

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 26 (1935)
Heft: 8

Artikel: Nicht feuergefährliche Isolierflüssigkeiten
Autor: Bölsterli, Arthur A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060301>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 03.04.2025

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

BULLETIN

REDAKTION:

Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechn. Vereins und des Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, Zürich 8, Seefeldstr. 301

VERLAG UND ADMINISTRATION:

A.-G. Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei, Zürich 4
Stauffacherquai 36/40

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXVI. Jahrgang

N^o 8

Mittwoch, 10. April 1935

Nicht feuergefährliche Isolierflüssigkeiten.

Von Arthur A. Bölsterli, Hamden, Conn., USA.

621.315.615.9

In Amerika finden neue flüssige Isolierstoffe, die unter den Namen Pyranol, Inerteen u. a. gehandelt werden und nicht brennbar sind, bereits weitgehende Anwendung als Ersatz für Mineralöl in Transformatoren, Kondensatoren usw. Sie zeichnen sich durch hohe elektrische Festigkeit, hohe Dielektrizitätskonstante und geringen Verlustwinkel aus. Ihre Verwendung ergibt gegenüber der Verwendung von Mineralöl ganz beträchtliche Material- und Raumersparnis. Beispielsweise ist die Leistung ein und desselben Kondensators 60 % grösser, wenn er mit diesem neuen Isolieröl statt mit gewöhnlichem Mineralöl gefüllt wird. Im folgenden werden Herstellung und wichtigste Eigenschaften dieser Stoffe beschrieben.

En Amérique, on utilise déjà assez largement de nouveaux isolants liquides à la place de l'huile minérale pour les transformateurs, les condensateurs, etc. Ces isolants incombustibles, qui se vendent sous la désignation de Pyranol, Inerteen, etc., possèdent une grande rigidité diélectrique, une constante diélectrique élevée et un angle de perte très faible. Leur utilisation permet de réaliser des économies sensibles de matériel et de volume par rapport aux huiles minérales. La puissance d'un condensateur, par exemple, augmente de 60 % lorsqu'on se sert de ce nouvel isolant au lieu d'huile minérale ordinaire. L'article ci-dessous traite de la fabrication et des principales propriétés de ces nouvelles matières.

Die Bestrebungen, die gebräuchlichen Isolieröle durch einen nicht feuergefährlichen Stoff zu ersetzen, führten in jüngster Zeit in den Vereinigten Staaten zu beachtenswerten Erfolgen. Es handelt sich um chlorierte aromatische Kohlenwasserstoffe, die im Bereich der Arbeitstemperaturen flüssig sind und deren Zähigkeit und Stockpunkt durch passende Mischverhältnisse innerhalb gewisser Grenzen wählbar sind. Das charakteristische Merkmal ist die Anwesenheit von chemisch gebundenem Chlor in solcher Menge, dass mindestens das chemische Äquivalent des im Molekül gebundenen Wasserstoffs vorhanden ist. Unter dieser Bedingung sind die Gase und Dämpfe, die bei der thermischen Zersetzung, z. B. durch den elektrischen Bogen, entstehen, weder brennbar noch explosionsgefährlich.

Diese wichtige Eigenschaft wäre belanglos, wenn sich die neuen Stoffe nicht gleichzeitig durch eine relativ hohe elektrische Festigkeit, hohe Dielektrizitätskonstante sowie geringen Verlustwinkel auszeichneten. Da sie diese Eigenschaften besitzen, sind sie zu Isolierzwecken, und ganz besonders als Imprägnierungsmittel in statischen Kondensatoren, ausserordentlich vorteilhaft¹⁾. Zu diesem Zwecke werden sie heute in den Vereinigten Staaten von zwei führenden Firmen unter Ausschluss des früher gebräuchlichen Mineralöles verwendet. Es ergibt sich dabei eine Material- und Raumersparnis von ca. 50 %, und, soweit die Erfahrungen der letzten

Jahre bekannt sind, waren die Ergebnisse im Betriebe bis heute sehr zufriedenstellend.

Bereits sind auch Niederspannungskabel im Handel, bei denen die neuen Stoffe als Tränkmittel benutzt sind. Hochspannungskabel sind angekündigt, und über Anwendung in Transformatoren liegen zahlreiche Beispiele vor. Der Vorteil eines nicht feuergefährlichen Isolieröles in Transformatoren tritt besonders dann hervor, wenn es sich um die in den Vereinigten Staaten stark verbreiteten «unter Trottoir»-Installationen handelt. Die Explosionsgefahr ist selbstverständlich nicht vollständig beseitigt, solange eine Flüssigkeit als Isolier- und Kühlmittel verwendet wird. Bei den gut abgedichteten Kesseln führt die Gasentwicklung bei stehbleibendem Bogen schliesslich doch zur Explosion, aber wenigstens folgt jetzt nicht auch noch ein Brand. Es sei beiläufig bemerkt, dass zur Beseitigung auch der Explosionsgefahr in den Vereinigten Staaten die Einführung von komprimiertem Stickstoff, bzw. Helium als Isolation in Kraft- und Lichttransformatoren auf Drängen der Elektrizitätswerke hin nun tatsächlich im Gange ist. Hinsichtlich des Gefahrmomentes bei der Verwendung der neuen Isolierflüssigkeiten dürfte die Feststellung interessieren, dass die amerikanischen Versicherungsgesellschaften die Aufstellung der damit versehenen Transformatoren in Fabrikräumen gestatten, während für Öltransformatoren nach wie vor feuersichere Kammern verlangt werden.

Der Anwendung der chlorierten Kohlenwasserstoffe in Schaltern steht der Umstand entgegen, dass

¹⁾ Imhof, Bull. SEV 1934, Nr. 17, S. 469.

bei der Zersetzung durch den Lichtbogen Chlorwasserstoff entsteht.

Die neuen Stoffe sind in den Vereinigten Staaten unter den Namen «Pyranol» und auch «Inerteen» im Handel bekannt, wobei es sich grundsätzlich um dasselbe Material handelt. Diese Namen bezeichnen nicht einheitliche Stoffe, sondern sind vielmehr Sammelnamen für Mischungen, die je nach Verwendungszweck etwas verschieden sind. Während es sich grundsätzlich um Chlor-Derivate von Benzol und Diphenyl handelt, wird das Pentachlor-Diphenyl (weiterhin als P. D. abgekürzt) aus weiter unten angegebenen Gründen bevorzugt. Im folgenden sind Herstellung und wichtigste Eigenschaften kurz beschrieben und im Hinblick auf die Verwendung besprochen.

Als Ausgangspunkt bei der Herstellung des P. D.²⁾ dient technisches Diphenyl, in welches in geschmolzenem Zustand und in Gegenwart eines Katalysators (Eisen) Chlorgas geleitet wird, bis das spezifische Gewicht des Reaktionsproduktes bei 65° C. und auf Wasser von 65° C bezogen 1,53 beträgt. In diesem Zustande ist das Produkt ein schwarzes Oel von 54,5 % Chorgehalt. Durch fraktionierte Destillation von 90 bis 95 % der Substanz, bei atmosphärischem oder vermindertem Druck, über einen Temperaturbereich von 350 bis 380° C (bei atm. Druck), erhält man ein fast farbloses Oel von einem spez. Gewicht 1,52 bei 65° C. Dessen Chlorgehalt entspricht einer Substitution von fünf Wasserstoffatomen im Diphenyl-Molekül durch fünf Chloratome, weshalb die erhaltene Substanz, die vermutlich eine Mischung der verschiedenen möglichen Isomeren ist, schlechthin als Pentachlor-Diphenyl angesprochen wird.

Je nachdem der Chlorierungsprozess bei Erreichung eines kleineren oder grösseren spezifischen Gewichtes (Chlorgehalt) abgebrochen wird, hat man es in der Hand, eine ganze Reihe von Stoffen zu erhalten³⁾, von denen diejenigen oberhalb der Penta-Stufe bei gewöhnlicher Temperatur feste, harzähnliche Substanzen sind, die zusammen mit den flüssigen Formen, in den Vereinigten Staaten unter dem Handelsnamen «Aroclors» bekannt sind. Für die hier besprochene Anwendung hat bisher hauptsächlich die Pentachlor-Variante Bedeutung erlangt.

Chemische Eigenschaften.

Wie bei den bisher gebräuchlichen Isolierölen ist auch bei den neuen Stoffen grösste Stabilität gegen Oxydation unter dem Einfluss der atmosphärischen Luft ein Hauptfordernis. In dieser Beziehung sind Fig. 1 (Säurebildung) und Fig. 2 (Schlammabildung) von Interesse⁴⁾. Beide beziehen sich auf P. D., wobei die Schlammabildung nach der Methode von Snyder (ASTM) bestimmt ist. Es hat sich gezeigt, dass in diesen aromatischen Verbindungen das Chlor sehr fest gebunden ist und

im Gegensatz zu andern organischen Chlorderivaten, z. B. Tetrachlor-Kohlenstoff, die für die Elektrotechnik wichtigen Metalle bei den vorkommenden Arbeitstemperaturen nicht angreift.

Bei der Zersetzung durch den elektrischen Lichtbogen (Bogen in der Flüssigkeit) entsteht fast ausschliesslich Chlorwasserstoff als flüchtiges Zer-

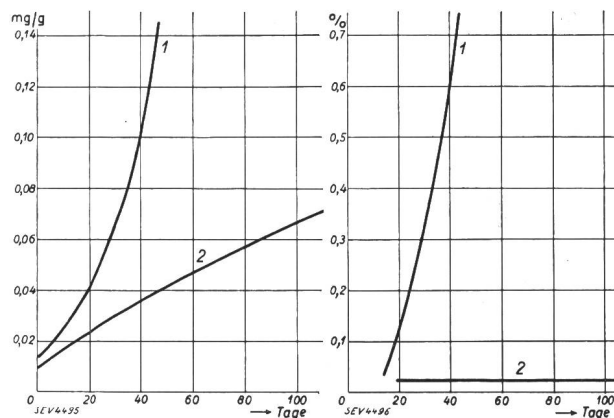


Fig. 1.
Zunahme des Säuregehaltes in mg Na OH pro g Flüssigkeit bei Dauerversuch.
1 Mineralöl bei 120° C.
2 Pentachlor-Diphenyl bei 150° C.

Fig. 2.
Schlammabildung in Volumenprozenten (Methode Snyder, ASTM).
1 Mineralöl bei 120° C.
2 Pentachlor-Diphenyl bei 150° C.

setzungsprodukt, dagegen bei P. D. weder freier Wasserstoff noch freies Chlor. Entgegen der landläufigen Ansicht soll sich weder bei chloriertem Benzol einschliesslich der Trichlor-Stufe, noch bei chloriertem Diphenyl einschliesslich der Penta-Stufe Phosgen (CO Cl_2) nachweisen lassen, trotzdem bei den bezüglichen Versuchen eine enge Mischung der Flüssigkeit und ihrer Dämpfe mit Luft und Oxygen langsam durch eine erhitzte Röhre bei Temperaturen von 400 bis 1000° C geleitet wurde, die Bedingungen für eine Oxydation also die denkbar günstigsten waren⁵⁾.

Flüssigkeitsgrad.

Aus der Zähigkeitskurve, Fig. 3, geht hervor, dass P. D. für sich allein zu zähflüssig ist, um als Kühlmittel in Transformatoren genügend wirksam zu sein. Durch Beimischung von Trichlorbenzol

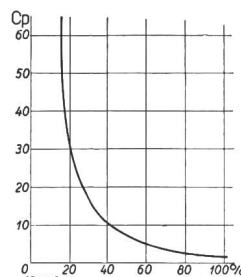


Fig. 3.
Einfluss des Gehaltes an Trichlorbenzol (% Gewichtsanteil in der Mischung) auf die Zähigkeit einer Pentachlor-Diphenyl-Trichlorbenzol-Mischung bei 37,8° C in Centipoise (Cp).

lässt sich, wie aus Fig. 3 und 4 ersichtlich ist, die Zähigkeit und der Stockpunkt (Kurve 1 in Fig. 4 gegeben) erniedrigen, und zwar erreicht der Stockpunkt ein sehr ausgeprägtes Minimum in der Nähe

²⁾ U. S. Pat. Nr. 1 892 400 (Dez. 1932).

³⁾ U. S. Pat. 1 892 400.

⁴⁾ Clark, Transact. Am. El. Chem. Soc., Vol. 65 (1934), S. 65.

⁵⁾ Clark, Loc. cit.

der Mischung zu gleichen Teilen. Einen Vergleich der Zähigkeitskurven gibt Fig. 5⁶⁾. Die Beimischung von Trichlorbenzol ändert nichts an dem, was über Brandgefahr ausgeführt wurde.

Bei der Anwendung in Kondensatoren wirkt sich ein relativ hoher Festpunkt unter Umständen darin aus, dass sich bei tiefen Temperaturen und bei dicht

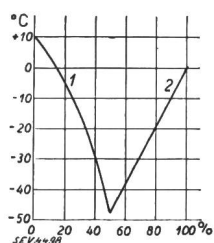


Fig. 4.

Stockpunkt («Pour-point», ASTM) von Mischungen aus Pentachlor-Diphenyl und Trichlorbenzol in Funktion des Gewichtsanteils des Trichlorbenzols in der Mischung.

- 1 «Pour-point».
- 2 Kristallisation.

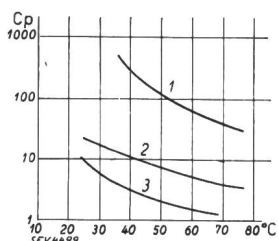


Fig. 5.

Zähigkeit in Centipoise (Cp) in Abhängigkeit von der Temperatur.

- 1 Pentachlor-Diphenyl.
- 2 Transformatoren-Oel.
- 3 P. D. und Trichlorbenzol zu gleichen Teilen.

abgeschlossenen Behältern luftleere Räume im Dielektrikum bilden, die elektrisch gefährlich sind. Es kann also auch für Kondensatoren die besprochene Mischung nötig werden, wenn mit sehr tiefen Temperaturen zu rechnen ist.

Elektrische Eigenschaften.

Wie schon bemerkt, ist die hohe Dielektrizitätskonstante (im folgenden mit «D. K.» abgekürzt) ein Hauptmerkmal der neuen Stoffe. Diese Eigenschaft ist besonders für statische Kondensatoren von ausschlaggebender Bedeutung, denn bei gleichbleibender Beanspruchung ist bei Wechselstrom die Leistung, und, unabhängig von der Stromart, die Kapazität, der D. K. direkt proportional.

Es handelt sich bei statischen Kondensatoren, wenn Papier verwendet wird, um ein zusammengesetztes Dielektrikum, nämlich Flüssigkeit oder Tränkmittel und Papierfaser, wobei letztere eine D. K. von ca. 6 hat. Die resultierende D. K., d. h. die D. K. des getränkten Papiers hängt nun von der relativen Raumdichte der Fasern und der D. K. des Tränkmittels nach bekannten Beziehungen ab. Mit gewöhnlichem Isolieröl, das eine D. K. von ca. 2,5 besitzt, ergibt sich eine resultierende D. K. von 3,5 bis 4,0, je nach dem Grad der Raumfüllung durch die Fasern. Mit P. D., das bei Zimmertemperatur eine D. K. von ca. 5 aufweist, ergibt sich dagegen eine D. K. zwischen 5 und 6, d. h. ein Gewinn gegenüber gewöhnlichem Öl von ca. 60%. Mit andern Worten, es lässt sich aus ein und demselben Kondensator lediglich zufolge der höhern D. K. 60% mehr herausholen, wenn er mit P. D. statt mit bisher gebräuchlichem Öl gefüllt ist. Tatsächlich ist das Verhältnis noch erheblich günstiger, da es sich gezeigt hat, dass gleichzeitig auch eine

⁶⁾ U. S. Pat. 1 931 373 (Oct. 1933).

höhere elektrische Beanspruchung zulässig ist. Durch das Zusammenwirken beider Faktoren ergibt sich so die eingangs erwähnte 50prozentige Ersparnis an Material und Raum.

In Fig. 6 ist dargestellt, wie sich die D. K. von chloriertem Diphenyl vom Chlorgehalt abhängt; Fig. 7 zeigt die Abhängigkeit des Verlustwinkels

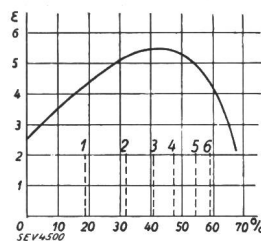


Fig. 6.

Einfluss des Chlorierungsgrades (% Gewichtsanteil des Chlors) von Diphenyl auf die Dielektrizitätskonstante ϵ (Fig. 6) und auf den Verlustwinkel $\text{tg } \delta$ (Fig. 7).

- 1 Mono-Stufe.
- 2 Di-Stufe.
- 3 Tri-Stufe.

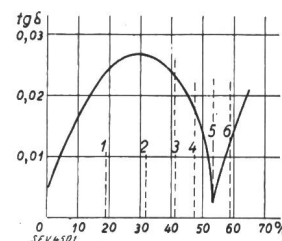


Fig. 7.

- 4 Tetra-Stufe.
- 5 Penta-Stufe.
- 6 Hexa-Stufe.

vom Chlorgehalt⁷⁾. Wie ersichtlich, ergibt die Penta-Stufe minimalen Verlustwinkel bei einer D. K. nahe dem Maximum (Fig. 6), und darauf gründet sich die Vorzugsstellung des P. D.

Sowohl der Verlustwinkel wie auch die D. K. des P. D. sind temperaturabhängig, und zwar gemäss den Kurven Fig. 8, deren Form für Flüssigkeiten, die Dipolmomente besitzen, charakteristisch ist⁸⁾. Die praktischen Folgen dieser Temperaturabhängigkeit seien kurz erörtert. Zunächst ist zu bemerken, dass Fig. 8 sich auf D. P. für sich allein be-

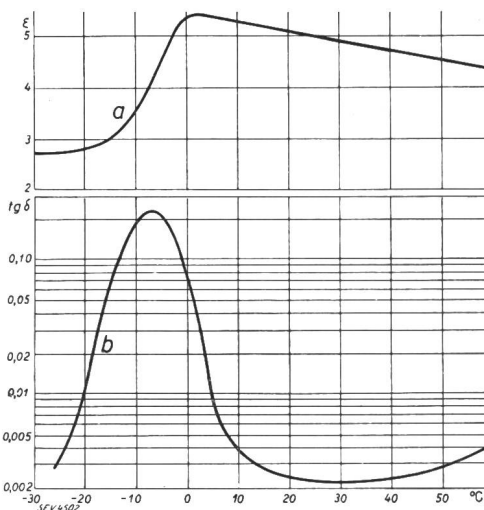


Fig. 8.

Dielektrizitätskonstante ϵ (a) und Verlustwinkel $\text{tg } \delta$ (b) von Pentachlor-Diphenyl in Funktion der Temperatur, bei 60 Per./s.

zieht. Im zusammengesetzten Dielektrikum der Starkstromkondensatoren ist der Anteil an der D. K., der von den Fasern herrührt, nur schwach temperaturabhängig, und deshalb ist auch die Tem-

⁷⁾ U. S. Pat. 1931 373.

⁸⁾ White & Morgan, J. Franklin Inst., Vol. 216 (1933), S. 635.

peraturabhängigkeit der resultierenden D. K. geringer als die des P. D. für sich allein. An Stelle des in Fig. 8, Kurve 1, erscheinenden Minimalwertes von 2,7 wird sich für das getränkte Papier etwa 3,5 ergeben. Da der Verlustwinkel des getränkten Papiertes hauptsächlich durch den des Imprägniermittels bestimmt ist, gibt Fig. 8, Kurve 2, auch ein gutes Bild der Temperaturabhängigkeit des mit

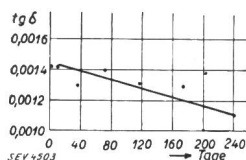


Fig. 9.
Verlustwinkel eines mit P. D. getränkten Kondensators im Dauer-versuch bei 25° C.
Beanspruchung des Dielektrikums: 18,5 kV/mm, 60 Per./s.

P. D. getränkten Papiertes. Es ergibt sich somit für Starkstromkondensatoren folgendes Bild. Bei Aussentemperaturen in der Gegend von -20° C bewirken die erhöhten Verluste eine automatische Verschiebung der Arbeitstemperaturen in das stabilere Gebiet rechts von 0° C. Dabei werden die Verluste nach Massgabe des gegenüber der Aussentemperatur aufrecht zu erhaltenden Temperaturgefälles erhöht sein. Nur bei ganz extrem tiefen Temperaturen besteht die Möglichkeit, dass, solange diese andauern, der Arbeitspunkt auf der linken Seite der Verlustspitze (Fig. 8, Kurve 2) stehen bleibt, wobei dann wegen der geringeren D. K. eine Leistungsverminderung von ca. 35 bis 40 % eintritt. Zwar ist auch für gewöhnliche Mineralöle ein qualitativ ähnliches Verhalten nachgewiesen⁹⁾, doch liegen bei denselben die Temperaturen, bei welchen die anomalen Aenderungen in den dielektrischen Verlusten und der D. K. auftreten (das Gebiet der sog. anomalen Dispersion) bei noch viel tieferen Temperaturen, die praktisch nicht vorkommen. Daher sind Leistung und Verluste beim Oelkondensator durch Tieftemperaturen praktisch nur sehr wenig beeinflusst.

Die oben geschilderte Temperaturabhängigkeit schliesst die Verwendung des P. D. in solchen Kondensatoren aus, für die innerhalb weiter Temperaturgrenzen eine grosse Konstanz der Kapazität verlangt wird, wie z. B. für Gebrauch in abgestimmten Kreisen, Wellenfiltern usw.

⁹⁾ Stoops, Physics, Vol. 2 (1932), S. 322.

Von Interesse ist auch der in Fig. 9 dargestellte Verlauf des Verlustwinkels bei einem Dauer-versuch bei 25° C eines mit P. D. getränkten Kondensators. Trotz der relativ hohen Beanspruchung wurde über die Versuchsdauer keine Zunahme des Verlustwinkels konstatiert¹⁰⁾.

In Transformatoren wird, wie schon erwähnt, eine Mischung von P. D. und Dichlorbenzol zu gleichen Teilen verwendet, die bei Zimmertemperatur die gleiche D. K. aufweist wie P. D., d. h. ca. 5. Dieser relativ hohe Wert ist im Hinblick auf die Reihenschaltung von Flüssigkeit und festen Isoliermaterialien, die fast durchwegs höhere D. K. als Oel besitzen, erwünscht, ein Vorteil, der allerdings bei tiefen Temperaturen gemäss Fig. 8, Kurve 1, dahinfällt.

Die dielektrische Festigkeit des P. D. im Vergleich zu Mineralöl geht aus Fig. 10 hervor. In Fig. 11 ist die Durchschlagsspannung eines aus Kondensatorpapier zu verschiedenen Lagendicken aufgebauten Dielektrikums dargestellt, welches das eine Mal mit Oel, das andere Mal mit P. D. imprägniert war. Die Messungen beziehen sich weiter

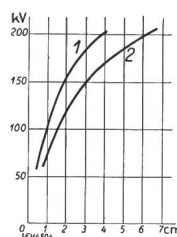


Fig. 10.
Durchschlagsspannung bei 25° C zwischen kreisrunden Messingscheiben von 2,54 cm \varnothing .
1 Pentachlor-Diphenyl.
2 Mineralöl.

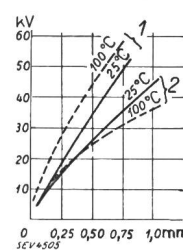


Fig. 11.
Durchschlagsspannung von getränkten Papierlagen aus 0,008-mm-Papier aufgebaut, 1 mit Pentachlor-Diphenyl getränkt, 2 mit Mineralöl getränkt.

auf zwei verschiedene Temperaturen. Es zeigen sich mit P. D. durchwegs höhere Werte und ferner tritt, im Gegensatz zu Oel, mit der Temperaturzunahme eine Zunahme der Festigkeit ein. Nach Erfahrung kann man in der praktischen Anwendung mit der Beanspruchung mindestens 10 % über die für Oel gebräuchlichen Werte gehen.

¹⁰⁾ Clark, Loc. cit.

Das Kraftwerk Rheinau.

Vertragsabschluss zwischen der Stadt Winterthur, der Aluminium-Industrie A.-G., Neuhausen, der Elektrizitäts-A.-G. vorm. Schuckert & Co., Nürnberg, und den Nordostschweizerischen Kraftwerken A.-G., Baden.

Von W. Howald, Winterthur.

621.311.21(494)

In der Tagespresse zirkulierte kürzlich eine Notiz, wonach unter die jahrelangen Konzessionsbemühungen der Stadt Winterthur für ein Kraftwerk Rheinau der Schlussstrich gesetzt wurde, indem sich die verschiedenen Konzessionsbewerber einigten. Es dürfte von allgemeinem Interesse sein, wenn nachfolgend kurz die Entwicklung des Projektes geschildert wird, da diese Entwicklung zugleich die Fortschritte im Bau von Niederdruckwerken illustriert. Ueber

die Geschichte, welche sich um die Konzessionsbewerbung abspielte, orientiert die stadträtliche Weisung an den grossen Gemeinderat von Winterthur, der die folgenden Ausführungen zum Teil entnommen sind.

Die Gemeindeversammlung vom 7. März 1901 beauftragte den Stadtrat, zusammen mit der Aluminium-Industrie A.-G., Neuhausen (AIAG) und der Elektrizitäts-A.-G. vorm. Schuckert & Co., Nürnberg, für den deutschen Anteil, die