Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 46 (1955)

Heft: 6

Artikel: Schimmelpilze in elektronischen Apparaten

Autor: Ganz, E. / Wälchli, O.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1060915

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: 08.08.2025

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

46. Jahrgang Nr. 6 Samstag, 19. März 1955

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

GEMEINSAMES PUBLIKATIONSORGAN
DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS (SEV) UND
DES VERBANDES SCHWEIZERISCHER ELEKTRIZITÄTSWERKE (VSE)

Schimmelpilze in elektronischen Apparaten

Von *E. Ganz*, Baden, und *O. Wälchli*, St. Gallen

620.193.82 : 621.38/.389

Die Methode der Prüfung elektronischer Bauelemente und Geräte auf ihre Resistenz gegen die Bildung von Schimmelpilzen entsprechend den Regeln der Commission Electrotechnique Internationale (CEI) wird kritisch betrachtet. Auf Grund verschiedener Versuchsresultate werden Vorschläge zur Verbesserung dieser Prüfregeln gemacht. Es wird dargestellt, dass trotz Verschärfung der Prüfbedingungen ein mit einfachen Mitteln durchzuführender Schutz gegen Schimmelpilze elektronischer Materialien möglich ist, z. B. durch Überstreichen oder Überspritzen mit einem geeigneten Schutzlack. Abschliessend werden noch kurz die klimatischen Bedingungen für die Schimmelpilz-Entwicklung und die Wirkung der Schimmelpilze auf die Funktion elektronischer Geräte gestreift.

L'auteur critique la méthode d'essai de résistance à la formation de moisissures des appareils électroniques et de leurs pièces détachées, selon les Règles de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI). Il soumet des propositions en vue d'améliorer cette méthode sur la base des résultats de divers essais. Malgré une plus grande sévérité des conditions d'essais, il est possible de protéger les matériels électroniques contre les moisissures à l'aide de moyens relativement simples, notamment par un vernis de protection appliqué au pinceau ou au pistolet. L'auteur termine en donnant un bref exposé des conditions climatiques favorables au développement des moisissures et de l'effet de celles-ci sur le fonctionnement des appareils électroniques.

1. Prüfung der Schimmelpilz-Beständigkeit gemäss den Regeln der Commission Electrotechnique Internationale (CEI)

Zur sogenannten «Klimatüchtigkeit» elektronischer Geräte gehört unter anderem auch die Resistenz (Widerstandsfähigkeit) gegen die Bildung von Schimmelpilzen innerhalb und ausserhalb der Geräte. Um diese Resistenz nach einheitlichen und reproduzierbaren Methoden prüfen zu können, arbeitete die Commission Electrotechnique Internationale (CEI) eine entsprechende Prüfmethode für elektronische Bauelemente aus [1] [1]), welche jedoch sinngemäss auch für die Prüfung ganzer Geräte angewendet werden kann. In Zusammenarbeit zwischen der A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden, und der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Versuchsanstalt für Industrie, Bauwesen und Gewerbe (EMPA), Hauptabteilung C, St. Gallen, wurde diese international ausgearbeitete Prüfmethode an verschiedenen Werkstoffen und Bauelementen für elektronische Geräte sowie an ganzen Geräten angewendet, um einerseits die Zweckmässigkeit dieser Prüfung zu erproben und anderseits die Güte verschiedener Schimmelpilz-Schutzmittel festzustellen. Die Schimmelpilze sind niedere Pflanzen und bestehen aus dünnen verzweigten Fäden (Hyphen) von wenigen Tausendstel-Millimeter Durchmesser, die bald Querwände besetzen, aber auch unseptiert sein können. Die Hyphen bilden den vegetativen Pilzkörper, das Mycel, welches das befallene Material nach allen Richtungen durchwachsen kann. Die Vermehrung und Verbreitung erfolgt durch verschiedenartige Sporen [2].

[1]) siehe Literatur am Schluss.

Die im folgenden beschriebenen Prüfungen wurden in Übereinstimmung mit den internationalen Regeln der CEI mit einer Mischsporenaufschwemmung, die Sporen der folgenden Schimmelpilzarten enthält, durchgeführt:

Chaetomium globosum
Stachybotrys atra
Aspergillus niger
Aspergillus amstelodami
Paecilomyces varioti
Penicillium cyclopium
Penicillium brevi-compactum

Schon bei den ersten durchgeführten Versuchen zeigte es sich, dass eine solche Sporenaufschwemmung in destilliertem Wasser entsprechend den internationalen Regeln unbefriedigende Resultate ergibt, indem z. B. auf gebleichtem Baumwollgewebe sich die Sporen mangels geeigneter Nährsubstanzen nicht entwickeln konnten (Fig. 1). In der Praxis muss jedoch immer mit einer gewissen Verschmutzung durch Staub, Handschweiss usw. der zu prüfenden Werkstoffe gerechnet werden, wodurch den Schimmelpilzen zur Entwicklung genügend Nährsubstanzen zur Verfügung stehen. Um die Prüfung der Schimmelpilzresistenz den praktischen Verhältnissen anzupassen, erscheint es daher zweckmässig, die zu prüfenden Teile künstlich zu «verschmutzen», wobei die Verschmutzung in reproduzierbarer Weise zu erfolgen hat. Dies lässt sich durch Verwendung einer genau dosierten Nährlösung an Stelle des destillierten Wassers für die Sporenaufschwemmung erreichen. Bei den weiteren Versuchen wurden deshalb die Sporenaufschwemmungen in Nährlösung nach *Czapek-Dox* mit folgender Zusammensetzung hergestellt:

2 g	$NaNO_3$
1 g	K_2HPO_4
0,5 g	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$
0,5 g	KCl
0,01 g	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$
30,0 g	Glukose
1 l	destilliertes Wasser

In Fig. 1 ist das Schimmelpilzwachstum auf verschiedenen Hartpapierplatten und einer Glasgewebeplatte sowie auf einem Kontrollstreifen aus gebleichter Baumwolle nach Infektion mit einer Mischsporenaufschwemmung in destilliertem Wasser und nach 4wöchiger Versuchsdauer dargestellt. Der Kontrollstreifen weist praktisch keine Pilzentwicklung auf; in einzelnen Fällen, wie z. B. bei den Probeplatten *R 1* und *R 35* ist das Wachstum etwas stärker ausgefallen. Wahrscheinlich ist dies auf eine stärkere äussere Verschmutzung während der Lagerung zurückzuführen.

Fig. 2 zeigt das Schimmelpilzwachstum auf den gleichen Proben bei Verwendung einer Mischsporenaufschwemmung in Czapek-Dox-Nährlösung. Auf allen Proben erfolgte eine mehr oder weniger starke Pilzentwicklung. Die Kunststoffplatten besitzen deshalb keine pilzhemmende Wirkung. Die ersichtlichen Unterschiede können zum Teil auf der verschieden glatten Oberfläche (bedingt verschiedenes Haftvermögen der Nährlösung) beruhen.

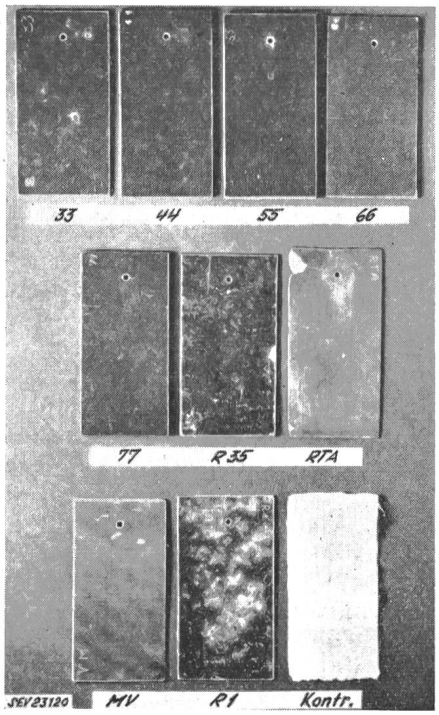


Fig. 1
Schimmelpilzwachstum auf Kunststoffplatten und auf einem Kontrollstreifen aus gebleichter Baumwolle nach Infektion mit Mischsporenaufschwemmung in destilliertem Wasser
33, 44, 55, 66, 77, R35, RTA, R1 Hartpapierplatten; *MV* Glasgewebeplatte mit Phenolharz; *Kontr.* Kontrollstreifen aus gebleichter Baumwolle

Leider wurde durch die CEI die Verwendung einer Mischsporenaufschwemmung in einer Nährlösung abgelehnt. Die Ablehnung wurde damit begründet, dass die vorgeschlagene Prüfmethode die Resistenz gegen das Wachstum von Schimmelpilzen an neuwertigen, noch nicht verschmutzten Materialien feststellen soll. Unter diesen Bedingungen können fast alle in elektronischen Geräten verwendeten Materialien diese Prüfung bestehen, indem die Pilze mangels der nötigen Nährsubstanzen am Wachstum verhindert werden und nicht infolge

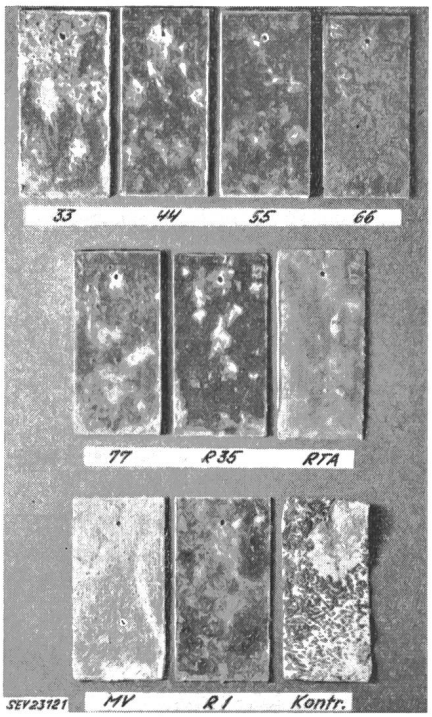


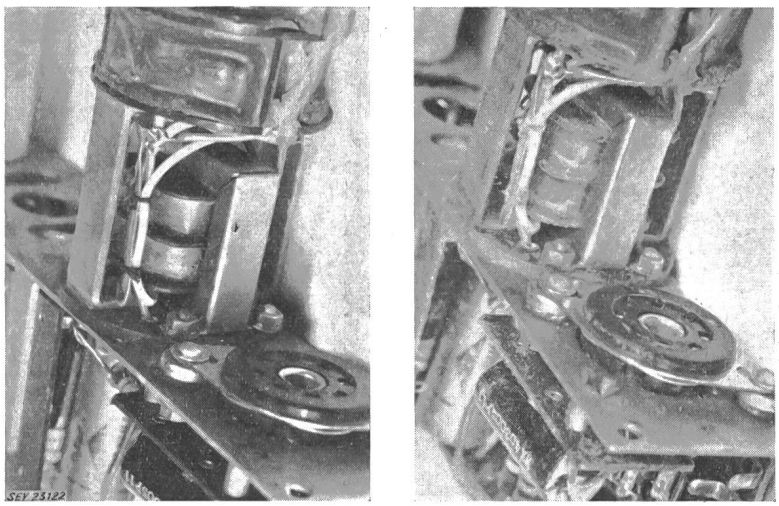
Fig. 2
Schimmelpilzwachstum auf den gleichen Proben wie bei Fig. 1, jedoch nach Infektion mit einer Mischsporenaufschwemmung in Czapek-Dox-Nährlösung

einer Giftwirkung einer zusätzlichen Schutzbehandlung. So erhaltene Prüfergebnisse geben dem Verbraucher keine Anhaltspunkte über das spätere Verhalten der Materialien in der Praxis. Dass auch bei Verwendung einer Nährlösung ein guter Schutz gegen die Entwicklung von Schimmelpilzen möglich ist, zeigen die im folgenden beschriebenen Untersuchungen.

2. Verwendung von Fungiziden

Heute ist eine grosse Zahl organischer und anorganischer chemischer Verbindungen bekannt, die pilzhemmende (fungistatische) oder pilztötende (fungizide) Wirkung besitzen. Die Verwendbarkeit solcher Substanzen zum Schutze elektrotechnischer Materialien ist jedoch an verschiedene Bedingungen gebunden. So dürfen die dielektrischen Eigenschaften von Isolationsmaterialien (Verluste, Isoliervermögen, Kriechwegfestigkeit usw.) nicht merklich verschlechtert werden, ferner darf keine schädigende physiologische Wirkung auf den Menschen eintreten. Auf die sehr wirksamen Fungizide auf Quecksilberbasis (z. B. Phenyl-Quecksilber-8-Oxychinolin) muss leider wegen ihrem schädlichen Einfluss auf Selengleichrichter verzichtet werden. Als weiteres, sehr wichtiges Kriterium ist auch die Beständigkeit der Schutzwirkung im Laufe der Zeit unter verschiedenen klimatischen Bedingungen

(hohe Temperatur, Auswaschung durch Feuchtigkeitsniederschläge und Wassertropfen) zu berücksichtigen.



a *b*

Fig. 3
Schimmelpilzentwicklung auf Metallteilen eines durch natürlichen Zimmerstaub verschmutzten Verstärkerchassis

a vor der Prüfung nach einer groben Reinigung durch Pressluft; *b* nach der Prüfung (Infektion durch Mischsporenaufschwemmung)

Die Schutzwirkung lässt sich durch Imprägnieren, Bestäuben, Besprengen oder Bestreichen der zu schützenden Materialien mit Schutzmittellösungen erreichen. Eine Imprägnation oder Beimischung ist bei Kunststoffen, Textilien, Papier, Leder usw. ohne weiteres möglich. Bei hochwertigen Hochfrequenz-Isoliermaterialien führen solche Behandlungen unter Umständen zu einer wesentlichen Verschlechterung der dielektrischen

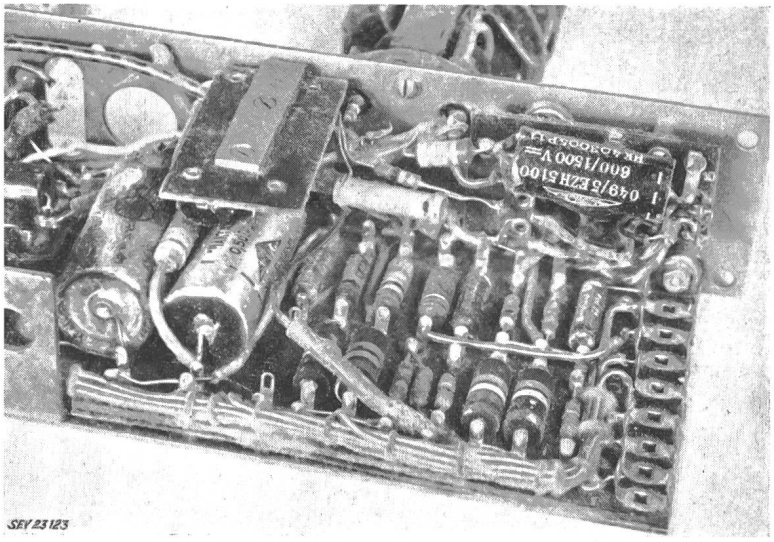


Fig. 4
Starke Schimmelpilzentwicklung auf einem durch natürlichen Zimmerstaub verschmutzten Verstärkerchassis nach der Infektion durch Mischsporenaufschwemmung

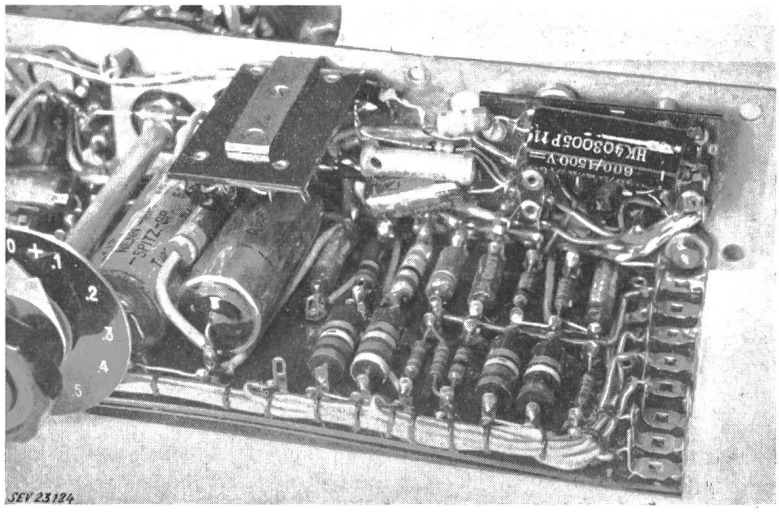


Fig. 5
Ähnliches Verstärkerchassis wie in Fig. 4, nach der Pilzprüfung

Das Chassis war nach der Reinigung durch Ausblasen mittels Pressluft mit einem Schimmelschutzlack ausgespritzt worden. Es erfolgte keine Schimmelpilzentwicklung

Eigenschaften. Schimmelpilze können sich auch auf anorganischen Werkstoffen (z. B. Metall, Glas usw.) entwickeln, wenn diese durch Öl, Fett, Staub usw. verschmutzt sind und sofern das für das Gedeihen der Pilze notwendige feucht-warme Klima gegeben ist. Bei derartigen Werkstoffen kommt nur eine Oberflächenbehandlung in Frage. Fig. 3*b* zeigt das Wachstum von Schimmelpilzen auf Metallteilen eines Verstärkerchassis, welches nach einer Lagerung während mehrerer Monate in einem Lagerraum der Schimmelpilzprüfung ausgesetzt wurde. Vor der Prüfung wurde das Chassis lediglich mittels Pressluft ausgeblasen (Fig. 3*a*).

Einen wirksamen und praktisch anwendbaren Schutz der in einem Gerät befindlichen Materialien erhält man durch Bestreichen oder Bespritzen der Oberflächen mit einem Lack, welcher ein geeignetes Fungizid in gelöster Form oder als Kolloid enthält. Solche Schutzlacke werden von verschiedenen Lackfabrikanten auf den Markt gebracht. Die Wirksamkeit eines derartigen Lackanstriches zeigen Fig. 4

und 5. Fig. 6 zeigt, wie stark solche Materialien von Schimmelpilzen befallen werden können.

Eine solche Prüfung im Originalzustand, wie an den in Fig. 4 und 5 gezeigten Verstärkerchassis, erlaubt jedoch noch keine umfassende Bewertung der Qualität der Schutzwirkung eines Schimmelschutzanstriches. Zur Beurteilung eines Schutzlackes sind auch folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen:

1. Der Schutzlack muss befriedigende isolationstechnische Eigenschaften aufweisen, d. h. die Isolationsfestigkeit des Grundmaterials darf nicht wesentlich beeinträchtigt werden.
2. Der Schutzlack soll gut spritzbar sein, möglichst rasch trocknen oder aushärten und hernach eine möglichst glatte Oberfläche ergeben; auf keinen Fall darf der Lack klebrig bleiben, um nicht als Staubfänger zu wirken.

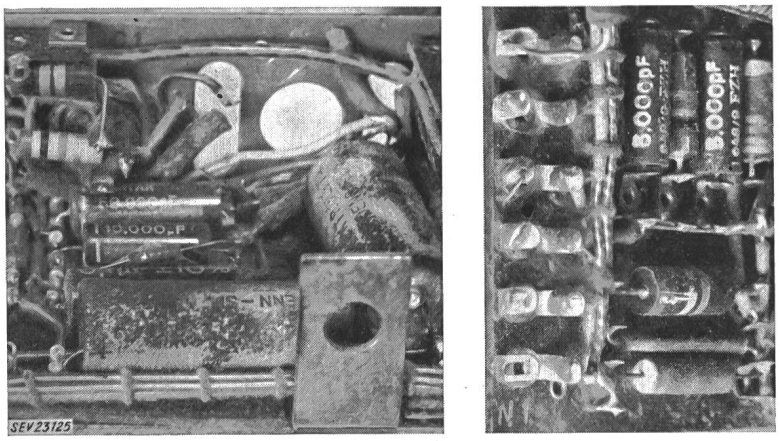


Fig. 6
Einzelne Details des Chassis von Fig. 4
a Bemerkenswert ist die starke Entwicklung der Pilze auf der Kartonhülle der beiden Elektrolytkondensatoren; *b* Bemerkenswert ist die starke Pilzentwicklung auf der Hanfschnur, welche die Drähte zusammenbindet

3. Die fungizide Wirkung soll möglichst dauerhaft und gegenüber höheren Temperaturen beständig sein.
4. Die Schutzbehandlung soll weitgehend wasserbeständig sein.
5. Der Lackkörper selbst darf keinen Nährboden für Schimmelpilze ergeben, wenn die Fungizide schliesslich doch so weit verflüchtigt oder ausgewaschen sind, dass eine Pilzentwicklung nicht mehr durch die Schutzbehandlung verhindert werden kann.

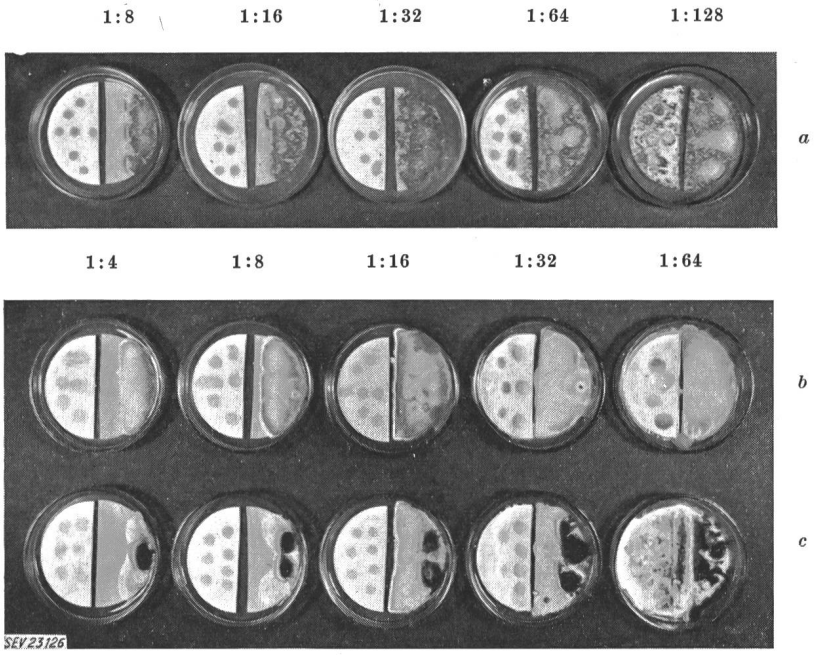


Fig. 7
Prüfung der Wirksamkeit von handelsüblichem Schimmelschutzlack auf Filtrierpapier auf das Wachstum von Rein- und Mischkulturen bei verschiedenen Verdünnungen des Originallackes
links: mit Lack behandeltes Filtrierpapier;
rechts: unbehandeltes Filtrierpapier;
a Reinkultur Chaetomium globosum;
b Reinkultur Penicillium cyclopium;
c Mischkultur

3. Prüfung von Fungiziden

Zur Qualitätsprüfung der fungiziden Wirkung von Schimmelschutzlacken wurde in der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, St. Gallen, ein Verfahren entwickelt, welches gut reproduzierbare Ergebnisse liefert. 15 cm³ eines sterilen Czapek-Dox-Agars wird unter aseptischen Bedingungen in eine sterile Petrischale zu einer Platte ausgegossen. Nach Erstarrung des Nährbodens werden zwei Hälften einer Filtrierpapierscheibe von 7 cm Durchmesser, von denen die eine in den zu prüfenden Schutzlack getaucht und anschliessend getrocknet wurde, Schnittkante gegen Schnittkante in die Petrischale auf den Nährboden gelegt. Das unbehandlete Filtrierpapier dient zur Kontrolle der Aktivität der Pilze sowie zur Erfassung einer eventuell vorhandenen Fernwirkung des Lackes infolge Verdampfung oder Diffusion der pilzhemmenden Substanz in den Nährböden. Sowohl die behandelte wie auch die unbehandelte Filtrierpapierprobe werden mit je 0,5 cm³ der in Abschnitt 1 erwähnten Sporenaufschwemmung in Czapek-Dox-Nährlösung geimpft und danach während vier Wochen bei einer Temperatur von 29 ± 1 °C gelagert. Für die Prüfung der zeitlichen Beständigkeit des Fungizides wird das in Lack getauchte und ausgetrocknete Filtrierpapier vor der Pilzprüfung entweder für die Untersuchung der Wasserbeständigkeit während 72 Stunden in kaltem Leitungswasser (Durchflussgeschwindigkeit 25 bis 30 l/h) ausgelaugt, oder für die Prüfung der Dauerhaftigkeit bzw. Wärmebeständigkeit bei einer Temperatur von + 60 °C während einiger Monate gealtert.

Solcherart beschriebene Prüfungen wurden an Lacken mit verschiedenen Fungizidgehalten, geimpft mit Rein- und Mischkulturen von Schimmelpilzen, durchgeführt. Fig. 7 zeigt die Wirksamkeit eines

handelsüblichen Schimmelschutzlackes in verschiedenen Verdünnungen (Chloroform als Verdünner) gegen 2 verschiedene Pilzreinkulturen und gegen die erwähnte Mischkultur. Bei den Verdünnungen 1:4 und 1:8 ist deutlich eine Hemmzone auf dem unbehandelten Filtrierpapier erkennbar, während

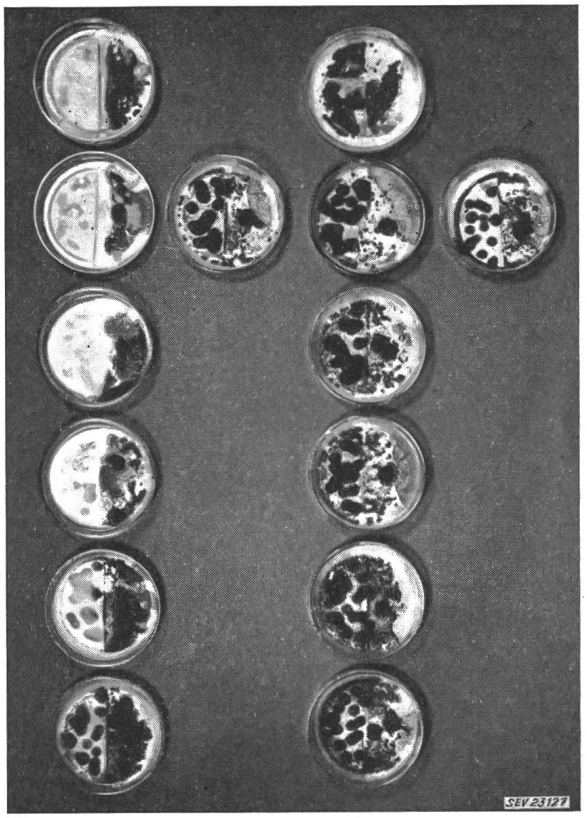


Fig. 8
Versuche mit Pentachlorphenol als Fungizid vor und nach der Alterung in erhöhter Temperatur, bzw. vor und nach der Wässerung in Leitungswasser
Impfung mit Mischkultur
links der Pentachlorphenolgehalt in Prozenten
a Original; *b* 1 Monat gealtert bei 60 °C; *c* 3 Monate gealtert bei 60 °C; *d* 3 Tage gewässert

von 1:64 ist praktisch keine Schutzwirkung mehr vorhanden. Die dunklen Punkte auf den mit Schutzlack behandelten Filtrierpapieren sind die Impfstellen mit Sporenaufschwemmung.

Fig. 8 zeigt die Wirkung eines Lackes mit Pentachlorphenol als Fungizid. Die Versuche wurden in nicht gealtertem Zustand (unmittelbar nach dem Austrocknen des Lackes) und nach einer Lagerung von 1 bzw. 3 Monaten bei 60 °C durchgeführt. Zudem wurde die Probe mit einem Pentachlorphenolgehalt von 1,5 % während 3 Tagen gewässert. Die gealterten Proben wurden durchwegs von Schimmelpilzen bewachsen. Die Alterungsbeständigkeit des Pentachlorphenols erweist sich deshalb als ungenügend, was auf den verhältnismässig grossen Dampfdruck und die Löslichkeit dieses Fungizides in Wasser zurückzuführen ist.

Eine wesentlich bessere Alterungsbeständigkeit als Pentachlorphenol ergibt z. B. das Fungizid Kupfer-8-Hydroxychinolin. Die Fig. 9 und 10 zeigen die Resultate von Versuchen mit in Lack dispergiertem Kupfer-8-Hydroxychinolin. Gegenüber Chaetomium globosum ergab dieses Fungizid eine sehr starke Wirkung, indem dieser Pilz bis zu einer Konzentration von 0,1875 % an der Entwicklung gehindert wurde (Fig. 9). Kupfer-8-Hydroxychinolin zeichnet sich durch eine ausgesprochen grosse Dauerhaftigkeit aus. Sowohl bei den gewässerten und den während 1 bzw. 3 Monaten bei 60 °C gealterten Proben sind die Ergebnisse bei allen Konzentrationen praktisch gleich ausgefallen wie bei den entsprechenden Originalbehandlungen.

Auch die Versuche mit der Mischkultur ergeben sehr gute Resultate des Kupfer-8-Hydroxychinolins (Fig. 10). Lediglich der Pilz Aspergillus niger, welcher als kupferresistent bekannt ist, konnte sich einigermassen gut entwickeln und hat die übrigen Pilze des Gemisches praktisch vollständig verdrängt [3]. Dieses Verhalten von Aspergillus niger steht im Gegensatz zu den Resultaten gemäss Fig. 7, Versuch *c*, bei dem dieser Pilz grössere Hemmzonen ergab als die anderen Pilze der Mischkultur.

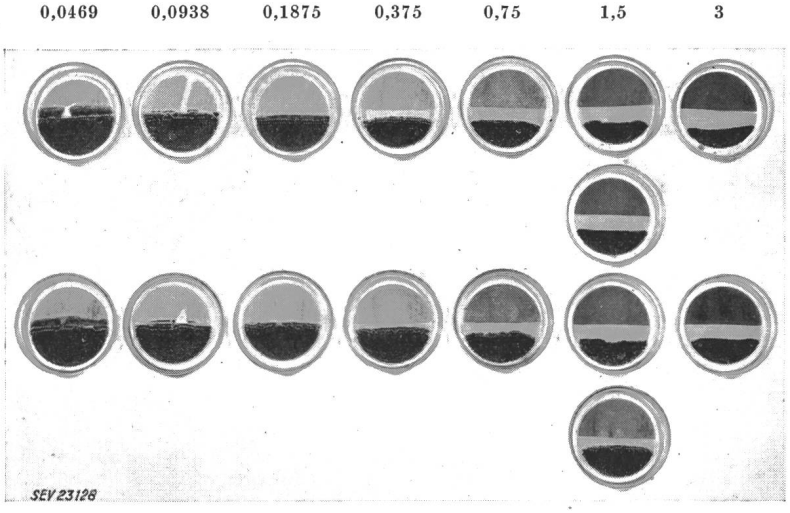


Fig. 9
Wirkung von mit Kupfer-8-Hydroxychinolin dispergiertem Lack auf eine Reinkultur von Chaetomium globosum vor und nach der Alterung bei erhöhter Temperatur, bzw. vor und nach der Wässerung in Leitungswasser
oben der Kupferhydroxychinolingehalt in Prozenten
a Original; *b* 1 Monat gealtert bei 60 °C; *c* 3 Monate gealtert bei 60 °C; *d* 3 Tage gewässert

bei der Verdünnung 1:16 das unbehandelte Filtrierpapier fast vollständig von Schimmelpilzen überwachsen ist. Der 1:32 verdünnte Lack ergibt ungenügende Schutzwirkung und bei einer Verdünnung

4. Die für die Prüfung verwendeten Pilzarten

Aus der verschiedenartigen Resistenz bzw. Empfindlichkeit der verschiedenen Pilzarten gegenüber den in Frage kommenden Fungiziden lässt sich die

Notwendigkeit der Verwendung von verschiedenen Pilzen z. B. als Pilzgemisch für die Durchführung derartiger Prüfungen erkennen. Die richtige Auswahl der Pilzarten muss unter den vielen tausend bekannten Arten sorgfältig erfolgen. Ein Pilzgemisch soll gegen verschiedene fungizid wirkende Verbindungen resistente Pilze enthalten. Diese sollen aber auch unter verschiedenen Bedingungen auf verschiedenen Nährsubstanzen (eiweiss-, zellulose-, zuckerhaltige usw.) gedeihen können. Die für Prüfzwecke oft verwendeten Pilze Chaetomium globosum und Stachybotrys atra sind typische Zellulosezerstörer [4]. Die Aspergillus- und Penicillium-Arten finden sich praktisch überall und sollen somit bei einer zweckmässig zusammengestellten Mischkultur vorhanden sein. Paecilomyces varioti ist ein sehr häufiger, weitverbreiteter, auf ganz verschiedenen Materialien wachsender Pilz. Der auf zellulosischen Materialien häufige Pilz Stachybotrys atra ist gegen Schutzstoffe in der Regel recht empfindlich und daher in Reinkultur für Prüfungen nicht sehr zweckmässig. Er hat sich aber in Mischkulturen, wo er auf die Entwicklung anderer Pilze stimulierend wirkt, als geeignet erwiesen. Die von der Commission Electrotechnique Internationale vorgeschlagene Mischkultur ist somit zweckmässig gewählt, wie dies durch die von den Autoren durchgeführten Versuche bestätigt wurde.

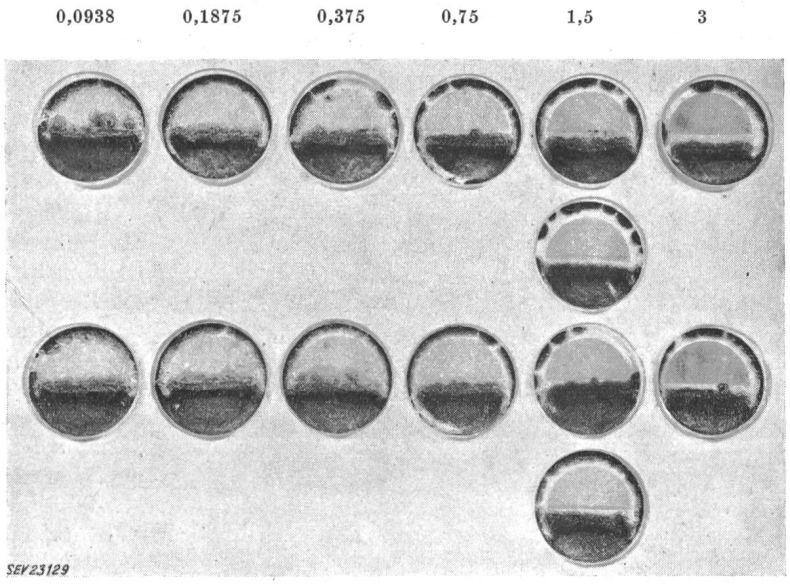


Fig. 10
Wirkung von mit Kupfer-8-Hydroxychinolin dispergiertem Lack auf die Mischkultur vor und nach der Alterung bei erhöhter Temperatur bzw. vor und nach der Wässerung in Leitungswasser
oben der Kupferhydroxychinolingehalt in Prozenten
a Original; *b* 1 Monat gealtert bei 60 °C; *c* 3 Monate gealtert bei 60 °C; *d* 3 Tage gewässert

5. Klimatische Bedingungen für die Schimmelpilz-Entwicklung

Nachdem gezeigt wurde, dass ein wirksamer Schutz gegen die Bildung von Schimmelpilzen möglich ist (z. B. durch Ausspritzen des zu schützenden Apparates mit einem geeigneten Schutzlack), stellt sich der Praktiker die Frage, unter welchen klimatischen Bedingungen ein derartiger Schutz notwendig ist. Für das Wachstum und die Weiterentwicklung von Schimmelpilzen ist im allgemeinen ein feucht-warmes Klima erforderlich [2, 4]. Das für die meisten Pilzarten günstigste Klima liegt bei Temperaturen von 20...30 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 85...100 %; einzelne Pilze können schon bei + 7 °C, andere Arten bei Temperaturen bis + 40 °C wachsen. Unterhalb einer relativen Feuchtigkeit von 75 % hört jegliches Wachstum von Pilzen auf (vorausgesetzt, dass keine hygroskopischen Stoffe als Nährböden vorhanden sind), ohne dass jedoch bereits entwickelte Pilze hiedurch absterben müssen. Sobald die Feuchtigkeit wieder erhöht wird, setzt auch die Weiterentwicklung wieder ein. Auch durch das Unter- oder Überschreiten der für das Gedeihen der Pilze notwendigen Temperatur setzt nur das Wachstum aus, ohne dass hiedurch die Pilze oder deren Sporen abgetötet werden; selbst eine Unterkühlung bis —193 ° C wirkt in vielen Fällen noch nicht abtötend auf Sporen [2]. Zu einer vollständigen Sterilisation ist mindestens eine Temperaturbehandlung in Dampf bei 120 °C während 30 min, bzw. 140...160 °C bei trockener Erhitzung während 2...4 Stunden notwendig.

Diese Kenntnisse der klimatischen Wachstumsbedingungen der Schimmelpilze führen zu der naheliegendsten Schutzmassnahme: der Trockenlagerung in einer Atmosphäre mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von weniger als 75 %. Eine derartige Trockenlagerung lässt sich in den sogenannten trocken-kalten (polar), trocken-warmen (gemässigt) und trocken-heissen Klimata (Binnenland- oder Kontinental-Klima) in den meisten Fällen realisieren, wogegen die feucht-warmen (subtropisch), feucht-heissen (tropisch) und maritimen Klimata für die Entfeuchtung der Luft grosse apparative Aufwendungen erfordern, die vielfach in keinem tragbaren Verhältnis zu den Gestehungskosten des elektronischen Gerätes stehen (wie z. B. bei Radioempfängern, Lautsprecheranlagen usw.). Eine Trockenlagerung wird vielfach auch durch die Art des Einsatzes der Apparate verunmöglicht, wie dies z. B. bei mobilen Funk-Übermittlungsgeräten der Polizei und Armee usw. der Fall ist. Einzelne Teile eines Apparates oder auch ganze Apparate lassen sich natürlich in luftdicht verschlossene Gehäuse einbauen oder in Giessharze und dergleichen eingiessen und werden dadurch von den klimatischen Verhältnissen der Aussenluft mehr oder weniger unabhängig. Eine derartige konstruktive Lösung des Problems ist jedoch nur dort möglich, wo keine grosse Wärmeentwicklung auftritt oder wo die Platz- und Gewichtsbeanspruchung von untergeordneter Bedeutung ist. Es übersteigt den Rahmen dieses Aufsatzes, alle die Möglichkeiten des

Feuchtigkeitsschutzes und damit der indirekten Verhütung der Schimmelpilzbildung aufzuzählen und zu diskutieren. Dies ist schon deshalb unnötig, da der Fabrikant von Apparaten dem Problem der Feuchtigkeitsbeeinflussung auch in anderer Hinsicht (Feuchtigkeitsaufnahme von Isolationsmaterialien, Korrosion von Metallteilen usw.) seine volle Aufmerksamkeit zuwenden muss.

6. Die Wirkung von Schimmelpilzen

Schliesslich stellt sich noch die Frage, welche Wirkung die Schimmelpilze auf die Funktion und die Betriebssicherheit elektronischer Apparate ausüben. Es darf als allgemein bekannt angenommen werden, dass die Schimmelpilze auf organischen Materialien wie z. B. auf Textilien, Leder, Holz usw. durch den Abbau der Zellulose, Eiweisse usw. eine starke mechanische Festigkeitsverringerung dieser Produkte bewirken [4, 5]. Auch bei Kunststoffen mit organischen Füllmaterialien (z. B. Phenolharzen mit Holzmehlfüllung, Hartpapieren, Hartgeweben usw.) ist oft eine Zersetzung einzelner Komponenten möglich. Da diese Füllstoffe jedoch weitgehend in Kunstharz eingebettet und/oder durchtränkt sind, vollzieht sich der Abbau in den meisten Fällen derart langsam und örtlich auf die Oberfläche des Isolierstoffes beschränkt, dass innerhalb der Lebensdauer des Apparates mit keiner nennenswerten Festigkeitsverringerung zu rechnen ist. Im allgemeinen kann als Richtlinie angegeben werden: Je weniger ein Kunststoff Feuchtigkeit aufnehmen kann, um so weniger ist er schimmelpilzempfindlich und anfällig. Als Ausnahme ist unter anderen Polyvinylchlorid zu erwähnen, welches schon nach kurzer Zeit durch Schimmelpilze einen merkbaren Festigkeitsverlust erleiden kann. Hier dienen oft die Weichmacher als geeigneter Nährboden. Als Schutz von Kabel- und Draht-Mänteln wird dem Polyvinylchlorid neuerdings oft ein Fungizid eingemischt, so dass keine äusseren Schutzmassnahmen mehr notwendig sind.

Starke Schimmelpilzkulturen auf der Oberfläche von Isoliermaterialien zwischen spannungführenden Metallteilen können unter Umständen die Kriechwegfestigkeit und damit die Spannungsfestigkeit herabsetzen; diese Gefahr ist jedoch nur bei extrem kleinen Abständen zu befürchten. Die Verminderung der Kriechwegfestigkeit ist auf den hohen Feuchtigkeitsgehalt im Pilzmycel, aber auch durch die Ausscheidungsprodukte der Pilze (diese wirken oft elektrolytisch) zurückzuführen. In der Wirkung tritt ungefähr dieselbe Verschlechterung auf wie bei einer Oberflächenverschmutzung durch salzhaltige Dünste. Wenn die Kriechwegabstände richtig gewählt sind und als Isolation ein geeigneter Werkstoff hoher Kriechwegfestigkeit verwendet wird, sollte sich durch Schimmelpilze keine merkbare Verschlechterung einstellen.

Ein Schimmelpilz-Wachstum ist aber auch auf anorganischen Werkstoffen möglich (z. B. auf Metallen, Glas, Keramik), wenn diese durch Staub, Öl, Fett usw. oberflächlich verschmutzt sind (siehe Fig. 3). Schon kleinste Mengen derartiger Verschmutzungen genügen den Schimmelpilzen als Nährboden. Die Ausscheidungsprodukte, welche oft sauer sind, können z. B. auf Metallen die Korrosion einleiten oder wesentlich beschleunigen und durchsichtiges Glas zum Erblinden bringen. Derartige Schädigungen führen jedoch im allgemeinen in verhältnismässig seltenen Fällen zu Betriebsstörungen, sondern beeinträchtigen lediglich das Aussehen.

Direkte ernsthafte Folgen auf die Betriebssicherheit elektronischer Geräte sind somit durch die Schimmelpilze nur selten zu erwarten. Diese Überlegungen werden durch systematisch durchgeführte Versuche durch das Naval Research Laboratory, Washington [6] an verschiedenen Nachrichtengeräten der Armee bestätigt. Gleichartige Empfänger mit und ohne Schutzmassnahmen gegen Schimmelpilze (der Schimmelpilzschutz wurde entsprechend den Armeevorschriften der USA ausgeführt [7, 8]) wurden während 1300 Tagen einem dem Schimmelpilzwachstum günstigen Klima ausgesetzt. Die Empfindlichkeit und die einzelnen Bauelemente (Kondensatoren, Widerstände) der Empfänger wurden periodisch kontrolliert. Diese Versuche zeigten eindeutig, dass keine Beweise für die Erhöhung der Lebensdauer oder der Betriebssicherheit der mit einem geeigneten Schutzlack ausgespritzten Geräte gefunden werden konnten.

Trotz diesen eindeutigen Feststellungen, dass bei richtiger Dimensionierung der Luft- und Kriechwegabstände keine effektive Benachteiligung der Geräte durch Schimmelpilze eintritt, kann eine ungünstige Wirkung durch menschliche psychologische Momente eintreten. Jeder Fabrikant komplizierter Geräte weiss aus Erfahrung, wie stark die Betriebssicherheit der Geräte von der persönlichen Beziehung des Bedienungspersonals zum bedienenden Gerät abhängig ist. Man wird vom Bedienungspersonal kaum erwarten können, dass es den ihm unterstellten Geräten Liebe und Sorgfalt entgegenbringt, wenn die Geräte verschimmelt und korrodiert sind und zudem den typischen ekelerregenden Schimmelgeruch verbreiten. Diese menschlichen Reaktionen sollten genügen, dem Problem des wirksamen Schutzes gegen Schimmelpilze die notwendige Aufmerksamkeit zu schenken.

Literatur

[1] *Commission Electrotechnique Internationale:* Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique des pièces détachées. Publ. Nr. 68, 1954. Genève: Bureau Central de la C.E.I. 1954.

[2] *Rippel-Baldes, A.:* Grundriss der Mikrobiologie. Berlin: Springer 1952.

[3] *Marsh, P. B.:* Fabric Mildew-Resistance Tests with Organising Tolerant Toward Copper and Mercury. Amer. Dyestuff Reporter Bd. 38(1949), Nr. 5.

[4] *Siu, R. G. H.:* Microbial Decomposition of Cellulose. New York: Reinhold 1951.

[5] *Greathouse, G. A.* und *C. J. Wessel:* Deterioration of Materials. New York: Reinhold 1954.

[6] *Williams, K. G.* und *C. T. Lempke:* A Study of Navy Radio Receivers in a Tropical Climate. Naval Research Laboratory, NRL Rep. 3935, 6. Februar 1952. Washington: 1952.

[7] *US War Department* and *the Navy Department:* Coating-Materials, Moisture and Fungus-Resistant for the Treatment of Communications, Electronic and Associated Electrical Equipment. Joint Army-Navy Specification, JAN-C-173, 23. Januar 1947. Washington: 1947.

[8] *US War Department* and *the Navy Department:* General Process for Treatment, Moisture and Fungus-Resistant of Communications, Electronic and Associated Electrical Equipment. Joint Army-Navy Specification, JAN-T-152, 30. Januar 1947. Washington: 1947.

Adresse der Autoren:

E. Ganz, A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden (AG).

Dr. sc. nat. *O. Wälchli*, Leiter der Biologischen Abteilung der Eidg. Materialprüfungsanstalt, St. Gallen.