

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 17/18 (1891)
Heft: 10

Artikel: Ueber die Entwicklung und den gegenwärtigen Stand der electrischen Energieübertragung mittelst hochgespannter Ströme
Autor: Denzler, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-86097>

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: 03.04.2026

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

INHALT: Ueber die Entwicklung und den gegenwärtigen Stand der electricischen Energieübertragung mittelst hochgespannter Ströme. — Miscellanea: Versuche über die Ausscheidung des Eisens aus eisenhaltigem Grundwasser. Gotthardhahn. Krönungsdom in Pressburg. Licht- und Wasserwerke in Zürich. Die Adresse an Oberbaurath Schwedler.

— Concurrerenzen: Museum in Rostock. Bebauungsplan in Stuttgart. Kirchhofs-Capelle in Charlottenburg. — Nekrologie: † Hans Wolff. — Berichtigung. — Vereinsnachrichten: Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. — Bernischer Ingenieur- und Architekten-Verein. — Stellenvermittlung.

Ueber die Entwicklung und den gegenwärtigen Stand der electricischen Energieübertragung mittelst hochgespannter Ströme.

Von Dr. A. Denzler, Ingenieur,
Privatdocent für Electrotechnik am eidg. Polytechnikum.

Durch die im Januar d. J. von der *Maschinenfabrik Oerlikon* angestellten Versuche mit hochgespannten Strömen*) sind eine Reihe wichtiger Fragen hinsichtlich der electricischen Energieübertragung entweder endgültig entschieden oder doch einer Entscheidung näher gebracht worden. Insbesondere wurde damit endlich ein Weg gezeigt, auf dem zu erwarten ist, Uebertragungen auch auf solche Distanzen rationell ausführen zu können, wie sie bereits die Pioniere auf diesem Gebiet, *Marcel Deprez* und *Gaulard & Gibbs* mit unzulänglichen primitiven Mitteln zu bewältigen versuchten; gleichzeitig fand auch der seit Jahren schwebende Streit seinen Austrag, ob sich Wechselstrom oder Gleichstrom besser zur Verwendung hoher Spannungen eignet.

Bekanntlich führten im Jahre 1884, d. h. zwei Jahre nachdem Deprez an der Ausstellung in München von Miesbach her einen Krafttransport auf eine Distanz von 57 km eingerichtet hatte, *Gaulard & Gibbs* eine electricische Uebertragung aus zwischen dem Turiner Ausstellungsgebäude und dem 40 km entfernten Städtchen Lanzo**). Deprez wandte Gleichstrommaschinen an, während *Gaulard & Gibbs* hier zum ersten Male im Grossen zeigten, in welcher Weise sich die werthvollen Eigenschaften der Wechselströme ausnützen lassen. Die Ergebnisse der Versuche waren nicht entscheidend, ja man sprach ihnen vieler Orts überhaupt jede practische Bedeutung ab, weil man zur Beurtheilung dieser letztern nur den erzielten mechanischen Nutzeffect als Masstab anwandte. Diese irrthümliche Auffassung hat sich leider auch heute noch vielfach erhalten, so dass nicht genug darauf hingewiesen werden kann, dass der fundamentale und unvergängliche Werth jener Versuche darin liegt, zum ersten Male und nach zwei wesentlich verschiedenen Methoden den experimentellen Beweis erbracht zu haben, dass die Technik in der Electricität ein Mittel besitze, um Energie auf beinahe unbeschränkte Distanzen zu übertragen.

Man hat um so weniger Veranlassung, sich über jene Leistungen ein abschätziges Urtheil zu erlauben, als nicht in Abrede gestellt werden kann, dass es trotz der grossen Fortschritte der Electrotechnik bis in die neueste Zeit nicht gelungen ist, auf Uebertragungsdistanzen von 50 und mehr Kilometern bessere Resultate zu erzielen, als sie Deprez erhielt. Deprez war sich von Anfang an darüber klar, dass die Ueberwindung solcher Entfernungen an die Bedingung gebunden ist, Spannungen von der Ordnung 5000—6000 Volts zu verwenden, und dass ein allgemeiner durchschlagender Erfolg der electricischen Energieübertragung nur dann gedenkbar sei, wenn es möglich werde, dieselben auf solch grosse Distanzen auszudehnen. Desshalb concentrirte er auch lange Zeit seine Anstrengungen auf die Erreichung dieses einen Ziels; seine bezüglichen Versuche fanden gewissermassen in der zwischen Creil und Paris auf 56 km Distanz ausgeführten Krafttransmission einen Abschluss, der allerdings nicht als Lösung des Problems betrachtet werden darf; Deprez hatte, indem er bereits im Jahre 1886 Spannungen von 6000 Volts im normalen Betrieb anwenden wollte, die sich daran knüpfenden constructiven Schwierigkeiten unterschätzt und die Leistungsfähigkeit, das mechanische Können der

damaligen electricischen Maschinenteknik umgekehrt viel zu hoch angeschlagen, so dass nach unserer heutigen Erkenntniss der Dinge ein Misserfolg unausweichlich war. Die nämlichen Schwierigkeiten waren es aber auch, welche später die Erfüllung der allzu sanguinischen Hoffnungen verunmöglichte, die man in technischen Kreisen z. B. auf die bei der Kraftübertragung zwischen Kriegstetten und Solothurn erhaltenen Resultate baute. Der Schluss, wenn es möglich sei, auf 10 km eine Uebertragung mit hohem Nutzeffect auszuführen, so sei damit auch der Weg gezeigt, auf welchem mit dem selben Erfolge noch längere Linien betrieben werden können, erwies sich als unrichtig; die Erfahrung zeigt vielmehr, dass bis in die neueste Zeit hinein electricische Uebertragungen auf mehr als 10—12 km Distanz nur ganz vereinzelt auftreten; in Europa bildete bis jetzt die Entfernung von 14 km, wie sie bei der von Ganz & Cie. zwischen Béconne und Valréas im südlichen Frankreich erstellten Wechselstromanlage vorkommt, wol die obere Grenze; in Nord-Amerika ist die grösste bis jetzt betriebene Strecke 18 engl. Meilen = 29 km; dieselbe wurde bei einer von der Sprague Electric Motor Cie. in Big Bend, einem californischen Minendistrict erstellten Kraftvertheilungsanlage angewandt.

Aus dieser Thatsache darf nun aber durchaus nicht gefolgert werden, dass kein Bedürfniss vorhanden sei, Energieübertragungen auf grössere Distanzen, wie sie von Deprez angestrebt wurden, auszuführen, sondern sie ist umgekehrt als Beweis dafür anzusehen, dass es mit den bisherigen Mitteln noch nicht möglich war, derartige Installationen in wirtschaftlicher Weise anzulegen und zu betreiben und zwar lediglich deshalb nicht, weil die Erzeugung und die Anwendung genügend hochgespannter Ströme immer noch ein unüberwundenes Hinderniss bildete. Es mag daher am Platze sein, hier etwas näher auf die Geschichte des Baues von Hochspannungsdynamos einzutreten.

Das Verdienst, auf diesem Gebiete Bahn gebrochen zu haben, gebührt unbedingt den Amerikanern, vorab den *Brush & Thomson-Houston* Gesellschaften, welche schon sehr frühe dazu kamen, Spannungen bis zu 3000 Volts anzuwenden, sei es, dass sie kleinere Maschineneinheiten hinter einander schalteten, sei es, dass sie ihre 40-, 50- und 60-Serienlampen-Maschinen direct für Spannungen von 2000, 2500 bis 3000 Volts wickelten, während die europäischen Electriciker lange Zeit an dem Dogma festhielten: es sei unthunlich, über „24 Lichtermaschinen“, d. h. über Spannungen von 1200 Volts hinauszugehen. Sie hatten von ihrem Standpunkte aus Recht; die leitenden Ideen, von denen ausgehend die amerikanischen Ingenieure ihre ersten Dynamomaschinen construirten, wichen eben wesentlich von denjenigen ab, zu welchen sich die meisten Physiker und Electriciker der alten Welt bekannten. Die ersteren suchten auf Kosten des Nutzeffectes hohe Spannungen zu erzeugen und gleichzeitig eine grösstmögliche Betriebssicherheit zu erreichen; beides bedingte die Anwendung einfachster, mechanisch leicht ausführbarer Constructionen, wie wir sie bereits in den ältesten Modellen der Brush-Maschinen finden.

In Europa legte man umgekehrt das Hauptgewicht mehr auf einen hohen Nutzeffect und opferte dafür die Möglichkeit der Erzeugung hoher Spannungen, ja sehr häufig auch noch die Betriebssicherheit. Der Ring einer Brushmaschine lässt sich in Folge seiner einfachen Form mit geringen Schwierigkeiten für Spannungen bis zu 2500 Volts wickeln, was bei den complicirten Wickelungen der ersten Trommelarmaturen und den subtilen Constructionen der viellamelligen Collectoren gänzlich ausgeschlossen war. Man gelangte bei uns erst vor wenigen Jahren dazu, Gleichstrommaschinen mit 1500 Volts Klemmspannung zu bauen, dafür allerdings mit bedeutend höherem Nutzeffect, als er mit ent-

*) Siehe bezügliche Referate in „Schweiz. Bauzeitung“ Nr. 5 vom 31. I. 91, „Electrotechnischer Anzeiger“ Nr. 11, 12, 13 vom 5., 8., 12 II. 91, „Electrotechnische Zeitschrift“ Nr. 6 vom 6. II. 91.

**) Vide Bd. II S. 149, Bd. III S. 5 und Bd. IV S. 132 d. Z.

sprechenden amerikanischen Maschinen erhältlich ist. Seither ist man langsam aufwärts gegangen und schaltete zunächst zwei Maschinen von je 1000 Volts und später zwei solche von je 1500 Volts hintereinander.

Zur Zeit dürfte wol das in Gleichstromanlagen erreichte Maximum der Betriebsspannung 4000 Volts betragen; es ist dies verwirklicht in einer von der Firma *Cubnod Sautter & Cie.* in Genf bei Oyonnax (Ain) ausgeführten Uebertragung von 250 HP. auf 7,5 km Distanz; jede der zwei in Serie geschalteten Primärmaschinen arbeitet mit 2000 Volts, ohne dass während der nunmehr einjährigen Betriebsdauer Störungen vorgekommen sein sollen.

Wie man sieht, bleibt man immer noch um 2000 Volts unter der Spannung, die Deprez zwischen Creil und Paris anwandte, in der Absicht, bei 56 km Uebertragungsdistanz 50% Nutzeffect zu erhalten.

Viel rascher entwickelten sich die Verhältnisse bei der Energieübertragung mittelst Wechselstrom; denn Wechselstrommaschinen eignen sich vermöge ihrer einfachen Construction viel besser zur Erzeugung hoher Spannungen. Als die Firma *Ganz & Cie.* Anfangs des Jahres 1885 mit ihrem Wechselstromvertheilungssystem mittelst parallel geschalteter Transformatoren an die Oeffentlichkeit trat, offerirte sie bereits Maschinen mit 3300 Volts Primärspannung; in Nord-Amerika wandte bald darauf die *Heissler Electric Cie.* Maschinen mit Spannungen von 4000 Volts an. Im Jahr 1889 baute *Z. de Ferranti* für seine Centrale in Deptford bei London sogar Maschinen für 10000 Volts; doch erklärte Ferranti diese Spannung als die obere zulässige Grenze für directen Maschinenbetrieb, wenn nicht bei gleichbleibender Betriebssicherheit der Nutzeffect sehr rasch abnehmen soll. Die Construction dieser Maschinen hat bereits sehr grosse technische Schwierigkeiten und machte ungewöhnlich grosse Entfernungen zwischen Armatur und Feldmagneten nöthig, um ein continuirliches Ueberspringen von Funken zu verhindern; die mit Schwefel isolirten Transformatoren dagegen, welche jene Spannung wieder auf niedere Werthe zu reduciren hatten, arbeiteten noch ganz normal und wiesen auf die Verwendbarkeit von noch höheren Spannungen hin. Um nun diesen Vortheil ausnützen zu können, ohne auf Hochspannungsmaschinen angewiesen zu sein, wandte die *Maschinenfabrik Oerlikon* ein neues, scheinbar ungemein nahe liegendes Mittel an, durch welches die Hauptschwierigkeiten bei der Erzeugung hoher Spannungen mit einem Schlage beseitigt wurden. Nachdem einmal constatirt war, dass mit Hülfe eines Transformators Spannungen von 10000 Volts wieder beliebig zurücktransformirt werden können, so durfte mit derselben Sicherheit angenommen werden, dass auch umgekehrt ein Strom von 100 Volts Spannung sich durch einen Transformator in einen solchen von 10000 Volts umwandeln lässt. Man vermeidet also die Schwierigkeiten damit, dass man die hohen Spannungen nicht mehr in einer Maschine, sondern in einem Transformator erzeugt, womit zugleich das Mittel gegeben ist, beinahe unbeschränkt hohe Potentialdifferenzen hervorzubringen. Die Vermuthung, dass durch diese Zwischentransformation der Nutzeffect der Uebertragung zu sehr reducirt werde, stellt sich desswegen als unbegründet heraus, weil Wechselstrommaschinen für nur 100 Volts Spannung ebenso gut mit 90% commerciellen Nutzeffect construirt werden können, wie eine Gleichstrommaschine von gleicher Nutzleistung und Polspannung; auch im Transformator werden bei voller Belastung nicht mehr als 5% der eingeführten Energie verloren gehen, so dass der Nutzeffect der ganzen Combination noch $90 \times 95 = 85,5\%$ beträgt, wogegen es niemals möglich sein wird, in rationaler Weise eine Wechselstrommaschine für 10000 oder gar 20000 Volts mit dem gleichen Nutzeffect zu bauen.

Die Möglichkeit, mit Transformatoren sicher hohe Spannungen erzeugen zu können, liegt in dem Umstand, dass sich diese unvergleichlichen Energie-Umsetzungsapparate wegen ihrer einfachen Form ohne wesentliche Nachtheile auf ihren Wirkungsgrad mit Leichtigkeit so vollkommen isoliren lassen, wie es zur Verminderung der sofort zu besprechenden Gefahr der Funkenbildung erforderlich ist.

Die Physik unterscheidet bekanntlich Substanzen, welche die Electricität gut, schlecht oder gar nicht leiten; sie bezeichnet z. B. trockene Luft, als vollkommenes Dielectricum, als besten Isolator. Der Begriff eines vollkommenen Isolators ist zulässig, so lange es sich nur um kleinere Potentialdifferenzen handelt; hat man es dagegen mit hohen Spannungen zu thun, so zeigt sich, dass es keine Substanzen mehr gibt, welche im Stande sind, den Durchgang des electrischen Fluidum zu verhindern, sobald die Dicke der isolirenden Schicht unter einen von der Potentialdifferenz an ihren Grenzflächen abhängigen Werth heruntergeht. In diesem Moment tritt ein directer Ausgleich der Spannung durch Funkenbildung ein.

Transformatoren der Maschinenfabrik Oerlikon für hochgespannte Ströme (System C. E. L. Brown).

Fig. 1. Verticallschnitt nach der Längsachse. Fig. 2. Verticallschnitt nach der Querachse.

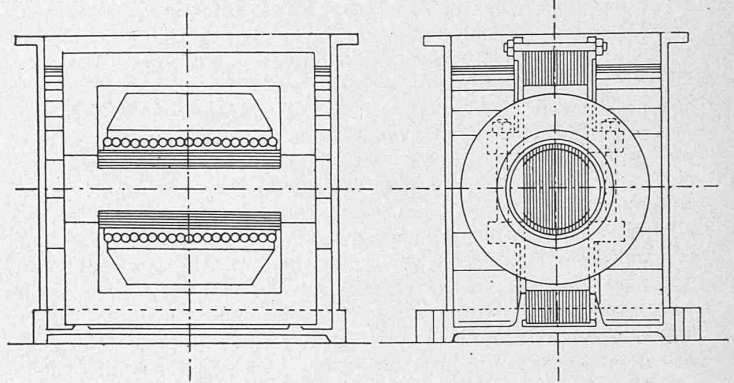
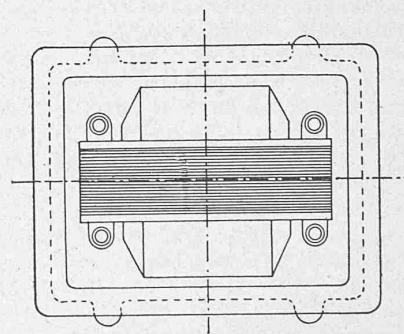


Fig. 3. Horizontalansicht.



Der entstehende Funke vermag bei genügend hoher Spannungsdifferenz alle in seinen Weg gebrachten Körper zu durchschlagen; die Gesetze, nach denen er dies thut sind sehr complicirter Natur und noch wenig erforscht, so weit es sich um die für die practische Electrotechnik wichtigen Punkte handelt; man ist zur Entscheidung der meisten einschlägigen Fragen auf das Experiment angewiesen; dieses zeigte z. B., dass trockene Luft bei einer kleinern Potentialdifferenz durchschlagen wird als etwa eine Schicht Schwefel von gleicher Dicke oder eine Schicht gewisser Oele, trotzdem der specifice Isolationswiderstand des Oels klein ist im Vergleich zu Luft oder Schwefel; die Reihe der nach ihrem Isolationsvermögen gegen continuirliche Entladung geordneten Körper ist also nicht identisch mit derjenigen hinsichtlich der Funkenentladung. Bedenkt man nun, dass der Funke zwischen zwei in freier Luft in einer Entfernung von 18 mm sich gegenüberstehenden Drähten bereits überspringt bei einer Spannung von 15000 Volts, so erkennt man sofort, dass keine Hoffnung vorhanden ist, jemals Gleichstrommaschinen herzustellen, deren Armatur gegen derartige Spannungen genügend isolirbar wäre, wenn man nicht auf Entfernungen bis 7 cm zwischen Armaturkern und Polstücken kommen will; Entrefers von solcher Grösse sind aber wegen des verschwindend kleinen Nutzeffectes, den sie bedingen würden, ganz unanwendbar; bei Wechselstrommaschinen sind die constructiven Schwierigkeiten für gute Isolirung kleiner als

bei Gleichstrommaschinen; doch bewirken sie auch hier eine rapide Verminderung des Wirkungsgrades oder eine Erhöhung der Herstellungskosten für gleiche Nutzleistung der Maschinen.

Bei einem Transformator liegen dagegen die Verhältnisse viel günstiger. Die Aufgabe besteht hier darin, die in dem Verticalschnitt, Figur 2 durch kleine Kreise dargestellten primären Drahtwindungen einerseits von den in der trapezförmigen Fläche auch ringförmig angeordneten Windungen des dünnen oder secundären Drahtes und gleichzeitig beide von dem aus **L**- und **T**-förmigen Eisenblechlamellen, siehe Horizontalansicht, Figur 3, hergestellten Transformatorenkern zu isoliren; hiebei ist es ohne grossen Einfluss auf den Wirkungsgrad, ob die Entfernung zwischen Kern und Drahtwindungen 1, 2 oder 3 cm beträgt; man braucht also auf erstern einfach eine Isolirschiicht von hinreichender Dicke aufzubringen, sodann den dicken Draht aufzuwickeln, diesen wieder durch eine passende isolirende Einlage von den secundären Windungen zu trennen und den Luftraum zwischen letzteren und den oberen und unteren Eisenlamellen genügend gross zu lassen, um einen Transformator zu erhalten, in dem beliebig hohe electromotorische Kräfte entwickelt werden können. Ganz so einfach verhält sich jedoch die Sache in Wirklichkeit nicht. Sowie man über 10,000 Volts hinauf geht, kommt es darauf an, ein absolut homogenes unveränderliches Isolirmaterial zu haben. Wollte man z. B. Papierstreifen bis zu 3 cm Dicke aufwickeln, so würde man risquieren, dass der Funke dennoch durchginge, wenn etwa in den Distanzen 1 cm und 2 cm zufällig kleine leitende Partikelchen in dem Papier eingelagert sein sollten; der Funke würde dann unter Umständen zunächst auf diese Punkte überspringen und sich ihrer gewissermaassen als Brücke zur Ueberschreitung der ganzen 3 cm Weglänge bedienen. Die Erfahrung hat nun ergeben, dass von allen Isolirsubstanzen, die in Frage kommen können, sich Oel am besten dazu eignen, absolut homogene, nicht leitende Schichten herzustellen, und dieses Mittel ist denn auch von der Maschinenfabrik Oerlikon mit Erfolg dazu angewendet worden, Transformatoren selbst für Spannungen von 40000 Volts hinreichend sicher zu isoliren; zu diesem Behufe wird, wie es die Verticalschnitte Fig. 1 u. 2 zeigen, der ganze Transformator in ein Oelbad eingetaucht, so dass alle zwischen Windungen und Kern ausgesparten Räume von der isolirenden Flüssigkeit ausgefüllt werden. Brookes hat die Anwendung von Oel ebenfalls mit gutem Resultat bei der Herstellung von Leitungen für hochgespannte Ströme erprobt.

(Schluss folgt.)

Miscellanea.

Versuche über die Ausscheidung des Eisens aus eisenhaltigem Grundwasser. Das Grundwasser, welchem von der wissenschaftlichen Hygiene dem Oberflächenwasser gegenüber der Vorzug zuerkannt wird, dass es sich „keimfrei“ gewinnen lässt, ist oft durch einen so erheblichen Eisengehalt verunreinigt, dass es für den häuslichen Bedarf unbrauchbar wird. Das im frisch geförderten Wasser unsichtbare, weil gelöste kohlen- oder phosphorsaure Eisenoxydul verwandelt sich bei der Berührung mit Luft in das unlösliche Eisenoxyd und scheidet sich als gelbes oder braunes Pulver aus, das Wasser gelb färbend. Es hat bis jetzt an einem einfachen Mittel gefehlt, um solches Wasser in grossen Mengen vom Eisen zu befreien; man hat daher manchenorts Quellenversorgungen aufgeben und auf mehr oder weniger umständliche Weise Oberflächenwasser reinigen müssen, ohne ein ebenso keimfreies Trinkwasser zu gewinnen, wie es das erstere gewesen wäre. Nach einem Vortrage des Herrn G. Oesten im Verein deutscher Ingenieure in Berlin ist es nun gelungen, eine Methode ausfindig zu machen, welche erlaubt, eisenhaltiges Wasser in einfacher Weise zu reinigen, d. h. vom grössten Theil des in demselben enthaltenen Eisens zu befreien. Derselbe hat sich schon vor vier Jahren mit der Frage beschäftigt; seine Versuche sind dann vom hygieinischen Institut unter Oberleitung von Geheimrath Dr. Koch aufgenommen und zu einem vorläufigen Abschluss gebracht worden. Herr Oesten ging vom Gedanken aus, dass das eisenhaltige Wasser in fein zertheiltem Zustand mit Luft von hohem Druck in Berührung gebracht werden müsse, um das gelöste Eisen möglichst rasch

zu oxydiren. Er liess ersteres daher in einen geschlossenen Raum austreten, in welchem die Luft auf 8 Atm. verdichtet war. Die Oxydation ging in der That sofort vor sich, in zwei Minuten war das Wasser gelb gefärbt. Aber das nämliche Ergebniss wurde erzielt, als der Druck der Luft allmählig auf zwei und auf eine Atm. erniedrigt wurde.

Die Versuche des hygieinischen Instituts verfolgten in erster Linie wieder den nämlichen Gedanken. Sie wurden ausgeführt auf einem Grundstück der Berliner Frauenklinik an einem des Eisengehaltes wegen aufgegebenen Wasserwerk. Von der Speisewasserleitung der vorhandenen Dampfmaschine wurde ein Rohr abgeleitet, durch welches das Versuchswasser in einen aufrechtstehenden mit Manometer und Wasserstandsglas versehenen, geschlossenen Lüftungscylinder von 15 cm Durchmesser trat. In diesem fiel es als feiner Regen nieder, einem Luftstrom entgegen der durch ein Windgebläse von unten her in den Cylinder eingepresst wurde und denselben im obern Theil wieder verliess. Unten trat das niedergeschlagene Wasser durch eine kurze Rohrleitung in einen gemauerten Wasserbehälter mit Filterschiicht und nach Durchströmung dieser Schicht in einen daneben liegenden Reinwasserbehälter. Der Höhenunterschied in den beiden Behältern mass den Druckverlust für den Uebergang des Wassers durch die Filterschiicht. Diese selbst war gebildet aus reinen Kieskörnern von 2 mm Durchmesser im Mittel, indem dieselben ein Sieb von 2¹/₂ mm Maschenweite passirt hatten, auf einem solchen von 1¹/₂ mm aber liegen geblieben waren. Die Oberfläche der Filterschiicht betrug 1 m².

Die Versuche wurden derart eingerichtet, dass in der Stunde 1000 l Wasser in den Durchlüftungsraum eingepresst wurden, während durch entsprechende Stellung der Lufthähne der Druck der gegenströmenden Luft auf 1 Atm. erhalten wurde. Die Geschwindigkeit, mit welcher das Sandfilter durchflossen wurde, betrug 1 m in der Stunde, also etwa das Zehnfache des in städtischen Anlagen gebräuchlichen und dennoch war der Filterwiderstand unmessbar. Aus dem Inhalt von Lüftungsraum und Wasserbehälter berechnet sich die Aufenthaltszeit des Wassers im erstern zu 1,27, im letztern zu 34 Minuten, so dass der ganze Reinigungsprocess 35,27 Minuten in Anspruch nahm. Das Wasser nahm beim Durchgang durch die höher gespannte Luft soviel davon auf, dass es im Filterraum in Folge der sich ausscheidenden Luftbläschen milchig getrübt erschien; auch im Sand setzten sich eine Menge Luftbläschen an. Da das Ergebniss trotz des jetzt auf 1 Atm. verminderten Luftüberdruckes ein befriedigendes war, wurde derselbe weiter auf ²/₁₀ Atm. heruntersetzt. Das zufließende Wasser hatte einen Gehalt von 2,43 mg Eisen, das filtrirte nur mehr einen solchen von 0,27 mg pro Liter. Diese geringe Eisenmenge blieb zudem auch bei wochenlangem Stehen an freier Luft im Wasser gelöst, es bildete sich keine Trübung und kein Niederschlag mehr, sie konnte also nicht mehr als Verunreinigung, weder für die Leitungen noch für den Gebrauch betrachtet werden. Der Filterwiderstand war nach fünftägig fortgesetztem Versuch auf ein cm angewachsen.

Das vollständige Gelingen der Reinigung auch bei nur ²/₁₀ Atm. Ueberdruck im Lüftungscylinder wies endlich auf das noch viel einfachere und auch im Grossen ohne erhebliche Kosten anwendbare Verfahren hin, das Wasser nur in freier Luft als Regen unmittelbar in das Filtergefäss fallen zu lassen, in der Erwartung, dass sich dasselbe auch jetzt genügend mit Sauerstoff sättigen würde, um das gelöste Eisen zu oxydiren. Es wurde eine in der Höhe verstellbare Brause über dem Filterraume hergestellt, aus welcher das Wasser als fein vertheilter Regen verschiedenen hohe Luftschichten durchfallen konnte. Der Grad der Reinigung zeigte sich unmittelbar abhängig von der Höhe der Brause über dem Wasserspiegel, aber leider lässt sich das Abhängigkeitsgesetz aus den Versuchsergebnissen nicht rein herauslesen, weil auch bei einem Eintauchen der Brause in das Wasser des Filtergefässes selbst sich noch eine Abnahme des Eisengehaltes von 2,1 mg auf 1,22 mg zeigte, Folge des Umstandes dass die Pumpe durch eine undichte Stopfbüchse etwas Luft ansog und das Wasser auch im Windkessel und in der Filterschiicht, in welcher sich, wie erwähnt, eine Menge Luftblasen angesetzt hatten, mit Luft in Berührung kam. Immerhin bleibt die folgende Zusammenstellung sehr belehrend.

Stand der Brause	Eisengehalt des zufließenden Wassers	Eisengehalt des filtrirten Wassers
Unter dem Wasserspiegel	2,10 mg	1,22 mg
5 cm über „	2,19 „	0,75 „
10 „ „ „	2,19 „	0,55 „
20 „ „ „	2,21 „	0,36 „
50 „ „ „	2,21 „	0,27 „
1 m „ „ „	2,19 „	0,25 „
2 „ „ „	2,19 „	0,21 „