

Heizestrich – neue Erkenntnisse besonders bei Anhydrit-Heizestrichen

Zusammenfassung und Auswertung der Forschungsarbeiten
und der Erfahrungen in der Praxis
Erweiterter Vortrag anlässlich der Jahrestagung Estrich und Belag in Würzburg

von Werner Schnell

veröffentlicht in – boden-wand-decke – Heft 1 (I/1986)

1. Einführung

Die Fußbodenheizung rückte als Heizsystem vor allem im Wohnungsbau in den letzten Jahren immer mehr in den Vordergrund. Fehler in der Planung und Mängel in der Koordination zwischen den Ausführenden in den Anfangsjahren der Fußbodenheizung waren Anlass für den Zentralverband des Deutschen Baugewerbes, in Zusammenarbeit mit anderen betroffenen Verbänden in den Merkblättern „Keramische Fliesen und Platten, Naturwerkstein und Betonwerkstein auf beheizten Fußbodenkonstruktionen“ [1] und „Elastische Bodenbeläge, textile Bodenbeläge und Parkett auf beheizten Fußbodenkonstruktionen“ [2] die aus der Praxis vorhandenen Erkenntnisse zusammenzufassen.

Die Erfahrungen in der Praxis führten inzwischen im Jahre 1984 zu den „Ergänzenden Hinweisen zu den Merkblättern für zementgebundene Heizestriche“ [3].

Bei der Erarbeitung der Merkblätter zeigte es sich, dass hinsichtlich der möglichen Grenztemperaturen im Estrich und an der Estrich- und Belagsoberfläche keine gesicherten Erkenntnisse vorlagen. Bekannt war zwar, dass Störfälle, Bedienungsfehler oder unvermeidbare Teppich- oder sonstige Auflagen auf dem Fußboden Temperaturen zwischen 50°C und 90°C am Heizelement der elektrischen Fußbodenheizung erzeugen können und dass auch bei einigen Warmwasserheizungen Vorlauftemperaturen bis 70°C auftreten. Dagegen war nicht bekannt, ob die durch diese Temperaturen im Fußboden erzeugten Spannungen und Verformungen von der Fußbodenkonstruktion mängelfrei aufgenommen werden können.

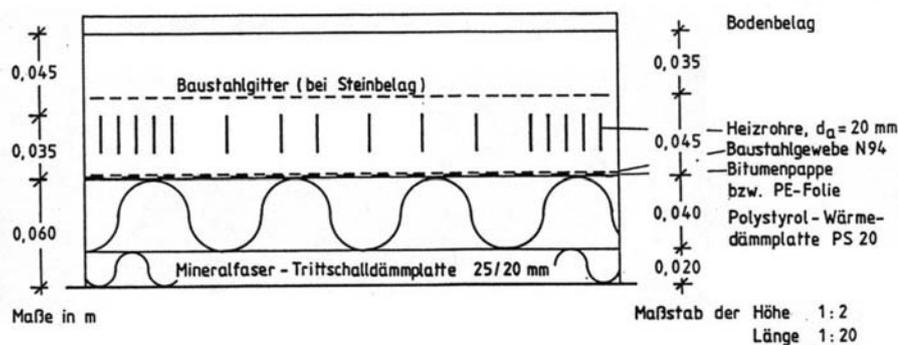
Um die Kenntnisse zu erweitern, wurden im Auftrag des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau an drei Forschungsinstitutionen Versuche mit unterschiedlichen Estrichen und Belägen durchgeführt. Das Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm-Klauditz-Institut, Braunschweig, untersuchte das Verhalten von Mosaik- und Fertigparkett [4]; die Forschungs- und Materialprüfungsanstalt Baden-Württemberg, Otto-Graf-Institut, das verschiedener keramischer und Betonwerkstein-Beläge [5, 6], jeweils auf Zementestrichen. Der Schwerpunkt der Arbeiten im Institut für Baustoffprüfung und Fußbodenforschung lag auf Fußbodenkonstruktionen mit textilen und keramischen Belägen [7].

Weitere Versuche an Anhydritestrichen mit keramischen Belägen und an Zementestrichen mit Solnhofener Natursteinplatten wurden durch die drei im Estrichbau führenden Anhydritbinderlieferanten

bzw. durch den Industrieverband Solnhofener Natursteinplatten e.V. finanziert. Einige Belastungsversuche wurden durch den Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e.V. und eigene Mittel gefördert. Ein ursprünglich mit Teppich geprüfter Zementestrich wurde, eine Renovierung nachahmend, mit einem keramischen Belag erneut überprüft.

Bis auf die letztgenannten Versuche sind inzwischen alle Versuchsergebnisse [4 bis 7] veröffentlicht worden. Im vorliegenden Bericht wird deshalb nur ein kurzer Überblick über das Versuchsprogramm und die Versuchsanordnung in Troisdorf gegeben und werden beispielhaft einige Ergebnisse herausgestellt. Dann werden an Hand der Ergebnisse, auch der Braunschweiger und Stuttgarter Ergebnisse, die Einflüsse wichtiger Parameter aufgezeigt und Schlussfolgerungen für die Praxis gezogen. In letztere fließen auch die Erfahrungen ein, die das Institut inzwischen in der Praxis gewonnen hat.

2. Versuchsprogramm



Raumgroße Fußbodenkonstruktionen 6 m x 3 m (im folgenden Platten genannt) wurden von unten nach oben entsprechend den Merkblättern [1 und 2] mit folgendem Aufbau hergestellt (siehe **Bild 1**):

Bild 1 Aufbau der Fußbodenkonstruktion

Platte 1 bis 7:

- Mineralfaser-Trittschalldämmplatten 25/20 mm
- Polystyrol-Wärmedämmplatten PS 20
- 40 mm Bitumenpappe bzw. Polyethylenfolie 0,2 mm
- Heizestrich mit Heizrohren 75 bis 80 mm (Rohrüberdeckung 45 mm)
- Belag

Platte 8 und 9:

- anstelle der 40 mm dicken Polystyrol-Wärmedämmplatten PS 20
- nun 20 mm dicke Polystyrol-Wärmedämmplatten PS 20
- bei Platte 8 war der Heizestrich 75 mm,
- bei Platte 9 war der Heizestrich 60 mm dick,
- sonst war der Aufbau wie bei Platte 1 bis 7.

Die Platten wurden mit folgenden Estrichfestigkeitsklassen und Belägen hergestellt:

Die Platten 1 bis 7 wurden jeweils durch Temperaturzyklen (im Vorlauf):

20°C – 40°C – 20°C
 20°C – 60°C – 20°C und
 20°C – 60°C – 20°C

die Platten 8 und 9 durch Temperaturzyklen

20°C – 40°C – 20°C

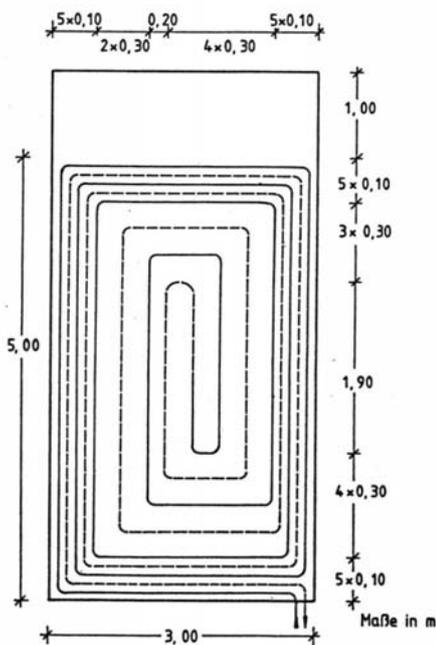


Bild 2 Heizrohr-Verlegeplan

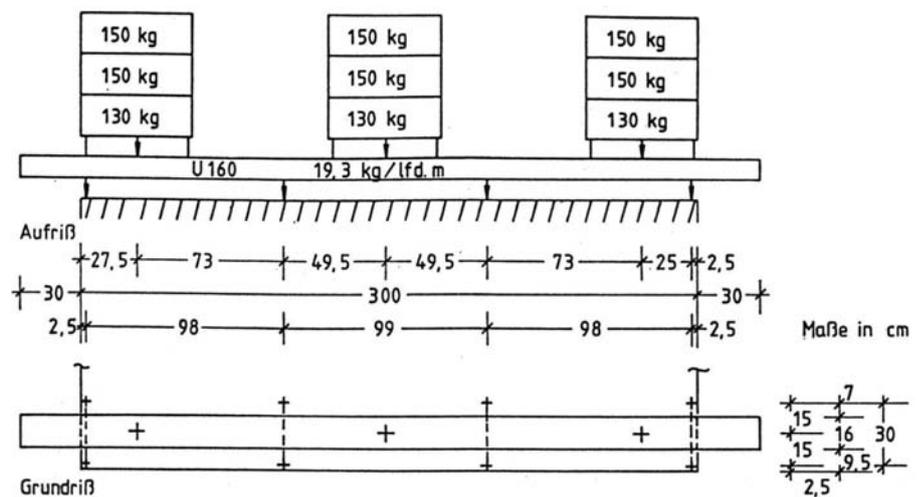


Bild 3 Lasteinleitung und Belastungsanordnung

beansprucht. Die Temperaturen wurden über ein an die Hausheizung mit Ausgleichsbehälter angeschlossenes Reglersystem erzeugt. Die gewünschte Vorlauftemperatur wurde im Rohrsystem der Fußbodenheizung (siehe **Bild 2**) innerhalb weniger Minuten erreicht und in der Folgezeit mit einer Abweichung von etwa $\pm 1,5^\circ\text{C}$ konstant gehalten. Von der 6 m x 3 m großen Platte wurde eine Fläche von 5 m x 3 m beheizt, die übrige Fläche blieb unbeheizt.

Bei jedem Temperaturzyklus wurde jeweils 24 h beheizt und anschließend 24 h abgekühlt. Die Temperaturzyklen wurden mit unbedeckter Belagoberseite und mit auf einer Teilfläche im mittleren Bereich abgedeckten Belagoberseite gefahren. Die Abdeckung aus 8 cm dicken Polystyrolämmplatten sollte den Einfluss von Teppich- und Möbelaufgaben nachahmen.

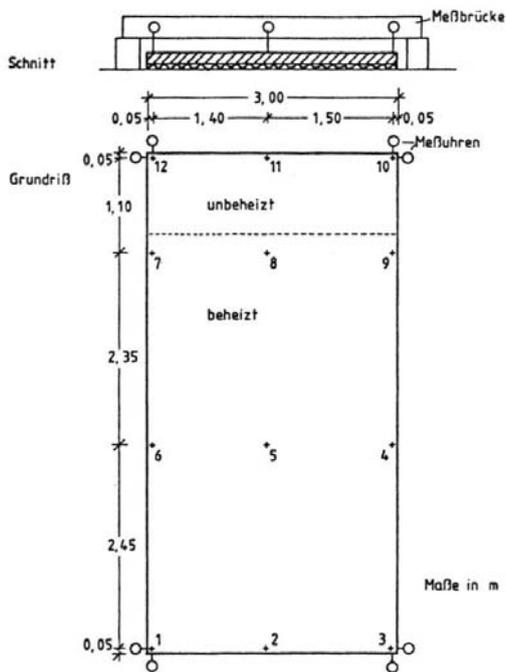


Bild 4 Lage der Verformungsmessstellen

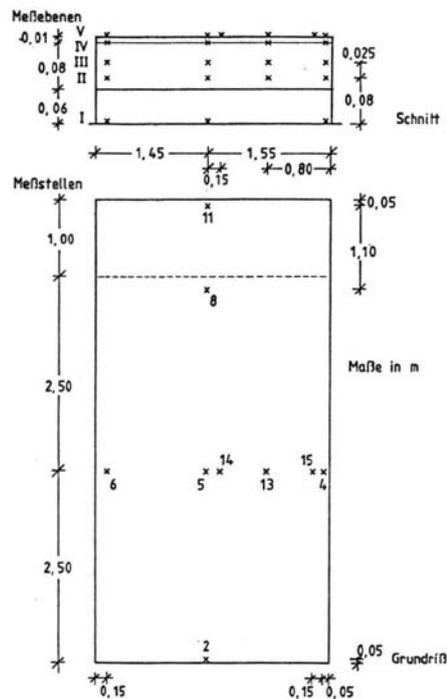


Bild 5 Lage der Temperaturmessstellen der Anhydritestrichplatte mit Steinbelag

Die Platten 1 und 3 bis 9 wurden nach der Temperaturbeanspruchung an den Schmalseiten auf einer Breite von 30 cm mit 450 kg/m, die in drei Stufen aufgebracht wurden, belastet (siehe **Bild 3**) und dann erneut mit den oben angegebenen Temperaturzyklen beansprucht. Die Last entsprach etwa der üblichen Wohnraumverkehrslast von 1,5 kN/m², die auf die Plattenenden, ähnlich wie bei Bücherschränken, konzentriert wurden. Bei allen Platten wurden die Temperaturen unter der Dämmschicht, im Estrich, an der Estrichoberseite und an der Belagoberseite mit Thermoelementen gemessen (Messebenen I bis IV bzw. V) und von einem automatisch arbeitenden Gerät ausgedruckt. Die Verformungen der Platten wurden mit zwölf vertikal und acht horizontal an Messbrücken angebrachten Messuhren ermittelt (siehe **Bilder 4 und 5**).

Während und nach den Temperaturzyklen wurde der Belag auf Hohlstellen und Risse untersucht. Nach Beendigung der Versuche wurde die Haftung der Beläge am Estrich und die Estrichoberseiten auf Risse überprüft.

Die kennzeichnenden mechanischen und physikalischen Eigenschaften der Dämmstoffe, der Estriche und der Beläge wurden festgestellt. Der Feuchtigkeitsgehalt der Estriche wurde mit einem elektrischen Messgerät mehrfach und am Ende durch Trocknung bestimmt.

3. Versuchsergebnisse

Über die Versuchsergebnisse wurde [in 4 bis 7] schon ausführlich berichtet. Die Beläge mit Solnhofener Natursteinplatten bzw. die nachträglich untersuchten Anhydritestrichplatten verhielten sich nicht grundsätzlich unterschiedlich, so dass ich mich hier mit einigen Beispielen begnügen kann.

3.1 Temperaturverlauf

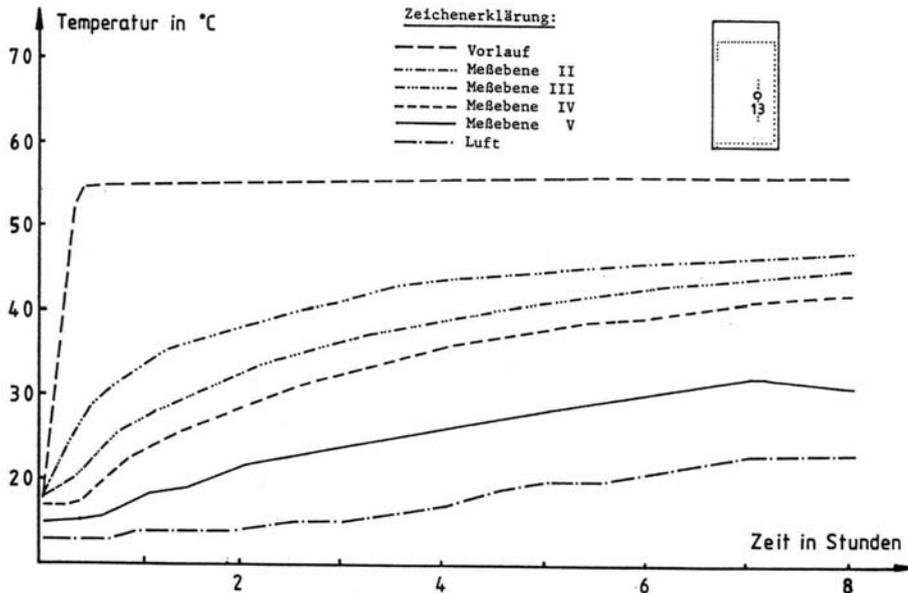
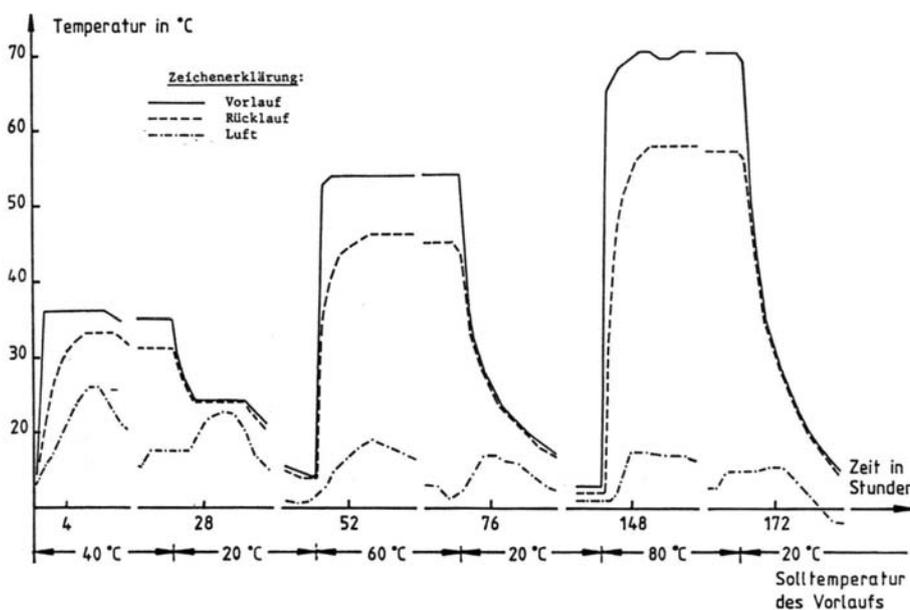


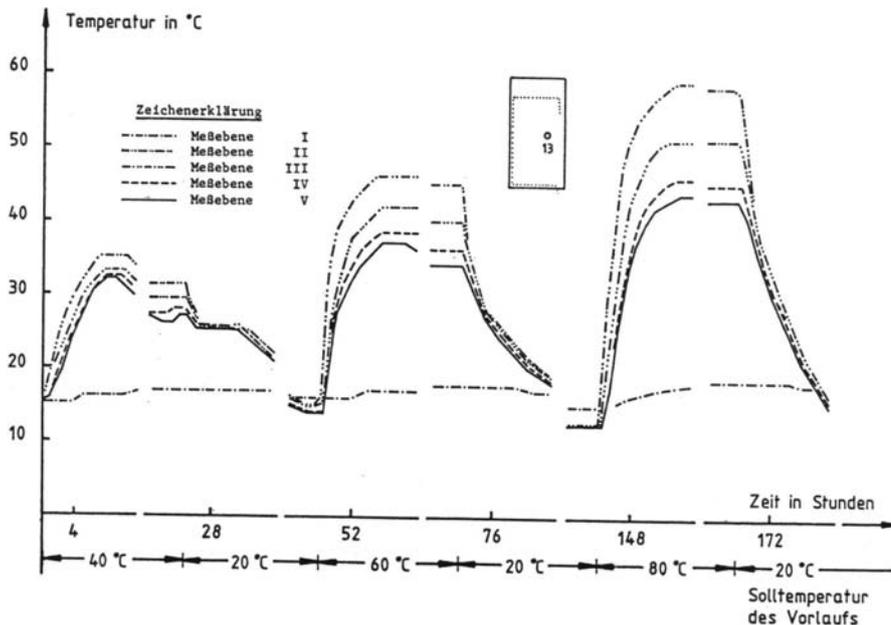
Bild 6 Temperaturverlauf während der Aufheizphase des Temperaturzyklus 20°C bis 60°C an der Messstelle 13 (Anhydritestrich mit Teppichbelag, unbedeckt)

Das **Bild 6** zeigt den Temperaturanstieg in den einzelnen Messebenen des Anhydritestrichs AE 40 mit Teppichbelag während der Erwärmung mit 60-°C-Vorlauftemperatur. Die Endtemperatur war in den Messebenen II bis IV (Heizrohrebene und Estrichoberfläche) nach etwa vier Stunden nahezu erreicht, die Belagoberfläche erwärmte sich dagegen langsamer. Bei den Platten mit Steinbelag wurde die End-Oberflächentemperatur schneller erreicht.



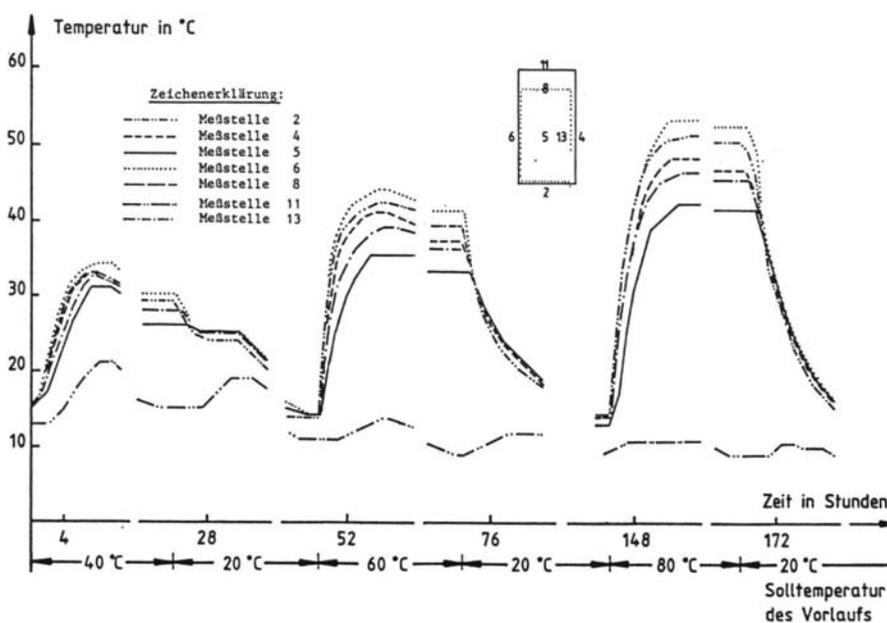
Aus **Bild 7** ist ersichtlich, wie schnell im Vorlauf die Endtemperatur vorhanden war und wie schnell sich ein Gleichgewichtszustand einstellte, der allerdings durch die Luftabkühlung in der Nacht beeinflusst wurde.

Bild 7 Temperaturverlauf des Vorlaufs, des Rücklaufs und der Luft (Anhydritestrich mit Steinbelag, unbedeckt)



Das **Bild 8** zeigt für den Anhydritestrich AE 40 mit Steinbelag den Temperaturverlauf in den Messebenen I bis V an der Messstelle 13 über einem Heizrohr. Das Temperaturgefälle zwischen der Heizrohrebene (Messebene II) und der Estrich- bzw. Belagoberseite an dieser Messstelle kann aus den Kurven abgegriffen werden.

Bild 8 Temperaturverlauf an der Messstelle 13 (Anhydritestrich mit Steinbelag, unbedeckt)



Die Temperaturunterschiede (Temperaturwelligkeit) in der Messebene IV (Estrichoberfläche) ist in **Bild 9** für den Anhydritestrich AE 40 mit Steinbelag dargestellt. Die Temperaturwelligkeit war erwartungsgemäß in der Heizrohrebene am größten, war aber auch an der Oberfläche, vor allem im Bereich des Heizrohrabstandes 30 cm, relativ hoch.

Bild 9 Temperaturverlauf in der Messebene IV Estrichoberfläche (Anhydritestrich mit Steinbelag, unbedeckt)

Das Temperaturgefälle war bei den Teppichbelägen geringer als bei den Steinbelägen und verringerte sich auch bei abgedeckter Oberfläche. Die Temperatur an der Belagoberfläche erhöhte sich im abgedeckten Bereich.

Die nach dem Merkblatt [1] bei bestimmungsgemäßem Betrieb angegebene Oberflächentemperatur von $\leq 28^\circ\text{C}$ im Wohn- und Arbeitsbereich wurde bei den Steinbelägen bei einer Vorlauftemperatur von 40°C , bei den Teppichbelägen bei einer Vorlauftemperatur von 60°C erreicht bzw. übertroffen. Die in den Randzonen und im Barfußbereich zugelassenen Oberflächentemperaturen von $\leq 35^\circ\text{C}$ wurden bei allen Platten bei einer Vorlauftemperatur von 60°C erreicht bzw. übertroffen.

3.2 Längenänderungen

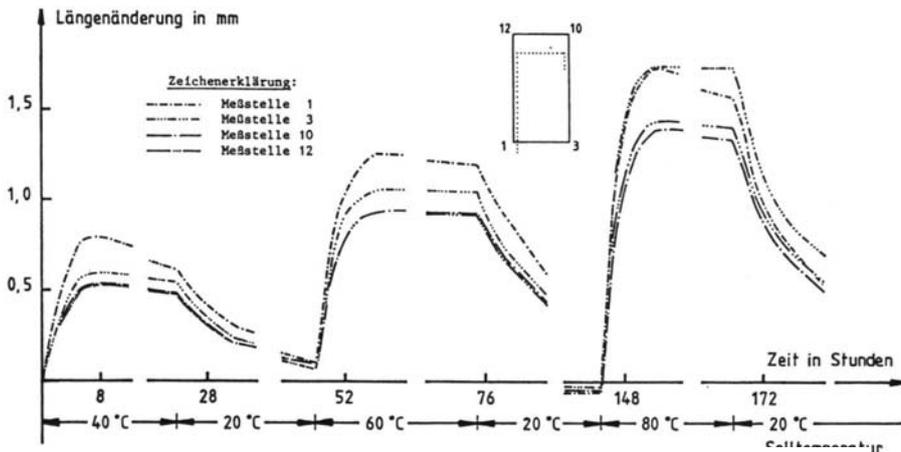


Bild 10 Horizontale Längenänderungen der Längsseiten (Zementestrich mit Teppichbelag)

Die gemessenen Längenänderungen (horizontalen Verformungen) der Längsseiten des Zementestrichs ZE 20 mit Teppichbelag sind in **Bild 10** dargestellt.

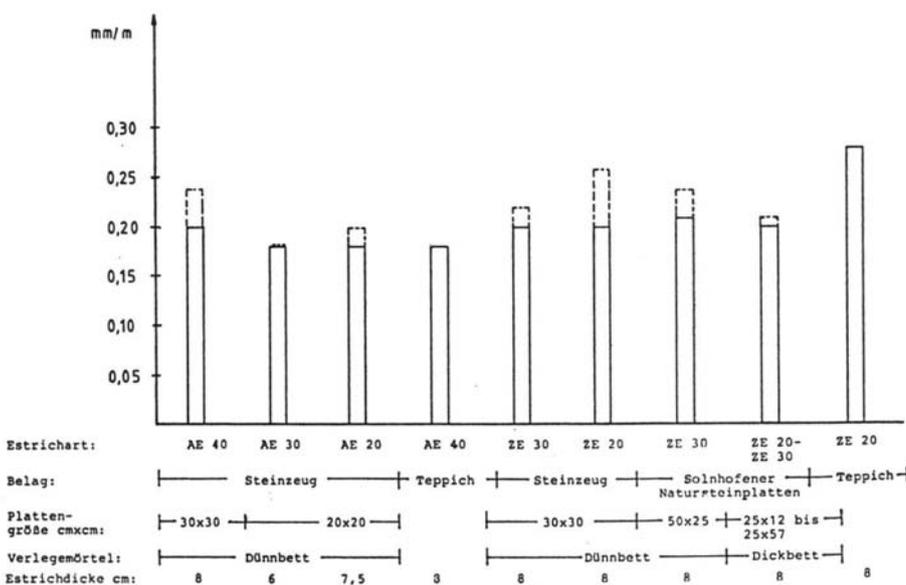
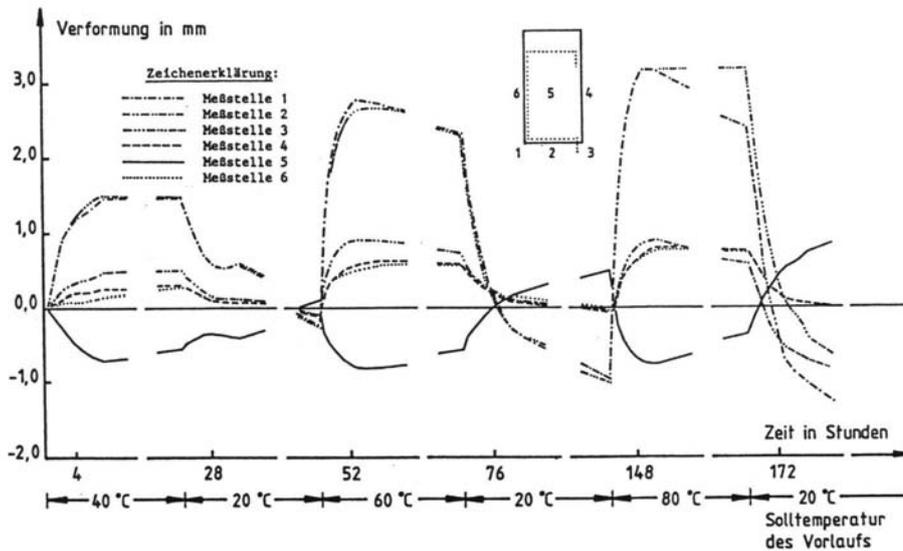


Bild 11 Maximale Längenänderung in mm/m nach Erwärmung mit 40°C Vorlauftemperatur bei nicht abgedeckter und in Teilflächen abgedeckter (----) Belagoberfläche (Ausgangstemperatur 20°C)

Die maximalen Längenänderungen in mm/m bei nicht abgedeckter und in Teilflächen abgedeckter Oberfläche bei Erwärmung mit 40°C -Vorlauftemperatur sind in **Bild 11** für alle Platten angegeben. Die maximale horizontale Längenänderung ist bei der Erstbeanspruchung durch eine Vorlauftemperatur von 40°C bei den Anhydritestrichen um 10 Prozent bis 15 Prozent geringer als bei den Zementestrichen. Bei in Teilfläche abgedeckter Oberfläche steigt die Längenänderung von Zementestrichen und Anhydritestrichen um 10 Prozent bis 20 Prozent an. Die Längenänderung ist bei sonst gleichen Bedingungen bei

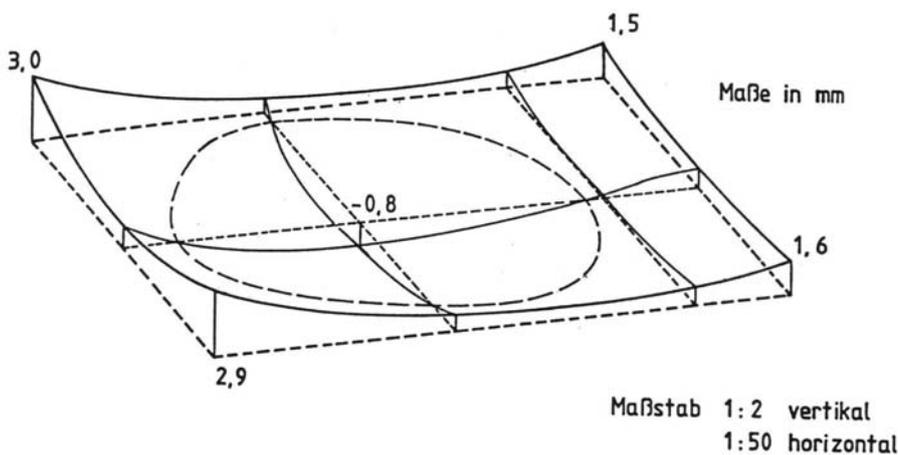
einem Teppichbelag größer als bei einem Steinbelag.

3.3 Vertikale Verformungen



Die vertikalen Verformungen des Anhydritestrichs AE 40 mit Steinbelag sind in **Bild 12** dargestellt.

Bild 12 Vertikale Verformungen an den Messstellen 1 bis 6 (Anhydritestrich mit Steinbelag, unbedeckt)



Die Plattenränder und -ecken wölbten sich bei Temperaturbeanspruchung auf, die Plattenmitte senkte sich über die Ausgangslage hinaus ab (siehe zum Beispiel **Bild 13**). Während bei Teppichbelägen die anfängliche vertikale Verformung wegen der Abnahme des Temperaturgefälles zurückging, blieb sie bei Steinbelägen weitgehend bestehen.

Bild 13 Verwölbung der Anhydritestrichplatte mit Steinbelag beim Aufheizen mit 60°C Vorlauftemperatur

Das **Bild 14** zeigt die maximalen vertikalen Verformungen aller Platten nach Erwärmung mit 40-°C-Vorlauftemperatur bei nicht abgedeckter Belagoberfläche. Die vertikale Verformung ist bei den Platten mit Steinbelag wegen des größeren Temperaturgefälles bei gleichen Vorlauftemperaturen wesentlich größer als bei den Platten mit Teppichbelag. Die vertikale Verformung der Konstruktion nimmt bei Steinbelägen mit dem Plattenformat zu. Steinbeläge mit Fugenschnitt verformen sich weniger als Steinbeläge mit versetzten Fugen. Vermutlich ist bei ersteren eine Entspannung in den Fugen eher möglich. Die vertikale Verformung ist nach der Erwärmung mit 40-°C-Vorlauftemperatur bei Anhydritestrichen rund 10 Prozent geringer als bei Zementestrichen.

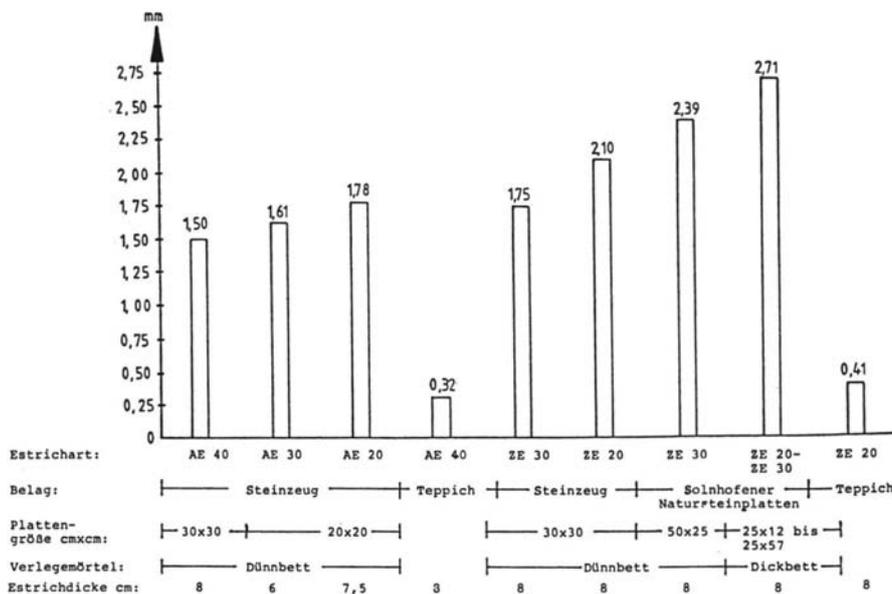


Bild 14 Maximale vertikale Verformung der Plattenecken nach Erwärmung mit 40°C Vorlauftemperatur bei nicht abgedeckter Oberfläche (Ausgangstemperatur 20°C)

3.4 Verformung unter Verkehrslast

Die Belastung wurde in drei Stufen mit je 150 kg/m aufgebracht. Die vertikale Absenkung der Plattenränder nahm dabei linear zu. Bei gleichzeitiger Beheizung wölbten sich die hochbelasteten Plattenränder wie im unbelasteten Zustand - allerdings in geringerem Maße - auf. Die horizontalen Längenänderungen ähnelten denen im unbelasteten Zustand.

Estrich- art	dicke cm	Belag	Platten- größe cm x cm	Verlege- mörtel	Anzahl der Temperatur- wechsel ohne mit Belastung		Absenkung der Plattenecken			
							vor der Belastung mm	nach 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 (Zusammendrückung der Dämmschichten) durch Belastung; Belastung (450 kg/m), aufgebracht an den Schmalseiten auf einer Breite von 30 Zentimeter (siehe Bild 3)

Die Platten wurden unterschiedlich hoch und unterschiedlich oft belastet. In **Tabelle 1** sind die maximalen Absenkungen der Plattenecken vor der Belastung, nach der Belastung, vor der Entlastung und nach der Entlastung für alle Platten zusammengestellt. Die Absenkung nahm unter Belastung bei Temperaturbeanspruchung ständig zu. So wurde bei der Platte 9 (Anhydritestrich AE 30 mit Steinbelag) nach sechs Temperaturwechseln ohne Belastung und acht Temperaturwechseln mit Belastung eine Gesamtabenkung der Plattenecken von 10,1 mm und nach weiteren 25 Temperaturwechseln mit Belastung eine solche von 13,0 mm gemessen.

Die Absenkung an den Plattenecken war bei der 6 cm dicken Anhydritestrichplatte AE 30 trotz höherer Festigkeitsklasse größer als bei der 15 mm dickeren Anhydritestrichplatte AE 20 und bei den im Dickbett verlegten Solnhofener Natursteinplatten kleiner als bei den im Dünnbett verlegten. Die bleibenden vertikalen Verformungen sind bei Teppichbelägen geringer als bei Steinbelägen.

3.5 Risse im Estrich

Nach Entfernen des Teppichbelages und der Spachtelmasse wurden im unbewehrten Zementestrich meist parallel zu den Schmalseiten mehrere Risse, unter anderem zwischen beheiztem und unbeheiztem Bereich, in der Mitte und in einem Viertelpunkt des beheizten Bereiches festgestellt. Die Anhydritestrich-Platten wiesen nach Versuchsende keine Risse auf.

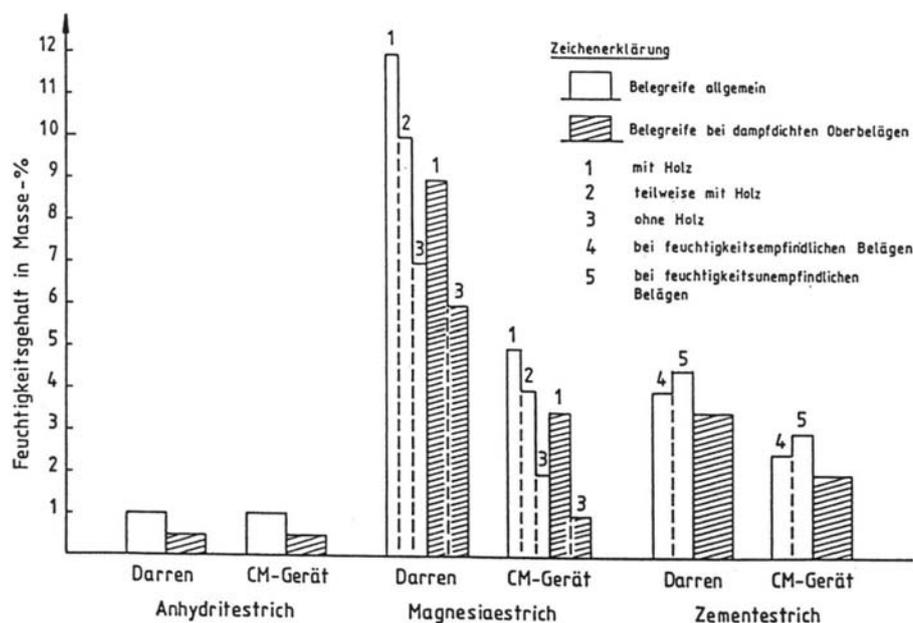
3.6 Haftung der Beläge

Bei den fachgerecht vorbehandelten Anhydritestrichen traten Hohlstellen der Steinbeläge erst bei Vorlauftemperaturen von 60°C auf. Auch bei den Zementestrichen mit Steinbelägen stellten sich bei dieser Temperatur in der Regel die ersten Hohlstellen ein. Die Hohlstellen nahmen zu, wenn Teilflächen abgedeckt und dort die Oberflächentemperatur erhöht wurde. Der größte Anteil an Hohlstellen wurde durch die Belastung erzeugt. Es wurden immer nur Teilflächen einer Fliese bzw. Platte hohl. Die Teppichbeläge hafteten trotz geringerer Haftzugfestigkeit als bei den Steinbelägen gut am Untergrund.

3.7 Feuchtigkeitsgehalt des Estrichs

	Haftzugfestigkeit des Steinbelages N/mm ²		Feuchtigkeitsgehalt des Anhydritestrichs		
	Einzelwerte (je 5 Werte) von – bis	Mittelwert	Aqua-Boy System Kraft Messtiefe cm	Teilstriche ³⁾ von – bis	Darren bei 40°C Masse-% von – bis
vor Fliesenverlegung	-	-	5,5	50 ... 54	-
nach Aufheizen und 4 Temperaturzyklen 20°C – 50°C – 20°C darunter 1 Temperaturzyklus mit Belastung	0,61 ... 1,03	0,77	3,5 7,0	29 ... 34 38 ... 48	-
nach weiterer 6-wöchiger Lagerung i.M. etwa 21°C und 61 % relativer Luftfeuchtigkeit ¹⁾ und anschließendem Temperaturzyklus 20°C – 50°C – 20°C	0,46 ... 0,09	0,64	3,5 7,0	12 ... 24 18 ... 35	-
nach weiterer 2-wöchiger Lagerung bei i.M. etwa 22°C und 62 % relativer Luftfeuchtigkeit ²⁾	0,72 ... 1,09	0,85	3,5 7,0	4 ... 19 5 ... 32	gesamt 0,4 ... 0,6 oben 0,3 ... 0,5 unten 0,4 ... 0,65
¹⁾ 18°C bis 25°C und 35 % bis 80 % rel. Luftfeuchtigkeit ²⁾ 22°C bis 23°C und 48 % bis 85 % rel. Luftfeuchtigkeit ³⁾ 50 Teilstriche ≅ 0,7 Masse-%, 30 Teilstriche ≅ 0,4 Masse-%					

Tabelle 2 Haftzugfestigkeit des Steinbelags und des Feuchtigkeitsgehaltes des konventionellen Anhydritestrichs AE 20



Der Feuchtigkeitsgehalt der Estriche der Platten 1 bis 7, die nach dem ursprünglichen Merkblatt vorgeheizt worden waren, lag nach Abschluss der Versuche teilweise über dem Grenzfeuchtigkeitsgehalt für dampfdichte Beläge (siehe **Bild 15**). Der unbeheizte Bereich wies meist höhere Feuchtigkeitsgehalte auf als der beheizte Bereich. Aber auch im beheizten Bereich wurden feuchtere Stellen, vor allem in den Bereichen mit größerem Heizrohrabstand, festgestellt.

Bild 15 Grenzfeuchtigkeitsgehalte für die Belegreife

In den **Tabellen 2 und 3** sind für den konventionellen Anhydritestrich AE 20 mit Steinbelag bzw. den Fließestrich AE 30 mit Steinbelag die gemessenen Feuchtigkeitsgehalte angegeben. Die **Tabelle 2** zeigt, dass der AE 20 vor der Fliesenverlegung trotz 12-tägigen Vorheizens bis zur maximalen Vorlauftemperatur bei der Fliesenverlegung den Grenzfeuchtigkeitsgehalt noch nicht an allen Stellen erreicht hatte. Der Feuchtigkeitsgehalt des Estrichs nahm aber in der Folgezeit beim Beheizen laufend ab und erhöhte sich auch bei längerer Liegezeit in teilweise sehr feuchtem Klima nicht mehr. Die Haftung des Steinbelages wurde bei der Platte 8 durch den Feuchtigkeitsgehalt des Estrichs nach der Fliesenverlegung nur wenig beeinflusst.

	Haftzugfestigkeit des Steinbelages N/mm ²		Feuchtigkeitsgehalt des Anhydritestrichs Aqua-Boy System Kraftt		
	Einzelwerte von – bis	Mittelwert	Messtiefe cm	Teilstriche ¹⁾ von – bis	Darren bei 40°C Masse-% von – bis
vor Fliesenverlegung	-	-	4,5	69	-
nach Aufheizen und weiteren 4 Temperaturzyklen 20°C – 50°C – 20°C darunter 1 Temperaturzyklus mit Belastung	0,79 ... 1,28	1,11	3,0	17 ... 28	-
			6,0	24 ... 33	
nach weiteren 25 Temperaturzyklen 20°C – 50°C – 20°C mit Belastung	1,10 ... 1,63	1,39	3,2	13	gesamt 0,56 oben 0,46 unten 0,59
			5,4	17 ... 19	

¹⁾ 50 Teilstriche \cong 0,8 Masse-%, 20 Teilstriche \cong 0,5 Masse-%

Tabelle 3 Haftzugfestigkeit des Steinbelags und des Feuchtigkeitsgehaltes des Anhydrit-Fließestrichs AE 30

Die Beanspruchung der Fußbodenkonstruktion wird vorwiegend durch die Heizrohranordnung, die Vorlauftemperatur der Heizung, das Raumklima, die Dämmstoffart und -dicke, die Estrichart und -feuchtigkeit, die Belagsart, die Art der Abdeckung, den Fugenabstand und die Fugenart sowie durch die Verkehrslast beeinflusst. Maßgebend für die Beanspruchbarkeit des Estrichs ist die Festigkeitsklasse und Dicke des Estrichs sowie die Bewehrung, die Haftung des Belages und die Plattengröße. Im folgenden werden einzelne Einflüsse eingehender bewertet:

4.1 Heizrohranordnung

Bei den Versuchen zeigte es sich, dass die Temperaturwelligkeit in der Heizroherebene im Estrich über den Heizrohren nur dann bis zur Belagsoberfläche ausgeglichen wird, wenn der Heizrohrabstand klein (\approx 10 cm) ist. Bei einem Heizrohrabstand von 30 cm entstehen Estrichzonen mit wesentlich geringeren Temperaturen als im Estrich unmittelbar über den Heizrohren. Die Temperaturwelligkeit verursachte augenscheinlich bei den untersuchten Platten keine Mängel; sie dürfte aber dann einen Einfluss haben, wenn die Estrichdicke über den Heizrohren klein ist.

Die Heizrohranordnung hat beim Vorheizen auch einen Einfluss auf den Feuchtigkeitsgehalt des Estrichs. Ein großer Heizrohrabstand lässt Estrichzonen mit größerem Feuchtigkeitsgehalt als über dem Heizrohr entstehen. Heizrohre sollten stets neben der Türe durch die Wand geführt werden, damit im Türdurchgang eine einwandfreie Fugenausbildung möglich ist.

4.2 Vorlauftemperatur

Die Platte verlängerte sich nahezu linear mit steigender Vorlauftemperatur. Dagegen nahm die Zunahme der vertikalen Verformung mit steigender Vorlauftemperatur ab, vermutlich eine Folge des Eigengewichts des Estrichs. Der Temperaturunterschied zwischen Heizrohrebene und Belagsoberfläche vergrößerte sich ebenfalls nicht proportional zur Vorlauftemperatur.

4.3 Raumklima

Die Versuche wurden in einer großen Halle und mit Ausnahme des Anhydritestrichs mit Teppichbelag in der kalten Jahreszeit durchgeführt. Die Außenhülle der Halle wies nicht den laut Wärmeschutzverordnung vorgeschriebenen Wärmedurchlasswiderstand für den Wohnungsbau auf. Dadurch verminderten sich die beim Aufheizen der Platte auftretenden Temperaturunterschiede während der Beheizung nur wenig. Bei ausreichender Wärmedämmung der Außenhülle erwärmt sich der Raum nach einer gewissen Aufheizzeit. Der Temperaturunterschied zwischen Heizrohrebene und Belagsoberfläche wird dann kleiner. Die bei jedem Raum nur während der Aufheizung auftretenden Temperaturunterschiede wurden also bei den Versuchen über 24 h beibehalten. Die Beanspruchung der Platte wurde dadurch bewusst vergrößert. Das Raumklima beeinflusste auch die Verwölbungen der Platten, da die Temperaturen vor der Beheizung und nach dem Abkühlen teilweise unterschiedlich waren.

4.4 Dämmstoffart und -dicke

Die gewählte Dämmschichtdicke von 6 cm erfüllt die Anforderung der Wärmeschutzverordnung 1982 für Kellerdecken und Decken gegen unbeheizte Räume. Ab 01.01.1984 muss die Dämmschichtdicke bei Flächenheizungen in diesen Bauteilschichten etwa 8 cm betragen.

Die Dämmschicht beeinflusst im wesentlichen die vertikalen Verformungen der Platten. Die Längenänderungen der Platte werden nur wenig behindert, wenn die Randstreifen entsprechend dimensioniert sind. Bei der Aufwölbung der Plattenränder wird die aufliegende Estrichfläche kleiner (siehe **Bild 13**). Das Eigengewicht des Estrichs und die Verkehrslast wird über diese verkleinerte Estrichfläche abgetragen, vergrößert dort die Druckspannung und drückt die Dämmschicht weiter zusammen. In der Abkühlphase verformen sich die Ränder zurück und liegen auf der noch nicht weiter zusammengedrückten Außenfläche der Dämmschicht auf. Die Lastabtragung erfolgt jetzt über die Außenfläche, der Mittelteil wird entlastet. Die Absenkung wurde mit jedem Temperaturzyklus größer. Nach Aufbringen der Verkehrslast an den Plattenrändern wurde diese Tendenz noch verstärkt.

Bei Heizestrichen beträgt die Belastung aus Eigengewicht und Verkehrslast etwa $3,1 \text{ kN/m}^2$. Sie liegt damit wesentlich über der Belastung (2 kN/m^2), die bei der Ermittlung der Nenndicke d_B der Dämmschicht aufgebracht wird. Schon aus diesem Grund ist eine höhere Zusammendrückung der Dämmschicht als auf die Dicke d_B bei Heizestrichen zu erwarten. Die Zusammendrückung nimmt unter Dauerlast und durch die Be- und Entlastung bei der Temperaturbeanspruchung zu. Die Zusammendrückung unter Temperaturbeanspruchung des Heizestrichs und durch die Verkehrslast stellt sich erst im erhärteten Zustand des Estrichs ein und verursacht Spannungen im Estrich. Für die Zusammendrückung der Dämmschicht sind in erster Linie die Trittschalldämmplatten verantwortlich. Sie sollten deshalb mit möglichst geringer Zusammendrückung und nur so dick gewählt werden, dass der Trittschallschutz sicher erreicht wird. Ist kein Trittschallschutz gefordert, sollte die Dämmschicht nur aus Wärmedämmplatten und, wenn möglich, nur aus einer Lage bestehen.