

## 1. Problembeschreibung

### 1.1. Grundproblem

Gravierendstes Problem an einem waagerechten, durch rollenden Verkehr belasteten Bauteil wie Industriefußböden ist die Fugenausbildung.

Folgende Mängel stellen sich bei der bisherigen Fugenausbildung immer wieder ein:

- Aufwölbung bzw. Pumpen der Plattenränder
- Abriß der Vergußmasse
- Abbröckeln der Fugenkanten

Als Lösungsmöglichkeit zur Behebung dieser Schäden haben sich im Laufe der Zeit zwei Varianten herausgebildet:

#### 1.1.1. fugenlose Industriefußbodenausbildung

Fugenlose Industriefußbodensysteme werden alle nach dem Kriterium der Herabsetzung des E-Moduls und der damit verbundenen Aufnahmemöglichkeit von Längenänderung im begrenzten Umfang konzipiert.

Neben diesem Vorteil entstehen bei diesem Systemen zwei wesentliche Nachteile:

- mit der Verringerung des E-Moduls auch Verringerung der Festigkeit
- Herstellung im 2-schichtigen Verfahren mit den in Baukreisen bekannten Verbundproblemen.

#### 1.1.2. konstruktive Ausbildung der Fugen

Den skizzierten Nachteilen wurden mit der Entwicklung des monolithischen Betoneinbaus Rechnung getragen.

- Vergrößerung der Feldgrößen ohne Fugen bis auf 400 m<sup>2</sup>
- monolithische Einbaumöglichkeit von Hartstoffschichten ohne Verbundprobleme

Aber auch bei diesem Verfahren zeigte sich im Laufe der Zeit, dass die Fugenausbildung nach wie vor die schwächste Kette im System war, zumal die Feldgrößen sich wieder bis auf ca. 100 m<sup>2</sup> zurückentwickelten. Eine Überprüfung der konstruktiven Fugenausbildung war somit unumgänglich.

## 1.2. Längenänderung

Mögliche Längenänderungen des Betons müssen gem. DIN 1045 sowie nach dem hook'schen Gesetz betrachtet werden.

Die Längenänderungen im Beton resultieren hauptsächlich aus gleichmäßigem Schwinden (Langzeiteffekt) und gleichmäßiger Temperaturdifferenz. Im Hallenbereich ist im wesentlichen

# DAS CCF<sup>®</sup> INDUSTRIEFUSSBODEN-SYSTEM

## Fugen/HIT Fugenbewehrungssystem 9/04

praxis aktuell 06

Seite 2

die Temperaturdifferenz zwischen Hydratationswärme und der Nutzungstemperatur der Hallensohle zu betrachten.

Außenflächen müssen gesondert betrachtet werden.

Die auftretenden Längenänderungen werden durch den Reibungsbeiwert zwischen Unterbau und Beton sowie der flächig wirkenden Auflast bestimmt.

Hieraus wird deutlich, dass das Fugenproblem bei der gleichen Halle unterschiedlich betrachtet werden muss, je nachdem, ob der Hallenboden im Sommer oder im Winter eingebaut wird oder ob speziell flächig wirkende Belastungen früh oder spät aufgebracht werden.

Die aus dem gewählten System auftretenden Zugspannungen müssen gesondert betrachtet und bei der Bewehrungswahl berücksichtigt werden.

Globalaussagen zur Fugenausbildung sind daher nicht möglich.

### Berechnungsansätze:

$$\text{Temperatur } \Delta t = \alpha T \quad \alpha T = 10^{-5} \text{K}^{-1} \quad t = \text{°C} \quad L = \text{mm}$$

$$\text{Schwinden } \Delta s = \frac{1}{2} \Delta s_0 \quad \text{gem. DIN 1045 } \Delta s_0 = 25 \times 10^{-5}$$

Bei einer angenommenen Temperaturdifferenz von 20 °C (Betonhydratationswärme ca. 25 – 28 °C, min. Nutzungstemperatur 5 – 8 °C) und dem Schwindfaktor  $\Delta s_0 = 25 \times 10^{-5}$  wird die Längenänderung gemäß Hook'schem Gesetz folgende Werte für  $L = 1000 \text{ mm}$  erreichen:

(siehe Betonkalender 1987 Teil II S. 690 Tab. 3.3)

$$\Delta t_{x,y} = 10^{-5} \times 20 \times 1000 = 0,200 \text{ mm/m}$$

$$\Delta s_{x,y} = 0,5 \times 25 \times 10^{-5} = \underline{0,125 \text{ mm/m}}$$

$$\Delta s_{IG, x,y} = 0,325 \text{ mm/m}$$

Durch die vorhandenen Randbedingungen wird die Längenänderung behindert. Es wird mit einem Faktor 0,5 gerechnet, durch den die anzusetzende Gesamtlängenänderung auf 0,160 mm/m begrenzt wird.

Demnach beträgt die Längenänderung bei einer Plattenlänge von 5,0 m = 0,80 mm und bei einer Plattenlänge von 10,00 m = 1,60 mm.

Da die fugen im Regelfall nur 4 mm breit ausgeführt werden dürfen (nur dies ist bei Gabestaplerbetrieb mit kleinen Vulkolanrädern eine zulässige Breite), liegt bei einer maximalen Dehnfähigkeit des Vergußmaterials von ca. 20 % die größte zul. Feldlänge bei  $4,0 \text{ mm} \times 20 \% = 0,80 \text{ mm} : 0,16 = 5,00 \text{ m}$ .

Materialien mit höherer Dehnfähigkeit halten den Belastungen im Industriebau nicht stand, so dass die Grenzen der Systeme durch diese theoretischen Überlegungen sehr leicht verständlich werden.

### 1.3. Fugenausbildung

Bei der Beurteilung von Fugenausbildungen spielen zwei Prokreise eine wesentliche Rolle:

- Oberflächenausbildung mit dem Ziel, eine möglichst schmale Fuge (Annäherung an einen fugenlosen Industriefußboden) zu erzielen
- max. Querkraftübertragung zur Erzielung eines statisch gering dimensionierten Industriefußbodens mit minimalen Biegespannungen (Wirksamkeitsgrad der Querkrafttragung)

Zur besseren Beurteilung werden die bisherigen Fugensysteme dargestellt.

#### 1.3.1. Raumfugenausbildung

Gesamte Trennung der Fugenflanken mit Abstelung durch Trennmaterialien, z. B. Holz, Weichfaser, Styropor b = 20 mm.

Bei einer solchen Fugenausbildung beträgt der Wirksamkeitsindex einer Fuge 0 %, wodurch sich folgende Biegezugspannungen ergeben:

$$\sigma_{R} = 2 \sigma_{M}$$

SR= Biegezugsp. Plattenrand

SM= Biegezugsp. Plattenmitte

Hieraus resultiert eine starke Dimensionierung der Industriefußbodensysteme. Da hierauf aus Kostengründen häufig verzichtet wird, führt dieses dann zur Aufwölbung bzw. zum Pumpen der Plattenränder mit dem dazugehörigen Fugenvergussabriss und Abplatzungen der Fugenkanten.

Bei der breiten Fugenausbildung von 20 mm belasten die heute im Industriebau üblichen Gabelstapler mit sehr kleinem Raddurchmesser die Fugenkanten überdurchschnittlich und führen ebenso zu Kantenabplatzungen.

Aufgrund der Vielzahl der o. g. Probleme sollte heute im Industriefußbodenbau in geschlossenen Industriehallen mit relativ konstanten Temperaturschwankungen bis auf die Trennung an aufgehenden Baustellen auf Raumfugen verzichtet werden.

#### 1.3.2. Pressfugenausbildung

##### 1.3.2.1. Nut- und Federverdübelung

Bei dieser Art der Fugenausbildung soll über das System Nut- und Federverdübelung nach erfolgter Verkürzung beim Zusammenschluß der Betonflanken eine höhengerechte Annäherung erreicht werden.

Querkraftübertragung ebenfalls 0 %, so dass es wie oben beschrieben leicht zu einer Überbelastung und damit zu einem Abriss der Fugenvergussmasse bzw. einer Aufwölbung führen wird.

# DAS CCF<sup>®</sup> INDUSTRIEFUSSBODEN-SYSTEM

Fugen/HIT Fugenbewehrungssystem 9/04

praxis aktuell 06

Seite 4

Dieser Erscheinung wollte man entgegenwirken, indem mit einer durchgehenden unteren Lage Baustahlgewebe gearbeitet wurde.

Aufgrund der Erfahrungen zeigte sich eine deutliche Erhöhung der Querkraftübertragung mit nur geringen Aufwölbungen der Plattenränder.

Letztlich stellte sich auch diese Fugenausbildung als unpraktikabel heraus, da durch das gerippte Torstahl eine Längenänderung an den Fugen behindert wurde.

Die notwendigen Längenänderungen stellten sich nicht an den Fugen, sondern an irgendeiner Schwachstelle im System, z. B. bei ungenügender Überdeckungslänge des Baustahlgewebes, durch unkontrollierte Rissbildung ein.

## 1.3.2.2. Stabstahlverdübelung

Um den o. g. Fehlern entgegenzuwirken, wurde aus dem Betonstraßenbau die Stabstahlverdübelung übernommen. Durch bitumierte oder kunststoffummantelte glatte Stabstähle mit sehr großem Durchmesser von ca. 20 – 26 mm und relativ großem Abstand  $e = 300 - 500$  mm können die Fugen eine nicht beschränkte Längenänderung mitmachen.

Die Aufgabe eines Dübels besteht lediglich darin, die Querkraftübertragungen von einem freien Plattenrand zum Nachbarrand zu gewährleisten. Da an einer derartig ausgebildeten Fuge (die untere Bewehrungslage ist getrennt) keine Behinderung der Längenänderung erfolgt, wird sich die gesamte Längenänderung auf diese Fuge konzentrieren (an den Scheinfugen wird nur die obere Bewehrung getrennt, die untere geht durch).

Hierbei kann das Problem des „Paketreißen“ entstehen, d. h. eine Fuge öffnet sich überproportional, während z. B. die folgenden 3 Fugen keine Längenänderung erfahren und sich dann erst wieder die vierte öffnet.

Parallel wurde ein Wirksamkeitsindex von 50 – 60 % und damit eine wesentliche Reduzierung der Biegezugspannungen am Plattenrand  $\sigma_{R}$  erzielt.

Im Betonstraßenbau wird diese Art der Fugenausbildung seit Jahren mit Erfolg in Fahrtrichtung eingesetzt, wobei die Längsscheinfugen mit geripptem Torstahl verankert werden.

Da im Hallenbau eine Fugenausbildung sowohl in X- als auch in Y- Richtung für eine gleiche Belastung ausgelegt werden muß, würde es bei einem Einsatz von Dübeln an allen Fugen zu einer Behinderung der Längenänderung in X- oder Y- Richtung führen.

In der Praxis hat sich speziell bei hoher Temperaturdifferenz im Eingangsbereich häufig ein Abriss am Dübelende eingestellt, wobei eingefügt werden sollte, dass diese Gefahr im Hallenbau mit relativ konstanten Temperaturen wesentlich geringer ist, als bei Freiflächen.

Aufgrund der o. a. Erläuterungen scheidet dieses System für quadratische größere Flächen aus und kann nur bei einem Betoneinbau in schmalen, langen Bahnen mit in Längsrichtung durchgehender Bewehrung eingesetzt werden.

## 1.3.3. Scheinfugenausbildung

Durch nachträgliches maschinelles Fugenschneiden 25 % xd, sollte eine Schwachstelle hergestellt werden, die eine Längenentlastungsstelle darstellen sollte.

## 2. Gesteuerte Rißbildung durchgehender Bewehrung

Es muss unbedingt darauf hingewiesen werden, dass bei der gewählten Variante die Grenzen des Systems erreicht sind, wenn gem. Betonkalender 1987 Teil II S. 690 „durch Anker oder durchgehende Bewehrung zugfest verbundene Plattenketten eine Länge von 40 – 60 m berschreiten“.

Diese Angaben gelten für Freiflächen mit höheren Spannungen aus Temperaturdifferenzen und können in Industriehallen bis auf 100 m erhöht werden.

### 2.1. Quadratische Felder

Als weiterer Lösungsvorschlag wird das Betonieren in großen, möglichst quadratischen Feldern dargestellt.

Aufgrund der unter Pkt. 1.3.2 dargestellten Problematik muss darauf hingewiesen werden, dass dann auf eine Verdübelung verzichtet werden kann und statt dessen eine Verankerung der Tagesfugen erfolgen muss, damit die Längenänderung der Prefugen gehindert wird.

Ansonsten würden sich bei einem Feld von ca. 30 m Länge an den Scheinfugen, mit unten durchgehender Bewehrung an den Tagesfugen gem. o. a. Erläuterungen, Längenänderungen von ca. 4,80 mm einstellen.

Aus diesem Grund muss die untere Bewehrung auch an den Tagesfugen durchlaufen und eine Abstllung oberhalb der Bewehrung mit einer Stahlschalung durchgeführt werden.

Um das Auslaufen des Betons unterhalb der Schalung und damit das aufwendige Reinigen am nächsten Tag zu verhindern (wird der Beton an dieser kritischen Stelle nicht entfernt, vermindert sich die Betonstrke und die untere Bewehrungslage wird nicht richtig eingebunden), muss die Schalung bis auf Planumhhe eingestellt werden und die untere Bewehrungslage unterbrochen werden.

Die unterbrochene Bewehrungsführung wird durch eine mit im Betonquerschnitt einzulegende Verankerung ersetzt. Diese Verankerung sollte den gleichen Stahlquerschnitt wie die Bewehrung erhalten.

Diese Verankerung muss durch eine Klapstahlschalung gesteckt werden, bei der der obere Schalungsteil nach dem Betonieren abgetrennt und somit ohne ein Lösen der Anker vom Beton ausgeschalt werden kann. Darüber hinaus wird durch die Anordnung des Ankers in Betonquerschnittmitte eine bessere Querkraftübertragung gewährleistet, ohne dass die Gefahr des Ausreiens bei Querkraftübertragung besteht.

An den Scheinfugen besteht diese Gefahr nur untergeordnet, da hier die Rissverzahnung des Querschnittes neben der Stahleinlage mit zur Querkraftübertragung herangezogen werden kann.

## 2.2. Lange Felder

Von der Ausbildungsvariante des Betoneinbaus in großen quadratischen Flächen wird aber aus nach folgenden Gründen abgeraten und der Betoneinbau in Abahnen von max. 5,00 m als mögliche Ausführung unter nachfolgenden Gesichtspunkten festgelegt:

- Betoneinbau mit Z-Mastbetonpumpen, die bei einem Arbeiten in Bahnen es weitestgehend ermöglichen, dass die Höhenlage der Bewehrung nicht durch das Betonieren mit Rohrleitungen verändert wird
- bessere Gewährleistung des Arbeitsablaufes bei Flächenbetonarbeiten und Hartstoffeinbau, speziell bei hohen Außentemperaturen in Zusammenhang mit der gewählten Betongüte und der daraus resultierenden hohen Hydratationswärme
- arbeitstechnisch leichtere Erzielung der geforderten Ebenflächigkeit

Durch den gewählten Vorschlag werden folgende Anforderungen erfüllt:

- Behinderung der Längenänderung an allen Fugen
- keine Überdehnung des Vergussmaterials
- keine für den Gabelstapler schädliche Fugenaufweitungen
- Konzentration der gesamten Längenänderung auf eine mit Profilen auszubildende Raumfuge (Brandwände mit Schleppprofilen in den Durchfahrtsbereichen).
- Gute Reinigungsmöglichkeit von Restbeton und Hartstoff an den Tagesfugen
- Ausbildung aller Tagesfugen nach dem gleichen Konstruktionsprinzip

„Warum soll in X-Richtung etwas falsch sein (Verankerung der Fugen), was in Y-Richtung (durchgehende untere Bewehrung) als richtig betrachtet wird.“

## 2.3. Weitere Hinweise:

Bei der gewählten Ausbildungsvariante muss folgendes unbedingt beachtet bzw. überprüft werden:

- kann die in Abhängigkeit von der Belastung gewählte Feldbewehrung die auftretenden Zugbeanspruchungen bis an den Plattenrand übertragen (Brandwand/Außenwand)
- Bestimmung der Dicke der Trennlage an Zwangspunkten wie Stützen und Einbauteilen
- Überprüfung des Dübeldurchmessers und Abstandes gem. Betonkalender 1987 S. 690

### 3. Lösungsbeschreibung

Die nachfolgenden Ausbildungsgrundsätze sind entsprechend an die Veröffentlichungen von Prof. Eisenmann angelehnt.

- Betonfahrbahnen Entwurf-Berechnungen-Ausführung 1979. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn
- Betonkalender 1987 Teil II S. 641 ff.

Auf der Suche nach einer konstruktiven Fugenausbildung, die die aufgezeigten Nachteile nicht aufweist, müssten folgende Ansätze berücksichtigt werden:

- Gültigkeit für alle Fugen, also Preß- und Scheinfugen
- optimale Oberflächengestaltung
- max. Wirksamkeitsindex der Fugen, um bei der Bemessung eine möglichst kostengünstige Lösung zu erhalten
- Dauerhaftigkeit des Fugenvergussmaterials

#### 3.1. Allgemeine Ausbildungsgrundsätze

Es wird festgelegt, dass die o. g. Fugenausbildung für alle Fugen (Press- und Scheinfugen) gilt.

Die Fugenflanken bei Pressfugen werden durch eine besondere Stahlschalung abgestellt, so daß eine gerade Flucht entsteht und eine maschinelle Verdichtung der Fugenkanten durch Glättmaschinen möglich ist.

Die gleiche Verdichtungsintensität wird automatisch an den Scheinfugen erzielt.

Maschinelles Einschneiden der Fugen in einer Breite von 4 mm mit gefasteten Fugenkanten von 6 mm.

Tiefe:

Scheinfugen 25 % bis max. 30 % der Sohlenstärke

Preßfugen  $t=20$  mm

Grundsätzlich Fugenverguss mit Kunststoff (Bitumen ist bei 4 mm nicht möglich) womit eine Pflege und damit eine mögliche Erneuerung nahezu ausgeschlossen wird.

### **3.2. IPB Fugenbewehrung**

#### **3.2.1. Spezielle Ausbildungsgrundsätze**

Ausgehend von der Forderung, dass die Vergussmasse von den Flanken nicht abreißen darf, ergibt sich zunächst die max. Längenänderungsmöglichkeit an der unter Punkt 2.1. ausgebildeten Fuge über die Dehnfähigkeit des Vergussmaterials.

$$L_F = F_B \times 20 \%$$

$$L_F = 4,0 \times 0,2 = 0,8 \text{ mm oder gefast } L_F = 6,0 \times 0,2 = 1,2 \text{ mm}$$

Im Gegensatz zur Stabverdübelung, bei der die Längenänderung nicht behindert wird, muss eine Fugenbewehrung definiert werden, die im Beton verankert ist und auf einer zu definierenden Länge max. die Längenänderung von  $L_F$  vollzieht.

Neben dieser max. zulässigen Längenänderung soll ein hoher Wirksamkeitsindex mit der damit verbundenen niedrigen Biegezugspannung am Plattenrand erzielt werden.

Die beiden letzten Forderungen werden am besten von einem glatten Stabstahl mit sehr kleinem Durchmesser erfüllt.

Gemäß Prof. Eisenmann, Beton-Kalender 87 Teil II Seite 641 ff, beträgt der Wirksamkeitsindex einer Fuge mit Stabstahlverdübelung 50 – 60 %.

„Bei durchgehend bewehrten Betondecken (Forderungen zu mindest nach einer konstruktiven Bewehrung Q 131 in Plattenmitte) mit freier oder gesteuerter Rissbildung kann im Hinblick auf die hierbei geringe Rissöffnung trotz des gegenüber Dübeln kleineren Stabdurchmessers von einem Wirksamkeitsindex von 80 – 90 % ausgegangen werden.“

„Außerdem können vom Stabstahl mit geringen Durchmesser Querschiebungen aufgenommen werden, so dass sowohl in X-Richtung als auch in Y-Richtung verlegt werden kann, und somit alle Fugenmöglichkeiten abgedeckt werden.“

#### **3.2.2. Bemessung**

Auf der Grundlage von speziell entwickelten Bemessungsformeln werden objektspezifische Fugenpläne entwickelt, die alle o. a. Erläuterungen berücksichtigen.

Somit wird auf dem skizzierten Sektor im Industriefußbodenbau ein neuer Stand der Technik bei der Fugenausbildung erreicht und die erarbeiteten Anforderungen voll abgedeckt.