

Über Korrosionserscheinungen, ausgelöst durch duroplastische Formstoffe (Teil 2) – Elektrolytische Korrosion

W. Loos

Mitteilung aus dem Institut für Werkstoffkunde, TH Darmstadt

Herrn Professor Dr.-Ing. Heinrich Wiegand zum 70. Geburtstag gewidmet

Es wird über die an metallischen Bauelementen durch Kunststoffe verursachten Korrosionserscheinungen berichtet, bei denen die Einwirkung elektrischer Gleichspannungen auf die jeweiligen Anordnungen Grundlage des Korrosionsvorganges ist. Dabei wird insbesondere auf die von den Eigenschaften der Kunststoffe bestimmten Parameter eingegangen. Über die Messung der Isolationsströme und Vergleich mit dem jeweils eingetretenen Ausmaß der Korrosion wird die Schlüssigkeit von Kurzzeitversuchen auf die Beurteilung der Korrosionswirkung verschiedener Kunststoffe bei längeren Beanspruchungszeiten untersucht.

Investigations on corrosion caused by thermosetting materials (part 2) Electrolytic corrosion. Electrolytic corrosion on metallic materials is caused by plastics under the influence of a direct voltage. This second part of the investigations on plastic corrosion deals with the characteristic qualities of thermosetting materials, responsible for such type of corrosion. These qualities may be determined by the composition of the plastics and by the curing conditions. Measuring the insulation current in the plastic specimen gives an indication to the corrosive effect. It is shown by measuring the insulation current in long-time tests with varying materials and test conditions that short-time tests may give a conclusive statement on the corrosiveness of plastics.

1. Einleitung

In einer vorausgegangenen Veröffentlichung (1) war über Untersuchungen des Gehaltes an korrosiven Substanzen einer Reihe von Duroplasten sowie über die Korrosionswirkungen des von solchen Kunststoffen ausgeschiedenen Ammoniaks berichtet worden. Der zweite Teil der Arbeit befaßt sich jetzt mit der elektrolytischen Korrosion, wobei in erster Linie auf die bereits untersuchten Duroplaste eingegangen wird.

2. Erscheinungsbild der elektrolytischen Korrosion

Als elektrolytische Korrosion bezeichnet man diejenigen von Kunststoffen an Metallen ausgelösten Korrosionserscheinungen, bei denen die Mitwirkung einer äußeren elektrischen Gleichspannung wesentliche Voraussetzung ist. Hieraus folgt, daß elektrolytische Korrosion vor allem im Bereich der Fernmeldetechnik sowie der Steuer- und Regelungstechnik auftritt, also in Bereichen, in denen wegen der vergleichsweise geringen Leiterquerschnitte und empfindlicheren Kontaktflächen ohnehin eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber Korrosionswirkungen gegeben ist.

Eine vereinfachte Anordnung, die das Prinzip der elektrolytischen Korrosion durch Kunststoffe beschreibt, ist in Abb. 1 dargestellt: Zwei metallische Bauteile, die gegeneinander unter Gleichspannung stehen, werden durch ein Bauteil aus einem isolierenden Kunststoff voneinander getrennt. Dabei stehen sie mit dem Kunststoff in einem mehr oder weniger guten Kontakt.

Nach (2) ist für den Korrosionsvorgang die Bildung eines Elektrolyten in der Grenzschicht Kunststoff-Metall maßgebend, wobei NaCl und KCl meist die wichtigsten Bestandteile des Elektrolyten sind. Zumindest gilt dies für eine große Reihe von Duroplasten. Diese Vorstellung steht in ihren wesentlichen Punkten in Einklang mit Ergebnissen von Untersuchungen an Ms 63: Auf der den Pluspol darstellenden Ms-Probe sind neben Flächen mit Entzinkungserscheinungen – äußerlich durch eine Rotfärbung erkennbar – bei starker elektrolytischer Korrosion noch aufliegende Korrosionsprodukte festzustellen (Abb. 2a). Die von diesen abgedeckten Flächen

erscheinen im Röntgenrasterbild des Cu (Abb. 2b) wegen ihres geringen Cu-Gehaltes dunkler, während sich die entzinkten Flächen etwas heller abheben.

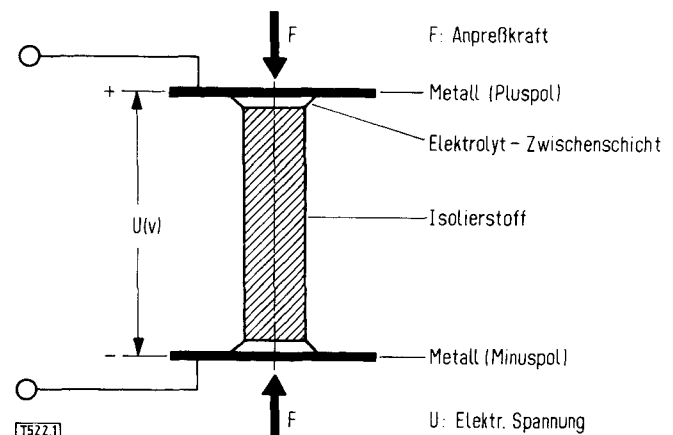


Abb. 1. Prinzip der elektrolytischen Korrosion
Fig. 1. Model of the situation at electrolytic corrosion

Im entsprechenden Bild für Zn (Abb. 2c) weisen umgekehrt die Korrosionsprodukte wegen ihres erhöhten Zn-Gehaltes eine Hellfärbung auf, wohingegen die entzinkten Flächen dunkler abgebildet werden. Daneben werden erhebliche Anteile an Cl in den Korrosionsprodukten nachgewiesen (Abb. 2d). Deren Grünfärbung bei fortgeschrittener Korrosion läßt auf eine dann auch stärkere Beteiligung des Cu schließen. Metallorganische Verbindungen sind bei einigen Kunststoffen als Korrosionsprodukte nicht auszuschließen, konnten aber mit dem hier angewandten Verfahren nicht nachgewiesen werden. Auch die am Pluspol den Kunststoffproben anhaftenden Korrosionsprodukte (Abb. 3a) entsprechen nach ihren Röntgenrasterbildern weitgehend der angegebenen Zusammensetzung (Abb. 3b bis 3d).

Auf der am Minuspol anliegenden Ms-Probe werden die korrodierten Flächen im Rasterelektronenbild (Abb. 4a) durch hervortretende Substanzen aufgezeigt. Obwohl diese durch ihre bräunliche bis schwärzliche Farbe einen erhebli-

chen Anteil an Oxidationsprodukten des Cu erkennen lassen, werden sie im Röntgenrasterbild wegen ihres gegenüber Ms 63 teilweise geringeren Gehaltes an Cu etwas dunkler abgebildet (Abb. 4b). Ein gewisser Anteil an Schwefelverbindungen war daneben auch erkennbar.

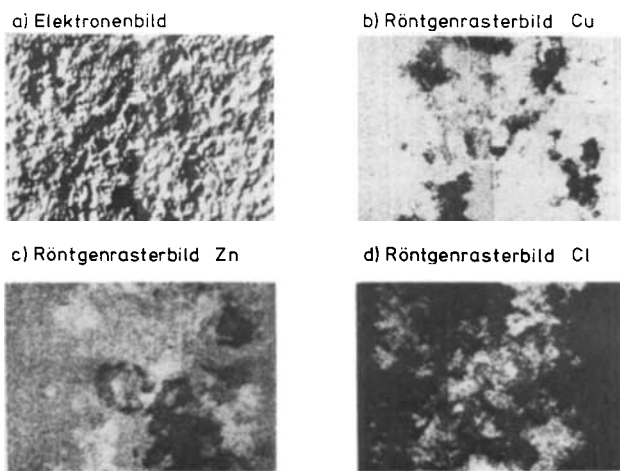


Abb. 2. Elektrolytische Korrosion an Ms 63
Korrosionsprodukte am Pluspol

Fig. 2. Electrolytic corrosion on brass Ms 63
corrosion products on the positive pole foil

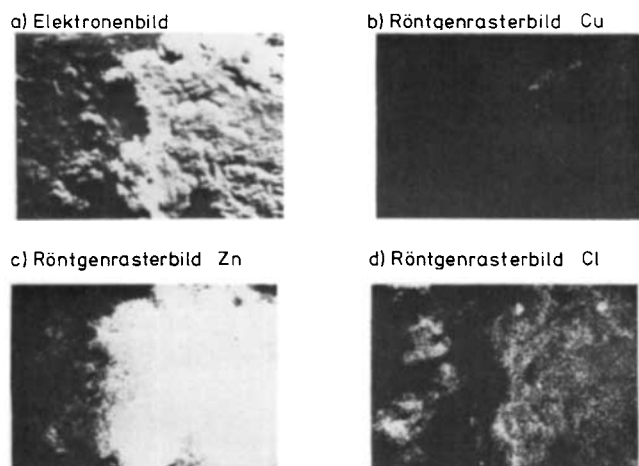


Abb. 3. Elektrolytische Korrosion an Ms 63
Korrosionsprodukte am Kunststoff (Pluspol)

Fig. 3. Electrolytic corrosion on brass Ms 63
corrosion products on the plastic specimen at the positive pole side

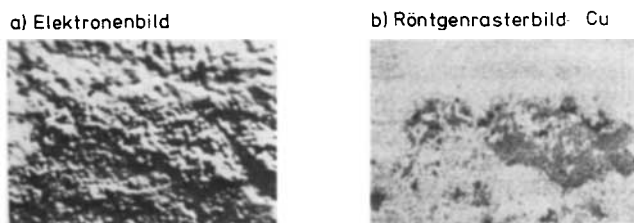


Abb. 4. Elektrolytische Korrosion an Ms 63
Korrosionsprodukte am Minuspol

Fig. 4. Electrolytic corrosion on brass Ms 63
corrosions products on the negative pole foil

Die beschriebenen Erscheinungen können bei geringerer Korrosionswirkung naturgemäß nur schwächer ausgebildet sein. Ebenso ergeben sich bei anderen Metallen andere, oft

weniger deutlich ausgeprägte Korrosionserscheinungen, die jedoch am Bild eines Cl-haltigen Elektrolyten in der Grenzschicht Metall-Kunststoff nichts ändern. Die Herkunft der Elektrolyt-Bestandteile NaCl und KCl muß in erster Linie in entsprechenden, wenn auch nur in Spuren vorhandenen Verunreinigungen des Kunstharzes und der Füllstoffe gesucht werden. Unter der Wirkung der elektrischen Gleichspannung kommt es dann zu einer Auswanderung der leichter beweglichen Ionen aus dem Kunststoff und zu einer Ansammlung in beiden wäßrigen Zwischenschichten zu den metallischen „Elektroden“.

Da diese Schicht nur ein sehr geringes Volumen hat, können bereits geringe Mengen an Ionen zu korrosiv wirkenden Konzentrationen führen, wobei die Elektrolyte am Plus- und Minuspol sich in ihrem pH-Wert deutlich unterscheiden sollten. Eine Mitwirkung anderer korrosiver Substanzen (z. B. Essigsäure) kann auf den Korrosionsvorgang verstärkend wirken. Der Grad ihrer Wirksamkeit wird mit von der Beweglichkeit ihrer Ionen im Kunststoff bestimmt.

Für die teilweise erheblichen Korrosionserscheinungen ist aber nicht die Ausbildung von Elektrolyten in den Grenzschichten allein, sondern, wie die weiteren Untersuchungen zeigen werden, vor allem die fortdauernde Einwirkung der äußeren Gleichspannung auf das System Metall-Elektrolyt entscheidend.

3. Prüfverfahren

Die an Messing sich ergebenden, den Grad der Korrosionswirkung des Kunststoffes gut differenzierenden Korrosionserscheinungen sind Grundlage des nach DIN 53 489 genormten Prüfverfahrens. Die Tatsache der Normung unterstreicht dabei die Bedeutung, die man der elektrolytischen Korrosion zu-mißt. Bei dem genannten Prüfverfahren wird versucht, die in der Praxis vorliegenden Verhältnisse in vereinheitlichter Form nachzubilden:

Zwei metallische Prüffolien aus Ms 63 werden mit einer definierten Kraft von 10 N/cm^2 gegen ebene Flächen an der Kunststoffprobe – meist fein bearbeitete Schnittflächen – gedrückt und gegeneinander unter eine elektrische Gleichspannung gebracht. Die gesamte Anordnung, bei der die räumliche Lage der Messingfolien gegeneinander und gegen die Kunststoffprobe zu beachten ist, wird über eine vorgegebene Zeit (z. B. 4 Tage) einem konstanten Klima von 40°C , 92% relat. Luftfeuchte ausgesetzt. Anschließend werden die an den metallischen Prüffolien aufgetretenen Korrosionserscheinungen mit vorgegebenen Erscheinungsbildern verglichen und nach Stufen eingeteilt (siehe Tabelle 1).

Dieses Auswerteverfahren kann, was auch die im folgenden aufgeführten Ergebnisse zeigen, als gut reproduzierbar und hinreichend differenzierend gelten. Versuche, die visuelle Beurteilung nach dem Aussehen durch eine objektive Messung z. B. des Remissionsvermögens zu ersetzen (Abb. 5), konnten die Eindeutigkeit der Aussage nicht verbessern.

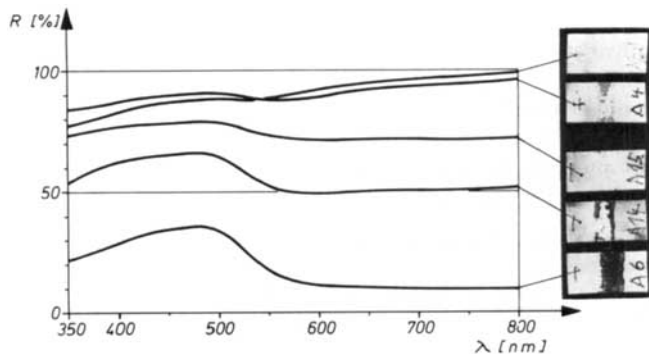
Außer dem genannten werden auch noch andere Verfahren angewendet, wie das in DIN 40 802 zur Prüfung von kupferkaschierten Basismaterial aufgeführte, bei dem die sog. „elektrolytische Korrosion an der Oberfläche“ an den Kanten eines geätzten Prüfbildes beurteilt wird.

Für die im folgenden beschriebenen Versuche wurde vorzugsweise eine Vorrichtung verwendet, die von der in DIN 53 489 aufgeführten insofern abweicht, als die metallischen Prüffolien sich auf beiden Seiten der 10 mm hohen Kunst-

Tabelle 1. Bewertung der Korrosionswirkung nach DIN 53 489

Table 1. Grades of corrosion (DIN 53 489)

Folie	Kennwert	Beschreibung
Pluspol-Folie	A	Keine Veränderungen
	AN	Schwache Anlauffarben und Markierungen
	A/B	Schwache Rotfärbung (beginnende Entzinkung), s. DIN 50 900
Minuspol-Folie	B	Starke Rotfärbung (fortgeschrittene Entzinkung). Grüne Korrosionsprodukte in Form von kleinen Flecken. (Die beschriebenen Veränderungen können auch gemeinsam auftreten.)
	1	Keine Veränderungen
	1,2	Schwache Färbung, als feine Punkte oder Striche erkennbar
	1,4	Färbung in zunehmendem Umfang (braun)
	1,6	Färbung (schwarz) in Form vereinzelter kleiner Flecken, möglicherweise noch mit Färbung wie unter 1,4
	1,8	Färbung (schwarz) in Form erhöhter Anzahl von kleinen Flecken, möglicherweise noch mit Färbung wie unter 1,4
	2	Vorwiegend Färbung (schwarz) in Form von zusammenhängenden kleinen Flecken, möglicherweise noch mit Färbung wie unter 1,4
	3	Praktisch zusammenhängende Färbung (schwarz) der ganzen Auflagefläche der Probe, möglicherweise noch mit helleren Zonen (braun)
	4	Zusammenhängende und über die Auflagefläche der Probe wesentlich hinausgehende Färbung (schwarz), möglicherweise noch mit helleren Zonen (braun)



T522.5 R: Remissionsgrad gemessen gegen Vergleichsprobe

Abb. 5. Remission von Ms 63 nach elektrolytischer Korrosion

Fig. 5. Total luminous reflectance of brass Ms 63 after electrolytic corrosion

stoffproben gegenüberstehen. Bei sonst gleichen Prüfergebnissen werden hier etwas übersichtlichere Verhältnisse im Verlauf des Isolationsstromes und durch kugelige Lagerung biegemomentfreie Anpreßkräfte erreicht (Abb. 6). Wegen der hierbei erzielten Reproduzierbarkeit konnte durch Einschaltung von Zwischenstufen in die nach DIN 53 489 vorgegebenen Bewertungsmaßstäbe die Eindeutigkeit in den Ergebnissen verbessert werden. Gegebenenfalls wurde durch eine zahlenmäßige Bewertung des Korrosionsbefundes am Pluspol und Zusammenfassung mit demjenigen am Minuspol die Gesamtkorrosionswirkung K als eine Größe dargestellt (siehe z. B. Abb. 8 und 14 bis 16). Für die Untersuchung von Formstoffen werden aus Platten 120 mm x 120 mm x 4 mm Proben mit den Abmessungen 27 mm x 10 mm x 4 mm ausgeschnitten, auf den Prüfflächen fein gefräst, sowie geschliffen und im übrigen nach DIN 53 489 vorbehandelt. Die verwendeten Formmassen und ihre Verarbeitungsbedingungen sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Die angegebenen Bezeichnungen werden in den folgenden Abschnitten beibehalten (siehe auch (1)).

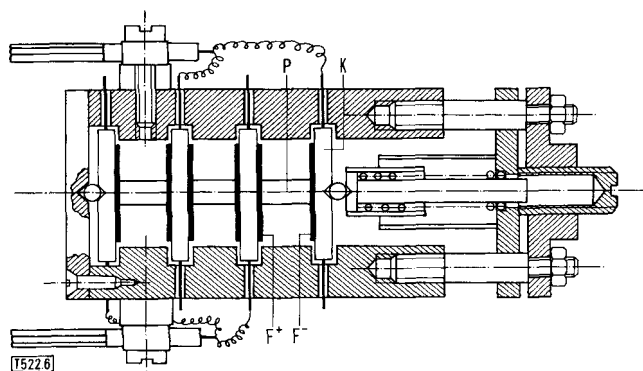


Abb. 6. Vorrichtung zur Bestimmung der elektrolytischen Korrosionswirkung

P : Kunststoffprobe 27 mm x 10 mm x 4 mm

F + : Pluspol-Folie

F - : Minuspol-Folie

K : metallische Kontaktplatte 26 mm x 10 mm x 4 mm

Fig. 6. Apparatus for electrolytic corrosion test

4. Einfluß äußerer Bedingungen

Zum Problem der elektrolytischen Korrosion liegen bisher vergleichsweise nur wenige Veröffentlichungen vor. In den Untersuchungen von Weißler (3) wird u. a. der Einfluß der Prüfbedingungen untersucht. Es schien angebracht, diesen Einfluß bei einer Anzahl von Formmassen nachzuprüfen.

4.1. Anpreßkraft

In der Praxis sind die Kontaktverhältnisse zwischen Metall und Kunststoff nicht einheitlich. Es können einerseits undefinierte Anlagekräfte vorliegen, andererseits kann z. B. bei Einpreßmetallteilen eine 100%-ige Berührung gegeben sein. Bei der Beurteilung der von einem Kunststoff ausgehenden Korrosionswirkung ist aber die Anwendung einer definierten Anpreßkraft zur Erreichung eindeutiger Ergebnisse angebracht, auch wenn sich gezeigt hat (siehe Abb. 7 und Tabelle 3), daß bei einwandfrei hergestellten Prüfflächen im Bereich der vorgeschriebenen Anpreßkraft die Druckabhängig-

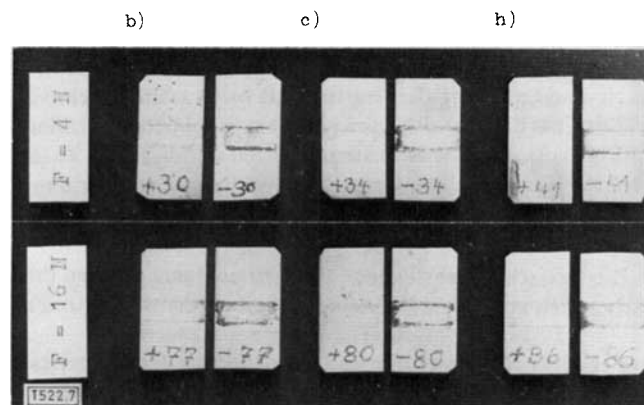


Abb. 7. Elektrolytische Korrosionswirkung bei unterschiedlichen Anpreßkräften

b) : Formstoff b) Phenol-Novolakharz mit Holzmehl

c) : Formstoff c) Phenol-Novolakharz mit Holzmehl

h) : Formstoff h) Harnstoff-Formaldehydharz mit Zellstoff

Fig. 7. Electrolytic corrosion at various pressures

b) : Phenol novolak with wood flour

c) : Phenol novolak with wood flour

h) : Urea formaldehyde resin with pulp

Tabelle 2. Zu den Untersuchungen des Korrosionsverhaltens herangezogene Formmassen

Table 2. Moulding materials used for the corrosion tests

Bezeichnung*	Harz	Harzträger
a) Phenol-Novolakharz	100% Phenol-Novolakharz	—
b) Phenol-Novolakharz mit Holzmehl (31/1600)	44% Phenol-Novolakharz +8% Melamin-Formaldehydharz	43% Holzmehl +4% anorg. Bestandteile
c) Phenol-Novolakharz mit Holzmehl (31/1400)	44% Phenol-Novolakharz	48% Holzmehl +6% anorg. Bestandteile
d) Phenol-Resolharz mit Holzmehl (31.9)	50% Phenol-Resolharz	44% Holzmehl +4% anorg. Bestandteile
e) Phenol-Melaminharz mit Zellstoff	zus. 47% { Phenol-Resolharz + Melamin-Formaldehydharz	48% Zellstoff +4% anorgan. Bestandteile
f) Phenol-Resolharz mit Holzmehl (31.5)	48% Phenol-Resolharz	46% Holzmehl +5% anorgan. Bestandteile
g) Phenol-Novolakharz mit Asbest und Zellstoff	39% Phenol-Novolakharz	ca. 50% Asbestfasern ca. 10% organ. Fasern, vorw. Zellstoff
h) Harnstoff-Formaldehydharz mit Zellstoff (131.5)	52% Harnstoff-Formaldehydharz	46% Zellstoff
i) Melamin-Formaldehydharz mit Holzmehl	53% Melamin-Formaldehydharz	45% Holzmehl

Preßbedingungen:	Preßdruck:	315 bar	Preßtemperatur:	165 °C: a) – g)
	Preßzeit:	3,5 min: b), c), g) 20 min: a)		155 °C: i)
		4 min: d), e), f), h), i)		145 °C: h)

* Die Bezeichnungen in Klammern gelten nach DIN 7708

Tabelle 3. Elektrolytische Korrosionswirkung bei unterschiedlichen Anpreßkräften F.

Auflagefläche: 0,4 cm²

Klimaeinwirkung: 4 Tage 40 °C/92% rel. Luftfeuchte

Spannung: 100 V

Table 3. Electrolytic corrosion at various pressures

Formstoff	Korrosionswirkung nach DIN 53 489 bei Anpreßkraft	
	F = 4 N	F = 16 N
b) Phenol-Novolakharz mit Holzmehl	A/B 1,8	A/B 1,8
c) Phenol-Novolakharz mit Holzmehl (31/1400)	A/B 1,6...1,8	A/B 1,8
h) Harnstoff-Formaldehydharz mit Zellstoff (131.5)	A N 1,2...1,4	A N 1,4

keit nicht so groß ist, wie dies früher angenommen wurde (3). Offensichtlich wird der Flächenanteil mit Berührung bzw. ausreichender Annäherung zwischen Metall und Kunststoff durch eine Erhöhung der Anpreßkraft nicht mehr so sehr vergrößert, daß dies auf die Korrosion von erheblichem Einfluß ist. Eine ausreichende Annäherung ist im vorliegenden Zusammenhang dann gegeben, wenn der Zwischenraum unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen durch den oben beschriebenen wäßrigen Elektrolyten ausgefüllt wird.

Die vielfach festzustellende Erscheinung, daß auf den Prüfflächen sich am Rande Bereiche stärkerer Korrosion abzeichnen (siehe Abb. 7), kann verschieden erklärt werden:

- Verstärkte Stromleitung und damit verbunden ein verstärkter Transport von Ladungsträgern in den dem Einfluß des Feuchtklimas stärker ausgesetzten Randzonen.
- Verbunden mit der stärkeren Klimawirkung auf diese Randzonen ist dort eine größere Anquellung und damit intensivere Berührung mit den metallischen Prüffolien gegeben.
- Beteiligung von Oberflächenströmen am Korrosionsvorgang. Aufgrund der weiteren Ergebnisse sollte den Erklärungen nach a) und b) die größere Bedeutung zugemessen werden.

4.2. Elektrische Spannung

Die Intensität der elektrolytischen Korrosion wurde nach bisherigen Vorstellungen in erster Linie durch die Menge der im Kunststoff freigesetzten korrosiven Bestandteile bestimmt. Die Höhe der anliegenden elektrischen Gleichspannung galt als nicht so bedeutsam.

Für die in Tabelle 2 aufgeführten Formstoffe wurde jedoch eine ausgeprägte Abhängigkeit von der Spannungshöhe festgestellt (siehe Tabelle 4 und Abb. 8). Diesem Befund ent-

Tabelle 4. Elektrolytische Korrosionswirkung bei unterschiedlichen Spannungen

Klimaeinwirkung: 4 Tage 40 °C/92% rel. Luftfeuchte

Table 4. Electrolytic corrosion at various voltages

Formstoff	Korrosionswirkung nach DIN 53 489 bei Gleichspannung	
	100 V	300 V
b) Phenol-Novolakharz mit Holzmehl (31/1600)	A/B 1,8	A/B...B 1,8...2
c) Phenol-Novolakharz mit Holzmehl (31/1400)	A/B 1,6...1,8	A/B...B 2...2,5
h) Harnstoff-Formaldehydharz mit Zellstoff (131.5)	A N 1,2...1,4	A N...A/B 1,6

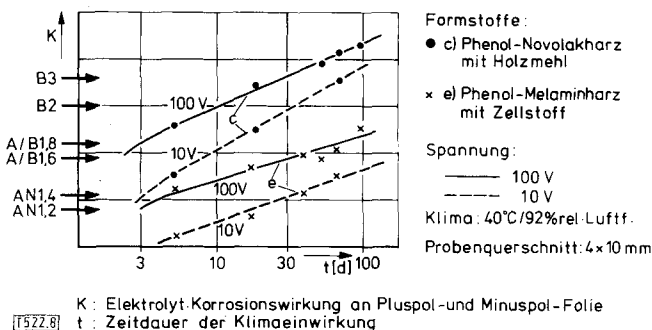
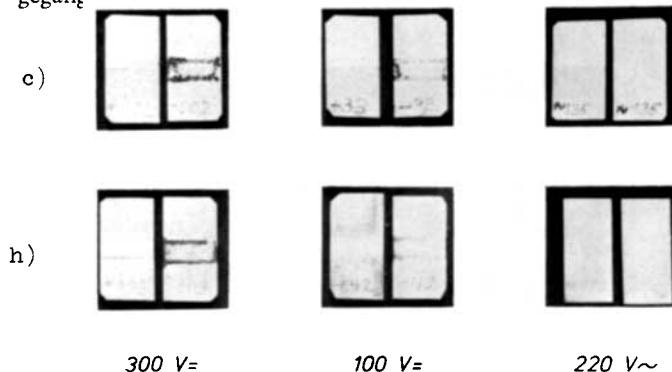


Abb. 8. Elektrolytische Korrosionswirkung bei unterschiedlichen Spannungen

Fig. 8. Electrolytic corrosion at various electrical voltages

spricht, daß bei Einwirkung von Wechsellspannung keine bzw. nur eine geringe Korrosionswirkung zu verzeichnen ist (siehe Tabelle 5 und Abb. 9).

Im Zusammenhang mit der Menge der im Kunststoff enthaltenen oder freigesetzten korrosiven Substanzen stellt sich die Frage, ob nach längeren Einwirkungszeiten höherer elektrischer Spannungen mit einer gewissen Verarmung an Ladungsträgern zu rechnen ist. Hierauf wird in Abschnitt 6 eingegangen werden.



T522.9 Klimaeinwirkung: 4 Tage 40/92

Abb. 9. Elektrolytische Korrosionswirkung bei unterschiedlichen Spannungen

c) : Formstoff c) Phenol-Novolakharz mit Holzmehl

h) : Formstoff h) Harnstoff-Formaldehydharz mit Zellstoff

Fig. 9. Test specimen of brass Ms 63 after electrolytic corrosion at various electrical voltages

c) : Phenol novolak with wood flour

h) : Urea formaldehyde resin with pulp

4.3 Klimaeinwirkung und Zeit

Von ausschlaggebender Bedeutung für die elektrolytische Korrosion ist das umgebende Klima. Stellvertretend für zahlreiche Untersuchungsergebnisse sind die an einem Formstoff c) Phenol-Novolakharz mit Holzmehl ermittelten Werte in Tabelle 6 aufgeführt (siehe auch Abb. 10). Für die in allen Fällen festgestellte und durchaus verständliche Zunahme der Korrosionswirkung bei erhöhter Temperatur und gesteigerter Luftfeuchte sind zwei Gründe anzuführen:

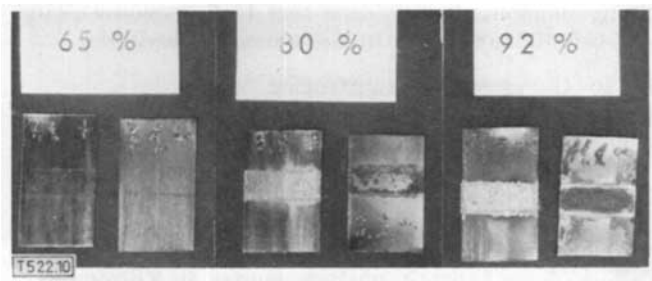


Abb. 10. Elektrolytische Korrosionswirkung bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen

Klimaeinwirkung: 4 Tage 60 °C/65...92% rel. LF

Spannung: 100 V

Formstoff c): Phenol-Novolakharz mit Holzmehl

Fig. 10. Test specimens of brass Ms 63 after electrolytic corrosion at various test conditions.

Test conditions: 4 days at 60 °C, relative humidity 65%...92%

Voltage: 100 V

Moulded material: Phenol novolak with wood flour

Tabelle 5. Elektrolytische Korrosionswirkung bei Gleich- und Wechsellspannung; Klimaeinwirkung: 4 Tage 40 °C/92% rel. Luftfeuchte
Table 5. Electrolytic corrosion at direct and alternating voltage

Formstoff	Aushärtungsbedingungen	Korrosionswirkung nach DIN 53 489	
		bei Gleichspannung 100 V	bei Wechsellspannung 220 V (nur Minuspol)
b) Phenol-Novolakharz mit Holzmehl (31/1600)	3 min 145 °C	A/B 1,8...B 2	1,0...1,2
	3 min 165 °C	A/B 1,8	1,0
c) Phenol-Novolakharz mit Holzmehl (31/1400)	3 min 145 °C	A/B 1,8...B 2	1,0...1,2
	3 min 165 °C	A/B 1,6...1,8	1,0...1,2
h) Harnstoff-Formaldehydharz mit Zellstoff (131.5)	3 min 130 °C	A/B...B 1,8	1,0...1,2
	3 min 145 °C	A N 1,2...1,4	1,0

Tabelle 6. Elektrolytische Korrosionswirkung durch Formstoff c) Phenol-Novolakharz mit Holzmehl auf Ms 63 bei verschiedenen klimatischen Bedingungen nach 4 Tagen. Äußere Spannung: 100 V, Anpreßkraft: 4 N \approx 0,4 kp bei 4 cm² Auflagefläche, Bewertung der Korrosionswirkung: siehe Tabelle 1.

Table 6. Electrolytic corrosion with Phenol-novolak on brass Ms 63 at varying test conditions

Temperatur (°C)	Relative Luftfeuchte (%)	Korrosionswirkung		Isolationsstrom durch die Kunststoffprobe (µA)		
		an der Pluspolfolie	an der Minuspolfolie	nach 1 Stunde	nach 1 Tag	nach 4 Tagen
20	65	A	1 - 1,2	0,16	0,18	0,08
	80	A	1 - 1,2	0,22	0,12	0,12
	92	AN	1,2 - 1,4	0,23	0,18	0,35
	100	AN - A/B	1,6 - 1,8	8,7	1,1	1,8
40	65	A	1	0,02	0,02	0,01
	80	A - AN	1 - 1,2	0,06	0,02	0,02
	92	A/B	1,8	1,3	1,1	1,1
	100	A/B - B	2	2,0	2,6	3,5
60	65	AN	1,4	0,17	0,24	0,1
	80	A/B - B	2	1,7	4,3	7,4
	92	B	2 - 3	31	33	11
	80	B	4	12	27	37
80	92	B	4	165	28	35

- a) leichtere Ausbildung eines Feuchtigkeitsfilmes zwischen Metall und Kunststoff bei höherer Luftfeuchte
- b) gesteigerte Wanderungsgeschwindigkeit korrosiver Ionen bei erhöhter Temperatur und stärkerer Feuchtigkeitswirkung auf den Kunststoff.

Die unter b) genannte Erscheinung läuft parallel mit einer Erhöhung des an den Kunststoffproben gemessenen Isolationsstromes (siehe Tabelle 6 und Abschnitt 6). Es können aus den vorliegenden Ergebnissen folgende Grenzwerte für die relative Luftfeuchte abgelesen werden, unterhalb derer die elektrolytische Korrosionswirkung mit ansteigender Luftfeuchte nur wenig zunimmt, oberhalb derer aber die Korrosionswirkung sich bei Erhöhung der Luftfeuchte merklich verstärkt:

bei 20 °C: ca. 92% rel. Luftfeuchte
 bei 40 °C: ca. 80% rel. Luftfeuchte
 bei 60 °C: ca. 70% rel. Luftfeuchte

Es muß jedoch beachtet werden, daß auch unterhalb dieser Grenzen nach längeren Zeiten eine merkliche Einwirkung auf die metallischen Oberflächen möglich ist. Zur Untersuchung dieses Langzeitverhaltens wurden die Korrosionsversuche über längere Zeiträume ausgedehnt. Die Ergebnisse (siehe auch Abb. 8) zeigen, daß eine „Erschöpfung“ der Korrosionswirkung nach längeren Zeiten zunächst nur insofern eintritt, als bei bereits umfangreichen Korrosionserscheinungen ein weiteres Fortschreiten der Korrosion sich nicht mehr in einer wesentlichen Veränderung des äußeren Erscheinungsbildes auswirkt. Beispielsweise war bei Formstoffen, deren Korrosionswirkung nach 14 Tagen mit B 3–4 bewertet wurde, nach 46 Tagen nur noch die höchstmögliche Stufe B 4 erreicht worden. In diesem Stadium ist aber eine Einwirkung der Korrosion auf tiefer liegende, noch ungeschädigte Metallschichten durchaus möglich, auch wenn sich dies auf das Ergebnis der rein visuellen Beurteilung nur wenig auswirkt. Die Querschnitte durch korrodierte Bereiche zeigen nämlich eine nicht unbeträchtliche Ausdehnung der geschädigten Werkstoffzonen in Angriffsrichtung (siehe Abschnitt 8 und Abb. 24).

Eine merkliche Intensivierung des Korrosionsvorganges nach einer gewissen Anlaufzeit wurde in keinem Falle festgestellt, obwohl dies nach der gemessenen zeitlichen Abhängigkeit der Isolationsströme möglich erschien.

5. Einfluß von Eigenschaften des Kunststoffes

Ebenso wie die äußeren Bedingungen sind die besonderen Eigenschaften der einzelnen Kunststoffe für die elektrolytische Korrosion von Bedeutung. Dabei spielen der Gehalt an korrosiven Bestandteilen, deren Beweglichkeit und die elektrische Leitfähigkeit eine Rolle. Aus diesen Gründen kann für die untersuchten Formstoffe ein unterschiedliches Verhalten erwartet werden.

5.1 Verarbeitungsbedingte Eigenschaften der Duroplaste

Die hierzu vorgenommenen Untersuchungen zeigten, daß die elektrolytische Korrosionswirkung bei Pheno- und Aminoplasten durch eine optimale Aushärtung in gewissen Grenzen gehalten werden kann (siehe Abb. 11). Dies legt den Schluß nahe, daß bei bestmöglicher Aushärtung, d. h. bei günstigem Vernetzungsgrad, das Eindringen von Feuchtigkeit und die

Transgressionsmöglichkeit korrosiver Ionen nach Feuchtigkeitseinwirkung eingeschränkt werden. Dafür spricht auch folgende Tatsache: Durch eine zunehmende Aushärtung von Duroplasten werden ihre elektrischen Eigenschaften im „Trockenzustand“ meist kaum verbessert (4). Im vorliegenden Falle stellt sich bei unterschiedlicher Aushärtung dennoch ein kennzeichnender Unterschied in den Isolationsströmen ein, die zwischen den metallischen Prüffolien durch die Kunststoffproben fließen. Für den sich dabei ergebenden Korrosionsumfang ist die gleiche Tendenz zu verzeichnen (siehe Abb. 12).

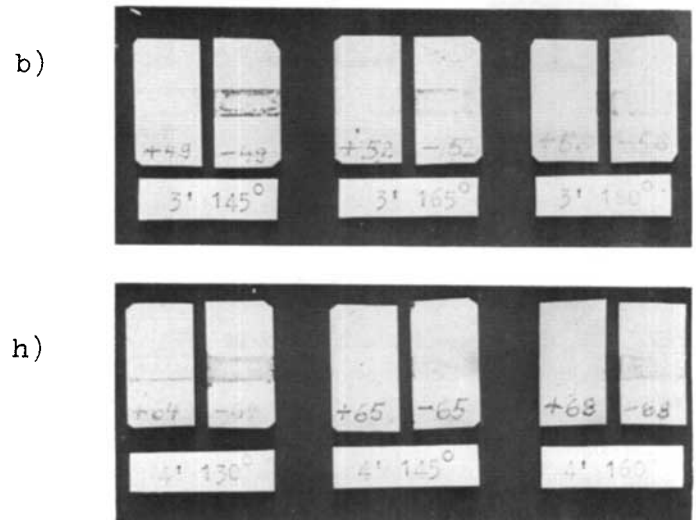
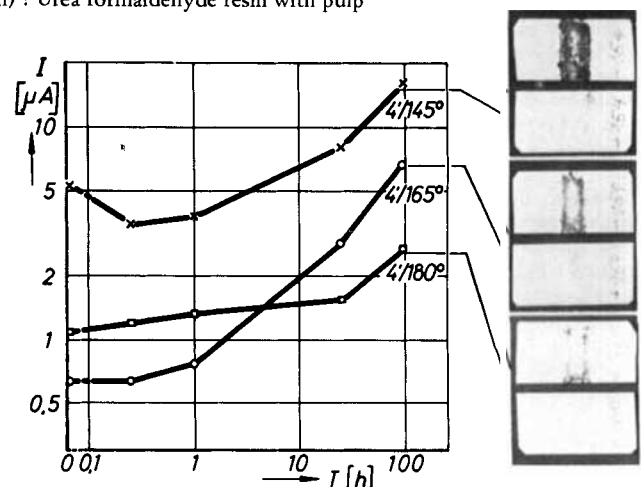


Abb. 11. Elektrolytische Korrosionswirkung durch Duroplaste unterschiedlicher Aushärtung
 b) : Formstoff b) Phenol-Novolakharz mit Holzmehl
 h) : Formstoff h) Harnstoff-Formaldehydharz mit Zellstoff

Fig. 11. Test specimen after electrolytic corrosion by moulded materials of various curing conditions
 b) : Phenol novolak with wood flour
 h) : Urea formaldehyde resin with pulp



Isolationsstrom I in Abhängigkeit von der Zeitdauer T

Duroplast: Typ 31/1449, Meßsp.: 100 V
 Prüffolie: Ms 63, Klima: 40/92

Abb. 12. Elektrolytische Korrosionswirkung bei unterschiedlichen Preßbedingungen
 Fig. 12. Electrolytic corrosion with moulded materials of various curing conditions

Dieser Vorstellung entspricht der Befund, daß besonders solche Formstoffe auf eine Unterhärtung mit einer verstärkten Korrosionswirkung reagieren, die bei ungenügender Aushärtung gegenüber Feuchtigkeitseinwirkung empfindlich sind, wie z. B. Formstoffe auf der Basis von Harnstoff-Formaldehydharz (s. Probe h) in Abb. 11. Ein solches Verhalten ist um so bemerkenswerter, als solche Formstoffe in gut ausgehärtetem Zustand sich nicht als besonders korrosiv erweisen und auch ihr Gehalt an korrosiven Bestandteilen keineswegs besonders hoch ist (s. Formstoff h in *Tabelle 7*).

Inwieweit auch andere, hier nicht untersuchte duroplastische Formstoffe, wie z. B. Polyester- und Epoxidharze, bei ungenügender Aushärtung eine verstärkte Korrosionswirkung zeigen, ist nicht mit Sicherheit vorherzusagen. Immerhin sollte dort, wo dadurch hydrophile und korrosive Reaktionskomponenten unvollständig in die Harzmatrix eingebaut werden, eine gewisse Vorsicht angebracht sein. Eine sich ergebende Verstärkung der Korrosionswirkung beruht in solchen Fällen allerdings vorwiegend auf anderen Mechanismen, als dies oben für Pheno- und Aminoplaste abgeleitet wurde.

5.2 Zusammensetzung der Duroplaste

Geht man von der Zusammensetzung der untersuchten Duroplaste aus, so liegt zunächst der Schluß nahe, deren Gehalt an den verschiedenen korrosiven Bestandteilen mit der elektrolytischen Korrosionswirkung in direkte Beziehung zu setzen. Nach einem ersten Vergleich der in *Tabelle 7* aufgeführten Ergebnisse wäre ein solcher Zusammenhang durchaus zu vermuten. Daß einzelnen korrosiven Bestandteilen auch bei der elektrolytischen Korrosion eine ausschlaggebende Bedeutung zukommt, ergibt sich bereits aus der Art der Korrosionsprodukte und wird ferner aus der Korrosionswirkung einiger Thermoplaste deutlich (s. Abschnitt 7). Daneben müssen aber, wie z. B. auch ein Vergleich von Formstoff g) mit Formstoff h) in *Tabelle 7* zeigt, noch andere Faktoren berücksichtigt werden. Es sind dies insbesondere die Diffusionswiderstände für Feuchtigkeit und für korrodierende Ionen. Letzterer ist außer von der Art dieser Ionen zunächst von der Struktur des Harzes abhängig. Weiterhin wirken sich die Struktur der Füllstoffe und deren Benetzung, d. h. Harztränkung, auf den Ionentransport aus. So zeigte das mit Formstoff a) bezeichnete reine Phenolharz fast keine elektrolytische Korrosionswirkung, obwohl ein gewisser Gehalt an flüchtigen Säuren festgestellt worden war (1). Einige der genannten Faktoren haben andererseits auf die Entwicklung

und den Gehalt an flüchtigen korrosiven Bestandteilen wie Essigsäure und dgl. wesentlichen Einfluß. Dies bedeutet, daß die oft vermutete Beziehung zwischen Säuregehalt und elektrolytischer Korrosionswirkung auch indirekt gegeben sein kann, indem beide Größen von den gleichen Formstoffeigenschaften bestimmt werden. Eine direkte ursächliche Abhängigkeit der Korrosionswirkung von dem Säuregehalt kann daher durchaus erst in zweiter Linie vorliegen.

6. Elektrolytische Korrosion und Isolationsstrom

Bei den beschriebenen Untersuchungen wurde festgestellt, daß die Aufzeichnung des zwischen Metallfolien durch die Kunststoffprobe fließenden Stromes eine Möglichkeit bietet, den Korrosionsvorgang messend zu verfolgen. Der Korrosionsvorgang selbst kann dann als die elektrolytische Konsequenz dieses Stromflusses gelten. Dabei ist jedoch zu beachten, daß einerseits allein schon durch die Ausbildung einer elektrolytischen Grenzschicht zwischen Kunststoff und Metalloberfläche Möglichkeiten zu Korrosionserscheinungen gegeben sind, worauf bereits hingewiesen wurde. Die durch den Ladungstransport bewirkten Stromdichten reichen auch bei schwierigen klimatischen Bedingungen und bei korrosiven Kunststoffen nur deshalb zu einem wirksamen Angriff auf schützende Passivschichten aus, weil sich die Ströme auf einige wenige Teilflächen konzentrieren. Die an galvanischen Schutzschichten gewonnenen Ergebnisse zeigen daher trotz der hohen äußeren Spannungen nur vereinzelt Spuren korrosiven Angriffes.

Trotzdem kann die gesamte während des Korrosionsvorganges geflossene Elektrizitätsmenge einen ersten Anhalt für den zu erwartenden Korrosionsumfang liefern, wobei Grenzen hinsichtlich der zu erwartenden Genauigkeit durch die oben beschriebenen Abweichungen von der qualitativ exakten elektrolytischen Umsetzung gegeben sind. Ferner ist in diesem Zusammenhang folgendes zu berücksichtigen: Der gesamte Isolationsstrom setzt sich zusammen aus dem durch das Innere der Kunststoffprobe fließenden Strom und dem Oberflächenstrom. Es muß fraglich bleiben, ob letzterer in gleichem Maße an der Erzeugung einer korrosiven Elektrolytschicht zwischen Kunststoff und Metalloberfläche beteiligt ist. Die Messungen, bei denen nur der innere Isolationsstrom erfaßt wird, ergaben immerhin ein einheitlicheres und eindeutigeres Bild, als es die Messung des Gesamtstromes lieferte (siehe *Abb. 13*).

Tabelle 7. Elektrolytische Korrosionswirkung duroplastischer Formstoffe unterschiedlichen Gehaltes an korrosiven Bestandteilen (siehe auch *Tabelle 2*), 100 V; 4 Tage 40/92°

Table 7. Electrolytic corrosion with thermosetting materials of different contents of corrosive ingredients

Bezeichnung des Formstoffes	Elektrolytische Korrosionswirkung nach DIN 53 489	ES Flüchtige Säuren als CH ₃ COOH %	SN Säure nach Naßdampf- wirkung %	N Freies Ammoniak %	Ph Freies Phenol %
c) Phenol-Novolakharz mit Holzmehl (31/1400)	A/B 1,8 – 2,0	0,62	1,02	0,41	0,35
d) Phenol-Resolharz mit Holzmehl (31.9)	AN 1,4 (---A/B 1,6)	0,31	0,80	0,01	0,59
e) Phenol-Melaminharz mit Zellstoff	AN 1,4	0,12	0,17	0,02	0,58
g) Phenol-Novolakharz mit Asbest u. Zellstoff	A/B 1,6 – 1,8	0,40	0,46	0,39	0,46
h) Harnstoff-Formaldehydharz mit Zellstoff (131.5)	A – AN 1,2	0,22	0,40	0,03	0,04

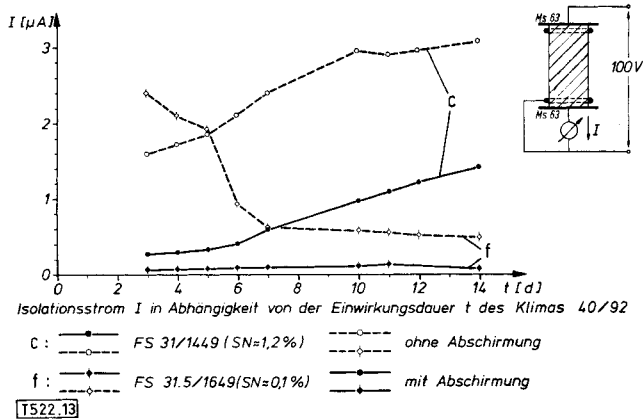


Abb. 13. Isolationsstrom bei elektrolytischer Korrosion
c: Formstoff c) Phenol-Novolakharz mit Holzmehl
f: Formstoff f) Phenol-Resolharz mit Zellstoff
Fig. 13. Insulation current at electrolytic corrosion
c): Phenol novolak with wood flour
f): Phenol resol with pulp

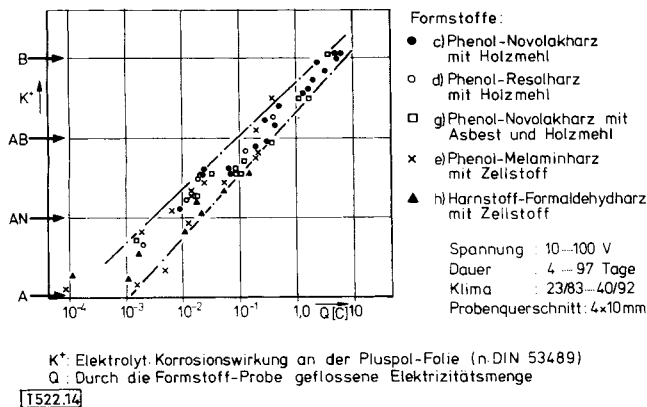


Abb. 14. Elektrolytische Korrosion bei unterschiedlichen Formstoffen und äußeren Bedingungen. Korrosionswirkung an der Pluspol-Folie
Fig. 14. Electrolytic corrosion with moulded materials at various test conditions. Corrosion of the positive pole foil

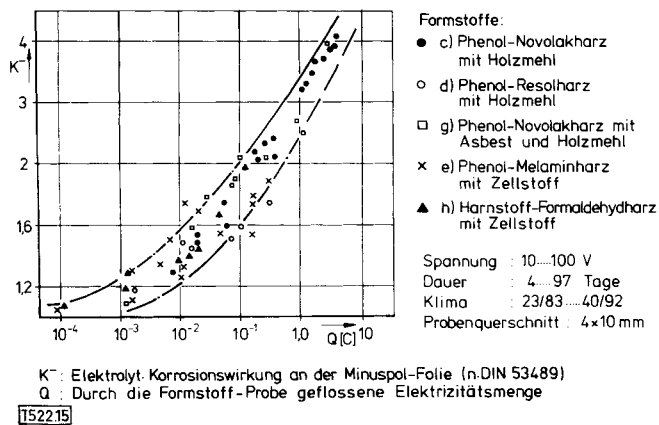


Abb. 15. Elektrolytische Korrosion bei unterschiedlichen Formstoffen und äußeren Bedingungen. Korrosionswirkung an der Minuspol-Folie
Fig. 15. Electrolytic corrosion with moulded materials at various test conditions. Corrosion of the negative pole foil

Unter Berücksichtigung der so aufgezeigten Einschränkungen kann der in Abb. 14–16 für unterschiedliche Formstoffe Spannungen, Zeiten und klimatische Bedingungen festgestellte Zusammenhang zwischen Korrosionswirkung und Elektrizitätsmenge als durchaus eindeutig gelten.

Eine genauere Untersuchung der Zeitabhängigkeit des Stromes zeigt, daß bei hohen Spannungen sich nach längeren Zeiten eine gewisse Abnahme des Isolationsstromes einstellt (Abb. 17 und 18). Hieran kann möglicherweise eine Verar-

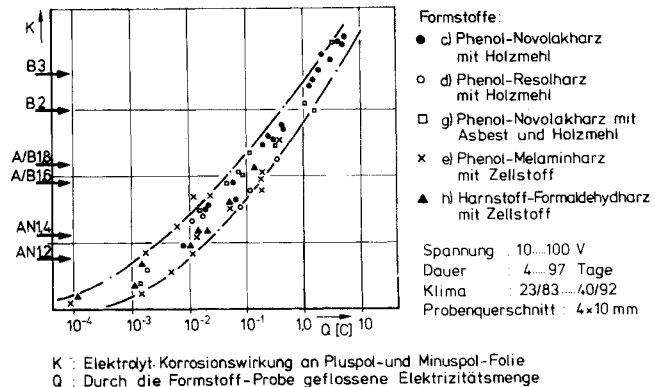


Abb. 16. Elektrolytische Korrosion bei unterschiedlichen Formstoffen und äußeren Bedingungen
Fig. 16. Electrolytic corrosion with moulded materials at various test conditions

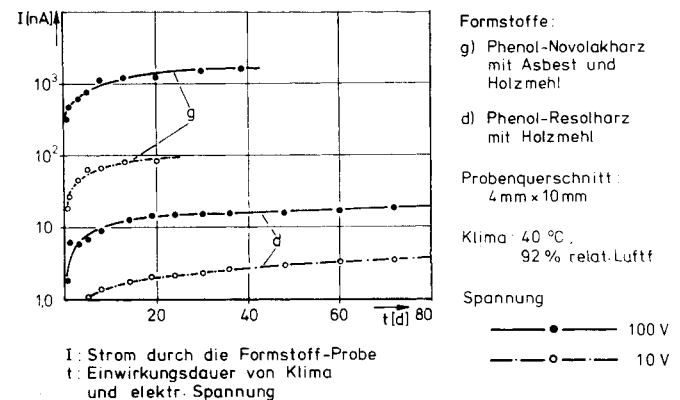


Abb. 17. Stromfluß durch den Formstoff bei elektrolytischer Korrosion
Fig. 17. Insulation current at electrolytic corrosion

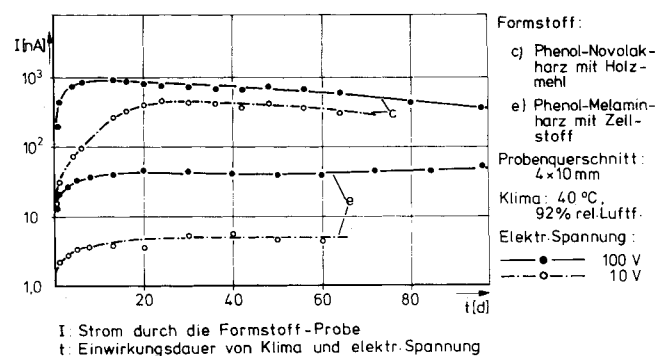


Abb. 18. Stromfluß durch den Formstoff bei elektrolytischer Korrosion
Fig. 18. Insulation current at electrolytic corrosion

mung des Probeninneren an Ladungsträgern, auch an solchen mit Korrosionswirkung, beteiligt sein. Eine merkliche Verringerung der gesamten elektrolytischen Korrosionswirkung läßt sich hieraus allerdings noch nicht ableiten. Bei niedrigeren Spannungen oder weniger feuchtem Klima trat eine Verringerung des Isolationsstromes noch nicht ein.

Insgesamt gesehen kann aber aus der festgestellten Beziehung zwischen umgesetzter Ladungsmenge und entstandenem Korrosionsumfang auf eine hinreichende Aussagekraft der Kurzzeituntersuchungen geschlossen werden. Diese Schlüssigkeit gilt zumindest für die vergleichende Beurteilung der Korrosionswirkung von Kunststoffen. Für die Kurzzeituntersuchung ist ein Zeitraum von 4 Tagen allerdings als die unterste Grenze anzusehen, bei der eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse noch erwartet werden kann.

7. Elektrolytische Korrosion durch weitere Kunststoffe

Aufgrund ihres meist größeren Isolationsvermögens und ihres geringeren Gehaltes an korrosiven Begleitstoffen weisen Thermoplaste gegenüber Pheno- und Aminoplasten im allgemeinen eine geringere Korrosionswirkung auf. Daß dabei auch gewisse Ausnahmen möglich sind, zeigen die in Abb. 19 dargestellten Ergebnisse:

Ein Formstoff Typ 801 (in Abb. 19 bezeichnet als UP) und ein Hochdruck-Polyäthylen PE verhalten sich nahezu neutral. Die beiden Polyamidsorten PA (1) und PA (2) ergeben hingegen eine deutliche Wirkung auf die Prüffolien. Diese verstärkte Wirkung ist im Zusammenhang mit der nicht unbedeutlichen Feuchtigkeitsaufnahme der Polyamide zu sehen. Werden die beiden Materialien über das übliche Maß hinaus mit Stabilisatoren gegen Wärmealterung ausgerüstet, so bewirkt dies einen erheblichen Anstieg der Korrosionswirkung.

Auch aus einer größeren Anzahl weiterer Untersuchungen kann als wesentliche Feststellung abgeleitet werden:

1. Bei Kunststoffen macht sich eine elektrolytische Korrosion erst dann bemerkbar, wenn sie in merklichem Maße Feuchtigkeit aufnehmen.
2. Eine Erhöhung des Gehaltes an ionogenen Begleitstoffen wie Stabilisatoren, Katalysatoren und dgl. verstärkt die elektrolytische Korrosionswirkung erheblich.

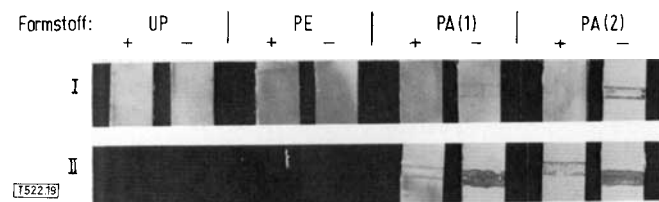


Abb. 19. Elektrolytische Korrosion bei unterschiedlichem Gehalt an korrosiven Bestandteilen

I) normal

II) mit verstärkter Wärmestabilisierung

Fig. 19. Electrolytic corrosion at various contents of corrosive ingredients

I) normal

II) with increased content of heat-stabilizer

8. Elektrolytische Korrosion an verschiedenen Metallen

Die bisher aufgeführten Untersuchungsergebnisse wurden alle an Ms 63 ermittelt. Setzt man bei den als „Elektroden“ wirkenden Prüffolien andere metallische Werkstoffe ein, so sollte sich an den Vorgängen, soweit sie sich im Bereich der

Kunststoffprobe abspielen, nichts wesentliches ändern.

So waren dann auch die an Prüfanordnungen mit verschiedenen Metallen gemessenen Isolationsströme innerhalb des jeweiligen Streubereiches gleich. Dessen ungeachtet können sich an den verschiedenen Metalloberflächen durchaus unterschiedliche Auswirkungen ergeben. Dabei bleibt offen, ob für die Sicherheit eines elektrischen Betriebsmittels am Pluspol oder am Minuspol die größere Gefährdung gegeben ist.

Bei Messing scheint am Pluspol dann die Gefährdung größer zu sein, wenn durch die Entzinkung, welche nach Abb. 20a tief in das metallische Gefüge hineinreicht, die Möglichkeit einer Leiterunterbrechung gegeben ist. Andererseits ist bei empfindlichen Kontakt- und Übergangswiderständen die Minuspoleseite wegen der dort auftretenden Oxydationsprozesse möglicherweise den kritischeren Beanspruchungen ausgesetzt (Abb. 20b).

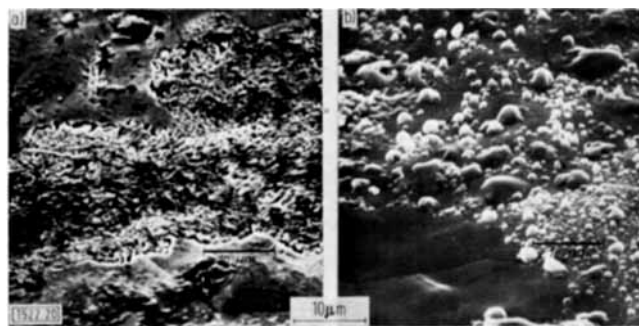


Abb. 20 bis 23. Korrosionserscheinungen an Ms 63 und an galvanischen Schichten auf Ms 63 nach elektrolytischer Korrosion durch einen Phenoplasten mit 70% Holzmehl

Elektr. Spannung: 100 V

Klimaeinwirkung: 4 Tage 40 °C/92% rel. Luftfeuchte

a) Korrosionserscheinungen am Pluspol

b) Korrosionserscheinungen am Minuspol

Fig. 20 to 23. Electrolytic corrosion on brass Ms 63 and on plated layers upon brass with a phenoplast containing 70% wood flour

Voltage: 100 V

Test condition: 4 days at 40 °C, 92 rel. humidity

a) corrosion at the positive pole foil

b) corrosion at the negative pole foil

Abb. 20. Elektrolytische Korrosion an Ms 63, bei a) Bereich der Entzinkung

Fig. 20. Electrolytic corrosion on brass Ms 63; area of dezincation in a)

Bei Untersuchungen an Flächen aus anderen Metallen können die sich ergebenden Korrosionsumfänge in ihrer Schadenswirkung wegen der unterschiedlichen Erscheinungsbilder nicht ohne weiteres miteinander verglichen werden. Immerhin wurde aus einer Reihe von Versuchen mit unterschiedlichen Metallfolien bzw. galvanisierten Messingfolien folgende Reihenfolge in der Resistenz gegenüber elektrolytischer Korrosionswirkung abgeleitet:

Starker Korrosionsumfang: Zink (galvan.)

Messing Ms 63

Weniger starker

Korrosionsumfang:

Bronze, Kupfer

Cadmium (galvan.)

Geringer Korrosionsumfang: Nickel (galvan.)

Chrom (galvan.)

Diese Abstufung, die auch in Abb. 21–23 zum Ausdruck kommt, entspricht im wesentlichen dem sonstigen Korrosionsverhalten dieser Metalle. Hierbei ist die gegenüber Kupfer etwas ungünstigere Einstufung von Ms 63 insbesondere auf die bereits oben erwähnte tiefergreifende Entzinkung begründet, da

bei Kupfer und den übrigen Materialien eine eventuelle Abtragung eher flächig erfolgt.

Der Schutz durch galvanische Schichten ist naturgemäß nur gegeben, wenn diese unversehrt sind. So erwiesen sich Ni-Schichten mit einer Dicke von 7 µm auch als einigermaßen resistent, doch trat bei fortgeschrittener Korrosionsbeanspruchung an vereinzelten Stellen nach dem Durchbruch der Schutzschicht im darunterliegenden Messing eine Schädigung durch Entzinkung ein, die in ihrem Umfang mit derjenigen an ungeschütztem Messing vergleichbar ist (siehe Abb. 24a und b).

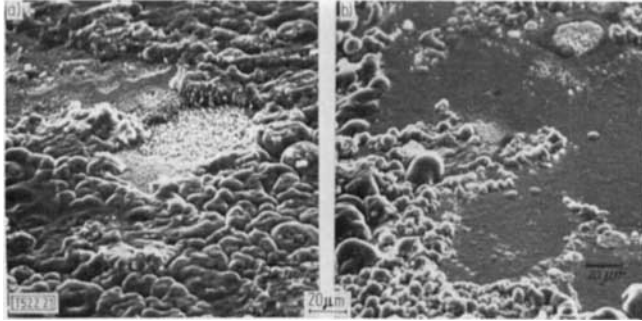


Abb. 21. Elektrolytische Korrosion an galvanischen Zinkschichten
Fig. 21. Electrolytic corrosion on plated zinc

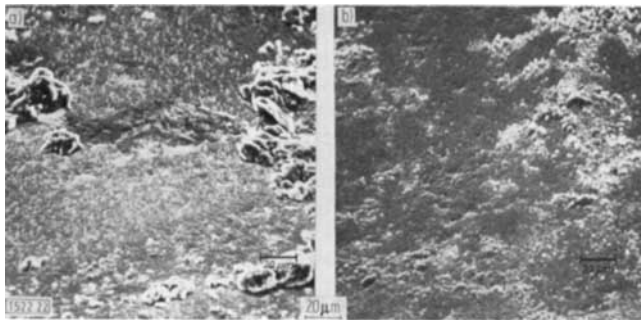


Abb. 22. Elektrolytische Korrosion an galvanischen Kadmiumschichten
Fig. 22. Electrolytic corrosion on plated cadmium

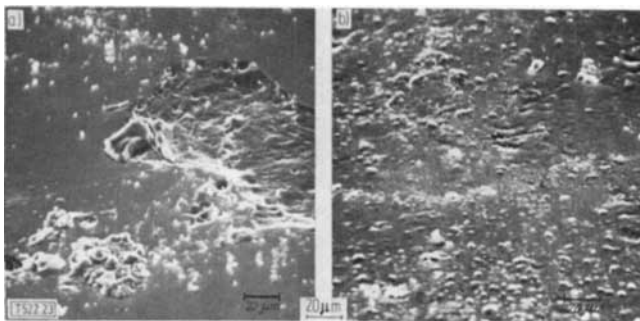


Abb. 23. Elektrolytische Korrosion an galvanischen Nickelschichten (in der rechten Bildhälfte bei a) außergewöhnliche, für Ni-Schichten nicht typische Schädigung der Oberfläche)
Fig. 23. Electrolytic corrosion on plated nickel (in the right part of a) unusual damage of the surface)

9. Zusammenfassung

Kunststoffe, die mit metallischen Oberflächen in einem direkten Kontakt stehen, können an diesen unter der Ein-

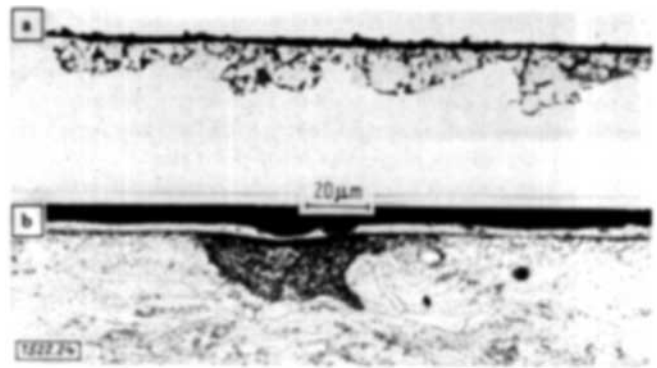


Abb. 24. Entzinkung von Ms 63 nach elektrolytischer Korrosion durch einen Phenoplasten mit 70% Holzmehl
Elektr. Spannung: 100 V
Klimaeinwirkung: 4 Tage, 40 °C/92% rel. Luftfeuchte
Querschnitte durch korrodierte Bereiche:
a) an Ms 63 ohne galvanische Schutzschicht
b) an Ms 63 mit teilweise geschädigter Nickelschicht (Sollwert der Schichtdicke: 7 µm)

Fig. 24. Dezincation of brass Ms 63 after electrolytic corrosion a phenoplast containing 70% wood flour.

Voltage: 100 V
Test conditions: 4 days at 40 °C, 92 rel. humidity
cross-section of the corrodes area:
a) on Ms 63
b) on brass Ms 63 with a partial hurt layer of plated nickel

wirkung einer elektrischen Gleichspannung elektrolytische Korrosionswirkungen auslösen. Von Seiten des Kunststoffes sind für die Intensität der Korrosion seine Feuchtigkeitsaufnahme, der Gehalt an bestimmten ionogenen Begleitstoffen und ferner der Diffusionswiderstand für Feuchtigkeit und korrosive Ionen maßgebend. Die genannten Eigenschaften sind neben der Höhe der Gleichspannung auch für die Größe des fließenden Isolationsstromes entscheidend, so daß die geflossene Ladungsmenge einen Anhalt für den entstandenen Korrosionsumfang liefert. Die Erhöhung von Temperatur und Luftfeuchte wirkt intensivierend auf den Korrosionsvorgang, ebenso wie eine Unterhärtung bei Duroplasten. Die im Kurzzeitversuch nach DIN 53 489 gewonnenen Ergebnisse lassen mit einiger Sicherheit Schlüsse auf das Langzeitverhalten zu. Durch galvanische Schutzschichten aus Chrom und/oder Nickel und in gewissem Maße auch durch solche aus Cadmium können metallische Bauteile gegenüber den Wirkungen elektrolytischer Korrosion widerstandsfähiger gemacht werden.

Literatur

1. Loos, W.: Untersuchungen von Korrosionserscheinungen, ausgelöst durch duroplastische Formstoffe (Teil 1). Zeitschrift für Werkstofftechnik 6 (1975) 315–324.
2. DIN 53 489 Prüfung von elektrischen Isolierstoffen, Beurteilung der elektrolytischen Korrosionswirkung: Erläuterungen.
3. Weißler, E. P.: „Prüfung der Korrosionswirkung von Kunststoffen auf Metalle“, Kunststoffe 48 (1958) 213
4. Wallbäuer, H. und Loos, W.: „Einfluß von Verarbeitung und Klima auf die elektrischen Eigenschaften von Preßstoffen“, Kunststoffe 55 (1965) 785

Anschrift: Dr.-Ing. W. Loos, Institut für Werkstoffkunde, TH Darmstadt, 61 Darmstadt, Grafenstr. 2.