

## **BEMESSUNG VON BODENKONSTRUKTIONEN**

**Erläuterungen zu den Teilen 1 bis 4 des Merkblattes 8**

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

## Teil 1: Allgemeine Anforderungen

### Zu 3: Nutzungskonzept

Für die Bemessung von gewerblich genutzten Bodenkonstruktionen ist die Erstellung eines Nutzungsplanes bzw. -konzeptes erforderlich. Der Nutzungsplan sollte die zu erwartende Belastung enthalten, die sich aus der Nutzung und der Unterhaltung des Gebäudes ergibt. Diese Belastung sollte als Grundlage für die Bemessung der Bodenkonstruktion dienen. Als Beispiel für einen Nutzungsplan dient die folgende Tabelle. Die Aufstandsfläche der Last ergibt sich aus dem Fahrzeug- bzw. Gerätetyp. Grundsätzlich gilt, je härter die Bereifung umso kleiner ist die Aufstandsfläche.

Nutzungsplan							
Belastungsart	Kategorie	Fläche $q_k$ kN/m <sup>2</sup>	Punkt $Q_k$ kN	Abmessungen Stütz / Last			Bemerkung
				a cm	b cm	A cm <sup>2</sup>	
DIN EN 1991-1-1							
Regal							
Reinigungsfahrzeug							
Gabelhubwagen							
Fahrgerüst							
Scherenbühne							
Hubsteiger							

Für die Erstellung eines Nutzungsplanes werden zwei Beispiele aufgeführt. Als erstes Beispiel dient die Nutzung der Fläche als Kantine mit einer Raumhöhe von ca. 3,80 m und einer Fläche von ca. 200 m<sup>2</sup>. Welche Geräte zum Einsatz kommen ergibt sich aus dem Nutzungs- und Reinigungskonzept für den Raum bzw. Gebäude.

Nutzungsplan (Kantine)							
Belastungsart	Kategorie	Fläche $q_k$ kN/m <sup>2</sup>	Punkt $Q_k$ kN	Abmessungen Stütz / Last			Bemerkung
				a cm	b cm	A cm <sup>2</sup>	
DIN EN 1991-1-1	C1	3,0	4,0	5,0	5,0	25,0	
Regal		-----	-----	-----	-----	-----	
Reinigungsfahrzeug		-----	4,5	-----	-----	15,0	
Gabelhubwagen		-----	6,0	-----	-----	9,0	Doppelrad
Fahrgerüst		-----	1,1	-----	-----	5,0	
Scherenbühne		-----	-----	-----	-----	-----	
Hubsteiger		-----	-----	-----	-----	-----	

Als zweites Beispiel dient der Foyer-Bereich einer Stadthalle, der auch als Veranstaltungsraum dient. Die Raumhöhe beträgt ca. 6,00 m.

Nutzungsplan (Stadthalle)							
Belastungsart	Kategorie	Fläche $q_k$ kN/m <sup>2</sup>	Punkt $Q_k$ kN	Abmessungen Stütz / Last			Bemerkung
				a cm	b cm	A cm <sup>2</sup>	
DIN EN 1991-1-1	C1	5,0	4,0	5,0	5,0	25,0	
Regal		-----	-----	-----	-----	-----	
Reinigungsfahrzeug		-----	6,5	-----	-----	15,0	
Gabelhubwagen		-----	8,0	-----	-----	9,0	Doppelrad
Fahrgerüst		-----	-----	-----	-----	-----	
Scherenbühne		-----	5,5	-----	-----	10,0	
Hubsteiger		-----	-----	-----	-----	-----	

**Zu 4.3: Verkehrslasten (veränderliche Lasten)**

Instationäre Belastungen, wie z. B. durch Befahren, müssen nicht nur bei der Bemessung des Untergrundes, sondern auch hinsichtlich der Anforderungen an die Belagskonstruktion und die einzusetzenden Stoffe bei der Planung berücksichtigt werden. Dies gilt vor allem für solche, die über die im Wohnungsbau üblichen hinausgehen.

Die dynamische Belastung nimmt – in Abhängigkeit von der Beschaffenheit der bewegten Fahrzeuge – zu mit der

- Härte des Rollenmaterials,
- Verringerung des Rollendurchmessers und der Rollenbreite,
- Zunahme der Belastung pro Rolle, wie z. B. auch durch Beschleunigungs-, Bremsvorgänge oder Kurvenfahrt.

Die Größe des Schwingbeiwertes ist je nach Nutzung, der Geschwindigkeit der Fahrzeuge und der Art der Bereifung individuell festzulegen. Lediglich bei Hohl- und Doppelrädern sind die Schwingbeiwerte festgelegt.

Als Anhalt für die Größenordnung der Belastung durch Fahrzeuge dienen die in den Bildern 1 bis 7 dargestellten Geräte bzw. Regale.

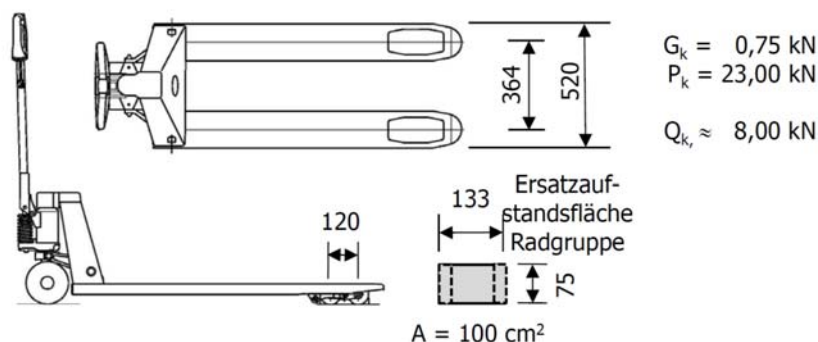


Bild 1: Flurförderfahrzeug

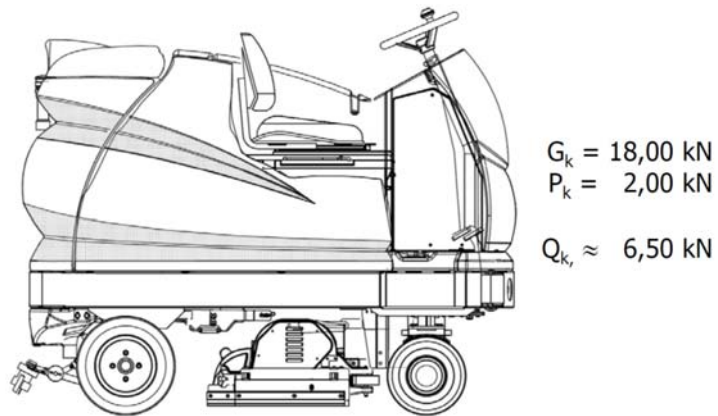


Bild 2: Reinigungsfahrzeug

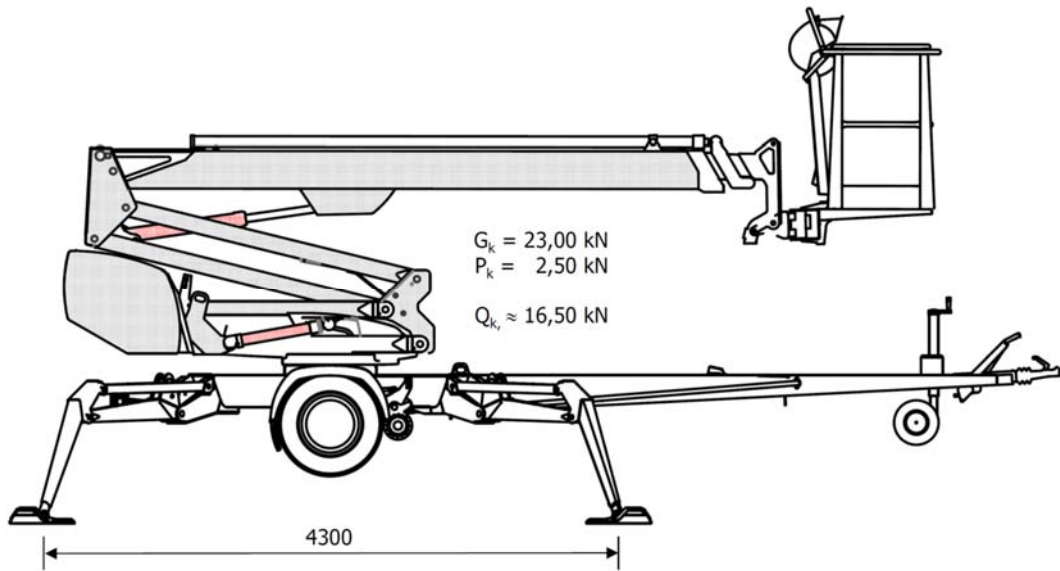


Bild 3: Hubsteiger

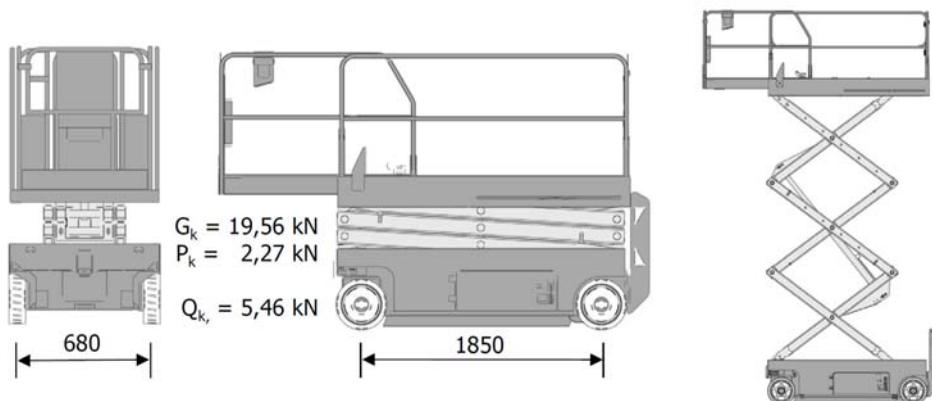


Bild 4: Scherenbühne

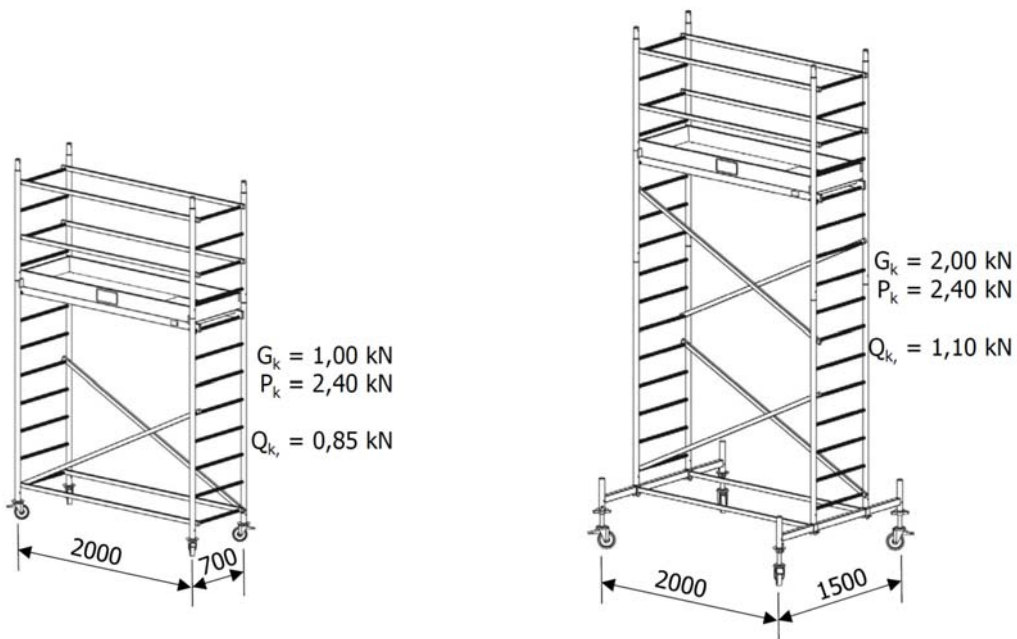


Bild 5: Fahrgerüst

Bild 6: Fahrgerüst

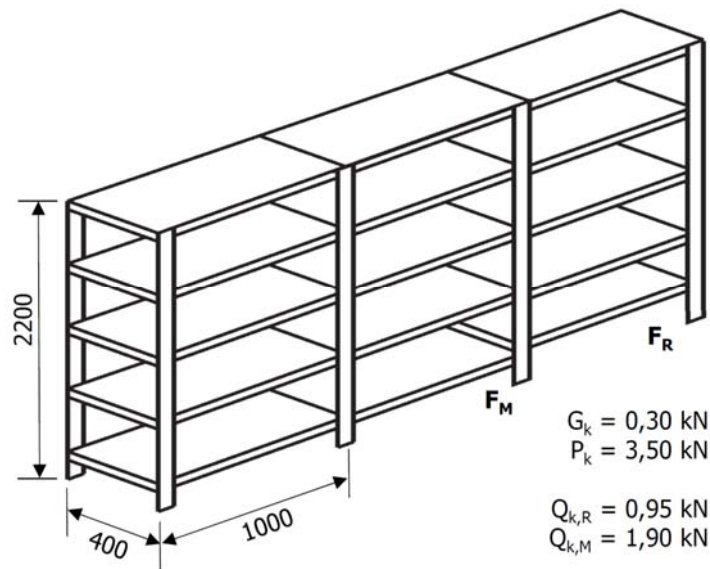


Bild 7: Regal

Die Tragfähigkeit von Hohlböden und Doppelböden wird über die Elementklasse definiert. Die Elementklasse wird nach DIN EN 13213 (Hohlböden) oder nach DIN EN 12825 (Doppelböden) ermittelt. Die Elementklasse ergibt sich aus der minimalen Last aus den Stellungen Rand, Mitte und Ecke.

Treten mehrere Lasten innerhalb einer Rasterfläche auf, so sind die Lasten (siehe Bild 8) zu addieren und die Summe muss kleiner als die Punktlast der entsprechenden Elementklasse sein. Bei Hubwagen und Gabelstaplern sind entsprechend der Anwendungsrichtlinie Hohlböden bzw. Doppelböden zusätzlich Schwingbeiwerte zu berücksichtigen. Für handbetriebene Fahrgeräte beträgt der Schwingbeiwert  $\varphi = 1,3$  und für motorisch betriebenen  $\varphi = 1,5$ .

Die Bestimmung der erforderlichen Bruchlast des Hohlbodens bzw. Doppelbodens wird am Beispiel eines Flurförderfahrzeuges (siehe Bild 8) ermittelt.

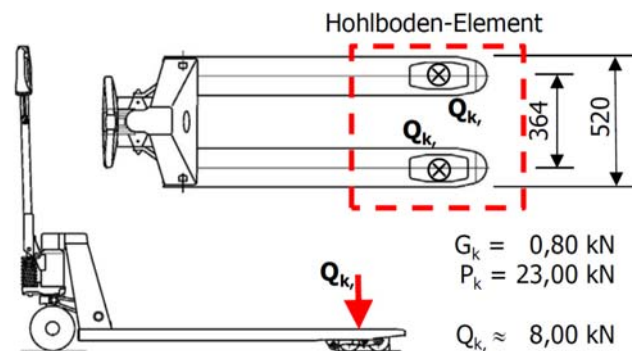


Bild 8: Flurförderfahrzeug

Schwingbeiwert $\varphi$	=	1,3
Summe Hinterräder $2 \cdot Q_k$	=	16,00 kN
Stützenraster Hohlboden	=	600 x 600 mm
Sicherheitsfaktor Hohlboden	=	2,0
Erforderliche Bruchlast Hohlboden	=	$2,0 \cdot 1,3 \cdot 16,00 = 41,60$ kN

Hieraus ergibt sich nach DIN EN 13213 eine Elementklasse 6 mit definierter Belastung.

### Zu 4.5.1: Gleichmäßiges Schwinden und Quellen

Die Werte für das Maß des Schwindens bzw. Quellens von Belägen und Lastverteilungsschichten können im Regelfall nur aus den Angaben des Herstellers entnommen werden. Es ist zu beachten, dass für Betonwerkstein keine Angaben üblich sind. Für zementär gebundene Estriche beziehen sich die Angaben zum Schwinden auf eine Zeit von 28 Tagen. Das Endschwindmaß kann deutlich größer sein.

### Zu 4.5.2: Ungleichmäßiges Schwinden

Ungleichmäßiges Schwinden führt zum Schüsseln von Estrichen. Das Maß für ein ungleichmäßiges Schwinden über die Estrichdicke ist vom Hersteller anzugeben.

### Zu 4.5: Kriechen

Durch das Kriechen werden die Spannungen aus Schwinden reduziert. Die Kriechzahl gibt an, um welchen Faktor sich die Verformung aus Dauerlast vergrößert. Die Kriechzahl ist abhängig von der Druckfestigkeit, der wirksamen Bauteildicke, der relativen Luftfeuchte und dem Belastungsbeginn. Das Kriechen läuft affin zum Verlauf des Schwindens. Der Einfluss des Kriechens ist schwierig zu berechnen und zu quantifizieren. Die zu erwartende Kriechzahl  $\varphi$  liegt etwa im Bereich von 0,5 bis 2,0. Das Kriechen kann durch die Reduzierung des Elastizitätsmoduls bei ständiger Belastung berücksichtigt werden. Der Reduzierungsfaktor liegt je nach Alter des Zementestrichs im Bereich 0,65 bis 0,35.

Durch thermische Dehnung und Schwinden der Bodenkonstruktion ergeben sich Beanspruchungen des Systems. Das Kriechen des Zementestrichs kann näherungsweise durch die Reduzierung des Elastizitätsmoduls für die Ermittlung der Zwängungsspannungen berücksichtigt werden. Die Ermittlung des Ersatzelastizitätsmoduls kann nach folgender Beziehung ermittelt werden.

$$E_{\text{Ers.}} \approx \frac{E_E}{1 + \rho \cdot \phi} = f_E \cdot E_E$$

$E_{Ers}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Ersatzelastizitätsmodul
$E_E$ (N/mm <sup>2</sup> )	Elastizitätsmodul Estrich
$\varphi$ (/)	Kriechzahl
$\rho$ (/)	Wert für die Relaxation
$f_R$ (/)	Reduktionsfaktor

Die Relaxation wird mit  $\rho = 0,8$  bei einem hohen Anteil von veränderlichen Lasten und bei einem geringen Anteil von veränderlichen Lasten mit  $\rho = 1,0$  berücksichtigt.

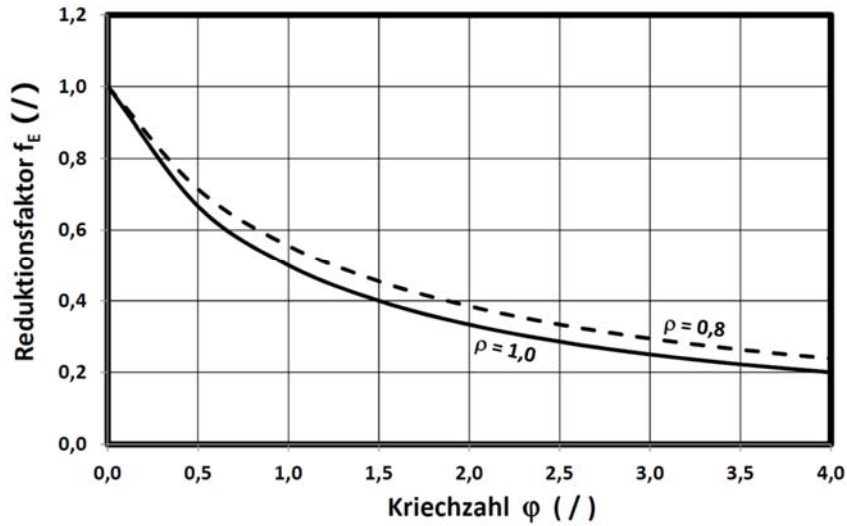


Bild 9: Reduktionsfaktor zur Berücksichtigung von Kriechen

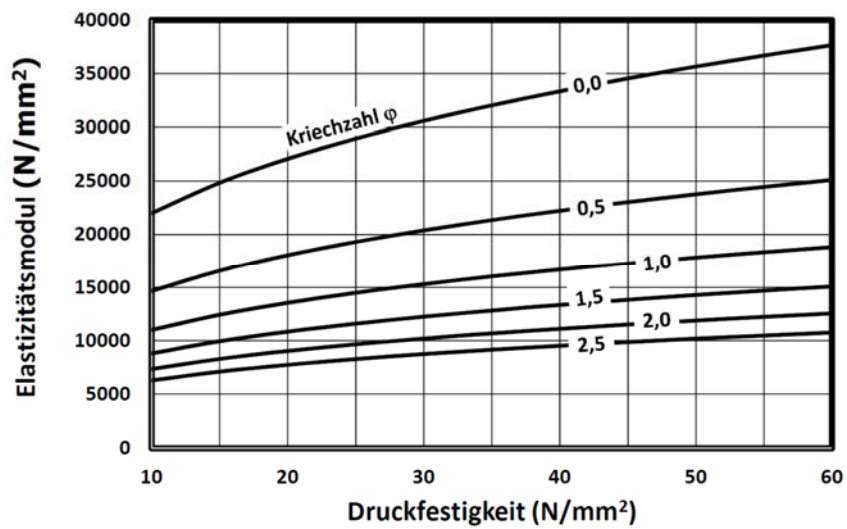


Bild 10: Elastizitätsmodul in Abhängigkeit zur Druckfestigkeit und Kriechzahl

## Teil 2: Lastverteilungsschichten

Die Anwendung des Merkblattes wird mit Beispielen aufgezeigt. Die Beispiele sind so ausgewählt, dass möglichst viele Aspekte der Bemessung von Lastverteilungsschichten erfasst werden. Für Hohlböden wird der Einfluss von systembedingten Beanspruchungen und der Qualität der Fugenausbildung aufgezeigt.

<b>Übersicht Anwendungsbeispiele</b>	
<b>Nr.</b>	<b>Beispiel</b>
<b>1</b>	Estrich mit Einzellast
<b>2</b>	Estrich mit Einzellast und großer Aufstandsfläche
<b>3</b>	Heizestrich mit Einzellast – Optimierung der Konstruktion
<b>4</b>	Estrich mit mehreren Einzellasten – vereinfachter Nachweis
<b>5</b>	Estrich mit mehreren Einzellasten – allgemeiner Nachweis
<b>6</b>	Estrich mit Belag – Nachweis für Einzellast und Systembeanspruchung ohne Entkopplung
<b>7</b>	Estrich auf Trennlage – Nachweis für ungleiches Schwinden über die Estrichdicke unter Berücksichtigung von Kriechen
<b>8</b>	Trockenhohlboden mit Belag – Nachweis von Einzellast und Systembeanspruchung



## 1 Beispiel 1

### 1.1 Abmessungen

Zementestrich CT - F5

Estrichdicke

Bettungsziffer

$$\sigma_{BZ, Best} = 3,5 \text{ N/mm}^2$$

$$d = 60 \text{ mm}$$

$$k_v = 40 \text{ MN/m}^3$$

### 1.2 Belastung

Nutzungsbereich C

Flächenbelastung

Punktbelastung

Luftbereiftes Fahrzeug:

$$q_k = 5 \text{ kN/m}^2$$

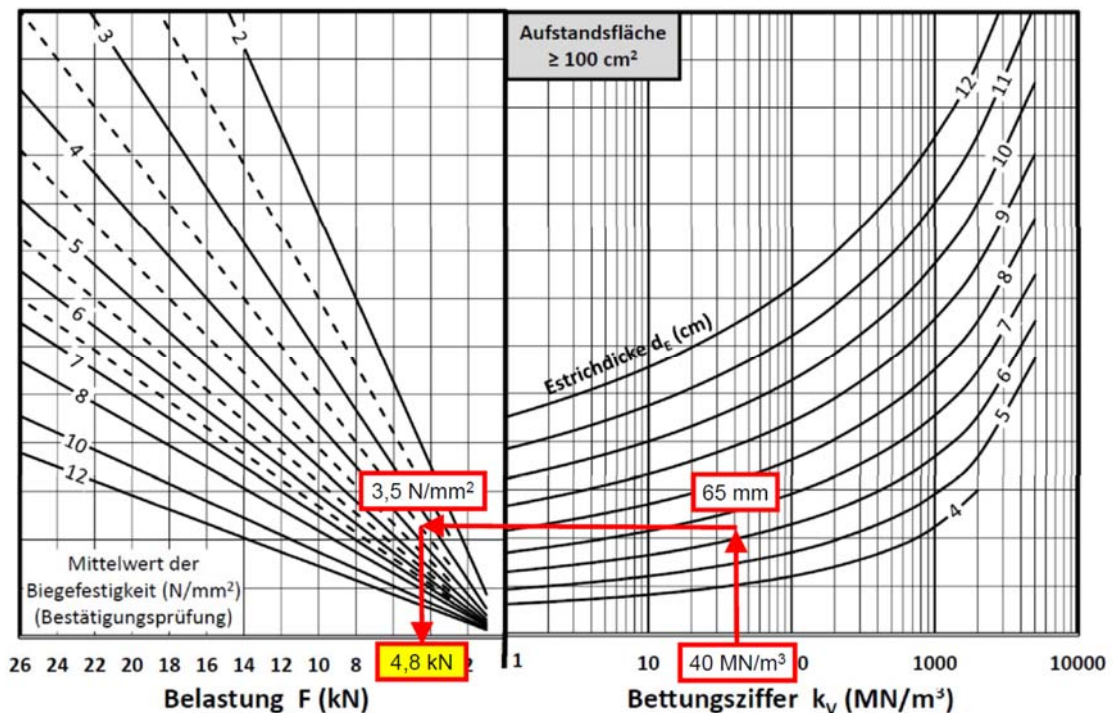
$$Q_k = 4 \text{ kN}$$

Radaufstandsfläche 7 cm x 16 cm.

Radlast: Ist zu ermitteln

### 1.3 Estrichbemessung

Die Mindestdicke nach DIN 18 560 beträgt  $d_{min.} = 65 \text{ mm}$  für  $F = 4 \text{ kN}$ . Die Auswahl des Diagramms erfolgt über die Radaufstandsfläche  $A = 112 \text{ cm}^2$ . Die zulässige Radlast ergibt sich zu  $F = 4,8 \text{ kN}$ .



## 2 Beispiel 2

### 2.1 Abmessungen

Zementestrich CT - F5

Estrichdicke

Bettungsziffer

$$\sigma_{BZ, Best} = 3,5 \text{ N/mm}^2$$

$$d = 70 \text{ mm}$$

$$k_v = 50 \text{ MN/m}^3$$

### 2.2 Belastung

Nutzungsbereich C

Flächenbelastung

Punktbelastung

Abstützung Hubbühne:

$$q_k = 5 \text{ kN/m}^2$$

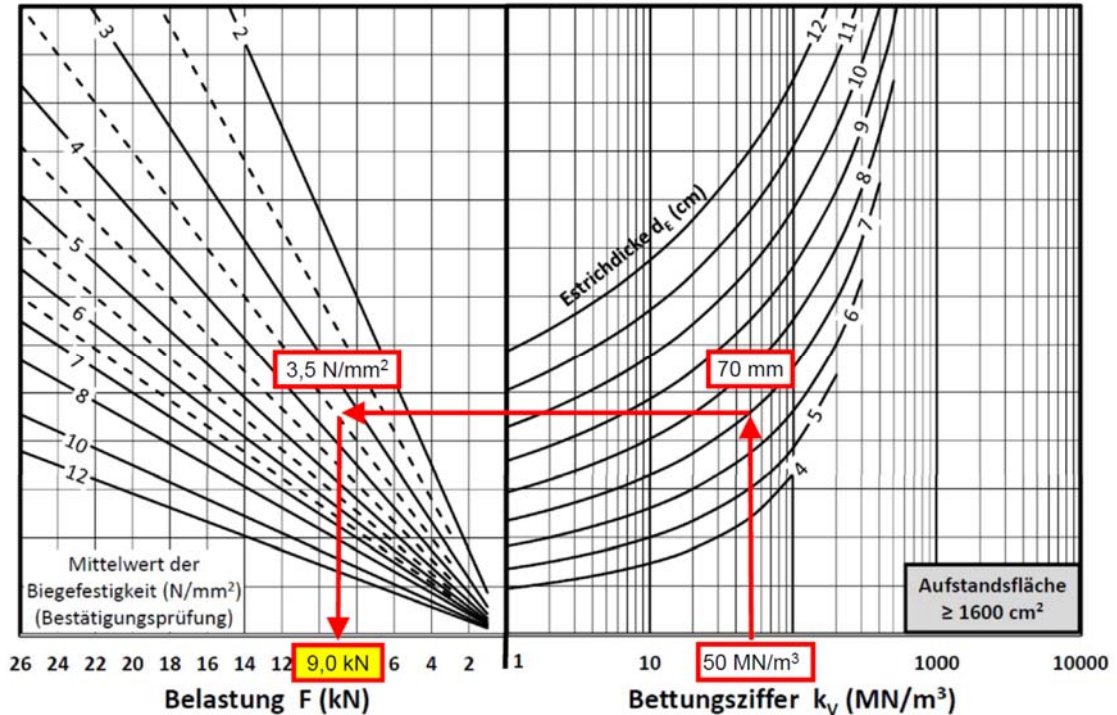
$$Q_k = 4 \text{ kN}$$

Aufstandsfläche 40 cm x 40 cm.

zulässige Stützlast: Ist zu ermitteln

**2.3 Estrichbemessung**

Die Mindestdicke nach DIN 18 560 beträgt  $d_{min.} = 65 \text{ mm}$  für  $F = 4 \text{ kN}$ . Die Auswahl des Diagramms erfolgt über die Radaufstandsfläche  $A = 1600 \text{ cm}^2$ . Die zulässige Stützlast ergibt sich zu  $F = 9,0 \text{ kN}$ .



**3 Beispiel 3**

**3.1 Abmessungen**

Zementheizestrich CT - F5	$\sigma_{BZ, Best} = 3,5 \text{ N/mm}^2$
Estrichdicke	$d_E = 85 \text{ mm}$
Heizrohre	$d_H = 15 + 5 = 25 \text{ mm}$ (mit Abstandhalter)
Bettungsziffer	$k_V = 10 \text{ MN/m}^3$

**3.2 Belastung**

Nutzungsbereich C	$q_k = 5 \text{ kN/m}^2$
Flächenbelastung	$Q_k = 4 \text{ kN}$
Punktbelastung	Radaufstandsfläche $2,5 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ .
Reinigungsfahrzeug:	Einzelradlast: $F = 4,0 \text{ kN}$
	Schwingbeiwert: $1,2$
	Bemessungslast: $F_{Bem} = 1,2 \cdot 4,0 = 4,8 \text{ kN}$

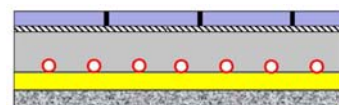
**3.3 Estrichbemessung**

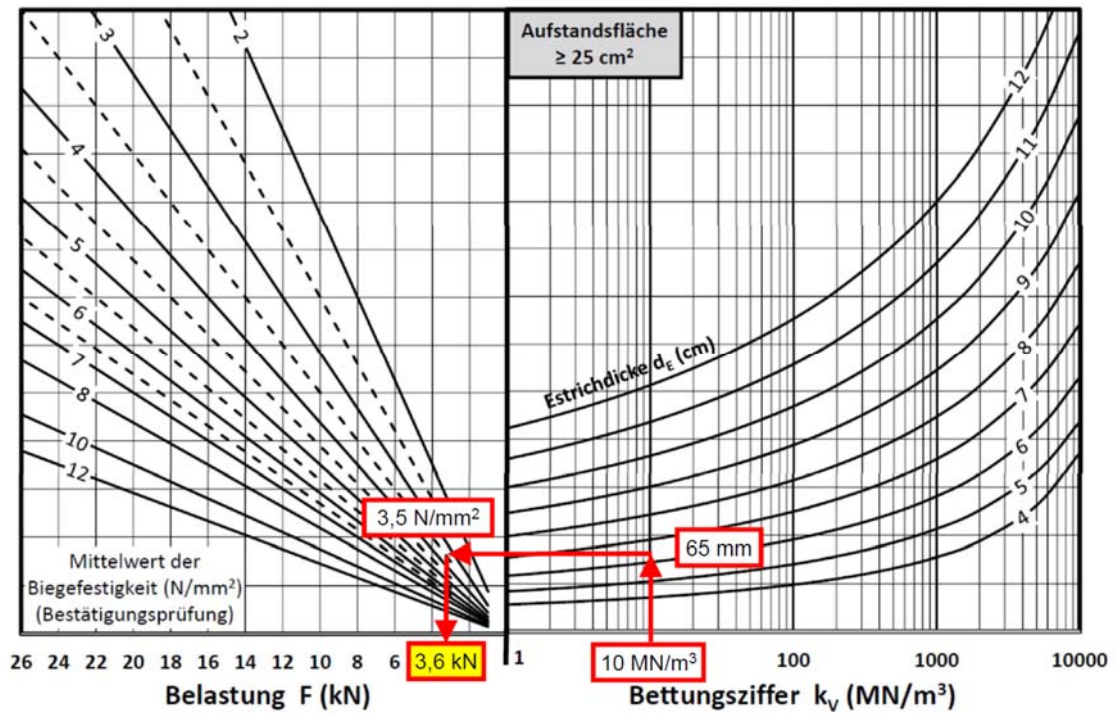
Die Mindestdicke nach DIN 18 560 beträgt  $d_{min.} = 55 \text{ mm}$  für  $F = 4 \text{ kN}$ . Die Auswahl des Diagramms erfolgt über die Radaufstandsfläche  $A = 25 \text{ cm}^2$ .

**1. Versuch:**

Estrich Bauart A,  $d_{eff.} = 85 - 20 = 65 \text{ mm}$

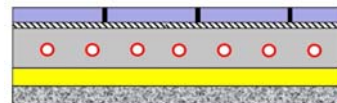
Die zulässige Stützlast ergibt sich zu  $F = 3,6 \text{ kN}$ .  
Die vorgesehene Estrichdicke ist nicht ausreichend



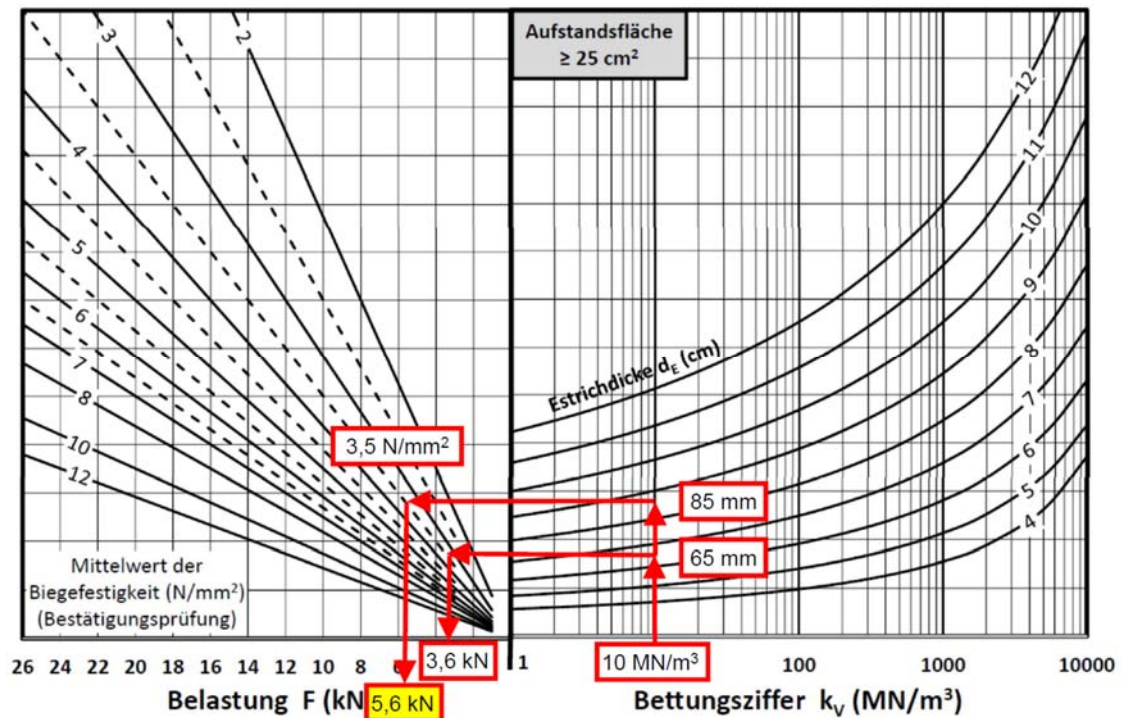


**2. Versuch:**

Estrich Bauart A3,  $d_{\text{eff.}} = 85 \text{ mm}$   
(alte DIN 18560-2)



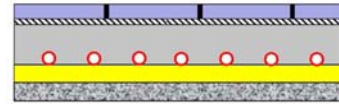
Die zulässige Stützlast ergibt sich zu  $F = 5,6 \text{ kN}$ .  
Die vorhandene Estrichdicke ist ausreichend.



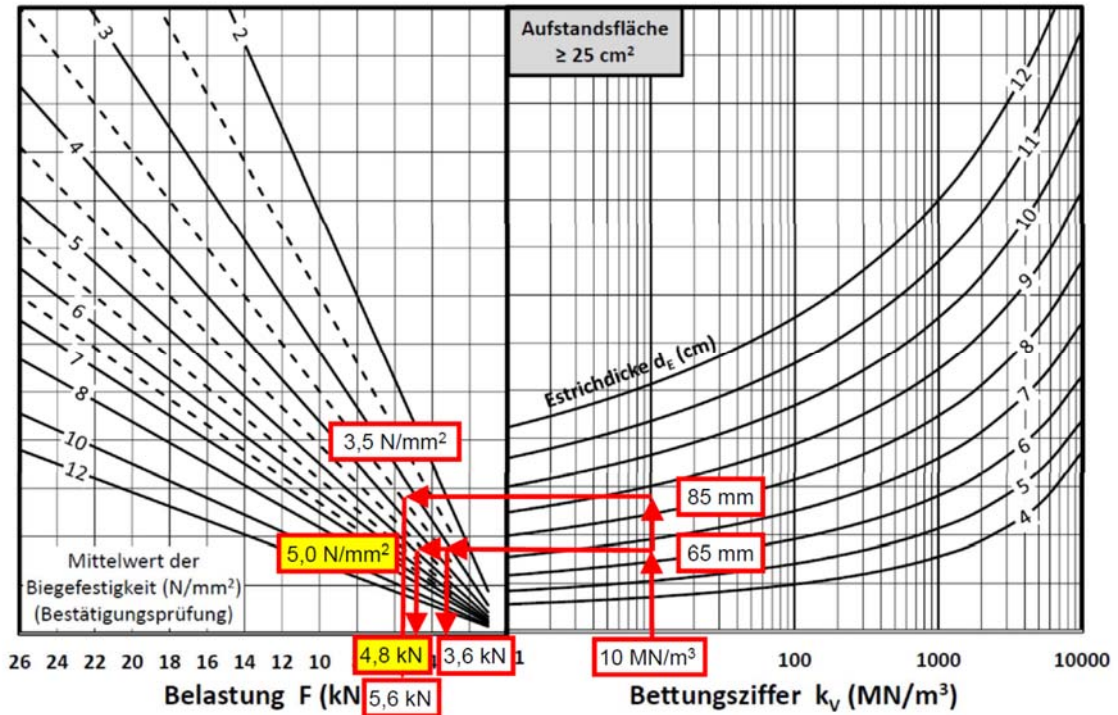


**3. Versuch:**

Estrich Bauart A,  $d_{eff.} = 65 \text{ mm}$   
 Erhöhung der Estrichqualität



Die erforderliche Biegezugfestigkeit  
 $\beta_{BZ, Best.} = 5,0 \text{ N/mm}^2$ .



Die Ausführung der Bodenkonstruktion ist entweder mit einer mittigen Lage der Heizrohre oder mit einem Estrich mit größerer Biegezugfestigkeit möglich.

**4 Beispiel 4**

**4.1 Abmessungen**

Calciumsulfatfließestrich - F5  $\sigma_{BZ, Best.} = 5,0 \text{ N/mm}^2$   
 Bettungsziffer  $k_v = 10 \text{ MN/m}^3$

**4.2 Belastung**

Flächenbelastung  $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$   
 Punktbelastung  $Q_k = 4 \text{ kN}$   
 Fahrgerüst: Radaufstandsfläche  $3 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ .  
 Radlast  $F = 3,1 \text{ kN}$

Der Schwingbeiwert  $\varphi$  bleibt unberücksichtigt, da das Gerüst nicht unter Vollbelastung bewegt wird.

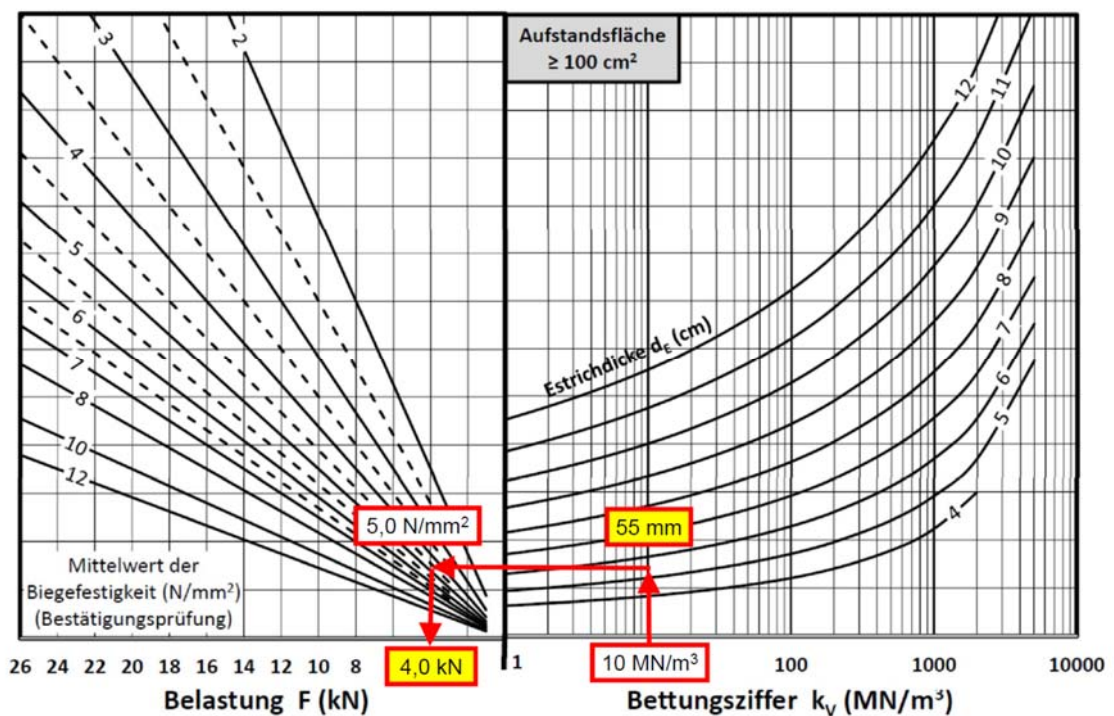
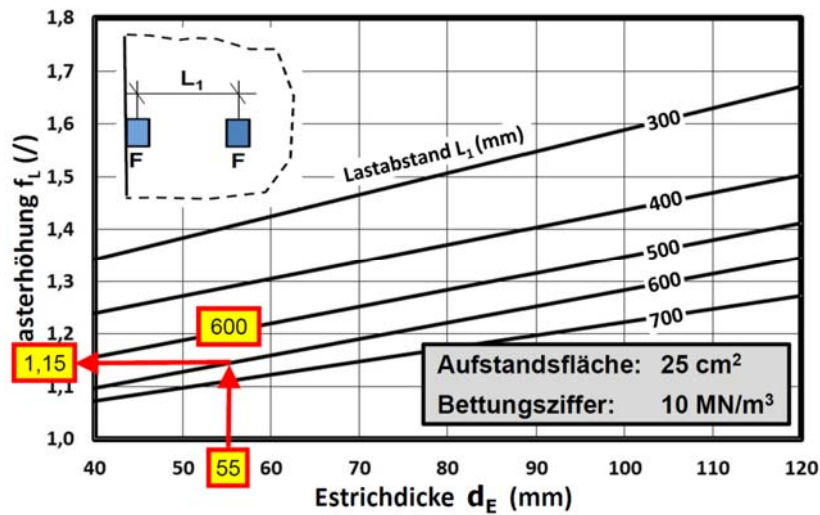
**4.3 Estrichbemessung**

Die beiden Räder der vorderen bzw. hinteren Gerüstachse werden durch die Erhöhung der Bemessungslast berücksichtigt. Die Bemessungslast wird in Abhängigkeit des Radstandes durch den Faktor  $f_E$  ermittelt.

Der Schwingbeiwert bleibt unberücksichtigt, da das Gerüst nicht unter Vollbelastung bewegt wird.

Zusatzinformation Fahrzeug:

Radabstand  $L_1 = 600 \text{ mm}$   
 Schwingbeiwert:  $1,0$   
 Bemessungslast:  $F_{\text{Bem}} = \varphi \cdot F \cdot f_L$   
 $= 1,0 \cdot 3,1 \cdot 1,15$   
 $= 3,57 \text{ kN}$



Die Mindestdicke nach DIN 18 560 beträgt  $d_{\text{min.}} = 55 \text{ mm}$  für eine Einzellast  $F = 4 \text{ kN}$ . Die Berechnung ergibt für das Fahrgerüst eine Ersatzeinzellast als Gebrauchslast von  $3,6 \text{ kN}$ . Das Fahrgerüst ist zulässig.

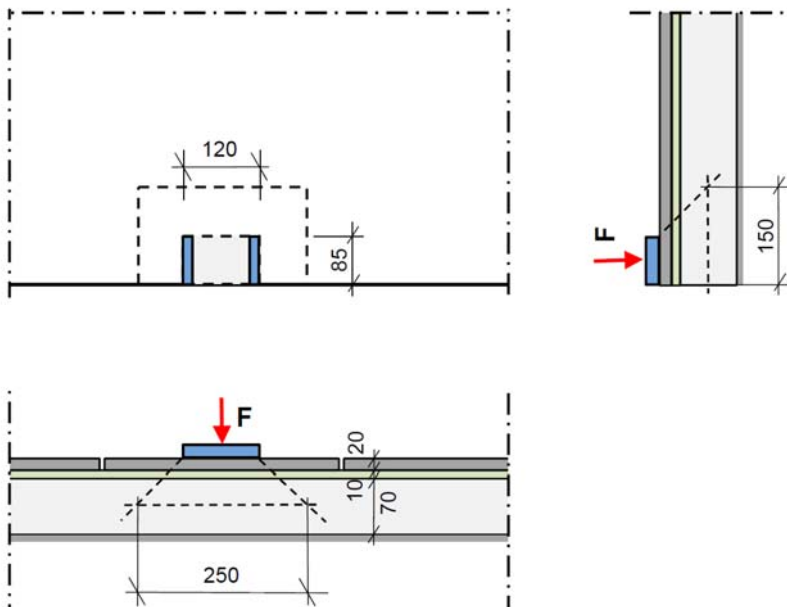
## 5 Beispiel 5

### 5.1 Abmessungen

Belagdicke	$d_B = 20 \text{ mm}$
Mörteldicke	$d_M = 10 \text{ mm}$
Calciumsulfatfließestrich - F7	$\sigma_{BZ, Best} = 7,0 \text{ N/mm}^2$
Estrichdicke	$d_E = 70 \text{ mm}$
Elastizitätsmodul	$E_E = 20000 \text{ N/mm}^2$
Querdehnzahl	$\mu = 0,2$
Bettungsziffer	$k_V = 10 \text{ MN/m}^3$

### 5.2 Belastung

Nutzungsbereich C	
Flächenbelastung	$q_k = 5 \text{ kN/m}^2$
Maximale Hubwagenlast	$\Sigma F = 15 \text{ kN}$
Radlast (Tandemachse):	$F = 6,0 \text{ kN}$
Aufstandsfläche je Radgruppe	$a = 8,5 \text{ cm}$
	$b = 9,0 + 3,0 = 12 \text{ cm}$



Auf die Berücksichtigung eines Schwingbeiwertes wird verzichtet, eine um 50% größere Radlast durch den Lastsicherheitsfaktor von 1,5 berücksichtigt wird.

### 5.3 Estrichbemessung

Die Bemessung des Estrichs erfolgt in für zwei nebeneinander stehenden Punktlasten. Für die Bemessung wird ein Doppelrad mit  $F = 5 \text{ kN}$  berücksichtigt. Die Randspannung ermittelt sich nach folgender Beziehung:

$$a = \sqrt{\frac{a_R \cdot b_R}{\pi}}$$

$$b = \sqrt{1,6 \cdot a^2 + d_E^2 - 0,675 \cdot d_E} \quad \text{für } a < 1,724 \cdot d_E$$

$$b = a \quad \text{für } a \geq 1,724 \cdot d_E$$

$$\sigma_{E,B} \leq \frac{\sigma_{BZ, Best}}{\gamma_G} = \frac{7,0}{1,8} = 3,89 \text{ N/mm}^2$$

$$L_e = \sqrt[4]{\frac{E_E \cdot d_E^3}{3 \cdot k_V}} = \sqrt[4]{\frac{20000 \cdot 70^3}{3 \cdot 0,01}}$$

$$= 692 \text{ mm}$$

$$a_R = 120 + 2 \cdot 20 + 2 \cdot 10 + 70 = 250 \text{ mm}$$

$$b_R = 85 + 20 + 10 + 70/2 = 150 \text{ mm}$$

$$a = \sqrt{\frac{a_R \cdot b_R}{\pi}} = \sqrt{\frac{250 \cdot 150}{\pi}}$$

$$= 109,3 \text{ mm}$$

$$a < 1,724 \cdot d_E = 1,724 \cdot 70 = 120,7 \text{ mm}$$

$$b = \sqrt{1,6 \cdot a^2 + d_E^2 - 0,675 \cdot d_E}$$

$$= \sqrt{1,6 \cdot 109,3^2 + 70^2 - 0,675 \cdot 70}$$

$$= 107,7 \text{ mm}$$

$$\sigma_{E,B1} = \frac{0,529 \cdot F_1}{d_E^2} \cdot (1 + 0,54 \cdot \mu) \cdot \left[ \lg \left( \frac{E_E \cdot d_E^3}{k_V \cdot b^4} \right) + \lg \left( \frac{0,1 \cdot b}{1 - \mu^2} \right) - 1,08 \right]$$

$$= \frac{0,529 \cdot 6000}{70^2} \cdot (1 + 0,54 \cdot 0,2) \cdot \left[ \lg \left( \frac{20000 \cdot 70^3}{0,01 \cdot 107,7^4} \right) + \lg \left( \frac{0,1 \cdot 107,7}{1 - 0,2^2} \right) - 1,08 \right]$$

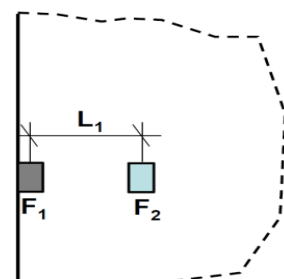
$$= \mathbf{2,63 \text{ N/mm}^2}$$

**Zusätzliche Einzellast :**

$$L_1 = 380 \text{ mm}$$

$$L_e = 692 \text{ mm}$$

$$X = \frac{1,414 \cdot L_1}{L_e} = \frac{1,414 \cdot 380}{692} = 0,78$$

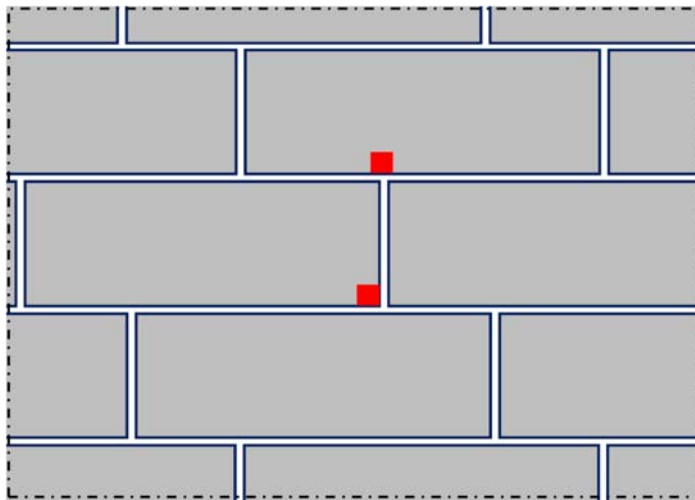


$$\begin{aligned} \sigma_{E,B2} &= \frac{3900 \cdot e^{-1,7 \cdot X}}{d_E^2} \cdot F_2 = \frac{3900 \cdot e^{-1,7 \cdot 0,78}}{70^2} \cdot 6,0 \\ &= 0,21 \cdot 6,0 \\ &= 1,27 \text{ N/mm}^2 \\ \\ \sigma_R &= \sigma_{E,B1} + \sigma_{E,B2} \\ &= 2,63 + 1,27 \\ &= \mathbf{3,9 \text{ N/mm}^2} \\ &< \mathbf{7,00 / 1,8} = \mathbf{3,9 \text{ N/mm}^2} \end{aligned}$$

**6 Beispiel 6**

**6.1 Abmessungen**

Naturwerksteinplatten (Halbverband)	d = 20 mm
Biegezugfestigkeit	$\beta_{BZ} = 14 \text{ N/mm}^2$
Zugfestigkeit	$\beta_{ZB}/2 = 7 \text{ N/mm}^2$
Elastizitätsmodul	E = 60000 N/mm <sup>2</sup>
Thermische Ausdehnung	$\alpha_T = 0,8 \text{ mm/m/100 K}$
Druckfestigkeit Fugenmörtel	$\beta_F = 10,0 \text{ N/mm}^2$



Abmessungen:  
Platte 1: 1197 x 497 mm

Zementestrich CT F5	$d_E = 55 \text{ mm}$
Biegezugfestigkeit	$\sigma_{BZ, Best} = 3,5 \text{ N/mm}^2$
Zugfestigkeit	$\sigma_{BZ, Best} / 2 = 1,8 \text{ N/mm}^2$
Elastizitätsmodul	$E_E = 20000 \text{ N/mm}^2$
Thermische Ausdehnung	$\alpha_T = 1,0 \text{ mm/m/100 K}$
Restschwinden Estrich	$\Delta \epsilon = 0,22 \text{ mm/m}$
Fugenabstand	$L_F = 7,00 \text{ m}$

**6.2 Belastung**

Flächenbelastung	$q_k = 3 \text{ kN/m}^2$
Punktbelastung	F = 2 kN
Aufstandsfläche	50 x 50 mm
Erstellungstemperatur	$T_E = 5^\circ\text{C}$
Raumtemperatur	$T_R = 20^\circ\text{C}$



Differenzverformung (Temperatur)	$\Delta\varepsilon = (1,0 - 0,8) \cdot \frac{20-5}{100}$ = 0,03 mm/m
Differenzverformung (Schwinden Estrich)	$\Delta\varepsilon = 0,00 - 0,22$ = - 0,22 mm/m
Gesamte Verformungsdifferenz	$\Delta\varepsilon = 0,03 - 0,22 = - 0,19$ mm/m

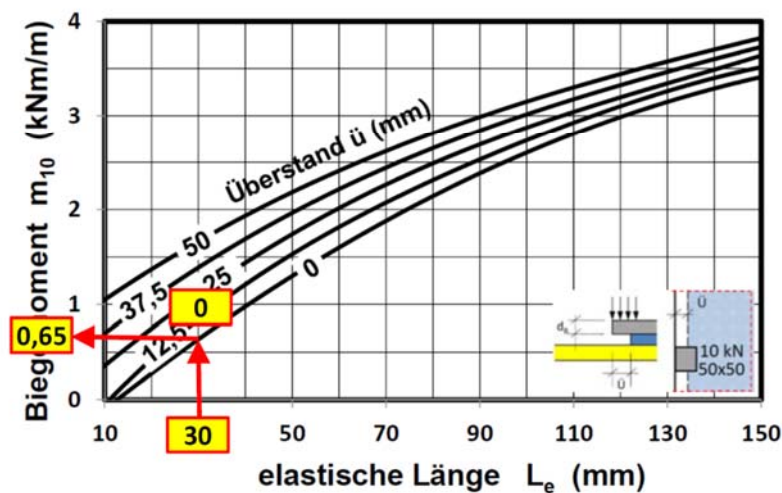
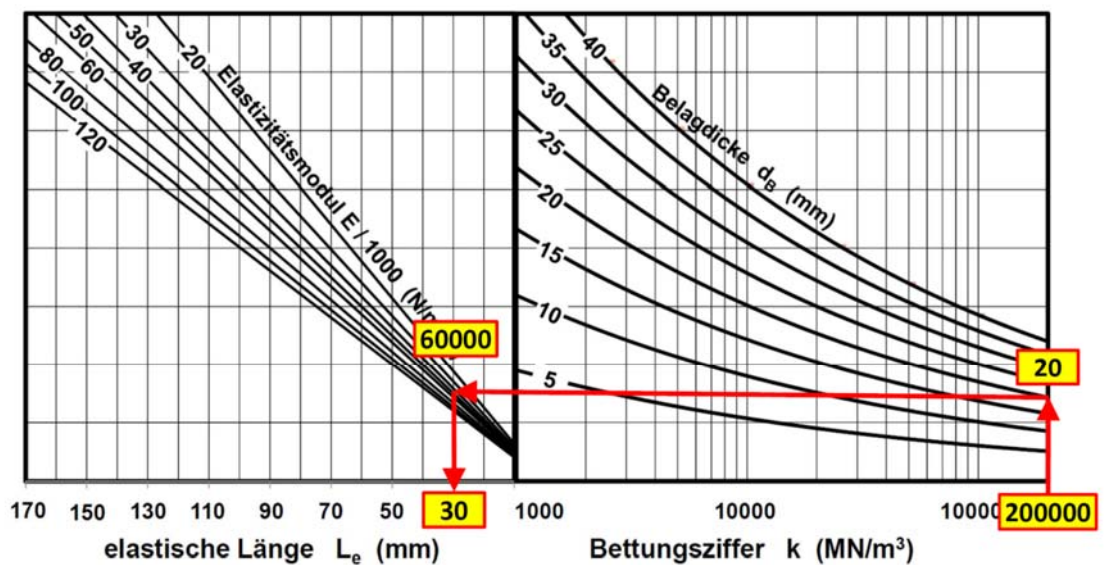
**6.3 Bemessung Belag**

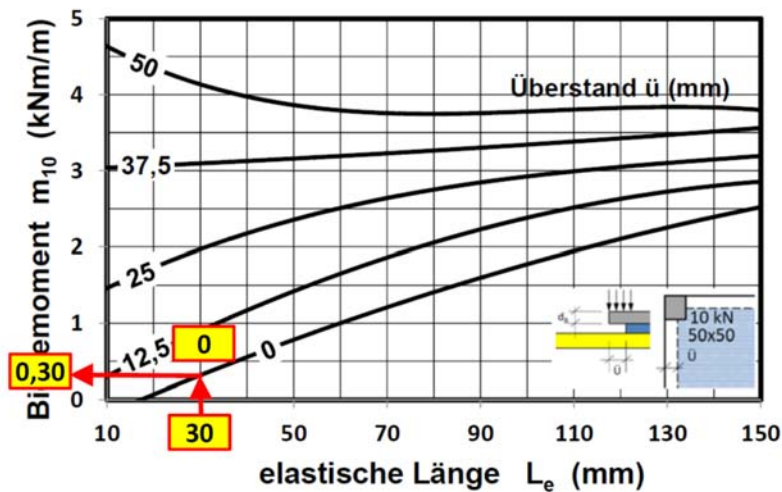
Für den Belag wird der Einfluss des Schwindens von Belag und Estrich untersucht.

zul.  $\sigma_{B,B} = \frac{\beta_{BZ}}{\gamma} = \frac{14}{1,5} = 9,3 \text{ N/mm}^2$  (Biegefestigkeit)

zul.  $\sigma_{B,Z} \approx \frac{\beta_{BZ}}{2 \cdot \gamma} = \frac{14}{2 \cdot 1,5} = 4,7 \text{ N/mm}^2$  (Zugfestigkeit)

zul.  $\sigma_{F,D} \approx \frac{\beta_F}{\gamma} = \frac{10}{1,5} = 6,7 \text{ N/mm}^2$  (Druckfestigkeit Fuge)





Verlegung im Mörtelbett:  $F = 2 \text{ kN}$  (vollflächige Verlegung)

$$m_B = \frac{m_{10} \cdot F}{10} = \frac{65 \cdot 2}{10} = 0,130 \text{ kNm/m}$$

$$\sigma_B = \frac{1000 \cdot m_B \cdot 6}{d_B^2} = \frac{1000 \cdot 0,130 \cdot 6}{20^2}$$

$$= 1,95 \text{ N/mm}^2$$

$$< 9,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_L = \frac{\sigma_B}{\text{zul.} \sigma_{B,B}} = \frac{1,95}{9,3} = \mathbf{0,21}$$

Beanspruchung durch thermische Dehnung und Schwinden der Bodenkonstruktion ergeben sich Beanspruchungen des Systems. Das Kriechen des Zementestrichs wird näherungsweise mit einer Kriechzahl von  $\varphi = 1,5$  berücksichtigt. Für die Relaxation wird ein Wert von  $\rho = 1,0$  angenommen.

Für die entkoppelnde Wirkung des Klebers wird eine horizontale Bettungsziffer von  $k_H = 15000 \text{ MN/m}^3$  berücksichtigt.

$$E_{\text{Ers.}} \approx \frac{E_E}{1 + \rho \cdot \varphi} = \frac{20000}{1 + 1,0 \cdot 1,5} = 8000 \text{ N/mm}^2$$

$$E^* = \frac{d_E \cdot E_{\text{Ers.}} \cdot E_B}{d_B \cdot E_B + d_E \cdot E_{\text{Ers.}}} = \frac{55 \cdot 8000 \cdot 60000}{20 \cdot 60000 + 55 \cdot 8000}$$

$$= 16098 \text{ N/mm}^2$$

$$E^* \cdot d = \frac{16098 \cdot 20}{1000}$$

$$= 322 \text{ MN/m}$$

$$E^* \cdot d = 300 \text{ MN/m:} \quad \text{Zwängungskraft} = 30,0 \text{ kN/m}$$

$$E^* \cdot d = 400 \text{ MN/m:} \quad \text{Zwängungskraft} = 40,0 \text{ kN/m}$$

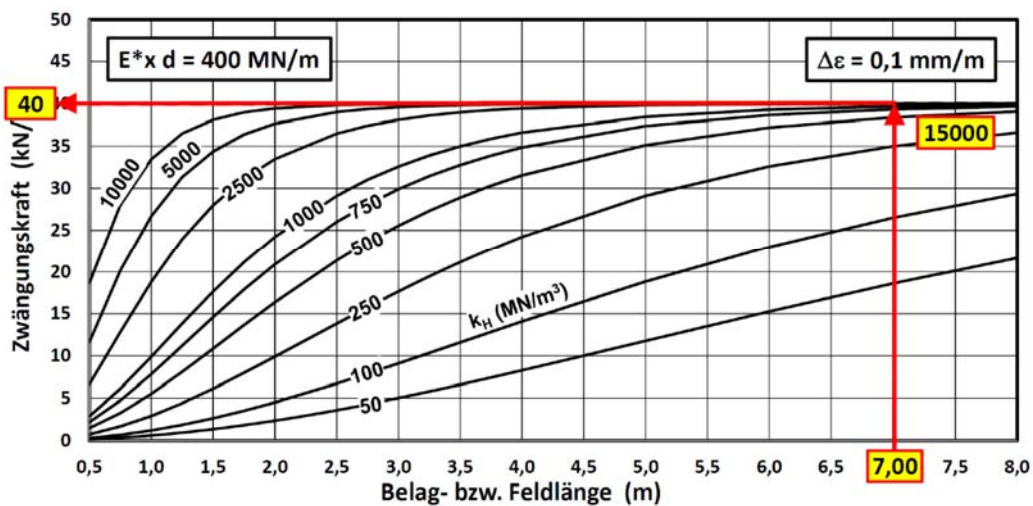
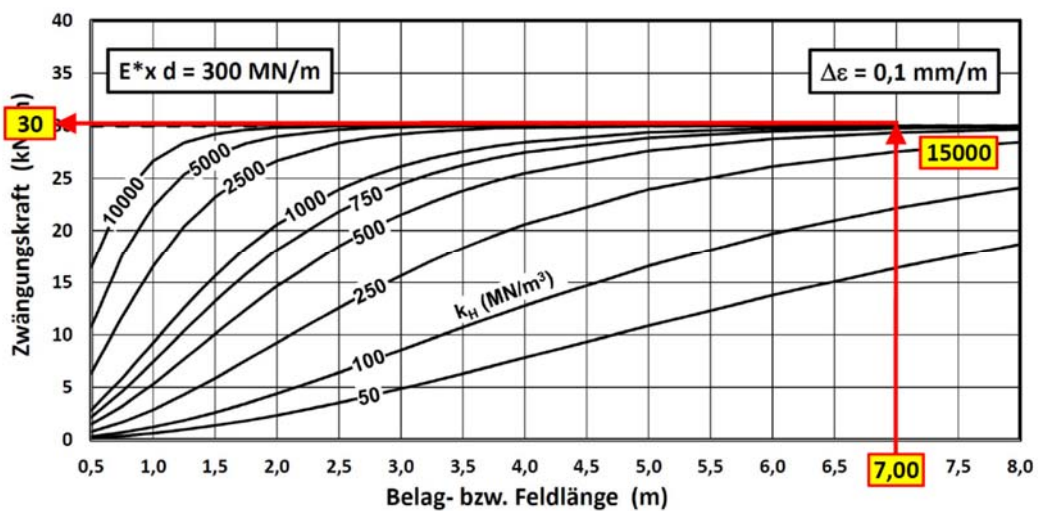
$$F_z = 30,0 + \frac{40,0-30,0}{400-300} \cdot (322-300)$$

$$= 32,2 \text{ kN/m}$$

Gesamte Verformungsdifferenz  $\Delta\varepsilon = -0,19 \text{ mm/m}$

$$\sigma_{B,Z} = -\frac{F_z}{d_B} \cdot \frac{\Delta\varepsilon}{0,1} = -\frac{32,2}{20} \cdot \frac{0,19}{0,1}$$

$$= -3,06 \text{ N/mm}^2$$



$$\sigma_F = \sigma_{B,Z}$$

$$= -3,06 \text{ N/mm}^2$$

$$> -6,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_s = \frac{\sigma_F}{\text{zul.}\sigma_{F,D}} = \frac{-3,06}{-6,7} = 0,46$$

**6.4 Beurteilung Estrich und Belag**

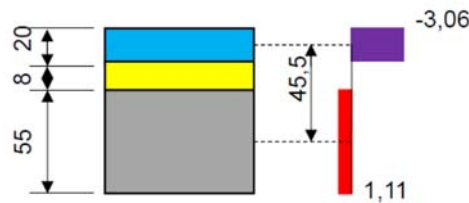
Als Grundlage der Beurteilung dient die Zwängungsspannung im Estrich aus dem Trocknungsschwinden. Die Schwindspannung im Estrich wird näherungsweise aus der Beanspruchung des Belages ermittelt.

$$\text{zul. } \sigma_{B,B} = \frac{\beta_{BZ}}{\gamma} = \frac{3,5}{1,0} = 3,5 \text{ N/mm}^2 \text{ (Bruchbiegefestigkeit)}$$

$$\text{zul. } \sigma_{B,Z} \approx \frac{\beta_{BZ}}{2 \cdot \gamma} = \frac{3,5}{2 \cdot 1,0} = 1,75 \text{ N/mm}^2 \text{ (Bruchzugfestigkeit)}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{E,Z} &= -\frac{\sigma_{B,Z} \cdot d_B}{d_E} = -\frac{3,06 \cdot 20}{45} \\ &= 1,11 \text{ N/mm}^2 \\ &> 1,75 \text{ N/mm}^2 \text{ (Bruchzugfestigkeit)} \end{aligned}$$

Beanspruchung des Belages:

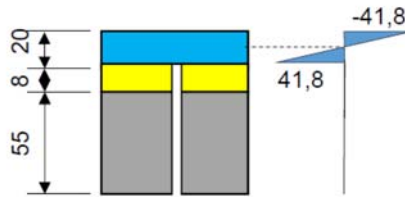


Die Biegebeanspruchung und Randspannung des Belages nach dem Versagen der Estrichs beträgt näherungsweise:

$$\begin{aligned} z &= \frac{d_B + d_E}{2} + d_M = \frac{20 + 55}{2} + 8 \\ &= 45,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_B &= \sigma_E \cdot d_E \cdot z \\ &= 1,11 \cdot 55 \cdot 45,5 = 2784 \text{ Nm/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{B,R} &= \frac{m_B \cdot 6}{d_B^2} = \frac{2784 \cdot 6}{20^2} \\ &= 41,8 \text{ N/mm}^2 \\ &> 14,0 \text{ N/mm}^2 \text{ (Bruchspannung)} \end{aligned}$$



Durch die behinderte Verformung des Estrichs wird die Zugfestigkeit überschritten. Mit einem Schaden ist zu rechnen. Der Belag ist nicht in der Lage das Bruchmoment der Bodenkonstruktion aufzunehmen.

**7 Beispiel 7**

**7.1 Abmessungen**

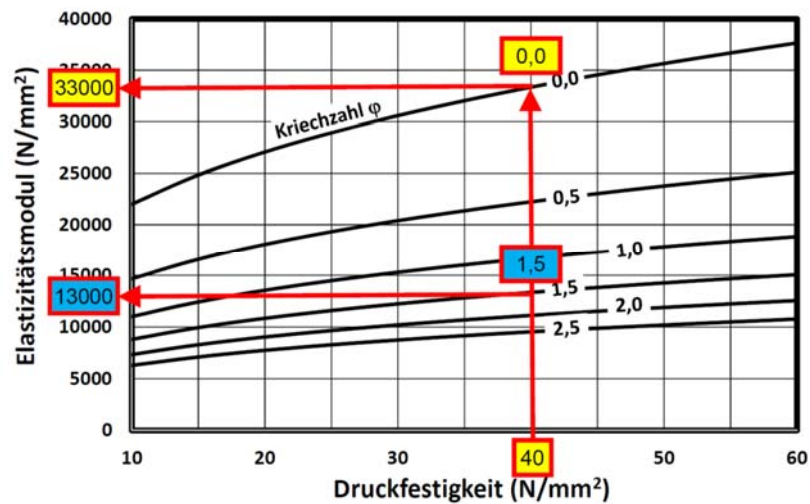
Zementestrich CT C40 - F5  $\sigma_{BZ, Best.} = 3,5 \text{ N/mm}^2$   
 Druckfestigkeit  $f_{ck.} = 40 \text{ N/mm}^2$   
 Estrichdicke  $d_E = 90 \text{ mm}$

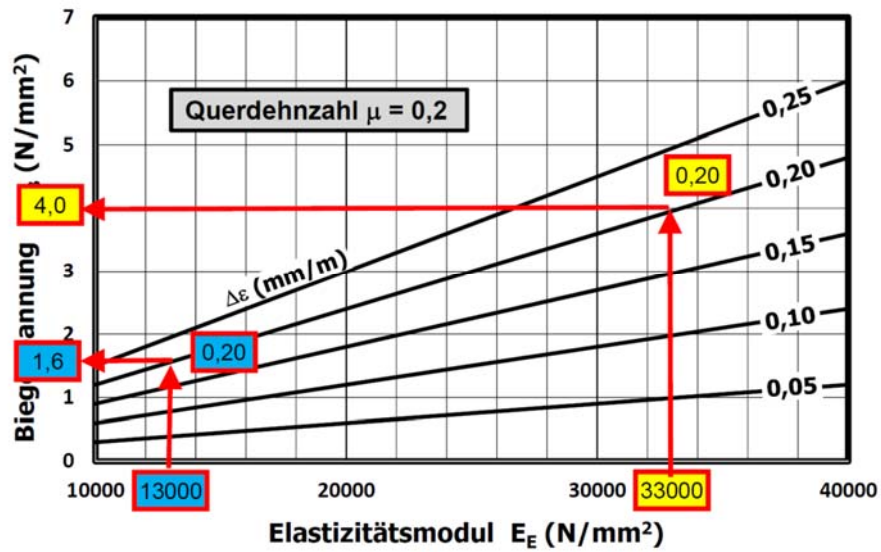
**7.2 Belastung**

Nutzungsbereich C  $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$   
 Flächenbelastung  $Q_k = 4 \text{ kN}$   
 Punktbelastung  $\Delta \epsilon = 0,2 \text{ mm/m}$  (über die Estrichdicke)  
 Differenzschwindmaß  $\varphi = 1,5$   
 Kriechzahl

**7.3 Estrichbemessung**

Die Beanspruchung des Estrichs resultiert aus dem Schwindunterschied zwischen Unter- und Oberseite des Estrichs.

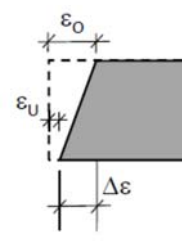




Die Beanspruchung des Estrichs resultiert aus dem Schwindunterschied zwischen Unter- und Oberseite des Estrichs.

$$\begin{aligned} \gamma_G &= \gamma_F \cdot \gamma_M \\ &= 1,35 \cdot 1,20 \\ &= 1,62 \end{aligned}$$

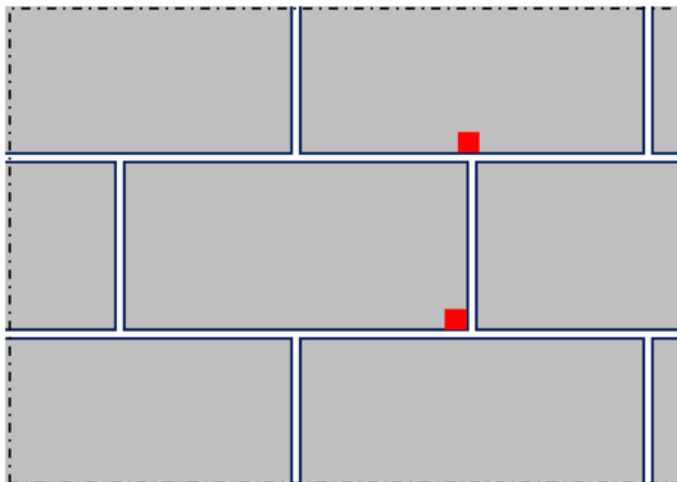
$$\begin{aligned} \sigma_{L,B} &\leq \frac{\sigma_{BZ, Best}}{\gamma_G} = \frac{3,5}{1,62} \\ 1,60 &\leq 2,16 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$



## 8 Beispiel 8: Naturwerksteinbelag auf Trockenhohlboden

### 8.1 Abmessungen

Naturwerksteinplatten (Halbverband)	d = 10 mm
Biegezugfestigkeit	$\beta_{BZ} = 16 \text{ N/mm}^2$
Zugfestigkeit	$\beta_{ZB}/2 = 8 \text{ N/mm}^2$
Elastizitätsmodul	E = 80000 N/mm <sup>2</sup>
Thermische Ausdehnung	$\alpha_T = 0,8 \text{ mm/m/100 K}$
Druckfestigkeit Fugenmörtel	$\beta_F = 10,0 \text{ N/mm}^2$



Abmessungen:  
Platte 1: 600 x 300 mm

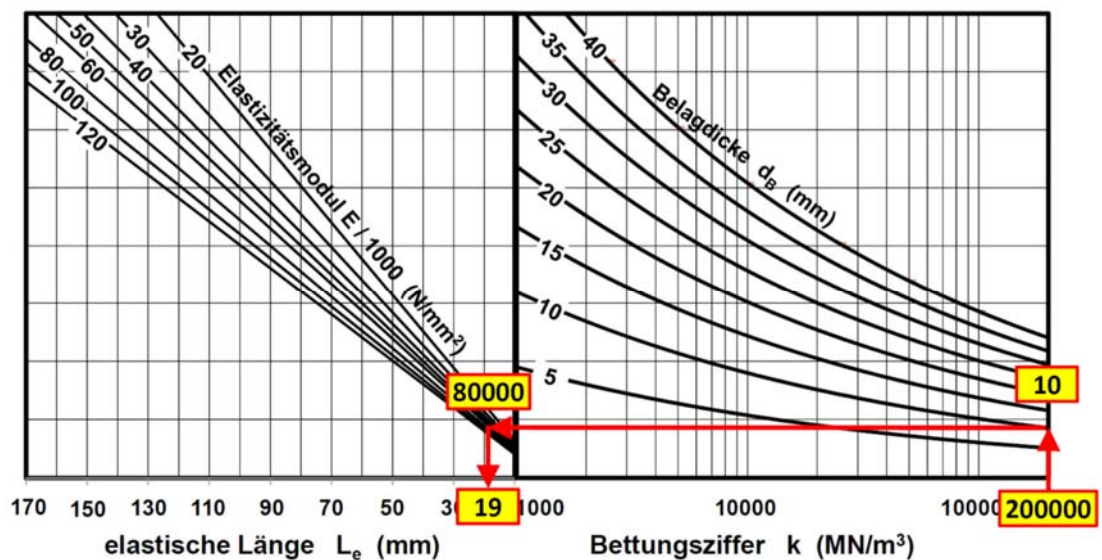
Trockenhohlboden	$d_H = 36 \text{ mm}$
Biegezugfestigkeit (Fuge)	$\sigma_{BZ} = 6 \text{ N/mm}^2$
Zugfestigkeit (Fuge)	$\sigma_{BZ}/2 = 3 \text{ N/mm}^2$
Elastizitätsmodul	$E_H = 7000 \text{ N/mm}^2$
Thermische Ausdehnung	$\alpha_T = 1,5 \text{ mm/m/100 K}$
Fugenabstand	$L_F = 6,00 \text{ m}$

## 8.2 Belastung

Flächenbelastung	$q_k = 5 \text{ kN/m}^2$
Punktbelastung	$Q_k = 5 \text{ kN}$
Aufstandsfläche	$50 \times 50 \text{ mm}$
Erstellungstemperatur	$T_E = 10^\circ\text{C}$ (rel. Luftfeuchte 60%)
Raumtemperatur	$T_R = 20^\circ\text{C}$ (rel. Luftfeuchte 40%)
Feuchteausdehnungskoeffizient	$\alpha_F = 0,015 \text{ mm/m}\%rF$
Differenzverformung (Temperatur)	$\Delta\varepsilon = (1,5 - 0,8) \cdot \frac{20-10}{100}$ $= 0,07 \text{ mm/m}$
Differenzverformung (Schwinden HB)	$\Delta\varepsilon = 0,015 \cdot (40-60)$ $= -0,30 \text{ mm/m}$
Gesamte Verformungsdifferenz	$\Delta\varepsilon = 0,07 - 0,30 = -0,23 \text{ mm/m}$

## 8.3 Bemessung Belag

Für den Belag wird der Einfluss des Schwindens von Belag und Estrich untersucht.

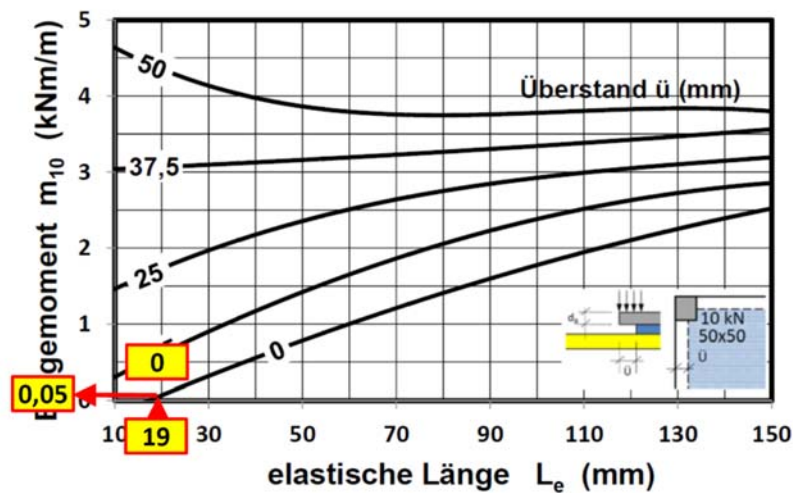
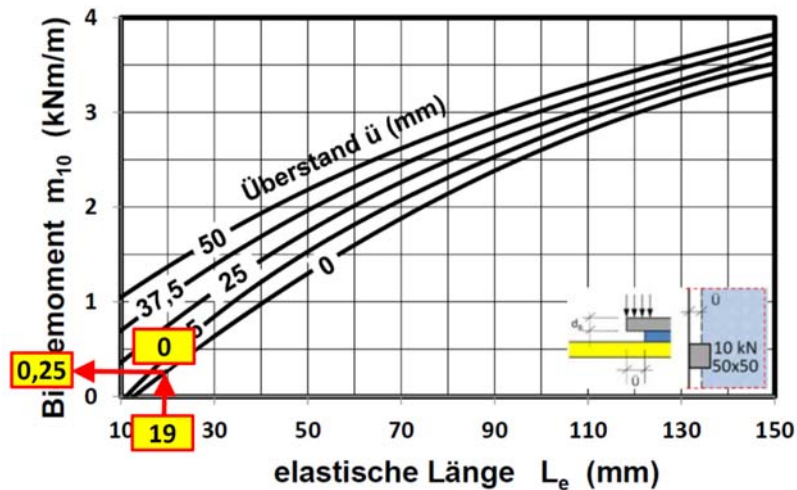


$$\text{zul. } \sigma_{B,B} = \frac{\beta_{BZ}}{\gamma} = \frac{16}{1,5} = 10,7 \text{ N/mm}^2 \text{ (Biegefestigkeit)}$$

$$\text{zul. } \sigma_{B,Z} \approx \frac{\beta_{BZ}}{2 \cdot \gamma} = \frac{16}{2 \cdot 1,5} = 5,3 \text{ N/mm}^2 \text{ (Zugfestigkeit)}$$

$$\text{zul. } \sigma_{F,D} \approx \frac{\beta_F}{\gamma} = \frac{10}{1,5} = 6,7 \text{ N/mm}^2 \text{ (Druckfestigkeit Fuge)}$$





Verlegung im Mörtelbett:  $F = 5 \text{ kN}$  (vollflächige Verlegung)

$$m_B = \frac{m_{10} \cdot F}{10} = \frac{0,25 \cdot 5}{10} = 0,125 \text{ kNm/m}$$

$$\sigma_B = \frac{1000 \cdot m_B \cdot 6}{d_B^2} = \frac{1000 \cdot 0,125 \cdot 6}{10^2}$$

$$= 7,50 \text{ N/mm}^2$$

$$< 10,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_L = \frac{\sigma_B}{\text{zul.}\sigma_{B,B}} = \frac{7,50}{10,7} = \mathbf{0,70}$$

**Beanspruchung durch thermische Dehnung und Schwinden der Bodenkonstruktion:**

Die entkoppelnde Wirkung des Klebers wird mit einer horizontalen Bettungsziffer von  $k_H = 15000 \text{ MN/m}^3$  berücksichtigt.

$$E^* = \frac{d_E \cdot E_E \cdot E_B}{d_B \cdot E_B + d_E \cdot E_E} = \frac{36 \cdot 7000 \cdot 80000}{10 \cdot 80000 + 36 \cdot 7000}$$



$$= 19163 \text{ N/mm}^2$$

$$E^* \cdot d = \frac{19163 \cdot 10}{1000}$$

$$= 192 \text{ MN/m}$$

$$E^* \cdot d = 100 \text{ MN/m:} \quad \text{Zwängungskraft} = 10,0 \text{ kN/m}$$

$$E^* \cdot d = 200 \text{ MN/m:} \quad \text{Zwängungskraft} = 20,0 \text{ kN/m}$$

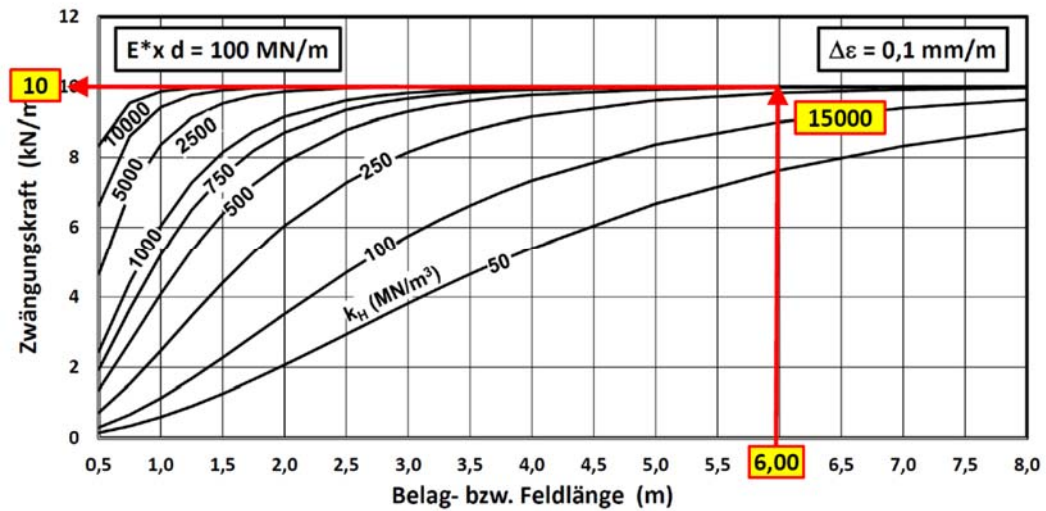
$$F_z = 10,0 + \frac{20,0 - 10,0}{200 - 100} \cdot (192 - 100)$$

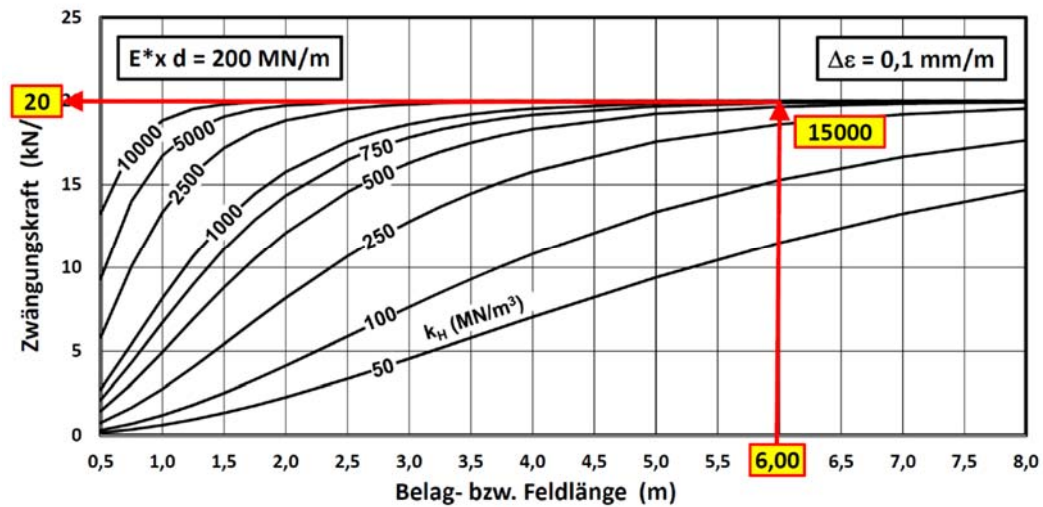
$$= 19,2 \text{ kN/m}$$

Gesamte Verformungsdifferenz  $\Delta \epsilon = -0,23 \text{ mm/m}$

$$\sigma_{B,Z} = - \frac{F_z \cdot \Delta \epsilon}{d_B \cdot 0,1} = - \frac{19,2 \cdot 0,23}{10 \cdot 0,1}$$

$$= -4,42 \text{ N/mm}^2$$





$$\sigma_F = \sigma_{B,Z}$$

$$= -4,42 \text{ N/mm}^2$$

$$> -6,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_s = \frac{\sigma_F}{\text{zul.}\sigma_{F,D}} = \frac{-4,42}{-6,7} = 0,66$$

#### 8.4 Beurteilung Hohlbodens

Als Grundlage der Beurteilung dient die Zwängungsspannung im Hohlboden aus dem Trocknungsschwinden. Die Schwindspannung im Hohlboden wird näherungsweise aus der Beanspruchung des Belages ermittelt.

$$\text{zul. } \sigma_{B,B} = \frac{\beta_{BZ}}{\gamma} = \frac{6}{1,0} = 6,0 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Bruchbiegefestigkeit})$$

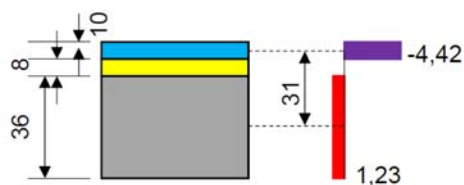
$$\text{zul. } \sigma_{B,Z} \approx \frac{\beta_{BZ}}{2 \cdot \gamma} = \frac{6}{2 \cdot 1,0} = 3,0 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Bruchzugfestigkeit})$$

$$\sigma_{H,Z} = -\frac{\sigma_{B,Z} \cdot d_B}{d_H} = -\frac{-4,42 \cdot 10}{36}$$

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

$$< 3,00 \text{ N/mm}^2 (\text{Bruchzugfestigkeit})$$

Beanspruchung des Belages:



$$z = \frac{d_B + d_H}{2} + d_M = \frac{10 + 36}{2} + 8$$

$$= 31 \text{ mm}$$

Die Biegebeanspruchung und Randspannung des Belages nach dem Versagen der Klebung der Hohlbodenelemente beträgt näherungsweise:

$$m_B = \sigma_H \cdot d_H \cdot z$$

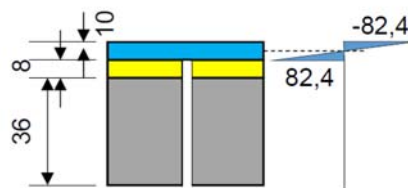
$$= 1,23 \cdot 36 \cdot 31 = 1373 \text{ Nm/m}$$

$$\sigma_{B,R} = \frac{m_B \cdot 6}{d_B^2} = \frac{1373 \cdot 6}{10^2}$$

$$= 82,4 \text{ N/mm}^2$$

$$> 16,0 \text{ N/mm}^2 \text{ (Bruchspannung)}$$

Biegespannungen im Belag nach Fugenversagen					
Belagdicke mm	$\sigma_{H,z}$ N/mm <sup>2</sup>	z mm	m Nm/m	$\sigma_{B,R}$ N/mm <sup>2</sup>	zul. $\sigma_{B,R}$ N/mm <sup>2</sup>
10	1,23	31	1373	82,4	10,7



Die Berechnung zeigt, dass bei einer nach Herstellerangaben durchgeführten Verlegung des Hohlbodens die Beanspruchungen im Belag unterhalb der Festigkeitswerte liegen. Bei einer mangelhaften Verklebung der Hohlbodenelemente kommt es zu einer Überbeanspruchung des Bodenbelages. Die Ursache für den Schaden im Belag ergibt sich aus einer mangelhaften Ausführung des Hohlbodens

## Teil 3: Bemessung von Belägen (vereinfachter Nachweis)

### Zu 3.1: Beläge auf Klebebett

Mit Kleber verlegte Beläge können über eine vorgegebene Bruchlast in Abhängigkeit von der Beanspruchung bemessen werden. Die Beanspruchungsgruppe ergibt sich aus der Nutzung der Belagfläche.

Auf der Basis der erforderlichen Bruchlast kann mit Hilfe der Tabelle 2 unter Berücksichtigung der Biegefestigkeit des Belages die Belagdicke ermittelt werden. Die sich aus der Tabelle 2 ergebenden Belagdicken ergeben sich ebenfalls bei einer Bemessung nach dem ZDB-Merkblatt „Mechanisch hoch belastbare keramische Bodenbeläge“.

Die Anwendung wird an zwei Beispielen aufgezeigt.

#### Naturwerkstein (BSP 1)

Beanspruchungsgruppe II  
Biegefestigkeit  $\beta_{BZ} = 16,0 \text{ N/mm}^2$

#### Feinsteinzeug (BSP 2)

Beanspruchungsgruppe III  
Biegefestigkeit  $\beta_{BZ} = 37,0 \text{ N/mm}^2$

**i.M 2,2 kN**

**i.M 4,0 kN**

Beanspr. Gruppe	Bruchkraft F DIN EN ISO 10545-4 N	Anwendungsbereich mechanische Beanspruchung
I	< 1500	Wohnungsbau und Bodenbeläge mit vergleichbarer mechanischer Beanspruchung, z.B. Hotelbadezimmer, Räume des Gesundheitsdienstes
II	1500 - 3000	Verwaltung, Gewerbe und Industrie (befahrbar mit luftbereiften Fahrzeugen), z.B. Großküchen, Kantinen, Verkehrszonen, KFZ-Ausstellungs- und Wartungsräume, Verkaufsräume, jeweils ohne Flurförderverkehr <b>Pressungen bis 2 N/mm<sup>2</sup></b>
III	3000 - 5000	Gewerbe und Industrie (Flurförderfahrzeugverkehr mit superelastik-, Vollgummi- und Vulkollanbereifung) z.B. im Lebensmitteleinzel- und Großhandel, Nonfood-, Einzel- und Großhandel, Ladenpassagen <b>Pressungen von 2 bis 6 N/mm<sup>2</sup></b>
IV	5000 - 8000	Gewerbe und Industrie; Anwendungsbereiche wie Gruppe III, jedoch befahrbar mit Polyamidrollen <b>Pressungen von 6 bis 20 N/mm<sup>2</sup></b>
V	> 8000	Gewerbe und Industrie; Schwerlastbereiche mit Flurförderfahrzeugverkehr mit Polyamidrollen, Kollern von Metallteilen, wie z.B. in Fabrikations-, Montage- und Lagerhallen, Reparaturwerkstätten für Maschinen und schweres Gerät <b>Pressungen &gt; 20 N/mm<sup>2</sup></b>

Bruchlast 2,2 kN

Gewählte Belagdicke:  **$d_B = 14,0 \text{ mm}$**

Bruchlast 4,0 kN

Gewählte Belagdicke:  **$d_B = 12,5 \text{ mm}$**

Belastungs-Gruppe	Dicke (mm)	Bruchkraft F (N)															
		Fliesen oder Platten (quadratisches Format)															
		Biegefestigkeiten in N/mm <sup>2</sup>															
	8	10	12	14	16	18	20	27	32	37	42	47	52	57	62	69	
I	6,0	214	267	321	374	418	481	535	722	855	989	1123	1256	1390	1523	1657	1844
	7,0	291	364	437	509	582	655	728	982	1164	1346	1528	1710	1892	2074	2255	2510
	8,0	380	475	570	665	760	855	950	1283	1520	1758	1996	2233	2471	2708	2946	3279
	8,5	429	536	644	751	858	966	1073	1448	1716	1985	2253	2521	2789	3057	3326	3701
	9,0	481	601	722	842	962	1082	1203	1624	1924	2225	2526	2826	3127	3428	3728	4149
	9,5	536	670	804	938	1072	1206	1340	1809	2144	2479	2814	3149	3484	3819	4154	4623
	10,0	594	742	891	1039	1188	1336	1485	2005	2376	2747	3118	3489	3861	4232	4603	5123
	10,5	655	819	982	1146	1310	1473	1637	2210	2619	3029	3438	3847	4256	4666	5075	5648
	11,0	719	898	1078	1258	1437	1617	1797	2425	2875	3324	3773	4222	4671	5120	5570	6198
	11,5	785	982	1178	1375	1571	1767	1964	2651	3142	3633	4124	4615	5106	5597	6087	6775
	12,0	855	1069	1283	1497	1711	1924	2138	2887	3421	3956	4490	5025	5559	6094	6628	7377
	12,5	928	1164	1392	1624	1856	2088	2320	3132	3712	<b>4292</b>	4872	5452	6032	6612	7192	8004
	13,0	1004	1255	1506	1757	2008	2258	2509	3388	4015	4642	5270	5897	6524	7152	7779	8657
	13,5	1082	1353	1624	1894	2165	2436	2706	3653	4330	5006	5683	6359	7036	7712	8389	9336
	14,0	1164	1455	1746	2037	2328	2619	2910	3929	4656	5384	6112	6839	7567	8294	9022	10040
	15,0	1336	1670	2005	2339	2673	3007	3341	4510	5345	6181	7016	7851	8686	9522	10357	11526
16,0	1520	1901	2281	2661	3041	3421	3801	5132	6082	7032	7982	8933	9883	10833	11784	13114	
18,0	1924	2405	2887	3368	3849	4330	4811	6495	7697	8900	10103	11306	12508	13711	14914	16598	
20,0	2376	2970	3564	4158	4751	5345	5939	8018	9503	10988	12473	13957	15442	16927	18412		
22,0	2875	3593	4312	5031	5749	6468	7187	9702	11499	13295	15092	16889	18685				
24,0	3421	4276	5132	5987	6842	7697	8553	11546	13684	15822	17961						
26,0	4015	5019	6023	7026	8030	9034	10038	13551	16060	18569							
28,0	4656	5821	6985	8149	9313	10477	11641	15716	18626								
30,0	5345	6682	8018	9354	10691	12027	13364	18041									
35,0	7276	9095	10914	12733	14551	16370	18189										
40,0	9503	11879	14254	16630	19006												

**BSP 2**

**BSP 1**



**Zu 3.2: Beläge auf Entkopplung verlegt**

Mit Kleber auf Entkopplungen verlegte Beläge können über eine vorgegebene Bruchlast in Abhängigkeit von der Punktbelastung und der vertikalen Bettungsziffer bemessen werden.

Die für die Bemessung erforderliche Bruchlast ergibt sich aus Tabelle 3. Die horizontale Bettungsziffer ergibt sich aus dem Datenblatt des Herstellers oder kann nach Merkblatt 7 „Ermittlung der technischen Eigenschaften von Entkopplungen“ der Deutschen Naturstein Akademie e.V. ermittelt werden.

Auf der Basis der erforderlichen Bruchlast kann mit Hilfe der Tabelle 4 unter Berücksichtigung der Biegefestigkeit des Belages die Belagdicke ermittelt werden. Die Anwendung wird an zwei Beispielen aufgezeigt.

**Naturwerkstein (BSP 3)**

Belastung  $F = 2 \text{ kN}$   
 Biegefestigkeit  $\beta_{BZ} = 15,0 \text{ N/mm}^2$   
 Entkopplung  $k_v = 14000 \text{ MN/m}^3$

**Feinsteinzeug (BSP 4)**

Belastung  $F = 3 \text{ kN}$   
 Biegefestigkeit  $\beta_{BZ} = 37,0 \text{ N/mm}^2$   
 Entkopplung  $k_v = 1900 \text{ MN/m}^3$

Mindestbruchlast F (N)									
vertikale Bettung $k_v$ (MN/m <sup>3</sup> )	Punktbelastung 2 kN			Punktbelastung 3 kN			Punktbelastung 4 kN		
	Betonwerkstein	Naturwerkstein	Feinsteinzeug	Betonwerkstein	Naturwerkstein	Feinsteinzeug	Betonwerkstein	Naturwerkstein	Feinsteinzeug
> 1500	4100	3600	2800	6900	6300	5400	9800	9100	7800
≥ 2500	3600	3200	2400	6200	5400	4500	9100	8100	6900
≥ 5000	3000	2400	1800	5400	4500	3600	7800	6600	5400
> 10000	2400	1800	900	4200	3600	2600	6300	5400	4200
≥ 15000	1800	1800	900	3600	3000	1800	5700	4500	3400
≥ 20000	1600	1800	900	3200	2600	1400	5100	4200	2800
≥ 25000	1600	1800	900	3000	2200	900	4800	3600	2200

Mindestbruchlast  $F_{Br} = 1800 \text{ N}$

$$d_{\text{erf.}} \geq \sqrt{\frac{1,35 \cdot F}{\beta_{BZ}}} = \sqrt{\frac{1,35 \cdot 1800}{15,0}}$$

$$= 12,7 \text{ mm} < 15 \text{ mm}$$

Gewählte Belagdicke:  $d_B = 15 \text{ mm}$

Mindestbruchlast  $F_{Br} = 5400 \text{ N}$

$$d_{\text{erf.}} \geq \sqrt{\frac{1,35 \cdot F}{\beta_{BZ}}} = \sqrt{\frac{1,35 \cdot 5400}{37,0}}$$

$$= 14,0 \text{ mm} \geq 7,5 \text{ mm}$$

Gewählte Belagdicke:  $d_B = 15 \text{ mm}$

F (N)		Mindestplattendicke (mm)																	
		5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	27	32	37	42	47	52	57	62
900	15,6	14,2	13,2	12,3	11,0	10,1	9,3	8,7	8,2	7,8									
1400	19,4	17,7	16,4	15,4	13,7	12,5	11,6	10,9	10,2	9,7	8,4	7,7							
1600	20,8	19,0	17,6	16,4	14,7	13,4	12,4	11,6	11,0	10,4	8,9	8,2	7,6						
1800	22,0	20,1	18,6	17,4	15,6	14,2	13,1	12,75	11,6	11,0	9,5	8,7	8,1	7,6					
2000	23,2	21,2	19,6	18,4	16,4	15,0	13,9	13,0	12,2	11,6	10,0	9,2	8,5	8,0	7,6				
2200	24,4	22,2	20,6	19,3	17,2	15,7	14,6	13,6	12,8	12,2	10,5	9,6	9,0	8,4	7,9	7,6			
2400	25,5	23,2	21,5	20,1	18,0	16,4	15,2	14,2	13,4	12,7	11,0	10,1	9,4	8,8	8,3	7,9	7,5		
2600	26,5	24,2	22,4	20,9	18,7	17,1	15,8	14,8	14,0	13,2	11,4	10,5	9,7	9,1	8,6	8,2	7,8	7,5	
2800	27,5	25,1	23,2	21,7	19,4	17,7	16,4	15,4	14,5	13,7	11,8	10,9	10,1	9,5	9,0	8,5	8,1	7,8	7,5
3000	28,5	26,0	24,1	22,5	20,1	18,4	17,0	15,9	15,0	14,2	12,2	11,3	10,5	9,8	9,3	8,8	8,4	8,1	7,8
3200	29,4	26,8	24,8	23,2	20,8	19,0	17,6	16,4	15,5	14,7	12,6	11,6	10,8	10,1	9,6	9,1	8,7	8,3	7,8
3400	30,3	27,7	25,6	24,0	21,4	19,6	18,1	16,9	16,0	15,1	13,0	12,0	11,1	10,5	9,9	9,4	9,0	8,6	8,1
3600	31,2	28,5	26,3	24,6	22,0	20,1	18,6	17,4	16,4	15,6	13,4	12,3	11,5	10,8	10,2	9,7	9,2	8,9	8,4
3800	32,0	29,2	27,1	25,3	22,6	20,7	19,1	17,9	16,9	16,0	13,8	12,7	11,8	11,1	10,4	9,9	9,5	9,1	8,6
4000	32,9	30,0	27,8	26,0	23,2	21,2	19,6	18,4	17,3	16,4	14,1	13,0	12,1	11,3	10,7	10,2	9,7	9,3	8,9
4200	33,7	30,7	28,5	26,6	23,8	21,7	20,1	18,8	17,7	16,8	14,5	13,3	12,4	11,6	11,0	10,4	10,0	9,6	9,1
4500	34,9	31,8	29,5	27,6	24,6	22,5	20,8	19,5	18,4	17,4	15,0	13,8	12,8	12,0	11,4	10,8	10,3	9,9	9,4
4800	36,0	32,9	30,4	28,5	25,5	23,2	21,5	20,1	19,0	18,0	15,5	14,2	13,2	12,4	11,7	11,2	10,7	10,2	9,7
5100	37,1	33,9	31,4	29,3	26,2	24,0	22,2	20,7	19,6	18,6	16,0	14,7	13,6	12,8	12,1	11,5	11,0	10,5	10,0
5400	38,2	34,9	32,3	30,2	27,0	24,6	22,8	21,3	20,1	19,1	16,4	15,1	14,0	13,2	12,5	11,8	11,3	10,8	10,3
5700	39,2	35,8	33,2	31,0	27,7	25,3	23,4	21,9	20,7	19,6	16,9	15,5	14,4	13,5	12,8	12,2	11,6	11,1	10,6
6000	40,2	36,7	34,0	31,8	28,5	26,0	24,1	22,5	21,2	20,1	17,3	15,9	14,8	13,9	13,1	12,5	11,9	11,4	10,9
6300	41,2	37,6	34,9	32,6	29,2	26,6	24,6	23,1	21,7	20,6	17,7	16,3	15,2	14,2	13,5	12,8	12,2	11,7	11,2
6600	42,2	38,5	35,7	33,4	29,8	27,2	25,2	23,6	22,2	21,1	18,2	16,7	15,5	14,6	13,8	13,1	12,5	12,0	11,5
6900	43,2	39,4	36,5	34,1	30,5	27,9	25,8	24,1	22,7	21,6	18,6	17,1	15,9	14,9	14,1	13,4	12,8	12,3	11,8
7800	45,9	41,9	38,8	36,3	32,4	29,6	27,4	25,7	24,2	22,9	19,7	18,1	16,9	15,8	15,0	14,2	13,6	13,0	12,5
8100	46,8	42,7	39,5	37,0	33,1	30,2	27,9	26,1	24,6	23,4	20,1	18,5	17,2	16,1	15,3	14,5	13,9	13,3	12,8
9100	49,6	45,2	41,9	39,2	35,0	32,0	29,6	27,7	26,1	24,8	21,3	19,6	18,2	17,1	16,2	15,4	14,7	14,1	13,5
9800	51,4	47,0	43,5	40,7	36,4	33,2	30,7	28,8	27,1	25,7	22,1	20,3	18,9	17,7	16,8	16,0	15,2	14,6	14,0

BSP 1

BSP 2

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

Die Anwendung des Merkblattes wird mit Beispielen aufgezeigt. Die Beispiele sind so ausgewählt, dass möglichst viele Aspekte der Bemessung von Belägen mit und ohne Entkopplung erfasst werden.

Soweit erforderlich, erfolgt eine Überlagerung der Beanspruchungen aus lokaler Belastung und Systembeanspruchung. Ebenfalls erfolgt die Berücksichtigung von Materialeigenschaften, wie zum Beispiel die thermische Ausdehnung und das Schwinden der Baustoffe.

<b>Übersicht Anwendungsbeispiele</b>	
<b>Nr.</b>	<b>Beispiel</b>
<b>1</b>	Feinsteinzeugbelag auf Calciumsulfatestrich
<b>2</b>	Betonwerksteinbelag auf Trockenhohlboden
<b>3</b>	Feinsteinzeugbelag auf Calciumsulfatestrich mit Berücksichtigung einer Entkopplung des Belages
<b>4</b>	Betonwerksteinbelag auf Trockenhohlboden
<b>5</b>	Naturwerksteinbelag (Dielenformat) auf Calciumsulfatestrich mit Berücksichtigung einer Entkopplung des Belages
<b>6</b>	Feinsteinzeugbelag auf Calciumsulfatestrich mit Berücksichtigung einer Entkopplung des Belages und Ermittlung des Einflusses von Hohllagen
<b>7</b>	Naturwerksteinbelag auf Calciumsulfatestrich mit Berücksichtigung der Jahreszeit bei der Herstellung des Belages
<b>8</b>	Naturwerksteinbelag als Treppenbelag unter Berücksichtigung der entkoppelnden Wirkung des Klebers



## 1 Beispiel 1

### 1.1 Abmessungen

Feinsteinzeug (Kreuzfuge)

$$d_B = 10 \text{ mm}$$

Biegezugfestigkeit

$$\beta_{BZ} = 21,0 \text{ N/mm}^2$$

Zugfestigkeit

$$\beta_{ZB}/2 = 10,5 \text{ N/mm}^2$$

Elastizitätsmodul

$$E_B = 70000 \text{ N/mm}^2$$

Thermische Ausdehnung

$$\alpha_T = 0,7 \text{ mm/m/100 K}$$

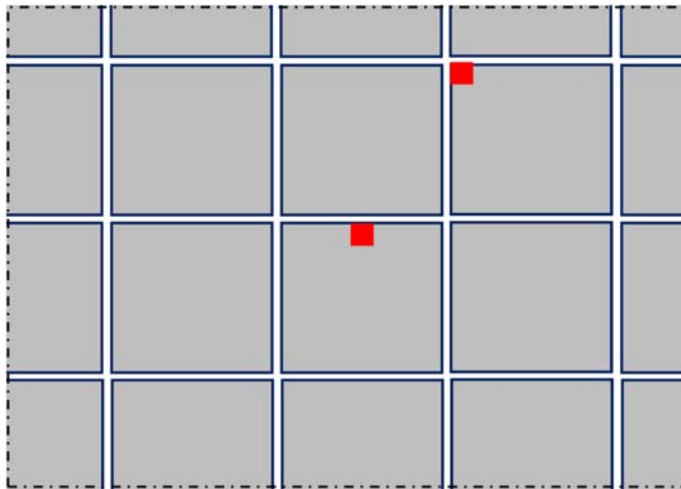
Verlegung ohne Entkopplung:

horizontale Bettung

$$k_H \geq 15000 \text{ MN/m}^3$$

vertikale Bettung

$$k_V \geq 200000 \text{ MN/m}^3$$



Abmessungen:

Platte: 600 x 600 mm

Calciumsulfatheizestrich

$$d_E = 60 \text{ mm}$$

Biegezugfestigkeit

$$\sigma_{BZ, Best} = 7 \text{ N/mm}^2$$

Elastizitätsmodul

$$E = 20000 \text{ N/mm}^2$$

Thermische Ausdehnung

$$\alpha_T = 1,5 \text{ mm/m/100 K}$$

### 1.2 Belastung

Punktbelastung

$$F = 4 \text{ kN}$$

Aufstandsfläche

$$50 \times 50 \text{ mm}$$

Erstellungstemperatur

$$T_E = 10^\circ\text{C}$$

Raumtemperatur

$$T_R = 25^\circ\text{C}$$

Differenzverformung

$$\Delta\varepsilon = (1,5 - 0,7) \cdot \frac{25-10}{100}$$

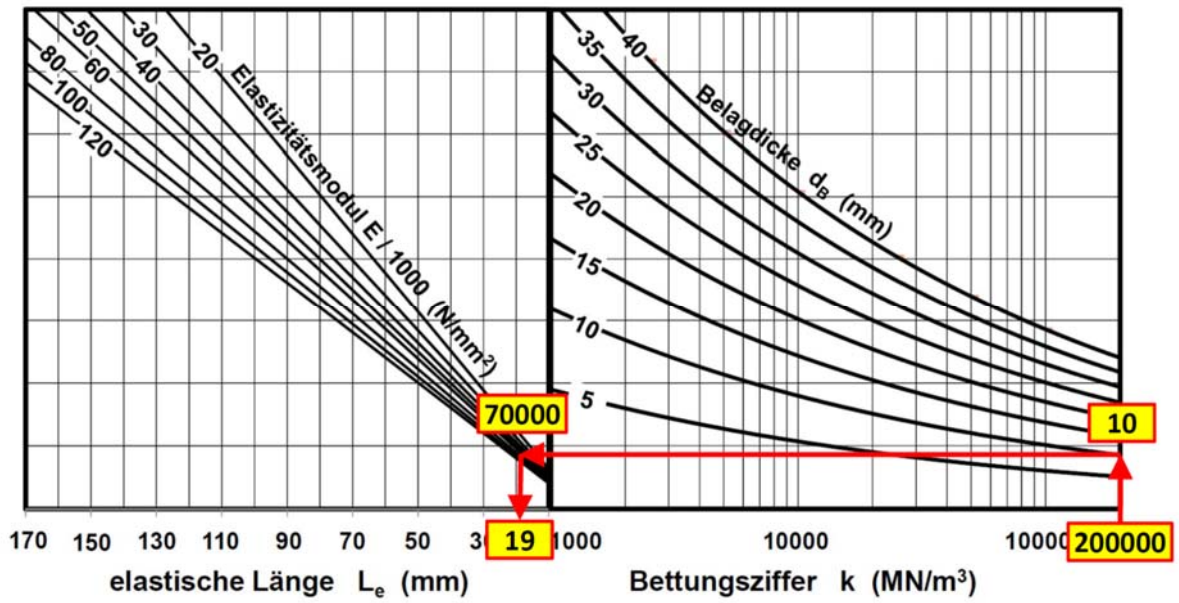
$$= 0,12 \text{ mm/m}$$

### 1.3 Bemessung Belag

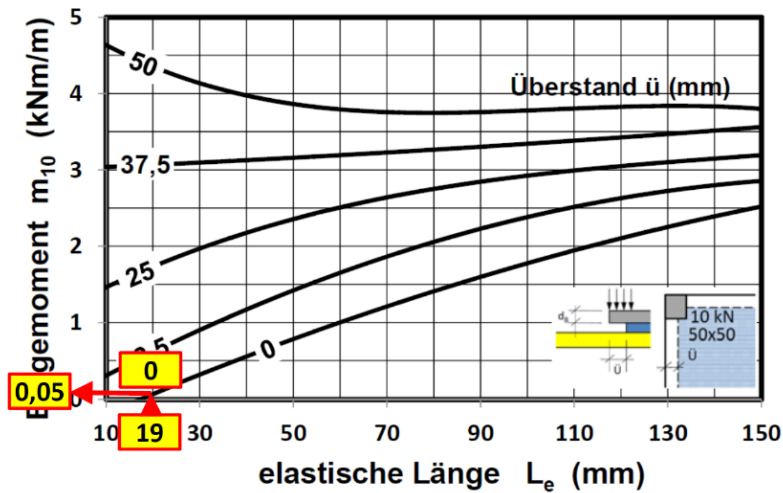
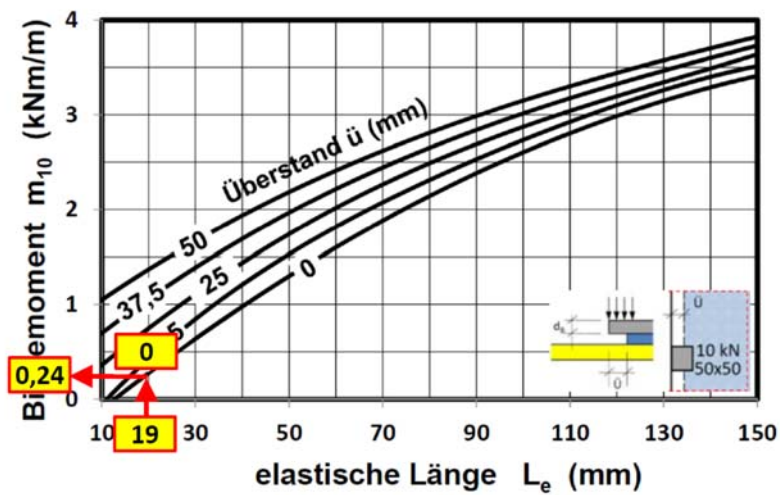
Für den Belag wird der Einfluss der unterschiedlichen thermischen Dehnung von Belag und Estrich untersucht.

$$\text{zul. } \sigma_{B,B} = \frac{\beta_{BZ}}{\gamma} = \frac{21}{1,5} = 14,0 \text{ N/mm}^2 \text{ (Biegefestigkeit)}$$

$$\text{zul. } \sigma_{B,Z} \approx \frac{\beta_{BZ}}{2 \cdot \gamma} = \frac{21}{2 \cdot 1,5} = 7,0 \text{ N/mm}^2 \text{ (Zugfestigkeit)}$$



lokale Beanspruchung (Aufstandsfläche 50 x 50 mm)



Verlegung im Mörtelbett:  $F = 4 \text{ kN}$  (vollflächige Verlegung)

$$m_B = \frac{m_{10} \cdot F}{10} = \frac{0,22 \cdot 4}{10} = 0,088 \text{ kNm/m}$$

$$\begin{aligned} \sigma_B &= \frac{1000 \cdot m_B \cdot 6}{d_B^2} = \frac{1000 \cdot 0,088 \cdot 6}{20^2} \\ &= 5,28 \text{ N/mm}^2 \\ &< 14,0 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\eta_L = \frac{\sigma_B}{\text{zul.}\sigma_{B,B}} = \frac{5,28}{14,0} = \mathbf{0,38}$$

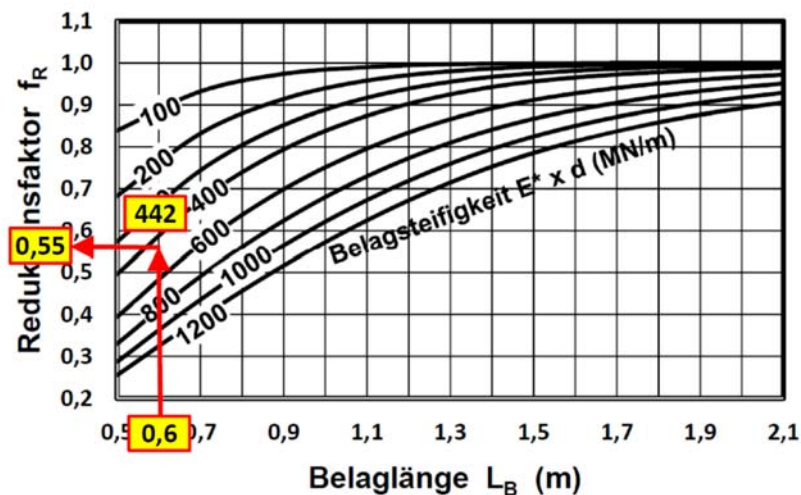
**Beanspruchung durch thermische Dehnung:**

$$E^* = \frac{d_E \cdot E_E \cdot E_B}{d_B \cdot E_B + d_E \cdot E_E} = \frac{60 \cdot 20000 \cdot 70000}{10 \cdot 70000 + 60 \cdot 20000}$$

$$= 44211 \text{ N/mm}^2$$

$$E^* \cdot d = \frac{44211 \cdot 10}{1000}$$

$$= 442 \text{ MN/m}$$



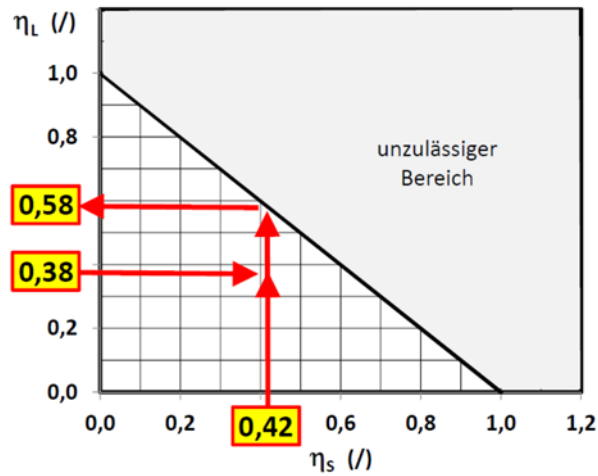
$$\Delta \varepsilon = 0,12 \text{ mm/m}$$

$$\sigma_{B,Z} = f_R \cdot E^* \cdot \frac{\Delta \varepsilon}{1000} = 0,55 \cdot 44211 \cdot \frac{0,12}{1000}$$

$$= 2,92 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_S = \frac{\sigma_{B,Z}}{\text{zul.}\sigma_{B,Z}} = \frac{2,92}{7,0} = \mathbf{0,42}$$

**Kombination von lokaler Beanspruchung und Systembeanspruchung**



**Aufnehmbare lokale Belastung:  $F = 4,00 / 0,34 \cdot 0,60 = 7,0 \text{ kN}$**

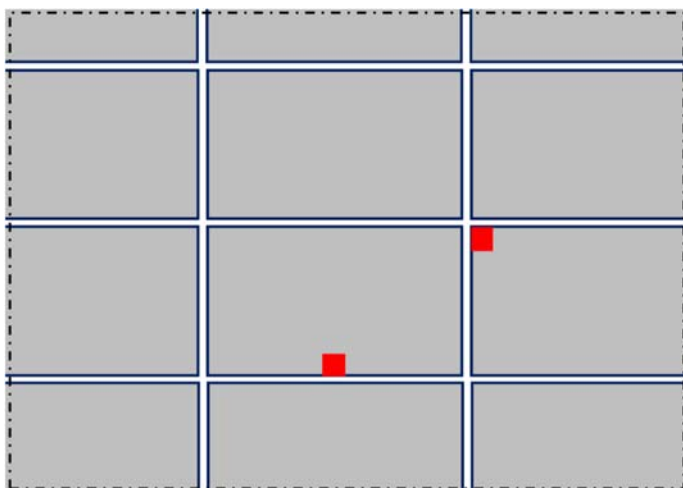
**2 Beispiel 2**

**2.1 Abmessungen**

Betonwerksteinplatten (Kreuzfuge)	$d_B = 20 \text{ mm}$
Restschwindmaß	$\Delta\varepsilon = -0,21 \text{ mm/m}$
Biegezugfestigkeit	$\beta_{BZ.} = 10,5 \text{ N/mm}^2$
Zugfestigkeit	$\beta_{ZB/2} = 5,3 \text{ N/mm}^2$
Elastizitätsmodul	$E_B = 30000 \text{ N/mm}^2$
Thermische Ausdehnung	$\alpha_T = 1,0 \text{ mm/m/100 K}$

Verlegung im Mittelbett:

horizontale Bettung	$k_H \geq 15000 \text{ MN/m}^3$
vertikale Bettung	$k_V \geq 200000 \text{ MN/m}^3$



Abmessungen:  
Platte: 500 x 750 mm

Trockenhohlboden	$d_E = 44 \text{ mm}$
Biegezugfestigkeit (Fuge)	$\beta_{BZ.} = 9 \text{ N/mm}^2$
Elastizitätsmodul	$E_E = 8000 \text{ N/mm}^2$
Thermische Ausdehnung	$\alpha_T = 1,5 \text{ mm/m/100 K}$

**2.2 Belastung**

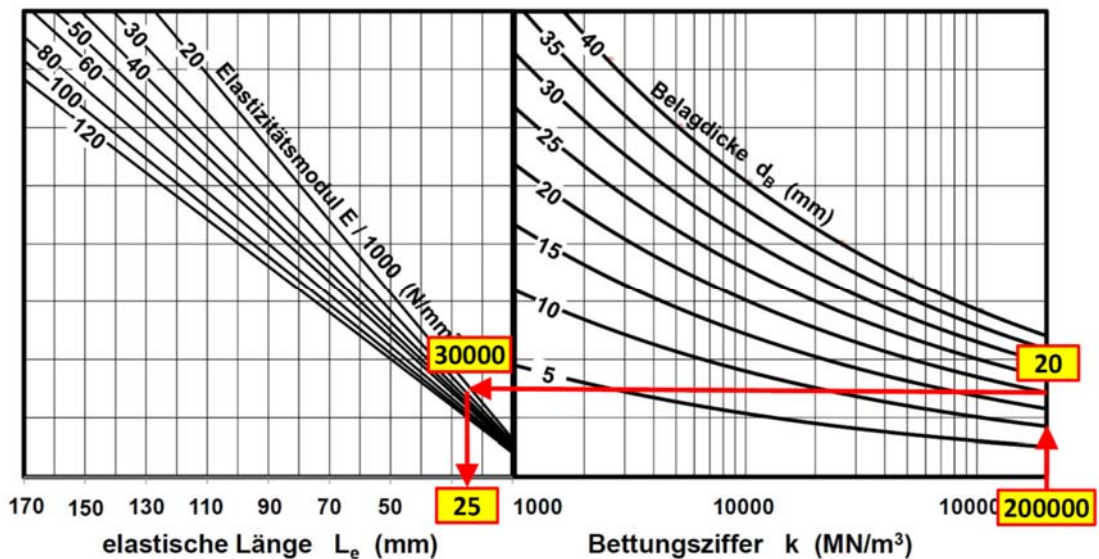
Punktbelastung	F = 3 kN
Aufstandsfläche	50 x 50 mm
Erstellungstemperatur	T <sub>E</sub> = 10°C
Raumtemperatur	T <sub>R</sub> = 20°C
Differenzverformung (Temperatur)	$\Delta\varepsilon = (1,5 - 1,0) \cdot \frac{20-10}{100}$ = 0,05 mm/m
Erstellungstemperatur	T <sub>E</sub> = 10°C (rel. Luftfeuchte 60%)
Raumtemperatur	T <sub>R</sub> = 20°C (rel. Luftfeuchte 50%)
Feuchteausdehnungskoeffizient	$\alpha_F = 0,010 \text{ mm/m}\%rF$
Differenzverformung (Schwinden HB)	$\Delta\varepsilon = 0,010 \cdot (50 - 60)$ = - 0,10 mm/m
Differenzverformung (Schwinden Belag)	$\Delta\varepsilon = 0,21 \text{ mm/m}$
Gesamte Verformungsdifferenz	$\Delta\varepsilon = 0,05 - 0,10 + 0,21 = 0,16 \text{ mm/m}$

**2.3 Bemessung Belag**

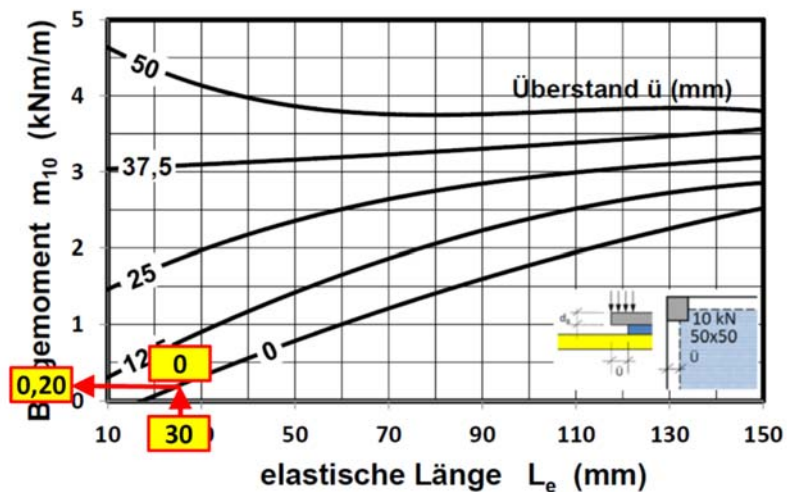
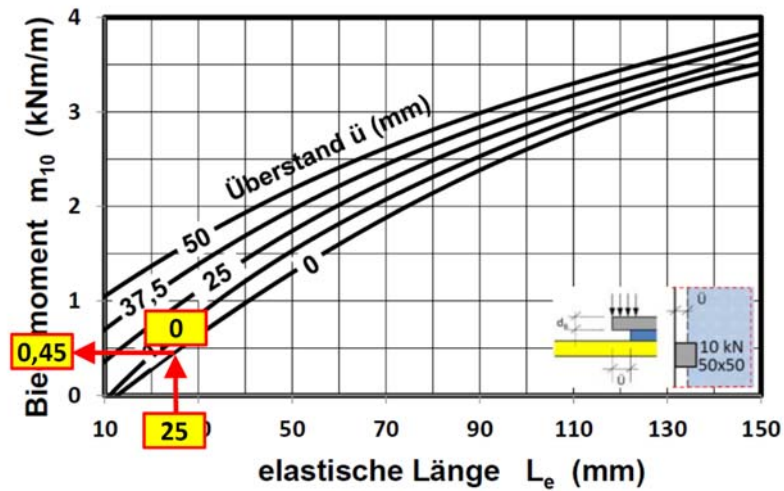
Für den Belag werden die Einflüsse aus thermischen Dehnung von Belag und Estrich und Schwinden des Belages untersucht.

$$\text{zul. } \sigma_{B,B} = \frac{\beta_{BZ}}{\gamma} = \frac{10,5}{1,5} = 7,0 \text{ N/mm}^2 \text{ (Biegefestigkeit)}$$

$$\text{zul. } \sigma_{B,Z} \approx \frac{\beta_{BZ}}{2 \cdot \gamma} = \frac{10,5}{2 \cdot 1,5} = 3,5 \text{ N/mm}^2 \text{ (Zugfestigkeit)}$$



**lokale Beanspruchung (Aufstandsfläche 50 x 50 mm)**



Verlegung im Mörtelbett:  $F = 3 \text{ kN}$  (vollflächige Verlegung)

$$m_B = \frac{m_{10} \cdot F}{10} = \frac{0,45 \cdot 3}{10} = 0,135 \text{ kNm/m}$$

$$\sigma_B = \frac{1000 \cdot m_B \cdot 6}{d_B^2} = \frac{1000 \cdot 0,135 \cdot 6}{20^2}$$

$$= 2,03 \text{ N/mm}^2$$

$$< 7,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_L = \frac{\sigma_B}{\text{zul.} \sigma_{B,B}} = \frac{2,03}{7,0} = 0,29$$

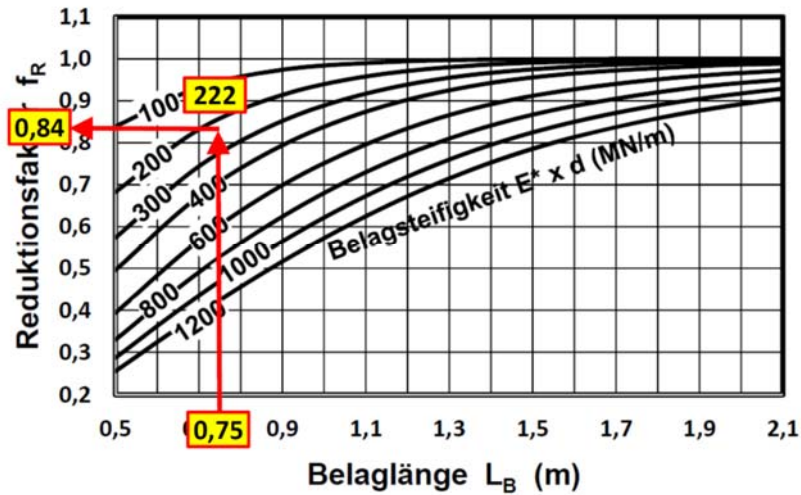
**Beanspruchung durch thermische Dehnung und Schwinden des Belages:**

$$E^* = \frac{d_E \cdot E_E \cdot E_B}{d_B \cdot E_B + d_E \cdot E_E} = \frac{44 \cdot 8000 \cdot 30000}{20 \cdot 30000 + 44 \cdot 8000} = 11092 \text{ N/mm}^2$$



$$E^* \cdot d = \frac{11092 \cdot 20}{1000}$$

$$= 222 \text{ MN/m}$$



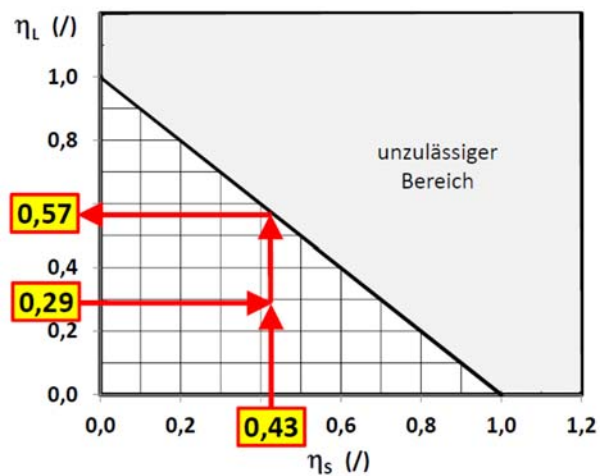
$$\Delta \varepsilon = 0,16 \text{ mm/m}$$

$$\sigma_{B,Z} = f_R \cdot E^* \cdot \frac{\Delta \varepsilon}{1000} = 0,84 \cdot 11092 \cdot \frac{0,16}{1000}$$

$$= 1,49 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_s = \frac{\sigma_{B,Z}}{\text{zul.} \sigma_{B,Z}} = \frac{1,49}{7,0} = 0,43$$

**Kombination von lokaler Beanspruchung und Systembeanspruchung**



**Aufnehmbare lokale Belastung:  $F = 3,00 / 0,29 \cdot 0,57 = 5,9 \text{ kN}$**

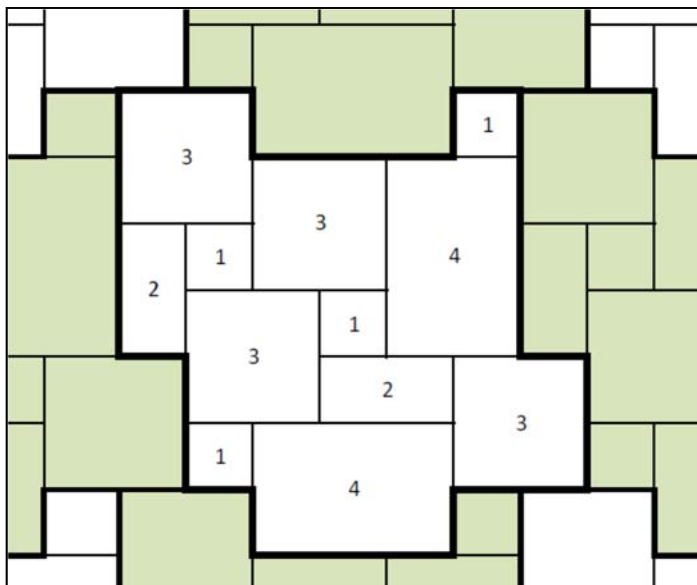
**3 Beispiel 3**

**3.1 Abmessungen**

Feinsteinzeug	$d_B = 13 \text{ mm}$
Biegezugfestigkeit	$\beta_{BZ} = 37,0 \text{ N/mm}^2$
Zugfestigkeit	$\beta_{ZB}/2 = 18,5 \text{ N/mm}^2$
Elastizitätsmodul	$E_B = 50000 \text{ N/mm}^2$
Thermische Ausdehnung	$\alpha_T = 0,7 \text{ mm/m/100 K}$

Verlegung ohne Entkopplung:

horizontale Bettung	$k_H \geq 15000 \text{ MN/m}^3$
vertikale Bettung	$k_V \geq 200000 \text{ MN/m}^3$

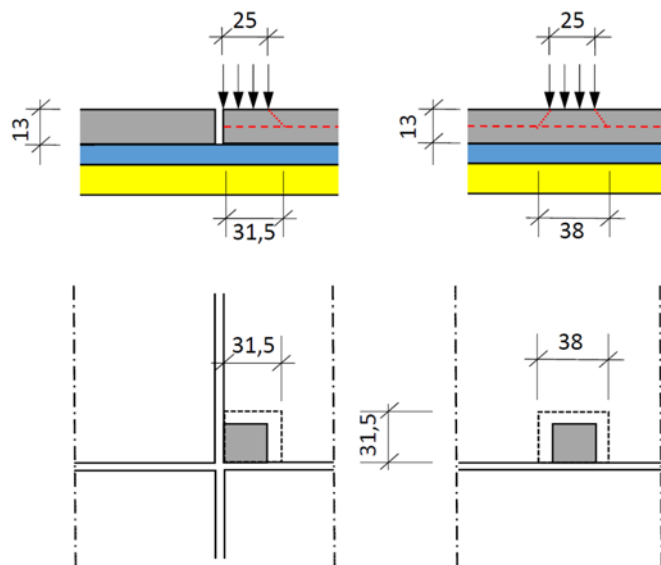


Abmessungen (B / L):  
 Platte 1: 197 x 197 mm  
 Platte 2: 197 x 397 mm  
 Platte 3: 397 x 397 mm  
 Platte 4: 397 x 597 mm

Calciumsulfattheizestrich	$d_E = 65 \text{ mm}$
Biegezugfestigkeit	$\sigma_{BZ, Best} = 7 \text{ N/mm}^2$
Elastizitätsmodul	$E_E = 20000 \text{ N/mm}^2$
Thermische Ausdehnung	$\alpha_T = 1,5 \text{ mm/m/100 K}$

**3.2 Belastung**

Punktbelastung	$F = 5 \text{ kN}$ (Radlast Hubwagen)
Aufstandsfläche	25 x 25 mm
Erstellungstemperatur	$T_E = 10^\circ\text{C}$
Raumtemperatur	$T_R = 25^\circ\text{C}$
Differenzverformung	$\Delta\varepsilon = (1,5 - 0,7) \cdot \frac{25-10}{100}$ $= 0,12 \text{ mm/m}$



**Ermittlung der rechnerischen Aufstandsfläche:**

$$a_R = a + \frac{2 \cdot d_B}{2} = 25 + \frac{2 \cdot 13}{2} = 38,0 \text{ mm}$$

$$\leq 50 \text{ mm}$$

$$b_R = a + \frac{d_B}{2} = 25 + \frac{13}{2} = 31,5 \text{ mm}$$

$$\leq 50 \text{ mm}$$

Die Momentenbeiwerte werden über eine Interpolation zwischen den Aufstandsweiten 25 mm und 50 mm ermittelt.

**3.3 Bemessung Belag**

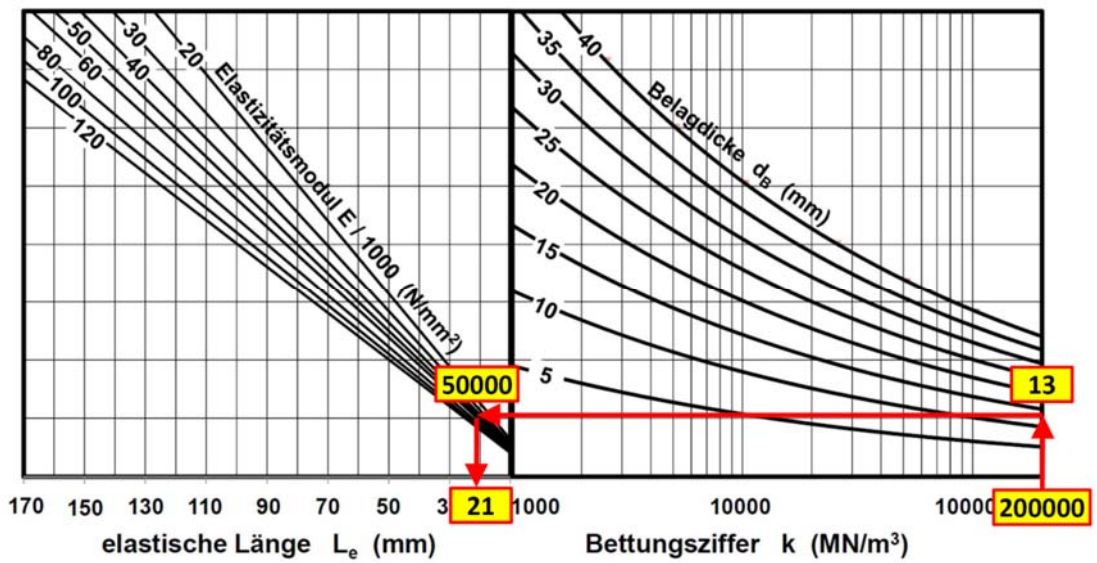
Die erforderliche Belagdicke kann vereinfachend für Beläge ohne Entkopplung nach dem ZDB-Merkblatt „Mechanisch hoch belastbare keramische Bodenbeläge“ über eine erforderliche Bruchlast ermittelt werden. Der Belag ist in die Belastungsgruppe III einzuordnen. Es wird eine Bruchlast von 4000 N angenommen. Hieraus ergibt sich eine erforderliche Plattendicke nach ZDB-Merkblatt von:

Erforderliche Belagdicke:  $d = \sqrt{\frac{1,35 \cdot F}{\beta_{BZ}}} = \sqrt{\frac{1,35 \cdot 4000}{37}} = 12,1 \text{ mm}$

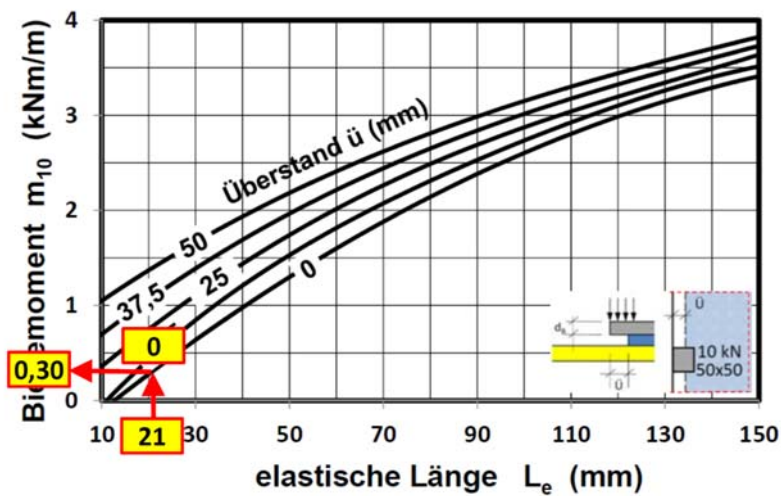
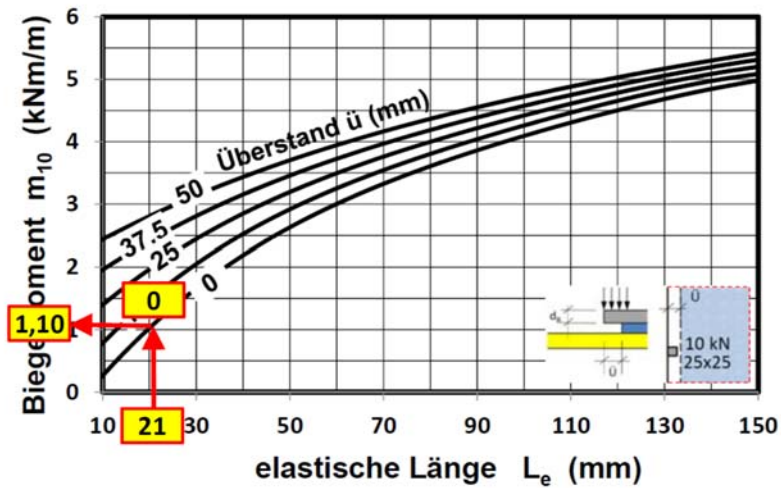
Alternativ erfolgt der Nachweis für den Belag über die auftretenden Schnittgrößen für die vorgesehene Belastung. Zusätzlich wird der Einfluss unterschiedlichen thermischen Ausdehnung von Belag und Estrich berücksichtigt.

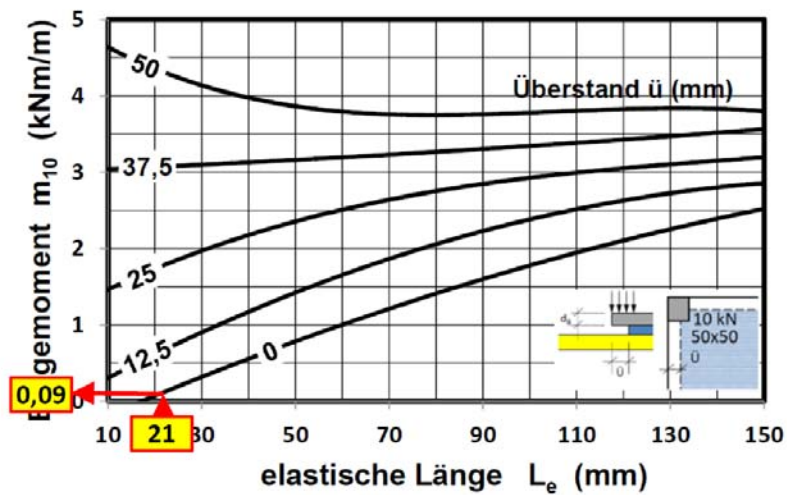
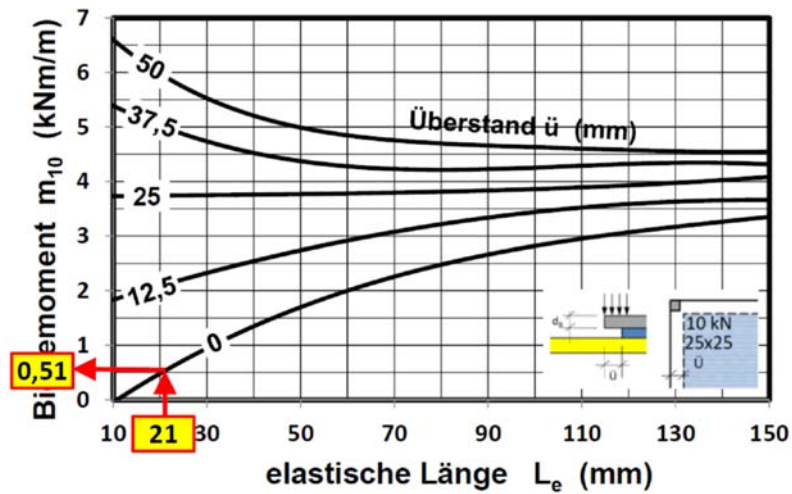
$zul. \sigma_{B,B} = \frac{\beta_{BZ}}{\gamma} = \frac{37,0}{1,5} = 24,7 \text{ N/mm}^2$  (Biegefestigkeit)

$zul. \sigma_{B,Z} \approx \frac{\beta_{BZ}}{2 \cdot \gamma} = \frac{37,0}{2 \cdot 1,5} = 12,3 \text{ N/mm}^2$  (Zugfestigkeit)



**lokale Beanspruchung**





Die lokale Beanspruchung wird für die Aufstandsflächen 25 mm x 25 mm und 50 mm x 50 mm ermittelt. Die Interpolation erfolgt über die größte Seitenlänge der Aufstandsfläche.

Lage der Last	Seitenlänge	$m_{10}$	$m_{10,erm.}$
	$a_R$ bzw. $b_R$		
	mm	kNm/m	kNm/m
Rand	25	1,10	
	38		0,68
	50	0,30	
Ecke	25	0,51	
	31,5		0,41
	50	0,09	

Verlegung im Mörtelbett:  $F = 4 \text{ kN}$  (vollflächige Verlegung)

$$m_B = \frac{m_{10,erm} \cdot F}{10} = \frac{0,68 \cdot 5}{10} = 0,340 \text{ kNm/m}$$

$$\sigma_B = \frac{1000 \cdot m_B \cdot 6}{d_B^2} = \frac{1000 \cdot 0,340 \cdot 6}{13^2}$$

$$= 12,01 \text{ N/mm}^2$$

$$< 24,7 \text{ N/mm}^2$$

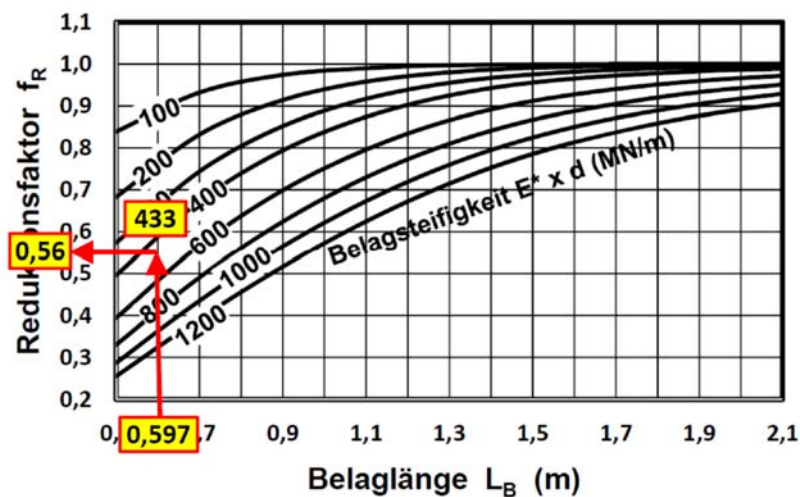
$$\eta_L = \frac{\sigma_B}{zul.\sigma_{B,B}} = \frac{12,01}{24,7} = \mathbf{0,48}$$

**Beanspruchung durch thermische Dehnung:**

$$E^* = \frac{d_E \cdot E_E \cdot E_B}{d_B \cdot E_B + d_E \cdot E_E} = \frac{65 \cdot 20000 \cdot 50000}{13 \cdot 50000 + 65 \cdot 20000} = 33333 \text{ N/mm}^2$$

$$E^* \cdot d = \frac{33333 \cdot 13}{1000}$$

$$= 433 \text{ MN/m}$$



$$\Delta \varepsilon = 0,12 \text{ mm/m}$$

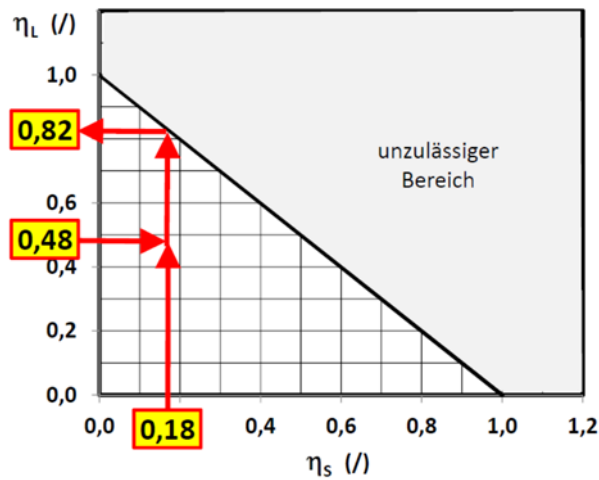
$$\sigma_{B,Z} = f_R \cdot E^* \cdot \frac{\Delta \varepsilon}{1000} = 0,56 \cdot 33333 \cdot \frac{0,12}{1000}$$

$$= 2,23 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_s = \frac{\sigma_{B,Z}}{zul.\sigma_{B,Z}} = \frac{2,23}{12,3} = \mathbf{0,18}$$



**Kombination von lokaler Beanspruchung und Systembeanspruchung**



**Aufnehmbare lokale Belastung:  $F = 5,00 / 0,48 \cdot 0,82 = 8,5 \text{ kN}$**

**4 Beispiel 4**

**4.1 Abmessungen**

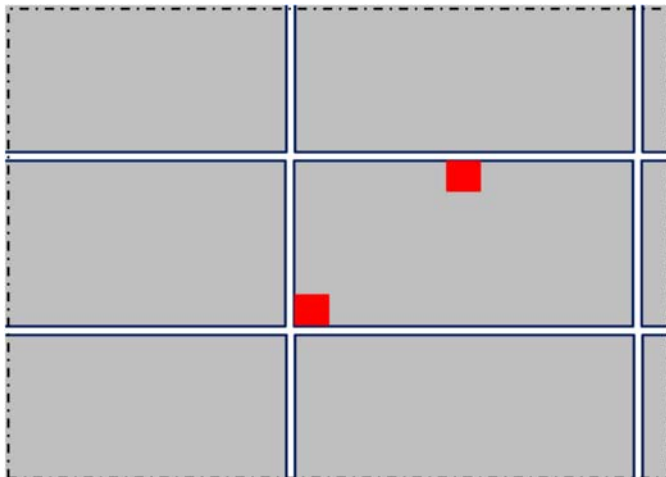
Betonwerksteinplatten (Kreuzfuge)	$d_B = 30 \text{ mm}$
Restschwindmaß	$\Delta\varepsilon = 0,21 \text{ mm/m}$
Biegezugfestigkeit	$\beta_{BZ.} = 9,0 \text{ N/mm}^2$
Zugfestigkeit	$\beta_{ZB/2} = 4,5 \text{ N/mm}^2$
Elastizitätsmodul	$E_B = 30000 \text{ N/mm}^2$
Thermische Ausdehnung	$\alpha_T = 1,0 \text{ mm/m/100 K}$

Verlegung im Mittelbett:

horizontale Bettung	$k_H \geq 15000 \text{ MN/m}^3$
vertikale Bettung	$k_V \geq 200000 \text{ MN/m}^3$

Verlegung mit Entkopplung:

horizontale Bettung	$k_H \geq 160 \text{ MN/m}^3$
vertikale Bettung	$k_V \geq 14000 \text{ MN/m}^3$



Abmessungen:  
Platte: 1500 x 1000 mm

Calciumsulfatestrich	$d_E = 60 \text{ mm}$
Biegezugfestigkeit	$\sigma_{BZ, Best} = 7 \text{ N/mm}^2$
Elastizitätsmodul	$E_E = 20000 \text{ N/mm}^2$
Thermische Ausdehnung	$\alpha_T = 1,5 \text{ mm/m/100 K}$

## 4.2 Belastung

Punktbelastung	$F = 3 \text{ kN}$
Aufstandsfläche	$50 \times 50 \text{ mm}$
Erstellungstemperatur	$T_E = 10^\circ\text{C}$
Raumtemperatur	$T_R = 20^\circ\text{C}$

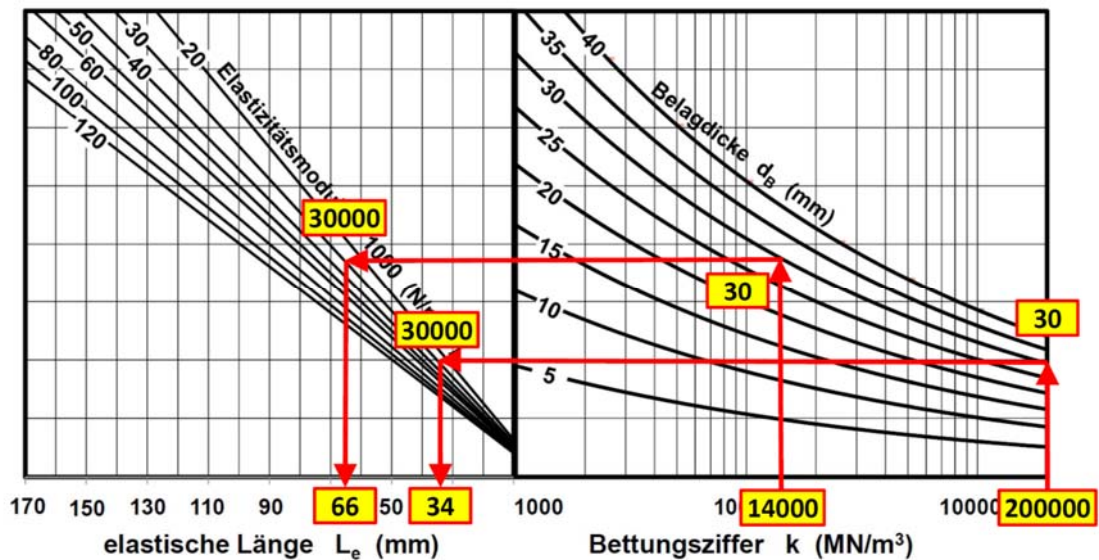
Differenzverformung (Temperatur)	$\Delta\varepsilon = (1,5 - 1,0) \cdot \frac{20-10}{100}$ $= 0,05 \text{ mm/m}$
Differenzverformung (Schwinden)	$\Delta\varepsilon = 0,21 \text{ mm/m}$
Gesamte Verformungsdifferenz	$\Delta\varepsilon = 0,05 + 0,21 = 0,26 \text{ mm/m}$

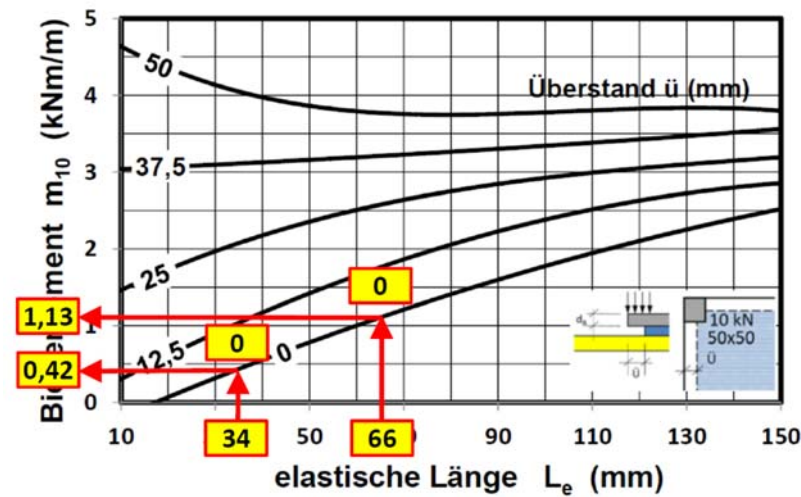
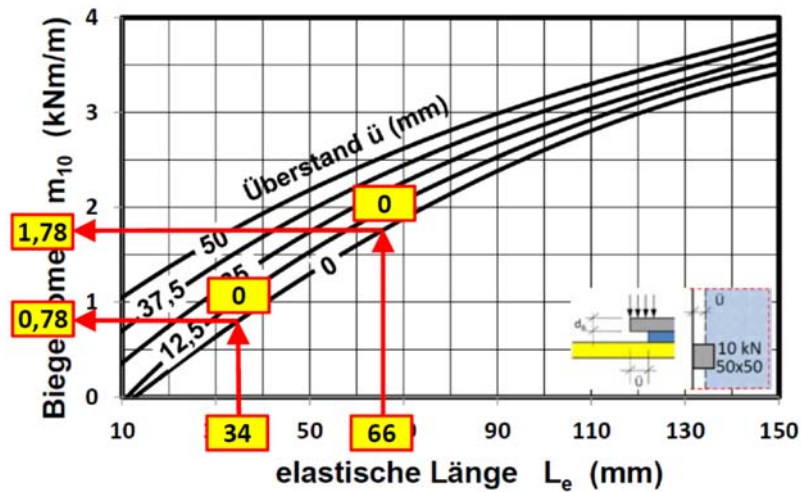
## 4.3 Bemessung Belag

Für den Belag werden die Einflüsse aus thermischer Dehnung von Belag und Estrich und das Schwinden des Belages untersucht.

$$\text{zul. } \sigma_{B,B} = \frac{\beta_{BZ}}{\gamma} = \frac{9,0}{1,5} = 6,0 \text{ N/mm}^2 \text{ (Biegefestigkeit)}$$

$$\text{zul. } \sigma_{B,Z} \approx \frac{\beta_{BZ}}{2 \cdot \gamma} = \frac{9,0}{2 \cdot 1,5} = 3,0 \text{ N/mm}^2 \text{ (Zugfestigkeit)}$$





Verlegung im Mörtelbett:  $F = 3 \text{ kN}$  (vollflächige Verlegung)

$$m_B = \frac{m_{10} \cdot F}{10} = \frac{0,78 \cdot 3}{10} = 0,230 \text{ kNm/m}$$

$$\sigma_B = \frac{1000 \cdot m_B \cdot 6}{d_B^2} = \frac{1000 \cdot 0,230 \cdot 6}{30^2}$$

$$= 1,60 \text{ N/mm}^2$$

$$< 6,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_L = \frac{\sigma_B}{\text{zul.} \sigma_{B,B}} = \frac{1,60}{6,0} = 0,27$$

Verlegung im Mörtelbett:  $F = 3 \text{ kN}$  (mit Entkopplung)

$$m_B = \frac{m_{10} \cdot F}{10} = \frac{1,78 \cdot 3}{10} = 0,534 \text{ kNm/m}$$

$$\begin{aligned}\sigma_B &= \frac{1000 \cdot m_B \cdot 6}{d_B^2} = \frac{1000 \cdot 0,534 \cdot 6}{30^2} \\ &= 3,56 \text{ N/mm}^2 \\ &< 6,0 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$\eta_L = \frac{\sigma_B}{\text{zul.}\sigma_{B,B}} = \frac{3,56}{6,0} = \mathbf{0,59}$$

**Beanspruchung durch thermische Dehnung und Schwinden der Bodenkonstruktion:**

$$E^* = \frac{d_E \cdot E_E \cdot E_B}{d_B \cdot E_B + d_E \cdot E_E} = \frac{60 \cdot 20000 \cdot 30000}{30 \cdot 30000 + 60 \cdot 20000} = 17143 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}E^* \cdot d &= \frac{17143 \cdot 30}{1000} \\ &= 514 \text{ MN/m}\end{aligned}$$

**Beanspruchung durch thermische Dehnung und Schwinden (ohne Entkopplung):**

$$\begin{aligned}E^* \cdot d &= 400 \text{ MN/m:} & \text{Zwängungskraft} &= 38,0 \text{ kN/m} \\ E^* \cdot d &= 600 \text{ MN/m:} & \text{Zwängungskraft} &= 59,0 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_Z &= 38,0 + \frac{59,0 - 38,0}{600 - 400} \cdot (514 - 400) \\ &= 50,0 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Gesamte Verformungsdifferenz  $\Delta\varepsilon = 0,26 \text{ mm/m}$

$$\begin{aligned}\sigma_{B,Z} &= \frac{F_Z}{d_B} \cdot \frac{\Delta\varepsilon}{0,1} = \frac{50,0}{30} \cdot \frac{0,26}{0,1} \\ &= \mathbf{4,33 \text{ N/mm}^2} \\ &> \mathbf{3,0 \text{ N/mm}^2}\end{aligned}$$

$$\eta_s = \frac{\sigma_{B,Z}}{\text{zul.}\sigma_{B,Z}} = \frac{4,33}{3,0} = \mathbf{1,44}$$

**Beanspruchung durch thermische Dehnung und Schwinden (mit Entkopplung):**

$$\begin{aligned}E^* \cdot d &= 400 \text{ MN/m:} & \text{Zwängungskraft} &= 4,5 \text{ kN/m} \\ E^* \cdot d &= 600 \text{ MN/m:} & \text{Zwängungskraft} &= 3,0 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_Z &= 3,0 + \frac{4,5 - 3,0}{600 - 400} \cdot (514 - 400) \\ &= 3,9 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

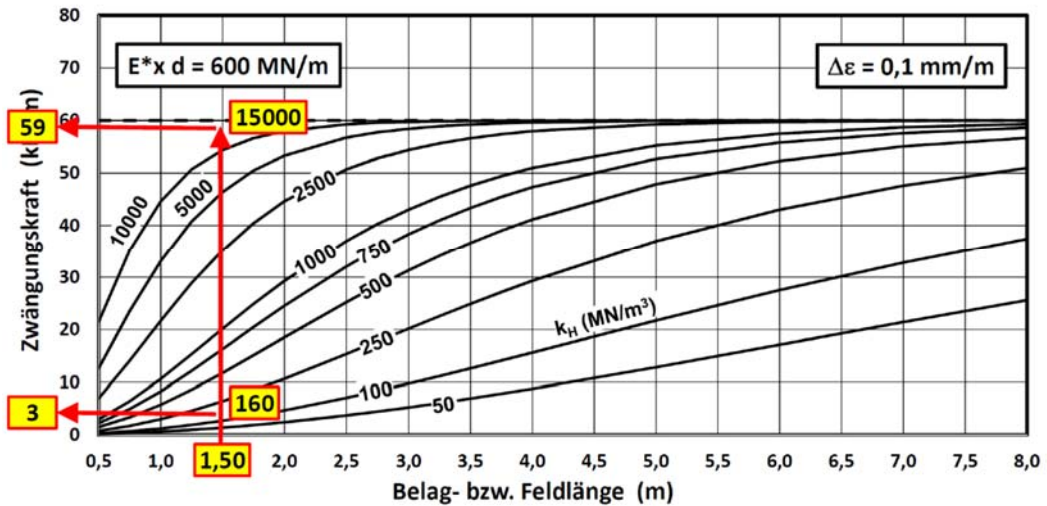
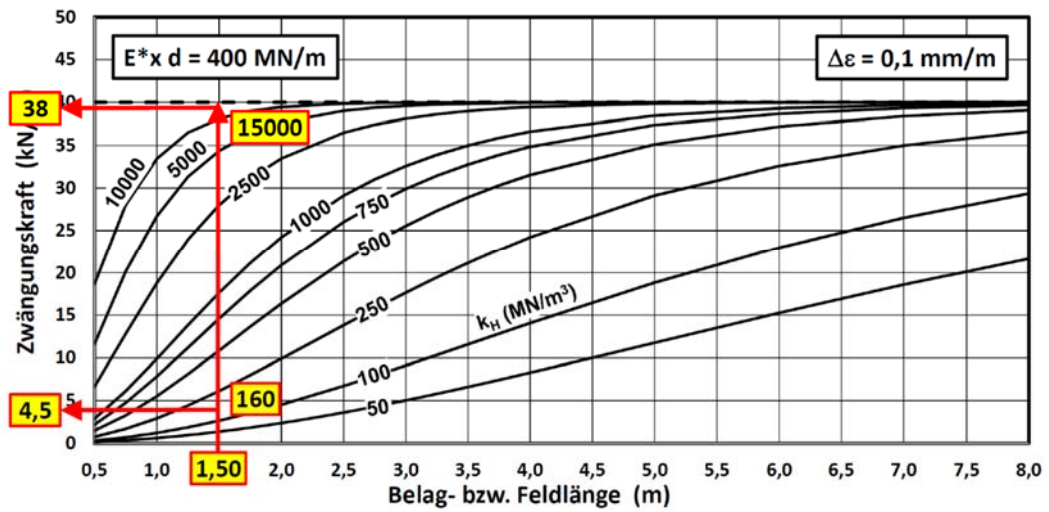
Gesamte Verformungsdifferenz  $\Delta\varepsilon = 0,26 \text{ mm/m}$

$$\sigma_{B,Z} = \frac{F_Z}{d_B} \cdot \frac{\Delta\varepsilon}{0,1} = \frac{3,9}{30} \cdot \frac{0,26}{0,1}$$

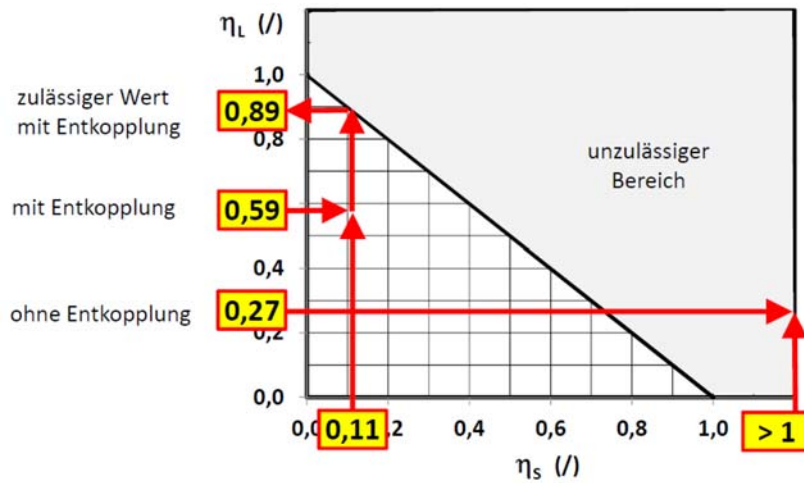
$$= 0,34 \text{ N/mm}^2$$

$$< 3,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_s = \frac{\sigma_{B,Z}}{\text{zul.}\sigma_{B,Z}} = \frac{0,34}{3,0} = 0,11$$



**Kombination von lokaler Beanspruchung und Systembeanspruchung**



**Aufnehmbare lokale Belastung:**  $F = 3,00 / 0,59 \cdot 0,89 = 4,5 \text{ kN}$

**5 Beispiel 5**

**5.1 Abmessungen**

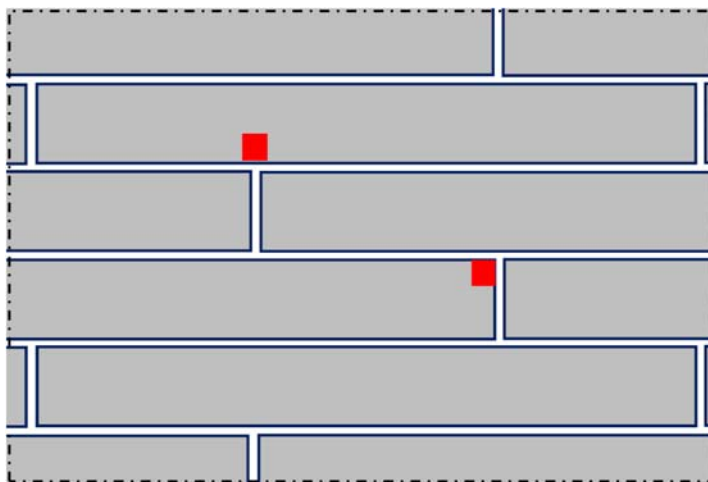
Naturwerkstein (Dielenformat)	$d_B = 20 \text{ mm}$
Biegezugfestigkeit	$\beta_{BZ.} = 15,0 \text{ N/mm}^2$
Zugfestigkeit	$\beta_{ZB}/2 = 7,5 \text{ N/mm}^2$
Elastizitätsmodul	$E_B = 60000 \text{ N/mm}^2$
Thermische Ausdehnung	$\alpha_T = 0,8 \text{ mm/m/100 K}$

Verlegung im Dünnbett:

horizontale Bettung	$k_H \geq 15000 \text{ MN/m}^3$
vertikale Bettung	$k_V \geq 200000 \text{ MN/m}^3$

Verlegung mit Entkopplung:

horizontale Bettung	$k_H \geq 2500 \text{ MN/m}^3$
vertikale Bettung	$k_V \geq 25000 \text{ MN/m}^3$



Abmessungen:  
Platte: 2700 x 300 mm

Calciumsulfatestrich	$d_E = 65 \text{ mm}$
Biegezugfestigkeit	$\sigma_{BZ, Best} = 7 \text{ N/mm}^2$
Elastizitätsmodul	$E_E = 20000 \text{ N/mm}^2$
Thermische Ausdehnung	$\alpha_T = 1,5 \text{ mm/m/100 K}$



## 5.2 Belastung

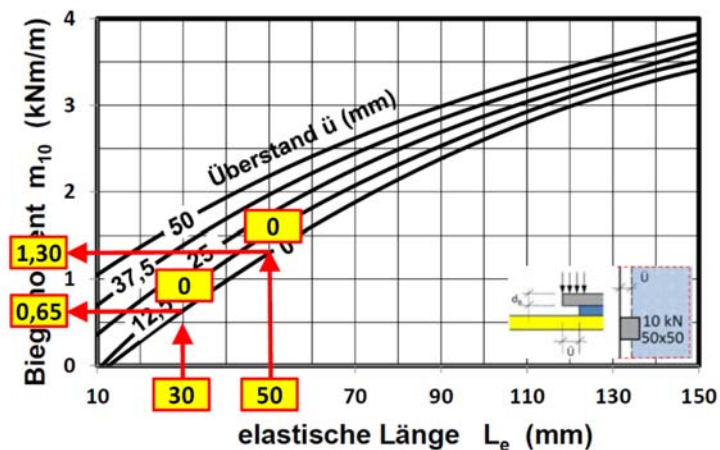
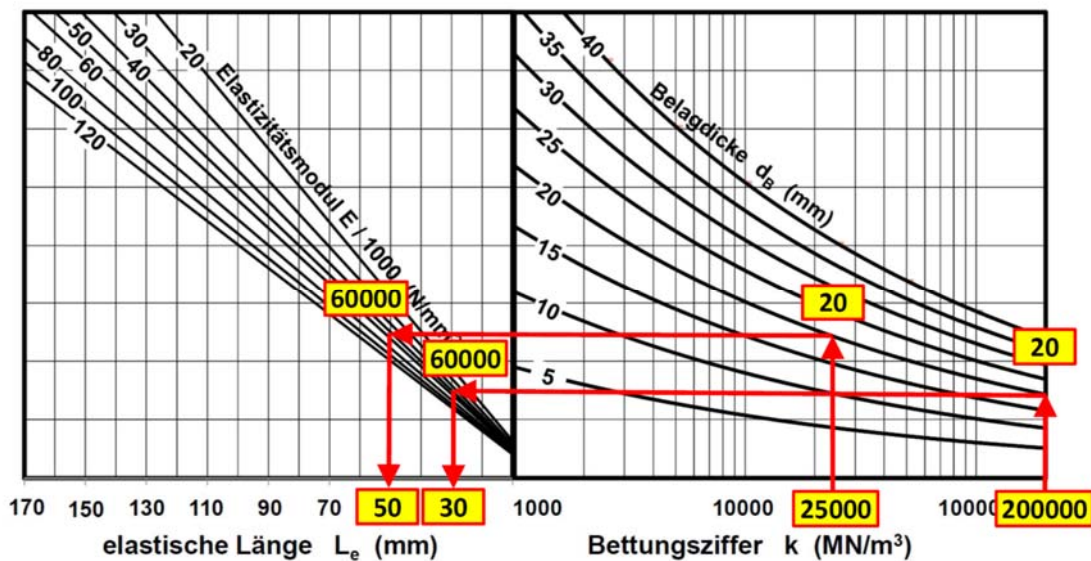
Flächenbelastung	$q_k = 4 \text{ kN/m}^2$
Punktbelastung	$F = 3 \text{ kN}$
Aufstandsfläche	$50 \times 50 \text{ mm}$
Erstellungstemperatur	$T_E = 10 \text{ }^\circ\text{C}$
Nutzungstemperatur	$T_N = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
Temperaturdifferenz	$\Delta T = 25 - 10 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$
Differenzverformung (Temperatur)	$\Delta \varepsilon = (1,5 - 0,8) \cdot \frac{25-10}{100}$
Differenzverformung	$\Delta \varepsilon = 0,11 \text{ mm/m}$

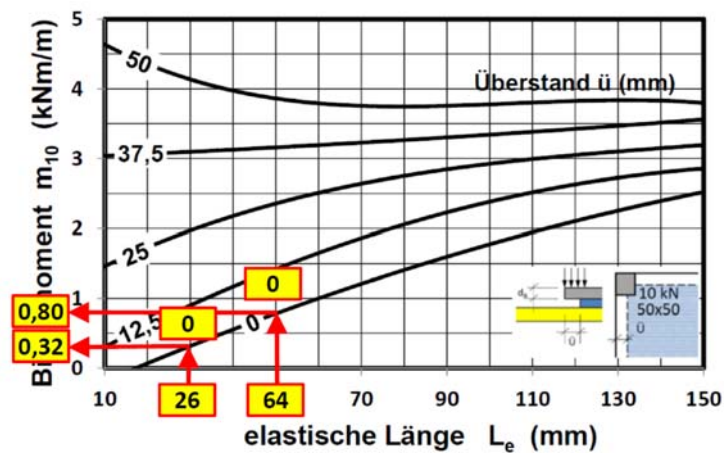
## 5.3 Bemessung Belag

Für den Belag wird der Einfluss der thermischen Ausdehnung von Belag und Estrich untersucht.

$$\text{zul. } \sigma_{B,B} = \frac{\beta_{BZ}}{\gamma} = \frac{15,0}{1,5} = 10,0 \text{ N/mm}^2 \text{ (Biegefestigkeit)}$$

$$\text{zul. } \sigma_{B,Z} \approx \frac{\beta_{BZ}}{2 \cdot \gamma} = \frac{15,0}{2 \cdot 1,5} = 5,0 \text{ N/mm}^2 \text{ (Zugfestigkeit)}$$





Verlegung im Mörtelbett:  $F = 3 \text{ kN}$  (vollflächige Verlegung)

$$m_B = \frac{m_{10} \cdot F}{10} = \frac{0,63 \cdot 3}{10} = 0,189 \text{ kNm/m}$$

$$\sigma_B = \frac{1000 \cdot m_B \cdot 6}{d_B^2} = \frac{1000 \cdot 0,189 \cdot 6}{20^2}$$

$$= 2,84 \text{ N/mm}^2$$

$$< 10,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_L = \frac{\sigma_B}{\text{zul.}\sigma_{B,B}} = \frac{2,84}{10,0} = \mathbf{0,28}$$

Verlegung im Mörtelbett:  $F = 3 \text{ kN}$  (mit Entkopplung)

$$m_B = \frac{m_{10} \cdot F}{10} = \frac{1,30 \cdot 3}{10} = 0,390 \text{ kNm/m}$$

$$\sigma_B = \frac{1000 \cdot m_B \cdot 6}{d_B^2} = \frac{1000 \cdot 0,390 \cdot 6}{20^2}$$

$$= 5,85 \text{ N/mm}^2$$

$$< 10,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_L = \frac{\sigma_B}{\text{zul.}\sigma_{B,B}} = \frac{5,85}{10,0} = \mathbf{0,59}$$

**Beanspruchung durch thermische Dehnung der Bodenkonstruktion:**

$$E^* = \frac{d_E \cdot E_E \cdot E_B}{d_B \cdot E_B + d_E \cdot E_E} = \frac{65 \cdot 20000 \cdot 60000}{20 \cdot 60000 + 65 \cdot 20000}$$

$$= 31200 \text{ N/mm}^2$$

$$E^* \cdot d = \frac{31200 \cdot 20}{1000}$$

$$= 624 \text{ MN/m}$$

**Beanspruchung (ohne Entkopplung):**

$$E^* \cdot d = 600 \text{ MN/m:} \quad \text{Zwängungskraft} = 60,0 \text{ kN/m}$$

$$E^* \cdot d = 800 \text{ MN/m:} \quad \text{Zwängungskraft} = 79,0 \text{ kN/m}$$

$$F_z = 60,0 + \frac{79,0 - 60,0}{800 - 600} \cdot (624 - 600)$$

$$= 62,3 \text{ kN/m}$$

Gesamte Verformungsdifferenz  $\Delta\varepsilon = 0,11 \text{ mm/m}$

$$\sigma_{B,Z} = \frac{F_z}{d_B} \cdot \frac{\Delta\varepsilon}{0,1} = \frac{62,3}{20} \cdot \frac{0,11}{0,1}$$

$$= 3,43 \text{ N/mm}^2$$

$$< 5,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_s = \frac{\sigma_{B,Z}}{\text{zul.}\sigma_{B,Z}} = \frac{3,43}{5,0} = 0,69 \text{ (Kreuzfuge)}$$

Bei dem geplanten Läuferverband erhöht sich die systembedingte Spannung im Belag etwa auf den doppelten Wert.

$$\eta_s = 1,38 \text{ (Läuferverband)}$$

**Beanspruchung (mit Entkopplung):**

$$E^* \cdot d = 600 \text{ MN/m:} \quad \text{Zwängungskraft} = 52,0 \text{ kN/m}$$

$$E^* \cdot d = 800 \text{ MN/m:} \quad \text{Zwängungskraft} = 66,0 \text{ kN/m}$$

$$F_z = 52,0 + \frac{66,0 - 52,0}{800 - 600} \cdot (624 - 600)$$

$$= 53,7 \text{ kN/m}$$

Gesamte Verformungsdifferenz  $\Delta\varepsilon = 0,11 \text{ mm/m}$

$$\sigma_{B,Z} = \frac{F_z}{d_B} \cdot \frac{\Delta\varepsilon}{0,1} = \frac{53,7}{20} \cdot \frac{0,11}{0,1}$$

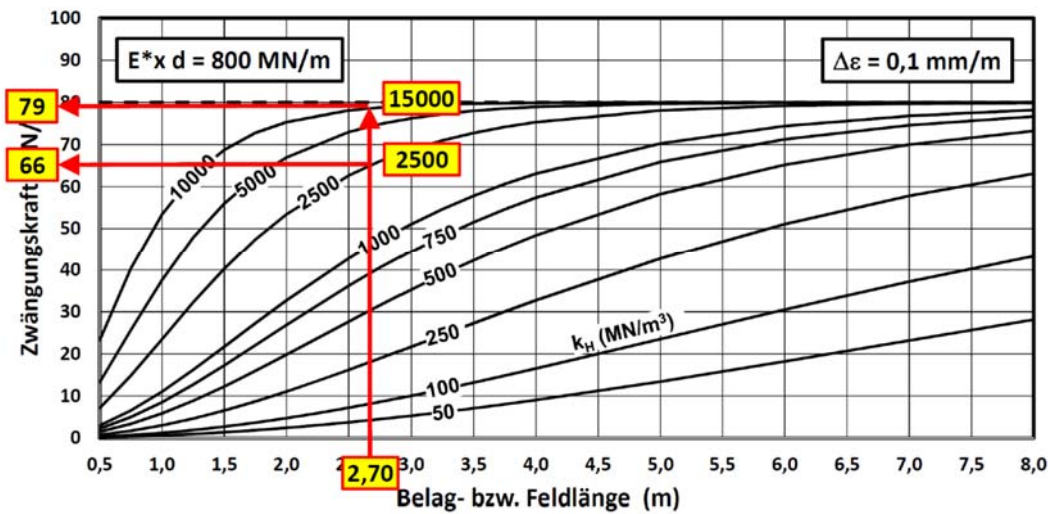
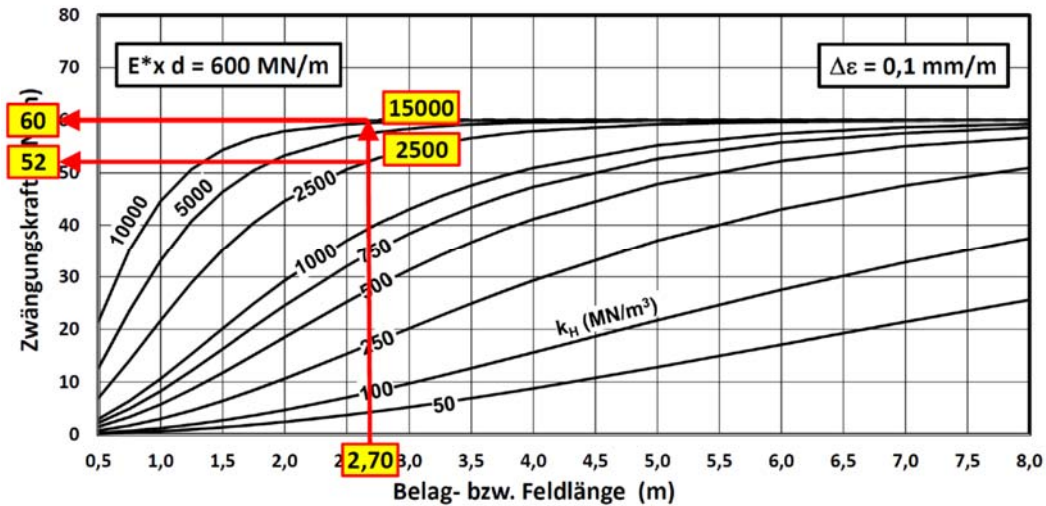
$$= 2,95 \text{ N/mm}^2$$

$$< 5,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_s = \frac{\sigma_{B,Z}}{\text{zul.}\sigma_{B,Z}} = \frac{2,95}{5,0} = 0,59$$

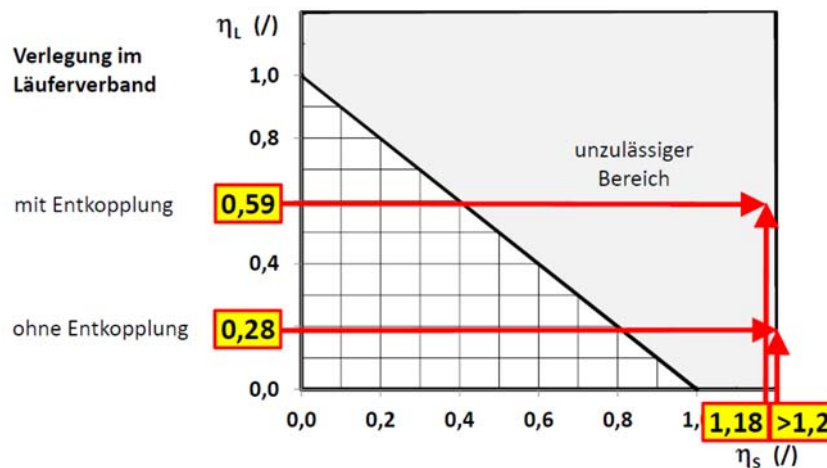
Bei dem geplanten Läuferverband erhöht sich die systembedingte Spannung im Belag etwa auf den doppelten Wert.

$\eta_s = 1,18$  (Läuferverband)

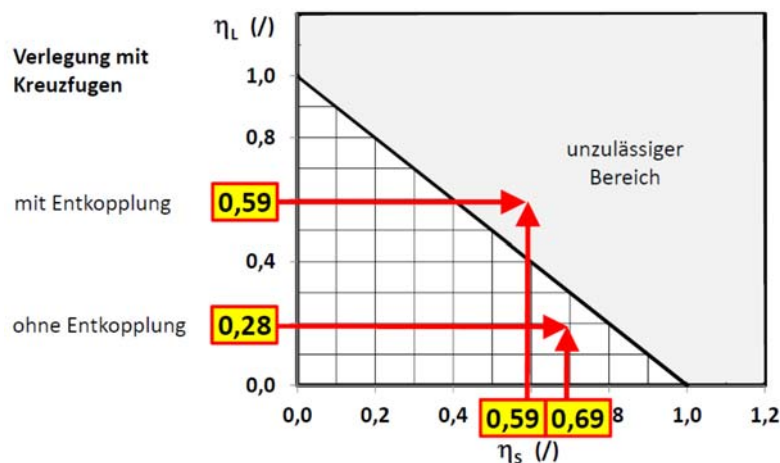


**Kombination von lokaler Beanspruchung und Systembeanspruchung**

Bei dem geplanten Läuferverband und den angenommenen Temperaturverhältnissen auf der Baustelle ergibt sich für eine Verlegung im Läuferverband keine ausreichende Sicherheit.



Die Verlegung ohne Entkopplung mit Kreuzfugen führt zu einer ausreichenden Sicherheit. Gleichwertig zur Verlegung mit Kreuzfugen ist das Heizen des Estrichs auf eine Temperatur von 17,5 °C vor der Verlegung. In diesem Fall reduziert sich die maximale Verformungsdifferenz auf  $\Delta\varepsilon = 0,055 \text{ mm/m}$ . Eine Verlegung im Läuferverband wäre unter diesen Bedingungen möglich.



**6 Beispiel 6**

**6.1 Abmessungen**

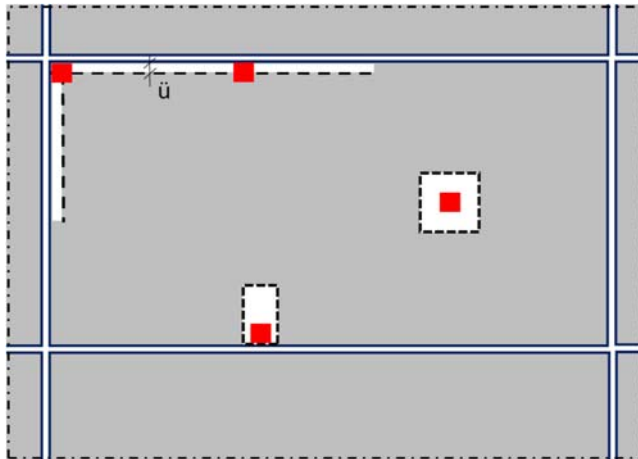
Feinsteinzeug	$d_B = 5 \text{ mm}$
Biegezugfestigkeit	$\beta_{BZ.} = 45,0 \text{ N/mm}^2$
Zugfestigkeit	$\beta_{ZB/2} = 22,5 \text{ N/mm}^2$
Elastizitätsmodul	$E_B = 60000 \text{ N/mm}^2$
Thermische Ausdehnung	$\alpha_T = 0,7 \text{ mm/m/100 K}$

Verlegung im Dünnbett:

horizontale Bettung	$k_H \geq 15000 \text{ MN/m}^3$
vertikale Bettung	$k_V \geq 200000 \text{ MN/m}^3$

Verlegung mit Entkopplung Typ:

horizontale Bettung	$k_H \geq 160 \text{ MN/m}^3$
vertikale Bettung	$k_V \geq 14000 \text{ MN/m}^3$



Abmessungen:  
 Platte: 3000 x 1500 mm

Calciumsulfatestrich	$d_E = 65 \text{ mm}$
Biegezugfestigkeit	$\sigma_{BZ, Best} = 7 \text{ N/mm}^2$
Elastizitätsmodul	$E_E = 20000 \text{ N/mm}^2$
Thermische Ausdehnung	$\alpha_T = 1,5 \text{ mm/m/100 K}$
Hohlage Rand, Ecke und Randmitte	$\ddot{u} = 12,5 \text{ mm}$
Hohlage Plattenmitte	$\ddot{u} = 25,0 \text{ mm}$

**6.2 Belastung**

Flächenbelastung	$q_k = 2 \text{ kN/m}^2$
Punktbelastung	$F = 2 \text{ kN}$
Aufstandsfläche	50 x 50 mm
Erstellungstemperatur	$T_E = 5 \text{ °C}$
Nutzungstemperatur	$T_N = 25 \text{ °C}$
Temperaturdifferenz	$\Delta T = 25 - 5 = 20 \text{ °C}$ (Winterbaustelle)
Differenzverformung	$\Delta \varepsilon = (1,5 - 0,7) \cdot \frac{20}{100}$ $= 0,16 \text{ mm/m}$

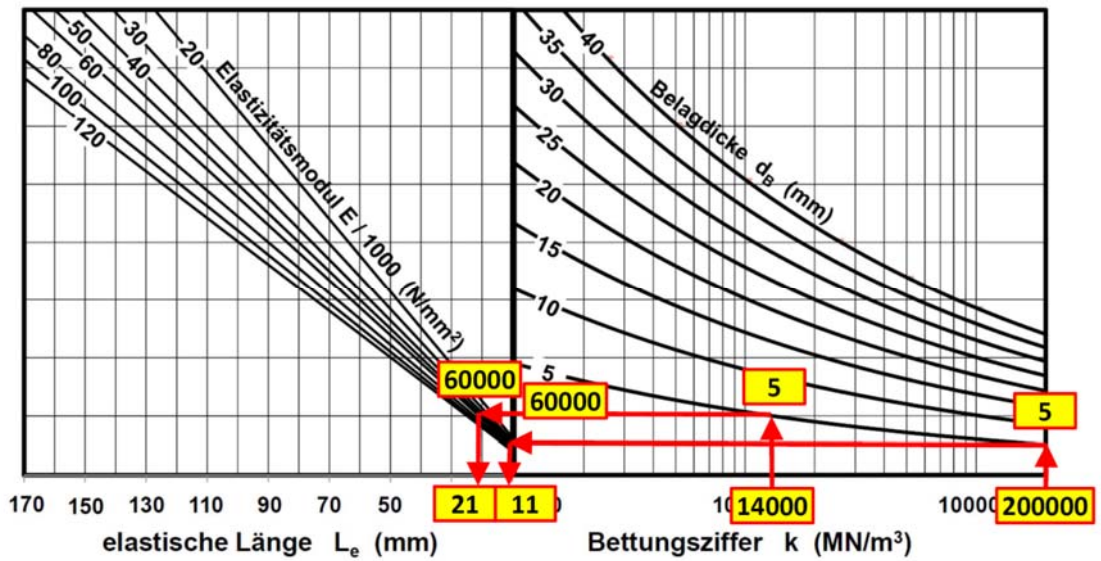
**6.3 Bemessung Belag**

Die Bemessung des Belages erfolgt für die Kombination von Rad- und Temperaturbelastung.

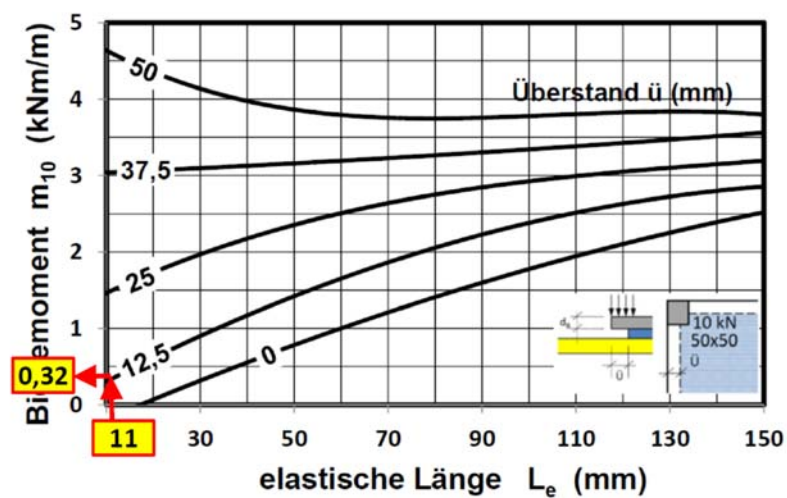
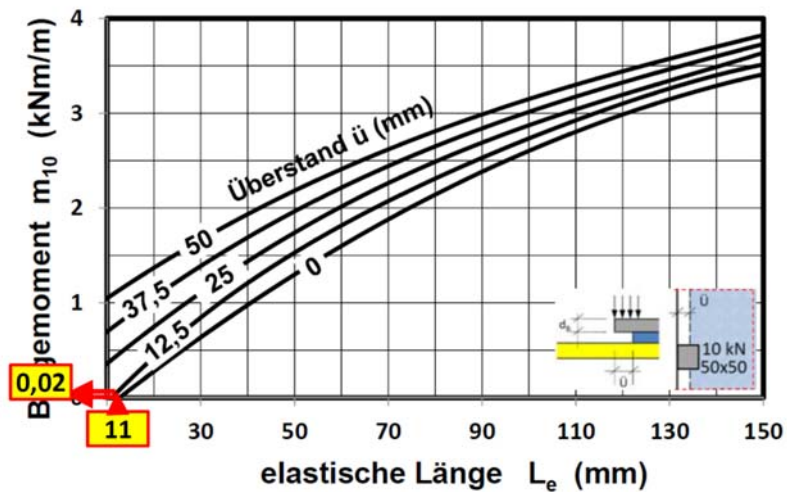
$$\text{zul. } \sigma_{B,B} = \frac{\beta_{BZ}}{\gamma} = \frac{45,0}{1,5} = \mathbf{30,0 \text{ N/mm}^2} \quad (\text{Biegefestigkeit})$$

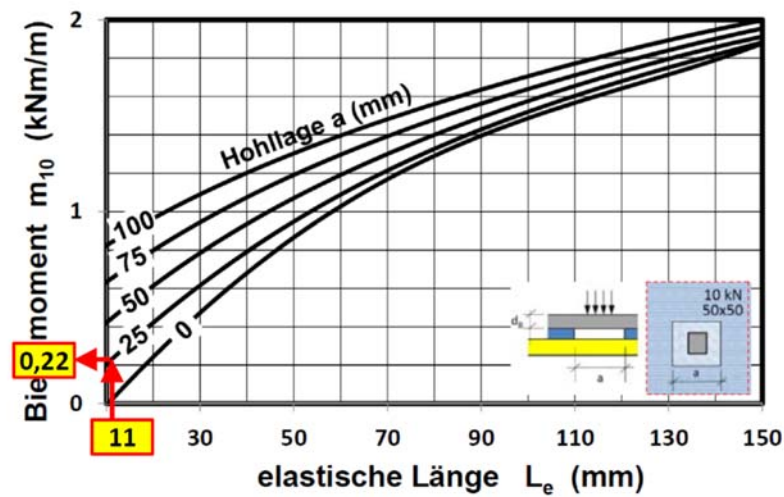
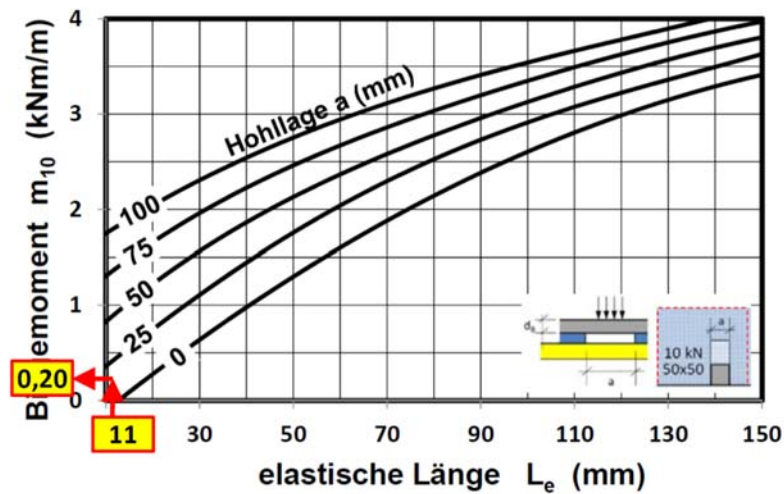
$$\text{zul. } \sigma_{B,Z} \approx \frac{\beta_{BZ}}{2 \cdot \gamma} = \frac{45,0}{2 \cdot 1,5} = \mathbf{15,0 \text{ N/mm}^2} \quad (\text{Zugfestigkeit})$$





Verlegung im Mörtelbett:  $F = 2 \text{ kN}$





Die Bemessung wird mit dem maximalen Biegemoment  $m_{B,10} = 0,30 \text{ kNm/m}$  durchgeführt.

$$m_B = \frac{m_{10} \cdot F}{10} = \frac{0,30 \cdot 2}{10} = 0,060 \text{ kNm/m}$$

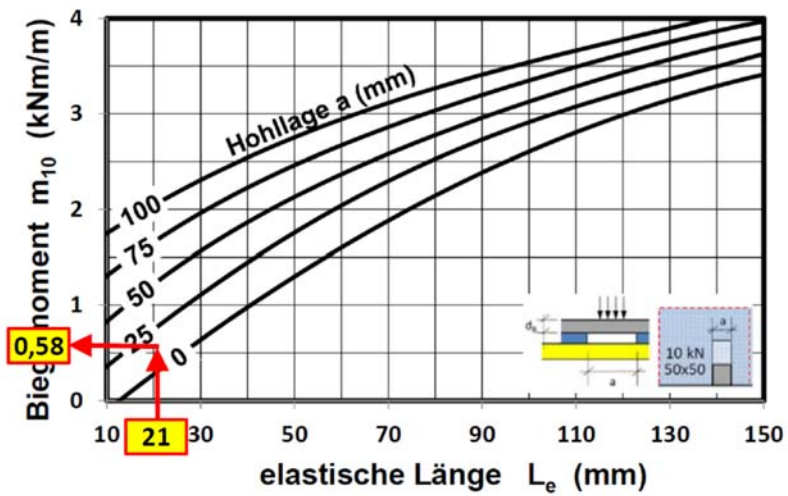
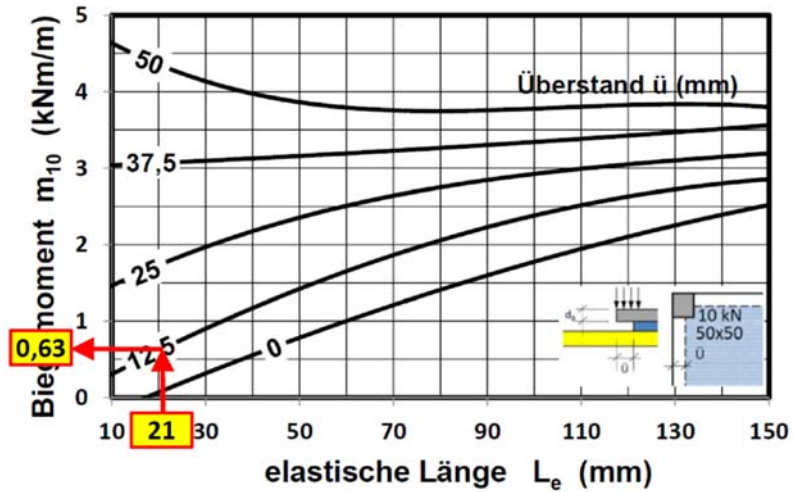
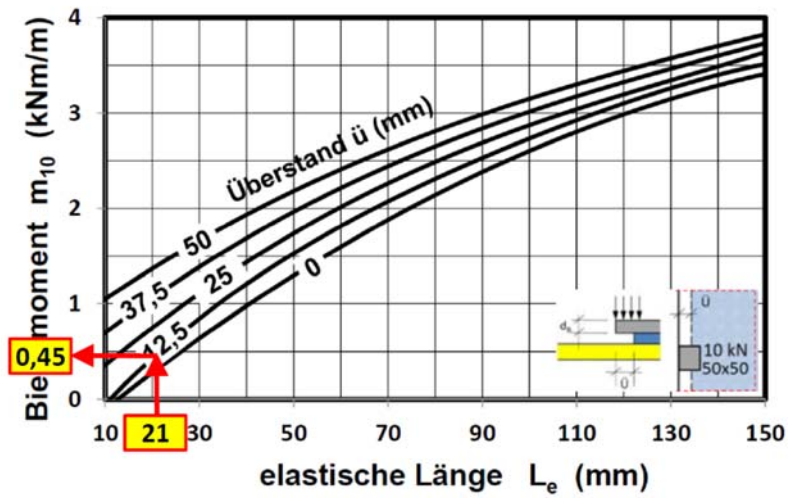
$$\sigma_B = \frac{1000 \cdot m_B \cdot 6}{d_B^2} = \frac{1000 \cdot 0,060 \cdot 6}{5^2}$$

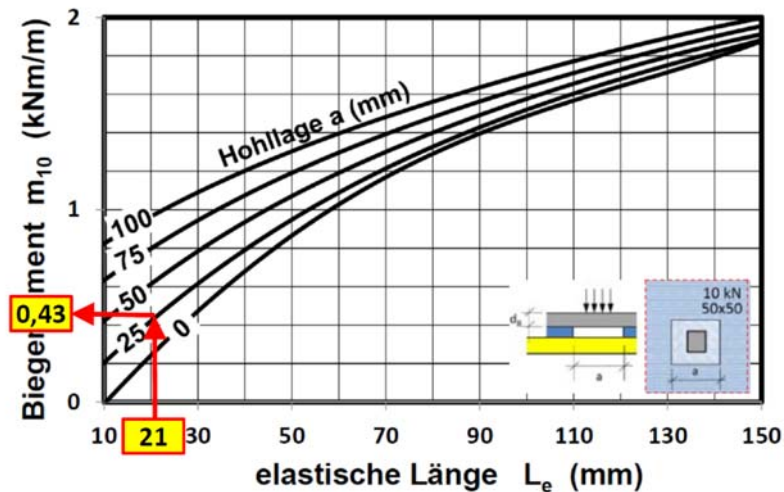
$$= 14,40 \text{ N/mm}^2$$

$$< 30,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_L = \frac{\sigma_B}{\text{zul.} \sigma_{B,B}} = \frac{14,40}{30,0} = 0,48$$

Verlegung auf Entkopplungsmatte:  $F = 2 \text{ kN}$





Die Bemessung wird mit dem maximalen Biegemoment  $m_{B,10} = 0,63 \text{ kNm/m}$  durchgeführt.

$$m_B = \frac{m_{10} \cdot F}{10} = \frac{0,63 \cdot 2}{10} = 0,126 \text{ kNm/m}$$

$$\sigma_B = \frac{1000 \cdot m_B \cdot 6}{d_B^2} = \frac{1000 \cdot 0,126 \cdot 6}{5^2}$$

$$= 30,24 \text{ N/mm}^2$$

$$> 30,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_L = \frac{\sigma_B}{\text{zul.} \sigma_{B,B}} = \frac{30,24}{30,0} = 1,01$$

**Beanspruchung durch thermische Dehnung der Bodenkonstruktion:**

$$E^* = \frac{d_E \cdot E_E \cdot E_B}{d_B \cdot E_B + d_E \cdot E_E} = \frac{65 \cdot 20000 \cdot 60000}{5 \cdot 60000 + 65 \cdot 20000}$$

$$= 48750 \text{ N/mm}^2$$

$$E^* \cdot d = \frac{48750 \cdot 5}{1000}$$

$$= 244 \text{ MN/m}$$

**Beanspruchung (ohne Entkopplung):**

$$E^* \cdot d = 200 \text{ MN/m:} \quad \text{Zwängungskraft} = 20,0 \text{ kN/m}$$

$$E^* \cdot d = 300 \text{ MN/m:} \quad \text{Zwängungskraft} = 30,0 \text{ kN/m}$$

$$F_z = 20,0 + \frac{30,0 - 20,0}{300 - 200} \cdot (244 - 200)$$

$$= 24,4 \text{ kN/m}$$

Gesamte Verformungsdifferenz  $\Delta\varepsilon = 0,16 \text{ mm/m}$

$$\sigma_{B,Z} = \frac{F_Z}{d_B} \cdot \frac{\Delta\varepsilon}{0,1} = \frac{24,4}{5} \cdot \frac{0,16}{0,1}$$

$$= 7,81 \text{ N/mm}^2$$

$$< 15,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_s = \frac{\sigma_{B,Z}}{\text{zul.}\sigma_{B,Z}} = \frac{7,81}{15,0} = 0,52$$

**Beanspruchung (mit Entkopplung):**

$E^* \cdot d = 200 \text{ MN/m}$ : Zwängungskraft = 9,0 kN/m  
 $E^* \cdot d = 300 \text{ MN/m}$ : Zwängungskraft = 12,0 kN/m

$$F_Z = 9,0 + \frac{12,0-9,0}{300-200} \cdot (244-200)$$

$$= 10,3 \text{ kN/m}$$

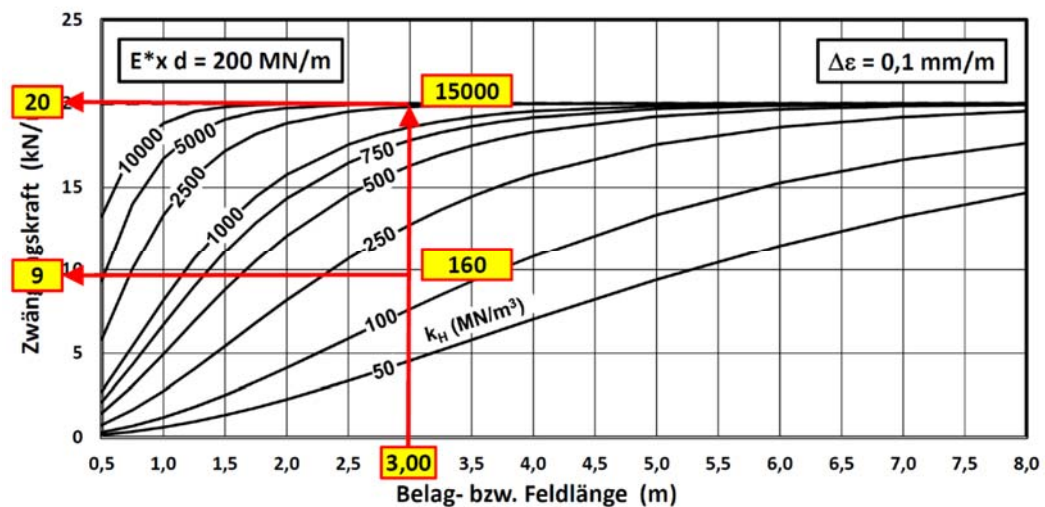
Gesamte Verformungsdifferenz  $\Delta\varepsilon = 0,16 \text{ mm/m}$

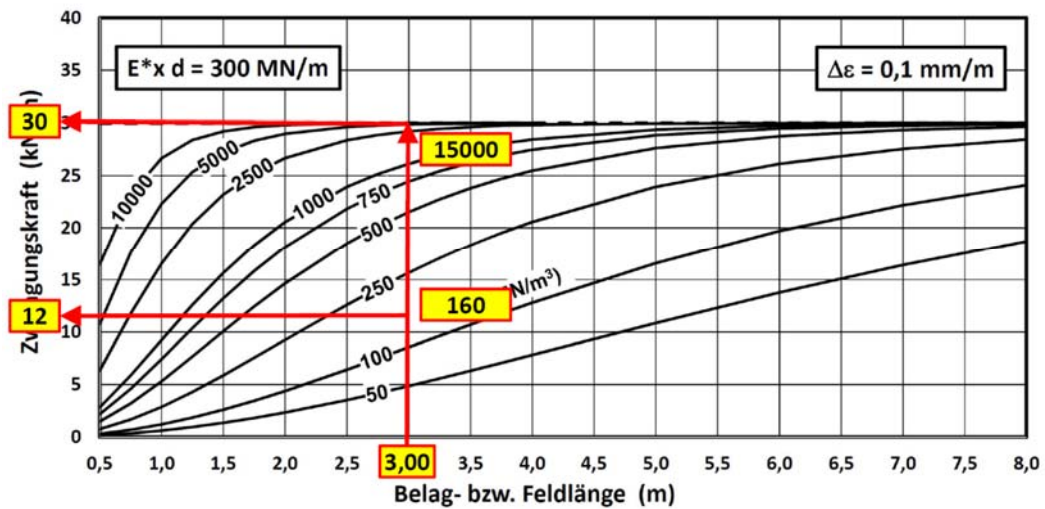
$$\sigma_{B,Z} = \frac{F_Z}{d_B} \cdot \frac{\Delta\varepsilon}{0,1} = \frac{10,3}{5} \cdot \frac{0,16}{0,1}$$

$$= 3,30 \text{ N/mm}^2$$

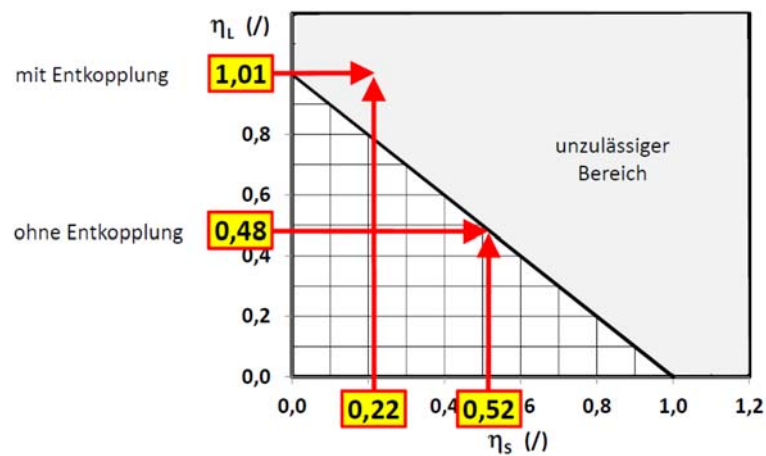
$$< 15,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_s = \frac{\sigma_{B,Z}}{\text{zul.}\sigma_{B,Z}} = \frac{3,30}{15,0} = 0,22$$





**Kombination von lokaler Beanspruchung und Systembeanspruchung**



Die Verlegung ohne Entkopplung mit Kreuzfugen führt zu einer ausreichenden Sicherheit.

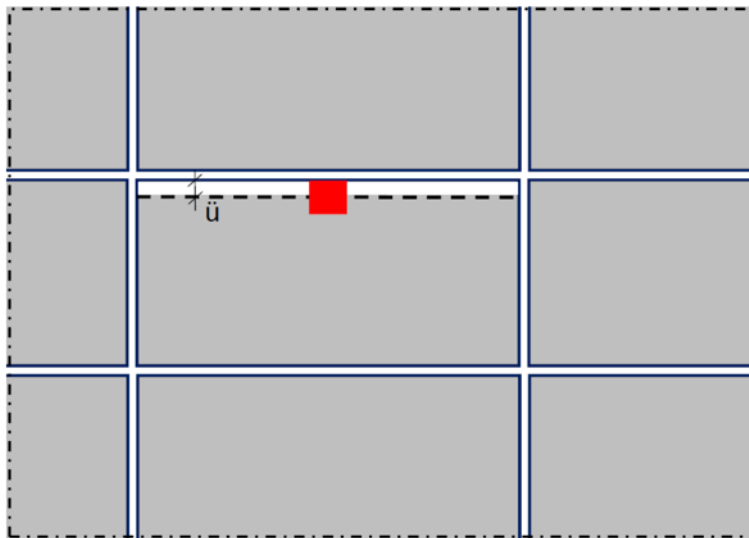
**7 Beispiel 7**

**7.1 Abmessungen**

Naturwerksteinplatten (797 x 397 mm)  
Biegezugfestigkeit  
Zugfestigkeit  
Elastizitätsmodul  
Thermische Ausdehnung

$d_B = 30 \text{ mm}$   
 $\beta_{BZ.} = 12 \text{ N/mm}^2$   
 $\beta_{ZB/2} = 6 \text{ N/mm}^2$   
 $E_B = 45000 \text{ N/mm}^2$   
 $\alpha_T = 0,7 \text{ mm/m/100 K}$





Abmessungen:  
Platte: 1000 x 500 mm

Nasshohlboden  
Biegezugfestigkeit  
Restschwindmaß  
Elastizitätsmodul  
Thermische Ausdehnung

$d_E = 40 \text{ mm}$   
 $\sigma_{BZ, Best} = 7 \text{ N/mm}^2$   
 $\Delta \epsilon = 0,08 \text{ mm/m}$   
 $E_E = 20000 \text{ N/mm}^2$   
 $\alpha_T = 1,5 \text{ mm/m/100 K}$

**7.2 Belastung**

Flächenbelastung  
Punktbelastung  
Aufstandsfläche  
Erstellungstemperatur  
Erstellungstemperatur  
Raumtemperatur

$q_k = 5 \text{ kN/m}^2$   
 $F = 5 \text{ kN}$   
 $50 \times 50 \text{ mm}$   
 $T_E = 5^\circ\text{C}$  (Winterbaustelle)  
 $T_E = 12^\circ\text{C}$  (Sommerbaustelle)  
 $T_R = 24^\circ\text{C}$

Differenzverformung (Winterbaustelle)  $\Delta \epsilon = (1,5 - 0,7) \cdot \frac{24-5}{100} = 0,15 \text{ mm/m}$

Differenzverformung (Sommerbaustelle)  $\Delta \epsilon = (1,5 - 0,7) \cdot \frac{24-12}{100} = 0,10 \text{ mm/m}$

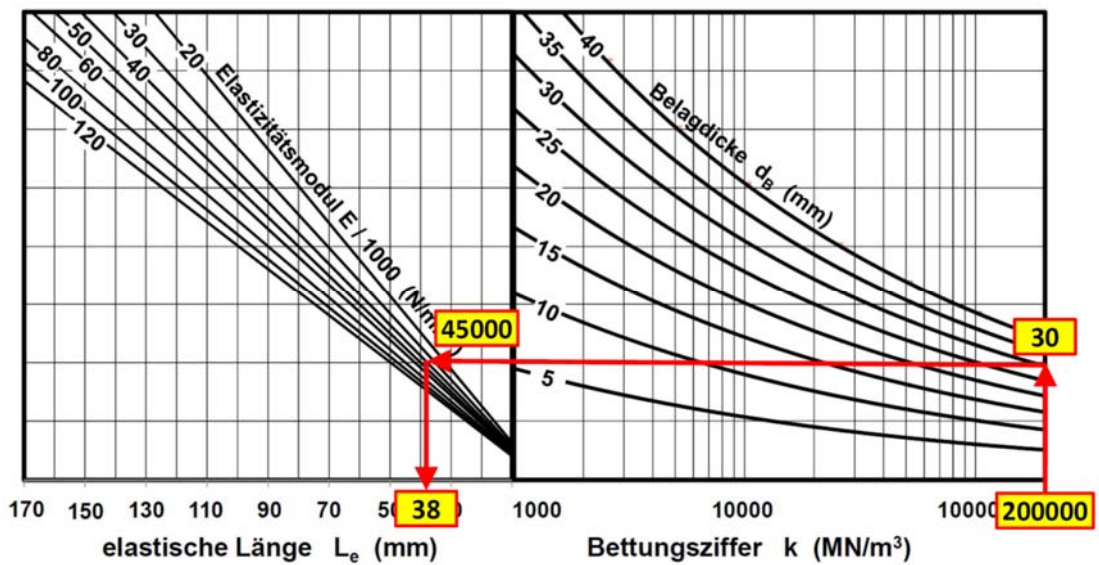
**7.3 Bemessung Belag**

$\text{zul. } \sigma_{B,B} = \frac{\beta_{BZ}}{\gamma} = \frac{12}{1,5} = 8,0 \text{ N/mm}^2$  (Biegefestigkeit)

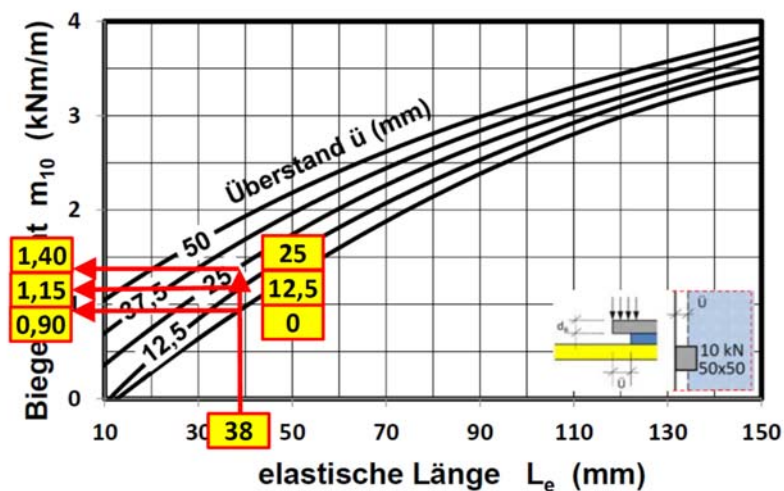
$\text{zul. } \sigma_{B,Z} \approx \frac{\beta_{BZ}}{2 \cdot \gamma} = \frac{12}{2 \cdot 1,5} = 4,0 \text{ N/mm}^2$  (Zugfestigkeit)

Der Belag ist in die Belastungsgruppe III einzuordnen. Es wird eine Bruchlast von 4000 N angenommen.

Erforderliche Belagdicke:  $d = \sqrt{\frac{1,35 \cdot F}{\beta_{BZ}}} = \sqrt{\frac{1,35 \cdot 4000}{10,5}} = 22,7 \text{ mm} < 30,0 \text{ mm}$



**lokale Beanspruchung (Aufstandsfläche 50 x 50 mm)**



**Verlegung im Mörtelbett: F = 5 kN (vollflächige Verlegung)**

$$m_B = \frac{m_{10} \cdot F}{10} = \frac{0,90 \cdot 5}{10} = 0,450 \text{ kNm/m}$$

$$\sigma_B = \frac{1000 \cdot m_B \cdot 6}{d_B^2} = \frac{1000 \cdot 0,450 \cdot 6}{30^2}$$

$$= 3,00 \text{ N/mm}^2$$

$$< 8,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_L = \frac{\sigma_B}{\text{zul.} \sigma_{B,B}} = \frac{3,00}{8,0} = \mathbf{0,38}$$

**Verlegung im Mörtelbett: F = 5 kN (Plattenüberstand ü = 12,5 mm)**

$$m_B = \frac{m_{10} \cdot F}{10} = \frac{1,15 \cdot 5}{10} = 0,575 \text{ kNm/m}$$

$$\sigma_B = \frac{1000 \cdot m_B \cdot 6}{d_B^2} = \frac{1000 \cdot 0,575 \cdot 6}{30^2}$$
$$= 3,80 \text{ N/mm}^2$$
$$< 8,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_L = \frac{\sigma_B}{\text{zul.}\sigma_{B,B}} = \frac{3,80}{8,0} = \mathbf{0,48}$$

**Verlegung im Mörtelbett: F = 5 kN (Plattenüberstand ü = 25 mm)**

$$m_B = \frac{m_{10} \cdot F}{10} = \frac{1,40 \cdot 5}{10} = 0,700 \text{ kNm/m}$$

$$\sigma_B = \frac{1000 \cdot m_B \cdot 6}{d_B^2} = \frac{1000 \cdot 0,700 \cdot 6}{30^2}$$
$$= 4,70 \text{ N/mm}^2$$
$$< 8,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_L = \frac{\sigma_B}{\text{zul.}\sigma_{B,B}} = \frac{4,70}{8,0} = \mathbf{0,58}$$

**Beanspruchung durch thermische Dehnung:**

$$E^* = \frac{d_E \cdot E_E \cdot E_B}{d_B \cdot E_B + d_E \cdot E_E} = \frac{40 \cdot 20000 \cdot 45000}{30 \cdot 45000 + 40 \cdot 20000}$$

$$= 16744 \text{ N/mm}^2$$

$$E^* \cdot d = \frac{16744 \cdot 30}{1000}$$

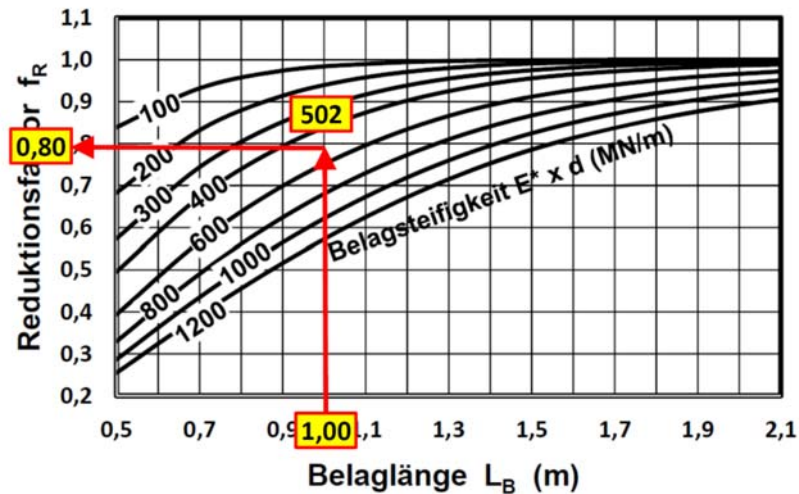
$$= 502 \text{ MN/m}$$

**Winterbaustelle:  $\Delta\varepsilon = 0,15 \text{ mm/m}$**

$$\sigma_{B,Z} = f_R \cdot E^* \cdot \frac{\Delta\varepsilon}{1000} = 0,80 \cdot 16744 \cdot \frac{0,15}{1000}$$

$$= 2,01 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_s = \frac{\sigma_{B,Z}}{\text{zul.}\sigma_{B,Z}} = \frac{2,01}{4,0} = \mathbf{0,50}$$



Sommerbaustelle:  $\Delta\varepsilon = 0,10 \text{ mm/m}$

$$\sigma_{B,Z} = f_R \cdot E^* \cdot \frac{\Delta\varepsilon}{1000} = 0,80 \cdot 16744 \cdot \frac{0,10}{1000}$$

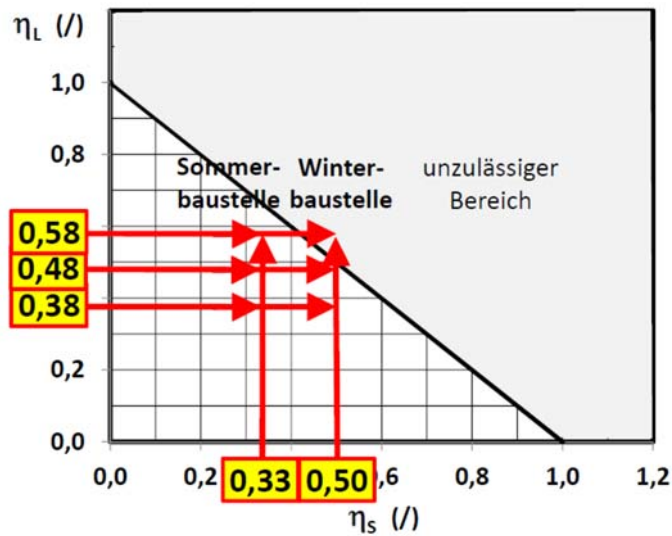
$$= 1,34 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_s = \frac{\sigma_{B,Z}}{\text{zul.}\sigma_{B,Z}} = \frac{1,34}{4,0} = 0,33$$

**Kombination von lokaler Beanspruchung und Systembeanspruchung**

Überstand (mm)	$\eta_L$ (/)	$\eta_s$ (/)	$\Sigma\eta$ (/)	red. $\eta_L$ (/)	red. F (kN)
<b>Sommerbaustelle:</b>					
0	0,38	0,33	0,71	---	5,00
12,5	0,48	0,33	0,81	---	5,00
25	0,58	0,33	0,91	---	5,00
<b>Winterbaustelle:</b>					
0	0,38	0,50	0,88	---	5,00
12,5	0,48	0,50	0,98	---	5,00
25	0,58	0,50	1,08	0,50	4,30

Der Zeitpunkt der Herstellung der Bodenkonstruktion hat einen Einfluss auf die Beanspruchung der Beläge. Ebenfalls reduziert eine vollflächige Verlegung die Beanspruchung der Bodenbeläge durch die Nutzlast.



Die Herstellung der Beläge bei niedrigen Temperaturen führt zu einer Reduzierung der Nutzlast bei einem freien Rand von 25 mm und einen vorgegebenem Sicherheitsniveau.

**8 Beispiel 8**

**8.1 Abmessungen**

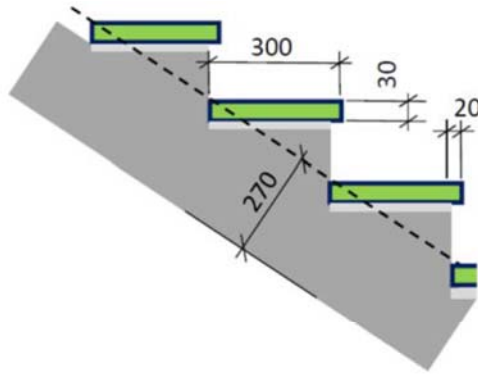
Naturwerkstein (Dielenformat)	$d = 30 \text{ mm}$
Biegezugfestigkeit	$\beta_{BZ} = 9,6 \text{ N/mm}^2$
Zugfestigkeit	$\beta_{ZB}/2 = 4,8 \text{ N/mm}^2$
Elastizitätsmodul	$E_B = 65000 \text{ N/mm}^2$
Thermische Ausdehnung	$\alpha_T = 0,7 \text{ mm/m/100 K}$

Verlegung (Kleber C2 S2, 3 mm):

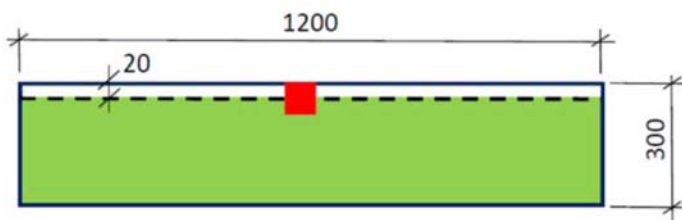
horizontale Bettung	$k_H \geq 50000 \text{ MN/m}^3$
vertikale Bettung	$k_V \geq 200000 \text{ MN/m}^3$

Verlegung (Kleber C2 S2, 10 mm):

horizontale Bettung	$k_H \geq 5000 \text{ MN/m}^3$
vertikale Bettung	$k_V \geq 100000 \text{ MN/m}^3$



Abmessungen:  
Belag: 1200 x 300 mm



Stahlbetontreppenlauf  
Elastizitätsmodul  
Thermische Ausdehnung

$d_{i,M} = 270 \text{ mm}$   
 $E_{SB} = 33300 \text{ N/mm}^2$   
 $\alpha_T = 1,0 \text{ mm/m/100 K}$

**8.2 Belastung**

Punktbelastung  
Aufstandsfläche  
Erstellungstemperatur  
Nutzungstemperatur

$F = 2 \text{ kN}$   
 $50 \times 50 \text{ mm}$   
 $T_E = 10 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $T_N = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Differenzverformung (Temperatur)

$$\Delta\varepsilon = (1,0 - 0,7) \cdot \frac{20-10}{100}$$

Differenzverformung

$$\Delta\varepsilon = 0,03 \text{ mm/m}$$

Differenzverformung (Schwinden)

$$\Delta\varepsilon = 0,08 \text{ mm/m}$$

Gesamte Verformungsdifferenz

$$\Delta\varepsilon = 0,03 + 0,08 = 0,11 \text{ mm/m}$$

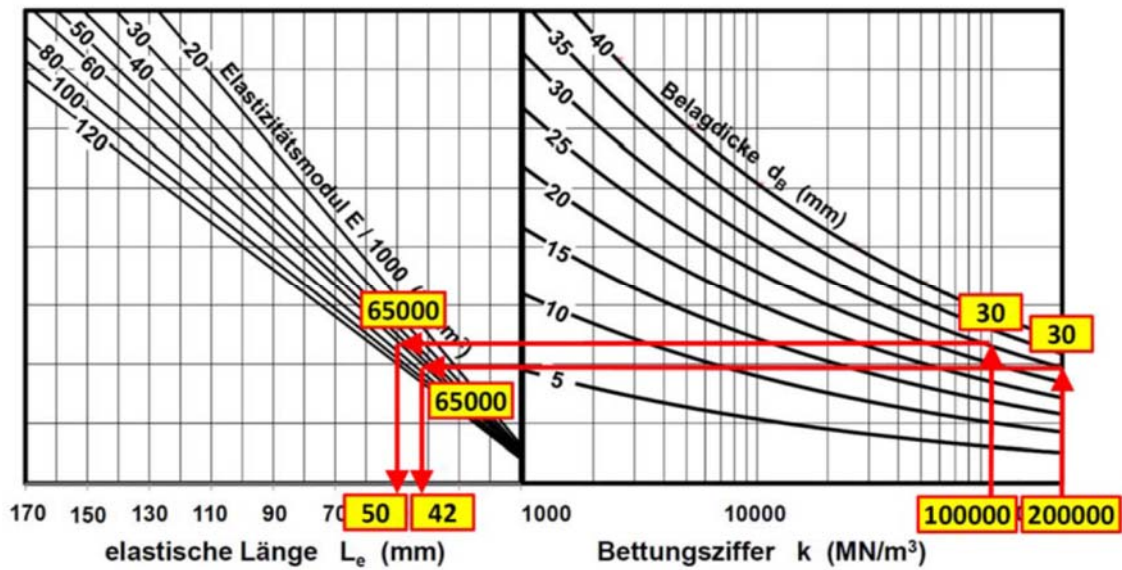
**8.3 Bemessung Belag**

Für den Belag werden der Einfluss der thermischen Ausdehnung von Belag und Treppenlauf und das Schwinden des Belages untersucht. Für die Systembeanspruchung wird eine verminderte Sicherheit von  $\gamma = 1,2$  berücksichtigt.

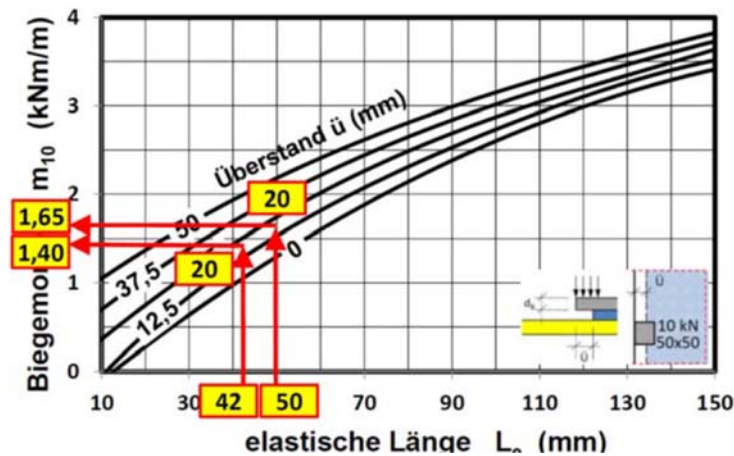
$$\text{zul. } \sigma_{B,B} = \frac{\beta_{BZ}}{\gamma} = \frac{9,6}{1,5} = 6,4 \text{ N/mm}^2 \text{ (Biegefestigkeit)}$$

$$\text{zul. } \sigma_{B,Z} \approx \frac{\beta_{BZ}}{2 \cdot \gamma} = \frac{9,6}{2 \cdot 1,2} = 4,0 \text{ N/mm}^2 \text{ (Zugfestigkeit)}$$





Lokale Beanspruchung (Kleber 3 mm):  $F = 2$  kN



$$m_B = \frac{m_{10} \cdot F}{10} = \frac{1,40 \cdot 2}{10} = 0,280 \text{ kNm/m}$$

$$\sigma_B = \frac{1000 \cdot m_B \cdot 6}{d_B^2} = \frac{1000 \cdot 0,280 \cdot 6}{30^2}$$

$$= 1,87 \text{ N/mm}^2$$

$$< 6,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_L = \frac{\sigma_B}{\text{zul.}\sigma_{B,B}} = \frac{1,87}{6,4} = 0,29$$

Lokale Beanspruchung (Kleber 10 mm):  $F = 2$  kN

$$m_B = \frac{m_{10} \cdot F}{10} = \frac{1,65 \cdot 2}{10} = 0,330 \text{ kNm/m}$$

$$\begin{aligned}\sigma_B &= \frac{1000 \cdot m_B \cdot 6}{d_B^2} = \frac{1000 \cdot 0,330 \cdot 6}{30^2} \\ &= 2,20 \text{ N/mm}^2 \\ &< 6,4 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$\eta_L = \frac{\sigma_B}{\text{zul.}\sigma_{B,B}} = \frac{2,20}{6,4} = \mathbf{0,34}$$

**Beanspruchung durch thermische Dehnung der Bodenkonstruktion:**

$$E^* = \frac{d_{SB} \cdot E_{SB} \cdot E_B}{d_B \cdot E_B + d_{EB} \cdot E_{SB}} = \frac{270 \cdot 33300 \cdot 65000}{30 \cdot 65000 + 270 \cdot 33300} = 53415 \text{ N/mm}^2$$

$$E^* \cdot d = \frac{53415 \cdot 30}{1000}$$

$$= 1602 \text{ MN/m}$$

**Beanspruchung durch thermische Dehnung und Schwinden (Kleber 3 mm):**

$$E^* \cdot d \approx 1600 \text{ MN/m:}$$

Zwängungskraft:

$$F_Z = 126,0 \text{ kN/m}$$

Gesamte Verformungsdifferenz  $\Delta\varepsilon = 0,11 \text{ mm/m}$

$$\sigma_{B,Z} = \frac{F_Z}{d_B} \cdot \frac{\Delta\varepsilon}{0,1} = \frac{126,0}{30} \cdot \frac{0,11}{0,1}$$

$$= \mathbf{4,62 \text{ N/mm}^2}$$

$$> \mathbf{4,0 \text{ N/mm}^2}$$

$$\eta_S = \frac{\sigma_{B,Z}}{\text{zul.}\sigma_{B,Z}} = \frac{4,62}{4,0} = \mathbf{1,16}$$

**Beanspruchung durch thermische Dehnung und Schwinden (Kleber 10 mm):**

$$E^* \cdot d \approx 1600 \text{ MN/m:}$$

Zwängungskraft:

$$F_Z = 60,0 \text{ kN/m}$$

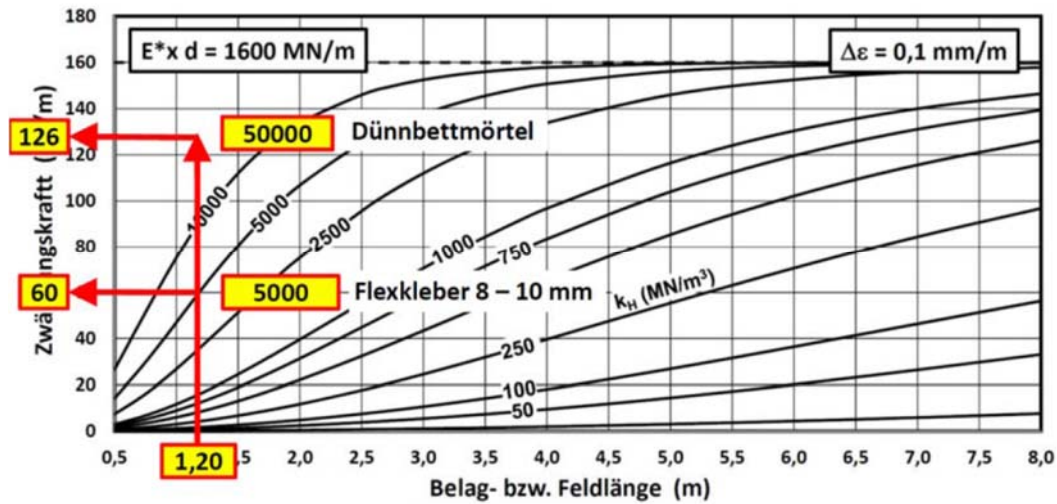
Gesamte Verformungsdifferenz  $\Delta\varepsilon = 0,11 \text{ mm/m}$

$$\sigma_{B,Z} = \frac{F_Z}{d_B} \cdot \frac{\Delta\varepsilon}{0,1} = \frac{60,0}{30} \cdot \frac{0,11}{0,1}$$

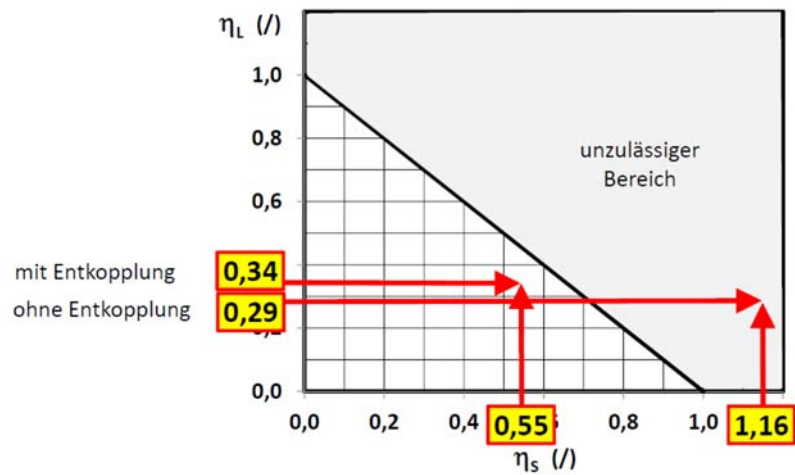
$$= 2,20 \text{ N/mm}^2$$

$$< 4,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_s = \frac{\sigma_{B,Z}}{\text{zul.}\sigma_{B,Z}} = \frac{2,20}{4,0} = 0,55$$



**Kombination von lokaler Beanspruchung und Systembeanspruchung**



Eine Ausführung mit 10 mm Kleber (C2 S2) ist möglich.