

Gerhard Stenzel

Beton-Bodenplatten für Hallen- und Freiflächen

Konstruktion und Bemessung

Beton-Bodenplatten im Industriebau dienen als Fahrbahn, Lagerfläche und Gründungsbauteil, z. B. für Hochregallager. An die Gebrauchseigenschaften Rutschfestigkeit, Ebenheit, Verschleißfestigkeit, Widerstand gegen chemischen Angriff, Dauerhaftigkeit und Standsicherheit werden hohe Anforderungen 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. In diesem Beitrag werden die wesentlichen Konstruktions- und Bemessungsregeln für Beton-Bodenplatten zusammenfassend dargestellt, um das Finden der für jeden Einzelfall optimalen Lösung zu erleichtern.

Concrete Floor Slabs for Indoor and Outdoor Areas – Design and Construction

Concrete floor slabs for industrial buildings are used as drive-ways, stock areas and foundations, e. g. for high rack warehouses. It is very exacting to serve the customer's demands as for slippery safety, evenness, wear and chemical resistance, durability and stability. Especially for concrete floor slabs it is particularly important to have an entire view on the construction and building requirements to fix an economic solution in co-operation with the client.

The aim of this article is to summarize the substantial design and construction rules for concrete floor slabs in order to facilitate the finding of an ideal solution.

1 Einführung

Betonstraßen und Hallenböden aus 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. Luftporenbildner, 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), Ausschreibungsfehler („1 Lage 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].

Umfangreiche Hinweise für geeignete Konstruktionen für Betonböden im Industriebau gibt [2], wobei die Konstruktions- und Bemessungsvorschläge Bezug nehmen auf die im Betonstraßenbau üblichen Betone gemäß [3], [4] und [5]. Durch die Einführung der neuen DIN 1045 [6] besteht die Gefahr, daß bei der Betonbestellung die Eigenschaften (Expositionsklassen) gemäß der neuen DIN 1045 mit den Eigenschaften eines Straßenbaubetons (z. B. hohe Biegezugfestigkeit) verwechselt werden, was leicht zur Unterdimensionierung von nichttra-

Bei Beton-Bodenplatten ist eine ganzheitliche Betrachtung wichtig.

genden und in der Regel unbewehrten Beton-Bodenplatten führen kann. Ein weiterer wesentlicher Punkt ist, daß Belastungen aus Gabelstaplerbetrieb wesentlich größere Beanspruchungen hervorrufen als die luftbereiften Fahrzeuge im Straßenverkehr. Deshalb wird in [1] empfohlen, die beliebte – weil kostengünstige – Ausführung von geschnittenen Scheinfugen nur bei geringem Gabelstaplerverkehr bis zu einer zulässigen Gesamtlast von 69 kN auszuführen. Den prinzipiellen Aufbau einer Beton-Bodenplatte zeigt Bild 1. Zur Erreichung einer gleichmäßigen

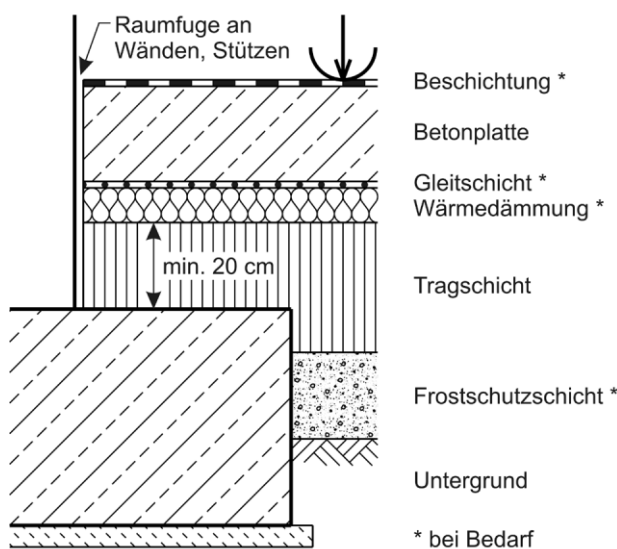


Bild 1. Prinzipieller Aufbau einer Beton-Bodenplatte
Fig. 1. Concrete floor slab – principle

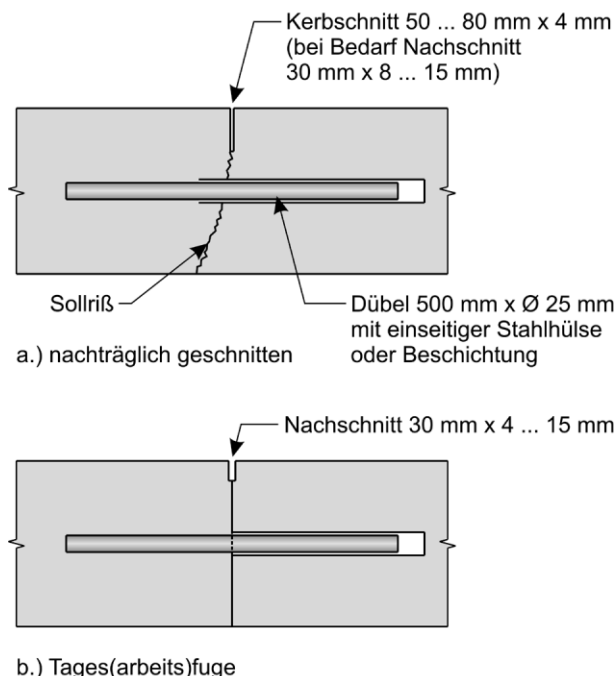


Bild 2. Scheinfugen mit Verdübelung
Fig. 2. Cut expansion joints with pinning

und homogenen Auflagerung ist die Anordnung einer Tragschicht immer erforderlich. Bei sehr tragfähigem Untergrund kann die Tragschicht selbstverständlich durch Aufnehmen und Wiedereinbauen des vorhandenen Bodenmaterials hergestellt werden. Gleichmaßen wichtig ist, daß der vorhandene Untergrund auch im Bereich von Fundamentarbeitsräumen und Rohrleitungsgräben sorgfältig wieder eingebaut wird. Beim Einbau des Betons von Hand ist die Anordnung einer Gleitschicht (z. B. eine Lage PE-Folie) immer sinnvoll, während sich beim Einbau mit Straßendeckenfertigern die Verwendung eines Vliesstoffes auf hydraulisch gebundenen Tragschichten durchgesetzt hat (siehe auch [7]). Dies gilt auch, wenn eine Sauberkeitsschicht geplant wird. Falls eine Beschichtung erforderlich oder vorgesehen ist (eventuell auch zu einem späteren Zeitpunkt), ist eine Bauweise mit Scheinfugen (Bild 2) nur dann möglich, wenn die Beschichtung nicht

über die Fugen hinweg geführt wird, weil die Beschichtung bei Fugenbewegungen durchreißen oder nach oben ausbeulen würde.

2 Lastannahmen und Baustoffkennwerte

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

- 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 Δt
- Schwinden und Quellen des Betons
- Kriechverformungen des Betons

Gleichzeitig müssen Beton-Bodenplatten folgende Anforderungen an die Gebrauchsfähigkeit und Dauerhaftigkeit erfüllen:

- Rutschfestigkeit
- Ebenheit
- Einwandfreie Entwässerung (vor allem im Freien)
- Verschleißfestigkeit
- (bei Bedarf) elektrische Ableitfähigkeit

Außerdem sollen Beton-Bodenplatten nur geringe Unterhaltskosten verursachen und pflegeleicht sein.

Dies alles ist erfüllbar, wenn sorgfältig geplant, konstruiert und bemessen wird. Deshalb kommt zutreffenden Lastannahmen bei Bodenplatten eine hohe Bedeutung zu.

Eigen- und Nutzlasten regelt DIN 1055-3 [8]. Hier sei vor allem hingewiesen auf die Einzellasten aus Gabelstaplerbetrieb, die neuerdings in sechs Kategorien eingeteilt sind. Nach dieser Norm sollte bereits geplant werden, obwohl sie noch nicht bauaufsichtlich eingeführt ist. In Tabelle 1 sind die anzusetzenden Werte für Flächen- und

Tabelle 1. Charakteristische Werte für Gabelstaplerbetrieb nach DIN 1055-3 [8]
Table 1. Characteristic values for operation of fork lifts acc. to DIN 1055-3 [8]

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

Radlasten infolge von Gabelstaplerbetrieb zusammengestellt. In dieser Tabelle ist der für die Radlast anzusetzende Schwingbeiwert von $\varphi = 1,4$ bereits berücksichtigt. In [2] werden für sehr schwere Gabelstapler und Container-Portalstapler Radlasten (ohne φ) in Höhe von 150 kN angegeben. Radlasten und Schwingbeiwerte 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 $\gamma_Q = 1,5$ 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 [8]. Der Ansatz der vollen Regallasten bzw. der Flächenlasten gemäß Tabelle 1 ist insbesondere notwendig für die Ermittlung von zentrischen Zwangbeanspruchungen bei Beton-Bodenplatten im Freien oder in Torbereichen von Hallen.

Für die Berücksichtigung von normalem LKW-Verkehr genügt gemäß [8] der Ansatz der Brückenklasse 30/30 der DIN 1072 [9], das heißt die Einzelachse mit 130 kN. Die Berücksichtigung eines Schwingbeiwerts ist nicht erforderlich (Radlast $0,5 \cdot 130 = 65$ kN, Aufstandsfläche $200 \text{ mm} \times 460 \text{ mm}$).

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_s zu berücksichtigen. Gemäß DIN 1055-7 [10] darf in Deutschland die minimale Außenlufttemperatur zu -24 °C und die maximale Außenlufttemperatur zu $+37$ °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 Hydratationswärmeentwicklung (ca. $10 \text{ K} - 20 \text{ K}$) 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 Temperaturen bis zu 35 °C auftreten, wie 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 [10] und in [4]:

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. $0,04 \text{ K/mm}$ anzusetzen (dies gilt unter Umständen auch für den Bauzustand bei Hallenböden). In geschlossenen Hallen ist der Ansatz eines Temperaturgradienten nicht erforderlich, wenn die Beton-Bodenplatte erst nach der Fertigstellung von Dach und Außenwänden betoniert wird und die Halle vor der Frostperiode bereits beheizt wird. Der Regelfall ist aber, daß aus baubetrieblichen Gründen zwar das Dach fertig-

gestellt, 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 Temperaturgradienten 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 [6] entnommen werden.

Der Übersichtlichkeit und Einfachheit halber sollten die veränderlichen Lasten mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_Q = 1,5$ und die Zwangbeanspruchungen (Temperatur, Schwinden/Quellen, Kriechen und Vorspannung) mit $\gamma_{Zwang} = 1,0$ angesetzt werden. Der Ansatz von Kombinationsbeiwerten ψ würde eine rechnerische Genauigkeit vortäuschen, die bei Beton-Bodenplatten aufgrund der vielfältigen Einflüsse nicht annähernd erzielbar ist. Dies gilt auch für den Ansatz des E-Moduls des Betons, der in der neuen DIN 1045 [6] unnötigerweise mit drei gültigen Ziffern angegeben ist. 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 [4]) für die üblichen Betonsorten B25, B35 gemäß [3] und C25/30, C30/37 gemäß [6] genau genug. Die lineare Wärmedehnzahl α_t für Beton, Betonstahl und Spannstahl darf mit $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ angenommen werden [6].

3 Unbewehrte Beton-Bodenplatten

3.1 Anwendung im Straßenbau

Die bekannteste Anwendung von unbewehrten Beton-Bodenplatten ist zweifelsohne der Betonstraßenbau. Eine ausführliche Darstellung enthält [4]. Eine unbewehrte Betonstraße wurde erstmals 1888 in Breslau hergestellt. Betonstraßen weisen – bei entsprechender konstruktiver Durchbildung – eine hohe Dauerhaftigkeit auf. Im Bereich des BMVBW klassifiziert die Richtlinie für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 01 [7]) verschiedene Bauweisen in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung (Bild 3).

3.1.1 Berechnung der Lastspannungen der Betonplatte

Die Dimensionierung der Bauklassen der RStO 01 [7] 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 „Topflast“ für die drei Laststellungen Plattenmitte, Plattenrand und Plattenecke. Die aus [5] entnommenen Formeln sind in Bild 4 dargestellt. Die Formeln zeigen anschaulich die Einflüsse der beiden wichtigsten Parameter:

– Die Radlast Q geht linear in die Berechnung der Biegezugspannungen ein.

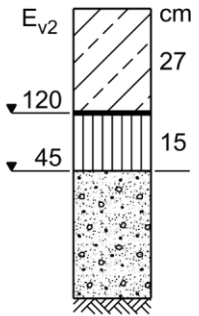
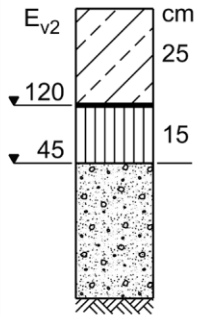
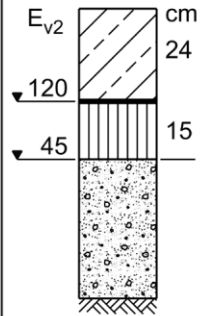
Bauklasse	SV	I	II
Betondecke			
Vliesstoff Hydraulisch gebundene Tragschicht (HGT)	15	15	15
Frostschuttschicht	45	45	45
alternative Bauweise ohne Vlies: Betondecke darf 1 cm dünner ausgeführt werden			

Bild 3. Klassifizierte Bauweisen mit Betondecken gemäß RStO 01 [7] (Auszug)
Fig. 3. Classified construction methods of concrete road surfaces acc. to RStO 01 [7]

Laststellung Plattenmitte (Biegezug unten):

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

Laststellung Plattenrand (Biegezug unten):

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

Laststellung Plattenecke (Biegezug oben):

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

mit

E_c = Elastizitätsmodul des Betons in [N/mm²]

h = Dicke der Betondecke in [mm]

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

p = Kontaktdruck in [N/mm²]

Q = Radlast in [N]

$b = \sqrt{1,6 \cdot a^2 + h^2} - 0,675 \cdot h$ für $a < 1,724 \cdot h$ in [mm]

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

k = Bettungsmodul in [N/mm³]

μ = Querdehnzahl des Betons = 0,17

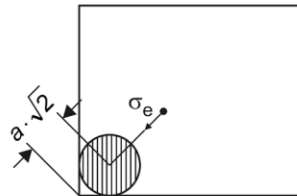
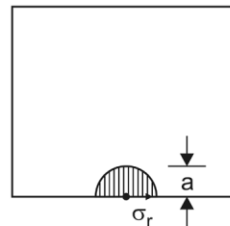
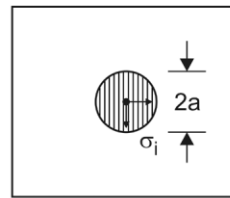


Bild 4. Verbessertes Rechenverfahren nach Westergaard (aus [5])
Fig. 4. Improved calculation formulas of Westergaard (from [5])

- Die Dicke h der Beton-Bodenplatte geht quadratisch (das Widerstandsmoment dominiert) in die Biegespannungsermittlung ein.

Für die Dauerhaftigkeit von Beton-Bodenplatten sind ausreichend dimensionierte Tragschichten zwingend erforderlich.

Eine weitere Auswertung der Rechenformeln in [4] 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.

Die im Straßenbau übliche Verdübelung (Bild 2) der Fugen reduziert die maximalen Biegezugspannungen am Plattenrand und in der Plattenecke auf in etwa den 1,5fachen Wert der Laststellung Plattenmitte. Allerdings wird in [1] empfohlen, dies bei der Bemessung von Hallenböden (großes Schwindmaß) außer acht zu lassen, weil ansonsten die Beton-Bodenplatte im Bereich von unvermeidlichen Trennrissen oder späteren baulichen Veränderungen unterdimensioniert wäre. In [4] wird auch gezeigt, daß die in Beton-Bodenplatten unter Einzellasten auftretenden Biegezugspannungen rasch abklingen und daß übliche Tandem- bzw. Doppelachsen im Vergleich zum Ansatz einer Einzel-Radlast keine nennenswerte Erhöhung der maximalen Biegezugspannungen in der Platte bewirken. Dies gilt genauso für die in Tabelle 1 angegebenen Einzel-Radlasten für Gabelstapler.

3.1.2 Berechnung der Temperaturspannungen der Betonplatte

Für unbewehrte Straßen- und Verkehrsflächen sind immer Fugen erforderlich. Am besten bewährt haben sich (zum frühest möglichen Zeitpunkt nach dem Betonieren) eingeschnittene, verdübelte Scheinfugen (Bild 2). Scheinfugen sind zur Reduzierung der Beanspruchungen infolge von Änderungen der Mitteltemperatur t_s bzw. Schwinden/Quellen und infolge ungleichmäßiger Erwärmung/Abkühlung Δt notwendig.

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

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \alpha_t \cdot t_s \cdot E_c \\ \sigma_t &= 1,0 \cdot 10^{-5} \cdot 20 \cdot 30000 \\ &= 6 \text{ N/mm}^2 \approx 2 \cdot f_{ctm} \text{ gemäß [6]} \Rightarrow \text{Trennriss}\end{aligned}$$

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 (Hallen) wegen des Endschwindmaßes von 0,20‰ bis 0,40‰, was einer zusätzlichen Abkühlung um 20 K bis 40 K entspricht.

Deshalb werden beim Bau von Betonstraßen immer Scheinfugen im Abstand von $25 \cdot h$ angeordnet. Das ergibt bei der Regeldicke von 260 mm einen Scheinfugenabstand von max. 6,50 m, üblich sind 5,00 m.

Für unbewehrte Beton-Bodenplatten im Freien sind immer Fugen im Abstand von max. $25 \cdot h$ erforderlich.

Unter der Voraussetzung, daß keine ständigen Vertikallasten einwirken und der Bewegungsmittelpunkt in der Feldmitte liegt, kann man die durch eine Temperaturabsenkung entstehende Normalspannung σ_t wie folgt berechnen:

$$\max \sigma_t = \gamma \cdot \frac{L}{2} \cdot \mu_R \leq \alpha_t \cdot t_s \cdot E_c$$

mit

- γ Wichte des Betons [MN/m²]
- L Plattenlänge [m]
- μ_R Reibungsbeiwert in der Bodenfuge
 - 1,6 bei der Erstabewegung (auf Untergrund)
 - 0,8 für wiederholte Bewegungen
 - 0,8 bei 2lagiger Folie (Erstabewegung)
 - 0,4 für Flächengleitlager (Erstabewegung)
 - (weitere Werte z. B. in [11])

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

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

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_s :

$$\Delta l = \alpha_t \cdot t_s \cdot L$$

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 $2 \cdot 2,0 = 4,0$ mm, was bei elastischer Verfugung einen Fugenspalt von mindestens $4 \cdot 4,0 \text{ mm} \approx 15 \text{ mm}$ erfordert.

3.1.3 Berechnung der Wölbspannungen der Betonplatte (infolge Δt)

Ausgelöst durch die Sonneneinstrahlung entsteht an der Plattenoberfläche ein maximaler Temperaturgradient von $\Delta t = 0,09 \text{ K/mm}$ [4]. Diese Erwärmung von oben verursacht ein Hochwölben der Betonplatte in Feldmitte. Dieser Hochwölbung wirkt das Eigengewicht entgegen und aktiviert ein Biegemoment, welches an der Plattenunterseite zu Biegezugspannungen führt, die der Einfachheit halber als Wölbspannungen bezeichnet werden. Ist die Platte länger als die von *Eisenmann/Leykauf* definierte Plattenlänge l_{krit} , kommt die Betonplatte in der Mitte zum Aufliegen und verhält sich in diesem Bereich ideal gemäß elastischer Plattentheorie bei eingespannten Rändern:

$$\sigma_w = \frac{1}{1-\mu} \cdot \Delta t \cdot \frac{h}{2} \cdot \alpha_t \cdot E_c$$

mit

- μ Querdehnzahl = 0,17
- Δt Temperaturgradient [K/mm]
 - Sonneneinstrahlung 0,09 K/mm
 - Gewitterregen 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 $f_{ctk,fl}$ und zeigt, daß eine unbewehrte Betonplatte nur dann dauerhaft funktionieren kann, wenn die Hochwölbung durch die entsprechende Wahl kleiner Feldgrößen zugelassen wird. *Eisenmann/Leykauf* geben hierfür in [4] die Formel für die reduzierte Wölbspannung $\text{red. } \sigma_w$ an:

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

mit

- L Plattenlänge
 - $33 \cdot h$ für Stäbe und schmale Platten
 - $37 \cdot h$ für quadratische Platten
- (Voraussetzung: keine Normalkräfte in der Platte)

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

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

und somit eine Reduzierung auf 50% der Wölbspannung einer fugenlose 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/mm² an der Plattenoberseite führt. Für die Regelplatte mit 6,50 m Scheinfugenabstand entstehen gemäß [4] in diesem Fall Wölbspannungen von max. 1,5 N/mm² an der Plattenoberseite in Feldmitte, welche bei der Superposition mit der Laststellung Plattenecke zu keiner nennenswerten Erhöhung der Biegezugspannungen an der Plattenoberseite führten.

3.1.4 Anforderungen an die Tragschicht und den Unterbau

Für die Dimensionierung der Tragschicht sind zahlreiche Versuche und rechnerische Untersuchungen am Lehrstuhl und Prüfamt für den Bau von Landverkehrswegen der TU München durchgeführt worden. Zusammen mit den Erfahrungen der Straßenbauverwaltungen sind diese Ergebnisse in die RStO 01 [7] (Bild 3) eingeflossen.

Neben den Vorgaben zur Dicke der einzelnen Schichten sind auch Verformungsmoduln E_{V2} vorgegeben, die auf dem Untergrund (E_{V2} mind. 45 N/mm²) bzw. auf der Oberfläche der Frostschuttschicht (E_{V2} mind. 100 bzw. 120 N/mm²) erreicht werden müssen (Abnahmekriterium). Die Verformungsmoduln E_{V2} werden über Plattendruckversuche gemäß DIN 18134 [12] ermittelt.

Mit dem Plattendruckversuch wird das Tragverhalten des Bodens bis zu einer dem 2fachen Plattendurchmesser (300 mm bzw. 762 mm) entsprechenden Tiefe bestimmt. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, ist deshalb für Tragschichten eine Lastplatte mit Durchmesser 300 mm und für den Untergrund mit Durchmesser 762 mm zu verwenden.

3.1.5 Ermittlung des Bettungsmoduls

Für eine direkt auf dem (homogenen) Untergrund aufliegende Beton-Bodenplatte (Zweischichtensystem) kann der Bettungsmodul für die Ermittlung der Lastspannungen infolge von Einzellasten gemäß [5] mit folgender Formel ermittelt werden:

$$k = E_U / (0,83 \cdot h \cdot \sqrt[3]{E_C / E_U})$$

mit

k Bettungsmodul [N/mm³]

E_U E-Modul des Untergrunds [N/mm²]

(z. B. Steifenmodul E_S oder Verformungsmodul E_{V2})

Für eine 220 mm dicke Beton-Bodenplatte, die direkt auf dem Untergrund ($E_{V2} = 45 \text{ N/mm}^2$) aufliegt, erhält man:

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

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

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

Auf eine Wiedergabe der Formel für das Dreischichtensystem bestehend aus der Betonplatte, der Tragschicht und dem Untergrund wird hier verzichtet, weil ungebundene 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. Lagerlasten bei Gabelstaplerbetrieb) muß anhand einer Setzungsberechnung der Bettungsmodul k in gewohnter Weise als „Flächenfeder“ bestimmt werden:

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

mit

q Flächenlast [N/mm²]

s zugehörige Setzung [mm]

Wegen des geringeren Einflusses der Lastausbreitung im Untergrund werden sich hierbei niedrigere Bettungsmoduln (0,03 N/mm³ bis 0,005 N/mm³) errechnen. Damit das Superpositionsprinzip für die Lastfall-Überlagerung 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 von elastisch gebetteten Platten (insbesondere beim Ansatz von Temperaturgradienten) darauf zu achten ist, daß rechnerisch auftretende „Zugfedern“ im abhebenden Plattenbereich eliminiert werden, wobei wiederum das Superpositionsprinzip seine Gültigkeit verliert (nichtlineare Berechnung).

Steife Wärmedämmstoffe unter Beton-Bodenplatten (z. B. Schaumglas oder extrudierte Polystyrol-Hartschaumplatten) haben keinen nennenswerten Einfluß auf die Ermittlung des Bettungsmoduls, weil sie wesentlich steifer als übliche Untergründe sind.

3.2 Anwendung für nichttragende Beton-Bodenplatten

3.2.1 Allgemeines

Unbewehrte Beton-Bodenplatten sind nur für nichttragende Konstruktionen baurechtlich erlaubt und fallen somit auch nicht in den Anwendungsbereich der DIN 1045. Selbstverständlich ist es aber möglich und sinnvoll, die Lieferung des Baustoffs Beton mit den in der DIN 1045 definierten Eigenschaften auszuschreiben 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. tragende Mauerwerkswände oder Hochregale mit mehr als 7,50 m Lagerhöhe (Oberkante Lagergut) zu tragen hat (siehe z. B. [13]).

Für nichttragende Beton-Bodenplatten muß die DIN 1045 nicht angewendet werden.

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 analog zum Straßenbau ist, kommt auch hier der konsequenten planerischen Umsetzung die größte Bedeutung zu.

In [2] hat *Lohmeyer* in Abhängigkeit von der maximalen Einzellast Q bewährte Anforderungen an die Verformungsmoduln E_{V2} des Untergrunds und der Tragschicht sowie an Mindestwerte der Tragschichtdicke dargestellt. Eine Zusammenfassung enthält Tabelle 2. Für die Gebrauchsfähigkeit und Dauerhaftigkeit ist es zwingend erforderlich, diese Konstruktionsregeln einzuhalten. Eine Unterteilung in annähernd quadratische Plattenfelder, z. B. durch Einschneiden von Scheinfugen, im Abstand von $25 \cdot h$, max. 7,50 m (im Freien) bzw. im Abstand von $35 \cdot h$, max. 8,50 m (in geschlossenen Hallen), ist erforderlich. Wegen der Gefahr des frühzeitigen Kantenausbruchs an den Scheinfugen bei Gabelstaplerverkehr wird in [1] empfohlen, Konstruktionen mit Scheinfugen nur bei Gabelstaplerbetrieb bis zur Lastkategorie G3 (zulässige Gesamtlast 69 kN) gemäß DIN 1055-3 [8] anzuwenden.

Hier sei besonders auf folgendes hingewiesen: Schwindfugen sind Wartungsfugen! Kantenausbrüche sind unvermeidbar!

3.2.2 Bemessung

Für die Bemessung von unbewehrten Beton-Bodenplatten im Grenzzustand der Tragfähigkeit schlägt [1] einen Nachweis auf der Ebene von Spannungen vor, wobei die gegenüber der zentrischen Zugfestigkeit f_{ctk} höhere Biegezugfestigkeit des Betons $f_{ctk,fl}$ angesetzt werden darf. Weil die Biegezugfestigkeit in der neuen DIN 1045 [6] als Festigkeitskennwert des Betons nicht angegeben ist, wird in [1] eine Näherungsformel für die Berechnung der charakteristischen Biegezugfestigkeit des Betons $f_{ctk,fl}$ angegeben:

$$f_{ctk,fl} = k_h \cdot f_{ctk;0,05}$$

mit dem Dickenbeiwert

$$k_h = 1,6 - h [m] \geq 1,0$$

und

$$h = \text{Plattendicke [m]}$$

$f_{ctk;0,05}$ = zentrische Zugfestigkeit des Betons (5% Quantil), z. B. gemäß [6], Tab. 9

Eine Auswertung der charakteristischen Biegezugfestigkeit für verschiedene Plattendicken zeigt Tabelle 3. Alternativ zur Betonbestellung nach den gemäß DIN 1045 [6] definierten Eigenschaften kann bei nichttragenden Beton-Bodenplatten analog zur ZTV Beton-StB 01 [3] selbstverständlich auch ein Beton mit einer vorgegebenen Biegezugfestigkeit ausgeschrieben und bestellt werden. Die Prüfung sollte dann vorzugsweise nach DIN 1048-5 [14] an Balken 150 mm · 150 mm · 700 mm erfolgen, wobei 95% der Probekörper den vorgegebenen Wert erreichen müssen.

Als charakteristischer Wert für die Bemessung darf aber als Dauerstandsfestigkeit für den mehrachsigen

Tabelle 2. Mindestdicken für Tragschichten d_T und zugehörige erforderliche Verformungsmoduln des Untergrunds und der Tragschicht (nach [2])

Table 2. Minimum thicknesses for base layers d_T and related required deformation moduli (acc. to [2])

Mindestdicken d_T [cm]	Radlast (Einzelrad) Q_k [kN]							
	20	30	45	60	100	120	150	200
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	30	
Bodenverfestigung mit Zement, baugemischt					20	25	30	
Bodenverfestigung mit Zement, zentralgemischt					15	20	25	
hydraulisch gebundene Kiestragschicht					15	20	25	
hydraulisch gebundene Schottertragschicht							15	20
Beton C8/10							15	20
erf E_{v2}								
des Untergrunds	45	45	45	45	60	70	80	100
[N/mm ²]								
der Tragschicht	100	100	100	100	120	130	150	180

Tabelle 3. Charakteristische Biegezugfestigkeit $f_{ctk,fl}$ in N/mm^2 für übliche Plattendicken (nach [1])
Table 3. Characteristic flexural tension strength $f_{ctk,fl}$ in N/mm^2 for usual thicknesses of floor slabs

Plattendicke	k_h	$f_{ctk,fl}$ für Betonfestigkeitsklasse		
		C25/30	C30/37	C35/45
h [m]	[-]			
0,16	1,44	2,59	2,88	3,17
0,18	1,42	2,56	2,84	3,12
0,20	1,40	2,52	2,80	3,08
0,22	1,38	2,48	2,76	3,04
0,24	1,36	2,45	2,72	2,99
0,26	1,34	2,41	2,68	2,95
0,28	1,32	2,38	2,64	2,90
0,30	1,30	2,34	2,60	2,86

$f_{ctk,fl} = k_h \cdot f_{ctk,0,05}$ mit $k_h = 1,6 - h$ [m] $\geq 1,0$

Spannungszustand nur 80% des nachgewiesenen Wertes angesetzt werden. Eine weitere Abminderung (z. B. unter Anwendung des Dickenbeiwerts k_h) ist für den Einfluß der gegenüber den Prüfkörpern ($h = 150$ mm bzw. 100 mm) größeren Plattendicke erforderlich.

Die Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen sind wie im Abschn. 2 erläutert anzunehmen. Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{ct} für unbewehrten Beton auf Zug wird gemäß [1] in Abhängigkeit vom Anwendungsgebiet (A, B oder C) entsprechend der vom Bauherrn vorgegebenen wirtschaftlichen Bedeutung zwischen 1,00 und 1,67 angenommen (siehe Tabelle 4).

Das in [1] angegebene Nachweisformat lautet:

$$\sigma = k_N \cdot \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed}}{W} \leq \frac{f_{ctk,fl}}{\gamma_{ct}}$$

mit

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

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

Der Beiwert k_N berücksichtigt, daß die zentrische Zugfestigkeit f_{ctk} geringer als die Biegezugfestigkeit $f_{ctk,fl}$ ist.

3.2.3 Bemessungsbeispiel

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

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

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

Unter der Verwendung der Formeln von Bild 4 errechnet sich:

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

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

Tabelle 4. Anwendungsgebiete und Teilsicherheitsbeiwerte γ_{ct} für unbewehrten Beton (nach [1])
Table 4. Fields of application and partial safety factors γ_{ct} for not reinforced concrete (acc. to [1])

Anwendungsgebiet	Beschreibung	Beispiel	γ_{ct}
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

$$\sigma_e = 2,65 \text{ N/mm}^2$$

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

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 $7,20$ m reduziert werden. Mit $\Delta t = 0,04$ K/mm erhält man dann für Plattenmitte:

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

$$\sigma_i + \text{red } \sigma_w = 1,41 + 1,23 = 2,64 \text{ N/mm}^2 \approx \text{zul } \sigma$$

Dieser Ansatz eines Temperaturgradienten $\Delta t = 0,04$ 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 untersagt werden; dies dürfte aber bei den immer kürzer werdenden Bauzeiten kaum praxismäßig 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:

$$\text{red } \sigma_w = 1,27 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow$$

$$\sigma_i + \text{red } \sigma_w = 1,41 + 1,27 = 2,68 \text{ N/mm}^2 \approx \text{zul } \sigma$$

Andernfalls müßte bei einem Fugenabstand von $5,50$ m bzw. $6,50$ m die Plattendicke auf 280 mm 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 [3] mit vorgegebener Mindestbiegezugfestigkeit des Betons wirtschaftlich wird, weil dann höhere Biegezugspannungen zugelassen werden können.

4 Bewehrte Beton-Bodenplatten

Um eine gleichwertige Dauerhaftigkeit zu erreichen, müssen bewehrte Beton-Bodenplatten nach den gleichen Konstruktionsprinzipien wie unbewehrte Beton-Bodenplatten geplant und hergestellt werden. Dies gilt insbesondere für die Tragfähigkeit des Untergrunds und die immer erforderliche Tragschicht, z. B. gemäß Tabelle 2. Der für die Schnittgrößenermittlung erforderliche Bettungsmodul kann wie in Abschn. 3.1.5 beschrieben ermittelt werden. Für die Berechnung der Biegemomente infolge von Radlasten können ebenfalls die Formeln gemäß Bild 4 verwendet werden (vor allem für Vordimensionierungen), schließlich verhält sich eine bewehrte Beton-Bodenplatte bis zum Entstehen des ersten Risses nicht anders als eine unbewehrte.

Insbesondere, wenn eine weitgehende Rissefreiheit vom Bauherrn gewünscht wird, muß auch die bewehrte Betonplatte genauso dimensioniert und bemessen werden (Zustand I) wie eine unbewehrte, oder die Betonplatte 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.

4.1 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 Rißufer vernähen. Die Bemessung kann z. B. gemäß [15] erfolgen, hier tritt an die Stelle der Biegezugfestigkeit die äquivalente Biegezugfestigkeit, bei der das Arbeitsvermögen des gerissenen Betons noch berücksichtigt wird. Stahlfaserbeton-Bodenplatten müssen genauso wie unbewehrte Betonplatten in Plattenfelder ($35 \cdot h < 8,50 \text{ m}$) eingeteilt werden, die z. B. gemäß Bild 2 zu verdübeln sind. Die Ermittlung der Biegezugspannungen erfolgt meist mit den Formeln von *Westergaard* (Bild 4).

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.

4.2 Stahlbeton-Bodenplatten

Die häufigste Ausführung von Beton-Bodenplatten ist die mit Betonstahl bewehrte Bodenplatte, in der Regel mit zweilagiger Bewehrung. Gelegentlich findet man in der Literatur (unter anderem auch in [1]) Hinweise, daß die obere Bewehrungslage beim Schneiden der Scheinfugen mit durchzuschneiden ist. Dies ist dann richtig, wenn die Bodenplatte (z. B. wegen der Rissefreiheit) 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. Den selben Zweck erfüllt eine einlagige, mittig verlegte Bewehrungslage viel besser und ausführungsfreundlicher.

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 [6] erfolgen, für (baurechtlich) tragende Bodenplatten muß sie gemäß DIN 1045 erfolgen.

Die Rißbreite ist vom Planer festzulegen und mit dem Bauherrn abzustimmen.

Die Zwangbeanspruchungen infolge abfließender Hydratationswärme, Schwinden und gleichmäßiger Temperaturänderung können entweder rechnerisch ermittelt („nachgewiesene Zwangsschnittgröße“) oder als voller zentrischer Zwang angesetzt werden. Bei der rechnerischen Ermittlung (z. B. analog Abschn. 3.1.2) sind folgende Punkte unbedingt zutreffend anzunehmen und in die Planung umzusetzen:

- Reibungsbeiwert auf der Tragschicht
- Lage des Bewegungsnullpunkts (auf Dauer)
- Behinderte Verformung durch Flächenlasten
- Bewegungsmöglichkeiten an Zwangspunkten (z. B. Stützen)
- Fugenspaltbreite 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 ($f_{ct,eff} = f_{ctm} > 3,0 \text{ N/mm}^2$) oder bei geschlossenen Hallen für eine Erstrißbildung in frühem Alter ($f_{ct,eff} = 0,5 \cdot f_{ctm}$).

An Plattenrändern, in den Plattenecken und in Torbereichen ist mehr Bewehrung erforderlich.

Die Verwendung von langsam erhärtenden Zementen bringt hier keinen Vorteil, weil dadurch lediglich die Erstrißbildung 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_k (95%-Fraktile, gemessen in der Bewehrungsachse) ist vom Planer in Abhängigkeit von den Expositionsklassen und der Nut-

zung (Löschwasserrückhaltung, Rißüberbrückungsfähigkeit der Beschichtung, Gabelstaplerverkehr) festzulegen und mit dem Bauherrn abzustimmen (in der Regel 0,20 mm 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 Rißufer beim Überfahren der Risse zu vermeiden.

Bei der Anwendung einer starren (= Regelfall) Beschichtung bzw. bei Frost- und/oder Tausalzangriff ohne Beschichtung ist es erforderlich, die Rißbreiten z. B. gemäß [16] auf 0,15 mm bzw. 0,10 mm zu beschränken.

Weil bei Beton-Bodenplatten eine mittlere Zwangdehnung von 0,8‰ nicht überschritten wird, darf gemäß [6] der Rißbreitennachweis für Last und Zwang getrennt erfolgen. Als oberen Grenzwert für zweilagig bewehrte Bodenplatten für vollen zentrischen Zwang in spätem Betonalter erhält man für $\varnothing 12$ mm und Rißbreite 0,2 mm:

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

Als unteren Grenzwert erhält man für abfließende Hydratationswärme für $\varnothing 10$ mm und Rißbreite 0,3 mm:

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

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, $w_k = 0,3$ mm

C30/37 XC2, XM2 $c_v = 4,0$ cm

$h/d = 22$ cm / 17 cm

aus Zwang: $a_{su} = a_{so} = 1/2 \cdot 0,5 \cdot 22 = 5,5 \text{ cm}^2/\text{m}$

aus Last (im Feld): $\max m_{d,u} = 35 \text{ kNm/m} \Rightarrow$

$$\text{erf } a_{s,u} = 5,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

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.

4.3 Vorgespannte Beton-Bodenplatten

Bei besonders hohen Ansprüchen an eine Beton-Bodenplatte kann der Einbau einer vorgespannten Bewehrung zweckmäßig sein [2], z. B. für

- Große Flächen mit großen Fugenabständen
- Hoch beanspruchte Flächen
- Flächen, die weitgehend frei von Rissen sein sollen
- Auffangwannen gemäß WHG (siehe auch [11])
- Freiflächen im Flugplatzbau

Bei nichttragenden Bodenplatten genügt eine mittige Vorspannbewehrung, z. B. aus gefetteten Monolitzen ohne Verbund im PE-Hüllrohr (Fettlitzten) aus St 1770 oder

St 1860 (z. B. [17]), 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 bereits beim Aufbringen der Teilvorspannung die Reibungskraft zwischen Bodenplatte und Tragschicht überwunden wird) und eine Betonsorte mit einer Biegezugfestigkeit von mindestens $5,5 \text{ N/mm}^2$. In diesem Fall kann 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 cm bis 30 cm ergibt.

Großflächige Beton-Bodenplatten müssen vorgespannt werden, wenn sie weitgehend frei von Rissen sein sollen.

Falls tragende Beton-Bodenplatten vorgespannt werden sollen, z. B. für WHG-Wannen, empfiehlt der Verfasser die Anwendung der teilweisen Vorspannung derart, daß der Standsicherheitsnachweis wie für eine Stahlbetonkonstruktion geführt wird und die Spannglieder zum Überdrücken der Reibungskraft Bodenplatte/Tragschicht, wie eingangs 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 Abschn. 4.2 erläutert. Dies gilt besonders für die Fugenspaltbreite und die dauerhafte Funktionsfähigkeit der Dehnfugen- und Randabschlußkonstruktionen.

5 Hinweise für die Bauausführung

An die Ausführung von Beton-Bodenplatten werden hohe Anforderungen gestellt, weil die fertige Oberfläche unmittelbar vom Nutzer beansprucht wird (Bild 5).

Folgende Punkte sind für die Gebrauchsfähigkeit und Dauerhaftigkeit zu beachten:

- Überprüfung der Tragfähigkeit des Untergrunds
- Kontrolle des Verdichtungsgrads der Tragschicht
- Bei Freiflächen: wirksame Entwässerung der Tragschicht/Frostschuttschicht
- Ebenheit von Untergrund und Tragschicht
- Sorgfältiges und faltenfreies Verlegen von Trennschichten
- Lagegenaues Einbringen der Bewehrung bzw. der Verdübelung auf ausreichend dimensionierten, stabilen Abstandhaltern
- Rechtzeitige Bestellung der vom Planer vorgegebenen Betonsorte (mind. C25/30)
- Sorgfältiger Einbau und gewissenhaftes Verdichten des Betons
- Profildgerechtes Abziehen und Glätten der Betonoberfläche
- Sofortiger Beginn der Nachbehandlung

- Rechtzeitiges Einarbeiten einer Hartstoffeinstreuung (bei Bedarf)
- Einschneiden von Scheinfugen zum frühestmöglichen Zeitpunkt (bei Bedarf)
- Volle Belastung der Bodenplatte frühestens nach 14 Tagen

Vor allem bei Freiflächen sollte eine Beaufschlagung mit Tausalz oder Taumitteln in den ersten zwei Monaten nach der Herstellung vermieden werden. Falls das nicht möglich ist, hat sich das Aufbringen einer hydrophobierenden Imprägnierung bewährt. Die Imprägnierung bewirkt eine zeitlich begrenzte Verbesserung des Frost- und Tausalz widerstands durch die Verringerung der kapillaren Wasseraufnahme [2].

Eine Hartstoffeinstreuung muß rechtzeitig eingearbeitet werden.

Das heute weitverbreitete und übliche Einstreuen von einem Hartstoff/Zementgemisch (ca. 3 kg/m²) zur Erhöhung des Verschleißwiderstands als Alternative (nur möglich bei nichttragenden Bodenplatten) zu einer Betonbestellung XM2 hat sich bewährt, wenn die Einarbeitung mit dem Flügelglätter rechtzeitig (nicht zu früh, aber auf keinen Fall zu spät) von einer handwerklich guten Fachfirma erfolgt. Bei zu später oder mangelhafter Einarbeitung löst sich die Hartstoffeinstreuung ab und die Oberfläche wird zurecht bemängelt (Bild 6).

Abschließend noch ein Hinweis zu Scheinfugen und Dehnfugen:

Im Freien ist immer ein elastischer Fugendichtstoff einzusetzen, der allerdings intensive Pflege und Wartung benötigt, z. B. gemäß [18] (Bild 7). Kleine Fehlstellen müssen laufend ausgebessert werden, weil Feuchtigkeit und Schmutz eindringen können und die Fuge dann nicht mehr „funktioniert“. In geschlossenen Hallen ohne große thermische Beanspruchung können Scheinfugen ebenfalls elastisch geschlossen werden. Falls das Schließen zu einem späten Zeitpunkt erfolgen kann (vorher kein Gabelstaplerverkehr), dann ist die Verwendung eines starren Vergusses, vor allem in Fahrstraßen, vorteilhafter. In diesem Fall ist von einer Abfasung des Fugenspalts gemäß Bild 7 abzuraten.

Detaillierte Hinweise zur Bauausführung enthalten [1] und [2].

6 Zusammenfassung

Für die Herstellung von Beton-Bodenplatten 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 vorgespannter Beton. Alle vier Konstruktionsarten weisen vom Grundsatz her ein ähnliches Tragverhalten auf und benötigen immer sowohl einen tragfähigen Untergrund als auch eine richtig dimensionierte Tragschicht (Tabelle 2), damit eine dauerhafte Konstruktion entsteht.

Für Freiflächen (baurechtlich nichttragend) bietet sich eine Ausführung als unbewehrte Beton-Bodenplatte



Bild 5. Gabelstaplerbetrieb Kategorie G3
Fig. 5. Operation of fork lift category G3



Bild 6. Abgelöste Hartstoffeinstreuung neben einer Fuge
Fig. 6. Delamination of hard material nearby joint

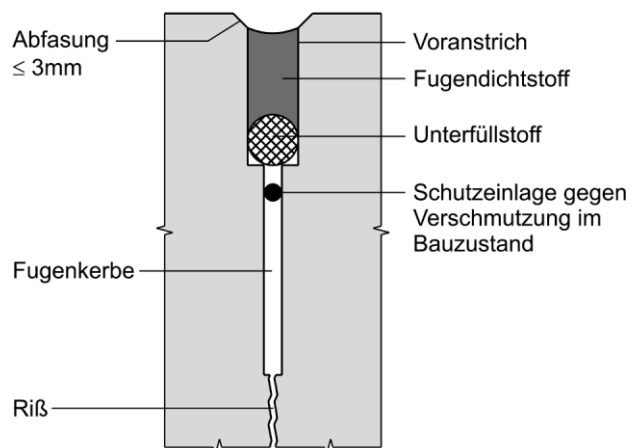


Bild 7. Schließen von Scheinfugen gemäß [18]
Fig. 7. Sealing of cut expansion joints acc. to [18]

mit geschnittenen Scheinfugen analog zum Straßenbau an. Gleichzeitig ist eine funktionierende Entwässerung und Fugenpflege erforderlich. Für tragende und nichttragende Hallenflächen werden weitgehend fugenlose, zweilagig bewehrte Stahlbeton-Bodenplatten mit definierten Rißbreiten empfohlen. Die vom Planer, gemeinsam mit dem Bauherrn festzulegende, maximale Rißbreite wird bei richtiger Planung und fachgerechter Bauausführung ziel-sicher eingehalten.

Weitgehend rissefreie Flächen sind nur erzielbar mit sehr kleinen Fugenabständen (nachteilig bei Gabelstaplerbetrieb) oder durch eine Vorspannung der Beton-Bodenplatte.

Literatur

- [1] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.: Merkblatt Industrieböden aus Beton für Frei- und Hallenflächen, in Vorbereitung, geplante Veröffentlichung 2005.
- [2] *Lohmeyer, G.*: Betonböden im Industriebau: Hallen- und Freiflächen, Düsseldorf: Beton-Verlag, 1996.
- [3] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton, Ausgabe 2001 (ZTV Beton-StB 01).
- [4] *Eisenmann, J.*: Betonfahrbahnen, Handbuch für Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbau, Berlin-München-Düsseldorf: Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, 1979.
- [5] *Eisenmann, J.* und *Leykauf, G.*: Bau von Verkehrsflächen, Berlin: Wilhelm Ernst & Sohn Verlag, In: Beton-Kalender 1987, Teil II, S. 641–748.
- [6] DIN 1045: 2001-07: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Bemessung und Ausführung, Berlin: Beuth Verlag.
- [7] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen, Ausgabe 2001 (RstO 01).
- [8] DIN 1055-3: 2002-10: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 3: Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten, Berlin: Beuth Verlag.
- [9] DIN 1072: 1985-12: Straßen- und Wegbrücken – Lastannahmen, Berlin: Beuth Verlag.
- [10] DIN 1055-7: 2002-11: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 7: Temperatureinwirkungen, Berlin: Beuth Verlag.
- [11] Deutscher Ausschuß für Stahlbeton: Richtlinie Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen, Ausgabe 1996-09.
- [12] DIN 18134: 2001-09: Plattendruckversuch, Berlin: Beuth Verlag.
- [13] Bayerische Bauordnung (BayBO) vom 4. August 1997, ergänzt 1998, München: Verlag C. H. Beck, 1998. In: Bayerische Bauordnung und ergänzende Bestimmungen.
- [14] DIN 1048-5: 1991-06: Prüfverfahren für Beton – Festbeton, gesondert hergestellte Probekörper, Berlin: Beuth Verlag.
- [15] Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V.: Merkblatt Stahlfaserbeton, Fassung Oktober 2001.
- [16] *Schöppel, K.* und *Stenzel, G.*: Konstruktionsregeln für Tiefgaragen in Stahlbetonbauweise, Beton- und Stahlbetonbau 98 (2003), S. 111–122.
- [17] Europäische Technische Zulassung ETA – 03/0036: SUSPA/DSI – Monolitenspannverfahren ohne Verbund mit 1 bis 5 Monolitzen, Geltungsdauer vom 01.04.2004 bis 31.03.2009, Langenfeld, SUSPA-DSI GmbH.
- [18] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Fugen in Verkehrsflächen, Ausgabe 2001 (ZTV Fug-StB 01).



Dr.-Ing. Gerhard Stenzel
WALTER DYWIDAG Engineering GmbH
Dywidagstr. 1
85609 Aschheim bei München
gerhard.stenzel@gmx.de