

Bemessung von Industriefußböden

Bemessung nach Bemessungsmodell

Die Bemessung erfolgt auf Grundlage der DIN 1045 (Betonprojektierung) und des DBV-Merkblatt „Merkblatt Grundlagen zur Beanspruchung von Industriefußböden aus Stahlfaserbeton“ (1992) und des DBV – Merkblattes „Stahlfaserbeton“ (2001). Es handelt sich bei herkömmlichen Industriefußböden um baurechtlich nicht relevante Bauteile (unterliegen nicht der Bauordnung) und somit ist keine gesonderte Bauartenzulassung notwendig. Die Bemessung auf Basis der Westergaard – Formeln bzw. des Modells einer elastisch gebetteten Bodenplatte sind Stand der Technik.

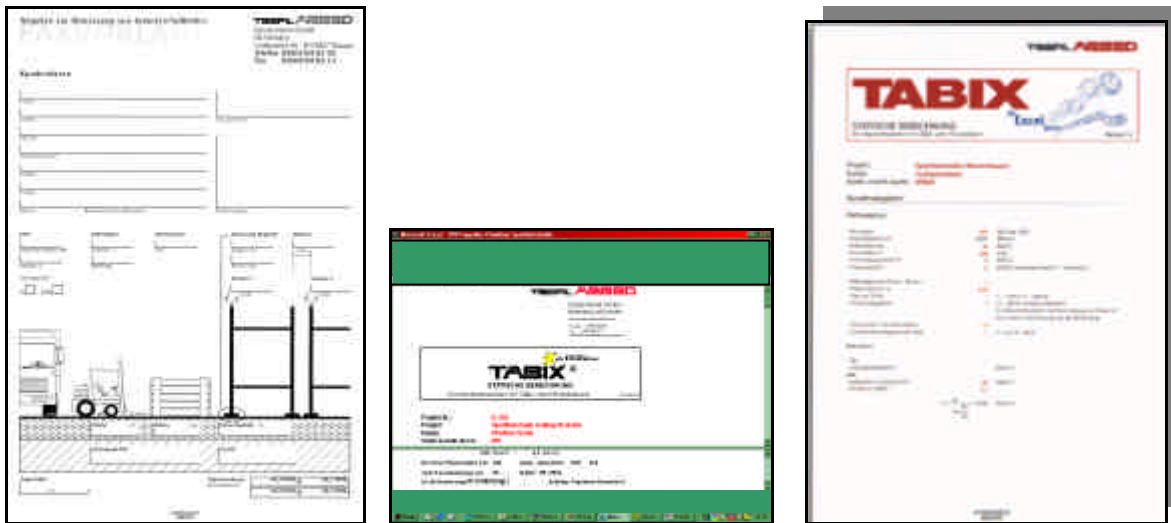


Abb.1 Bemessungsprogramm TABIX

	$2,52 \text{ (N/mm}^2)$	$<$	$3,7 \text{ (N/mm}^2)$	
Bei einer Plattenstärke von	150		(mm), einem Beton	B25
einer Faserdosierung von	20		(kg/m³ HE 1/50)	
ist die Bemessung	in Ordnung !			

Alle Größen der Belastungen, die auf das Bauteil einwirken, werden erfaßt und ergeben die Beanspruchungen. Das Bauteil muß durch die Variierung der Einflußgrößen so projektirt werden, daß die Beanspruchbarkeit größer gleich den Beanspruchungen ist. Die technischen Parameter (z.B.Plattenstärke, Faserdosierung oder Betongüte) sind solange zu variieren, bis diese Bedingung erreicht ist.

Neben den Werten aus der Bemessung sollten dabei aber Risiken, die sich aus den Verhältnissen auf der Baustelle ergeben, mit in die Überlegung einbezogen und eine gewisse zusätzliche Sicherheit vorgesehen werden.

Folgende Einflußgrößen werden berücksichtigt:

1. Untergrund

Als empirisches Modell wird von der elastischen Bettung der Bodenplatte ausgegangen. Entweder ist direkt ein Bettungsmodul k bekannt oder dieses kann aus den Werten des Plattendruckversuches nach DIN 18134 (EV_1 (Erstbelastung) und EV_2 (Zweitbelastung)) ermittelt werden.

Die Spanne reicht dabei von einem EV_2 von z.B. 40 MN/m² bei Dämmung als Untergrund bis hin zu einem EV_2 von 180 MN/m², der durch das Einbringen einer Sauberkeitsschicht erreicht wird. Bei einer gut verarbeiteten Recycling- oder Schotterschicht kann ein EV_2 von 100 MN/m² angenommen werden können.

Das Verhältnis EV_2 / EV_1 sollte 2,0 erreichen. Ein Wert von 2,5 darf nicht überschritten werden. Ansonsten ist die Tragschicht nachzuarbeiten

Entscheidend dabei ist die gleichmäßige Verdichtung des Bodens.



Abb.2 Bearbeitung des Planums

2. Betongüte

Je höher die Betonfestigkeit um so größer ist die Biegezugfestigkeit. Die Betonfestigkeiten sollten aber nicht höher als ein B45 (C35/45) gewählt werden. In der Regel kommt ein B25 (C25/30) zum Einsatz. Bei erhöhten Anforderungen an die Druckfestigkeit des Betons oder bei sehr hohen Biegezugkräften (Funktion der Druckfestigkeit) sollte eine höhere Betonfestigkeit gewählt werden.

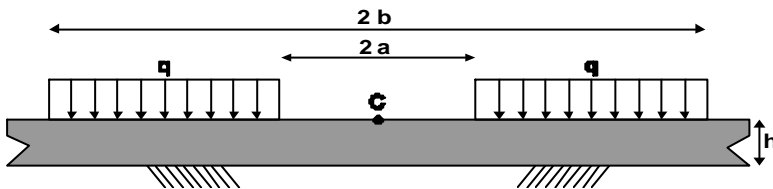
Das Elastizitätsmodul kann nach DIN 1045 für einen Normalbeton mit annähernd gleicher Rohdichte in Abhängigkeit von der Druckfestigkeit angegeben werden.

Nenndruckfestigkeit b_{WN} [N/mm]	E-Modul E_b [N/mm]
25	30000
35	34000
45	37000

Tab.2 Anzunehmende Elastizitätsmodule des Betons in Abhängigkeit von der Betongüte

3. Lastfall Flächenlast

Ausgehend von den zu erwartenden Flächenlasten wird das Moment und die daraus resultierende angreifende Spannung wie folgt berechnet



Nach Hetényi entsteht für einen Plattenstreifen mit 1 m Breite das kritische (negative) Biegemoment im Punkt C gemäss obenstehender Skizze und beträgt für eine Flächenlast q mit einer Länge 2b und einer nicht belasteten Länge 2a (Voraussetzung $b \gg 3a$):

$$M_c = -\frac{q}{2I^2} \cdot e^{-Ia} \cdot \sin(Ia) \quad , \text{ mit } I = \sqrt[4]{\frac{3k}{E \cdot h^3}}$$

$$s_f = \frac{6 \cdot M_c}{h^2}$$

	Minimale Flächenlasten nach CUR 36 (NL)
Lagerhalle / Speditionslager	2,5 KN/m ² für jeden Meter Lagerhöhe mit einem Minimum von 15 KN/m ²
Papierlager	4,5 KN/m ² für jeden Meter Lagerhöhe; mindestens 15 KN/m ²
Druckerei	12,5 KN/m ²
Eisenerzgießerei	20 KN/m ²
Technische Räume	5 KN/m ²

Tab.2 Normierte Flächenlasten nach CUR 36 (NL)

Oftmals werden auch bei kombinierten Lasteinwirkungen Flächenlasten angegeben. Da der genaue Lastverlauf schwer einzuschätzen ist, sind diese Ersatzlasten nicht selten überdimensioniert.

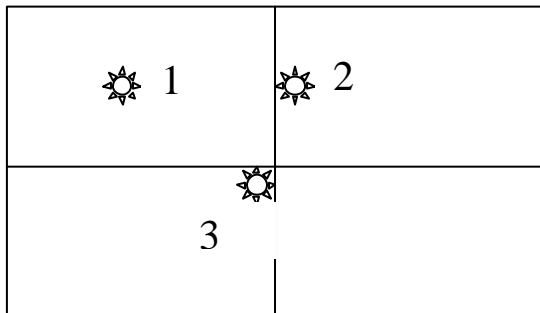


Abb.3 Industriefußboden, bei dem Flächenlasten und verschiedene Punktlasten betrachtet werden müssen

4. Lastfall Einzellasten

Belastungstypen:			
- Flächenlast q	50	(kN/m ²)	
Gabelstapler			
zul. Gesamtgewicht	13,0	(t)	
Radlast Q	5,9	(kN)	
Kontaktdruck p	3,00	(N/mm ²)	
DKW / SLW			
Typ:	SLW 46		
Radlast Q	75,0	(kN)	
Reifenanordnung:	2	(1 = Einzelreifen / 2 = Zwillingreifen)	
		(bei Zwillingreifen wird die Spannung um 20% abgerundet)	
Kontaktdruck p	0,83	(N/mm ²)	
sonstige Einzellasten:			
Last 1:			
Typ:			
Punktlast Q	50,0	(kN)	
Kontaktdruck p	3,50	(N/mm ²)	
Einfluss Last 1 (LF Mitte):	100,00	%	
Einfluss Last 1 (LF Rand):	100,00	%	
Einfluss Last 1 (LF Ecke):	100,00	%	
Last 2:			
Typ:			
Punktlast Q:	50,0	(kN)	im Abstand von 200 (mm)
mit 1cr =	758	(mm)	
Einfluss Last 2 (LF Mitte):	76,68	%	
Einfluss Last 2 (LF Rand):	79,12	%	(nach STIGLIT & WIFFEL)
Einfluss Last 2 (LF Ecke):	58,70	%	

3 Lastfälle sind zu untersuchen:



1. Lastfall 1: Punktlast in Feldmitte

$$s_{QM} = \frac{0.275 \cdot Q}{h^2} \cdot (1 + m) \cdot \left[\lg\left(\frac{Eh^3}{k \cdot b^4}\right) - 0.436 \right]$$

2. Lastfall 2: Punktlast am Feldrand

$$s_{QR} = \frac{0.529 \cdot Q}{h^2} \cdot (1 + 0.54 \cdot m) \cdot \left[\lg\left(\frac{Eh^3}{k \cdot b^4}\right) + \lg\left(\frac{0.1 \cdot b}{1 - m^2}\right) - 1.08 \right]$$

3. Lastfall 3: Punktlast in der Ecke

$$s_{QE} = \frac{3 \cdot Q}{h^2} \cdot \left[1 - \left(\frac{120000 \cdot (1 - m^2) \cdot k}{E \cdot h^3} \right)^{0.3} \cdot (0.1 \cdot a \cdot \sqrt{2})^{1.2} \right]$$

Lastfall 2 gibt in der Regel ca. 50 - 70% höhere Spannungen als Lastfall 1

Lastfall 3 gibt i.d.R. sogar ca. 100% höhere Spannungen als Lastfall 1

→ je nach Querkraftübertragung in der Fuge wird Lastfall 2 oder 3 massgebend für die Bemessung

Lastart		Stapler	LKW/SLW	Einzellast 1	Einzellast 2
Punktlast Q	(N)	5850	75000	50000	50000
Kontaktdruck p	(N/mm ²)	3,00	0,83	2,50	
Bettungskonstante k	(N/mm ³)	0,058	0,058	0,058	
Belastungsradius a	(mm)	125	270	180	
Ersatzradius b	(mm)	120	260	168	
LF Plattenmitte σ_{LF}	(N/mm ²)	0,18	1,48	1,29	0,99
LF Plattenrand σ_{LF}	(N/mm ²)	0,36	3,52	2,76	2,18
LF Plattenecke σ_{LF}	(N/mm ²)	0,36	3,18	2,75	1,61

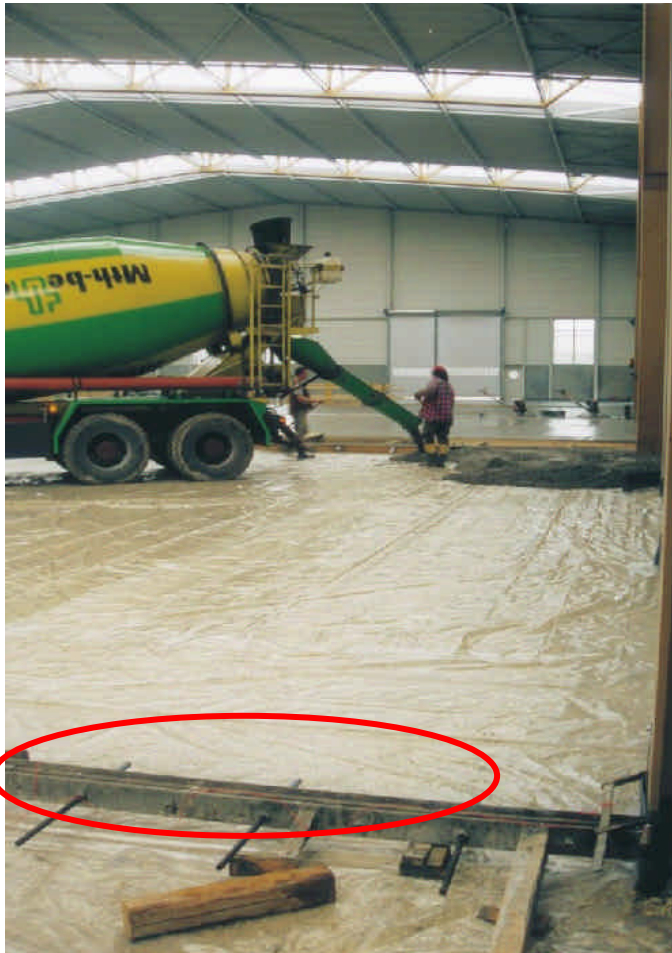


Abb.4 Querkraftübertragung durch Fugenprofile

4.1. Verkehrslasten (Dynamische Punktlasten)

Nach DIN 1055 und DIN 1072 sind die Rad- und Achslasten der einzelnen Fahrzeuge vorgegeben. Im besten Fall greift man auf entsprechende Angaben der Hersteller zurück. Die Lasten, die auf die Räder wirken, werden über die Aufstandsflächen in den Boden abgetragen. Dadurch ergibt sich der entsprechende Kontaktdruck. Die Aufstandsfläche und somit der Kontaktdruck wird entscheidend von der Art der Bereifung bestimmt. Im Allgemeinen ist von folgenden Werten auszugehen:

Berücksichtigt werden die einwirkenden Einzellasten der Fahrzeuge und deren Kontaktdruck welcher durch die einwirkende Last und die Aufstandsfläche (Abhängig von Reifenart) ermittelt wird.

Fahrzeug	Gesamtgewicht	Radlast	Kontaktdruck
SLW	60,0 t	100,0 KN	0,83 N/mm ²
	45,0 t	75,0 KN	0,83 N/mm ²
	40,0 t	65,0 KN	0,83 N/mm ²
	30,0 t	50,0 KN	0,65 N/mm ²
	27,0 t	40,0 KN	0,65 N/mm ²
LKW	12,0 t	40,0 KN	0,60 N/mm ²
	6,0 t	20,0 KN	0,38 N/mm ²
	3,0 t	10,0 KN	0,38 N/mm ²
Gabelstapler sehr schwer luftbereift	13,0 t	60,0 KN	0,8 N/mm ²
Gabelstapler schwer luftbereift	7,0 t	32,5 KN	0,8 N/mm ²
Gabelstapler mittel luftbereift	3,5 t	15,0 KN	0,8 N/mm ²
Gabelstapler klein luftbereift	2,5 t	10,0 KN	0,8 N/mm ²
Gabelstapler sehr schwer Vollgummibereifung	13,0 t	60,0 KN	3,0 N/mm ²
Gabelstapler schwer Vollgummibereifung	7,0 t	32,5 KN	3,0 N/mm ²
Gabelstapler mittel Vollgummibereifung	3,5 t	15,0 KN	3,0 N/mm ²
Gabelstapler klein Vollgummibereifung	2,5 t	10,0 KN	3,0 N/mm ²

Tab.3 anzunehmende Werte für Lasten aus Verkehr



Abb.5 Verkehrslasten aus Gabelstapler und LKW - Verkehr

4.2. Statische Punktlasten

Typische Anwendungsfälle hierfür sind Regalstiele oder Stützen, wo die Punktlasten über die Aufstandsflächen in den Boden abgetragen werden. Die Größe der Aufstandsflächen bestimmt den Kontaktdruck.

Bei mehreren Punktlasten muß der Abstand zueinander beachtet werden, da es zu Lastüberlagerungen kommen kann.



Abb.6 Punktlasten aus Regalfüßen und Containern

5. Lastfall Schwinden

Die Spannung welche durch das Schwinden einer freien Platte entsteht, kann in Funktion der Reibungskonstante c , des Fugenabstandes L sowie des Platteneigengewichtes G , folgendermaßen beschrieben werden:

$$s = \frac{0.5 \cdot c \cdot L \cdot (G + P_1)}{h}$$

c = Reibungsbeiwert
 L = Fugenabstand
 G = Platteneigengewicht
 P_1 = langfristige Verkehrslasten

Dabei ist von folgenden Reibungsbeiwerten auszugehen:

Untergrund	Gleitschicht	Reibungsbeiwert
Mineralgemisch	keine	1,4 – 2,1
Sandbett	keine	0,9 – 1,1
Sandbett	PE - Folie	0,5 – 0,7
Unterbeton	1 Lage PE - Folie	0,8 – 1,4
Unterbeton	2 Lagen PE - Folie	0,6 – 1,0
Unterbeton	Beschichtete Folie	0,1 – 0,15

Die höchste kritische Spannung der untersuchten Einwirkungen ergibt die zu beachtende höchste Belastung, die kleiner als der Widerstand (in Abhängigkeit von Betongüte, Plattenstärke und -bettung sowie Fasergehalt) sein muß.

6. Bemessungsbeiwerte

- - Reibungsbeiwert Beton - Boden c : 1
- Poisson-Beiwert μ : 0,15
- Lage der Platte: 1 (1 = innen / 2 = aussen)
- Anwendungsgebiet: 1 (I = übliche Industriefussböden
II = Industriefussböden mit Beschränkung der Rissbreite
III = erhöhte Anforderungen an die Rissöffnung)
- Dynamischer Sicherheitsbeiwert: 1,4
- Querkraftübertragung in der Fuge: 1 (1 = ja / 0 = nein)

Die Bemessungsbeiwerte berücksichtigen zu betrachtende Randbedingungen des Industriefußbodens.

- Der Poisson-Beiwert trifft eine Aussage zur Querdehnung und hat wenig Einfluß auf die Bemessung.
- Entsprechend dem Anwendungsgebiet werden die Spannungen noch mit einem Sicherheitsbeiwert multipliziert.

Anwendungsgebiet	Sicherheitsbeiwert
I = übliche Industriefußböden	1,5
II = Industriefußböden mit Beschränkung der Rissbreite	2,0
II = erhöhte Anforderungen an die Rissöffnung	2,5

- Der dynamische Sicherheitswert oder Schwingbeiwert sichert, daß dynamische Effekte, welche zu Ermüdung führen können berücksichtigt werden. In Deutschland wird in der Regel 1,4 angenommen. Liegen Anwendungsfälle vor, die von einem Regelfall abweichen kann er gegebenenfalls erhöht oder abgemindert werden.
- Bei nachträglich geschnittenen Scheinfugen sichern die Stahlfasern die Querkraftübertragung. Bedingt durch die Tatsache, dass die Fasern sehr fein über den gesamten Beton verteilt sind, wird die Rissöffnung in der Fuge entsprechend günstig beeinflusst. Da der Riss sich nicht unkontrolliert öffnen und schliessen kann und die Öffnung begrenzt ist, ist es möglich eine Kraftübertragung über Abscheren zu sichern, da ein Ermüdungsbruch (welcher bei grösserer Rissöffnung und Biegung der Faser entsteht) ausgeschlossen werden kann. Die Fuge stellt ein stabiles Gelenk dar, wobei die Spannungsabminderung um 40% gegenüber dem freien (beweglichen) Rand gerechtfertigt ist, wie dies auch in den meisten Richtlinien wiederzufinden ist. Die Querkraftübertragung an Preßfugen erfolgt über entsprechende Profile oder Verdübelung. Wenn die Querkraftübertragung am Plattenrand oder in den Ecken gesichert ist, dürfen die entsprechenden Spannungen um 40% abgemindert werden.
- Bei der Annahme von Zwillingsreifen darf für die Lastart LKW/SLW, die entsprechende Spannung um 20% gegenüber der Belastung aus Einzelreifen abgemindert werden.
- Beim Berechnungsverfahren nach Westergaard, dürfen die Grundwerte der Sicherheitsabstände mit einem Faktor von mindestens 0.8 abgemindert werden.