

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 36 (1945)

Heft: 2

Artikel: Zur Bestimmung des Flammpunktes (Zersetzungspunktes) von organischen Isoliermaterialien

Autor: Zürcher, M.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060197>

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](#)

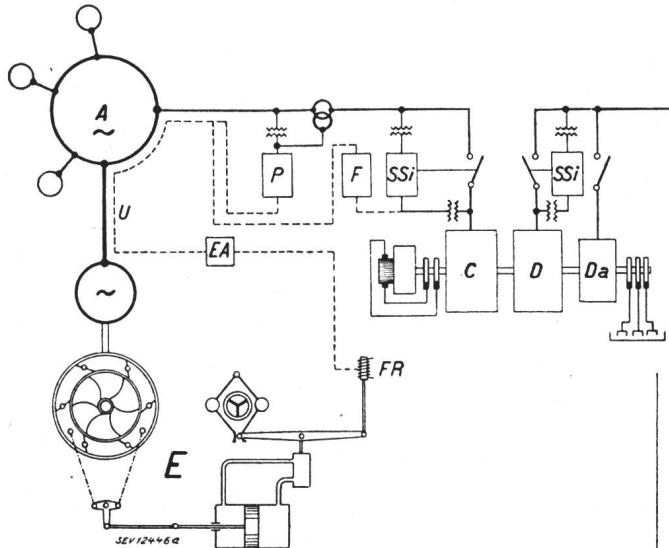
Terms of use

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: 23.02.2026

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

anker mit gleicher Polzahl bestehen, wie die Hauptmaschine. Damit erübrig sich eine Drehzahlreguliereinrichtung für das Parallelschalten. Das Parallelschalten besorgt die Schnellsynchronisierung SSI , wodurch das einwandfreie Zuschalten, bei dem durch den Anwurfmotor bedingten Schlupf, gewährleistet ist. Das Parallelschalten der andern Synchronmaschine erfolgt ebenfalls über eine Schnellsynchronisereinrichtung, wie in der Figur angegeben.



Unter gewissen Umständen, namentlich bei Störung, kann die Frequenzdifferenz den zulässigen Bereich der Schnellsynchronisierung von $\Delta f = \sim 1,2\%$ übersteigen. In diesem Falle steht aber die Fernreguliereinrichtung zur Verfügung, welche gestattet, die Frequenz des Netzes A vom Umformer aus zu steuern. Die Frequenz der Synchronmaschine C wird dabei über den Geberapparat F an Stelle der Uebergabeleistung P an den Regulierort des Netzes A übertragen.

Ist die Hauptmaschine des Umformers der Netzseite (B) selbst als Asynchronmaschine ausgebildet, so kann eventuell der besondere Anwurfmotor weg-

fallen und das Anlassen mit der Hauptmaschine direkt vorgenommen werden. Hierbei sind aber konstruktive Schwierigkeiten zu überwinden, welche namentlich bei Asynchronmaschinen grosser Leistung ins Gewicht fallen, indem die Rotorstillstandsspannung nicht beliebig hoch gewählt werden kann, wie es anderseits mit Rücksicht auf die Schleifring- und Kurzschluss-Vorrichtung in bezug auf die Strombeherrschung erwünscht wäre. Diese Verhält-

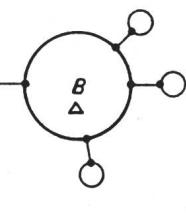


Fig. 1.
Schema der starren Kupplung von selbständig betriebenen Netzen
 A, B Netzgruppen verschiedener Frequenz.
 C, D Synchron-Synchron bzw. -Asynchron-Umformer.
 E Regulier-Gruppe.
 F Geber-Apparatur für Frequenz.
 P Geber-Apparatur für Leistung.
 EA Empfänger-Apparatur.
 FR Fern-Regulier-Apparat.
 SSI Schnell-Synchronisierung.
 U Messwertübertragung.

nisse führen dann zur Verwendung eines Anlasstransformators. Da anderseits auch die Regulierung der Uebergabeleistung in bezug auf die Frequenzhaltung, wie bereits gezeigt, gewisse Abweichungen von der üblichen Praxis vorschreibt, dürfte der Synchron-Synchron-Kupplung bei der betrachteten Methode der Netzregulierung der Vorzug gegeben werden.

Wenn die Autoren gegen den Schluss dieser Arbeit gewisse Schwierigkeiten betont haben, die sich der Verwirklichung der entwickelten Gedanken entgegenstellen, so geschah es keineswegs, um diese Schwierigkeiten übermäßig zu betonen. Alles neue in der Technik bedingt die Lösung bestimmter Einzelfragen. Erfahrungsgemäss trifft man hierbei auf keine unüberwindlichen Hindernisse, sofern der Grundgedanke, auf den sich der ganze Plan aufbaut, gesund ist. Die Autoren sind überzeugt, dass diese Voraussetzung bei den hier behandelten Ideen trifft.

Zur Bestimmung des Flammpunktes (Zersetzungspunktes) von organischen Isoliermaterialien

Mitteilung der Materialprüfanstalt des SEV (M. Zürcher)

621.315.61.0014

Die in verschiedenen Normalien des SEV beschriebene Methode zur Bestimmung des Flammpunktes (Zersetzungstemperatur) von organischen Isolierstoffen kann durch folgende bessere Methode ersetzt werden: Die Erwärmung des Materials erfolgt in einem Metallblock, der auf der Untersuchungstemperatur konstant gehalten wird. Dadurch wird die Geschwindigkeit der Erwärmung der zu untersuchenden Masse besser definiert und die Genauigkeit der Temperaturnmessung erhöht. Durch Beobachtung der Flammenhöhe in Abhängigkeit von der Zeit wird der Zersetzungsvorgang beurteilt. An Hand von einigen Beispielen wird die Methode erläutert.

Bei der Beurteilung von organischen Isoliermaterialien muss neben anderen Eigenschaften auch die Beständigkeit gegenüber Hitzeeinwirkung berücksichtigt werden. Im Gegensatz zu anorganischen Isolierstoffen, welche erst bei Temperaturen von $500^\circ C$ und darüber Veränderungen aufweisen,

zersetzen sich die organischen Stoffe schon bei viel niedrigeren Temperaturen. Sie werden über $300^\circ C$ bereits zum grössten Teil zerstört. Für die praktische Anwendung ist daher sowohl in konstruktiver, als auch in sicherheitstechnischer Hinsicht eine Angabe über die Zersetzungstemperatur erwünscht.

zersetzen sich die organischen Stoffe schon bei viel niedrigeren Temperaturen. Sie werden über $300^\circ C$ bereits zum grössten Teil zerstört. Für die praktische Anwendung ist daher sowohl in konstruktiver, als auch in sicherheitstechnischer Hinsicht eine Angabe über die Zersetzungstemperatur erwünscht.

Die thermische Zersetzung von festen organischen Preßstoffen, die kein einheitlicher chemischer oder physikalischer Vorgang ist, kann folgendermassen charakterisiert werden: Bei Erhöhung der Temperatur beginnt zwischen 100 und 300 °C allmählich eine Zersetzung des Materials. Dabei können leichtflüchtige Bestandteile, welche im Material vorhanden sind, z. B. überschüssiges Phenol, Weichmacher usw., abdestillieren. Ferner können sich in dem Material unter Umständen Zersetzungprodukte bilden, die ebenfalls leichtflüchtig sind und als Gase entweichen. Diese Gase können leicht brennbar, z. B. Naphthalin, schwer brennbar, z. B. Phenol, oder nicht brennbar, z. B. Kohlendioxyd, sein. Ebenso können verschiedene Gase gleichzeitig entstehen. Da der chemische Vorgang der Zersetzung nicht nur von der Temperatur allein abhängig ist, sondern auch von der Zeit, während welcher die Hitze einwirkt, massgebend beeinflusst wird, ist es verständlich, dass man als Zersetzungstemperatur oder Flammpunkt nicht eine physikalisch definierte Konstante angeben kann. Bei der thermischen Zersetzung verlaufen nämlich verschiedene Vorgänge, z. B. chemische Reaktionen und Destillationen, nebeneinander. Für den Praktiker aber, der einen Stoff in bezug auf Feuersicherheit zu beurteilen hat, ist der Reaktionsverlauf nicht von Hauptinteresse, sondern er wird sich auf die Frage beschränken: Können aus einem Material bei einer gegebenen Temperatur brennbare Gase entweichen, welche imstande sind, eine Flamme zu bilden. Eine Bestimmung des Flammpunktes von festen Stoffen in analoger Weise, wie sie bei flüssigen Brennstoffen und Oelen üblich ist, lag daher nahe und ist in den Prüfvorschriften des SEV für härtbare Preßstoffe verwirklicht¹⁾. Nach dieser Vorschrift wird die feinst pulverisierte Masse in einem Porzellantiegel ziemlich rasch erhitzt, wobei die Temperatur des Tiegelbodens angenähert gemessen und diejenige Temperatur festgestellt wird, bei welcher brennbare Gase über der Masse auftreten. Da das Resultat von der Erhitzungsgeschwindigkeit abhängt und die Erhitzung sehr rasch erfolgen muss, laufen die temperaturabhängigen Zersetzungsgeschwindigkeiten und die Destillationen nebeneinander, so dass die Resultate stark von der Ausführungart abhängen, welche sich nicht mit wünschenswerter Genauigkeit reproduzieren lässt. Die pulverisierten Pressmassen, wie auch der Porzellantiegel weisen eine sehr schlechte Wärmeleitfähigkeit auf, was grosse Temperaturdifferenzen innerhalb der Prüfmasse zur Folge hat, so dass die Temperaturmessung mit Schwierigkeiten verbunden ist.

Zur Behebung dieser Unsicherheiten wurden an der Apparatur folgende Änderungen vorgenommen: Die zu prüfende Masse wird nicht stetig erhitzt, sondern sie wird in einen Kupferblock gebracht, der sich bereits auf der Untersuchungstemperatur befindet. Dadurch wird die Erhitzungsgeschwindigkeit besser definiert und die Masse wird

nicht über die Untersuchungstemperatur hinaus erhitzt. Die Temperaturmessung im Kupferblock erfolgt genauer und kann mit einem gewöhnlichen Thermometer ausgeführt werden. Die austretenden Gase werden gesammelt und an einer Düse auf Brennbarkeit geprüft.

Beschreibung der geänderten Apparatur

Die Apparatur (Fig. 1) besteht aus einem Kupferblock, wie solche für Schmelzpunktbestimmungen in der organischen Chemie allgemein üblich sind. In eine Bohrung des Kupferblockes kann eine dünnwandige Eisenhülse eingesetzt werden, welche

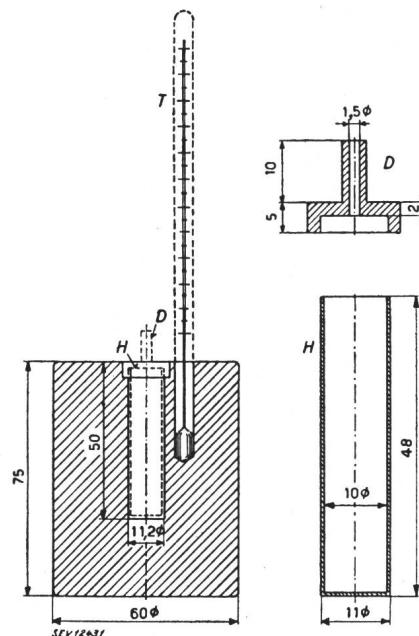


Fig. 1.

Apparatur zur Prüfung der Zersetzungstemperatur organischer Isoliermaterialien

D Deckel.
H Hülse.
T Thermometer.

das zu untersuchende Material enthält. Die Hülse ist mit einem Deckel verschlossen, der eine Bohrung mit Düse für den Austritt der Gase enthält. Die Hülse soll möglichst dicht in die Bohrung passen, sich aber noch bequem einführen und herausziehen lassen. Die Temperaturmessung erfolgt mit einem Quecksilberthermometer, welches in einer Bohrung neben der Hülse steckt und ebenfalls möglichst wenig Spiel haben soll. Das Thermometer steckt soweit in dem Kupferblock, dass die Quecksilberkugel ungefähr auf die Höhe der Hülsemitte zu liegen kommt. Sollen mehrere Proben gleichzeitig geprüft werden, kann der Kupferblock mit mehreren symmetrisch angeordneten Bohrungen versehen werden. Um die zur Erwärmung der Hülse und des Materials erforderliche Wärmereserve zu schaffen, muss der Kupferblock in diesem Falle grösser dimensioniert werden, so dass die Temperatur des auf 300 °C erhitzten Kupferblockes beim Einbringen der kalten Hülsen nicht um mehr als 2 °C sinkt. Wenn rasch hintereinander verschiedene Temperaturen eingestellt werden müssen, so empfiehlt sich die Er-

¹⁾ S. z. B.: Lampenfassungsnormalien des SEV, Publ. Nr. 167, § 40.

hitzung mit einer fein regulierbaren Gasflamme. Soll immer bei derselben Temperatur gemessen werden, so ist eine elektrische Heizung mit Kontaktthermometer, welches in eine weitere Bohrung des Blockes einzuführen wäre, zu empfehlen. Die Prüfung des entweichenden Gases erfolgt mit einer 3...5 mm langen Zündflamme, welche von Hand an der Düse vorbeigeführt wird. Zur Vermeidung von Störungen durch die aufsteigende heiße Luft, welche kleine Flammen an der Düse evtl. auslöschen kann, empfiehlt es sich, einen zylindrischen Ring aus Asbestpapier von 1 cm Höhe und etwa 2 cm Durchmesser auf den Kupferblock aufzusetzen, so dass die Düse vor Luftzug geschützt ist.

Ausführung der Bestimmung

Der Kupferblock wird auf die Untersuchungstemperatur aufgeheizt, wobei die Heizung so zu regulieren ist, dass sich die Temperatur innerhalb 10 min um nicht mehr als 1° C ändert. Um Sublimate und Kondensationen in der Düse zu vermeiden, wird der Deckel mit der Düse auf dem Kupferblock belassen, so dass er ebenfalls die Untersuchungstemperatur annimmt. Die mit dem Material beschickte Hülse wird nun in den Kupferblock eingeführt und sofort mit dem vorgewärmten Deckel verschlossen. Mit der Zündflamme wird nun geprüft, ob innerhalb der nächsten 5 Minuten aus der Düse brennbare Gase entweichen, was der Fall ist, wenn auf der Düse eine mehr oder weniger grosse, dauernde Flamme brennt. Durch Wiederholung des Versuches mit frischer Substanz bei verschiedenen Temperaturen wird diejenige Temperatur festgestellt, bei welcher die Substanz gerade noch brennbare Gase entwickelt. Diese Temperatur, welche im allgemeinen auf höchstens 10° genau angegeben werden kann, wird als Zersetzungstemperatur bezeichnet. Für die Bedürfnisse des Praktikers, der sich lediglich über die Brennbarkeit eines Stoffes bei einer gegebenen Temperatur orientieren will, genügt im allgemeinen die Angabe, ob der Stoff bei der gegebenen Temperatur brennbare Gase entwickelt oder nicht.

Zur Beurteilung der Empfindlichkeit der Apparatur, sowie zur Charakterisierung der verschiedenen Typen von Zersetzungsvorgängen wurde in einer Reihe von Versuchen die Flammenhöhe alle 15 Sekunden durch Schätzung bestimmt. Wird nun die Flammenhöhe für eine konstante Temperatur in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen, so gelangt man zu Diagrammen, welche den Verlauf der Zersetzung anschaulich charakterisieren. In den folgenden Figuren bedeutet das Zeichen \wedge , dass beim Annähern der Zündflamme eine Flamme kurze Zeit aufflackert, welche aber nicht selbstständig zu brennen vermag.

Durch die Anwendung des Kupferblockes, der eine genügend grosse und rasch, sowie gleichmäßig nachliefernde Wärmequelle darstellt, wird erreicht, dass die Masse in sehr kurzer Zeit auf die Versuchstemperatur erhitzt wird. Dies geht daraus hervor, dass bei feuchten Pressmassen bei einer

Temperatur von 200° C das Wasser schon in den ersten 15...20 Sekunden herausdestilliert ist.

Zur Beurteilung der Empfindlichkeit der Apparatur wurden als Modellsubstanz trockene Sägespäne verwendet, welche mit einer bestimmten Menge Phenol oder Naphthalin vermengt wurden. Um eine gleichmässige Mischung zu erreichen, wurden die scharf getrockneten Sägespäne mit einer Lösung von Phenol oder Naphthalin in Aether homogen vermischt, worauf der Aether im Vakuum in einem getrockneten Luftstrom abdestilliert wurde. Auf diese Art konnten Sägespänemischungen mit einem genau bekannten Gehalt an leichtflüchtigen Substanzen hergestellt werden. Da trockenes Holzmehl erst über 280° C brennbare Gase abgibt, konnten die leichtflüchtigen Substanzen Phenol (SdP. 181° C) oder Naphthalin (SdP. 216° C) an dem tiefen Flammpunkt erkannt werden. Eine Mischung mit 1% Phenol zeigte schon bei 180° C während der ersten Minute deutliches Flackern, während eine Mischung mit 1% Naphthalin schon bei 160° C deutlich sichtbares Flackern aufwies, wobei allerdings in beiden Fällen die Menge an flüchtiger Substanz nicht ausreichte, um eine dauernde Flamme zu unterhalten. Fig. 2 zeigt das Diagramm eines naphthalinhaltigen Kunstharzes, bei welchem schon bei 200° C der Gehalt an Naphthalin nachgewiesen werden kann.

Einfluss der Korngrösse

Es ist ohne weiteres klar, dass die Korngrösse des Materials einen gewissen Einfluss auf die Art der Zersetzung ausübt. Sie bedingt einerseits die Wärmeleitfähigkeit des Pulvers und bestimmt anderseits die Grösse der Oberfläche, durch welche die Gase austreten können, wodurch die Zersetzungsgeschwindigkeit beeinflusst wird. Zur Charakterisierung der Korngrösse wurde das sog. Schüttgewicht bestimmt, d. h. das Gewicht pro Volumeinheit lose aufgeschütteter Masse, welches durch Wägen eines bestimmten Volums des Pulvers z. B. in einem Messzylinder erhalten wird. Im allgemeinen werden die Preßstoffe durch Bearbeiten mit einer groben Feile pulverisiert, wobei ein Pulver vom Schüttgewicht 0,8...1,0 erhalten wird, dessen grösste Teilchen etwa 1 mm Durchmesser haben. Werden nun weiter durch ein feinmaschiges Sieb nur die feinsten Teilchen ausgesiebt, so gelangt man zu Pulvern vom Schüttgewicht 0,4...0,5. Die Flammpunktbestimmungen an Pulvern von verschiedener Dichte ergaben nun, dass beim Uebergang vom Schüttgewicht 0,9 zu einem solchen von 0,5 die Gasentwicklung und Entflammung um etwa 15...30 Sekunden früher auftritt. Für die praktische Bestimmung der Zersetzungstemperatur, bei welcher die Entflammung nach 2...5 Minuten beurteilt wird, kann man sich daher das Aussieben und Feinpulverisieren der Masse ersparen, da die dadurch erreichte frühere Entflammung um 15...30 Sekunden ohne Einfluss auf das Resultat ist. Es wird daher praktisch mit Pulvern vom Schüttgewicht von etwa 0,9 gearbeitet, wobei allerdings

Allgemeine Legende der Fig. 2..12

h Flammenhöhe in mm
t Zeit in min
 ϑ Versuchstemperatur in °C

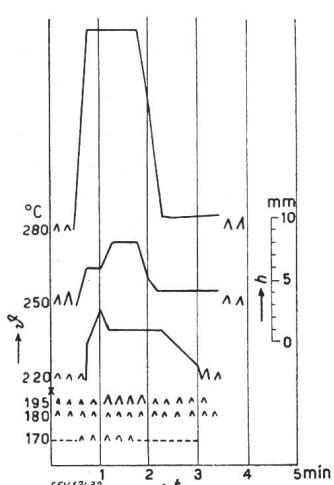


Fig. 2.
Naphthalinhaltiger Preßstoff

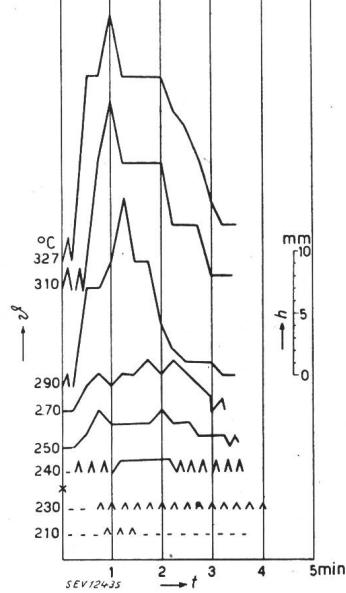


Fig. 5.
Permaliholz

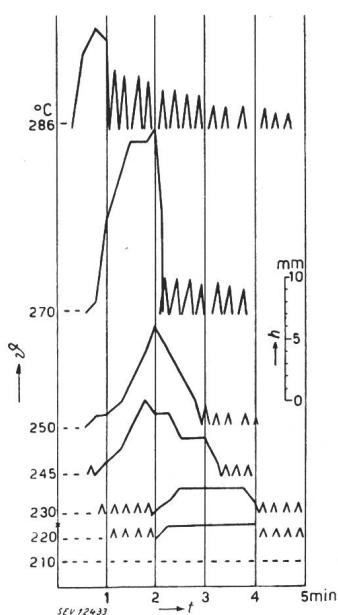


Fig. 3.
Aminoplast
Typ H.COP

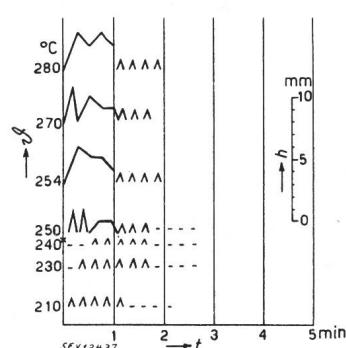


Fig. 7.
Texaseart

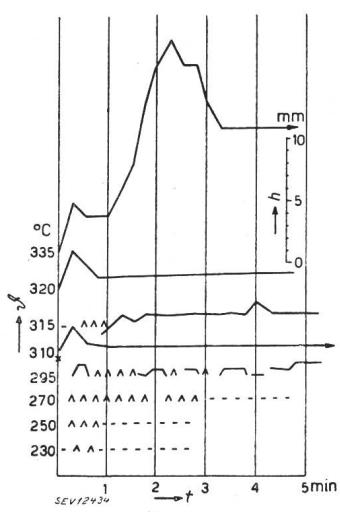


Fig. 4.
Plexiglas

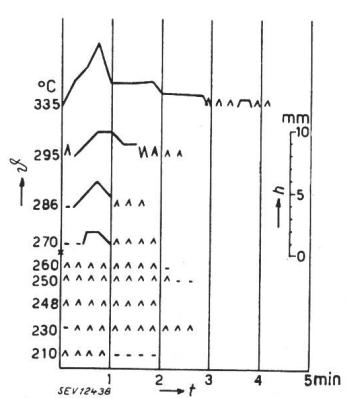


Fig. 8.
Texasbest
Typ H.PAG b

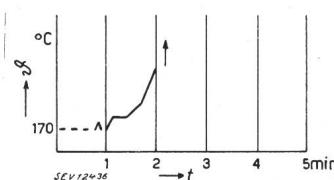


Fig. 6.
Zelluloid
Der Pfeil rechts der Kurve deutet die Verpuffung an.

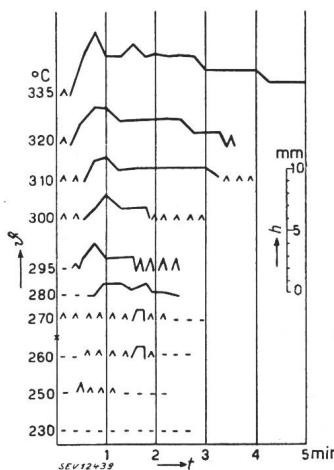


Fig. 9.
Hartpapier
angenähert homogen.

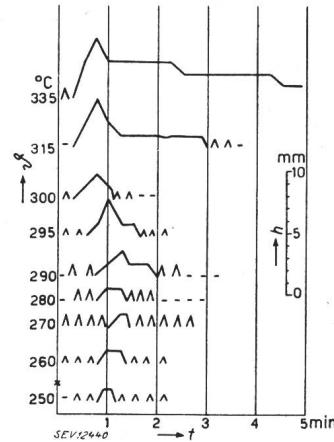


Fig. 10.
Resocel p
Typ H.POP b

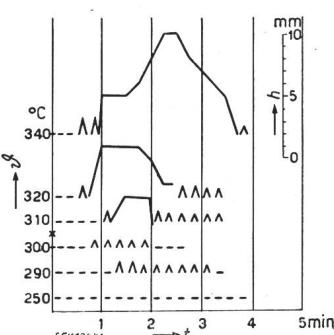


Fig. 11.
Resoform TAP
Typ T.AOS

die grössten Stücke nicht grösser als 1 mm sein sollen. Besonders spröde Stoffe können eventuell mit Vorteil im Stahlmörser durch Zerschlagen mit dem Hammer pulverisiert werden. Bei einem Schüttgewicht von etwa 0,9 wird jeweils 1 g Substanz verwendet, welches die in Fig. 1 angegebene Büchse gerade zu füllen vermag.

Die folgenden Beispiele von Zersetzungsdigrammen einiger gebräuchlicher Isolierstoffe sollen die Methode charakterisieren:

Fig. 3 zeigt das Zersetzungsdigramm eines *Aminoplastes* vom Typus: H.COP. Die Aminoplaste sind dadurch charakterisiert, dass sie schon bei 220...230° C brennbare Gase entwickeln, welche mit einer fahlen, gelben nicht russenden Flamme unter charakteristischem Geruch nach verbranntem Horn brennen. Bei Temperaturen von etwa 50° C über dem Flammpunkt entweichen die Gase schon in den ersten 15 Sekunden, wobei die Gasentwicklung so heftig sein kann, dass die Flamme sich infolge Sauerstoffmangels selbst auslöscht.

Plexiglas (Fig. 4) ist ein Polymerisat aus Acrylsäure, welche rein bei 141° C siedet, und gibt bei 290...300° C durch Depolymerisation entstandene Dämpfe von Acrylsäure ab, welche mit schwach russender, leuchtender Flamme brennen. Charakteristisch für diese Substanz ist die während längerer Zeit bis zur restlosen Verdampfung des Materials ruhig brennende Flamme von konstanter Höhe.

Permaliholz (Fig. 5), ein Werkstoff, der leichtflüchtige Harze enthält, zeichnet sich aus durch eine bei 240...250° C rasch auftretende Flamme, welche aber nach kurzer Zeit, sobald die leichtflüchtigen Bestandteile herausdestilliert sind, wieder erlischt.

Bei *zelluloidartigen Stoffen* (Fig. 6) tritt schon bei etwa 170° C eine Flamme auf, welche sehr rasch grösser wird, worauf die Substanz unter Verpuffung verbrennt.

Fig. 7, *Texascart*, und Fig. 8, *Texasbest* (Typ: H.PAG b) zeigen 2 Beispiele von härzbaren, phenolharzhaltigen ähnlichen Stoffen, bei welchen durch die Variation der Zusätze und des Aushärtungsgrades die Zersetzungstemperatur verändert werden kann.

In diesem Zusammenhang soll noch hervorgehoben werden, dass die beschriebene Prüfungsart nur ein Mass gibt für die Feuergefährlichkeit des Materials. Ueber das Verhalten eines fertigen Formstückes gegenüber hohen Temperaturen oder angreifenden Flammen, ob z. B. ein Erweichen, Schmelzen, ein Weiterbrennen, Glimmen oder Erlöschen des Materials auftritt, lässt die Bestimmung der Zersetzungstemperatur nur unsichere Schlüsse zu. Die Beurteilung dieser Verhältnisse müsste an einem einheitlich dimensionierten Probestab aus dem gleichen Material erfolgen, der aber bei der Prüfung fertig eingelieferter Gegenstände nur in den wenigsten Fällen zur Verfügung steht.

Sehr oft lassen sich aus dem Aschengehalt Schlüsse über die Brennbarkeit eines Materials ziehen.

In Fig. 9, *Hartpapier* mit angenehmt homogener Struktur, Fig. 10, *Resocel p* (Typ H. POP b) und Fig. 11 *Resoform TAP* (Typ T. AOS) sind phenolharzhaltige Isolierstoffe dargestellt, die eine begrenzte Menge leichtflüchtiger Substanzen enthalten, welche zu Beginn eine mehr oder weniger starke Flamme erzeugen, die dann nach kurzer Zeit wieder erlischt. Bei andern Phenolharzen ist der Anteil an flüchtigen brennbaren Anteilen so gering, dass die Flamme innerhalb eines verhältnismässig grossen Temperaturbereiches, z. B. von 210...260° C in Fig. 8, nicht selbstständig zu brennen vermag, sondern nur leicht flackert. Vom Standpunkt der Feuersicherheit aus beurteilt, wird man auch in

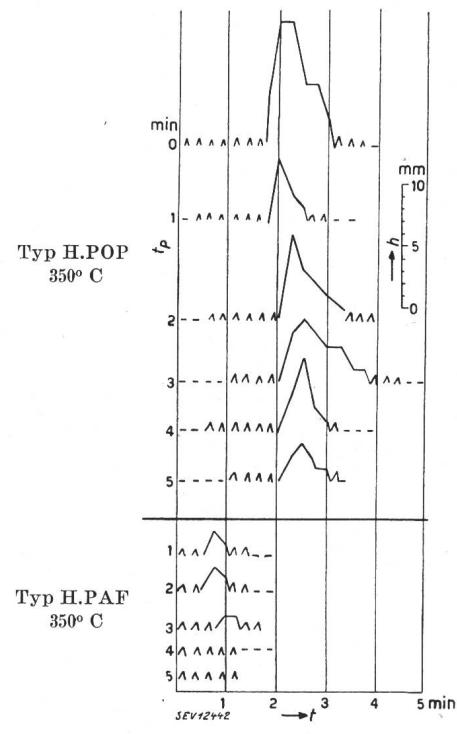


Fig. 12.
Abhängigkeit der Flammenhöhe h
von der Presszeit t_p bei zwei härzbaren Kunstmassen

diesem Falle als Zersetzungstemperatur (Flammpunkt) diejenige Temperatur bezeichnen, bei welcher die Flamme gerade eben noch selbstständig zu brennen vermag.

In Fig. 12 ist die Abhängigkeit der Flammenhöhe von der Presszeit bei 2 härzbaren Kunstmassen vom Typus H. POP und H. PAF dargestellt. Es ist deutlich ersichtlich, dass bei zunehmender Presszeit die Flamme später erscheint und entsprechend kleiner ist. Doch ist diese Erscheinung zu wenig ausgeprägt, um daraus die vollständige Aushärtung eines Harzes mit Sicherheit beurteilen zu können.

Die folgende Tabelle gibt eine Uebersicht über das Verhalten einiger ausgewählter Materialien in der Hitze:

	Zersetzungstemperatur °C
Phenoplaste	280...350
Carbamidharze	220...240
Hartpapier	280...300
Plexiglas	290...300
Buchenholz	270...280
Tannenholz	300...310
Hartgummi	200...220
Roggengroßstroh	260...270

Gummi: über ca. 200° C rasche Zersetzung unter Schmelzen.
 Polyvinylchloridderivate: über ca. 200° C rasche Zersetzung unter Schmelzen und HCl-Abspaltung.
 Zelloid: bei 160° C Entzündung, Entzündungsgefahr besteht aber schon bei tieferen Temperaturen.

Dabei ist zu beachten, dass viele Stoffe schon bei Temperaturen, die weit unter dem Zersetzungspunkt liegen, erweichen und ihre mechanische Festigkeit verlieren.

Ueber Kurzwellensender grosser Leistung

Von L. Leng, Solothurn *)

621.396.71.029.58

Aus der Fülle der dieses Thema betreffenden Fragen wird zuerst die Neutralisierung von Grossleistungs-Stufen für kurze Wellen behandelt. Dann werden einige Forderungen für die Bauart der Grossleistungsrohren aufgestellt, denen neben den rein elektronentechnischen Problemen Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte. Der Realisierung der Schwingkreise ist ein eigenes Kapitel gewidmet. Schliesslich werden im Anhang genaue Formeln für die Leistungen, die Neutralisierung und die Abstimmung abgeleitet.

Parmi les très nombreuses questions qui concernent ce sujet, l'auteur s'occupe tout d'abord de la neutralisation des étages de grande puissance pour les ondes courtes. Puis il énumère quelques-unes des exigences posées à la construction des tubes de grande puissance, en plus des problèmes purement électroniques. Un chapitre est consacré à la réalisation des circuits oscillants. Pour terminer, l'auteur établit des formules exactes pour les puissances, la neutralisation et la synchronisation.

I. Einleitung

Ein wichtiger Vorteil der Kurzwellenübertragung wird darin gesehen, dass man mit relativ kleinen Senderleistungen gute Uebertragung auf grosse Entfernung erzielt. Das schliesst aber nicht eine Entwicklungstendenz aus, die nach ständiger Vergrösserung der Senderleistung drängt, um die Uebertragungsgüte und Sicherheit zu erhöhen.

Das Bedürfnis nach Grosssendern für Kurzwellen macht sich besonders beim Rundfunkdienst bemerkbar. Hier hat man nicht die Möglichkeit einer starken Strahlbündelung durch Richtantennen, da man grössere Gebiete bestreichen will. Ausserdem sind die Rundfunkempfänger meist nur mit primitiven Antennen ausgerüstet und in Städten aufgestellt, wo der Störspiegel hoch ist. Der Kurzwellen-Rundfunk ist zu einem wichtigen Faktor der internationalen Propaganda geworden. Jeder Staat sucht durch Aussendung grosser Hochfrequenzenergien seiner Stimme Gehör zu verschaffen und sich im Kampfe im Wellenraum durchzusetzen. Dies gilt für den Frieden, aber noch mehr für den Krieg, wo es sich ausserdem noch darum handelt, feindliche Störsender zu übertönen.

Ein anderes Mittel besteht wohl darin, viele mittlere Sender auf verschiedenen Wellen gleichzeitig arbeiten zu lassen. Die Knappheit des Wellenraumes setzt aber hier eine Grenze, und die Steigerung der Senderleistung bleibt immer im höchsten Grade interessant.

Es sind heute eine Reihe von Kurzwellensendern in der Grösseordnung von 100 kW Trägerleistung bei 100 % Modulation, also 400 kW Spitzenleistung, in Betrieb, die in der Frequenz bis auf 23 MHz (13 m) hinaufgehen. Die Entwicklung geht weiter, und zwar einerseits im Sinne von noch höheren Leistungen, und anderseits in dem Bestreben, ähnliche Leistungen auch dem Ultra-Kurzwellen-Gebiet zugänglich zu machen, insbesondere für Fern-

sehsender, die im Frequenzbereich von 40 bis 45 MHz arbeiten. Da die Technik der Ultra-Kurzwellen in diesem Band nicht grundlegend verschieden ist von der der gewöhnlichen Kurzwellen, haben die in diesem Artikel gemachten Ausführungen für beide Bedeutung. Natürlich sind die Besonderheiten jedes Frequenzgebietes, ebenso die der Modulation zu berücksichtigen.

Die Schwierigkeiten der Grossender für Kurzwellen konzentrieren sich auf die Hochfrequenz-Endstufe, die einen neutralisierten Hochfrequenz-Verstärker darstellt. Entsprechend der grossen Röhrenleistung werden die inneren Röhrenkapazitäten sehr bedeutend. Die inneren Selbstinduktionen sind nicht mehr vernachlässigbar, und es treten besondere Erscheinungen auf, die die Neutralisierung, d. h. die Entkopplung zwischen Erreger- und Belastungskreis sehr erschweren. Die Neutralisierung wird also zum Kernproblem und wir werden uns in erster Linie damit befassen. Daraus leiten sich einige Richtlinien für den zweckmässigsten Röhrenaufbau ab. Schliesslich werden einige Fragen, die die Schwingungskreise betreffen, behandelt.

II. Die Neutralisierung

a) Das Ersatzschema der Triode

Die Triode ist nicht nur ein von Elektronenströmen durchflossenes Gebilde; sie ist auch Sitz von elektrischen und magnetischen Feldern. Für Frequenzen, die genügend unterhalb der Eigenfrequenzen der inneren Röhrenkreise liegen, kann man die elektromagnetischen Eigenschaften der Röhre durch ein aus konzentrierten Kapazitäten und Selbstinduktionen bestehendes Ersatzschema darstellen, obwohl es sich in Wirklichkeit um Felder im Raum handelt.

Fig. 1b zeigt dieses Ersatzschema, dessen Bedeutung sich durch Vergleich mit Fig. 1a erklärt. An Stelle der verteilten Kapazitäten werden deren Gesamtbeträge etwa in der Röhrenmitte konzentriert

*) Eingang: 10. September 1943.