

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 35 (1944)
Heft: 14

Artikel: Neuzeitliche Werkstoffprobleme
Autor: Stäger, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061586>

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: 14.01.2026

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

Le président: Je remercie M. Iklé des paroles qu'il vient de nous adresser.

Je voudrais relever que l'activité de l'Ako continue; si c'est nécessaire, elle deviendra plus intense encore. La question de la liaison permanente avec le délégué aux possibilités de travail sera étudiée et nous chercherons les meilleures moyens de la réaliser.

L'assemblée d'aujourd'hui ne doit pas rester sans lendemain et ce que vous avez entendu ne doit pas rester lettre morte. Vous avez pu vous convaincre des besoins de l'industrie; vous avez pu sentir que le chômage est à nos portes et qu'il sévira dans certaines industries plus rapidement peut-être qu'on ne le pense. Il ne faut pas attendre qu'il se présente à nous pour rechercher et utiliser toutes occasions de travail.

Des possibilités de travail vous ont été énumérées en grand nombre et il est du devoir de chacun d'étudier, dans

son réseau ou son entreprise, ce qu'il peut entreprendre; en particulier je recommanderai à tous ceux qui ne l'ont pas fait et qui peuvent le faire, d'établir un plan dans le genre de celui de M. Pfister et qui est caractérisé par: achat de matériel et modernisation, amélioration, extension des installations afin de les rendre plus rentables. Ces occasions de travail là sont encore les meilleures. Evidemment, vous n'êtes pas toujours libres de faire ce que vous voudriez dans vos entreprises; vous avez des organes supérieurs, autorités ou conseils d'administration à convaincre. Il se peut que, dans certains cas, vous ayez de la peine à faire passer vos idées; l'UCS et l'Ako sont alors à votre disposition pour vous aider à trouver les moyens de faire admettre votre manière de voir.

Je remercie encore sincèrement les différents conférenciers ainsi que tous ceux d'entre vous qui ont pris part aux discussions et, si personne ne demande encore la parole, je déclarerai la séance levée.

La séance est levée à 16 h 50.

Neuzeitliche Werkstoffprobleme

Vortrag, gehalten an der gemeinsamen Arbeitsbeschaffungstagung des SEV und VSE vom 13. April 1944 in Bern,

von H. Stäger, Zürich

620.2

Mit Versuchsergebnissen und namentlich praktischen Erfahrungen wird an den Beispielen von Aluminium, Glasfasern, keramischen Baustoffen, organischen Faserstoffen, regenerierten Isolierölen und Kautschukprodukten, und besonders auch der Kunststoffe gezeigt, dass die wissenschaftliche Bearbeitung der Werkstoffprobleme zu neuen und gegenüber den konventionellen Konstruktionen technisch besseren Lösungen führte. Eine ganze Reihe von Konstruktionen mit neuen Werkstoffen verdanken vielleicht wohl ihre Entstehung der Mangelwirtschaft, werden sich jedoch für immer durchsetzen. Betont wird, dass die moderne Werkstoffforschung zur Kenntnis der entscheidenden Eigenschaften der neuen Werkstoffe und damit zu deren richtigem Einsatz führt.

Se basant sur des résultats de recherches et avant tout sur des expériences pratiques, l'auteur démontre par les exemples de l'aluminium, de la fibre de verre, des matières céramiques, des fibres organiques, des huiles isolantes régénérées, des produits à base de caoutchouc récupéré et surtout des matières synthétiques, que la mise au point scientifique des problèmes concernant les matières premières industrielles a abouti à de meilleurs résultats qu'avec la pratique conventionnelle. Un grand nombre de constructions où rentrent des matières nouvelles sont évidemment dues à la pénurie de matières premières, mais elles continueront certainement à être employées à l'avenir. L'auteur insiste en outre sur le fait que les méthodes modernes appliquées à l'étude des matières premières industrielles permettent de connaître les propriétés essentielles des nouvelles matières et, par conséquent, d'utiliser correctement celles-ci.

Die Kriegswirtschaft hat für eine Menge technischer Probleme neuartige Lösungen nötig gemacht. Es ist begreiflich, dass auch auf dem Werkstoffsektor Veränderungen vorgenommen werden mussten, wenn die technische Ausführung einer bestimmten Aufgabe mit den kriegsbedingten Mitteln ermöglicht werden sollte. Dabei wurden Begriffe wie «Ersatzstoffe», «Austauschstoffe», «Ummstellstoffe» und andere eingeführt, mit denen leider fälschlicherweise sehr oft eine Minderbewertung gegenüber den früher gebräuchlichen Werkstoffen verbunden ist. Dieser Auffassung muss unbedingt entgegengetreten werden, da es vielmehr möglich geworden ist, durch eingehenderes Studium der Werkstoffanlagen neuartige und technisch bessere Lösungen zu finden, so dass man kaum mehr davon abgehen wird. Verschiedentlich stösst man auf die Auffassung, dass sich nach Abschluss des Krieges die Vorkriegsrohstoff- und Werkstofflage wieder einstellen werde. Auch diese Auffassung dürfte nicht ganz richtig sein, da bei der Erzeugung neuartiger Werkstoffe andere wirtschaftliche Gesichtspunkte im Vordergrund stehen als früher. Für die technisch-wirtschaftliche Tätigkeit müssen wir unterscheiden zwischen der reinen Geldwirtschaft und der Stoffwirtschaft. Der wirtschaftliche Zweck ist in beiden Fällen der gleiche. Die Erreichung des Zweckes aber wird auf verschiedenen Wegen ver-

folgt. In Fig. 1 sind die wesentlichen Gesichtspunkte zusammengestellt. Am Beispiel von Erdgas wird dort gezeigt, wie die technische Entwicklung die wirtschaftlichen Verhältnisse auf dem Werkstoffmarkt beeinflusst. Während früher der Roh-

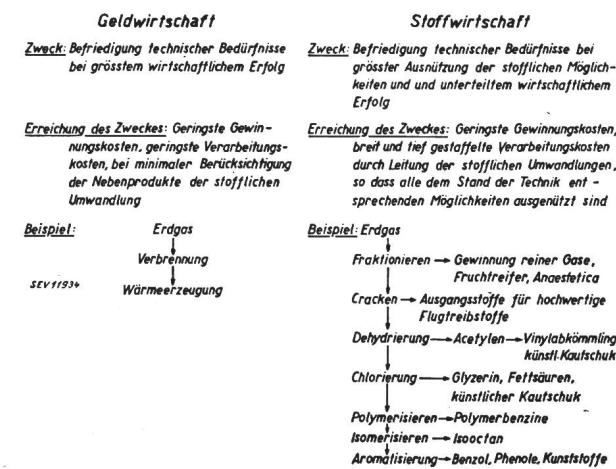


Fig. 1.
Geldwirtschaft und Stoffwirtschaft

stoff Erdgas in sehr primitiver Art und Weise bewirtschaftet wurde, änderten sich im Zuge der Entwicklung der katalytischen Verfahren und der Großsynthesen die Verhältnisse von Grund auf.

Auch aus andern Rohstoffgebieten könnten ähnliche Beispiele beigebracht werden.

Die wissenschaftliche Bearbeitung der Werkstoffprobleme erfuhr durch den Ausbau der Werkstoffkunde eine wesentliche Erweiterung. Es ist leider in gewissen Kreisen immer noch die Auffassung vorhanden, dass die Werkstoffkunde eine Art Technologie sei. Diese Anschauung ist jedoch nicht richtig, da die Werkstoffkunde ein wesentlich weiteres

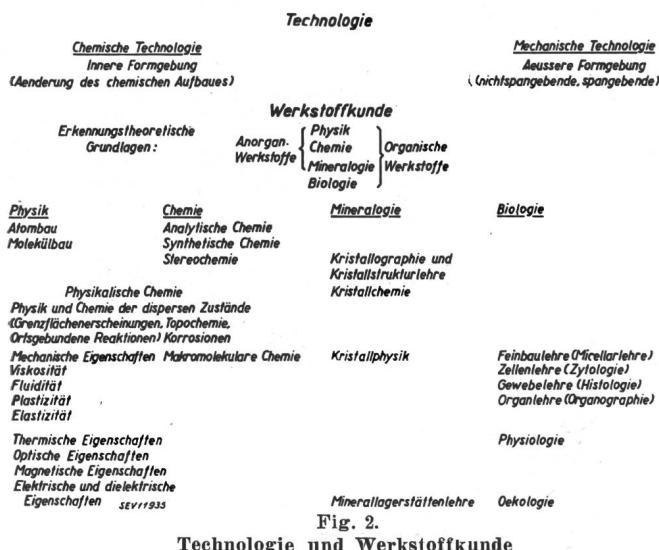


Fig. 2.
Technologie und Werkstoffkunde

Arbeitsgebiet umfasst, wie dies aus Fig. 2 zu ersehen ist. In unserer Betrachtung können wir nicht auf die Einzelheiten eingehen; es soll lediglich durch die Zusammenstellung Fig. 2 ein Ueberblick über die Zusammenhänge in dieser Hinsicht moderner technischer Forschung gegeben werden.

In der Elektrotechnik wurde auf dem Gebiete der Metalle die wesentlichste Umstellung durch den Austausch von *Kupfer* durch

Aluminium

als Leiterbaustoff für die verschiedensten Zwecke vorgenommen. Die werkstofflichen Eigenschaften sind zur Genüge bekannt, so dass sie an dieser Stelle übergangen werden können. Dagegen sollen einige neuartige Lösungen und Anwendungen von Aluminium besprochen werden.

Vorerst sind die Verbindungen metallischer Teile aus Aluminium kurz zu erwähnen, und zwar als wesentlichste das Verschrauben, das Löten, das Schweißen und Punktschweißen. Bei allen Anwendungen von Aluminium muss man sich darüber im klaren sein, dass sich dieses Metall an der Oberfläche mit Aluminiumoxyd überzieht. Die Aluminiumoxydschicht kann je nach vorangegangener

Verarbeitung eine Dicke von 0,05...0,2 μ aufweisen. Die dickeren Schichten treten nach Warmbehandlung in Erscheinung, die dünnen bei kaltverarbeiteten Werkstoffen. Das Aluminiumoxyd hat einen Schmelzpunkt von 2060° C, das Reinaluminium von 658° C.

Bei Verschraubungen spielt die Aluminiumoxydschicht eine untergeordnete Rolle. Bei Verwendung normaler Zylinderkopfschrauben kann der Uebergangswiderstand infolge der allmählich zunehmenden plastischen Deformation des Aluminiumdrahtes in kurzer Zeit auf das Vielfache des Anfangswertes ansteigen. Wackelkontakte und die Gefahr ern-

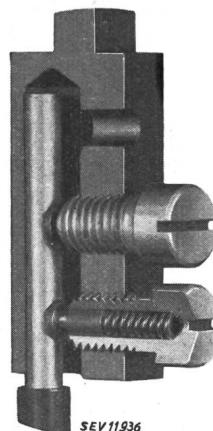


Fig. 3.

Federnde Druckschraube
für Aluminiumdrahtverbindungen
(Landis & Gyr)

Siehe Bull. SEV 1941, Nr. 24, S. 654.

ster Betriebsstörungen sind die Folge. Es ist jedoch gelungen, durch Einführung einer federnden Druckschraube, die aus Fig. 3 ersichtlich ist, die Schwierigkeiten zu beseitigen.

Beim Löten und Schweißen muss die Aluminiumoxydschicht an den Verbindungsstellen entfernt werden, was auf mechanischem oder chemischem Wege möglich ist. Als Beispiel für die erstgenannte Lösung ist das Reiblöten zu erwähnen. Das Lot wird zur Zerstörung der Oxydschicht auf die vorgewärmten, zu verbindenden Oberflächenteile aufgerieben. Es ist neuerdings gelungen, die Lotzusammensetzung so zu wählen, dass ein Bestreichen der erhitzten



Fig. 4.
Hartlöten von Aluminium

- Links: Korrosionen nach Behandeln im Salzsprühnebel.
Mitte: Röntgenogramme der verschiedenen Lötmittel.
Oben: Mit Sabozol gelötet.
Unten: Mit Autogal gelötet.
Rechts: hartgelöste Konstruktion.

Aluminiumteile mit dem kalten Lot genügt, um die Oxydschicht zu zerstören und die Oberfläche so mit

einer Metallschicht zu versehen, dass zugesetztes Lot darauf ohne weiteres fliesst¹⁾.

Die Reaktionslöte sind Salzmischungen, die Schwermetallsalze enthalten, welche in wässriger Lösung hydrolyseren und Säure abspalten, die dann

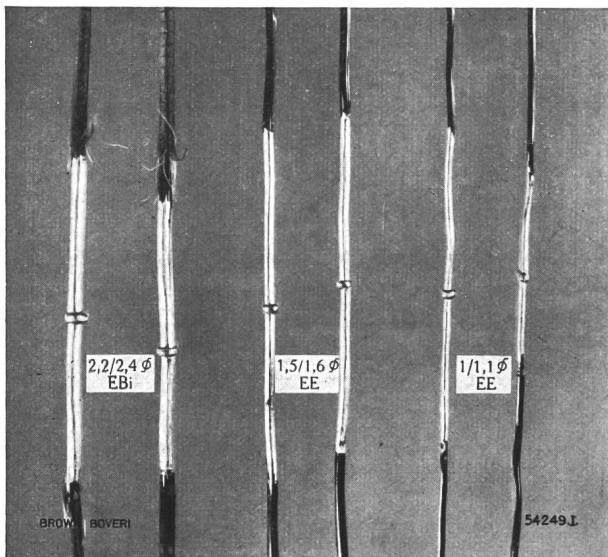


Fig. 5.

Autogen ohne Verwendung von Schweißpulver stumpfgeschweißte Aluminiumdrähte; Lack- und Baumwollisolierung 1...2,2 mm Ø des blanken Drahtes. Die kleinen Wulste sind die Schweißstellen

das Oxyd aufzulösen vermag. Auf diese Art und Weise können einwandfreie Hartlötungen ausgeführt werden (siehe Fig. 4 rechts). Die Lötmittel müssen gut entfernt werden, da sonst bei Feuchtigkeitseinwirkung unter Umständen starke Korrosion-

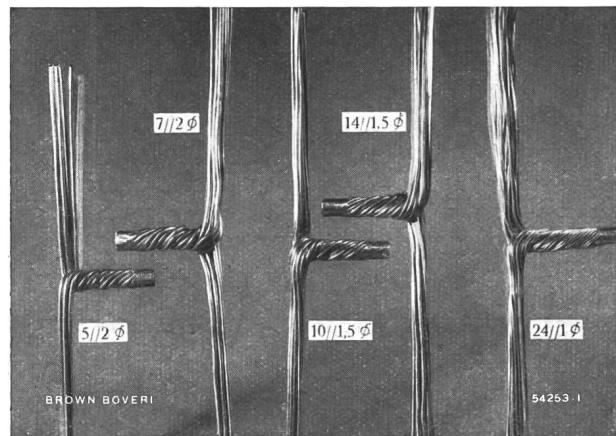


Fig. 6.

Elektrisch verschweißte Aluminiumdrähte blank, 1...2 mm Ø, bis 24 Drähte parallel, ohne Schweißpulver

nen vorkommen können, wodurch die Verbindungsstellen schliesslich zerstört werden. Durch eingehende Untersuchungen gelang es, Lötmittel zusammenzustellen, welche diese Nachteile nicht mehr aufweisen (siehe Fig. 4 links). Die röntgenogra-

phische Untersuchung der Lötmittel (Fig. 4 Mitte) lässt die Unterschiede in der Zusammensetzung deutlich erkennen.

Für das autogene und elektrische Schweißen von Aluminium wurden Verfahren ausgearbeitet, die

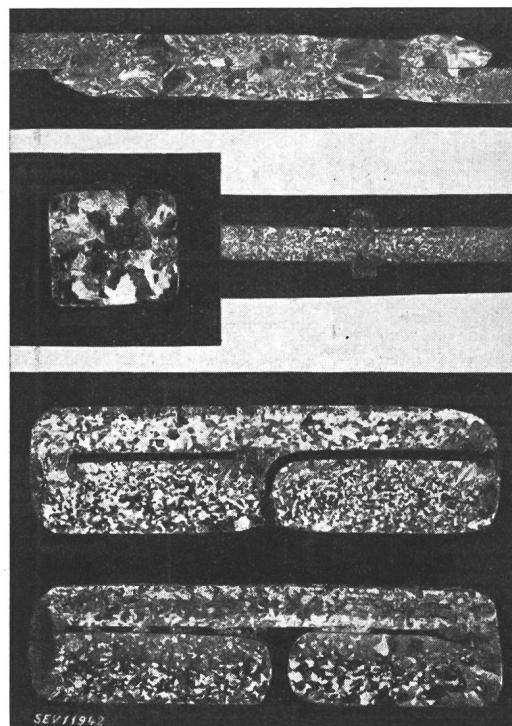


Fig. 7.

Gefügeaufnahmen von verschiedenen Aluminiumschweißungen

beispielsweise erlauben, Verbindungen innerhalb der Wicklungen ohne Anwendung von Hilfsmitteln mit Sicherheit und Zuverlässigkeit auszuführen²⁾. In Fig. 5 sind autogen stumpfgeschweißte Aluminiumdrähte von 1...2,2 mm Ø, isoliert, gezeigt. Elek-



Fig. 8.

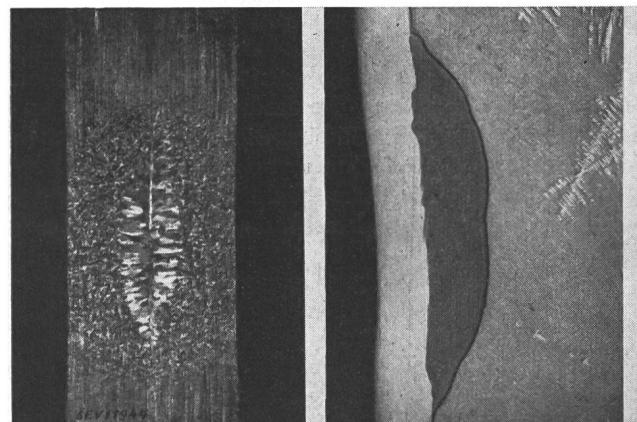
Geätzter Schliff durch eine elektrische Schweißung
Es ist die vollständige Durchschweissung der Verbindung
sichtbar

¹⁾ Oerlikon-Mitteilungen, Nr. V-7, November 1942.

²⁾ F. Streiff, Brown Boveri Mitt., Bd. 29 (1942), S. 87.

trisch verschweißte Aluminiumdrähte, blank, 1...2 mm Ø, bis 24 Drähte parallel, zeigt Fig. 6.

Die Schweissverbindungen wurden eingehenden Untersuchungen unterworfen, um festzustellen, ob die Verbindung an und für sich einwandfrei ist und ob durch das Schweißen Gefügeänderungen verursacht werden. In Fig. 7 sind einige Gefügeaufnahmen von Aluminiumschweißstellen zusammengestellt, die deutlich zeigen, dass die Verbindungen durchwegs gut sind und dass keine Grobkornbildung zu beobachten ist. Ebenso gut sind die Verbindungen der Vielfachdrahtverschweissungen nach Fig. 6. Ein Schnitt durch die elektrische Schweißung ist in Fig. 8 dargestellt.



Seit einiger Zeit hat auch die Punktschweissung der Leichtmetalle beachtliche Fortschritte gemacht und grosse Bedeutung erlangt. Bei diesem Verfahren ist zu berücksichtigen, dass die Aluminiumoxydschicht isolierend ist und den elektrischen Widerstand beim Stromschluss erhöht. Wenn der Durchschlag durch die Aluminiumoxydschicht erfolgt, haben wir metallische Verbindung und der Widerstand

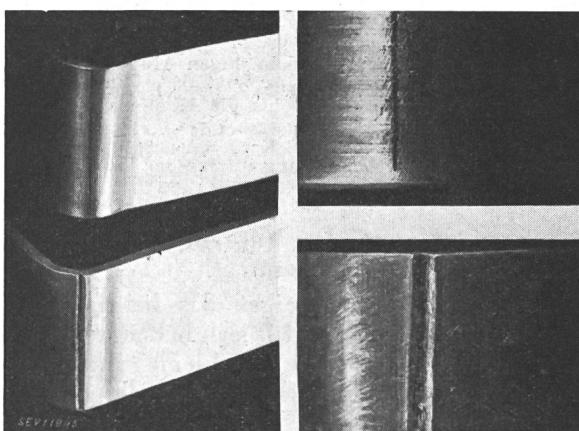


Fig. 10.

Biegeproben von Aluminium

Obere Probe vor dem Biegen zur Kennzeichnung der Biegestelle mit Bleistiftstrich versehen, untere Probe Biegestelle mit Stahlnadel; Rissbildung nach dem Biegen

fällt von 0,04 Ohm auf 0,008 Ohm in 4 ms. Die Schweisslinse einer Aluminiumpunktschweissung ist aus Fig. 9 links zu ersehen. Es ist auch möglich, andere Metalle wie Kupfer und Silber durch die

Punktschweissung mit Aluminium zu verbinden (siehe Fig. 9, Mitte und rechts).

Der werkstoffgerechte Einsatz erfordert genaue Kenntnis der besonderen Eigenschaften eines Werkstoffes. Im Zusammenhang mit der Verwendung von Aluminium soll noch auf eine Besonderheit hingewiesen werden. In Fig. 10 werden 2 Biegeproben gezeigt, wobei die obere vor dem Biegen mit einem Bleistiftstrich zur Kennzeichnung der Biegestelle versehen, während bei der untern Probe die Biegestelle mit einem Stahlstift gekennzeichnet wurde. Es zeigt sich deutlich, vor allem in den beiden Bildern auf der rechten Seite der Fig. 10, dass durch Verwendung des Stahlstiftes die Kerbwirkung so gross

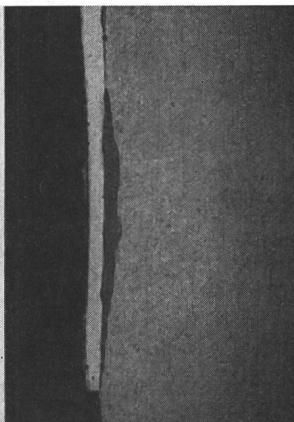


Fig. 9.

Punktschweissungen bei Aluminium, Aluminium-Kupfer und Aluminium-Silber

Links: Schweisslinse bei 2×2 mm Aluminiumblech.

Mitte: 1 mm Kupfer auf

Aluminium.

Rechts: 0,3 mm Silber auf

Aluminium.

geworden ist, dass beim Biegen ein Riss entsteht. So können kleine Ursachen grosse Wirkungen auslösen, wenn die genaue Kenntnis der werkstofflichen Eigenarten nicht vorhanden ist.

Es soll in diesem Zusammenhang noch auf eine andere Besonderheit hingewiesen werden, die bis zur richtigen Erkenntnis grosse Schwierigkeiten bereitet hat. Es ist dies die Rekristallisation. Wenn Metalle oder Legierungen einer Kaltverformung unterzogen worden sind und nachträglich auf höhere Temperaturen erhitzt werden, kann je nach den Bedingungen mehr oder weniger starke Rekristallisation auftreten. Dabei entsteht ein grobkörniges Gefüge, das schlechte mechanische Eigenschaften bedingt. Die Korngröße ist abhängig von der Zeit, der Temperatur und dem Verformungsgrad, wie aus Fig. 11 hervorgeht. Die Rekristallisation kann bei kaltgezogenen Aluminiumdrähten, die nachträglich

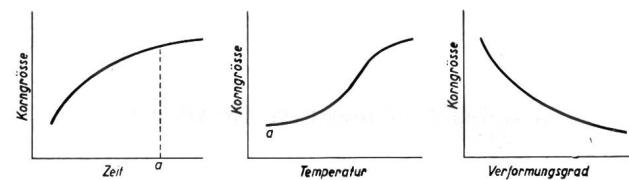


Fig. 11.

Abhängigkeit der Korngrösse nach der Rekristallisation von Zeit, Temperatur und Verformungsgrad

mit Drahtlack isoliert werden, vorkommen. Die rekristallisierten Stellen haben wesentlich schlechtere mechanische Eigenschaften als die andern Drahtteile. Es ist vor allem eine Versprödung zu

beobachten, wie Fig. 12 links erkennen lässt. Die rekristallisierten Stellen lassen sich im Gefüge durch ihre Grobkristallbildung deutlich erkennen (siehe Fig. 12 rechts). Es ist durch geeignete Vorbehandlung möglich, die Rekristallisation zu verhindern.

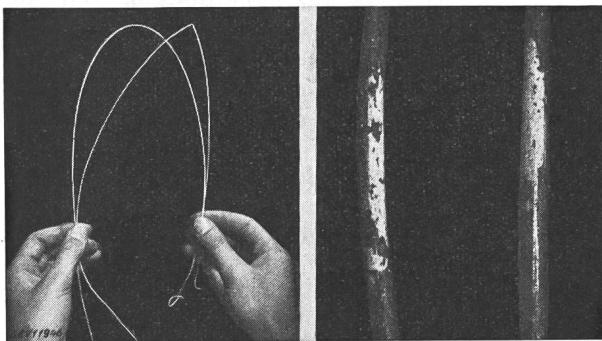


Fig. 12.

Rekristallisation bei lackierten Aluminiumdrähten
Links: nichtrekristallisierte und rekristallisierte Draht (scharfer Kniek).
Rechts: Grobkornbildung bei der Rekristallisation von Aluminiumdrähten.

Bei der Herstellung von Lackdrähten aus Aluminium muss noch auf andere Erscheinungen aufmerksam gemacht werden. Die Drahtlacke sind verschieden zusammengesetzt, je nach der erforderlichen Isolation. Die Drahtlacke, die trocknende Öle enthalten, reagieren mit dem Aluminiumdraht und setzen so die Verarbeitbarkeit, vor allem das Wickeln und auch die Lagerbeständigkeit, beträchtlich herab. Durch die Erzeugung anders zusammengesetzter Drahtlacke wurde es möglich, diese Schwierigkeiten zu überwinden. Die neuartigen Drahtlacke sind Kunstharzlacke, die gegen Aluminium indifferent sind³⁾. In Fig. 13 ist die gegenseitige Beein-

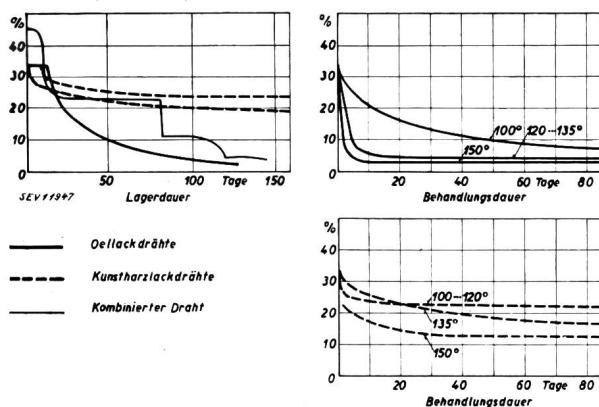


Fig. 13.

Einfluss verschiedener Drahtlacke auf Aluminiumdrähte
Links oben: Abhängigkeit der Wickelfähigkeit von der Lackzusammensetzung.
Rechte Seite: Abhängigkeit der Temperaturbeständigkeit von der Drahtlackzusammensetzung.

flussung der Drahtlacke und der Aluminiumdrähte zu ersehen. Auf der rechten Seite der Abbildung ist die Temperaturbeständigkeit eingezeichnet und es lassen sich auch hier wieder beträchtliche Unter-

schiede je nach der Zusammensetzung der Drahtlacke erkennen.

Es wurde bereits erwähnt, dass Rückstände von Lötmitteln zu Korrosionen Anlass geben. Auch bei Schienenverschraubungen von Aluminium mit Kupfer können an den Verbindungsstellen Korrosionen auftreten, sofern nicht besondere Schutzmaßnahmen getroffen werden. Fig. 14 zeigt eine Aluminium-Kupfer-Schienenverschraubung nach einem 70tägigen Korrosionsversuch im Salzsprühnebel. Die Aluminiumschiene ist links und die Kupferschiene rechts zu erkennen. Bei der oberen Verschraubung mit Stahlschraube ist die Korrosion deutlich sichtbar. Bei der unteren Verschraubung wurde eine Isolation zwischengeschaltet, wodurch die Korrosion verhindert werden kann. Ähnliche Korrosionen zeigt auch Fig. 15. Durch Verwendung kupferplattierter Zwischenlagen kann die Korrosion bei Kupfer-Aluminium-Verbindungen ebenfalls unterdrückt werden. Fig. 15 lässt die Verhältnisse nach einer 55tägigen Einwirkung von Salzsprühnebel erkennen. Das jeweils links direkt in Verbindung gewesene Aluminiumstück zeigt deutlich um das Loch

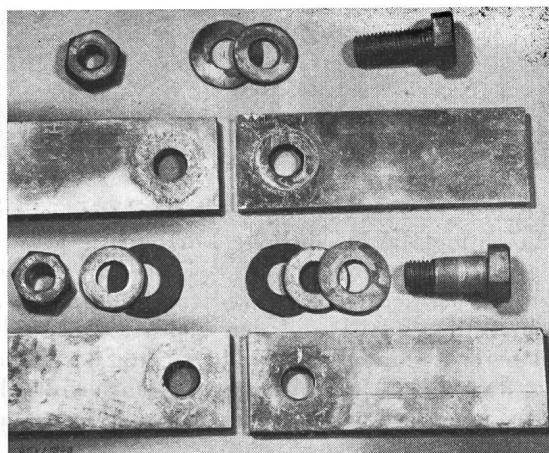


Fig. 14.

Korrosionen auf Schienenverschraubungen Aluminium-Kupfer nach 70tägiger Behandlung im Salzsprühnebel
Links die Aluminium-, rechts die Kupferschiene.
Die obere Verschraubung ohne Isolation der Stahlschraube und der Unterlagscheibe zeigt die Korrosionsangriffe deutlich, während die untere Verschraubung infolge der Isolation keine Korrosion aufweist.

den Korrosionsangriff. Die Aufnahmen rechts lassen die Schutzwirkung erkennen.

Die wenigen Beispiele zeigen, dass bei erweiterter Verwendung eines an und für sich bekannten Werkstoffes verschiedene neue Probleme auftauchen. Schwierigkeiten lassen sich aber durch geeignete Massnahmen überwinden, so dass ein vollwertiger Einsatz des Werkstoffes möglich wird.

Aluminium wird heute in grossem Umfang auch im Zählerbau verwendet, und zwar sowohl als Leiterwerkstoff, als auch für andere Zählerbestandteile. So zeigt Fig. 16 die Zahlenrolle eines Zählerwerkes, die aus Aluminiumblech gepresst ist. Die frühere Ausführung in Spritzguss wurde dadurch vollwertig ersetzt. Mit dieser Neuerung ist nicht nur eine Ersparnis an Zinn (Spritzgusslegierung) ver-

³⁾ E. Greulich, ETZ, Bd. 64 (1943), S. 241.

bunden, sondern das Gewicht der Zahlenrolle beträgt nur $\frac{1}{3}$ der früheren Ausführung. Dadurch wurde eine Erhöhung der Messgenauigkeit bei Kleinlast erreicht.

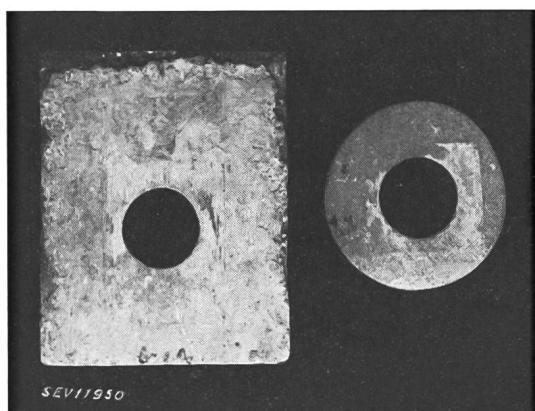
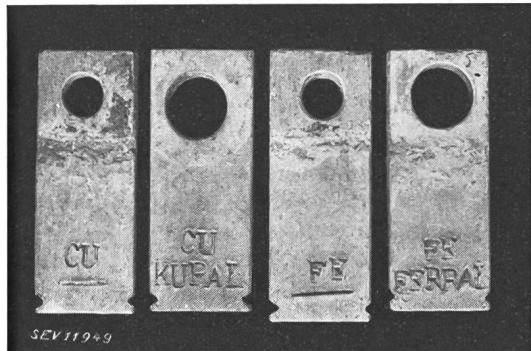


Fig. 15.

Korrosionen an Verschraubungen ohne und mit Kupferplattierung nach Behandlung im Salzsprühnebelbad
Links oben: direkt mit Kupfer in Berührung gewesene Aluminiumschiene, Korrosion um das Loch.
Unten: mit Cupal in Berührung gewesene Aluminiumschiene ohne Korrosion.

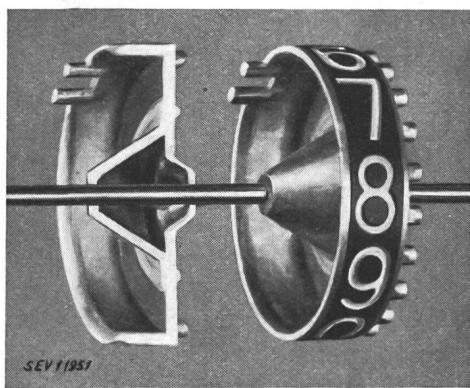


Fig. 16.

Zahlenrolle eines Zählwerkes aus Aluminiumblech
 (Landis & Gyr)
 Siehe Bull. SEV 1942, Nr. 25, S. 750.

Stromspulen aus Aluminium haben sich in Zählern sehr gut bewährt. Sie gestatten eine messtechnisch dem Kupfer dauernd gleichwertige Ausführung. Links auf Fig. 17 ist eine Spule für 100 A mit Punktschweisung in halbfertigem Zustand gezeigt. Die Spule in der Mitte ist ebenfalls für 100 A be-

stimmt; sie ist lackiert. Rechts ist die Spule eines Gleichstromzählers aus Aluminiumband abgebildet. Die Anschlüsse an die Verbindungsleitungen aus Aluminium sind punktgeschweisst.

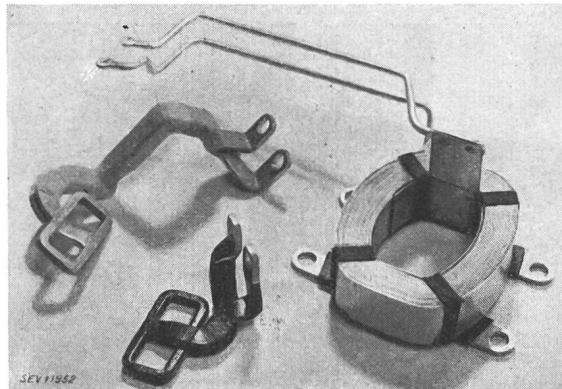


Fig. 17.

Stromspulen aus Aluminium für Zähler
Links: Spule für 100 A mit Punktschweisung in halbfertigem Zustand.
Mitte: Spule für 100 A fertig lackiert.
Rechts: Spule eines Gleichstromzählers aus Aluminiumband. (Landis & Gyr)

Einige Anwendungen von Aluminium im Grossmaschinen- und Apparatebau sollen diesen Abschnitt beschliessen. Fig. 18 zeigt eine Statorwicklung aus Aluminium eines Generators von 20 000 kVA, 9000 V, 1285 A. Aus dem Bild kann man ersehen, wie die Spulenverbindungen hartgelötet werden. Sowohl Wicklungen als auch Ableitungen werden bei Transformatoren in grösstem Umfange in Aluminium ausgeführt. Fig. 19 zeigt einen

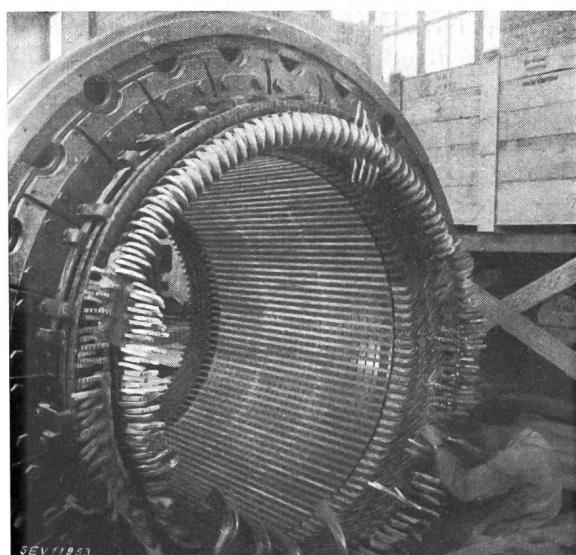


Fig. 18.

Aluminiumstatorwicklung; Hartlöten der Spulenverbindungen
 (Brown Boveri)

Ofentransformator von 7500 kVA, 21 700 A/Phase in dieser Bauart.

Die Ausbildung von Trennstellen erfuhr durch die Verwendung von Aluminium anstelle von Kupfer wesentliche Veränderungen. Dies zeigt Fig. 20. Auf der linken Seite dieser Figur ist die frühere

Ausführung eines einpoligen Trenners für Wechselstrom 50 Hz, 5000 A zu ersehen. Zum Schalten sind drei verschiedene Operationen erforderlich. Die neue Ausführung in Aluminium (rechts in der Figur)

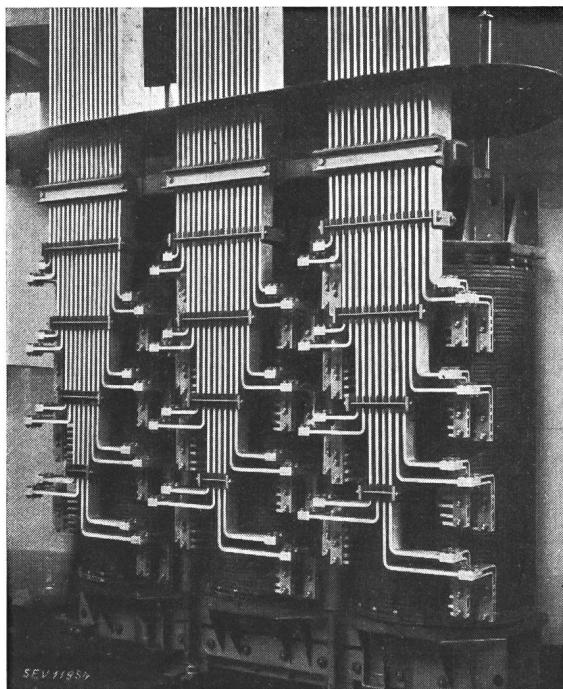
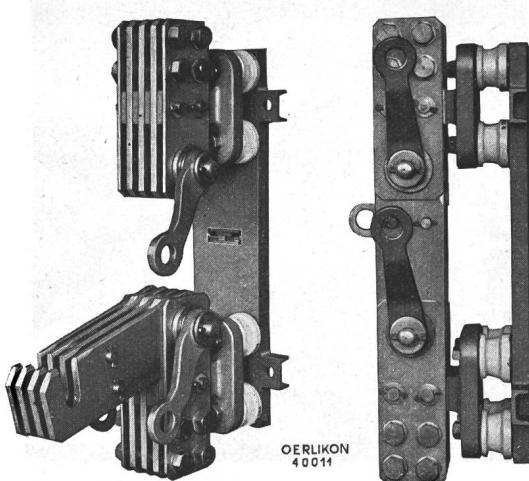


Fig. 19.
Ofentransformator 7500 kVA; Wicklung und Ableitungen aus Aluminium (Brown Boveri)

ermöglicht eine Schaltung durch einen Vorgang. Durch Kuppelung von drei einpoligen entsteht ein dreipoliger Trenner, der durch einen einzigen Hebelantrieb bedient werden kann⁴⁾.



Links: Ausführung in Kupfer für Wechselstrom 50 Hz 5000 A. Rechts: Ausführung in Aluminium für Gleichstrom 5000 A. (Maschinenfabrik Oerlikon)

Aus dem Gebiet der *anorganischen* Werkstoffe sollen noch die

⁴⁾ K. Widmer, Bull. Oerlikon (1943), Nr. 244, S. 1559.

Glasfasern

erwähnt werden. Es ist seit einiger Zeit gelungen, Glasfasern bis hinunter zu 3μ Dicke herzustellen. Die Zugfestigkeit nimmt bei abnehmender Dicke zu, während die Verknotbarkeit abnimmt. Diese Tatsache ist sehr wichtig für die Herstellung von Geweben, die vor allem für die Isolierung elektrischer Maschinen von Bedeutung sind. Die Fasern können in verschiedener Art hergestellt werden und sind als Stapelfasern oder als endlose Fäden im Gebrauch. Die Zusammenhänge zwischen der Zugfestigkeit der Fäden und der Verknotbarkeit und der Fadendicke sind aus Fig. 21 ersichtlich. Glasgewebe werden für elektrotechnische Isolationen mit Vorteil dort eingesetzt, wo hohe Temperaturen

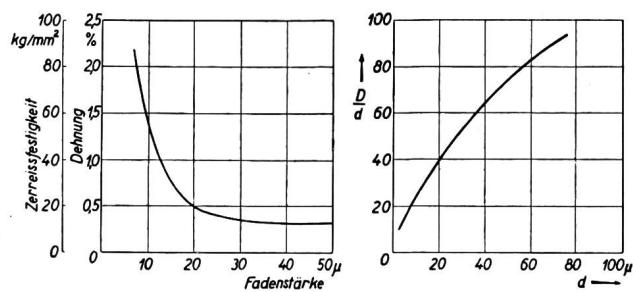


Fig. 21.
Zusammenhang zwischen der Fadendicke und der Zugfestigkeit von Glasfasern (links);
Zusammenhang zwischen der Verknotbarkeit und der Dicke von Glasfasern (rechts)

auftreten. Es ist aber infolge der Wärmebeständigkeit der Glasgewebe auch möglich, die Konstruktion entsprechend gedrängter zu gestalten, da die entstehende grössere Wärme die Glasisolierung nicht zerstört, solange selbstverständlich bestimmte Grenzen nicht überschritten werden. Die zulässigen Tem-

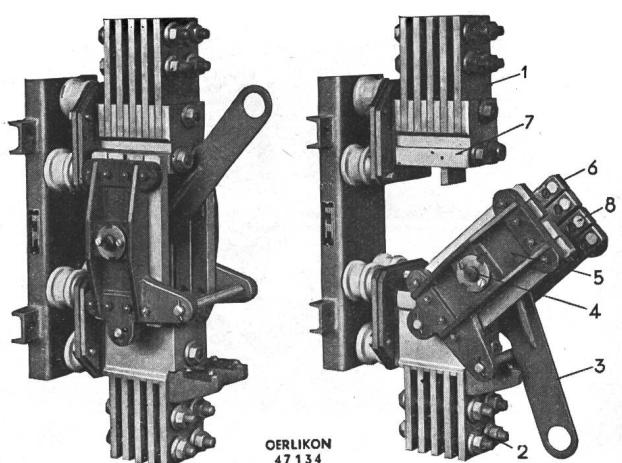


Fig. 20.
Einpoliger Trenner

peraturen liegen wesentlich höher als bei organischen Fasern, die zur Isolation gebraucht werden, beispielsweise Baumwolle. Für höhere Temperaturen wurde in der Elektrotechnik gelegentlich auch

Asbest als natürlicher anorganischer Faserstoff verwendet. Ein Vergleich zwischen Baumwolle-, Asbest- und Glasgeweben ist in Fig. 22 zusammengestellt. Auffallend ist die wesentlich höhere Zugfestigkeit der Glasfasern gegenüber Baumwolle und vor

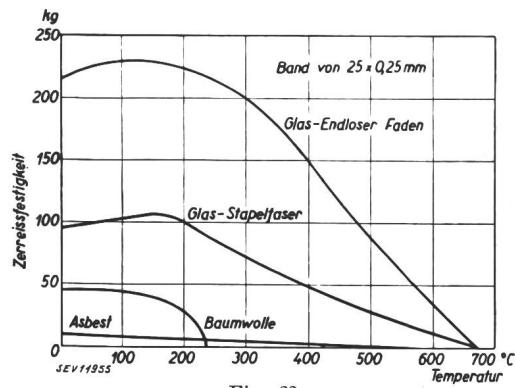


Fig. 22.

Zerreißfestigkeit von Bändern aus Asbest, Baumwolle und Glas in Abhängigkeit von der Temperatur

allem Asbest. Dazu kommt, dass die Zugfestigkeit über einen wesentlich weiteren Temperaturbereich erhalten bleibt als bei den andern beiden Fasern. Während Asbest- und Baumwollfasern in bestimmten Grenzen feuchtigkeitsempfindlich sind, wird von den Glasfasern die Feuchtigkeit nur oberflächenadsorptiv aufgenommen. Auf alle Fälle ist die Feuchtigkeitsaufnahme wesentlich geringer als bei Asbest- und Baumwollfasern, was Fig. 23 deutlich

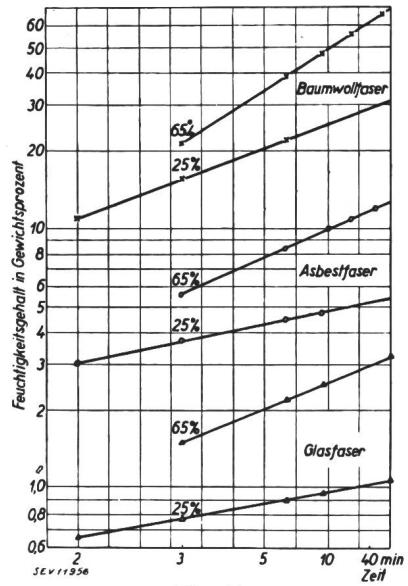


Fig. 23.

Feuchtigkeitsaufnahme von Asbest-, Baumwoll- und Glasfasern in Abhängigkeit von der Zeit

erkennen lässt. Für elektrotechnische Isolationen ist diese Eigenschaft bedeutungsvoll. Neuerdings wird die Feuchtigkeitsoberflächenadsorption durch Überzüge mit geeigneten Lacken verringert. Durch die Lacküberzüge wird allerdings die Wärmebeständigkeit etwas herabgesetzt, wobei allerdings immer noch Betriebsbedingungen zulässig sind, die weder von Baumwolle noch von Asbest auf die

Dauer erfüllt werden könnten. Die dielektrische Festigkeit, ausgedrückt durch die Durchschlagsspannung, ist bei Glasfasern von der Temperatur und der Spannungssteigerung abhängig (Fig. 24). In der Hochfrequenztechnik, beispielsweise bei Radio-

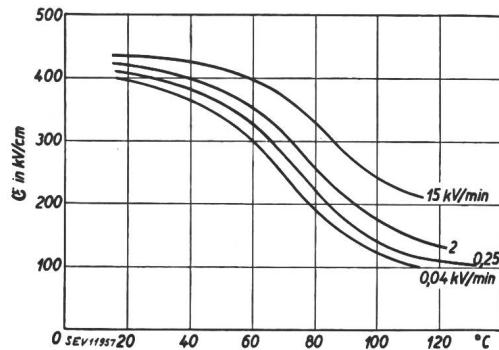
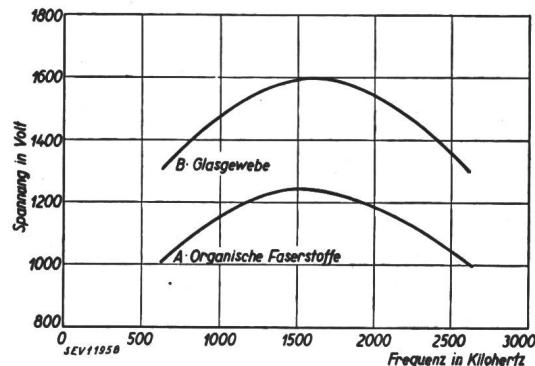


Fig. 24.

Abhängigkeit der Durchschlagsspannung von Glasgewebe von der Temperatur und der Spannungssteigerung

beanspruchungen, sind die Glasgewebe den organischen Faserstoffgeweben beträchtlich überlegen, wie Fig. 25 erkennen lässt. Die besonderen Eigenschaften erlauben einen gedrängteren Bau oder höhere Beanspruchung. Für bestimmte Zwecke, bei denen erhöhte Temperaturen und gleichzeitige mechanische Wechselbeanspruchung zusammenwirken, haben sich Glashartgewebe sehr gut bewährt. Die Herstellung der Glashartgewebe erfolgt in ähnlicher Art



Abhängigkeit der Radiobeanspruchung bei Geweben aus organischen Faserstoffen und bei Glasgeweben

und Weise wie bei gewöhnlichen Hartgeweben mit organischem Harzträger. In Tab. I sind einige Werte zum Vergleich mit Asbesthartgewebe zusammengestellt. Die Minutendurchschlagfestigkeit ist bei

Asbesthartgewebe und Glashartgewebe

Tabelle I

	Asbest- hartgewebe	Glashartgewebe
Dicke mm	0,412	0,416
Mittl. Minutenspannung kV	3,03	3,93
Minutendurchschlag- feldstärke kV/cm	73,5	95,2
Dicke mm	0,42	0,44
Ermüdungsgrenze (in Mill. Schwingungen)	12	25,9
Zustand	gebrochen	unverletzt

Glashartgeweben wesentlich höher als bei Asbesthartgeweben. Mechanische Dauerwechselbeanspruchung wird von Glashartgeweben viel besser ertragen und die Dauerfestigkeit liegt entsprechend höher. Es wäre sehr wünschenswert, wenn auch in der Schweiz die Anwendung der Glasgewebe in der Elektrotechnik sich erweitern würde. Wir haben es mit einem neuartigen Werkstoff zu tun, der Eigenschaften aufweist, welche die Bauweise von elektrischen Maschinen und Apparaten stark beeinflussen kann.

Von andern anorganischen Werkstoffen wären die

keramischen Baustoffe

zu erwähnen. Auf dem Gebiete des Hartporzellans wurden keine grundsätzlich neuen Werkstoffeigenschaften erreicht. Keramische Sonderwerkstoffe wie Steatit werden mit bestimmten Eigenschaften neuerdings auch in der Schweiz hergestellt⁵⁾.

Im Nachgange zu den besprochenen anorganischen Faserstoffen sollen im folgenden noch einige Ausführungen über

organische Faserstoffe

angeschlossen werden. Es ist allgemein bekannt, dass die organischen Faserstoffe in verschiedensten Formen in weitem Umfange für elektrotechnische Isolationen gebraucht werden. Dabei müssen wir unterscheiden zwischen den natürlichen und den künstlich erzeugten Fasern.

Ausschlaggebend für die unterschiedlichen Eigenschaften ist der Aufbau der einzelnen Faserstoffe. Die meistgebrauchte, natürliche Faser ist die Baumwolle, deren Gefüge aus Fig. 26 zu ersehen ist.

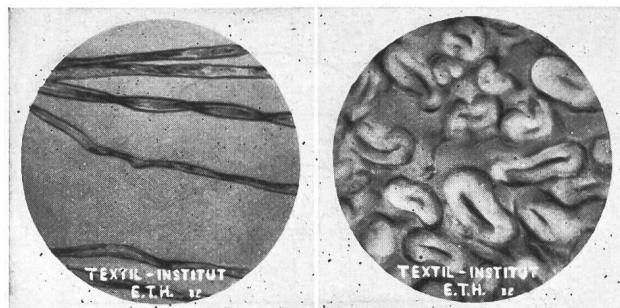


Fig. 26.

Gefüge von Baumwolle

Links: Längsaufnahme 150fach. Rechts: Querschnitt 400fach. Für die Wiedergabe 1 : 2 verkleinert.

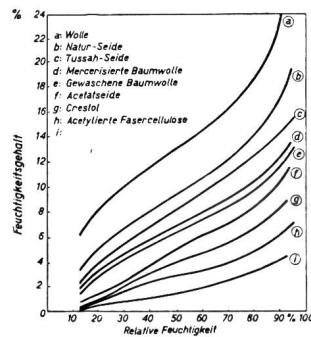
Im Innern besteht ein Hohlraum, das Lumen, das für die Feuchtigkeitsaufnahme und für das Eindringen von Imprägniermitteln usw. bei der weiteren Verarbeitung von grösster Bedeutung ist. Die Kenntnis des Gefügeaufbaues der Werkstoffe wird immer besser erforscht, um einen möglichst vollwertigen Einsatz zu erreichen.

Die natürlichen und künstlichen organischen Fasern haben alle insofern einen grossen Nachteil, als sie mehr oder weniger hygrokopisch sind. Beim Auslegen an der Luft bildet sich immer ein Feuchtigkeitsgleichgewicht zwischen Luftfeuchtigkeit einerseits und Faserfeuchtigkeit anderseits aus. Es entspricht demgemäß jedem Luftfeuchtigkeitsge-

halt die zugehörige Faserfeuchtigkeit. Die Zusammenhänge zeigt Fig. 27. Die dielektrischen Eigenschaften werden natürlich durch den Faserfeuchtigkeitsgehalt beeinflusst, was sich unter anderem in der Feuchtigkeitsabhängigkeit des Isolierwiderstan-

Fig. 27.

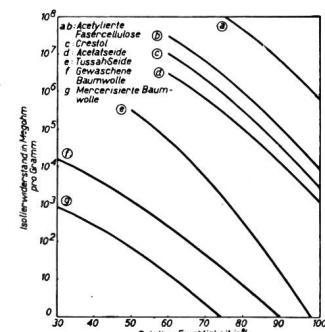
Feuchtigkeitsaufnahme verschiedener Faserstoffe in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit



des ausdrückt (Fig. 28). Durch den Umbau des Cellulosemoleküls (Azetylierung) ist es bei bestimmten Bedingungen gelungen, das Fasergefüge zu erhalten, die Feuchtigkeitsaufnahme jedoch wesentlich zu beschränken⁶⁾, was eine beachtliche Verbesserung der dielektrischen Eigenschaften ergibt (vergl. Fig. 27 und 28). Die dielektrischen Verluste, die bei der gewöhnlichen Cellulose durch die polaren Hy-

Fig. 28.

Abhängigkeit des Isolierwiderstandes von Faserstoffen von der relativen Luftfeuchtigkeit



droxylgruppen mitverursacht werden, sind nach der Azetylierung wesentlich kleiner; sie hängen mit dem Azetylierungsgrad zusammen (s. Fig. 29).

Die übliche Wärmebeständigkeit der Baumwollcellulose kann durch die Azetylierung wesentlich

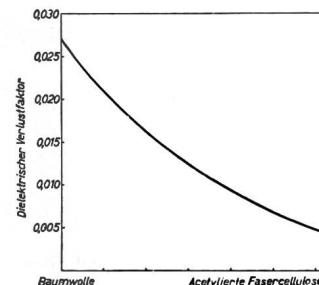


Fig. 29.

Abhängigkeit des dielektrischen Verlustfaktors vom Azetylierungsgrad der Faserzellulose (bei 1000 kHz)

verbessert werden, so dass Dauererwärmungen bis über 150°C zugelassen werden können. Hochraffinierte Mineralöle (Weissöle) oxydieren sich bei erhöhter Temperatur durch den Luftsauerstoff unter Bildung peroxydartiger (Persäuren) Reaktionsprodukte, welche die Cellulose sehr stark angreifen und in die pulverige Form der Oxyzellulose über-

5) Schweizerische Isolawerke Breitenbach.

6) Cotopa der Sandoz A.-G., Basel.

führen. Dieser Angriff zerstört somit die Faser vollständig. Die Azetylierung bewirkt auch eine erhöhte chemische Beständigkeit, was Fig. 30 veranschaulicht. Die Azetylierung ergibt für elektrotechnische Isolationen einen hochwertigen Werkstoff.

Durch Verbesserung der Herstellungsverfahren wurde es möglich, längst bekannte Werkstoffe wei-

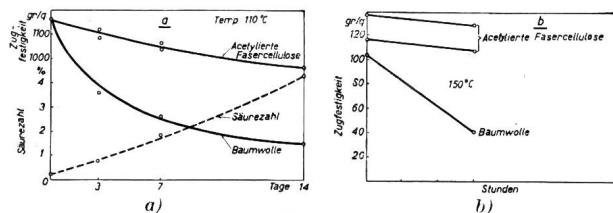


Fig. 30.

Beeinflussung der mechanischen Festigkeit von azetylierten Faserzellulosen und Baumwolle
a) durch hochraffinierte Mineralöle (Weißöle), bei erhöhter Temperatur (110° C).
b) durch Luftsauerstoff bei erhöhter Temperatur (150° C).

ter zu vervollständigen. So sind in Fig. 31 die Verbesserungen von «Transformerboard» von 1939...1942 zusammengestellt.

Um die natürliche Cellulose in andere Formen überzuführen, wurden besondere Verfahren ausgearbeitet. Die Kunstseide- und Zellwolleerzeugung stützt sich auf diese neue Technik. Während bei der beschriebenen Azetylierung das Faserstoffgefüge erhalten bleibt, wird bei den Verfahren, die zu Kunstseide oder Zellwolle führen, die Ausgangsel-

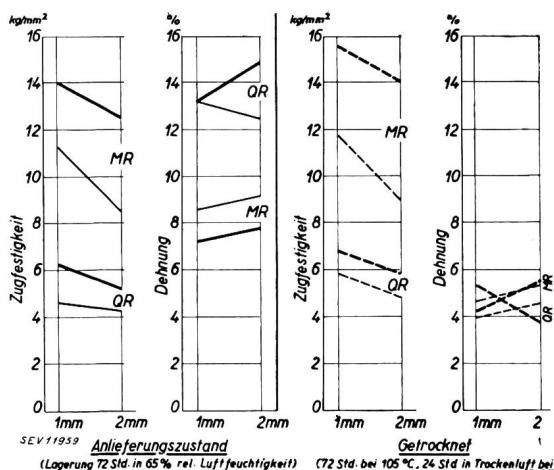


Fig. 31.

Mechanische Eigenschaften von Transformerboard
Links: im Anlieferungszustand nach 72stündiger Lagerung in 65 % rel. Luftfeuchtigkeit.
Rechts: in getrocknetem Zustand, 72 Stunden bei 105° C getrocknet, 24 Stunden in Trockenluft bei 20° C gelagert.
X 1939 X 1942

lulose mehr oder weniger stark ab- und umgebaut. Für elektrotechnische Isolationen werden schon heute beträchtliche Mengen Kunstseide und Zellwolle verwendet. Es drängt sich daher ein Vergleich zwischen der allgemein gebräuchlichen Baumwolle und der Zellwolle auf. Schon Fig. 32 lässt im Vergleich zu Fig. 26 die Veränderung im Aufbau der Fasern deutlich erkennen. So fehlt bei der Zellwolle das Lumen, und die Oberfläche ist anders gestaltet.

Die mechanischen und die uns vor allem interessierenden dielektrischen Eigenschaften sind als Folge davon bei beiden Faserstoffarten verschieden, was aus Fig. 33 entnommen werden kann.

Bei Faserstoffisolationen muss eine möglichst hohe Scheuerfestigkeit gefordert werden, da die Oberfläche der Isolationen schon während der Ver-

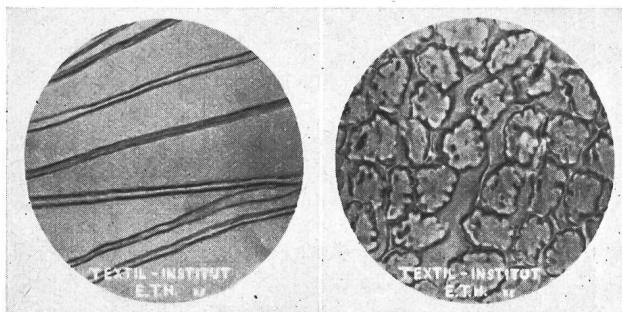


Fig. 32.

Gefüge von Zellwolle aus Viskose

Links: Längsaufnahme, 160-fach. Rechts Querschnitt, 400 fach.
Für die Wiedergabe 1:2 verkleinert.

arbeitung und vor allem im Betrieb dauernd gescheuert wird. In Fig. 34 sind drei verschiedene Faserstoffisolationen in dieser Hinsicht miteinander verglichen. Oben im Bild ist die Baumwollisolation (Baumwollgarn 80/12, einmal) eines Lackdrahtes nach Dauerscheuerversuchen abgebildet; unten im Bild ist die Isolation eines Lackdrahtes mit Zell-

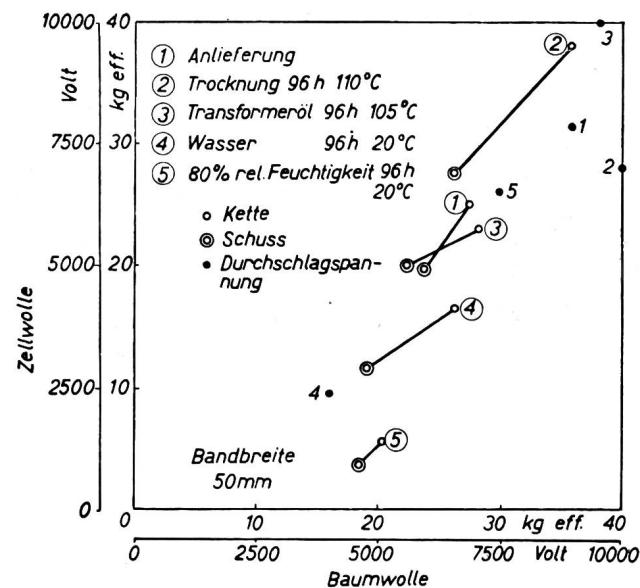


Fig. 33.

Mechanische und dielektrische Festigkeit von Baumwolle und Zellwolle (öllackgepräkt)

wolle gleicher Nummer wie bei der Baumwolle gezeigt. Der Unterschied ist in die Augen springend: die Zellwolle ist nach kurzer Beanspruchung durchgescheuert und zerfällt in kurze Faserstückchen. Das mittlere Bild zeigt eine Faserstoffisolation von Lackdraht mit besonders hergestellter Viskoseseide (Garn-Nummer gleich wie oben). Es ist ein wesentlicher Fortschritt gegenüber Zellwolle zu erkennen; die Zerstörung durch Scheuern geht in einer voll-

ständig veränderten Art vor sich. Dieses Beispiel zeigt wiederum, dass systematische Werkstoffforschung hilft, die erforderlichen Eigenschaften der Werkstoffe zu erreichen.

Durch die Mangelwirtschaft sind wir gezwungen, gebrauchte Werk- oder Betriebsstoffe, soweit dies möglich ist, aufzubereiten, zu regenerieren und dem

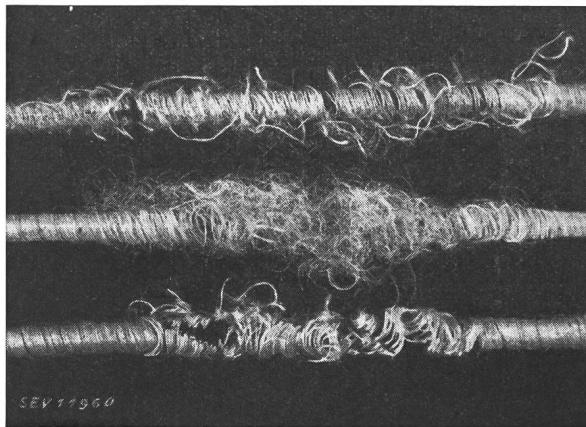


Fig. 34.

Scheuerfestigkeit von Faserstoffisolationen

Oben: Baumwolle 80/12 1 ×.
Mitte: besonders hergestellte Viskoseseide 80/12 1 ×.
Unten: gewöhnliche Zellwolle 80/12 1 ×.

Betrieb wieder zuzuführen. Das Bureau für Altstoffwirtschaft des Eidg. Kriegs-Industrie- und -Arbeits-Amtes gab schon verschiedene Verfügungen zur Aufbereitung gewisser Stoffe heraus. Für die Elektrotechnik wurde vor allem die

Regeneration von Isolierölen

bedeutungsvoll. Die Gruppe Mineralöle der Schweiz. Normenvereinigung legte gemeinsam mit dem Bureau für Altstoffwirtschaft, Gruppe Altmineralöle, die wichtigsten Begriffe im Normblatt SNV 81142 fest. Alle Möglichkeiten werden erfasst durch die folgenden 6 Begriffe:

1. Unter **Reinigung** versteht man
a) Entfernung nicht gelöster Beimengungen durch Absitzen-lassen, Filtrieren, Zentrifugieren.
b) Entfernung leichtflüchtiger, gelöster Beimengungen.
 2. Unter **Raffination** versteht man die Entfernung gelöster, nichtflüchtiger Beimengungen durch chemische Behandlung (Schwefelsäure, Alkali, selektive Extraktion, Adsorption).
 3. Unter **Destillation** versteht man die Trennung in verschiedene Bestandteile über Verdampfung und Kondensation (Fraktionierung).
 4. Unter **Oelpflege** versteht man die Reinigung von Frisch- und Gebrauchsölen für die und während der Verwendung.
 5. Unter **Regeneration** versteht man die Destillation oder die Raffination von Altölen.
 6. Unter **Veredlung** versteht man jede weitere Verarbeitung von eingeführten technischen Oelen.

Eine sachgemäße Oelpflege ist als beste Oelbewirtschaftung zu bezeichnen. Für die Regeneration von Isolierölen kommen nur die allerbesten Verfahren in Frage. Die Regeneration muss mit grösster Sachkenntnis vorgenommen werden. Leider sind verschiedene Verfahren in Anwendung, die keineswegs geeignet sind, Isolieröle richtig zu regenerieren. Die Ueberprüfung des Zustandes nach der Re-

generation muss ebenfalls mit grosser Sorgfalt durchgeführt werden. Leider wird aber immer wieder versucht, durch möglichst einfache Prüfverfahren Ergebnisse zu erhalten, die aber über das betriebsmässige Verhalten keine Schlüsse zulassen. In Fig. 35 ist das Ergebnis einer vollwertigen Regeneration eines Isolieröles zusammengestellt. Vor der

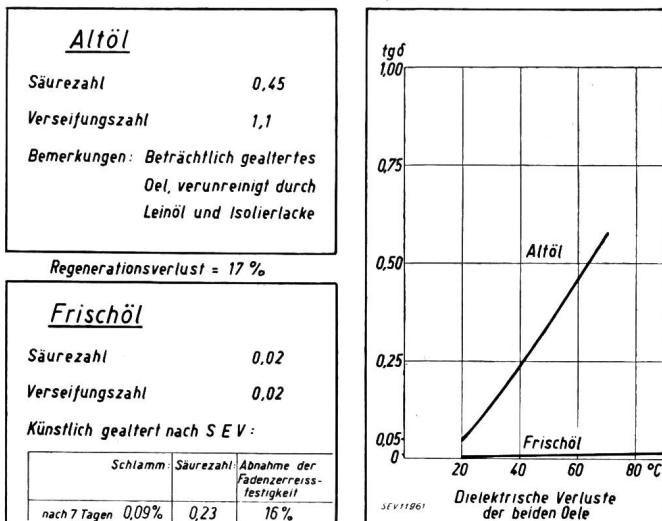


Fig. 35.

Fig. 33. Vollregeneration eines Isolieröles

Abnahme des dielektrischen Verlustfaktors durch die Regeneration

Regeneration war das Oel stark verschmutzt mit Lackresten, Leinölrückständen und Oelzersetzungprodukten. Die grossen dielektrischen Verluste lassen den bedenklichen Zustand deutlich erkennen. Durch sachgemässe Raffination und Destillation wurde das Isolieröl wieder in einen sehr guten Zustand gebracht.

Der Kautschukmangel hat zur

Regeneration von Kautschukprodukten

geführt. In Fig. 36 sind Mikroaufnahmen von Kautschukregeneraten zusammengestellt. Die oberste Aufnahme links stammt von einem Heissdampfregenerat von Autoreifen (sog. 3. Spalt, Karkasse). Die im Bilde sichtbaren Stäbchen sind die Ueberreste des Gewebes. Die frühere Annahme, dass die Cellulose bei der Heissdampfregenerierung von Kautschuk in Russ übergeführt wird, trifft demgemäss nicht zu. Die Baumwolle wird lediglich mechanisch zerkleinert. Im Bild oben rechts sind nur in der Mitte zwei Stäbchen sichtbar. Es handelt sich ebenfalls um ein Heissdampfregenerat von einer Autoreifenlauffläche mit verhältnismässig wenig Gewebe. Die Mikroaufnahme mitte, links ist aus einem Heissdampfregenerat vom ersten Spalt aus einer reinen Lauffläche von Autoreifen ohne Celluloserückstände. Bild mitte, rechts stammt auch von einem Heissdampfregenerat aus stark gewebehaltigem Kautschukstaub. Die früher beobachtete Stäbchenform des Gewebes ist in diesem Falle nicht sichtbar, weil das Ausgangsmaterial sehr stark zerkleinert ist. Im Mikroskop sind aber trotzdem deutliche Unterschiede in der Färbung zu erkennen. Schliesslich ist

das Bild unten links eine Mikroaufnahme eines Alkaliregenerates aus dem gleichen Ausgangsstoff wie im eben erwähnten Fall. Es sind nur noch ganz kleine Mengen (2 kleine Flecken in der Mitte und

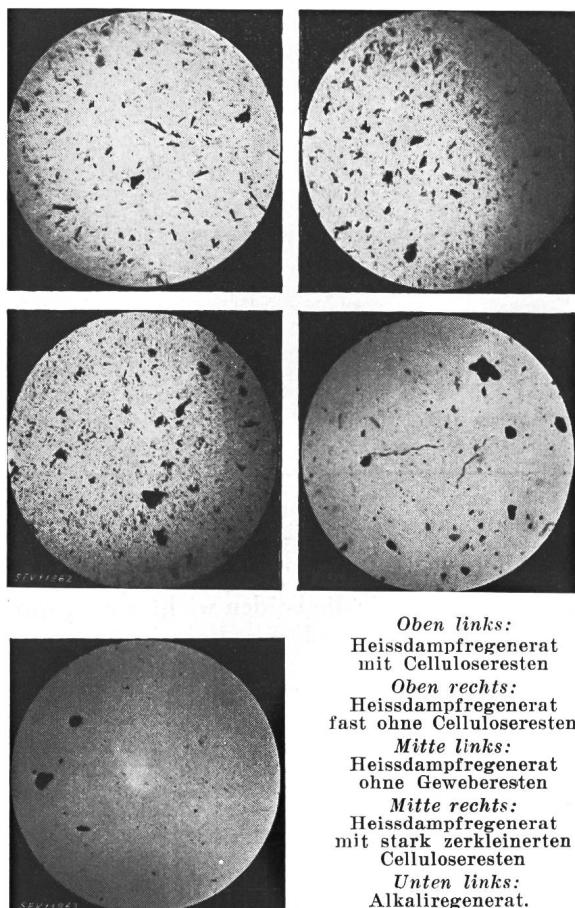


Fig. 36.
Mikroaufnahmen von Kautschukregeneraten

ein grösserer links oben) Cellulose zu erkennen. Der weitaus grösste Teil der Cellulose wurde durch die Alkalibehandlung herausgelöst. Die mikroskopische Untersuchung erlaubt dem Fachmann eine genaue Kennzeichnung der Kautschukregenerate und gibt ihm die Möglichkeit, die besonderen Eigenschaften richtig auszunützen.

Die beiden erwähnten Regenerationsverfahren unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich der Eigenschaften der entstehenden Regenerate, sondern auch anderweitig. Bei der Heissdampfregeneration ist mit einem Gewichtsverlust von 5...8 % der Ausgangsmenge zu rechnen. Bei der Alkaliregeneration wird dieser Verlust um den Baumwollgehalt des Aus-

Mechanische Eigenschaften von Kautschukregeneraten
Tabelle II.

		Alkali-regenerat	Heissdampf-regenerat
Zugfestigkeit	kg/cm ²	115	40
Bruchdehnung	%	550	435
Schlitzfestigkeit (Kerbzähigkeit)	kg/cm ²	11,3	9,5
Elastizität	%	54	37
Rücksprunghärte (Shore)		45	45

gangsstoffes vergrössert. Das Alkaliregenerat hat gegenüber dem Heissdampfregenerat wesentliche Vorteile, wie aus Tab. II entnommen werden kann. Der grössere Gewichtsverlust bei der Regeneration

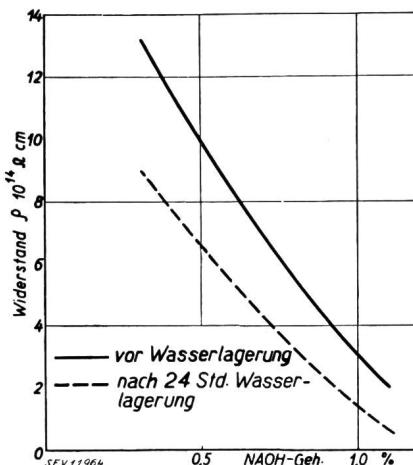


Fig. 37.
Abhängigkeit des Isolationswiderstandes von Kautschuk-Alkaliregenerat vor und nach der Lagerung in Wasser

wird durch die besseren Eigenschaften des Regenerates reichlich aufgehoben. Wenn Alkaliregenerate für elektrotechnische Isolationen verwendet werden sollen, ist darauf Rücksicht zu nehmen, dass der restliche Alkaligehalt im Regenerat den Isolierwiderstand je nach der Menge sogar beträchtlich herabsetzen kann, was Fig. 37 vor und nach Wasserspeicherung erkennen lässt.

Die Entwicklung der organischen Grosssynthesen führte zu einer erheblichen Zahl *neuartiger Werkstoffe*, die vor allem auch in der Elektrotechnik mit grossem Erfolg eingesetzt wurden. Im deutschen Sprachgebiet werden diese Werkstoffe allgemein als

Kunststoffe

bezeichnet, was lediglich auf die künstliche Herstellung hinweist, ohne die Werkstoffe genauer zu kennzeichnen. In diesem Zusammenhang wurde oft der Ausdruck «Ersatzstoffe» gebraucht, mit dem eine gewisse Minderbewertung verbunden war. Es soll hier mit Nachdruck darauf hingewiesen werden, dass es sich bei den Kunststoffen keineswegs um Ersatzstoffe, sondern um andersartige Neustoffe handelt. Es ist die Aufgabe der Werkstoffforschung, die Eigenschaften dieser Neustoffe so zu beeinflussen, dass sie vollwertig eingesetzt werden können. Es darf auch beigefügt werden, dass die neuen organischen Werkstoffe in gewisser Hinsicht Eigenschaften aufweisen, die wir bis jetzt bei natürlichen Werkstoffen nicht angetroffen haben. Da die Erzeugung der Kunststoffe vor allem, wie schon angekündigt, mit den chemischen Grosssynthesen zusammenhängt, ist in der Schweiz eine grossangelegte Erzeugung nicht möglich. Es wird daher im folgenden nur ein kleiner Teil von Kunststoffen in ihrer Anwendung besprochen; dabei wurden vor allem diejenigen ausgesucht, die im Lande hergestellt werden können. Die Auswahl muss im Rahmen dieser Ausführungen genügen. Es ist für die Verbraucher

von Wichtigkeit, zu wissen, wo und wie die neuen Werkstoffe eingesetzt werden können. Auch das kann lediglich an einigen Beispielen gezeigt werden.

wendungsgebiete; es ist dies aus Fig. 40 zu entnehmen. Je nach der Lage der Einfrier- bzw. der Fliess-temperatur sind die Eigenschaften sehr verschieden. Die Zersetzungstemperatur begrenzt das Anwen-

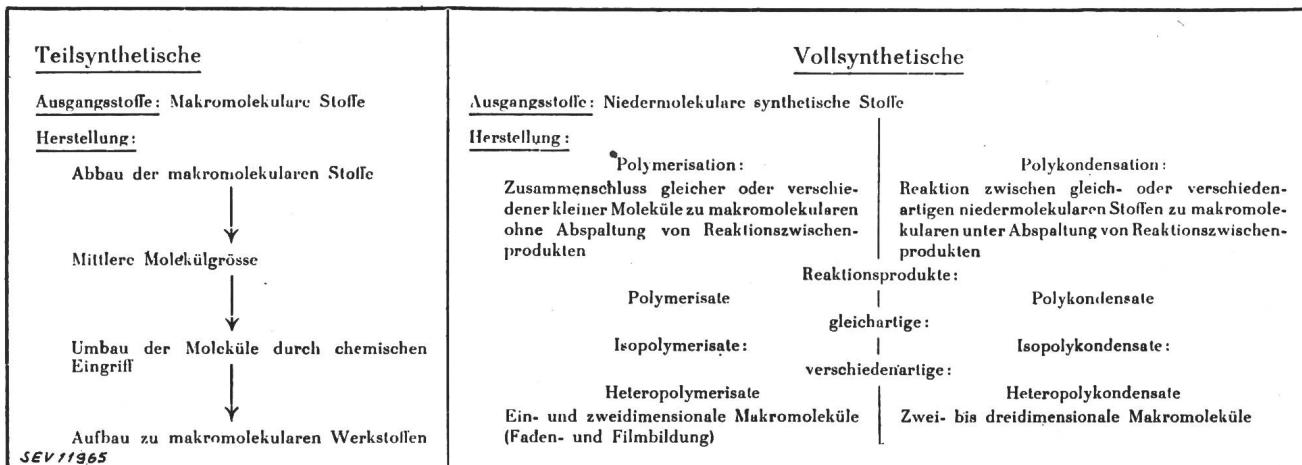


Fig. 38.
Teilsynthetische und vollsynthetische Kunststoffe

Für die Kunststofferzeugung gibt es grundsätzlich zwei verschiedene Möglichkeiten, wie aus Fig. 38 zu entnehmen ist. Als Ausgangsstoffe können einerseits hochmolekulare Naturstoffe verwendet werden oder anderseits niedermolekulare synthetische Stoffe. Die hochmolekularen Naturstoffe müssen durch geeignete Verfahren vorerst abgebaut, um dann wieder zu hochmolekularen Kunststoffen aufgebaut zu werden. Dieser Umweg ermöglicht, die Eigenschaften der Naturstoffe zu verändern und für bestimmte Verwendungszwecke besser geeignet zu machen. Die vollsynthetischen Werkstoffe können aus niedermolekularen synthetischen Ausgangsstoffen durch Polymerisation oder Polykondensation erhalten werden. Die verschiedenen erzeugten Werkstoffe unterscheiden sich sehr stark in ihren Eigenschaften; während die Polymerate meistens Thermoplaste sind, d. h. bei einer bestimmten Temperatur erweichen, sind die Polykondensate mehrheitlich härbar, sie werden bei erhöhter Temperatur in einen unlöslichen, unschmelzbaren Zustand übergeführt. Es ist begreiflich, dass mit diesen wesentlichen Unterschieden auch verschiedene Eigenschaften verbunden sind. Beim Einsatz neuer Werkstoffe muss darauf geachtet werden, dass die Eigenschaften richtig eingeschätzt und ausgewertet werden. Die mechanischen Eigenschaften, z. B. die Zugfestigkeit, können je nach der Art des Werkstoffes sehr verschieden sein (siehe Fig. 39). Obwohl für die Bestimmung der Zugfestigkeit eine bestimmte Versuchsdauer festgelegt worden ist, muss die Zugfestigkeit in Abhängigkeit der Versuchsdauer in Form von Festigkeit-Zeitlinien angegeben werden. Fig. 39 lässt diese Zusammenhänge für einige Werkstoffe deutlich erkennen.

Bei den thermoplastischen Polymeraten sind verschiedene Zustandsbereiche zu unterscheiden, die für den richtigen Einsatz von grundlegender Bedeutung sind. Die Zwischenzustände begrenzen die An-

dungsgebiet hinsichtlich Temperaturbeständigkeit nach oben. Wenn wir die beiden wichtigen Gruppen der Polyisobutylen und der Polyvinylchloridab-

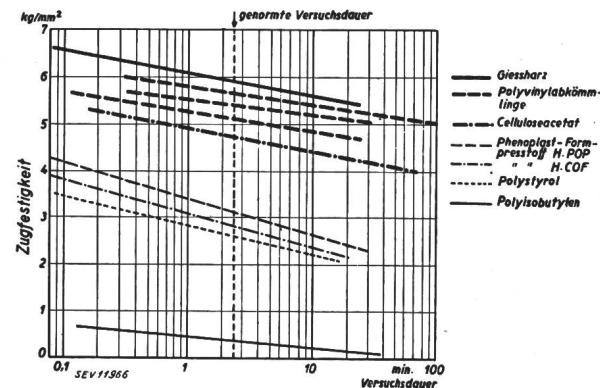


Fig. 39.
Zugfestigkeit verschiedener Kunststoffe in Abhängigkeit von der Versuchsdauer (Festigkeit-Zeitlinien, Prüftemperatur 20° C)

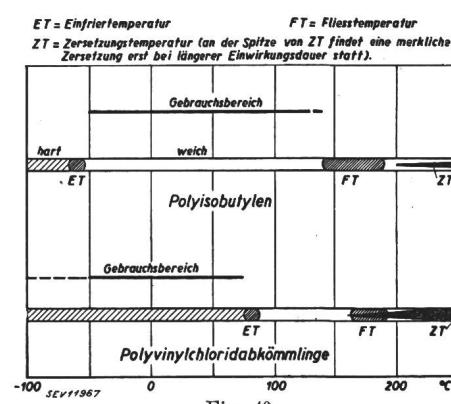


Fig. 40.
Zustandsbereiche von Polysobutylethen (oben) und Polyvinylchloridabkömmlingen (unten)

kömmlinge vergleichen (Fig. 40), fällt auf, dass der Gebrauchsbereich der Polyisobutylene zwischen der Einfrier- und der Fliessstemperatur liegt, während

bei den Polyvinylchloridabkömmlingen⁷⁾ der Gebrauchsbereich nach oben durch die Einfriertemperatur begrenzt ist. Dieses Beispiel zeigt, wie weit werkstoffliche Kenntnisse vorhanden sein müssen,

Rohr verlegt sind. Die Polyvinylchloridisolationen ermöglichen die Verlegung einer wesentlich grösseren Anzahl von Drähten unter gleichen Bedingungen wie bei Kautschukisolationen. In Fig. 41 haben

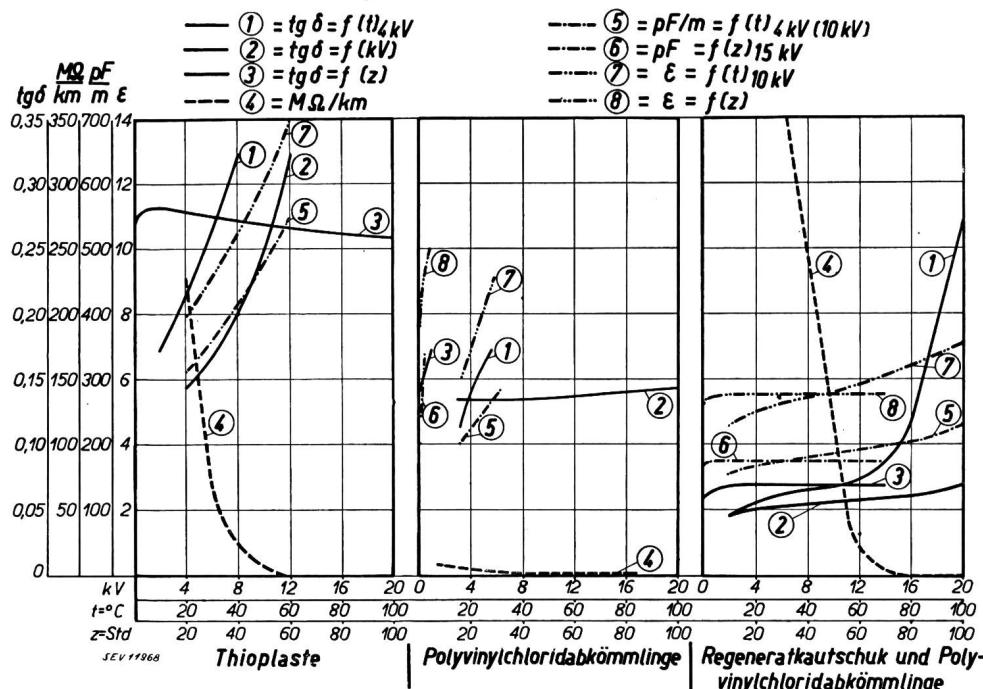


Fig. 41.

Dielektrische Eigenschaften von Thioplasten, Polyvinylchloridabkömmlingen und Regeneratkautschuk

wenn bei der Anwendung neuer Werkstoffe keine Misserfolge vorkommen sollen.

Polyvinylchloridwerkstoffe werden neuerdings auch in der Schweiz hergestellt⁸⁾. Je nach den Anwendungsbereichen werden sie mit geeigneten Weichmachern versehen und so unter anderem auch für elektrische Isolationen gebraucht. Die Weichmacherzusätze können die dielektrischen Eigenschaften mehr oder weniger stark beeinflussen. Fig. 41 vermittelt einige Messergebnisse an Polyvinylchloridisolationen, gemischten Isolationen aus Regeneratkautschuk und Polyvinylchloridabkömmlingen.

Die wenigen Angaben zeigen, dass die neuen Werkstoffe sachgemäss angewendet werden müssen. Sie haben teilweise sogar bessere Eigenschaften als die bis jetzt verwendeten natürlichen Werkstoffe. So sieht man in Fig. 42 (oben) ein kautschukisiertes Kabel nach zweistündiger Behandlung mit einem Luftstrom, der mit Ozon gesättigt war. Es ist bekannt, dass natürlicher Kautschuk sehr wenig ozonbeständig ist und so ist es nicht verwunderlich, dass beim Biegen auf der Aussenseite grosse Risse auftreten. Das innere Kabel ist mit Polyvinylchloridabkömmlingen isoliert und hat die gleiche Ozonbehandlung ausgezeichnet überwunden; es ist keinerlei Zerstörung aufgetreten. In Fig. 42 (unten) ist der Vergleich zwischen den bis jetzt üblichen Kautschukisolationen und Polyvinylchloridisolationen dargestellt. Es handelt sich dort um 1-mm²-Kupferdrähte, die im grossen

⁷⁾ W. Krannich, Kunststoffe im technischen Korrosionsschutz, J. F. Lehmanns Verlag München, 1943.

⁸⁾ Lonza A.-G., Basel.

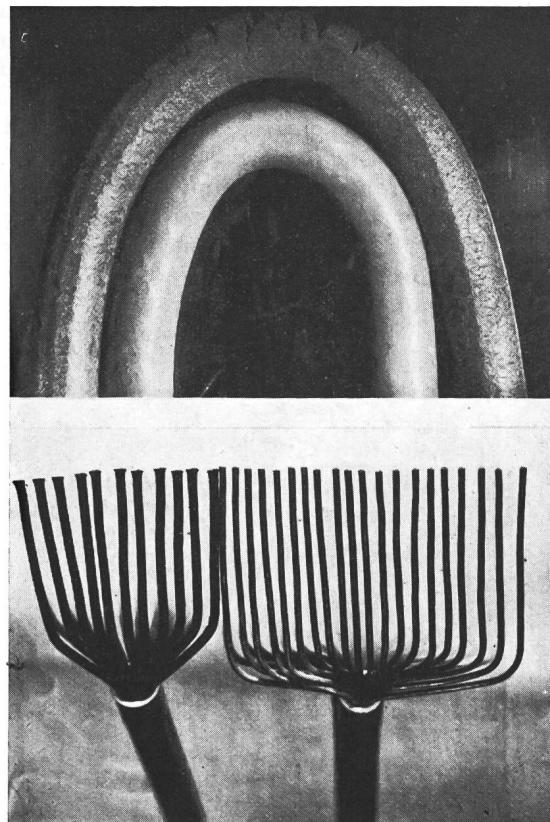


Fig. 42.

Polyvinylchloridabkömmlinge im Leiterbau
Oben: Ozonbeständigkeit von Kautschukkabelisolationen (ausseren) und Polyvinylchloridkabelisolationen (inneren).
Unten: Vergleich der Anzahl Leiter im gleichen Rohr bei Kautschukisolation (links) und Polyvinylchloridisolation (rechts).

wir schon auf die verschiedenen dielektrischen Eigenschaften hingewiesen. Bezuglich Wärmebeständigkeit und Zersetzungstemperatur soll auf das früher gesagte verwiesen werden. Unter Berücksichtigung der mannigfaltigen Eigenschaften ergeben sich einige Richtlinien für den werkstoffgerechten Einsatz. Die chemische Beständigkeit wurde bereits als Vorteil erwähnt. Bezuglich der Kältebeständigkeit können Temperaturen bis -25°C (besondere Sorten bis -70°C) in Frage kommen. Die Weichmacher, die in den Polyvinylchloridisolationen zur Anwendung kommen, sind bei den üblichen Betriebstemperaturen gewöhnlich nicht flüchtig, bei erhöhter Temperatur ($100^{\circ}\text{C} \dots 120^{\circ}\text{C}$) aber bereits in beträchtlichem Masse. Durch den Austritt der Weichmacher wird die Geschmeidigkeit eingebüßt. Dagegen werden die dielektrischen Eigenschaften verbessert. Bei 120°C werden die Polyvinylchloridisolationen gewöhnlich schon weich und bei 140°C sind sie bereits klebrig.

Bei Besprechung der Fig. 42 wurde der geringe Raumbedarf der Polyvinylchloridisolationen im Leiterbau erwähnt. Bei Anwendung von Aluminiumdrähten muss der Leiterquerschnitt gegenüber Kupfer grösser gewählt werden. Trotzdem haben die Polyvinylchloridisolationen in ihrem Aussendurchmesser geringere Abmessungen als gummiisierte Kupferdrähte von entsprechendem Leitwert. Es ergeben sich eine Menge vorteilhafter Anwendungen solcher Isolationen, z. B. für Hausinstallationsdrähte und -kabel, Hausinstallationsbleikabel, Rund schnüre, verseilte Schnüre, Apparatedrähte und -schnüre sowie Apparatekabel (für Verbraucher, die keine Wärme entwickeln), Neon- und Zündkabel, als Ozonschutz (über die Kautschukisolation), Telefonverteilerdrähte, Antennenableitungskabel, Wärmekabel für kleine Leistungen (10 W pro m). Mit Rücksicht auf die Wärmeempfindlichkeit sollen solche Isolationen nicht verwendet werden bei Drähten und Kabeln für Apparate und Installationen, die erhebliche Wärme abstrahlen (Bügelleisen, Heizöfen, Wärmestrahler).

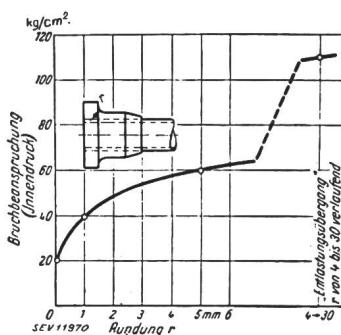


Fig. 43.

Ausbildungen von Querschnittsübergängen
(3-Minutenfestigkeit bei Polyvinylchloridrundstäben in Abhängigkeit vom Rundungshalbmesser r)

In Fig. 41 sind auch Messergebnisse an Isolationen aus Thioplasten zusammengestellt. Es sind dies schwefelhaltige, vulkanisierbare plastische Kunststoffe, die allerdings keine Hochelastizität aufweisen wie natürlicher Kautschuk. Sie können jedoch mit Vorteil in der Elektrotechnik als Isolierstoffe Verwendung finden. Infolge ihres Schwefelgehaltes muss allerdings in Verbindung mit Metallen der

Korrosionsangriff durch die Schwefelverbindungen berücksichtigt werden. Durch geeignete Massnahmen können die Korrosionen zwar vollständig ausgeschaltet werden⁹⁾.

Die Polyvinylchloridabkömmlinge können auch für rein mechanische Anwendungen in Frage kommen. Dabei sind dann die üblichen Regeln für die Gestaltfestigkeit zu berücksichtigen. Wir kennen den Einfluss von Querschnittsübergängen (Kerbwirkung bei Metallen). Es haben sich bei den metallischen Werkstoffen bereits gewisse Gestaltungsregeln herausgebildet. Auch bei Polyvinylchloridanwendungen sind die Grundsätze der Gestaltfestigkeit mass-

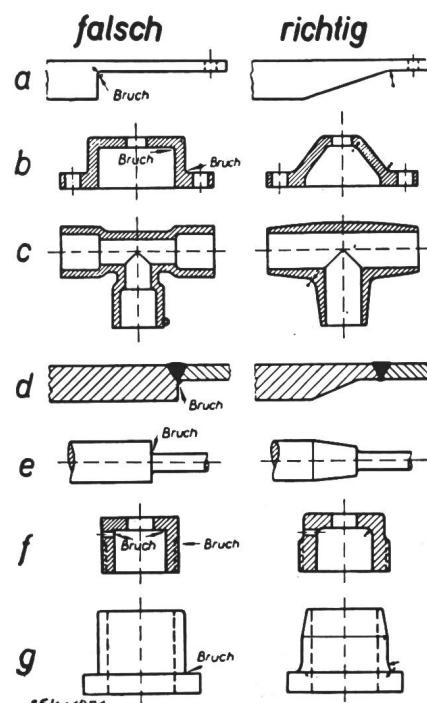


Fig. 44.
Gestaltungsregeln für Querschnittsübergänge

gebend. In Fig. 43 ist die Kerbwirkung bei der Formgebung dargestellt. Einige Gestaltungsregeln, die sich für verschiedene Anwendungen, so bei Querschnittsübergängen oder bei der Entlastung gefährdeter Querschnitte und für Gewinde, ergeben haben, sind in den Fig. 44 und 45 zusammengestellt.

Aus thermoplastischen Kunststoffen lassen sich durch das Spritzgussverfahren Werkstücke mit grosser Genauigkeit herstellen. In Fig. 46 sind Zahlenrollen und Triebe für den Zählerbau gezeigt. Das Herstellungsverfahren ermöglicht eine hohe Genauigkeit, so dass ein reibungloses ineinander greifen der einzelnen Teile möglich ist. Formstücke wie Spulenkörper (Fig. 47) können ebenfalls mit Vorteil hergestellt werden. Neben den besprochenen Werkstoffen aus Polyvinylchlorid sind noch die glasartigen, durchsichtigen organischen Werkstoffe zu erwähnen als Polymerisate der Methylmethacrylsäure. Im Bau von Elektrizitätszählern werden Formstücke an Stellen verwendet, wo gewisse Vorgänge leicht beobachtet werden sollen. So zeigt

⁹⁾ Schweizerische Draht- und Gummiwerke, Altdorf.

Fig. 48 einen durchsichtigen Deckel für das Echappement, der erlaubt, das Arbeiten der Unruhehemmungen zu beobachten, ohne dass der Deckel

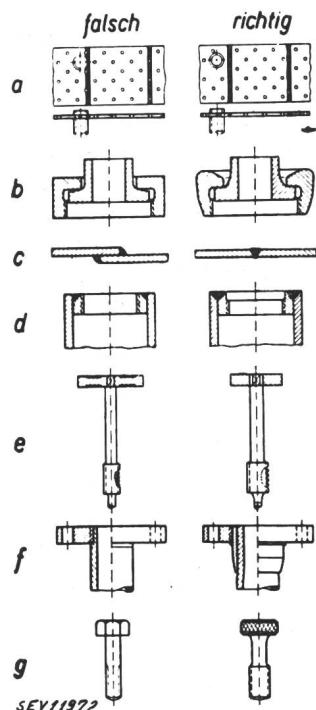


Fig. 45.

Gestaltungsregeln für Entlastung gefährdeter Querschnitte und für Gewinde

abgenommen werden muss. Durch diese Lösung ist auch ein völlig staubdichter Abschluss gewährleistet.

In der Elektrotechnik sind wohl am längsten bekannt die härzbaren Kunststoffe, vor allem die Phe-

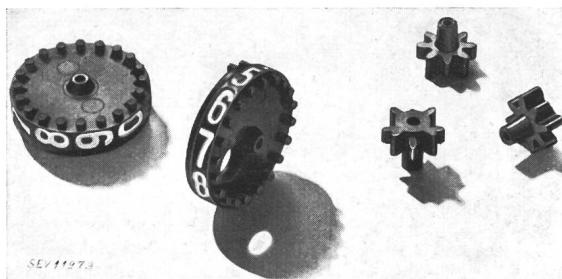


Fig. 46.

Zahlenrollen (links) und Triebe (rechts) aus thermoplastischen Kunststoffen (Landis & Gyr)

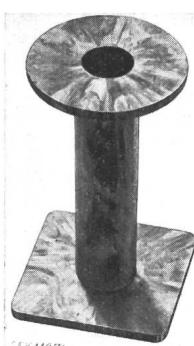


Fig. 47.

Spulenkörper aus thermoplastischen Kunststoffen (Landis & Gyr)

nolformaldehydpolykondensate, auch Phenoplaste genannt. Diese werden hauptsächlich als Formpreßstoffe oder als geschichtete Preßstoffe an-

gewendet. Die Formpreßstoffe ermöglichen neuartige Lösungen und direkte Verbindungen metallischer Bestandteile von Werkstücken mit den

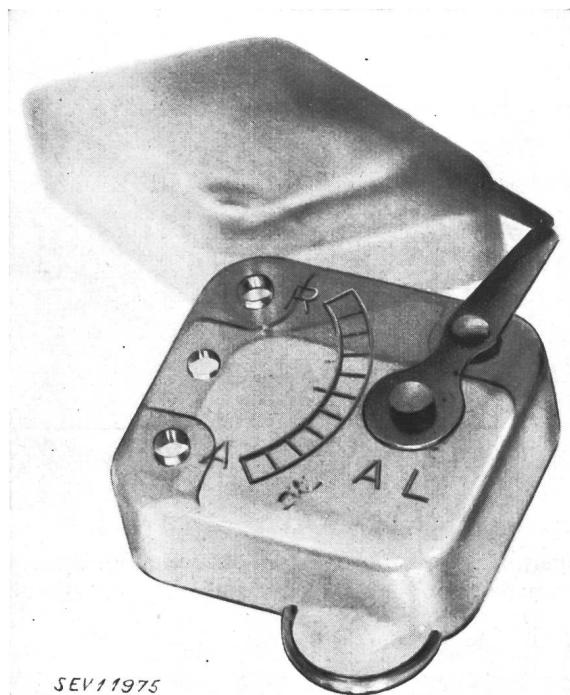


Fig. 48.

Durchsichtiger Echappementdeckel aus thermoplastischen Kunststoffen (Landis & Gyr)

härzbaren organischen Werkstoffen bei grosser Genauigkeit. Fig. 49 stellt einen Gehäusedeckel eines Eichzählers dar. Die eingepressten Metallteile ermöglichen eine einfache, zweckdienliche Bauweise bei werkstoffgerechter Ausführung. Solche Formpreßstücke können in einem Arbeitsgang hergestellt werden. Die Schwierigkeiten bei der Blechbehandlung und Verarbeitung fallen dahin; zudem hat die Ausführung in härzbaren phenoplastischen

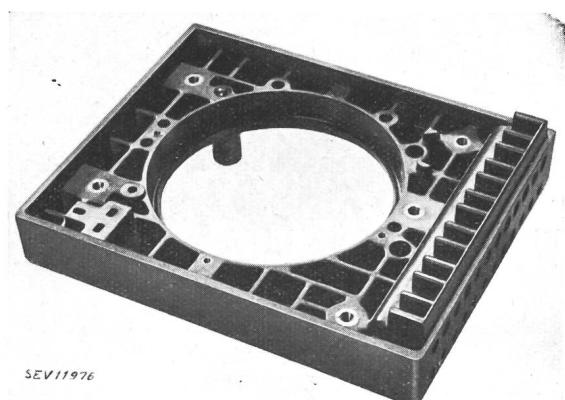


Fig. 49.

Gehäusedeckel eines Eichzählers aus härzbarem Kunststoff (Landis & Gyr)

Werkstoffen den Vorteil der elektrischen Isolation, die Drähte können ohne besondere Massnahmen eingeführt werden. Ein sehr schönes Formpreß-

stück zeigt Fig. 50. Es ist ein Bauelement einer Fernwirkanlage mit vielen eingepressten Metallteilen. Die gleiche Ausführung liesse sich mit andern Isolierstoffen nur unter den grössten Schwierigkeiten

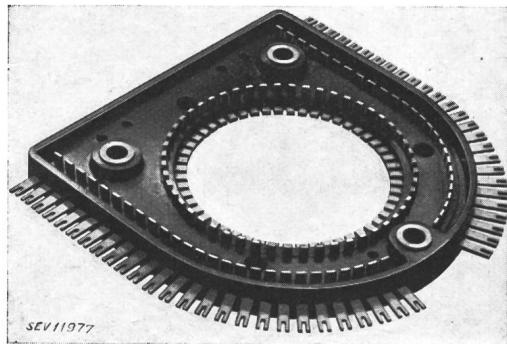


Fig. 50.

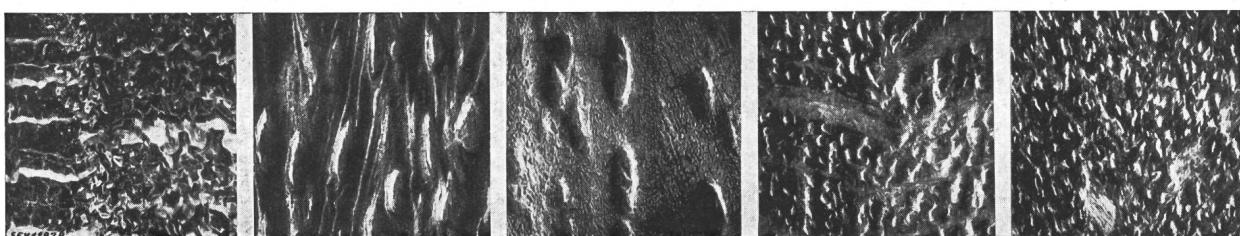
und mit hohen Kosten durchführen. Diese Beispiele zeigen, dass die neuen Werkstoffe auch neuartige Lösungen ermöglichen, die früher nicht denkbar gewesen sind.

Schichtholz. Durch besondere Massnahmen bei der Verarbeitung gelang es, verdichtetes Schichtholz herzustellen, das Eigenschaften aufweist, die unter Berücksichtigung des spezifischen Gewichtes besser sind als diejenigen von vergüteten Aluminiumlegierungen. Einige Untersuchungsergebnisse sind in Fig. 51 zusammengestellt. Die Gefügeaufnahmen lassen im Vergleich zu geleimtem Schichtholz erkennen, dass durch die Verdichtung die Schichtung nicht mehr in Erscheinung tritt. Rechts auf Fig. 51 sind einige Kurven über die Dauerfestigkeit zusammengestellt, aus denen hervorgeht, dass auch in dieser Hinsicht das verdichtete Schichtholz gegen die vergüteten Aluminiumlegierungen aufkommen kann.

Wenn auch in den vorstehenden Ausführungen nur einige wenige Beispiele herausgegriffen werden konnten, so dürfte doch der Eindruck erweckt worden sein, dass bei uns in der Schweiz die kriegsbedingten Werkstoffprobleme eingehend bearbeitet wurden, und dass es auch gelungen ist, durch den richtigen Einsatz der neuartigen Werkstoffe neue und bessere Lösungen einzuführen.

Zum Schlusse soll allen Firmen, die Unterlagen für diese Zusammenstellung zur Verfügung gestellt

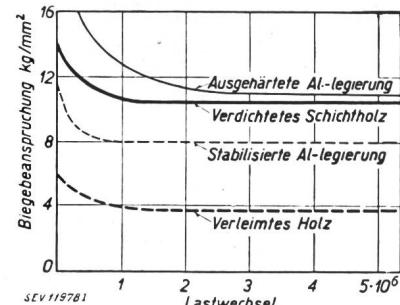
Geleimt Okumé 0,8 mm Nussbaum 0,6 mm Buche 1 mm Buche 0,2 mm



Eigenschaften	Verdichtetes Schichtholz	Vergütete Al-Legierung
Spez. Gewicht bei 20°	1,4	2,8
Elastizitätsmodul	3400 kg/mm²	7000 kg/mm²
Zugfestigkeit	32 kg/mm²	45 kg/mm²

Fig. 51.

32119.81 Lastwechsel



Die geschichteten Preßstoffe werden in der Elektrotechnik in grossem Umfange bei rein dielektrischen Beanspruchungen, aber auch bei kombinierter Beanspruchung (dielektrisch-mechanisch) verwendet. Es soll in diesem Zusammenhang lediglich auf einen neuartigen geschichteten Preßstoff aufmerksam gemacht werden, es ist dies das verdichtete

haben, der beste Dank ausgesprochen werden. Es sind dies die A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden; Fibres de verre S. A., Lausanne; Landis & Gyr A.-G., Zug; Lonza A.-G., Basel; Maschinenfabrik Oerlikon, Zürich-Oerlikon; Schweiz. Draht- und Gummiwerke, Altdorf; Schweiz. Isolawerke, Breitenbach; H. Weidmann A.-G., Rapperswil.