

**Industrieboden Dr. Meyer GmbH**  
**Beratung - Planung - Beweissicherung - Vermessungen - Materialprüfungen**  
**Betonermüdungen und -schäden infolge von Fugenöffnungsweiten und**  
**Höhenversprüngen der Stahlstege von Stahldehnungsprofilen**

iii

Möserstraße 27  
40974 Osnabrück

Tel. 0541-5805471-0  
Fax 0541-5805471-19  
mobil 0172-5425979

email: [info@industriebodenplanung.com](mailto:info@industriebodenplanung.com)  
[www.industriebodenplanung.com](http://www.industriebodenplanung.com)  
Osnabrück HRB 206203



**Betonermüdungen und -schäden infolge von**  
**Fugenöffnungsweiten und Höhenversprüngen der Stahlstege**  
**von Stahldehnungsprofilen**

## **1. Vorbemerkungen**

Die Tragfähigkeit und ordnungsgemäße Funktionalität von Betonfugenkonstruktionen für Industrieböden sind bekanntlich abhängig von der Profilart, Stahlgüte, Geometrie und Einbindung in den Betonplattenquerschnitt.

Der nachfolgende Beitrag soll dazu dienen, die statischen und nutzungsbedingten Gegebenheiten im Bereich des Stahldehnungsprofils zu erfassen und die Wirkungsweise des Stahldehnungsprofils auf die empfindlichen Betonfugenflanken zu übertragen.

## **2. Statische Betrachtungen**

Die kinetische Bewegungsenergie von Flurförderzeugen induziert neben der Rollreibung durch Rauigkeiten/Unebenheiten ( $f_1$ ) insbesondere horizontale Scherkräfte bei Höhenversprüngen an Betonfugen (vgl. Bild 1).

Höhenversprünge entstehen z.B. durch Aufschüsselungseffekte infolge von Betonschwinden an Betonflanken ohne Querkraftverdübelungen oder ungleichmäßige vertikale Verschiebungen der Betonflanken beim Überqueren mit Flurförderzeugen. Auch bei fehlerhafter Wahl ungeeigneter Stahldehnungsprofile mit entstehenden

## **Industrieboden Dr. Meyer GmbH**

**Beratung - Planung - Beweissicherung - Vermessungen - Materialprüfungen  
Betonermüdungen und –schäden infolge von Fugenöffnungsweiten und  
Höhenversprüngen der Stahlstege von Stahldehnungsprofilen**

Höhenversätzen nach dem horizontalen Aufweiten geöffneter Fugenbreiten führen die dann ungleichen Höhen der beidseitigen Stahlkanten zu deren Verbiegungen und Abplatzungen an den angrenzenden Betonflanken.

Kleine Raddurchmesser sind ebenfalls in der Lage, bei entsprechenden Fugenöffnungen infolge von bereits geringfügigen Radeinsenkungen, schädigende Horizontalkräfte auszuüben.

Nachfolgend werden formelmäßige Zusammenhänge hergeleitet, die eine Abschätzung der nachteiligen Horizontalkraft F ermöglicht.

$$F_1 = f_1 \cdot G / r \quad \text{Gl. (1)}$$

$$r^2 = f_2^2 + b^2 \quad \text{Gl. (2)}$$

$$r = a + b \quad \text{Gl. (3)}$$

$$f_2 = (r^2 - (r-a)^2)^{0,5} \quad \text{Gl. (4)}$$

Gleichgewichtsbedingung: Summe der Momente = 0

$$F \cdot b - V \cdot f_2 = 0 \quad \text{Gl. (5)}$$

$$R = G = (F^2 + V^2)^{0,5} \quad \text{Gl. (6)}$$

$$F = G \cdot (f_2^2 / (f_2^2 + (r-a)^2))^{0,5} \quad \text{Gl. (7)}$$

Die Gleichung (7) erlaubt die Berechnung der Horizontalkraft F in Abhängigkeit von dem resultierenden Gewicht G der Lasträder, dem Radius r der Lasträder und der vertikalen Maßdifferenz a des Höhenversprunges gemäß Bild 1

Die Rollwiderstandskraft  $F_1$  nach Gl. (1) errechnet sich annähernd mit  $f_1 \sim 1\text{mm}$  zu  $F_1 = G/r$  und wird im Folgenden vernachlässigt.

## **Industrieboden Dr. Meyer GmbH**

**Beratung - Planung - Beweissicherung - Vermessungen - Materialprüfungen  
Betonermüdungen und -schäden infolge von Fugenöffnungsweiten und  
Höhenversprüngen der Stahlstege von Stahldehnungsprofilen**

### **3. Beispielrechnungen**

#### **Beispiel 1**

##### **Vorgaben**

Gesamtgewicht Hochregalstapler: 125 KN

Schwingbeiwert  $\Phi = 1,4$

Lastanteil Vorderachse (belastet): 0,9

Radlast  $G = 1,4 * 0,9 * 125 \text{KN} / 2 = 80 \text{KN}$

Radius Lastrad  $r = 150 \text{mm}$

Höhenversprung der Stahlstege zueinander  $a = 2 \text{mm}$

##### **Berechnung**

$f_2 = (150^2 - (150-2)^2)^{0,5} = 24,4 \text{mm}$

$F = 13 \text{KN}$

#### **Beispiel 2**

##### **Vorgaben**

Gesamtgewicht Hochregalstapler: 125 KN

Schwingbeiwert  $\Phi = 1,4$

Lastanteil Vorderachse (belastet): 0,9

Radlast  $G = 1,4 * 0,9 * 125 \text{KN} / 2 = 80 \text{KN}$

$r = 190 \text{mm}$

$a = 2 \text{mm}$

##### **Berechnung**

$f_2 = (190^2 - (190-2)^2)^{0,5} = 27,5 \text{mm}$

$F = 11,6 \text{KN}$

## **Industrieboden Dr. Meyer GmbH**

**Beratung - Planung - Beweissicherung - Vermessungen - Materialprüfungen  
Betonermüdungen und -schäden infolge von Fugenöffnungsweiten und  
Höhenversprüngen der Stahlstege von Stahldehnungsprofilen**

### **Beispiel 3**

**Vorgaben     Lastrad in der Fugenöffnung**

$$r=75\text{mm}$$

$$f_2 = 10\text{mm}$$

$$\text{Fugenbreite } 2 \cdot f_2 = 20\text{mm}$$

#### **Berechnung**

$$r^2 = f_2^2 + (r-a)^2$$

$$\text{Höhenversprung } a = r - (r^2 - f_2^2)^{0,5} = 0,67\text{mm}$$

$$F = G \cdot 0,067$$

### **Beispiel 4**

**Vorgaben     Lastrad in der Fugenöffnung**

$$r=30\text{mm}$$

$$f_2 = 10\text{mm}$$

$$\text{Fugenbreite } 2 \cdot f_2 = 20\text{mm}$$

#### **Berechnung**

$$\text{Höhenversprung } a = r - (r^2 - f_2^2)^{0,5} = 1,72\text{mm}$$

$$F = 0,33 \cdot G$$

## **4. Beanspruchbarkeit der Fugenkonstruktion infolge von dynamischen Horizontalkräften als Druckschwellbelastungen auf den Beton**

Auch Fugenkonstruktionen mit Stahldehnungsprofilen sind stets pflege- und wartungsbedürftig. Das zeigen die insbesondere in Fahrgassen von Flurförderzeugen immer wieder entstehenden Abplatzungen der Betonflanken, stellenweise einhergehend auch mit horizontalen Verbiegungen der vertikalen Stahlstege. Nachfolgend soll durch Fallbeispiele quantitativ bewertet werden, inwieweit durch einwirkende, dynamische

## **Industrieboden Dr. Meyer GmbH**

**Beratung - Planung - Beweissicherung - Vermessungen - Materialprüfungen  
Betonermüdungen und –schäden infolge von Fugenöffnungsweiten und  
Höhenversprünge der Stahlstege von Stahldehnungsprofilen**

Horizontalkräfte zwangsläufig Mängel bzw. Schäden an Fugenkonstruktionen entstehen.

Die Betonflanken unterliegen dabei einer Ermüdungsbeanspruchung infolge von Druckschwellbelastungen und in Abhängigkeit von Lastwechselzahlen.

Nach *Klausen/Weigler* „Betonfestigkeit bei konstanter und veränderlicher Dauerschwellbeanspruchung“, *Betonwerk + Fertigteil-Technik* 45 (1979), H.3, S. 158-163

kann für Normalbeton von einer Quasi-Druckschwellfestigkeit  $\sim 0,4 f_{cm}$  ausgegangen werden.

### **Beispiel 5**

#### **Vorgaben (aus Beispiel 1)**

Gesamtgewicht Hochregalstapler: 125 kN

Schwingbeiwert  $\Phi = 1,4$

Lastanteil Vorderachse (belastet): 0,9

Radlast  $G = 1,4 * 0,9 * 125 \text{ kN} / 2 = 80 \text{ kN}$

Radius Lastrad  $r = 150 \text{ mm}$

Höhenversprung der Stahlstege zueinander  $a = 2 \text{ mm}$

Betondruckfestigkeit  $f_{cm} = 30 \text{ N/mm}^2$

Breite Lastrad 160 mm

Stahlstegdicke 6 mm

Wirktiefe des anprallenden Lastrades auf den Stahlsteg  $6 \text{ mm} * \sin 30^\circ = 3 \text{ mm}$

Fugenabstand der Betonfelder 35 m

#### **Berechnung**

Fugenöffnungsweite  $2f_2 = 35.000 * 0,5^{2/2} * 1000 = 17,5 \text{ mm}$ ;  $f_2 = 17,5 / 2 = 8,75 \text{ mm}$

Radeinsinktiefe  $a = a = r - (r^2 - f_2^2)^{0,5} = 0,26 \text{ mm}$

$F = 4,7 \text{ kN}$  aus Gl. (7)

Wirkfläche des anprallenden Lastrades:  $A_w = (160 + 2 * 3) * 3 = 498 \text{ mm}^2$

Ermüdungsdruckkraft:  $S = 0,4 * f_{cm} * A_w / 1.000 \sim 6,0 \text{ kN}$

Sicherheit gegen Ermüdung:  $Y_m = 6 / 4,7 = 1,3$

## **Industrieboden Dr. Meyer GmbH**

**Beratung - Planung - Beweissicherung - Vermessungen - Materialprüfungen  
Betonermüdungen und –schäden infolge von Fugenöffnungsweiten und  
Höhenversprüngen der Stahlstege von Stahldehnungsprofilen**

Bei der Stahlstegdike von nur 4mm reduziert sich die Wirkfläche  $A_w$  auf

$$A_w = 4 \cdot \sin 30^\circ \cdot (160 + 2 \cdot 4 \cdot \sin 30^\circ) = 328 \text{ mm}^2$$

Ermüdungsdruckkraft:  $S = 0,4 \cdot f_{cm} \cdot A_w / 1.000 \sim 3,9 \text{ KN}$

Sicherheit gegen Ermüdung:  $Y_m = 3,9 / 4,7 = 0,84$

Dauerhaftigkeit ist nicht gewährleistet!

### **5. Zusammenfassung und Folgerungen**

Im Abschnitt 2 konnte unschwer quantitativ gezeigt werden, dass mit entstehenden Höhenversprüngen in den Fugenflanken oder starken Fugenaufweitungen beträchtlich hohe horizontale Scherkräfte  $F$  infolge der Nutzung mit Flurförderzeugen eingeleitet werden, die zwangsläufig zu Ermüdungen der Betonflanken führen.

Die quantitativ ermittelten Horizontalkräfte auf den Beton sowie die Folge von Betonabbrüchen und Betonabplatzungen durch Ermüdungen –insbesondere im Bereich von Fahrgassen- decken sich mit den Erfahrungen des Unterzeichners.

Statische Nachweise der Fugenkonstruktion haben eine außerordentliche Wichtigkeit. Diese reichen jedoch zur Beurteilung einer nachhaltigen Dauerhaftigkeit und Gebrauchsfähigkeit allein nicht aus. Die Annahme, dass mit der Einhaltung von Grundregeln in der Fugenkonstruktion ein pflege- und wartungsfreies Bauteil geschaffen wird, wurde in den vergangenen Jahren stets widerlegt.

Insbesondere die Wahl von übertriebenen Fugenfeldgrößen fugenarmer Betonsohlplatten führen dann zu nachteiligen Fugenöffnungsweiten mit der Induzierung ungeplanter Schadensmechanismen.

Dieser Beitrag soll auf die Beachtung der richtig zu wählenden planerischen Vorgaben hinweisen.

---