang (Kaltverformung)
- Chemische Zusammensetzung
- Einfluß von Legierungen
- Einfluß von Verunreinigungen (Seigerungen)
- Innere und äußere Werkstofffehler
- Anlieferungszustand

## Schweiß-Sicherheit

konstruktive Schweißsicherheit

fertigungsgerechte Schweißsicherheit

verantwortlich: Stahlverbraucher Schweißkonstrukteur

(Anwender: Schweißtechnologe)

Einflußfaktoren: (Kriterien für Sprödbruch)

- mehrachsiger Spannungszustand
  - äußere Beanspruchung
  - Spannungsspitzen (Kerben; Eigenspannungen)
  - Eigenspannungen (Wärme; Schweißfolge)
- Geschwindigkeit der Beanspruchung
  - Schlag
- Einsatztemperatur
  - Kälte (Übergangstemperatur: zäh u. spröd)
- Grundwerkstoff-Zusatzwerkstoff-Wärme
  - Zeittemperaturumwandlungsverhalten für Schweißverbindungen
  - Korngröße, Einschlüsse
  - Grundwerkstoff - Zusatzwerkstoff ... chemische Abstimmung
- vorhandene Fehler (Risse)

Prüfung vom Grundwerkstoff

(Verantwortlicher: Werkstoffprüfer)

- chemische Analyse
- Korngröße
- Einschlüsse
- Desoxydation
- Härteneigung

Prüfung von GW-WärmeeinflüssenSchweißnaht

- Zerstörende Prüfung
  - Kerbschlagzähigkeit ... Temperatur (Alterung)
  - Warmriss-Kaltriss-Neigung-Prüfung
  - Robertson, ESSO---Test und ähnliche
  - Großschlagversuche
  - Bruchzähigkeit
- zerstörungsfreie Prüfung (Röntgen - Ultraschall)
  - Einfluß von Fehlern auf Sprödbruch (auch Ermüdung und Festigkeit)

Eindeutige Herstellung- und Lieferbedingungen sowie eindeutige Prüfverfahren sorgen bei einem bestimmten Stahl für eine gleichbleibende Schweißeignung. Der Stahlhersteller gewährleistet diese Schweißeignung durch die Erfüllung der Prüfbedingungen. Dem Stahlverbraucher werden vom Stahlhersteller eine Reihe von Stählen mit verschiedener Wertigkeit in der Schweißeignung zur Verfügung gestellt.

#### Schweißsicherheit:

Die Schweißsicherheit einer Konstruktion kann nur im Einklang mit der Schweißeignung des Stahles betrachtet werden. Die reine Schweißeignung einer Stahlsorte bietet keine vollkommene Sicherheit der Konstruktion; sie ist jedoch Vorbedingung für die Schweißsicherheit.

Der gleiche Stahl mit einer bestimmten Schweißeignung kann für die Verwendung in einer Schweißkonstruktion in Abhängigkeit von der Konstruktionsart, vom Einsatz, von der Betriebstemperatur usw. geeignet oder bei einer anderen nicht geeignet sein. Die volle Schweißsicherheit einer Konstruktion wird außer von der Schweißeignung des Werkstoffs auch von Faktoren gewährleistet, deren Einfluß allein durch den Konstrukteur und den Schweißfachingenieur bestimmt wird. Konstruktion und Ausführung haben einen entscheidenden Anteil daran, ob eine Stahlkonstruktion schweißsicher und (übertragen auf den Stahl) ob der Stahl für diese Konstruktion "schweißbar" ist.

Man unterscheidet zwei Begriffe der Schweißsicherheit:

1. die konstruktiv bedingte Schweißsicherheit und
2. die fertigungsbedingte Schweißsicherheit.

Der Konstrukteur und der Schweißingenieur bestimmen im Entwurf und unter Berücksichtigung der Fertigung und des betriebsmäßigen Einsatzes den erforderlichen Stahl.

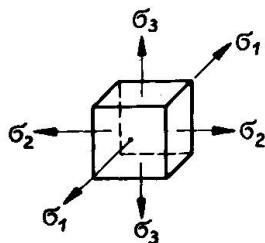
Diese kurze Auslegung des Begriffs "Schweißbarkeit" zeigt, daß es notwendig ist, dem Konstrukteur in der Frage der Werkstoffauswahl für Schweißkonstruktionen bei den vorhandenen Stählen möglichst einheitliche und besonders in bezug auf die konstruktive Schweißsicherheit zuverlässige Richtlinien und Berechnungsmethoden zu geben.

Diese obigen Ausführungen zeigen auch, daß das Sprödbruchverhalten eines Stahls in einer Schweißkonstruktion sehr eng mit der Schweißbarkeit verknüpft ist. Die Einflußfaktoren auf die Schweißbarkeit sind bei gleichen konkreten Fällen auf das Sprödbruchverhalten übertragbar.

#### 3. Einfluß der Schweiß-Eigenspannungen auf das Sprödbruchverhalten

Die bekannten Kriterien für einen Sprödbruch, d.h. ein Versagen einer Stahlkonstruktion durch einen verformungslosen Trennbruch sind in Bild 4 zusammengestellt. Der mehrachsige Spannungszustand hat dabei eine ausschlaggebende Rolle. Hier wirken gemeinsam die Spannungen aus äußerer Belastung mit ihren im Bauteil gegebenen Verteilungen z.B. Spannungsspitzen an Kerben, sowie die Eigenspannungen (Makrospannungen) z.B. aus dem Walzvorgang bzw. ganz besonders die Schweiß-Eigenspannungen.

Die Mehrachsigkeit kann für jeden Punkt einer Stahlkonstruktion einschließlich der Schweißnähte, nach Bild 5 durch eine Mehrachsigkeitszahl (z.B. - nach Schnadt /4/) dargestellt werden:



$$\pi = \sqrt{1 + \eta_2^2 + \eta_3^2 - \eta_2 \cdot \eta_3 - \eta_2 - \eta_3}$$

$$\eta_2 = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \quad \eta_3 = \frac{\sigma_3}{\sigma_1}$$

Beispiele für  $\pi$ :

- $\pi = 2$  ;  $(-\sigma_1) = (-\sigma_2) = (-\sigma_3)$  dreiachsig Druck
- $\pi = 1$  ;  $\sigma_1, \sigma_2 = \sigma_3 = 0$  einachsiger Zug
- $\pi = 0,67$  ;  $\alpha_k = 2,4$  DVM-Kerbschlagprobe
- $\pi = 0$  ;  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$  dreiachsig Zug

Bild 5 Mehrachsigkeitszahl

nen kritische Mehrachsigkeitszahlen bei Versagen durch Sprödbruch ermittelt werden, wie dies Bild 6 zeigt.

Bekannt ist, daß bei einer gegebenen Konstruktion (mit gegebener Belastungsgröße, Betriebstemperatur, Stahlart, Schweißnaht usw.) die Verformungsreserve bei zunehmender Mehrachsigkeit abnimmt. Es können kritische Mehrachsigkeitszahlen bei Versagen durch Sprödbruch ermittelt werden, wie dies Bild 6 zeigt.

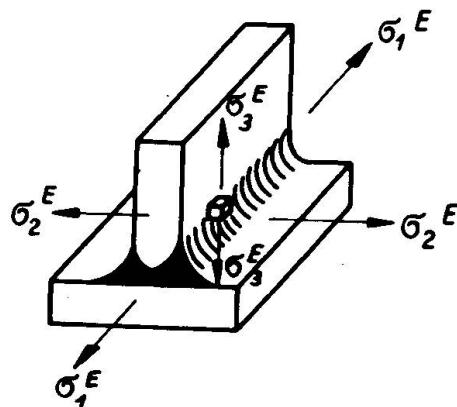
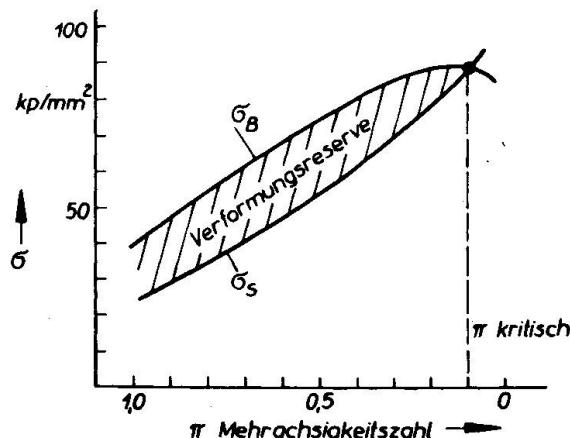


Bild 7 Beispiel für die Verteilung von Schweiß-Eigen- spannungen an einer K-Naht

Bild 6 Einfluß der Mehrachsigkeit des Spannungszustandes auf die Bruchfestigkeit ( $\sigma_B$ ) und Streckgrenze ( $\sigma_s$ ) am Beispiel St 38 b-2 bei +20°C

Über die Verteilung und Größe von Schweißeigenspannungen, sowie über die Möglichkeit der mathematischen Erfassung in Abhängigkeit der Gestalt der Konstruktion des Schweißverfahrens und der technologischen Arbeitswerte ist ausführlich berichtet worden. /2/, /5/, /6/. In Bild 7 ist schematisch an einem Beispiel und zwar an einem Punkt einer K-Naht diese Verteilung der Schweiß-Eigenspannungen dargestellt.

Richtwerte für maximale Schweiß-Eigenspannungen bei einem Lichtbogen-Handschweißverfahren, bei einer günstigen Schweißtechnologie, sind in der Tabelle 1 zusammengestellt. Andere Schweißverfahren und Technologien führen zu gänzlich abweichenden Werten.

Tabelle 1: Richtwerte für maximale Schweiß-Eigenspannungen (Zug) für das Lichtbogen-Handschweißen

Nahtarten	Schweiß-Eigenspannungen		
	$\sigma_1^E$	$\sigma_2^E$	$\sigma_3^E$
<u>Stumpf- und K-Nähte</u> (s-Blechdicke)			
s=10 bis 30 mm	(0,5 bis 1,0) $\sigma_s$		$0,5 \cdot \sigma_s$
s=30 bis 60 mm	> $\sigma_s$		$0,8 \cdot \sigma_s$
s=60 bis 200 mm	> $\sigma_s$		$\sigma_s$
<u>Kehlnähte (a-Nahthöhe)</u>			
a= 3 bis 10 mm	(0,5 bis 1,0) $\sigma_s$	(0,3 bis 0,5) $\sigma_s$	$\approx 0$
a= 10 bis 30 mm	$\sigma_s$	$0,5 \cdot \sigma_s$	$\approx 0$
a= 30 bis 60 mm	$\sigma_s$	$0,7 \cdot \sigma_s$	$0,2 \cdot \sigma_s$

Betrachtet man nunmehr den gesamten mehrachsigen Spannungszustand einer geschweißten Konstruktion aus Lastspannungen ( $\sigma^L$ ) und aus Schweiß-Eigenspannungen ( $\sigma^E$ ) so ergeben sich oft ungünstige Mehrachsizitätszahlen, wo eine genauere Untersuchung dieses Einflusses erforderlich ist.

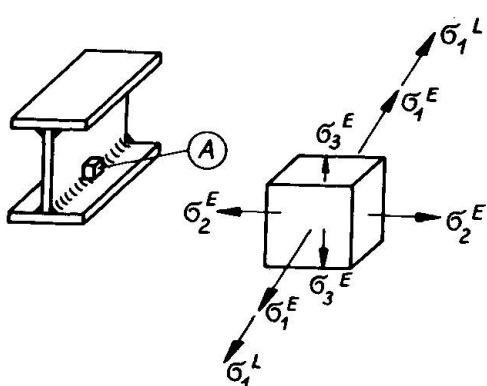


Bild 8 Beispiel für mehrachsigen Spannungszustand in einem Punkt der Schweißkonstruktion (Träger) aus Lastspannungen ( $\sigma^L$ ) und Eigenspannungen ( $\sigma^E$ )

In Bild 8 ist an einem sehr einfachen Beispiel eines geschweißten Trägers dieses Zusammenwirken der Spannungen veranschaulicht.

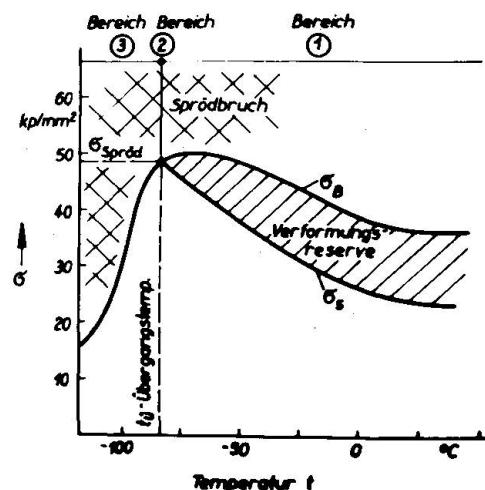


Bild 9 Einfluß der Temperatur auf die Bruchfestigkeit ( $\sigma_B$ ) und Streckgrenze ( $\sigma_s$ ) eines Stahls St 38 b-2

Es gilt in einem Sprödbruch-Sicherheitsnachweis festzustellen, ob eine ausreichende Teil-Sicherheit gegen Sprödbruch bei den gegebenen konstruktiven und technologischen Bedingungen und besonders bei möglichen tieferen Temperaturen unter Berücksichtigung der Last- und Eigenspannungen gegeben ist.

#### 4. Vorschläge für rechnerische Bestimmungen von Teil-Sicherheiten gegen Sprödbruch

Zur rechnerischen Bestimmung der Teil-Sicherheit einer geschweißten Konstruktion sind Vorschläge unterbreitet worden, die die obengenannten Einflußfaktoren berücksichtigen /7/, /8/.

Dabei ist die jeweilige niedrigste Betriebstemperatur der Konstruktion von großer Bedeutung für die Ermittlung der ausreichenden Teil-Sicherheit.

In Bild 9 ist der Einfluß der Temperatur auf die Bruchfestigkeit ( $G_B$ ) und die Streckgrenze ( $\sigma_s$ ) eines Stahls St 38 b-3 und des dazugehörigen Schmelz-Schweißguts dargestellt.

Sicher vor einem Sprödbruch ist eine Schweißkonstruktion, wenn nachstehende Bedingungen erfüllt sind:

- a) Der Stahl weist eine Betriebs-(Tief)-Temperatur-Eignung auf und erfüllt das Kriterium:

$$t_u < t_B$$

wobei  $t_B$  - Betriebstemperatur

$t_u$  - Übergangstemperatur (Versprödungstemperatur)

Im Stahlhoch- und Stahlbrückenbau wird man in Zukunft Temperaturen von  $-40^{\circ}\text{C}$  bis  $-50^{\circ}\text{C}$ , vielleicht sogar ein wenig tiefer, in Betracht ziehen müssen.

Der Einfluß der Mehrachsigkeit des Spannungszustandes, einschließlich der Schweiß-Eigenspannungen, auf die Übergangstemperatur, wie er in Bild 10 zu ersehen ist, wird dabei ausschlaggebend sein. Spannungsspitzen, Kerben aller Art erhöhen den Kerbfaktor ( $\alpha_k$ ) und führen damit zu ungünstigeren Mehrachsigkeitszahlen ( $\pi$ ). Somit erhöhen, d.h. verschlechtern Schweißverbindungen die Übergangstemperatur (Versprödungstemperatur). Natürlich ist dieser Einfluß des Spannungszustandes auf die Übergangstemperatur abhängig von der Sprödbruchanfälligkeit d.h. auch der Schweißeignung eines Stahls.

Die Teilsicherheit für die Betriebs-(Tief)-Temperatur-Eignung in Abhängigkeit des mehrachsigen Spannungszustandes einschließlich der Schweiß-Eigenspannungen kann somit nachgewiesen werden (nach Bild 11) durch:

$$S_{\pi_{\text{vorb}}} = \frac{\pi_{\text{vorb}}}{\pi_{\text{zul}}} \geq S_{\pi_{\text{erf}}}$$

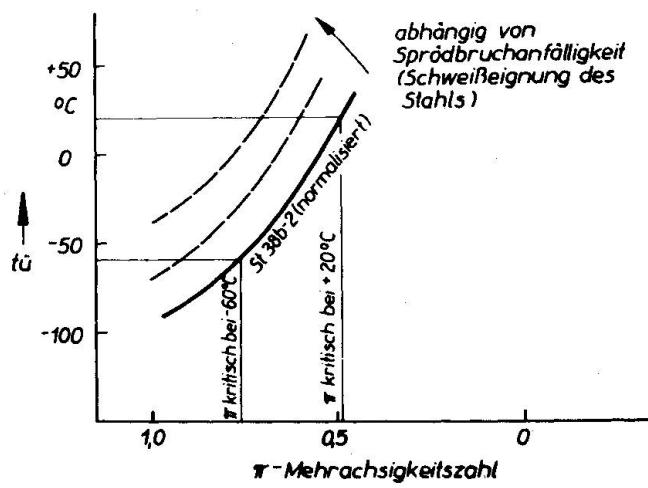


Bild 10 Einfluß der Mehrachsigkeit des Spannungs-Zustandes auf die Übergangs-Temperatur von Stählen

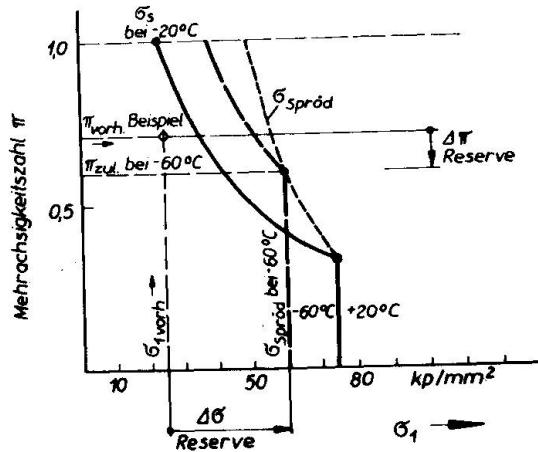


Bild 11 Beispiel eines Sprödbruch-Diagrammes für St 38 b-2 Grundwerkstoff und Nahtzone

- b) der Stahl weist eine Betriebstemperatur-Sicherheit auf und es wird die diesbezügliche Teil-Sicherheit nachgewiesen:

$$S\tau_{\text{vorh}} = \frac{G_{\text{spröd}}}{G_{\text{max}}} > S\tau_{\text{vorh erf}}$$

wobei  $G_{\text{spröd}}$  - Sprödbruchfestigkeit  
 $G_{\text{max}}$  - maximale vorhandene Spannung ( $\sigma_1$ )

Dieser Nachweis kann als Teil-Sicherheits-Nachweis für die Betriebs-(Tief)-Temperatur-Sicherheit gelten.

Aus den obengenannten Fällen a) und b) zeigen sich somit in Bild 9 drei Bereiche des (Tief)-Temperatur-Einflusses:

Bereich 1: Plastische Verformung möglich; keine Sprödbruchgefahr; Anwendung der bisherigen "Festigkeits-(Sicherheits)-Nachweise";  $(S\tau_{\text{vorh}} > 1)$ ;

Bereich 2: (Punkt); Sprödbruchgrenze der garantierten Betriebstemperatur-Eignung erreicht;  $(S\tau_{\text{vorh}} = 1)$ ;

Bereich 3: Totalversprödung; Betriebstemperatur-Eignung nicht mehr vorhanden;  $(S\tau_{\text{vorh}} < 1)$ ;

hohe Betriebssicherheit erforderlich.

Dabei ist ein Auftreten eines Sprödbruches nach Bild 9 in 2 Fällen möglich:

- = beim Erreichen des Bereiches (Punktes) 2 der Sprödbruchgrenze durch  $G_{\text{max}} (G_1)$

oder = beim Unterschreiten der dem Punkt 2 zugeordneten Temperatur ( $t_U$ )

In Bild 11 ist für einen Stahl und dazugehörige Nahtzone ein Sprödbruch-Diagramm dargestellt, aus dem die graphischen Lösungen der Teil-Sicherheits-Nachweise zu ersehen sind. Ein günstiges Beispiel ist in dieses Sprödbruch-Diagramm eingezeichnet und zeigt an einem konkreten Beispiel mögliche Verhältnisse.

Derartige Sprödbruch-Diagramme für Grundwerkstoffe und dazugehörige Schweißnahtzonen in Abhängigkeit von jeweiligen Schweiß-Verfahren liegen für mehrere Stahlarten des Hoch- und Brückenbaues, besonders auch für hochfeste Stähle mit geringer Schweißeignung, vor.

Über die Größen der erforderlichen Sicherheiten in den vorgeschlagenen rechnerischen Nachweisen wird beraten. Entsprechende Richtlinien werden vorbereitet.

Solche Nachweise werden helfen in der Wahl der Konstruktion und besonders der Schweiß-Technologie Festlegungen zu treffen, die eine höhere Gesamt-Sicherheit gegen Versagen einer geschweißten Konstruktion aufweisen.

#### Literaturverzeichnis:

- /1/ Gurney T.R.: "Fatigue of welded structures", Cambridge University Press 1968
- /2/ Neumann A.: "Schweißtechnisches Handbuch für Konstrukteure" Teil I, VEB Verlag Technik Berlin, 2. Auflage 1961
- /3/ Hänsch: "Über den Einfluß der Schweißverformungen und Eigenspannungen auf die Stabilität"; Vortrag auf IVBH-Symposium Dresden 1975
- /4/ Schnadt H.M.: "Neue Prüfmethoden von Stählen und Schweißwerkstoffen für große Schweißkonstruktionen; 1 Teil; Zug (Schweiz) 1957
- /5/ Machnenko V.J.: "Einige Besonderheiten der Spannungs-Kinetik beim Kehlnahtschweißen; Automati. Svarka, Kiew 25 (1972) 3; S. 34-38
- /6/ Nikolajew, Kurkin, Vinokurov : "Berechnung, Projektierung und Herstellung von Schweißkonstruktionen" Moskau 1971
- /7/ Sohn, M.: "Untersuchungen über Einflußfaktoren des Sprödbruches von Schweißverbindungen", Dissertation an der TH Karl-Marx-Stadt 1968
- /8/ Fehr, H.-P.: "Beitrag zum ökonomischen Stahleinsatz im Tief-temperaturbereich bei schmelzgeschweißten Konstruktionen durch Verfahren zur Bestimmung des Sprödbruchverhaltens"; Dissertation an der TH Karl-Marx-Stadt 1971.

## ZUSAMMENFASSUNG

Bisherige rechnerische Festigkeits-(Sicherheits)-Nachweise berücksichtigen ein Absichern gegen zu grosse plastische Verformungen, gegen Versagen der Stabilität, gegen statischen Gewaltbruch oder gegen den Ermüdungsbruch. Auf die Möglichkeit eines Sprödbruches einer geschweißten Konstruktion wirken konstruktive und technologische Einflüsse, besonders auch die Schweißeigenspannungen. Im Beitrag werden diese Zusammenhänge der Schweißfertigung und der rechnerischen Sicherheitsnachweise aufgezeigt. Es werden Vorschläge für rechnerische Bestimmungen von Teilsicherheiten gegen Sprödbruch unterbreitet, um die Gesamtsicherheit gegen Versagen zu erhöhen.

## SUMMARY

In a common design of steel structures, safety control will be made in relation with appearance of important plastic deformations, collapse due to instability, static load, fatigue. Brittle rupture in welded structures depend on construction and technology, in particular on residual stresses. Relations between welding and safety control are given. Proposals are made for calculation of partial safety in relation with brittle rupture, so as to increase the total collapse's safety.

## RESUME

Dans le calcul usuel des constructions métalliques, on vérifie la sécurité relative à l'apparition de déformations plastiques importantes, la sécurité à la ruine par instabilité ou rupture statique, enfin la sécurité à la fatigue. Les ruptures fragiles dans les ouvrages soudés dépendent de facteurs constructifs et technologiques, en particulier des contraintes résiduelles. L'auteur montre ces rapports entre le soudage et les vérifications de sécurité. Il montre comment déterminer par le calcul les sécurités partielles relatives aux ruptures fragiles, de façon à augmenter la sécurité à la ruine globale.

Leere Seite  
Blank page  
Page vide

**Bauformen und Arbeitsaufwand bei der Herstellung einer Konstruktion**

Design of a Construction and Shop Fabrication

Conception de la construction et travail en atelier

W.W. WOLKOW  
ZNII Projektstahlkonstruktion  
Moskau, UdSSR

Der technische Fortschritt in der Industrie, die Entwicklung der Herstellungstechnologie und der wachsende Stahlbauumsatz fordern eine weitere Fertigungsgerechtigkeit und eine genauere Analyse des angesammelten Erfahrens für die Herstellung und Projektierung der Konstruktionen.

In den früheren Etappen der Gründung der sowjetischen Schule der Stahlbaukonstruktion wies schon einer der Theoretiker N.S. Streletzkij auf die Notwendigkeit hin, die Fertigungsgerechtigkeit als eine der wichtigsten Bedingungen der rationellen Projektierung zu betrachten.

Heute empfehlen die Unionsberatungen der Metallbauherrn durch ihre Entschlüsse eine Massnahmenreihe zu verwirklichen, die auf die Erhöhung der Fertigungsgerechtigkeit der ausarbeitenden Bauarte gerichtet sind, und die veröffentlichten GOSTe sehen eine obligatorische qualitative Bewertung der Fertigungsgerechtigkeit eines Erzeugnisses vor.

In diesem Zusammenhang gilt die Erlernung der Herstellungs- und Formbildungsprozesse als eine erstrangige Aufgabe in der Herstellung der Metallkonstruktionen.

Als Bewertungskriterium der Konstruktionsherstellung wird der Arbeitsaufwand angenommen. Der Arbeitsaufwand ist ein vereinheitlichter materialisierter Kennwert der Bauform, der gleichzeitig das Vergleichskriterium der Bauvarianten ist, d.h. er ist der wichtigste kennwert für

den Vergleich der gleichen Bauarte, die in verschiedenen Werken projektiert und hergestellt werden.

Die im ZNIIIProjektstahlbauinstitut durchgeföhrten Untersuchungen sind den Zusammenhang zwischen der Bauform und dem Arbeitsaufwand festgestellt. Sie erlaubten das mathematische Modell des untersuchten Prozesses. Zu bilden und die Methodik der qualitativen Bewertung der Fertigungsrechtheit der Konstruktionen auszuarbeiten.

Für die Untersuchung des Prozesses und der Ausarbeitung des mathematischen Modells ist die Theorie der Planung der Regressionsexperimente genutzt.

Unter dem Mechanismus der Erscheinung, im Gegensatz zur üblichen Behandlung dieses Terminus, wird keine direkte Untersuchung des Herstellungsprozesses gemeint. Darunter wird der Zusammenhang zwischen dem Arbeitsaufwand bei der Herstellung einer Konstruktion und ihren Kennwerten verstanden, die diesem Zusammenhang entsprechen; diese Kennwerte können hier auch unmittelbar bemessen werden.

Die Bauform eines Teils und der Arbeitsaufwand bei der Herstellung einer Konstruktion werden durch ein mehrdimensionales System der Verschiedenen miteinander verbundenen Faktoren charakterisiert. Die statistische Methode der Aufangswertebearbeitung gibt eine Möglichkeit, Gesetzmässigkeit dort zu entdekken, wo sie nicht offenbar ausgedrückt ist und sie als mathematisches Modell zu formulieren.

Die Methodik der Formulierung dieses Models stützt sich auf den durchgeföhrten Untersuchungen und besteht aus folgenden Etappen:

- das Keunenlernen der Konstruktion, das Studieren der Faktoren, die diesen untersuchten Zusammenhang kennzeichnen;
- das Sammeln der statistischen Erstbearbeitungsdaten, die diese Konstruktion und deren Herstellungsprozess kennzeichnen;
- die Bestimmung der Einflussgrösse der Konstruktionsparameter auf den Arbeitsaufwand bei ihrer Herstellung;
- die Findung der analytischen Formel des gewonnenen Modells.

Die Konstruktionsform wird durch folgende Kennwerte charakterisiert:

die Höchstgrösse ( $x_1$ ), die Masse der Konstruktion ( $x_2$ ), die Masse des geschmolzenen Metalls ( $x_3$ ), die Länge der Schweißnähte ( $x_4$ ), die Deteilzahl in der Konstruktion ( $x_5$ ), die Zahl der gleichzeitig herstellenden Konstruktionen ( $x_6$ ) und die Regel- und Nutzungsbelastung ( $x_7$ ).

Das mathematische Modell als eine Funktion von  $y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_7)$ , zeigt, wie der Arbeitsaufwand bei der Herstellung einer Konstruktion und die Kennwerte dieser Konstruktion zusammenhängen. Es wird auch den Charakter der Argumente und deren Einflussgrösse auf die analysierende Fertigungsgerechtheit gezeigt.

Früher für die Wahlbegründung der Kennwerte wurde der Zusammenhang zwischen dem Arbeitsaufwand und jedem einzelnen untersuchenden Kennwert nach folgender Formel bestimmt:  
 $y = f_i(x_i)$ , wo  $i = 1, 2, 3 \dots 7$ .

Die durchgeföhrte Analyse erlaubte einen quantitativen Einfluss jedes einzelnen kennwertes auf den Arbeitsaufwand auszudrücken, den Charakter und den Zusammenhang dazwischen zu bestimmen und die Wahl der Kennwerte für das mathematische Modell zu begründen. Die gewonnenen bei der Doppelanalyse Kennwerte der Regression widerspiegeln aber keinen wahren Wert des Zusammenhangs zwischen den Konstruktionskennwerten und dem Arbeitsaufwand. Um die Einflussgrösse immer genauer zu bestimmen, wird eine regressive Mehrkennwertenanalyse durchgeföhrte.

Das Mehrkennwertenmodell wird als folgende Formel bezeichnet:

$$y = a + \sum_{i=1}^7 b_i x_i, \quad \text{wo}$$

$y$  = mittlerer Wert des Arbeitsaufwandes,  
 Mann/Stunde

$b_i$  = Kennwert der Regression

$x_i$  = Kennwerte, die diese Konstruktion kennzeichnen

$a$  = freie Mitglied der Gleichung

Das Modell gibt eine Möglichkeit, den quantitativen Einfluss aller zusammenhängenden Kennwerte auf den Arbeitsaufwand auszudrücken; es erlaubt auch die Gesetzmässigkeit der Änderung dieses Einflusses zu verfolgen. Es kann aber auf die Gemeinsamkeit der Lösung der gestellten stufgabe nicht beanspruchen, denn je näher die Ausführung eines Ergebnisses ist, desto beschränkter ist die Möglichkeit der Benutzung.

Die Anwendung des Ähnlichkeitsgesetzes erlaubt in bestimmten Greuzen die Ergebnisse des Einzelversuches auf die Ähnlichkeit der Konstruktionsform zu verbreitern. Dadurch ist die Verbindung zwischen den Gesamtheiten von Kennwerten, die den Untersuchungsprozess bestimmen, gefunden. Freilich, in diesem Fall werden die Prinzipien einer Annäherungsgleichheit benutzt. Das Erhalten der Ähnlichkeitsbedingungen ist auf der Analyse der Konstruktionskennwerte begründet.

Die Ähnlichkeitsbedingung ist eine Kombination von Kennwerten  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$ , die als folgende Formel aussieht:

$$\prod_{i=1}^{x_1^{z_1} \cdot x_2^{z_2} \cdot x_3^{z_3} \cdot x_4^{z_4} \dots x_i^{z_i} = c / x_1^{z_1} \cdot x_2^{z_2} \cdot x_3^{z_3} \dots} \dots / x_i^{z_i}, \text{ wo}$$

c = dimensionsloser Wert;

z = Zahlen, bei denen der Kriteriumswert dem Null gleich ist;

i = 1, 2, 3, ... 7.

Es werden auch folgende Kriterien bestimmt, die für alle ähnliche Prozesse eine stabile Bedeutung bewahren:

$$\Pi_1 = \frac{y}{y_0};$$

$$\Pi_2 = \frac{x_5}{x_6};$$

$$\Pi_3 = \frac{x_1^3 \cdot x_3 \cdot x_7}{x_2^2 \cdot x_4}$$

$$\Pi_4 = \frac{x_2 \cdot x_3}{x_4 \cdot x_1 \cdot x_7^2}$$

Die durchgeföhrten Untersuchungen ergaben ein mathematisches Modell, das in einer Stufenabhängigkeit ausgedrückt ist. Dieses Modell erlaubt die 8 dimensionalen Kennwerte durch die 4 dimensionslosen Kriterien zu ersetzen und die Gesetzmässigkeiten des untersuchten Prozesses zu entdecken:

$$\Pi_1 = k \Pi_2^{\beta_1} \cdot \Pi_3^{\beta_2} \cdot \Pi_4^{\beta_3}$$

Die Formalisierung der Versuchsergebnisse sichert dem Modell eine Gemeinsamkeit der Lösung; das erhöht seinen Erkenntniswert.

Für eine konkrete Konstruktion werden die wahren Grössen ihrer Parameter in das Modell substituiert. Dieses Modell hat einen hohen Grad der Gemeinsamkeit und gleichzeitig ist es genügend konkret.

Es wurden die stahlbinder aus dem warmgewalzten Winkelstahl untersucht.

Die durchgeföhrten Untersuchungen ergaben die Gleichungen der Regression, die den Zusammenhang zwischen dem Arbeitsaufwand und den Kennwerten des stahlbinders zeigen.

Kennwerte eines Stahlbinders und Arbeitsaufwand bei seiner Herstellung

Gleichung der Regression	Korrelations- beiwert	Richtigkeit des Korrelationsbeiwertes	Anteil des Arbeitsaufwandes, je nach der Veränderung des untersuchten kennwertes
$y = -8,5 + 3,1 x_1$	0,680	7,66	72,0
$y = 3,6 + 0,011 x_2$	0,915	18,66	88,0
$y = 5,7 + 0,1 x_3$	0,880	15,58	81,0
$y = 4,2 + 0,31 x_4$	0,875	14,91	85,0
$y = 18,5 + 0,15 x_5$	0,417	3,79	40,0
$y = 31,3 - 0,04 x_6$	-0,267	2,29	2,0
$y = 29,8 + 0,008 x_7$	0,100	0,89	2,0

Die Abhängigkeiten nach den Angaben vieler Werke (etwa 900 Stahlbinder) haben gezeigt, dass die Masse einer Konstruktion und der Arbeitsaufwand bei ihrer Herstellung am tiefsten und stabil verbunden sind.

$$y = -0,11 + 0,012 x_2$$

$$y = 7,1 + 0,009 x_2$$

$$y = 6,4 + 0,007 x_2$$

$$y = 6,2 + 0,009 x_2$$

$$y = 3,6 + 0,011 x_2$$

$$y = 8,0 + 0,008 x_2$$

$$y = 3,9 + 0,008 x_2$$

$$y = 9,4 + 0,006 x_2$$

$$y = 5,4 + 0,008 x_2$$

Einige Verschiedenheiten des Einflusses dieser Kennwerte auf den Arbeitsaufwand bei der Herstellung einer Konstruktion ( $0,06 + 0,012$ ) sind mit den Besonderheiten der Struktur des Arbeitsaufwandes in den Stahlbaubetrieben verbunden.

Die bei der Doppelanalyse gewonnenen Beiwerte der Regression geben keine klare Vorstellung über den Zusammenhang zwischen den Kennwerten einer Konstruktion und dem Arbeitsaufwand bei ihrer Herstellung wieder. Das beweist die untersuchte Veränderlichkeit des Beiwertes einer Regression von der Zahl der Kennwerte dieser Konstruktion.

$$y = 3,6 + 0,011 x_2 \quad (1)$$

$$y = 4,65 + 0,007 x_2 + 0,109 x_4, \quad (2)$$

$$y = 3,1 + 0,0065 x_2 + 0,12 x_4 + 0,195 x_5 \quad (3)$$

$$y = -6,6 + 0,005 x_2 + 0,68 x_1 - 0,0115 x_3 + \\ + 0,155 x_4 + 0,044 x_5 - 0,008 x_6 - 0,0001 x_7 \quad (4)$$

Nach der Gleichung (1), die nur einen Kennwert (Masse der Konstruktion) enthält, die Änderung der Masse für 1 kg führt zur Vergrößerung des Arbeitsaufwandes um 0,011 Mann/Stunde. In Gleichungen (2) und (3), die mehrere Kennwerte enthalten, die Beiwerte der Regression bei  $x_2$  vermindern entsprechend bis 0,007 und 0,0065 Mann/Stunde. Die Untersuchung aller Kennwerte (4) erwies, dass eine Änderung der Masse für 1 kg zur Änderung des Arbeitsaufwandes für 0,005 Mann/Stunde führt.

Das die Beiwerte der Regression vor dem Kennwert einer Konstruktion verschieden sind, wird dadurch erklärt, dass dieser Kennwert vom verborgenen Zusammenhang der nicht berücksichtigten Faktoren frei ist. Das beweist auch die Notwendigkeit, eine mehrfaktorische Analyse zu verwenden, die erlaubt, diesen Zusammenhang genauer zu formulieren.

Die zahlreichen Kennwerte boten eine Möglichkeit, das quantitative Modell der untersuchenden Erscheinung (4) in aller aufgegebenen Einzelheiten aufzubauen. Aber die gewonnene Abhängigkeit erwies sich als potenzielle Quelle der Begrenzung des Modells eines untersuchenden Zusammenhangs, da je genauer die Ausführung eines Modells ist, desto mehr ist die Möglichkeit seiner Anwendung begrenzt.

Die Ähnlichkeits- und Dimensionstheorie erlauben im grossen Umfang diese Widersprüche zu beseitigen, die Variablenzahl in der Gleichung zu verkürzen und die Aufgabe in grossen Zügen für die unlinearen vielheitigen Regressionsen zu lösen.

Die durch dimensionslose Ähnlichkeitskriterien ausgedrückte Abhängigkeit hat folgende Form:

$$\Pi_1 = 0,174 \cdot \Pi_2^{0,083} \cdot \Pi_3^{-0,233} \cdot \Pi_4^{-0,164}$$

Sie charakterisiert die Gesetzmässigkeit der Veränderung des Arbeitsaufwands bei der Herstellung einer Konstruktion in Abhängigkeit von den Veränderungen der Kennwerte einer Konstruktionsform.

Die in dimensionslosen Kriterien realisierte und als Nomogramm dargestellte Abhängigkeit ist ein Rechenmittel, mit dessen Hilfe bei der Projektierung durch die grafische Interpolation die Veränderung eines Arbeitsaufwands bestimmen kann, die bei den beliebigen Kennwertänderungen einer Konstruktionsform in bestimmten Grenzen verläuft. Dank der Vereinigung einer grossen Zahl von Kennwerten, kann diese Abhängigkeit die Dynamik des Arbeitsaufwands bei der Änderung der Konstruktionsform ziemlich genau widerspiegeln, was auch das Rechenmodell dem realen Prozess nähert.

## ZUSAMMENFASSUNG

Durch diesen Beitrag soll die Methodik der Ermittlung der empirischen Werte vorgestellt werden. Diese Werte vermitteln den Zusammenhang zwischen den konstruktionstechnologischen Faktoren; es wird das mathematische Modell des Zusammenhangs zwischen den Bauformen und dem Arbeitsaufwand angegeben, das in dimensionslosen Kriterien des Ähnlichkeitsgesetzes realisiert wird. Das Modell ist für die Registrierung der technologischen Forderisse im Projektierungsstadium bestimmt.

## SUMMARY

The author presents methods for determining empirical values for relations between various technological factors of a construction. A mathematical model describes the relation between the construction design and shop fabrication, with the help of dimensionsless criteria from the similarity law. The model considers existing conditions at the time of design.

## RESUME

L'auteur présente les méthodes de détermination des valeurs empiriques qui donnent les relations entre les divers facteurs technologiques de la construction. On présente le modèle mathématique décrivant la relation entre la conception constructive et le travail en atelier, modèle exprimé par les critères sans dimensions de la loi de similitude. Le modèle est adapté aux conditions existant au stade de l'étude.

## **Erfahrungen bei der Verwendung von korrosionsträgen Stählen im Kombinat VEB Chemische Werke Buna**

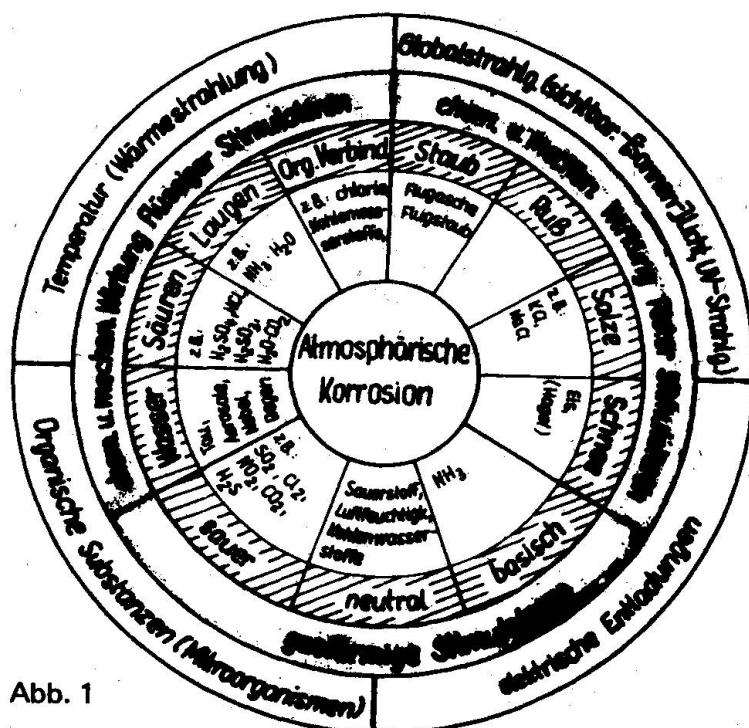
## Experiences in the Use of Weathering Steels

## Expériences acquises dans l'emploi d'acières patinables

Stahl, unser Hauptkonstruktionswerkstoff, ist erfahrungsgemäß thermodynamisch instabil und deshalb bestrebt, einen stabileren energieärmeren Zustand als Oxid oder Salz zu erreichen. Die verschiedenen Stähle oder Stahlsorten unterscheiden sich dabei lediglich durch die Bedingungen bei denen diese Reaktionen ablaufen können.

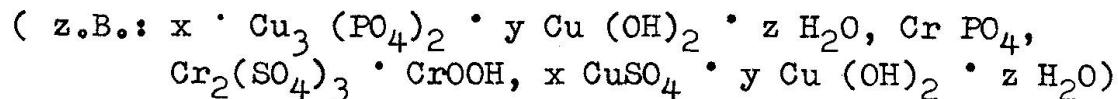
Die Wichtigkeit und Notwendigkeit der Entwicklung und des Einsatzes resisternter Werkstoffe unter den verschiedenen Angriffsbedingungen geht aus der Angabe hervor, daß jährlich ca. 33 % der Weltstahlproduktion durch Korrosion (1), davon allein 8 % bei Stahlkonstruktionen verlorengehen (2). Diese Tatsache ist für die DDR mit einem Importanteil von ca. 50 % des gesamten Stahlbedarfs (2) von besonderer Bedeutung.

Die speziellen Bedingungen der chemischen Industrie sind zu kennzeichnen durch aggressive atmosphärische Bedingungen, bedingt durch das multifunktionelle Zusammenwirken einer Vielzahl von Korrosionsstimulatoren wie es in Abb. 1 veranschaulicht wird (3).



Dabei entscheiden u.a. die Art der Aggressionsmittel und deren Konzentration über Korrosionsgeschwindigkeit und -art.

Gegenüber den unlegierten Baustählen mit z.T. hohen Abrostungsgeschwindigkeiten sollen die korrosionsträgen Stähle - vom Grundtyp niedriglegierte Phosphor- Kupfer- Chrom- Stähle - den Vorteil haben, daß durch die Ausbildung einer Deckschicht mit Schutzwirkung ein vollwertiger aktiver Korrosionsschutz erreicht wird. Die Schutzwirkung beruht dabei auf der Ausbildung schwerlöslicher undnichthydrolysierbarer Sulfate bzw. Phosphate des Kupfers und Chroms.



In der internationalen Fachliteratur wird aber auch darauf hingewiesen, daß korrosionsträge Stähle unter bestimmten atmosphärischen Bedingungen versagen und deshalb ihr ökonomischer Einsatz kritisch zu prüfen ist. In den weiteren Ausführungen wird über Versuchsergebnisse und Betriebserfahrungen berichtet, die zur Beantwortung vorgenannter Fragen dienen.

Zur Ermöglichung einer Aussage des Verhaltens der unlegierten Baustähle wurden diese in unterschiedlichen Mikroklimaten bewittert. Das Ergebnis dieser mehrjährigen Bewitterungsversuche ist in Abb. 2 dargestellt (3).

**Lineare Abrostungsgeschwindigkeiten von ungeschütztem, unlegiertem Stahl in Abhängigkeit von den Angriffsbedingungen**

Versuchs-stand	Angriffs- Bedingungen verbal	Angriffs- Bedingungen						V <sub>L</sub> (μm/a)
		Flugstaub- sedimentation	WL (%)	pH d. WL	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (%) im WL	Cl <sup>-</sup> (%) im WL		
1	Rauchgase, Flugstaub, -asche	250	18 - 52	6,8 - 8,5	1,5 - 32	1,0 - 4,4	200	
2	Flugstaub	4500	17 - 27	4,1 - 11,4	0,2 - 4,6	0,2 - 0,8	200	
3	Flugstaub	950	24 - 53	6,3 - 11,4	1,8 - 15,2	0,9 - 4,9	180	
4	Flugstaub, Chlorverbindungen	2900	14 - 32	6,1 - 7,7	0,3 - 5,5	0,4 - 4,2	210	
5	Flugstaub, SO <sub>2</sub>	650	12 - 34	6,3 - 9,9	1,2 - 28,1	0,8 - 2,3	170	
6	Flugstaub, Feuchtigkeit	3350	13 - 46	3,8 - 9,1	1,2 - 9,1	4,3 - 13,4	140	
7	Flugstaub, Chlorverbindungen	1100	20 - 46	6,6 - 8,0	0,9 - 11,1	0,3 - 16,2	170	
8	Flugstaub	1950	22,5 - 22,8	4,7 - 11,1	0,8 - 4,3	1,2 - 1,4	190	
9	Flugstaub	500	42 - 67	6,2 - 9,4	3,7 - 13,8	2,4 - 3,0	190	
10	Salze, Feuchtigkeit	1900	47 - 76	6,1 - 7,2	1,2 - 7,0	21,4 - 47,1	730	

Abb. 2 Erläuterungen: Flugstaubsedimentation in g/m<sup>2</sup>.a  
WL = Wasserlösliches

Aus diesen Versuchsergebnissen ist ableitbar, daß ungeschützte unlegierte Stähle eine hohe lineare Abrostungsgeschwindigkeit aufweisen, wenn der angreifende Elektrolyt einen hohen Anteil an Chlorionen aufweist. Unter diesen Bedingungen bereitet erfahrungsgemäß auch der passive Korrosionsschutz Schwierigkeiten.

Bei der Beurteilung der Einsatzmöglichkeiten von ungeschützten korrosionsträgen Stählen wurde davon ausgegangen, daß diese nach den Garantiefestlegungen des Herstellers bei Freiluftbeanspruchung (Aufstellungskategorie I nach TGL 9200/01 Umgebungseinflüsse; Klassifizierung von Erzeugnissen; Ausführungsklassen) nach 6 Jahren einen maximalen Korrosionsabtrag von 360  $\mu\text{m}$ , nach 15 Jahren von 500  $\mu\text{m}$  aufweisen sollen (4).

Die in den vorgenannten Mikroklimaten durchgeföhrten Versuche stellten sich in ihren Ergebnissen so dar, daß die korrosionsträgen Stähle gegenüber den unlegierten Baustählen eine Verringerung der linearen Korrosionsgeschwindigkeit um durchschnittlich 50 % aufweisen.

Bei Beanspruchung mit erhöhtem Chlorionengehalt konnten die in Abb. 3 dargestellten Werte ermittelt werden.

Auslagerungszeit [Jahre]	Korrosionsabtrag [ $\mu\text{m/a}$ ]	
	St 38u - 2	KTS
0,5	360	230
1,0	540	340
1,5	730	425

Abb. 3  
Korrosionsabtrag von KTS  
und unlegiertem Baustahl

Die letztgenannten Versuchsergebnisse weisen eindeutig aus, daß korrosionsträge Stähle unter den vorgenannten Bedingungen nicht ohne zusätzlichen passiven Korrosionsschutz eingesetzt werden können. Es wurde deshalb die Möglichkeit genutzt, an einem größeren Objekt Anstrichversuche zur Auswahl des optimalen Korrosionsschutzes auszuführen. Bei diesen Versuchen wurde die These berücksichtigt, daß es infolge der nachgewiesenen geringeren linearen Korrosionsgeschwindigkeit von KTS auch zu einer geringeren Unterrostung der organischen Überzüge und damit zu einer längeren Standzeit dieser Schutzschichten führen würde. Deshalb wurden die im III. und IV. Quartal 1969 hergestellten Anstriche ausnahmslos auf Untergründe mit Säuberungsgrad 1 nach TGL 18730/02 (Korrosionsschutz; Oberflächenvorbehandlung; mechanisches und thermisches Entzündern und Entrostern von Stahl) ausgeführt. Die Ergebnisse der Anstrichversuche enthält Abb. 4.

Anstrichsystem	Anzahl	Dicke <sup>x)</sup> ( $\mu\text{m}$ )	<u>Durchrostung (%)</u>		
			1a	3a	5a
Öl-Mennige-Grund Alkydharz-Vorstreichf. Alkydharz-Deckfarbe	2	130	0	0,5	1,5
	1	bis		bis	bis
	1	160		1	5
Öl-Mennige-Grund Alkydharz-Deckfarbe	2	100	0	1	5
		bis		bis	bis
	1	140		5	15
Öl-Rostschutz-Grund Öl-Vorstreichfarbe Öl-Deckfarbe	2	140	0,5	1	5
	1	bis		bis	bis
	1	160		1	5
Öl-Rostschutz-Grund Öl-Deckfarbe	2	100	1	5	30
		bis		bis	bis
	1	140		15	40
Aktiv-Primer PC-Grundfarbe PC-Deckfarbe	1	100	5	5	30
	2	bis		bis	bis
	2	130		15	40
PVAC-Latex	3	60 bis 100	ca.40	100	-

x) ohne Restrostdicke von 40 – 80  $\mu\text{m}$

Abb. 4: Korrosionsschutzverhalten verschiedener Anstrichsysteme

Im Ergebnis dieser Anstrichversuche ist festzustellen, daß alle Systeme nicht den gewünschten Schutzwert aufweisen und ein analoges Verhalten zeigen wie auf handentrosteten Untergründen bei unlegierten Baustählen.

Literaturnachweis

- (1) Schwabe, K.: Neue Hütte 14 (1969) 6, S. 321 - 328
- (2) Katzung, W., Berger, P., Poster, H.: INFORMATION, Leipzig, 10 (1971) 4, S. 2 - 9
- (3) Rückriem, W.: "Atmosphäre Korrosion", Nr. 4 der Reihe "Korrosion und Korrosionsschutz" des BNZ Halle/S.
- (4) 3. Information über korrosionsträge Stähle KTS 30/45 und KTS 52 vom Juli 1972  
Herausgeber: VEB Qualitäts- und Edelstahlkombinat Hennigsdorf.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die durchgeführten Versuche und vorliegenden Betriebserfahrungen lassen folgende Schlussfolgerungen zu:

1. Korrosionsträge Stähle bilden unter Einwirkung von Chlorionen keine schützende Deckschicht und sind deshalb nicht ohne passiven Korrosionsschutz verwendbar.
2. Korrosionsträge Stähle sollten bevorzugt in Bereichen eingesetzt werden, die infolge der mikroklimatischen Beanspruchung keinen zusätzlichen passiven Korrosionsschutz erfordern.
3. Bei der Notwendigkeit des Auftragens von organischen Schutzschichten auf korrosionsträge Stähle sind diese wie unlegierte Baustähle einzustufen, d.h. metallblanke Untergrundvorbehandlung entsprechend Säuberungsgrad 3 nach TGL 18730/02 und Aufbringung eines kompletten Anstrichsystems entsprechend der vorliegenden Beanspruchungsart.

## SUMMARY

The authors conclude on basis of their tests and service experiences:

1. Weathering steels are not protected from chlorions' action and require therefore a further passive protection.
2. The use of weathering steels should be increased in areas where due to special microclimatic conditions, no particular passive protection is required.
3. In case of organic protection for weathering steels, these have to be treated as usual steels, i.e. with a metal polishing according to the 3rd grade of standards TGL 18730/02 and with a protecting coat related to the use.

## RESUME

Les conclusions découlant des essais effectués et des expériences acquises en service sont les suivantes:

1. Les aciers patinables ne forment pas de couche protectrice lorsqu'ils sont soumis à des ions de chlore; ils ne peuvent dès lors être utilisés dans ces conditions qu'avec une protection anti-rouille passive.
2. On utilisera les aciers patinables de préférence dans les régions qui, par suite de leurs conditions microclimatiques, ne requièrent pas de protection passive spéciale.
3. Si l'on doit appliquer des couches de protection organiques, on traitera les aciers patinables comme les aciers normaux, c'est-à-dire qu'on prévoira un nettoyage conforme au degré 3 des normes TGL 18730/02 et des couches de protection en accord au genre de sollicitation.

Leere Seite  
Blank page  
Page vide

## II

**Einsatz experimenteller Verfahren beim Nachweis der Funktions- und Tragsicherheit**

Use of Tests for Controlling the Safety in relation with Use and Failure

Utilisation d'essais pour le contrôle de la serviciabilité et de la sécurité à la ruine

Ascan LUTTEROTH Klaus RIEDEBURG

Dr.-Ing.

Dr.-Ing.

- VEB Metalleichtbaukombinat, Forschungsinstitut  
Leipzig, DDR

Die wichtigste Funktion eines Tragwerkes ist, die ihm zugesetzten Lasten sicher aufzunehmen, ohne sich dabei übermäßig zu verformen. Die Tragsicherheit wird im allgemeinen durch Berechnung nachgewiesen, die sich auf jahrzehntelange Erfahrung und auf theoretische Überlegungen stützt. Dieses Verfahren bewährt sich gut bei üblichen Tragwerken, für die ausreichende Erfahrungen vorliegen, und bei relativ einfach gestalteten Tragwerken, die ohne zu große Fehler zu einem Modell vereinfacht werden können, das der Berechnung nach den Gesetzen der Mechanik und Festigkeitslehre zugänglich ist.

Bei einigen Tragwerken ist die Auffindung eines geeigneten Modells und damit die theoretische Berechnung gar nicht oder nicht in ausreichendem Maße möglich. In diesen Fällen wird die Tragfähigkeit durch Versuche bestimmt und mit der planmäßig auftretenden Belastung oder mit dem Ergebnis einer groben Näherungsberechnung verglichen. Mitunter müssen auch nur die für eine genauere Berechnung erforderlichen Parameter durch Versuche gefunden oder eine Hypothese bestätigt werden.

Die Versuche werden bei kleineren Bauteilen meist an Originalteilen ausgeführt, bei größeren Bauteilen meist aus ökonomischen oder versuchstechnischen Gründen an verkleinerten und vereinfachten Modellen. Dabei ist darauf zu achten, daß die wesentlichen Eigenschaften des Tragwerks auch bei den Prüfkörpern vorhanden sind. Die Festigkeitseigenschaften müssen bekannt sein, um die wirklichen Werte in die Berechnung einzuführen und um gegebenenfalls die versuchsmäßig gefundenen Traglasten entsprechend den Normwerten der Originalausführung umzurechnen. Wesentliche Details z. B. hinsichtlich Exzentrizitäten, Kraftumlenkungen, Kerbwirkungen, Steifigkeitsverhältnissen müssen mit dem Original übereinstimmen, und der Maßstab darf nicht so weit abweichen, daß er Einfluß hat.

In schwierigen Fällen oder bei sehr hohen Anforderungen an die Zuverlässigkeit werden die theoretischen Annahmen durch Ver-

suche überprüft. Dabei können theoretisch nicht bestimmmbare Parameter gewonnen werden. Ein Beispiel dafür sind die Kontrollversuche an mittig und außermittig gedrückten Stäben, die vor Einführung der neuen Stabilitätsvorschrift TGL 13503 gemacht worden sind. Die Stäbe bestanden aus  $W 60 \times 6$  mit vier unterschiedlichen Längen, die den gesamten Schlankheitsbereich erfassen. Sie waren mit verschiedenen Exzentrizitäten gelenkig gelagert oder mit rohen Schrauben angeschlossen. Die Abweichung der Ergebnisse an den jeweils 5 gleichartigen Proben betrug ca. 2 bis ca. 12 % des Mittelwertes.

Die Berechnung nach Theorie II. Ordnung hinsichtlich Verformungs- und Tragverhalten und das zunächst willkürlich angenommene Gesetz für die ungewollte Außermittigkeit sowie die festgelegten Sicherheitszahlen gegen Erreichen der Euler-Knicklast sind als sicher bestätigt worden. Auch die Auswertung aller in anderem Zusammenhang durchgeführten Versuche, bei denen ein Stab durch Knicken versagte, hat die Festlegungen der Vorschrift als auf der sicheren Seite liegend bestätigt.

Nicht für so allgemeine Anwendung, sondern nur auf ein bestimmtes Erzeugnis bezogen waren die Versuche an dem neu entwickelten plastbeschichteten Stahltrapezprofilblech EKOTAL.

Bei diesem Bauteil handelt es sich praktisch um ein großflächiges Faltwerk, das von dünnen Blechen gebildet wird. Diese Profilbleche haben im allgemeinen die Funktion eines Trag- und Hüllelementes zu erfüllen.

Die Ermittlung der Tragfähigkeit ist nur für wenige Beanspruchungszustände theoretisch möglich, z. B. für den durch reine Biegung beanspruchten Querschnitt. Hier brachten die Versuche nur geringfügige Korrekturen der berechneten Tragfähigkeiten. Bei den häufigsten Beanspruchungen, z. B. aus Biegung und Schub und örtlich konzentrierten Lasten im Auflagerbereich durchlaufender Profilbleche oder aus der Einleitung von Torsionsmomenten aus der Stabilisierung der Unterkonstruktion (Torsionsbettung), führten die theoretischen Untersuchungen zu keinen brauchbaren Ergebnissen hinsichtlich Tragfähigkeit und Verformungen. Möglicherweise lässt sich aus einer Vielzahl von Versuchen ein Modell entwickeln, das der Berechnung zugrunde gelegt werden kann. Außerdem müssen Verformungsgrenzen definiert werden, die zur Erreichung der Funktionstüchtigkeit des Hüllelementes gegebenenfalls im Zusammenwirken mit den anderen Teilen der Hülle eingehalten werden müssen, z. B. die Durchbiegung oder die Beulen in den Druckgurten der Profilbleche im Zusammenwirken mit Dämmenschichten oder die Neigung der Stege der Profilbleche bei Schubbeanspruchung.

Die Ermittlung von Parametern der Schubsteifigkeit der aus Profilblechen gebildeten Scheiben, war bei Anwendung einer Schraubverbindung nur experimentell möglich. Diese Experimente mussten an Scheiben geführt werden, die aus mehreren Profilblechen bestehen, wobei bei der Herstellung der Verbindung Baustellenbedingungen angestrebt werden mussten. Die im Einzelversuch an Verbindungen gemessenen Verformungen waren so unterschiedlich und nichtlinear, daß eine Übertragbarkeit auf Scheiben mit einer Vielzahl von Verbindungen nicht zuverlässig erschien. Im Großversuch ergab sich mit ausreichender Genauigkeit ein lineares Verhalten.

Durch die Versuche war eine wirtschaftliche Auslastung der Profilbleche möglich, was bei der großen Einsatzmenge erheblichen Nutzen bringt. Ferner konnten neben der unmittelbaren Verwendung bei dem untersuchten Erzeugnis allgemeingültige Erkenntnisse über das Tragverhalten von Dünblechbauteilen gewonnen werden. Diese sind u. a. Voraussetzung für eine Weiterentwicklung derartiger Erzeugnisse.

Auf ein ganz spezielles Bauteil beziehen sich die Untersuchungen an schweren geschweißten Trägern im Hochbau, die aus funktionellen Gründen (Durchführung von Klimatisierungsleitungen) eine große Anzahl von Aussparungen im Steg erhalten mußten. Bis-her war es üblich, bei hochbeanspruchten Trägern diese Aussparungen mit einem Flachstahl einzufassen. Bei einem großen Bauvorhaben wären davon etwa 1000 Aussparungen betroffen gewesen. Theoretische Untersuchungen dieses Problems lieferten unterschiedliche Werte und Spannungen über der Fließgrenze, deren Auswirkungen schwer abzuschätzen waren. Bei Belastungsversuchen an Trägermodellen im Maßstab etwa 1 : 2 an Trägern mit und solchen ohne Einfassung der kreisförmigen Aussparungen war das Trag- und Verformungsverhalten der beiden Gruppen von je drei gleichartigen Trägern annähernd gleich. Der Verformungsanteil aus Schub im Stegblech und die Schubspannung sind bei den Trägern ohne Einfassung mit einer entsprechend Lochdurchmesser und Lochabstand verminder-ten Stegfläche zu berechnen, während bei den Trägern mit Einfassung mit der vollen Stegfläche gerechnet werden darf. Maßstabs-Einflüsse sind bei den gewählten Verhältnissen nicht zu befürchten, da die Versuchsträger unter den gleichen Werkstatt-Bedingungen gefertigt wurden wie die Originalträger und ebenfalls aus verhältnismäßig dicken Blechen bestanden.

Damit konnte nachgewiesen werden, daß unter den vorliegenden Verhältnissen die Einfassung nicht erforderlich ist. Verallgemeinern läßt sich diese Erkenntnis auf Träger mit relativ großer Stegdicke, bei denen keine Beulgefahr besteht, mit kreisförmigen Aussparungen, deren Durchmesser nicht mehr als 40 % der Steghöhe beträgt. Ermüdungsbeanspruchung muß ausgeschlossen sein, weil bei den mittels mechanischer und elektrischer Verfahren durchgeföhrt Dehnungsmessungen den theoretischen Annahmen entsprechend örtliche Plastizierungen am Lochrand festgestellt worden sind, die bei statischer Beanspruchung keinen Einfluß auf die Tragfähigkeit und fast keinen auf das Verformungsverhalten haben, aber bei Ermüdungsbeanspruchung ähnlich wie Kerben wirken können.

Durch die Versuche konnte somit nachgewiesen werden, daß auch bei geringerem Herstellungsaufwand und Materialeinsatz die Funktionsfähigkeit der Träger gewährleistet ist. Der wirtschaftliche Nutzen dieser Versuche war so bedeutend, daß der Aufwand gerechtfertigt war.

Eine Zulassung von Bauteilen für eine bestimmte Last nur auf Grund von Versuchen ohne jegliche theoretische Auswertung sollte auf Sonderfälle beschränkt bleiben. Bei auch nur geringfügigen Veränderungen der Bauteile muß neu geprüft werden, weil der Einfluß der Veränderung im allgemeinen nicht abgeschätzt werden kann. Diese Art der Prüfung wird im wesentlichen bei solchen Bauteilen angewandt, die einer sinnvollen Berechnung nicht zugänglich sind und die in großen Stückzahlen ohne Veränderung gefertigt werden. Die gleichmäßige Qualität der Bauteile muß gegebenenfalls durch stichprobenweise Prüfungen kontrolliert werden.

Als Beispiel seien die Überwachungsprüfungen an Kupplungen für Stahlrohrgerüste genannt. Dabei handelt es sich um eine reine Funktionsprüfung. Die Kupplungen werden wie im Originalzustand an die Gerüstrohre angeklemmt, deren Durchmesser und Oberfläche den ungünstigsten in Wirklichkeit zu erwartenden Bedingungen entspricht. In einer hydraulischen Prüfmaschine wird so belastet, daß die Kupplung auf dem Rohr gleitet. Die Gleitlast ist das maßgebende Kriterium für die Funktion der Kupplung. Mit Meßuhren wird der Beginn des Gleitens festgestellt.

Ein weiteres Beispiel ist die Material-Überwachung der Gerüstrohre. Aus Gründen der Ökonomie und Liefermöglichkeit werden Rohre aus St R ohne gewährleistete Festigkeitseigenschaften verwendet. An 10 Proben je angefangene 20 t einer jeden Rohrlieferung, die stichprobenartig zu entnehmen sind, werden Streckgrenze und Bruchfestigkeit bestimmt und statistisch ausgewertet. Bei annähernd symmetrischer Verteilung wird mit Gaußscher Normalverteilung gerechnet. Als zu erwartender Mindestwert ist der Mittelwert minus  $3 \times$  Standardabweichung festgelegt. Schiefe Verteilungen werden nach Weibull ausgewertet. Wenn der Mindestwert oberhalb einer festgelegten Streckgrenze liegt, von der die zulässigen Spannungen abhängen, wird der Wareneingang zugelassen. In über zehnjähriger Praxis hat sich dieses Verfahren bewährt. Unter den gegebenen Verhältnissen ist es wirtschaftlich, auch wenn ein Teil der Wareneingänge für Tragwerke verworfen werden muß.

Durch experimentelle Untersuchungen an serienmäßig hergestellten geschoßhohen Fassadenelementen, bestehend aus Stahl- oder Aluminiumträgern, Faserbaustoffen, Gipskartonplatten, Plasteteilen, Glas und Metallblechen, sollte das Trag- und Verformungsverhalten überprüft werden. Das Zusammenwirken aller an der Übertragung der Lasten (Windlasten) beteiligten Elemente und der Einfluß ihrer Verformungen auf die Funktionstüchtigkeit der Fassade als Wetterschale konnte nur im Versuch festgestellt werden. Dabei war es auch hier erforderlich, Verformungsgrenzen zu definieren. Die Experimente wurden an zwei bzw. drei nebeneinander angeordneten Elementen einschließlich kompletter Fugengestaltung durchgeführt. Die Belastung wurde durch ein Luftpolster erzeugt, wobei der Druck auf die einzelnen Elemente auch unterschiedlich eingestellt werden konnte. Daraus konnten Rückschlüsse auf die Nachgiebigkeit der Fuge und die damit verbundene Dichtheit bei unterschiedlicher Verformung gezogen werden. Die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen führten zu konstruktiven Änderungen, die die Gebrauchseigenschaften des Serienerzeugnisses verbesserten. Sie sind allerdings in den wesentlichen Punkten nicht verallgemeinerungsfähig, da die konstruktive Gestaltung von Fassadenelementen unterschiedlich sein wird.

Allgemein vertreten wir die Meinung, daß Versuche wegen des großen Aufwandes nur dann gemacht werden sollten, wenn die Funktions- oder Tragsicherheit eines Bauteiles nicht nach bewährten Vorschriften nachgewiesen werden kann, wenn neue Theorien bestätigt werden müssen oder wenn die begründete Annahme besteht, daß sich das Tragwerk merklich anders verhält als die nur näherungsweise mögliche Berechnung ausweist. Bei zu erwartendem ungünstigerem Verhalten sind Versuche aus Sicherheitsgründen notwendig; bei günstigerem Verhalten dienen sie der Ökonomie.

Bei Vorbereitung und Auswertung der Versuche sollte darauf geachtet werden, daß die Ergebnisse möglichst verallgemeinert werden können, um weiteren Nutzen aus dem Versuchsaufwand zu ziehen. Dazu müssen im allgemeinen die Versuchsergebnisse mit theoretisch berechneten Werten verglichen werden.

Wenn Tragwerke nur nach Versuchsergebnissen zugelassen werden sollen, was in solchen Fällen notwendig ist, in denen keine ausreichend zutreffende Berechnung möglich ist, muß der erforderliche Sicherheitsabstand zwischen zulässiger Gebrauchslast und Versagenslast überlegt werden. Eine einfache Übernahme der Sicherheitszahlen, die für die statische Berechnung vorgeschrieben sind, ist nicht immer sinnvoll. Wenn die Versuchswerte auf einen zu erwartenden Mindestwert der Tragfähigkeit - aus mehreren gleichartigen Versuchen gewonnen - sowie auf die Normwerte der Festigkeit und der wirksamen Querschnitte umgerechnet sind, kann gegebenenfalls die Sicherheitszahl kleiner gewählt werden, weil die Unsicherheiten in der Wirkungsweise des Tragwerks durch die Versuche bereits erfaßt sind. Eine Auswertung mit Teilsicherheitsfaktoren im Sinne der Bemessung nach Grenzzuständen kann zweckmäßig sein, wobei die Einflüsse aus Abweichungen der Lasten, der Festigkeit und des statischen Systems getrennt berücksichtigt werden und auch die Bedeutung des Bauteils mit ein gehen kann.

Die Versuche an Bauteilen stellen neben den theoretischen Untersuchungen einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung der Technik, zur Erhöhung der Funktionssicherheit der Bauteile und zur Materialökonomie dar.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Unbedingte Voraussetzungen für die Nutzung ist die Tragsicherheit. Wenn sie wegen der Kompliziertheit des Bauteils und fehlender Erfahrungen nicht durch Berechnung nachgewiesen werden kann oder wenn neue Theorien zu bestätigen sind, werden Versuche gemacht. Bei der Versuchsauswertung sind besondere Überlegungen hinsichtlich der anzusetzenden Sicherheitszahlen erforderlich.

#### SUMMARY

An absolute condition for the use is the load safety. Wherever impossible to check in computation - due to construction's components very complicate or due to a lack of experiences, or in case of new theories which need to be controlled - it is necessary to proceed with tests. In the evaluation of results, particular attention shall be given to the safety factor.

#### RESUME

Une condition indispensable pour l'usage d'un ouvrage est la sécurité à la ruine. Lorsqu'elle ne peut être contrôlée par le calcul, par suite d'éléments de construction compliqués, par manque d'expériences, ou lorsque de nouvelles théories doivent être vérifiées, il y a lieu de procéder à des essais. Dans l'analyse des résultats d'essais, on accordera une attention particulière aux facteurs de sécurité à introduire.

Leere Seite  
Blank page  
Page vide