

Randverformungen bei schwimmenden Estrichen/Heizestrichen – Einflüsse und Folgerungen

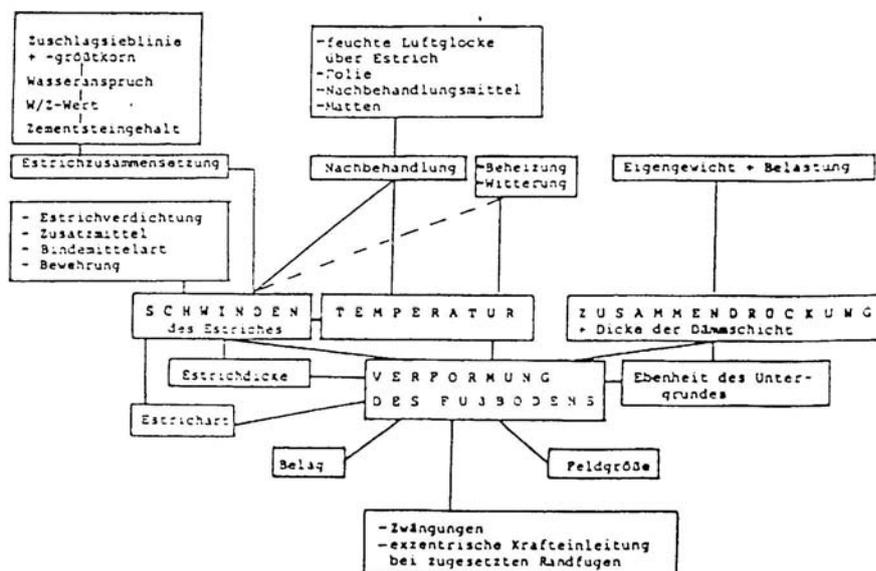
von Werner Schnell

veröffentlicht in boden-wand-decke (Heft 10/87)

1. Einführung

Die Randverformungen von Fußböden mit schwimmenden Estrichen waren in der Vergangenheit häufig Anlass zu Mängelrügen. Nachträgliche Absenkungen der Ränder führten zu Abrissen der dauerelastischen Verfügung von den Sockelleisten. Insbesondere waren davon Fußböden mit keramischen Belägen betroffen. Im folgenden werden die Ursachen der Randverformung der Fußböden erläutert und die mögliche Größe der einzelnen Ursachen auf die Randverformung des Fußbodens abgeschätzt. Außerdem wird gezeigt, welche Einflussmöglichkeit der Estrichleger auf die Randverformung des Fußbodens hat. Den Abschluss bilden Vorschläge, wie die Randverformungen konstruktiv bewältigt bzw. mit welchen Maßnahmen diese Erscheinungen beseitigt werden können.

2. Einflüsse auf die Verformung des Fußbodens



Die Verformung eines schwimmend verlegten Fußbodens werden durch die Estrichart, das Schwinden des Estrichs, die Estrich- und Lufttemperatur, die Zusammendrückung der Dämmschicht, die Estrichdicke, die Feldgröße, den Belag und die Untergrundbeschaffenheit beeinflusst. Dazu kommen Zwängungen durch ungewollte Einspannungen, zum Beispiel bei Einschnitten, oder exzentrische Krafteinleitung, zum Beispiel bei zugesetzten Randfugen. Viele Einflussfaktoren auf die Verformung des Fußbodens sind auch voneinander

Bild 1 Einflüsse auf die Randverformung von Zementestrichen

abhängig. Der Einfluss dieser Faktoren nimmt zu oder ab, wenn andere Einflussfaktoren gleichzeitig wirken. So ist zum Beispiel bei gleicher relativer Luftfeuchtigkeit das Schwinden bei hohen Temperaturen größer als bei tiefen Temperaturen. In **Bild 1** sind die Einflussfaktoren auf die Verformung des Fußbodens und ihre gegenseitige Abhängigkeit dargestellt.

2.1. Schwindverformung des Estrichs

Das Schwinden des Estrichs hängt von der Bindemittelart, der Estrichzusammensetzung und -verdichtung sowie dem Umgebungsklima ab. Auswirkung auf die Größe der Schwindverformung hat die Nachbehandlung, die Estrichverdichtung, die Estrichdicke und in relativ geringem Maße eine Bewehrung. Auch die Belagsart sowie der Zeitpunkt der Belagsverlegung kann Einfluss auf die Schwindverformung haben.

2.1.1. Bindemittelart und Estrichzusammensetzung

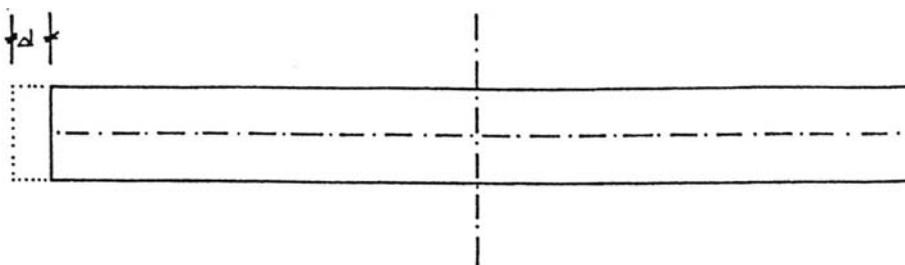


Bild 2 Verkürzung der Estrichplatte bei allseitiger Austrocknung

Estriche verkürzen sich beim Austrocknen. Bei allseitig gleicher Austrocknung ist vorwiegend die horizontale Verkürzung zu berücksichtigen, da die vertikale Verkürzung infolge der geringen Dicke des Estrichs vernachlässigbar ist (**Bild 2**).

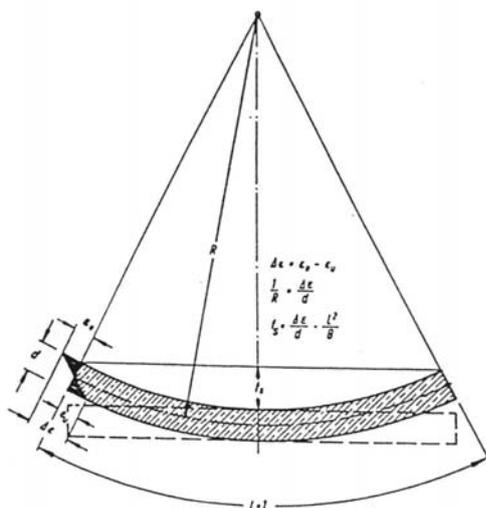


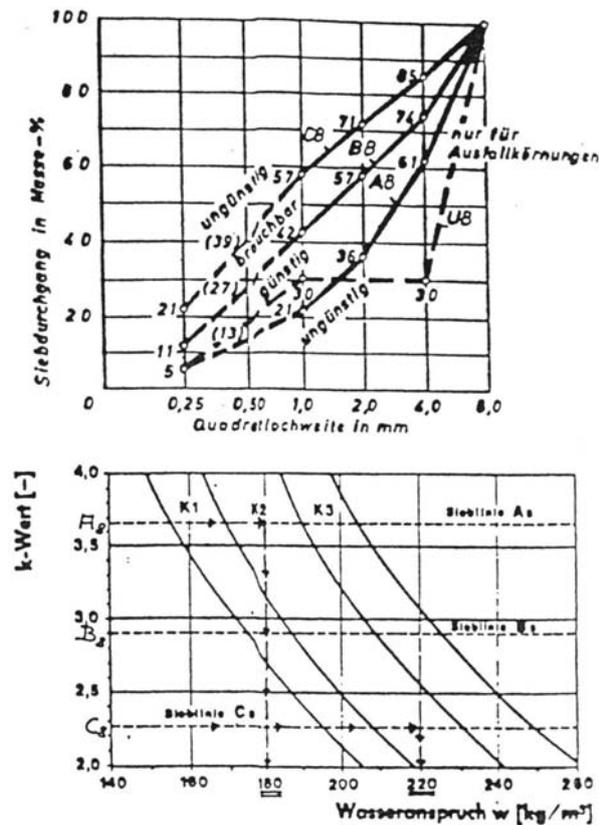
Bild 3 Verwölbung der Estrichplatte infolge Schwindens (vereinfachte Darstellung)

Estriche auf Dämmschichten können aber nur nach einer Seite austrocknen. Beim Austrocknen bildet sich deshalb ein Feuchtigkeitsgefälle im Estrich. Da das Verkürzungsbestreben wegen des Feuchtigkeitsgefälles über den Querschnitt unterschiedlich ist, verkürzt sich der Estrich nicht nur, sondern er verwölbt sich auch beim Austrocknen. Die Estrichränder verkrümmen sich in Richtung des Feuchtigkeitsgefälles (**Bild 3**). Bei sonst gleichen Verhältnissen ist die Größe des Schwindmaßes abhängig von der Bindemittelart und der Kornzusammensetzung.

Anhydritestriche verkürzen sich beim Austrocknen im Vergleich zu Zementestrichen wenig; sie verkrümmen sich beim Austrocknen deshalb kaum. Auch der Einfluss der Kornzusammensetzung auf die Schwindverkürzung ist bei diesen Estriichen gering, wenn der Zuschlag gewaschen ist und keine erhärtungsstörenden Bestandteile enthält.

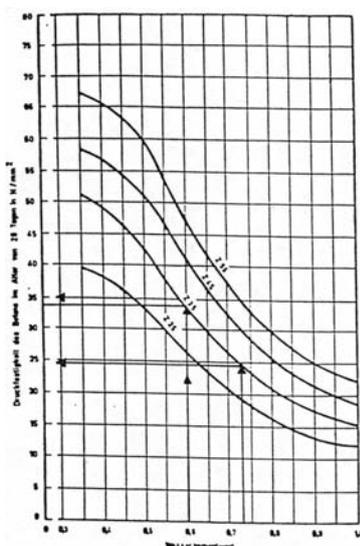
Bei Magnesiaestrichen ist das Schwinden größer als bei Anhydritestrichen, aber bei der üblichen Herstellung im Wohnungsbau ebenfalls kleiner als bei Zementestrichen.

Bei Zementestrichen ist immer mit einer nennenswerten Schwindverkürzung zu rechnen. Das Schwindmaß hängt bei Zementestrichen im wesentlichen vom Wasserzementwert und Zementsteingehalt ab. Der Wasserzementwert bestimmt allein die Festigkeit.



Ein feinkörniger Zuschlag hat einen höheren Wasseranspruch als ein grobkörniger Zuschlag. Aus **Bild 4** ist zum Beispiel abzulesen, dass der Wasseranspruch eines Betons - und Zementestrich ist in diesem Sinn nichts anderes als Beton - der mittleren Konsistenz K 2 bei der grobkörnigen Sieblinie A₈ etwa 180 kg/m³ und bei der feinkörnigen Sieblinie C₈ etwa 220 kg/m³ beträgt. Der Wasseranspruch der Sieblinie C₈ ist bei diesem Beispiel bei gleicher Konsistenz um etwa 20 Prozent höher als der der Sieblinie A₈. Bei gleichem Zementgehalt ist also der Wasserzementwert bei der feinkörnigen Sieblinie C₈ um etwa 20 Prozent höher als bei der grobkörnigen Sieblinie A₈. Bei einem Zementgehalt von 800 kg/m³ beträgt der Wasserzementwert bei diesem Beispiel bei der Sieblinie C₈ 0,73, bei der Sieblinie A₈ 0,60.

Bild 4 Wasseranspruch für Zuschlaggemische mit Größtkorn 8 Millimeter



Nach dem von Walz entwickelten Diagramm in **Bild 5** ist bei einem Wasserzementwert von 0,6 bei gleicher Zementfestigkeitsklasse (zum Beispiel PZ 35 F) eine Betondruckfestigkeit von etwa 33 N/mm² und bei einem solchen von 0,73 eine Betondruckfestigkeit von 24 N/mm² zu erwarten. Die Erhöhung des Wasserzementwertes hat nicht nur einen Festigkeitsabfall, sondern auch eine Vergrößerung des Schwindmaßes zur Folge, wie **Bild 6** verdeutlicht. Die in diesem Bild angegebenen Schwindmaße gelten für Zementstein ohne Zuschlag. Bei Zementestrichen sind die Absolutwerte kleiner, die Tendenz aber ähnlich.

Bild 5 Beziehung zwischen Wasserzementwert und Betondruckfestigkeit in Abhängigkeit von der Festigkeitsklasse des Zementes (nach Walz)

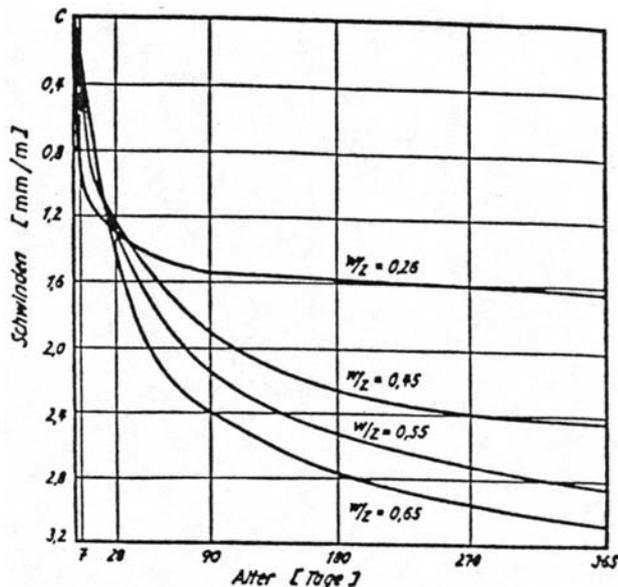


Bild 6 Schwinden von Zementstein bei verschiedenen Wasserzementwerten (nach Haller)

Um bei dem feinkörnigen Zuschlag C_8 in unserem Beispiel denselben Wasserzementwert von 0,6 und damit dieselbe Festigkeit zu erreichen wie bei dem grobkörnigen Zuschlag A_8 , muss der Zementgehalt von 300 kg/m^3 auf 367 kg/m^3 erhöht werden. Durch den höheren Zementgehalt steigt der für das Schwinden verantwortliche Zementsteingehalt und damit das Schwindmaß. Bei vorgegebener Festigkeitsklasse sind also bei einem feinkörnigen Zuschlag neben den höheren Zementkosten auch größere Randverformungen zu erwarten. Umgekehrt kann mit einem grobkörnigen Zuschlag der Zementgehalt gesenkt und die Randverformung außerdem verkleinert werden.

Einen kleinen Einfluss auf das Schwindmaß des Zementestrichs haben auch die Zusatzmittel, die ja bei schwimmenden Estrichen vorwiegend

die Aufgabe haben, die Verarbeitbarkeit des Estrichs zu verbessern und die Verdichtung des Estrichs auf den weichfedernden Dämmschichten zu erleichtern. Bei gleichem Wasserzementwert ist das Schwindmaß eines Estrichs mit Zusatzmittel in der Regel größer als bei einem Estrich ohne Zusatzmittel. Dieser Nachteil wird aber im allgemeinen durch Wassereinsparung und die Verkleinerung des Wasserzementwertes ausgeglichen.

Auch die Zementart hat Einfluss auf das Schwinden des Zementestrichs. Grob gemahlene Zemente haben meist ein geringeres Schwindmaß als fein gemahlene Zemente. Das Anfangsschwinden von schnell erhärtenden Zementen ist in der Regel größer als das von langsam erhärtenden Zementen. Zum Beispiel ist das Anfangsschwinden eines Zementestrichs mit Hochofenzement meist kleiner als das eines Zementestrichs mit Portlandzement. Bei Estrichen ist aber die schnelle Anfangserhärtung für ein frühes Begehen notwendig. Deshalb ist es bei schwimmenden Estrichen bis auf Sonderfälle trotz größeren Anfangsschwindens meist günstiger, relativ schnell erhärtende Zemente, zum Beispiel Portlandzemente, einzusetzen.

2.1.2. Estrichverdichtung

Ein gut verdichteter Estrich ist schwerer als ein Estrich mit Haufwerksporen. Das Eigengewicht des Estrichs wirkt einer Verkrümmung der Estrichränder nach oben entgegen. Insofern ist ein gut verdichteter Estrich vorteilhaft. Dagegen ist die Austrocknungszeit bei einem gut verdichteten Estrich länger als bei einem haufwerksporigen Estrich gleicher Zusammensetzung. Bei ungünstigen Witterungsbedingungen kann dies unter Umständen zu einem größeren Feuchtigkeitsgefälle im Estrich und damit zu einer größeren Verkrümmung des Estrichs führen als bei einem haufwerksporigen Estrich. Die Vorteile gut verdichteter Estriche, wie höhere Festigkeit und bessere Umhüllung der Einbauten, wiegen diesen nachteiligen Nebeneffekt aber bei weitem auf. Durch geeignete Maßnahmen (siehe Abschnitt 2.1.5) sollte nur sichergestellt werden, dass gut verdichtete Estriche nicht scharfen Austrocknungsbedingungen unterliegen.

2.1.3. Bewehrung

Die Bewehrung mit Betonstahlmatten oder Baustahlgitter behindert bei guter Einbettung etwa in Estrichmitte die Verkürzung des Estrichs geringfügig. Die Verkrümmung des Estrichs wird dagegen durch diese Bewehrung im allgemeinen nicht vermindert. Inwieweit dies bei einer Bewehrung mit Stahlfasern anders ist, wird zur Zeit untersucht.

2.1.4. Estrichdicke

Die Estrichdicke beeinflusst die Schwindverformung, weil sie sich auf das Feuchtigkeitsgefälle im Estrich auswirkt. Bei normalen Austrocknungsbedingungen ist das Feuchtigkeitsgefälle bei dicken Estrichen allerdings nicht größer als bei dünnen Estrichen. Kritisch wird es nur, wenn der dicke Estrich gut verdichtet ist und scharfen Austrocknungsbedingungen ausgesetzt wird. In allen übrigen Fällen ist die Verkrümmung der Estrichränder von dicken Estrichen beim Austrocknen geringer als die von dünnen Estrichen, da der Schwindverformung das wesentlich größere Eigengewicht entgegenwirkt. So wurde bei Estrichplatten der Abmessungen 2 Meter x 4 Meter bei 4 Zentimeter Estrichdicke eine doppelt so große Verkrümmung der Plattenecken gemessen wie bei 7 Zentimeter Estrichdicke.

2.1.5. Nachbehandlung

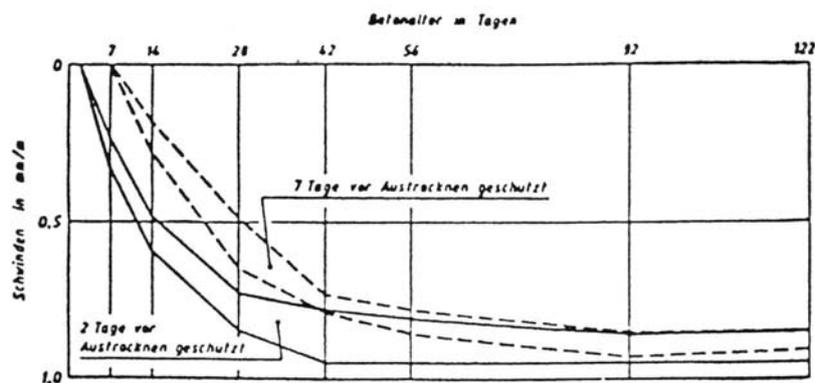


Bild 7 Einfluss des Austrocknungsbeginns auf den Schwindverlauf bei Zementfließestrichen (nach Nischer)

Die Nachbehandlung soll bei Zementestrichen das Austrocknen im Anfangsstadium, in dem die Estrichfestigkeit gering ist, behindern bzw. verzögern und das Feuchtigkeitsgefälle im Estrich klein halten. Wie **Bild 7** zeigt, wird das Endschwindmaß, also die maximale Schwindverformung, durch die Nachbehandlung nur wenig beeinflusst. Durch eine geeignete Nachbehandlung wird aber die Austrocknung so lange verzögert, bis der

Estrich eine ausreichend hohe Festigkeit hat, um Schwindspannungen ohne zu reißen aufnehmen zu können.

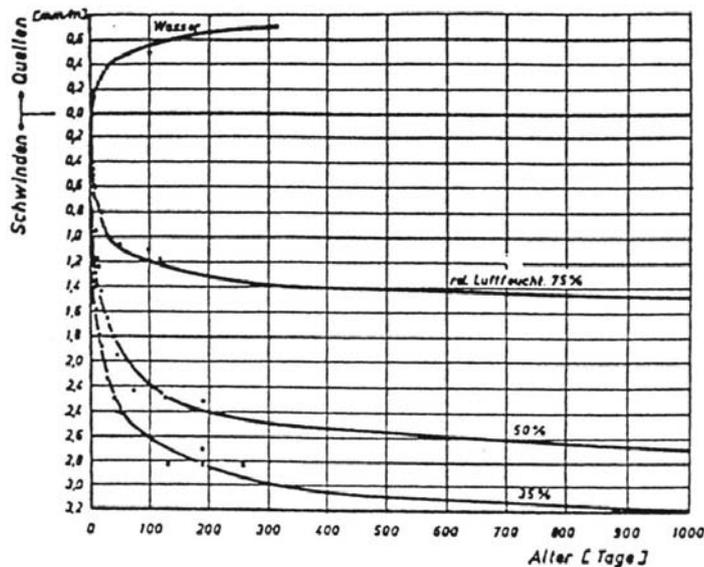


Bild 8 Schwinden von Zementstein bei Lagerung an Luft von verschiedener relativer Feuchtigkeit bei Beginn der Luftlagerung im Alter von einem Tag (nach Wesche)

Im Wohnungsbau besteht die geeignete Nachbehandlungsmaßnahme im Schließen der Fenster und Türen und im Vermeiden von Luftzug. In den verhältnismäßig kleinen Räumen stellt sich dann über dem Estrich eine Feuchtigkeitsglocke ein, die das Austrocknen des Estrichs verzögert und das Feuchtigkeitsgefälle im Estrich klein hält. Dies geht aus **Bild 8** hervor, das verdeutlicht, dass das Schwindmaß mit zunehmender relativer Luftfeuchtigkeit kleiner wird.

In Räumen, in denen sich wegen zu großen Luftvolumens bzw. wegen unvermeidlichen Luftzuges nicht über mindestens zwei Tage eine Feuchtigkeitsglocke über dem Estrich bilden kann, sind andere Nachbehandlungsmaßnahmen wie zum Beispiel Besprühen des Estrichs mit einem geeigneten Nachbehandlungsmittel oder Abdecken des Estrichs mit PE-Folie, zu ergreifen. Das Besprühen mit Nachbehandlungsmittel sollte allerdings auf die Estriche beschränkt bleiben nicht mit einem Belag bzw. mit einer Beschichtung versehen werden. Ein geeignetes Nachbehandlungsmittel beeinträchtigt nämlich meist auch die Haftung der nachfolgenden Schicht.

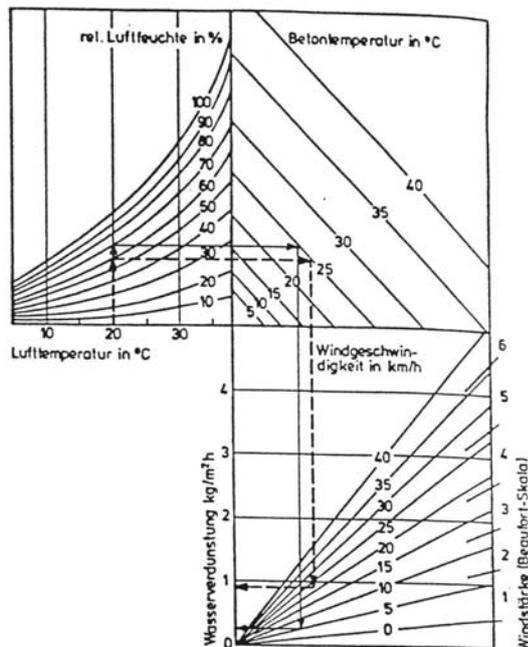


Bild 9 Das Austrocknungsverhalten von Beton in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit, Luftfeuchte und Temperatureinfluss

Wird die Nachbehandlungsmaßnahme bei Zementestrichen in den Fällen, in denen sich die Feuchtigkeitsglocke über dem Estrich nicht ausreichend lange bilden kann, nicht durchgeführt, wird der Estrich schnell entwässert. **Bild 9** deutlicht die Abhängigkeit zwischen Temperatur, relativer Luftfeuchtigkeit, Luftgeschwindigkeit und Entwässerung bei Beton. Schon bei der relativ geringen Luftgeschwindigkeit von 5 km/h = etwa 1,5 m/s beträgt die Entwässerung bei 20 Grad Celsius und 50 Prozent relativer Luftfeuchtigkeit zwei Liter je Quadratmeter und Stunde. Ein vier Zentimeter dicker Estrich der Festigkeitsklasse ZE 20, der mit etwa sechs Liter Wasser je Quadratmeter hergestellt wird, verliert bei dieser Witterung also innerhalb weniger Stunden (h) sein Wasser. Dadurch wird nicht nur die Festigkeit des Estrichs herabgesetzt, sondern auch ein hohes Feuchtigkeitsgefälle im Estrich erzeugt. Die Folge sind große Randverkrümmungen des Estrichs.

2.2. Temperatur des Estrichs

Der Estrich verlängert sich bei Temperaturerhöhung und verkürzt sich bei Temperaturabfall. Ist im Estrich ein Temperaturgefälle vorhanden, stellt sich wie bei einem Feuchtigkeitsgefälle neben der horizontalen Verlängerung bzw. Verkürzung auch eine Verwölbung des Estrichs ein. Die Estrichränder verkrümmen sich in Richtung des Temperaturgefälles. Dem wirkt das Eigengewicht entgegen. In **Bild 10** sind, in vertikaler Richtung überhöht, die möglichen Estrichverformungen bei Abkühlung von oben bzw. Erwärmung von oben in Abhängigkeit von der Feldgröße dargestellt. Eine Abkühlung von oben erzeugt dasselbe Verformungsbild wie eine Erwärmung von unten. Das Bild zeigt, dass sich lediglich die Randbereiche besonders verkrümmen und dass mit zunehmender Feldgröße auch der Anteil der auf dem Untergrund aufliegenden Estrichfläche zunimmt.

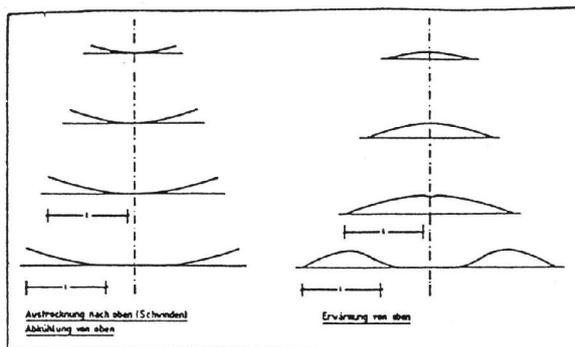
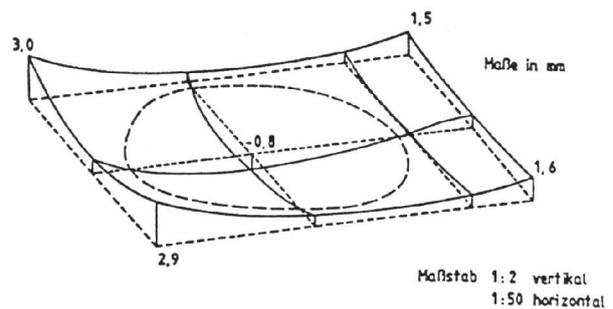


Bild 10 Verformung der Estrichplatte in Abhängigkeit von der Feldgröße bei einseitiger Austrocknung und Erwärmung bzw. Abkühlung

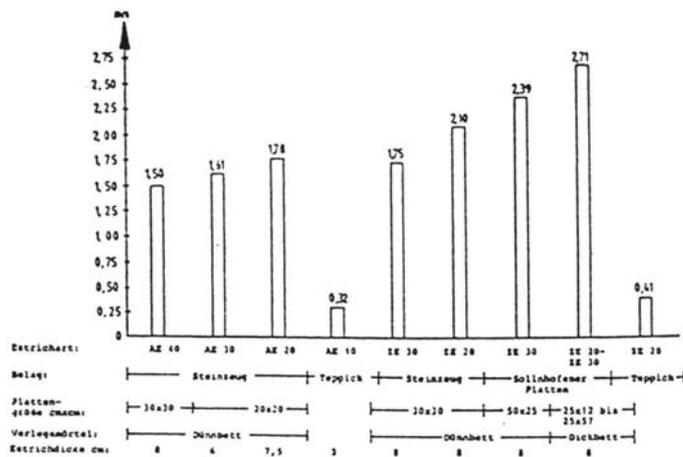


Anhydritestrich mit Steinbelag

Bild 11 Verwölbung einer Anhydritestrichplatte mit Steinbelag beim Aufheizen mit 60°C Vorlauftemperatur

Bei Warmwasserfußbodenheizung wird der Estrich entweder durch im Estrich oder in der Dämmschicht eingebettete Rohre von unten erwärmt. Die bei 40 Grad Celsius Temperaturunterschied im Vorlauf und bei einer Umgebungstemperatur von 10 Grad Celsius bei einem Anhydritestrich mit Steinbelag auf vier Zentimeter dicker weichfedernder Dämmschicht gemessene vertikale Verformung sei beispielhaft angeführt. Die Estrichplatte hatte bei diesem Beispiel die Abmessungen 6 Meter x 3 Meter, wobei eine Fläche von 5 Meter x 3 Meter beheizt wurde (**Bild 11**).

Mit den beschriebenen Versuchsbedingungen muss allerdings in der Praxis selten gerechnet werden. Die Eckverformung liegt bei Anhydritestrichen mit Steinbelag bei üblichen Warmwasserfußbodenheizungen und schneller Beheizung bis 50 Grad Celsius Vorlauftemperatur höchstens bei ein bis zwei Millimeter. Bei Erwärmung ist demnach auch bei Anhydritestrichen mit Randverformungen zu rechnen. Entsprechend dem kleineren Temperaturexpansionskoeffizient (α_T etwa 9×10^{-6} bei Anhydritestrich und 12×10^{-6} bei Zementestrich) fallen diese aber kleiner aus als bei Zementestrichen.



Der Belag beeinflusst das Temperaturgefälle im Estrich und damit die Größe der Randverformung. In **Bild 12** sind die Eckverformungen bei einer Vorlauftemperatur von 40 Grad Celsius für verschiedene Estriche und Beläge dargestellt. Der entscheidende Einflussfaktor ist der Wärmedurchlasswiderstand des Belages. Teppichbeläge haben einen höheren Wärmedurchlasswiderstand als Steinbeläge. Das Temperaturgefälle im Estrich unter Teppichbelägen ist deshalb kleiner als das im Estrich unter Steinbelägen.

Bild 12 Maximale vertikale Verformung der Plattenecken nach Erwärmung mit 40°C Vorlauftemperatur bei einer Ausgangstemperatur von 20°C

2.3. Belag

Beläge verzögern bzw. verhindern die Austrocknung des Estrichs. Das Feuchtigkeitsgefälle im Estrich würde deshalb bei frühzeitiger Verlegung des Belags klein gehalten. Die Estrichränder würden sich, sofern eine weitere Austrocknung auch mit Belag möglich ist, nur wenig verkrümmen. Diese auf den ersten Blick vorteilhafte Lösung scheidet überwiegend an folgenden Materialeigenschaften:

- bei Teppichen und Holzböden ist der Belag und überwiegend auch der Kleber empfindlich gegen großen Wasseranfall aus dem Untergrund;
- bei elastischen Belägen und Beschichtungen aus Reaktionsharzen ist die weitere Austrocknung unterbunden. Durch Feuchtigkeit aus dem Untergrund entstehen Mängel am Belag (z.B. Blasen) bzw. überwiegend auch am Kleber der elastischen Beläge;
- bei keramischen Belägen, Natur- und Betonwerksteinbelägen (Steinbelägen) ist das Schwindmaß des Verlegemörtels bei Verlegung im Dickbett in der Regel größer als das des Estrichs. Dadurch wird die Haftzone zwischen Verlegemörtel und Estrich beim Austrocknen stark beansprucht.

Dennoch ist bei der Dickbettverlegung dieser „Steinbeläge“ ein frühzeitiges Verlegen des Belages sinnvoll, wenn durch langes Offenhalten der Fugen ein nachträgliches Austrocknen des Estrichs und Verlegemörtels möglich ist und der Belag nicht durch Feuchtigkeit aus dem Untergrund beeinträchtigt werden kann, wie z.B. bei Natursteinbelägen.

Bei der Verlegung im Dünnbett dagegen würde die Austrocknung des Estrichs bei frühzeitiger Verlegung des Belages durch den relativ dampfdichten Dünnbettmörtel auch bei offenen Fugen so verzögert, dass die Belagsverlegung den Baufortschritt unwirtschaftlich lange aufhalten würde.

Bei textilen Belägen, Holzböden, elastischen Belägen, Beschichtungen aus Reaktionsharzen und bei im Dünnbett verlegten Steinbelägen muss also die Austrocknung des Estrichs abgewartet werden, bevor verlegt wird. Während bei textilen Belägen, elastischen Belägen und Böden aus Reaktionsharzen diese Forderung wegen des Feuchtigkeitsanfalls besteht, muss bei Holzböden und mehr noch bei Steinbelägen auch das unterschiedliche Verformungsverhalten von Belag und Estrich bei der Verlegung auf einen zu feuchten Estrich beachtet werden.

Der Holzboden nimmt die Feuchtigkeit aus dem Untergrund auf und quillt. Der Estrich verkürzt sich dagegen beim Austrocknen. Dieses unterschiedliche Verformungsverhalten führt bei Holzböden zwangsläufig zum Abscheren des Holzbodens, wenn er auf einen zu feuchten Estrich geklebt wird.

Ein im Dünnbett verlegter Steinbelag verkürzt sich in der Folgezeit nur wenig. Wird er auf einen noch nicht ausgetrockneten Estrich verlegt, wird er deshalb dessen Verkürzung beim weiteren Austrocknen behindern. Das beim Austrocknen des Estrichs anfallende Wasser sammelt sich unter dem Dünnbettmörtel an und führt zu einer Umkehrung des Feuchtigkeitsgefälles. Beide Vorgänge, Behinderung der Verkürzung des Estrichs durch den Belag und Feuchtigkeitsgefälle im Estrich von oben nach unten, bewirken eine Verkrümmung der Randbereiche des Fußbodens nach unten. Verkürzt sich zum Beispiel ein vier Zentimeter dicker Estrich nach der Verlegung des Belages um 0,2 mm/m, kann dies bei einem zwei Meter langen Fußboden eine Verkrümmung der Randbereiche nach unten um 2,5 Millimeter zur Folge haben.

2.4. Zusammendrückung und Dicke der Dämmschicht

Dämmstoffe lassen sich unter Belastung zusammendrücken. Wärmedämmplatten aus Polystyrol nach DIN 18 164 Teil 1 bzw. aus Faserdämmstoffen nach DIN 18 165 Teil 1 sind dichter als die entsprechenden Trittschalldämmplatten. Unter Wohnraumbelastung und Estricheigengewicht drücken sie sich praktisch nicht zusammen. Deshalb wird bei Wärmedämmplatten auch keine Zusammendrückbarkeit angegeben. Es muss aber darauf hingewiesen werden, dass die Zusammendrückbarkeit in Wirklichkeit nicht null ist und dass die Zusammendrückbarkeit insbesondere unter höherer Auflast als der üblichen Wohnraumbelastung bei Wärmedämmplatten durchaus einen bis zwei Millimeter betragen kann. Dazu kommt das Kriechen der Dämmstoffplatten unter Auflast.

Die weichfedernden Trittschalldämmplatten aus Polystyrol nach DIN 18 164 Teil 2 bzw. aus Faserdämmstoffen nach DIN 18 165 Teil 2 werden dagegen durch die Zusammendrückbarkeit zwischen Lieferdicke d_L bei 0,25 kN/m² Auflast und Dicke unter Belastung d_B bei 2 kN/m² Auflast gekennzeichnet. Die Zusammendrückbarkeit ($d_L - d_B$) ist bei den meisten Mineralfaserdämmplatten 5 Millimeter, bei den Polystyrolämmplatten 2 Millimeter bis 3 Millimeter Zusammendrückbarkeit, allerdings mit dann größerer dynamischer Steifigkeit.

Das Eigengewicht eines vier Zentimeter dicken Estrichs erzeugt Pressungen von rund 0,8 kN/m². Diese Pressung ist kleiner als die Auflast bei der Messung der Dicke unter Belastung (2 kN/m²). Die Trittschalldämmschicht wird sich deshalb unter dem Eigengewicht des Estrichs nicht bis zur „Dicke unter Belastung d_B “ zusammendrücken. Die vollständige Zusammendrückbarkeit wird erst unter der Verkehrslast erreicht. Deshalb werden sich Estriche auf Trittschalldämmplatten um einen bis zwei Millimeter beim Einrichten der Wohnung und in der Folgezeit etwa einen weiteren mm infolge Kriechens der Dämmschicht absenken. Schwere Möbel können vor allem bei dünnen Estrichen oder dicken weichfedernden Dämmschichten örtlich größere Randabsenkungen (3 Millimeter bis 4 Millimeter) zur Folge haben (**Tabelle 1**).

Estrich- art	dicke cm	Belag	Platten- größe cm x cm	Verlege- mörtel	Anzahl der Temperatur- wechsel		Absenkung der Plattenecken			
					ohne Belastung	mit Belastung	vor der Belastung mm	nach der Belastung mm	vor der Entlastung mm	bleibende Gesamt- verformung mm
Dämmschicht: 40 mm Polystyrol PS 20 + 25/20 mm Mineralfaser										
AE 40	8	Steinzeug	30 x 30	Dünnbett	8	16 ¹⁾	1,8	4,5	9,2 ¹⁾	5,8
AE 40	8	Teppich	-	-	-	-	0,4	-	-	-
ZE 20	8	Steinzeug	30 x 30	Dünnbett	3 ²⁾	3 ²⁾	-0,4 ²⁾	3,1	4,7	1,3
ZE 30	8	Steinzeug	30 x 30	Dünnbett	6	6	0,4	3,8	7,2	3,0
ZE 30	8	Natursteinplatten ⁵⁾	50 x 25	Dünnbett	6	6	1,9	6,3	8,3	5,2
ZE 20	8	Natursteinplatten ⁵⁾	25 x 12	Dickbett	6	6	1,1	4,8	6,4	3,2
ZE 30	8	Natursteinplatten ⁵⁾	b. 25 x 57	Dickbett	6	6	1,1	4,8	6,4	3,2
ZE 20	8	Teppich	-	-	6	6 ³⁾	0,6	5,0	7,6 ³⁾	2,9
Dämmschicht: 20 mm Polystyrol PS 20 + 25/20 mm Mineralfaser										
AE 20	7,5	Steinzeug	20 x 20	Dünnbett	6	8	0,4	5,8	8,8	4,5
AE 30	6	Steinzeug	20 x 20	Dünnbett	6	8	0,2	6,5	10,1 ⁴⁾	5,0
¹⁾ 12 Temperaturwechsel mit Belastung 150 kg/m ²⁾ Platte war schon durch mehrere Temperaturwechsel und Belastungen vorbeanspruch ³⁾ 4 Temperaturwechsel mit Belastung 150 kg/m ⁴⁾ nach weiteren Temperaturwechseln mit 450 kg/m Belastung 13,0 mm ⁵⁾ Solnhofener Natursteinplatten										

Tabelle 1 Absenkung der Plattenecken bei Belastung von 450 kg/m, aufgebracht an den Schmalseiten auf einer Breite von 30 Zentimeter

Die Abhängigkeit der Zusammendrückbarkeit der Dämmschicht von der Belastung sowohl bei Wärmedämmplatten als auch in wesentlich größerem Maße bei Trittschalldämmplatten hat Folgen für das Tragverhalten und die Verformung der Estrichplatte. Jede Verformung der Estrichplatte verursacht eine Lastumlagerung und bewirkt örtlich hohe Pressungen, die die übliche Wohnraumbelastung übersteigen und deshalb auch zu einer örtlich größeren Zusammendrückung der Dämmstoffplatten führen.

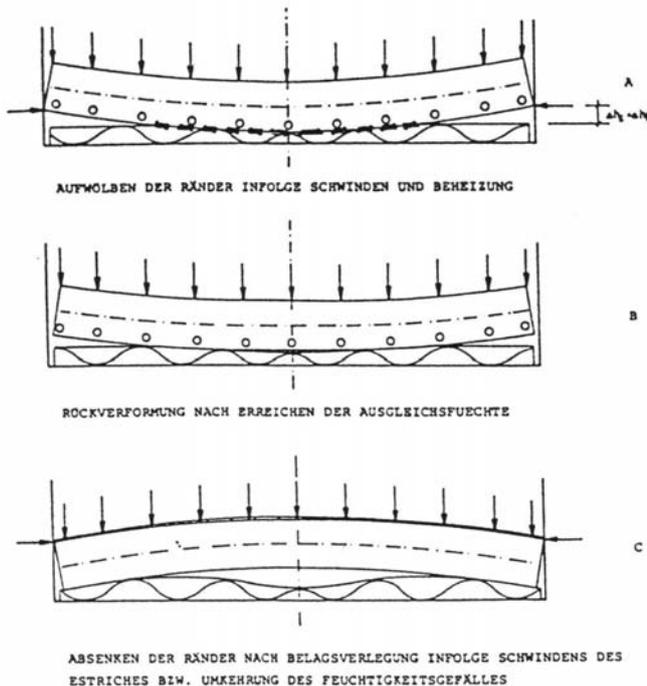


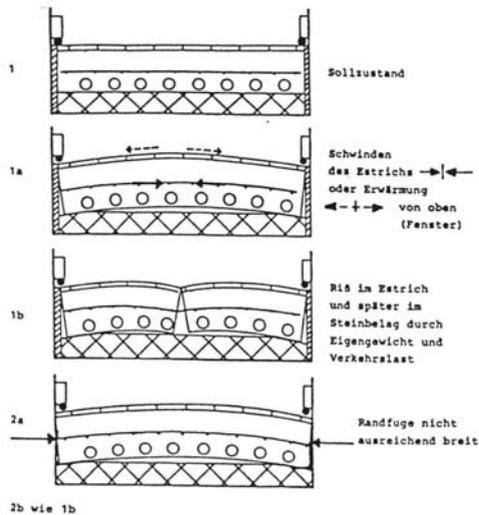
Bild 13 Verformung des schwimmenden Estrichs bzw. Fußbodens infolge Schwindens und Beheizung bzw. bei zu früher Verlegung des Belages

In **Bild 13** ist ein Beispiel dargestellt. Die Randbereiche des Estrichs verkrümmen sich beim Austrocknen. Die Dämmschicht wird dadurch im Randbereich entlastet, in der Mittelfläche dafür aber höher belastet. Die Mittelfläche senkt sich deshalb weiter ab (Fall A). Ist die Ausgleichsfeuchte des Estrichs über den Querschnitt erreicht, geht die Verkrümmung der Randbereiche des Estrichs bis auf einen bleibenden Anteil zurück (Fall B). Verkehrslast und Kriechen des Estrichs bewirken in der Folgezeit in der Regel, dass die Randbereiche wieder auf der Dämmschicht aufliegen. Die zusätzliche Absenkung der Mittelfläche der Dämmschicht durch die zeitweise höhere Belastung ist in der Regel gering, so dass bei dem beschriebenen Ablauf keine Mängel am Estrich zu befürchten sind.

Gefährlich wird es dagegen, wenn der noch nicht ausgetrocknete Estrich mit einem im Dünnbett verlegten Steinbelag versehen wird. Dann verkrümmen sich die Randbereiche nach unten, der mittlere Bereich hebt sich noch mehr von der vorher dort schon weiter zusammengedrückten Dämmschicht

(siehe Fall A) ab. Die Last (Eigengewicht und Verkehrslast) wird jetzt nur noch über den relativ schmalen Randbereich abgetragen. Die Dämmschicht drückt sich dort unter der hohen Auflast entsprechend zusammen (Fall C). So wurde bei Schadensfällen trotz normgemäßem Dämmstoff eine Zusammendrückung in diesem Bereich von etwa 10 Millimeter gemessen. Der nicht mehr durch die Dämmschicht gestützte Mittelbereich wird auf Biegung beansprucht. Da der Estrich nicht als selbsttragende Platte bemessen ist, wird er in der Regel im abgehobenen Bereich allein schon infolge Eigengewicht von unten einreißen. Der Fußboden wird sich dann in diesem Bereich langsam wieder auf die Dämmschicht absetzen. Der Riss wird allmählich auch im Belag sichtbar.

Anzumerken ist an dieser Stelle, dass nach Untersuchungen im Institut die Risse sich dann nicht in den Belag fortsetzen, wenn die Verwölbung des Estrichs nicht übermäßig groß, der Estrich bewehrt und die Bewehrung gut im Estrich eingebettet ist. Die Bewehrung überträgt in diesen Fällen nach dem Reißen des Estrichs offensichtlich die auftretenden Zugspannungen. Der Estrich reißt nur bis zur Bewehrung auf. Die Zugspannungen werden im Laufe der Zeit durch Kriechen abgebaut, der Fußboden senkt sich auf die Dämmschicht ab, ohne dass sich die Risse bis in den Belag fortpflanzen.



Das in **Bild 14** dargestellte Reißen bei Heizestrichen bis in den Belag trotz Bewehrung tritt nach unseren Beobachtungen nur auf, wenn die Verwölbung des Estrichs ungewöhnlich groß, die Bewehrung dünner oder mit größerem Stababstand als üblich (siehe Merkblätter) ausgelegt oder nicht richtig in den Estrich eingebettet ist.

Aus **Bild 13** wird deutlich, dass sich der Estrichrand beim Absenken an der aufgehenden Wand verkanten kann, wenn der Randstreifen sehr dünn ist. In diesem Fall wird dann die Verwölbung des Estrichs durch Horizontalkräfte noch gefördert. Groß werden die Horizontalkräfte beim Beheizen von Heizestrichen, wenn die Randfugen nicht ausreichend breit bemessen sind (siehe Fall 2 a in Bild 14).

Bild 14 Rissbildung im Fußboden infolge Schwindens des Estrichs nach Belagsverlegung oder Erwärmung der Konstruktion von oben bzw. bei nicht ausreichend breiter Randfuge

An Heizestrichen wurde bei Versuchen gemessen, dass sich die Dämmschichten vermutlich durch die Bewegungen der Estrichplatte beim Beheizen und Abkühlen weiter zusammendrücken. Diese Zusammendrückung ist ebenfalls lastabhängig und kann bei üblicher Wohnraumbelastung und weichfedernder Trittschalldämmschicht bei häufigen Temperaturwechseln zwei bis drei Millimeter betragen.

Trittschalldämmplatten aus Mineralfaserplatten haben eine größere Zusammendrückbarkeit als Trittschalldämmplatten aus Polystyrol. Dafür ist das Rückfederungsvermögen der Mineralfaserdämmplatten größer als das der Polystyrol dämmplatten. Außerdem passen sie sich den Verformungen der Estrichplatte besser an. Die Auswirkungen sind noch nicht eindeutig untersucht. Als Tendenz lässt sich aber sicherlich voraussagen, dass eine größere Zusammendrückbarkeit die Randverformung vergrößert, und die Rückfederung und Verformungsanpassung zu einer höheren Tragfähigkeit der Estrichplatte bei Verformungen führt.

2.5. Feldgröße

Aus **Bild 10** ist ersichtlich, dass die Größe der Randverformung nur bei kleinen Feldern abhängig von der Feldgröße ist. Ab einer gewissen Feldgröße verkrümmen sich nur noch die Randbereiche, der Mittelbereich liegt bei großen Fugenabständen infolge Eigengewicht auf der Dämmschicht auf, die Breite des verkrümmten Randbereiches bleibt etwa gleich.

3. Größe der Randverformung

Die in Abschnitt 2. angegebenen Einflüsse verursachen unterschiedlich große Randverformungen. In **Bild 15** sind die Einflüsse und die bei Untersuchungen und Gutachten des Instituts aufgrund dieser Einflüsse festgestellten maximalen Randverformungen für Zementestriche (ZE) und Anhydritestriche (AE) dargestellt. In **Tabelle 2** sind die Einflussgrößen auf die Verformungsbilder des Bildes 15 zusammengestellt.

Verformungsbild	abhängig von
1	<ul style="list-style-type: none"> • Estrichzusammensetzung und –verdichtung • W/Z-Wert – Zusatzmittel – Zementart • Witterung (Klima im Raum und Windgeschwindigkeit) • Estrichdicke • Feldgröße • Nachbehandlung
2	<ul style="list-style-type: none"> • Größe der Erstverwölbung • Verkehrslast • Estrichdicke • Feldgröße • Grad der Austrocknung (Feuchtigkeitsgehalt)
3	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturgefälle im Estrich (Estrichdicke) • Feldgröße • Raumtemperatur • Vorlauftemperatur • Feuchtigkeitsgehalt • Belagart
4	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmschichtart und –dicke • Feldgröße • Auflast am Rande • Estrichdicke • Belagart
5	<ul style="list-style-type: none"> • Grad der Austrocknung bei der Verlegung des Belages (Estrichdicke) • Belagart (besonders groß bei keramischen Belägen) • Feldgröße • Dichtigkeit des Belages • Raumklima
6	<ul style="list-style-type: none"> • Größe der Auflast • Estrichdicke • Feldgröße
7	<ul style="list-style-type: none"> • Dämmschichtart und –dicke • Größe der Verkehrslast • Estrichdicke

Tabelle 2 Einflussgrößen auf die Verformungsbilder von Bild 15

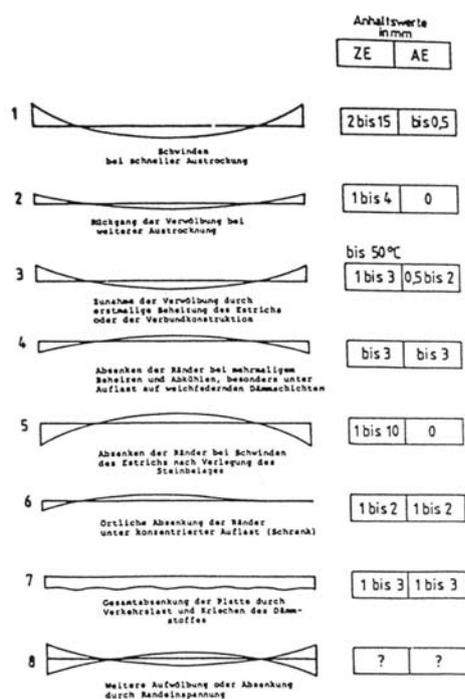


Bild 15 Anhaltswerte für die Größe der Randverformungen bei Anhydritestrichen (AE) und Zementestrichen (ZE)

Die Größenangaben in **Bild 15** sind Anhaltswerte. Bei besonders ungünstigen Verhältnissen werden sie sicherlich überschritten, bei üblichen und normgemäßen Verhältnissen nicht erreicht. Dies gilt besonders für die Anhaltswerte hinsichtlich des Schwindens.

Immerhin zeigen aber die Werte, dass auch bei ordnungsgemäßer Verlegung und Beachtung aller Regeln Randverformungen bei schwimmenden Fußböden nicht zu vermeiden sind. Ein Teil der Randverformungen sind konstruktions- und materialbedingt.

Die letztgenannten Randverformungen betragen bei Konstruktion mit Trittschalldämmschichten in der Regel mindestens zwei Millimeter, bei Heizestrichen in der Regel mehr als drei Millimeter.

Eine dauerelastisch verfugte, üblicherweise fünf Millimeter, breite Randfuge zwischen Steinbelag und Sockel kann sich auf Dauer dagegen nur etwa einen Millimeter dehnen. Abrisse an den Sockeln sind bei der beschriebenen Konstruktion aufgrund von Randabsenkungen des Fußbodens also auch bei sorgfältiger Ausführung immer zu erwarten.

4. Einflussmöglichkeiten des Estrichlegers auf die Randverformung

Der Estrichleger kann die Randverformungen durch die Estrichzusammensetzung beeinflussen. Darüber hinaus kann er den Planer hinsichtlich der Dämmstoffart und -anordnung beraten und für eine zweckmäßige Nachbehandlung des Estrichs Sorge tragen. Bei Heizestrichen muss er durch Auswahl ausreichend breiter Randstreifen Einspannungen verhindern. Der Estrichleger ist allerdings auf die örtlichen Gegebenheiten angewiesen. In wenigen Landesteilen stehen dem Estrichleger zu wirtschaftlich vertretbaren Preisen Zuschläge zur Verfügung, die die Herstellung eines schwindarmen Zementestrichs ermöglichen. Der Estrich wird in einer Zeit des Ausbaus verlegt, in der der Fertigstellungstermin in Sicht ist und Bauverzögerungen nicht mehr auftreten dürfen. Die Folge ist eine Verlegung auch bei ungünstigen Verhältnissen bzw. Voraussetzungen, die nicht normgerecht sind. Dennoch sollte bei jeder Estrichverlegung oberstes Gebot sein, das Schwindmaß des Estrichs, das sich besonders auf die Randverformungen auswirkt, durch Nachbehandlung bzw. andere geeignete Maßnahmen klein zu halten. Die Dämmstoffschicht sollte sich nach der Estrichverlegung nur noch wenig zusammendrücken und den Estrich auch bei Verformungen des Estrichs stützen.

Im allgemeinen lassen sich diese einander widersprechenden Forderungen am besten erfüllen, wenn die Trittschalldämmschicht nur so dick gewählt wird, dass der Trittschallschutz sicher erreicht wird. Die aus Wärmeschutzgründen häufig größere Dämmschichtdicke muss dann durch eine kombinierte Verlegung von Trittschalldämmplatten und Wärmedämmplatten erfüllt werden.

5. Maßnahmen zur Eingrenzung der Randverformung und Beseitigung der Mängel

Neben dem Schwinden des Estrichs und der Zusammendrückung bzw. Art der Dämmschicht ist der Zeitpunkt der Belagsverlegung insbesondere bei im Dünnbett verlegte Steinbelägen auf Zementestrichen von entscheidender Bedeutung für die Randverformung des Fußbodens. Der Zementestrich muss ausgetrocknet sein und sein Endschwindmaß nahezu erreicht haben, bevor der Steinbelag geklebt wird. Ist das Endschwindmaß bei der Belagsverlegung nahezu erreicht, sind die Einflussgrößen für das Schwinden des Estrichs in der Folgezeit von untergeordneter Bedeutung. Der Einfluss des Zementestrichs auf die Randverformung des Fußbodens ist dann gering.

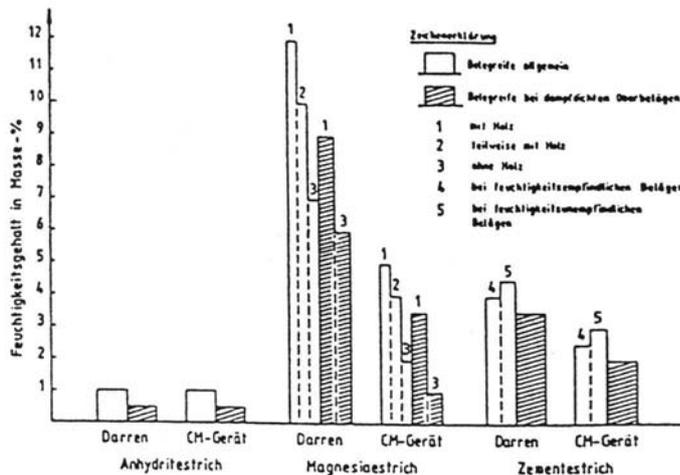


Bild 16 Grenzfuchtigkeitsgehalte für die Belegreife von Estrichen

Der Planer muss deshalb dafür sorgen, dass der Zementestrich erst nach Austrocknung mit dem Steinbelag versehen wird. Anhaltswerte für den Feuchtigkeitsgehalt des Estrichs bei der Verlegung des Steinbelages sind in **Bild 16** angegeben. Bei im Dünnbett verlegten Steinbelägen sollen die unter Zeichenerklärung 4 für „feuchtigkeitsempfindliche Beläge“ dargestellten Feuchtigkeitsgehalte erreicht sein. Bei Heizestrichen ist diese Forderung durch das fachgerechte Vorheizen des Estrichs leicht zu erfüllen. Bei unbeheizten Estrichen müssen die Räume eventuell vorgeheizt werden, wenn der erforderliche Austrocknungszustand

bei zum Beispiel feuchtem Bauklima nicht erreicht wird. Zweckmäßig wäre es in jedem Fall, wenn auch der Fliesenleger wie schon lange der Bodenleger, dazu übergehen würde, den Feuchtigkeitsgehalt des Estrichs vor der Belagsverlegung mit dem CM-Gerät zu messen.

Anhydritestriche schwinden kaum. Dennoch sollte auch bei diesen Estrichen der Grenzfuchtigkeitsgehalt für „feuchtigkeitsempfindliche Beläge“ vor der Verlegung des Steinbelages erreicht sein. Die Gefahr der nachträglichen Absenkung der Ränder bei Steinbelägen infolge Schwindens des Estrichs nach der Belagsverlegung ist bei Anhydritestrichen im Gegensatz zu Zementestrichen allerdings nicht gegeben. Bei Anhydritestrichen sind Abrisse an den Randfugen deshalb selten.

Bei der Auswahl der Dämmstoffe sollte darauf geachtet werden, dass die nach der Estrichverlegung noch auftretende Zusammendrückbarkeit möglichst klein ist. Eine Ermittlung der Zusammendrückbarkeit der Dämmschicht bei $0,8 \text{ kN/m}^2$ bzw. für Heizestriche bei $1,5 \text{ kN/m}^2$ Auflast durch die Hersteller der Dämmstoffe würde die Zuordnung erleichtern. Die Zusammendrückung der Dämmschicht unter Estricheigengewicht ist nämlich ohne Bedeutung. Nähere Hinweise zu den Dämmstoffen sind auch in den Abschnitten 2.4 und 4. enthalten. Die vom Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e.V. herausgegebenen Merkblätter für Heizestriche und Steinbeläge auf Dämmschichten müssen beachtet werden.

Senken sich die Randbereiche trotz der angegebenen Vorsichtsmaßnahmen ab und reißt die Fugenmasse von den Sockeln ab, muss die Verfugung gegebenenfalls nach etwa 2 Heizperioden erneuert werden. Als weitere Möglichkeit gibt es jetzt Fugenprofile für den Randbereich, zum Beispiel der Firma Wedi und Schlüter, die in den Dünnbettmörtel eingebettet werden und eine Absenkung des Randbereiches kaschieren.

6. Zusammenfassung

Randverformungen sind bei schwimmenden Konstruktionen nicht zu vermeiden. Für Fußböden mit schwimmenden Estrichen wurden die Einflüsse auf die Randverformungen aufgezeigt und ihre Größe abgeschätzt. Die Randverformungen des Fußbodens werden außer durch die Witterung im wesentlichen bestimmt durch:

- die Zusammendrückbarkeit und Dicke der Dämmschicht,
- die Estrichart und –dicke sowie die Feldgröße der Estrichplatte,
- das Schwinden des Zementestrichs,
- die Nachbehandlung des Zementestrichs,
- die Belagart und den Zeitpunkt der Belagsverlegung sowie
- die Belastung und eventuelle Beheizung bzw. Erwärmung des Fußbodens.

Der Estrichleger kann durch geeignete Zusammensetzung und Nachbehandlung das Schwindmaß des Zementestrichs und die Randverformungen des Estrichs klein halten. Außerdem muss er für ausreichend breite und freie Randfugen im Estrichbereich durch geeignete Randstreifen sorgen. Wird der Estrich fachgerecht vorgeheizt bzw. bis zur Ausgleichsfeuchte bei Nutzungsbedingungen getrocknet, ist das Endschwindmaß nahezu erreicht. Das Schwindmaß des Estrichs ist dann für die Randverformung des Fußbodens in der Folgezeit von untergeordneter Bedeutung.

Deshalb darf der Estrich insbesondere bei Steinbelägen erst nach Erreichen der entsprechenden Ausgleichsfeuchte mit dem Belag versehen werden. Der Feuchtigkeitsgehalt des Estrichs sollte vor jeder Belagsverlegung mit dem CM-Gerät oder einem anderen geeigneten Messgerät überprüft werden. Bei Heizestrichen kann das Messen des Feuchtigkeitsgehaltes eventuell entfallen, wenn der Estrich mindestens 14 Tage bei Betriebstemperatur vorgeheizt wurde. Der Estrich darf vor der Belagsverlegung nicht vorgehäst werden. Die Randfugen müssen auch im Belag frei bleiben. Die Fuge zwischen Sockel und Belag sollte so lang wie möglich offen bleiben.

Randabsenkungen des Fußbodens und Abrisse der Fugenmassen an den Sockeln sind auch bei sorgfältiger Ausführung nicht immer zu vermeiden. Sie stellen deshalb nur dann einen Mangel dar, wenn sie die aufgezeigten möglichen Randabsenkungen überschreiten. Neben der Auswahl der Estrichart und der Planung des Bauablaufs der eine Austrocknung des Estrichs vor der Belagsverlegung zulässt, kann der Planer über die Wahl und Anordnung der Dämmstoffe die Randabsenkung klein halten.

Bei Konstruktionen mit dauerelastischen Fugenmassen zwischen Sockel und Belag muss die Fugenmasse eventuell nach zwei Heizperioden erneuert werden. Die üblichen Randabsenkungen können mit Fugenprofilen, die inzwischen entwickelt wurden, kaschiert werden.