

Dr.-Ing. K.-H. Wiegrink
Sachverständigenbüro Dr. Wiegrink

Fachbericht über
Spannungen und Verformungen schwimmender Estriche
unter Berücksichtigung verschiedener Dämmstoffe

Spannungen und Verformungen schwimmender Estriche unter Berücksichtigung verschiedener Dämmstoffe

Dr.-Ing. K.-H. Wiegrink, Sachverständigenbüro Dr. Wiegrink

1 Einleitung

Estriche unterschiedlichster Bauart werden heutzutage in nahezu jedem Bauprojekt verlegt. Die verschiedenen Estricharten und –konstruktionen bieten dabei eine kaum überschaubare Anzahl von Lösungsmöglichkeiten für nahezu jede Nutzung. Trotz der Weiterentwicklung der Estrichtechnologie bei Herstellern und Verarbeitern, oder vielleicht auch gerade wegen der immer spezielleren Anwendungsmöglichkeiten, kommt es in der Praxis immer wieder zu Schäden und Mängeln.

Schäden können dabei durch eine mangelhafte Planung, Ausführung oder ungeeignete Wahl der Baustoffe entstehen. Verschärfend kommt hinzu, dass es sich nicht um ein bauaufsichtlich relevantes Bauteil handelt. Das Sicherheitsdenken insbesondere bei Einzellasten wird also dem Planer und dem Ausführenden häufig nach „Gutdünken“ überlassen.

Zunehmende Bedeutung gewinnt bei den Schadensursachen die Überbelastung durch Einzellasten. Neben den immer höheren Lasten und der weiten Verbreitung von Flurförderzeugen, führen die Verwendung dickerer Dämmschichten und der Drang zu immer preiswerteren, d.h. dünneren Estrichen zu diesen Schäden.

In diesem Beitrag werden das Verformungsverhalten und die Rissbildung bei schwimmenden Estrichen infolge Punktlasten dargestellt.

2 Spannungen und Verformungen infolge Einzellasten

2.1 Schwimmende Estriche

Ein schwimmender Estrich kann als ein Tragsystem aus mehreren Schichten, nämlich dem Estrich selbst, der Dämmschicht und dem tragenden Untergrund betrachtet werden.

Der Estrich übernimmt dabei die Funktion einer lastverteilenden Patte, die auf einer mehr oder weniger verformbaren bzw. weichen Unterlage, der Dämmschicht gebettet ist. Der Untergrund besteht üblicherweise aus Betonplatten oder -decken, die als starr angenommen werden können.

Je nach Stellung der Last wird der Estrich unterschiedlich stark beansprucht, s. Bild 1. Maßgebend für schwimmende Estriche ist dabei i.d.R. der Lastfall Plattenecke.

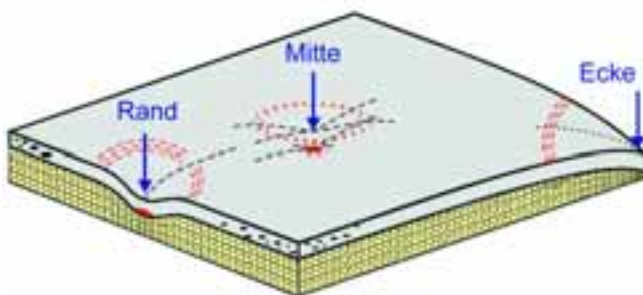


Bild 1: Spannungen und Verformungen infolge der Laststellungen Rand, Mitte, Ecke

2.2 Regelungen in der Normung

Für die konstruktive Bemessung der tragenden Decken wird üblicherweise eine gleichmäßig verteilte Flächenlast angenommen, die die Belastung durch bewegliche Lasten wie Personen oder Hubwagen und stationären Lasten wie Möbel, Waren, Regale usw. abdeckt. Diese Flächenlast ist für die tragende Decke im Allgemeinen die ungünstigste Lastanordnung; bei den schwimmenden Estrichen sind jedoch die darin enthaltenen Punktlasten maßgebend.

In der Vergangenheit gab DIN 18560:92 Estrichnennndicken nur für Belastungen im Wohnungsbau (150 kg/m^2) vor. Für höhere Belastungen, z.B. in der gewerblichen und industriellen Nutzung, mussten die Nennndicken vom Planer konstruktiv gewählt werden.

In der neuen Fassung von 2004 trägt DIN 18560:04 der Belastung durch Einzellasten nun Rechnung und gibt die Nenndicken von Estrichen auf Dämmschichten für Einzellasten bis 4 kN (400 kg) in Verbindung mit einer Aufstandsfläche von 20 cm² vor, s. Tabelle 1. Damit entsprechen die Regelungen in DIN 18560:04 im Wesentlichen den Nutzungskategorien nach DIN 1055:02, die auch vom Tragwerksplaner verwendet werden.

In Tabelle 1 sind den Nutzungskategorien nach DIN 1055:02 die erforderlichen Estrichnenndicken und Biegezugfestigkeiten nach DIN 18560-2:04 zugeordnet.

Tabelle 1: Estrichnenndicke unbeheizter Estriche auf Dämmschichten für lotrechte Einzellasten i. Abh. von Estrichart und Biegezugfestigkeit. In Anlehnung an DIN 18560-2:04, Tabelle 1 bis 4, DIN 1055-3:02, Tabelle 1

Einzel- last ¹⁰⁾	Nutzungsbeispiel nach DIN 1055:03	Estrichnenndicke ^{1,9)} i. Abh. von Estrichart ^{5,6,7)} und Biegezugfestigkeit ⁸⁾					
		CAF ⁵⁾			CA ⁶⁾ , CT ⁷⁾		
[kN]		F4	F5	F7	F4	F5	F7 ⁴⁾
1	2	3	4	5	6	7	8
1,0 ^{2,9)}	Wohn- und Aufenthaltsräume	35	30	30	45	40	35
2,0 ²⁾	Flure in Bürogebäuden kleinere Verkaufsräume	50	45	40	65	55	50
3,0 ³⁾	Flure in Krankenhäusern, Hotels gewerbliche Küchen	60	50	45	70	60	55
4,0 ³⁾	Räume, die der Ansammlung von Menschen dienen: mit Tischen wie Restaurants, Schulräume mit fester Bestuhlung wie Theater, Kino freie Flächen wie Eingangshallen, Museen Menschenmengen wie Terrassen, Konzertsäle Einzelhandelsgeschäfte, Warenhäuser Werkstätten mit leichtem Betrieb	65	55	50	75	65	60
7,0	Geschäfte mit hohen Regalen Lagerflächen Fabriken	Konstruktive Bemessung und steife oder Sonderdämmung erforderlich, z.B. Schaumglas					

¹⁾ Bei Dämmschichten <40 mm kann die Estrichnenndicke um 5 mm verringert werden

²⁾ Zusammendrückbarkeit der Dämmschicht < 5 mm

³⁾ Zusammendrückbarkeit der Dämmschicht < 3 mm

⁴⁾ Für Zementestrich F7 nicht vorgesehen

⁵⁾ CAF: Calciumsulfatfließestrich (früher AFE)

⁶⁾ CA: Calciumsulfatestrich (früher AE)

⁷⁾ CT: Zementestrich (früher ZE)

⁸⁾ F: Biegezugfestigkeit [N/mm²] in der Güteprüfung (F4, 5, 7 ~ AE20, 30, 40 bzw. ZE20, 30, 40)

⁹⁾ Bei höherer Zusammendrückbarkeit der Dämmschicht ≤ 10 mm ist die Estrichnenndicke um 5 mm zu erhöhen

¹⁰⁾ Bei Einzellasten sind für deren Aufstandsflächen i. Allg. zusätzliche Überlegungen erforderlich. Dasselbe gilt für Fahrbeanspruchung.

¹¹⁾ Flächenlasten sind zum Teil höher als in DIN 18560-2:04 vorgesehen

2.3 Berechnung von Spannungen infolge Einzellasten

Wie allgemein bekannt ist, entstehen infolge äußerer Lasten (Punkt-, Flächenlasten) Spannungen in Estrichflächen. Dabei ist allerdings zu bedenken, dass Biegespannungen durch äußere Lasten nur dann entstehen, wenn dem Estrich Verformungen aufgezwungen werden. Für die Abschätzung der Biegespannungen ist dabei nicht der absolute Betrag der vertikalen Verformungen (Einsenkung) maßgebend, sondern die Verbiegung (Krümmung) des Estrichs.

2.4 Bemessungsverfahren

Die Biegezugspannungen und Verformungen in Estrichen infolge Einzellasten können neben FEM-Computerprogrammen mit dem Verfahren nach Eisenmann-Westergaard /1/ abgeschätzt werden.

Das Verformungsverhalten der Dämmstofflage wird in diesem Verfahren über den Bettungsmodul abgeschätzt. Dieser entspricht der Steifigkeit der Dämmstofflage, er ist proportional zum E-Modul der Dämmung und umgekehrt proportional zur Dicke der Dämmstofflage.

$$k = \frac{E_{\text{Dämmung}}}{d_{\text{Dämmung}}} \quad (1)$$

k: Bettungsmodul der Dämmung [MN/m² bzw. 10²·N/mm²]

E: E-Modul der Dämmung [N/mm²]

d: Dicke der Dämmung [mm]

Übliche Werte für die verschiedenen Dämmstoffe sind in Tabelle 2 angegeben.

2.5 Einfluss der Dämmstofflage

In Bild 2 sind die Biegezugspannungen in Abhängigkeit vom Bettungsmodul für eine nach DIN 18560-2:04 zulässige Einzellast von 4 kN bei einer Estrichdicke von 60 mm dargestellt.

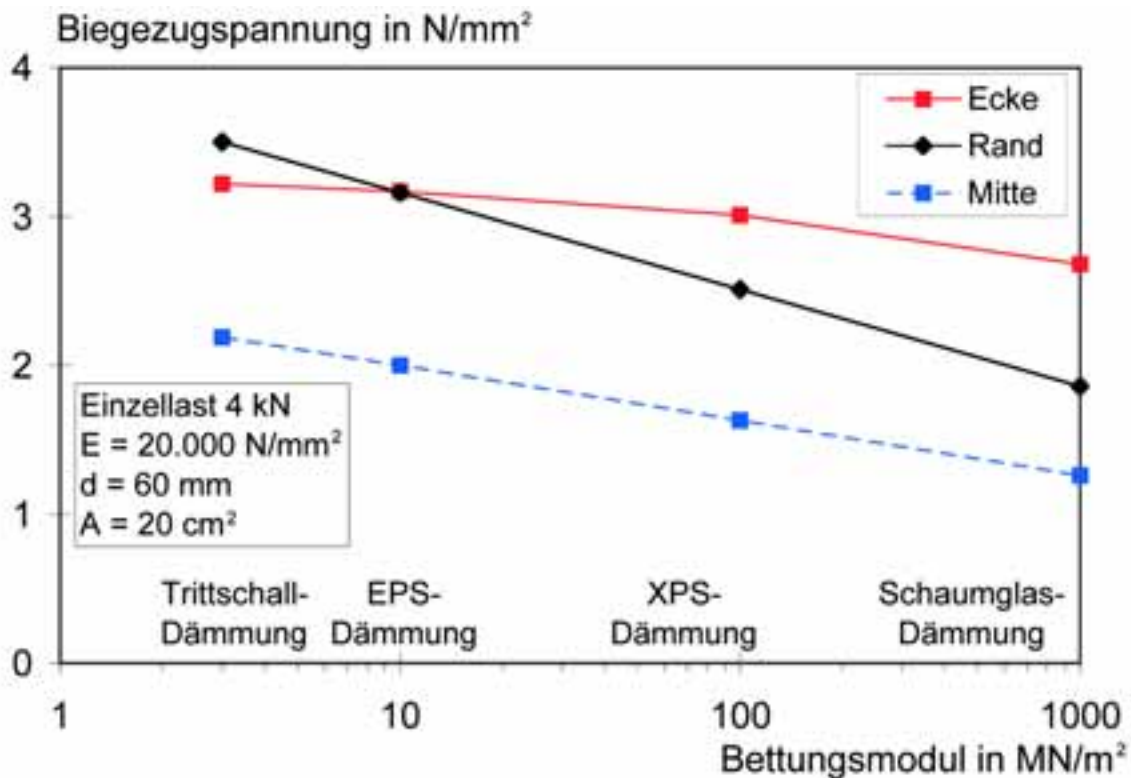


Bild 2: Biegezugspannungen in Abhängigkeit vom Bettungsmodul für verschiedene Laststellungen, nach Eisenmann-Westergaard /1/

Die Biegezugspannungen nehmen mit zunehmendem Bettungsmodul der Dämmstofflage ab. Insbesondere für die Laststellungen Mitte und Rand werden die Biegezugspannungen durch steifere Dämmstofflagen signifikant verringert.

Die Biegezugspannungen sind insbesondere bei der Ausführung höher belasteter Estriche zu beachten. Während eine im Wohnungsbau übliche Punktlast von 1 kN nur geringe Biegezugspannungen und Durchbiegungen erzeugt, führen die nach DIN 18560-2:04 zulässigen Punktlasten bei einer gewerblichen Nutzung von 4 kN zu erheblichen Biegezugspannungen am Rand und in der Ecke.

In Bild 3 sind die Durchbiegungen in Abhängigkeit vom Bettungsmodul für verschiedene Laststellungen dargestellt. Bei üblichen Estrichkonstruktionen entstehen bei der Laststellung Plattenrand rd. 3,5 mal so große Durchbiegungen, wie bei der Laststellung Plattenmitte. Der Einfluss des Bettungsmoduls ist auf die Durchbiegungen der Plattenecke besonders ausgeprägt. Diese sind rd. doppelt so groß wie die Verformungen am Plattenrand.

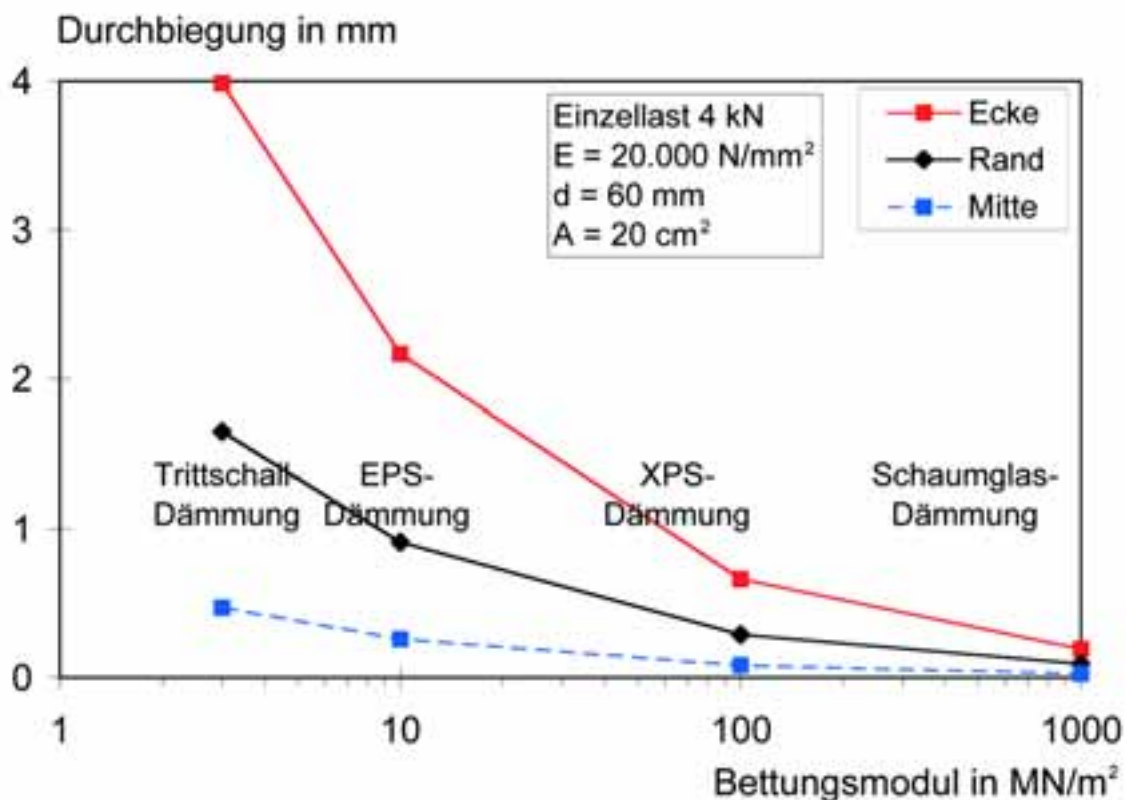


Bild 3: Durchbiegungen an der Lasteinleitungsstelle in Abhängigkeit vom Bettungsmodul für verschiedene Laststellungen, nach Eisenmann-Westergaard /1/

Bei weichen Dämmstoffen erreichen die Durchbiegungen auch bei einer DIN-gerechten Ausführung Werte, die nicht mehr tolerabel sind. Dies gilt insbesondere bei der Verwendung dünner und dafür höherfester Estriche (F7) auf weichen Dämmschichten.

In Bild 2 und Bild 3 sind die Spannungen und Verformungen für eine Estrichdicke von 60 mm und für eine Einzellast von 4 kN dargestellt. Zulässig sind bei höherfesten Estrichen (CAF, F7) Nenndicken von 50 mm, die bei einer Dämmschichtdicke von unter 40 mm sogar noch um 5 mm verringert werden können.

Näherungsweise können mit folgenden Formeln die Spannungen und Verformungen für unterschiedliche Dicken abgeschätzt werden.

$$\sigma_d = \sigma_{60} \left(\frac{60}{d} \right)^2, \quad (2)$$

$$f_d = f_{60} \left(\frac{60}{d} \right)^{1,5} \quad (3)$$

σ : Biegezugspannung [N/mm²]

σ_{60} : Biegezugspannung aus Bild 2 für Estrichdicke 60 mm [N/mm²]

d : Nenndicke des Estrichs [mm]

f : Durchbiegung [mm]

f_{60} : Durchbiegung aus Bild 3 für Estrichdicke 60 mm [N/mm²]

Damit erhöhen sich die Verformungen bei einem 50 mm dicken Estrich um weitere 30 % gegenüber den in Bild 3 dargestellten Verformungen.

Die entstehenden Verformungen sind dann bei den weichen Dämmstoffen (insbes. Trittschall- und EPS-Dämmung) nicht mehr zu vertreten.

2.6 Dämmstoffe

Zur Dämmung von Estrichen steht eine Vielzahl von Dämmstoffen zur Verfügung. Während im Wohnungsbau im allgemeinen auch eine Trittschalldämmung gefordert ist, werden im gewerblichen Bereich häufig ausschließlich Anforderungen an die Wärmedämmung gestellt.

Dämmstoffe besitzen im Vergleich zu anderen Baustoffen geringe Festigkeitswerte. In Bild 4 sind typische Druck-Stauchungskurven verschiedener Dämmstoffe dargestellt.

Trittschalldämmstoffe lassen sich bereits bei geringen Belastungen stark zusammenstauchen. PS-Hartschäume zeigen eine steilere Kurve, die mit zunehmender Belastung abflacht, weil das Schaumgefüge in sich zusammengedrückt wird.

Die Kurve von Schaumglas hingegen steigt bis zu einer echten Druckfestigkeit praktisch linear an. Bei einer Erhöhung der Last treten nur sehr geringe Verformungen auf. Der Dämmstoff kann als baupraktisch stauchungsfrei angenommen werden.

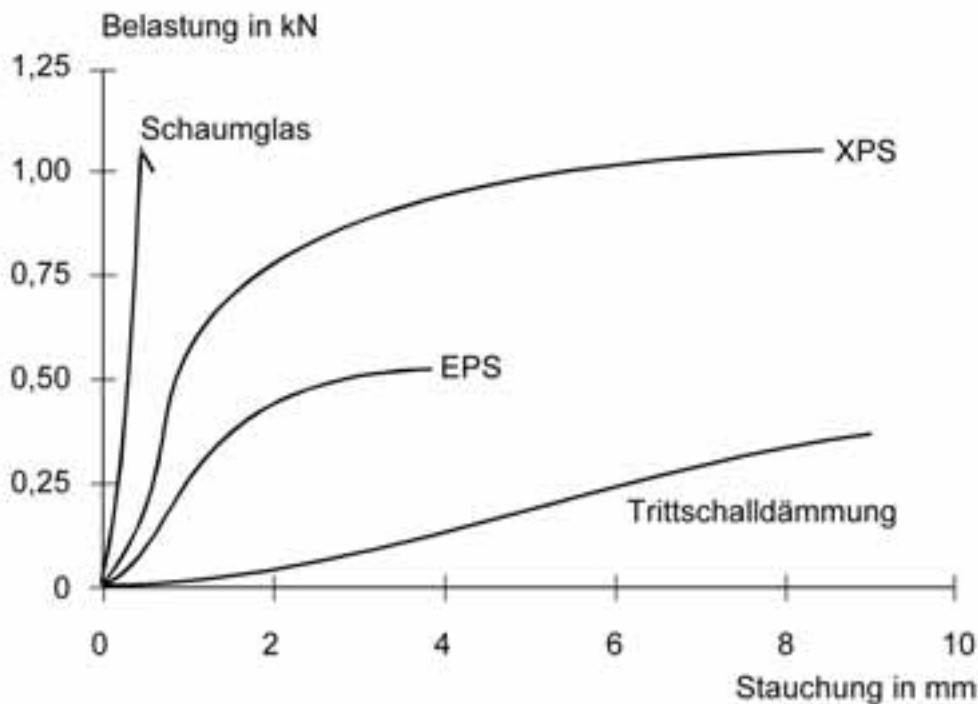


Bild 4: Typische Druck-Stauchungskurven der verschiedenen Dämmstoffe, nach /2, 3, 4/

Um ein Materialversagen der Dämmstoffe zu vermeiden, muss bei PS-Schäumen die zulässige Dauerspannung stark begrenzt werden. Die Druckfestigkeit bei 10 % Stauchung kann hierfür rechnerisch nicht verwendet werden. I.d.R. wird daher durch den Hersteller eine zulässige Dauerdruckspannung für eine Stauchung von 2 % angegeben.

Bei Schaumglas treten unter einer Last *baupraktisch keine* Verformungen auf. Daher wird die zulässige Druckspannung mit einem Sicherheitsbeiwert von 3 aus der Druckfestigkeit ermittelt.

Für die Anwendung im Estrichbau sind neben den Festigkeitseigenschaften die Verformungseigenschaften der Dämmstoffe von großer Bedeutung. Wie zuvor gezeigt, werden Biegezugspannung im Estrich und insbesondere die Verformungen maßgeblich von der Steifigkeit der Dämmung beeinflusst.

Die mechanischen Eigenschaften der Dämmstoffe spielen daher bei der Bemessung der Estriche eine entscheidende Rolle. Neben der zulässigen Druckspannung der Dämmschicht ist zu bedenken, dass der E-Modul der Dämmung, bzw. das Stauchungsverhalten einen erheblichen Einfluss auf die Spannungen und Verformungen in der Estrichplatte hat.

Nachdem der E-Modul der Dämmstofflage einen erheblichen Einfluss auf die Verformungen des Estrichs ausübt, ist es wichtig den „richtigen“ E-Modul in der Berechnung anzusetzen.

Polystyrol-Hartschäume weisen kein elastisches, sondern ein ausgeprägtes visko-elastisches Werkstoffverhalten auf. Der im Kurzzeitversuch bestimmte E-Modul ist daher für dauernd einwirkende Lasten nicht geeignet und muss für die Abschätzung der langfristigen Verformungen des Estrichs abgemindert werden, s. Tabelle 2.

Schaumglas hingegen ist praktisch stauchungs- und kriechfrei. Insbesondere bei einer Verlegung auf starrem Untergrund kommt dieser Vorteil voll zum Tragen. Schaumglas ist dabei baupraktisch verformungsfrei, so dass sich auch bei größeren Dämmstoffdicken keine Einschränkungen der zulässigen Einzellasten aus den Verformungen ergeben.

Bei höheren Punktlasten sind höhere Estrichfestigkeiten im allgemeinen erforderlich. Während es bei herkömmlichen Estrichen aufgrund der erforderlichen Verdichtung schwierig ist eine hohe Festigkeit über den Querschnitt gleichmäßig zu erreichen, bieten sich hierzu CAF-Estriche an.

Trag- und Wärmedämmeigenschaften können optimiert werden, wenn es gelänge, Estrich- und Dämmschicht im Verbund als Sandwichkonstruktion herzustellen.

Tabelle 2: Ausgewählte physikalische Eigenschaften von Dämmstoffen /5, 6, 7, 8/

Prüfung	Einheit	Prüfergebnis			
		TS 33/30	EPS 20	XPS 500	Schaumglas
1	2	3	4	5	6
Druckspannung ³⁾	N/mm ²	-	0,12-0,16	0,5-0,7	0,5-1,7
Dauerdruckbeanspruchung ⁴⁾	N/mm ²	0,003	0,02-0,035	0,12-0,18	0,23-0,57
E-Modul (Druckversuch)	N/mm ²	0,25	4,4-5,4	20	65-200
E-Modul ¹⁾ (Langzeit)	N/mm ²	0,02 ²⁾	1-1,75	6-9	65-200
Bettungsmodul für 60 mm Dicke bez. auf E-Modul (Langzeit)	MN/m ²	0,3	16-30	100-150	1080-3333 ⁵⁾

¹⁾: rechnerisch ermittelt aus dem Quotienten Dauerdruckbeanspruchung und 2 % Stauchung für EPS und XPS

²⁾: rechnerisch ermittelt aus dem Quotienten aus zulässiger Druckspannung und Zusammendrückbarkeit nach Manns und Zeus /6/

³⁾: für EPS und XPS bei 10 % Stauchung, für Schaumglas Druckfestigkeit σ_{max}

⁴⁾: für EPS und XPS bei Stauchung < 2 %, für Schaumglas bei $\sigma_{max}/3$

⁵⁾: Bei Verlegung in 2 mm Bitumen ($E=10 \text{ N/mm}^2$) verringert sich der Bettungsmodul auf ca. 887 – 2000 MN/m³

Bei der raumseitigen Verlegung auf erdberührten Bauteilen kommt Schaumglas ein weiterer Vorteil zu. Schaumglas nimmt kein Wasser auf und ist ohne weitere Abdichtungsmaßnahmen dampfdicht und ist nicht kapillar saugend. Dies ist insbesondere bei der Verlegung von CAF ein großer Vorteil.

3 Zusammenfassung

Der Einfluss unterschiedlicher Dämmstoffe auf die Spannungen und Verformungen von Estrichen bei Einzellasten wurde aufgezeigt.

Dabei zeigte sich, dass höhere Punktlasten (4 kN), wie sie im gewerblichen Bereich (z.B. Restaurants, Schulräume, Theater, Kino, Museen, Einzelhandelsgeschäften, Warenhäusern, Werkstätten etc.) üblich sind, auch bei einer der DIN 18560-2:04 entsprechenden Ausführung zu erheblichen Verformungen der Plattenecken führen. Die Verformungen in der Ecke erreichen z.B. bei einem 50 mm dicken Estrich auf weichen Dämmstoffen bis zu rd. 5 mm, bei Verwendung von Schaumglas hingegen nur rd. 0,3 mm. Je nach Wahl der Dämmstoffe wird somit die Gebrauchstauglichkeit eingeschränkt.

Bei höheren Punktlasten bietet sich daher die Verwendung steifer Dämmstoffe an, um die Rissgefahr zu verringern und unerwünschte Verformungen zu minimieren. Durch die Verwendung steifer Dämmstoffe kann die Nenndicke gegenüber den in DIN 18560-2:04 geforderten Mindestdicken (s. Tabelle 1) verringert werden, ohne die Gebrauchstauglichkeit einzuschränken.

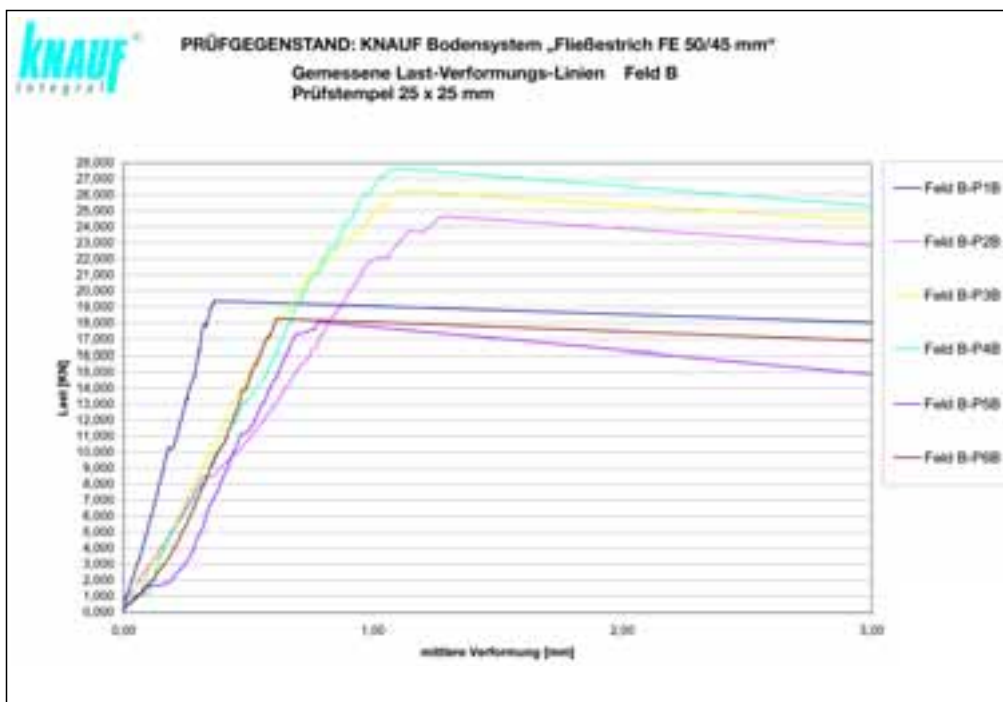
Bei der Dämmung erdberührter Bauteile weist Schaumglas neben der hohen Steifigkeit einen weiteren Vorteil auf. Schaumglas nimmt kein Wasser auf und ist ohne weitere Abdichtungsmaßnahmen dampfdicht. Dies ist insbesondere bei der Verlegung von CAF mit dampfdichten Belägen ein großer Vorteil.

4 Literatur

- 1 Eisenmann, J.; Leykauf: Bau von Verkehrsflächen, in Betonkalender 1987
- 2 Zapke, W.: Wärmedämmstoffe und Druckfestigkeit. BBauBl, Heft 6, 1988
- 3 Burkhardt, S.; Schulz, U.: Das Tragverhalten von Dämmstoffen im Zusammenhang mit der Begehung von kaltgeformten dünnwandigen Profilen. Berichte der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Fridericiana in Karlsruhe, Heft 10, 1984
- 4 Foamglas Industrial Handbook, Deutsche Foamglas GmbH
- 5 Technische Daten Hochbau, Deutsche Foamglas GmbH
- 6 Manns, W.; Zeus, K.: Zum Tragverhalten von Estrichen auf Dämmschichten, Baugewerbe 6/81
- 7 Industrieverband Hartschaum e.V.: Dämmpraxis 1.110, Eigenschaften Styropor für die Wärme und Trittschall-Dämmung
- 8 Luz, Eckart: Wärmedämmung für Industrieböden, Unter besonderer Berücksichtigung von extrudiertem Polystyrol-Hartschaum, Beton-Verlag

Vorschau Systementwicklung

Zum Nachweis der spannungs- und baupraktisch verformungs-freien Ausführung von Estrichen auf Dämmschichten wurden durch die Firmen KNAUF und Deutsche FOAMGLAS® GmbH Prüfungen durchgeführt, die die optimale Verbundhaftung von KNAUF-Calciumsulfat-Fließestrich und FOAMGLAS®-Wärmedämmung belegen. Die Prüfreihe zeigt, dass unter Verwendung des stauchungsfreien Wärmedämmstoffs FOAMGLAS® reduzierte Estrichdicken ausgeführt werden können.



Lassen Sie sich schon heute für die Zusendung der ausführlichen Systemunterlagen vormerken.

Deutsche FOAMGLAS® GmbH Hotline: 0 18 05 / 20 20 28 info@foamglas.de www.foamglas.de

FOAMGLAS®
DER SICHERHEITS-DÄMMSTOFF

FOAMGLAS® ist ein eingetragenes Warenzeichen in den USA und anderen Ländern

Deutsche FOAMGLAS® GMBH

Hotline: 0 18 05 / 20 20 28

info@foamglas.de www.foamglas.de

Marketing und Technik: 42781 Haan · Landstraße 27 – 29

Telefon 0 21 29 / 93 06-21 · Telefax 0 21 29 / 16 71

Zweigbüros: Berlin, Bremen, Dortmund, Dresden, Frankfurt/M., Freiburg/Br., Haan/Rhld., Hamburg, Hannover, Lalendorf, Leinfelden-Echterdingen, München, Nürnberg, Schmiedefeld.