

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 107/108 (1936)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Schmidt's Schattenbilder des Wärmeübergangs  
**Autor:** [s.n.]  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-48227>

### **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:** 18.01.2026

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

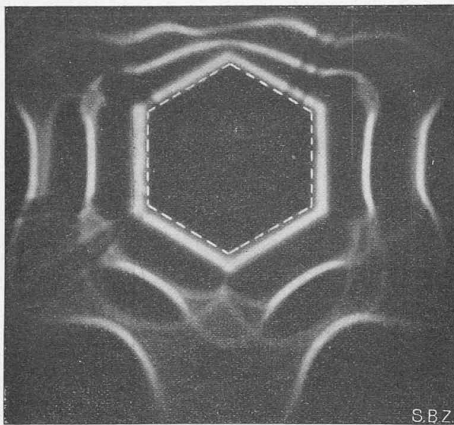


Abb. 7. Sechskantrohr bei verschiedenen Temperaturen, mit Blende. 20 mm Kantenlänge, 25 cm Länge, Raumtemp. 25°, Heiztemp. 75°, 118°.

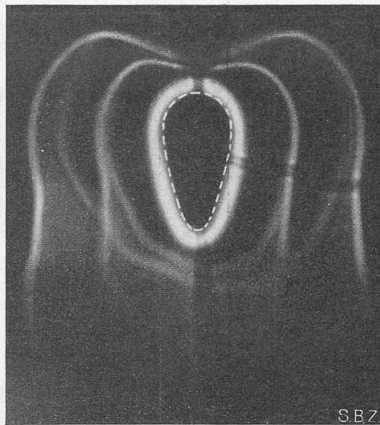


Abb. 8 und 9. Rohr von Stromlinienprofil in 2 Stellungen mit Blende und für mehrere Rohrttemperaturen. 25 cm Länge.

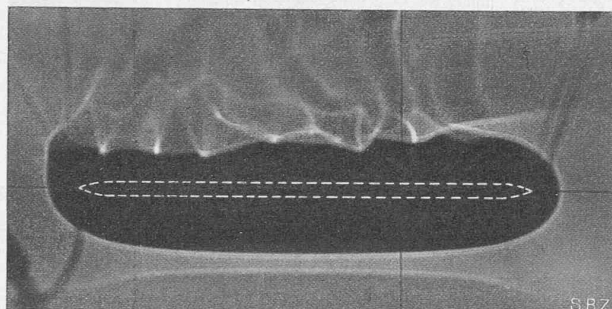
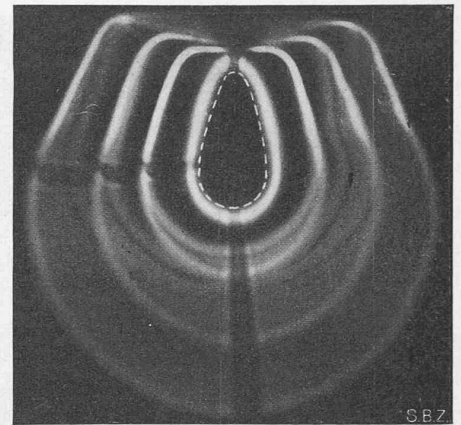


Abb. 6. Geheizte Platte, ohne Blende, wie Abb. 5 aber wagrecht. Platte von 12 cm Höhe, 25 cm Breite, 4 mm Dicke. Luft rd. 25°, Plattentemperatur zwischen 115 und 135°.

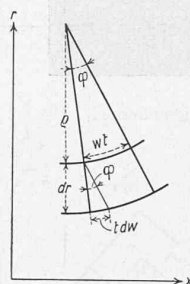


Abb. 1. Bewegung einer Wellenfront in einem optisch inhomogenen Medium.

Augenblicken sind in Abb. 1 angedeutet. Solange diese Tangentialebenen merklich vertikal sind, darf man für den Abstand zweier benachbarter, übereinanderliegenden Strahlen  $[dr]$  setzen. Der auf dem unteren Strahl während  $t$  zurückgelegte Weg unterscheidet sich um  $t dw$  von dem entsprechenden Wegstück  $wt = \varphi q$  auf dem oberen Strahl; dessen Krümmung ist wegen  $\varphi = wt/q = -t dw/dr$ :

$$\frac{1}{q} \approx \frac{d\varphi}{dx} = -\frac{1}{w} \frac{dw}{dr} = \frac{1}{n} \frac{dn}{dr} = \frac{1}{n} \frac{dn}{dT} \frac{dT}{dr} \quad (1)$$

bei Einführung des Brechungsindex  $n = c/w$  ( $c$  = Lichtgeschwindigkeit im Vakuum).

Um diesen Zusammenhang zu verwerten, macht Schmidt die bestrichene Länge  $l = AB$  (Abb. 2) der erhitzten Oberfläche und damit die Hebung eines Strahls in kühlere Schichten so klein, dass der rechtseitige Ausdruck von (1) längs dieser Strecke als konstant angenommen werden kann, womit der Neigungswinkel, unter dem der Strahl dieselbe bei B verlässt, sich zu  $l \frac{1}{n} \frac{dn}{dT} \frac{dT}{dr}$  ergibt. Die durch diesen kleinen Winkel bewirkte Ablenkung in relativ grosser Entfernung  $L = BE$  (10 bis 20 m) ist beträchtlich (einige cm bei  $l \approx 25$  cm und etwa 100° Oberflächentemperatur in Luft).

Schmidt's Messeinrichtung ist sonach denkbar einfach. Sie besteht aus einer Bogenlampe mit Blende und Momentverschluss, rund 40 m davon entfernt, dem von den Lichtstrahlen bestrichenen, elektrisch geheizten Versuchskörper (Rohr, Platte), und einer photographischen Platte oder einem Projektionsschirm. Linsen oder Spiegel werden nicht benötigt. Abb. 2 ist ein Längsschnitt durch das Strahlenbündel bei dem über der Entfernung von der Heizfläche AB eingetragenen Temperaturfeld. ABCD ist, stark überhöht gezeichnet, die erwärmte Zone; der die Strecke DC enthaltende Strahl wird also nicht mehr abgelenkt und trifft die in E aufgestellte Platte in F. Der unterste, die erhitzte Oberfläche gerade streifende Strahl wird, entsprechend dem dort herrschenden maximalen Temperaturgefälle, am stärksten abgelenkt; er trifft die Platte in G. Der Bereich FG wird ausser von den über DC, auch von den zwischen A und D einfallenden Strahlen getroffen, ist also hell, besonders an den mit F und G bezeichneten Rändern, den Spuren der von Strahlen umdrängten Brennfächen  $b_1$  und  $b_2$ . Die Zone EF bleibt schwarz; ihre helle Berandung F bezeichnet im Querschnitt die genaue Ausdehnung der den erhitzten Körper umhüllenden erwärmten Luftschicht. Da die maximale Auslenkung  $y = EG$  nach (2) dem an der Oberfläche herrschenden Temperaturgefälle proportional ist, gibt die Randlinie G auf der Platte als Polardiagramm direkt den Verlauf der für natürliche Konvektion massgebenden Wärmeübergangszahl längs des erhitzten Umfangs an. Eine graphische Integration liefert den gesamten Wärmefluss. Blendet man alles Licht bis auf die unmittelbar streifenden Strahlen ab, so erhält man nur das genannte Polardiagramm. Ähnlich lassen sich Diffusions- und Lösungsvorgänge in Gasen und Flüssigkeiten photographieren.

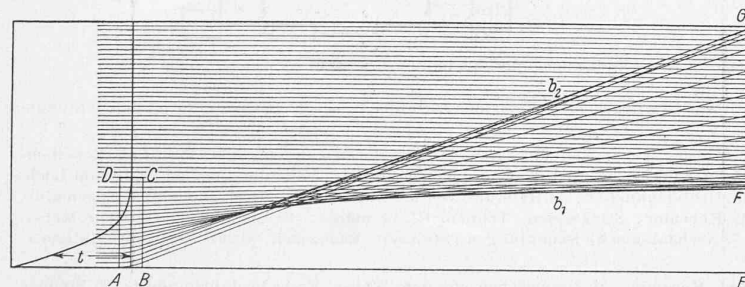


Abb. 2. Ablenkung der Lichtstrahlen über einer erhitzten Platte. AB Platte; ABCD erwärmte Zone; t Temperaturverlauf senkrecht zu AB;  $b_1, b_2$  Brennfächen; E Schirm; EF Kernschatten; EG grösste Ablenkung proportional der Wärmeabgabe.

## Schmidt's Schattenbilder des Wärmeübergangs.

So grundlegend die Kenntnis der Wärmeabgabe für die Dimensionierung von Dampfkesseln, Heizapparaten, Wärmeaustauschern, Transformatoren, Lagern, spanabhebenden Werkzeugen usw. ist, so schwierig ist ihre Berechnung, so willkommen eine einfache und genaue experimentelle Bestimmung. Eine solche stammt von Prof. Ernst Schmidt<sup>1)</sup> in Danzig, dem Erfinder der Alfol-Isolierung<sup>2)</sup>.

Da die Lichtgeschwindigkeit  $w$  von der Temperatur  $T$  des durchstrahlten Mediums abhängt, bildet sich in der eine erhitzte Oberfläche bedeckenden Luft (Gas, Flüssigkeit) mit einem  $T$ -Feld zugleich ein  $w$ -Feld aus. Die Lichtgeschwindigkeit  $w$  ist lediglich Funktion des Abstandes  $r$  von der etwa horizontal vorgestellten Oberfläche, wenn die Isothermen des Temperaturfeldes parallel zur Oberfläche verlaufen. Diese werde von einem Bündel horizontalen Lichts gestreift: Die zunächst vertikale Wellenfront eilt nun nicht mehr als Ebene weiter, da mit Eintritt in die erwärmte Zone das Licht in den oberen, kühleren Schichten sich langsamer fortpflanzt als in den unteren, heissen. Die Lagen der Tangentialebene einer Wellenfront in zwei um die kleine Zeit  $t$  voneinander abstehenden

<sup>1)</sup> „Schlierenaufnahmen des Temperaturfeldes in der Nähe wärmeabgebender Körper“, Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens Juli/August 1932. „Wärmeübertragung“, Proceedings Fourth Intern. Congress for Applied Mechanics, Cambridge 1935.

<sup>2)</sup> Beschrieben in „SBZ“ Bd. 103, S. 47\* (27. Januar 1934).



Abb. 2. Saal 4 (Erdgeschoss), Wandmalerei Anfang 14. Jahrhundert, gestickte Tischtücher (gerahmt) Anfang 13. Jahrhundert, bemalte Holzdecke aus Zillis, 12. Jahrhundert.



Abb. 3. I. Stock, Saal 49. Zürcher Keramik und Oefen des 18. Jahrh.

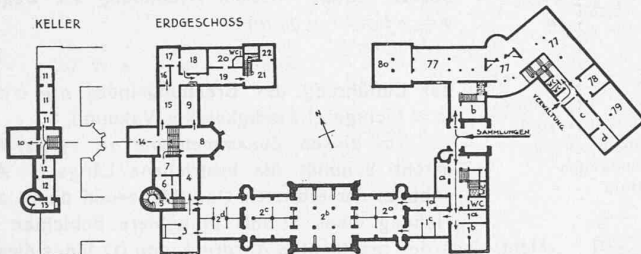
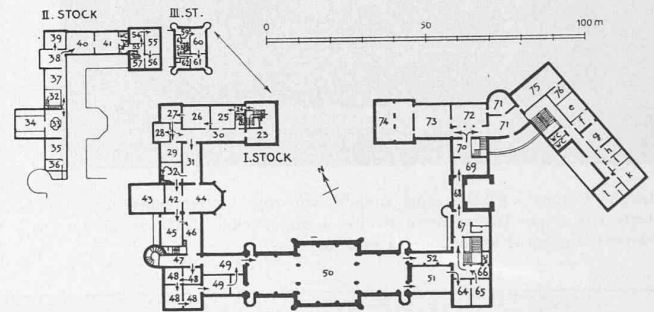


Abb. 1. Grundrisse des erweiterten und neu eingerichteten Schweizerischen Landesmuseums (Masstab rd. 1:2200).



**Kellergeschoss:** 10 Ehemalige Schatzkammer (geschlossen), 11 Schlitten, Pferdegeschirre, Wirtshauschilder u. a.; 12 Küchengeräte, Beleuchtungskörper u. a.; 13 Rechtsaltertümer, Fastentücher.

**Erdgeschoss:** 1 u. 2, a bis d Bildwerke kirchlicher Kunst, Textilien, Möbel; 3 u. 4 Mittelalterliche Wandmalereien, Kleinkunst, Textilien, Scheibengemälde, Burgenmodelle; 5 Treppenkoriator, Gussplatten für Oefen; 6 Backsteine von St. Urban und Beromünster; 7 Zimmer aus dem Haus zum Loch, ca. 1306; 8 Spätgotische Kapelle; 9 Gotische Ofenkacheln, Tonplastik, Grabdenkmäler; 14 Ratstube von Mellingen, 1467; 15 Kreuzgang, Glasgemälde, 16 bis 18 Zimmer aus der Fraumünsterabtei in Zürich: 1489, 1507; 19 Korridor: Stickereien, Truhen, Glasgemälde; 20 Loggia; 21 Gotische Möbel, Glasgemälde, Kassetten, Hinterglasmalereien; 22 Apotheke; 77 bis 79 Archäologische Sammlungen: Steinzeit, Bronzezeit, ältere Eisenzeit (Hallstattzeit); 80 v. Hallwilsche Familienaltertümer.

**I. Stock:** 23 Saal mit Decke aus Schloss Arbon, 1515. Textilien, Möbel, Keramik; 24 Zimmerchen aus dem Wallis, Ende 15. Jahrhundert; 25 Zimmer mit Täfer aus dem Kloster Oetenbach in Zürich, 1521. Textilien; 26 Saal aus dem Pestalozzi-Haus in Chiavenna, 1585; 27 Zimmer aus der Rosenberg in Stans, 1566; 28 Zimmer aus dem Schlösschen Wiggen bei Rorschach, 1582; 29 Zimmer aus dem Seidenhof in Zürich, 1592; 30 Korridor: Wandteppiche, Möbel; 31 Grosser Gobelin, Zinn, Bronzeguss, Portraits, Möbel; 32 Aufgang in den II. Stock. Möbel; 42 Vorraum: Möbel; 43 Saal aus dem Lochmann-Hause in Zürich, 17. Jahrhundert, Kunstkammer; 44 Kapelle; 45 Zürcher Porzellan; 46 Zürcher- u. Nyon-Porzellan; 47 Korridor: Schweiz. Keramik, Möbel; 48 Winterthurer Keramik; 49 Schweiz. Keramik; 50 Waffenhalle; 51, 52, 64 bis 68 Uniformen, Kriegsaltertümer; 69 bis 74 Archäologische Sammlungen: Jüngere Eisenzeit (La Tène), römische und Völkerwanderungszeit; 75 Schatzkammer; 76 Münz- und Medaillenkabinett.

**II. Stock:** 33 Vorraum: Möbel; 34 Zimmer mit Decke aus dem Winkelried-Haus in Stans, ca. 1560, Möbel, Textilien, Modelle von Strohhäusern; 35 Möbel aus Graubünden; 36 Zimmerchen aus dem Kloster Münster, 1630; 37, 38 Möbel; 39 Zimmer aus Biasca, 1587; 40, 41 Bauernmöbel, Musikinstrumente; 53 bis 56 Städtische Trachten, Möbel; 58 bis 62 Volkstrachten, Bauernmöbel, Bilder. — Kleine Buchstaben = Verwaltungsräume (k Direktor).

Auf den vorstehenden Schattenbildern<sup>3)</sup> begrenzt die gestrichelte Kontur den wahren Querschnitt des photographierten Gegenstands. So wäre in Abb. 3 der gestrichelte Kreis die Schattengrenze des ungeheizten Rohrs. Der dunkle Kernschatten (EF, Abb. 2) bezeichnet die erhitzte Zone. Die hellere Zone entspricht dem Bereich FG in Abb. 2; der radiale Abstand zwischen ihrem nierenförmigen äusseren Rand und dem gestrichelten Kreis liefert die örtliche Wärmeübergangszahl. Der Vergleich der so erhaltenen mittleren Uebergangszahlen mit berechneten Werten ergibt eine bis auf wenige Prozent genaue Uebereinstimmung. Die um das Rohr fließende erwärmte Luft steigt als ein erst ruhiger, dann sich in Wirbeln auflösender Strahl empor. (Die schwarzen radialen Linien sind Schatten von Drähten zur Aufhängung, zur Stromzuführung und von Thermoelementen.) In Abb. 4 ist die Wärmeabgabe eines Rohrs bei verschiedenen Temperaturen aufgenommen, und zwar mit einer Blende, die nur den streifenden Strahl durchlässt, sodass von der

Abb. 3 jeweils nur eine, mit steigender Temperatur vergrösserte, nierenförmige Kurve übrig bleibt, bzw. bei kaltem Rohr, ein Kreis.

Abb. 5 und 6 sind Temperaturaufnahmen (ohne Blende) einer beidseitig zugeschärften Platte. Bei der vertikalen Platte (Abb. 5) nimmt entsprechend dem breiteren Temperaturfeld und dem geringeren Temperaturgefälle die Wärmeabgabe nach oben ab. Bei der waagrecht Platte (Abb. 6) flackern auf der Oberseite Ablösungsstellen hin und her; auf der Unterseite bleibt die Strömung turbulenzfrei; in ihrer Mitte ist die erwähnte Zone am breitesten und die Wärmeabgabe am kleinsten.

Der Wert des Verfahrens zeigt sich besonders bei komplizierten Formen, wo die Rechnung versagt, wie bei den mit Blende bei verschiedenen Temperaturen aufgenommenen Profilrohren von Abb. 7 bis 9. Oben, wo die erwärmte Luft zusammenströmt, ist die Wärmeabgabe am schwächsten. An Ecken nimmt sie zu (Abb. 7). Abb. 8 veranschaulicht bei einem stromlinienförmigen Profil die durch eine Drehung um 180° bewirkte Veränderung des Wärmeflusses gegenüber Abb. 9.

<sup>3)</sup> Vgl. die nach Schmidt's Methode vorgenommenen Messungen von Saunders, Fishenden und Mansion über die natürliche Konvektion an einer waagrecht Platte in Wasser, Engineering, 10. Mai 1935.





DAS SCHWEIZERISCHE LANDESMUSEUM IN ZÜRICH  
FREIELEGTER DURCHBLICK DURCH DIE GROSSE WAFFENHALLE  
MIT DEN MARIGNANO-FRESKEN VON FERD. HODLER



KIRCHLICHE KUNST DES 16. JAHRHUNDERTS IM MITTELSAAL 2b DES ERDGESCHOSSES  
Altäre aus Seewis (Ilanz), Kazis, Schloss Wartensee und Naters (Wallis)



KIRCHLICHE KUNST DES 15. JAHRHUNDERTS IM SAAL 1c  
SYSTEMATISCHE AUFSTELLUNG MITTELALTERLICHER KIRCHLICHER  
KUNSTWERKE IM SCHWEIZER. LANDESMUSEUM IN ZÜRICH

wohl im Wegfall schwerer körperlicher Arbeit und in der intensiven Lüfterneuerung in der Kammer. Das zerstäubende Wasser der Druckwasserstrahlen bewirkt eine lebhaftige Erfrischung der Luft. Dazu kommt, dass die Kammerluft einen starken Anteil an der Förderung der Mampumppe nimmt und sich durch einen starken Zustrom von Frischluft erneuern muss. Es war stets Sorge getragen, dass die Leute nach dem Aussteigen unmittelbar neben der Schleuse eine geheizte Bude fanden, wo sie heissen Tee erhielten.

Hingegen zeigten sich während des Absenkens einige Fälle von Augenerkrankungen, die durch Gase des Schlammes verursacht wurden, die ein Gemisch von  $H_2S$  und  $CO$  enthielten.

Anders war aber die Lage, sobald die intensive Lüfterneuerung ausblieb und angestrenzte körperliche Arbeit hinzutrat. So führte das Planieren der Arbeitskammer und deren Ausbetonierung bei einer grossen Zahl von Caissons zur Erkrankung. In den ersten 22 Caissons, wo intensive körperliche Arbeit im sich verengenden Raum nötig war, ergab sich ein Mittelwert von 2,1 Erkrankungen ohne + 2,5 Erkrankungen mit ärztlicher Hilfe pro Kammer von  $140 m^3$ ; dies entspricht 19 Erkrankungen pro 100 Arbeitsschichten. Die Einzelwerte stiegen auf acht und sogar 12 Erkrankungen für eine Kammerbetonierung. Die Ursache hierfür lag im eisigen NO-Sturm, der die in erhitztem Zustand aus der Kammer steigenden Leute auf der offenen Mole empfing.

Vom 23. Caisson an, wo der Kammerbeton grösstenteils gegossen wurde, sanken obige Zahlen auf 40 %. Der Mittelwert der Erkrankungen pro Kammer von  $195 m^3$  betrug noch 0,3 ohne + 1,1 mit ärztlicher Hilfe. Dies entspricht 7,5 Erkrankungen pro 100 Arbeitsschichten bei einem Kammerdruck von 2,2 at. Bei mehreren Caissons traten keine Erkrankungen auf; dies war besonders der Fall, wenn warmes, ruhiges Wetter herrschte. Die bedeutende Verminderung der Erkrankungen ergibt sich aus dem Ausfall der harten, körperlichen Arbeit in dem engen Raum unter der Kammerdecke. Sie zeigt, wie wichtig es ist, bei der Formgebung der Arbeitskammer deren Füllung zu bedenken.

Die aufgetretenen Erkrankungen betrafen fast durchwegs Muskelschmerzen, die sich nach Behandlung in der Krankenschleuse, durch Bestrahlung mittels elektrischer Glühlampen oder zu Hause mittels warmer Kompressen in kurzem behoben, wenn sie auch oft äusserst schmerzhaft verliefen. Im ganzen zeigte ein Fall länger dauernde Folgen.

#### 7. Oberbau.

Die aufgelöste Eisenbetonkonstruktion des Oberbaues besteht aus Bindern, Längsverband und Gehwegplatte. Die Binder wurden an Land in eisernen Schalungen serienmässig hergestellt. Auf einer Schute verladen, wurden die 12 t schweren Stücke in die Dienstbrücke eingefahren, von dem dort laufenden Bockkran bei Ebbe abgehoben und in die im Unterbau vorgesehenen Aussparungen versetzt. Der Längsverband wurde mittels eiserner, wasserdichter Schalungen im Ebbebetrieb ausgeführt. Die Elemente der Gehwegplatte wurden mittels Rütteltisches serienmässig hergestellt, mit Kran verlegt und vergossen.

#### 8. Arbeitsfortgang.

Die Arbeiten an der Ostmole wurden anfangs 1931 begonnen. Die Schneide des ersten Caissons wurde am 15. April verlegt; der erste Stapellauf erfolgte am 19. Juni. Nun wurden die 39 Caissons mit einer Herstellungszeit von im Mittel 25 Tagen und einer Erhärtungszeit von mindestens 18 Tagen in Abständen von im Mittel 24 Tagen

### SCHMIDT'S SCHATTENBILDER DES WÄRMEÜBERGANGES

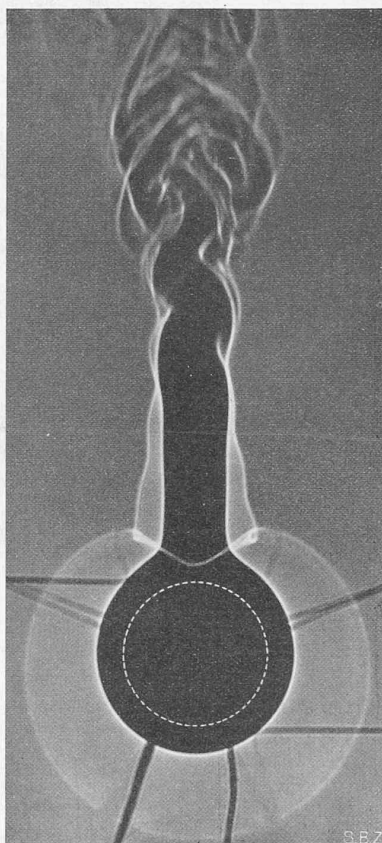


Abb. 3. Geheiztes Rohr, ohne Blende, von 50 mm  $\varnothing$  und 29 cm Länge.

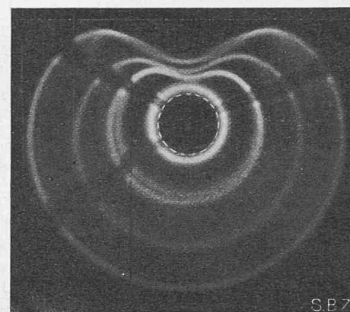


Abb. 4. Rohr bei verschiedenen Temperaturen, mit Blende 16 mm  $\varnothing$ , 15 cm Länge. Raumtemperatur  $24^\circ$ , Heiztemperatur  $71^\circ$ ,  $109^\circ$ ,  $189^\circ$ .

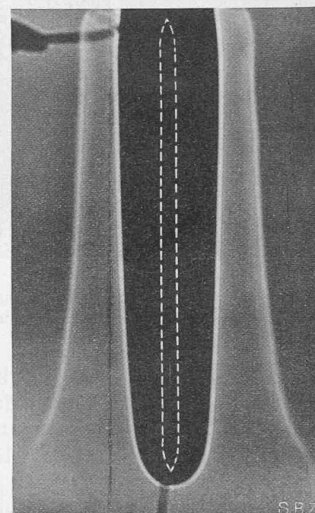


Abb. 5. Geheizte Platte, ohne Blende, senkrecht, Daten siehe Abb. 6.

nacheinander ausgeschwommen. Die Arbeiten unter Druckluft, häufig durch die Seeverhältnisse verzögert, erforderten im Mittel 27 Tage pro Caisson, in einigen Fällen bei günstigem Wetter aber auch nur 15 bis 16 Tage. Am 11. April 1934 wurde der letzte Caisson eingeschwommen, am 4. Mai dessen Druckluftarbeiten beendet. Nach Abschluss der Arbeiten am Oberbau wurde die Mole am 14. September 1934 der Öffentlichkeit übergeben (Abb. 18).

Ein zeitweiliger Unterbruch im Fortgang der Arbeiten hatte sich ergeben, als die Caissons 20, 21 und 22 grössere Mengen von Wracktrümmern eines vor etwa 30 Jahren hier untergegangenen englischen Frachtdampfers durchfahren mussten, wobei bis zu vier Lagen von 18 mm starken Wandlechen und Schiffskonstruktion in der Arbeitskammer mit dem Schneidbrenner durchschnitten und gefördert werden mussten.

Rechnet man die Zeit vom Stapellauf des ersten Caissons bis zum Abschluss der Druckluftarbeiten am Caisson 39, so ergibt sich ein Fortschritt des Molenunterbaues von 700 m in 34,5 Monaten, d. h. von 20 m im Monat.

Die Ausführung der beschriebenen Arbeiten lag als Teil der Erweiterungsbauten für den Hafen von Dünkirchen in den Händen der mit diesen beauftragten Arbeitsgemeinschaft der Firmen Ets. Sainrapt et Brice (Paris) Polensky und Zöllner (Berlin) und Neue Baugesellschaft Wayss und Freytag A. G. (Frankfurt a. M.), wobei letztgenannte Firma, als deren örtlicher Bauleiter der Verfasser wirkte, die technische Bearbeitung dieses Abschnittes innehatte.

[Anmerkung der Redaktion. Ausser der vom Verfasser eingangs zitierten Veröffentlichung orientiert auch ein kurzer Bericht in der „Z. VDI“ vom 9. Nov. 1935 über die allgemeine Anlage der Hafenerweiterung von Dünkirchen, und im besondern über den Bau der neuen Schleuse.]