

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 27 (1936)
Heft: 11

Artikel: Von der Arbeit des Chemikers im Elektromaschinenbau
Autor: Boller, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061490>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 03.04.2026

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

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

VERLAG UND ADMINISTRATION:
 A.-G. Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei, Zürich 4
 Stauffacherquai 36/40

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

XXVII. Jahrgang

N^o 11

Mittwoch, 27. Mai 1936

Von der Arbeit des Chemikers im Elektromaschinenbau.

Referat

gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV am 23. November 1935 in Olten,

von *W. Boller*, Zürich-Oerlikon,

und

Diskussion.

620.1: 621.313

Der Referent, Herr Dr. W. Boller, Chemiker der Maschinenfabrik Oerlikon, umschreibt einleitend die Natur und den Sinn der Tätigkeit eines Chemikers in einer Fabrik elektrischer Maschinen und Apparate. Dieses wichtige Anwendungsgebiet der Chemie wird dann anhand einiger Beispiele von Prüfungsarten, die auch den Nichtchemiker interessieren, erläutert: Es kommt zur Sprache die Ueberwachung der Eigenschaften metallischer Werkstoffe, besonders des Eisens und der Stähle, und die Untersuchung von Ermüdungsbrüchen und verschiedener anderer interessanter Zerstörungen. Ferner wird die Untersuchung der Isolieröle und der Kunstharzlacke behandelt.

In der Diskussion werden weitere Fragen der Isolierstoffe erörtert; ferner kommen die neueren Anschauungen über die mechanischen Eigenschaften der Werkstoffe zur Sprache (Ermüdungsbrüche, Dauerprüfmethoden), weiter die selektive Korrosion, die Reckspannungen, die Topochemie u. a.

L'auteur, M. le D^r Boller, chimiste aux Ateliers de Construction Oerlikon, commence par préciser la nature et le sens du travail d'un chimiste dans une fabrique de machines et d'appareils électriques. Il expose ensuite ce domaine important d'application de la chimie à l'aide de quelques exemples de méthodes d'essai qui intéressent aussi le non-chimiste: le contrôle des propriétés des métaux, surtout du fer et de l'acier, l'examen des ruptures par fatigue et de différents autres phénomènes intéressants de destruction, l'analyse des huiles isolantes et des vernis à base de résines synthétiques.

D'autres questions concernant les matières isolantes sont traitées au cours de la discussion, de même que les théories nouvelles sur les propriétés mécaniques des matières premières (rupture par fatigue, méthodes d'essais d'endurance), la corrosion sélective, les tensions de déformation, la topochimie, etc.

Als ich vor mehr als 15 Jahren meine Stelle als Ingenieur-Chemiker in der Maschinenfabrik Oerlikon (MFO) antrat, fragte sich mancher meiner neuen Arbeitskollegen: «Was soll denn ein Chemiker bei uns? Was hat die Konstruktion und Fabrikation von elektrischen Maschinen und Apparaten mit Chemie zu tun?»

Glücklicherweise gelang es mir bald, diese Skeptiker von der Nützlichkeit meiner Tätigkeit zu überzeugen. Tatsächlich sind mit einem elektrischen Grossbetrieb viele Probleme rein chemischer Art verknüpft, und es bietet sich da einem Chemiker ein äusserst interessantes Arbeitsfeld. Hier möchte ich aber gleich feststellen, dass sich nicht jeder Chemiker, der mit Erfolg die Hochschule absolviert hat, als Chemiker in einem nichtchemischen Betrieb eignet. Es ist eine gewisse Umstellung im Denken nötig, ohne die es nicht gelingt, das Vertrauen der Ingenieure zu erringen, und sie zu veranlassen, aus ihrer Zurückhaltung herauszutreten. Es ist naturgemäss Sache des Chemikers, die Sprache und Denkungsart des Ingenieurs verstehen zu lernen, nicht umgekehrt. Nur wenn dem Chemiker das gelingt, wird er als vollwertig anerkannt und wird ein erspriessliches Zusammenarbeiten möglich.

Unter der Tätigkeit des Chemikers in einer Fabrik, die elektrische Maschinen baut, wird man sich in erster Linie die Prüfung von Materialien vorstellen; das ist in der Tat auch das Hauptgebiet. Der Materialprüfung wird heute eine grosse Bedeutung zugemessen; das war nicht immer so. In früherer Zeit beschränkte man sich mehr auf mechanische und elektrische Proben. Selbstverständlich sind diese Prüfungsarten auch heute noch von grösster Wichtigkeit. Auch sie wurden immer weiter ausgebaut und ergänzt. Es gehört durchaus zu der vorhin genannten und verlangten Anpassungsfähigkeit des Chemikers, dass er sich auch mit diesen Gebieten vertraut macht. In den heutigen schweren Zeiten wird wohl häufig die gesamte Materialprüfung der Leitung eines einzigen Beamten unterstellt.

Wie schon einleitend gesagt, möchte ich nun einiges aus der Tätigkeit des Chemikers im Elektromaschinenbau erzählen. Dabei sollen nicht eigentlich wissenschaftliche Probleme behandelt werden. Ich möchte mich vielmehr darauf beschränken, einige Beispiele von Prüfungsarten zu beschreiben, die auch für den Nicht-Chemiker Interesse bieten. Vorerst sei einiges über die Prüfung der Metalle

und der aus ihnen gefertigten Maschinenteile, die in jedem Betrieb von grosser Bedeutung ist, gesagt. Der Chemiker besonders hat durch Analyse die Konstanz des Reinheitsgrades und der Zusammensetzung der metallischen Baustoffe zu überwachen. Ueber diese rein fachliche Tätigkeit möchte ich mich nicht weiter äussern. Nun sind aber die Eigenschaften der Metalle nicht nur durch ihre Zusammensetzung bedingt. Je nach der Behandlung, die ein Metall erfahren hat, können seine Eigenschaften bei gleicher Zusammensetzung sehr verschieden sein. Diese Fragen sind Gegenstand der *Metallographie*, auf die ich etwas näher eingehen will.

Die reinen Metalle bilden beim Uebergang aus dem geschmolzenen in den festen Zustand Kristalle. Wie alle kristallin erstarrenden Körper haben sie einen scharfen Schmelzpunkt. Oberhalb dieses Schmelzpunktes ist alles flüssig und unterhalb desselben alles fest. Dieses Verhalten ist durchaus nicht allen Körpern eigen. Die Gläser z. B. gehen aus dem geschmolzenen Zustand beim langsamen Abkühlen nur allmählich in den festen Zustand über. Sie werden immer zähflüssiger. Die Viskosität oder Zähflüssigkeit wird schliesslich unendlich gross. Eine scharf ausgeprägte Erstarrungs- oder Schmelztemperatur existiert nicht. Diesem Umstand verdanken die Gläser ihre Eigenschaft, sich optisch in jeder Richtung gleichartig zu verhalten, während Kristalle in verschiedenen Richtungen unterschiedliche Eigenschaften, z. B. verschiedene Brechungsindices, zeigen.

Der bei einem reinen Metall nach einfachen Gesetzen ablaufende Abkühlungsvorgang wird komplizierter, wenn Mischungen von mehreren Metallen oder von Metallen mit Metallverbindungen, wie Karbiden, Siliziden, Phosphiden usw., vorliegen. Je nach der Art und Menge der Beimischungen gestaltet sich der Abkühlungsvorgang anders und treten verschiedene Kristallarten auf. In der Metallographie handelt es sich vor allem darum, diese Kristalle sichtbar zu machen, um ihre Gesetzmässigkeit studieren zu können. Bekanntlich geschieht das in der Weise, dass an dem zu untersuchenden Metallstück eine Fläche möglichst weitgehend poliert wird. Hierauf wird sie in sehr verdünnter Säure, oder einem sauer reagierenden Metallsalz behandelt. Die Kristalle zeigen je nach ihrer Art, aber auch je nach ihrer zufälligen Lage, eine verschiedene Angreifbarkeit. Die polierte Metallfläche wird daher verschiedenartig angegriffen; es entwickelt sich ein Relief. Infolge der Kleinheit der Kristalle erscheint die mit Säure behandelte oder *geätzte* Fläche dem Auge mehr oder weniger gleichmässig matt. Zu ihrem Studium sind Spezialmikroskope nötig, die sich von den bekannten, in der Biologie benützten Durchsichtsmikroskopen dadurch unterscheiden, dass die Beleuchtung des Objektes durch das Objektiv, also von oben erfolgt.

Das mikroskopische Bild eines geätzten Metallschliffes heisst «Gefügebild». Dementsprechend nennt man die ein Metall aufbauenden Kristalle «Gefügebildner». Am Beispiel Eisen-Kohlenstoff

möchte ich diesen Gegenstand noch etwas eingehender erläutern:

Eisen verbindet sich bei Temperaturen von ca. 720° an mit Kohlenstoff zu Eisenkarbid. Diese Verbindung besteht aus ca. 93 % Eisen und 7 % Kohlenstoff. Sie hat metallischen Charakter; vom reinen Eisen unterscheidet sie sich hauptsächlich durch ihre viel grössere Härte. Im geschmolzenen Eisen ist dieses Karbid löslich. Bei langsamer Abkühlung nimmt aber die Löslichkeit des Eisenkarbides ständig ab. Unterhalb 730° ist die Löslichkeit praktisch null. Dieses Verhalten des Eisenkarbides wirkt sich praktisch verschieden aus, je nachdem, ob das geschmolzene Eisen viel oder wenig davon enthält (Fig. 1).

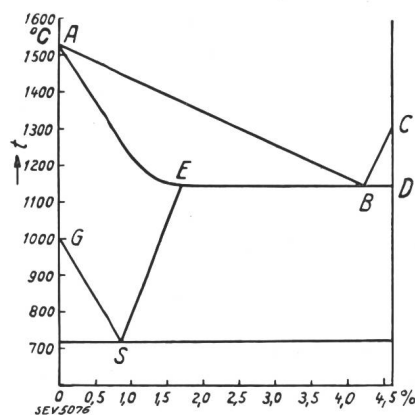


Fig. 1.

Diagramm des Systems Eisen-Kohlenstoff.

Betrachten wir eine Legierung mit ca. 50 % Karbid, oder 3,5 % Kohlenstoff. Vorerst fällt auf, dass der Erstarrungspunkt tiefer liegt als bei reinem Eisen. Dieses erstarrt bei ca. 1500°, unsere Legierung dagegen beginnt erst bei 1280° die ersten festen Bestandteile auszuscheiden. Wenn wir diese Bestandteile abtrennen, «herausfischen» und analysieren, finden wir, dass der Karbidgehalt geringer geworden ist als in der ursprünglichen Legierung. Natürlich muss er demgemäss im noch flüssigen Teil grösser geworden sein. Das wird durch die Analyse bestätigt. Dieses Verhalten erklärt sich dadurch, dass die Löslichkeit des Karbids im Eisen bei 1300° grösser ist als 50 %, d. h. unsere Legierung mit einem Karbidgehalt von 50 % ist an Karbid nicht gesättigt. Die ausgeschiedenen, aus Eisen und Eisenkarbid bestehenden Kristalle nennt der Metallograph «Mischkristalle». Bei weiter sinkender Temperatur fallen weitere Mischkristalle aus, deren Karbidgehalt zwar höher liegt als bei den früher ausgeschiedenen, denjenigen der Schmelze aber noch nicht erreicht haben. Erst bei 1140° enthalten die sich ausscheidenden Kristalle gleich viel Karbid wie die Schmelze. Er beträgt jetzt 65 %, entsprechend 4 % Kohlenstoffgehalt. In diesem Moment erstarrt aber auch alles. Dieser zuletzt erstarrende Teil der Schmelze wird Ledeburit genannt. Es ist dies ein sogenanntes Eutektikum, d. h. die leichtest flüssige Legierung der zwei Komponenten Eisen und Eisenkarbid. Bei einer Legierung, die über 65 % Karbid oder über 4 % C enthält, zeigen die zuerst ausgeschiedenen Mischkristalle höheren

Eisen-Karbidgehalt als die bleibende Legierung. Bei weiterschreitender Abkühlung nimmt der Karbidgehalt immer mehr ab, bis wieder das Eutektikum mit dem C-Gehalt von 4,3 % erreicht wird, das plötzlich erstarrt.

Die Umwandlungen sind nun aber nach vollendeter Erstarrung nicht abgeschlossen. Die karbidhaltigen Mischkristalle zerfallen weiter in freies Karbid und karbidarme Mischkristalle. Nach vollständigem Erkalten haben wir das *weisse Roheisen* vor uns, das z. B. beim «Temperguss» das Ausgangsmaterial bildet (Fig. 2). Infolge seines hohen Gehaltes an Eisenkarbid ist es hart und spröde. Metallographisch heisst das Eisenkarbid «Cementit».

Wird die Schmelze sehr langsam abgekühlt und ist noch im Eisen Silizium in wesentlicher Menge vorhanden, so tritt noch ein weitgehender Zerfall des Karbides zu Graphit und Eisen oder wenigstens C-ärmeren Bestandteilen ein. Das Resultat davon ist graues Roheisen und Grauguss (Fig. 3).

Eine karbidärmere Legierung, die z. B. 10 % Karbid (ca. 0,7 % C) enthält, zeigt im wesentlichen

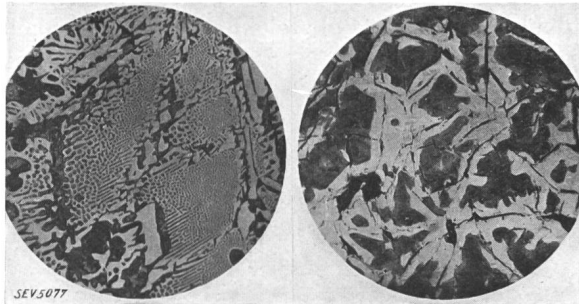


Fig. 2.
Weisses Roheisen.

Fig. 3.
Graues Roheisen.

anderes Verhalten. Die erste Erstarrung beginnt wenig unterhalb 1500°. Die erstarrten Anteile sind wieder Mischkristalle aus Eisen und Eisenkarbid. Die Schmelze reichert sich mit Karbid an. Es ist aber nicht genügend Karbid vorhanden, um zur Bildung des Eutektikums zu gelangen. Die Erstarrung ist denn auch bei einer höheren Temperatur beendet. Das erstarrte Metall besteht lediglich aus Mischkristallen von verschiedenem Karbidgehalt. Beim langsamen Abkühlen werden indes diese Unterschiede wieder weitgehend ausgeglichen. Im Temperaturgebiet um 800° herum beginnen die Mischkristalle Eisen-Eisenkarbid zu zerfallen. Bei unserer Legierung von 0,7 % C scheidet sich zuerst reines Eisen ab, unter Karbidanreicherung im zurückbleibenden Teil (Fig. 4). Es bildet sich wieder ein Eutektikum: Perlit, bestehend aus abwechselnden Schichten von Karbid und Eisen (Fig. 5). Diese Verhältnisse haben wir in den Kohlenstoffstählen. Wird solcher Stahl wieder auf 800° erhitzt, so löst sich das Karbid im Eisen. Es ist wieder der in den Mischkristallen zuerst beobachtete Zustand erreicht. In diesem Zustand lässt sich das Material leicht mechanisch verformen, wie es durch «Schmieden» und «Pressen» bekanntlich in grösstem Maßstab ge-

schieht. Wird Stahl aus dem Temperaturgebiet der festen Lösung des Karbids im Eisen plötzlich abgekühlt, z. B. durch Eintauchen in Wasser, so hat der Zerfall in Eisen und Perlit keine Zeit, sich abzuspielen. Man hat die feste Lösung ins Gebiet der

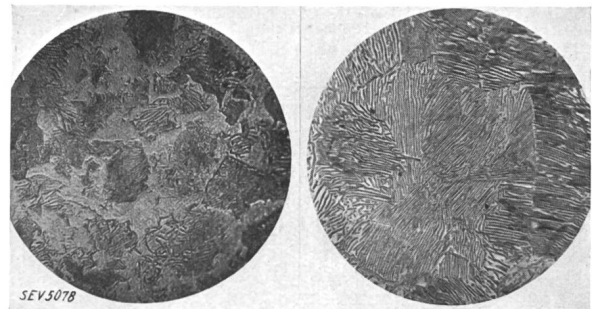


Fig. 4.
Perlit in Ferrit.

Fig. 5.
Reiner Perlit.

gewöhnlichen Temperatur hinübergebracht. In diesem Zustand ist der Stahl hart und spröde. Auch diesen Vorgang benützt die Technik in der Form des Stahl-Härtens in ausgiebigem Masse (Fig. 6).

Ich sagte, wir hätten durch das schroffe Abkühlen die feste Lösung, die nur bei höherer Temperatur beständig ist, in die gewöhnliche Temperatur hinübergebracht, weil bei der schnellen Abkühlung für den Zerfall die Zeit zu kurz ist. Das ist nicht ganz richtig. Tatsächlich hat bereits eine Umwandlung stattgefunden. Es gelingt, auch diese Umwandlung zu verhindern, wenn man dem Stahl gewisse Metalle in grösserer Menge zulegiert, z. B. Nickel oder Mangan. Diese Zusätze setzen die Umwandlungstemperatur ins Gebiet der Zimmertemperatur hinunter (Fig. 7). Solche Stähle besitzen die merkwürdige Eigenschaft, unmagnetisch zu sein, wovon man in der Technik oft Gebrauch macht. Dieses Verhalten erscheint besonders bei den Nickelstählen merkwürdig, da beide Komponenten magnetisch sind. Es erklärt sich durch die Tatsache, dass auch

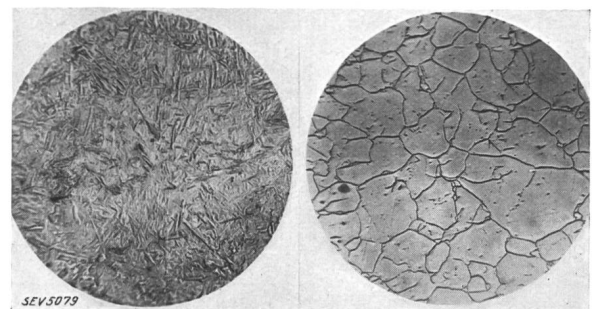


Fig. 6.
Gefüge des gehärteten
Kohlenstoffstahles.

Fig. 7.
Gefüge von unmagnetischem
Mangan-Nickelstahl.

die Kohlenstoffstähle plötzlich unmagnetisch werden, wenn sie beim allmählichen Erwärmen die Temperatur der Bildung der festen Lösung von Karbid in Eisen erreicht haben. Bei andern Metallen und Legierungen sind die Erscheinungen wieder ganz anders, aber ich kann darauf nicht eingehen.

In den Laboratorien der metallverarbeitenden Firmen werden der Metallographie auch Aufgaben anderer Art gestellt.

Eine Motorwelle ist an der Stelle ihres Eintrittes ins Lager gebrochen. Der Konstrukteur vermutet Materialfehler. Mikroskopisch zeigt sich das typische Bild eines Dauerbruches (Fig. 8). Die metal-

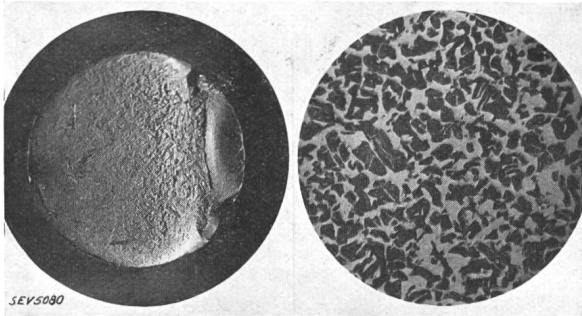


Fig. 8.
Dauerbruch an einer Welle.

Fig. 9.
Gefüge in unmittelbarer
Nähe der Bruchstelle der in
Fig. 8 gezeigten Welle.

lographische Untersuchung zeigt in der Umgebung der Bruchfläche feine Netzstruktur (Fig. 9). Die dunklen Flächen sind Eisen-Eisenkarbid-Eutektikum, die hellen Netzlinien sind reines Eisen. Wenn ein Materialfehler vorgelegen hätte, hätte das Gefüge sicher Unregelmässigkeiten oder Schlackeneinschlüsse gezeigt. Das Fehlen dieser Anzeichen lässt das Vorliegen eines Materialfehlers bestreiten. Der Bruch ist offenbar auf einen Konstruktionsfehler zurückzuführen, vielleicht auf zu kleinen Krümmungsradius des Profils beim Uebergang des Tragzapfens ins normale Wellenprofil.

Eine andere Welle hat genau gleich versagt, trotzdem der Krümmungsradius offenbar reichlich gross war (Fig. 10). Die Untersuchung eines Schliffes senkrecht zur Axe zeigt, dass die äusserste Schicht der

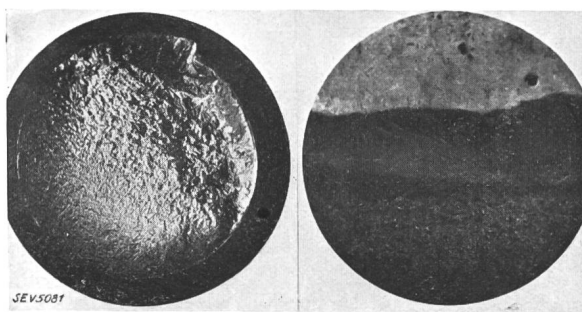


Fig. 10.
Daberbruch an einer Welle.

Fig. 11.
Gefüge in unmittelbarer
Nähe der Bruchstelle der in
Fig. 10 gezeigten Welle.

Welle bis zur Tiefe von ca. 1 mm ein ganz anderes Gefüge zeigt als das übrige Wellenmaterial (Fig. 11). In der äussern Schicht sind ausserdem zahlreiche Poren und Schlackeneinschlüsse vorhanden. Es stellt sich heraus, dass die Welle durch Auftragen von Material mit dem Schweissbrenner verstärkt worden war. Dieses Vorgehen ist gefährlich. Es entstehen

Spannungen, die zwar durch Ausglühen der Welle behoben werden können. Ferner wirken Poren und Schlacken, besonders wenn sie beim späteren Abdrehen angeschnitten werden, als gefährliche Kerben. Die Schwingungsfestigkeit derartig behandelte Wellen wird stark beeinträchtigt; es sind die Vorbedingungen für die Entstehung des Dauerbruches gegeben.

Dünnwandige Graugussteile lassen sich stellenweise nicht bearbeiten. Das Mikroskop zeigt im Gefügebild Eisenkarbidnadeln (Fig. 12). Das Eisen ist somit stellenweise weiss erstarrt, was bei einem gewissen Mangel an Silizium oder Ueberschuss von Mangan, ferner bei zu hohem Schwefelgehalt leicht eintritt. Die nachfolgende chemische Analyse zeigt, welche der möglichen Ursachen in Frage kommt.

Die Messingröhren eines Kühlers für das Kondensat in einer Dampfturbinenanlage zeigen «Nadellöcher». Diese Erscheinung kann bekanntlich die Folge von sehr verschiedenen Ursachen sein. Die Untersuchung ergibt in dem Messing das Vorhandensein von fein verteilten Schlacken-Einschlüssen. An den Stellen, wo solche Schlacken zutage treten, bilden sich, besonders wenn es sich um Einschlüsse aus Kohle handelt, Lokalelemente. Messing geht

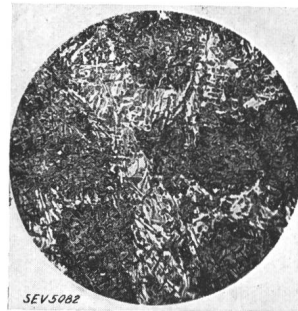


Fig. 12.
Eisenkarbidnadeln in
Grauguss.

in Lösung. Kupfer wird, als das edlere Metall der Legierung, schwammförmig abgeschieden. Durch diese Kupferelektrode wird erst recht wieder Messing in Lösung gebracht.

Die Metallographie zeigt auch augenfällig, dass Metalle, die irgendwelche andere Stoffe beigemischt enthalten, nicht gleichmässig erstarren, sondern dass das Mischungsverhältnis an verschiedenen Stellen des erstarrten Stückes verschieden ist. Meist zeigt es sich, dass die Verunreinigungen mit der Entfernung von der Oberfläche zunehmen. Diese Erscheinung beruht auf der Tatsache, dass der Schmelzpunkt dieses Stoffes durch Zumischen eines zweiten Stoffes meistens erniedrigt wird, auch wenn der zweite Stoff für sich einen höheren Schmelzpunkt hat als der erste. Dieser Fall wurde bei den Legierungen Eisen-Eisenkarbid angeführt. Ferner wurde erwähnt, dass sich zwei Stoffe bei höherer Temperatur gegenseitig lösen können, dass aber diese Löslichkeit bei tieferen Temperaturen nicht mehr besteht. Auch diese Erscheinung ist häufig. Beim langsamen Abkühlen aus dem Schmelzfluss scheiden sich naturgemäss immer zuerst Bestandteile mit höherem Schmelzpunkt aus, also relativ reines Metall. Das noch flüssige ist angereichert

mit der Verunreinigung. Da das Erstarren immer von aussen nach innen fortschreitet, werden die Beimischungen gegen das Innere des erstarrenden Metallkörpers immer mehr angereichert. Je nachdem, ob die beiden Körper ein Eutektikum, d. h. eine Mischung bestimmter Zusammensetzung bilden, deren Schmelzpunkt tiefer ist als derjenige aller andern möglichen Mischungen, oder aber ob der beigemischte Bestandteil den tiefsten Schmelzpunkt hat, wird man im Innern des Gusskörpers eine Anreicherung des Eutektikums, oder aber eine Anreicherung des beigemischten Körpers finden. Solche Anreicherungen heissen *Seigerungen*. Es ist ohne weiteres einzusehen, dass solchen Ungleichmässigkeiten in der Zusammensetzung auch verschiedene Festigkeitseigenschaften entsprechen. Die Seigerungen sind daher immer unerwünscht. Ausser der Verschlechterung der Festigkeitseigenschaften begünstigen sie den Angriff durch Korrosion. Die Metallographie hat einfache Methoden, die Seigerungen sowohl sichtbar zu machen, als auch ihre Natur zu erkennen. Im Stahl sind zwei Fremdkörper als Seigerungsbildner besonders gefürchtet: Der Phosphor und der Schwefel.

Phosphor bildet mit Eisen die Verbindung Eisenphosphid. Dieser Stoff löst sich im Eisen, ähnlich wie Eisenkarbid, und zwar bis zu einem Gehalt von 10,9 %, entsprechend 1,7 % Phosphor. Phosphorhaltiges Eisen ist relativ spröde, im besondern schlagempfindlich.

Schwefel verbindet sich ebenso mit Eisen zu Eisensulfid. Dieses ist im festen Eisen nicht mehr löslich. Es bildet beim Erstarren ein Netzwerk um die Kristalle. Bei Schmiedehitze schmilzt das Sulfid bereits. Als Fremdkörper zwischen den Kristallen vermindert es deren Zusammenhang und somit die Festigkeit. Beim Schmieden bewirkt es Rotbrüchigkeit.

Diese wenigen Hinweise mögen genügen, um zu zeigen, wie die Metallographie in Verbindung mit der chemischen Untersuchung Fehlerursachen aufdecken kann. Im praktischen Betrieb handelt es sich häufig darum, die Fehlerursache aufzuklären, wenn das Material nicht gehalten hat, was man von ihm erwartete. Oft liegt die Ursache ganz anderswo, als man ursprünglich vermutete. Wenn auch der Defekt durch die nachträgliche Untersuchung nicht mehr gutgemacht werden kann, so dient die gewonnene Erkenntnis dazu, den Fehler in Zukunft zu vermeiden.

Die Arbeit des Chemikers beschränkt sich nicht auf die metallischen Werkstoffe. In der Elektrotechnik ist das grosse Gebiet der Isoliermaterialien nicht weniger wichtig.

Ein für den Elektro-Maschinenbauer sehr wichtiges Material ist das *Isolieröl*. Die Isolieröle wurden früher fast ausschliesslich auf ihre Isolationsfähigkeit hin geprüft, und zwar verstand man darunter vor allem die Durchschlagsfestigkeit. Die Erfahrungen im praktischen Betrieb zeigten aber bald, dass mit hohen Durchschlagswerten nicht alles er-

reicht ist. Trotz eines im Anlieferungszustand festgestellten guten Durchschlagswertes konnte es vorkommen, dass sich das Öl in einem Transformator nach verhältnismässig kurzer Zeit in eine dunkle, schlammige und übelriechende Flüssigkeit verwandelt hatte. Die Durchschlagsspannung betrug nur noch einen kleinen Bruchteil der ursprünglichen. Die Baumwollisolation der Wicklungen zeigte grosse Einbusse an Festigkeit.

Ein anderes Öl, das unter gleichen Bedingungen arbeitete, war nach der gleichen Betriebsdauer kaum verändert und der Zustand der Baumwollisolation war vorzüglich. Es war Sache der Chemiker, die Gründe für das verschiedene Verhalten der Öle aufzudecken und vor allem Prüfmethode auszuarbeiten, die erlauben, die Haltbarkeit frischer Öle innert nützlicher Frist zu beurteilen. Solche Methoden wurden in allen Ländern in grosser Zahl entwickelt. Fast alle beruhen auf demselben Prinzip, das darin besteht, das zu prüfende Öl während einer festgesetzten Zeit genau festgelegten, betriebsähnlichen Bedingungen auszusetzen und dann festzustellen, inwiefern das Öl sich verändert hat. Das Öl, das nach der Behandlung sich am wenigsten geändert hat, ist natürlich als das geeignetste anzusprechen. Diese Ueberlegung erscheint sicherlich einfach, und es ist vielleicht verwunderlich, wieso sich eine grosse Zahl von Prüfmethode ausbilden konnte. Ein wichtiger Grund liegt einmal darin, dass man nicht einfach die Betriebsbedingungen nachahmen kann, denn dabei verändert sich das Öl derartig langsam, dass nach nützlicher Zeit eine Beurteilung nicht möglich ist. Die schädigenden Einflüsse müssen also irgendwie verschärft werden. Als einfachste derartige Verschärfung erschien die Erhöhung der Temperatur. So bestand eine frühere Prüfmethode darin, das Öl z. B. während 50 Stunden auf 150° zu erhitzen und die Verdunkelung und Schlammbildung zu bestimmen. Eingehende Untersuchungen von verschiedenen Autoren, insbesondere von Stäger, ergaben jedoch, dass die Veränderungen des Öls bei dieser Temperatur ganz anderer Art sind als bei den im Transformator vorkommenden Temperaturen von 90 bis 110°.

Eine andere Methode suchte die Verschärfung der Betriebsbedingungen dadurch zu erreichen, dass reiner Sauerstoff durch das Öl geleitet wird. Auch hier zeigt sich derselbe Nachteil, indem reiner Sauerstoff im Öl andersartige Veränderungen bewirkt als Luft. Es würde zu weit führen, alle die Vorschläge und ihre Nachteile zu erwähnen. Ich beschränke mich darauf, die von Stäger in den Laboratorien von Brown, Boveri & Cie. ausgearbeitete und mit wenigen Modifikationen vom SEV übernommene Prüfmethode etwas näher zu beschreiben.

Stäger hat gefunden, dass 120° im Verhalten der Öle eine kritische Temperatur ist, indem oberhalb 120° die Ölmoleküle beginnen, zu zerfallen. Andererseits bewirkt die Gegenwart von blankem Kupfer eine Beschleunigung der im Transformator beobachteten, zum grossen Teil auf Oxydation beruhenden Verschlechterung. Dementsprechend arbeitet

die Schweizer Methode bei nur wenig erhöhter Temperatur: 110°, aber bei stark vergrößerter Kupferoberfläche, indem als Prüfgefäß ein Kupferbecher benützt wird. Die Prüfung findet bei ungehinderter Luftzutritt statt. Die Prüfdauer beträgt 168 Stunden. Unter den genannten Bedingungen zeigen unsere besten Oele bereits eine deutliche Veränderung. Als Mass für die Alterung bestimmt man chemisch die Menge der gebildeten Säure und des gebildeten Schlammes. Ausserdem wird festgestellt, in welchem Grade Baumwollfaden durch die Einwirkung des Oeles und seiner Oxydationsprodukte während der Dauer der Prüfung geschwächt wird.

Diese Abnahme der Baumwollfestigkeit ist typisch für die Schweizer Methode. Sie stellt ein sehr wertvolles Kriterium dar, denn es hat sich gezeigt, dass bei gewissen Oelen nach gewisser Betriebsdauer eine bedeutende Schwächung der Wicklungsisolierung eintritt, trotzdem Säure und Schlammgehalt noch unbedenklich erscheinen. Diese Tatsache ist dem Chemiker leicht verständlich. Je nach der Art der Kohlenwasserstoffe, aus denen das Oel sich aufbaut, bilden sich bei der Oxydation Zwischenprodukte sehr verschiedener Art. Unter Umständen können sich Körper bilden, die den aufgenommenen Sauerstoff nur lose gebunden enthalten und ihn leicht wieder an dazu befähigte Körper abgeben. Ein solcher Körper ist die Zellulose, der Hauptbestandteil der Baumwolle. Nachdem das Zerstörungswerk getan ist, bleibt von dem bösartigen, sauerstoffhaltigen Zwischenprodukt eine einfache organische Säure übrig, die viel weniger schädlich wirkt.

Andere Oeltypen können sich zum harmlosen Endprodukt oxydieren, ohne solch schädliche Zwischenprodukte zu bilden. In diesem Fall findet kein Angriff der Baumwolle statt, trotzdem ebensoviel oder mehr Säure gebildet wird.

Die schweizerische Prüfmethode für Transformatoröle hat sich seit vielen Jahren sehr gut bewährt. Die vielen ungeeigneten Oele, die früher als Isolieröle verkauft wurden, sind gänzlich vom Markt verschwunden.

Eine andere Klasse von Materialien, an deren Entwicklung die Chemie ihren redlichen Anteil hat, sind die *Isolierlacke*. Während früher als Isolierlack meistens Lösungen von Schellack und einigen andern Naturharzen benützt wurden, erwiesen sich nach und nach verschiedene andere Körperklassen als geeignet und brachten auf Grund ihrer ganz andern Eigenschaften technische Möglichkeiten, die mit Harzlösungen unerreichbar waren.

Für Wicklungen von Transformatoren und andern Apparaten, die dauernd der Einwirkung von warmem Oel ausgesetzt sind, bewährten sich am besten die Lacke auf Basis von trocknendem Oel. Das sind im Prinzip Lösungen von mehr oder weniger stark oxydiertem Leinöl und chinesischem Holzöl nebst trocknungsbeschleunigenden Mitteln in Benzin. Die Trocknungsbeschleuniger, auch Sikkative genannt, sind Blei-, Mangan- oder Cobaltoxyde, die für sich mit Kolophonium bis zu ihrer Lösung verkocht werden. Die schwarzen Oellacke

enthalten ausserdem Zusätze von Asphalt oder Petrolpech.

Sollen diese Lacke ihren Zweck richtig erfüllen können, so muss der Trocknungs- und Erhärtungsprozess richtig verlaufen. Dieser Vorgang spielt sich in zwei Phasen ab. Zuerst wird das Lösungsmittel verdunstet. Dann erst folgt die Erhärtung des Oeles zum Film. Diese Erhärtung beruht in der Weiteroxydation des Oeles. Sie kann nur stattfinden, wenn die Luft immer guten Zutritt hat, andernfalls tritt niemals ein richtiges Erhärten des Lackes ein. Natürlich sind derartige Lackschichten nicht ölfest. Sie lösen sich daher im Transformatoröl auf und bewirken bei diesem oft eine vorzeitige Verschlammung.

Der Betriebschemiker muss ständig darauf achten, dass diese Lacke richtig behandelt werden. Während der ersten Phase, dem Verdunsten des Lösungsmittels, darf die Temperatur nicht zu hoch sein, weil sich sonst an der Oberfläche bereits ein Film bildet, bevor das Lösungsmittel in den tieferen Schichten verdunstet ist. Das Verdunsten wird aber durch den Film an der Oberfläche sehr erschwert. Die Folge davon ist die Ausbildung von sogenannten Lacktaschen. Diese treten besonders an unteren Kanten und Rändern auf. Wenn solche Lacktaschen ins Oel kommen, so ist die weitere Oxydation und somit Durchhärtung der Tasche ausgeschlossen. Der schwache Film wird bald zerstört und der flüssige Lack tritt ins Oel.

Aehnlich wie beim Isolieröl erfolgt auch bei diesen Oellacken die Prüfung nach dem Prinzip der Alterung bei verschärften Betriebsbedingungen, nachdem vorher ermittelt wurde, dass Verdünnungsgrad, Trocknungszeit usw. in Ordnung sind. Die Lackproben werden eine bestimmte Zeit bei erhöhter Temperatur der Einwirkung von Luft ausgesetzt; hierauf wird festgestellt, ob die Elastizität der Filme dadurch geringer wird. Ferner werden Proben von regelrecht erhärteten Lackschichten warmem Oel ausgesetzt und es wird beobachtet, ob der Film erweicht, ob das Oel stärker verfärbt und versäuert wird, als solches, das dieselbe Beanspruchung, aber ohne die Gegenwart von Lackproben erfährt.

Ausser den soeben beschriebenen Oellacken werden zum Imprägnieren von Wicklungen die ganz anders gearteten *Kunstharzlacke* oft benützt. Im Laufe der Zeit wurden viele Kunstharze der verschiedensten Art entwickelt. Trotzdem haben die Bakelite oder, nach der Bezeichnung des Chemikers, die Phenol-Formaldehyd-Kondensate ihre Wichtigkeit bis heute aufrechterhalten. Diese Vorzugsstellung beruht auf ihrer einzigartigen Fähigkeit, durch blosses Erhitzen auf Temperaturen bis 200° unschmelzbar und unlöslich in allen bekannten Lösungsmitteln zu werden. Die chemische Reaktion zwischen Formaldehyd und Phenol benötigt zu ihrem Zustandekommen einmal geringe Beimengungen von Reaktionsbeschleunigern oder Katalysen (ähnlich wie das trocknende Oel in den Oellacken zur Bildung des harten Films). Aber auch

dann verläuft die Reaktion bei Zimmertemperatur äusserst langsam. Bei Temperaturen über 100° dagegen findet die Bildung des Endproduktes in einigen Minuten bis Stunden statt, je nach der Art des Katalyten. Die erste Reaktionsstufe ist leicht löslich in Alkohol, so dass alkoholische Lacke hergestellt werden können. Im Gegensatz zu den Oellacken ist zur Erhärtung kein Sauerstoff, sondern blosser Erwärmung nötig. Beim Bakelit unterscheidet man drei Zwischenstufen, und zwar die Zustände A, B und C. A und C entsprechen dem löslichen Anfangs-, bzw. dem unlöslichen Endzustand. B stellt eine Zwischenstufe dar, die durch Lösungsmittel aufquillt, aber nicht gelöst wird, ähnlich wie Gelatine in kaltem Wasser. Die Umwandlung geschieht natürlich nicht sprunghaft, sondern ganz allmählich.

Der grosse Nachteil dieser Kunstharze liegt nun darin, dass bei der Umwandlung der Form A in die Form C durch die sich abspielenden chemischen Reaktionen gasförmige Produkte und Wasser gebildet werden. Bei der nötigen Temperatur tritt dieses Wasser in Form von Dampf auf und bildet in der noch plastischen Masse Hohlräume. Das Harz geht beim «Ausbacken» auf wie ein Kuchen. Man kann diese Erscheinung vermeiden, indem man das Erhärten in einem geschlossenen Gefäss unter einem Druck, der höher ist als der Wasserdampfdruck bei der betreffenden Temperatur, vornimmt. Das Wasser kann dann keine Dampfblasen, sondern nur ganz feine Wassertröpfchen bilden, die dort, wo sie entstanden sind, liegen bleiben. Das Wasser befindet sich also im Harz in molekularer Verteilung. Man könnte vermuten, dass dadurch die Isolation beein-

trächtigt wird. Das ist nicht der Fall, weil die einzelnen Wasserteilchen unter sich keinen Zusammenhang besitzen, sondern allseitig von Harz umhüllt sind. Das Wasser macht sich aber doch bemerkbar, und zwar in der Erhöhung der Dielektrizitätskonstanten, was meist unerwünscht ist, indem bei geschichtetem Material, bei dem Kunstharzschichten mit solchen aus anderem Material, z. B. Papier abwechseln, die Schichten mit kleinerer Dielektrizitätskonstanten relativ mehr Spannung aufnehmen.

Bei der Prüfung der Kunstharze, soweit sie in den Bereich des Chemikers fällt, interessiert der Gewichtsverlust, den das Material während der Umwandlung von Zustand A in den Zustand C erleidet. Die entweichenden Dämpfe werden auf ihre Zusammensetzung hin untersucht. Der Hauptanteil ist Wasser; daneben findet man aber noch Formaldehyd und Abkömmlinge des Phenols und oftmals Anteile des Katalysators.

Ferner wird ermittelt, wieviel von dem regelrecht ausgehärteten Harz noch löslich geblieben ist. Es ist nämlich leider oft nicht der Fall, dass das gesamte Harz vollständig sich in einen unlöslichen Körper verwandelt. Die Kenntnis des Grades der Unlöslichkeit ist aber häufig von grosser Wichtigkeit, z. B. bei Wicklungen von Motoren, die Dämpfen von Lösungsmitteln ausgesetzt sind, was in der chemischen Industrie häufig vorkommt.

Ich habe im vorstehenden versucht, an einigen Beispielen zu zeigen, welche Aufgaben an den Chemiker in einem Betriebe, der sich mit dem Bau elektrischer Maschinen befasst, herantreten. Ich hoffe, Ihnen einen Begriff von der Vielseitigkeit unserer Tätigkeit gegeben zu haben.

Diskussion.

Der *Vorsitzende*, Herr Direktor M. Schiesser, Präsident des SEV, dankt dem Referenten, Herrn Dr. Boller, bestens für das interessante Referat. Die Arbeit des Chemikers im Elektromaschinenbau ist ein weites und schwieriges und vor allem wichtiges Feld. Man denke nur an die Vorausbestimmung der Alterung von Isolierstoffen, die ungleich schwieriger als die Feststellung der Materialeigenschaften im Anlieferungszustand, aber für den Konstrukteur eine wichtige Angelegenheit ist.

Ein weiteres unabgeklärtes Gebiet ist die Frage der Ermüdungsbrüche, deren Bedeutung grösser sein kann als die geläufige Werkstoffprüfung. Neu und interessant ist dann vor allem das ganze Gebiet der synthetischen Stoffe. Der *Vorsitzende* eröffnet die Diskussion.

Herr Dr. de Senarclens, Schweizerische Isola-Werke Breitenbach: Vous nous permettez tout d'abord de dire à Monsieur le Docteur W. Boller, avec quel plaisir nous avons entendu son exposé et de le remercier d'avoir bien voulu préciser quelques données encore très vagues dans notre esprit. Il est deux domaines dans lesquelles nous serions heureux de faire appel à l'expérience de Monsieur le D^r Boller. Il nous a rappelé que le chimiste de la grande industrie électrique devait entre autre analyser d'une part des bakélites, d'autre part des vernis gras. C'est à ce chimiste-analyste que je voudrais avoir recours.

A. Tout d'abord la question de la bakélite. Monsieur le D^r Boller a certainement établi lui-même des méthodes d'analyse ayant pour but de déceler les bakélites répondant aux exigences de l'industrie électrique. Il a fait allusion, dans son exposé, à la détermination du pourcentage en phénol libre, en eau, en aldéhyde formique (méthanal), etc. Nous

serions très désireux de savoir si Monsieur le D^r Boller a pu établir une corrélation entre l'analyse chimique et les qualités diélectriques de la bakélite. L'analyse n'est-elle qu'un moyen d'éliminer les bakélites dont la condensation a été très défectueuse, ou permet-elle de se faire une idée exacte des qualités isolantes du produit?

Nous avons cherché à résoudre cette question. Partant de l'idée que la bakélite pure, composée probablement d'alcools phénoliques à un degré de polymérisation plus ou moins avancé, était un parfait isolant, nous nous sommes appliqués à obtenir un phénoplaste présentant le maximum de pureté possible. Nous avons, par des méthodes de condensation qu'il serait fastidieux de décrire, par des lavages successifs, enfin par une distillation à l'alcool butylique permettant d'éliminer l'eau, obtenu un produit que l'analyse chimique nous a permis de considérer comme pur. Nous l'avons soumis aux essais électriques habituels et constaté à notre confusion, que la tangente de l'angle de pertes n'était pas inférieure à celle obtenue en mesurant des phénoplastes dont la condensation avait été soignée, mais pour laquelle les précautions prises pendant la fabrication avaient été bien moindres. Nous avons poursuivi nos essais et cherché à savoir quelle influence pouvaient avoir le phénol libre, l'eau, l'aldéhyde formique et les électrolytes, employés généralement comme catalyseurs, sur les qualités diélectriques de la bakélite. Nous avons constaté que la principale influence de ces corps, était, mis à part les électrolytes et peut-être l'aldéhyde formique, de retarder la polymérisation, voire même de la rendre pratiquement impossible. Mieux que cela: nous avons fait un résol contenant 7 % de phénol libre et 5 % d'eau, et qui, même en milieu basique, se troublait au cours de la polymérisation.

Nous l'avons chauffé, ce produit trouble, pendant des semaines à 105° C, jusqu'à ce qu'il soit redevenu transparent par élimination de l'eau et, partant, du phénol libre et avons déterminé périodiquement ses propriétés diélectriques, à savoir la tangente de l'angle de pertes dans le sens transversal. Nous avons constaté:

1° que les propriétés diélectriques s'améliorent nettement au cours des semaines de chauffage,

2° et c'est cela qui nous paraît important, que la courbe présentait un maximum qui laisserait supposer ou bien que le produit parfaitement pur est moins bon, électriquement parlant, que le produit contenant encore 1 % de phénol libre et 1 % d'eau, ou bien que la masse atteint un état qu'on pourrait appeler une surpolymérisation et dans lequel je ne voudrais pas m'aventurer. Il n'est à notre idée qu'une analyse chimique qui donne une idée assez exacte des propriétés diélectriques de la bakélite. C'est celle qui, par distillation sèche, donne le pourcentage en phénol lié, probablement à l'état d'éther phénylique. Le pourcentage des bakélites étudiées variait entre 10 et 24 %. Ce sont celles qui contenaient le moins de phénols liés qui se sont montrées les meilleurs isolants. Nous nous permettons donc de reposer à Monsieur le D^r Boller la question suivante:

Ses expériences sont-elles différentes des nôtres et est-il de l'avis que l'analyse chimique, que nous sommes loin de considérer comme inutile, sert non pas seulement à éliminer les bakélites tout à fait défectueuses, mais qu'elle permet encore de se faire une idée exacte des qualités diélectriques du produit analysé?

B. Question des vernis gras. Le second domaine dans lequel nous serions heureux d'avoir recours à l'expérience de M. le D^r Boller, est celui des vernis gras d'imprégnation et leur analyse par les chimistes des entreprises électriques. Les chimistes, bien souvent très absorbés par d'autres problèmes, n'ont pas la possibilité de consacrer le temps nécessaire à l'étude des vernis d'imprégnation, domaine complexe entre tous. Ils en sont fréquemment réduits à faire quelques réactions rapides puis à élaborer un cahier des charges. Les fabricants de vernis reçoivent le dit cahier et constatent généralement ceci: des maisons faisant des imprégnations de bobinages semblables exigent des vernis diamétralement opposés et qui de plus, ne paraissent pas toujours adaptés à l'emploi qu'on désire en faire. Un petit exemple: Quatre maisons faisant des appareils semblables exigent les vernis jaunes à l'étuve suivants:

| | A | B | C | D |
|------------------|-----|-----|--------|------|
| séchage à 110° C | 1 h | 3 h | > 6 h | 36 h |
| | | | < 16 h | |

et pourtant la durée de séchage conditionne à peu près toutes les propriétés du vernis. Il est vrai qu'une seule maison a indiqué le support sur lequel les essais de séchage doivent être faits. Or, un vernis qui sèche en 2 heures 30 sur le zinc exige 4 heures 30 sur carton et 12 heures sur cuivre.

Le vernis universel, séchant rapidement, résistant à l'action de l'eau, des acides, des bases, des huiles chaudes et des halo-

gènes, ne vieillissant que très lentement, n'existe pas. Il faut choisir entre quelques unes de ces propriétés. Il nous semble donc qu'il n'est qu'un moyen de résoudre d'une manière satisfaisante cette question très complexe du vernis d'imprégnation; c'est de charger le spécialiste en vernis en qui on a placé sa confiance, de résoudre la question, en contact avec le chimiste de l'entreprise électrique et en présence de tous les facteurs intervenant au moment du séchage: stand d'imprégnation, nature du bobinage, question d'ordre commercial, etc. ... Il n'est pas douteux que de graves erreurs seront évitées, que le constructeur recevra le vernis qu'il désire et que les essais des spécialistes seront en ce sens plus faciles qu'ils connaîtront le but à atteindre.

Herr Dr. W. Boller, Referent: Unsere Arbeiten über das Gebiet der Kunstharze führten bloss zu Prüfmethode, die erlauben, Produkte von der Verwendung auszuschliessen, die den Anforderungen im allgemeinen oder für irgendwelche Spezialzwecke nicht genügen.

Die Fragen, wie sich verschiedene Ausgangsmaterialien sowie verschiedene Behandlungsarten bei der Herstellung der Kunstharze im fertigen Material auswirken, hat meines Wissens Herr Dr. Stäger bearbeitet. Soviel ich mich erinnere, verhalten sich Kresole wesentlich anders als Phenol.

(Da Herr Dr. de Senarclens nicht mehr anwesend war, äusserte sich der Referent über seine Anfrage betreffend die Isolierlacke auf Oelbasis nicht mehr.)

Herr Dr. H. Stäger, Zürich: Als Ergänzung zu den Ausführungen des Herrn Dr. Boller möchte ich mir erlauben, noch einige Beispiele aus der Werkstoffkunde zu erwähnen. Im Zusammenhang mit der Entwicklung der modernen Technik war es mehr und mehr nötig, alle möglichen Eigenschaften der Werkstoffe zu erforschen. Es genügt denn auch keinesfalls z. B. nur die Kenntnis des mechanischen Verhaltens. Der Referent hat bereits an Hand einiger Beispiele gezeigt, inwieweit die naturwissenschaftliche Erkenntnis nötig ist, um die Eigenschaften der Werkstoffe zu erfassen.

Während bis vor noch nicht allzulanger Zeit lediglich die statischen Prüfmethode zur Ermittlung der mechanischen Eigenschaften der Werkstoffe des Maschinenbaues herangezogen wurden, ging man in neuerer Zeit dazu über, in ausgedehntem Masse dynamische Spezialmethoden beizuziehen, um das Verhalten von Werkstoffen im Betrieb bei wechselnden Dauerbeanspruchungen zu verstehen. Es ist ja kennzeichnend, dass trotz der umfangreichen statischen Prüfmethode und der sorgfältigen Prüfungen in dieser Hinsicht 90 % aller heute vorkommenden Brüche im Maschinenbau als Dauerbrüche bezeichnet werden müssen. Erst mit Hilfe der *Dauerprüfmethode* bei wechselnden Beanspruchungen war es möglich, die genaue Spannungsverteilung in einem Konstruktionsteil zu erfassen und dann Mittel und Wege zu finden, um die Spannungsspitzen abzubauen und für eine gleichmässige Verteilung der Spannungen zu sorgen. Diese Erkenntnis führte denn auch zur neuen Konstruktionslehre. Es ergibt sich also vorerst, dass bei gleichen statischen und chemischen Eigenschaften, je nach der Formgebung, sich

Einige Formziffern.

Tabelle I.

| Nr. | Abmessungen | Beanspruchung | α_k | Ursprung |
|-----|--|--------------------|------------|--------------|
| 1 | $r = t = 0,07 D$ | Zug und Biegung | 1,8 | Leon |
| 2 | $r = t = 0,25 D$ | | 1,5 | Coker |
| 3 | $r = t = 0,09 D$ | Verdrehung | 1,65 | Thum |
| 4 | $r = 0,09 D; t = 0,21 D$ | | 1,9 | |
| 5 | $d = 0,1 \text{ bis } 1,30$ | Zug und Verdrehung | $\sim 3,0$ | Leon, Coker |
| 6 | $r = 0,1 D$ | Biegung | 1,4 | Leon |
| 7 | $r = 0,5 D; t = 0,08 D$ | Verdrehung | 2,2 | Thum |
| 8 | $\frac{1}{2}$ " Whitworth-Gew. mit Auslauf | Biegung | 2,5 bis 3 | Coker, Moore |
| 9 | $r \leq 0,2 D$ | Verdrehung | 3,0 | rechnerisch |
| 10 | $r = 0,1 t$ | Verdrehung | 5,4 | nach Prandtl |
| 11 | $r = 0,2 t$ | | 3,4 | |
| 12 | $r = 0,5 t$ | | 2,1 | |

zwei Konstruktionsteile bei wechselnden Beanspruchungen verschieden verhalten können. Daraus ergibt sich weiter, dass neben den beiden erwähnten Prüfungen noch andere Methoden angewendet werden müssen, um den Einfluss der Form zahlenmässig zu erfassen. Mit Hilfe der Dauerprüfmethoden gelang es, die sogenannte *Formziffer* für einen bestimmten Werkstoff festzustellen: In Tabelle I sind einige solcher Formziffern zusammengestellt. Diese sind verschieden gross, nicht nur hinsichtlich der Formgebung, sondern auch der Art der wechselnden Beanspruchung.

stoff hat die Empfindlichkeitszahl 1, ein nicht kerbempfindlicher dagegen 0. Wie aus der Zusammenstellung ersichtlich ist, besteht kein direkter Zusammenhang zwischen den chemischen, den mechanischen Eigenschaften und der Empfindlichkeitszahl. Selbst die sogenannte Kerbzähigkeit steht nicht in direktem Zusammenhang mit der Empfindlichkeitszahl, was z. B. ein Vergleich der Stähle Nr. 1 und Nr. 5 zeigt. Der austenitische Chromnickelstahl Nr. 10 dagegen zeigt bei hoher Kerbzähigkeit eine Empfindlichkeitszahl 0. Aus diesen Vergleichen ergibt sich deutlich, dass sich die verschiedenen

Chemische Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften der gebräuchlichsten Stähle. Tabelle II.

| Nr. | Bezeichnung | Chemische Zusammensetzung | | | | Streckgrenze σ_s kg/mm ² | Zugfestigkeit σ_B kg/mm ² | $\frac{\sigma_s}{\sigma_B}$ | Dehnung ϵ_{10} % | Einschnürung ψ % | Biege-wechsel-festigkeit σ_w kg/mm ² | $\frac{\sigma_w}{\sigma_B}$ | Kerb-schlag-zähigkeit α_k mkg/cm ² | Empfindlichkeits-zahl η_k |
|-----|-------------|---------------------------|---------|---------|---------------------|---|--|-----------------------------|------------------------------|--------------------------|---|-----------------------------|---|--------------------------------|
| | | C % | Si % | Mn % | Sonstiges % | | | | | | | | | |
| 1 | St 37 | 0,10 | 0,51 | 0,13 | — | 38,1 | 43,3 | 0,88 | 30 | 72 | 23,0 | 0,53 | 21,5 | 0,50 |
| 2 | St 37 | 0,11 | 0,01 | 0,49 | — | 32,1 | 44,3 | 0,73 | 29 | 67 | 22,3 | 0,50 | 17,4 | 0,63 |
| 3 | St 52 | 0,15 | 1,02 | 0,95 | 0,41 Cu | 43,8 | 59,3 | 0,73 | 26 | 67 | 38,4 | 0,88 | 18,5 | 0,85 |
| 4 | — | 0,78 | 0,35 | 0,78 | — | 34,9 | 61,6 | 0,56 | 22 | 60 | 30,0 | 0,48 | 5,6 | 0,57 |
| 5 | — | 1,21 | 0,24 | 0,50 | — | — | 61,0 | — | 21 | 45 | 26,2 | 0,42 | 1,8 | 0,42 |
| 6 | St 60 | 0,29 | 0,34 | 0,91 | — | 42,3 | 65,3 | 0,65 | 21 | 72 | 31,8 | 0,49 | 8,1 | 0,49 |
| 7 | St 80 | 0,48 | 0,26 | 1,27 | — | 49,8 | 81,2 | 0,62 | 15 | 55 | 35,9 | 0,44 | 6,2 | 0,48 |
| 8 | VCN 35 | 0,23 | 0,16 | 0,51 | 0,69 Cr 3,67 Ni | 46,3 | 66,8 | 0,69 | 17 | 57 | 42,0 | 0,63 | 12,1 | 0,61 |
| 9 | — | 0,36 | 0,32 | 1,25 | 0,63 Cr 3,48 Ni | 109,0 | 115,5 | 0,94 | 10 | 53 | 58,8 | 0,51 | 6,1 | 0,92 |
| 10 | — | 0,15 | 0,45 | — | 19,70 Cr 6,10 Ni | 24,3 | 65,3 | 0,37 | 60 | 77 | 25,4 | 0,38 | > 24 | 0,00 |
| 11 | — | 0,21 | 0,24 | 0,50 | 12,90 Cr 1,85 Ni | 77,7 | 81,7 | 0,95 | 17 | 65 | 40,4 | 0,49 | 10,6 | 0,53 |

Weitere Untersuchungen an metallischen Werkstoffen ergaben aber im Zusammenhang mit der Ermittlung der Dauerwechselfestigkeiten, dass ein Werkstoff auch mit der Formziffer an und für sich noch nicht genügend gekennzeichnet ist. Es zeigte sich nämlich, dass die technischen Legierungen durchaus verschiedene *Kerbempfindlichkeit* aufweisen, d. h. also mehr oder weniger empfindlich sind gegen Oberflächenverletzungen. In Tabelle II sind die wichtigsten im Maschinenbau gebräuchlichen Stähle mit ihren chemischen Zusammensetzungen und den mechanischen Eigenschaften (sta-

Werkstoffe unabhängig von ihrer chemischen Zusammensetzung oder ihren mechanischen Eigenschaften bei wechselnder Dauerbeanspruchung sehr verschieden verhalten können. Der Konstrukteur muss daher, wenn er der Gefahr von Dauerbrüchen entgehen will, mit allen Individualitäten seiner Werkstoffe rechnen und dabei eben die Grundsätze der neuen Konstruktionslehre in erster Linie berücksichtigen. Einige Dauerbrüche, die bei Vernachlässigung der kurz erwähnten Grundsätze auftreten können, sind in Fig. 1 zusammengestellt. Der Dauerbruch hat immer ein charakteristisches Aussehen, nämlich eine feinkörnige bis samtartige Oberfläche neben einem grobkörnigen Anteil, dem sogenannten Restbruch, an dem der endgültige Bruch zustande gekommen ist. Je nach der Art der umlaufenden Wechselbeanspruchung ist die Form des Restbruches sehr verschieden; so war z. B. beim Bruch oben in Fig. 1 eine gleichmässig umlaufende Biegewechselbeanspruchung vorhanden. Der Bruch wurde eingeleitet von einer umlaufenden, schlecht bearbeiteten Oelspritzrille. Der Dauerbruch kann sich in mehreren Stufen ausbilden, wobei dann eine eigenartige schalenförmige Ausbildung festgestellt wird.

Es würde hier zu weit führen, auch noch etwas über die Dämpfung der Werkstoffe zu sagen, nachdem die Fachleute festgestellt haben und sich darüber im Klaren sind, dass die Dämpfung keine Materialkonstante ist.

Dagegen darf wohl darauf aufmerksam gemacht werden, dass die Ermüdungsfestigkeit wesentlich beeinflusst werden kann durch chemische Einflüsse. Man spricht dann von der sogenannten *Korrosionsermüdung*. Tabelle III enthält das Ergebnis einiger Untersuchungen an gewöhnlichem Fluss- und 3prozentigem Nickelstahl. Die einzelnen Probestäbe wurden in Luft, Oel, in Wasser und in gesättigtem Dampf untersucht, und zwar im blanken, geschliffenen Zustand und verchromt. Es wurde die Biegewechselspannung bestimmt, und zwar bis zu 2×10^8 Lastwechseln, um möglichst einwandfreie Resultate zu erhalten. Aus der Tabelle ergeben sich die Korrosionsermüdungsfestigkeiten bei den verschiedenen Bedingungen. Luft und Oel haben natürlich keinen Einfluss, dagegen Wasser und gesättigter Dampf. Der Chromüberzug wird durch die wechselnde Beanspruchung zum Teil zerstört und

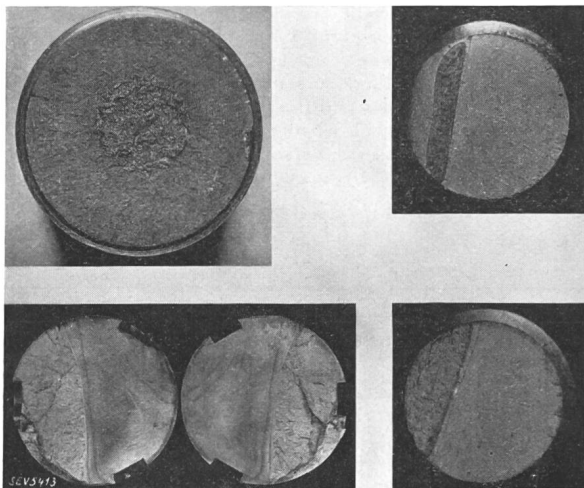


Fig. 1.
Beispiele einiger Dauerbrüche.

tisch und dynamisch) zusammengestellt. In der letzten Kolonne ist die sogenannte Empfindlichkeitszahl angeführt. Diese wird wiederum durch Dauerwechselprüfmethoden ermittelt. Ein maximal empfindlicher wechselprüfer Werk-

damit ist sein Schutzvermögen erschöpft. Die Wechselfestigkeiten zwischen Nickelstahl und Flußstahl sind in Luft und in Oel ziemlich verschieden, in Wasser und Dampf dagegen praktisch gleich. Sobald also noch chemische Einflüsse mit der Dauerbeanspruchung zusammenwirken, gelten auch die Werte der Dauerwechselfestigkeiten nicht mehr. Fig. 2 zeigt die Probestäbe nach der Behandlung auf der Korrosionsermüdungsmaschine. Es ist deutlich ein ungleichmässiger selektiver Angriff festzustellen. In der Aufnahme rechts unten ist ersichtlich, in welcher Art und Weise die Korrosion längs den Korngrenzen in das Material eindringt.

Korrosionsermüdung
2×10⁸ Wechsel, umlaufende Biegung.

Tabelle III.

| Wechselbeanspruchung in | Oberflächenbehandlung | Flußstahl | 3 % Ni-Stahl |
|---------------------------------|-----------------------|---|--|
| | | σ_s 32 kg/mm ² , σ_B 42, λ_s 24%, a_K 7 mkkg/cm ² | σ_s 37 kg/mm ² , σ_B 61, λ_s 23%, a_K 12 mkkg/cm ² |
| Wechselfestigkeit σ_{wb} | | | |
| Luft | blank verchromt | 20 kg/mm ² | 32 kg/mm ² |
| Oel | blank verchromt | 20 kg/mm ² | 30 kg/mm ² 29 kg/mm ² |
| Wasser | blank verchromt | 13 kg/mm ² | 12,5-15 kg/mm ² |
| | | 15 kg/mm ² | 18,0-20 kg/mm ² |
| Dampf (gesättigt) | blank verchromt | 15 kg/mm ² | 17-22 kg/mm ² |
| | | — | 19-24 kg/mm ² |

Die Korrosionsermüdung ist aber nicht so einfach definiert wie die Ermüdungs- oder Dauerwechselfestigkeit in Luft. Es wurden eine Reihe von Versuchen durchgeführt, die nicht bis zur Ermüdungsgrenze der wechselnden Beanspruchung ausgedehnt wurden, sondern die schon wesentlich früher abgebrochen wurden. Solche Probestäbe, die nach der Vorbelastung bei weniger als der Hälfte Lastwechsel aus der Prüfmaschine entnommen und einer Biegeprobe unterzogen wurden, zeigten folgendes Verhalten: Ein erster Stab hatte in Luft gearbeitet und war auch nach dem Versuch oberflächlich nicht angegriffen. Ein zweiter Stab, der in Wasser gearbeitet hatte, zeigte dagegen nach verhältnismässig geringer Biegung schon weit unter der Ermüdungsgrenze starke Angriffe, obschon vor dem Biegen selbst mit der Lupe kein oberflächlicher Angriff festzustellen war. Ein dritter Stab war mit einem Chromüberzug versehen und zeigt nach dem Biegen noch keine korrodierten Stellen. Trotzdem diese beiden letzten Stäbe praktisch gleiche Korrosionsermüdungsfestigkeit aufweisen, wurden sie doch ganz verschieden stark zerstört, längst vor der Erreichung der Korrosionsermüdungsfestigkeitsgrenze. Daraus geht hervor, dass die Definition dieser Werkstoffeigenschaften auf grosse Schwierigkeiten stösst.

Zusammenfassend ergibt sich für die neue Konstruktionslehre, dass die Gefahr des Dauerbruches nur dann beseitigt werden kann, wenn die Werkstoffe auch bezüglich ihrer Formziffer, Empfindlichkeitszahl und Dauerwechselfestigkeit genau bekannt sind. Bei gleichzeitigen korrosiven Einflüssen muss noch die Korrosionsermüdungsfestigkeit berücksichtigt werden.

Herr Dr. Boller sprach in seinen Ausführungen über Korrosion von Kondensatorrohren, von den sogenannten *selektiven Korrosionen*, die durch örtliche Bildung elektrochemischer Elemente erzeugt werden. Ich möchte im folgenden auf eine andere Art der Zerstörung von Kondensatorrohren aus Kupfer-Zinklegierungen hinweisen. In Tabelle IV sind die Werkstoffe zusammengestellt, die in Form von Kondensatorrohren in den verschiedenen Zuständen verwendet worden sind. Die ersten zwei Legierungen bestehen aus reinen α -Mischkristallen. Die dritte Legierung (60/40) besteht aus

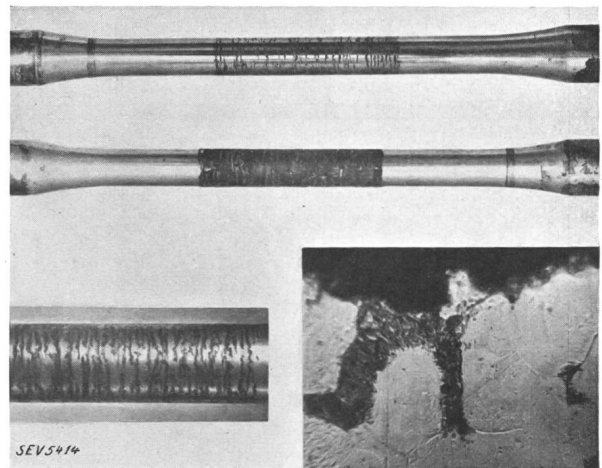


Fig. 2.
Probestab für Korrosionsermüdung.

einem Gemisch von α + β -Mischkristallen. In Fig. 3, 4 und 5 sind metallographische Aufnahmen der verschiedenen Legierungen gezeigt, und zwar in den verschiedenen, für die Versuche verwendeten Zuständen, nämlich spannungsfrei gegläht (0), hart gezogen (H), 2 % vorgereckt und rekristallisiert (2) und 20 % vorgereckt und rekristallisiert (20). Der hartgezogene Zustand entspricht einem Fabrikat mit starken Reckspannungen, die in unserem Falle ungefähr 7 kg/mm², als Biegespannung berechnet, betragen. Die vorgereckten und rekristallisierten Prüflinge zeigen zum Teil sehr grosse Mischkristalle und sollen den Einfluss der Kristallitgrösse erkennen lassen. Die Versuche wurden nun in der Art und Weise durchgeführt, dass man die verschiedenen Zustände, das eine Mal in 10prozentiger Salzsäure, das andere Mal in 5prozentiger Kochsalzlösung, korrodieren liess. Die Korrosion in

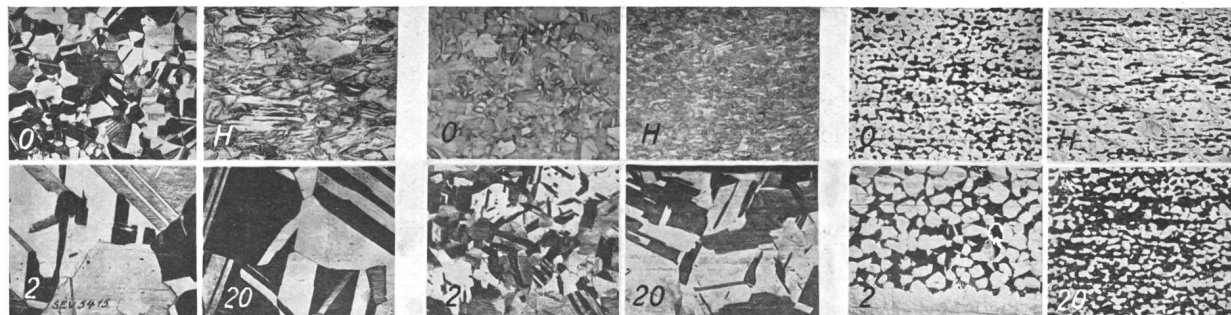
Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften der untersuchten Cu-Zn-Legierungen.

Tabelle IV.

| Legierung | 70 % Cu, 30 % Zn | | | 63 % Cu, 37 % Zn | | | 60 % Cu, 40 % Zn | | |
|--------------------------------------|--|--------------------------------|----------------|--|--------------------------------|----------------|--|--------------------------------|----------------|
| | Fliessgrenze kg/mm ² | Bruchgrenze kg/mm ² | Bruchdehnung % | Fliessgrenze kg/mm ² | Bruchgrenze kg/mm ² | Bruchdehnung % | Fliessgrenze kg/mm ² | Bruchgrenze kg/mm ² | Bruchdehnung % |
| Weichgeglüht | 9,5 | 32,5 | 68 | 12,0 | 38,0 | 58 | 14,0 | 42,0 | 44 |
| Hartgezogen | 51,0 | 55,2 | 10 | 49,5 | 57,5 | 9,5 | 47,0 | 58,5 | 12 |
| 2 % vorgereckt und rekristallisiert | 770° C, 1 Std. gegläht, Luftabkühlung | | | 830° C, 15 min, wasserabgeschreckt, 580—600° C, angelassen während 30 h. | | | 650—660° C, 30 min, wasserabgeschreckt | | |
| | mechanische Werte wie unter weichgeglüht | | | mechanische Werte wie unter weichgeglüht | | | mechanische Werte wie unter weichgeglüht | | |
| 20 % vorgereckt und rekristallisiert | Gleich wie oben | | | Gleich wie oben | | | Gleich wie oben | | |

Salzsäure sollte etwa keineswegs einen Fall der Praxis reproduzieren, sondern lediglich Auskunft geben über den Auflösungs-, bzw. Abbauvorgang der verschiedenen Mischkristalle. Dieser wurde einerseits verfolgt durch die Bestimmung der gemischten Bestandteile in der Lösung und andererseits durch die Bestimmung der Zerreihsfestigkeit und der dazu gehörigen Bruchdehnung. In Fig. 6 sind die Ergebnisse ein-

vermögen ist bei den Legierungen aus reinem α -Gefüge sehr gering. Die $\alpha+\beta$ -Mischkristalle enthaltende Legierung, bestehend aus 60 % Kupfer und 40 % Zink, wird ebenfalls von der Kochsalzlösung stärker angegriffen und verliert nach kurzer Zeit das Formveränderungsvermögen. Es ist an dieser Stelle nicht möglich, weiter auf Einzelheiten einzugehen. Es sollen im folgenden lediglich die Ergebnisse festgehalten



Gefügebildungen der für die Korrosionsversuche verwendeten Kupfer-Zink-Legierungen.

Fig. 3. Legierung: 70 Kupfer, 30 Zink (70/30).

Fig. 4. Legierung: 63 Kupfer, 37 Zink (63/37).

Fig. 5. Legierung: 60 Kupfer, 40 Zink (60/40).

O = weich gegläht; H = hart gezogen; 2 = 2 % vorgereckt und rekristallisiert; 20 = 20 % vorgereckt und rekristallisiert. (Genauere Angaben siehe Tabelle IV.)

ger Versuchsreihen zusammengestellt. Man sieht das grundsätzlich verschiedene Verhalten der beiden Legierungsgruppen, nämlich derjenigen, die aus reinen α -Mischkristallen bestehen, und der andern, die aus $\alpha+\beta$ -Mischkristallen bestehen. Die Legierungen 70/30 und 63/37, die zur ersten Gruppe gehören, lösen sich im analytischen Verhältnis ihrer Bestandteile auf, und zwar verhältnismässig gleichmässig. Wenn man damit die gemessenen Werte der Bruchfestigkeit und Bruchdehnung vergleicht, dann zeigt sich, dass diejenigen Prüflinge, die noch Reckspannungen haben (hart ge-

werden, die zum Teil im Gegensatz stehen zu den frühern Anschauungen:

Neben den selektiven Korrosionen ist viel gefährlicher die Entzinkung, die nur dann auftreten kann, wenn das Gefüge aus verschiedenen Mischkristallen besteht, wie z. B. bei der Legierung 60/40. Bei gleichartigen Mischkristallen spielen die Kristallitgrösse und die Legierung an und für sich keine Rolle. Viel wichtiger ist bei dieser Gruppe von Legierungen, dass sie frei sind von allen Reckspannungen.

In diesem Zusammenhange möchte ich noch zwei andere Beispiele anführen, bei denen Reckspannungen zu unangenehmen Störungen geführt haben. Fig. 7 zeigt die Zündstange eines Gleichrichters. Es handelt sich um einen rund gezogenen Stahl. Derselbe war, wie sich im Betrieb zeigte, mit Reckspannungen versehen, als er eingebaut wurde. In der kritischen Temperaturzone (zu jedem Reckgrad gehört eine entsprechende Rekristallisationstemperatur) begann der Stab infolge der Reckspannungen zu rekristallisieren, und zwar sind die grössten Kristallite in der Gegend der günstigsten Rekristallisationstemperatur. Neben diesen Stellen nimmt dann die Grösse der Kristallite ab. Bei dieser Rekristallisation treten derartige Kräfte auf, dass starke Deformationen vorkommen können. Im vorliegenden Falle wurde der Stab viereckig, woraus hervorgeht, dass der Rundstab aus einem Vierkantprofil herausgezogen worden war.

Wenn ein mit Reck- oder Gußspannungen behaftetes Werkstück mit flüssigen Metallen in Berührung gebracht wird, dann vermag das flüssige Metall oder die Legierung, sofern es oder eine ihrer Komponenten in dem eingetauchten Werkstoff löslich sind, in diesen einzudringen und ihn vollständig zu zerstören. Man spricht dann von *Lotsprödigkeit*.

Aus diesen Fällen ersieht man, dass bei Korrosionen die Zusammensetzung der Legierung bei einheitlichem Mischkristall sowie die Korngrösse für die Korrosionsunbeständigkeit von viel geringerer Bedeutung sind als das Vorhandensein von Reckspannungen. Wenn ein mit Reckspannungen behafteter Werkstoff einer entsprechenden Temperatur ausgesetzt wird, beginnt er zu rekristallisieren und kann damit starke Formänderungen ausführen. Wenn Reckspannungen in einem Werkstoff vorhanden sind, der mit flüssigem Metall in Berührung kommt, für welches eine gegenseitige Lösung besteht, dann bricht der Werkstoff infolge von *Lotsprödigkeit* auseinander.

Ich möchte noch an Hand einiger anderer Beispiele auf den neuesten Zweig der Chemie, die sogenannte *Topochemie* zu sprechen kommen. Es ist eine längst bekannte Tatsache,

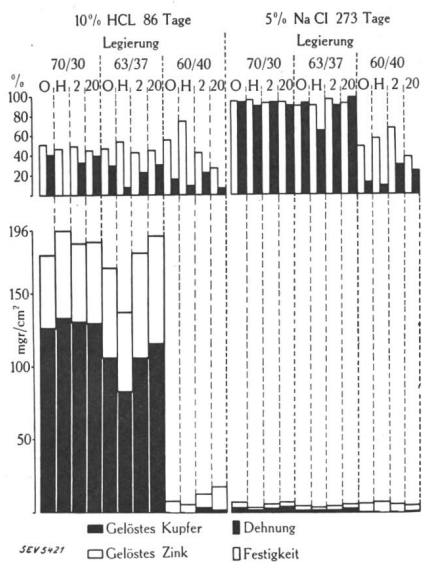


Fig. 6.

Ergebnisse der Korrosionsversuche mit drei verschiedenen Kupfer-Zink-Legierungen.

zogen) am meisten zerstört sind, da ihre Bruchdehnung und damit also das plastische Formänderungsvermögen vollständig erschöpft ist. Die verschiedenen Kristallitgrößen dagegen haben keinen wesentlichen Einfluss auf die Lösungsvorgänge. Die Legierung 60/40, die aus $\alpha+\beta$ -Mischkristallen besteht, verhält sich grundsätzlich anders. Es findet dort eine sogenannte *Entzinkung* statt, wobei die β -Mischkristalle zerstört werden und damit das Formänderungsvermögen erledigt wird. Dem Kochsalz gegenüber verhalten sich die Legierungen völlig anders. Es werden verhältnismässig geringe Mengen aufgelöst und auch die Einbuße am Formänderungs-

dass die Reaktionsfähigkeit und die Erscheinungsformen der Stoffe sich mit dem Zerteilungsgrad stark verändern können. Ich möchte nur als Beispiel die sogenannten Katalysatoren erwähnen oder z. B. das blaue Gold usw. Es würde hier jedoch zu weit führen, andere Beispiele auf diesem Gebiet eingehender zu behandeln.

Reaktionsfähigkeit vollständig verschieden ist. Der matte Niederschlag z. B. reagiert mit flüchtigen Fettsäuren absolut nicht, während der glänzende hochdisperse Ueberzug infolge seiner grossen reaktionsfähigen Oberfläche ganz eigenartige Salzbildungen mit flüchtigen Fettsäuren aufweist, wie aus Fig. 9 zu ersehen ist. In Fig. 10 ist ein einzelner Faden

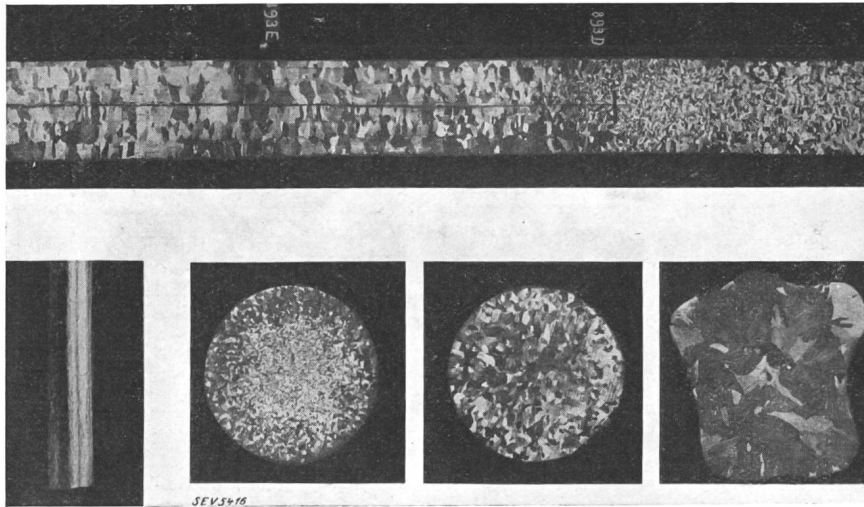


Fig. 7.

Beispiel einer rekristallisierten Zündstange aus dem Betrieb.

Oben: Längsschnitt mit verschiedenen Rekristallisationszonen.

Unten: Querschnitte durch verschiedene Rekristallisationszonen.

Gewöhnlich macht man die Voraussetzung, dass eine chemische Reaktion sich unbehindert im Raume abspielen kann. Die chemischen Gesetze werden denn auch zum grossen Teil auf Grund dieser Voraussetzung aufgestellt. Erst die Topochemie zeigte, dass die ortsgebundenen Reaktionen wesentlich anders verlaufen können. Eine massgebliche Rolle spielt bei ortsgebundenen Reaktionen vor allem der Reaktionsort. Es ist also nicht gleichgültig, wie der Reaktionsort beschaffen ist, sondern er vermag den Ablauf der Reaktion sowie die entstehenden Reaktionsprodukte massgeblich zu beeinflussen. Gerade in der Werkstoffkunde hat man es aber vornehmlich mit ortsgebundenen, d. h. topochemischen Reaktionen zu tun und daher sollen noch einige solche Beispiele angeführt werden.

eines solchen fettsauren Salzes bei starker Vergrösserung abgebildet. Dabei ist ausserordentlich interessant, festzustellen, dass das Bauprinzip dieser künstlich erzeugten Fäden ganz ähnlich ist demjenigen der natürlich entstandenen Fäden (eine Anzahl Längsfibrillen zusammengehalten durch Querverbindungen). Fig. 11 zeigt einen elektrolytisch erzeugten Cadmiumniederschlag. Die Salze, die sich z. B. mit flüchtigen Fettsäuren auf diesem Metall bilden, sind ganz anderer Art als die eben besprochenen Nickelsalze, wie aus Fig. 12 und 13 hervorgeht.

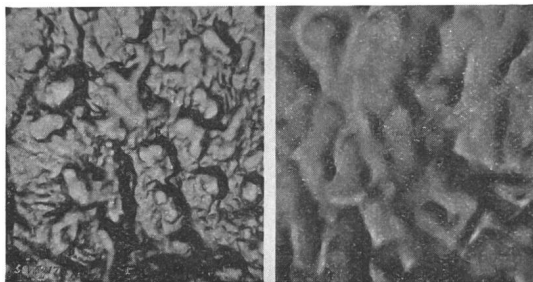
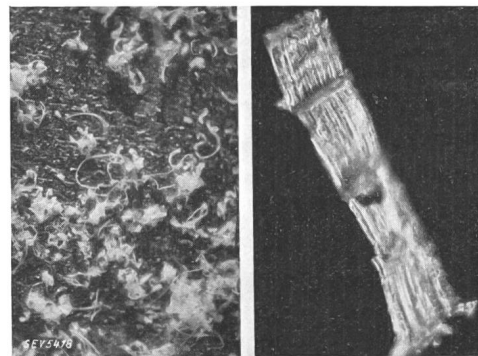


Fig. 8.
Elektrolytische Nickelniederschläge.
Links: hochdispers glänzend.
Rechts: grobdispers matt.

Ein ausgesprochen topochemischer Vorgang ist z. B. die elektrolytische Metallabscheidung, also die Verchromung, Vernickelung usw. Die Art und die Eigenschaften des elektrolytischen Metallüberzuges sind neben den Strom- und Elektrolytverhältnissen in höchstem Masse abhängig von dem Reaktionsort, d. h. in diesem Falle von der Metallunterlage. In Fig. 8 sind zwei Nickelniederschläge zu sehen. Der Niederschlag links ist ein hochdisperser (fein verteilter), glänzender Metallüberzug. Die Vernickelung rechts ist matt und grobdispers (grob verteilt). Diese verschiedenen Ausscheidungsformen eines und desselben elektrolytisch gefällten Metalles sind Folgen der verschiedenen topochemischen Verhältnisse, also der verschiedenen Verhältnisse am Reaktionsort. Wenn man nun die beiden Niederschläge irgendwelchen weiteren chemischen Reaktionen aussetzt, so sieht man, dass die



Bildungsformen von Nickelsalzen auf Elektrolytniederschlägen.

Fig. 9. Gesamtübersicht.
Fig. 10. Einzelne Salzgruppe bei starker Vergrösserung.

Als weiteres Beispiel eines topochemischen Vorganges möchte ich noch die Zerstörung von Bleiglätteglyzerinkitten anführen. Solche Kittverbindungen werden manchmal schon nach kurzer Betriebszeit in eine krümelige Masse übergeführt, die leicht abfällt, während andere Kittverbindungen sich während Jahren durchaus einwandfrei verhalten. Die Ursache der Zerstörung ist eine Bleikarbonatbildung, wobei die Kohlensäure der Luft genügt, um den Vorgang einzuleiten. Mit dieser rein chemischen Feststellung ist aber das verschiedene Verhalten der einzelnen Kittverbindungen noch keineswegs erklärt. Wesentlich ist auch die Verteilung der nicht aufgelösten Bleiglättebestandteile. Prüflinge mit solchen Kittverbindungen, das eine Mal gespachtelt, das andere Mal gegossen, wurden nun längere Zeit der Einwirkung einer Kohlensäureatmosphäre ausgesetzt. Nach verschiedenen Zei-

ten wurden Prüflinge entnommen und die Scherfestigkeit bestimmt. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Fig. 14 zusammengestellt. Es zeigt sich deutlich, dass die einen Kitt unter dem Einfluss der Kohlensäure Bleikarbonat bilden und

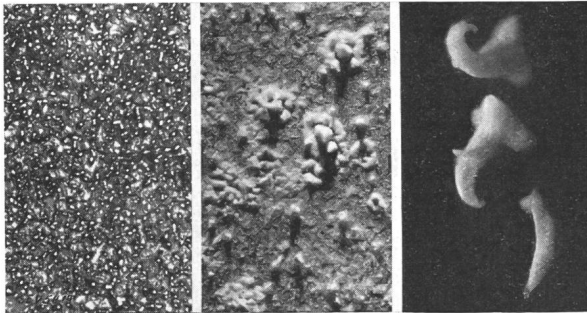


Fig. 11. Fig. 12. Fig. 13.
 Fig. 11: Elektrolytischer Cadmiumniederschlag.
 Fig. 12 und 13: Bildungsformen von Cadmiumsalzen auf Elektrolytniederschlägen.
 Fig. 12: Gesamtübersicht.
 Fig. 13: Salzgruppen bei starker Vergrößerung.

sich stark verfestigen, die andern dagegen wohl auch Karbonat bilden, dabei aber ihre Festigkeit eher einbüßen und in eine zum Teil krümelige, zum Teil schmierige Masse übergehen. Es zeigt sich also, dass das Bleikarbonat in verschiedenen Formen auftreten kann. Es ist somit nicht der

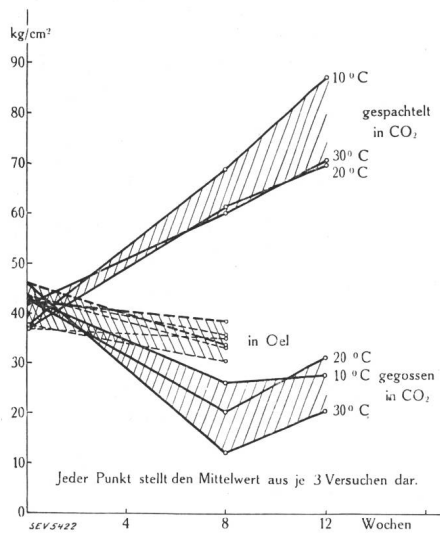


Fig. 14.
 Einfluss von Kohlensäure und Mineralöl auf Bleiglätte-Glycerinkitt.

chemische Vorgang als solcher ausschlaggebend, sondern die Verhältnisse am Reaktionsort. Um diese etwas besser kennenzulernen, wurden Porositätsmessungen gemacht und, wie aus

Porositätsgrad von Bleiglätte-Glycerinkittungen.

Tabelle V.

| Herstellungstemperatur ° C | Gegossen | | Gespachtelt | |
|-------------------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|
| | Porositätsdurchmesser mm | Porositätsgrad ‰ | Porositätsdurchmesser mm | Porositätsgrad ‰ |
| 10 | 0,0556 | 0,00771 | 0,0450 | 0,00506 |
| 20 | 0,0430 | 0,00462 | 0,0366 | 0,00334 |
| 30 | 0,0430 | 0,00462 | 0,0254 | 0,00161 |

Probekörper: 40 mm Ø, 10 mm Dicke.

Tabelle V hervorgeht, zeigt der eine Kitt eine wesentlich grössere Porosität als der andere und damit also auch einen wesentlich grösseren Reaktionsraum. Auf die weitem Einzelheiten kann ich hier nicht eingehen. Gezeigt seien in Fig. 15 nur die zwei verschiedenen Arten des Bleikarbonates, links das feinkristalline, verfestigende Bleikarbonat und rechts das gequollene, schmierige.

Diese Beispiele sollen genügen, um zu zeigen, in welcher Art und Weise der Reaktionsort die Erscheinungsformen eines Stoffes beeinflussen kann und damit auch einen Einfluss hat auf die Reaktionsfähigkeit. Mit der chemischen Definition eines Stoffes und mit der rein chemischen Verfolgung eines Vorganges ist also das Gesamtverhalten keineswegs genügend gekennzeichnet.

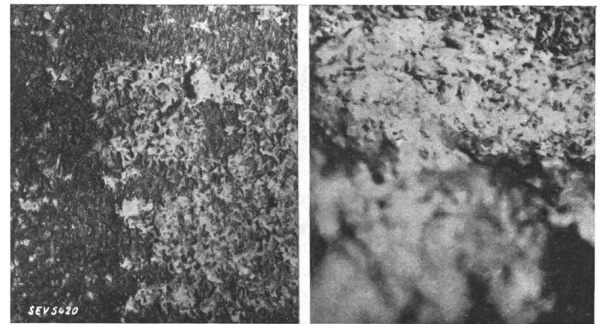
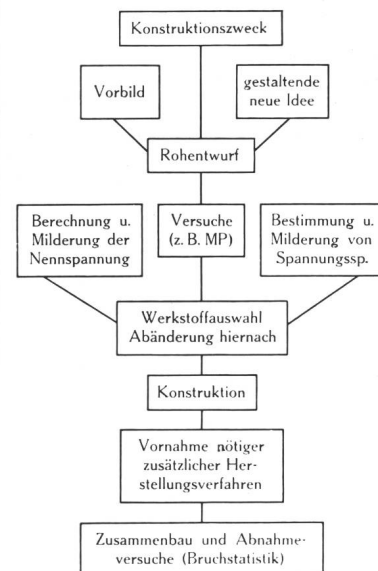


Fig. 15.
 Bildungsformen von Karbonaten in Bleiglätte-Glycerinkittungen.

Aus diesen Ausführungen ergibt sich, dass auf dem Gebiete der Makroerscheinungen die statisch-mechanische Untersuchung keineswegs genügt, um über das Verhalten der Werkstoffe des Maschinenbaues genügende Auskunft zu geben. Die Werkstoffkunde muss ihre Prüfmethode auf einer wesentlich weitem Basis aufbauen, wenn sie dem Konstrukteur einwandfreie Unterlagen geben soll. Bei den Mikroerscheinungen, die sehr oft bei der Zerstörung der Werkstoffe in Frage kommen, genügt es andererseits wiederum nicht, nur den rein chemischen Verlauf einer Zerstörung festzustellen, da man damit allein die Mannigfaltigkeit der Erscheinungsformen nicht erklären kann. Dies ist erst möglich an Hand genauer



Unterlagen über die Bildungsbedingungen, wie Reaktionsort usw.

Wenn auch diese wenigen Beispiele bei weitem nicht ausreichen, um auch nur einen kleinen Ueberblick über die moderne Werkstoffkunde zu geben, so mag daraus doch hervorgehen, dass die Beratung des Konstrukteurs durch den Werkstoff-Fachmann mehr und mehr an Bedeutung gewinnt. Die Spezialgebiete der Werkstoffkunde sind derart weitläufig, dass der Konstrukteur nicht in der Lage ist, alle diese Einzelheiten zu beherrschen. Zum Schlusse erlaube ich mir, noch ein Schema zu zeigen, das

einen Ueberblick über die geeignete Zusammenarbeit geben soll. Der Konstrukteur verfolgt mit einer Neukonstruktion einen bestimmten Konstruktionszweck. Dabei lehnt er sich an ein gegebenes Vorbild an oder er bringt eine gestaltende neue Idee. Daraus entsteht dann der Rohentwurf. Bereits jetzt haben die ersten Versuche und Beratungen des

Werkstoff-Fachmannes einzusetzen. Es müssen Mittel und Wege gesucht werden, um die Nennspannungen festzustellen und die Spannungsspitzen durch konstruktive Massnahmen abzubauen. Auf Grund dieser Feststellungen kann dann zur Werkstoffwahl geschritten werden, bei der auch die chemischen Verhältnisse berücksichtigt werden müssen. Dann erfolgt die eigentliche Konstruktion. Je nach den Verhältnissen müssen während der Herstellung die Verfahren geändert werden oder nicht. Auch in diesem Zusammenhange muss der Werkstoff-Fachmann wieder herbeigezogen werden. Dann erfolgen endlich Zusammenbau und Abnahmeversuche mit der nötigen Bruchstatistik, um eventuelle Fehler bei Neukonstruktionen beheben zu können.

Der A.-G. Brown, Boveri verdanke ich bestens die Ueberlassung der Unterlagen zu meinen Bemerkungen. Die Untersuchungen wurden in den Laboratorien der genannten Gesellschaft ausgeführt.

Herr Dr. W. Boller, Referent: Durch seine interessanten Ausführungen hat Herr Dr. Stäger mein Referat in wertvoller Weise ergänzt, wofür ich ihm bestens danke.

Der Vorsitzende: Ich danke allen Diskussionsrednern bestens für ihre interessanten Beiträge. Infolge der vorgeückten Zeit muss ich leider die Diskussion abbrechen. Das Generalsekretariat nimmt aber nachträglich gerne weitere Aeusserungen zum Diskussionsthema entgegen und wird sie im Bericht über die Versammlung veröffentlichen.

Nachträglich ging zum Votum des Herrn Dr. de Senarclens folgende Aeusserung ein von

Herrn Dr. H. Stäger, Zürich: Ich möchte noch kurz auf die Diskussionsbemerkungen des Herrn Dr. de Senarclens zurückkommen. Um mich zuerst mit seinen Bemerkungen betreffend die Kunstharze zu befassen, möchte ich darauf hinweisen, dass ich im Jahre 1931 in den *Helvetica Chimica Acta* eine ausführliche Arbeit veröffentlicht habe, die aus den Laboratorien der A.-G. Brown, Boveri & Cie. hervorgegangen ist. An Hand einer grossen Zahl von Messungen der Dielektrizitätskonstanten und der dielektrischen Verluste verschiedener Phenol- und Kresolformaldehydharze konnte gezeigt werden, dass diese beiden Eigenschaften in erster Linie abhängig sind vom Phenolgehalt. Es ist also keineswegs verwunderlich, wenn Herr Dr. de Senarclens gefunden hat, dass trotz vorsichtigster Reinigung der von ihm verwendeten Phenolformaldehydkondensate das dielektrische Verhalten nicht

beeinflusst worden ist. Die dielektrischen Eigenschaften stehen im Zusammenhang mit dem konstitutionellen Aufbau der Phenoplaste. Die reinen Phenolharze zeigen nach unsern Messungen ausgesprochenen Dipolcharakter und sind wohl weniger dazu geeignet, dreidimensionale Makromoleküle zu ergeben, was z. B. bei der Verwendung von Kresol der Fall ist. Bei den Phenolharzen ist der Dipolcharakter derartig ausgeprägt, dass damit zusammenhängend auch die dielektrischen Eigenschaften grundlegend beeinflusst werden. Es hat sich z. B. einwandfrei nachweisen lassen, dass bei einem Phenolgehalt von 30 bis 40 % der Durchgangswiderstand und die Dielektrizitätskonstante sowie die dielektrischen Verluste sprunghaft verändert werden. Es sind also nicht die eventuell noch vorhandenen Verunreinigungen, die die Ursache des dielektrischen Verhaltens sind, sondern es ist der durch den Phenolgehalt bedingte Bau der Moleküle, der ausschlaggebend ist. Bei der Verwendung von Kresol hat es sich weiter gezeigt, dass das dielektrische Verhalten abhängig ist vom Metakresolgehalt des Kresolgemisches. Auf diesem Wege war es denn auch möglich, dielektrisch hochwertige Kunstharze zu erzeugen, die gleichzeitig eine geringe Temperaturabhängigkeit der dielektrischen Verluste aufweisen. Solche Harze werden z. B. für dielektrisch hochwertige Fabrikate nach einem Spezialverfahren von der Micafil A.-G. in Zürich-Altstetten hergestellt.

Die chemische Analyse ist nicht in der Lage, über diese tiefern Zusammenhänge die nötigen Unterlagen zu vermitteln. Sie kann lediglich zur Ueberprüfung der Gleichmässigkeit der Fabrikate herbeigezogen werden. In dieser Hinsicht ist sie aber nach meiner Auffassung als wertvolle Ergänzung zu bezeichnen.

Die Erfahrung, die Herr Dr. de Senarclens bezüglich der Oellacke zur Imprägnierung gemacht hat, können wohl auch von anderer Seite bestätigt werden. Die richtige Begutachtung solcher Lacke ist vor allem eine Frage der geeigneten Prüfverfahren. Es ist ganz klar, dass die Trocknungs- und Filmbildungsverhältnisse auf einer metallischen Unterlage anders verlaufen können als auf einer saugfähigen Unterlage aus Faserstoffen. Die Resultate, die durch die verschiedenen Prüfmethoden erhalten werden, sind unter sich nicht ohne weiteres vergleichbar und sind für die Praxis oft gar nicht geeignet. Um in dieser Beziehung eine brauchbare Vergleichsbasis zu bekommen, hat der Schweizerische Verband für die Materialprüfungen der Technik Richtlinien herausgegeben, die auf Grund ausgedehnter Untersuchungen in verschiedenen Laboratorien ausgearbeitet worden sind.

Elektrotechnische Notizen von einer Studienreise nach dem Osten der Vereinigten Staaten von Nordamerika.

Von H. Wüger, Kilchberg.

621.31(73)

(Fortsetzung von S. 263 und Schluss.)

XII. Elektrizitätswerkbetrieb und Energiewirtschaftliches.

A. Belastungsverlauf.

Die meisten Elektrizitätswerke haben noch eine ganz ausgesprochene Lichtspitze. Man hat sich bis jetzt noch wenig darum bemüht, den Belastungsverlauf im Sinne einer Ausgleichung zu beeinflussen. Wie schon bei den Anwendungen der Elektrizität gesagt wurde, sind z. B. die Heisswasserspeicher noch wenig verbreitet. In New York z. B. macht dafür das Laden der Akkumulatorenbatterien der zahlreichen Lastwagen einen namhaften Betrag aus und wirkt ausgleichend. Aber man fördert diesen Zweig nicht und so werden heute die Akkumulatorwagen mehr und mehr durch Benzinwagen verdrängt. Die elektrische Küche spielt noch eine

untergeordnete Rolle. Da in den meisten Geschäften die englische Arbeitszeit eingeführt ist, so ist das Mittagmahl kurz und weniger wichtig und die elektrische Küche wird den Belastungsverlauf nicht in so günstigem Sinne verändern wie bei uns, da die Zubereitung der Hauptmahlzeit auf den Abend fällt und damit, wenigstens teilweise, die Lichtspitze noch verschärft.

Fig. 60 und 61 zeigen als Beispiel den Belastungsverlauf der New York Edison Co. und des Toronto Hydro-Electric System. Lediglich interessehalber sei in Abb. 62 der Belastungsverlauf eines einzelnen Wolkenkratzers gezeigt. Ein sehr interessantes Beispiel der Beeinflussung des Belastungsverlaufes erzählte man mir in Philadelphia. Die Amerikaner sind bekanntlich sehr sportbegeistert. Es gibt fast