

Einfluß der technologischen Verdichtung auf den Zustand der Spannungen in Kastenträgern von Kränen

Wolny, St.; Siemieniec, A.; Dzik, St.; Dietz, P.

In diesem Referat haben die Autoren versucht, die Störungen des Spannungszustands (Distorsion) zu analysieren, die die Folge der durchgeführten Regeneration durch die Verdichtung der Kastenträger von Brückenkränen sind. Die technologische Verdichtung wird durchgeführt, um den Träger zu richten, der dauerhaft im Laufe des Betriebs verformt wurde. Die Wiederherstellung des „Nullpfeils“ der Durchbiegung ist möglich durch das Aufschweißen von Stahllaschen im unteren Teil des Kastenträgers. Diese Operation lässt sich bei der Vorverdichtung der Trägers (Schlagen) bis zum „Nullpfeil“ der Durchbiegung oder ohne Vorverdichtung durchführen. Die Vorverdichtung oder technologische Verdichtung ruft verschiedene Spannungen hervor, die in diesem Referat dargestellt werden. Einige Spannungszustände wurden mit Hilfe von tensometrischen Messungen ermittelt.

The report analysed the disturbances of distortion, which are consequences of the realised regeneration by compression of box girder from gantry cranes. The compression is realised in order to level the girder, which is deformed in the course of operation. The restoring of deflection is enabled by welding of steel straps on the bottom side of the box girder. Due to compression several tensions are generated. Some of them are determined with tensometric measurements.

Diese Verformungen wuchsen im Laufe der Betriebszeit von diesen Kränen an. Es können vertikale Durchbiegungen, parallele Verschiebungen von Teilen - oder horizontale Verschiebungen der Stege sein. Manchmal treten Verformungen auf, in denen nicht nur vertikale oder horizontale Verschiebungen zu beobachten sind, sondern es kann auch zur Drehung des Querschnitts vom Träger /3, 4, 5/ kommen. Der Verlauf des Anwachsens von Dauerdurchbiegungen der Kastenträger für einige Kräne, die in verschiedenen Abteilungen von HTS (Sendzimir-Hütte in Krakau) arbeiten, ist in **Bild 1** dargestellt.

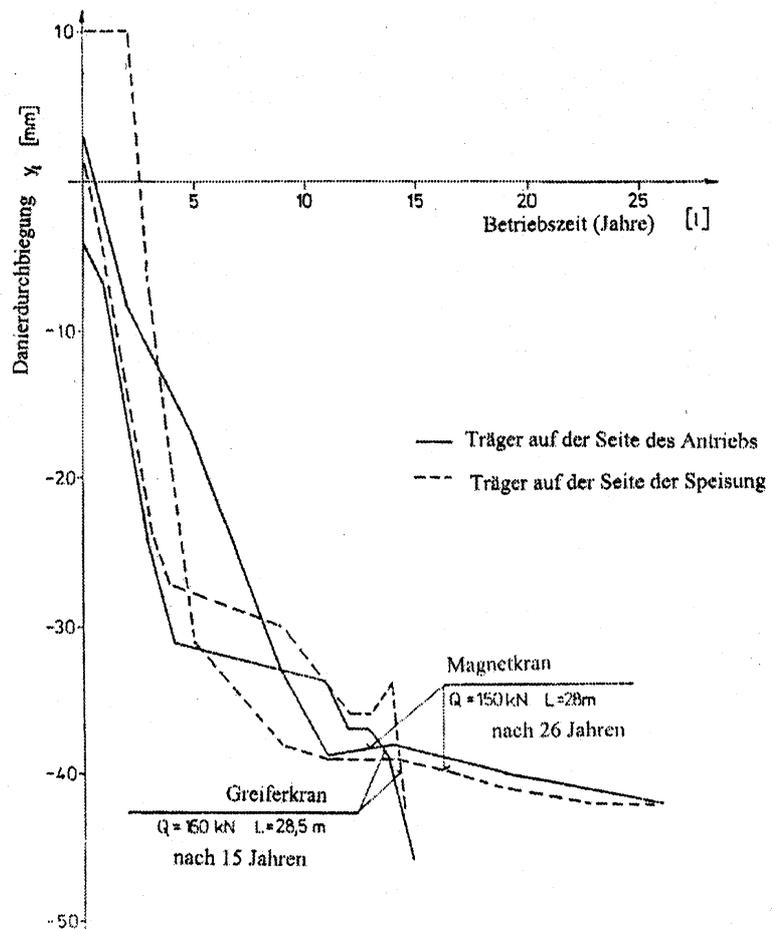


Bild 1: Verlauf des Anwachsens von Dauerdurchbiegungen der Kastenträger von Kränen

1 Einleitung

Die Kastenträger von Brückenkränen unterliegen während des Betriebs gewissen Dauerverformun-

Außerdem wurden horizontale Verformungen (des Unterteils und Oberteils) im gegebenen Träger der Kräne in **Bild 2** (geodätisches Dokument) dargestellt.

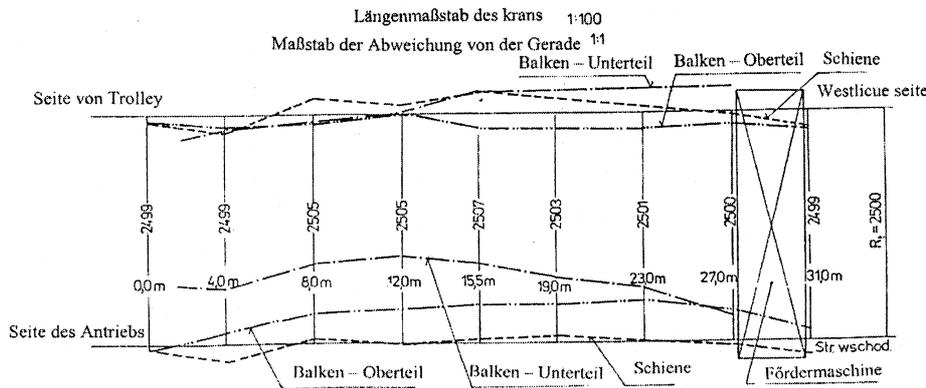


Bild 2: Geodätisches Dokument, das horizontale Verformungen des Oberteils und Unterteils vom ausgewählten Kastenträger des Krans darstellt

Seit vielen Jahren arbeitet man daran, die ursprüngliche (geradlinige) Form der Träger wiederherzustellen. Diese Arbeiten, sowohl theoretische /1, 2, 6, 7/ als auch Experimente an wirklichen Objekten /10, 11/ sowie an Modellen /1/ insgesamt haben dazu geführt, dass eine spezielle Methode der Regeneration von dauerhaft verformten Kastenträgern der Brückenkräne erarbeitet wurde. Es ist eine Methode, die das Phänomen des Schweißschumpfes von den auf Trägerteile aufgeschweißten Laschen ausnutzt. Solch eine „Verdichtung“ der Träger führt in die Konstruktion verschiedene Distorsionen ein. Diese Distorsionen rufen in den Elementen der Tragkonstruktionen von Kastenträgern der Brückenkräne Vorzustände der Spannung und Verformung hervor. Diese Zustände können sich unterschiedlich auf das Verhalten der Trägerkonstruktion im Laufe des Betriebs auswirken.

Um den unangenehmen Überraschungen während des Betriebs von regenerierten Kränen vorzubeugen - die eine Folge der in die Konstruktion während der Modernisierung eingeführten Distorsionen sind, beschloss man bereits in der Phase der Projektierung der Regeneration die negativen Einwirkungen der Distorsionen zu eliminieren.

Zu diesem Zweck wurden zwei Probleme analysiert:

a) Probleme der Vorzustände, die durch den bestimmten Distorsionszustand hervorgerufen werden,

b) Identifizierung der Distorsionszustände, die die bestimmten Vorzustände hervorrufen.

In diesem Referat wurde die Änderung des Spannungszustands dargestellt, die eine Folge der durchgeführten Regeneration von dauerhaft verformten Kastenträgern ist. Da die Kräne durch das Aufschweißen von Seiten- oder Unterlaschen sowohl direkt auf verformte Träger oder bereits durch das bisher übliche „Schlagen“ regenerierte Träger Instand

gesetzt werden, hat man es mit zwei Varianten der Verdichtung und deren Spannungszuständen zu tun, die analysiert werden müssen:

- Spannungszustand, der durch das Eigengewicht der Anlage, das Gewicht der Podeste hervorgerufen wird, und der die Folge von aufgeschweißten Seiten- oder Unterlaschen ist,
- Spannungszustand, der durch das Eigengewicht der Anlage, das Gewicht der Podeste, durch das „Schlagen“ der Träger hervorgerufen wird, und der die Folge von aufgeschweißten Seiten- oder Unterlaschen ist.

Die theoretische Analyse des Spannungszustands in den Querschnitten der Träger hat man mit Ergebnissen der Experimente (tensometrischen Messungen) verifiziert, die man an realen Objekten im Laufe der Regeneration durchgeführt hat (Ausgleichen der Dauerdurchbiegungen der Kastenträger von Kränen).

2 Spannungszustand in den Trägern der Kräne, der durch das Aufschweißen von Unter- und Seitenlaschen entsteht (zweistufige Verdichtung)

Den Gegenstand der Analyse bildet der Träger des Krans mit der Weite von $L = 28$ [m] und mit der Tragkraft von $Q = 125$ [kN]. Die Träger dieses Krans hatten Dauerdurchbiegungen, deren Werte betragen für den Träger auf der Seite der Speisung $f_z = 33$ [mm], und auf der Seite des Antriebs $f_n = 42$ [mm]. Den Prozeß des Ausgleichens von dauerhaften Durchbiegungen hat man in zwei Phasen durchgeführt. In der ersten Phase hat man die Lasche auf den Unterteil, und in der zweiten Phase zwei Seiten-

laschen auf den Steg aufgeschweißt. Die Arbeiten wurden von einem besonders zu diesem Zweck errichteten an den Trägern aufgehängten Gerüst aus durchgeführt. Das Gewicht des Gerüsts hat eine zusätzliche Durchbiegung der Trägern von $f_{sr} = 8 \text{ [mm]}$ verursacht, was zusätzliche Spannungen eingeführt hat. Die geometrische Charakteristik des Querschnitts eines regenerierten Trägers vor der Verdichtung und während des Aufschweißens von Laschen zeigt das **Bild 3**.

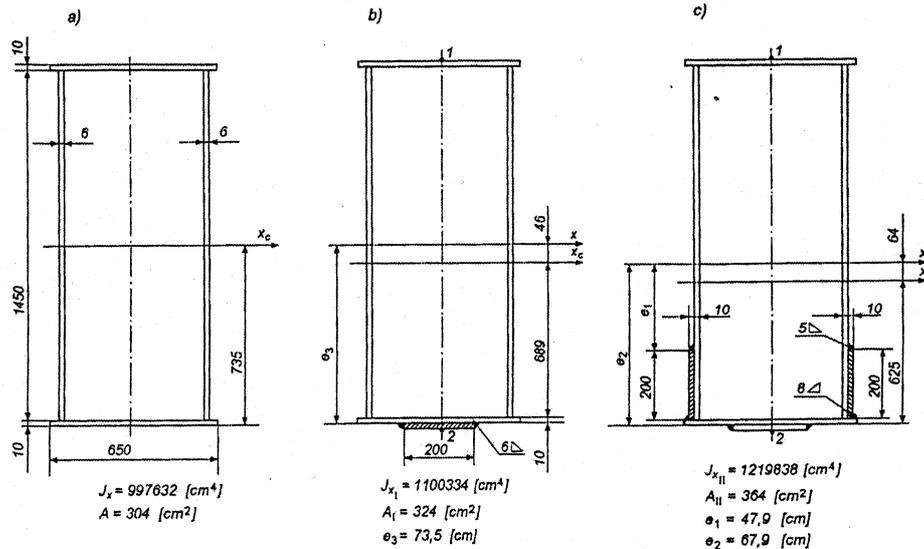


Bild 3: Geometrische Charakteristiken des Trägers, der einer zweistufigen Verdichtung ausgesetzt wurde

Der Spannungszustand im Querschnitt des Trägers vor der Verdichtung wurde verursacht durch das Eigengewicht der Konstruktion (das gleichmäßig verteilt war und den Charakter einer Dauerbelastung von $q = 5,3 \text{ [kN/m]}$ hatte) und durch das Gewicht des Gerüsts, das eine zusätzliche Durchbiegung des Trägers von f_{sr} verursachte (der Wert dieser Durchbiegung wurde geodätisch verändert). Die Werte von diesen Größen ermöglichten, die Höchstspannungen im Querschnitt des Trägers zu ermitteln, die entsprechend betragen:

$\sigma_w = 33 \text{ [MPa]}$ - Spannung vom Eigengewicht

$\sigma_r = 15,1 \text{ [MPa]}$ - Spannung vom Gerüstgewicht

Spannungen, die von der Verdichtung kommen, werden durch die Abhängigkeit (1) bestimmt /9/:

$$\sigma_s = nE\mu q_l \left(\frac{1}{A_{I(II)}} + \frac{y_x y}{J_{xI(II)}} \right) \quad (1)$$

n = die Zahl der Schweißnähte

E = Koeffizient der longitudinalen Elastizität

μ = $-3,53 \times 10^6 \text{ [cm}^3\text{/Zoll]}$ - Konstante

$q_l = 1400a^2 \text{ [Zoll/cm]}$ -Linearenergie der Schweißnaht

$J_{xI(II)}$ = Trägheitsmoment entsprechend in der ersten und zweiten Phase der Verdichtung

$A_{I(II)}$ = Querschnittsfläche entsprechend in der ersten und zweiten Phase der Verdichtung $[\text{cm}^2]$

y_x = Entfernung der Schweißnahtachse vom Schwerpunkt des Querschnitts $[\text{cm}]$

y = Entfernung der Faser von der Achse X_c , die durch den Schwerpunkt $[\text{cm}]$ geht.

Aus der Formel (1) hat man nach der Ermittlung entsprechender Größen

(vom Bild 3) die Werte der Spannungen entsprechend für die erste und zweite Phase der Verdichtung bekommen:

$\sigma_{s1} = 13,3 \text{ [MPa]}$ - Spannung im Oberteil,

$\sigma_{s2} = -26,6 \text{ [MPa]}$ - Spannung im Unterteil,

$\sigma'_{s1} = 19,1 \text{ [MPa]}$ - Spannung im Oberteil,

$\sigma'_{s2} = -104,5 \text{ [MPa]}$ - Spannung im Unterteil.

Während der Verdichtung im Bereich der Schweißnähte erscheinen Umformzonen, in denen Spannungen auftreten, die Dehnungen an der Grenze der plastischen Verformbarkeit des Stoffes R_e verursachen. Wenn die Vorspannungen /9/ auftreten, lassen sich die Größen der Umformzonen nach der Formel (2) ermitteln:

$$A'_{ell} = A_{ell} \frac{m_\beta}{1 - \beta} \quad (2)$$

Wenn es keine Vorspannungen gibt, ermittelt man die Umformzonen nach der Formel:

$$A_{el(II)} = \frac{1}{A_{I(II)} + \frac{y_x \cdot y}{J_{xI(II)}} + \frac{\varepsilon}{\mu q_1}} \quad (3)$$

m_β = Koeffizient, der den Einfluss von Vorspannungen bestimmt

$$\beta = \frac{\Delta_0}{\varepsilon_e} \quad (4)$$

Δ_0 = relative übrig bleibende Verformung:

$$\Delta_0 = \left(\frac{1}{A_1} + \frac{y_{srl}}{J_{xI}} \right) \mu q_1 n \quad (5)$$

n = die Zahl der Schweißnähte,

$\varepsilon_e = 12 \times 10^{-4}$ - elastische Verformung, die der Grenze der plastischen Verformbarkeit entspricht.

Der Wert des Koeffizienten m_β wird folgendermaßen /9/ angenommen:

$$\begin{aligned} m_\beta &= 1 - \beta && \text{für } 0 < \beta < 1 \\ m_\beta &= 1 - 2\beta && \text{für } -0,5 < \beta < 0 \\ m_\beta &= 4\beta && \text{für } -0,75 < \beta < -0,5 \end{aligned} \quad (6)$$

Für den besprochenen Fall $A_{el} = 13,34 \text{ [cm}^2\text{]}$,
 $A'_{ell} = 26,77 \text{ [cm}^2\text{]}$

Die in einzelnen Phasen der Verdichtung des Trägers auftretenden Spannungen und deren summarische Werte sowie Uniformzonen sind in **Bild 4** dargestellt:

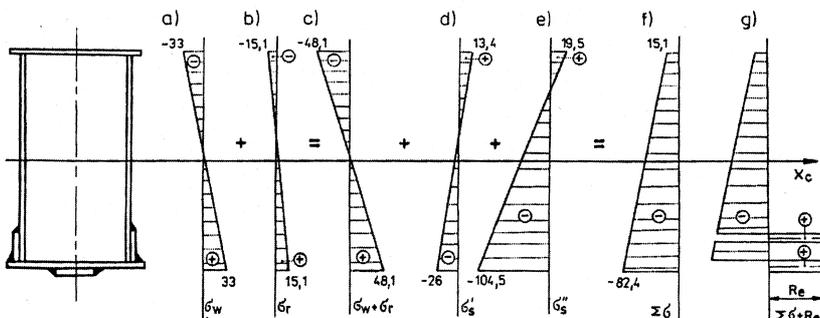


Bild 4: Zusammenstellung von Spannungen vor und nach der Verdichtung des Trägers.

Während der Verdichtung wurden tensometrische Messungen im Moment des Aufschweißens der Unterlasche und der Seitenlaschen durchgeführt. Die Stelle, wo die Tensometer aufgeklebt wurden und die Verteilung der Spannungen auf den Wänden des Stegs sind in **Bild 5** dargestellt.

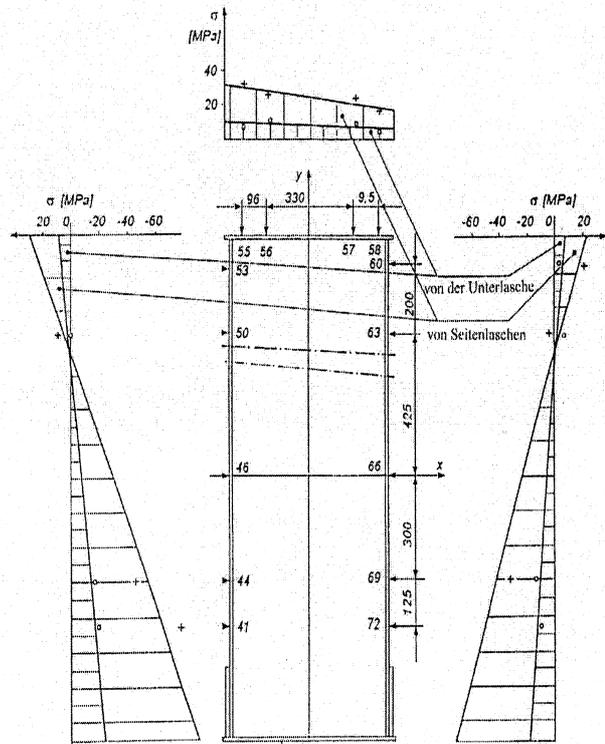


Bild 5: Anordnungen von Tensometern und Verteilung der Spannungen bei der Verdichtung in zwei Phasen

3 Spannungszustand in den Trägern der Kräne, der durch das Aufschweißen von Laschen hervorgerufen wird bei dem das „Schlagen“ des Trägers vorangeht

Den Gegenstand der Analyse bildet der Träger des Krans mit der Weite von $L = 19 \text{ [m]}$ und mit der Tragkraft von $Q = 200 \text{ [kN]}$. Die Träger dieses Krans hatten Dauerbiegungen, deren Werte betragen für den Träger auf der Seite der Speisung $f_z = 14 \text{ [mm]}$, und auf der Seite des Antriebs $f_n = 21 \text{ [mm]}$. Den Prozeß des Ausgleichens hat man mit Hilfe des „Schlagens“ der Träger bis zu „Nullpfeilen“ der Durchbiegung durchgeführt, und dann

hat man sie durch das Aufschweißen der Seitenlaschen verdichtet. Die geometrische Charakteristiken des Querschnitts des analysierten Trägers zeigt das **Bild 6**.

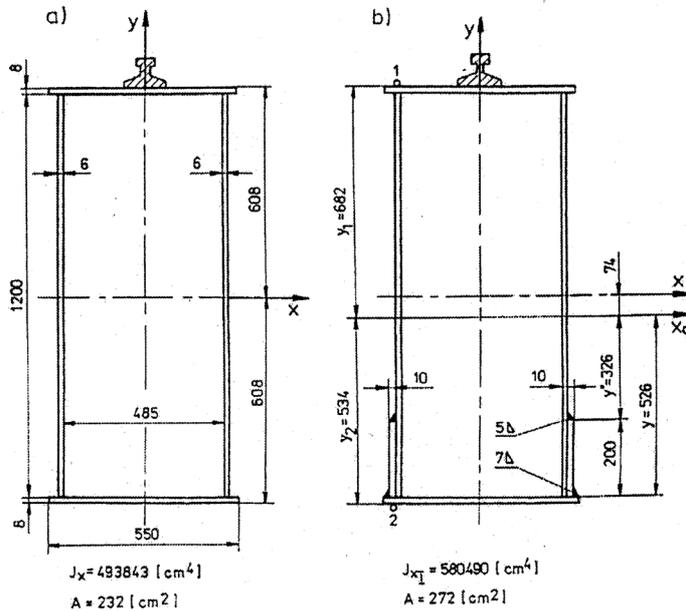


Bild 6: Geometrische Charakteristiken des Trägers, der mit Schlägen verdichtet wurde.

Ähnlich, wie in der im Punkt 2 analysierten Variante der Verdichtung kommen die Höchstspannungen im Querschnitt des Trägers von:

$\sigma_p = -80,6 [MPa]$ - Spannung vom Schlägen.

Spannungen, die von der Verdichtung kommen, werden ähnlich wie im Punkt 2 nach der Formel (1) ermittelt. Sie betragen entsprechend:

$\sigma'_{s1} = 26,2 [MPa]$ - Spannungen im Ober-

teil,

$\sigma'_{s2} = -121 [MPa]$ - Spannungen im Unter-

teil. Die in einzelnen Phasen der Belastung auftretenden Spannungen und summarische Spannungen im Querschnitt des Trägers sind in **Bild 7** dargestellt:

Während des Schlägens und der Verdichtung wurden tensometrische Messungen des Verformungszustands durchgeführt. Die Messpunkte und Diagramme der Verteilung von Spannungen nach „Schlägen“ und Verdichtung zeigt das **Bild 8**.

Auch in diesem Fall der Verdichtung entstehen Uniformzonen, in denen Spannungen gleich der Grenze der plastischen Verformbarkeit R_e sind. Die Größe der Umformzonen wurde für diesen Fall der Verdichtung nach der Formel (3) ermittelt, und sie betragen entsprechend:

für die Schweißnaht $a = 5 [mm]$ $A_{eI} = 9,55 [cm^2]$

für die Schweißnaht $a = 7 [mm]$ $A_{eII} = 16,35 [cm^2]$

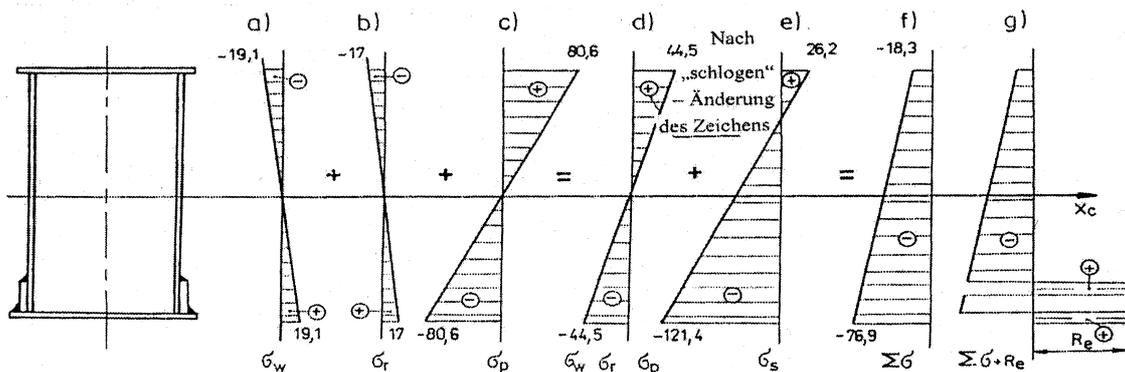


Bild 7: Zusammenstellung von gemessenen Spannungen nach Schlägen und Verdichtung.

$\sigma_w = 19,1 [MPa]$ - Spannungen vom Eigengewicht,

$\sigma_r = 17 [MPa]$ - Spannungen vom Gewicht des Gerüsts,

und auch von der Verformung, die durch das „Schlägen“ des Trägers hervorgerufen wird:

Die Größen von diesen Zonen wurden in Bild 7 dargestellt.

4 Schlussfolgerungen

Auf Grund von theoretischen Überlegungen und von durchgeführten Experimenten hat man folgende Schlüsse gezogen:

1. Auf die Träger wirken sich während der Verdichtung verschiedene Distorsionszustände aus, was zur Kumulation der Spannungen führt.

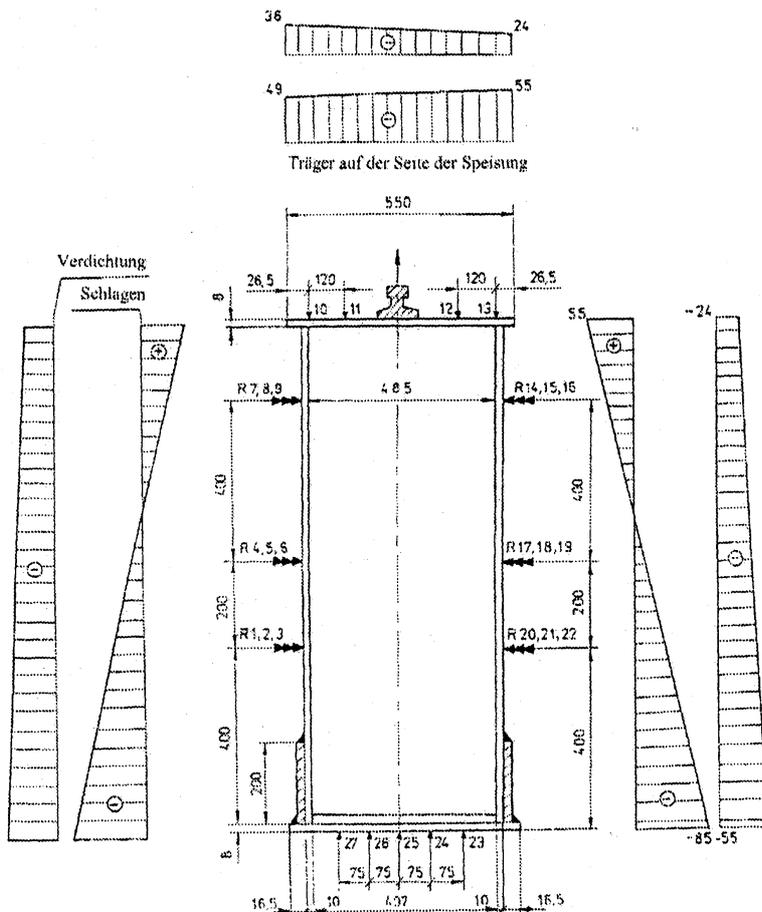


Bild 8: Anordnungen von Tensometern und Verteilung der Spannungen während des „Schlagen“ und der Verdichtung des Trägers

2. Die regenerierten Träger befinden sich im Zustand der Einwirkung von Druckspannungen sowohl in Oberteilen als auch in Unterteilen, aber die Spannungen in den unteren Fasern sind größer und betragen ca. 80 [MPa].
3. Im Bereich der Schweißnähte treten die Umformzonen auf, in denen es die Spannung gibt, die der Grenze der plastischen Verformbarkeit mit Pluszeichen R_e (Dehnungsspannung) erreichen.
4. Solch ein Spannungszustand kann sich auf die Betriebsfestigkeit der Träger auswirken, wenn sie der Nutzbelastung ausgesetzt werden. Deshalb ist das Verhalten von diesen Trägern während des Betriebs zu überwachen.

5 Literatur

- /1/ Blum A., Dzik S., Siemieniec A.: Badanie wartosci sil wewnetrznych w procesie spawania nakladek sprejajacych trwale odkształconych dźwigarów skrzynkowych suwnic pomostowych. XV wissenschaftliche Tagung der experimentellen Mechanik des Festkörpers. Jachranka 1992, S.23-26.
- /2/ Dzik S., Obrzud K., Wolny S., : Wplyw sprejania na stan naprezenia i odkształcenia skrzynkowego dźwigara suwnicy. ZN AGH Mechanika, Band 13, Heft 4. 1994, S. 507-519.
- /3/ Dzik S., Obrzud K.: Sprejanie dźwigarów skrzynkowych suwnic pomostowych odkształconych poprzecznie i posiadajacych trwale ugiecie pionowe. IX Konferencja - Probleme in der Konstruktion und Ausnutzung der Hütten- und Keramikmaschinen. II Zakopane 1996, S. 55-62
- /4/ Dzik S., Obrzud K.: Zagadnienia sprejania dźwigara skrzynkowego suwnicy w przypadkutrwałego odkształcenia pionowego, poprzecznego oraz obrotu przekroju. Konferencja - Probleme der Entwicklung von Arbeitsmaschinen. Zakopane 1997, S. 89-96
- /5/ Dzik S., Obrzud K.: Metodyka regeneracji dźwigarów skrzynkowych suwnic pomostowych odkształconych w płaszczyźnie poziomej. Przegląd mechaniczny Nr. 5-6, 1999, S. 16-22.
- /6/ Dzik S., Siemieniec A, Wolny S.: Das Richten von Stahlbauwerken durch gezielt aufgeschweißte Verstärklungsaschen. IMW-Mitteilung Nr. 23, TU Clausthal 1998, S. 165 - 170.
- /7/ Dzik S., Wolny S.: Technological compression as a mean to eliminate permanent deflections of the traveling crane carrying girders. Zbornik Slovenskích Prirodovedcov a Technikov. Fakty, Heft 2, Liptovsky Mikulas. 1999, S. 25-29.