

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 44 (1953)
Heft: 16

Artikel: Steatitprodukte für besondere Ansprüche der Elektrotechnik
Autor: Wolf, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1058093>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 18.02.2026

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

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

Assemblée annuelle à Zermatt, 29, 30 et 31 août 1953

voir page 756

Steatitprodukte für besondere Ansprüche der Elektrotechnik

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV/SVMT vom 5. Juni 1953 in Zürich,

von J. Wolf, Breitenbach

621.315.612.3

Nach Erläuterung des Aufbaues der unter dem Begriff «Steatit» in der Elektrotechnik verwendeten keramischen Massen werden deren Eigenschaften mit jenen des Porzellans verglichen. Nach Darlegung einiger üblicher Ausführungsbeispiele werden für näher bezeichnete Anwendungsgebiete die hierfür besonders entwickelten Massen umschrieben.

Après avoir démontré la structure des masses céramiques comprises sous la dénomination générale de steatites, leurs qualités sont comparées avec celles de la porcelaine. Après la présentation de quelques applications courantes, des masses céramiques spécialement adaptées sont indiquées pour quelques buts déterminés.

Schon seit nahezu einem halben Jahrhundert werden im Elektro-Apparatebau, auch zum Bau elektrischer Heizkörper, keramische Isolierteile aus Steatit verwendet. Besonders aber seit der Entwicklung der Hochfrequenztechnik hat sich dieses Material dank seiner geringen dielektrischen Verluste gut bewährt. Trotzdem besteht noch verhältnismässig oft die Auffassung, Steatit sei lediglich ein etwas anders geartetes Porzellan, das sich durch die geringeren dielektrischen Verluste auszeichne, und das ermögliche, die aus der Masse gefertigten Teile mit grösserer Genauigkeit zu erzielen. Diese Feststellung gibt die Veranlassung, den Aufbau und das Wesen der in der Technik allgemein als Steatit benannten keramischen Erzeugnisse kurz darzulegen.

Steatit, und zwar «der Steatit», ist die wissenschaftliche, aus dem Griechischen übernommene Bezeichnung für Fettstein, dem bei uns als Speckstein bekannten Mineral, dem auch der weit häufiger vorkommende Talk gleichgestellt ist. Als Speckstein wird die feste, kryptokristalline Art des Gesteins bezeichnet, während mit Talk, das in blättriger oder schuppiger Form vorkommende Mineral benannt wird. Diese beiden Mineralien sind die Hauptvertreter des auch noch in andern Gesteinsarten vorkommenden Magnesiumhydrosilikats, dessen chemische Zusammensetzung:



ist, und in reinem Zustand aus 31,82 % Magnesiumoxyd, 63,44 % Kieselsäure und 4,74 % Kristallwasser besteht. Dies ist die ideale Zusammensetzung; das Gestein enthält aber meistens noch Verunreinigungen durch Eisen, Al-Oxyd, Kalk und Alkalien.

Für die Herstellung keramischer Bestandteile eignet sich der amorphe Speckstein aus fabrikationstechnischen Gründen besser als Talk, dessen schuppenförmige Teilchen in der Masse leicht zu parallel

gerichteten Strukturen führen. Der Speckstein, dessen Härte nach der Mohsschen Skala gleich 1 ist, lässt sich mit Hilfe von Messern und andern Werkzeugen leicht bearbeiten, u. a. werden noch heute Düsen für Gasbrenner und dergleichen aus den rohen Gesteinsbrocken ausgearbeitet und hernach gebrannt.

Durch Erhitzen verliert Speckstein im Bereich von 850 °C einen wesentlichen Teil seines chemisch gebundenen Wassers und das Kristallgitter erfährt eine Umwandlung in die Kristallform Enstatit und bei höherer Temperatur in Klinkenstatit. Bei diesem Vorgang verdichtet sich das Material, die Härte steigt auf 6 bis 7, und auch die übrigen physikalischen Eigenschaften, wie Druck-, Biege- und Schlagbiegefestigkeit erreichen Werte, welche diejenigen der bekannten keramischen Erzeugnisse übertreffen.

Zu beachten ist auch, dass die Schwindung beim Brennen von Naturspeckstein nur 1...1,5 % beträgt, wodurch die Genauigkeit der bearbeiteten Teile erhalten bleibt.

Die Erkenntnis dieser Umwandlung des rohen Specksteins in ein Material mit den Eigenschaften keramischer Erzeugnisse hat dazu geführt, gemahlene Speckstein als keramischen Rohstoff zu verwenden und dadurch zu ermöglichen, Bestandteile aus Steatit durch spanloses Verformen nach den in der Porzellanindustrie längst bekannten und bewährten Verfahren anzufertigen. Die Verarbeitung reinen Specksteinpulvers bietet indessen gewisse Schwierigkeiten und erfordert Massnahmen, die eine wirtschaftliche Fertigung erschweren. Fast ausschliesslich wird heute dem gemahlene Speckstein eine geringe Menge von Tonsubstanz in Form von Bindeton und Flussmittel in Form von Feldspat, Witherit und dergleichen beigegeben. Bindeton hat die Aufgabe, die Plastizität und damit die Verformbarkeit zu begünstigen, ferner die einzelnen Specksteinteilchen unter sich zu verbinden, wodurch die

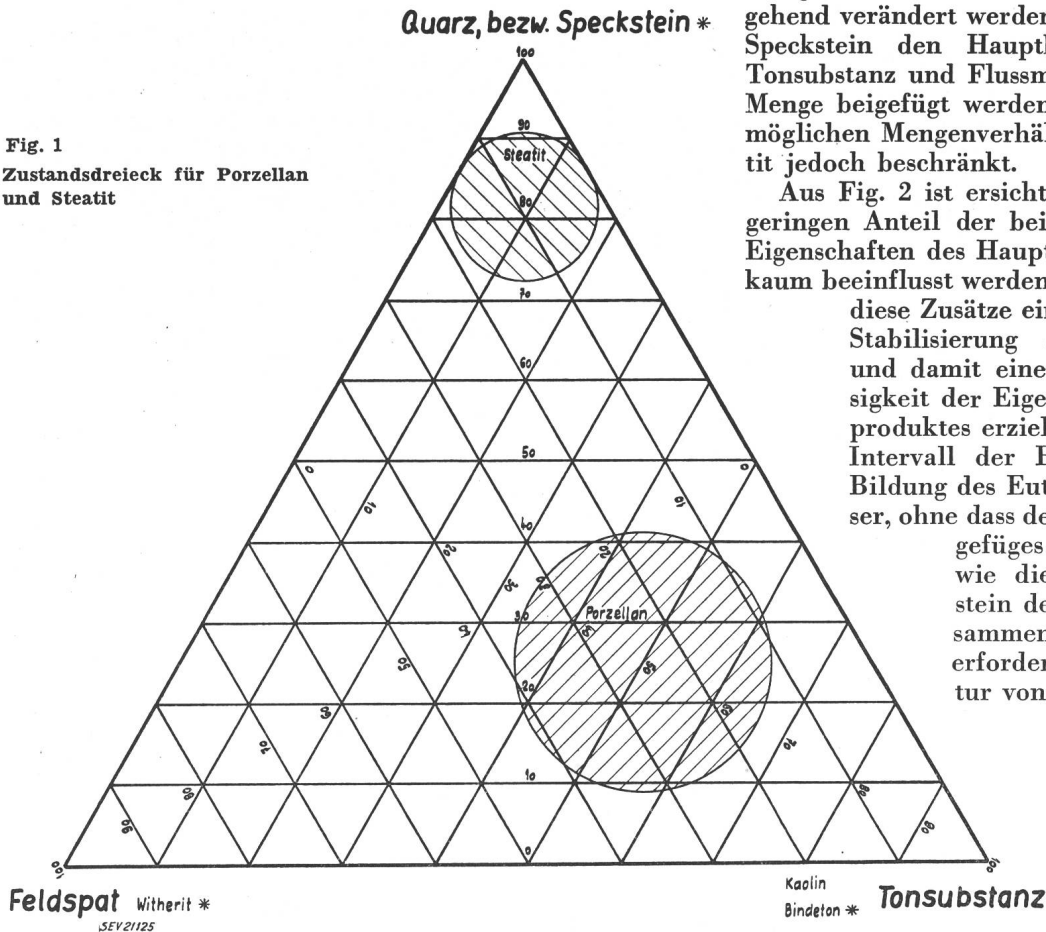
sog. Trockenfestigkeit der ungebrannten Presslinge erhöht wird. Das Flussmittel bewirkt dagegen beim Brennen die Herbeiführung der als Eutektikum be-

Für Porzellan sind dies: Tonsubstanz, Quarz und Feldspat. Entsprechend den gewünschten Eigenschaften des gebrannten Erzeugnisses kann das Mengenverhältnis dieser Komponenten weitgehend verändert werden. Beim Steatit bildet Speckstein den Hauptbestandteil, während Tonsubstanz und Flussmittel nur in geringer Menge beigelegt werden. Der Spielraum des möglichen Mengenverhältnisses ist beim Steatit jedoch beschränkt.

Aus Fig. 2 ist ersichtlich, dass durch den geringen Anteil der beiden Zusatzstoffe die Eigenschaften des Hauptmaterials Speckstein kaum beeinflusst werden, es wird sogar durch diese Zusätze ein Ausgleich und eine Stabilisierung der Kristallstruktur und damit eine grössere Gleichmässigkeit der Eigenschaften des Fertigproduktes erzielt. Überdies wird das Intervall der Brenntemperatur zur Bildung des Eutektikums etwas grösser, ohne dass der Zerfall des Kristallgefüges zu befürchten wäre, wie dies beim Naturspeckstein der Fall ist. Die so zusammengesetzte Steatitmasse erfordert eine Brenntemperatur von 1380...1410 °C.

Fig. 1

Zustandsdreieck für Porzellan und Steatit



zeichnen innigen Verbindung unter den einzelnen Komponenten. Durch die sich dabei vollziehende Sinterung werden erst die physikalischen Eigenschaften des Materials erreicht.

Was also heute als sog. Steatit in der Technik verwendet wird, ist in den meisten Fällen nicht mehr reiner Steatit, sondern ein, dem Dreistoffsystem des Porzellans nachgebildetes keramisches Erzeugnis, das indessen den Charakter und die Eigenschaften des Steatits oder Klinoenstatits bewahrt. Überdies hat aber «das Steatit», wie dieses technische Erzeugnis nun genannt wird, den grossen Vorteil viel weiterreichender Verarbeitungsmöglichkeit gegenüber der spanabhebenden Bearbeitung.

Die Aufbereitung geschieht in ähnlicher Weise wie beim Porzellan, also mischen, mahlen, filtrieren, lagern der Filterkuchen, giessen, strangpressen, pressen in Stahlformen, trocknen und brennen, und in einzelnen Fällen glasieren.

Trotzdem durch die Gleichart der Arbeitsmethoden der Eindruck einer gewissen Verwandtschaft der beiden Erzeugnisse Porzellan und Steatit hervorgerufen wird, bestehen ganz wesentliche Unterschiede, und zwar schon in ihrem Aufbau. Fig. 1 zeigt das Zustandsdreieck für Porzellan und Steatit. In diesem Dreieck sind die 3 Hauptkomponenten der erwähnten keramischen Produkte aufgeführt.

Die Unterschiede zwischen Steatit und Porzellan treten aber noch deutlicher hervor beim Vergleich der physikalischen Eigenschaften (Tabelle I).

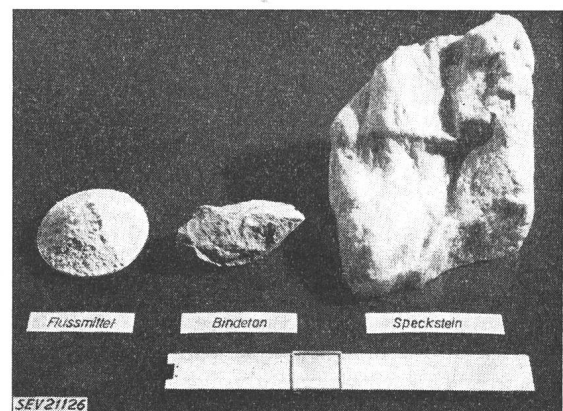


Fig. 2

Anteil von Speckstein, Bindeton und Flussmittel

In Tabelle I sind auch Werte für Steinzeug aufgeführt, das in der Elektrotechnik für die Herstellung von Grossisolatoren verwendet wird. Beim Vergleich der mechanischen Eigenschaften zeigt sich, dass die Werte von Steatit fast durchwegs doppelt so hoch sind wie von Porzellan. Bei den dielektrischen Werten ist besonders hervorzuheben,

Eigenschaften von keramischen Materialien

Tabelle I

| | Einheiten | Steinzeug | Porzellan | Isosteal | Rastea |
|--|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Raumgewicht | kg/dm ³ | 2,35 | 2,3...2,5 | 2,6...2,8 | 2,6...2,8 |
| Zugfestigkeit | kg/cm ² | 120...500 | 250...350 | 350...800 | 500...850 |
| Druckfestigkeit | kg/cm ² | 5000...6000 | 4000...5000 | 7000...9500 | 8000...9500 |
| Biegefestigkeit | kg/cm ² | 400...900 | 400...700 | 1000...1400 | 1100...1500 |
| Schlagbiegefestigkeit . . . | cm kg/cm ² | 1,8...2,3 | 1,8...2,2 | 3...5,5 | 3...6,5 |
| Durchschlagfestigkeit . . | kV/mm | 20...35 | 25...35 | 18...30 | 20...45 |
| Dielektrizitätskonstante . . | | | ≈ 6 | ≈ 6 | ≈ 6 |
| Dielektr. Verlustfaktor | | | | | |
| bei 50 Hz | · 10 ⁻⁴ | | 170...250 | 25...30 | 15...20 |
| bei 10 ⁶ Hz | · 10 ⁻⁴ | | 60...120 | 15...22 | 5...9 |
| Wärmebeständigkeit . . . | °C | 1300...1400 | 1400 | 1400 | 1400 |
| Lin. Ausdehnungskoeffi- zient | mm/mm °C · 10 ⁻⁶ | 4 | 3...7 | 7...9 | 7...9 |

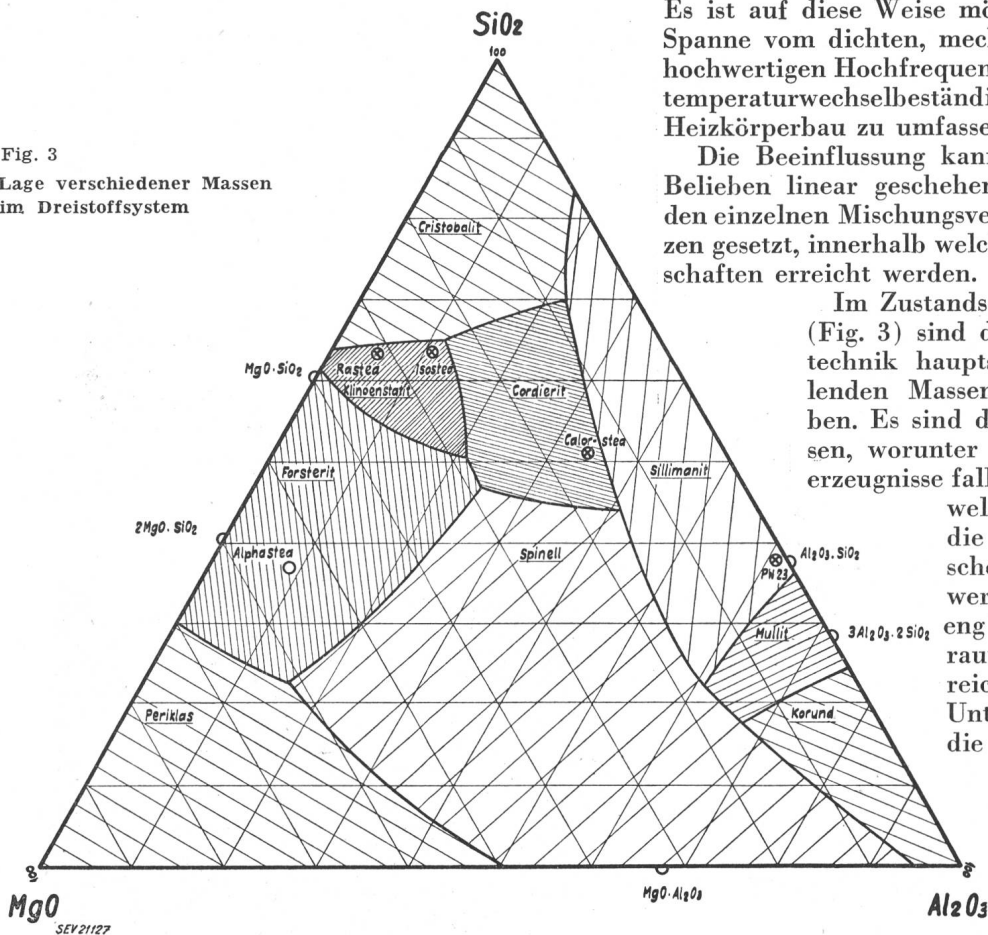
dass die dielektrischen Verluste bei Hochfrequenz nur ungefähr den zehnten Teil derjenigen von Porzellan betragen. Dagegen ist beim Porzellan die

Magnesiumoxyd zu Tonsubstanz, sowie durch Einführung weiterer Oxyde, keramische Erzeugnisse mit ganz verschiedenen Eigenschaften zu erreichen. Es ist auf diese Weise möglich, eine relativ weite Spanne vom dichten, mechanisch und dielektrisch hochwertigen Hochfrequenzsteatit, bis zum porösen, temperaturwechselbeständigen Material für den Heizkörperbau zu umfassen.

Die Beeinflussung kann aber nicht etwa nach Belieben linear geschehen. Es sind im Gegenteil den einzelnen Mischungsverhältnissen gewisse Grenzen gesetzt, innerhalb welcher die erwarteten Eigenschaften erreicht werden.

Im Zustandsdreieck $MgO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$ (Fig. 3) sind die drei, für die Elektrotechnik hauptsächlich in Betracht fallenden Massen besonders hervorgehoben. Es sind dies die Klinkensteinmassen, worunter die eigentlichen Steatiterzeugnisse fallen. Der Raum, innerhalb welchem dichtes Gefüge und die erforderlichen physikalischen Eigenschaften erreicht werden, ist verhältnismässig eng begrenzt. Grösseren Spielraum nimmt die tonsubstanzreichere Cordieritmasse ein. Unter diese fallen sowohl die fast dichten, wie die fein-

Fig. 3
Lage verschiedener Massen
im Dreistoffsystem



Durchschlagfestigkeit höher, weshalb dieses Material vorwiegend im Gebiet der Hochspannungstechnik Einsatz findet, während Steatit hauptsächlich für den Einsatz im Apparatebau und im Hochfrequenzgebiet bestimmt ist.

Bei diesen Erwägungen ist auch das wirtschaftliche Moment in Betracht zu ziehen, da Porzellan meistens preiswürdiger ist als Steatit.

Im Verlauf weiterer Untersuchungen, Speckstein als keramisches Material zu verwenden, hat sich gezeigt, dass das Magnesiumsilikat die Möglichkeit bietet, durch Veränderung des Verhältnisses von

porösen Massen für Widerstandsträger und Funkenstutzkammern. Ein noch grösseres Feld beherrscht das Magnesium-Orthosilikat Forsterit, auf das später noch an anderer Stelle hingewiesen werden soll.

Die an Tonsubstanz reicheren Massen Korund, Mullit und Sillimanit haben in der Elektrotechnik nur Bedeutung für die Herstellung von Heizziegeln, Kapillarrohren für Thermoelemente und für Pyrometerschutzrohre. Der magnesiumoxydreiche Periklas und der kieselsäurereiche Cristobalit und ganz besonders der in der weiten Entmischungsphase

Elektrische Eigenschaften von Steatitmassen

Tableau II

| Mineralogische Bezeichnung | Klinoenstatit | | Forsterit | Zirkonsilikat | Cordierit | Sillimanit |
|---|---|---|--|--|---|---|
| Erzeugnis der Schweiz. Isola-Werke | Isostea $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ | Rastea $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ | Alphastea $2 \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ | Isostea P $\text{ZrO}_2 \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ | Pyro u. Calorst. $2 \text{MgO} \cdot 2 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{SiO}_2$ | PW 23 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ |
| Vorwiegende Eigenschaften | Hohe Massgenauigkeit, hohe mechanische Festigkeit | | | | Guter Isolationswiderstand bei hoher Temperatur | Temperaturfestigkeit bis 1700 °C |
| Hauptsächliches Anwendungsgebiet | Allgemeiner Elektro-Apparatebau | Kleine dielektrische Verluste, Teile für Hochfrequenz-Apparatebau | Hoher linearer Ausdehnungskoeff. Verschmelzung mit Eisen/Glas. Röhrenbau | Gute Widerstandsfähigkeit geg. Temperaturwechsel. Mech. sehr hoch beanspr. Isolationsteile | Heizleiterträger Funkenkamine | Heizträgerrohre Pyrometerrohre Heiztiegel |
| Gefüge | dicht | dicht | dicht | dicht | feinporös bis dicht | feinporös |
| Spezifisches Gewicht . . | 2,75 | 2,74 | 2,65 | 3,1 | 2,4 | 2,0 |
| Ausdehnungskoeffizient . | $7,0 \cdot 10^{-6}$ | $7,0 \cdot 10^{-6}$ | $9,5 \cdot 10^{-6}$ | $5,7 \cdot 10^{-6}$ | $2,2 \cdot 10^{-6}$ | $5,5 \cdot 10^{-6}$ |
| Zugfestigkeit, kg/cm ² . . | 500 | 550 | 450 | 600 | 300 | 200 |
| Druckfestigkeit, kg/cm ² . | 9000 | 10000 | 8000 | 10000 | 4000 | 3500 |
| Biegefestigkeit, kg/cm ² . | 1200 | 1200 | 1000 | 1600 | 700 | 600 |
| Schlagbiegefest. cmkg/cm ² . | 2,9 | 3,0 | 2,6 | 3,5 | 2,2 | 2,0 |
| Durchschlagsfest. kV/mm . | 25 | 25 | 20 | 25 | 10 | 6 |
| Verlustfaktor, tgδ, 1 MHz . | $15 \cdot 10^{-4}$ | $< 8 \cdot 10^{-4}$ | $20 \cdot 10^{-4}$ | $40 \cdot 10^{-4}$ | — | — |

liegende Spinell fallen als keramische Materialien für die Elektrotechnik ausser Betracht.

In Tabelle II sind die erwähnten Massen samt ihren hauptsächlichsten Merkmalen und Eigenschaften für den Elektrotechniker zusammengestellt. Als Erstes ist die unter den Begriff Klinoenstatit fallende Normalsteatitqualität, sowie die durch grössere Reinheit der Rohstoffe und besondere Aufbereitungsart erzielte Hochfrequenzmasse Rastea auf-

lationswiderstand bei hoher Temperatur und Temperaturwechselbeständigkeit sind die vorwiegenden Eigenschaften dieser Materialien. Sillimanit hat, wie schon erwähnt, Bedeutung als Material für Temperaturen bis 1700 °C und dient in der Elektrokeramik zur Herstellung von Heizmuffeln, Pyrometerrohren u. dergl.

Fig. 4 und 5 zeigen einige Möglichkeiten der Anwendung und Formgebung.

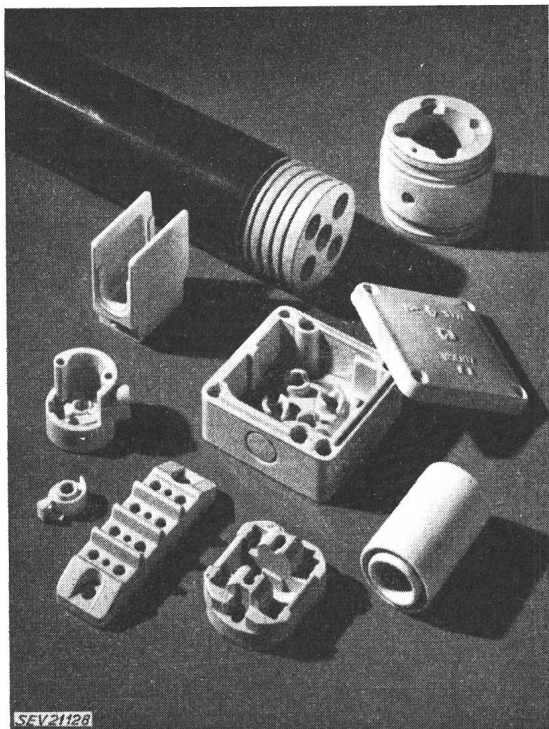


Fig. 4
Steatit-Teile

geführt. Forsterit- und Zirkonsilikat werden an anderer Stelle noch besonders besprochen, es soll deshalb direkt auf die Cordierit- und Sillimanitmassen hingewiesen werden. Jene umfassen die fast dichten bis feinporösen Massen zur Herstellung von Heizleiterträgern und Funkenkammern. Guter Iso-

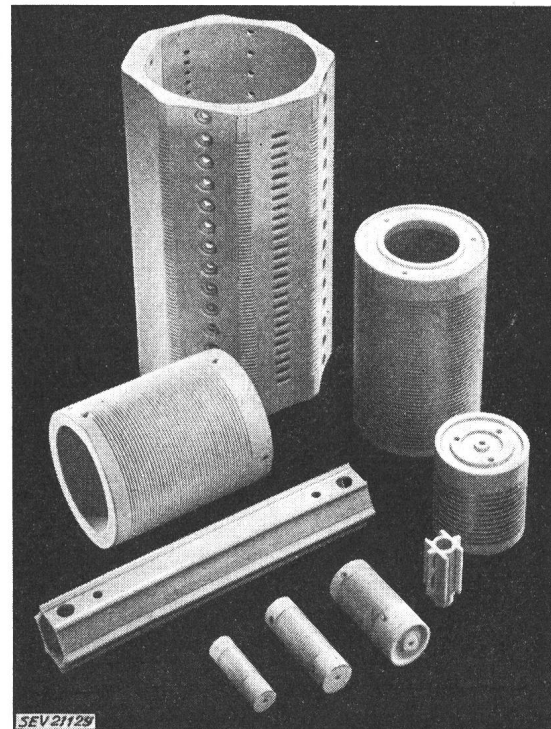


Fig. 5
Rastea-Spulen

Bei den Hochfrequenzspulen in Fig. 5 ist noch hervorzuheben, dass die Spulenkörper mit genau abgeglichenen Metallbelägen versehen werden können. Meistens wird hiezu kolloidales Silber bei einer Temperatur von etwa 900 °C eingebrannt und durch galvanische Verstärkung der Leitwiderstand

auf den gewünschten Wert gebracht. Diese Möglichkeit des Aufbrennens eines Metallbelages wirkt sich besonders günstig aus bei der Herstellung kerami-

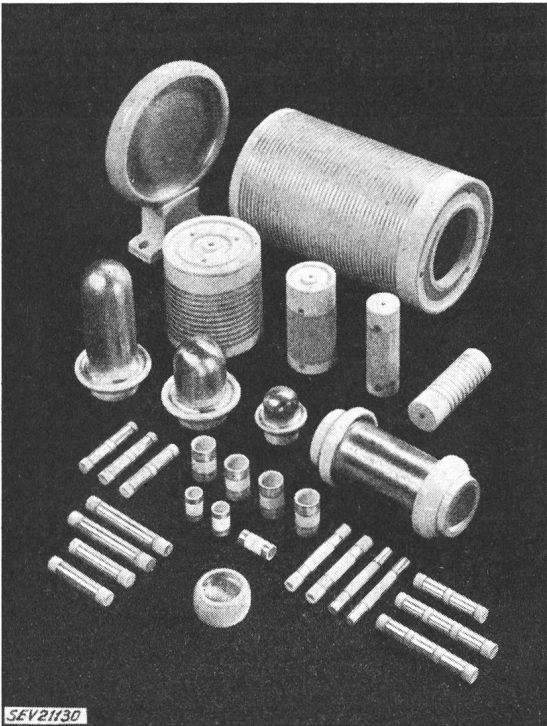


Fig. 6
Kondensatoren

scher Kondensatoren (Fig. 6). In Tabelle III sind einige elektrische Eigenschaften von keramischen Kondensatorenbaustoffen (Capasteamassen) zusammengestellt.

Die auf diesem mit der Hochfrequenz engverbundenen Zweig entwickelte Massenreihe zeigt, dass es heute möglich ist, keramische Kondensatoren für sehr weitreichende Ansprüche herzustellen, und zwar vom Platten- oder Topfkondensator bis zum kleinsten Hut- oder Röhrchenkondensator (Fig. 7).

Wenn wir im besonderen auf die beiden Massen Forsterit und Zirkonmagnesiumsilikat hinweisen, so geschieht dies deshalb, weil durch die Entwicklung solcher Sondermassen ganz konkret gestellte Aufgaben gelöst worden sind:

1. Die Herstellung von Keramikteilen mit hohem linearem Ausdehnungskoeffizienten um die Verschmelzung mit bestimmten Metallegierungen zu ermöglichen.
2. Die Schaffung einer keramischen Masse, welche imstande ist, die Anforderungen, die an die Isolierkörper von Hochleistungssicherungen gestellt werden, zu erfüllen.
3. Die Erhöhung der Festigkeit von Stützisolatoren für den Bau von Druckluftschaltern auf einen bestimmten Minimalwert unter gleichzeitiger Verbesserung der Temperaturwechselbeständigkeit.

Beim Vergleich der Forsteritmasse Alphastea mit den übrigen Steatitmassen (Fig. 8) ist ersichtlich, dass deren thermischer Ausdehnungskoeffizient

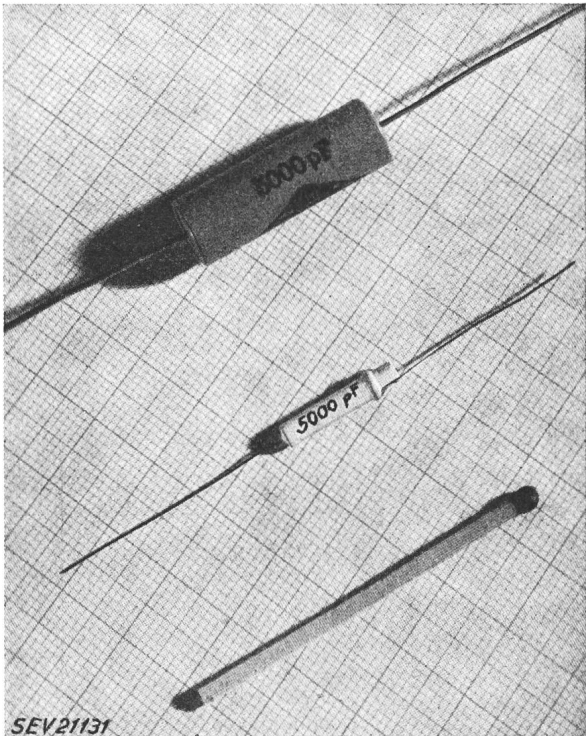


Fig. 7
Vergleich eines Papierkondensators mit einem keramischen Kondensator

denjenigen aller übrigen Massen übersteigt, während die übrigen Eigenschaften dadurch nur wenig beeinflusst werden. Durch sorgfältige Auswahl und Dosierung des zur Erhöhung des Anteils an Magnesiumoxyd verwendeten Rohstoffes, ist es gelungen, den Ausdehnungskoeffizienten auf $9,7 \cdot 10^{-6}$ zu steigern. Die Steigerung des Ausdehnungskoeffizienten kann aber nur bis zu einem gewissen Grenzwert getrieben werden; bei vermehrter Anreicherung des MgO-Gehaltes wird ein gewisser optimaler Wert des Ausdehnungskoeffizienten erreicht. Nachher zerfällt das dichte Gefüge und damit sinken auch die physikalischen Eigenschaften.

Wie aus den Bildern der Hochfrequenzbestandteile in Fig. 5 ersichtlich ist, lässt sich auf Steatit wohl ein Silber- oder Platinbelag einbrennen, die Haftfestigkeit dieser Beläge ist aber relativ so gering, dass Verbindungen mit andern Metallteilen nur unter Verwendung von Weichlot ausgeführt werden können. Eine sichere und vor allem auch bei starkem Temperaturwechsel dichte und feste Verbindung, wie sie für vakuumdichte Durchfüh-

Keramische Kondensatorenbaustoffe

Tabelle III

| Masse Nr. | P 140 | P 90 | NPO | N 30 | N 150 | N 750 | K 1500 |
|--------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| Spezifisches Gewicht .. | 2,74 | 3,1 | 3,1 | 4,0 | 3,5 | 3,7 | 3,9 |
| Dielektrizitätskonstante | 7 | 18 | 20 | 38 | 42 | 80 | 1500 |
| Verlustfaktor | $< 10 \cdot 10^{-4}$ | $< 5 \cdot 10^{-4}$ | $< 6 \cdot 10^{-4}$ | $< 6 \cdot 10^{-4}$ | $< 6 \cdot 10^{-4}$ | $< 10 \cdot 10^{-4}$ | $< 70 \cdot 10^{-4}$ |
| Temp. Koeffizient..... | + 140 | + 90 | ± 0 | - 30 | - 150 | - 750 | ca. - 10 000 |

rungen z. B. im Gleichrichterbau benötigt wird, kann meistens nur durch Aufbringen von Kappen oder Ringen aus Stahllegierungen erreicht werden. Da der Ausdehnungskoeffizient dieser Legierungen im Bereich von $9 \dots 10 \cdot 10^{-6}$ gehalten werden kann, wird durch die erwähnte Forsteritmasse Alphastea die Lösung dieses Problems erleichtert.

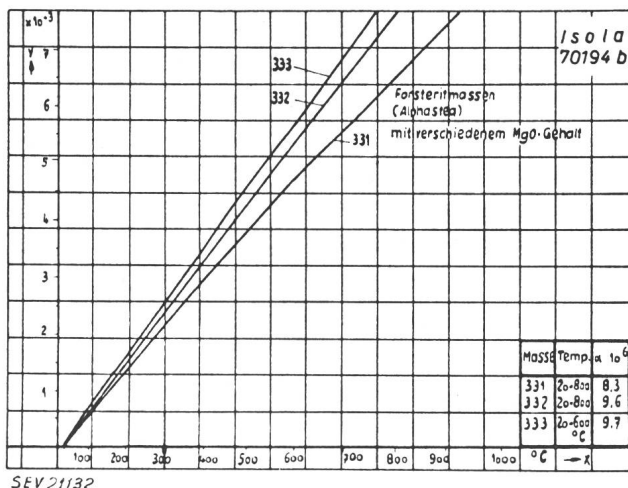
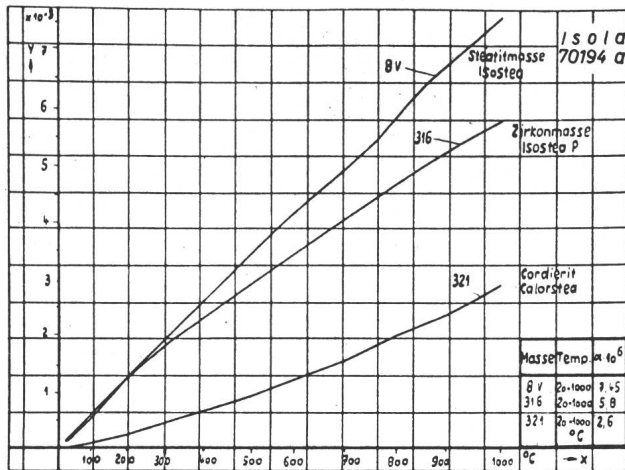


Fig. 8

Verlauf der linearen Ausdehnung verschiedener keramischer Massen

Besondere Beachtung verdient die auf Basis von Magnesiumsilikat und Zirkonoxyd aufgebaute Masse, die sich durch besonders hohe mechanische Festigkeit bei guter Temperaturwechselbeständigkeit auszeichnet. Keramische Erzeugnisse aus Zirkonerde oder Zirkonsilikat sind längst bekannt als hochfeuerfest und sehr widerstandsfähig gegen Säuren und alkalische Schmelzen. Diese Eigenschaften werden mit Vorteil ausgenutzt z. B. in Laboratoriumsgeräten und Glasschmelzöfen, da Zirkonoxyd meist nur bei sehr hohen Temperaturen und unter ganz besonderen Verhältnissen eine Verbindung mit andern Oxyden und Silikaten eingeht.

Obwohl bekannt ist, dass Zirkonsilikat den Porzellanmassen erhöhte Temperaturwechselbeständigkeit und höhere Festigkeitswerte verleiht, wurde Zirkonporzellan bisher infolge der relativ niedrigen dielektrischen Eigenschaften in der Elektrotechnik noch wenig eingesetzt. Reines Zirkonoxyd, das eine Verbesserung der dielektrischen Werte ermöglicht, verbindet sich aber wie schon erwähnt meist nur

bei technisch unwirtschaftlichen Temperaturen. Eine bemerkenswerte Ausnahme machen indessen Magnesiumoxyd, Vanadinsäure und Bariumoxyd, die sich bei ganz bestimmten Mischungsverhältnissen und wirtschaftlich gut erreichbaren Temperaturen mit Zirkonoxyd verbinden, und zwar Magnesiumoxyd bei 1580°C , Vanadinsäure bei 500°C und

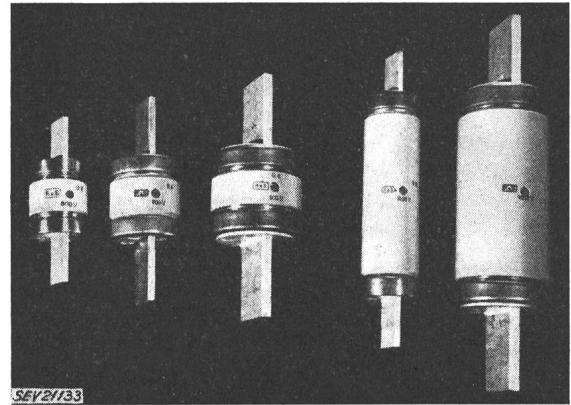


Fig. 9
Sicherungsschmelzeinsätze

Bariumoxyd bei 350°C . Da das dritte Material, als Witherit in die Steatitmasse eingeführt, einerseits beim Brennen als Flussmittel wirkt, andererseits sich bei relativ tiefer Temperatur mit ZrO_2 zu Bariumzirkonat verbindet, ist es möglich, durch die Einführung dieser Verbindung eine gewisse Menge von Zirkonoxyd in die Steatitmasse einzuführen. Dadurch wird ohne bemerkenswerten Abfall der dielektrischen Eigenschaften nicht nur die Widerstandsfähigkeit des Steatits gegen schroffe Temperaturwechsel erhöht, sondern auch die mechanischen Eigenschaften, vor allem Biege- und Schlagbiegefestigkeit.

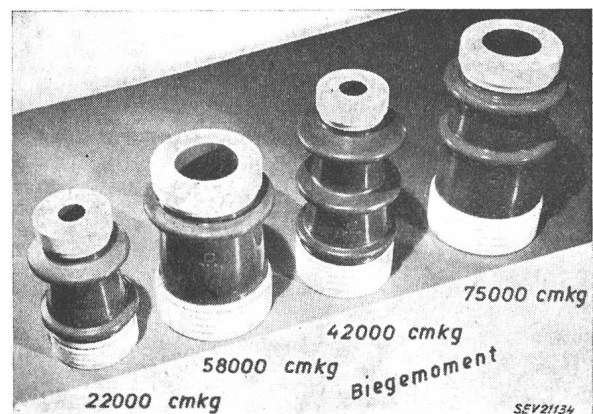


Fig. 10
Stützisolatoren

Das Problem der Verbesserung von Sicherungsschmelzeinsätzen scheint vielleicht etwas banal und der Elektriker mag sich fragen, was wohl von diesen Sicherungseinsätzen (Fig. 9) besonders gefordert werden könnte. Der Konstrukteur hingegen verlangt:

1. Massliche Genauigkeit, um einwandfreien Zusammenbau mit den Metallteilen zu gewährleisten.

2. Hohe mechanische Festigkeit, um das Aufwalzen der Metallhülsen zu sichern und ferner den beim Durchschmelzen, vor allem bei Kurzschluss auftretenden innern Druck ohne Schaden auszuhalten.

3. Temperaturwechselbeständigkeit um die bei der zulässigen Überlastung auftretende Erwärmung und eventuell schroffe Abkühlung ohne Rissbildung zu ertragen.

Die ersten beiden Bedingungen werden von Steatit sehr gut erfüllt, während es sich gezeigt hat, dass die dritte im allgemeinen nicht mehr gewährleistet ist. Hülsen aus der dichtgebrannten, temperaturwechselbeständigen Cordieritmasse Calorstea erfüllen bis zu einem gewissen Grad die 3 Hauptanforderungen, sofern beim Aufwalzen der Metallteile Rücksicht auf die etwas geringere mechanische Festigkeit genommen wird. Zu einer bedeutenden Verbesserung führte jedoch die Schaffung einer Masse als Zwischenstufe von Steatit und Zirkonmagnesiumsilikat, welche die Bedingungen in mechanischer und thermischer Hinsicht erfüllt.

Das dritte Problem, das es zu lösen gilt, betrifft die Schaffung einer Masse mit möglichst hoher Biegefestigkeit bei gleichzeitiger Widerstandsfähigkeit gegen schroffen Temperaturwechsel. Wie bekannt sein dürfte, werden an Stützisolatoren für

Druckluftschalter sehr hohe Ansprüche gestellt bezüglich deren Umbruchfestigkeit. Die Beanspruchung erfolgt meist schlagartig, oft sind solche Isolatoren auch schockartigen Temperaturwechseln ausgesetzt. Die Ansprüche an die Biegefestigkeit allein vermag auch bei entsprechender Verarbeitung Steatit zu erfüllen. Wird aber zusätzlich Widerstandsfähigkeit gegen schroffen Temperaturwechsel gefordert, so zeigt sich, dass diese Bedingungen mit weit grösserer Sicherheit durch Verwendung der erwähnten Sondermasse erfüllt werden.

Mit der Masse allein ist allerdings bei all diesen Problemen nur ein Teil der Aufgabe gelöst. Erst sorgfältige Aufbereitung, richtiges Bearbeiten, vorsichtiges Trocknen und Brennen bringen den vollen Erfolg, den die Massezusammensetzung bietet. Rationelle Einrichtungen, sowohl für die Fabrikation wie für das Brennen, sorgen für eine wirtschaftliche Fertigung. Gut ausgerüstete Laboratorien helfen mit, die Forschung und Entwicklung zu fördern und die erzielten Resultate zu überprüfen.

Adresse des Autors:

J. Wolf, Vizedirektor der Schweiz. Isola-Werke, Breitenbach (SO).

Porzellan als Werkstoff

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV/SVMT vom 5. Juni 1953 in Zürich, von H. Kläy, Langenthal

621.315.612.2

Für die Berechnung von Isolatoren fehlen sichere Angaben über die Festigkeitswerte von Porzellan. Innere Spannungen, hervorgerufen durch verschiedene Schrumpfung von Glasur und Porzellan sowie Temperaturdifferenzen bei der Abkühlung beeinflussen die Festigkeitswerte. Diese inneren Vorspannungen können zur Verbesserung der Festigkeitswerte ausgenutzt werden.

Les valeurs de resistivité mécanique pour la porcelaine varient avec la section à cause de la grande influence de la couche d'émail. En outre les contraintes internes provoquées par le refroidissement hétérogène changent les caractéristiques mécaniques de l'isolateur et peuvent améliorer sensiblement la charge de rupture.

Für die Berechnung von Isolatoren, die ein wichtiges Bauelement der Übertragungsleitungen sind, stehen uns wenige zuverlässige Angaben über die Festigkeit zur Verfügung. In der Regel sind die Festigkeitswerte in Funktion des Querschnittes an-

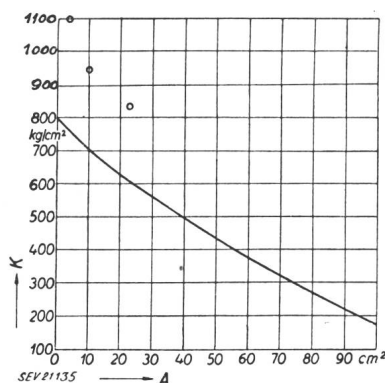


Fig. 1
Biegefestigkeit K von Porzellanzyllindern in Funktion des Querschnittes A
Die 3 Einzelwerte bei 5, 10 und 23 cm² sind an einem abgestuften, glasierten Stab bestimmt worden

gegeben (Fig. 1). Um möglichst alle Faktoren, die die Festigkeit beeinflussen könnten, gleich zu halten, hat man Probestäbe mit abgestuften Durchmesser hergestellt und daran die Biegefestigkeit bestimmt. Die so erhaltenen spezifischen Werte sind in Fig. 1 aufgetragen und zeigen auch die typische Verminderung der Biegefestigkeit mit zunehmendem Querschnitt. Wir werden dieses Verhalten später erklären.

Zugmessungen sind sehr vorsichtig auszuwerten, weil in der Regel erst in grösserer Entfernung von der Einspannung eine homogene Belastung der Probe erreicht wird. Auch Druckmessungen sind unzuverlässig, weil infolge vagabundierender Zugspannungen die Probe in der Regel durch Überschreiten der viel kleineren Zugfestigkeit bricht. In diesem Zusammenhang kann auch darauf hingewiesen werden, dass es schädlich ist, zwischen die geschliffene Druckfläche und den Metallstempel ein «weiches» Metallblech zu legen, um dadurch die Spannungen auszugleichen. Diese weiche Metallzwischenlage beginnt bei hoher Pressung zu fließen und zerreisst durch Reibungskräfte die Porzellanprobe, die man eigentlich Druckspannungen aussetzen wollte. Um den Einfluss der vagabundierenden Zugspannungen auszuschalten, wurden bei Versuchen in der Eidgenössischen Materialprüfanstalt (EMPA) die Proben gleichzeitig radial hydraulisch gepresst (Fig. 2). Diese Pressung beträgt zirka 10 % des achsialen Druckes. Dabei konnte auch bei 16 t/cm² die Probe nicht mehr zerdrückt werden. Porzellan hat eine so hohe Druckfestigkeit, dass sie meistens nicht ausgenutzt werden kann.

Um diese unsicheren Angaben über Festigkeitswerte verstehen zu können, muss der Aufbau und die Herstellung näher betrachtet werden. Porzellan ist ein Dreistoffsystem aus Kaolin (ca. 50 %), Quarz