

Zeitschrift:	Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber:	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band:	117/118 (1941)
Heft:	14
Artikel:	Bewehte Betondecken mit Strahlungsheizung, System Gebrüder Sulzer, Winterthur
Autor:	Roš, M.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-83530

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

dem Prüfstand gute Resultate, indem die sonstige Trägheit in der Verkohlung nicht beobachtet wurde. Immerhin ergab sich ein grösserer Aschenanfall.

Die *Fahrversuche* wurden als Dauerprüfungen auf Lastwagen im Transportdienst durchgeführt und als Vergleichsmessungen auf zwei verschiedenen Wagen, wobei man jeweils mit und ohne Aufladung fuhr. Die Hauptprüfungen ergaben folgendes.

Beschleunigungsmessungen mit Stadtmobilbus, Saurerbenzimotor Typ BL, auf 1:8,2 verdichtet. Belastung 6 Personen + 2000 kg Ballast, entsprechend 31 Personen. Mittelwerte aus je vier Messungen in beiden Richtungen: Beschleunigungszeit von 0 auf 40 km/h ohne Aufladung 37 s, mit Aufladung 28 s. Leider war es nicht möglich, vor dem Umbau den Wagen mit Benzin zu messen, um die Absolutwerte vergleichen zu können; immerhin wird durch die Aufladung die Anfahrzeit um 24% herabgesetzt, was in einem Betrieb, wo alle 3 bis 5 Minuten angefahren werden muss, sicher begrüßt werden kann.

Fahrzeiten auf Bergstrecke Brugg-Bötzberg, 4,1 km, Höhenunterschied 220 m, mittlere Steigung 5,4%:

	Fahrzeit	Mittlere Geschwindigkeit
a) Stadtmobilbus wie oben ohne Aufladung	14' 14"	17,25 km/h
mit Aufladung	10' 07"	24,3 km/h
b) Lastwagen Berna ⁵⁾	ohne Aufladung 24' 25"	8,1 km/h
mit Aufladung 12' 48"	15,5 km/h	

Beim Stadtmobilbus wurde die Fahrzeit durch die Aufladung um 29% herabgesetzt und beim Lastwagen sogar um 47,5%. Das günstigste Ergebnis ist hauptsächlich dem Umstand zuzuschreiben, dass die Aufladung im zweiten Fall die Benützung eines höheren Ganges ermöglichte. Beide Versuche zeigen deutlich den Vorteil der Aufladung im Holzgasbetrieb.

⁵⁾ Typ G 5 (Kompressionsverhältnis 1:4,5), 6 t, Totalgewicht 13,2 t, Strecke um rd. 800 m verkürzt.

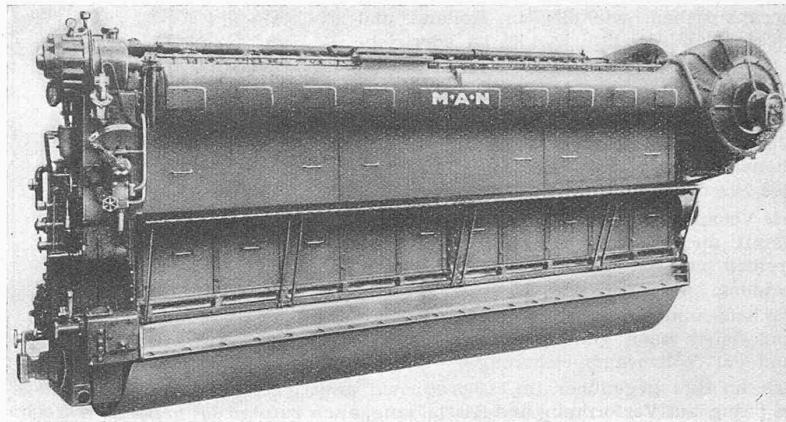


Abb. 7. Zehnzylinder-Dieselmotor, leistet bei 700 U/min mit BBC-Aufladegruppe 1800 PS, ohne Aufladung 1150 PS

BBC-Abgas-Turbolader können für bestimmte Motortypen grosser Leistung sofort geliefert werden. Verkauf und Einbau erfolgen durch die Holzgas-Generatoren A.G., Zürich. Preis der Aufladegruppe 2600 Fr. plus Einbaukosten.

Zusammenfassung. Die Leistungssteigerung von Holzgas-Fahrzeugmotoren durch BBC-Abgas-Turbolader gestattet im allgemeinen die Verwendung von Benzimotoren ohne Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses, wobei angenähert die Benzinleistung erzielt werden kann. Bei Dieselmotoren wird gleichfalls — bei der notwendigen Erniedrigung des Verdichtungsverhältnisses durch die Aufladung — die Normalleistung erreicht. Der spezifische Holzverbrauch wird durch die Aufladung merklich verkleinert und die Abgastemperaturen bei Holzgasbetrieb mit Aufladung sind niedriger als bei Betrieb mit flüssigen Brennstoffen; somit werden die Motoren thermisch nicht höher beansprucht.

Bewehrte Betondecken mit Strahlungsheizung, System Gebrüder Sulzer, Winterthur

Von Prof. Dr. Ing. h. c. M. ROŠ, Direktionspräsident der Eidg. Materialprüfungs- u. Versuchsanstalt für Industrie, Bauwesen und Gewerbe, Zürich

Vorliegende Arbeit von Prof. Roš fällt in das hundertste Jahr seit der Erstellung der ersten Sulzer-Dampfheizung, ausgeführt im Jahre 1841 in der damaligen Knabenschule in Winterthur. Es wurde dort ein schmiedeiserner sog. Bouilleur-Kessel mit zwei kleinern Unter- und einer grössern Obertrömmel verwendet, der seinen Dienst volle 57 Jahre versah, und mit Holz geheizt wurde¹⁾. Heute sind wiederum schmiedeiserne Heizkessel modernster Konstruktion im Gebrauch²⁾, die leider zeitweise auch wieder mit Holz gefeuert werden müssen. Der in dem Kessel erzeugte Dampf von 0,3 atü Spannung strömte in weite schmiedeiserne genietete Röhren mit Rückwärtsgefälle nach den verschiedenen Gebäudeteilen, das Kondenswasserr floss in den gleichen Röhren dem Dampfstrom entgegen zum Kessel zurück. Als Heizkörper dienten weite vertikale schmiedeiserne Röhren, je nach dem Wärmebedarf in einfacher und doppelter Anordnung. Diese Ausführung entsprach den damaligen technischen Möglichkeiten, kaum aber dem Wunsche nach einer ästhetischen Einfügung der Heizung in das Gebäude. In den hundert Jahren der Entwicklung ist nun der Schritt zur vollkommenen Einfügung der Heizung in das Bausystem vollzogen worden. Wir freuen uns, einer Veröffentlichung Raum geben zu können, die erweist, dass Gebrüder Sulzer heute wie damals an der Spitze der Entwicklung stehen.

Red.

Gegenstand des nachfolgenden Berichtes ist die Verbundwirkung von mit Strahlungsheizung nach dem genannten, durch Patente geschützten Ausführungssystem versehenen Eisenbetondecken bei statischer, dynamischer und Dauerstand-Beanspruchung, sowie die auf ihr fussende Bemessung von geheizten Betondecken mit Zusatzarmierung. Der vorliegende Bericht bildet einen Auszug aus dem ausführlichen EMPA-Bericht No. 134 «Bewehrte Betondecken mit Strahlungsheizung, System Gebrüder Sulzer, Aktiengesellschaft, Winterthur».

Die ursprüngliche Erfindung des Engländer Crittall, der Gesellschaft Richard Crittall & Co. in London, von Decken mit Strahlungsheizung im Jahre 1910 wurde in der Folge in Holland der Eisenbetonbauweise angepasst, von dort von der Schweiz

übernommen und durch die Gebrüder Sulzer seit 1930 weiter entwickelt. Von der Schweiz aus fand das Strahlungsheizungs-System Sulzer seinen Weg ins Ausland, wo die Gebrüder Sulzer A.G., wie auch im Inland, als Autorität auf dem Sondergebiet der Strahlungsheizung gilt.

Mit den umfassenden, sehr kostspieligen, im Auftrage der Gebrüder Sulzer durch die Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt in Zürich und Winterthur amtlich durchgeföhrten Untersuchungen wurde im Jahre 1935 begonnen. Die Prüfungen, die sich auf das Verhalten sowohl von wiederholt geheizten als auch von nicht geheizten Versuchskörpern (41 Stück), Decken (6 Stück) und Balken (16 Stück) ohne und mit Zusatzarmierung unter statischer, dynamischer und Dauerlast beziehen, wurden gegen Jahresende 1940 abgeschlossen.

Die Ergebnisse der sehr eingehenden Laboratoriumsversuche wurden durch Beobachtungen und Messungen an ausgeführten Bauten mit nach dem System Sulzer geheizten Decken ergänzt. Hauptzweck aller dieser Untersuchungen war, die Verbundwirkung und damit die Tragfähigkeit von wiederholt durch die Rohrschlangen geheizten Decken, namentlich auch im Vergleich mit nicht geheizten, sowohl nur mit Rohren als auch nur mit Rundreisen armierten Decken und Balken in jeder Beziehung abzuklären, um zutreffende Grundlagen für eine technisch richtige und wirtschaftlich vorteilhafte, mit Eisenersparnissen verbundene Bemessung von bewehrten Betondecken mit Strahlungsheizung zu erhalten. Auch für die Zukunft, ganz besonders aber in der gegenwärtigen Zeit der ausserordentlichen Eisenknappheit ist die einwandfreie Abklärung der Möglichkeit von Eiseneinsparungen bei bewehrten Strahlungsheizungs-Decken, ohne Einbusse für die bautechnische Sicherheit, ein Gebot. Nicht zuletzt galt es, die bereits 1937/38 geäußerten Befürchtungen über die Wirkksamkeit des Haftfestigkeitsverbundes zwischen dem Beton und den auf 50 bis 55°C geheizten Rohren (auf die Dauer) durch technische Ausweise zu zerstreuen. In der Tat ist dieser Verbund derart wirksam, dass es gerechtfertigt ist, die geheizten Sonder-Stahlrohre (deren festigkeitstechnische Qualität, sowohl im Anlieferungszustand als auch mit dem Einsatzring nach Patent Sulzer stumpf zusammengeschweisst, den Vorschriften der Eidg. Verordnung über Bauten aus Eisenbeton vom 14. Mai

¹⁾ Jubiläumschrift des VSCI, 1939, S. 81 bis 84.

²⁾ Vgl. Warenhaus Jelmoli, Zürich, «SBZ» Bd. 115, S. 166 (6. April 1940).

1935 entspricht) allein als Bewehrung heranzuziehen, wie dies in Holland und Deutschland der Fall ist. Es ist aber richtiger, eine Zusatzarmierung anzutragen, wofür folgende Umstände sprechen:

Die grössere Freiheit des konstruktiven Gestaltens und bessere Anpassung an die monolithische Bau- und Wirkungsweise des Eisenbetons,

die Verminderung der Durchbiegungen und damit auch die Begünstigung der Rissfreiheit von Betondecken mit Strahlungsheizung,

die heiz- und bautechnisch gleichmässigere und daher auch günstigere Ausbildung des Temperaturfeldes und der Wärmeaufspeicherung,

das im Bau gegenüber im Laboratorium günstigere Verhalten in bezug auf Verformung und Rissbildung, auch zufolge der verformungsvermindernden und sperrenden Einflüsse der Deckenauflagerungen und Einspannungen,

die Notwendigkeit der Schubsicherung, insbesondere bei schwer belasteten und weitgespannten Decken,

die Möglichkeit korroser Angriffe im Innern der Heizrohre, namentlich bei Anwendung von Reinigungsmitteln für das Heizwasser,

die ausnahmsweise mögliche, etwas zu rasche, das Normalmass von $\sim 2^{\circ}\text{C}/\text{h}$ übersteigende Aufheizgeschwindigkeit,

die Unmöglichkeit einer rechnerisch zutreffenden Erfassung des Einflusses eines selbst im stationären Zustand nicht homogenen Temperaturfeldes in einem Verbundkörper, insbesondere auf die Dauerfestigkeit und Ermüdung.

Durch die Anordnung einer Zusatzarmierung wird die an sich vorhandene Mitwirkung der Heizrohre, zum Vorteil eines günstigen Spannungs- und Verformungs-Zustandes, unter Beachtung wirtschaftlicher Vorteile und bei Gewährleistung der bautechnischen Sicherheit richtig ausgenutzt.

Gerade die material- und festigkeitstechnisch zutreffende Abstimmung in den einerseits den Heizrohren und andererseits der Zusatzarmierung zugewiesenen Traganteilen liegt der unbestreitbare bautechnische Wert und wirtschaftliche Vorteil der Eisenbetondecken mit Strahlungsheizung nach dem System Sulzer, nämlich: Eisenersparnis ohne Einbusse an Sicherheit.

Festigkeits- und Verformungseigenschaften des Betons, des Bewehrungsstahles und der Heizrohre

1. **Beton.** Zementdosierung 300 kg/m³. Sand-Kies-Material sauber, von gesunder Beschaffenheit und normaler, der EMPA-Kurve sich anschmiegender Kornabstufung. Maximale Korngröße 30 mm. Normengemässer schweiz. Portlandzement¹⁾. Betonkonsistenz plastisch ($W \cong 6,7\%$), stark plastisch ($W \cong 7,7\%$) und giessfähig ($W \cong 8,2\%$). Raumgewichte: plastisch $r \cong 2400$ kg pro m³, stark plastisch $r \cong 2360$ kg/m³, giessfähig $r \cong 2320$ kg pro m³. Elastizitäts- und Festigkeitswerte siehe Tabelle I. Die Uebereinstimmung zwischen den an Betonprismen $12 \times 12 \times 36$ cm gemessenen Elastizitätsmoduli und denjenigen nach der EMPA-Formel

$$E = 550\,000 \frac{p\beta_d}{p\beta_d + 150} \quad \text{gültig bis } \sigma \cong 0,33 p\beta_d$$

ermittelt ist eine sehr befriedigende, wie aus Tabelle II ersichtlich.

Der Beton der Versuchsbalken I und II, der Vergleichsbalken, sowie der Ermüdungs- und Dauerfestigkeits-Versuche ist von hochwertiger Qualität ($p\beta_d \cong 240$ kg/cm²), derjenige der Versuchsbalken III und IV von normaler Güte ($p\beta_d \cong 175$ kg/cm²). Die Ermüdungsfestigkeit σ_u (Ursprungsfestigkeit entsprechend den Spannungsgrenzen $\sigma_{\min} = 0$ und $\sigma_{\max} = \sigma_u$) beträgt $\sim 0,55$ der Prismendruckfestigkeit $p\beta_d$.

2. **Bewehrungsstahl der Zusatzarmierung.** Durchmesser 10 und 15 mm. Qualität normal: Streckgrenze $\sigma_s \cong 29,6$ kg/mm², Zugfestigkeit $\beta_z \cong 39$ kg/mm², Elastizitätsmodul $E \cong 20\,350$ kg/mm², Bruchdehnung $\lambda_{10} \cong 28,5\%$, Einschnürung $\varphi \cong 68\%$, Ermüdungsfestigkeit $\sigma_u \cong 29$ kg/mm².

3. **Sonder-Heizrohre.** Innendurchmesser $d_i = 15,5$ mm, Außendurchmesser $d_a = 21,2$ mm, Wanddicke 2,85 mm, Querschnitt 1,64 cm². Die Abnahme-Vorschrift lautet: gerade im kalten Zustand um einen mittleren Radius von min 50 mm gebogene Rohre müssen einem Wasser-Innendruck von 60 at standhalten ($\sigma_r \cong 19$ kg/mm²) und dürfen keine Anrisse zeigen ($K \cong 20$). Die Rohre müssen gut schweißbar sein. Die Mittelwerte der statischen Festigkeits- und Verformungseigenschaften sind in Tabelle III enthalten.

¹⁾ S. I. A.-Normen für die Bindemittel der Bauindustrie, 1933.

Tabelle I		Konsistenz:	Versuchsdecken		Vergleichsbalken	Balkend. Ermüdungs- u. Dauerfestigkeits-Versuche
			I und II stat. Versuche	III und IV		
Prismendruckfestigkeit	$p\beta_d$ kg/cm ² \cong	plastisch	340	190	270	giessfähig
Biegezugfestigkeit	β_b kg/cm ² \cong	52	43	49	63	plastisch
Verhältnis	$\frac{\beta_b}{p\beta_d} =$	1	1	1	1	—
Elastizitätsmodul	E kg/cm ² =	360 500	266 500	361 500	340 000	396 500
Ermüdungsfestigkeit	σ_u kg/cm ² =	—	—	—	134	188

Tabelle II						
E gemessen	360 500	266 500	361 500	340 000	396 500	
E berechnet	382 000	307 000	354 000	339 000	381 000	
Unterschied in %	+ 6	+ 15	- 2	0	- 4	

bezogen auf E gemessen

Tabelle III

Härte nach Vickers	$H_r \cong 120$
Proportionalitätsgrenze	σ_p kg/mm ² $\cong 26,0$
Streckgrenze	σ_s kg/mm ² $\cong 26,9$
Quetschgrenze	σ_q kg/mm ² $\cong 32,6$
Zugfestigkeit	β_z kg/mm ² $\cong 40,3$
Elastizitätsmodul	E kg/mm ² $\cong 20\,000$
Bruchdehnung $\lambda_{10} \%$	
bezogen auf $11,3 \sqrt{F}$	$\cong 24,2$
auf $10 d_a$	$\cong 21,7$
Einschnürung $\varphi \%$	
bezogen auf Bruchquerschnitt	$\cong 58,4$
auf Rohrdurchmesser	$\cong 31,6$
Ermüdungsfestigkeit	σ_u kg/cm ² $\cong 23$
Faltbiegezahl ohne und mit Entlastungen	

$$K = 50 \frac{s}{r} = 100$$

Versuchsergebnisse und Schlussfolgerungen

Auf Grundlage der oben festgesetzten materialtechnischen Qualitätswerte sowie der über den Temperaturverlauf im Beton, durch die Biegeversuche an Decken und Balken und durch die Erfahrungen an Decken in ausgeführten Bauten²⁾ gewonnenen Erkenntnisse lassen sich nachfolgende Schlussfolgerungen ziehen:

1. Wiederholte Heizungen von würfelartigen Betonkörpern mit einbetonierten Heizrohren (Normalgröße einheitlich: Außendurchmesser 21,2 mm, Innendurchmesser 15,5 mm, Wanddicke 2,85 mm) zwischen $+30^{\circ}$ und $+60^{\circ}\text{C}$, Zeitdauer einer Heizperiode 3 bis 4 Stunden, sind praktisch ohne Einfluss auf die statische Haftfestigkeit der Rohre im Beton. Die Werte der Haftfestigkeit fallen gar nicht oder nur sehr wenig ab. Erst Heizintervalle zwischen $+20$ und $+70^{\circ}\text{C}$, 100 mal wiederholt, haben eine Abminderung des Haftverbundes bis zu 45% zur Folge.

²⁾ Schweiz. Erfahrungen: Kulturhistorisches Museum, Schaffhausen (1936/37). Warenhaus Jelmoli A.G., Zürich (1936/38). Heil- und Pflegeanstalt St. Urban, Kt. Luzern (1937). Kindergarten Rebhügel, Zürich (1938). Unfallversicherungsgesellschaft Winterthur, Zweigniederlassung Bern (1938). Hallenschwimmbad der Stadt Zürich (1939). Schweizerische Lebensversicherungs- und Rentenanstalt, Zürich (1939). Elektro-Neubau Technikum Winterthur (1939).

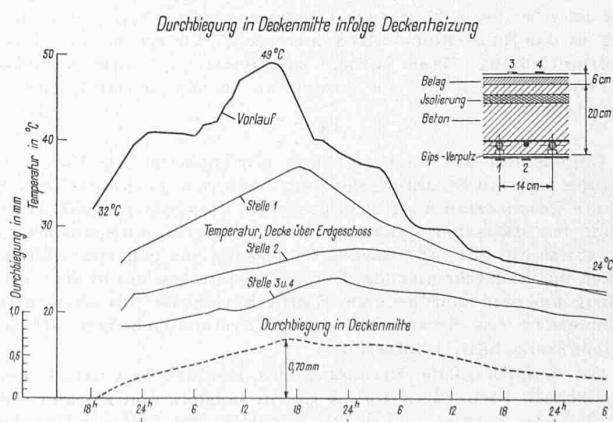


Abb. 2. Verlauf der Heiz- und Deckentemperaturen, sowie der lotrechten Durchbiegungen in Deckenmitte einer Decke von $9,2 \times 14,15$ m in der Heil- und Pflegeanstalt St. Urban, Kt. Luzern

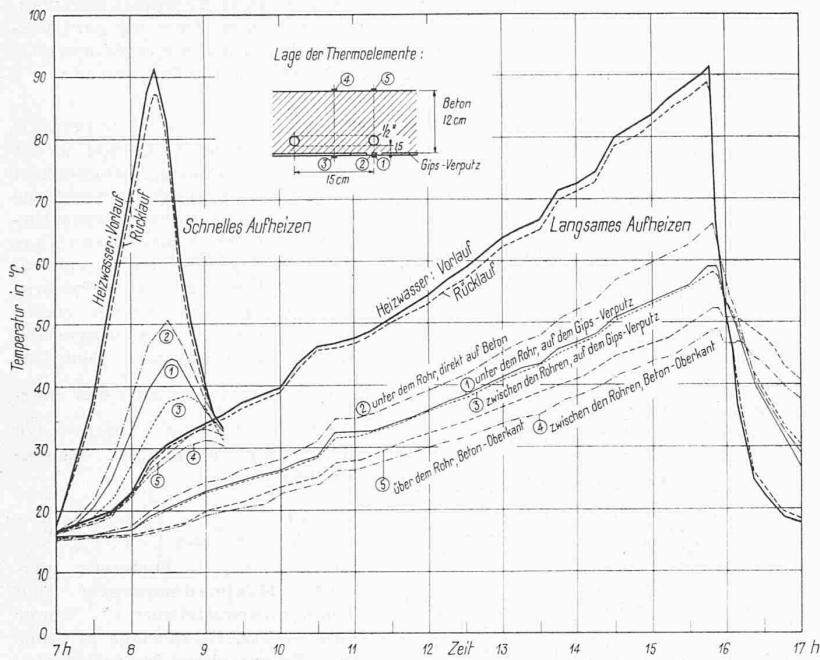


Abb. 1. Temperaturverlauf in einer unten mit Gipsverputz versehenen Decke, ohne Zusatzarmierung, von 2,1 m Länge, 1,40 m Breite und 12 cm Höhe bei raschem und langsamerem Aufheizen

2. Mit Endhaken versehene, in Würfeln von $20 \times 20 \times 20$ cm Grösse einbetonierte Heizrohre statisch geprüft, versagen entweder durch Ueberwindung der Zugfestigkeit der Rohre oder durch Zersprengen der Betonwürfel, wie dies auch bei einbetonierten Endhaken der vollen Rundisen der Fall ist.

3. Würfel mit einbetonierten Heizrohren zeigen bei Aufheizungen bis zu $+50^\circ\text{C}$ keine Haarrisse. Erst bei Aufheiztemperaturen über $+50^\circ\text{C}$ und für Ueberdeckungen der Heizrohre von

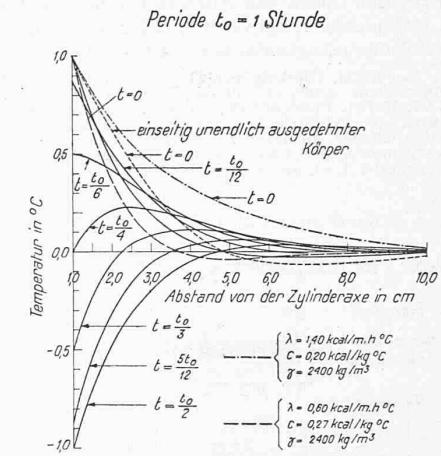


Abb. 3. Temperaturverlauf in einem unendlich ausgedehnten Betonkörper infolge periodischer, sinusartiger Temperaturschwankung einer kreisrunden, zylindrischen Bohrung von 21 mm Durchmesser. Theoretische Werte

10 mm und weniger wurden sehr feine Haarrisse wahrnehmbar, die sich nach erfolgter Abkühlung wieder schliessen. Bei $+70^\circ\text{C}$ zeigten sich feine, von bloßem Auge wahrnehmbare Risse.

4. Die statische Haftfestigkeit der Heizrohre auf Zug ist zufolge höherer Beanspruchung und grösserer Verformung der Rohre niedriger als diejenige voller Rundisen.

5. Die mit geeichten Kupfer-Konstanten-Thermoelementen gemessene Temperaturverteilung in einem kreisrunden Betonzyylinder mit in dessen Mitte einbetonierte, geheiztem Rohr, an Versuchs-Decken und -Balken (Abb. 1) sowie an ausgeführten Decken mit Strahlungsheizung (Abb. 2) zeigt die Analogie von Temperaturverteilung und Gefälle mit dem rechnerischen Temperaturfeld in einem Betonkörper von unendlicher Ausbreitung, infolge periodischer, sinusartiger Temperaturschwankungen,

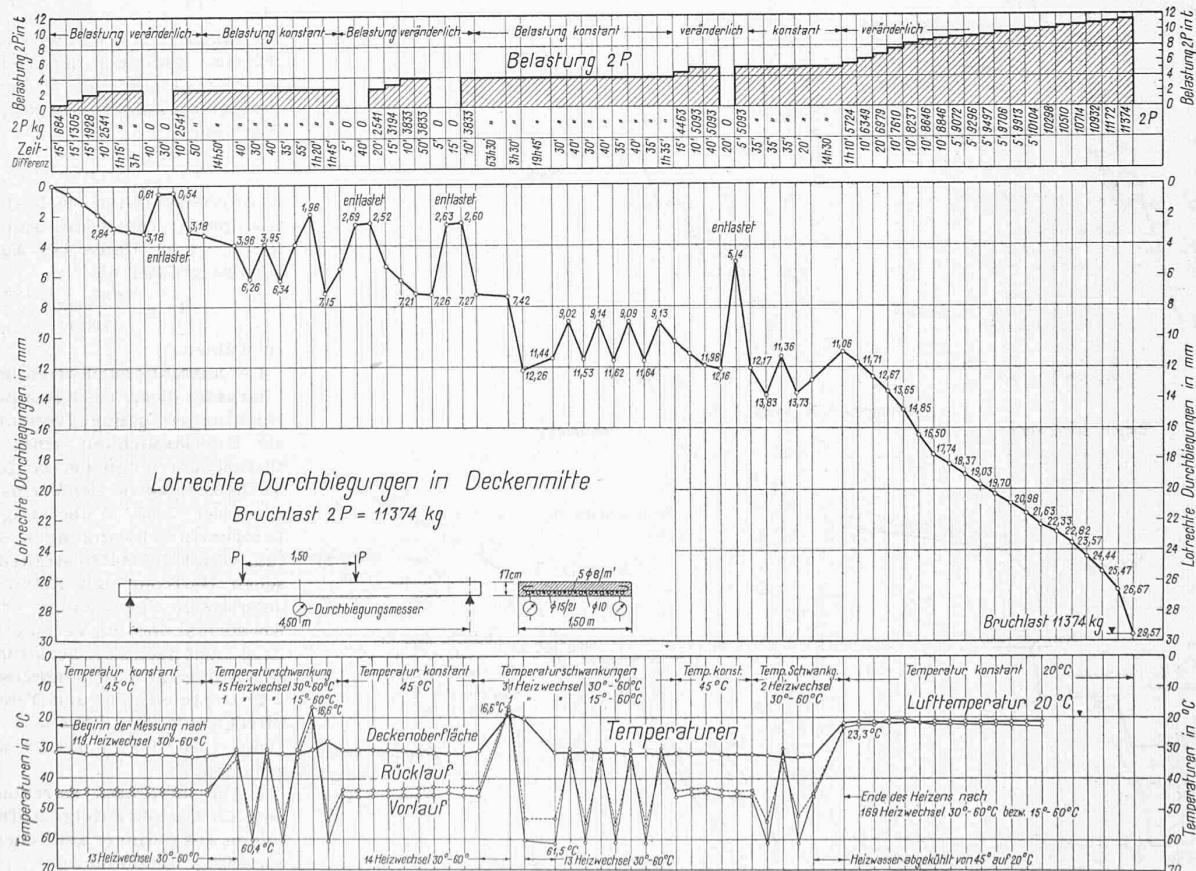
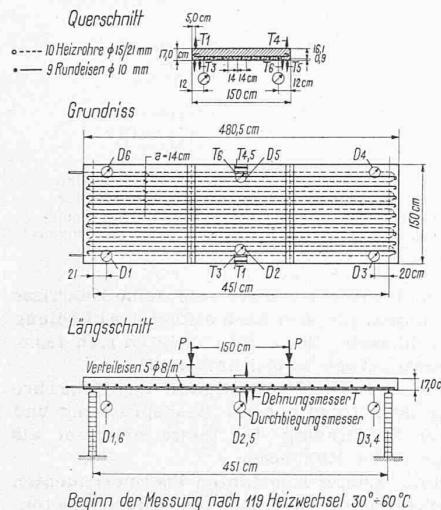


Abb. 4. Geheizte Decke II, mit Zusatzarmierung. Durchbiegungen in Deckenmitte in Abhängigkeit von der Grösse und Zeitdauer der Belastung sowie der Heiwassertemperatur. Beginn der Belastungsversuche im Alter von ~ 7 Monaten, nach 119 Heizwechseln zwischen $+30^\circ\text{C}$ und $+60^\circ\text{C}$. Vornahme der Belastungsänderungen bei einer unveränderlichen Heiztemperatur von $\sim +45^\circ\text{C}$ und $+20^\circ\text{C}$

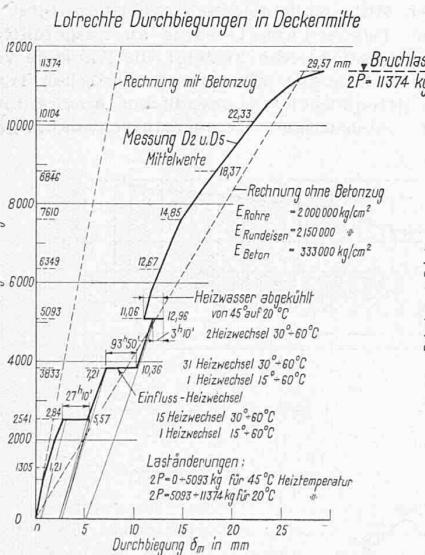
wachgerufen durch das Aufheizen einer zylindrischen Bohrung vom Halbmesser r , bei vereinfachter Annahme eines quasi-stationären Temperaturzustandes³⁾ (Abb. 3).

³⁾ H. Pfriem, «Beitrag zur Theorie der Wärmeleitung bei periodisch veränderlichen, quasistationären Temperaturfeldern». Ingenieur-Archiv, Band VI, Heft 1, Februar 1935. Verlag Julius Springer, Berlin. – Behandelt wird eine zylindrische Bohrung in einem allseitig ausgedehnten, homogenen Körper, an deren Innenfläche ($r = r_0$) in jedem Punkte harmonische Temperatur-Schwingungen erzwungen werden. Das grösste Temperaturgefälle tritt am Rande der Bohrung auf und ergibt sich für die Zeiten $\frac{5}{12} t_0$ und $\frac{11}{12} t_0$ wobei t_0 = Dauer einer vollen Heizperiode.

Decke II mit Zusatzarmierung, beheizt.



Beginn der Messung nach 119 Heizwechsel 30°-60°C



Beton - Unterkante

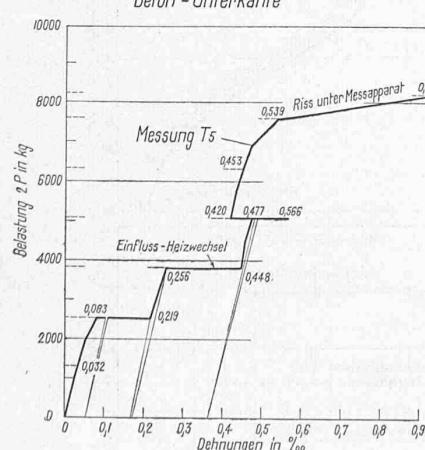


Abb. 5. Versuche II, mit Zusatzarmierung, geheizt. Lotrechte Durchbiegungen in Deckenmitte und über den Auflagern. Biegekurven, Beton-Stauchungen (oben) und -Dehnungen (unten) in Deckenmitte. Dehnungsdiagramme

Die volle Zeitperiode der sinusförmigen Temperaturschwankung wurde zu $t_0 = 1$ Stunde angenommen. Dort ist zum Vergleich auch der Temperaturverlauf bei Annahme eines einseitig unendlich ausgebreiteten Betonkörpers für die Zeitperiode $t = 0$ angegeben.

6. Unter der Voraussetzung, dass die maximalen Temperaturbeanspruchungen mit dem jeweiligen Temperaturgefälle in der nächsten Umgebung einer zylindrischen Bohrung angenähert verhältnisgleich seien, sind für mittlere, praktisch zutreffende Werte der Wärmeziffern die theoretischen Werte des Temperaturgefälles in der unmittelbaren Nähe der Bohrung bzw. bei angrenzender Betrachtung des Heizrohrs in Abhängigkeit von der Dauer der Aufheizperioden dargestellt worden. Das maximale Temperaturgefälle $\frac{d\vartheta}{dr}$ in dem das Heizrohr unmittelbar umgebenden Beton folgt angenähert der Beziehung

$$\frac{d\vartheta}{dr} \cong \Delta\vartheta_{\max} \sqrt{\frac{3}{4} \cdot \frac{1}{t_0}}$$

worin $\Delta\vartheta_{\max}$ = Differenz zwischen Maximaltemperatur und Temperaturmittelwert, t_0 = Dauer einer vollen Heizperiode in Stunden. Entsprechend der experimentellen Feststellung, dass vielfach wiederholte Temperaturschwankungen von 3 bis 4 Stunden, somit im Mittel $\sim 3\frac{1}{2}$ Stunden Dauer und $\sim 30^\circ\text{C}$ maximaler Temperaturschwankung, von $+30$ bis $+60^\circ\text{C}$, auf die Haftfestigkeit der Heizrohre im Beton von keinen nachteiligen Folgen sind, darf das entsprechende maximale Temperaturgefälle

$$\frac{d\vartheta}{dr} \cong 15 \cdot \sqrt{\frac{3}{4} \cdot \frac{1}{3.5}} \cong 9^\circ\text{C/cm}$$

als zulässig bewertet werden und für eine Zeitspanne der Temperaturschwankung von t_0 darf die Temperaturamplitude $\Delta\vartheta_{\max}$ den Wert von

$$\Delta\vartheta_{\max} \cong 10 \sqrt[3]{t_0}$$

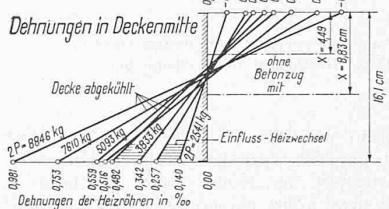
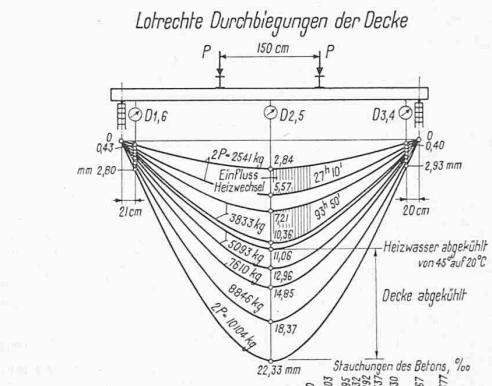
nicht überschreiten. D. h. für eine bestimmte Temperaturamplitude $\Delta\vartheta_{\max}$ ist die Dauer der Aufheizperiode grösser als

$$t_0 \cong \frac{\Delta\vartheta_{\max}^3}{1000}$$

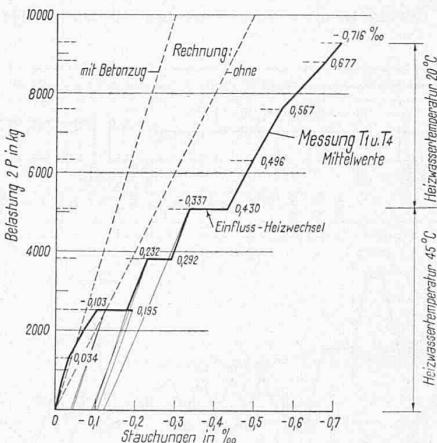
zu wählen.

Der ausschliesslich orientierende Charakter dieser theoretischen Betrachtungen genügt vollauf, um die Unerlässlichkeit eines nicht zu raschen, möglichst langsamem Aufheizens sowie der Vermeidung grösserer, $\sim 35^\circ\text{C}$ übersteigender Temperaturschwankungen darzutun, damit die Haftfestigkeit zwischen Heizrohr und Beton keine unzulässige Schwächung erfährt. Als normal und den Verbund praktisch nicht nachteilig beeinflussend sind Aufheizgeschwindigkeiten von $\sim 2^\circ\text{C}$ pro Stunde und Temperaturschwankungen bis $\sim +35^\circ\text{C}$ (von $+20^\circ$ bis $+55^\circ\text{C}$) zu bezeichnen.

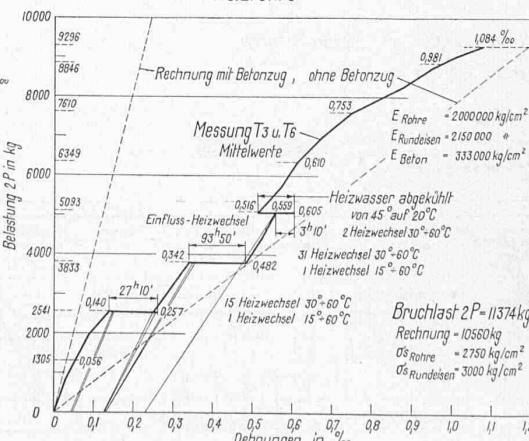
7. Die lotrechten Durchbiegungen der Decken zufolge Aufheizen folgen mit geringer zeitlicher Verzögerung ungefähr proportional der Aufheizung. Die bleibenden Durchbiegungen zeigen annähernd gleiche Grössenordnung wie die



Stauchungen in Deckenmitte, Beton-Oberkante



Dehnungen in Deckenmitte



elastischen Durchbiegungen, sie stabilisieren sich nach etwa 60 Heizperioden von je im Mittel $3\frac{1}{2}$ Stunden (Abb. 4). Die Ursache der bleibenden Verformungen ist vorwiegend auf die Ausbildung feiner Haarrisse und die dadurch bedingte Verminderung des Trägheitsmomentes zurückzuführen. Der Einfluss der vorgängig der Belastung wiederholten Heizung der Decken auf deren Verformungen ist praktisch belanglos (Abb. 5 u. 7). Die elastischen Durchbiegungen verbleiben während des ganzen Verlaufes der Heizung nahezu unveränderlich.

8. Die Temperaturen der Decken- bzw. Balken-Oberfläche (an der Oberseite, also entgegengesetzt der Lage der Heizrohre) verändern sich im Verlaufe der Heizung verhältnismässig nur sehr wenig (Abb. 1 u. 4). Die Mittelwerte der Temperaturverteilung in geheizten Platten bzw. Balken für Temperaturschwankungen von 30 bis 35°C , zwischen $+20^{\circ}$ und $+50^{\circ}$ bzw. $+55^{\circ}\text{C}$ sind aus Abb. 6 ersichtlich. Das Temperaturfeld weist für einen längeren Zeit andauernden, unveränderlichen Wärmezustand ein stationäres, jedoch unhomogenes Feld mit kleineren, gegenseitigen Temperaturunterschieden auf. Die Temperatur-Schwankungen wirken sich bei Strahlungsheizungs-Decken mit Zusatzarmierung räumlich gleichmässiger aus. Die verzögernde, dämpfende und ausgleichende Wirkung von geheizten Betondecken, ohne und mit Zusatzarmierung, tritt im jeweiligen Temperaturfeld ganz ausgesprochen in Erscheinung. Sie ist beträchtlich und in jeder Beziehung (wärmetechnisch, statisch und hygienisch) vorteilhaft.

9. Die wiederholte Heizung der Rohre zwischen $+30^{\circ}$ bis $+60^{\circ}\text{C}$ ist ohne Einfluss auf die statische Biege-Tragfähigkeit der Decken. Die zugeordneten Bruchtragkräfte geheizter und nicht geheizter, gleich stark armerter Decken sind einander praktisch gleich (Abb. 4, 5 und 7). Auf die Haftfestigkeit und damit auf den Verbund nachteilig sich auswirkende Einflüsse konnten in keinem Falle festgestellt werden. Ein Gleiten der Heizrohre im Beton fand nicht statt.

10. Der statische Bruch sämtlicher Decken erfolgte beim Erreichen der Fliessgrenze der Heizrohre (Abb. 4 und 5). Bei Steigerung der Verformungen über das Streckengrenzegebiet hinaus blieben die Sonder-Heizrohre materialtechnisch gesund und rissfrei.

11. Die etwas grössere Durchbiegung von Decken, nur mit geheizten oder ungeheizten Rohren, gegenüber gleichwertig nur mit Rundeisen armierten Decken, hat ihre Ursache im beim gleichen Querschnitt grösseren Umfang der Heizrohre, demzufolge grössere lokale Schwind-Schrumpfungen, verbunden mit Verminderung des Trägheitsmomentes entstehen. Vergleichsversuche zeigten, dass die grösseren Durchbiegungen keinesfalls weder auf die vorzeitige Ueberwindung der Haftfestigkeit, noch auf die stärkere Verformung der Rohr-Endhaken zurückzuführen ist. Die festgestellte Erscheinung etwas grösserer Durchbiegungen hat sich als ohne nachteilige Folgen für die Tragfähigkeit und damit Sicherheit der Decken mit Strahlungsheizung erwiesen. Sie rechtfertigt aber die Anordnung der Zusatzarmierung.

12. Die gemessenen lotrechten Durchbiegungen und örtlichen Stauchungen (Druckspannungen) stimmen mit den entsprechenden rechnerischen Werten, die Betonzugzone vorerst als nicht und sodann als gerissen vorausgesetzt, angennähert überein. Die gemessenen Zugspannungen der Heiz-

rohre entsprechen etwa dem Mittelwert mit bzw. ohne Mitwirkung der Betonzugzone. Der Nachrechnung sind zugrunde zu legen die experimentell festgestellten oder nach der EMPA-Formel⁴⁾ ermittelten Elastizitätsmoduli des Betons und die Wärme-Ausdehnungszahl $\alpha = 0,00001$. (Schluss folgt)

MITTEILUNGEN

Brunnengründungen. Bei der Fundierung eines Talüberganges der Reichsautobahnen hätte der hohe Grundwasserstand bei Abteufungen von rd. 7 m unter Boden und der daher notwendigen Verwendung eiserner Spundwände zu einem Stahlbedarf von rd. 940 t geführt. Es wurde daher bei neun Pfeilern der Talsohle eine Fundierung mittels offener Eisenbetonenskenbrunnen gewählt und zwar entsprechend dem Brückentypus in je zwei getrennten rechteckigen Brunnen von $14/16$ m Seitenlänge mit einem Seitenwandanzug von 8:1 und je zwei verstifrenden Mittelwänden in jeder Richtung. Der Stahlverbrauch ergab sich zu 17,7 t pro Brunnen und die gesamte Ersparnis mit 70%. Die Ausführung hat in jeder Beziehung befriedigt. Bei einem anderen Bauwerk ähnlicher Art wurden — ebenfalls nach «Beton und Eisen» vom 20. Mai — die Fundamentflächen der vier Mittelpfeiler von $13,8/27,4$ m in je drei Brunnen von $13,8/8,6$ m bei 80 cm Fugenabstand aufgelöst. Bei ebenfalls rd. 7 m Fundierungstiefe erfolgte die Herstellung aus unbewehrtem Stampfbeton, dem bei 90 cm starken äusseren Wänden und kräftigen inneren Versteifungen noch Zugfestigkeiten von 1/8 der Druckfestigkeit überwiesen wurden. Die Brunnen konnten mit Arbeitsfortschritten von 40 \pm 50 cm pro Schicht abgeteuft werden, wobei der Pumpensumpf dem übrigen Aushub immer $\frac{1}{2}$ bis 1 m vorangetrieben wurde. Bei einem Brunnen ergab sich zwei Tage nach Betonierung, offenbar als Folge zu früher Verwendung und zu grosser Unterschiede in der Bodennachgiebigkeit, eine Rissbildung in den Außenwänden, die in der Folge zu einer Spaltung des Brunnens in zwei Stücke führte, ohne die Abteufung auf Projekttiefe zu unmöglich machen.

Versuche mit engmaschigen Gitterträgern. Anlässlich der Elektrifikation der SBB sind bekanntlich zahlreiche alte eiserne Brücken durch massive ersetzt worden, ohne dass sich in jedem Falle eine praktische Verwendung für die frei gewordenen Ueberbauten finden liess; sehr viele mussten als Alteisen verkauft werden. Aus diesen haben die SBB einige ausgewählt zur Vornahme von Versuchen bis zum Bruch, worüber Sektionschef Dr. A. Bühlner im «Bauingenieur» vom 5. August einlässlich berichtet. Im Gegensatz zu Schüles Versuchen an ganzen Brücken⁵⁾ sind nur Ausschnitte typischer Tragwerke geprüft worden, zu man einer Biegemaschine konstruiert hat, die gestattet, Träger von 0,5 bis 7,9 m Länge und bis 2,8 m Höhe zu erproben, indem in den Drittelpunkten Drücke von je 250 t ausgeübt werden können. Die sechs Versuchsträger wurden vier verschiedenen Brücken entnommen: Frenkenbrücke Liestal 1854, Strassenunterführung Cully 1861, Viganabrücke Ceneri 1881 und Emme-Brücke Emmenbrücke 1860. Als wichtigstes Ergebnis der sehr gründlich dargestellten Versuche und ihrer Auswertung darf festgehalten werden, dass die untersuchten engmaschigen Fachwerkträger sich besser verhalten, als man nach der Auslegung unserer Brückenverordnung erwarten konnte. Auf Grund dieses neuen Einblicks wird man manches ältere Bauwerk nicht mehr so schnell verurteilen, was unseren Altvorderen zu besonderem Lob gereicht.

Die Lukmanierstrasse. Zu unseren ältesten Uebergängen in den Zentralalpen gehört als niedrigster, mit einer Passhöhe von nur 1919 m ü. M., die Strasse durch den lucus magnus (grosser Wald): der Lukmanier, der sich aber, schon von den Römern ausgebaut, nicht zu einem internationalen Handelsweg entwickeln konnte. Er diente mehr lokalen Bedürfnissen, im besonderen dem Pilgerverkehr nach dem Kloster Disentis. In den Jahren 1871 bis 1877 hat man die 62 km lange Verbindung mit dem Tessin, mit Strassenbreiten von 4,8 m im Teilstück Disentis-Olivone und 6 m von Olivone bis Biasca, mit einem Kostenaufwand von rd. 2 Mio Fr. ausgebaut. Der

⁴⁾ Siehe S. 162.

⁵⁾ «SBZ» Bd. 23, S. 112. (1894, Emmenbrücke Wolhusen) und Bd. 26, S. 133 (1895, Mühlbachbrücke bei Mumpf).

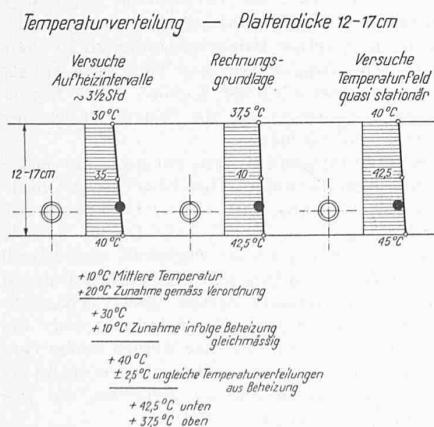


Abb. 6. Mittelwerte der Temperaturverteilung bei Strahlungsheizungsdecken entsprechend Messung und der Rechnungsannahme

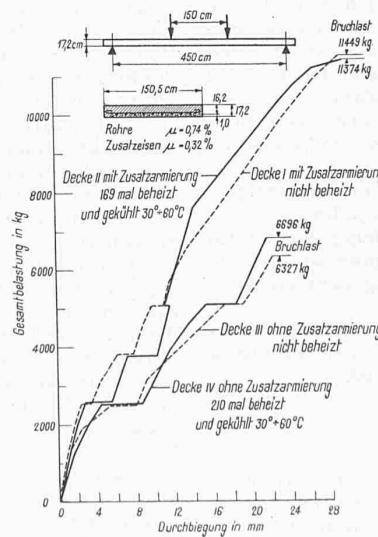


Abb. 7. Ergebnisse von statischen Belastungsversuchen an Decken I bis IV. Belastungs-Durchbiegungs-Diagramme