

Estriche nach DIN 18560-2

Sicherheitskonzept

Merkblatt 16Stand 13. September 2022
ersetzt

Stand 04. August 2022

1 Einleitung

Estriche auf Dämmschichten (schwimmende Estriche) werden durch DIN 18560-2 geregelt. Für verschiedene Estrichmaterialien finden sich Hinweise auf die erforderliche Nenndicke (Tabelle 1) bei unterschiedlichen Belastungen.

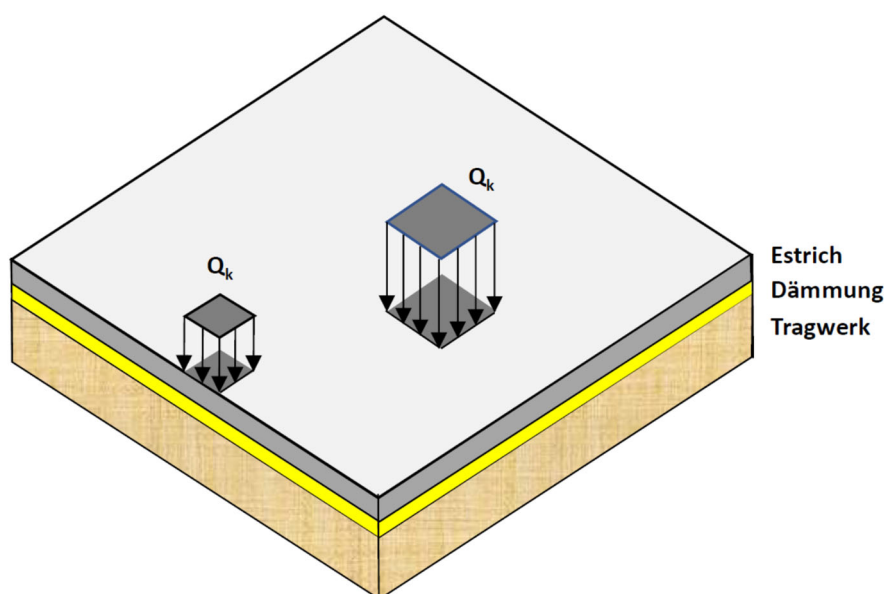


Bild 1: Estrich auf Dämmschicht (schwimmender Estrich)

Ebenfalls werden durch DIN 18560-2 Mindestanforderungen an die Biegefestigkeit und die Nenndicke der verwendeten Materialien gestellt.

Bei einer in Sonderfällen erforderlichen Bestätigungsprüfung müssen Estriche für die Verkehrslasten bis 5 kN/m² die in der Tabelle 1 angegebene Biegezugfestigkeit sowie die Einzel- und Mittelwerte nach DIN 18560-1 entsprechend ihrer Nenndicke aufweisen.

Auszug DIN 18560-2

Entsprechend den Vorgaben in DIN 18560-2 ist eine Überprüfung der Festigkeitseigenschaften und Abmessungen des Estrichs nicht gewünscht. Eine Qualitätskontrolle der ausgeführten handwerklichen Leistung ist somit nicht möglich. Die Bestätigungsprüfung wird im Regelfall lediglich bei der Beurteilung von Schäden an der Bodenkonstruktion ausgeführt und bei berechtigten Zweifeln an der Ausführungsqualität des Estrichs.

Durch die lediglich in Sonderfällen durchgeführte Bestätigungsprüfung muss darauf vertraut werden, dass die zugesicherten Festigkeitseigenschaften und Abmessungen auch nach der Ausführung der Bauarbeiten vorhanden sind.

Die Vorgaben zur Biegefestigkeit des Estrichs betragen für den Mittelwert ca. 70% des Wertes der Serienprüfung und ca. 50% für den Kleinstwert. Der Mittelwert der Bestätigungsprüfung entsprechend den Regelwerken [8], [9], dient zur Bestimmung der erforderlichen Nenndicke bei vorgegebener Belastung.

Für die übliche Nutzung von Flächen erfolgt die konstruktive Auslegung der Estrichnenndicke mit Hilfe der Tabelle 1. Eine Berechnung wird daher im Regelfall nicht durchgeführt.

Estrichart	Biegezugfestigkeitsklasse nach DIN EN 13813	Estrichnenndicken mm				Bestätigungsprüfung σ_{BZ} N/mm ²	
		EL=Einzellasten FL=Flächenlasten					
		bei einer Zusammendrückbarkeit der Dämmschicht C ≤ 5 mm				≤ 3 mm	
		EL ≤ 1 kN FL ≤ 2 kN/m ²	EL ≤ 2 kN FL ≤ 3 kN/m ²	EL ≤ 3 kN FL ≤ 4 kN/m ²	EL ≤ 4 kN FL ≤ 5 kN/m ²	kleinster Einzelwert	Mittelwert
Calciumsulfat-Fließestrich CAF	F4	≥ 35	≥ 50	≥ 60	≥ 65	≥ 3,5	≥ 4,0
	F5	≥ 35	≥ 45	≥ 50	≥ 55	≥ 4,5	≥ 5,0
	F7	≥ 35	≥ 40	≥ 45	≥ 50	≥ 6,5	≥ 7,0
Calciumsulfat-estrich CA	F4	≥ 45	≥ 65	≥ 70	≥ 75	≥ 2,0	≥ 2,5
	F5	≥ 40	≥ 55	≥ 60	≥ 65	≥ 2,5	≥ 3,5
	F7	≥ 35	≥ 50	≥ 55	≥ 60	≥ 3,5	≥ 4,5
Zementestrich CT	F4	≥ 45	≥ 65	≥ 70	≥ 75	≥ 2,0	≥ 2,5
	F5	≥ 40	≥ 55	≥ 60	≥ 65	≥ 2,5	≥ 3,5

Tabelle 1: Nenndicke und Biegefestigkeit unbeheizter Estriche (DIN 18560-2)

Zu den Grundlagen der Tabelle 1, die zu den Nenndicken geführt haben, gibt es in der DIN 18560-2 keine Hinweise. Lediglich die Zusammendrückbarkeit der Dämmstoffe ist für die Anwendung der Tabelle 1 begrenzt.

Durch die Einführung der Schwindklassen (Tabelle 2) in DIN 18560-1 wird dem Schwindverhalten von Estrichen eine Bedeutung zugewiesen, die bei der Bemessung der Estriche Berücksichtigung finden muss.

Schwindklasse	Dimensionsstabilität DL mm/m	Beschreibung
SW3	$\Delta L \geq 0,5$	normal
SW2	$0,2 \geq \Delta L < 0,5$	schwindreduziert
SW1	$\Delta L \leq 0,2$	schwindarm
SW0	$\Delta S > 0$	quellend

Dabei ist
 ΔL Schwindmaß (mm/m)
 ΔS Quellmaß (mm/m)

Tabelle 2: Schwindklassen (DIN 18560-1)

Die Schwindklassen können zum Vergleich von Produkten dienen, können jedoch auch zum Ausschluss von Estrichprodukten genutzt werden.

Bei lotrechten Nutzlasten $> 5,0 \text{ kN/m}^2$ und/oder $> 4,0 \text{ kN}$ ist eine Berechnung unter Berücksichtigung der DIN EN 1991-1-1, DIN EN 1990/Na und/oder dynamischen Lasten erforderlich.

Alternativ kann die Belastung der Estrichfläche durch den Fachplaner über einen Nutzungsplan definiert werden.

2 Belastung (Einwirkungen)

2.1 Eigengewicht Konstruktion

Flächenhafte Gewichtslasten haben bei kontinuierlicher Bettung als alleinige Belastung keinen Einfluss auf die Bemessung von Estrichen. Lediglich bei ungleichmäßiger Temperatur und/oder ungleichmäßigem Schwinden wird der Estrich beansprucht. Bei Längenänderungen von Estrichen ergeben sich aufgrund der Reibung zwischen Estrich und Dämmung Zug- oder Druckspannungen im Estrich.

2.2 Verkehrslasten (veränderliche Lasten)

Belastungen auf Deckenkonstruktionen werden nach DIN EN 1991-1-1 entsprechend der Nutzung des Gebäudes vielfach durch Flächenlasten beschrieben. So betragen die Lasten für ein Wohnhaus mindestens $1,50 \text{ kN/m}^2$. Für öffentliche Gebäude können die Belastungen bis auf $7,50 \text{ kN/m}^2$ anwachsen. Diese Belastungsangabe ist für den Standsicherheitsnachweis des Gebäudes im Regelfall ausreichend und beschreibt nur eine durchschnittliche Belastung auf einer Deckenkonstruktion. Diese Belastung einer Deckenkonstruktion kann jedoch lokal wesentlich größer sein und auch als Einzellast mit kleiner Aufstandsfläche auftreten.

Die in der DIN EN 1991-1-1 mitaufgeführten Einzellasten beschreiben nicht die real möglichen Einzellasten, die eine Bodenkonstruktion belasten können.

Kategorie		Nutzung	Beispiele	q_k kN/m ²	Q_k kN
A	A1	Spitzboden	Für Wohnzwecke nicht geeigneter, aber zugänglicher Dachraum bis 1,80 m lichter Höhe	1,0	1,0
	A2	Wohn- und Aufenthaltsräume	Räume mit ausreichende Querverteilung der Lasten. Räume und Flure in Wohngebäuden, Bettenräume in Krankenhäusern, Hotelzimmer einschl. zugehöriger Küchen und Bäder.	1,5	---
	A3		wie A2, aber ohne ausreichende Querverteilung der Lasten	2,0	1,0
B	B1	Büroflächen, Arbeitsflächen, Flure	Flure in Bürogebäuden, Büroflächen, Arztpraxen, Stationsräume, Aufenthaltsräume einschl. der Flur, Kleinviehställe	2,0	2,0
	B2		Flure in Krankenhäusern, Hotels, Altenheimen, Internaten usw.; Küchen und Behandlungsräume einschl. Operationsräume ohne schweres Gerät	3,0	3,0
	B3		wie B2, jedoch mit schwerem Gerät	5,0	4,0
C	C1	Räume, Versammlungs-räume und Flächen, die der Ansammlung von Personen dienen können (mit Ausnahme von unter A, B, D und E festgelegten Kategorien)	Flächen mit Tischen; z.B. Schulräume, Cafes, Restaurants, Speisesäle, Lesesäle, Empfangsräume.	3,0	4,0
	C2		Flächen mit fester Bestuhlung; z.B. Flächen in Kirchen, Theatern oder Kinos, Kongresssäle, Hörsäle, Versammlungsräume, Wartesäle	4,0	4,0
	C3		Frei begehbare Flächen; z.B. Museumsflächen, Ausstellungsflächen usw. und Eingangsbereiche in öffentlichen Gebäuden und Hotels, nicht befahrbare Hofkellerdecken	5,0	4,0
	C4		Sport- und Spielflächen; z.B. Tanzsäle, Sporthallen, Gymnastik- und Kraftsporträume, Bühnen.	5,0	7,0
	C5		Flächen für große Menschenansammlungen; z.B. in Gebäuden wie Konzertsälen, Terrassen und Eingangsbereiche sowie Tribünen mit fester Bestuhlung	5,0	4,0
D	D1	Verkaufsräume	Flächen von Verkaufsräumen bis 50 m ² Grundfläche in Wohn-, Büro und vergleichbaren Gebäuden.	2,0	2,0
	D2		Flächen in Einzelhandelsgeschäften und Warenhäusern.	5,0	4,0
	D3		Flächen wie D2, jedoch mit erhöhten Einzellasten infolge hoher Lagerregale.	5,0	7,0

Tabelle 1a: DIN EN 1991-1-1

Kategorie		Nutzung	Beispiele	q_k kN/m ²	Q_k kN
E	E1	Fabriken und Werkstätten, Ställe, Lager-	Flächen in Fabriken und Werkstätten mit leichtem Betrieb und Flächen in Großviehställen	5,0	4,0
	E2		Lagerflächen, einschließlich Bibliotheken	6,0	7,0
	E3	räume und Zugänge, Flächen mit erheblichen Menschenansammlungen	Flächen in Fabriken und Werkstätten mit mittlerem oder schwerem Betrieb, Flächen mit regelmäßiger Nutzung durch erhebliche Menschenansammlungen, Tribünen ohne feste Bestuhlung.	7,5	10,0
T	T1	Treppen und Treppenpodeste	Treppen und Treppenpodeste der Kategorie A und B1 ohne nennenswerten Publikumsverkehr	3,0	2,0
	T2		Treppen und Treppenpodeste der Kategorie B1 mit erheblichen Publikumsverkehr, B2 bis E sowie alle Treppen, die als Fluchtweg dienen	5,0	2,0
	T3		Zugänge und Treppen von Tribünen ohne feste Sitzplätze, die als Fluchtweg dienen	7,5	3,0
Z		Zugänge, Balkone und Ähnliches	Dachterrassen, Laubengänge, Loggien usw., Balkone und Ausstiegspodest.	4,0	2,0

Falls der Nachweis der örtlichen Mindesttragfähigkeit erforderlich ist (z.B. bei Bauteilen ohne ausreichende Querverteilung der Lasten), so ist er mit den charakteristischen Werten für die Einzellast Q_k ohne Überlagerung mit der Flächenlast q_k zu führen. Die Aufstandsfläche für Q_k umfasst ein Quadrat mit einer Seitenlänge von 5 cm.

Wenn konzentrierte Lasten aus Lagerregalen, Hubeinrichtungen, Tresoren usw. zu erwarten sind, muss die Einzellast für diesen Fall gesondert ermittelt und zusammen mit den gleichmäßig verteilten Nutzlasten beim Tragsicherheitsnachweis berücksichtigt werden.

Tabelle 1b: DIN 1991-1-1 (Fortsetzung)

2.3 Temperaturbelastung

Eine Temperaturbelastung kann sich aus einer Sonnenbestrahlung oder durch eine Fußbodenheizung ergeben. Die Temperaturbelastung kann in eine gleichmäßige und ungleichmäßige Temperatur unterschieden werden.

Die gleichmäßige Temperaturbelastung ergibt sich aus dem Mittelwert der Temperatur an der Oberfläche und an der Unterseite des Estrichs. Die ungleichmäßige Temperatur ergibt sich aus der Differenz der Temperaturen an der Ober- und Unterseite des Estrichs. Beide Temperaturbeanspruchung können gleichzeitig auftreten.

2.3.1 Gleichmäßige Temperatur

Eine weitgehend gleichmäßige Erwärmung ergibt sich z.B. durch eine Fußbodenheizung. Gleichmäßig bedeutet, dass die Oberfläche des Estrichs und die Unterseite die gleiche Temperatur aufweisen. Die gleichmäßige Erwärmung bzw. das gleichmäßige Abkühlen eines Estrichs führt zu einer Längenänderung, die bei der konstruktiven Ausbildung der Fugen zu berücksichtigen ist.

Durch die Längenänderung des Estrichs ergeben sich Reibungskräfte an der Unterseite des Estrichs. Die Größe der Kräfte ist abhängig vom Reibwiderstand. Die Reibkräfte nehmen mit dem Dehnweg zu und werden durch die Gleitreibung in der Größe begrenzt. Da es keine dokumentierte Abhängigkeit zwischen Dehnweg und Reibung gibt, wird stets von einer Gleitreibung über die gesamte Estrichfläche ausgegangen. Die Größe der Reibungskräfte ist

abhängig von der ständigen Belastung des Estrichs. Reibungskräfte aus Temperaturdehnung und aus Schwinden sind nicht zu überlagern.

2.3.2 Ungleichmäßige Temperatur

Belastungen infolge Temperaturunterschiede zwischen Ober- und Unterseite des Estrichs sowie aus dem Schwindverhalten des Estrichs werden bei der Berechnung von Estrichen im Regelfall nicht berücksichtigt. Die Beanspruchungen aus diesen Belastungen können eine maßgebliche Größe erreichen.

2.4. Schwinden, Quellen

Das Schwinden bzw. Quellen von Belägen und Lastverteilungsschichten kann zu Zwängungsspannungen in beiden verbundenen Bauteilen führen. Entscheidend für die Größe der Spannung sind der Unterschied des Schwindens bzw. Quellens beider verbundenen Bauteile und die Größe des Elastizitätsmoduls beider Bauteile.

Der Zusammenhang zwischen gleichmäßigem und ungleichmäßigem Schwinden wird mit Hilfe von durchgeführten Versuchen aufgezeigt. Die Versuche wurden an einem Estrich der Schwindklasse 1 und an einem der Schwindklasse 2 durchgeführt.

2.4.1 Gleichmäßiges Schwinden und Quellen

Gleichmäßiges Schwinden führt zu einer Verkürzung der Länge eines Estrichs. Die Größe des Schwindmaßes ist abhängig von der Rezeptur des Estrichmörtels.

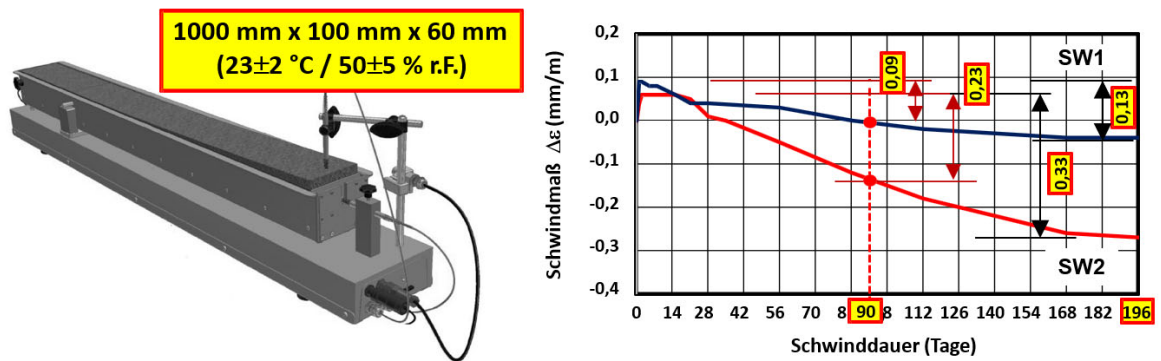


Bild 2: Schwindverläufe Zementestriche

Die Messung des Schwindverlaufs erfolgt in einer Schwindrinne. Dabei wird die Längenänderung über einen definierten Zeitraum ermittelt. Zusätzlich kann die vertikale Verformung (Schüsseln) ermittelt werden. Diese Messung ist jedoch nach DIN 18560-1 nicht vorgesehen.

Abweichend von DIN EN 13892-9 wird die Schwindklasse aus der größten Längenänderungsdifferenz nach 90 Tagen ermittelt. Wie die real ermittelten Schwindverläufe (Bild 2) zeigen, sind die Schwindverformungen nach diesem Zeitraum nicht abgeschlossen. Die Ermittlung des Schwindmaßes nach 90 Tagen ist eine willkürliche Festlegung, die nicht das tatsächlich mögliche Schwindmaß eines Estrichmörtels beschreibt. Wie das Beispiel zeigt, hat sich das Schwindmaß bei diesen geprüften Estrichmörteln gegenüber der Messung nach 90 Tagen nach 196 Tagen um ca. 43% erhöht.

2.4.2 Ungleichmäßiges Schwinden

Während der Trocknungsphase des Estrichs kann über die Querschnittsdicke die Feuchte eines Zementestrichs von unten nach oben abnehmen. Dieses ungleichmäßige Schwinden über die Querschnittsdicke führt zu einer Verwölbung des Estrichs in der Form, dass sich die Ecken bei einem Estrich ohne Belag anheben. Das Maß für das ungleiche Schwinden ist von der Rezeptur und Nachbehandlung des Estrichs abhängig. Einzelne Hersteller geben ein Maß von $\Delta \varepsilon \leq 0,2 \text{ mm/m}$ an. Das ungleichmäßige Schwinden ist ein vorübergehender Zustand bis zum Erreichen der Ausgleichsfeuchte des Estrichs. Die Verformungen der Estrichecken gehen nicht vollständig zurück.

Das Schwindmaß für ungleichmäßige Schwinden wird planmäßig nicht ermittelt, kann jedoch einen Einfluss auf die Tragfähigkeit eines Estrichs haben. Vorgaben für das ungleichmäßige Schwinden für die Bemessung eines Estrichs sind willkürliche Festlegungen ohne Beleg.

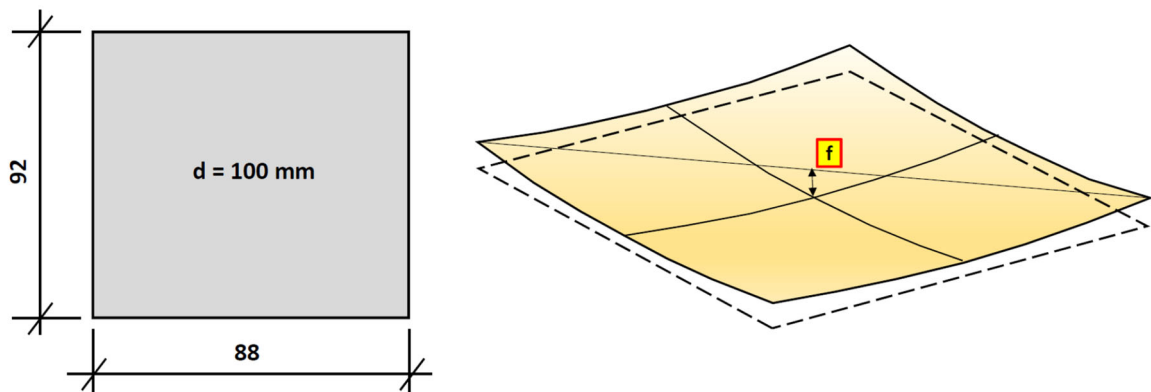


Bild 3: ungleiches Schwinden Estrich (SW1)

Dicke	0,10 m
Breite	0,20 m
Rohdichte Estrich	22,00 kN/m ³
Belastung	0,44 kN/m
E-Modul	29000000 kN/m ²
Trägheitsmoment	0,0000167 m ⁴
Exl	483,33 kNm ²
Differenzschwindmaß	0,34 mm/m
Ersatzrandmoment	1,643 kNm
Diagonalmaß	1,3 m
Ersatzkrugarm	0,65 m
Randverformung Moment	-0,72 mm
Randverformung Estriche	0,02 mm
resultierende Verformung	-0,70 mm
	0,70

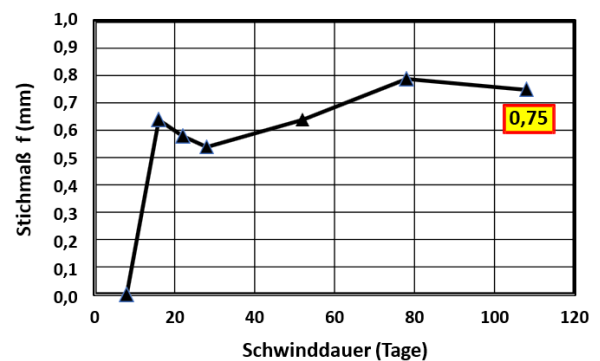


Bild 4: ungleiches Schwinden Estrich (SW1)

Versuche zur Ermittlung der Schüsselung von Estrichmörteln mit den Schwindklassen SW1 und SW2 (Schwindverhalten entsprechend Bild 2) ergaben die Verformungen entsprechend den Bildern 4 und 6. Beide Probekörper wurden unter gleichen klimatischen Bedingungen und zur gleichen Zeit gelagert.

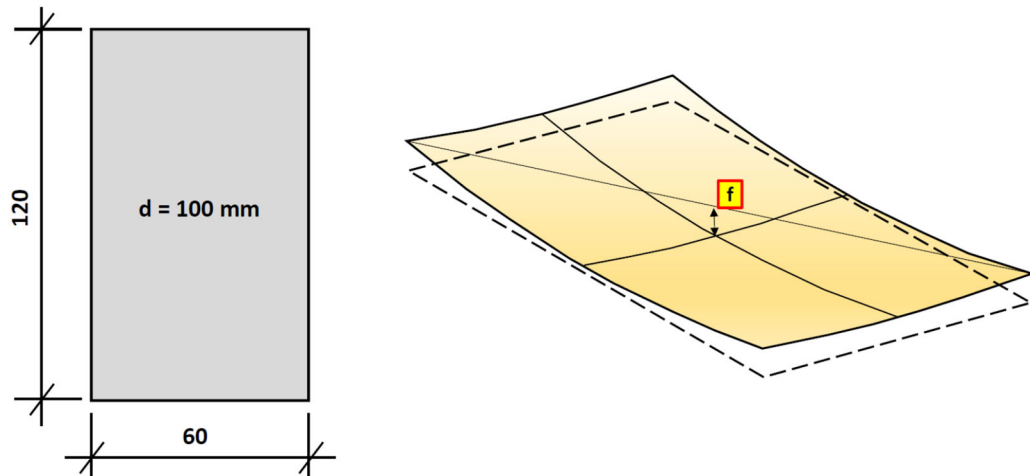


Bild 5: ungleiches Schwinden Estrich (SW2)

Dicke	0,10 m
Breite	0,20 m
Rohdichte Esstrich	22,00 kN/m ³
Belastung	0,44 kN/m
E-Modul	29000000 kN/m ²
Trägheitsmoment	0,0000167 m ⁴
Exl	483,33 kNm ²
Differenzschwindmaß	0,34 mm/m
Ersatzrandmoment	1,643 kNm
Diagonalmaß	1,34 m
Ersatzkragarm	0,67 m
Randverformung Moment	-0,76 mm
Randverformung Estriche	0,02 mm
resultierende Verformung	-0,74 mm

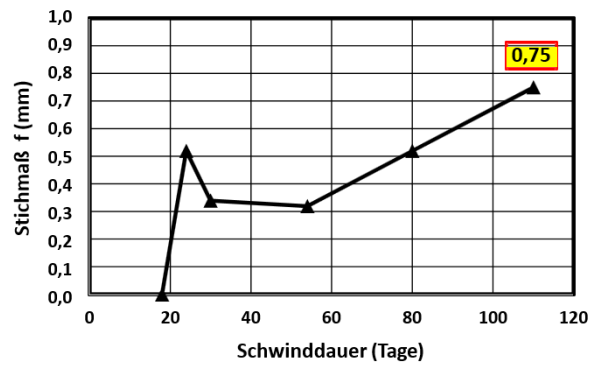


Bild 6: ungleiches Schwinden Estrich (SW2)

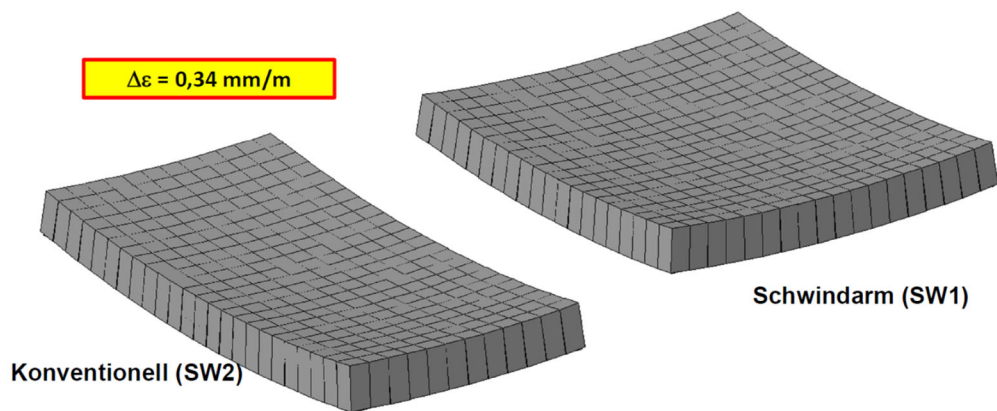


Bild 7: Berechnung Verformung

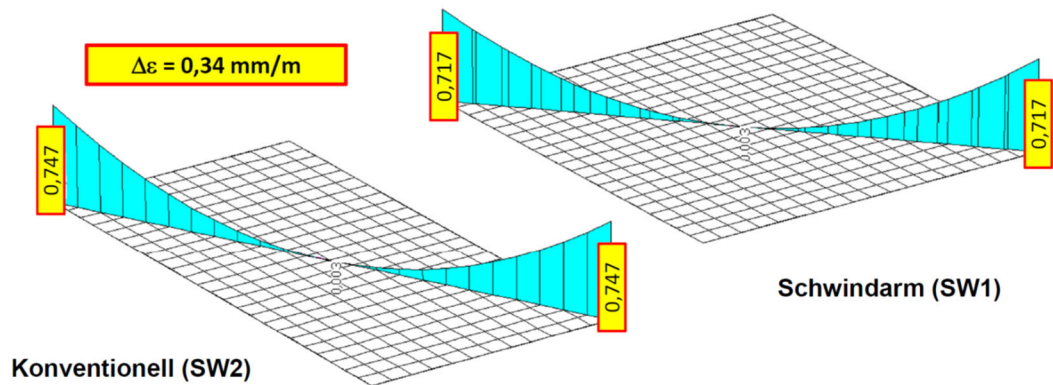


Bild 8: Berechnung Verformung

Die Auswertung der Versuche erfolgte sowohl mit Hilfe von FE-Berechnungen (Bilder 7 und 8) als auch näherungsweise nach dem Verfahren [7] von Klopfer (Bilder 4 und 6). Beide Verfahren zeigen eine qualitativ gute Übereinstimmung.

Es zeigt sich, dass aus der gleichmäßigen Schwindverformung keine Rückschlüsse auf ein ungleichmäßiges Schwinden möglich sind. Die übliche Annahme, dass bei ungleichmäßigem Schwinden die Hälfte des gleichmäßigen Schwindens angenommen werden kann, ist falsch.

3 Widerstände Estrich

Durch die Einführung der Schwindklassen in die DIN 18560-1 ist neben der Bemessung des Estrichs auf Biegebeanspruchung aus der Nutzung auch eine Bemessung des Estrichs auf eine Zugbeanspruchung infolge Schwinden oder Temperatur erforderlich. Beide Beanspruchungen sind zu überlagern, um eine Mehrfachnutzung des Estrichs auszuschließen.

3.1 Biegefestigkeit

Bei den zur Verfügung stehenden Rechenverfahren [8], [9] erfolgt die Bemessung von Estrichen mit dem Mittelwert der Biegezugfestigkeit für die Bestätigungsprüfung entsprechend DIN 18560-2. Der mögliche Kleinstwert ist durch eine Teilsicherheitsbeiwert für die Festigkeit des Estrichmörtels abzusichern. Das Verhältnis Mittel- und Kleinstwert ist in der Tabelle 4 aufgeführt.

Materialsicherheit		Biegefestigkeit (N/mm ²)		Abstandsfaktor zum Mindestwert
		Bestätigung	Mindestwert	
Calciumsulfat-fließestrich CAF	F4	4,00	3,50	1,14
	F5	5,00	4,50	1,11
	F7	7,00	6,50	1,08
Calciumsulfat-estrich CA	F4	2,50	2,00	1,25
	F5	3,50	2,50	1,40
	F7	4,50	3,50	1,29
Zementestrich CT	F4	2,50	2,00	1,25
	F5	3,50	2,50	1,40

Tabelle 4: Verhältnis Mittelwert / Kleinstwert

Eine Bemessung eines Estrichs ohne Berücksichtigung eines Teilsicherheitsbeiwertes kann sinnvollerweise nur mit dem Mindestwert der Biegefestigkeit durchgeführt werden.

Die DIN 18560-2 enthält kein Bemessungskonzept für den Nachweis von Estrichen und macht auch keine Angaben in welcher Form der Mittel- und Kleinstwert der Biegefestigkeit technisch genutzt werden sollen.

3.2 Zugfestigkeit

Für die Ermittlung der Beanspruchung durch das Schwinden des Estrichs ist die Größe der Zugfestigkeit zu ermitteln. Da die DIN 18560-2 nur Angaben zur Biegefestigkeit enthält, ist die Ableitung der Zugfestigkeit aus der Biegefestigkeit. Hinweise zur Beziehung zwischen Zugfestigkeit und Biegefestigkeit finden sich in DIN EN 1992-1-1. Die Biegefestigkeit ergibt sich näherungsweise aus der Zugfestigkeit zu:

$$\begin{aligned}\sigma_{BZ} &= \left(1,6 - \frac{d}{1000}\right) \cdot \sigma_Z & (1) \\ &= \frac{1600 - d}{1000} \cdot \sigma_Z\end{aligned}$$

Da die Biegefestigkeit mit der real vorhandenen Estrichdicke ermittelt wird, ergibt sich die Zugfestigkeit für die am Bauwerk vorhandenen Estrichdicke zu:

$$\begin{aligned}\sigma_Z &= \frac{1000 \cdot \sigma_{BZ}}{1600 - d} \\ \sigma_Z &= \alpha_Z \cdot \sigma_{BZ} & (2)\end{aligned}$$

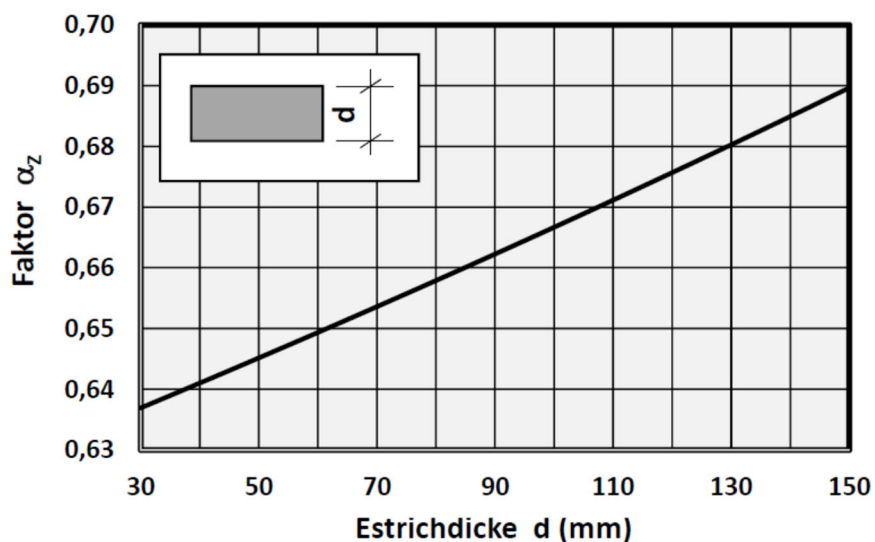


Bild 9: Faktor Zugfestigkeit

4 Sicherheitskonzept DIN 18560-2

Ein Sicherheits- bzw. Bemessungskonzept zur Beurteilung der Tragfähigkeit des Estrichs ist der DIN 18560-2 nicht enthalten. Es finden sich Anforderungen an die Estrichkonstruktion, die einen Einfluss auf die Tragfähigkeit haben. So werden durch die Bestätigungsprüfung die Werte für den Kleinst- und Mittelwert der Biegefestigkeit festgelegt. Zusätzlich wird die Zusammendrückbarkeit der Dämmstoffe eingeschränkt.

4.1 Biegebeanspruchung

Die Berechnung von Estrichen mit vertikaler Belastung erfolgt mit Hilfe des ZDB-Merkblattes [8] „Hoch belastete Beläge“ oder mit FE-Programmen. Neben den Abmessungen und der Biegefestigkeit ist die Kenntnis der vertikalen Bettungsziffer erforderlich. Beide Berechnungsverfahren liefern für den Bereich der Bettungsziffer von 0,5 – 5000 MN/m³ vergleichbare Ergebnisse.

Die Bettungsziffer ergibt sich in Abhängigkeit der Zusammendrückbarkeit entsprechend ZDB-Merkblatt zu:

$$k_V = \frac{1,75}{d_L - d_B} \quad (3)$$

$$k_V = 0,58 \text{ MN/m}^3 \quad (\text{Zusammendrückbarkeit } C = 3 \text{ mm})$$

$$k_V = 0,35 \text{ MN/m}^3 \quad (\text{Zusammendrückbarkeit } C = 5 \text{ mm})$$

k_V (MN/m ³)	Bettungsziffer
$d_L - d_B$ (mm)	Zusammendrückbarkeit Dämmstoff

Die nach ZDB-Merkblatt ermittelten Werte erscheinen zu gering zu sein. Die reale Bettungsziffer wird für einen Estrich mit einer Trittschalldämmung bei etwa $k_V = 5,0$ bis 20,0 MN/m³ liegen. Dem ZDB-Merkblatt liegt ein globaler Sicherheitsfaktor von 1,80 zugrunde, der sich wie folgt zusammensetzt.

$$\text{Teilsicherheit Einwirkung} \quad \gamma_F = 1,50$$

$$\text{Teilsicherheit Materialfestigkeit} \quad \gamma_M = 1,20$$

$$\text{Globale Sicherheit (1,50 x 1,20)} \quad \gamma_G = 1,80$$

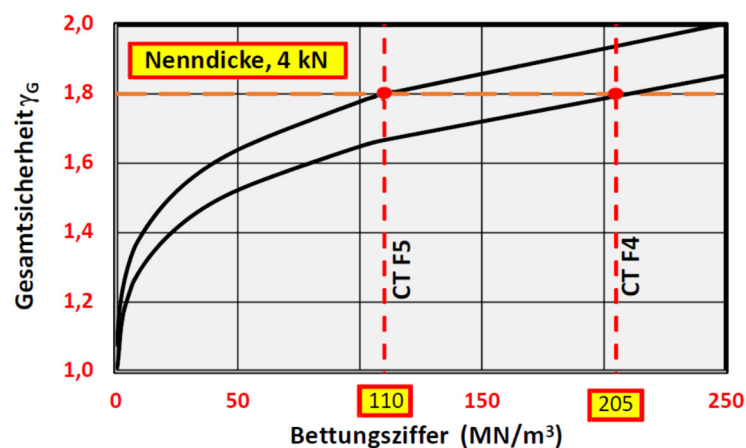


Bild 10: Sicherheit Zementestrich (F = 4 kN)

Eine Beurteilung (Bild 10) der erforderlichen Nenndicken der Zement- und Calciumsulfatestriche (Randbelastung 4 kN) mit Hilfe des ZDB-Merkblattes ergibt, dass ein Estrich mit Trittschalldämmung nicht möglich ist. Diese Beurteilung berücksichtigt keine Toleranzen.

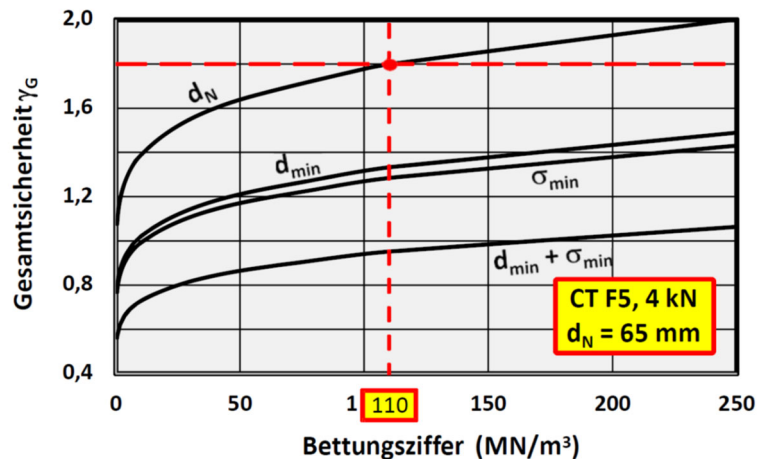


Bild 11: Sicherheit Zementestrich (F = 4 kN)

Am Beispiel eines Zementestrichs CT F5 mit einer Randbelastung (Bild 11) wird der Einfluss von Festigkeits- und Dickentoleranzen aufgezeigt. Es zeigt sich, dass unter Berücksichtigung der Toleranzen nach DIN 18560-1 und der Mindestfestigkeit nach DIN 18560-2 die Sicherheiten deutlich reduziert werden.

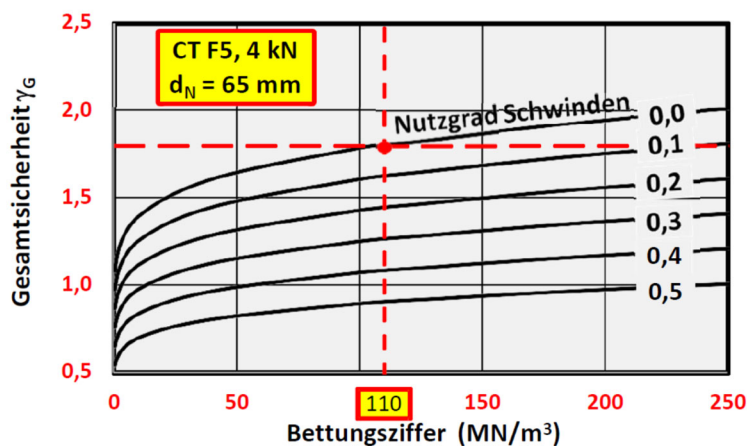


Bild 12: Einfluss des Schwindens auf die Tragfähigkeit

Durch die Einführung von Schwindklassen in der DIN 18560-1 wird dem Schwinden von Estrichen eine konstruktive Bedeutung zugewiesen, die jedoch bei der Festlegung der Nenndicken nicht erkennbar ist. Eine konstruktive Festlegung von Fugenabständen ist somit nicht mehr ausreichend.

Der Estrich wird somit sowohl durch vertikale als auch horizontale Belastungen beansprucht. Durch den Nachweis des Estrichs für beide Beanspruchungsrichtungen ist auszuschließen, dass der Estrich im Extremfall zweifach in seiner Tragfähigkeit genutzt wird.

Bei einer höheren Beanspruchung durch zentrischen Zug infolge des Schwindens des Estrichs ergibt sich eine deutliche Reduzierung (Bild 12) der Nutzung des Estrichs. Werden die Anwendungsbereiche der Nutzung entsprechend der Tabelle für die Nenndicken verlassen, ist eine Bemessung des Estrichs durch einen Fachplaner vorzunehmen und die erforderliche Estrichnenndicke zu bestimmen.

Bei lotrechten Nutzlasten > 5 kN/m² und/oder > 4 kN nach DIN EN 1991-1-1 und/oder dynamischen Lasten, sind die Estrichnenndicken planerisch festzulegen.

Auszug DIN 18560-2

Werden beispielsweise Lasten (Tabelle 5) nachgewiesen, die lediglich gering über der Werten für die Estrichnenndicke nach DIN 18560-2 liegen, so ergibt sich für einen Fachplaner die Situation, dass die erforderliche Estrichnenndicke wesentlich größer als die Nenndicke nach DIN 18560-2 ist.

Bettungsziffer $k_v = 10,0 \text{ MN/m}^3$			F = 4,0 kN		F = 4,1 kN	
			Dicke mm	Faktor Sicher- heit	Dicke mm	Faktor Sicher- heit
Calciumsulfat- fließestrich CAF	F4	d_N	65	1,59	70,5	1,80
	F5		55	1,46	62,5	
	F7		50	1,71	52,0	
Calciumsulfat- estrich CA	F4	d_N	75	1,29	90,5	1,80
	F5		65	1,39	75,7	
	F7		60	1,54	66,2	
Zement- estrich CT	F4	d_N	75	1,29	90,5	1,80
	F5		65	1,39	75,7	

Tabelle 5: Vergleich der Sicherheiten Mindestdicke / Berechnung

Die Nenndicken nach DIN 18560-2 sind z.B. für die Randbelastung von 4 kN für einen Fachplaner nach den üblichen Regeln für die Bemessung von Estrichen nicht nachweisbar. Das Sicherheitsniveau der Tabelle für die Nenndicke nach DIN 18560-2 ist in den Tabellen 6 und 7 angegeben.

Randbelastung Bettungsziffer $k_v = 0,58 \text{ MN/m}^3$			F = 1 kN		F = 2 kN		F = 3 kN		F = 4 kN	
			Dicke mm	Faktor Sicher- heit	Dicke mm	Faktor Sicher- heit	Dicke mm	Faktor Sicher- heit	Dicke mm	Faktor Sicher- heit
Calciumsulfat- fließestrich CAF	F4	d_N	35	1,52	50	1,47	60	1,43	65	1,25
	F5		35	1,90	45	1,51	50	1,27	55	1,14
	F7		35	2,66	40	1,70	45	1,47	50	1,34
Calciumsulfat- estrich CA	F4	d_N	45	1,51	65	1,50	70	1,19	75	1,02
	F5		40	1,70	55	1,53	60	1,25	65	1,09
	F7		35	1,71	50	1,65	55	1,37	60	1,21
Zement- estrich CT	F4	d_N	45	1,51	65	1,50	70	1,19	75	1,02
	F5		40	1,70	55	1,53	60	1,25	65	1,09

Tabelle 6: globale Sicherheit Estrich (Zusammendrückbarkeit Dämmung 3 mm)

Randbelastung Bettungsziffer $k_v = 10,0 \text{ MN/m}^3$			F = 1 kN		F = 2 kN		F = 3 kN		F = 4 kN	
			Dicke mm	Faktor Sicher- heit	Dicke mm	Faktor Sicher- heit	Dicke mm	Faktor Sicher- heit	Dicke mm	Faktor Sicher- heit
Calciumsulfat- fließestrich CAF	F4	d_N	35	2,07	50	1,96	60	1,82	65	1,59
	F5		35	2,59	45	2,02	50	1,63	55	1,46
	F7		35	3,62	40	2,29	45	1,89	50	1,71
Calciumsulfat- estrich CA	F4	d_N	45	2,02	65	1,98	70	1,52	75	1,29
	F5		40	2,29	55	2,04	60	1,60	65	1,39
	F7		35	2,33	50	2,20	55	1,75	60	1,54
Zement- estrich CT	F4	d_N	45	2,02	65	1,98	70	1,52	75	1,29
	F5		40	2,29	55	2,04	60	1,60	65	1,39

Tabelle 7: globale Sicherheit Estrich (Bettungsziffer $10,0 \text{ MN/m}^3$)

Die Nenndicken nach DIN 18560-2 sind z.B. für die Randbelastung von 4 kN für einen Fachplaner nach den üblichen Regeln für die Bemessung von Estrichen nicht nachweisbar. Das Sicherheitsniveau der Tabelle für die Nenndicke nach DIN 18560-2 ist in den Tabellen 6 und 7 angegeben. Für die Tabelle 6 wird die Ermittlung der Bettungsziffer nach ZDB-Merkblatt bei einer Zusammendrückbarkeit von 3 mm vorgenommen. Für Tabelle 7 wird vereinfachend die Bettungsziffer mit einem Wert von $k_v = 10 \text{ MN/m}^3$ zugrunde gelegt.

Die überwiegende Anzahl der Estrichflächen werden für Wohnräume und ohne Dehnfuge im Raum (Bild 13) ausgeführt. Die Punktbelastung (Tabellen 1a und 1b) für diese Flächen beschränkt sich auf $Q_k \leq 2 \text{ kN}$. Für diese Beanspruchung (Tabelle 7) weist die Nenndicke in DIN 18560-2 eine ausreichende Sicherheit auf.

Hieraus erklärt sich, dass Estriche mit einer Nenndicke entsprechend DIN 18560-2 überwiegend schadenfrei bleiben.

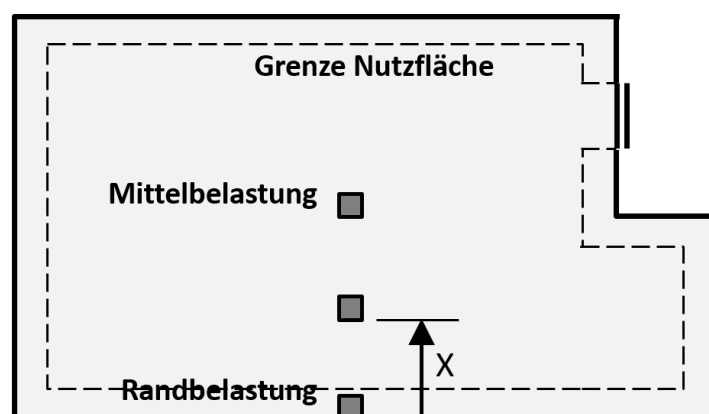


Bild 13: Estrichfläche ohne Dehnfuge

Gewerblich genutzte Flächen mit der Bewegung von Lasten mittels Gabelhubwagen führen zu Punktbelastungen, die über $Q_k \geq 3 \text{ kN}$ liegen. Bei dieser Art der Flächennutzung ergibt sich die höchste Beanspruchung der Estrichfläche an Dehnfugen in der Fläche (Bild 14) und im Bereich von Türöffnungen. Bei Belastungen mit $Q_k \geq 3 \text{ kN}$ weisen die Nenndicken der DIN 18560-2 (Tabelle 7) keine ausreichende Sicherheit auf.

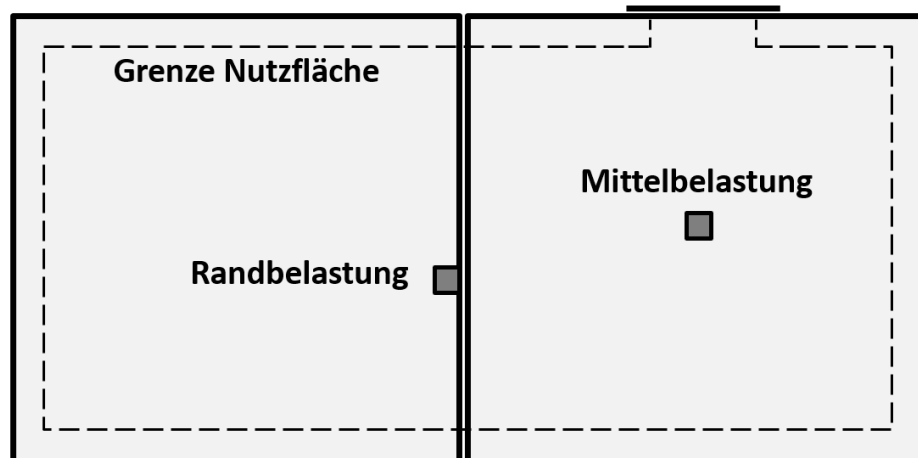


Bild 14: Estrichfläche mit Dehnfuge

Belastungen aus Fahrzeugen zur Reinigung oder zum Transport von Lasten führen nur beim Überqueren von Fugen zu einer Randbelastung des Estrichs. Ein Fahrzeugverkehr in der Fläche des Estrichs kann nicht zu einer Randbelastung des Estrichs führen.

Es zeigt sich (Bild 15), dass gegenüber einer Belastung am Plattenrand bereits bei einem Randabstand von 10 cm die Spannungen im Estrich deutlich (ca. 35%) reduziert werden. Hieraus ergibt sich eine Erhöhung (Bild 16) der aufnehmbaren Belastung um den Faktor 1,5.

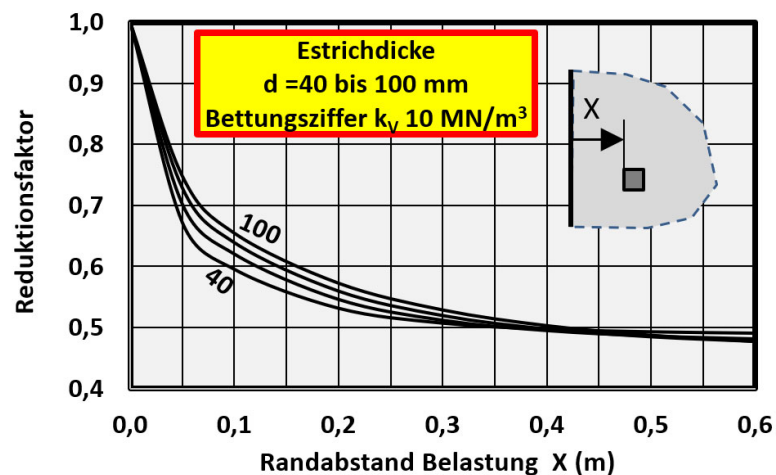


Bild 15: Reduktion Biegespannung Estrich

Bereits bei einem Randabstand von 20 cm bis 30 cm erhöht sich die Tragfähigkeit des Estrichs wie bei einer Belastung in der Flächenmitte. Die Sicherheiten des Estrichs bei einer Belastung in der Mitte des Estrichs sind in den Tabellen 8 und 9 aufgeführt.

Bei einer realen Bettungsziffer von $k_v \geq 10 \text{ MN/m}^3$ wird die erforderliche globale Sicherheit von $\gamma_G = 1,8$ nach ZDB-Merkblatt erreicht.

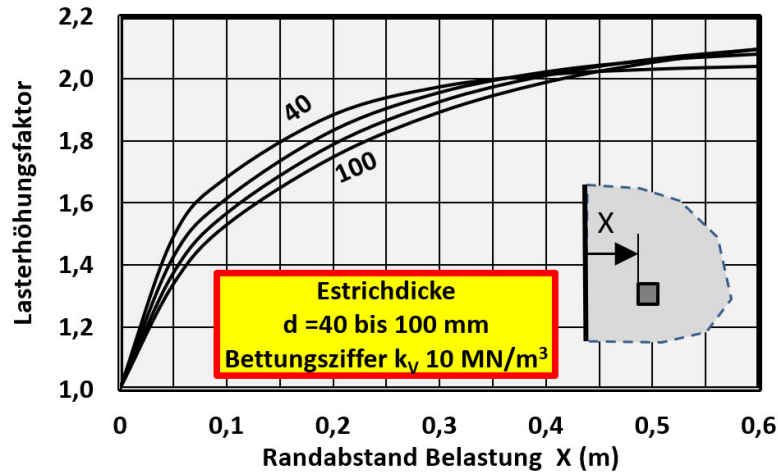


Bild 16: Erhöhung der aufnehmbaren Belastung

Sind in Estrichflächen Dehnfugen vorhanden oder werden gewerblich genutzte Estrichflächen bei der Nutzung mit Geräten befahren, so kann eine Festlegung der Estrichnenndicke auf der Basis der Angaben der DIN 18560-2 nicht erfolgen. Durch den Einsatz von Geräten, wie zum Beispiel Gabelhubwagen, sind stets Randbelastungen durch das Überqueren von Fugen maßgebend für die Bestimmung der erforderlichen Estrichnenndicke.

Mittelbelastung Bettungsziffer $k_v = 0,58 \text{ MN/m}^3$			F = 1 kN		F = 2 kN		F = 3 kN		F = 4 kN	
			Dicke mm	Faktor Sicher- heit	Dicke mm	Faktor Sicher- heit	Dicke mm	Faktor Sicher- heit	Dicke mm	Faktor Sicher- heit
Calciumsulfat- fließestrich CAF	F4	d_N	35	2,93	50	2,87	60	2,71	65	2,37
	F5		35	3,66	45	2,93	50	2,39	55	2,15
	F7		35	5,13	40	3,29	45	2,74	50	2,51
Calciumsulfat- estrich CA	F4	d_N	45	2,93	65	2,96	70	2,28	75	1,96
	F5		40	3,29	55	3,01	60	2,37	65	2,07
	F7		35	3,30	50	3,22	55	2,58	60	2,28
Zement- estrich CT	F4	d_N	45	2,93	65	2,96	70	2,28	75	1,96
	F5		40	3,30	55	3,01	60	2,40	65	2,07

Tabelle 8: globale Sicherheit Estrich (Zusammendrückbarkeit Dämmung 3 mm)

Mittelbelastung Bettungsziffer $k_v = 10,0 \text{ MN/m}^3$			F = 1 kN		F = 2 kN		F = 3 kN		F = 4 kN	
			Dicke mm	Faktor Sicher- heit	Dicke mm	Faktor Sicher- heit	Dicke mm	Faktor Sicher- heit	Dicke mm	Faktor Sicher- heit
Calciumsulfat- fließestrich CAF	F4	d_N	35	3,88	50	3,74	60	3,52	65	3,07
	F5		35	4,85	45	3,84	50	3,12	55	2,80
	F7		35	6,78	40	4,33	45	3,59	50	3,27
Calciumsulfat- estrich CA	F4	d_N	45	3,84	65	3,84	70	2,95	75	2,53
	F5		40	4,33	55	3,91	60	3,08	65	2,69
	F7		35	4,36	50	4,21	55	3,56	60	2,97
Zement- estrich CT	F4	d_N	45	3,84	65	3,84	70	2,95	75	2,53
	F5		40	4,33	55	3,91	60	3,08	65	2,69

Tabelle 9: globale Sicherheit Estrich (Bettungsziffer 10,0 MN/m³)

4.2 Zugbeanspruchung

Die Zugbeanspruchung des Estrichs ergibt sich aus dem Verschiebewiderstand der Trennschicht zwischen Estrich und Dämmung. Für die Ermittlung der Zugbeanspruchung des Estrichs finden zwei Rechenmodelle Anwendung.

4.2.1 Rechenmodell Reibung

Die Reibungskraft (Scherspannung) ist abhängig von dem Gewicht der Estrichkonstruktion, der ständig vorhanden Nutzlast und dem Reibungsbeiwert der Gleitebene zwischen Estrich und Dämmung.

$$\tau_{Ed} = g_{Ek} \cdot \mu \cdot \gamma_F \quad (4)$$

τ_{Ed} (kN/m ²)	Bemessungsscherspannung aus ständiger Einwirkung
g_{Ek} (kN/m ²)	charakteristische ständige Einwirkung vertikal
μ (/)	Reibungsbeiwert
γ_F (/)	Teilsicherheitsfaktor Belastung

Die maximale Zugkraft im Estrich ermittelt sich aus dem Flächeninhalt der Scherspannung. Die Zugkraft ermittelt sich nach folgender Beziehung:

$$n_{Ed} = 0,5 \cdot L \cdot \tau_{Ed} \quad (5)$$

Die Zugspannung im Estrich ermittelt sich zu:

$$\sigma_{Ed,Z} = \frac{n_{Ed}}{d} \quad (6)$$

n_{Ed} (kN/m)	Zugkraft im Estrich aus ständiger Einwirkung
σ_{Ed} (N/mm ²)	Zugspannung im Estrich
L (m)	Estrichlänge
d (mm)	Estrichdicke

Der Fugenabstand kann auf Basis der zur Verfügung stehenden Zugfestigkeit des Estrichs ermittelt werden. Die zur Verfügung stehende Estrichfestigkeit ergibt sich aus der Interaktion von Biege- und Zugfestigkeit des Estrichs.

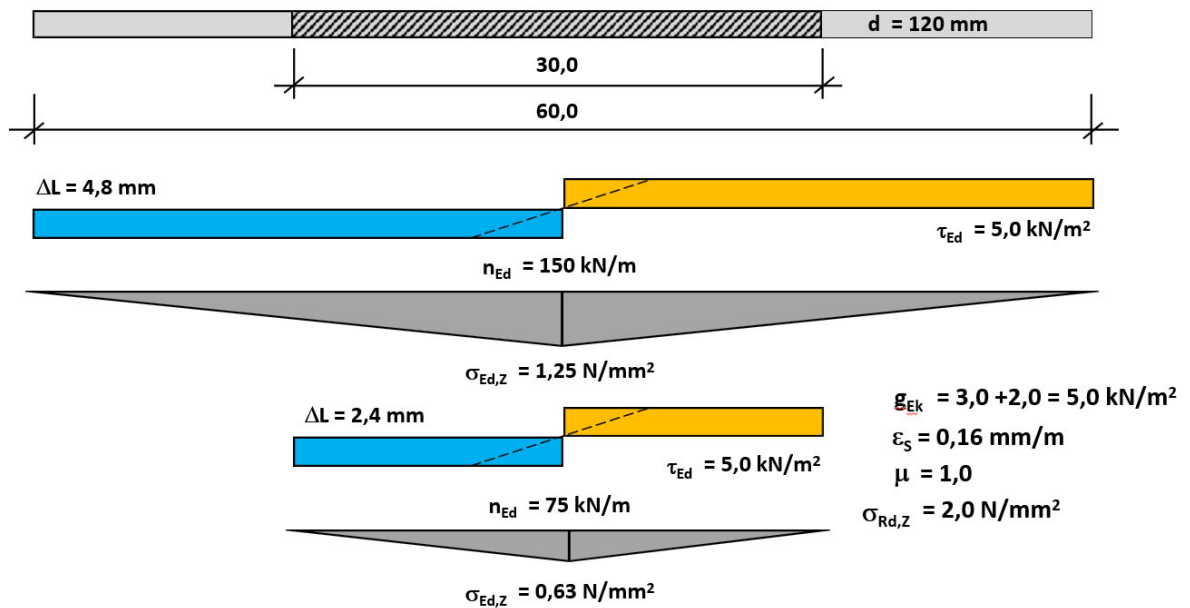


Bild 17: Beispiel: Zugspannung infolge Schwindens des Estrichs

Das Kriechen des Estrichs bleibt bei der Ermittlung der Zugspannung unberücksichtigt. Hieraus ergibt ein Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_F = 1,0$.

Estrichlänge L = 60,0 m

$$\begin{aligned}
 \tau_{Ed} &= g_{Ek} \cdot \mu \cdot \gamma_F \\
 &= (3,0 + 2,0) \cdot 1,0 \cdot 1,0 \\
 &= 5,0 \text{ kN/m}^2 \\
 n_{Ed} &= 0,5 \cdot L \cdot \tau_{Ed} \\
 &= 0,5 \cdot 60,0 \cdot 5,0 \\
 &= 150 \text{ kN/m} \\
 \sigma_{Ed,Z} &= \frac{n_{Ed}}{d} \\
 &= \frac{150}{120} \\
 &= 1,25 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Estrichlänge L = 30,0 m

$$\begin{aligned}
 \tau_{Ed} &= g_{Ek} \cdot \mu \cdot \gamma_F \\
 &= (3,0 + 2,0) \cdot 1,0 \cdot 1,0 \\
 &= 5,0 \text{ kN/m}^2 \\
 n_{Ed} &= 0,5 \cdot L \cdot \tau_{Ed} \\
 &= 0,5 \cdot 30,0 \cdot 5,0 \\
 &= 75 \text{ kN/m} \\
 \sigma_{Ed,Z} &= \frac{n_{Ed}}{d} \\
 &= \frac{75}{120} \\
 &= 0,63 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Bei einer unsymmetrischen ständigen Belastung liegt der Ruhepunkt des Systems nicht in Estrichmitte, sondern verschiebt sich in den Bereich mit der höchsten Belastung. Die Bewegungen der Estrichränder unterscheiden sich in diesem Fall.

Die Zugspannung im Estrich ist linear abhängig von der Länge des Estrichs und der Höhe der ständigen Belastung.

4.2.2 Rechenmodell Bettung

Der Ansatz einer horizontalen Bettung setzt einen beidseitigen Verbund der Trennlage voraus. Die Annahme, dass die horizontale Bettung gleich der vertikalen Bettung ist, führt zu großen Zugkräften im Estrich.

$$w = 0,5 \cdot \varepsilon_s \cdot L \quad (7)$$

$$\tau_{Ed} = k_H \cdot w \cdot \gamma_F \quad (8)$$

ε_s (mm/m)	Schwindmaß Estrich
L (m)	Estrichlänge
τ_{Ed} (kN/m ²)	Bemessungsscherspannung
k_H (MN/m ³)	horizontale Bettungsziffer
w (mm)	Verformung aus Schwinden
γ_F (/)	Teilsicherheitsfaktor Belastung

Die maximale Zugkraft im Estrich ermittelt sich aus dem Flächeninhalt der Scherspannung. Die Zugkraft ermittelt sich nach folgender Beziehung:

$$\begin{aligned} n_{Ed} &= 0,5 \cdot 0,5 \cdot L \cdot \tau_{Ed} \\ &= 0,25 \cdot L \cdot \tau_{Ed} \end{aligned} \quad (9)$$

Die Zugspannung im Estrich ermittelt sich zu:

$$\sigma_{Ed,Z} = \frac{n_{Ed}}{d} \quad (10)$$

n_{Ed} (kN/m)	Zugkraft im Estrich aus ständiger Einwirkung
σ_{Ed} (N/mm ²)	Zugspannung im Estrich
L (m)	Estrichlänge
d (mm)	Estrichdicke

Das Kriechen des Estrichs bleibt bei der Ermittlung der Zugspannung unberücksichtigt. Hieraus ergibt ein Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_F = 1,0$.

Estrichlänge L = 60,0 m

$$\begin{aligned} w &= 0,5 \cdot \varepsilon_s \cdot L \\ &= 0,5 \cdot 0,16 \cdot 60 \\ &= 4,8 \text{ mm} \\ \tau_{Ed} &= k_H \cdot w \cdot \gamma_F \\ &= 12 \cdot 4,8 \cdot 1,0 \\ &= 57,6 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Estrichlänge L = 30,0 m

$$\begin{aligned} w &= 0,5 \cdot \varepsilon_s \cdot L \\ &= 0,5 \cdot 0,16 \cdot 30 \\ &= 2,4 \text{ mm} \\ \tau_{Ed} &= k_H \cdot w \cdot \gamma_F \\ &= 12 \cdot 2,4 \cdot 1,0 \\ &= 28,8 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{Ed} &= 0,25 \cdot L \cdot \tau_{Ed} \\ &= 0,25 \cdot 60,0 \cdot 57,6 \\ &= 864 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{Ed,Z} &= \frac{n_{Ed}}{d} \\ &= \frac{864}{120} \\ &= 7,2 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{Ed} &= 0,25 \cdot L \cdot \tau_{Ed} \\ &= 0,25 \cdot 30,0 \cdot 28,8 \\ &= 216 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{Ed,Z} &= \frac{n_{Ed}}{d} \\ &= \frac{216}{120} \\ &= 1,8 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

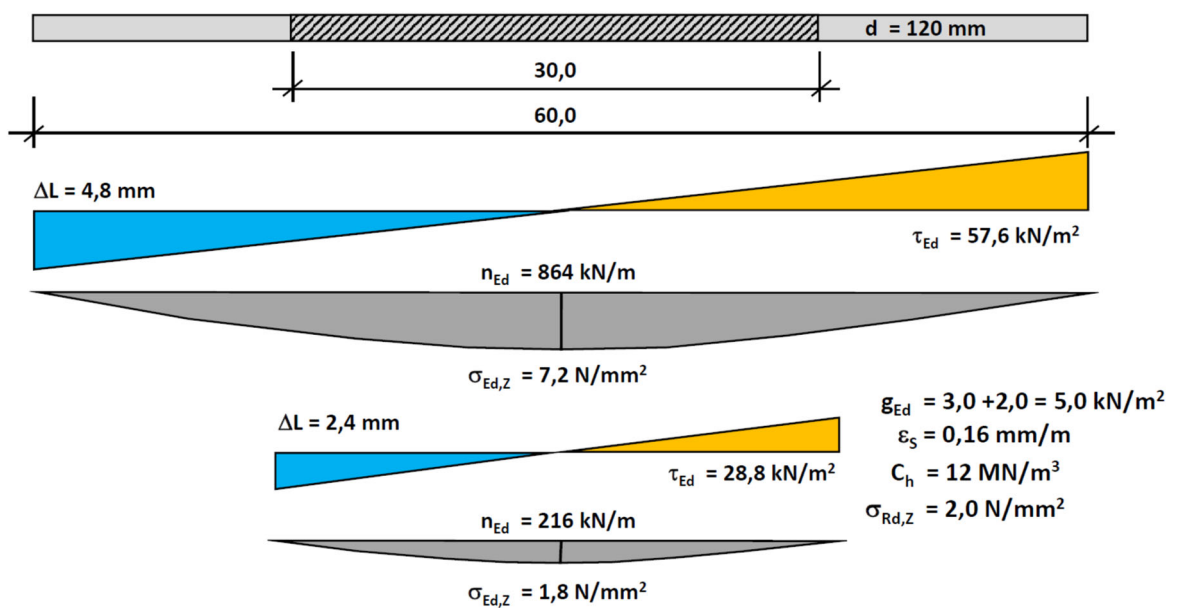


Bild 18: Zugspannung infolge Schwindens des Estrichs

Die Plausibilität des Rechenmodells lässt sich in der Form überprüfen, dass die ermittelte Zugkraft nicht größer sein darf als das Gesamtgewicht des Estrichs multipliziert mit dem Reibungsbeiwert. Bei dem im Bild 18 dargestellten Beispiel beträgt das Gesamtgewicht 300 kN/m bei einer Gesamtlänge von 60 m . Dem gegenüber steht eine ermittelte Zugkraft von 864 kN/m . Die Zugkraft im Estrich ändert sich bei einer Änderung der Estrichlänge quadratisch zur Ausgangslänge. Bei einer Verdoppelung der Estrichlänge erhöht sich die Zugkraft um den Faktor 4.

Der Einsatz eines Rechenmodells mit Bettung führt zu einer Überbewertung (Bild 19) des Einflusses der Schwindklasse. Durch die Gleitschicht zwischen Estrich und Dämmung hat die Schwindverformung lediglich auf die Fugenausbildung einen Einfluss

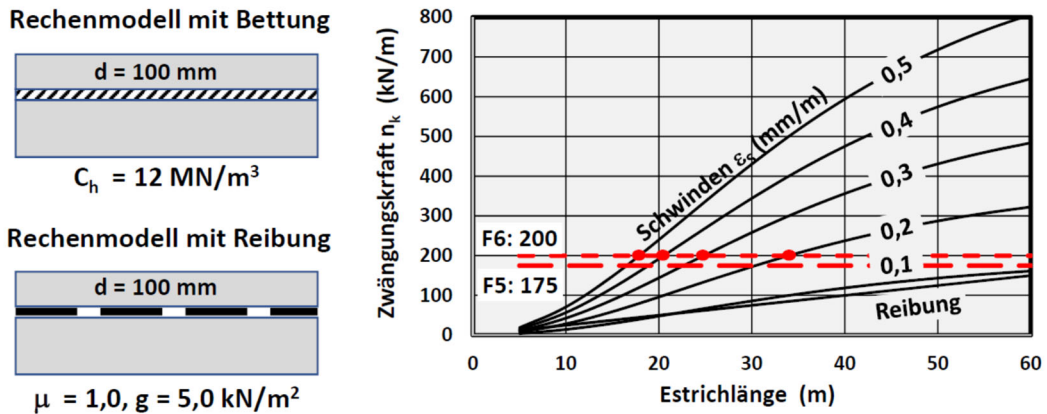


Bild 19: Einfluss des Estrichschwindens auf die Zugkraft des Estrichs

5 Estrichbemessung

5.1 Allgemeines

Bei lotrechten Nutzlasten > 5,0 kN/m² und/oder > 4,0 kN nach DIN EN 1991-1-1 und/oder dynamischen Lasten, sind die Estrichendicken und Berücksichtigung der DIN EN 1990 planerisch festzulegen. Alternativ kann die Belastung der Estrichfläche durch den Fachplaner über einen Nutzungsplan definiert werden.

5.2 Einwirkungen

Die Ermittlung der Biegespannung für die Bemessung erfolgt auf der Basis der DIN EN 1990 mit Teilsicherheiten für jede Einwirkung. Die Sicherheitsbeiwerte können der Tabelle 10 entnommen werden.

5.3 Teilsicherheitsbeiwerte

Die maßgebliche Biegespannung zum Nachweis des Estrichs kann sich aus mehreren Belastungen zusammensetzen. Die Einwirkungen auf einen Estrich sind in ungünstigster Kombination zu überlagern.

Ständige, entlastende Einwirkungen sind mit der Teilsicherheit 0,90 zu berücksichtigen. Veränderliche Einwirkungen bleiben bei einer entlastenden Wirkung unberücksichtigt.

Bauteilart		γ_M	γ_F	γ_G	ψ_0
Estrich	ständig	1,20	1,35 ¹⁾	1,62	
	variabel	1,20	1,50 ²⁾	1,80	
Kobination					0,70
γ_M	Materialsicherheit				
γ_F	Sicherheitsfaktor für Belastung				
γ_G	globaler Sicherheitsfaktor				
ψ_0	Kombinationsbeiwert				

¹⁾ Kann auf den Wert 1,00 reduziert werden, wenn der Einfluss von Kriechen nicht berücksichtigt wird.

²⁾ Kann in Absprache mit dem Bauherrn reduziert werden

Tabelle 10: Teilsicherheitsbeiwerte und globaler Sicherheitsfaktor

5.4 Materialwiderstände

Der Widerstand der Biegespannung des Estrichs ermittelt sich aus dem mittleren Wert der Biegefestigkeit der Bestätigungsprüfung.

$$\sigma_{Rd,BZ} = \frac{\sigma_{BZ}}{\gamma_M} \quad (11)$$

$\sigma_{Rd,BZ}$ (N/mm ²)	Bemessungswiderstand
σ_{BZ} (N/mm ²)	Mittelwert der Biegefestigkeit der Bestätigungsprüfung
γ_M (/)	Teilsicherheit Material

Der Teilsicherheitsbeiwert für das Estrichmaterial ist mit dem Wert $\gamma_M = 1,20$ anzunehmen. Wird kein Teilsicherheitsbeiwert für das Estrichmaterial berücksichtigt, sind die Nachweise mit dem Kleinstwert der Biegefestigkeit zu führen.

5.5 Biegebeanspruchung

5.5.1 vertikale Belastung

Die Beanspruchung des Estrichs aus vertikaler Belastung kann mit den Regelwerken [8], [9] oder mit Hilfe von FE-Berechnungen ermittelt werden. Die erforderlich vertikale Bettungsziffer zur Durchführung der Berechnungen ist objektbezogen zu ermitteln.

5.5.2 ungleiches Schwinden

Ungleiches Schwinden führt bei Estrichen ohne Belag zum Abheben der Ränder und Ecken. Die Beanspruchung aus ungleichem Schwinden führt zur Vorspannung der Unterseite des Estrichs und erfordert daher keine Überlagerung mit vertikalen Beanspruchungen.

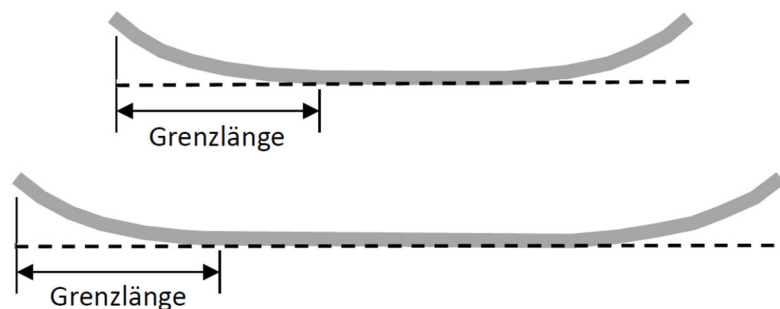


Bild 20: Schüsseln von Estrichen

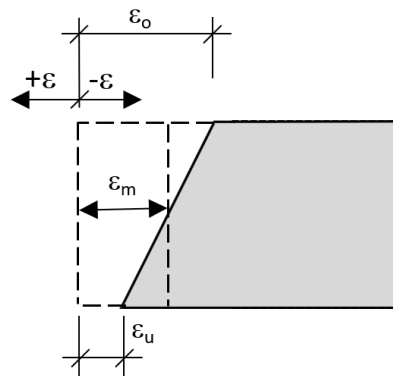


Bild 21: ungleiches Schwinden

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_u - \varepsilon_o \quad (12)$$

$$\sigma_{Ed,BZ} \approx \frac{\Delta\varepsilon \cdot E \cdot (1+\nu) \cdot 10^{-3}}{2} \cdot \gamma_F \quad (13)$$

$$\sigma_{Rd,BZ} \leq \frac{\sigma_{BZ}}{\gamma_M} \quad (14)$$

$\sigma_{Ed,BZ}$ (N/mm ²)	Biegespannung aus Belastung
σ_{BZ} (N/mm ²)	Mittelwerte der Biegefestigkeit der Bestätigungsprüfung
$\sigma_{Rd,BZ}$ (N/mm ²)	Widerstand Biegespannung
E (N/mm ²)	Elastizitätsmodul Lastverteilungsschicht
ν (/)	Querdehnzahl (Werte zwischen 0,15 – 0,25)
γ_F (/)	Teilsicherheitsfaktor der Belastung
γ_M (/)	Teilsicherheitsfaktor für Materialfestigkeit
ε_u (mm/m)	Schwindverformung Unterseite
ε_o (mm/m)	Schwindverformung Oberseite
$\Delta\varepsilon$ (mm/m)	Verformungsdifferenz

5.5.3 ungleiche Temperatur

Bei Heizestrichen ergibt sich eine Temperaturdifferenz zwischen der Unter- und Oberseite des Estrichs. Die Verformung ergibt sich aus der Temperaturdifferenz und dem Wärmeausdehnungskoeffizient des Estrichs.

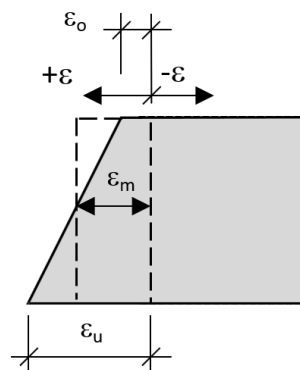


Bild 22: ungleiche Temperatur

$$\varepsilon_u = \alpha_T \cdot T_u \quad (15)$$

$$\varepsilon_o = \alpha_T \cdot T_o \quad (16)$$

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_u - \varepsilon_o \quad (17)$$

$$\sigma_{Ed,BZ} \approx \frac{\Delta\varepsilon \cdot E \cdot (1+\nu) \cdot 10^{-3}}{2} \cdot \gamma_F \quad (18)$$

$$\sigma_{Rd,BZ} \leq \frac{\sigma_{BZ}}{\gamma_M} \quad (19)$$

T_u (K)	Temperatur Unterseite
T_o (K)	Temperatur Oberfläche
α_T (mm/m/100K)	Wärmeausdehnungskoeffizient
ε_u (mm/m)	Verformungsdifferenz
ε_o (mm/m)	Verformungsdifferenz
$\Delta\varepsilon$ (mm/m)	Verformungsdifferenz
$\sigma_{L,B}$ (N/mm ²)	Biegespannung aus Belastung
σ_{BZ} (N/mm ²)	Mittelwerte der Biegefestigkeit der Bestätigungsprüfung
E (MN/m ²)	Elastizitätsmodul Estrich
$\Delta\varepsilon$ (mm/m)	Verformungsdifferenz
ν (/)	Querdehnzahl (Werte zwischen 0,15 – 0,25)
γ_F (/)	Teilsicherheitsfaktor der Belastung
γ_M (/)	Teilsicherheitsfaktor für Materialfestigkeit

5.5 Nachweis der Standsicherheit

Der Nachweis für den Estrich ist erbracht, wenn die Bemessungseinwirkung kleiner als der Bemessungswiderstand des Estrichs ist.

5.5.1 Bemessungswert der Biegespannung

Der Bemessungswert der Biegespannung kann sich aus mehreren Beanspruchungen zusammensetzen. Die maßgebliche Biegespannung kann sich aus unterschiedlichen Laststellungen ergeben.

Bei einer ingenieurmäßigen Ermittlung der maßgeblichen Biegespannung ist die Kombination der Beanspruchungen nach folgender Beziehung durchzuführen:

$$\sigma_{Ed,BZ} = \sigma_{Ed,BZ,g} \cdot \gamma_{F,g} + \sigma_{Ed,BZ,q} \cdot \gamma_{F,q} + \psi_0 \cdot (\sigma_{Ed,BZ,T} \cdot \gamma_{F,T} + \sigma_{Ed,BZ,S} \cdot \gamma_{F,S}) \quad (20)$$

$\sigma_{Ed,BZ}$ (N/mm ²)	Bemessungsbiegespannung
$\sigma_{Ed,BZ,g}$ (N/mm ²)	Biegespannung aus Eigenlast
$\sigma_{Ed,BZ,q}$ (N/mm ²)	Biegespannung aus veränderlicher Einwirkung
$\sigma_{Ed,BZ,T}$ (N/mm ²)	Biegespannung aus Temperatur
$\sigma_{Ed,BZ,S}$ (N/mm ²)	Biegespannung aus Schwinden
$\gamma_{F,g}$ (/)	Teilsicherheit Eigenlast
$\gamma_{F,q}$ (/)	Teilsicherheit veränderliche Einwirkung

$\gamma_{F,T}$ (/)	Teilsicherheit Temperatur
$\gamma_{F,S}$ (/)	Teilsicherheit Schwinden
ψ_0 (/)	Kombinationsbeiwert

$$\sigma_{Ed,BZ} \leq \sigma_{Rd,BZ} \quad (21)$$

Der Nutzgrad des Estrichs für die Biegebeanspruchung ergibt sich zu:

$$\begin{aligned} \eta_B &= \frac{\sigma_{Ed,BZ}}{\sigma_{Rd,BZ}} \\ &\leq 1,0 \end{aligned} \quad (22)$$

5.5.2 Bemessungswert der Zugspannung

Durch die Einführung der Schwindklassen im Teil 1 der DIN 18560 kann das Schwindmaß je nach gewähltem Rechenmodell einen wesentlichen Einfluss auf die Tragfähigkeit des Estrich haben. Die zentrische Zugspannung kann nach folgender Beziehung ermittelt werden.

$$\sigma_{Ed,Z} = \sigma_{Ed,Z,T} \cdot \gamma_{F,T} + \sigma_{Ed,Z,S} \cdot \gamma_{F,S} \quad (23)$$

$\sigma_{Ed,Z,T}$ (N/mm ²)	Biegespannung aus Temperatur
$\sigma_{Ed,Z,S}$ (N/mm ²)	Biegespannung aus Schwinden
$\gamma_{F,T}$ (/)	Teilsicherheit Temperatur
$\gamma_{F,S}$ (/)	Teilsicherheit Schwinden

$$\sigma_{Ed,Z} \leq \sigma_{Rd,Z} \quad (24)$$

Der Nutzgrad des Estrichs für Zugbeanspruchung ergibt sich zu:

$$\begin{aligned} \eta_Z &= \frac{\sigma_{Ed,Z}}{\sigma_{Rd,Z}} \\ &\leq 1,0 \end{aligned} \quad (25)$$

5.5.3 Überlagerung der Spannungen

Für Überlagerung von Biegebeanspruchung und Zugbeanspruchung ist folgende Bedingung zu erfüllen:

$$\begin{aligned} \eta &= \eta_B + \eta_Z \\ &\leq 1,0 \end{aligned} \quad (26)$$

6 Literaturhinweise

- [1] DIN 18560-1 Estriche im Bauwesen
 - Allgemeine Anforderungen, Prüfung und Ausführung
- [2] DIN 18560-1 Estriche im Bauwesen
 - Estriche und Heizestriche auf Dämmschichten
- [3] DIN EN 13892-9 Prüfverfahren mit Estrichmörtel und Estrichmassen
 - Estriche und Heizestriche auf Dämmschichten
- [4] DIN EN 1990/NA Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung
- [5] DIN EN 1991-1-1 Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau
- [6] DIN EN 1992-1-1 Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau

- [7] H. Klopfer
Spannungen und Verformungen von Industrieestrichen
Industrial floors, 1987, Seiten: S.57-76
- [8] Hoch belastete Beläge
Mechanisch hoch belastbare keramische Bodenbeläge
Fachverband Fliesen und Naturstein
Im Zentralverband Deutsches Baugewerbe e.V., Berlin
- [9] Merkblatt 8-2: Bemessung von Bodenkonstruktionen
- Teil 2 Lastverteilungsschichten
Deutsche Naturstein Akademie e.V.
Bahnhofstrasse 47, 56759 Kaisersesch

A Beispiele

A1: Berechnung des Einflusses von Schwinden auf die Tragfähigkeit

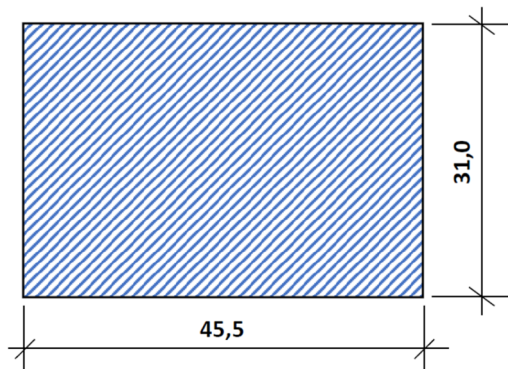


Bild A1: Grundriss



Bild A2: Querschnitt

Für die Berechnung des Einflusses von Schwinden auf die Tragfähigkeit finden zwei verschiedene Rechenmodelle Anwendung. Zum einen erfolgt die Berechnung der zentrischen Zugspannung auf der Basis der Reibung an der Unterseite des Estrichs und zum anderen unter Festlegung einer horizontalen Bettungsziffer für den Estrich. Die Berechnung erfolgt sowohl für einen Estrich mit der Schwindklasse 1 (SW1) als auch für die Schwindklasse 2 (SW2). Da der Einfluss des Kriechens nicht berücksichtigt wird, erfolgt die Berechnung mit einer reduzierten Teilsicherheit für die Einwirkung.

Um den Einfluss des Rechenmodells auf die Ermittlung der Zugspannung des Estrichs auf zu zeigen wird die aufnehmbare Zugspannung voll genutzt.

Belastung:	Schwindmaß (SW1)	ε_S	= 0,16 mm/m
	Schwindmaß (SW2)	ε_S	= 0,38 mm/m
	Teilsicherheit Einwirkung	γ_F	= 1,00
	Reibungsbeiwert	μ	= 1,00
	Ständige Belastung Konstruktion	g_{Ek}	= (3,0 + 2,0)
	Bemessungswert Reibung	τ_{Ed}	= 5,00
	horizontale Bettungsziffer	k_H	= 13,0 MN/m ³
Estrich CT F5 (SW2)	Biegefestigkeit	σ_{BZ}	= 3,50 N/mm ²
	Teilsicherheit Material	γ_M	= 1,20
	Bemessungswert Biegefestigkeit	$\sigma_{Rd,BZ}$	= 2,92 N/mm ²
	Umrechnungsfaktor Zugfestigkeit	α_Z	= 0,676
	Bemessungswert Zugfestigkeit	$\sigma_{Rd,Z}$	= 1,97 N/mm ²
Estrich CT F6 (SW1)	Biegefestigkeit	σ_{BZ}	= 4,00 N/mm ²
	Teilsicherheit Material	γ_M	= 1,20
	Bemessungswert Biegefestigkeit	$\sigma_{Rd,BZ}$	= 3,33 N/mm ²
	Umrechnungsfaktor Zugfestigkeit	α_Z	= 0,676
	Bemessungswert Zugfestigkeit	$\sigma_{Rd,Z}$	= 2,25 N/mm ²

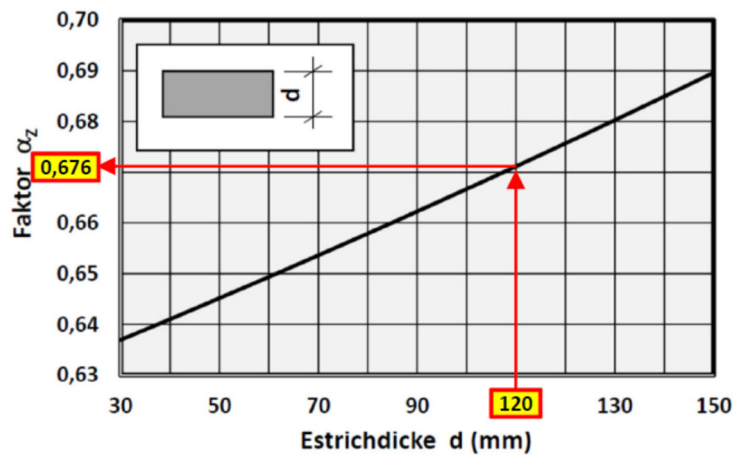


Bild A3: Faktor zur Ermittlung des Widerstandes der Zugfestigkeit

Rechenmodell Reibung:

Estrichlänge L = 45,5 m (SW1)

$$\begin{aligned} \tau_{Ed} &= g_{Ek} \cdot \mu \cdot \gamma_F \\ &= (3,0 + 2,0) \cdot 1,0 \cdot 1,0 \\ &= 5,0 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{Ed} &= 0,5 \cdot L \cdot \tau_{Ed} \\ &= 0,5 \cdot 45,50 \cdot 5,0 \\ &= 114 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{Ed,Z} &= \frac{n_{Ed}}{d} \\ &= \frac{114}{120} \\ &= 0,95 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Estrichlänge L = 45,5 m (SW2)

$$\begin{aligned} \tau_{Ed} &= g_{Ek} \cdot \mu \cdot \gamma_F \\ &= (3,0 + 2,0) \cdot 1,0 \cdot 1,0 \\ &= 5,0 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{Ed} &= 0,5 \cdot L \cdot \tau_{Ed} \\ &= 0,5 \cdot 45,5 \cdot 5,0 \\ &= 114 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{Ed,Z} &= \frac{n_{Ed}}{d} \\ &= \frac{114}{120} \\ &= 0,95 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

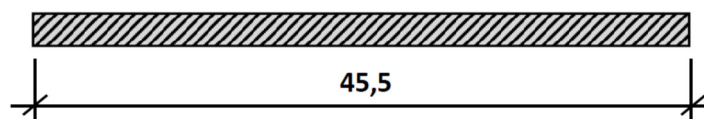


Bild A4: Verlegschema Platten auf Stelzlagern

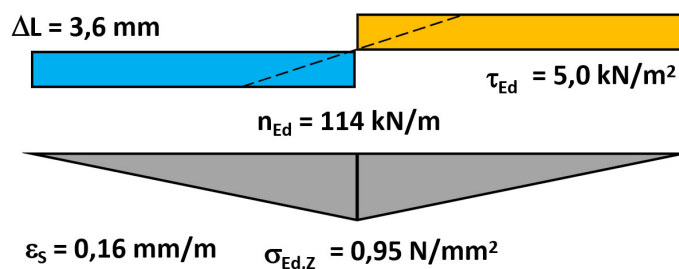


Bild A5: Schnittgrößen für Estrich (SW1)

Nutzgrad des Estrichs: $\eta_z = 0,95 / 2,25$
 $= 0,42$

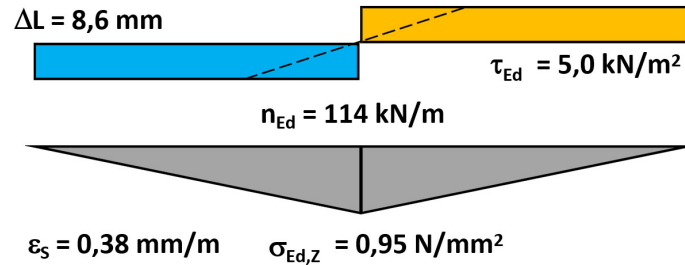


Bild A6: Schnittgrößen für Estrich (SW2)

Nutzgrad des Estrichs: $\eta_z = 0,95 / 1,97$
 $= 0,48$

Es zeigt sich, dass der Unterschied des Nutzgrades nur von der Festigkeit des Estrichs abhängig ist.

Rechenmodell horizontale Bettung (SW1):

Estrichlänge $L = 45,5 \text{ m}$

$$\begin{aligned} w &= 0,5 \cdot \varepsilon_s \cdot L \\ &= 0,5 \cdot 0,16 \cdot 45,5 \\ &= 3,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{Ed} &= k_H \cdot w \cdot \gamma_F \\ &= 13 \cdot 4,8 \cdot 1,0 \\ &= 46,8 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{Ed} &= 0,25 \cdot L \cdot \tau_{Ed} \\ &= 0,25 \cdot 45,5 \cdot 46,8 \\ &= 532 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{Ed,z} &= \frac{n_{Ed}}{d} \\ &= \frac{532}{120} \\ &= 4,4 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Estrichlänge $L = 23,3 \text{ m}$

$$\begin{aligned} w &= 0,5 \cdot \varepsilon_s \cdot L \\ &= 0,5 \cdot 0,16 \cdot 23,3 \\ &= 1,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{Ed} &= k_H \cdot w \cdot \gamma_F \\ &= 13 \cdot 1,9 \cdot 1,0 \\ &= 24,7 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{Ed} &= 0,25 \cdot L \cdot \tau_{Ed} \\ &= 0,25 \cdot 23,3 \cdot 24,7 \\ &= 144 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{Ed,z} &= \frac{n_{Ed}}{d} \\ &= \frac{144}{120} \\ &= 1,2 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Estrichlänge $L = 32,0 \text{ m}$

$$\begin{aligned} w &= 0,5 \cdot \varepsilon_s \cdot L \\ &= 0,5 \cdot 0,16 \cdot 32,0 \\ &= 2,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{Ed} &= k_H \cdot w \cdot \gamma_F \\ &= 13 \cdot 2,6 \cdot 1,0 \\ &= 33,8 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{Ed} &= 0,25 \cdot L \cdot \tau_{Ed} \\ &= 0,25 \cdot 32,0 \cdot 33,8 \\ &= 864 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{Ed,z} &= \frac{n_{Ed}}{d} \\ &= \frac{270}{120} \\ &= 2,25 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

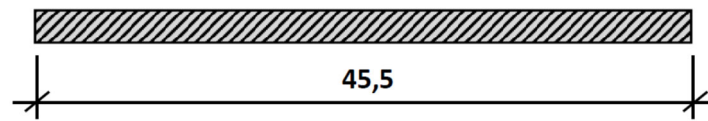


Bild A7: Verlegeschema Platten auf Stelzlager

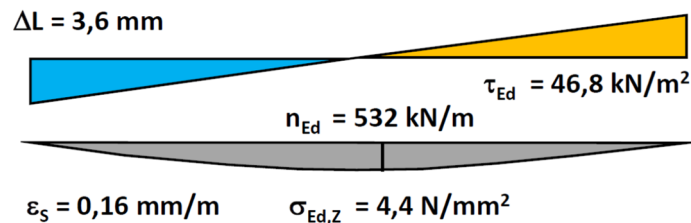


Bild A8: Verlegeschema Platten auf Stelzlager

Nutzgrad des Estrichs:

$$\eta_z = 4,40 / 2,25$$

$$= 1,96$$

$$> 1,00$$

Eine Reduzierung der Estrichlänge ist erforderlich. Im ersten Schritt erfolgt eine lineare Reduzierung der Estrichlänge.

$$L = 45,5 \cdot \frac{2,25}{4,40} = 23,3 \text{ m}$$

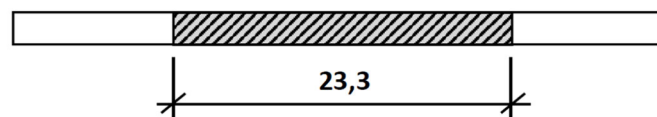


Bild A9: Verlegeschema Platten auf Stelzlager

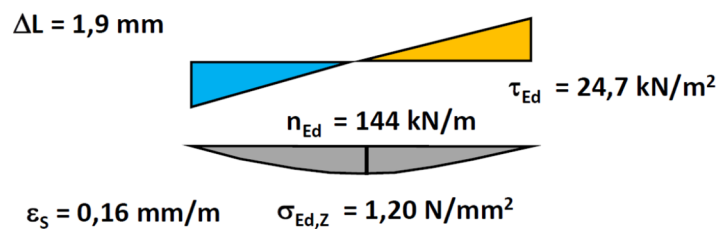


Bild A10: Verlegeschema Platten auf Stelzlager

Nutzgrad des Estrichs:

$$\eta_z = 1,20 / 2,25$$

$$= 0,53$$

$$< 1,00$$

Eine Reduzierung der Estrichlänge erfolgt unter Berücksichtigung der dreieckförmigen Verteilung der Scherspannung.

$$L = 45,5 \cdot \sqrt{\frac{2,25}{4,40}} \approx 32,0 \text{ m}$$

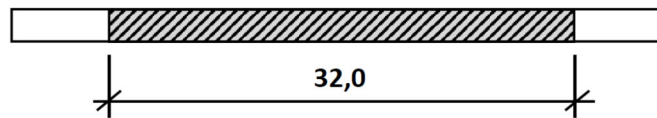


Bild A11: Verlegschemata Platten auf Stelzlager

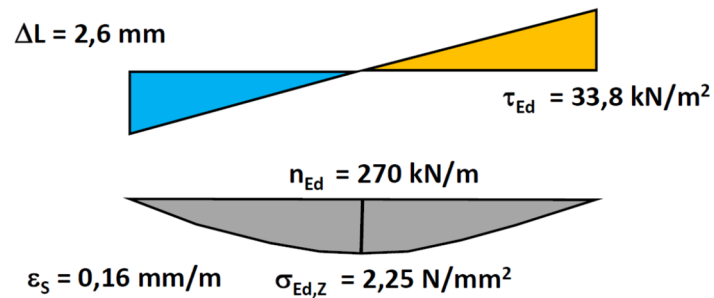


Bild A12: Verlegschemata Platten auf Stelzlager

Nutzgrad des Estrichs: $\eta_z = 2,25 / 2,25$
 $= 1,00$
 $\leq 1,00$

Rechenmodell horizontale Bettung (SW2):

Estrichlänge $L = 45,5$ m

$$\begin{aligned} w &= 0,5 \cdot \varepsilon_S \cdot L \\ &= 0,5 \cdot 0,38 \cdot 45,5 \\ &= 8,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{Ed} &= k_H \cdot w \cdot \gamma_F \\ &= 13 \cdot 8,6 \cdot 1,0 \\ &= 111,8 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{Ed} &= 0,25 \cdot L \cdot \tau_{Ed} \\ &= 0,25 \cdot 45,5 \cdot 111,8 \\ &= 1272 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{Ed,Z} &= \frac{n_{Ed}}{d} \\ &= \frac{1272}{120} \\ &= 10,6 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Estrichlänge $L = 8,4$ m

$$\begin{aligned} w &= 0,5 \cdot \varepsilon_S \cdot L \\ &= 0,5 \cdot 0,38 \cdot 8,4 \\ &= 1,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{Ed} &= k_H \cdot w \cdot \gamma_F \\ &= 13 \cdot 1,6 \cdot 1,0 \\ &= 20,8 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{Ed} &= 0,25 \cdot L \cdot \tau_{Ed} \\ &= 0,25 \cdot 8,4 \cdot 20,8 \\ &= 44 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{Ed,Z} &= \frac{n_{Ed}}{d} \\ &= \frac{44}{120} \\ &= 0,4 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Estrichlänge $L = 19,6$ m

$$\begin{aligned} w &= 0,5 \cdot \varepsilon_S \cdot L \\ &= 0,5 \cdot 0,38 \cdot 19,6 \\ &= 3,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{Ed} &= k_H \cdot w \cdot \gamma_F \\ &= 13 \cdot 3,7 \cdot 1,0 \\ &= 48,1 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{Ed} &= 0,25 \cdot L \cdot \tau_{Ed} \\ &= 0,25 \cdot 19,6 \cdot 48,1 \\ &= 236 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{Ed,Z} &= \frac{n_{Ed}}{d} \\ &= \frac{236}{120} \\ &= 1,97 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

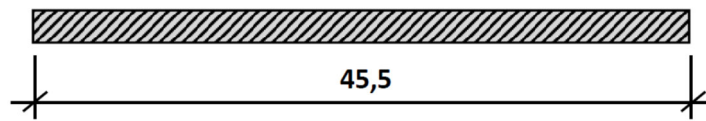


Bild A13: Verlegschema Platten auf Stützlagern

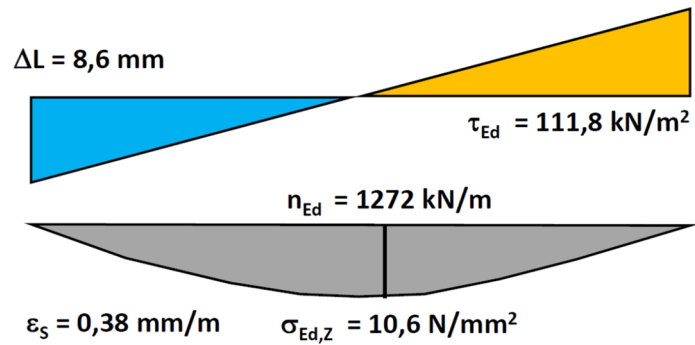


Bild A14: Verlegschema Platten auf Stützlagern

Nutzgrad des Estrichs:

$$\eta_z = 10,60 / 1,97$$

$$= 5,38$$

$$> 1,00$$

Eine Reduzierung der Estrichlänge ist erforderlich. Im ersten Schritt erfolgt eine lineare Reduzierung der Estrichlänge.

$$L = 45,5 \cdot \frac{1,97}{10,60} = 8,40 \text{ m}$$

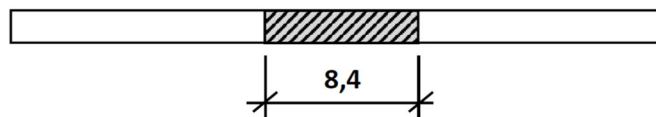


Bild A15: Verlegschema Platten auf Stützlagern

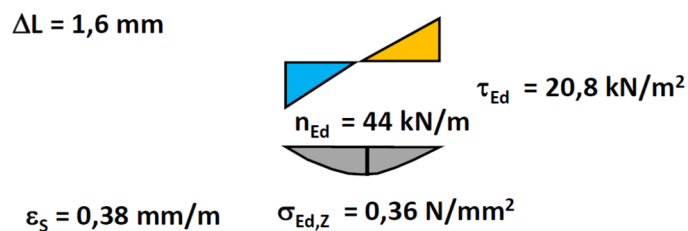


Bild A16: Verlegschema Platten auf Stützlagern

Nutzgrad des Estrichs:

$$\eta_z = 0,36 / 1,97$$

$$= 0,18$$

$$< 1,00$$

Eine Reduzierung der Estrichlänge erfolgt unter Berücksichtigung der dreieckförmigen Verteilung der Scherspannung.

$$L = 45,5 \cdot \sqrt{\frac{1,97}{10,60}} \approx 19,60 \text{ m}$$

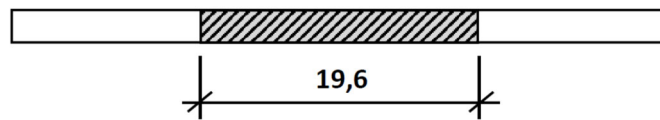


Bild A17: Verlegschemata Platten auf Stützlagern

$$\Delta L = 3,7 \text{ mm}$$

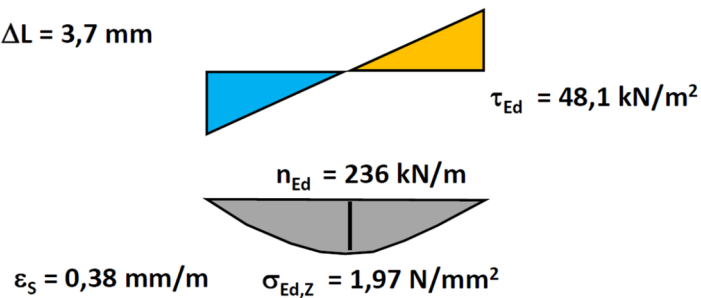


Bild A18: Verlegschemata Platten auf Stützlagern

Nutzgrad des Estrichs:

$$\eta_z = 1,97 / 1,97$$

$$= 1,00$$

$$\leq 1,00$$

Berechnungsverfahren	SW1 m	SW2 m
Reibungsmodell	45,5	45,5
Bettungsmodell (linear reduziert)	23,2	8,4
Bettungsmodell (nichtlinear reduziert)	32,0	19,6

Tabelle 1: reduzierte Estrichlängen

Das Reibungsmodell stellt die übliche Berechnungsmethode zur Ermittlung der maximalen Estrichlänge dar. Das Bettungsmodell ist nicht für die Bestimmung der erforderlichen Estrichlänge geeignet. Die lineare Reduzierung der Estrichlänge bei einer dreieckförmigen Verteilung der Scherspannung führt zu einer Überbewertung der Schwindklasse.

A2: Berechnung des Einflusses einer unsymmetrischen Belastung

Bei einer unsymmetrischen Belastung der Estrichfläche verschiebt sich der Ruhepunkt des Systems. Hieraus ergeben sich unterschiedliche Bewegungen der Estrichfläche an den Rändern. Der Einfluss einer unsymmetrischen Belastung wird für die unterschiedlichen Rechenmodelle aufgezeigt.

Belastung:	Schwindmaß (SW1)	$\varepsilon_S = 0,19 \text{ mm/m}$
	Eigenlast Estrich und Belag	$g_{EK,1} = 3,50 \text{ kN/m}^2$
	Ständige Regelbelastung	$g_{EK,2} = 30,00 \text{ kN/m}^2$
	Teilsicherheit Einwirkung	$\gamma_F = 1,00$
	Reibungsbeiwert	$\mu = 1,00$
	horizontale Bettungsziffer	$k_H = 15,0 \text{ MN/m}^3$

Estrich CT F6	Estrichdicke	$d = 80 \text{ mm}$
	Biegefestigkeit	$\sigma_{BZ} = 4,00 \text{ N/mm}^2$
	Umrechnungsfaktor Zugfestigkeit	$\alpha_Z = 0,657$
	Zugfestigkeit	$\sigma_Z = 2,64 \text{ N/mm}^2$
	Teilsicherheit Material	$\gamma_M = 1,20$
	Bemessungswert Zugfestigkeit	$\sigma_{Rd,Z} = 2,19 \text{ N/mm}^2$

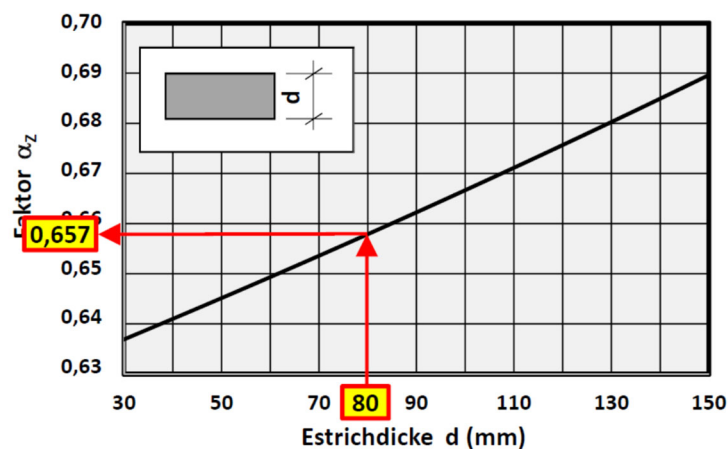


Bild A19: Faktor zur Ermittlung des Widerstandes der Zugfestigkeit

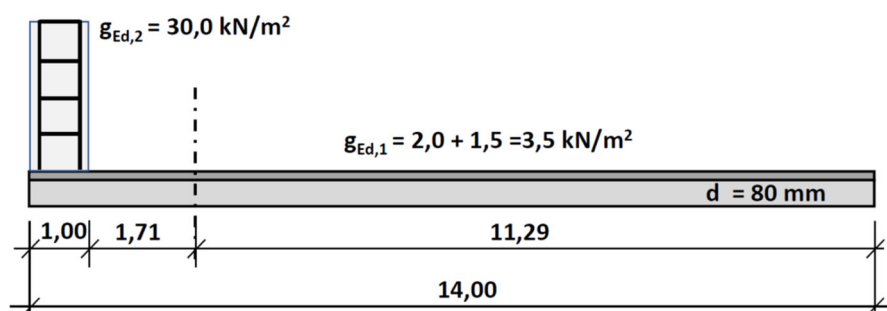
Rechenmodell Reibung:

Bild A20: System und Lage des Ruhepunktes

Der Ruhepunkt des Systems kann je nach Belastungsschema nur iterativ ermittelt werden.

$$\tau_{Ed,1} = g_{EK,1} \cdot \mu \cdot \gamma_F = 3,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 3,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_{Ed,2} = (g_{EK,1} + g_{EK,2}) \cdot \mu \cdot \gamma_F = (3,5 + 30,0) \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 33,5 \text{ kN/m}^2$$

$$n_{Ed} = L_2 \cdot \tau_{Ed,1} = 11,29 \cdot 3,0 = 39,5 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_{Ed,z} = \frac{n_{Ed}}{d} = \frac{39,5}{80} = 0,49 \text{ N/mm}^2$$

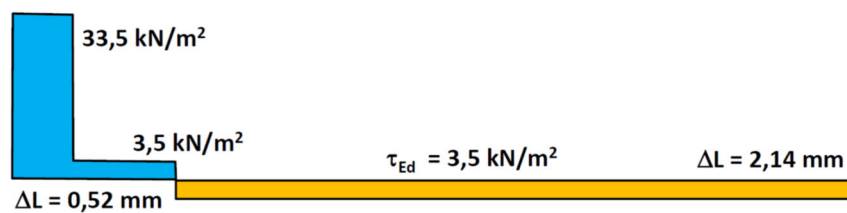


Bild 21: Scherkräfte

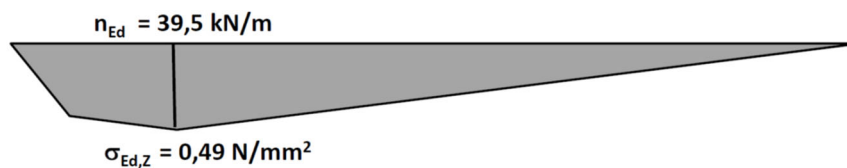


Bild A22: Normalkraft und Zugspannung

Kontrolle der Lage des Ruhepunktes. Die Summe der Normalkräfte im Ruhepunkt muss den Wert 0 ergeben.

$$\begin{aligned} \Sigma n &= 1,00 \cdot 33,5 + 1,71 \cdot 3,5 - 11,29 \cdot 3,5 \\ &= 39,5 - 39,5 \\ &= 0 \end{aligned}$$

Nutzgrad des Estrichs: $\eta_z = 0,49 / 2,19 = 0,22$

Die Beanspruchung des Estrichs ist unabhängig vom Schwindmaß. Das Schwindmaß hat lediglich Einfluss auf die erforderliche Breite der Rand- bzw. Dehnfuge des Estrichs.

Rechenmodell horizontale Bettung:

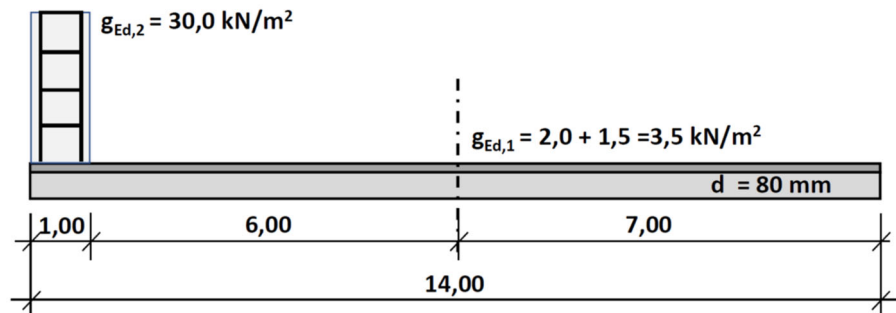


Bild A23: System und Lage des Ruhepunktes

$$w = 0,5 \cdot \varepsilon_s \cdot L = 0,5 \cdot 0,38 \cdot 8,4 = 1,6 \text{ mm}$$

$$\tau_{Ed} = k_H \cdot w \cdot \gamma_F = 13 \cdot 1,6 \cdot 1,0 = 20,8 \text{ kN/m}^2$$

$$n_{Ed} = 0,25 \cdot L \cdot \tau_{Ed} = 0,25 \cdot 8,4 \cdot 20,8 = 44 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_{Ed,Z} = \frac{n_{Ed}}{d} = \frac{44}{120} = 0,4 \text{ N/mm}^2$$



Bild A24: Scherkräfte

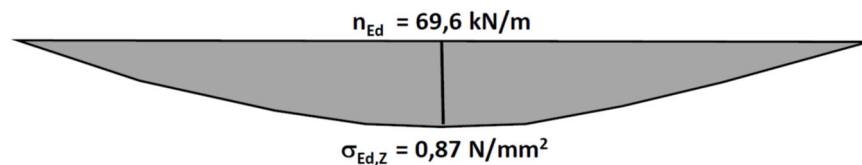


Bild A25: Normalkraft und Zugspannung

$$\begin{aligned} \text{Nutzgrad des Estrichs: } \eta_z &= 0,87 / 2,19 \\ &= 0,40 \end{aligned}$$

Das Rechenmodell mit horizontaler Bettung ist nicht geeignet die Normalkraftbeanspruchung eines Estrichs auf Dämmschicht zu beschreiben. Diese Rechenmodell ist von der Lage und Größe der ständigen Belastung des Estrichs entkoppelt. Die Belastung selbst hat keinen Einfluss auf die Beanspruchung des Estrichs auf zentrischen Zug.

Das Rechenmodell mit Reibung führt zu einer realen Beurteilung der Beanspruchung des Estrichs auf zentrischen Zug.

Die Größe der Scherspannung und der Normalkraft im Estrich ist abhängig von der Schwindverformung des Estrichs. Eine Beurteilung von Estrichen mit unterschiedlichen Schwindklassen führt stets zu einer negativen Beurteilung des Estrichs mit höherer Schwindklasse.

A3: Estrich mit Last- und Schwindbeanspruchung

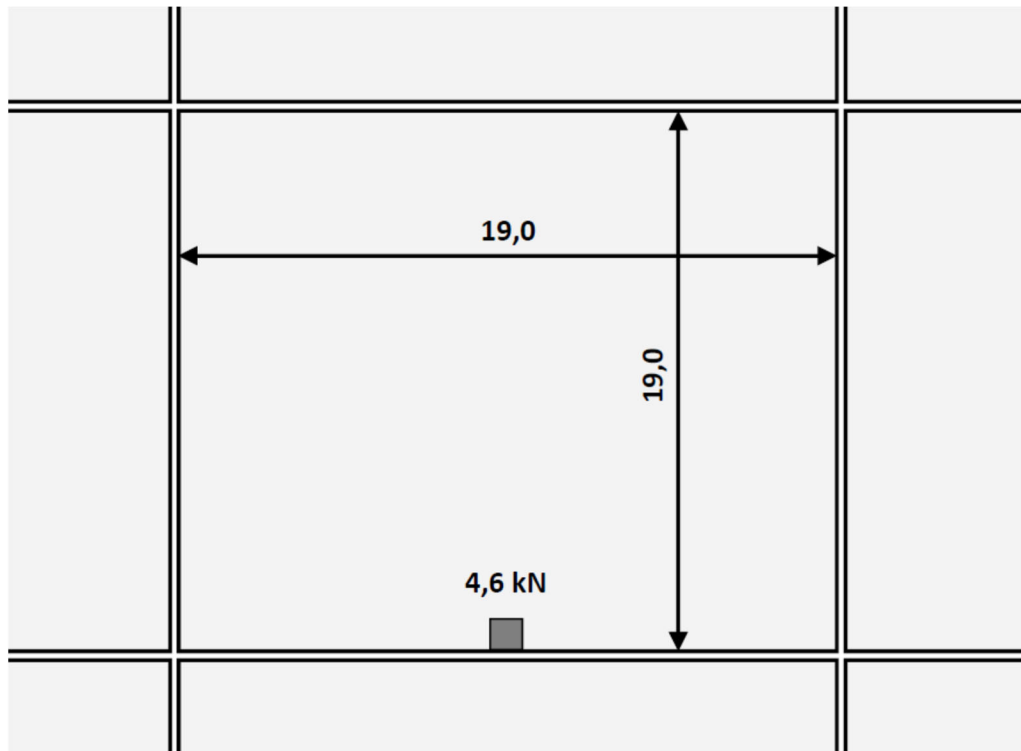


Bild A26: Grundriss

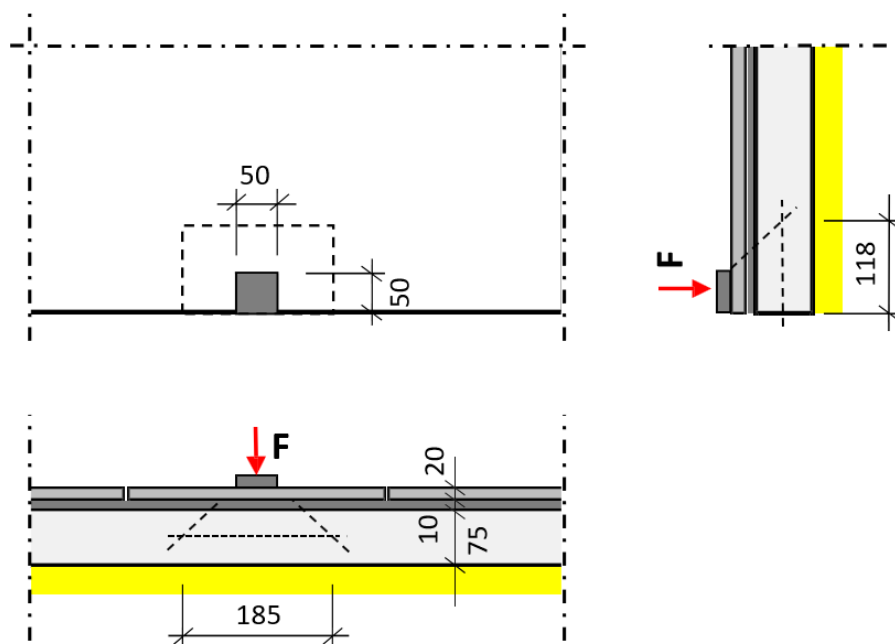


Bild A27: Querschnitt und Belastung

Die Berechnungen der Biegespannung des Estrichs erfolgt nach dem ZDB-Merkblatt „Hoch belastete Beläge“ Die Berechnung der Einflüsse aus Schwinden erfolgt sowohl mit dem Reibungs- als auch mit dem Bettungsmodell.

1 Abmessungen und Materialkennwerte

Belagdicke	$d_B = 20 \text{ mm}$
Rohdichte	$\rho_B = 28 \text{ kN/m}^3$
Mörteldicke	$d_M = 10 \text{ mm}$
Rohdichte	$\rho_M = 20 \text{ kN/m}^3 =$
Estrichdicke	$d = 75 \text{ mm}$
Rohdichte	$\rho_E = 25 \text{ kN/m}^3$
Zementestrich – F6	$\sigma_{BZ,} = 4,20 \text{ N/mm}^2$
Bemessungswert Biegefestigkeit	$\sigma_{Rd,BZ,} = 3,50 \text{ N/mm}^2$
Faktor Zugfestigkeit	$\alpha_Z = 0,656$
Bemessungswert Zugfestigkeit	$\sigma_{Rd,Z,} = 2,30 \text{ N/mm}^2$
Elastizitätsmodul	$E = 20000 \text{ N/mm}^2$
Querdehnzahl	$\nu = 0,2$
Reibungsbeiwert	$\mu = 1,1$
Bettungsziffer	$k_V = 15 \text{ MN/m}^3$ $= 0,015 \text{ N/mm}^3$ $k_h = 15 \text{ MN/m}^3$

2 Belastung

Flächenbelastung (ständig)	$g_{EK} = 28 \cdot 0,02 + 20 \cdot 0,01 + 25 \cdot 0,075$ $= 2,64 \text{ kN/m}^2$
Flächenbelastung (veränderlich)	$q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$
Einzellast	$F = 4,6 \text{ kN}$
Aufstandsfläche	$a = 5,0 \text{ cm}$ $b = 5,0 \text{ cm}$
Schwindverformung (SW1)	$\varepsilon_S = 0,16 \text{ mm/m}$

3 Estrichbemessung

3.1 Nachweis Biegespannung

Die Bemessung des Estrichs erfolgt in für eine Punktlast am Estrichrand. Die Randspannung ermittelt sich nach folgender Beziehung:

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

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

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

$$\sigma_{Rd,BZ} \leq \frac{\sigma_{BZ,Best}}{\gamma_M} = \frac{4,2}{1,2} = 3,50 \text{ N/mm}^2$$

$$a_R = 50 + 2 \cdot 20 + 2 \cdot 10 + 75 = 185 \text{ mm}$$

$$b_R = 50 + 20 + 10 + 80/2 = 118 \text{ mm}$$

$$a = \sqrt{\frac{a_R \cdot b_R}{\pi}} = \sqrt{\frac{185 \cdot 118}{\pi}}$$

$$= 83,4 \text{ mm}$$

$$a < 1,724 \cdot d = 1,724 \cdot 80 = 137,9 \text{ mm}$$

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

$$= \sqrt{1,6 \cdot 83,4^2 + 75^2} - 0,675 \cdot 75$$

$$= 78,8 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{Ed,BZ} &= \frac{0,529 \cdot \gamma_F \cdot F}{d^2} \cdot (1 + 0,54 \cdot \nu) \cdot \left[\lg \left(\frac{E \cdot d^3}{k_V \cdot b^4} \right) + \lg \left(\frac{0,1 \cdot b}{1 - \mu^2} \right) - 1,08 \right] \\ &= \frac{0,529 \cdot 1,50 \cdot 4600}{75^2} \cdot (1 + 0,54 \cdot 0,2) \cdot \left[\lg \left(\frac{20000 \cdot 75^3}{0,015 \cdot 78,8^4} \right) + \lg \left(\frac{0,1 \cdot 78,8}{1 - 0,2^2} \right) - 1,08 \right] \end{aligned}$$

$$\sigma_{Ed,BZ} = 2,87 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Rd,BZ} = 3,50 \text{ N/mm}^2$$

$$\eta_B = 2,87 / 3,50$$

$$= 0,82$$

3.2 Nachweis Zugspannung

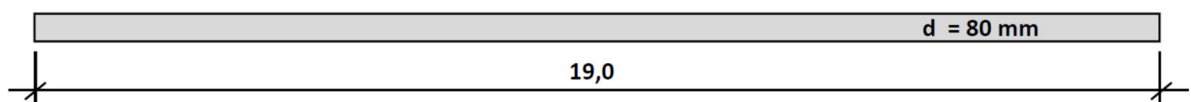


Bild A28: Abmessungen Estrich

$$\begin{aligned} \sigma_{Rd,Z} &= \alpha_Z \cdot \sigma_{BZ,Best} / \gamma_M \\ &= 0,656 \cdot 4,20 / 1,20 \\ &= 2,30 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

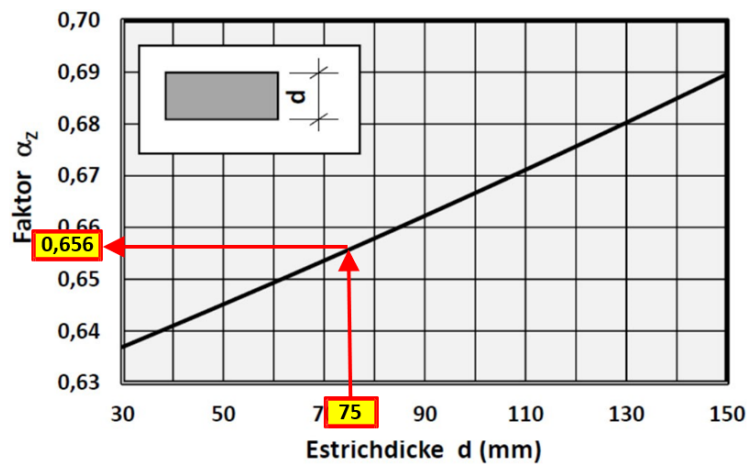


Bild A29: Faktor zur Ermittlung der Zugfestigkeit

Reibungsmodell

$$\begin{aligned} \tau_{Ed} &= g_{EK} \cdot \mu \cdot \gamma_F \\ &= 2,64 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \\ &= 2,9 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{Ed} &= 0,5 \cdot L \cdot \tau_{Ed} \\ &= 0,5 \cdot 19,0 \cdot 2,9 \\ &= 27,6 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{Ed,Z} &= \frac{n_{Ed}}{d} \\ &= \frac{27,6}{75} \\ &= 0,37 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Bettungsmodell

$$\begin{aligned} w &= 0,5 \cdot \epsilon_s \cdot L \\ &= 0,5 \cdot 0,16 \cdot 19,0 \\ &= 1,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{Ed} &= k_H \cdot w \cdot \gamma_F \\ &= 15 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \\ &= 22,5 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_{Ed} &= 0,25 \cdot L \cdot \tau_{Ed} \\ &= 0,25 \cdot 19,0 \cdot 22,5 \\ &= 106,9 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{Ed,Z} &= \frac{n_{Ed}}{d} \\ &= \frac{106,9}{80} \\ &= 1,34 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

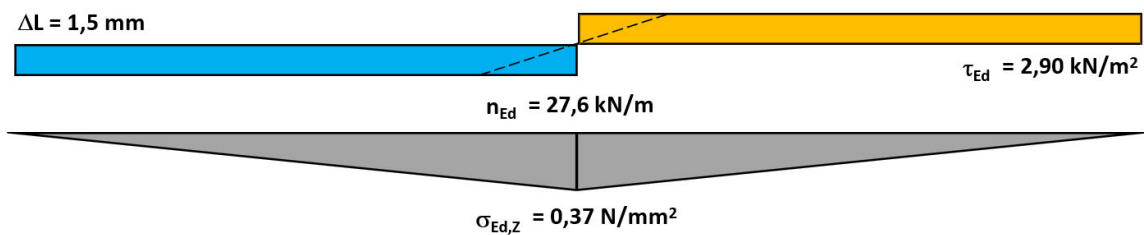


Bild A30: Reibungsspannung und Zugspannung

Nutzgrad des Estrichs: $\eta_z = 0,37 / 2,30$
 $= 0,16$
 $\leq 1,00$

Nutzgrad des Estrichsystem: $\eta = \eta_B + \eta_z$
 $= 0,82 + 0,16$
 $= 0,98$
 $\leq 1,00$

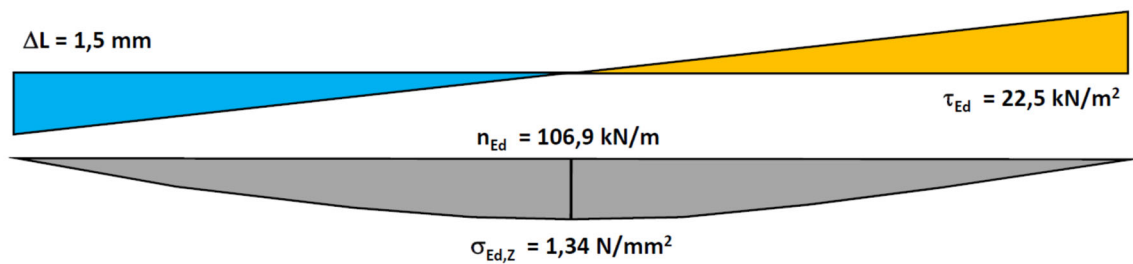


Bild A31: Scherspannung und Zugspannung

3.3 Überlagerung Biegespannung / Zugspannung

Nutzgrad des Estrichs: $\eta_z = 1,34 / 2,30$
 $= 0,58$
 $\leq 1,00$

Nutzgrad des Estrichsystem: $\eta = \eta_B + \eta_z$
 $= 0,82 + 0,61$
 $= 1,43$
 $> 1,00$

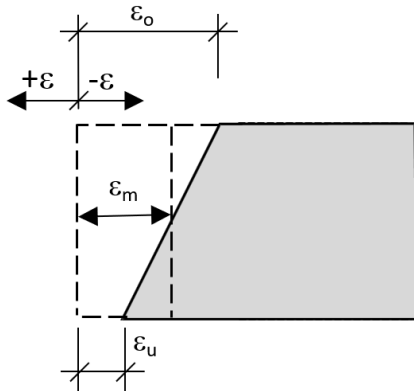
A4: Ungleiches Schwinden Estrich ohne Belag

Bild A32

Estrich CT F5

Biegefestigkeit	$\sigma_{BZ} = 3,50 \text{ N/mm}^2$
Teilsicherheit Material	$\gamma_M = 1,20$
Bemessungswert	$\sigma_{Rd,BZ} = 2,92 \text{ N/mm}^2$
Elastizitätsmodul	$E = 25000 \text{ N/mm}^2$
Querdehnzahl	$\nu = 0,2$
Schwindmaß oben	$\varepsilon_o = -0,11 \text{ mm/m}$
Schwindmaß unten	$\varepsilon_u = -0,21 \text{ mm/m}$
mittleres Schwindmaß	$\varepsilon_m = -0,16 \text{ mm/m}$
Differenzschwindmaß	$\Delta\varepsilon = \varepsilon_o - \varepsilon_u = 0,10 \text{ mm/m}$
Teilsicherheit Belastung	$\gamma_F = 1,00$

Da das Kriechen des Estrichs nicht berücksichtigt wird, erfolgt der Nachweis mit der Teilsicherheit $\gamma_F = 1,00$.

$$\begin{aligned} \sigma_{Ed,BZ} &\approx \frac{\Delta\varepsilon \cdot E \cdot (1+\nu) \cdot 10^{-3}}{2} \cdot \gamma_F \\ &\approx \frac{0,10 \cdot 25000 \cdot (1+0,2) \cdot 10^{-3}}{2} \cdot 1,00 \\ &\approx 1,50 \text{ N/mm}^2 \\ &< \sigma_{Rd,BZ} = 2,92 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Nutzgrad des Estrichs:

$$\begin{aligned} \eta_z &= 1,50 / 2,92 \\ &= 0,51 \\ &\leq 1,00 \end{aligned}$$

Eine Überlagerung mit der vertikalen Belastung ist nicht erforderlich, da die Unterseite des Estrichs durch das ungleiche Schwinden auf Druck beansprucht wird.