

# Ueber die Temperaturänderungen des Wassers in langen Leitungen

Autor(en): [s.n.]

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **13/14 (1889)**

Heft 21

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-15630>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

**Wettbewerb für ein neues Postgebäude in Genf.**

(Mit einer Tafel.)

Mit der heutigen Nummer veröffentlichen wir die Hauptfäçade und zwei Grundrisse des bei diesem Wettbewerb mit einem zweiten Preise gekrönten Entwurfes „Postillon“ der HH. Gebrüder Camoletti, Architekten in Genf.

**Ueber die Temperaturänderungen des Wassers in langen Leitungen.**

Untersuchungen darüber, in welcher Weise die Temperatur des Wassers in Rohrleitungen durch die mit der Jahreszeit wechselnde Bodentemperatur beeinflusst wird, haben für Wasserversorgungen besonderes Interesse. Oft wäre, namentlich im Sommer und da, wo man auf Fluss- oder Seewasser angewiesen ist, eine Abkühlung erwünscht, während in andern Fällen und im Winter eine Erwärmung am Platz wäre; immer aber sollte man bei der Herleitung von Wasser aus grosser Entfernung wissen, mit welcher Temperatur dasselbe ankommt.

Dass im Allgemeinen der Einfluss der Bodenwärme auf starke Leitungen die viel Wasser führen, ein geringer

Ausdruck zu finden für das Maass des Wärmeüberganges zwischen einer im Boden in gewisser Tiefe liegenden Cylinderoberfläche, der innern Rohrwand und einer Ebene der Erdoberfläche, die auf bestimmter Temperatur erhalten ist.

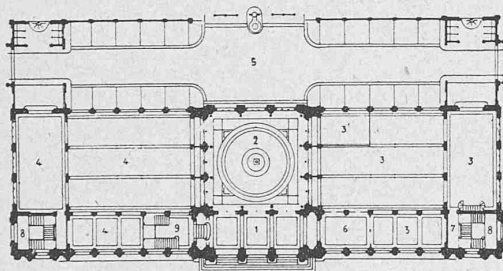
Bei einer eisernen Leitung kann auch die Temperatur der äusseren Rohrwand und der anliegenden Erdschicht derjenigen des Wassers annähernd gleichgesetzt werden (nach Versuchen von Ballo); der Wärmeübergang kann also von dieser äusseren Rohrwand an gerechnet werden. Ist die Leitung aus Mauerwerk, welches ungefähr gleich gut leitet wie die Erde selbst, so kann man dasselbe zu letzterer rechnen und die Uebergangsschicht ist in die innere Rohrwand zu verlegen.

Denken wir uns, eine Rohrleitung habe schon längere Zeit im Boden gelegen und der Wärme-Gleichgewichtszustand sei eingetreten. Jeder Punkt seitwärts vom Rohr bis zu einer gewissen Grenze und bis an die Erdoberfläche wird dann eine gewisse feste Temperatur angenommen haben. Verbinden wir Punkte gleicher Temperatur durch Flächen, so erhalten wir die sogenannten Isothermenflächen, welche das beste Bild für die Art der Wärmevertheilung und des Wärmeübergangs geben. Denn die Wärmeströmung erfolgt nach Linien, die in jedem Element senkrecht zu den Isothermenflächen verlaufen und proportional dem Tempe-

**Wettbewerb für ein neues Postgebäude in Genf.**

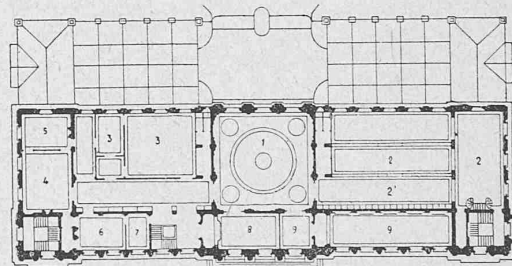
Entwurf der HH. Gebrüder Camoletti, in Genf.

Zweiter Preis. — Motto: „Postillon“.



Grundriss vom Erdgeschoss.

Legende: 1. Eingang. 2. Schalterhalle. 3. Briefbureau. 3' Mandatbureau. 4. Fahrpostbureau. 5. Posthof. 6. Wartsaal. 7. Briefträgerterre. 8. Privatwohnungstreppe. 9. Hauptterre.



Grundriss vom ersten Stock.

1 : 1000.

Legende: 1. Schalterhalle. 2. Briefträger. 3. Kleiderraum der Briefträger. 3. Controle. 4. Kanzlei. 5. Nebenraum. 6. Director. 7. Wartezimmer. 8. Cassa. 9. Matériel.

ist und nur bei schwachen Leitungen bedeutend wird, ist bekannt; einen mathematischen Ausdruck für diesen Einfluss hat kürzlich Professor Forchheimer in Aachen\*) entwickelt und er prüft denselben an einer Anzahl ihm bekannt gewordener Leitungen. Da die Ergebnisse seiner Formel gute Resultate zu liefern scheinen, wollen wir hier kurz auf den Gegenstand eintreten.

Es bedeute:

*t* die Temperatur eines Punktes;

*R* die innere Wärmeleitungsfähigkeit, bezogen auf Meter, Stunde und Kilogramm, d. h. also die Anzahl der Calorien, die durch jeden *m*<sup>2</sup> einer 1 *m* dicken Schicht des Körpers in der Stunde hindurchströmen, wenn der Temperaturunterschied der beiden Begrenzungsflächen 1° C. beträgt;

*α* das Temperaturgefälle, d. h. den Temperaturunterschied zweier benachbarten Flächen, getheilt durch ihren in *m* gemessenen Abstand.

Die in einer Stunde von einer Fläche zur andern übergehende Wärmemenge beträgt dann nach den Wärmeleitungsgesetzen *α k* Calorien.

Es kann sich natürlich nur um die Untersuchung des Beharrungszustandes handeln, d. h. desjenigen Zustandes, in welchem keine weiteren Temperaturänderungen mehr auftreten, die Rohrwandungen gerade so viel Wärme vom Boden z. B. empfangen, als ihnen vom Wasser entzogen wird. Es handelt sich dann darum, einen mathematischen

rategefälle, d. h. proportional der Dichte der Isothermenflächen, wenn man sich dieselben z. B. von Grad zu Grad vorhanden denkt. Die Isothermenflächen sind nach dem Ergebniss der Rechnung in unserm Fall Kreiscylinderflächen; die erste ist die Rohrwand, bei den folgenden liegt mit wachsendem Radius die Axe des Cylinders in immer grösserer Tiefe senkrecht unter der Rohrachse. Die Erdoberfläche wird zur letzten Isothermenfläche mit unendlich grossem Radius, deren Axe in's Unendliche fällt. Wir können hier die Rechnung selbst, welche sich auf diese Wärmevertheilung gründet, nicht darlegen und müssen auf die Quelle verweisen. Wir geben nur die Resultate wieder mit vorhergehender Zeichenerklärung. Es sei

*r* der äussere Leitungshalbmesser,

*r*<sub>1</sub> der innere Leitungshalbmesser,

*b* die Tiefe der Rohrachse unter der Erdoberfläche.

*W* die in der Stunde durch die Leitung fliessende Wassermenge in Litern oder Kilogrammen,

*t*<sub>0</sub> die Temperatur der Bodenoberfläche in ° C,

*t*<sub>a</sub> die Temperatur des Wassers und des Bodens am Rohrumfang im Anfang der Leitung,

*t*<sub>r</sub> die Temperatur des Wassers und des Bodens am Rohrumfang an einer Stelle der Leitung, die um *l* Meter vom Leitungsanfang entfernt liegt.

Dann muss die folgende Beziehung bestehen

$$\ln \cdot \frac{t_0 - t_r}{t_0 - t_a} = \frac{-2 \pi k l}{W \ln \cdot \left( \frac{h}{r} + \sqrt{\frac{h^2}{r^2} - 1} \right)} \dots \dots 1_a)$$

\*) Zeitschrift des Architekten- und Ingenieurvereins zu Hannover 1888.

oder angenähert, wenn  $r$  gegen  $h$  klein ist

$$\ln \frac{t_o - t_r}{t_o - t_a} = \frac{-2\pi kl}{W \ln \frac{2h}{r}} \dots \dots \dots 1b)$$

Werden statt der natürlichen Logarithmen die deca-  
dischen eingeführt, so folgt

$$\log \frac{t_o - t_r}{t_o - t_a} = \frac{-1,185 kl}{W \log \left( \frac{h}{r} + \sqrt{\frac{h^2}{r^2} - 1} \right)} \dots \dots \dots 2a)$$

oder angenähert

$$= \frac{-1,185 kl}{W \log \frac{2h}{r}} \dots \dots \dots 2b)$$

Ist statt der Wassermenge  $W$  deren Geschwindigkeit  
 $v$  in Meter pro Sec. gegeben, so wird

$$\log \frac{t_o - t_r}{t_o - t_a} = \frac{-1,05 kl}{10^7 \cdot r_1^2 \cdot v \log \left( \frac{h}{r} + \sqrt{\frac{h^2}{r^2} - 1} \right)}$$

$$\text{oder nahe} = \frac{-1,05 kl}{10^7 \cdot r_1^2 \cdot v \log \frac{2h}{r}} \dots \dots \dots 3)$$

Diese Formeln setzen nun freilich voraus, dass die  
Temperatur an der Erdoberfläche und in Folge dessen  
auch in der ganzen in Betracht kommenden Erdschicht  
eine gleichmässige sei. Die täglichen Schwankungen der  
Oberflächentemperatur werden ja auch in der That ohne  
Einfluss auf die Temperatur des Wassers in der Leitung  
sein, die jährlichen Schwankungen aber machen sich bis in  
Tiefen von 10—12  $m$  bemerkbar. In obige Formeln muss  
dann angenähert für  $t_o$  die Temperatur der Erde in der  
Tiefe der Leitung gesetzt werden, wie sie ohne Vorhanden-  
sein der Leitung, oder also in sehr grosser Entfernung von  
derselben in der nämlichen Tiefe unter der Oberfläche vor-  
handen wäre. Meistens wird es sich dann weniger um die  
mittlere Jahrestemperatur des Erdbodens handeln, als um  
deren Extreme, weil man die grösste Erwärmung und Ab-  
kühlung des Wassers kennen lernen will. Man kann einen  
angenäherten Werth für die Extreme der Erdtemperatur in  
der Tiefe  $b$  ermitteln, indem man die Schwankung  $\Delta_h$   
derselben nach der Formel von Poisson berechnet:  $\lg \Delta_h =$   
 $A - Bb$ , wo  $A$  und  $B$  Constanten bedeuten für welche Wild  
in Petersburg die folgenden Werthe giebt

Ort	Bodenart	Jahresmittel der Lufttemperatur	A	B
Königsberg	Sand u. Dammerde	—	1,3650	0,1473
"	" " "	7,5 <sup>0</sup>	1,3313	0,1467
Schwerin	" Sand	8,1	1,3402	0,1261
Berlin	" Sand	9,3	1,2114	0,1364
Leipzig	" —	8,5	1,3297	0,1072
"	" —	8,2	1,2766	0,1046
Bonn	Sand	—	1,3798	0,1248
Heidelberg	Thon	9,8	1,3468	0,1239
Schwetzingen	Sand	9,8	1,3498	0,1148
München	Lehm und Kies	7,3	1,1935	0,1433
Pest	Thon	11,0	1,3433	0,2040
Zürich	" —	8,8	1,2174	0,1183
Bern	Aufgeworfene Dammerde	9,1	1,3857	0,1814

Addirt und subtrahirt man die Hälfte von  $\Delta_h$  zu und  
vom Jahresmittel der Bodentemperatur in der Tiefe  $b$ , so  
erhält man die für  $t_a$  in den Formeln einzusetzenden Werthe.  
Die mittlere Jahrestemperatur aber in der Tiefe  $b$  ist me-  
teorologischen Tabellen zu entnehmen; Prof. Forchheimer  
giebt eine Zusammenstellung solcher Werthe. Fehlen aber  
Angaben, so kann man im Durchschnitt für unsere Breiten  
als ungefähre Regel annehmen, dass die Temperatur des  
Bodens bis zu etwa 1  $m$  Tiefe von der Oberfläche aus um

etwa einen halben Grad steigt und von hier aus bis in die  
Tiefe von 7—8  $m$  um einen weitem halben Grad.

Nothwendig ist nun ferner die Kenntniss des Coeffi-  
cienten  $k$  der innern Wärmeleitungsfähigkeit des Erdbodens.  
Die genaue Bestimmung desselben ist nicht leicht, da er  
mit der Trockenheit und Temperatur der Erdschicht schwankt,  
ferner in lockeren Bodenarten (Geröll) geringer ist, als im  
gewachsenen Boden. Aus Beobachtungen ergab sich  $k$  für  
nassen Sand 2,95, für nassen weichen Thon 1,26 und für  
lufttrockenen Thon 0,90. Hat man keine nähern Angaben,  
so wird man also  $k$  etwa gleich 2 setzen unter Berücksichti-  
gung des Umstandes, dass die Leitungsröhren wohl meist in  
feuchtem Boden liegen werden.

Will man die Temperatur irgend eines Punktes  $x, y$   
(bezogen auf die Rohraxe) kennen, so kann man die Gleichung  
benutzen

$$t = \frac{t_r - t_o}{2 \log \left( \frac{h}{r} + \sqrt{\frac{h^2}{r^2} - 1} \right)} \cdot \log \frac{x^2 + (y + \sqrt{h^2 - r^2})^2}{x^2 + (y - \sqrt{h^2 - r^2})^2} + t_o \quad 4a)$$

Für die Horizontalebene, in welcher die Rohraxe liegt, ist  
 $y$  durch  $h$  zu ersetzen, in welchem Fall man angenähert  
setzen kann

$$t = \frac{t_r - t_o}{\log \frac{2h}{r}} \log \sqrt{1 + \frac{4h^2}{x^2}} + t_o \quad 4b)$$

Das allgemeine Ergebniss der aufgestellten Gleichungen lautet  
dahin, dass es auch bei sehr langen Rohrleitungen nicht  
möglich ist, das Wasser irgend erheblich abzukühlen, wenn  
dasselbe in beträchtlichen Mengen durch die Leitung fliesst.  
Der Rohrdurchmesser ist dabei von geringer Bedeutung.  
Nur bei kleinen Strängen und langsam fliessendem Wasser  
sind Temperaturänderungen möglich.

Professor Forchheimer hat seine Formeln auf ver-  
schiedene Beispiele angewandt. Es ist durchaus nicht leicht,  
alle nothwendigen Grössen, die in die Formeln eintreten,  
zu erhalten, da dieselben selten gemessen werden. Einige  
dieser Beispiele mögen hier aufgeführt werden.

Die 2250  $m$  lange Druckleitung zwischen den Quellen  
des Regensburger Wasserwerkes und dem Hochbehälter  
liegt in 2,2  $m$  Tiefe und hat ein Rohr von 0,35  $m$  Durch-  
messer, in welchem sich das Wasser mit einer Geschwindig-  
keit von 0,72  $m$  per Sec. bewegt. Dasselbe tritt mit einer  
Temperatur von 10,75<sup>0</sup> in die Leitung ein und erwärmt sich  
um 0,15—0,17<sup>0</sup> nach der Messung. Die Formeln ergeben  
bei einem Werth von  $t_o = 14,65^0$  und  $k = 2,4$  eine Er-  
wärmung von 0,16<sup>0</sup>.

Ein besseres Beispiel liefert der artesische Brunnen in  
Budapest, welcher durch eine Leitung von 570  $m$  mit dem  
artesischen Bad verbunden ist. Der Boden, in welchem  
die Leitung liegt, ist sandiger Lehm und Ackererde. Fol-  
gendes sind die nöthigen Angaben:  $W = 28\ 200\ l$ ;  $r =$   
0,0845  $m$ ;  $h = 0,82\ m$ ;  $l = 570\ m$ ;  $t_a = 73,88^0$ ;  $t_r =$   
68,75<sup>0</sup>;  $t_o = 12,5^0$ . Durch Einsetzen in Formel 2a) folgt

$$\log \frac{56,25}{61,38} = \frac{-1,185 \cdot k \cdot 570}{28\ 200 \cdot \log 19,36} \text{ oder } k = 2,04.$$

Die gute Uebereinstimmung des berechneten Werthes  
von  $k$  mit dem auf andern Wegen ermittelten lässt rück-  
wärts auf die Verwendbarkeit der Formeln schliessen.

In Budapest tauchte der Plan auf, die Stadt mit den  
Tobiser Quellen zu versehen; leider kommt das Wasser  
mit einer Temperatur von 20<sup>0</sup> zu Tage und es fragt sich  
nun, ob dasselbe auf seinem Weg von 78  $km$  Länge, 3—5  
 $m$  unter der Erde in gemauerten Canälen fliessend sich auf  
c. 15<sup>0</sup> abkühlen werde. Da die mittlere Temperatur des  
Bodens in diesen Gegenden in 4,7  $m$  etwa 11,9<sup>0</sup> und der  
Spielraum noch 2,4<sup>0</sup> beträgt, so wäre  $t_o$  einzuführen als  
13,1<sup>0</sup>. Die Wassermenge wurde vorläufig zu  $W = 5\ 000\ 000\ l$   
in Aussicht genommen. Berechnet man zwei Leitungen von  
1,88  $m$  und 0,94  $m$  innerem Durchmesser und ferner, da  
13,1<sup>0</sup> als Bodentemperatur etwas hoch scheint, auch noch  
mit 11<sup>0</sup> und 10<sup>0</sup>, so erhält man folgende Zusammenstellung:

Länge der Leitung	78 Kilometer		
Bodentemperatur in 4,7 m Tiefe	13,1 <sup>0</sup>	11 <sup>0</sup>	10 <sup>0</sup>
Temperatur des Wassers am Ende einer Leitung von 1,88 m Weite	19,43 <sup>0</sup>	19,26 <sup>0</sup>	19,18 <sup>0</sup>
id. von 0,94 m Weite	19,56 <sup>0</sup>	19,43 <sup>0</sup>	19,37 <sup>0</sup>

Das Wasser würde sich auf diesem langen Weg also nur ganz unwesentlich abkühlen. Wollte man eine grössere Abkühlung erzwingen, so müsste man viel dünnere Leitungen anwenden. Sei die Bodentemperatur 10<sup>0</sup>, diejenige des eintretenden Wassers 16<sup>0</sup> und es soll dieses auf einem Weg von 78 km bei 1 m Strömungsgeschwindigkeit um 4<sup>0</sup> abgekühlt werden, so folgt aus Formel 3)

$$\log \frac{12-10}{16-10} = \frac{-1,05 \cdot 2 \cdot 78 \cdot 000}{10^4 \cdot r_1^2 \cdot \log \frac{10}{r_1}} \text{ oder } r_1 = 0,135 \text{ m,}$$

in welchem Fall die Leitung statt 5 000 000 l pro Stunde nur 3438 l liefern würde.

Die angeführten Beispiele mögen genügen, um die Nützlichkeit und Brauchbarkeit der Formeln darzulegen.

### Patent-Liste.

#### Eintragungen des eidg. Amtes für geistiges Eigenthum.

Zweite Hälfte des Monats April 1889.

- Cl. 20, Nr. 778. 30. März 1889, 3<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Uhr. — Neuerung an Luftbefeuchtungs-Apparaten. — **Lütznern, Maximilian Albert**, Berlin. Vertreter: Cherbuliez, A. M., Genf.
- Cl. 20, Nr. 796. 22. März 1889, 8 Uhr. — Gasheizofen mit centraler Luftheizungsretorte. — **Werdenberg, Eduard**, Fabrikant von Gasheizapparaten, Freiestrasse 90, Basel. Vertreter: Ritter, A., Basel.
- Cl. 22, Nr. 775. 26. März 1889, 3<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Uhr. — Hermetisch verschliessbarer Abtrittverschluss. — **Huber, Paul**, Wattwyl, Ct. St. Gallen.
- Cl. 56, Nr. 794. 21. März 1889, 8 Uhr. — Griesputzmaschine mit ausziehbaren Schubrahmen. — **Haggenmacher, Carl**, Budapest. Vertreter: Imer-Schneider, E., Genf.
- Cl. 77, Nr. 768. 15. April 1889, 8 h. — Entrepôt frigorifique système Schroeder. — **Schroeder, Mathias-Henri**, à Hamburg; **Bürgmann, madame Marie-Caroline**, à Genève, et **Vuy, Ernest-Henri**, à Genève, ayants-cause de feu Jean-Emile Schroeder, de son vivant architecte à Genève, inventeur. Mandataire: Imer-Schneider, E., Genève.
- Cl. 113, Nr. 754. 24. avril 1889, 9<sup>1</sup>/<sub>2</sub> h. — Balle Compound. — **Perrin, P.-H.**, Cortaillod, canton de Neuchâtel. Mandataire: Roy, B., ingénieur, Vevey.
- Cl. 137, Nr. 750. 18. April 1889, 5<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Uhr. — Neuerung in der Vertheilung electrischer Energie. — **Zipernowsky, Carl**, und **Déri, Max**, Ingenieure, Budapest. Vertreter: Imer-Schneider, E., Genf.
- Cl. 140, Nr. 765. 22. April 1889, 8 Uhr. — Automatischer Telegraph, genannt Cassalette- und Kunhardt-Telegraph. — **Cassalette, Eduard**, **Kunhardt, David**, Aachen. Vertreter: v. Waldkirch, Ed., Bern.
- Cl. 155, Nr. 744. 19. März 1889, 8 Uhr. — Hufeisen mit Holzeinlage. — **Kjöbenhavns Hesteskofabrik**, Copenhagen. Vertreter: Imer-Schneider, E., Genf.
- Cl. 157, Nr. 767. 2. April 1889, 3<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Uhr. — Doppelt geschlossener Doppel-Carabinerhaken. — **Fleischhauer, Otto**, Ingenieur, Möckernstrasse 146, Berlin S. W. Vertreter: Blum & Cie., E., Zürich.
- Cl. 177, Nr. 784. 6. avril 1889, 8 h. — Machine à cisailer, poinçonner et étamper. — **Vernaz, A.**, mécanicien, Grande Rive, commune d'Evian. Mandataire: Imer-Schneider, E., Genève.
- Cl. 177, Nr. 787. 22. April 1889, 8 Uhr. — Universal-Metallbearbeitungs-Maschine. — **von Pittler, Wilhelm**, Ingenieur, Gohlis-Leipzig. Vertreter: v. Waldkirch, Ed., Bern.
- Cl. 177, Nr. 797. 22. März 1889, 5 Uhr. — Band- und Handsäge Feilmaschine. — **Frey, Gottfried**, Mechaniker, Freiburg.
- Cl. 194, Nr. 762. 18. April 1889, 8 Uhr. — Dampfkessel mit Motor. — **Eisenwerke Gaggenau**, Actien-Gesellschaft, Gaggenau, Baden. Vertreter: Bourry-Séquin, Zürich. (Schluss folgt.)

### Miscellanea.

**Strahlen electrischer Kraft.** Laut der „Electrotechnischen Zeitschrift“ ist es in neuerer Zeit Herrn Hertz gelungen, dieselben elementaren Versuche, welche man mit dem Lichte und der strahlenden Wärme anzustellen pflegt, auch mit Strahlen electrischer Kraft auszu-

führen, und zwar hat er dies unter Benutzung von Hohlspiegeln in Gestalt parabolischer Cylinder dadurch erreicht, dass er sich bei seinen Versuchen electrischer Wellen bediente, die mehr als zehnmal kürzer waren, als die zuerst aufgefundenen.

Der primäre Leiter bestand aus zwei 13 cm langen Messingcylindern von 3 cm Durchmesser, deren Axen eine gerade Linie bildeten, und die an den aneinander zugekehrten Enden durch Kugelflächen von 2 cm Radius geschlossen waren. Den letzteren wurden die Entladungen eines kleinen, durch drei Accumulatoren getriebenen Funkengebers zugeführt, wobei die zwischen den Kugeln gelegene Funkenstrecke eine Länge von 3 mm besass. Der primäre Leiter wurde so aufgestellt, dass die Funkenstrecke in die Mitte der Brennlinie eines grossen, aus Zinkblech verfertigten Spiegels von der oben genannten Form mit 12,5 cm Brennweite zu liegen kam. Das Inductorium und die Elemente befanden sich hinter dem Spiegel und die Zuleitungsdrähte durchsetzten denselben.

Der Nachweis der electrischen Kräfte im Raume geschah mittels der feinen Funken, welche dieselben in einem secundären Leiter hervorrufen. Als solcher diente häufig ein kreisförmiger Leiter von 7,5 cm Durchmesser aus 1 mm dickem Kupferdraht, dessen Schwingungsdauer ungefähr gleich derjenigen des primären Leiters war und dessen Enden durch eine kleine Messingkugel, beziehungsweise eine feine, mit Hülfe einer Schraube verstellbare Spitze gebildet wurden. Wenn jedoch der secundäre Leiter selbst der concentrirenden Wirkung des Hohlspiegels ausgesetzt werden sollte, so besass er eine andere Gestalt. Er bestand alsdann aus zwei 50 cm langen, 5 mm dicken Drahtstücken, die in derselben Geraden lagen, und von deren einander zugekehrten, 5 cm von einander entfernten Enden aus zwei 15 cm lange, 1 mm starke Parallele und zu den erstgenannten Drähten senkrechte Drähte nach einer ähnlich wie beim kreisförmigen Leiter eingerichteten Funkenstrecke gingen.

Mittels des secundären Leiters liess sich feststellen, dass hinter dem Spiegel, sowie seitwärts von demselben keine Wirkung ausgeübt wurde, dass dagegen in der Richtung der optischen Axe bis zu Abständen von 5 bis 6 m Funken hervorgebracht wurden. Stellte man den fortschreitenden Wellen senkrecht zu ihrer Richtung eine ebene, leitende Wand entgegen, so ergaben sich Wirkungen bis auf 9 bis 10 m. Es entstanden durch Reflexion an der Wand stehende Wellen, deren Knotenpunkte in der Nähe der Wand nachweisbar waren. Auf diese Weise wurde die halbe Länge der benutzten Stellen zu 33 cm ermittelt; ihre Schwingungsdauer betrug 1,1 Tausendmilliontel einer Secunde, falls man ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit gleich der Lichtgeschwindigkeit voraussetzt.

Unter Anwendung eines zweiten, dem ersten genau gleichen Hohlspiegels, in dessen Brennlinie die beiden langen Drahtstücke des secundären Leiters so gebracht wurden, dass die beiden zur Funkenstrecke führenden Drähte den Spiegel durchsetzten, dass also die Funkenstrecke selbst hinter dem Spiegel lag, liess sich die Wirkung auf noch grössere Entfernungen hin (bis zu 16 m) verfolgen. Für die meisten Versuche war indess eine Entfernung von 5 bis 6 m die vortheilhafteste.

Mit Hülfe dieser Vorrichtungen hat nun Herr Hertz eine grosse Reihe interessanter Versuche angestellt, von denen hier einige angeführt werden sollen.

Zunächst hat er die geradelinige Ausbreitung der Strahlen electrischer Kraft bewiesen. Stellte er nämlich in die gerade Verbindungslinie der Spiegel senkrecht zur Strahlrichtung einen grossen Schirm aus Zinkblech, Staniol oder Goldpapier, oder trat eine Person in jene Verbindungslinie, so erloschen die secundären Funken, während Isolatoren den Strahl nicht aufhielten. Eine geometrisch scharfe Grenze besitzen der Strahl und der Schatten nicht; es lassen sich leicht Erscheinungen hervorbringen, die einer Beugung entsprechen.

Weiter wurde dargethan, dass der Strahl durch Transversalschwingungen gebildet wird und im Sinne der Optik geradlinig polarisirt ist. Dreht man den empfangenden Spiegel um den Strahl als Axe, bis die Brennlinie (und der secundäre Leiter) in die horizontale Lage gekommen sind, so verschwinden allmählich die secundären Funken und hören bei der rechtwinklig gekreuzten Lage der Brennlinien ganz auf. Es verhalten sich die Spiegel wie Polarisator und Analysator eines Polarisationsapparates.

Wurde ferner ein grosser, achteckiger, mit parallelen und 3 cm von einander abstehenden Kupferdrähten von 1 mm Dicke bespannter Holzrahmen senkrecht zum Strahl zwischen die Spiegel gebracht, während deren Brennlinien parallel sind, so beeinträchtigte der Rahmen die secundären Funken so gut wie gar nicht, wenn die Richtungen der Drähte und der Brennlinien einander senkrecht kreuzten; er fing aber den Strahl