

# BEMESSUNG VON BODENKONSTRUKTIONEN

Merkblatt 8-4

Stand 18.02.2021  
ersetzt

Stand 04.10.2019

## Teil 4: Bemessung von Belägen (allgemeiner Nachweis)

### 1 Vorwort

Dieses Merkblatt erweitert den Anwendungsbereich des Merkblattes „Hoch belastete Beläge – Mechanisch hoch belastbare keramische Bodenbeläge –, des Fachverbandes Deutsches Fliesengewerbes um die Lastermittlung, um verschiedene Lastverteilungsschichten, um Beläge auf Entkopplungen und Beläge mit freien Rändern und Hohllagen. Das Merkblatt besteht aus folgenden Teilen:

- Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- Teil 2: Lastverteilungsschichten
- Teil 3: Bemessung von Belägen (vereinfachter Nachweis)
- Teil 4: Bemessung von Belägen (allgemeiner Nachweis)

### Verweis

Grundlage für die Bemessung der Beläge sind die Schub- und Drucksteifigkeit des Verlegemörtels bzw. der Entkopplung auf der Basis des Merkblattes Nr. 7 der Deutschen Natursteinakademie ([www.denak.de](http://www.denak.de)) „Ermittlung der technischen Eigenschaften von Entkopplungen“

### 2 Anwendungsbereich

Dieses Merkblatt gilt in Verbindung mit Teil 1 und regelt die allgemeine Bemessung von Bodenbelägen. Das Berechnungsverfahren dieses Merkblattes stellt ein vereinfachtes grafisches Verfahren dar. Eine Ingenieurmäßige Berechnungen von Bodenkonstruktionen können zu Konstruktionen mit geringeren Bauteildicken führen.

### 3 Planung von Belägen

#### 3.1 Allgemeines

Bodenbeläge werden sowohl durch lokale Lasten (siehe Bild 1), wie z.B. Regellasten oder Hubwagenverkehr, als auch durch systembedingte Lasten (siehe Bild 2) beansprucht. Jede dieser beiden Belastungsarten kann zu einer wesentlichen Beanspruchung von Belägen führen.

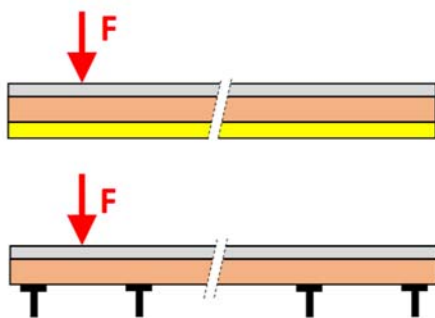


Bild 1: lokale Beanspruchung

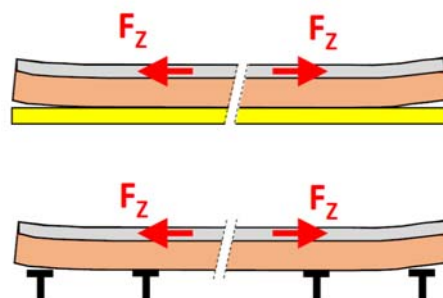


Bild 2: Systembeanspruchung

Die Schädigung von Belägen aus lokaler Beanspruchung entsteht im Regelfall aus Hohllagen oder freien Rändern durch eine nicht regelkonforme Verarbeitung. Systembedingte Beanspruchungen sind äußerlich nicht zu erkennen. Sie entstehen bei Bodenaufbauten, die aus Materialien mit unterschiedlichen thermischen und feuchtetechnischen Eigenschaften zusammengesetzt sind. Aus den jeweiligen handwerklichen Regelwerken ergibt sich, dass die systembedingte Beanspruchung von Belägen vorhanden ist. Die Größenordnung der Beanspruchung lässt sich aus den vorhandenen Regelwerken nicht bestimmen. Zur Reduzierung der systembeanspruchten Belastung von Belägen dienen konstruktive Hinweise. So wird beispielsweise bei allen Regeln bei Heizestrichen eine Verlegung mit Kreuzfugen empfohlen.

Systembedingte Beanspruchungen können auch zu Schäden an Estrichen und Hohlböden führen. Der Dünnbettmörtel muss der DIN 12004 entsprechen und auf das Entkopplungssystem abgestimmt sein

Durch die Verformbarkeit der Entkopplungsmatte parallel zur Belagoberfläche werden auftretende Zwängungsspannungen reduziert. Die im Verbund verlegte Entkopplungsmatte hat die Wirkung einer Feder zwischen Belag und tragendem Untergrund.

Durch diese Federwirkung können Zwängungskräfte aus Verformungsdifferenzen zwischen Belag und Lastverteilungsschicht gemindert werden.

Neben der horizontalen Verformbarkeit der Entkopplungsmatte ergibt sich eine Zusammendrückbarkeit senkrecht zur Plattenebene. Diese Komprimierbarkeit der Entkopplung führt zu einer höheren Beanspruchung der Beläge.

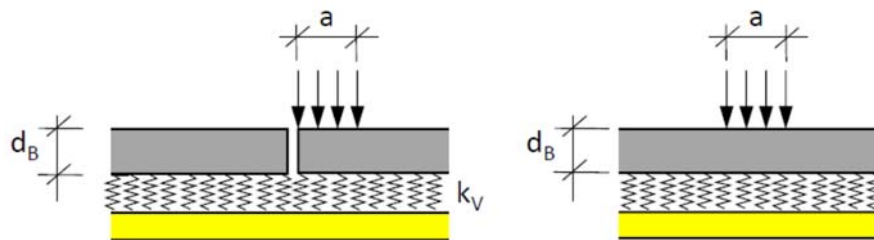


Bild 3: Federwirkung von Entkopplungen

Die horizontale und vertikale Federwirkung von Entkopplungen können versuchstechnisch ermittelt werden. Diese Kenndaten der Entkopplung können für die Bemessung von Belägen und Lastverteilungsschichten berücksichtigt werden.

### 3.2 lokale Beanspruchung

Die lokale Beanspruchung eines Belages ergibt sich aus der äußeren Einwirkung (Belastung) ohne Einflüsse aus dem Verbundsystem, bestehend aus Belag und Lastverteilungsschicht (Estrich oder Hohlboden). Die direkte Belastung eines Belages (siehe Bilder 6.3 und 6.4) kann zu Biegebeanspruchungen führen, die in ihrer Größe von Hohllagen oder freien Rändern beeinflusst werden. Bei weichen Verlegeuntergründen ist auch ein Durchstanzen des Belages möglich.

#### 3.2.1 Drucksteifigkeit (Bettungsziffer)

Drucksteifigkeit eines Mörtels bzw. einer Entkopplungsmatte hat Einfluss auf die Tragfähigkeit eines punktförmig belasteten Belages. Aus dieser Drucksteifigkeit kann eine flächenhafte Feder (siehe Bild 3) zur Berechnung der Beanspruchung der Beläge abgeleitet werden. Die Drucksteifigkeit einer Entkopplung kann versuchstechnisch nach dem Merkblatt „Ermittlung der technischen Eigenschaften von Entkopplungen“ bestimmt werden.

#### 3.2.2 Rechnerische Aufstandsfläche

Die rechnerische Aufstandsfläche ergibt sich aus einer Lastausbreitung mit einer Neigung von 1 : 1 bis zur Mitte der Belagdicke. Mit dieser rechnerischen Aufstandsfläche sind die Biegemomente des Belages zu ermitteln.

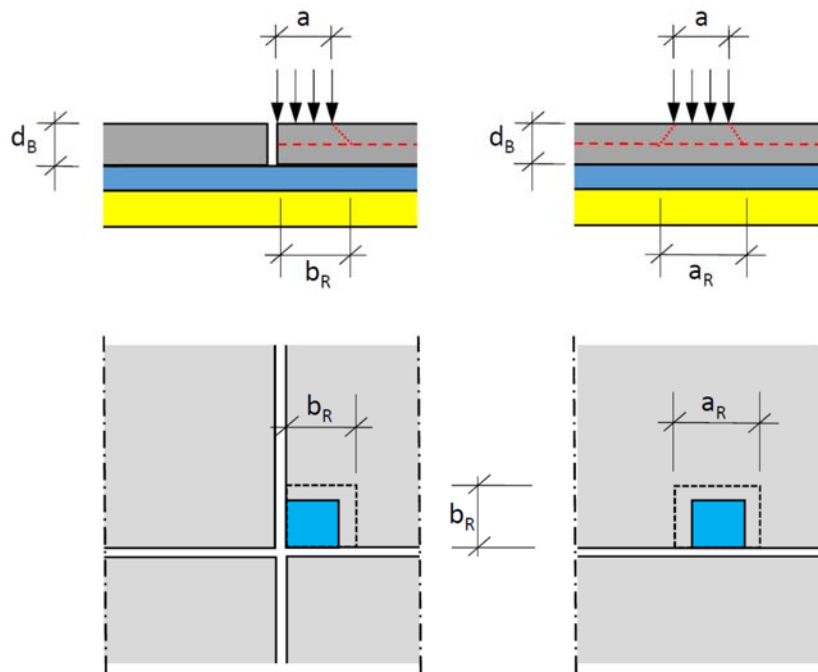


Bild 4: rechnerische Aufstandsfläche von Punktlasten

**3.2.3 Biegemomente**

Für stationäre Belastungen kann für eine Punktbelastung eine Aufstandsfläche von mindestens 50 mm x 50 mm angenommen werden. Werden größere Aufstandsflächen vorgegeben und sollen diese vorteilhaft genutzt werden, so sind die Beanspruchungen ingenieurmäßig zu ermitteln. Beim Einsatz von Hubwagen mit Polyamid- bzw. Vulkollanrädern sollte von einer Aufstandsfläche 25 mm x 25 mm für das Rad ausgegangen werden. Die rechnerischen Aufstandsweiten  $a_R$  und  $b_R$  ergeben sich aus einer Lastausbreitung unter einer Neigung von 1 : 1 bis zur Mitte der Belagdicke. Überschreitet die Seitenlänge der Ersatzaufstandsfläche 50 mm, so ist die Berechnung für eine Aufstandsfläche von 50 mm x 50 mm durchzuführen. Bei Werten zwischen 25 mm und 50 mm kann vereinfachend über die Seitenlänge der rechnerischen Aufstandsfläche interpoliert werden. Dieser Nachweis liegt auf der sicheren Seite.

**Rand- und Mittenbelastung:**

**25 mm ≤  $a_R$  ≤ 50 mm**       $m_{10} = m_{10} + \frac{25-a_R}{50-25} \cdot (m_{10,25} - m_{10,50})$       (1)

**$a_R \geq 50$  mm**       $m_{10} = m_{10,50}$       (2)

**Eckbelastung:**

**25 mm ≤  $b_R$  ≤ 50 mm**       $m_{10} = m_{10} + \frac{25-b_R}{50-25} \cdot (m_{10,25} - m_{10,50})$       (3)

**$b_R \geq 50$  mm**       $m_{10} = m_{10,50}$       (4)

- $m_{10}$  (kNm/m)      Biegemoment bei einer Belastung von 10 kN
- $m_{10,25}$  (kNm/m)      Biegemoment bei einer Belastung von 10 kN (Aufstandsfläche 625 mm<sup>2</sup>)
- $m_{10,50}$  (kNm/m)      Biegemoment bei einer Belastung von 10 kN (Aufstandsfläche 2590 mm<sup>2</sup>)
- $a_R$  (mm)      rechnerische Seitenlänge Aufstandsfläche bei Eckbelastung
- $b_R$  (mm)      rechnerische Seitenlänge Aufstandsfläche bei Rand- bzw. Mittenbelastung

Imperfektionen im Verlegmörtel führen zu erhöhter Beanspruchung des Belages im Bereich der Hohllagen. Diese werden bei der Ermittlung der Biegemomente durch entsprechende Überstände im Randbereich oder Hohllagen in der Fläche berücksichtigt.



Bild 5: Variation der Systeme

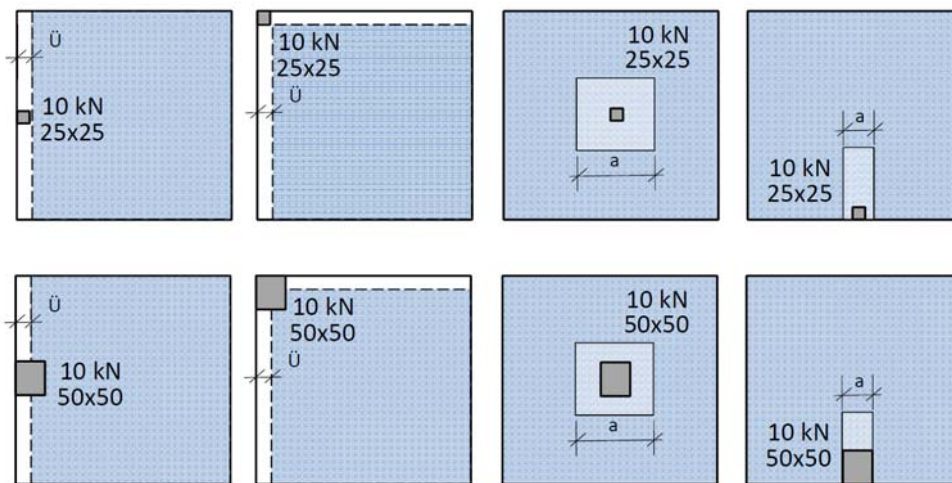


Bild 6: Variation der Systeme

Für die Ermittlung der Beanspruchung von Belägen sind Momenten-Diagramme in den Bildern 8 bis 15 wiedergegeben. Die Darstellung der Diagramme erfolgt für eine Punktbelastung von 10 kN. Als Belastungsfläche wird eine Fläche mit 25 x 25 mm bzw. eine Fläche mit 50 x 50 mm für eine Belastung nach DIN EN 1991 angenommen.

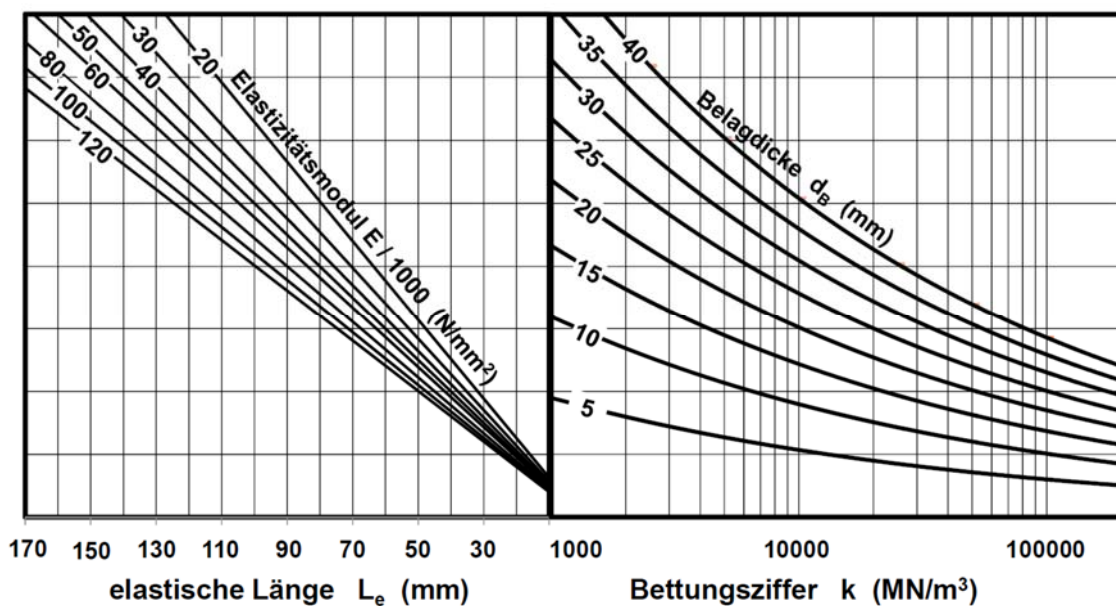


Bild 7: Elastische Länge  $L_e$  des Bodenbelags

Mit den Diagrammen wird das Biegemoment im Belag für eine Belastung von 10 kN ermittelt. Das ermittelte Biegemoment muss auf die real vorhandene Belastung umgerechnet werden. Eingangsgröße für die Nutzung der Diagramme für die Bestimmung der Biegebeanspruchung des Belages ist die elastische Länge. Ihr Wert ermittelt sich nach folgender Beziehung:

$$L_e = \sqrt[4]{\frac{E \cdot d_B^3}{3 \cdot k}} \quad (5)$$

$L_e$ (mm)	Elastische Länge der Fliese oder Platte
$E$ (N/mm <sup>2</sup> )	Elastizitätsmodul der Fliese oder Platte
$d_B$ (mm)	Fliesen- oder Plattendicke
$k$ (N/mm <sup>3</sup> )	Bettungsmodul des Mörtelbettes bzw. der Entkopplungsmatte

Vereinfachend kann die elastische Länge des Belages mit Hilfe der Bildes 7 ermittelt werden.

Für Beläge, die im Dünn- oder Mittelbett verlegt werden, kann eine Bettungsziffer von  $k \geq 200.000$  MN/m<sup>3</sup> ( $\geq 200$  N/mm<sup>3</sup>) angenommen werden. Für Beläge, die auf Entkopplungsmatten verlegt werden, liegt die anzusetzende Bettungsziffer etwa im Bereich von 1.500 bis 25.000 MN/m<sup>3</sup> (1,5 bis 25,0 N/mm<sup>3</sup>).

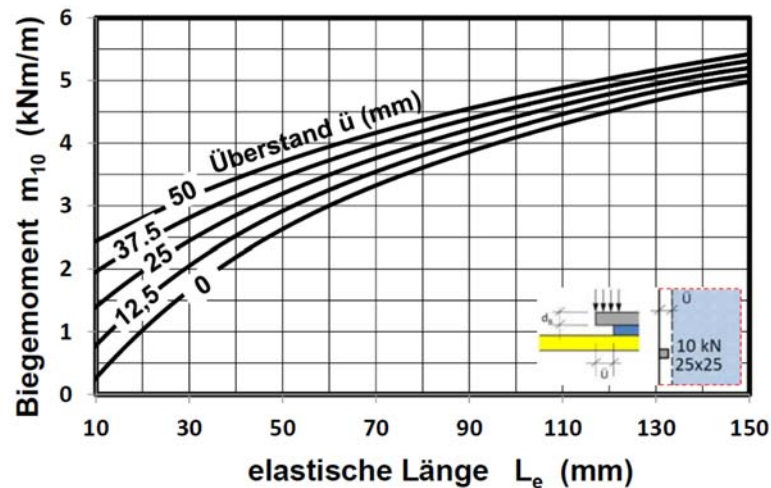


Bild 8: Randbelastung,  $F = 10$  kN, Aufstandsfläche 25 x 25 mm

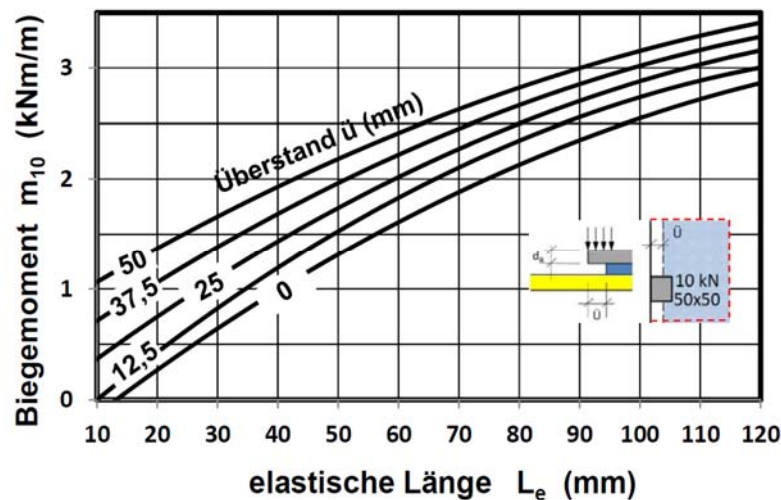


Bild 9: Randbelastung,  $F = 10$  kN, Aufstandsfläche 50 x 50 mm

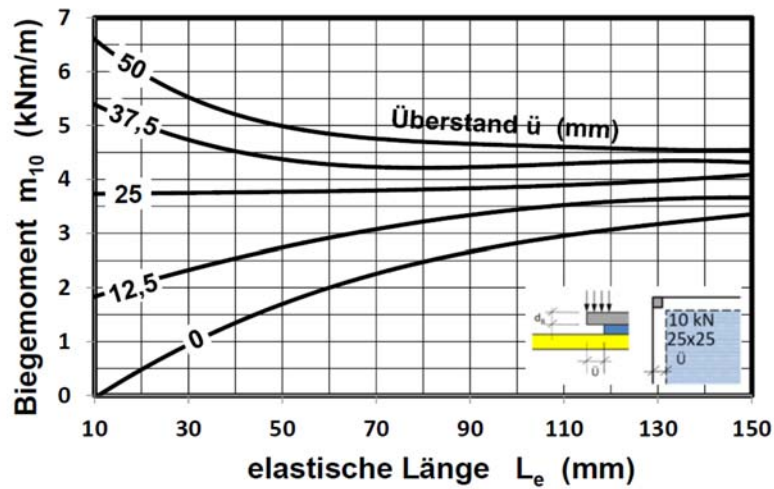


Bild 10: Eckbelastung,  $F = 10 \text{ kN}$ , Aufstandsfläche  $25 \times 25 \text{ mm}$

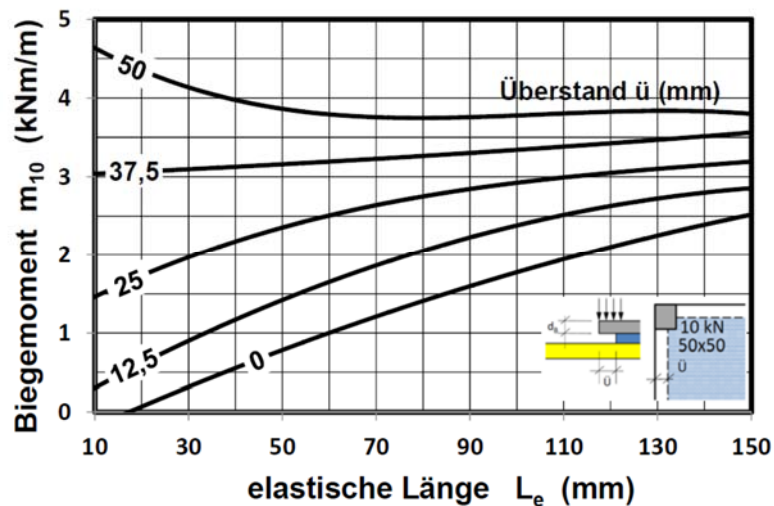


Bild 11: Eckbelastung,  $F = 10 \text{ kN}$ , Aufstandsfläche  $50 \times 50 \text{ mm}$

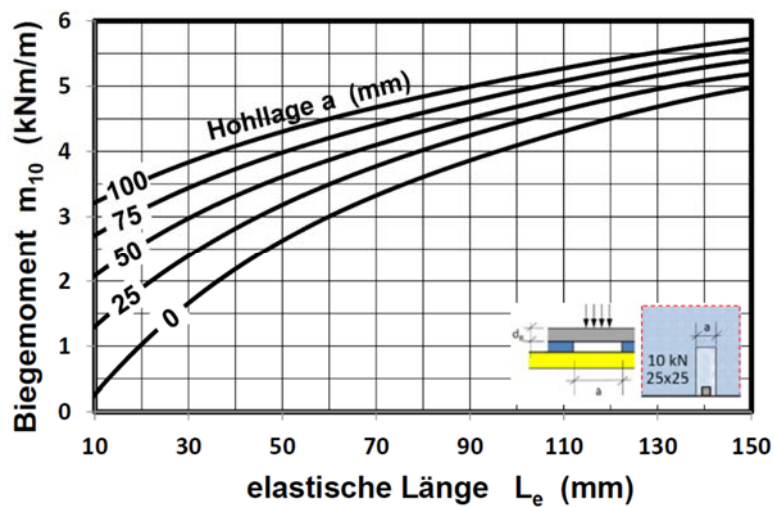


Bild 12: Hohlage Rand,  $F = 10 \text{ kN}$ , Aufstandsfläche  $25 \times 25 \text{ mm}$

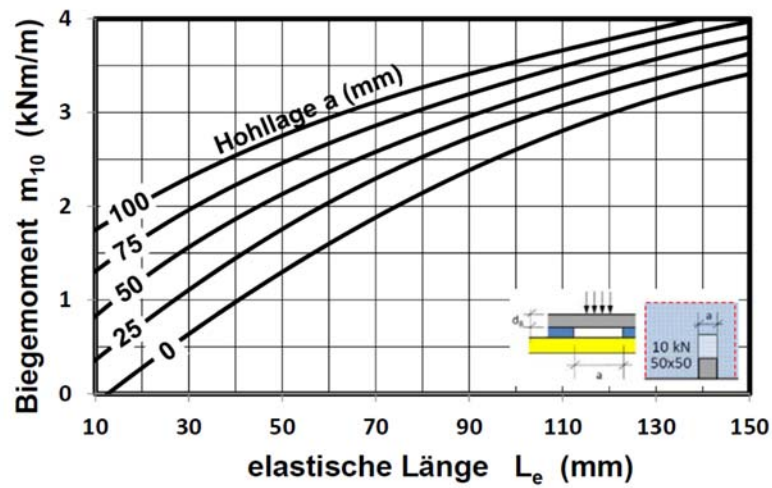


Bild 13: Hohlage Rand,  $F = 10 \text{ kN}$ , Aufstandsfläche  $50 \times 50 \text{ mm}$

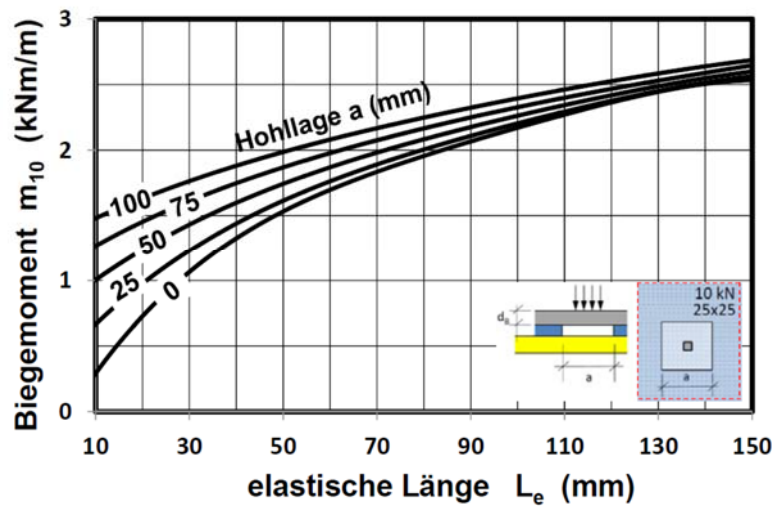


Bild 14: Hohlage Mitte,  $F = 10 \text{ kN}$ , Aufstandsfläche  $25 \times 25 \text{ mm}$

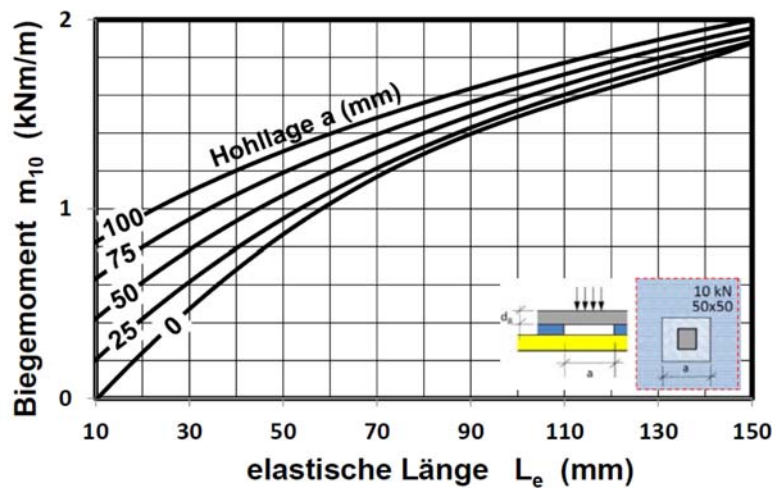


Bild 15: Hohlage Mitte,  $F = 10 \text{ kN}$ , Aufstandsfläche  $50 \times 50 \text{ mm}$

**3.2.4 Spannungsnachweis**

Die reale Biegebeanspruchung des Belages ermittelt sich zu:

$$m_B = \frac{F \cdot m_{10}}{10} \tag{6}$$

$$\sigma_{B,B} = \frac{6000 \cdot m_B}{d^2} \tag{7}$$

$$\text{zul.}\sigma_{B,B} = \frac{\beta_{BZ}}{\gamma} \tag{8}$$

- $\gamma$  ( / )      empfohlener Sicherheitsbeiwert (im Allgemeinen  $\gamma = 1,5$ )
- $\beta_{BZ}$  (N/mm<sup>2</sup>)      Biegefestigkeit Belag
- zul. $\sigma_{B,B}$  (N/mm<sup>2</sup>)      zulässige Biegespannung im Belag
- $\sigma_{B,B}$  (N/mm<sup>2</sup>)      Biegespannung des Belages

$$\eta_L = \frac{\sigma_{B,B}}{\text{zul.}\sigma_{B,B}} \leq 1,0 \tag{9}$$

Mit dem Nutzgrad  $\eta_L$  können die Tragreserven des Belages dargestellt werden. Dieser Wert dient ebenfalls für die Überlagerung von lokaler und systembedingter Beanspruchung der Beläge.

**3.3 Systembedingte Beanspruchung**

**3.3.1 Allgemeines**

Systembedingte Beanspruchungen ergeben sich aus der Verformung des Gesamtsystems, bestehend aus Belag und Lastverteilungsschicht, oder aus dem unterschiedlichen Verformungsverhalten der einzelnen Bauteile. Hieraus können sich Biegespannungen im Belag und Lastverteilungsschicht oder zentrische Spannungen in den einzelnen Bauteilen ergeben.

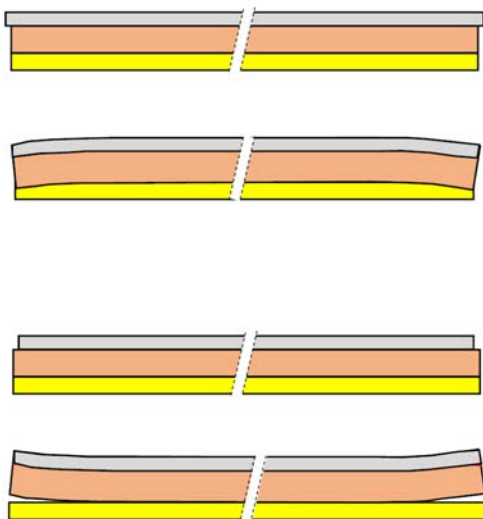


Bild 16: Verformungen Estrich

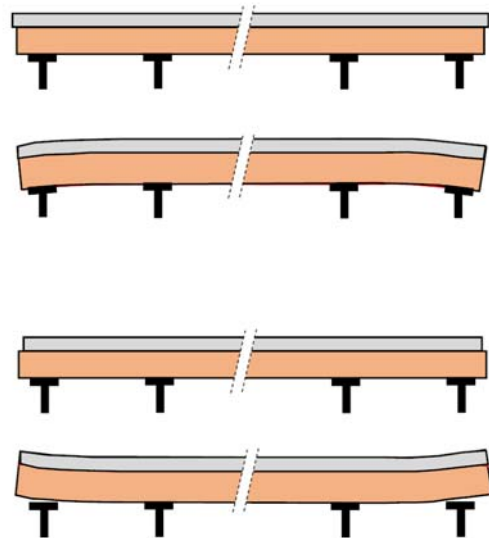


Bild 17: Verformungen Hohlboden

Unterschiedliche Längenänderungen von Belag und Lastverteilungsschicht können zu Verformungen der Bodenkonstruktion (siehe Bilder 16 und 17) führen. An den Rändern der Bodenkonstruktion ergeben sich Verformungen, die zum Abheben des Estrichs bzw. des



Hohlbodens von den Stützen führen können. Im mittleren Bereich der Bodenkonstruktion werden diese Verformungen durch die Eigenlast der Konstruktion behindert. In diesen Bereichen weist die Bodenkonstruktion die größten Spannungen (systembedingt) im Estrich bzw. Hohlboden und im Belag auf. Die Beanspruchungen im Randbereich der Konstruktion bestehen aus Biegespannungen und im mittleren Bereich aus zentrischen Spannungen im Estrich bzw. Hohlboden und im Belag.

**3.3.2 Schubsteifigkeit**

Die Schubsteifigkeit der Entkopplung ist entscheidend für die Reduzierung von Zwängungskräften innerhalb der Bodenkonstruktion. Je geringer die Schubsteifigkeit umso so größer ist die entkoppelnde Wirkung.

Die Scherfestigkeit einer Entkopplungsmatte stellt die Grenze dar, bei der sich der Verbund löst und eine Schädigung der Entkopplungsmatte zu erwarten ist.

Die Schubsteifigkeit kann durch Versuche (Merkblatt „Ermittlung der technischen Eigenschaften von Entkopplungen“) bestimmt werden.

Für Beläge ohne Entkopplung kann die entkoppelnde Wirkung des Verlegemörtels näherungsweise nach Bild 18 ermittelt werden. Hierbei wird für den Verlegemörtel eine Schubsteifigkeit von  $k_H = 15000 \text{ MN/m}^3$  berücksichtigt.

**3.3.3 Ersatzelastizitätsmodul**

Zur Berücksichtigung der Nachgiebigkeit der Lastverteilungsschicht wird ein Ersatzelastizitätsmodul für den Belag ermittelt.

$$E^* = \frac{d_L \cdot E_L \cdot E_B}{d_B \cdot E_B + d_L \cdot E_L} \tag{10}$$

$d_B$ (m)	Belagdicke
$d_L$ (m)	Dicke Lastverteilungsschicht (Estrich bzw. Hohlboden)
$E_B$ (MN/m <sup>2</sup> )	Elastizitätsmodul Belag
$E_L$ (MN/m <sup>2</sup> )	Elastizitätsmodul Lastverteilungsschicht
$E^*$ (MN/m <sup>2</sup> )	Ersatzelastizitätsmodul

**3.3.4 Zwängungskraft**

**3.3.4.1 Beläge im Mörtelbett**

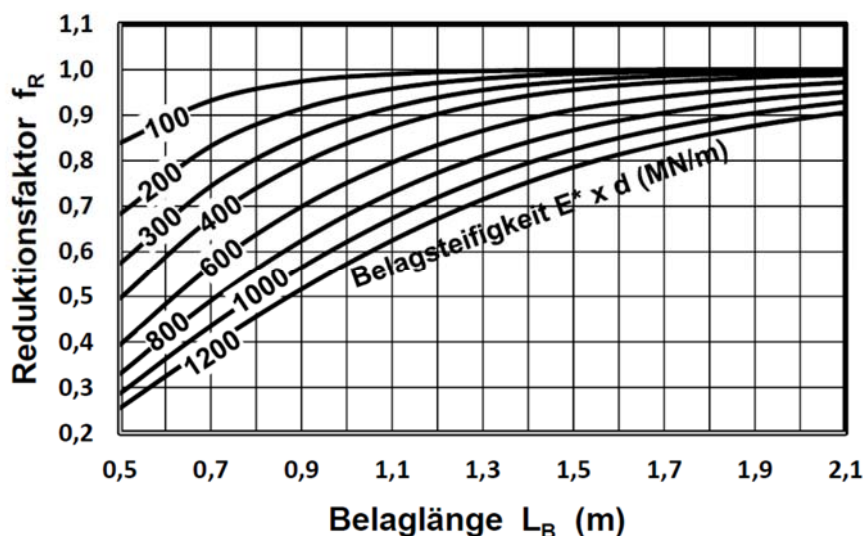


Bild 18: Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung der Entkopplung durch den Verlegemörtel

$$\sigma_{B,Z} = f_R \cdot E^* \cdot \frac{\Delta\varepsilon}{1000} \tag{11}$$

$\sigma_{B,Z}$  (N/mm<sup>2</sup>) Zwängungsspannung im Belag  
 $f_R$  (/) Reduktionsfaktor  
 $\Delta\varepsilon$  (mm/m) Verformungsdifferenz

**3.3.4.2 Beläge auf Entkopplungsmatte**

Die Zwängungskräfte in Konstruktionen mit Entkopplungsmatten können mit Hilfe der Diagramme in den Bildern 19 bis 28 ermittelt werden. Für die Auswahl des Diagramms dient die Plattensteifigkeit  $E^* \times d$ .

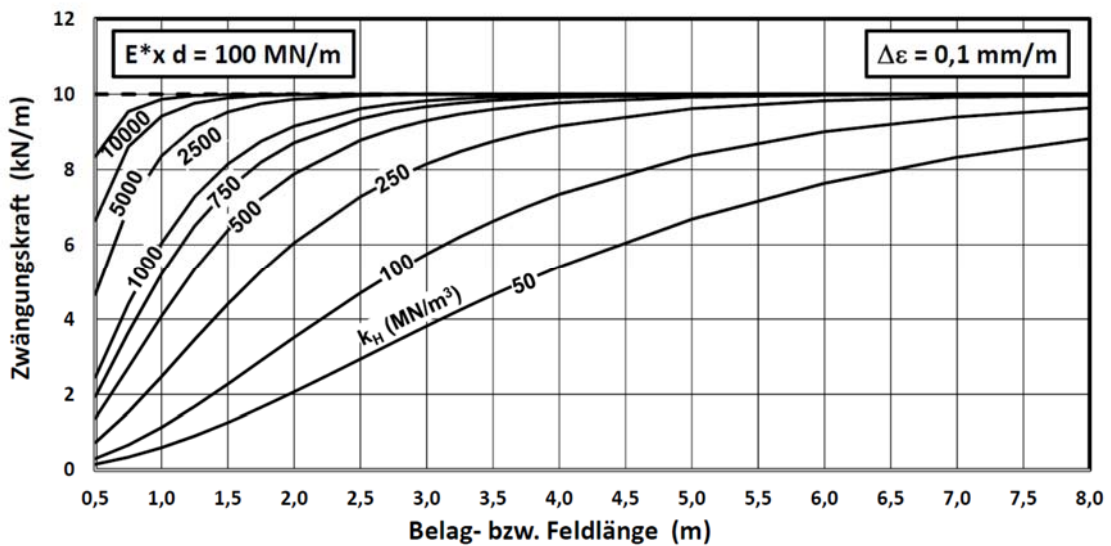


Bild 19: Zwängungskraft

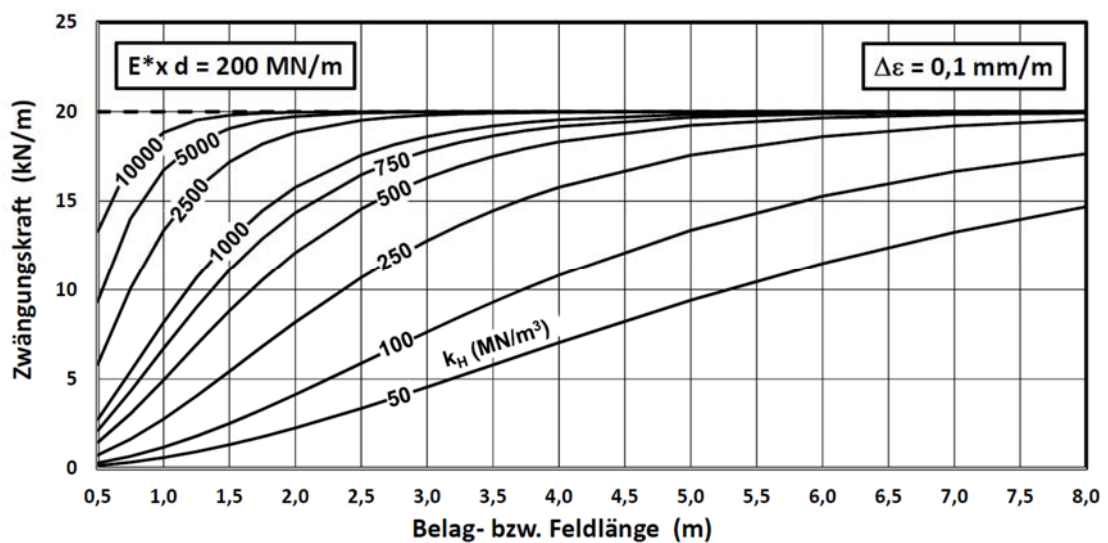


Bild 20: Zwängungskraft

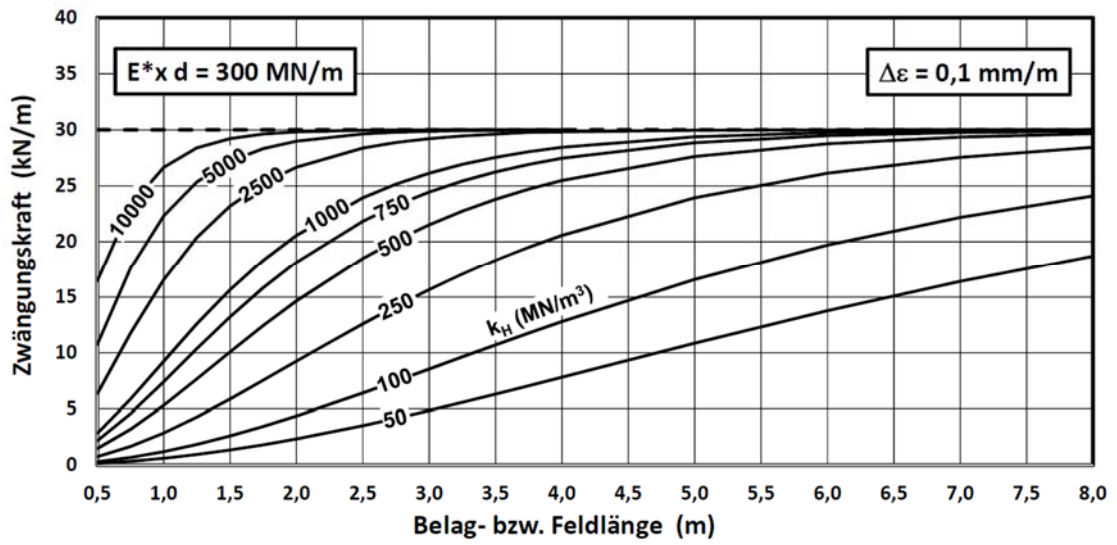


Bild 21: Zwängungskraft

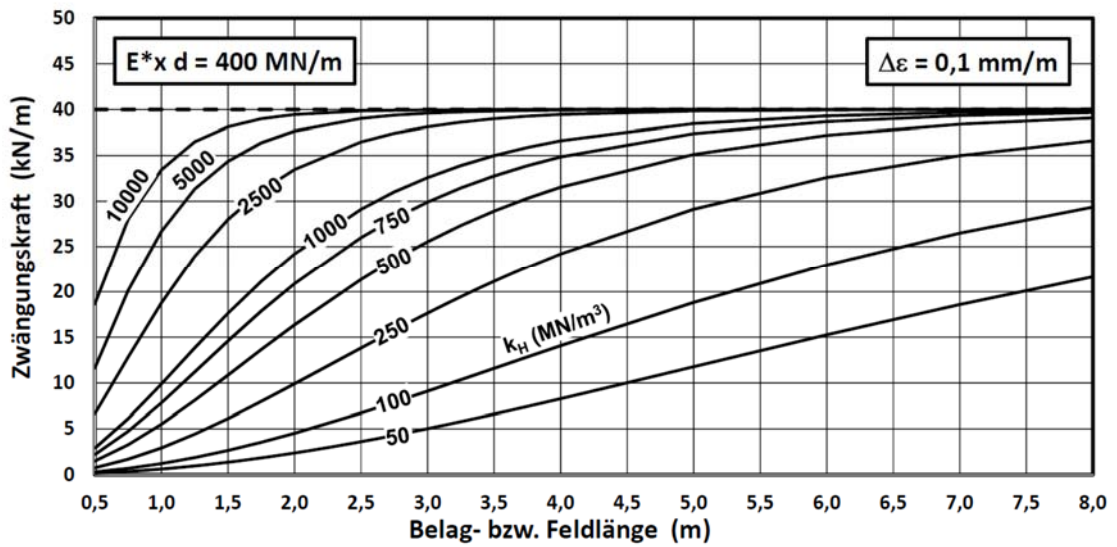


Bild 22: Zwängungskraft

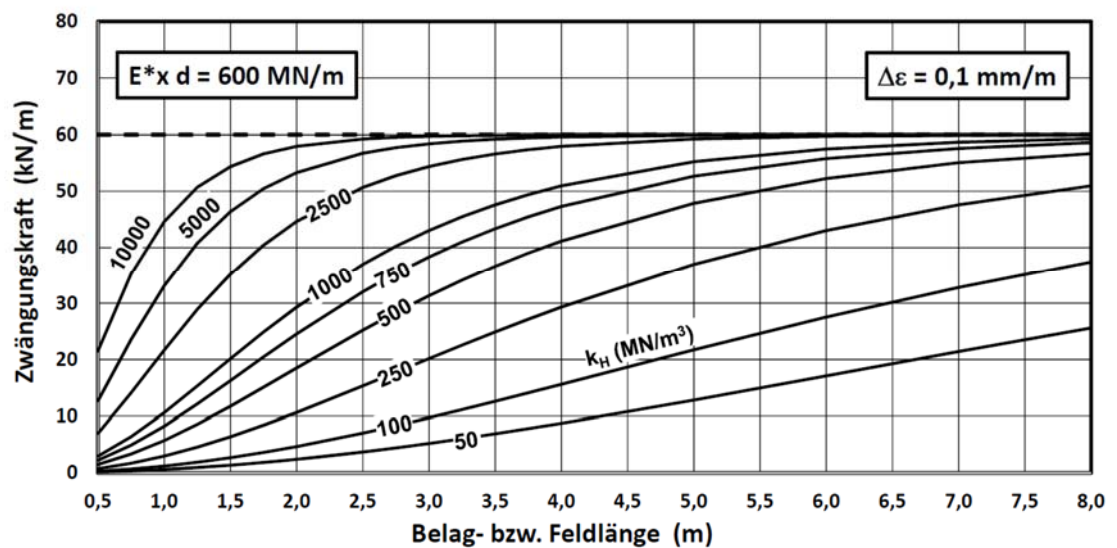


Bild 23: Zwängungskraft

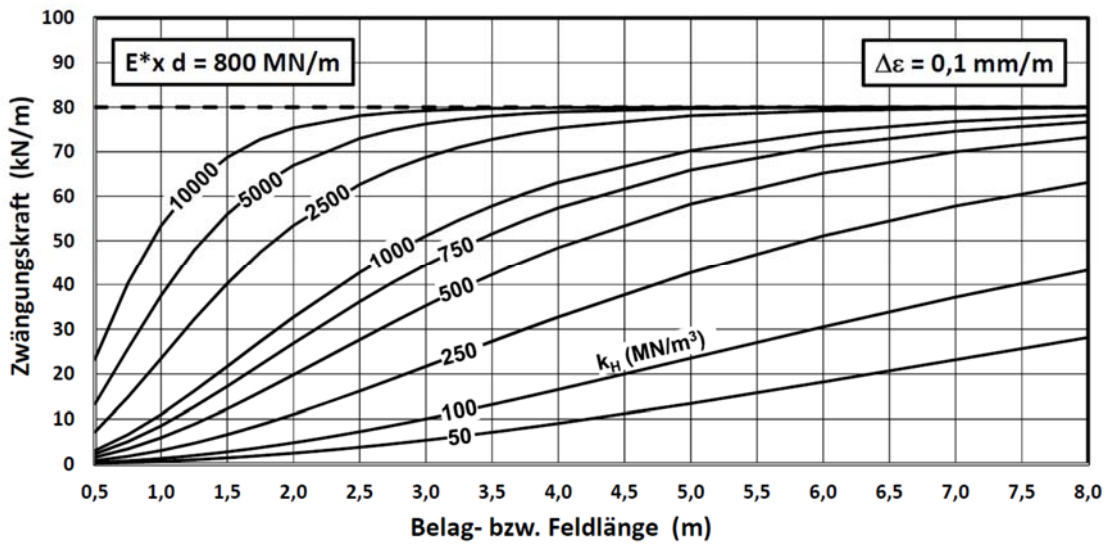


Bild 24: Zwängungskraft

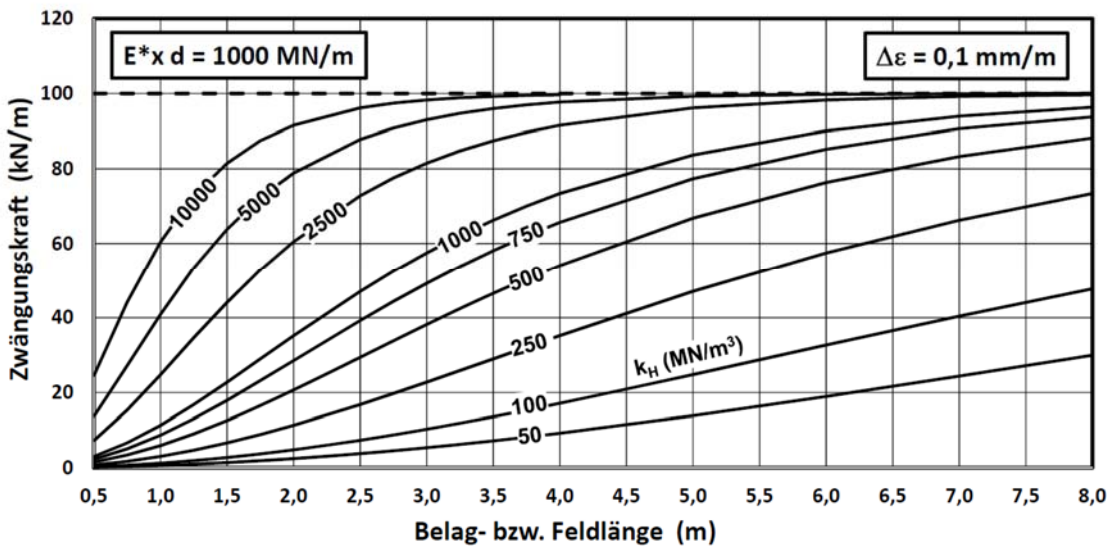


Bild 25: Zwängungskraft

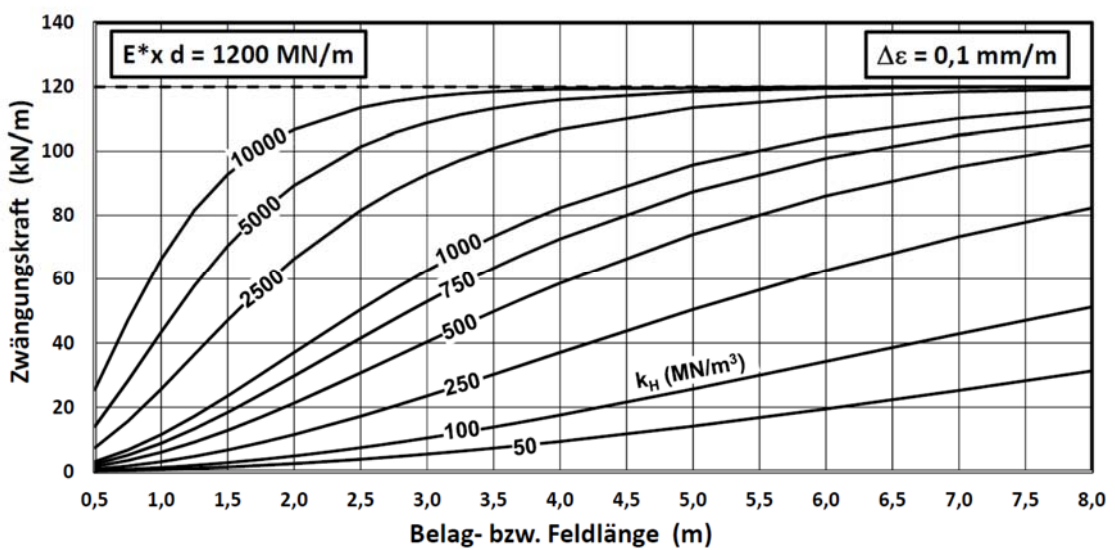


Bild 26: Zwängungskraft

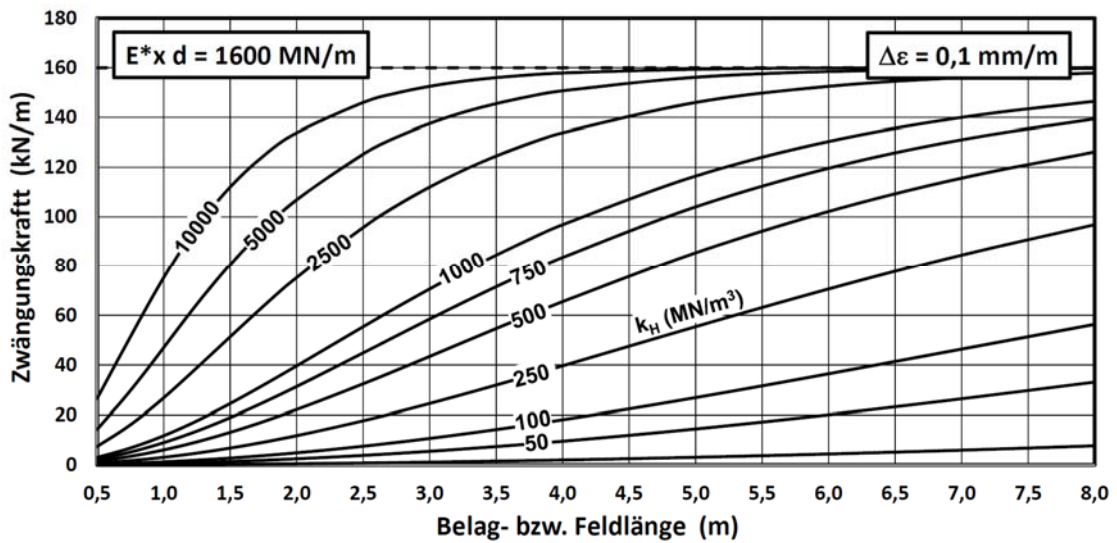


Bild 27: Zwängungskraft

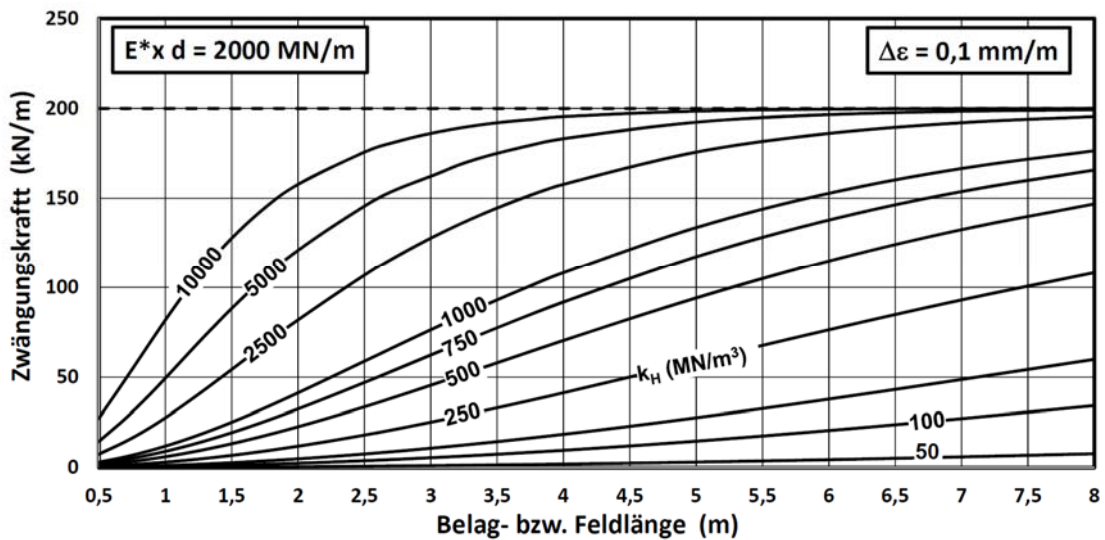


Bild 28: Zwängungskraft

Die Diagramme sind für die Belag- bzw. Feldlänge von 0,5 m bis 8,0 m anwendbar. Hierbei ist für Beläge mit Kreuzfuge und Zugspannungen in der Belagebene die Belaglänge als Eingangsgröße zu verwenden. Bei Druckspannungen in der Belagebene ist die Feldlänge bzw. der Fugenabstand der Lastverteilungsschicht als Eingangsgröße zu verwenden. Bei im Verband verlegten Belägen ist der Einfluss des Verbandes durch eine Festlegung der Länge abzuschätzen.

### 3.3.5 Spannungsnachweis

Aus den Diagrammen abgelesen wird die Zwängungslast  $F_Z$  (kN/m) für eine Verformung  $\Delta\varepsilon = 0,1$  mm/m. Die zentrische Spannung im Belag ermittelt sich wie folgt:

$$\sigma_{B,Z} = \frac{F_Z}{d_B} \cdot \frac{\Delta\varepsilon}{0,1} \tag{12}$$

- $F_Z$  (kN/m)            Zwängungskraft im Belag
- $\sigma_{B,Z}$  (N/mm<sup>2</sup>)    Zwängungsspannung im Belag
- $d_B$  (mm)            Belagdicke
- $\Delta\varepsilon$  (mm/m)        Verformungsdifferenz

$$\text{zul.}\sigma_{B,Z} \approx \frac{\beta_{BZ}}{2 \cdot \gamma} \quad (13)$$

$\gamma$  ( / )            empfohlener Sicherheitsbeiwert  $\gamma = 1,5$   
 $\beta_{BZ}$  (N/mm<sup>2</sup>)    Biegefestigkeit Belag  
 zul. $\sigma_{B,Z}$  (N/mm<sup>2</sup>) zulässig zentrische Spannung im Belag

$$\eta_s = \frac{\sigma_{B,Z}}{\text{zul.}\sigma_{B,Z}} \leq 1,0 \quad (14)$$

Bei einer thermischen Beanspruchung der Bodenkonstruktion oder durch das Schwinden von Belägen ergeben sich Zugspannungen (siehe Bild 29) im Belag. Bei im Verband verlegten Belägen können sich die Zugspannungen im Bereich von Belagsfugen in den Nachbarplatten deutlich erhöhen.

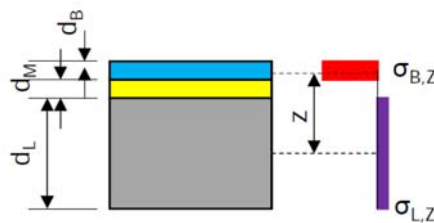


Bild 29 : ungerissener Querschnitt (Zugspannung im Belag)

Durch das Schwinden von Lastverteilungsschichten entstehen Zugspannungen in der Lastverteilungsschicht. Das Schwinden kann entstehen, wenn Beläge auf Lastverteilungsschichten aufgebracht werden, die eine große Differenz zur Ausgleichsfeuchte unter den Bedingungen der Nutzung aufweisen. Bei Zementestrichen ist dies der Fall, wenn eine Belegreife zum Zeitpunkt der Verlegung der Beläge nicht vorhanden ist. Bei Hohlböden kann das Schwinden durch eine Rückfeuchtung aus dem Verlegemörtel oder durch eine Änderung der Klimabedingungen gegenüber den Bedingungen der Herstellung zustande kommen.

Bei Hohlböden liegen die Festigkeitswerte des Elementes deutlich über den Werten der geklebten Stoßfuge. Die zentrische Zugspannung im Belag und Hohlboden wirkt über die gesamte ebene Fläche der Fuge. Die Zugfestigkeit ist abhängig von der Qualität der Ausführung der Klebung.

Bei großen Systembeanspruchungen sind Schäden im mittleren Drittel des Estrichfeldes zu erwarten.

Die Berechnung der zentrischen Spannungen in der Lastverteilungsschicht kann nach Abschnitt 3.3 unter Berücksichtigung einer Entkopplung durchgeführt werden. Aus der zentrischen Spannung des Belages kann vereinfachend die zentrische Spannung in der Lastverteilungsschicht ermittelt werden.

$$\sigma_{L,Z} = -\sigma_{B,Z} \cdot \frac{d_B}{d_L} \quad (15)$$

$$z \approx 0,5 \cdot (d_B + d_L) + d_M \quad (16)$$

$\sigma_{L,Z}$  (N/mm<sup>2</sup>)    Zwängungsspannung in der Lastverteilungsschicht  
 $\sigma_{B,Z}$  (N/mm<sup>2</sup>)    Zwängungsspannung im Belag  
 $d_B$  (mm)            Belagdicke  
 $d_L$  (mm)            Dicke Lastverteilungsschicht  
 $d_M$  (mm)            Mörteldicke  
 $z$  (mm)              innerer Hebelarm

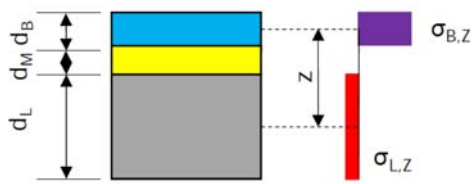


Bild 30: ungerissener Querschnitt

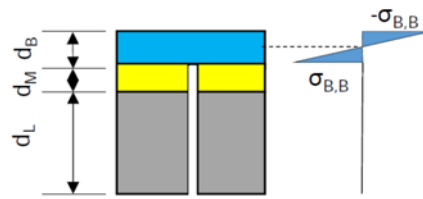


Bild 31: gerissener Querschnitt

Beim Versagen der Lastverteilungsschicht lagern sich die Schnittkräfte des Bodensystems an der Bruchstelle in den Belag um. Die Beanspruchung des Belages kann aus dem Bruchmoment der Bodenkonstruktion näherungsweise ermittelt werden. Aus der zentrischen Spannung der Lastverteilungsschicht und dem inneren Hebelarm kann das Bruchmoment der Bodenkonstruktion ermittelt werden.

$$m_B = \sigma_{L,Z} \cdot d_L \cdot z \quad (17)$$

$m_B$  (Nm/m) Bruchmoment der Bodenkonstruktion

Dieses Bruchmoment beansprucht beim Versagen der Lastverteilungsschicht den Belag. Aus dem Bruchmoment der Konstruktion kann die Biegespannung im Belag ermittelt werden.

$$\sigma_{B,B} = \pm \frac{6 \cdot m_B}{d_B^2} \quad (18)$$

$\sigma_{B,B}$  (N/mm<sup>2</sup>) Biegespannung im Belag

Wenn die ermittelte Biegespannung des Belages die zulässige Biegespannung überschreitet ist ein Versagen der Konstruktion durch Rissbildung im Belag wahrscheinlich.

### 3.4 Kombination von lokaler und systembedingter Beanspruchung

Die Beanspruchung des Belages setzt sich aus der lokalen und der systembedingten Beanspruchung zusammen. Es ist daher der Nachweis zu führen, dass für jede Beanspruchungsart der Belag nicht überbeansprucht wird. Dies erfolgt über den Nachweis des Nutzgrades für die lokale und für die systembedingte Beanspruchung.

$$\eta_L = \frac{\sigma_{B,B}}{\text{zul.}\sigma_{B,B}} \leq 1,0 \quad (20)$$

$$\eta_S = \frac{\sigma_{B,Z}}{\text{zul.}\sigma_{B,Z}} \leq 1,0 \quad (21)$$

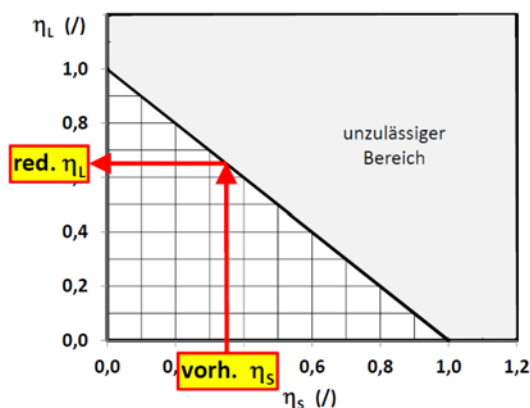


Bild 32: Überlagerung von lokaler und systembedingter Beanspruchung

Treten beide Beanspruchungsarten gleichzeitig auf, so darf der Gesamtnutzgrad den Wert 1,0 nicht überschreiten.

$$\eta = \eta_L + \eta_S \leq 1,0 \quad (22)$$

Je nach der Größe der systembedingten Beanspruchung ergibt sich eine Reduzierung der lokalen Beanspruchung des Belages. Die reduzierte Einzellast ermittelt sich näherungsweise zu:

$$\text{red. } F = \frac{\text{red. } \eta_L}{\eta_L} \cdot F \quad (23)$$

$\sigma_{B,B}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Biegespannung im Belag
$\sigma_{B,Z}$ (N/mm <sup>2</sup> )	zentrische Spannung Belag
zul. $\sigma_{B,B}$ (N/mm <sup>2</sup> )	zulässige Biegespannung im Belag
zul. $\sigma_{B,Z}$ (N/mm <sup>2</sup> )	zulässige Zugspannung im Belag
$\eta$ (/)	Gesamtnutzgrad
$\eta_L$ (/)	Nutzgrad aus lokaler Beanspruchung
$\eta_S$ (/)	Nutzgrad aus systembedingter Beanspruchung
red. $\eta_L$ (/)	reduzierter lokaler Nutzgrad
F (kN)	Punktbelastung

Bei hohen Nutzgraden aus einer systembedingten Beanspruchung kann bereits eine geringe Punktbelastung der Auslöser für die Beschädigung eines Belages sein.