Zu Planung und Herstellung

Hochbelastbare Industriefußböden aus Stahlfaserbeton

von Wilhelm Nell

Industriefußböden sind die am stärksten beanspruchten Bauteile innerhalb einer »Gesamtkonstruktion«. Lagerhallen, Produktionsstätten und anbindende Freiflächen sind in der Regel stark befahren und unterschiedlichen Einflüssen ausgesetzt. Durch eine umfassende Planung und den Einsatz eines entsprechend konfektionierten Stahlfaserbetons, kann der Industriefußboden zu einem wartungsfreien und dauerhaften Bauteil werden.

Einleitung

Die Anforderungen an Industriefußböden sind in den letzten Jahren immer größer geworden. Zum einen werden Belastungen und Lastwechsel immer größer, z. B. Zentrallager mit hoher Be- und Endladefrequenz, und zum anderen werden immer mehr Schäden alter Konstruktionen sichtbar. Betreiber und Bauherren neuer, moderner Hallen unterschiedlicher Nutzung erwarten aufgrund dieser Erkenntnisse innovative und vor allem dauerhafte Konstruktionen. Der Stahlfaserbeton gewinnt dabei, mit seinen besonderen Eigenschaften, immer mehr an Bedeutung. In Deutschland werden ca. 30–40 % aller Industriefußböden aus Stahlfaserbeton erstellt. Besonders fugenlose Systeme, wie TAB-Floor™ der Arcelor, ermöglichen große Flächen, hohe Ebenheiten, wartungsfreie Nutzung und hohe Belastbarkeit.

Regelwerke

Werksgemischter Stahlfaserbeton entspricht hinsichtlich seiner Zusammensetzung und seiner Eigenschaften den Anforderungen der DIN EN 206-1/DIN 1045-2 [1], [3]. Besonderheiten des Baustoffes Stahlfaserbeton, die nicht durch [3] erfasst werden, beinhaltet das Merkblatt »Stahlfaserbeton« des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins e.V. [6].
Für das Bauteil Industriefußboden existiert in Deutschland keine DIN-Norm. Wenn der Industriefußboden auf einem Untergrund mit durchgehender Tragschicht liegt und er keine weiteren Bauteile tragen oder aussteifen muss, ist er kein Bauteil im Sinne der DIN 1045-1 [2]. Für die anderen Fälle muss eine Zustimmung im Einzelfall beantragt werden.
In Bezug auf die Gebrauchstauglichkeit des Bodens macht es jedoch Sinn, gemäß DIN 1045-2 [3] zu planen und entsprechende Expositionsklassen zu berücksichtigen.

Bemessung

Wie oben erläutert, sind Industriefußböden Bauteile mit niedrigem Gefährdungspotenzial, unterliegen in der Regel nicht der Bauordnung und können mit der Biegezugfestigkeit des Stahlfaserbetons bemessen werden. In der Regel erfolgt die Bemessung nach der Elastizitätstheorie im Zustand I (ungerissener Zustand), mit dem Modell für elastisch gebettete Platten. Sie beinhaltet Grundlagen gemäß DIN EN 206-1 und DIN 1045-1 [1], [2] des DBV-Merkblattes »Grundlage zur Bemessung von Industriefußböden aus Stahlfaserbeton« (1992 und 1996) [5], des DBV-Merkblattes »Stahlfaserbeton« (2001) [6] und beinhaltet bekannte Vereinfachungen, u. a. nach Hetényi (Moment und Spannung aus Blocklasten) und nach Westergaard [11].

Anforderungen

Aufgrund der zahlreichen Nutzungsmöglichkeiten eines Industriefußbodens, sind die möglichen Anforderungen sehr umfangreich.
Maßgebend für die Planung und Bemessung ist die Belastung. Je nach Lastart, -einwirkung und -größe, in Abhängigkeit zum Untergrund, wird der Industriefußboden auf seine Tragfähigkeit hin bemessen.
Neben der Tragfähigkeit werden die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit immer größer. Die Bodenflächen sollen sehr eben, glatt, rutschfest, säure- und ölbeständig, resistent gegen chemische Angriffe, optisch ansprechend und sehr langlebig sein. Hohe Belastungen treten immer häufiger, auch bei bekannten Betonflächen wie Lager-, Park- und Produktionsflächen auf. Aus wirtschaftlichen Gründen werden die Flächen oft kleiner, dafür aber viel höher belastet, stärker frequentiert, länger genutzt und mit zusätzlichen Einwirkungen beaufschlagt.

Tragfähigkeit:
Die Biegezugfestigkeit des Betons darf nicht durch Biegebeanspruchungen infolge äußerer Lasten überschritten werden. Der Nachweis der Tragfähigkeit wird in der statischen Bemessung geführt.

Dauerhaftigkeit:
Entsprechend der Exposition der Betonflächen müssen bestimmte Mindestanforderungen eingehalten werden und/oder weitere Maßnahmen getroffen werden, um einer Betonkorrosion entgegenzuwirken und eine dauerhafte Nutzung der Bodenplatte zu gewährleisten. Durch den Einsatz von Stahlfaserbeton wird die Dauerhaftigkeit deutlich erhöht. Entscheidende Faktoren wie Verschleißwiderstand, Last-Verformungsverhalten und Reißverhalten [13], [14] sind maßgebend für die Dauerhaftigkeit und werden mit Stahlfaserbeton verbessert.

Ebenheit:
Wird ein Industrieboden für ein Lagersystem mit leitliniengeführten Flurförderfahrzeugen hergestellt, werden besondere Anforderungen an die Ebenheit des Bodens gestellt, die über die üblichen Anforderungen der DIN 18202 [9] hinausgehen.

Dichtigkeit:
Wird eine dichte Bodenplatte gefordert, so kann diese gemäß WU-Richtlinie [8] ausgeführt werden. Hier ist dann insbesondere die Rissbreitenbegrenzung zu beachten und nachzuweisen. Dieses kann durch eine Kombination aus Stahlbeton und Stahlfaserbeton (Matten- oder Stabstahl bewehrter Stahlfaserbeton) sehr wirtschaftlich erreicht werden.
Muss der Betonboden ausreichend dicht sein, um ein Eindringen von wassergefährdenden Stoffen in das Grundwasser zu verhindern, so wird nach DAfStB-Richtlinie Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen [7] geplant und ausgeführt.
Durch die Zugabe von Stahlfasern in den Beton werden sowohl die Rissform und die Risstiefe als auch die Rissverteilung und die Rissbreite positiv beeinflusst [14]. Besonders deutlich zeigt sich das positive Reißverhalten von Stahlfaserbeton bei stahlfaserbewehrtem Stahlbeton (kombinationsbewehrte Betonbauteile). Bei

den Untersuchungen in [14] ergab sich bereits durch die Zugabe von 0,38 Vol.-% (30 kg/m³) Stahlfasern zum Stahlbeton eine Verminderung der Rissbreiten von mehr als 50%.

Einwirkungen und Beanspruchungen

Auf Betonböden wirken die unterschiedlichsten Beanspruchungen ein. Nicht nur mechanische Lasten und Verschleiß, sondern auch chemische Angriffe müssen hier berücksichtigt werden.

Lasten:

Punktförmige Lasten:

Oftmals entscheidend für den Nachweis der Tragfähigkeit eines Industriefußbodens sind die punktförmigen Lasten. Diese können sowohl aus beweglichen Lasten, wie z. B. Lkw, Slw und Gabelstapler, als auch aus langfristig wirkenden Lasten, wie z. B. Regale, Stützen, Container usw., entstehen.

Hierbei muss die lokale Einwirkung der Last, innerhalb eventuell vorhandener Fugenfelder, berücksichtigt werden. Dabei sind die drei Lastfälle Plattenmitte, Plattenrand und Plattenecke in der Bemessung vorzusehen. Lasten, die am Rand oder in der Ecke einwirken, können dabei um bis zu 100 % höhere Spannungen erzeugen, wie gleiche Lasten in Plattenmitte. Auch hieraus ergibt sich ein weiterer, großer Vorteil des fugenlosen TAB-Floor™-Systems. Im Gegensatz zu konventionellen Industriefußböden mit Scheinfugenschnitten kann die Lasteinwirkung beim TAB-Floor™-Boden mit dem Lastfall Plattenmitte berücksichtigt werden. Die ungünstigen Lastfälle Plattenrand und Plattenecke sind praktisch nicht vorhanden.

Innerhalb der Bemessung wird der Kontaktdruck berücksichtigt. Dieser vermag unter Umständen sehr hoch zu werden. Bei Hochregallagern treten oft Stützlasten über 200 kN auf, je nach Größe der Fußplatten entstehen Kontaktdrücke bis zu 20 N/mm². Bei zu hohen Kontaktdrücken ist es nicht selten erforderlich, einen Nachweis auf Durchstanzen zu führen. In der Praxis können bei hohen Regalstiellasten jeweils die Fußplatten vergrößert werden, um die Kontaktdrücke zu verringern. Bei Fahrzeugen und Gabelstapler sind die Radlasten entscheidend. Weniger problematisch sind hier luftbereifte Fahrzeuge. Der Kontaktdruck entspricht dabei dem Reifendruck und wird selten größer als 1,5N/mm². Härtere Reifen, wie z. B. aus Polyurethan oder sogar Stahl möglicherweise, haben bei hohen Lasten wesentlich kleinere Aufstandsflächen und erzeugen somit höhere Kontaktdrücke. Hier können durchaus Pressungen bis 6,0 N/mm² entstehen.

Die Biegezugspannungen aus Punktlasten werden üblicherweise nach Westergaard ermittelt. Für die drei Lastfälle wird Folgendes angenommen:

Lastfall Plattenmitte

$$\sigma_{QM} = \frac{0{,}275 \cdot Q}{h^2} \cdot (1+\mu) \cdot \left[\lg\left(\frac{Eh^3}{k \cdot b^4} \right) - 0{,}436 \right] \quad (1)$$

Lastfall Plattenrand

$$\sigma_{QR} = \frac{0{,}529 \cdot Q}{h^2} \cdot (1+0{,}54 \cdot \mu) \cdot \left[\lg\left(\frac{Eh^3}{k \cdot b^4} \right) + \lg\left(\frac{0{,}1 \cdot b}{1-\mu^2} \right) - 1{,}08 \right] \quad (2)$$

Lastfall Plattenecke

$$\sigma_{QE} = \frac{3 \cdot Q}{h^2} \cdot \left[1 - \left(\frac{120000 \cdot (1-\mu^2) \cdot k}{E \cdot h^3} \right)^{0{,}3} \cdot (0{,}1 \cdot a \cdot \sqrt{2})^{1{,}2} \right] \quad (3)$$

Block- und Flächenlasten:

Die Einwirkungen aus flächig verteilten Lasten, z. B. Schüttgüter, sind in der Regel nicht maßgebend für die Bemessung. Sie bewirken keine bemerkenswerten Verformungen der Bodenplatte. Die aus flächigen Lasten erzeugten Spannungen wirken bis in tiefere Bodenschichten, werden aber schnell abgebaut und sind nicht kritisch. Langfristige, große Flächenlasten können z. T. horizontale Bewegungen, wie z. B. aus Schwinden, behindern.

Mechanische Beanspruchung:

Nach DIN 1045-2 [3] gilt für tragende oder aussteifende Industrieböden die Expositionsklasse XM, Betonangriff durch Verschleißbeanspruchung. Es ist ratsam, die Mindestanforderungen auch bei Industrieböden zu beachten, die nicht tragend oder aussteifend sind.

Es sind mehrere, unterschiedliche mechanische Beanspruchungen möglich, die in der Praxis meistens in Kombination auftreten. Unterschieden wird zwischen rollendem, stoßendem und/oder schlagendem und schleifendem Verschleiß. Schleifender und rollender Verkehr kommen häufig auf Fahrwegen und Hallenböden vor. Schüttgüter werden meist mit Radladern bewegt oder rutschen über Betonflächen. Maschinen und schwere Lasten verursachen oft schlagartige, dynamische Beanspruchung auf der Oberfläche.

Der Verschleißwiderstand der Betonflächen muss so groß sein, dass kein Oberflächenabtrag und keine Vertiefungen entstehen. Durch den Einsatz von Stahlfaserbeton wird der Verschleißwiderstand gegenüber gleitenden und stoßenden Beanspruchungen vergrößert [13]. Je höher der Stahlfasergehalt, desto größer wird der Verschleißwiderstand. Zusätzlich wird die Schlagfestigkeit deutlich gesteigert. Untersuchungen [15] ergaben, dass durch die Zugabe geeigneter Stahlfasern die Schlagfestigkeit gegenüber dem Nullbeton um das 20-Fache gesteigert werden kann.

Schwinden:

Flächige Bauteile sind dem Schwinden immer stark ausgesetzt. Je mehr Zement und Wasser im Beton vorhanden sind, desto größer ist das Schwinden. Der w/z-Wert findet hier besondere Beachtung, Betonrezepturen für Industriefußböden sollten einen w/z-Wert von ≤0,55 haben. Der Schwindvorgang wird gefördert

Expositionsklasse	Umgebung	Beispiel	Min f_{ck}
XM1	Mäßige Verschleißbeanspruchung	Industrieböden mit Beanspruchung durch luftbereifte Fahrzeuge	C30/37, C25/30 LP möglich, z. B. bei gleichzeitig XF2 o. XF3, erforderlich bei XF4
XM2	Starke Verschleißbeanspruchung	Industrieböden mit Beanspruchung durch luft- o. vollgummibereifte Gabelstapler	C35/45, C30/37 möglich, z. B. bei gleichzeitig XF2 o. XF3, erforderlich bei XF4, C30/37 bei Oberflächenbehandlung
XM3	Sehr starke Verschleißbeanspruchung	Industrieböden mit Beanspruchung durch elastomer- o. stahlrollenbereifte Gabelstapler	C35/45, Hartstoffe nach DIN 1100 [10], C30/37 LP möglich, z. B. bei gleichzeitig XF2 o. XF3, erforderlich bei XF4
		Mit Kettenfahrzeugen häufig befahrene Oberflächen	

1 *Expositionklasse XM*
© nach [3]

durch Wind, hohe Temperatur und niedrige Luftfeuchtigkeit; er beginnt an der Plattenoberseite. Die Unterseite ist durch ihre Lage geschützt, die Umgebungsfeuchtigkeit bleibt hoch, in vielen Fällen liegt der Beton auf einer Folie und es kommt kein Wind an die Unterseite. Die Verkürzung durch Schwinden ist somit an der Plattenoberseite stärker vorhanden und kann in Extremfällen, insbesondere bei relativ dünnen Bodenplatten <16 cm, zum so genannten Aufschüsseln führen. Dabei biegen sich die Ränder der Platte nach oben und bei Nutzung des Industriefußbodens kommt es zu Abbrüchen. Die Nachbehandlung muss entsprechend den vorliegenden Umgebungsbedingungen ausgelegt und korrekt ausgeführt werden.

Frost:
Der Unterbau muss frostsicher sein. Unter Umständen ist eine kapillarbrechende Schicht gegen aufsteigende Feuchtigkeit erforderlich.
Wenn die Betonfläche befahren wird, muss zudem noch die Möglichkeit des Eintrags von Tausalzen berücksichtigt werden. Hier ist die Expositionsklasse XF2 oder XF4 zu berücksichtigen.

Temperatur:
Betonbodenflächen in Hallen sind gegen große Temperaturschwankungen geschützt. Eine Aufwärmung durch eine Fußbodenheizung ist unbedenklich, da diese sehr gleichmäßig und langsam erfolgt. Die Bodenplatte wird sich bei Erwärmung ausdehnen und bei Abkühlung zusammenziehen. Wenn diese Horizontalbewegung nicht durch einen Zwang behindert wird, ist sie in der Regel unproblematisch.
Ungleichmäßige Erwärmung oder Abkühlung kann zu Schäden führen. Dieses ist möglich an freien Rändern, an großen Öffnungen der Halle, in Torbereichen oder hinter großen Fensterflächen. Sonneneinstrahlung und Frost können zu Verwölbungen der Betonplatte führen.

Chemischer Angriff:
In einigen Lagerhallen, Produktionen und industriellen Betrieben sind Stoffe vorhanden, die den Beton chemisch angreifen. Ist ein Durchdringen von wassergefährdenden Stoffen in den Untergrund bzw. in das Grundwasser zu erwarten, so muss hier [7] berücksichtigt werden. Da sich die Expositionsklasse XA »Betonkorrosion durch aggressive chemische Umgebung« [3] nur auf chemischen Angriff durch natürliche Böden, Grundwasser, Meerwasser oder Abwasser bezieht, ist er für alle anderen Substanzen nach WHG-Richtlinie [7] auszuführen. Beispiele für Hallen, in denen chemische Beanspruchung vorliegt, sind Beizereien, Galvanisierungen, Zellstoffwerke, Kokereien, Brennereien, Molkereien, Gerbereien, Käsereien, Betriebe zur Herstellung und/oder Lagerung von Düngemittel, Zucker, Papier, Farben, Essig, tierischen und pflanzlichen Fetten und Ölen, Mineralölen und -fetten usw. Je nach Einwirkungsdauer der angreifenden Stoffe kann ein besonderer Schutz des Betons erforderlich werden.

Planung

Innerhalb der Planung eines Industriefußbodens sind sehr viele Parameter zu berücksichtigen. Diese liegen oft zum Zeitpunkt der Planung noch nicht alle vor, weil z. B. die genaue Nutzung einer Halle noch nicht ausreichend bekannt ist. Für den Betreiber und für den Nutzer des Industriefußbodens ist es umso wichtiger, dass bestimmte Details und Mindestanforderungen definiert sind. So sollte auch Bestandteil der Planung sein, entsprechende Protokolle, wie z. B. für den Einbau, für den Auftrag von Hartstoffmaterial, für die Nachbehandlung usw., zur Verfügung zu stellen, die die Anforderungen für den Hersteller definieren und als Kontrolle der ausgeführten Leistung dienen.
Im Folgenden sind einige wichtige, aber nicht alle Punkte aufgeführt, die in der Planung zu berücksichtigen sind.

Untergrund:
Der Untergrund ist die Basis der gesamten Konstruktion. Er muss in jedem Fall ausreichend tragfähig sein, um die Lasten aufnehmen zu können. Eine regelmäßige, bzw. gleichmäßige Zusammensetzung ermöglicht eine gute Verdichtbarkeit. Oberflächen- und Sickerwasser sollten sich nicht stauen, sondern gut durch den Boden abgeleitet werden.
Die maßgebende Größe für die Bemessung ist der Verformungsmodul E_{V2}, der mit dem statischen Lastplattendruckversuch nach DIN 18134 [11] bestimmt wird. In Abhängigkeit der Belastung und der Tragschicht sollte der Verformungsmodul E_{V2} des Untergrundes ≥40 MN/m² sein. Die Qualität der Verdichtung ist aus dem Verhältnis der Zweit- zur Erstbelastung E_{V2}/E_{V1} zu erkennen und muss ≤ 2,5 sein. Werden die geforderten Werte für den Verformungsmodul im Lastplattendruckversuch nicht erreicht, muss eine Verbesserung des Untergrunds durchgeführt werden. Durch eine Bodenverfestigung oder sogar einen -austausch können entsprechende Anforderungen erreicht werden.

Tragschicht:
Direkt unterhalb der Betonbodenplatte, auf dem Untergrund befindet sich die Tragschicht. Sie wird üblicherweise aus Kies oder Schotter hergestellt, kann mit Zement verfestigt werden und sollte mindestens 15 cm dick sein. In der Praxis werden Tragschichten mit ca. 20–25 cm Dicke hergestellt. Der Verformungsmodul E_{V2} der Tragschicht sollte ≥100 MN/m² sein.

Betonbodenplatte:
Üblicherweise kommt für Industriefußböden ein C25/30 zum Einsatz. Je nach Umgebungsbedingung und Expositionsklasse wird eine entsprechende Mindestdruckfestigkeitsklasse festgelegt. Für Freiflächen und an Außenbereiche angrenzende Flächen muss Beton mit hohem Frost-Tausalz-Widerstand hergestellt werden. Dieses wird durch die Zugabe eines Luftporenbildners (LP-Mittel) erreicht. Der Luftporengehalt ist ≥4,5 Vol.-% bei Größtkorn 16 mm.
Müssen Dichtflächen erstellt werden, um einen Eintrag von wassergefährdenden Stoffen in das Grundwasser zu verhindern, so muss die Konstruktion nach DAfStb-Richtlinie [7] erfolgen. Es gilt eine Konstruktion als dicht, wenn ein Eindringen von wassergefährdenden Stoffen mindestens 72 h verhindert wird. In der Richtlinie wird unterschieden zwischen flüssigkeitsdichten Betonen (FD-Beton) und flüssigkeitsdichten Betonen nach Eignungsprüfung (FDE-Beton).
Bei einer Festlegung der Expositionsklasse XM1 als Mindestanforderung für den Verschleiß werden durch die Anforderungen an den Beton (XM1: max. w/z=0,55, min. f_{ck}=C30/37, min. z=300 kg/m³, min. z bei Anrechnung von Zusatzstoffen =270 kg/m³) sofort die Expositionsklas-

Umgebungsbedingung	Expositionsklasse	Empfohlene Mindestdruckfestigkeitsklasse
Geschlossene Halle, kein Frost	X0	C20/25
Überdacht im Freien, kein Taumittel	XF1	C25/30
Direkt bewitterte Freifläche, Taumittel	XF4	C30/37 LP

2 *Empfohlene Mindestdruckfestigkeitsklassen nach Umgebungsbedingung*
© Arcelor Commercial Wire Ordwing Deutschland GmbH

Expositionsklasse	Min f_{ck}	Betonzusammensetzung
XM1	C30/37, C25/30 LP möglich, z. B. bei gleichzeitig XF2 o. XF3, erforderlich bei XF4	C30/37: max w/z=0,55, min z=300kg/m³, max z=360kg/m³, Mehlkorn ≤450kg/m³
XM2	C35/45, C30/37 möglich, z. B. bei gleichzeitig XF2 o. XF3, erforderlich bei XF4, C30/37 bei Oberflächenbehandlung	C35/45: max w/z=0,45, min z=320kg/m³, max z=360kg/m³, Mehlkorn ≤450kg/m³ C30/37: Oberflächenbehandlung, max w/z=0,55, min z=300kg/m³, max z=360kg/m³
XM3	C35/45, Hartstoffe nach DIN 1100 [10], C30/37 LP möglich, z. B. bei gleichzeitig XF2 o. XF3, erforderlich bei XF4	C35/45: Hartstoffe, max w/z=0,45, min z=320kg/m³, max z=360kg/m³, Mehlkorn ≤450kg/m³

3 *Betonzusammensetzung bezogen auf Verschleißklassen © nach [3]*

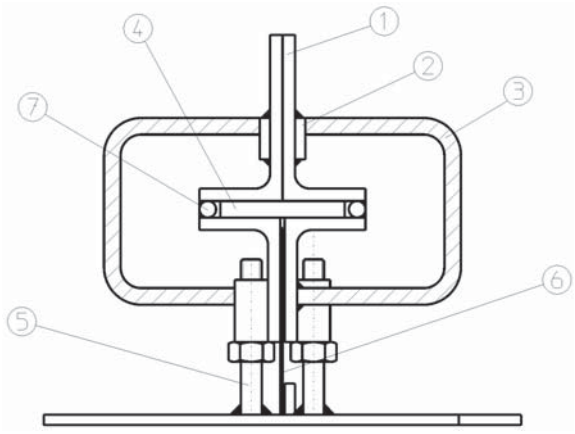
se XF1 (zusätzlich Frostwiderstand der Gesteinskörnung F4) und XA1 (Betonkorrosion durch aggressive chemische Umgebung) mit erfüllt.

Fugen:
Sowohl für konventionelle Industriefußböden mit Scheinfugenschnitten als auch für fugenlose Industriefußböden mit Fugenprofilen muss ein Fugenplan erstellt werden. Dieser ist entsprechend der Hallengeometrie, Nutzung, Einrichtung und Einbauleistung zu erstellen.
Scheinfugen müssen so früh wie möglich, wenn der eingebaute Beton, ohne Schaden zu nehmen, begehbar ist, eingeschnitten werden. Sie sind ca. 3–4 mm breit und ca. 1/3 der Plattendicke tief. Der in der restlichen Plattendicke entstehende Riss ist durch die Stahldrahtfasern »vernadelt«. Somit ist eine Querkraftübertragung möglich. Für ein etwaiges späteres Vergießen der Fugen müssen diese nachgeschnitten und die Kanten angefast werden. Scheinfugen sind immer wartungsintensiv. Ein entsprechendes Wartungsintervall kann in der Planung mit berücksichtigt werden.

Bei dem fugenlosen Industriefußboden nach TAB-Floor™ [12] sind keine Scheinfugen erforderlich. Hier werden große, fugenlose Felder bis zu 2.500 m² ausgeführt. Die einzelnen Felder werden mit entsprechenden Fugenprofilen (Abb. 4) miteinander verbunden. So wird eine horizontale Bewegung ermöglicht und die Querkraftübertragung zwischen den Feldern gewährleistet. Alle Fugenfelder sollten idealerweise quadratische Abmessungen haben und dürfen ein Seitenverhältnis von 1:1,5 nicht überschreiten.

Oberfläche:
Sobald der Beton begehbar ist, werden die Flächen des Bodens abgeglichen, was durch ein maschinelles Abscheiben und Flügelglätten erfolgt. Nach dem ersten Abscheiben ist die Oberfläche zunächst rau. Danach wird mit einem Flügelglätter in mehreren Arbeitsgängen geglättet. Hier entstehen sehr glatte und gleichmäßige Oberflächen, die so als fertige Oberflächen belassen werden können.
Ist eine zusätzliche Verschleißschicht erforderlich, so wird das Hartstoffmaterial [10] gleichmäßig mit einem Laser-Spreader oder mindestens Einstreuwagen auf die Betonoberfläche aufgebracht und dann wie zuvor abgeglichen und getellert. Je nach geforderter Schichtdicke und Material sind ca. 3–5 kg/m² erforderlich.

Herstellung des Stahlfaserbetons:
Der werksgemischte Stahlfaserbeton wird nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 [1], [3] hergestellt. Darüber hinaus sind im DBV-Merkblatt Stahlfaserbeton [6] die Besonderheiten des Stahlfaserbetons erläutert, die nicht in [3] geregelt sind.
Zur üblichen Mischanweisung [3] müssen Angaben über Art und Menge der verwendeten Stahldrahtfasern sowie über Mischzeiten und Zeitpunkt der Zugabe der Fasern gemacht werden.
Die Fasern sollten möglichst in der Transportbetonanlage über eine automatische Dosieranlage mit Faservereinzelung in den Beton eingemischt werden. Bewährt haben sich in der Praxis auch die Zugaben über das Förderband der Gesteinskörnung – nicht möglich bei z. B. Sternanlagen. Alternativ dazu können Fasern direkt in das Transportbetonfahrzeug gegeben werden. Dieses funktioniert über Förderbänder oder Einblasgeräte – pro m³ Beton muss dann 1 min Mischzeit eingehalten werden.
Von einer händischen Zugabe oder einer Zugabe von größeren Einzelmengen (> 25 kg pro Kübel) über einen Kübelaufzug ist abzuraten. Hier kommt es je nach Fasertyp zur so genannten Igelbildung (Zusammenballung von Fasern) und eine homogene Untermischung ist nicht mehr gewährleistet.
Der Beton steift durch die Zugabe der Fasern zurück. Zur Einstellung der Konsistenz wird ein Fließmittel auf der Bau-



4 *Hochqualitatives Fugenprofil © H.S.D. Industriebeläge GmbH*

① *Stahl-Kantenschutz, beidseitig höhengleich durch Spezialoberflächenbearbeitung*
② *Verbindungslaschen für anschließende Schalungen oder Formstücke*
③ *Betonverankerung (ggf. Auflager für Baustahlmatten)*
④ *Durchgehende Lastübertragung auf voller Profillänge*
⑤ *Höhenverstellung über Schalungsfüße*
⑥ *Variable Fließbarriere als Absperrung zum Nachbarbetonierfeld*
⑦ *Schweißverbindung*

stelle in den Fahrmischer dazugegeben. Auch hier muss wieder die Mischzeit von ≥ 1 min pro m³ Beton eingehalten werden.

Bauausführung und Einbau:
Es gelten die Bestimmungen der DIN 1045-3, Abschnitt 8.2–8.6 [4].
Bei der Betonage dürfen keine Unterbrechungen stattfinden. Die Bauteile müssen in einem Arbeitsgang hergestellt werden.
Alle angrenzenden Bauteile sind abzustellen, d. h., sie dürfen keinen Kontakt zur Bodenplatte haben. Der Industriefußboden wird »schwimmend« eingebaut. Wände, Stützen, Fundamente, Anschlüsse usw. werden mit Randdämmstreifen aus mindestens 10 mm dickem Dämmmaterial versehen.
Je nach Größe der Gesamtfläche werden Tagesfeldabschnitte definiert. Die einzelnen Tagesfelder werden gegen Randschalungen bzw. gegen Fugenprofile betoniert und abgezogen. Durch den Einsatz eines Laserscreed sind größere Flächenleistungen mit hoher Genauigkeit möglich.

Nachbehandlung:
Die Maßnahmen zur Nachbehandlung von Stahlfaserbeton unterscheiden sich nicht von denen eines anderen Betons. Die Regelungen der DIN 1045-3, Abschnitt 8.7 [4] sind einzuhalten. Hier werden für Expositionsklasse XM die üblichen Nachbehandlungszeiten verdoppelt. Wichtig ist, dass die Nachbehandlung so schnell wie möglich einsetzt und dann auch ausreichend lange andauert. Die Festigkeit und der Verschleißwiderstand der Oberfläche des Industriefußbodens sind zu einem Großteil von der Nachbehandlung abhängig.
Neben der Abdeckung mit Folien setzt sich das Aufbringen eines Nachbehandlungsmittels immer mehr durch. Diese Mittel wirken wie eine Dampfbremse und schützen so vor zu schneller Austrocknung. Die vom Hersteller angegebenen Auftragsmengen (g/m²) müssen eingehalten und kontrolliert werden.

Praxisbeispiel:
Ein Industriefußboden, der mit einem Coiltransporter mit einer Radlast von 220 kN befahren wird, muss höchsten Belastungen standhalten. Die Spannungen aus den Radlasten und der Verschleiß sind dabei extrem hoch. Im folgenden Beispiel wird deutlich, dass ein Betonboden mit hoher Qualität, Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit hergestellt werden kann, wenn eine umfassende Planungsleistung vorliegt und betontechnologische Möglichkeiten optimiert werden.
Im November 2005 wurde bei den Stahlwerken Bremen im Kaltwalzwerk ein neuer Industriefußboden, im Bereich eines Coillagers, eingebaut; der alte war aufgrund der hohen Belastungen sehr stark beschädigt. Mit der Planung wurden das Ingenieurbüro Hoßfeld & Martens in Bremen und die Arcelor Bissen S.A. beauftragt. Zur Ausführung gekommen ist ein fugenloser Industriefußboden nach TAB-Floor™. Die unterschiedlich großen, fugenlosen Felder werden dauernd mit einem automatischen Coiltransporter (FTF Flur-Transport-Förderer) befahren. In der Bemessung wurden dafür eine Radlast von 220 kN (2 × 11 t pro Rad) und ein Kontaktdruck von 6 N/mm² berücksichtigt. Der Beton C30/37 XC4 XF1 XA1 F4 war ein werksgemischter Readymix-Stahlfaserbeton mit 40 kg der Arcelor HE 1/50 Stahldrahtfaser. Als Gesteinskörnung wurde ein Kernbankgestein 22 mm eingesetzt. Der Industriefußboden wurde in Dicken zwischen 30 cm und 32 cm eingebaut und ohne Hartstoffschicht oberflächenfertig hergestellt. Die Betonzusammensetzung wurde gemeinsam von Betontechnologen der Readymix und der Arcelor entwickelt. Während der gesamten Baumaßnahme fand eine Überwachung durch einen Betontechnologen statt. Die Flächen sind mit einer hohen Ebenheit hergestellt worden und komplett rissfrei. – Bei permanenter Nutzung sind bis heute keinerlei Verschleißerscheinungen zu erkennen.

Zusammenfassung

Die Anforderungen an einen Industriefußboden sind in den letzten Jahren immer größer geworden. Im Speziellen steht die Dauerhaftigkeit immer mehr im Vordergrund. Um hochbelastete Industriefußböden zu planen und herzustellen, hat es sich in der Praxis bewährt, Stahlfaserbeton als dauerhaften Baustoff einzusetzen. Mit der Planung des Betonbodens als fugenloses System nach TAB-Floor™ werden zusätzlich noch ungünstige Lastfälle wie Plattenrand und Plattenecke vermieden und es sind keine wartungsintensiven Scheinfugen vorhanden.
Die Planungsleistung eines solchen Systems umfasst mehr als eine einfache Bemessung der Tragfähigkeit. Dazu bedarf es verschiedener Systemlösungen und umfassender Konzepte, die individuell auf alle Anforderungen und Einwirkungen eines Industriefußbodens eingehen. Für eine korrekte Ausführung bzw. Herstellung des Bodens sind Lastenhefte, Betonieranweisungen, Protokolle usw. erforderlich. Auch eine ingenieurtechnische Unterstützung vor Ort ist bei Detaillösungen oft wichtig.
Die Planungsleistung, von der statischen Bemessung der Tragfähigkeit bis hin zur Nachbehandlung, und der Einsatz des innovativen Baustoffes Stahlfaserbeton gewährleisten eine hohe Dauerhaftigkeit bei hochbelasteten Industriefußböden.

Autor:
Dipl.- Ing. Wilhelm Nell (VDB)
Technischer Vertriebsleiter Nord-West Deutschland, Handlungsbevollmächtigter der Arcelor Commercial Wire Drawing Deutschland GmbH, Köln

Literatur

[1] DIN EN 206-1/A1: Beton – Teil 1: Festlegungen, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, 2004.
[2] DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion, 2001.
[3] DIN 1045-2/A1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 2: Beton; Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, 2001. Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1; Änderung A1, 2005.
[4] DIN 1045-3/A1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 3: Bauausführung, 2001. Änderung A1, 2005.
[5] DBV-Merkblatt »Grundlage zur Bemessung von Industriefußböden aus Stahlfaserbeton«, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e. V., Berlin, Fassung 1991, redaktionell überarbeitet 1996.
[6] DBV-Merkblatt Stahlfaserbeton, Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V., Berlin, Oktober 2001.
[7] DAfStb-Richtlinie Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin, Oktober 2004.
[8] DAfStb-Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie), Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin, November 2003.
[9] DIN 18202: Toleranzen im Hochbau – Bauwerke, 2005.
[10] DIN 1100: Hartstoffe für zementgebundene Hartstoffestriche, 2004.
[11] DIN 18134: Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte, Plattendruckversuch, September 2005.
[12] Lastenheft, TAB-Floor™ Konzept, Arcelor Bissen S. A., technische Spezifikationen. Fassung 1998.
[13] Höcker, Th.: Einfluss von Stahlfasern auf das Verschleißverhalten von Betonen unter extremen Betriebsbedingungen in Bunkern von Abfallbehandlungsanlagen; in: DAfStb-Heft 468.
[14] Winterberg, R.: Einfluss von Stahlfasern auf die Durchlässigkeit von Beton; in: DAfStb-Heft 438.
[15] Bonzel, J., Dahms, J.: Schlagfestigkeit von faserbewehrtem Beton; Betontechnische Berichte; in: Beton 3+4/81