

## 1 Einleitung

Hallenböden und Straßen aus bewehrtem und unbewehrtem Beton werden schon seit über 100 Jahren erfolgreich geplant und ausgeführt. Die technische Entwicklung ging einher mit der Weiterentwicklung der Einbaumaschinen (z. B. Deckenfertiger, Flügelglätter) und der Betontechnologie (z. B. Löffporenbildner, Fließmittel, Hartstoffeinstreuung) und ist – was den Straßenbau betrifft – zweifelsohne ausgereift. Beim Bau von Beton-Bodenplatten im Hallen- und Industriebau häufen sich allerdings in letzter Zeit Schäden, insbesondere bei starkem Gabelstaplerverkehr. Die aufgetretenen Schäden gehen sowohl auf Planungsfehler (keine Planung, falsche Konstruktion, Unterdimensionierung usw.), Ausschreibungsfehler („J Lage Bewehrungsmatten Q 188, Dicke und Fugenanordnung nach Wahl des Auftragnehmers“) als auch auf mangelhafte Sorgfalt bei der Ausführung (Betonbestellung, handwerkliches Können beim Einbau, Nachbehandlung) zurück [1].

Weil Industriefußböden gleichzeitig als Fahrbahn, Lagerfläche und Gründungsbauwerk (z. B. für Maschinen oder Hochregallager) dienen, werden hohe Anforderungen an die Gebrauchsfähigkeit, die Dauerhaftigkeit und die Standsicherheit gestellt. Deshalb ist gerade bei Beton-Bodenplatten eine ganzheitliche Betrachtung der Planungs- und Bauaufgabe besonders wichtig, um eine wirtschaftliche Konstruktion (niedrige Herstellkosten und geringer Unterhaltsaufwand) gemeinsam mit dem Bauherrn festlegen zu können.

## 2 Anforderungen aus der Nutzung

Die Anforderungen an Industriefußböden aus der Nutzung sind so vielfältig wie die Tätigkeitsfelder der Benutzer (z. B. Bild 1). Die wesentlichsten Anforderungen an die Gebrauchseigenschaften sind:

- Rutschfestigkeit.
- Ebenheit.
- Einwandfreie Entwässerung in Nassbereichen.
- Verschleißfestigkeit.
- Widerstand gegen chemischen Angriff.
- Elektrische Ableitfähigkeit.
- Wärmedämmung zum Erdreich.

Darüber hinaus sollen Industriefußböden nur geringe Unterhaltskosten verursachen und pflegeleicht sein. Dies alles ist erfüllbar, wenn sorgfältig

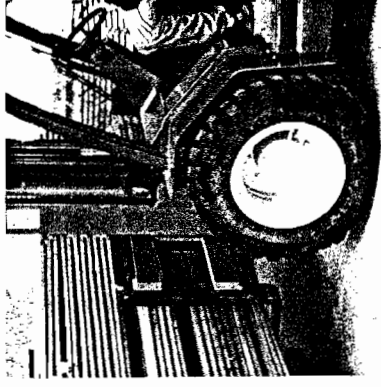


Bild 1. Gabelstaplerbetrieb Kategorie G 3

geplant, konstruiert, bemessen und ausgeführt wird, am besten „aus einer Hand“ ohne Schnittstellen.

### 2.1 Rutschfestigkeit

Anforderungen an die Rutschfestigkeit bestehen vor allem in Arbeits- und Nassbereichen und sind gemäß Arbeitsstättenrichtlinien vom Bauherrn/Planer vorzugeben. Dabei werden fünf verschiedene Klassen der Rutschhemmung (R 9 bis R 13) unterschieden. Die Prüfung erfolgt gemäß DIN 51130 [2] an einer schiefer Ebene. In Tabelle 1 werden für die verschiedenen Klassen der Rutsch-

Tabelle 1. Empfohlene Oberflächenbehandlung bei Anforderungen an die Rutschhemmung (nach [1])

Klasse der Rutschhemmung	Korrigierter mittlerer Gesamtkorrigierter akzeptanzwinkel gemäß [2]	Empfohlene Oberflächenbearbeitung
R 9	6° bis 10°	mit Flügelglätter geglättet
R 10	10° bis 19°	
R 11	19° bis 27°	maschinell abgeschleift
R 12	27° bis 35°	abgerieben
R 13	über 35°	Besenstrich oder aufgerauter Beton

Ruß oder Stahlspäne beizumischen. Eine allgemeine Aussage über die Wirksamkeit ist aber erst nach einer entsprechenden Untersuchung im Labor möglich, wobei die relative Luftfeuchte der Umgebung den Ableitwiderstand maßgeblich beeinflusst. In [8] ist der Einfluss eines 3 %-igen Rußzusatzes (bezogen auf das Zementgewicht) bei verschiedenen relativen Luftfeuchten beispielhaft wiedergegeben. In der Praxis wird bei Anfordern an den Erdableitungswiderstand in der Regel eine leitfähige Schicht unter einer Beschichtung angeordnet.

**2.7 Wärmedämmung zum Erdreich**

Unter Industriefußböden werden üblicherweise keine Wärmedämmschichten angeordnet, weil dies für Hallenbereiche mit niedrigeren Innentemperaturen als 19 °C unbehrlich ist. Bei beheizten Hallen (mehr als 20 °C Innentemperatur) ist mindestens in den Randbereichen eine 1,50 bis 5,00 m breite Wärmedämmschicht unter der Bodenplatte erforderlich, wenn im Innenbereich die wärmedämmende Wirkung des erdfeuchten Untergrunds mit berücksichtigt werden kann (kein Grund- oder Schichtenwasser vorhanden). Bei hohem Grundwasserstand oder bei Anordnung einer Fußbodenheizung (Bild 2) ist immer eine untenliegende Wärmedämmschicht aus extrudierten Hartschaumplatten oder Schaumglas erforderlich. Dasselbe gilt für Fußböden von Außenballhöfen oder Büroräumen. Preisgünstiger und einfacher können aber hierfür eine Absenkung der Bodenplatte in diesen Bereichen und der Einbau der Wärmedämmschicht unter einem schwimmenden Estrich sein.

Bei besonders großem zu erwartenden Verschleiß (z. B. Befahren mit Kettenfahrzeugen oder Lagerung von Schüttgütern, die mit Radladern bewegt werden) kann die Anordnung einer „Opferbeton“-Schicht zweckmäßig sein. Darüber hinaus sind bei tragenden oder aussteifenden Beton-Bodenplatten zusätzlich die Betoneigenschaften gemäß den Expositionsclassen XM1 bis XM3 der DIN 1045 [5] einzuhalten.

**2.5 Widerstand gegen chemischen Angriff**

Industriefußböden in Industrie-, Produktions- und Lagergebäuden können mit Säuren, Salzen, Laugen, Ölen, Fetten, Taumitteln oder anderen Chemikalien beaufschlagt werden. Hier ist eine sorgfältige Abstimmung des realistischen chemischen Angriffs mit dem Bauherrn und dem Benutzer der Immobilie notwendig. Anhaltspunkte für die Festlegung der Betoneigenschaften bzw. von erforderlichen Schutzmaßnahmen liefern die DIN 1045 [5] mit den Expositionsclassen XA, XD bzw. XF und die DAStB-Richtlinie für Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen [6].

**2.6 Elektrische Ableitfähigkeit**

In explosionsgefährdeten Bereichen (z. B. in der chemischen Industrie) muss der Industriefußboden besonders leitfähig sein, um eine Funkenbildung infolge elektrostatischer Aufladung zu vermeiden. Der Fußboden gilt als leitfähig, wenn der Erdableitungswiderstand, bestimmt gemäß EN 1081 [7] einen Wert von 10<sup>6</sup> Ohm nicht übersteigt. Diese Anforderung besteht auch bei leitfähigen eingeführten Flurförderzeugen gemäß [4]. Um den Erdableitungswiderstand des Industriefußbodens zu verringern wäre es möglich, dem Frischbeton

hemmung geeignete Oberflächenbearbeitungen angeben. Oftmals ist es sinnvoll, vorab Musterflächen anzulegen und vom Bauherrn abnehmen zu lassen.

**2.2 Ebenheit**

Je nach Nutzung ist die erforderliche Ebenheit z. B. gemäß DIN 18 202; 1997-04; Toleranzen im Hochbau [3] festzulegen. Üblich ist hierbei für Fahr- und Lagerflächen die Vereinbarung der Tabelle 3, Zeile 3 oder 4. Besondere Anforderungen bestehen bei Lagersystemen mit leitfähigen geführten Flurförderzeugen, wie sie in Hochregallagern üblich sind. Angaben hierzu enthält DIN 15 185-1; 1991-08 [4].

**2.3 Entwässerung**

In Nassbereichen oder Abstellbereichen von Person- oder Lastkraftwagen (z. B. Aufstellzonen von LKW, die mit Gabelstaplern seitlich beladen werden) ist eine einwandfreie Entwässerung sicherzustellen. Dazu ist ein Mindestgefälle von 2 ‰ (in Ausnahmefällen 1,5 ‰ bei entsprechend verbundener Ebenheit) und eine ausreichende Anzahl von Bodenentläufen einzuplanen.

**2.4 Verschleißfestigkeit**

Der durch mechanische Beanspruchung (Rollen, Schleifen, Bremsen, ruckartiges Absetzen von Lasten) verursachte, unvermeidbare Verschleiß erfordert eine sorgfältige Auswahl und Ausschreibung der Betoneigenschaften. Die aus dem DBV-Merkblatt: Industrieböden aus Beton für Freie- und Hallenflächen [1] entnommene Tabelle 2 gibt praxisbewährte Grundsätze für nichttragende Beton-Bodenplatten wieder.

**Tabelle 2.** Praxisbewährte Grundsätze für Anforderungen und Eigenschaften von Industrieböden (aus [1])

Beanspruchung (Beispiele)	Druckfestigkeitsklassen	Weitere Anforderungen und Eigenschaften
Laufbereitete Fahrzeuge	C 25/30  C 30/37	Weitere Anforderungen und Eigenschaften  mit Hartstoffeinstreuung oder Oberflächenvergrütung
Elastomer- und vollgummibereifte Fahrzeuge	C 30/37  C 35/45	ohne weitere Maßnahmen  ohne weitere Maßnahmen
Polyamid- oder stahlrollenbereifte Gabelstapler, stark schleifende oder schlagende Beanspruchung	C 30/37	Beton mit überwiegend quarzitischen Gesteinskörnungen bis 4 mm Größtkorn (Quarz, Basalt, Diabas)  mit Hartstoffestrich gemäß DIN 18 560-7 [24]

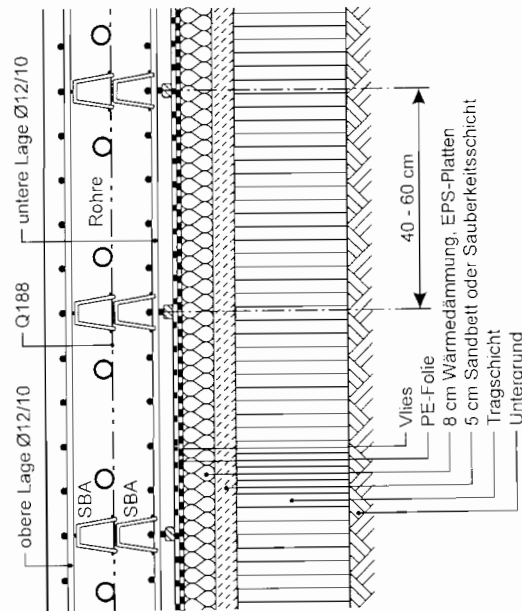
**3 Lastannahmen**

Beton-Bodenplatten sind multifunktionale Bauteile, auf die unter anderem folgende Beanspruchungen einwirken können (Bild 3):

- Gabelstapler- und LKW-Verkehr,
- Lagerlasten (Paletten, Schüttgüter),
- Regallasten (inkl. Aussteifungen),
- Belastung durch tragende/nichttragende Wände,
- Aufstellung von Maschinen,
- Mechanische und chemische Beanspruchungen,
- Wasserdruck (von unten oder oben),
- Setzungen und Bergsenkungen,
- Gleichmäßige Temperaturänderungen  $t_s$ ,
- Temperaturgradienten  $\Delta t$ ,
- Schwindun und Quellen des Betons,
- Kriechverformungen des Betons.

Detaillierte Angaben hierzu enthält der Beitrag von *Ehmann* und *Timm* „Einwirkungen im Industriebau“ (Kapitel XV) in diesem Beton-Kalender.

An dieser Stelle sei besonders auf die Einzellasten aus Gabelstaplerbetrieb, die in der neuen DIN 1055-3 [9] in sechs Kategorien eingeteilt sind, hingewiesen. In Tabelle 3 sind die charakteristischen Werte für Flächen- und Radlasten infolge von Gabelstaplerbetrieb zusammengestellt. In dieser Tabelle ist der für die Radlast anzusetzende Schwingwert von  $q = 1,4$  bereits berücksichtigt. In [8] werden für sehr schwere Gabelstapler und Container-Portalkraner Radlasten (ohne  $q$ )



**Bild 2.** Anordnung einer Fußbodenheizung/-kühlung in Bodenplatten.

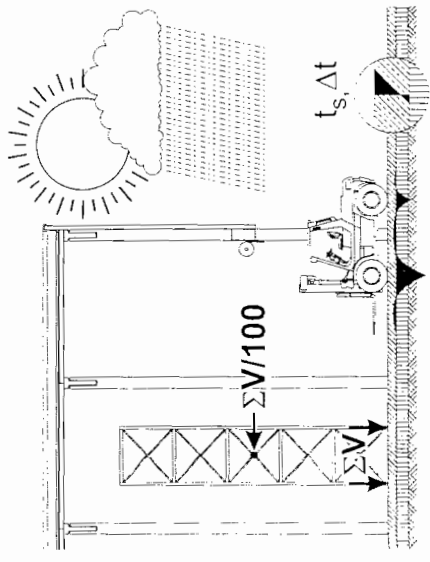


Bild 3. Wesentliche veränderliche Einwirkungen auf Bodenplatten

in Höhe von 150 kN angegeben. Radlasten und Schwingbewerte von automatischen Regalbediengeräten müssen mit dem jeweiligen Hersteller im Einzelfall abgestimmt werden.

Dies gilt auch für die Eigen- und Nutzlasten von Regalanlagen. Hier ist es notwendig, die Angaben der Hersteller kritisch zu hinterfragen und auch für das Eigengewicht der Regale den Teilsicherheitsbeiwert für Verkehrslasten  $\gamma_0 = 1,5$  anzuwenden. Auch wenn der Regalhersteller dies nicht angibt, ist zur Erzielung einer ausreichenden Sicherheit gegen Umkippen immer eine Horizontallast in Höhe von  $1/100$  der Gesamtlast in Höhe des Schwerpunkts anzunehmen [9]. Der Ansatz der vollen Regallasten bzw. der Flächenlasten gemäß Tabelle 3 ist insbesondere für die Ermittlung von zentrischen Zwangbeanspruchungen bei Betonbodenplatten (v. a. im Freien oder in Torbereichen von Hallen) notwendig.

Für die Berücksichtigung von normalem LKW-Verkehr genügt gemäß [9] der Ansatz der Brückenklasse 30/30 der alten DIN 1072 [10], das heißt die Einzelachse mit 130 kN ist maßgebend. Die Berücksichtigung eines Schwingbeiwerts ist nicht erforderlich (Radlast  $0,5 \cdot 130 \text{ kN} = 65 \text{ kN}$ , Aufstandsfläche  $200 \times 460 \text{ mm}$ ).

Vor allem bei Beton-Bodenplatten im Freien und in offenen Hallen, aber auch bei Hallenböden im Bereich von Toren und Glasfassaden sind gleichmäßige Temperaturänderungen  $t$ , zu berücksichtigen. Gemäß DIN 1055-7 [11] darf in Deutschland die minimale Außenlufttemperatur zu  $-24^\circ\text{C}$  und die maximale Außenlufttemperatur zu  $+37^\circ\text{C}$  angenommen werden. Das heißt, Längenänderungen von Plattenfeldern im Freien sind für  $24 \text{ K} + 37 \text{ K} \approx 60 \text{ K}$  zu ermöglichen. Dabei ist als Herstelltemperatur die um den Betrag der Hydratationswärmeeentwicklung (ca. 10 bis 20 K)

Tabelle 3. Charakteristische Werte für Gabelstaplerbetrieb nach DIN 1055-3 [9]

Kategorie	Zulässige Gesamtlast (Summe aus Nenntragfähigkeit und Eigenlast)	Nenntragfähigkeit [kN]	Flächenlast $q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Radlast 1,4 $Q_k$ (Einzelrad) (auf $0,20 \times 0,20 \text{ m}$ ) [kN]	Achse a [m]		Achse b [m]	
					Länge l [m]	Breite b [m]	Länge l [m]	Breite b [m]
G1	31	10	12,5	18	0,85	2,60	1,00	1,00
G2	46	15	15,0	28	0,95	3,00	1,10	1,10
G3	69	25	17,5	44	1,00	3,30	1,20	1,20
G4	100	40	20,0	63	1,20	4,00	1,40	1,40
G5	150	60	20,0	98	1,50	4,60	1,90	1,90
G6	190	80	20,0	120	1,80	5,10	2,30	2,30

erhöhte durchschnittliche Frischbetontemperatur anzunehmen. Zusätzlich sind Schwind- und Quellverformungen des Betons bei der Dimensionierung von Fugenkonstruktionen anzusetzen. Insbesondere bei großen Fassadenverglasungen können auch in geschlossenen Hallen Temperaturerhöhungen bis zu  $35^\circ\text{C}$  auftreten (wie uns der Sommer 2003 gezeigt hat).

Hinweise zum Ansatz eines zutreffenden Temperaturgradienten – z. B. infolge von Sonneneinstrahlung im Winter (oben wärmer) oder Gewitterregen im Sommer (unten wärmer) – finden sich im Anhang A von [11] und in [12]:

- oben wärmer:
- $\Delta t = 0,08$  bis  $0,09 \text{ K/mm}$
- unten wärmer:
- $\Delta t = 0,03$  bis  $0,04 \text{ K/mm}$

Der Verfasser empfiehlt für Freiflächen und offene Hallen  $0,09 \text{ K/mm}$  (oben wärmer) bzw.  $0,04 \text{ K/mm}$  (unten wärmer) anzusetzen (dies gilt unter Umständen auch für den Bauzustand von Hallenböden). In geschlossenen Hallen ist der Ansatz eines Temperaturgradienten in der Regel nicht erforderlich, wenn die Beton-Bodenplatte erst nach der Fertigstellung von Dach und Außenwänden betoniert und die Halle vor der Frostperiode bereits beheizt wird. Der Regelfall ist aber, dass aus baubetrieblichen Gründen zwar das Dach fertiggestellt, aber die Außenwände noch nicht geschlossen sind, wenn die Beton-Bodenplatte betoniert wird. In diesem Fall und wenn große Fassadenverglasungen oder viele Tore (Logistikzentren) vorhanden sind, empfiehlt der Verfasser bei der Bemessung einen Tempera-

turgredienten von  $0,04 \text{ K/mm}$  (sowohl für oben als auch für unten wärmer) anzusetzen. Die notwendigen Baustoffkenngrößen für Schwinden, Quellen und Kriechen des Betons können z. B. der DIN 1045 [5] entnommen werden.

Der Übersichtlichkeit und Einfachheit halber empfiehlt der Verfasser, die veränderlichen Lasten stets mit dem Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_0 = 1,5$  und die Zwangbeanspruchungen (Temperatur, Schwinden/Quellen, Kriechen und Vorspannung) mit  $\gamma_{\text{Zwang}} = 1,0$  anzusetzen. Die Berücksichtigung von Kombinationsbeiwerten  $\psi$  kann unterbleiben, ansonsten würde lediglich eine rechnerische Genauigkeit vorgetäuscht, die bei Beton-Bodenplatten aufgrund der vielfältigen Einflüsse nicht annähernd der Wirklichkeit entspricht.

#### 4 Konstruktionsarten und Baustoffkenngrößen

Den prinzipiellen Aufbau einer direkt befahrenen Beton-Bodenplatte zeigt Bild 4. Zur Erzielung einer gleichmäßigen und homogenen Auflagerung ist die Anordnung einer Tragschicht immer erforderlich. Bei sehr tragfähigem Untergrund kann die Tragschicht selbstverständlich durch Aufnehmen und Wiedereinbauen des vorhandenen Bodennaterials hergestellt werden. Gleichermäßen wichtig ist, dass der vorhandene Untergrund auch im Bereich von Fundamentarbeitsräumen und Rohrleitungsgräben sorgfältig wieder eingebaut wird. Auch im Bereich von Fundamenten ist die Einhaltung einer Mindest-Tragschichtdicke von  $20 \text{ cm}$  notwendig. Beim Einbau des Betons von Hand ist die Anordnung einer Gleitschicht (z. B.

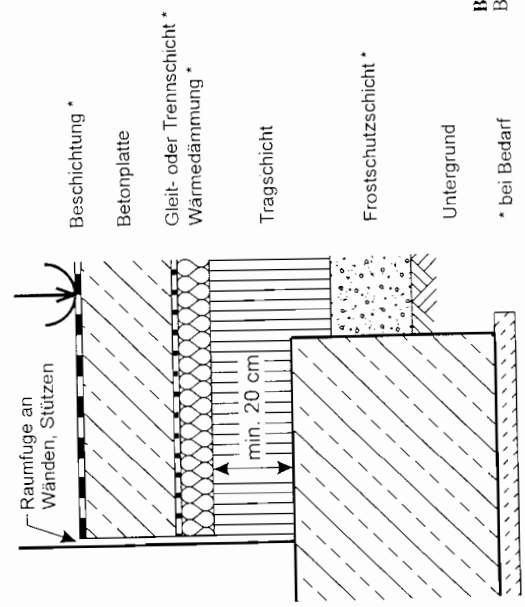
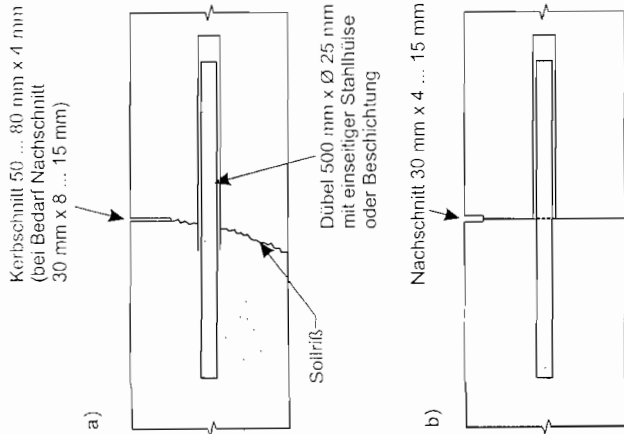


Bild 4. Prinzipieller Aufbau einer Beton-Bodenplatte



**Bild 5.** Scheinfugen mit Verdübelung: a) nachträglich geschnitten, b) Tages(arbeits)fuge

eine Lage PE-Folie) immer sinnvoll, während sich beim Einbau mit Straßendeckenfertigem die Verwendung eines Vliesstoffes, vor allem auf hydraulisch gebundenen Tragschichten, durchgesetzt hat (siehe auch [13]). Dies gilt auch, wenn statt einer hydraulisch gebundenen Tragschicht eine Sauberkeitsschicht geplant wird. Falls eine Beschichtung erforderlich oder vorgesehen ist (eventuell auch zu einem späteren Zeitpunkt), ist eine Bauweise mit Scheinfugen (Bild 5) nur dann möglich, wenn die Beschichtung nicht über die Fugen hinweg geführt wird, weil die Beschichtung bei Fugenbewegungen durchreißen oder nach oben ausbeulen würde. Diese belichte – weif-kostengünstige – Ausführung von nachträglich eingeschnittenen Scheinfugen hat sich im Straßenbau bei entsprechendem kleinem Fugenabständen (max. 25 h) bewährt. Weil aber die stoßartigen Belastungen aus Gabelstaplerbetrieb wesentlich größere Beanspruchungen an den Fugenflanken hervorrufen als die luft-bereiten Fahrzeuge im Straßenverkehr, wird in [1] empfohlen, diese Konstruktionsart nur bei geringem Gabelstaplerverkehr bis zu einer zulässigen Gesamtlast von 69 kN (Kategorie G3) auszuführen. Ansonsten ist mit frühzeitigem Ausbrechen der Fugenkanten zu rechnen. Bei mäßigem bis starkem Gabelstaplerverkehr wird empfohlen, eine fugeulose, zweilagig bewehrte Beton-Boden-

platte mit definierter Rissbreitenbeschränkung zu wählen. Weitgehend rissfreie Industriefußböden sind nur möglich, wenn kleine Fugenabstände gewählt werden oder die Beton-Bodenplatte vorgespannt wird.

Die für die Bemessung erforderlichen Kenngrößen des Baustoffs Beton sind die Biegezugfestigkeit (ermittelt nach DIN 1048-5 [14]) an Balken 150 mm x 150 mm x 700 mm) und der Elastizitätsmodul (E-Modul). Für die Konstruktion und Bemessung von Beton-Bodenplatten ist eine Annahme des E-Moduls mit  $E_c = 30.000 \text{ N/mm}^2$  (wie z. B. auch in [12]) für die üblichen Beton-sorten B25, B35 gemäß [15] und C 25/30, C 30/37 gemäß [5] genau genug. Die lineare Wärmeleit-zahl  $\alpha$  für Beton, Betonstahl und Spannstahl darf mit  $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  angenommen werden [5].

**5 Konstruktion und Bemessung**

**5.1 Tragschicht**

Für die Dimensionierung der Tragschicht sind zahlreiche Versuche und rechnerische Untersuchungen am Lehrstuhl und Prüflast für den Bau von Landverkehrswegen der TU München durchgeführt worden. Zusammen mit den Erfahrungen der Straßenbauverwaltungen sind diese Ergebnisse in die RStO 01 [13] (Bild 6) einge-flossen.

Neben den Vorgaben zur Dicke der einzelnen Schichten sind auch Verformungsmodul  $E_{v2}$  vor-gegeben, die auf dem Untergrund ( $E_{v2}$  mind.  $45 \text{ N/mm}^2$ ) und auf der Oberfläche der Frost-schutzschicht bzw. auf der Oberfläche der Trag-schicht ( $E_{v2}$  mind.  $100$  bzw.  $120 \text{ N/mm}^2$ ) er-reicht werden müssen (Abnahmekriterium). Die Verformungsmodul  $E_{v2}$  werden über Platten-druckversuche gemäß DIN 18 134 [16] ermittelt.

Mit dem Plattendruckversuch wird das Trag-verhalten des Bodens bis zu einer dem zweifa-chen Plattendurchmesser (300 bzw. 762 mm) ent-sprechenden Tiefe bestimmt. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, ist für Tragschichten eine Lastplatte mit Durchmesser 300 mm und für den Untergrund bzw. die Frostschutzschicht mit Durchmesser 762 mm zu verwenden.

In [8] haben Lehmeier und Ebeling in Abhängig-keit von der charakteristischen Einzellast  $Q$  bewährte Anforderungen an die Verformungs-modul  $E_{v2}$  des Untergrundes und der Tragschicht sowie an Mindestwerte der Tragschichtdicke dar-gestellt. Eine Zusammenfassung enthält Tabelle 4. Für die Gebrauchsfähigkeit und Dauerhaftigkeit ist es zwingend erforderlich, diese Konstruktions-regeln einzuhalten und zwar unabhängig davon, ob eine unbewehrte, bewehrte oder vorgespannte Beton-Bodenplatte gewählt wird.

Bauklasse	SV	I	II
Betondecke			
Vliesstoff			
Hydraulisch gebundene Tragschicht (HGT)			
Frostschutzschicht			

alternative Bauweise ohne Vlies: Betondecke darf 1 cm dünner ausgeführt werden

**Bild 6.** Klassifizierte Bauweisen mit Betondecken gemäß RStO 01 [13] (Auszug)

**Tabelle 4.** Mindestdicken für Tragschichten  $d_T$  in cm und zugehörige erforderliche Verformungsmodul des Untergrundes und der Tragschicht (nach [8])

Mindestdicken $d_T$ [cm]	Radlast (Einzelrad) $Q_k$ [kN]					
	20	30	45	60	100	150
Kies R3	30	35				
Kies R2	20	25	30	35		
Kies R1		20	25	30	35	
Schotter B2				20	30	35
Schotter B1					20	25
Bodenverfestigung mit Zement, baugemischt					20	25
Bodenverfestigung mit Zement, zentralgemischt					15	20
Hydraulisch gebundene Kiesstragschicht					15	20
Hydraulisch gebundene Schottertragschicht						15
Beton C 8/10						15
erf. $E_{v2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	des Untergrundes		45	45	45	60
	der Tragschicht		100	100	100	120
			100	120	130	150
					150	180

**5.2 Ermittlung des Bettungsmoduls**

Für eine direkt auf dem (homogenen) Untergrund aufliegende Beton-Bodenplatte (Zweischichten-system) kann der Bettungsmodul für die Er-mittlung der Lastspannungen infolge von Ein-zellasten gemäß [17] mit folgender Formel er-mittelt werden:

$$k = E_{v2} / (0,83 \cdot h \cdot \sqrt{E_c / E_{v1}})$$

mit  $E_{v2}$  Bettungsmodul [N/mm<sup>3</sup>]  
 $E_{v1}$  E-Modul des Untergrundes [N/mm<sup>2</sup>]  
 (z. B. Steifemodul  $E_s$  oder Verformungs-modul  $E_{v2}$ )

Für eine 220 mm dicke Beton-Bodenplatte, die direkt auf dem Untergrund ( $E_2 = 45 \text{ N/mm}^2$ ) aufliegt, erhält man:

$$k = 45 / \left( 0,83 \cdot 220 \cdot \sqrt{30000/45} \right) = 0,03 \text{ N/mm}^3 \quad (30000 \text{ kN/m}^3)$$

Für einen „besseren“ Untergrund mit einem Steifemodul  $E_2 = 80 \text{ N/mm}^2$  erhält man:

$$k = 80 / \left( 0,83 \cdot 220 \cdot \sqrt{30000/80} \right) = 0,06 \text{ N/mm}^3 \quad (60000 \text{ kN/m}^3)$$

Auf eine Angabe der Formeln für das Dreischichtensystem bestehend aus der Betonplatte, der Tragschicht und dem Untergrund wird hier verzichtet, weil umgebundene Tragschichten den Bettungsmodul nur geringfügig beeinflussen und ein Anwenden der obigen Formel (ohne Ansatz der Tragschicht) genau genug ist.

Daraus darf allerdings keinesfalls der Schluss gezogen werden, dass Tragschichten nicht notwendig wären – im Gegenteil: Für die Dauerhaftigkeit ist die Anordnung einer Tragschicht unumgänglich!

Die oben genannte Beziehung für die Berechnung des Bettungsmoduls gilt nur für Einzellasten, wobei die Lastverteilung im Untergrund berücksichtigt ist. Für Flächenlasten (z. B. Lagerkasten bei Gabelstaplerbetrieb) muss anhand einer Setzungs-berechnung der Bettungsmodul  $k$  in gewohnter Weise als „Flächfeder“ bestimmt werden:

$$k = \frac{q}{s} \quad [\text{N/mm}^3]$$

mit

$q$  Flächenlast  $[\text{N/mm}^2]$

$s$  zugehörige Setzung  $[\text{mm}]$

Wegen des geringeren Einflusses der Lastausbreitung im Untergrund werden sich hierbei niedrigere Bettungsmoduli (0,03 bis  $0,005 \text{ N/mm}^3$ ) ergeben. Damit das Superpositionsprinzip für die Lastfallüberlagerung angewendet werden kann, sollte auf der sicheren Seite liegend der niedrigere Bettungsmodul dann auch für die Ermittlung der Lastspannungen infolge Einzellasten angesetzt werden.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass bei einer EDV-Berechnung beim Ansatz von Temperaturgradienten darauf zu achten ist, dass rechnerisch auftretende „Zugfedern“ in abtenden Plattenbereichen eliminiert werden, wobei wiederum das Superpositionsprinzip seine Gültigkeit verliert (nichtlineare Berechnung).

Stelle Wärmedämmstoffe unter Beton-Bodenplatten (z. B. Schaumglas oder extrudierte Hart-

schaumplatten) haben keinen nennenswerten Einfluss auf die Ermittlung des Bettungsmoduls, weil sie wesentlich steifer als übliche Untergründe sind.

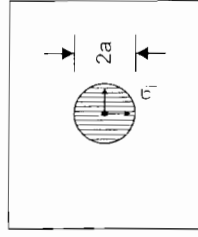
### 5.3 Unbewehrte Beton-Bodenplatten

Die bekannteste Anwendung von unbewehrten Beton-Bodenplatten ist zweifelsohne der Betonstraßenbau. Eine ausführliche Darstellung enthält [12]. Betonstraßen weisen – bei entsprechender konstruktiver Durchbildung – eine sehr große Dauerhaftigkeit auf. Im Bereich des BMVBW klassifiziert die Richtlinie für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RSO 01) [13] verschiedene Bauweisen in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung (Bild 6).

#### 5.3.1 Berechnung der Lastspannungen der Betonplatte

Die Dimensionierung der Bauklassen der RSO 01 [13] beruht auf langjähriger Erfahrung der Straßenbauverwaltungen und zahlreichen Untersuchungen von Eisenmann in Verbindung mit dem empirisch verbesserten Rechenverfahren nach Westergaard. Obwohl dieses Verfahren weder „genau“ noch „dimensionsfrei“ ist, stellt es doch bis heute die anschaulichste und zutreffendste Möglichkeit dar, Biegezugspannungen in flächig aufliegenden Beton-Bodenplatten zu bestimmen. Das gleiche Verfahren dient übrigens auch zur Berechnung von Estrichen auf Trittschalldämmschichten. Es beruht auf der Berechnung der Biegezugspannungen einer elastisch gebetteten Platte unter einer „Toplast“ für die drei Laststellungen Plattenmitte, Plattenrand und Plattenecke. Die aus [17] entnommenen Formeln sind in Bild 7 zusammengestellt. Die Formeln zeigen anschaulich die Einflüsse der beiden wichtigsten Parameter:

- Die Radlast  $Q$  geht linear in die Berechnung der Biegezugspannungen ein.
  - Die Dicke  $h$  der Beton-Bodenplatte geht quadratisch (das Widerstandsmoment dominiert) in die Biegezugspannungsermittlung ein.
- Eine detailliertere Auswertung der Westergaard-Formeln in [12] lässt folgende Aussagen zu:
- Eine Veränderung des Bettungsmoduls um  $\pm 50\%$  verändert die Biegezugspannungen nur unwesentlich.
  - Eine Schwankung des E-Moduls des Betons um  $\pm 20\%$  hat auf die Biegezugspannungen nur einen geringen Einfluss.
  - Die maximalen Biegezugspannungen für die Laststellungen Plattenrand und Plattenecke sind etwa gleich groß und etwa doppelt so groß wie bei der Laststellung Plattenmitte.

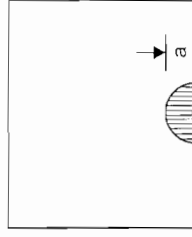


Laststellung Plattenmitte (Biegezug unten):

$$\sigma_j = \frac{0,275 \cdot Q}{h^2} \cdot (1 + \mu) \cdot \lg \left( \frac{E_c \cdot h^3}{k \cdot b^4} \right) - 0,436 \quad [\text{N/mm}^2]$$

Laststellung Plattenrand (Biegezug unten):

$$\sigma_r = \frac{0,529 \cdot Q}{h^2} \cdot (1 + 0,54 \cdot \mu) \cdot \lg \left( \frac{E_c \cdot h^3}{k \cdot b^4} \right) + \lg \left( \frac{b}{1 - \mu^2} \right) - 2,48 \quad [\text{N/mm}^2]$$



Laststellung Plattenecke (Biegezug oben):

$$\sigma_e = \frac{3 \cdot Q}{h^2} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{12 \cdot (1 - \mu^2) \cdot k}{E_c \cdot h^3} \right)^{0,3} \right] \cdot (a \cdot \sqrt{2})^2 \quad [\text{N/mm}^2]$$

mit

$E_c$  = Elastizitätsmodul des Betons in  $[\text{N/mm}^2]$

$h$  = Dicke der Betondecke in  $[\text{mm}]$

$a = \sqrt{\frac{Q}{\pi \cdot p}}$  = Belastungskreisradius in  $[\text{mm}]$

$p$  = Kontaktdruck in  $[\text{N/mm}^2]$

$Q$  = Radlast in  $[\text{N}]$

$b = \sqrt{16 \cdot a^2 + h^2} \cdot 0,675 \cdot h$  für  $a < 1,724 \cdot h$  in  $[\text{mm}]$

$b = a$  für  $a > 1,724 \cdot h$  in  $[\text{mm}]$

$k$  = Bettungsmodul in  $[\text{N/mm}^3]$

$\mu$  = Querdehnzahl des Betons = 0,17

Bild 7. Verbessertes Rechenverfahren nach Westergaard (aus [17])

#### 5.3.2 Berechnung der Temperaturspannungen der Betonplatte

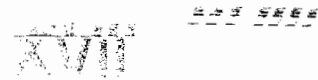
In unbewehrten Straßen- und Verkehrsflächen sind immer Fugen erforderlich. Am besten bewährt haben sich (zum frühest möglichen Zeitpunkt nach dem Betonieren) eingeschnittene, verdrübte Scheinfugen (Bild 5). Scheinfugen sind zur Reduzierung der Beanspruchungen infolge von Änderungen der Mitteltemperatur  $t_m$  bzw. Schwinden/Quellen und infolge ungleichmäßiger Erwärmung/Abkühlung  $\Delta t$  notwendig.

Eine verformungsbehinderte, fugenlose Beton-Bodenplatte reagiert bereits bei einer Abkühlung um 20 K auf, wie sich leicht zeigen lässt:

$$\sigma_1 = \alpha_t \cdot t_m - E_c$$

$$\sigma_1 = 1,0 \cdot 10^{-5} \cdot 20 \cdot 30000 = 6 \text{ N/mm}^2 \approx 2 \cdot f_{ctm} \text{ gemäß [5]}$$

⇒ Trennriss



Man erkennt sofort, dass die Zugfestigkeit  $f_{ctm}$  des Betons nicht ausreicht, um Trennrisse zu verhindern. Dies gilt für Freiflächen wegen der jahreszeitlich bedingten Temperaturunterschiede und für Innenräume (Hallböden) wegen des Endschwindmaßes von 0,20 bis 0,40 ‰, was einer zusätzlichen Abkühlung um 20 bis 40 K entspricht.

Deshalb werden beim Bau von Betonstraßen immer Scheinfugen im Abstand von max. 25 · h angeordnet (bei Hallböden max. 35 · h). Das ergibt bei der Regeldicke von 260 mm einen Scheinfugenabstand von max. 6,50 m, üblich sind 5,00 bis 5,50 m.

Unter der Voraussetzung, dass keine ständigen Verikallasten einwirken und der Bewegungsfestpunkt in der Feldmitte liegt, kann man die durch eine Temperaturabsenkung entstehende Normalspannung  $\sigma_t$  wie folgt berechnen:

$$\max \sigma_t = \gamma \cdot \frac{L}{2} \cdot \beta_R \leq \alpha_T \cdot \epsilon_s \cdot E_c$$

mit

$\gamma$  Wichte des Betons [MN/m<sup>3</sup>]

$L$  Plattenlänge [m]

$\beta_R$  Reibungsbeiwert in der Bodenfluge  
 1,6 bei der Erstbewegung (auf Untergrund),  
 0,8 für wiederholte Bewegungen  
 0,8 bei 2-lagiger Folie (Erstbewegung)  
 0,4 für Flächengleitlager (Erstbewegung)  
 (weitere Werte z. B. in [6])

Für eine nur durch ihr Eigengewicht belastete Bodenplatte mit 6,50 m Scheinfugenabstand ergibt sich für die Erstbewegung

$$\max \sigma_t = 24 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{6,50}{2} \cdot 1,6 = 0,12 \text{ N/mm}^2$$

Man erkennt, dass dieser Einfluss nicht maßgebend für die Bemessung ist.

Die Größe der zugehörigen Fugenöffnung (der Einfluss der Dehnungsbehinderung infolge von Reibung ist vernachlässigbar klein) beträgt für eine Abkühlung  $t_c$ :

$$\Delta l = \alpha_T \cdot t_c \cdot L$$

Für die Beton-Bodenplatte mit einem Scheinfugenabstand von 6,50 m ergibt sich bei einer Abkühlung um 30 K:

$$\Delta l = 1,0 \cdot 10^{-5} \cdot 30 \cdot 6500 = 2,0 \text{ mm}$$

Das heißt, die maximale Fugenbewegung beträgt 2 · 2,0 = 4,0 mm, was bei elastischer Verfürgung einen Fugenspalt von mindestens 4 · 4,0 mm = 15 mm erfordert (Bild 8).

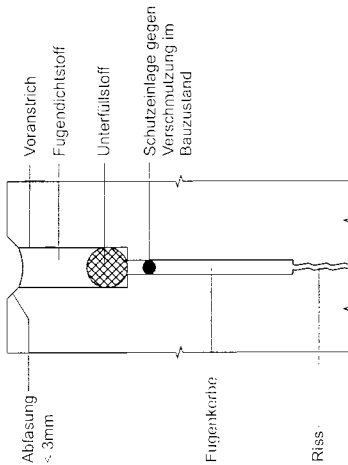


Bild 8. Schließen von Scheinfugen gemäß [18]

### 5.3.3 Berechnung der Wölbspannungen der Betonplatte (infolge $\Delta l$ )

Ausgelöst durch die Sonneneinstrahlung entsteht (im Freien) an der Plattenoberfläche ein maximaler Temperaturgradient von  $\Delta t$  (0,09 K/mm [12]). Diese Erwärmung an der Oberseite verursacht ein Hochwölben der Betonplatte in Feldmitte. Dieser Hochwölbung wirkt das Eigengewicht entgegen und erzeugt ein Biegemoment, das an der Plattenunterseite zu Biegezugspannungen führt, die (der Einfachheit halber) als Wölbspannungen bezeichnet werden. Ist die Platte länger als die von *Eisenmann* und *Leykauf* [17] definierte Plattenlänge  $l_{crit}$ , kommt die Betonplatte in der Mitte zum Aufliegen und verhält sich in diesem Bereich ideal gemäß elastischer Plattenlehre bei eingespannten Rändern:

$$\sigma_w = \frac{1}{1 - \mu} \cdot \Delta t \cdot \alpha_T \cdot \epsilon_s \cdot E_c$$

mit

$\mu$  Querdehnzahl = 0,17

$\Delta t$  Temperaturgradient [K/mm]  
 oben wärmer 0,09 K/mm  
 unten wärmer 0,04 K/mm

$h$  Plattendicke in [mm]

Für eine unendlich ausgedehnte, 26 cm dicke Platte ergibt sich bei Sonneneinstrahlung:

$$\sigma_w = \frac{1}{1 - 0,17} \cdot 0,09 \cdot \frac{260}{2} \cdot 1,0 \cdot 10^{-5} \cdot 30000 = 4,2 \text{ N/mm}^2$$

Dieser Wert ist größer als die charakteristische Biegezugfestigkeit  $f_{ctk,n}$  und zeigt, dass eine unbewehrte Betonplatte nur dann dauerhaft funktionieren kann, wenn die Hochwölbung durch die

gende Mauerwerkswände oder Hochregale mit mehr als 7,50 m Lagerhöhe (Oberkante Lagergut) zu tragen hat (siehe z. B. [19]).

Beton-Bodenplatten sind in der Regel nicht so häufigen Lastwechseln wie im Straßenbau ausgesetzt, müssen aber oftmals höhere Einzellasten und auch Flächenlasten (z. B. Container, Paletten, Schüttgüter) abtragen. Weil das Konstruktionsprinzip unbewehrter Beton-Bodenplatten dem Straßenbau entsprechend ist, kommt auch hier der konsequenten planarischen Umsetzung die größte Bedeutung zu. Wegen der gegenüber Freiflächen geringeren Temperaturbeanspruchungen darf der max. Scheinfugenabstand in geschlossenen Hallen bis zu 35 · h betragen. In jedem Fall sollten annähernd quadratische Plattenfelder geplant werden (Seitenverhältnis kleiner 1,5).

Für die Bemessung von unbewehrten Beton-Bodenplatten im Grenzzustand der Tragfähigkeit wird in [1] ein Nachweis auf der Ebene von Spannungen vorgeschlagen. Dabei wird die gegenüber der zentralen Zugfestigkeit  $f_{ct}$  höhere Biegezugfestigkeit des Betons  $f_{ctk,n}$  angesetzt. Weil die Biegezugfestigkeit in der neuen DIN 1045 [5] als Festigkeitskennwert des Betons nicht genannt ist, wird in [1] eine Näherungsformel für die Berechnung der charakteristischen Biegezugfestigkeit des Betons  $f_{ctk,n}$  angegeben:

$$f_{ctk,n} = k_p \cdot f_{ct,0,05}$$

$$k_p = 1,6 - h [m] \cdot 1,0$$

und

$h$  = Plattendicke in [m]

$f_{ct,0,05}$  = zentrale Zugfestigkeit des Betons (5 % Quantil); z. B. gemäß [5], Tab. 9

Eine Auswertung der charakteristischen Biegezugfestigkeit für verschiedene Plattendicken zeigt Tabelle 5. Alternativ zur Betonbestellung nach den gemäß DIN 1045 [5] definierten Eigenschaften kann bei nichttragenden Beton-Bodenplatten analog zur ZIV Beton-StB 01 [15] selbstverständlich auch ein Beton mit einer vorgegebenen Biegezugfestigkeit ausgeschrieben und bestellt werden.

Als charakteristischer Wert für die Bemessung darf aber als Dauerstandfestigkeit für den mehrachsigen Spannungszustand nur 80 % des nachgewiesenen Wertes angesetzt werden. Eine weitere Abminderung (z. B. unter Anwendung des Dreikennwertes  $k_{pl}$ ) ist für den Einfluss der gegenüber den Prüfkörpern ( $h = 150 \text{ mm}$  bzw.  $100 \text{ mm}$ ) größeren Plattendicke erforderlich.

Die Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen sind wie im Abschnitt 3 erläutert anzunehmen. Der Teilsicherheitswert  $\gamma_{ed}$  für unbewehrten Beton auf Zug wird gemäß [1] in Abhängigkeit vom An-

entsprechende Wahl kleiner Felderhöhen ermöglicht wird. *Eisenmann* und *Leykauf* geben hierfür in [12] die Formel für die reduzierte Wölbspannung  $\sigma_w$  an:

$$\sigma_w = \left( \frac{L - 400 \text{ [mm]}^2}{0,9 \cdot l_{crit}} \right) \cdot \sigma_w [N/mm^2]$$

mit

$L$  Plattenlänge

$l_{crit}$  33 · h für Stäbe und schmale Platten

37 · h für quadratische Platten

(Voraussetzung:

keine Normalkräfte in der Platte)

Für eine 26 cm dicke, quadratische Betonplatte mit einem Scheinfugenabstand von 6,50 m ergibt sich dann:

$$\sigma_w = \left( \frac{6500 - 400^2}{0,9 \cdot 37 \cdot 260} \right) \cdot 4,2 = 2,1 \text{ N/mm}^2$$

und somit eine Reduzierung auf 50 % der Wölbspannung einer fugenlosen Platte. Diese Biegezugspannung tritt in Feldmitte auf der Plattenunterseite auf und ist daher nur mit der Laststellung Plattenmitte zu überlagern.

Bei einer Abkühlung der Plattenoberseite (Nachtstunden bzw. Gewitterregen im Sommer) treten max. Temperaturgradienten von 0,04 K/mm auf, was für die 26 cm dicke fugenlose Platte zu maximalen Biegezugspannungen von etwa 1,9 N/mm<sup>2</sup> an der Plattenoberseite führt. Für die Regelpalte mit 6,50 m Scheinfugenabstand entstehen gemäß [12] in diesem Fall Wölbspannungen von max. 1,5 N/mm<sup>2</sup> an der Plattenoberseite in Feldmitte, die bei der Superposition mit der Laststellung Plattendecke zu keiner nennenswerten Erhöhung der Biegezugspannungen an der Plattenoberseite führt.

### 5.3.4 Bemessungsverfahren gemäß DBV-Merkblatt [1]

Unbewehrte Beton-Bodenplatten sind nur für nichttragende Konstruktionen baurechtlich zulässig und fallen deshalb nicht automatisch in den Anwendungsbereich der DIN 1045. Selbstverständlich ist es aber möglich und sinnvoll, die Lieferung des Baustoffes Beton mit den in der DIN 1045 definierten Eigenschaften auszusortieren und zu planen.

Übernehmen Beton-Bodenplatten auch für die Standsicherheit relevante Funktionen („tragend“), so ist ein Standsicherheitsnachweis entsprechend der im jeweiligen Bundesland eingeführten „Liste der Technischen Baubestimmungen“ zu führen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die Beton-Bodenplatte auch eine aussteifende Funktion übernimmt oder andere Bauteile, wie z. B. tra-

**Tabelle 5.** Charakteristische Biegezugfestigkeit  $f_{\text{ek},n}$  in  $[\text{N}/\text{mm}^2]$  für übliche Plattendicken (gemäß [1])

Platten- dicke	$k_b$	$f_{\text{ek},n}$ für Betonfestigkeitsklasse	
h [m]	I-I	C 25/30	C 30/37
0,16	1,44	2,59	2,88
0,18	1,42	2,56	2,84
0,20	1,40	2,52	2,80
0,22	1,38	2,48	2,76
0,24	1,36	2,45	2,72
0,26	1,34	2,41	2,68
0,28	1,32	2,38	2,64
0,30	1,30	2,34	2,60

$f_{\text{ek},n} = k_b \cdot f_{\text{ek},0,05}$  mit  $k_b = 1,6 - h$  [m]  $\geq 1,0$

wendungsgebiet (A, B oder C) entsprechend der vom Bauherrn vorgegebenen wirtschaftlichen Bedeutung zwischen 1,00 und 1,67 angenommen (siehe Tabelle 6).

Das in [1] angegebene Nachweisformat lautet:

$$\sigma = k_N \cdot \frac{N_{\text{Ed}}}{A} + \frac{M_{\text{Ed}}}{W} \leq \frac{f_{\text{ek},n}}{\gamma_{\text{Gf}}}$$

mit

$k_N = k_b$  für  $N_{\text{Ed}} > 0$  (Zugkraft)

$k_N = 1,0$  für  $N_{\text{Ed}} < 0$  (Druckkraft)

**Tabelle 6.** Anwendungsgebiete und Teilsicherheitsbetwerte  $\gamma_{\text{Gf}}$  für unbewehrte Betonbodenplatten (gemäß [1])

Anwendungs- gebiet	Beschreibung	Beispiel	$\gamma_{\text{Gf}}$
A	Normale wirtschaftliche Bedeutung und keine Anforderungen bezüglich der Rissbreiten	Lagerflächen für unempfindliche Schüttgüter	1,00
B	Erhöhte wirtschaftliche Bedeutung und übliche Anforderungen bezüglich der Rissbreiten	Lagerflächen mit Gabelstaplerverkehr und Warenumschlag	1,33
C	Hohe wirtschaftliche Bedeutung und erhöhte Anforderungen bezüglich der Rissbreiten	Lagerflächen für organische Abfälle, Industrieböden für Hochregallager	1,67

Der Beiwert  $k_b$  berücksichtigt, dass die zentrische Zugfestigkeit  $f_{\text{ek}}$  geringer als die Biegezugfestigkeit  $f_{\text{ek},n}$  ist.

**5.3.5 Bemessungsbeispiel** (aus [20])

Es wird zunächst eine Beton-Bodenplatte in einer geschlossenen Halle ohne direkte Sonneneinstrahlung betrachtet:

Anwendungsgebiet A, Gabelstapler G3, Bettungsmodul  $k = 0,03 \text{ N}/\text{mm}^3$ , Platte direkt auf ungebundene Tragschicht betoniert,  $h = 260 \text{ mm}$ , C30/37 gemäß DIN 1045.

Gewählter Fugenabstand  $8,50 \text{ m} < 35 \cdot h = 9,10 \text{ m}$ , deshalb können Zwangsspannungen infolge von Schwinden vernachlässigt werden.

Unter der Verwendung der Formeln von Bild 7 errechnet sich mit  $\gamma_{\text{Gf}} = 1,0$ :

$$\sigma_1 = 1,41 \text{ N}/\text{mm}^2$$

$$\sigma_2 = 2,57 \text{ N}/\text{mm}^2$$

$$\sigma_6 = 2,65 \text{ N}/\text{mm}^2 < \text{zul } \sigma$$

$$\text{zul } \sigma = f_{\text{ek},n}/1,0 = 2,68/1,0 = 2,68 \text{ N}/\text{mm}^2$$

Betrachtet man nun dieselbe Beton-Bodenplatte in einer Halle, die große Torbereiche oder Fassadenflächen auf der Ost-, Süd- oder Westseite aufweist, so muss der Fugenabstand auf  $7,20 \text{ m}$  reduziert werden. Mit  $\Delta t = 0,04 \text{ K}/\text{mm}$  erhält man dann für die Plattenmitte:

$$\text{red } \sigma_w = 1,23 \text{ N}/\text{mm}^2 \Rightarrow$$

$$\sigma_1 + \text{red } \sigma_w = 1,41 + 1,23$$

$$= 2,64 \text{ N}/\text{mm}^2 \approx \text{zul } \sigma$$

(Berechnung als EXCELE-Tabelle siehe Bild 9)

Unbewehrte Beton-Bodenplatte:

(nach Westergaard und Eisenmann/Leykauf, entnommen aus BK 1987/II: Bau von Verkehrsflächen)

**1.) Konstruktion:** für Gabelstapler G 3 mit  $1,4 \cdot Q_k$

$h = 260$  (mm) Plattendicke  
 C 30/37 Betongüte  
 A Anwendungsgebiet (A, B oder C)  
 L = 7,20 (m) Fugenabstand:  
 im Freien  $25 \cdot h < 7,50 \text{ m}$   
 in geschl. Hallen  $35 \cdot h < 8,50 \text{ m}$

**2.) Bettungsmodul:**

$$K = 0,03 \text{ (N}/\text{mm}^3)$$

**3.) Beanspruchungen:**

$Q_k = 44$  (kN) Radlast/Regallast incl.  $\sigma$   
 $\gamma_0 = 1,50$  Teilsicherheitsbeiwert  
 $Q = Q_{k,d} \cdot \gamma_0 \cdot Q_k = 66.000$  (N) Bemessungslast  
 $\Delta t = 0,04$  (K/mm) Temperaturgradient (oben wärmer)  
 (Halle mit großen Fenstern/Toren)

**4.) Systemwerte:**

$E = E_c = 31.900$  (N/mm<sup>2</sup>) Elastizitätsmodul des Betons  
 $\mu = 0,17$  ( ) Querdehnzahl  
 $F = 40.000$  (mm<sup>2</sup>) Lastaufstandsfläche  
 (F=Op mit p= Reifeninnendruck)  
 $a = 113$  (mm) Radius der Kreisfläche F:  
 $a = (F/\pi)^{0,5}$   
 $b = (1,6 \cdot a^2 + h^2)^{0,5} = 0,675 \cdot h$  für  $a < 1,724 \cdot h$   
 $b = a$  für  $a > 1,724 \cdot h$   
 $b = 121$  (mm)

**5.) Lastspannungen (Grenz Zustand der Tragfähigkeit):**

$$\sigma_1 = (0,275 \cdot Q/h^2) \cdot (1+\mu) \cdot (\lg(E \cdot h^3/K \cdot b^3) - 0,436) = 1,41 \text{ (N}/\text{mm}^2) \text{ für Einzellast in Plattenmitte}$$

$$\sigma_1 = (0,529 \cdot Q/h^2) \cdot (1+0,54 \cdot \mu) \cdot (\lg(E \cdot h^3/K \cdot b^3) + \lg(b/(1-\mu^2)) - 2,48) = 2,57 \text{ (N}/\text{mm}^2) \text{ für Einzellast am Plattenrand}$$

$$\sigma_6 = (3 \cdot Q/h^2) \cdot (1 - (1,2 \cdot (1-\mu^2) \cdot K/E \cdot h)^{0,3} + (a \cdot 2)^{1,2}) = 2,65 \text{ (N}/\text{mm}^2) \text{ für Einzellast auf der Plattenecke}$$

**6.) Temperaturspannungen (Zwang = 1,0):**

$$\text{red } \sigma_w = 1/(1-\mu) \cdot \Delta t \cdot \alpha t = 0,5 \cdot h \cdot 10^{-6} \cdot E_c \cdot (L-400)/(0,9 \cdot 37 \cdot h)^2 = 1,23 \text{ (N}/\text{mm}^2)$$

**7.) Überlagerung Plattenmitte**

$$\sigma_1 + \text{red } \sigma_w = 2,65 \text{ (N}/\text{mm}^2)$$

**8.) zul. Biegezugspannungen:** (gemäß DBV-Merkblatt Industrieböden)

$$\text{zul } \sigma = f_{\text{ek},n}/\gamma_{\text{Gf}} = 2,68 \text{ (N}/\text{mm}^2)$$

Bild 9. Bemessung einer unbewehrten Beton-Bodenplatte als EXCELE-Tabelle



1 A  
1 B  
1 C  
1 D  
1 E  
1 F

**Tabelle 7.** Ergebnisse einer Regelbemessung für eine unbewehrte Bodenplatte der Festigkeitsklasse C 30/37 (aus [1])

Lastkategorie DIN 1055-3	Zulässige Gesamtlast Gabelstapler [kN]	Radlast $Q_k$ (incl. $\varphi = 1,4$ ) [kN]	Regallast $Q_k$ (Aufstands- fläche 100 cm <sup>2</sup> ) [kN]	Erforderliche Plattendicke [m]		
				Anwendungsgebiet		
				A	B	C
G1	31	18	15	0,16	0,18	0,20
G2	46	28	25	0,20	0,24	0,27
G3	69	44	40	0,26	0,30	(0,35)
G4	100	63	60	0,32	(0,38)	–

Dieser Ansatz eines Temperaturgradienten  $\Delta t = 0,04 \text{ K/mm}$  ist insbesondere auch bei Hallenböden anzusetzen, die zwar nach Herstellen des Hallendachs, aber vor dem vollständigen Schließen aller Fassadenflächen betoniert werden. Alternativ zur Reduzierung des Fugenabstands könnte auch bis zum vollständigen Schließen der Fassadenflächen ein Befahren des Hallenbodens unter- und während der Bauzeiten kaum praxisergebräuchlich sein.

Liegt nun dieselbe Beton-Bodenplatte im Freien, so muss der Fugenabstand auf 5,00 m reduziert werden; es errechnet sich dann für die Plattenmitte:

$$\begin{aligned} \text{red } \sigma_w &= 1,27 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \\ 6f_1 + \text{red. } \sigma_w &= 1,41 + 1,27 \\ &= 2,68 \text{ N/mm}^2 \approx \text{zul } \sigma \end{aligned}$$

Andernfalls müsste bei einem Fugenabstand von 5,50 bzw. 6,50 m die Plattendicke auf 280 bzw. 340 mm erhöht werden.

Das Beispiel soll auch zeigen, dass für nichttragende Beton-Bodenplatten im Freien bei großen Flächen eine Ausschreibung nach der ZTV Beton [15] mit vorgegebener Mindestbiegezugfestigkeit des Betons wirtschaftlich wird, weil dann höhere Biegezugspannungen zugelassen werden können.

Die Ergebnisse einer Regelbemessung mit Betonansorten gemäß DIN 1045 zeigt Tabelle 7.

#### 5.4 Stahlfaserbeton-Bodenplatten

Beton-Bodenplatten aus Stahlfaserbeton können etwas dünner ausgeführt werden als unbewehrte Beton-Bodenplatten, weil nach der Rissbildung die im Beton vorhandenen Stahlfasern die Risse überbrücken. Die Bemessung kann z. B. gemäß [21] erfolgen (siehe auch den Beitrag von *Falkner* und *Tentwich* „Stahlfaserbeton – Anwendungen und Richtlinie“, Kapitel XI in diesem Beton-Kalen-

der), hier tritt an die Stelle der Biegezugfestigkeit die äquivalente Biegezugfestigkeit, bei der das Aufhebungsvermögen des gerissenen Betons mitberücksichtigt wird. Ansonsten müssen Stahlfaserbeton-Bodenplatten genauso wie unbewehrte Betonplatten in Plattenfelder (max.  $35 \cdot h < 8,50 \text{ m}$ ) eingeteilt werden, die z. B. gemäß Bild 5 zu verübeln sind. Die Ermittlung der Biegezugspannungen erfolgt meist mit den Formeln von *Westergaard* (Bild 7).

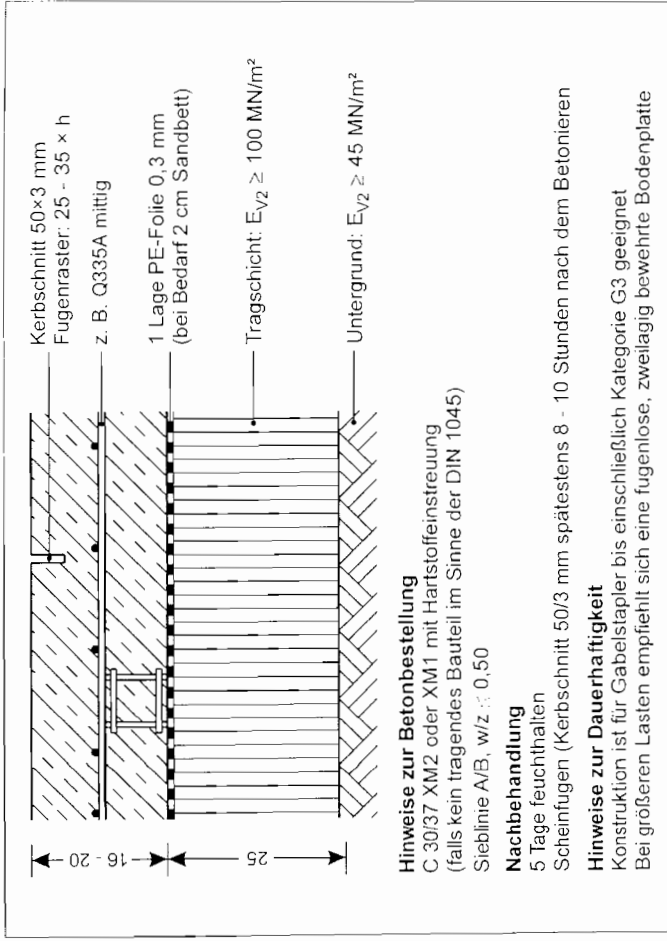
Als Mindestdicke wird in [1] 160 mm angegeben. Der Verfasser empfiehlt, mindestens 200 mm zu wählen und Stahlfaserbeton-Bodenplatten bei Gabelstaplerbetrieb nur bis zur Kategorie G3 einzusetzen.

Wegen der Gefahr des Herausrostens der Stahlfasern an der Bodenplattenoberfläche ist ein Einsatz nur in trockenen Bereichen von geschlossenen Hallen sinnvoll. Die Anwendung von Stahlfaserbeton für tragende Bodenplatten erfordert eine bauaufsichtliche Zustimmung im Einzelfall.

Wegen des Gewährleistungsrisikos wird empfohlen, Bemessung und Ausführung in die Hand eines erfahrenen Ausführungsbetriebs zu legen und die Anordnung der geschnittenen Scheinlagen sorgfältig zu planen und rechtzeitig mit dem Bauherrn abzustimmen.

#### 5.5 Stahlbeton-Bodenplatten

Um eine gleichwertige Dauerhaftigkeit zu erreichen, müssen bewehrte Beton-Bodenplatten nach den gleichen Konstruktionsprinzipien wie unbewehrte Beton-Bodenplatten geplant und hergestellt werden. Für die Berechnung der Biegemomente infolge von Radlasten können die Formeln gemäß Bild 7 verwendet werden (vor allem für Vordimensionierungen), schließlich verhält sich eine bewehrte Beton-Bodenplatte bis zum Entstehen des ersten Risses nicht anders als eine unbewehrte.



**Bild 10.** Typisierter Hallenboden mit einlagiger Bewehrung System HOCHTIEF Consult

Wenn eine weitgehende Rissfreiheit vom Bauherrn gewünscht wird, muss die bewehrte Bodenplatte genauso konstruiert und bemessen werden wie eine unbewehrte Bodenplatte (Zustand I), oder sie muss vorgespannt werden. Als Mindestdicke wird in [1] 160 mm angegeben. Der Verfasser empfiehlt, bei Gabelstaplerbetrieb bis Kategorie G3 200 mm und ab Kategorie G4 mindestens 220 mm zu planen.

Die häufigste Ausführung von Stahlbeton-Bodenplatten ist die zweilagig bewehrte Bodenplatte. Gelegentlich findet man in der Literatur (unter anderem auch in [1]) Hinweise, dass die obere Bewehrungslage beim Schneiden der Scheinfugen mit durchzuschneiden sei. Dies ist dann richtig, wenn die Bodenplatte (z. B. wegen der Rissfreiheit) wie eine unbewehrte Bodenplatte bemessen wurde und die untere Bewehrungslage die Aufgabe der Fugenverdübelung übernehmen soll. Eine solche Ausführung ist auch für tragende Bodenplatten zulässig. Nach Meinung des Verfassers ist es aber wenig sinnvoll, Kosten für eine obere Bewehrung zu verursachen, die kaum etwas nützt, aber das Betonieren erschwert. Derselben Zweck erfüllt eine einlagige, mittig verlegte Bewehrungs-

lage viel besser und ausführungsfreundlicher (siehe z. B. Bild 10).

Zweilagig bewehrte, fugenlose Bodenplatten sind immer dann zweckmäßig, wenn:

- die Bodenplatte beschichtet werden soll,
- die Bodenplatte wasserundurchlässig sein muss,
- hohe Regallasten aufzunehmen sind,
- Gabelstapler der Kategorie G4 und schwerer verkehren,
- ungleichmäßige Baugrundsetzungen erwartet werden.

Die Bemessung der Stahlbeton-Bodenplatte kann bei nichttragenden Bodenplatten z. B. gemäß DIN 1045 [5] erfolgen, für (hausrechtlich) tragende Bodenplatten muss sie gemäß DIN 1045 erfolgen.

Die Zwangbeanspruchungen infolge abfließender Hydrationswärme, Schwinden und gleichmäßiger Temperaturänderung können entweder rechnerisch ermittelt („nachgewiesene Zwangsschnittgröße“) oder als voller zentrischer Zwangsschnitt gesetzt werden. Bei der rechnerischen Ermittlung (z. B. analog Abschnitt 5.3.2) sind folgende

Punkte unbedingt zutreffend anzunehmen und in die Planung umzusetzen:

- Reibungsbreiwert auf der Tragschicht,
- Lage des Bewegungsfestpunkts (auf Dauer),
- Behinderte Verformung durch Flächenlasten,
- Bewegungsmöglichkeiten an Zwangspunkten (z. B. Stützen),
- Fugenspalbreite und dauerhafte Funktionsfähigkeit der Dehnfugenkonstruktion.

Dieses Konstruktionsprinzip ist bis zu Fugenabständen von 20,00 m wirtschaftlich, wenn während der Nutzungsdauer keine größeren Flächenlasten vorhanden sind (z. B. reine Fahrflächen, Kommissionierbereiche). Anstelle von größeren Fugenabständen als 20,00 m hat es sich bewährt, Stahlbeton-Bodenplatten fugenlos zu planen. Die Bemessung erfolgt dann für vollen zentrischen Zwang, bei Freiflächen in spätem Alter ( $f_{a,0,05} = f_{a,0,30} > 3,0 \text{ N/mm}^2$ ) oder bei geschlossenen Hallen für eine Erstrisssbildung in frühem Alter ( $f_{a,0,05} = 0,5 \cdot f_{a,0,30}$ ).

Die Verwendung von langsam erhärtenden Zementen bringt hier keinen Vorteil, weil dadurch lediglich die Erstrisssbildung in ein späteres Alter verschoben wird, was eine höhere Bewehrungsmenge zur Erzielung der gleichen Rissbreite erfordert. Bei der Ermittlung der Risskraft ist eine im Verbund angeordnete hydraulisch gebundene Tragschicht oder Sauberkeitsschicht zu berücksichtigen; besser ist aber der Einbau einer Gleitschicht, z. B. aus Vliesstoff.

Die zulässige, rechnerische Rissbreite  $w_r$  (95 %-Fraktile, gemessen in der Bewehrungsachse) ist vom Planer in Abhängigkeit von den Expositionsklassen und der Nutzung (Löschwasserriechhaltung, Rissüberbrückungsfähigkeit der Bewehrung, Gabelstaplerverkehr) festzulegen und mit dem Bauherrn abzustimmen (in der Regel 0,20 oder 0,30 mm). Bei LKW-Verkehr und Gabelstaplerverkehr bis einschließlich Kategorie G5 genügt erfahrungsgemäß eine Beschränkung der Rissbreite auf 0,30 mm, um ein Ausbrechen der Risser bei Überfahren der Risse zu vermeiden.

Bei der Anwendung einer Beschichtung ist eine auf die Rissüberbrückungsfähigkeit der Beschichtung abgestimmte Rissbreite zu wählen (max. 0,20 mm). Bei Tausalzangriff ohne Beschichtung ist es erforderlich, die rechnerischen Rissbreiten z. B. gemäß [22] auf 0,15 bzw. 0,10 mm zu beschränken.

Weil bei Beton-Bodenplatten eine mittlere Zwangdehnung von 0,8 ‰ nicht überschritten wird, darf gemäß [5] der Rissbreitenachweis für Last und Zwang getrennt erfolgen. Als oberen Grenzwert für zweilagig bewehrte Bodenplatten für vollen

zentrischen Zwang in spätem Betonalter erhält man für  $\varnothing 12 \text{ mm}$  und Rissbreite 0,2 mm:

$$\text{total } 1,0 \cdot 0,8 \cdot 3,0 \cdot h / 250 = 1,0 \text{ [cm]} \cdot h$$

Als unteren Grenzwert erhält man für abfließende Hydratationswärme für  $\varnothing 10 \text{ mm}$  und Rissbreite 0,3 mm:

$$\text{total } 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,45 \cdot h / 235 \approx 0,5 \text{ [cm]} \cdot h$$

Die für abfließende Hydratationswärme berechnete Bewehrung deckt auch die Einwirkung eines Temperaturgradienten (Biegezwang in spätem Alter) vollständig ab.

Als Bemessungsbeispiel wird eine fugenlose Bodenplatte in einer geschlossenen Halle betrachtet:

Gabelstapler G5,  $w_k = 0,3 \text{ mm}$

C30/37 XC2, XM2,  $c_k = 4,0 \text{ cm}$

$h/d = 22 \text{ cm} / 17 \text{ cm}$

$$\text{aus Zwang: } a_{0,05} = a_{0,30} \cdot 1/2 = 0,5 \cdot 2,2 = 1,1 \text{ cm}$$

$$\text{aus Last (im Feld): } \max m_{a,05} = 35 \text{ kNm/m} \rightarrow \text{erf } a_{0,05} = 5,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{aus Last (am Rand): } a_{0,05} = a_{0,30} \approx 2 \cdot 2,5,0 = 10 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Die Verdoppelung der Bewehrung an Rändern ergibt sich aus den Laststellungen Plattenrand bzw. Plattenecke.

In Torbereichen sollte die für Zwang infolge abfließender Hydratationswärme ermittelte Bewehrung immer konstruktiv erhöht werden (Faktor 1,5 bis 2,0) oder ein Nachweis für Zwang in spätem Alter geführt werden.

## 5.6 Vorgespannte Beton-Bodenplatten

Bei besonders hohen Ansprüchen an eine Beton-Bodenplatte kann der Einbau einer vorgespannten Bewehrung zweckmäßig sein [8], z. B. für

- große Flächen mit großen Fugenabständen,
- hoch beanspruchte Flächen,
- Flächen, die weitgehend frei von Rissen sein sollten,
- Auffangwannen gemäß WHG (siehe auch [6]),
- Freiflächen im Flugplatzbau (siehe auch [17]).

Bei nichttragenden Bodenplatten genügt eine mittlere Vorspannbewehrung, z. B. aus gefluteten Monolitzen ohne Verbund im PE-Hüllrohr (Fertlitzen) aus St 1770 oder St 1860 (z. B. [23]), wenn die Bemessung wie für eine unbewehrte Platte erfolgt, z. B. mit dem Nachweisformat gemäß [1].

Notwendig ist eine Vorspannung des Betons mit etwa  $2,0 \text{ N/mm}^2$  (auf jeden Fall so hoch, dass

- als Rissbreitenachweis unter Ansatz einer kritischen Rissbreite, bei der in Abhängigkeit vom Medium die Bauteildicke während der Einwirkungszeit durchdrungen werden könnte, oder

- Durch die Anordnung einer dehnfähigen Dichtung auf oder unter der Beton-Bodenplatte.

Letzteres stellt bei Industriefußböden in der Regel die wirtschaftlichste Lösung dar und wird häufig angewendet. Falls allerdings nur geringfügig wassergefährdende Stoffe zurückgehalten werden müssen, z. B. in Lackieranlagen der Autoindustrie, bietet sich auch der Einbau einer direkt beaufschlagten, fugenlosen, zweilagig bewehrten und vorgespannten Beton-Bodenplatte an. Im Fall der direkten Beaufschlagung der Betonfläche ist der Beton dann gemäß [6] als sogenannter „flüssigkeitsdichter Beton (FD-Beton)“ herzustellen und einzubauen.

## 6 Hartstoffschichten,

### Estriche und Beschichtungen

#### 6.1 Hartstoffeinstreuerung

Bei nichttragenden Bodenplatten hat sich als Alternative zu einer Betonbestellung XM2 das Einstreuen und Einarbeiten eines Hartstoff/Zementgemischs (ca.  $3 \text{ kg/m}^3$ ) bewährt und wird gerne angewendet. Dabei ist das handwerkliche Können der ausführenden Fachfirma von entsprechender Bedeutung (Referenzen!), denn es kommt auf das rechtzeitige (nicht zu früh, aber auf keinen Fall zu spät) und gleichmäßige Einarbeiten der Hartstoffeinstreuerung an. Durch das sorgfältige Einarbeiten entsteht eine 2 bis 3 mm dicke, durchgehende Hartstoffschicht, die in das oberflächengebundene Beton-Bodenplatte monolithisch eingebunden ist. Bei zu später oder mangelhafter Einbearbeitung löst sich die Hartstoffeinstreuerung ab und die Oberfläche wird zu Recht bemängelt (Bild 11).

#### 6.2 Hartstoffestriche

##### 6.2.1 Zementgebundener einschichtiger Hartstoffestrich

Wenn eine Hartstoffeinstreuerung gemäß Abschnitt 6.1 nicht ausreicht, dann kommt das Aufbringen einer 4 bis 15 mm (im Ausnahmefällen 20 mm) dicken Hartstoffschicht in Frage. In der DIN 18 560-7 [24] wird diese „frisch in frisch“ ausgeführte Hartstoffschicht als „zementgebundener einschichtiger Hartstoffestrich“ bezeichnet. Gleichzeitig würde die DIN 18 560-7 auch zulassen, eine mindestens 10 mm dicke Hartstoffschicht unter Verwendung einer Hartfibrille auf einem bereits erhärteten Tragbeton aufzubringen. Diese Ausführungsart kann aber nicht empfohlen

werden, da die Teilvorspannung die Reibungskraft zwischen Bodenplatte und Tragschicht überwinden wird und die Wahl einer Betonart mit einer Biegezugfestigkeit von mindestens  $5,5 \text{ N/mm}^2$ . In diesem Fall könnte auf eine Betonstahl-Bewehrung vollständig verzichtet werden. Spannkraftverluste entstehen durch Schwinden und Kriechen des Betons und durch Reibungsverluste im PE-Mantel, so dass sich eine Anordnung der Monolitzen ( $A_p = 150 \text{ mm}^2$ ) im Abstand von 25 bis 30 cm ergibt.

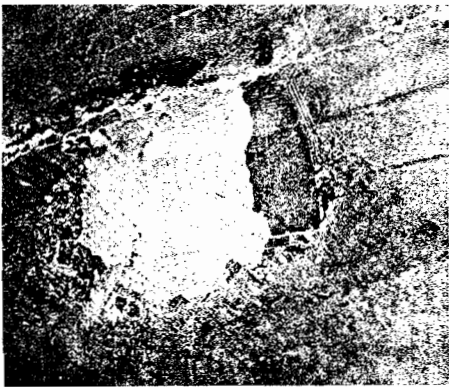
Falls tragende Beton-Bodenplatten vorgespannt werden sollen, z. B. für WHG-Wannen, empfiehlt der Verfasser die Anwendung der teilweise Vorspannung derart, dass der Standsicherheitsnachweis wie für eine Stahlbetonkonstruktion geführt wird und die Spannigklader zum Überdrücken der Reibungskraft Bodenplatte/Tragschicht, wie ein Gang dargestellt, dimensioniert werden. Damit ist auch sichergestellt, dass ein versehentliches Anbohren von Spanngliedern oder das Entfernen von Teilen der Bodenplatte im Zuge von Umbaumaßnahmen, die Standsicherheit nicht gefährdet.

Selbstverständlich ist bei großen fugenlosen Plattenfeldern immer zu beachten, dass die gleichen Voraussetzungen gelten, wie für die rechnerische Ermittlung der „nachgewiesenen Zwangsschnittgröße“ im Abschnitt 5.5 erläutert. Dies gilt besonders für die Fugenspalbreite und die dauerhafte Funktionsfähigkeit der Dehnfugen- und Randabschlusskonstruktionen.

#### 5.7 Bodenplatten, die dem Gewässerschutz dienen

Industriefußböden in Anlagen, die dem Lagern, Abfüllen, Herstellen und Verwenden von wassergefährdenden Stoffen dienen, müssen gemäß § 19 g des Deutschen Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) so konstruiert und bemessen werden, dass eine Verunreinigung der Gewässer nicht zu besorgen ist. Diesem Besorgnisgrundsatz des WHG muss unter Berücksichtigung der infrastrukturellen Gegebenheiten Genüge getan werden, das heißt die Auffangwannen müssen bei den zu erwartenden Einwirkungen für eine jeweils definierte Dauer dicht sein. Mögliche Konstruktions- und Bemessungsgrundsätze sind in der DAfStB-Richtlinie: Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen [6] zusammenfassend dargestellt. Dabei wird besonderes Augenmerk auf die zutreffende Erfassung von Zwang- und Lastbeanspruchungen gelegt. Der Nachweis der Dichtigkeit kann erfolgen:

- in ungerissenen Bereichen als Spannungs-nachweis,
- in gerissenen Bereichen als Nachweis der Druckzonenhöhe unter Berücksichtigung der Eindringtiefe des Mediums,



**Bild 11.** Abgelöste Hartstoffstreuung neben einer Fuge

werden, weil eine derartige, dünne Hartstoffschicht den Beanspruchungen in der Nähe an der Oberfläche liegenden Verbundfuge nicht dauerhaft widerstehen kann.

Die Anforderungen an die zu verwendenden Hartstoffe regelt DIN 1100 [25].

### 6.2.2 Verbundestriche

Soll der Estrich als eigene Schicht nach dem Erhärten der Beton-Bodenplatte im Verbund ausgeführt werden, so sind die Anforderungen an Verbundestriche gemäß DIN 18 560-3 [26] und DIN 18 560-7 [24] zu beachten.

Zur Verfügung stehen folgende Ausführungsarten:

- Gussasphaltestriche mit 25 bis max. 40 mm Nennstärke,
- Kunstharzestriche mit 5 bis max. 15 mm Nennstärke,
- Magnesiaestriche mit 15 bis max. 25 mm Nennstärke,
- Zementgebundene Hartstoffestriche mit 20 bis max. 50 mm Nennstärke.

Die am häufigsten ausgeführten Verbundestriche sind der Magnesiaestrich (nur geeignet in trockenen Innenbereichen) und der zementgebundene Hartstoffestrich. Ein zementgebundener Hartstoffestrich muss zweischichtig ausgeführt werden, wobei nur die obere Schicht Hartstoffe gemäß DIN 1100 [25] als Zuschlagstoff enthält. Deshalb bietet sich diese Ausführung vor allem bei Sanierungsmaßnahmen (siehe Bild 12) an, weil beim direkten Aufbringen im Zuge der Herstellung des Tragbetons die untere Estrichlage eingespart werden kann.

Für alle starren Verbundestriche gilt selbstverständlich, dass planmäßige Risse der Tragbeton-Bodenplatte bis zur Oberfläche durchschlagen werden. Bei Sanierungen ist es deshalb immer sinnvoll, vorhandene Risse vor dem Aufbringen eines starren Verbundestrichs zu schließen.

### 6.3 Beschichtungen

Die Ausführung von Beschichtungen wird sehr häufig bei Industriefußböden gewünscht, z. B. um die Reinigung des Fußbodens im Bereich von Arbeits- und Montageplätzen zu erleichtern oder generell eine Staubbekämpfung zu verhindern (z. B. in Lackierereien).

mindestens drei Einzelprüfungen durchzuführen. Für den Beschichtungsvorgang sind die technischen Merkblätter der Hersteller zu beachten. Insbesondere bezüglich der zum Beschichtungszeitpunkt zulässigen Restleuchte des Betons. Für die Einhaltung von Anforderungen an die Restleuchte ist in der Regel das Einstreuen von Quarzsand erforderlich.

Abschließend bleibt anzumerken, dass Beschichtungen weit weniger dauerhaft als der Baustoff Beton sind und deshalb eine regelmäßige Pflege und Instandhaltung erfordern.

### 7 Instandsetzung

Industriefußböden werden während ihrer gesamten Nutzungsdauer stark beansprucht. Hohe dynamische Einwirkungen und auch Überlastungen sind häufig anzutreffen. Treten großflächige Setzungen oder Verdichtungen des Untergrunds auf, so gibt es mittlerweile geeignete und bewährte Methoden für das Anheben bzw. Nivellieren von „abgesackten“ Industriefußböden. Dazu wird über Bohrlöcher z. B. flüssiges Zwei-Komponenten-Polyurethanharz unter den Industriefußboden injiziert [31], das beim Aushärten expandiert und die Beton-Bodenplatte gezielt anhebt (siehe Bild 13).

Alternativ dazu ist das Anheben von Industriefußböden durch das Einpressen von Silikatharz unter hohem Druck (laut Herstellerangaben kurzzeitig bis zu 200 bar) möglich [32]. Dabei erfolgt das Einpressen so lange, bis die Solllage am jeweiligen Messpunkt erreicht ist (Bild 14).

Die beiden beschriebenen Instandsetzungsverfahren sind vor allem dann sehr gut geeignet, wenn der laufende Betrieb kaum oder nur kurzzeitig gestört werden kann und die Oberfläche des Industriefußbodens noch intakt ist. Wenn auch die

Im Falle der Beschichtung bringt das Herstellen einer Hartstoffschicht keinen Vorteil, weil die Verschleißfestigkeit der Oberfläche ausschließlich durch die Beschichtung und den evtl. in die Beschichtung eingestreuten Hartstoff bzw. Quarzsand bestimmt wird.

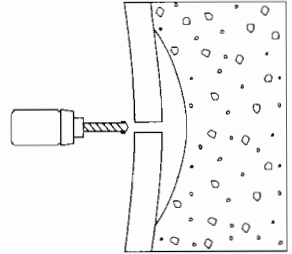
Gängig und üblich ist die Ausführung von Beschichtungen in Anlehnung an die DAfStb-Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen [27]. In dieser Richtlinie werden die Anforderungen aus der Nutzung (Verschleißbeanspruchung und chemischer Angriff) typisierten Beschichtungssystemen (Oberflächenschutzsystemen) OS 1 bis OS 13 zugeordnet. An dieser Stelle möchte der Verfasser darauf hinweisen, dass sogenannte „rissüberbrückende Beschichtungen“ (z. B. OS 11 gemäß [27]) für Industriefußböden grundsätzlich ungeeignet sind, weil diese Systeme einem großen Verschleiß nicht standhalten können. In der Regel sind nur sogenannte „starke Beschichtungen“, z. B. OS 8 gemäß aller Richtlinien für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen [28], geeignet. Im Falle von WHG-relevanten Industriefußböden müssen die Beschichtungsstoffe den Bau- und Prüfgrund-sätzen für den Gewässerschutz des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) genügen (siehe auch [6]). Alternativ können auch Beschichtungen gemäß DIN 28 052 [29] hergestellt werden.

In jedem Fall ist die sorgfältige Untergrundvorbereitung entscheidend für die Dauerhaftigkeit der Beschichtung. Nach dem zwingend erforderlichen Kugelstrahlen der Oberfläche des Industriefußbodens sind auf der gesamten Fläche Haftungsprüfungen gemäß DIN 1048-2 [30] durchzuführen. Dabei ist eine Oberflächenzugfestigkeit von mindestens 1,5 N/mm<sup>2</sup> an allen Messstellen einzuhalten. Je angelegene 250 m<sup>2</sup> sind gemäß [27]

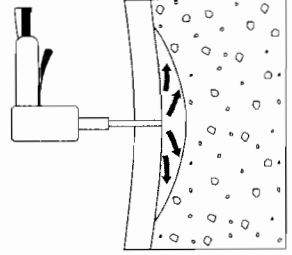


**Bild 12.** Einbau eines Verbundestrichs (Werksfoto PCI Augsburg GmbH)

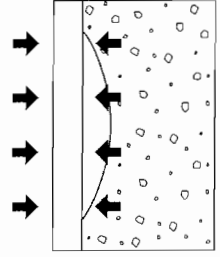
**Bohren**  
Anbringung einer Bohrung und Einführen eines Rohres



**Injizieren**  
Injektion der flüssigen Komponenten

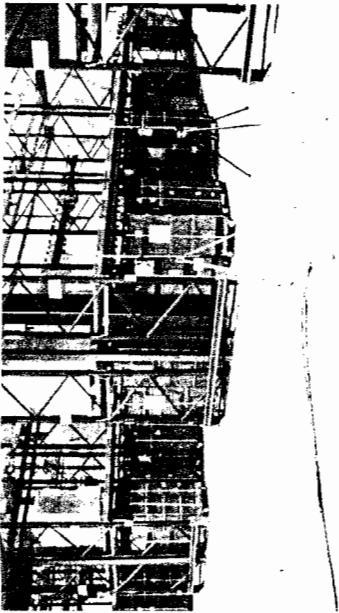


**Expandieren**  
Reaktion der zwei Komponenten (Polymerisation) und Expansion auf das bis zu 30-fache ihres ursprünglichen Volumens



**Bild 13.** Instandsetzung instabiler oder abgesackter Böden System URITEK

URITEK  
URITEK  
URITEK  
URITEK  
URITEK  
URITEK



Oberfläche bereits stark beschädigt ist, dann bietet sich der Einbau eines zusätzlichen Verbundestrichs an. Dazu ist ein Abfräsen (oder evtl. nur Kugelstrahlen, wenn die zusätzliche Aufbauhöhe nicht stört) des vorhandenen Bodens erforderlich. Wichtig ist der Einbau des Estrichs in einer gleichmäßigen Dicke, weshalb größere Einsenkungen vorher, z. B. mit Nivelliermörtel, aufgefüllt und ausgeglichen werden müssen. Vorhandene Risse in der Bodenplatte sollten in jedem Fall vorher mit Injektionsharz oder Feinstzement verfüllt werden, um ein Durchschlagen der Risse in den Verbundestrich zu verhindern.

## 8 Ausführungsbeispiele

An die Ausführung von Beton-Bodenplatten werden hohe Anforderungen gestellt, weil die fertige Oberfläche unmittelbar vom Nutzer beansprucht wird.

Folgende Punkte sind für die Gebrauchsfähigkeit und Dauerhaftigkeit besonders zu beachten:

- Überprüfung der Tragfähigkeit des Untergrunds.
- Kontrolle des Verdichtungsgrads der Tragschicht.
- bei Freiflächen: wirksame Entwässerung der Tragschicht/Frostschutzschicht.
- Ebenheit des Untergrunds (max. 5 cm bei 4,00 m Messstrecke).
- Ebenheit der Tragschicht (max. 2 cm bei 4,00 m Messstrecke).
- sorgfältiges und faltenfreies Verlegen von Trennschichten.
- lagegenaues Einbringen der Bewehrung bzw. der Verdübelung auf ausreichend dimensionierten, stabilen Abstandhaltern.

**Bild 14.** Anheben von abgesackten Bodenplatten-System VIATECTA

- rechtzeitige Bestellung der vom Planer vorgegebenen Betonsorte (mind. C 25/30), sorgfältiger Einbau und gewissenhaftes Verlichten des Betons.
- profilgerechtes Abziehen und Glätten der Betonoberfläche.
- sofortiger Beginn der Nachbehandlung.
- rechtzeitiges Einarbeiten einer Hartstoffeinstreue (bei Bedarf).
- Einscheiden von Scheintugen zum frühestmöglichen Zeitpunkt (bei Bedarf).
- volle Belastung der Bodenplatte frühestens nach 14 Tagen.

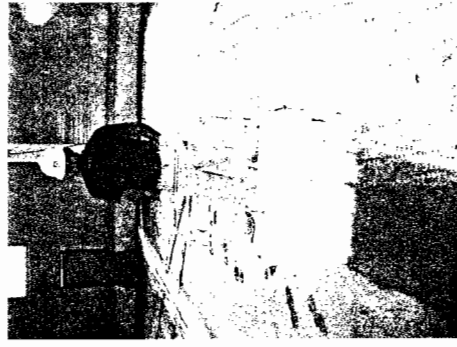
An dieser Stelle sei besonders auf die Notwendigkeit der betontechnologischen Betreuung der Bauausführung hingewiesen. Die optimale Betonzusammensetzung und Zementauswahl kann nur im Team von Tragwerksplaner, Baustofftechnologin und bauausführendem Unternehmen gefunden werden. Insbesondere beim Betonieren im Sommer ist eine realistische Eignungsprüfung und Festlegung der maximalen Frischbetontemperatur notwendig. Der Verfasser empfiehlt im Einklang mit [1], die Frischbetontemperatur auf max. 25°C zu beschränken und die infolge der Hydrationswärme entstehende Zwangbeanspruchung nachzuweisen (Temperaturanstieg von 25 auf 50°C).

### 8.1 Logistikzentrum

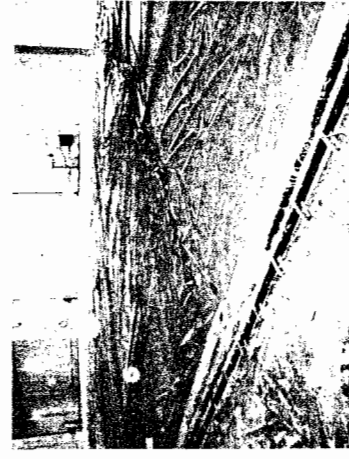
Hier erfolgte der Einbau eines klassischen, einlagigen, monolithischen Industriefußbodens auf mineralischer Tragschicht (Bild 15 zeigt den Ablauf der Herstellung). Auf besonderen Wunsch des Bauherrn wurde Weißzement verwendet, um einen möglichst hellen Fußboden zu erhalten.



b) Betonieren



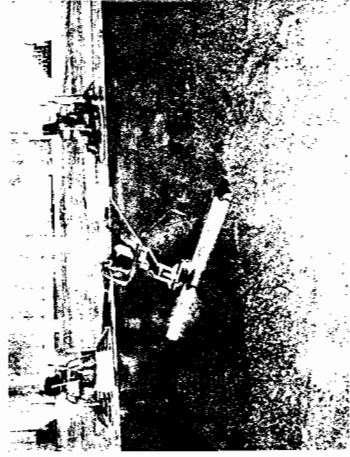
d) Hartstoffeinstreue



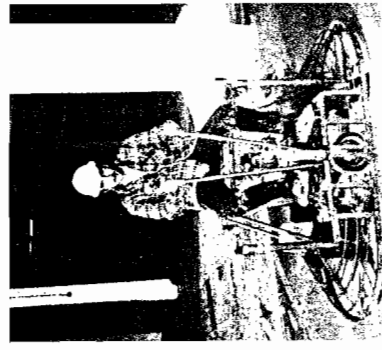
f) Nachbehandlung



a) Planum



c) Abziehen



e) Hartstoffearbeiten und Glätten

**Bild 15.** Ablauf der Herstellung eines klassischen, einlagigen, monolithischen Industriefußbodens (Werkstoffs HOCHTIEF-Construction AG)



Bild 16. Anschluß von Gruben bzw. Überlautebrücken

Die Ausführung erfolgte im Innenbereich mit Stahlfaserbeton und geschalteten Scheinfugen, der Randbereich wurde zusätzlich bewehrt (Rückhängung der Stützen für Anpralllasten und Anschluss von Gruben, siehe Bild 16). Eine zusätzliche Bewehrung im Randbereich ist außer den in Abschnitt 5.5 angegebenen Gründen auch wegen des einwandfreien Anschlusses von Toren, Überladebrücken und Übergängen zwischen Hallenbereichen unterschiedlicher Nutzung zweckmäßig.

### 8.2 Bauschuttortieranlage

Wegen der besonders hohen mechanischen Beanspruchungen wurde bei einer Sortieranlage für Bauschuttabfälle hochfester Beton B85 verwendet [33]. Der bei hochfestem Beton im Vergleich mit normalfestem Beton größeren Zwangbeanspruchung und höheren Eigenspannungen infolge Hydratationswärmeentwicklung wurde durch die Wahl entsprechend kleiner Fugenabstände begegnet.

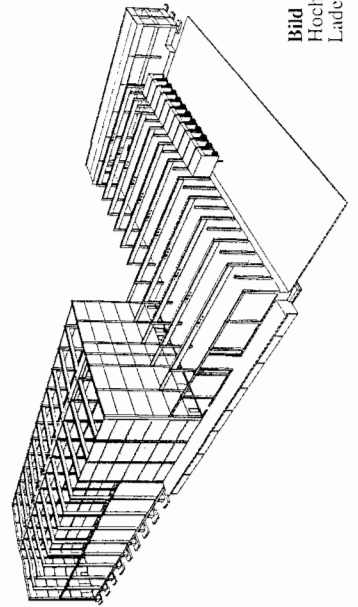


Bild 18. Gefahrsstoff-Logistikzentrum mit Hochregallager Umschlaghalle mit LKW-Ladezone und Bürotrakt

HIT-NSB  
d = 16 - 18 cm  
Festigkeit 25 N/mm<sup>2</sup>

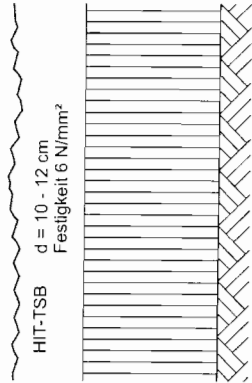


Bild 17. Zweischichtiger Industriefußboden System CCI

### 8.3 Industriefußböden – System CCI<sup>®</sup>

Bei diesem System werden durch eine geschichtete Betonsortenauswahl und ein planmäßig zweischichtiges Betomieren (Bild 17) nach Herstellerangaben weitgehend schwindrisssarme Oberflächen hergestellt [34]. Bemessungsgrundlage ist die Konstruktion einer fugenlosen ein- oder zweilagig bewehrten Beton-Bodenplatte. Diese Lösung zeigt, dass bei entsprechender Erfahrung fachlich kompetente Unternehmen weitergehende Lösungen anbieten können und guten Gewissens dafür auch bereit sind, die Gewährleistung zu übernehmen.

### 8.4 Hochregallager für gefährliche Stoffe

Im Jahr 1999 erfolgte die Ausführung einer hochbeanspruchten, tragenden Bodenplatte für ein Hochregallager, in dem ein Chemie-Unternehmen Stoffe der Wassergefährdungsklassen I bis 3 aufbewahrt [35]. Das Ein- und Auslagern in dem 22,00 m hohen Gebäude, an das sich eine Umschlaghalle anschließt (Bild 18), erfolgt durch

eine vollautomatische Regalbedienanlage. Zur Minimierung des Brand- und Explosionsrisikos wird der Sauerstoffgehalt der Luft im Hochregallager ständig auf 15 % (naturgemäß 20 %) reduziert, weshalb der Aufenthalt von Wartungspersonal auf jeweils 2 Stunden begrenzt ist. Die tragende Bodenplatte in einer Dicke von 40 cm wurde als fugenlose, zweilagig bewehrte Stahlbeton-Bodenplatte mit flüssigkeitsdichtem Beton B35 FD gemäß alter DIN 1045 und gemäß [6] hergestellt. Das Schutzkonzept für das Grundwasser erforderte eine umlaufende, 15 cm hohe Aufkantung zur Löschwasserrückhaltung und gemäß [6] eine Rissbreitenbeschränkung auf 0,10 mm.

### 9 Ausblick

Für die Herstellung von Industriefußböden stehen verschiedene Konstruktionsmöglichkeiten zur Auswahl. Für jeden Einzelfall, ob Freifläche oder Hallenboden, ob tragend oder nichttragend, stehen optimale Lösungen zur Verfügung; unbewehrter Beton, Stahlfaserbeton, Stahlbeton oder wehrter Beton. Alle vier Konstruktionsarten weisen vom Grundsatz her ein ähnliches Trägerverhalten auf und benötigen immer sowohl einen tragfähigen Untergrund als auch eine richtig dimensionierte Tragschicht, damit eine dauerhafte Konstruktion entsteht.

Kombinationen mit verschiedenen Ausführungsarten von Verbundstrichen ermöglichen eine besonders ebentflächige Herstellung des Industriefußbodens.

Eine auf die endgültige Nutzung der Immobilie sinnvoll abgestimmte Planung unter rechtzeitiger Einbeziehung von Bauherren, Nutzer und ausführendem Unternehmen ermöglicht wirtschaftliche Lösungen mit hoher Qualität und Dauerhaftigkeit ohne dass Gewährleistungsrisiken bestehen.

Bauweisen mit Fugen sind wartungsintensiver als fugenlose Konstruktionen, deshalb setzen sich fugenlose, zweilagig bewehrte Stahlbeton-Bodenplatten immer mehr durch.

Entscheidend für den Erfolg sind aber auch in Zukunft das handwerkliche Können und die Motivation der Menschen, die unsere Pläne in die Tat umsetzen.

### 10 Literatur

- [1] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e. V.; DBV-Merkblatt Industrieböden aus Beton für Freiflächen und Hallenflächen, Fassung November 2004
- [2] DIN 51 130; 2004-06; Prüfung von Bodenbelägen – Bestimmung der rutschhemmenden Eigenschaften, Berlin: Beuth Verlag
- [3] DIN 18 202; 1997-04; Toleranzen im Hochbau – Bauwerke, Berlin: Beuth Verlag

- [4] DIN 15 185-1; 1991-08; Lagersysteme mit leitfähigkeitgeführten Flurförderzeugen, Berlin: Beuth Verlag
- [5] DIN 1045; 2001-07; Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Bemessung und Ausführung, Berlin: Beuth Verlag
- [6] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton; Richtlinie Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, Ausgabe 1996-09
- [7] EN 1081; 1998-04; Elastische Bodenbeläge – Bestimmung des elektrischen Widerstands, Berlin: Beuth Verlag
- [8] Lohmeyer, G.; Ebeling, K.; Betonböden im Industriebau; Hallen- und Freiflächen, Düsseldorf: Beton-Verlag, 1999
- [9] DIN 1055-3; 2002-10; Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 3: Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten, Berlin: Beuth Verlag
- [10] DIN 1072; 1985-12; Straßen- und Wegbrücken – Lastannahmen, Berlin: Beuth Verlag
- [11] DIN 1055-7; 2002-11; Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 7: Temperatureinwirkungen, Berlin: Beuth Verlag
- [12] Eisenmann, J.; Betonfahrbahnen, Handbuch für Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbau, Berlin-München-Düsseldorf: Wilhelm Ernst & Sohn, 1979
- [13] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen; Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen, Ausgabe 2001 (RStO 01)
- [14] DIN 1048-5; 1991-06; Prüfverfahren für Beton – Festbeton, gesondert hergestellte Probekörper, Berlin: Beuth Verlag
- [15] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen; Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton, Ausgabe 2001 (ZTV Beton-StB 01)
- [16] DIN 18 134; 2001-09; Plattendruckversuch, Berlin: Beuth Verlag
- [17] Eisenmann, J.; Leykauf, G.; Bau von Verkehrsflächen, Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn Verlag, In: Beton-Kalender 1987, Teil II, S. 641–748
- [18] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen; Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Fugen in Verkehrsflächen, Ausgabe 2001 (ZTV Fug-StB 01)
- [19] Bayerische Bauordnung (BayBO) vom 4. August 1997, ergänzt 1998, München: Verlag C. H. Beck, 1998. In: Bayerische Bauordnung und ergänzende Bestimmungen
- [20] Stenzel, G.; Beton-Bodenplatten für Hallen- und Freiflächen – Konstruktion und Bemessung, Beton- und Stahlbetonbau 100 (2005), S. 277–288
- [21] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e. V.; Merkblatt Stahlfaserbeton, Fassung Oktober 2001
- [22] Schöppel, K.; Stenzel, G.; Konstruktionsregeln für Tiefgaragen in Stahlbetonbauweise, Beton- und Stahlbetonbau 98 (2003), S. 111–122
- [23] Europäische Technische Zulassung ETA – 03/0036; SUSPA/DSI – Monolithenspannver-

- fahren ohne Verbund mit 1 bis 5 Monolitzen; Geltungsdauer vom 01.04.2004 bis 31.03.2009, Langenfeld, SUSPA-DSI GmbH
- [24] DIN 18 560-7: 2004-04: Estriche im Bauwesen – Teil 7: Hochbeanspruchte Estriche (Industrieestriche)
- [25] DIN 1100: 2004-05: Hartstoffe für zementgebundene Hartstoffestriche – Anforderungen und Prüfverfahren
- [26] DIN 18 560-3: 2004-04: Estriche im Bauwesen – Teil 3: Verbundestriche
- [27] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Teil 1 bis 4, Ausgabe 2001-10
- [28] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Teil 1 bis 4, Ausgaben 1990-08 bis 1992-11
- [29] DIN 28 052-03: Oberflächenschutz mit nichtmetallischen Werkstoffen für Bauteile aus Beton in verfahrenstechnischen Anlagen ... Teil 3: Beschichtungen mit organischen Bindemitteln
- [30] DIN 1048-2: 1991-06: Prüfverfahren für Beton ... Festbeton in Bauwerken und Bauteilen, Berlin: Beuth Verlag
- [31] Injektionstechnik für instabile oder eingesunkene Betonböden und Fundamente, Firmenprospekt der URTEK Deutschland GmbH, Amiselsweg 12, 74 930 Ittlingen, www.uretek.de
- [32] Innovative Injektionstechnologie, Firmenprospekt der VIATECTA GmbH, Virochowstraße 9, 45147 Essen, www.viatecta.de
- [33] Schwenk Anwendungstechnik: Hochfester Beton für Hallenböden: 240 m<sup>2</sup> Industriefußboden aus B 85, Beton (1998), Heft 6, S. 383
- [34] Brokmann, R.: Der universell einsetzbare Industriefußboden nach dem CCI System, Firmenunterlage der HfT Hausa Industriefußboden Technik GmbH, Hoflunderweg 20, 29 640 Schneverdingen
- [35] Garg, A.: Neues Logistikzentrum für die Wacker-Chemie in Bughausen, DYWIDAG-Report (2000), Nr. 3, Dezember 2000, S. 19–21