

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizerische Bauzeitung
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	107/108 (1936)
<b>Heft:</b>	7
<b>Artikel:</b>	Elektrische Erwärmung von Beton und Mörtel bei Frosttemperaturen (Elektrobeton)
<b>Autor:</b>	Kunz, C. / Fontanellaz, E.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-48249">https://doi.org/10.5169/seals-48249</a>

### 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:** 03.02.2026

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



Abb. 7. Elektrodenteppiche beim «Hirse»-Bau, Zürich.

erreicht, und auch dem uralten Jerusalem gliedern sich in rastloser Ausdehnung neue Stadtteile an, zumal seitdem vor kurzem das grossartige Bauwerk der neuen Wasserleitung von Ras-el-Ain nach Jerusalem vollendet wurde, die das Trinkwasser aus den Quellen des Jarkon-Flusses auf einer Strecke von rund 80 km über 900 m hoch zu den Trinkwasser-Reservoirn der auf dem Kamm des Gebirges Jehuda liegenden «Heiligen Stadt» emporhebt.

Diese Entwicklung begrenzt sich keineswegs auf Palästina; sie ist vielmehr für den gesamten Orient charakteristisch. So hat in letzter Zeit die ägyptische Regierung, die sich einer sehr günstigen Finanzlage erfreut, einen «Fünfjahrplan» für öffentliche Arbeiten beschlossen, der vor allem Strassenbau, Kanalbau, sowie ausgedehnte Meliorationen umfasst, die im Nil-Delta die Ansiedlung von 80 000 neuen Landwirte-Familien ermöglichen werden. Auch in dem dritten alten Kulturgebiet des Orients, in Mesopotamien — heute Königreich Irak — ist neue Aktivität erwacht. In Bagdad gehen riesige Veränderungen vor sich; neue breite Strassen werden durch die verträumten winkligen Basare, die noch das Gepräge der Zeit Harun al-Rashids tragen, schnurgerade durchgebrochen, von eleganten Hotels, Warenhäusern, Bankpalästen flankiert, und quer durch die Täler des Euphrat und des Tigris werden Staudämme errichtet, im Interesse der Bodenbewässerung, der Elektrizitätsgewinnung, der Hochwasserbekämpfung und der Schiffahrt. Auch hier ist an Geld für grossartige Bauten kein Mangel, da der irakischen Regierung seitens der internationalen Konzerne, die die Erdölquellen von Mossul und Kirkuk<sup>3)</sup> erschliessen, Jahr für Jahr grössere Beträge an Konzessionsgebühren zufliessen. Das interessanteste Projekt indessen, das sich heute im Orient in Verwirklichung befindet, ist der Ausbau der Autostrasse quer durch die einst so gefürchtete Arabische Wüste, der direkte Weg Bagdad—Mekka. Schon im vorigen Jahr waren die Arbeiten provisorisch soweit gediehen, dass die moslemischen Pilger aus dem Irak und Persien in Autobussen die Reise nach den heiligen Stätten des Islam durchführen konnten. Nunmehr wird die Strecke zu einer vollwertigen Fahrbahn ausgestaltet, die auch direkte Anschlüsse nach Palästina, Ägypten, Syrien erhalten wird. Die ungeheure Weite der arabischen Halbinsel, die ja sogar Indien an Ausdehnung übertrifft, wird heute von der modernen Technik, insbesondere der Bautechnik, bezwungen und in den bisher weltentlegenen Oasen werden Gewerbe und Landwirtschaft zu neuem Leben erweckt.

Aus all den orientalischen Ländern, die hier genannt wurden, sind zur nächsten Tel-Aviver Levantemesse, die turnusgemäss vom 30. April bis 30. Mai dieses Jahres stattfinden wird, viele Zehntausende von Einkäufern zu erwarten, insbesondere auch von Interessenten der Bauwirtschaft und der Bautechnik. Daher erscheint die Messe dazu berufen, auch diesmal den schweizerischen Exporteuren von Bau-Maschinen und sonstigem Bau- und Siedlungsbedarf ausgezeichnete Dienste zu leisten.

Dr. J. Adler, Tel-Aviv.

## Elektrische Erwärmung von Beton und Mörtel bei Frosttemperaturen (Elektrobeton).

(Schluss von Seite 59.)

### 2. Anwendungs-Beispiele und Wirtschaftlichkeit.

Von C. KUNZ und E. FONTANELLAZ,  
Ingenieure der Eidg. Zentralstelle für Arbeitsbeschaffung in Bern.

*Gaswerk in Biel.* Die ersten praktischen Versuche in der Schweiz wurden vom 11. bis 13. Januar 1934 im städtischen Gaswerk Biel vorgenommen. Im Werkhof ist damals eine bewehrte Platte auf sechs Betonpfeilern gemäss Abbildung 5 ausgeführt worden. Das Teilstück A wurde mit schwarzen, gewöhnlichen, rd. 2 mm starken Elektrodenblechen von 0,15 m Breite und 1,30 m Länge bedeckt. Bis der Strom zweckmässig floss, musste der Abstand zwischen den einzelnen Blechstreifen nach und nach bis auf 5 cm verkleinert werden. Im Teilstück B mit senkrechten Elektrodenblechen genügte eine Spannung von 40 V, um auf eine Entfernung von 1,30 m einen elektrischen Strom von 38 bis 44 A zu erzeugen.

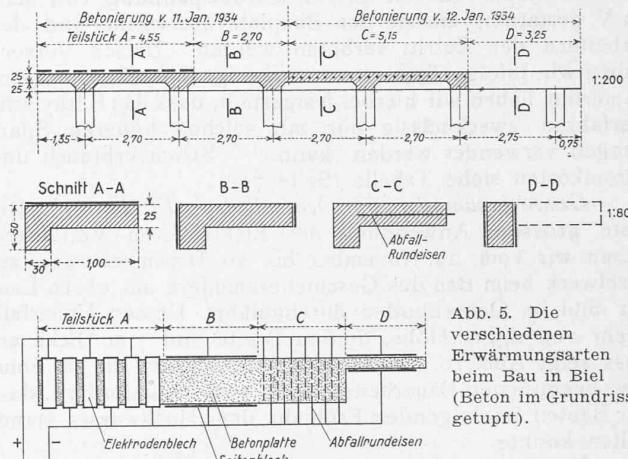


Abb. 5. Die verschiedenen Erwärmungsarten beim Bau in Biel (Beton im Grundriss getupft).

Das Teilstück C wurde mit Nadelerwärmung behandelt, wobei man darauf achtete, dass die Nadeln nicht mit den Armierungseisen in Berührung kamen. Teilstück D haben wir wie Teilstück B behandelt. Das Schaltungsschema der Versuchsanordnung ist aus Abb. 5 unten ersichtlich.

Im Teilstück A wurde die Innentemperatur des Beton mit Thermoelementen gemessen und bei einer Außenluft-Temperatur von  $-4,5^{\circ}\text{C}$  eine durchschnittliche Innentemperatur des Beton von  $+13,5^{\circ}\text{C}$ , somit eine durchschnittliche Temperaturdifferenz von  $18^{\circ}\text{C}$  festgestellt. An einem einzigen Punkt stieg die Innentemperatur sogar auf  $+32^{\circ}\text{C}$ . — Die Auswertung der Messergebnisse über Stromverbrauch und Stromkosten sind in der Tabelle auf Seite 71 ersichtlich.

*Baugenossenschaft „Hirse“ in Zürich.* Der zweite Versuch wurde im Februar 1934 auf einem Geschäftshausbau dieser Genossenschaft an der Ecke Freiestrasse/Forchstrasse durchgeführt. Um das Vertrauen von Bauunternehmer, Architekt und Betoningenieur zu gewinnen, haben wir vorerst je zwei gleichbemessene Probestücke der Betondecke aus Pfeiffer-Hourdis und des Unterzugs erstellt. Hierbei betrug die Dosierung 300 kg gewöhnlicher Zement auf 1200 l Sand und Kies. Je ein Muster der Betondecke und des Unterzugs wurden im Freien (Abb. 6) in einer Nacht elektrisch erwärmt, wogegen die entsprechenden Vergleichsstücke in einem besonders geschlossenen Raum, dessen Innentemperatur während acht Tagen auf  $+10^{\circ}\text{C}$  gehalten wurde, auf normale Weise zum Abbinden gebracht wurden. Die hierbei ermittelten Bruchlasten und Verformungen waren, auf gleiche Abmessungen bezogen, bei beiden Behandlungsarten nicht voneinander verschieden, sodass auch eine Beeinträchtigung des Verformungsvermögens des Beton nicht stattgefunden hat.

Nach dem günstig verlaufenen Vorversuch haben wir auf diesem Neubau insgesamt rd.  $60 \text{ m}^2$  Eisenbetondecke

<sup>3)</sup> Vergl. «SBZ» Bd. 105, S. 206\*, 4. Mai 1935.

elektrisch erwärmt und hierfür erstmals die nach unsrern Angaben vom EWZ erstellten Elektroden-teppiche verwendet, die in Abb. 7 (Seite 69) deutlich ersichtlich sind. — Ueber Stromverbrauch und Stromkosten vergl. Tabelle S. 71.

*Bauschänzli in Zürich.* Das Hochbauamt der Stadt Zürich hat hier im Jahre 1934 ein neues Wirtschaftsgebäude erstellen lassen, dessen Fundation auf einer bestehenden Stützmauer erfolgte. Am 22. Februar wurden in einem Teilstück der Fundation in Abständen von rd. 20 cm rd. 8 mm starke Abfall-Rundeisen in den Beton gesteckt (Abb. 8) und unter Spannung gesetzt. Es erwies sich als nötig, mit zwei in Serie geschalteten Transformatoren (Abb. 9) eine Sekundärspannung von rd. 80 V zu erreichen. Da die VSE-Vorschriften auf offenen Bauplätzen nur Schwachstromspannung von max. 50 V gestatten, musste der Bauplatz überwacht und den Arbeitern der Zutritt verboten werden. Diesen Versuch haben wir infolge Tauwetters vorzeitig abbrechen müssen; immerhin haben wir hierbei festgestellt, dass das Réthy'sche Verfahren zweckmässig nur mit solchen höheren Spannungen verwendet werden kann. — Stromverbrauch und Stromkosten siehe Tabelle (Seite 71).

*Geschiebesammler im Ochsenboden (Etzelwerk).* Die erste grössere Anwendung des Elektrobeton - Verfahrens haben wir vom 29. November bis 20. Dezember 1934 am Etzelwerk beim Bau des Geschiebesammlers am oberen Lauf der Sihl im Ochsenboden durchgeführt. Dessen Ueberfall-Wehr von 8,5 m Höhe, 29,6 m Breite und 7 m Dicke am Fuss zeigt Abb. 10. Es handelte sich darum, die im Sommer begonnenen Bauarbeiten noch soweit zu fördern, dass der Bauteil im folgenden Frühjahr dem Hochwasser standhalten konnte.

Der Beton, der auf der Luftseite durch die Bruchsteine und auf der Wasserseite durch die Verschalung abgegrenzt war, wurde tagsüber schichtweise aufgefüllt und abends mit Elektrodenleppichen bedeckt. Insgesamt wurden während 222 Stunden 240 m<sup>2</sup> Beton erwärmt bei einer niedrigsten Temperatur von — 9° C. Um ein Abbinden der unteren Schicht zu verhindern, bevor die folgende Schicht erstellt war, musste vorsichtig vorgegangen werden. Wir hatten hauptsächlich gegen die umgebende Aussenlufttemperatur zu kämpfen, wobei die Beton-Innentemperatur + 25° C nicht überschreiten sollte.

Der unregelmässigen Gesteinsform der Bruchsteine an der Oberfläche und deren geneigter Anordnung wegen konnten an der Luftseite keine Elektrodenbleche verwendet werden. Wir steckten daher zwischen die Bruchsteinfugen 10 mm starke Abfallrundeisen als Elektrodenstäbe ein, um ebenfalls den Mörtel vor Frost zu schützen. Dieses Verfahren zeigte vollen Erfolg und ist in Abb. 11 gut ersichtlich; man beachte die in die Fugen eingestekten Stockthermometer zur Kontrolle der Mauerwärme. Auf diese Weise wurden 61 Bruchsteine mit einer Gesamtfläche von 30 m<sup>2</sup> elektrisch behandelt, wobei angenommen werden kann, dass  $\frac{1}{3}$  der Bruchsteinfläche, d. h. 10 m<sup>2</sup> tatsächlich erwärmt wurde. Dies trat jeweils am frühen Morgen in Erscheinung, wenn der Boden der umliegenden Baustelle noch vom Nachtrost glitzerte und gleichzeitig die elektrisch behandelten Bruchsteine klar und trocken waren. Stromverbrauch und Stromkosten sind in der Tabelle auf Seite 71 ersichtlich.

Nach Einstellung der Arbeiten im Ochsenboden waren für den zweiten Teil des Winters 1934/35 auf vier verschiedenen Bauplätzen der Zentralschweiz Vorbereitungen zur elektrischen Erwärmung von Beton getroffen worden, die wegen ungewöhnlich warmer Witterung bezw. Hochwasser leider nicht durchgeführt werden konnten.

\*

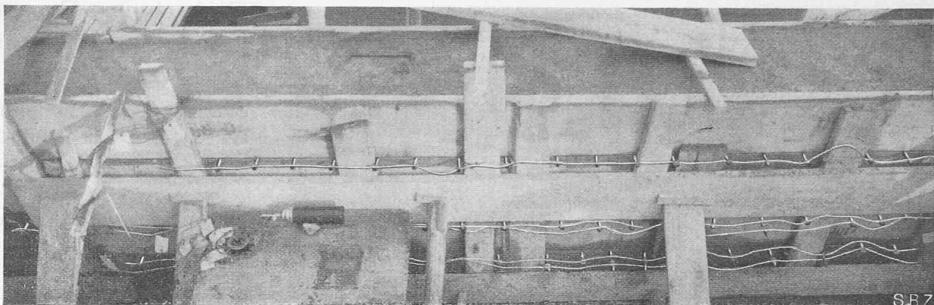


Abb. 8. Nadelerwärmung einer Betonmauer auf dem Bauschänzli (Zürich).

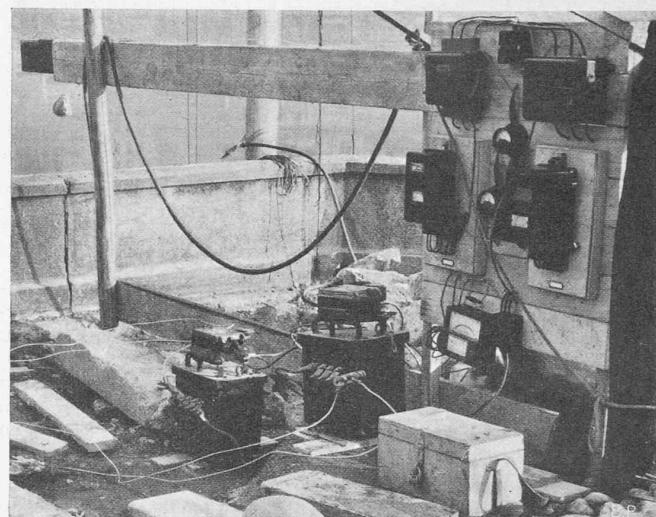


Abb. 9. Schalter, Zähler und Transformatoren der Baustelle Abb. 8.

Der nachfolgenden Kostenberechnung liegt die Annahme zu Grunde, dass die elektrische Betonerwärmung auf dem Bauplatz durch Spezialunternehmer durchgeführt werde; d. h. die eigentliche Bauunternehmung lässt ihr Bauwerk durch einen Spezialunternehmer gegen Frost schützen und bezahlt ihm diese Mehrarbeit nach einem festgesetzten Tarif. Der Auftraggeber muss lediglich nach Arbeitsschluss die zu erwärmenden Objekte bereitstellen und am folgenden Tage bei Arbeitsbeginn muss der Spezialunternehmer den Bauplatz geräumt haben.

Ob sich diese Annahme in der Praxis bewähren wird, werden uns die weiteren Erfahrungen lehren. Wir glauben eher, dass der Elektrobeton nur von grösseren Bauunternehmungen verwendet werden wird, die in Sonderfällen die Anschaffungskosten für die Erwärmungsapparatur nicht scheuen und letztgenannte dann für weitere Sonderfälle gut werden verwenden können. Um feststellen zu können, dass die Mehrauslagen für die elektrische Erwärmung von Beton von Fall zu Fall tragbar sind, mussten deren Kosten pro m<sup>2</sup>, bezw. m<sup>3</sup> Beton zuerst für eine Spezialunternehmung für Elektrobeton ermittelt werden.

Für die Rentabilitätsrechnung einer solchen Spezialunternehmung wurde folgendes angenommen. Die Leitung einer elektrischen Betonerwärmungs-Unternehmung besorgt ein Baufachmann, der im Winter  $\frac{1}{4}$  seiner normalen Arbeitszeit dem neuen Betrieb widmet; für die Installationsarbeiten auf den Bauplätzen wird ein Mann angestellt, der zugleich Elektrotechniker, Bauführer und Chauffeur sein sollte. Die Betriebsdauer ist auf vier Monate (November bis Februar) zu 25 Arbeitstagen festgesetzt; es soll Material zur Erwärmung von maximal 100 m<sup>2</sup> oder 18 m<sup>3</sup> Beton pro Auftrag zur Verfügung stehen; während der ganzen Betriebsdauer sollen 40 Aufträge behandelt werden, ferner sollen durchschnittlich pro Auftrag 75 m<sup>2</sup>, bezw. 15 m<sup>3</sup>, d. h. während der ganzen Betriebsdauer 3000 m<sup>2</sup>, bezw. 600 m<sup>3</sup> Beton elektrisch erwärmt



Abb. 10. Ueberfallwehr des Kiessammlers Ochsenboden für das Etzelwerk.

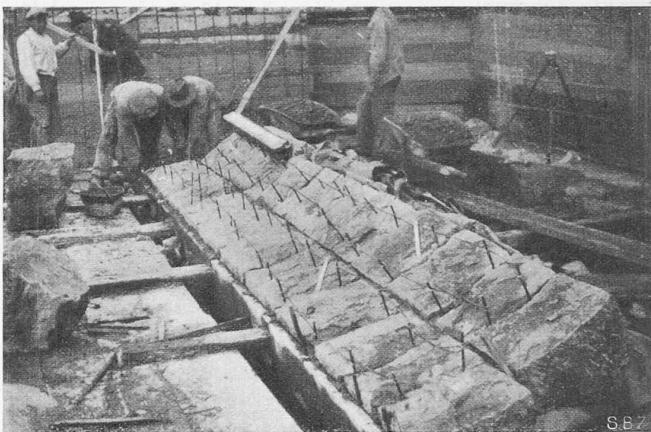


Abb. 11. Nadelerwärmung in dessen Mauerwerksfugen.

Tabelle über Stromverbrauch auf verschiedenen Bauplätzen.

Nr.	Gemeinde	Bauplatz	Stromtarif Fr./kWh		Erwärmungszeit in h	Temp.-differenz °C	Stromverbrauch in kWh pro m <sup>2</sup> und °C		Stromkosten in Fr. pro °C und m <sup>2</sup> und m <sup>3</sup>	
			Tag	Nacht			—	—	—	—
1	Biel	Gaswerk A	0,120	0,060	15	18	4,5	0,25	18,1	0,98
2	"	B+D	—	—	16	—	—	20,9	—	—
3	"	C	—	—	16	—	—	21,4	—	—
4	Zürich	Hirse I	0,090	0,045	13	70	—	—	0,81	0,06
5	"	II	—	—	34	56	8,6	0,15	1,00	0,010
6	"	III	—	—	12	26	4,2	0,16	—	0,009
7	"	Bauschänzli	—	—	10	25	—	21,5	0,86	—
8	Unteriberg	Ochsenboden	0,070	0,070	222	21	1,4	0,07	6,9	0,32
Bern	—	—	0,070	0,035	—	—	—	—	—	—
Durchschnittlich			0,06	—	—	—	—	17,7	0,80	0,011
								—	—	0,06

werden. Dafür benötigt man einen Gerätelpark im Werte von etwa 9200 Fr., dessen wichtigste Bestandteile sind: Ein 1 1/2 t-Lastkraftwagen, sechs Spezialtransformatoren<sup>2)</sup> zu 8 kVA, 100 m<sup>2</sup> Elektrodenleitpiche<sup>3)</sup>, 50 Elektrodenbleche 200 · 300 · 1 1/2 mm<sup>4)</sup>, ferner 10 Thermometer, 2 Volt- und 2 Ampèremeter, 100 m Primär- und 200 m Sekundärkabel, 100 m<sup>2</sup> Zeltplanen, Werkzeug usw.

Die *Selbstkosten* für die Betriebsperiode von 100 Arbeitstagen setzen sich aus folgenden Posten zusammen:

Betriebsleitung: 1/4	800 Fr.	×	4 Monate	800 Fr.
Bureau miete . . . . .	400	"		
Verzinsung des Grundkapitals (9200 Fr.)				
für 12 Monate . . . . .	460	"		
Verschiedenes und Unvorhergesehenes . . .	340	"		
Löhne 600 Fr. × 5 Monate . . . . .	3000	"		
Transportkosten				
10 km × 0,40 Fr./km × 100 Tage . . . . .	400	"		
Amortisation des Materials . . . . .	2000	"		
Total 7400 Fr.				

Pro Auftrag macht dies 185 Fr. aus. Dazu kommen die Stromkosten. Auf Grund obiger Tabelle legen wir der vorliegenden Berechnung einen durchschnittlichen Stromtarif von 6 Rp./kWh zu Grunde, woraus weiterhin folgt, dass die Stromkosten für elektrische Erwärmung von Beton 1 Rp./m<sup>2</sup> und °C, bzw. 6 Rp./m<sup>3</sup> und °C ausmachen. Da pro Auftrag mindestens 75 m<sup>2</sup> bzw. 15 m<sup>3</sup> Beton erwärmt werden sollten, betragen die Stromkosten bei einem Temperaturunterschied bis zu 70°C für 75 m<sup>2</sup> Fr. 52,50, bzw. für 15 m<sup>3</sup> 63 Fr., somit i. M. pro Auftrag 58 Fr.

Für einen Auftrag erreichen daher die gesamten *Selbstkosten* 185 + 58 = 243 Fr. Unter Einsetzung einer

2) Diese wurden in unserm Auftrag durch die Firma Lapp & Bijon, Ing., Rämistr. 6 in Zürich besonders entworfen und gebaut.

3) Bei einem Leistungsbedarf von 0,5 bis 0,8 kW/m<sup>2</sup> Betonoberfläche können mit 6 Transformatoren, je nachdem man die Temperatur um 50 bis 80°C erhöht, 48/0,5 bis 48/0,8 = 96 bis 60 m<sup>2</sup> Beton erwärmt werden.

4) Bei einem Leistungsbedarf von 2,5 bis 4 kW/m<sup>3</sup> Betonvolumen können mit sechs Transformatoren, je nachdem man die Temperatur um 50 bis 80°C erhöht, 19,2 bis 12 m<sup>3</sup> Beton erwärmt werden.

Nettогewinn-Marge von 10% ergibt sich ein Verkaufspreis pro Auftrag von Fr. 267,30 und daraus folgt schlussendlich, das für die elektrische Erwärmung von Beton 3,60 Fr./m<sup>2</sup> bzw. 18 Fr./m<sup>3</sup> verlangt werden muss.

*Schlussfolgerungen.* Nachdem wir bewiesen haben, dass die elektrische Erwärmung von Beton technisch und wirtschaftlich durchführbar ist, kann man sich fragen, ob der Elektrobeton wirklich berufen sei, der Bauwirtschaft Dienste zu leisten. Diese Frage darf mit einem überzeugten Ja beantwortet werden.

Wenn man nur die erwärmte Fläche bzw. das Volumen betrachtet, dann scheinen die Kosten relativ hoch. Man soll jedoch dieses Verfahren nur als *Sondermassnahme* betrachten und die Spesen nicht nur auf die verhältnismässig kleine zu erwärmende Menge, sondern *auf das ganze Bauwerk* beziehen. Der Elektrobeton gewährleistet nicht nur ein sicheres, fortlaufendes Arbeiten bis zu Ende, er bietet den Berufs- und Gewerbezweigen des Bauwesens Beschäftigungs- und Lieferungsmöglichkeiten auch in der sogenannten flauen Zeit.

Das beste Beispiel hierfür boten uns die Versuche im Ochsenboden. Anfänglich hatte der Bauunternehmer beabsichtigt, die Bauarbeiten auf Ende November der grossen Kälte wegen einzustellen. Durch unser Eingreifen konnte er das grosse Betonmauerwerk des Ueberfallwehrs sowie die Flügelmauern vor dem Schneefall bis über die Erdoberfläche fertigstellen, sodass das Bauwerk tatsächlich im Frühjahr vor dem Hochwasser der Sihl geschützt werden konnte. Dadurch konnten etwa 40 Arbeiter während 20 Arbeitstagen länger beschäftigt werden, als es laut Bauprogramm vorgesehen war. Wenn diese Arbeiter ohne Beschäftigung geblieben wären, hätten die Arbeitslosenkassen, die Krisenhilfe, usw. durchschnittlich 4 Fr. pro Arbeitstag, d. h. 800 Arbeitstage = 3200 Fr. an Unterstützungsgeldern auszahlen müssen. Nach der vorstehenden Kostenberechnung hätte man für die Erwärmung von 240 m<sup>2</sup> Beton zu 3,60 Fr./m<sup>2</sup> = 864 Fr. ausgeben müssen. Wenn dieser Betrag vom Unterstützungsbeitrag abgezogen wird, verbleiben 2336 Fr. der Allgemeinheit, womit die Nützlichkeit des Elektrobeton bewiesen ist. Besonders erwähnt zu werden verdient noch, dass einige Tage nach Versuchsbeginn die Witterung für die Fortsetzung der Arbeiten so günstig wurde, dass ohne Elektroerwärmung betoniert werden konnte. Dieses gute Wetter wäre ohne unsere Intervention für die Bauarbeiten verloren gewesen, weil dann der ganze Betrieb bereits eingestellt gewesen wäre.

Wie oft hätte man an klaren, trockenen Wintertagen tagsüber betonieren können, wenn man nicht die auftretenden Nachtfröste gefürchtet hätte? Wir sind deshalb der Meinung, dass der Elektrobeton seine Nützlichkeit dann beweisen wird, wenn es gilt, vorübergehende Kältewellen zu überbrücken oder wenn man gezwungen ist, Bauten im Winter durchzuführen, dafür aber nicht zur reinen Eisenkonstruktion greifen will.

benschwingungen mit hinreichend kurzen Schaufeln in jahrzehntelanger reichhaltiger Erfahrung auch sehr gut bewährt hat, geht die Differenz (3), wenn man beim Innen-Integral die untere Grenze näherungsweise gleich Null setzt, über in

$$V_{f1} - V_{f2} \underset{a}{\approx} \pi \left( k^2 - \frac{s^2}{2s-1} \right) \int_0^a z r^{2s-1} \sigma_t dr$$

Beider Anwendung des Rayleighschen Verfahrens auf Scheiben gleicher Dicke gelangt man zu  $s$ -Werten, die unterhalb der entsprechenden  $k$ -Werte liegen. Die profilierten Scheiben ergeben  $s$ -Werte, die den entsprechenden

$k$ -Werten etwas näher gelegen sind<sup>3)</sup>, aber der konstante Faktor vor dem letzten Integral bleibt positiv<sup>4)</sup>. Man kommt zu einer praktisch befriedigenden Abschätzung, wenn man in der letzten Gleichung  $s \approx k$  setzt. Es wird dann klar, dass der Ausdruck (2) die Arbeit der Tangentialspannungen  $\sigma_t$  in mangelhafter Weise zum Ausdruck bringt. Setzt man anderseits  $f(r) = r^s$  in (1) ein und bedenkt, dass, abgesehen von mehr oder weniger schmalen Gebieten, die Spannungskomponenten  $\sigma_r$  und  $\sigma_t$  roh gesprochen von der gleichen Größenordnung sind, so kommt man zum Ergebnis, dass der Betrag (2) rund halb so gross ist wie der Betrag (1).

5. Berechnung der Fliehkraftenergie vom Standpunkt der Praxis. Trotz der grossen Ungenauigkeit, die der Berechnung der Fliehkraftenergie mit Hilfe des Ausdrückes (2) anhaftet, ist damit die berührte Frage vom Standpunkt der praktischen Anwendung aus beurteilt, noch nicht erledigt.

Die durch die Formel (1) verlangten Rechnungen sind von erheblicher Kompliziertheit, da die analytischen Ausdrücke für die Spannungskomponenten  $\sigma_r$  und  $\sigma_t$  für die darin enthaltenen Integrationen meistens nicht einfach genug sind. Ausserdem muss man auch bedenken, dass diese Spannungskomponenten in der Regel für eine bestimmte Uebergeschwindigkeit berechnet werden, während sich die Schwingungsberechnungen auf die Betriebsgeschwindigkeit beziehen; damit wird für die Ermittlung der Eigenfrequenzen eine Neuberechnung der Spannungsverteilung erforderlich. Die Schwingungsberechnungen sind aber an sich bereits sehr langwierig.

Nun weiss man aber aus Erfahrung, dass der Einfluss der Fliehkräfte auf die Eigenschwingungszahlen nicht gerade als gross bezeichnet werden kann. Es handelt sich da um Frequenzerhöhungen, die sich in der Regel, wiederum überschläglich gesprochen, innerhalb der Grenzen von etwa 10 % bewegen. Da es sich beim Rayleighschen Verfahren um eine Näherungsrechnung handelt, kann durch Benutzung der Formel (2) statt der Formel (1) ein erheblicher Fehler nicht verursacht werden. Ja, es ist sogar möglich und wahrscheinlich, dass man unter Benutzung von (2) zu Ergebnissen gelangt, die dem richtigen Wert näher liegen, als die mit der Formel (1) errechneten Resultate. Dies erklärt sich wie folgt.

Es hat sich gezeigt, dass die Schwingungsformen der Dampfturbinscheiben in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle solche mit Knotendurchmessern und ohne Knotenkreise sind. Bei einer gegebenen Anzahl  $k$  von Knotendurchmessern ergeben solche Schwingungsformen die tiefsten Schwingungszahlen. Bei den tiefsten Schwingungszahlen handelt es sich aber nach Rayleigh um ein *Minimal-Prinzip*, während sonst (d. h. beim Hinzutreten von Knotenkreisen) allgemein nur von einem *Extrem*<sup>5)</sup> die Rede

<sup>3)</sup> Man vergl. hierzu z. B. die in der Arbeit von W. Campbell in den „Transact. A. S. M. E.“, 1924, p. 31 ff enthaltenen Angaben, insbesondere die Abb. 57, 58.

<sup>4)</sup> Dass der Betrag (2) kleiner ist als der Betrag (1), wird auch in der englischen Ausgabe des Stodolaschen Werkes, New York, 1927, bezeugt.

<sup>5)</sup> Vergl. hierzu z. B. „Handbuch der Physik“, Bd. VI, 1928, S. 336.

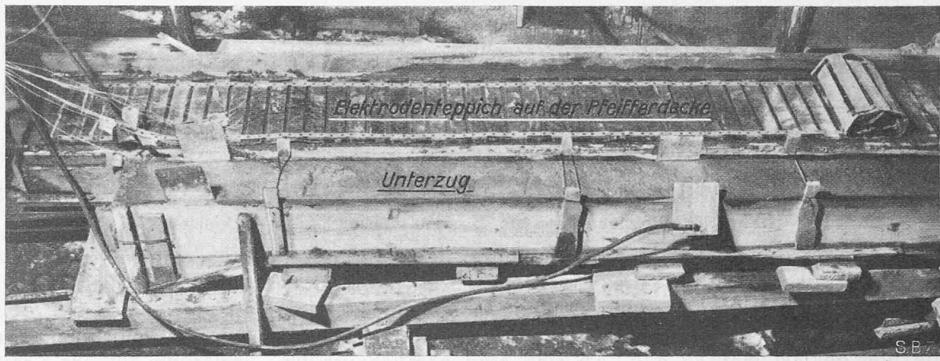


Abb. 6. Elektrische Betonewärmeung zweier Versuchstücke: hinten Pfeifferdecke mit Elektrodensteppich, davor Unterzug mit Seitenblechen, deren Sekundärkabel deutlich sichtbar sind. Die dünnen Kabel dienen für elektrische Temperaturmessung.

sein kann. Bei Schwingungen mit Knotendurchmessern allein kommen wir also beim geschilderten Verfahren auf Frequenzen, die etwas zu hoch liegen müssen. Da die Fliehkraft im Sinne einer Erhöhung der Frequenz wirkt, so werden mit dem geringeren Betrage (2) der Fliehkraftenergie möglicherweise bessere Näherungswerte der Eigenfrequenzen erreicht, als mit der Formel (1). Jedenfalls hat sich die Berechnungsart mit (2), wie bereits erwähnt, in der Praxis sehr gut bewährt, sofern die Schaufellänge ein gewisses Mass nicht überschreitet. In diesem Zusammenhang sei hier noch daran erinnert, dass bei der Ausdehnung der Integrationen auf die Schaufeln diese ja schon sowieso nur einer Radial- und keiner Tangentialbelastung zu unterwerfen sind.

Was nun aber die Rechnungen mit der Formel (2) an sich betrifft, so sind diese sehr einfach. Man hat sich nur zu erinnern, dass die kinetische Energie  $T$  der Schwingungsbewegung, die beim Rayleigh-Verfahren ja berechnet werden muss, unter Zugrundelegung der Schwingungsformel ( $A$ ) und vom Zeitfaktor abgesehen die Gestalt

$$T = \frac{\rho \pi \lambda^2}{(\sin^2 \lambda t = 1)} \int_0^a [f(r)]^2 z r dr$$

hat. Führt man in diese Formel, sowie in (2), den Ansatz  $f(r) = r^s$  ein, so findet man, dass beide Grössen bei jedem Profil<sup>6)</sup> bis auf den Faktor  $\omega^2 s^2 : (2s-1)\lambda^2$  durch einen und denselben Ausdruck dargestellt werden. Hat man also die kinetische Energie, so ist damit im Wesentlichen bereits auch die Fliehkraftenergie bekannt.

Durch diese Gesichtspunkte dürfte die Verwendung des Ausdrückes (2) an Stelle von (1) bei der Berechnung der Eigenfrequenzen der Querschwingungen von Scheiben hinreichend gerechtfertigt und begründet sein.

<sup>6)</sup> Wegen der konischen Scheibe siehe „Hütte“, des Ingenieurs Taschenbuch, 1931, S. 448.

## Die Bautätigkeit im mittleren Osten.

Im Rahmen der letzten Tel-Aviver-Levantemesse, die im Frühjahr 1934<sup>1)</sup> stattfand, haben zahlreiche europäische Exporteure von Baumaterialien und Maschinen zum ersten Mal die Verbindung mit den Märkten des Orients aufgenommen. Unter den 2861 (davon 58 aus der Schweiz) Ausstellern, die sich an jener Messe beteiligten, waren Maschinenbau und Elektrotechnik mit 357 (darunter 323 ausländischen) Firmen, der Bauholz-Handel und die Holzbearbeitungsindustrie mit 69 (62) Firmen, und die übrigen Baubedarfsbranchen mit 67 (47) Firmen vertreten gewesen. Palästina, Ägypten, Syrien-Libanon, Transjordanien, der Irak haben bis zum heutigen Tage noch völlig freien Devisenverkehr, so daß der Export dorthin von all jenen Hemmungen verschont ist, die heute das Geschäft innerhalb Europas lämmen. Außerdem kommt bei den orientalischen Märkten die Tatsache einer ausserordentlichen Expansion hinzu. Um mit der Messestadt Tel-Aviv selbst zu beginnen, sei erwähnt, dass sie im Frühjahr 1934 rund 85 000 Einwohner zählte, während sie gegenwärtig bereits von 150 000 Menschen bevölkert ist. Auch die weltpolitisch heute so interessante Hafenstadt Haifa<sup>2)</sup> hat vor zwei Monaten die Einwohnerzahl 100 000

<sup>1)</sup> Vergl. «SBZ» Bd. 102, S. 259, 18. Nov. 1933.

<sup>2)</sup> Vergl. «SBZ» Bd. 105, S. 132, 16. März 1935.