

## Durch Brandgase verursachte Korrosionsfolgeschäden

### 1. Korrosionsversuche mit Brandgasen organischer Werkstoffe

Dr. K. Fischer

Übersicht Teil 1:

1. Versuchskonzeption
2. Versuchsmaterialien
3. Beaufschlagung der Proben
  - 3.1. Apparatur
  - 3.2. Durchführung
4. Untersuchungen an den beaufschlagten Proben
5. Ergebnisse der Untersuchungen
  - 5.1. Das makroskopische Korrosionsbild
  - 5.2. Chemisch-analytische Untersuchung der Korrosionsprodukte
  - 5.3. Röntgenografische Untersuchung der Korrosionsprodukte
  - 5.4. Rauhtiefenmessung
  - 5.5. Funktionsuntersuchungen an elektrotechnischen Teilen
6. Auswertung der Ergebnisse

Als in den Jahren 1968–1970 die Frage der Folgekorrosionsschäden durch salzsäurehaltige Brandgase ein Hauptthema in der Diskussion zwischen Versicherungswirtschaft und Industrie war, befaßten sich die ersten Untersuchungen und Feststellungen zunächst mit den Schadensmöglichkeiten an Bauteilen und Baustoffen. Hierüber sowie über Fragen des vorbeugenden Sch-

den schutzes und der Schadenbeseitigung ist an verschiedenen Stellen berichtet worden [1–9]. Die mit der Untersuchung dieser Fragen befaßte Kommission des Ständigen Technischen Kontaktausschusses zwischen dem Verband der Sachversicherer und dem Bundesverband der Deutschen Industrie hatte von Beginn ihrer Arbeit im Jahr 1968 an – nach Prüfung der praktischen Schadensfälle – aus sachlichen Erwägungen heraus den gesamten Problembereich der Korrosionsfolgeschäden in zwei Bereiche unterteilt:

1. Gebäudeschäden – der Einfluß korrodierend wirkender Brandgase auf Baustoffe und Bauteile.
2. Einrichtungsschäden – Korrosionswirkungen durch Brandgase auf industrielle Einrichtungen (Maschinen, metallisches Lagergut, Produktionsgeräte und -anlagen usw.).

Es war von Beginn an erkennbar, daß die Korrosionsschäden an Einrichtungen, wegen der großen Breite der Schadensmerkmale und wegen der unterschiedlichsten Situationen, in denen Oberflächen mit Brandgasen beaufschlagt werden können, der weitaus schwierigere Teil der Untersuchungen sein würde. Inzwischen sind auch hier – hauptsächlich von Instituten der Versicherungswirtschaft – umfangreiche Untersuchungsergebnisse vorgelegt worden [5, 7, 10, 11].

Alle diese Untersuchungen gingen jedoch von salzsäurehaltigen Brandga-

sen (PVC-Zersetzungsprodukte) aus und ermöglichten dementsprechend Praxisrückschlüsse nur in solchen Fällen, in denen PVC oder andere chlorwasserstoffabspaltende Stoffe am Brandgeschehen beteiligt waren.

Als Ergänzung dieser Arbeiten hatte sich die o. g. Kommission die Aufgabe gesetzt, die Korrosionswirkung von Brandgasen allgemeiner zu untersuchen, um so die Wirkungen von PVC-Zersetzungsprodukten mit den Zersetzungsprodukten anderer brennbarer Stoffe vergleichbar zu machen. Auf diese Weise sollte das Risiko von Korrosionsfolgeschäden nicht nur als spezielles Problem der Beteiligung von PVC an Bränden, sondern mit praktischem Nutzen allgemeiner beurteilbar gemacht werden.

Die Kommission war der Meinung, daß diese breitere Betrachtungsweise besser geeignet sei, Vorschläge zu Maßnahmen des vorbeugenden Schadensschutzes herauszuarbeiten – letztlich das wesentliche Ziel aller Bemühungen auf diesem Gebiet.

Der erste Teil der hier vorgelegten Veröffentlichung wird sich dementsprechend mit den Versuchsergebnissen befassen. Im zweiten Teil sollen unter Berücksichtigung der bislang vorliegenden Kenntnisse Hinweise auf allgemein mögliche Maßnahmen zur Verminderung oder Verhinderung von Korrosionsfolgeschäden gegeben werden.

## 1. Versuchskonzeption

In den Versuchen\*) wurden eine Reihe von metallischen Oberflächen unter vergleichbaren Bedingungen mit den Pyrolyseprodukten einer Reihe organischer Stoffe beaufschlagt. Die Wirkung der Beaufschlagung sollte, soweit analytisch möglich und im Aufwand vertretbar, quantitativ erfaßt werden. Entsprechend der eingeführten Praxis von Korrosionsversuchen liegt jedoch die Hauptaussage bei qualitativen Beobachtungen.

Die Parameter Brandgaskonzentration sowie Dauer- und Wechselklimabeanspruchung der beaufschlagten Proben wurden konstant gehalten. Dementsprechend waren von den Versuchen keine Aussagen über minimale Grenzwerte der Korrosions- bzw. Folgekorrosionsbedingungen zu erwarten. In erster Linie sollten die Erscheinungsformen der durch Brandgase ausgelösten Korrosionen untersucht und relativ zueinander eingeordnet werden.

## 2. Versuchsmaterialien

2.1. Die in die Untersuchungen einbezogenen, zu zersetzenden brennbaren Stoffe wurden sowohl nach der Wahrscheinlichkeit ihrer Beteiligung in wesentlicher Menge an einem Brand als auch nach dem Gesichtspunkt einer möglichst unterschiedlichen Korrosionswirkung der erwarteten Pyrolyseprodukte ausgewählt. Untersucht wurden:

- a) PVC – weich (Zusammensetzung einer Kabelmantelmischung entsprechend),
- b) PVC – hart (Ba-Cd-Stabilisierung),
- c) Polyäthylen (PE niedriger Dichte; LDPE),
- d) 6 – Polyamid (Extrusionstyp ohne Verarbeitungshilfsmittel),
- e) Polyurethanschaum – hart (Polyätherbasis),
- f) Polyester gießbar mit einem chlorhaltigen, flammhemmenden Zusatz (Basis Hetsäure),
- g) Epoxie gießbar mit Aminhärter (21 % Br),
- h) Fichtenholz, lufttrocken,
- i) Spanplatte,
- k) Wolle, ohne Ausrüstung,
- l) Baumwolle, ohne Ausrüstung,
- m) Schweres Heizöl (ca. 2 % S),

\*) Die Versuchsarbeiten wurden von Laboratorien der folgenden Firmen ausgeführt: AEG-Telefunken, Kassel-Bettenhausen; Allianz Zentrum für Technik, Ismaning; BASF AG, Ludwigshafen; Brown, Boverly & Cie., Mannheim; Dynamit Nobel AG, Troisdorf; Siemens AG, Nürnberg. Für die tatkräftige und aufgeschlossene Unterstützung des Versuchsprogramms möchte der Berichterstatter diesen Firmen seinen Dank aussprechen.

- n) Gummi (Autoreifen-Laufflächenmischung, vulkanisiert),
- o) Monofluortrichlormethan (Halon Löschmittel).

2.2. Für die zu beaufschlagenden Metalloberflächen wurden solche Materialien ausgewählt, welche als repräsentativ für die in technischen Anlagen verwendeten Werkstoffe gelten konnten. Probengröße 10 x 5 cm. Untersucht wurden:

- A. Leichtmetall AlMg<sub>3</sub>,
- B. Stahlblech ST 37,
- C. Sonderstahl X20CrMoV12T,
- D. Sonderstahl X10CrNi 18/9,
- E. Kupfer E-Cu F20GB,
- F. Messing Ms 63,
- G. Stahlblech feuerverzinkt.

Die Bleche wurden vor der Untersuchung bei Raumtemperatur mit folgenden Mitteln vorbehandelt, anschließend mit destilliertem Wasser gespült und getrocknet:

- Leichtmetall: 20 %ige NaOH  
Stahlblech: 20 %ige HCl + Sparbeize  
Sonderstähle: 10 Tle Wasser + 10 Tle HCl + 1 Tl HNO<sub>3</sub> (65 %) + 0,15 Tle Sparbeize  
Kupfer und Messing: 20 %ige HNO<sub>3</sub>  
Stahlblech verzinkt: Entfettung mit Aceton, Benzol und Methanol.

2.3. Ein wichtiger Punkt in den Überlegungen waren Schäden an elektrotechnischen Einrichtungen. Deshalb wurden auch drei Funktionsteile aus diesem Bereich mituntersucht:

- H. Leiterplatte,
- I. Spulenpaket,
- K. Schaltschützteil.

## 3. Beaufschlagung der Proben

3.1. Apparatur. – Für die Pyrolyse der Proben wurde eine Anordnung gewählt, die im Prinzip DIN E 53 436 („Gerät für die thermische Zersetzung von Kunststoffen“) entspricht. Dabei wird die Probe in einem Quarzrohr mit umgreifendem elektrischen Ringofen, der mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit in Richtung des Luftstroms bewegt wird, zersetzt. Die Zersetzungstemperatur wird vor dem Versuch normgemäß über einen Vergleichskörper mittels eines Thermoelements eingestellt.

Die Pyrolyseprodukte wurden von einem vor dem Versuch evakuierten und mit den zu beaufschlagenden Proben beschickten Glasrezipienten von ca. 38 l Inhalt angesaugt. Durch einen Lochplatteneinsatz und entsprechende Aufhängung war sichergestellt, daß die Pyrolyseprodukte sich gleichmäßig in dem Behälter verteilten und mit al-

len Prüfkörperoberflächen gleichmäßig in Kontakt kamen.

Zur Erhöhung des Wasserdampfgehaltes wurde die angesaugte Luft über zwei mit Wasser gefüllte Waschflaschen und einen Tropfenfilter geführt.

3.2. Durchführung. – Für alle Versuche wurde die Vergleichskörper-Temperatur (= Zersetzungstemperatur) auf 400 °C eingestellt, eine Temperatur, welche im Übergang von Pyrolyse- zu Entzündungsbedingungen liegt. Gleichfalls wurde für alle Versuche die Probeneinwaage von 3 g konstant gehalten.

Nach Reinigung der Apparatur von Rückständen des vorausgegangenen Versuches wurde die Probe in einem Schiffchen in das Quarzrohr eingebracht, die Apparatur verschlossen und evakuiert. Sobald die Probe in den Bereich der Temperatureinwirkung des vorwandernden Ringofens kam, wurde über ein Feinregulierventil ein Luftstrom von etwa 1,5 l/min. eingelassen, mit dem alle entstehenden Pyrolyseprodukte in den Rezipienten überführt wurden.

Im Falle des Monofluortrichlormethans wurde eine Menge von 2 ml in die Einführung eingegeben, durch den Luftstrom verdampft und durch das Rohr geführt.

Nach Beendigung der Zersetzung wurde der Druck völlig ausgeglichen und die Proben etwa 24 Stunden im Rezipienten belassen. Nach der Entnahme der Proben lagerten diese bei Normklima 23/50.

## 4. Untersuchungen an den beaufschlagten Proben

Es war anfänglich beabsichtigt, die Proben sowohl nach einer Lagerungszeit von 100 Stunden als auch nach 500 Stunden zu beurteilen. Es stellte sich jedoch heraus, daß die Erscheinungsbilder nicht wesentlich unterschiedlich sind, weshalb eine Beurteilung nur nach 500 Stunden erfolgte.

Nach dieser Lagerzeit wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

Makroskopische Beurteilung und fotografische Dokumentation.

Chemisch-analytische Untersuchung der Korrosionsprodukte.

Röntgenografische Untersuchung der Korrosionsprodukte.

IR-Untersuchung an solchen Proben, bei denen mit der Anwesenheit von Karbonsäuren oder Derivaten im Korrosionsbelag zu rechnen war.

Rauhtiefenmessung und Aufnahme des Korrosionsbildes nach Ablösung der Korrosionsprodukte mit dem Elektronen-Raster-Mikroskop.

Alle speziellen, quantitativen Untersuchungen wurden nur an solchen Pro-

ben durchgeführt, von denen Aufschlüsse im Hinblick auf die zur Frage stehenden Probleme erwartet werden konnten.

Im Rahmen dieser Veröffentlichung ist es nicht möglich, die gesamte fotografische Dokumentation vorzulegen, die erst insgesamt das vollständige Bild ergibt. Insbesondere ist die Wiedergabe des makroskopischen Korrosionsbildes durch reproduktionstechnische Schwierigkeiten so eingeeengt, daß auf sie hier verzichtet werden muß.

## 5. Ergebnisse der Untersuchungen

5.1. Das makroskopische Korrosionsbild.

Beurteilung nach 500 Stunden Lagerung im Normklima 23/50 (DIN 50 014)

5.1.1. Leichtmetall AlMg3. — Die mit PVC-hart (b) beaufschlagten Proben zeigen starke flächige und punktförmige Korrosion. Die Korrosionspunkte sind in engen Reihen in Walzrichtung angeordnet. Dem Aussehen nach scheinen während der Beaufschlagung Kondensationen kleinster Tröpfchen stattgefunden zu haben. Ein ähnliches, aber weit schwächeres Bild zeigt die mit UP-Harz (f) beaufschlagte Probe.

In diesen Fällen dürften Halogenwasserstoffsäuren die Korrosion ausgelöst haben; bei Material f vom Flamm-schutzzusatz herrührend.

Die mit PVC-weich (a) beaufschlagten Proben zeigen eine deutliche, aber geringere punkt- und flächenförmige Korrosion.

Bei Gummi (n) zeigte sich unregelmäßiger matter Anlauf; bei Holz (h), Polyäthylen (c), PU-Schaum (e), Wolle (k), Baumwolle (l) und Heizöl (m) Oberflächenmattierung. Bei Polyamid (d), Spanplatte (i), EP-Harz (g) und  $\text{CFCl}_3$  (o) konnte kein sichtbarer Angriff festgestellt werden.

5.1.2. Stahlblech St 37. — Erwartungsgemäß waren hier die Korrosionserscheinungen am stärksten.

Sehr starke flächige Belege zeigten: PVC-hart (b), UP-Harz (f) und Heizöl (m). Bei PVC-weich (a) ergab sich ein sehr unterschiedliches Ergebnis. Während eine Probe sehr starken Belag zeigte, wies die Doppelprobe nur relativ geringe flächige Korrosion auf.

Gleichfalls stärkere, jedoch mehr punktförmige Korrosion wiesen die mit Gummi (n), Holz (h), Spanplatte (i) und Baumwolle (l) beaufschlagten Proben auf. Schwachen punktförmigen Angriff zeigten PU-Schaum (e), Wolle (k) und Polyamid (d). Keine Korrosion lösten Polyäthylen (c), EP-Harz (g) und  $\text{CFCl}_3$  (o) aus.

5.1.3. Sonderstahl X 20CrMoV12T. — Starker flächiger Belag und Lochfraß

bei PVC-hart (b); etwas geringer bei PVC-weich (a) und UP-Harz (f).

Gedunkelte Oberfläche bzw. Anlaufen bei Wolle (k), Gummi (n) und Heizöl (m).

Keine sichtbare Korrosion bei den übrigen Proben.

5.1.4. Sonderstahl X 10CrNi 18/9. — Punktförmiger Angriff mit großen Löchern bei PVC-hart (b). Außerdem flächige Korrosion. Das gleiche Bild in schwächerer Ausbildung bei PVC-weich (a) und UP-Harz (f).

Gedunkelte Oberfläche bei Wolle (k), Gummi (n) und Heizöl (m).

Alle übrigen Proben ohne erkennbaren Angriff.

5.1.5. Kupfer E-Cu F 20 GB. — Starker, tief blaugrüner Belag bei Wolle (k). Blau bis rote Anlauffarben bei Gummi (n), Heizöl (m) und PVC-weich (a). Fleckiger Belag bei PVC-hart (b) und UP-Harz (f). Leichte Oxidation bei PU-Schaum (e), Baumwolle (l), Polyamid (d) und  $\text{CFCl}_3$  (o). Keine Einwirkung bei Polyäthylen (c), Holz (h), Spanplatte (i) und EP-Harz (g).

5.1.6. Messing Ms 63. — Bräunlicher und grauer Belag mit schwachem punktförmigen Angriff bei PVC-hart (b). Ähnlich, aber schwächer bei UP-Harz (f). Fleckiger, grauschwarzer bis blauroter Belag bei Wolle (k) und Baumwolle (l). Anlauffarben bei Gummi (n), Heizöl (m), Polyamid (d) und PVC-weich (a). Bei den übrigen Proben keine sichtbaren Einwirkungen.

5.1.7. Stahlblech verzinkt. — Erwartungsgemäß ist der Angriff durch PVC-weich (a) und -hart (b) erheblich. Rostbildung trat jedoch nur an den Kanten auf. Die Einwirkung durch UP-Harz (f) war geringer.

Keine sichtbaren Einwirkungen bei Polyamid (d), EP-Harz (g),  $\text{CFCl}_3$  (o) und PE (c). Bei den übrigen Proben schwache Beläge bzw. Mattierung.

5.1.8. Elektrotechnische Teile.

5.1.8.1. Bei den Schaltschützteilen trat an den Magneten, die mit PVC-weich (a), PVC-hart (b) und UP-Harz (f) beaufschlagt waren, erwartungsgemäß stärkere Rostbildung auf. Bei allen anderen Proben zeigten die Magnete einen geringen Rostanflug.

Auch bei den kadmiert-chromatierten Kleinteilen trat Korrosion nur bei der Beaufschlagung mit PVC und UP-Harz auf.

5.1.8.2. Bei den Leiterplatten handelte es sich um solche mit gedruckten Cu-Leitbahnen, die im Schwallbad verzinkt worden waren.

Bei den mit PVC (a und b) sowie UP-Harz (f) beaufschlagten Platten bildete sich eine stumpfgraue Belagsschicht auf den Leiterbahnen. Bei der Beaufschlagung mit Wolle (k) verfärbten

die Bahnen sich braun, an den Rändern traten grünlich-schwarze Korrosionsprodukte (Cu-Derivate) auf.

Überhaupt keine Veränderung des Aussehens wurde bei Holz (h), Gummi (n), PUR-Schaum (e), Polyamid (d) und  $\text{CFCl}_3$  (o) festgestellt. Die übrigen Proben zeigten stellenweise geringe salzartige Beläge.

5.1.8.3. Die untersuchten Spulenpakete zeigten an den gestanzten Anschlußklemmen durchweg mehr oder weniger geringe Korrosionserscheinungen.

5.1.9. Proben unter verschärften Klimabedingungen. — Einige Proben wurden nach der Beaufschlagung und der Lagerung bei Normklima 23/50 zusammen mit ihren Nullproben für weitere 500 Stunden einem Feuchtklima 20/75 ausgesetzt. Es handelte sich dabei um diejenigen Proben, welche nicht für die röntgenografische Untersuchung benötigt wurden.

Bei allen Proben zeigten sich keine signifikanten Veränderungen. Deshalb wurden die Proben in einem Behälter über Wasserphase aufgehängt, eine Stunde auf 60 °C erwärmt und dann weitere 500 Stunden bei Raumtemperatur belassen.

Außer den im folgenden beschriebenen Proben zeigten alle Proben nach dieser Behandlung kein Fortschreiten des begonnenen Korrosionsangriffes.

Beim Stahlblech St 37 zeigten die Nullprobe und die mit PU-Schaum (e) und PE (c) beaufschlagten Proben ein gleiches, flächiges Korrosionsbild. Die mit Wolle (k), Polyamid (d) und EP-Harz (g) beaufschlagten Proben zeigten fleckige Korrosion mit stellenweisem Lochfraß, wobei jedoch das Gesamtbild besser lag als die Nullprobe (cyanidische bzw. amidische Passivierung?). Überraschenderweise blieb die mit  $\text{CFCl}_3$  beaufschlagte Probe fast frei von Korrosion, wie sie auf der Nullprobe auftrat.

Bei den mit zusätzlichen Klimabedingungen beanspruchten AlMg3-Proben (beaufschlagt mit UP-Harz [f], PU-Schaum [e] und Nullprobe) verstärkte sich ein weißer Belag relativ gleichmäßig. Das gleiche traf für vier der untersuchten Proben des verzinkten Stahlbleches zu (Nullprobe und mit PU-Schaum [e], PE [c] und UP-Harz [f] beaufschlagte Proben).

5.2. Chemisch-analytische Untersuchung der Korrosionsprodukte.

Abgesehen von den Probeblechen, welche durch IR-Analyse auf Belegung mit organischen Produkten (Karbonensäuresalzen) untersucht werden sollten, wurden alle Bleche 5 min. in kochendem bidestilliertem Wasser (Leitfähigkeit 0,7–1,2 mikro Siemens [ $\mu\text{S}$ ]) behandelt. Die während des Kochens abgeblättern, nichtgelösten

## Legende für Tabelle 1

Analyseergebnisse:

w = Leitfähigkeit der Lösung in mikro-Siemens,

x = pH - Wert der Lösung,

y = Neutralisationszahl in mg KOH/100 ml,

z = Korrosionsabtrag in g/m<sup>2</sup>,

Werte für Doppelversuche sind in Klammern angegeben. Der Eintrag „-“ bedeutet: „nicht gemessen“.

Probenmaterial		a) PVC-weich	b) PVC-hart	c) Poly- äthylen	d) 6-Poly- amid	e) Polyure- than- schaum hart	f) UP Harz (fl)	g) Epoxi- harz	h) Fichten- holz	i) Span- platte	k) Wolle	l) Baum- wolle	m) Heizöl	n) Gummi	o) CFC1 <sub>3</sub>
A. Leichtmetall AlMg3	w	125	235 (203)	11.6	5.4	9.6	150	8.3	—	7.1	5.5	12.5	10.3	18.1	8.1
	x	3.3	5.15 (4.9)	7.8	7.4	7.4	4.0	6.8	—	7.2	6.95	7.25	6.9	7.8	6.7
	y	3.3	4.9 (4.2)	—	—	—	5.0	—	—	—	—	—	—	—	—
	z	0.4 (0.1)	6 (5)	1.0	0	0	0	0	1.0	0	0	0	0.1	0	0
B. Stahlblech St 37	w	70.5	362 (398)	6.8	10.5	8.2	134	5.5	—	58.0	5.0	26.1	165	52.1	5.5
	x	4.7	4.85 (4.7)	6.8	6.8	6.6	4.7	6.6	—	5.2	6.65	6.15	5.4	5.5	6.8
	y	3.8	16.4 (17.8)	—	—	—	6.8	—	—	6.5	—	—	11.8	2.7	—
	z	112 (0.8)	68 (66)	5.0	0	0	47	0	1.0	6.5	0	1.5	14	5.0	0
C. Sonderstahl X20CrMoV12T	w	116	208 (326)	8.7	13.4	9.8	76	—	10.6	—	20.5	19.6	16.0	15.0	21.8
	x	4.5	4.75 (4.6)	6.1	7.1	6.4	5.0	—	6.6	—	5.65	6.65	6.5	7.6	7.1
	y	4.0	7.7 (15.1)	—	—	—	3.9	—	—	—	—	—	—	—	—
	z	0.1 (0.9)	17 (19)	0	0.5	0	1.0	1.6	0	1.2	0	0	0.2	0	0.8
D. Sonderstahl X10CrNi 18/9	w	103	622 (568)	7.1	12.5	10.2	84	9.6	9.9	12.4	9.1	8.4	10.0	12.3	11.8
	x	4.4	3.9 (3.8)	6.35	7.1	7.1	6.9	6.9	6.6	7.1	7.8	6.7	6.6	7.45	6.7
	y	2.6	11.8 (11.4)	—	—	—	2.5	—	—	—	—	—	—	—	—
	z	1 (0.5)	4 (4)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0
E. Kupfer E-Cu F 20 GB	w	33.1	600 (287)	8.8	7.1	11.0	28.7	—	8.4	—	25.5	53.0	17.4	19.0	5.7
	x	5.3	6.0 (6.05)	6.15	6.3	6.35	6.6	—	6.3	—	6.5	6.15	5.8	6.8	6.2
	y	—	23.4 (12.6)	—	—	—	—	—	—	—	—	1.9	—	—	—
	z	1.7 (0.5)	2 (1)	0	0	1	0	1.3	0	0	3.0	0.4	0.8	0	0
F. Messing Ms 63	w	34.2	101 (158)	8.1	7.6	7.3	18.6	6.3	19.3	8.5	—	102	55.0	22.6	6.1
	x	5.9	6.6 (6.65)	6.0	6.4	6.4	7.1	6.7	6.5	6.4	—	6.65	6.1	6.6	6.0
	y	—	3.5 (3.1)	—	—	—	—	—	—	—	—	3.3	3.9	—	—
	z	1.4 (0.2)	0 (11)	0	0	0	0	0	0	0	4.0	1.8	1.2	1.0	0
G. Stahlblech verzinkt	w	990	960 (110)	23.6	10.8	21.2	162	17.5	114	58.6	—	70.5	77.2	36.8	17.9
	x	5.6	6.1 (6.35)	6.25	6.4	6.2	6.7	6.3	6.4	6.3	—	6.3	6.2	8.0	6.4
	y	5.6	3.3 (5.1)	—	—	—	2.3	—	2.4	3.9	—	3.8	2.7	—	—
	z	56.2 (61.2)	51 (28)	1.1	0.5	2.2	47	0.3	2.0	1.1	2.2	3.0	1.6	1.1	0.4

**Legende für Tabelle 2**

Analysenergebnisse:

 Bestimmung von Kationen und Anionen im Korrosionsprodukt. Die Angaben sind auf g/m<sup>2</sup> berechnet. Angaben in Klammern sind Ergebnisse von Doppelversuchen. Der Eintrag „-“ bedeutet „nicht bestimmt“.

Probenmaterial		a) PVC-weich	b) PVC-hart	c) Poly- äthylen	e) Polyure- than- schaum hart	f) UP Harz	h) Fichten- holz	i) Span- platte	k) Wolle	l) Baum- wolle	m) Heizöl	n) Gummi
A. Leichtmetall AlMg3	Na	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0001	-	-
	K	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0019	-	-
	Al	0.0018	0.0012 (0.0011)	-	-	0.0012	-	-	-	-	-	-
	Mg	0.03	0.19 (0.18)	-	-	0.036	-	-	-	-	-	-
	Cl	0.24	0.6 (0.5)	-	-	0.29	-	-	-	-	-	-
B. Stahlblech St 37	Na	0.032	0.0001	-	-	0.001	-	-	-	-	0.0001	0.0024
	K	0.0061	0.0045 (0.0037)	-	-	0.0034	-	-	-	-	0.0028	0.0063
	Fe	0.10	0.65 (0.67)	-	-	0.22	-	0.13	-	-	0.36	0.024
	SO <sub>4</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.03
	Cl	0.12	1.0 (1.0)	-	-	0.28	-	0.036	-	-	-	-
C. Sonderstahl X20CrMoV12T	Na	0.0007	-	-	-	-	-	-	0.0005	-	-	-
	K	0.0019	-	-	-	-	-	-	0.0035	-	-	-
	Fe	0.10	0.34 (0.59)	-	-	0.087	-	-	-	-	-	-
	Cr	0.0001	0.0001 (0.0004)	-	-	0.00012	-	-	-	-	-	-
	Cl	0.25	0.54 (0.83)	-	-	0.16	-	-	-	-	-	-
D. Sonderstahl X10CrNi 18/9	Fe	0.066	0.87 (0.44)	-	-	0.035	-	-	-	-	-	-
	Ni	0.086	1.5 (0.55)	-	-	0.035	-	-	-	-	-	-
	Cl	0.21	1.57 (1.36)	-	-	0.20	-	-	-	-	-	-
E. Kupfer E-Cu F 20 GB	Cu	-	1.26 (0.56)	-	-	-	-	-	-	0.14	-	-
F. Messing Ms 63	Acetat	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zn	-	0.15 (0.22)	-	-	-	-	-	-	0.13	0.055	-
	Cl	-	0.26 (0.41)	-	-	-	-	-	-	-	SO <sub>4</sub> = 0	-
G. Stahlblech verzinkt	Zn	1.76	1.8 (1.9)	-	-	-	0.27	0.075	-	0.10	0.075	-
	Cl	2.62	2.8 (3.1)	-	-	-	-	0.027	-	-	SO <sub>4</sub> = 0	-
	Na	-	-	0.0005	0.0005	-	0.0009	0.0001	-	-	-	-
	K	-	-	0.0064	0.0028	-	0.0028	0.0045	-	-	-	-

Anteile wurden abfiltriert und die Lösung auf 100 ml aufgefüllt.

Von allen Lösungen wurde die Leitfähigkeit und der pH-Wert gemessen. In jeder Versuchsreihe (pyrolisiertes Material) wurde flammenfotometrisch der Gehalt an Alkalien bestimmt. Bei Lösungen mit Leitfähigkeiten unter 50 µS wurden keine weiteren Untersuchungen angestellt. Bei Lösungen mit höherer Leitfähigkeit wurde die Neutralisationszahl (mg KOH, die zur Neutralisation von 100 ml Lösung erforderlich sind; nach DIN 51 812) und die wasserlöslichen Ionen bestimmt.

An allen Proben wurde außerdem nach der Behandlung mit kochendem Wasser der Korrosionsabtrag bestimmt. Dazu wurden die Bleche unter fließendem Wasser mit einer Perlonbürste bearbeitet und außerdem nach DIN 50 905 mit folgenden Säuren behandelt:

AlMg3 und die Sonderstähle:

mit 5 %iger HNO<sub>3</sub>,

St 37: mit 10 %iger HCl + 5 % SbCl<sub>3</sub>,

Stahlblech verzinkt:

mit 5 %iger Essigsäure,

E-Kupfer und Messing:

mit 5 %iger H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

In der Tabelle 1 sind die Ergebnisse der Untersuchungen zu Leitfähigkeit, pH-Wert, Neutralisationszahl und Korrosionsabtrag angegeben. In Tabelle 2 die Ergebnisse der quantitativen Ionenbestimmung.

Bei einigen Versuchspaarungen wurde versucht, durch IR-Analyse die Belegung mit Acetaten oder Aminen quantitativ zu bestimmen.

Folgende Paarungen wurden auf die Anwesenheit von Acetaten untersucht: PVC-weich (a) mit allen Metallproben, Fichtenholz (h) mit AlMg3 und St 37, Fichtenholz (h) mit X CrMoV12T und E-Cu.

In keinem Fall ließ sich über die IR-Analyse die Anwesenheit von Karbonsäuren in meßbaren Mengen feststellen.

Folgende Versuchspaarungen wurden auf die Anwesenheit von Aminen im Korrosionsprodukt untersucht:

EP-Harz (g) mit Sonderstahl X CrMoV12T und E-Cu

Wolle (k) mit Ms 63 und Stahl verzinkt.

In keinem Fall ließ sich durch IR-Analyse eine meßbare Menge von Aminen feststellen.

5.3. Röntgenografische Untersuchung der Korrosionsprodukte.

Röntgenografische Untersuchungen wurden bei solchen Proben durchgeführt, bei denen sichtbare Korrosionen auftraten. Proben, welche nach einer

### Legende für Tabelle 3

Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse:

Proben nach Lagerung über 500 h im Normklima 23/50.

Abkürzungen: sst = sehr stark, st = stark, m = mittel, s = schwach, ss = sehr schwach, sss = sehr, sehr schwach, Sp = Spuren.

Die Eintragung „-“ in der Spalte ‚Korrosionsbild‘ besagt, daß eine Bemerkung nicht protokolliert wurde. Kein Eintrag in der Spalte ‚Intensität‘ bedeutet: keine Beobachtung.

Tabelle 3

Metallprobe	Pyrolysepr.	Korrosionsbild	Geschätzte CI	Intens. S
A. AlMg 3	a) PVC-weich	ganzflächiger und punktförm. Angriff	sss	Sp
	b) PVC-hart	—	ss	sss
B. St 37	a) PVC-weich	starke, ganzflächige Korrosion	sss (sss)	sss (sss)
	b) PVC-hart	—	sss (sss)	
	f) UP-Harz	—	sss	
	i) Spanplatte	starker punktförmiger Angriff		
	m) Heizöl	allgem. ganzflächige Korrosion	sss	
	l) Baumwolle	punktförmiger Angriff		
	n) Gummi	—		sss
C. X 20 CrMo V 12 T	a) PVC-weich	starker ganzflächiger Angriff und Lochfraß	sss (ss)	sss (sss)
	b) PVC-hart	—	sss (sss)	Sp (Sp)
	f) UP-Harz	—	sss	Sp
D. X 10 CrNi 18/9	a) PVC-weich	Lochfraß mit unterschiedl. Durchmesser	sss (sss)	
	b) PVC-hart	—	ss (s)	sss (sss)
	f) UP-Harz	—	sss	Sp
E. E-Cu F20 GB	a) PVC-weich	Anlauffarbe	Sp	Sp
	b) PVC-hart	—	m (s)	
	k) Wolle	—		s
	l) Baumwolle	stellenweise dunkler Belag		
	m) Heizöl	Anlauffarbe		
F. Ms 63	n) Gummi	—		sss
	a) PVC-weich	Anlauffarbe	sss	
	b) PVC-hart	—	ss (sss)	sss (sss)
	l) Baumwolle	stellenweise dünner Belag		
	m) Heizöl	Anlauffarbe		
G. Stahl, verz.	k) Wolle	—	s	
	n) Gummi	—	sss	sss
	a) PVC-weich	ganzflächiger Angriff, weißlicher Belag, Zinkablösung an den Kanten	m (st)	
	b) PVC-hart	—	st (s)	sss
	i) Spanplatte	matt		
	l) Baumwolle	matt		
	m) Heizöl	matt		Sp

#### Legende für Tabelle 4

Ergebnisse der Röntgenfeinstrukturanalyse:

Proben nach Lagerung über 500 h im Normklima 23/50.

Abkürzungen: sst = sehr stark, st = stark, m = mittel, s = schwach, ss = sehr schwach, sss = sehr, sehr schwach.

Die mit \*) bezeichneten Proben wurden nach der Beaufschlagung nicht ca. 24 Stunden im Rezipienten belassen, sondern nur 3 Stunden.

Tabelle 4

Metallprobe	Pyrolysepr.	Geschätzte Intensität der Phasen
A. AlMg3	a) PVC-weich b) PVC-hart*) b) PVC-hart	keine Beugung AlOOH = sst, Al <sub>2</sub> S <sub>3</sub> = sss MgCl <sub>2</sub> = sss
B. St 37	a) PVC-weich b) PVC-hart*) b) PVC-hart f) UP-Harz h) Holz i) Spanplatte l) Baumwolle m) Heizöl n) Gummi	γ-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = ss, C = sss FeOOH = sst Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = sst, FeOCl = sss FeOOH = sst keine Beugung γ-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = sss, C = sss γ-FeOOH = sss, γ-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = ss γ-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = sss, C = sss keine Beugung
C. X 20CrMoV 12 T	a) PVC-weich*) a) PVC-weich b) PVC-hart*) b) PVC-hart f) UP-Harz	FeOOH = sst FeOOH = sst FeOOH = sst, FeO = sss Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = sst, FeCl <sub>2</sub> = sss FeOOH = sst
D. X 10 CrNi 18/9	a) PVC-weich*) a) PVC-weich b) PVC-hart*) b) PVC-hart  f) UP-Harz	keine Beugung keine Beugung FeCl <sub>2</sub> = s, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = sss FeOCl = sst, FeS = sss NiOOH = sss keine Beugung
E. E-Cu F 20 GB	a) PVC-weich b) PVC-hart*) b) PVC-hart k) Wolle l) Baumwolle m) Heizöl n) Gummi	CuCl = sss CuCl = m CuCl = ss CuS = s Cu(OH) <sub>2</sub> = sss CuO = sss keine Beugung
F. Ms 63	a) PVC-weich b) PVC-hart*) b) PVC-hart k) Wolle l) Baumwolle m) Heizöl n) Gummi	Zn <sub>5</sub> (OH) <sub>8</sub> Cl <sub>2</sub> = sss Zn <sub>5</sub> (OH) <sub>8</sub> Cl <sub>2</sub> = m keine Beugung CuS = sss Cu <sub>2</sub> O = sst Cu <sub>2</sub> O = sst CuS = sss
G. Stahl, verz.	a) PVC-weich*) a) PVC-weich b) PVC-hart*) b) PVC-hart i) Spanplatte l) Baumwolle m) Heizöl	Zn <sub>5</sub> (OH) <sub>8</sub> Cl <sub>2</sub> = sst Zn <sub>5</sub> (OH) <sub>8</sub> Cl <sub>2</sub> = sst Zn <sub>5</sub> (OH) <sub>8</sub> Cl <sub>2</sub> = sst Zn <sub>5</sub> (OH) <sub>8</sub> Cl <sub>2</sub> = sst Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub> = ss, ZnO <sub>2</sub> = s ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> = sst Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub> = ss

Lagerung von 500 h im Normklima 23/50 keine sichtbaren Korrosionszeichen aufwiesen, wurden dann untersucht, wenn sie nach einer weiteren Lagerung im Feuchtklima 20/75 Korrosionen zeigten.

Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse, Tabelle 4 die der Röntgenfeinstrukturanalyse.

#### 5.4. Rauhtiefenmessung.

Die Bestimmung der Rauhtiefe erfolgte an den Proben, nachdem die chemisch analytische Untersuchung der Korrosionsprodukte erfolgt war. Zur Bestimmung wurde ein Perth-O-meter bei einem Tastweg von 5 mm verwendet. Stichprobenartig wurden die so erhaltenen Werte durch metallografische Schliffe überprüft und im wesentlichen Übereinstimmung gefunden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 dargestellt.

In dieser Tabelle wird die Verstärkung der Rauhtiefe gegenüber dem niedrigstgemessenen Wert in Prozent angegeben. In zahlreichen Fällen wurde das Korrosionsbild durch Aufnahmen mittels des Elektronen-Raster-Mikroskops dokumentiert. Einige Beispiele besonders starker Korrosionseinwirkung zeigen die Bilder 1–5.

#### 5.5. Funktionsuntersuchungen an elektrotechnischen Teilen.

Die Einwirkungszeiten der Brandgase auf die untersuchten elektrotechnischen Teile (s. 2.3. und 5.1.8.) entsprachen denen der Metallproben. Sie wurden nach der Beaufschlagung zunächst im Normklima 23/50 aufbewahrt. Vor den elektrischen Messungen wurden sie zusätzlich vier Tage im Klima 23/83 (VDE 0318 § 13 b) gelagert.

5.5.1. An den Preßstoffteilen (Typ 31) konnte keine Beeinträchtigung der Geräteabmessungen festgestellt werden. Alle Maße lagen innerhalb der normgemäßen Toleranzen. Andere Schädigungen wurden nicht festgestellt.

5.5.2. Funktionsprüfung. – Alle eingesetzten Proben waren nach der Beaufschlagung und der Lagerzeit funktionsfähig. Weit überwiegend wurde keine Beeinträchtigung der Funktionseigenschaften festgestellt.

Ausnahmen: die durch PVC- und UP-Harz-Schwelgase beaufschlagten Magnete der Schaltschütze brummten in der Prüfung; die Funktion der Geräte war hierdurch jedoch nicht beeinträchtigt.

Bei den Spulen lag die Stromaufnahme und die Abfallspannung bei allen Probeteilen innerhalb der Toleranzen. Bei den Leiterplatten wurden jeweils 6 besonders gefährdet erscheinende Leiterpaare (geringe Distanz) auf die Veränderung des Übergangswiderstandes geprüft. (Meßspannung 100 V.)

**Legende für Tabelle 5** Bestimmung der Rauhtiefe Rt in  $\mu\text{m}$ . Vorbehandlung der Proben s. 5.4. Die mit \*) bezeichneten Proben wurden nach der Beaufschlagung nicht ca. 24 Stunden im Rezipienten belassen, sondern nur 3 Stunden. Der Zeitraum bis zur Vorbehandlung und der Prüfung war mit den anderen Proben praktisch identisch. Die Verstärkung der Rauhtiefe gegenüber dem niedrigstgemessenen Wert in % ist in Klammern angegeben.

Probenmaterial	a) PVC-weich *)	a) PVC-weich	b) PVC-hart *)	b) PVC-hart	c) Poly-äthylen	d) Poly-amid	e) PU-Schaum	f) UP-Harz
A. AlMg3	8.4 (320)	3.5 (75)	24.0 (1100) (Bild 1)	19.0 (850)	2.0 (0)	2.7 (35)	2.7 (35)	5.9 (195) (Bild 2)
B. St 37	22.5 (288)	6.4 (10)	36.0 (521)	40.0 (590)	9.0 (55)	8.3 (43)	8.0 (38)	38.0 (555)
C. X 20CrMoV12T	25.0 (79)	20.0 (43)	37.0 (164) (Bild 3)	50.0 (257)	37.0 (164) (Bild 4)	16.0 (14)	38.0 (171)	20.0 (43) (Bild 5)
D. X 10CrNi 18/9	16.5 (37)	16.0 (33)	14.0 (17)	20.0 (66)	12.5 (4)	16.0 (33)	18.5 (54)	17.5 (46)
E. E-Cu F 20 GB	6.0 (100)	4.4 (47)	4.6 (53)	4.5 (50)	13.5 (350)	3.4 (13)	4.0 (33)	7.9 (163)
F. Ms 63	6.0 (200)	3.3 (65)	3.6 (80)	2.5 (25)	9.4 (370)	3.0 (100)	2.4 (20)	3.2 (60)
G. Stahl, verz.	14.0 (78)	5.5 (83)	7.9 (163)	13.5 (350)	6.8 (127)	8.2 (173)	4.4 (47)	4.5 (50)

Probenmaterial	g) EP-Harz	h) Holz	i) Spanplatte	k) Wolle	l) Baumwolle	m) Heizöl	n) Gummi	o) CFCIs
A. AlMg3	4.7 (135)	2.4 (20)	5.1 (155)	2.4 (20)	5.3 (165)	7.9 (295)	2.9 (45)	2.4 (20)
B. St 37	9.8 (69)	5.8 (0)	7.4 (28)	5.9 (2)	10.5 (81)	12.0 (107)	7.0 (21)	8.1 (40)
C. X 20CrMoV12T	14.0 (0)	21.0 (50)	27.0 (93)	21.0 (50)	19.0 (36)	36.0 (157)	28.0 (100)	23.0 (64)
D. X 10CrNi 18/9	21.0 (75)	16.0 (33)	15.0 (25)	23.5 (96)	12.0 (0)	20.0 (66)	12.5 (4)	18.5 (54)
E. E-Cu F 20 GB	4.0 (33)	3.0 (0)	9.2 (207)	5.0 (66)	3.4 (13)	3.1 (3)	4.5 (50)	4.8 (60)
F. Ms 63	3.4 (70)	4.8 (140)	9.6 (380)	2.6 (30)	7.0 (250)	2.6 (30)	5.5 (175)	2.0 (0)
G. Stahl, verz.	3.8 (0)	8.2 (173)	5.0 (67)	4.9 (63)	6.9 (130)	8.1 (170)	5.1 (70)	4.5 (50)

Von den 96 geprüften Proben lag lediglich eine unter dem Normalniveau. Es besteht die Wahrscheinlichkeit, daß es sich hier um die Kondensation des Brandgases (Gummi [n]) in einer zufälligen Bedingung handelt.

## 6. Auswertung der Ergebnisse

Das wichtigste qualitative Ergebnis der Untersuchungen ist, daß Korrosionserscheinungen mehr oder minder intensiver Art, ausgelöst durch unterschiedliche Faktoren, von den Schwelprodukten der verschiedensten organischen Stoffe verursacht werden können. Erwartungsgemäß liegen dabei die Wirkungen des Chlorwasserstoffs an erster Stelle (Versuchsmaterialien: PVC und UP-Harz mit Hetsäure als

Flammenschutzzusatz). Überraschend war festzustellen, daß der relativ hohe Bromgehalt im EP-Harz (21 % Br) gegenüber Cl-haltigen Stoffen nicht eine – wie theoretisch zu erwarten – verringerte, sondern überhaupt keine verstärkte Korrosion auslöste. (Auf die chemisch-physikalische Deutung dieses Befundes soll hier verzichtet werden.)

Qualitativ ist weiter zu erkennen, daß eine Verringerung der HCl-Konzentration im Rauchgas auch eine verminderte (bzw. verzögerte) Intensität der Korrosionserscheinungen zur Folge hat. Es ist dies an der Reihe

- PVC-hart (b) = 52 % Cl,
- PVC-weich (a) = 37 % Cl,
- UP-Harz (f) = 18 % Cl.

deutlich zu erkennen gewesen. (Beim UP-Harz ist anzunehmen, daß der Chlorgehalt der Hetsäure nicht quantitativ als HCl abgespalten wird und zudem der Chlorwasserstoff teilweise mit dem zugegebenen Antimontrioxid unter Salzbildung reagiert.)

Die quantitativen Untersuchungen lassen deutlicher als die visuelle Beurteilung erkennen, daß die korrosive Einwirkung keineswegs auf die HCl-haltigen Schwelprodukte beschränkt ist.

So ist z. B. in Tabelle 1 auf die relativ hohen Leitfähigkeitswerte (als Indikatoren für die Bildung salzartiger Korrosionsprodukte) in Verbindung mit hohen Abtragungswerten bei den Paarungen

Spanplatte (i) mit St 37 (B),



- Wolle (k) mit E-Cu (E),
- Baumwolle (l) mit St 37 (B),
- Baumwolle (l) mit Ms 63 (F),
- Heizöl (m) mit St 37 (B) u. a.

hinzuweisen, die weiter in Verbindung mit der Verstärkung der Rauhtiefe zu sehen sind (Tabelle 5).

Tabelle 2 gibt einige Aufschlüsse über die chemische Zusammensetzung der wasserlöslichen Korrosionsprodukte. Ergänzungen, auch über den unlöslichen Anteil, können den Ergebnissen der Röntgenfeinstrukturanalyse (Tabelle 4) entnommen werden. Absicht dieser Versuche, wie auch der mit der Röntgenfluoreszenzanalyse (Tabelle 3), war es, möglicherweise Hinweise zu finden, wie von Brandgasen beaufschlagte Flächen analytisch auf korrosionsauslösende Beläge untersucht werden könnten, aus denen dann wieder Rückschlüsse auf evtl. durchzuführende Korrosionsschutzmaßnahmen zu ziehen wären.

Die Röntgenfluoreszenzanalyse scheidet offensichtlich wegen nicht ausreichender Empfindlichkeit und Differenzierung hierfür aus. Die Feinstrukturanalyse kann begrenzt Auskunft über den Alterungszustand einer bereits eingetretenen Korrosion, jedoch nur wenig über die auslösenden Faktoren geben. Auch angesichts der noch wenig systematischen und zahlenmäßig geringen Ergebnisse kann dennoch gesagt werden, daß diese Analysenmethode im praktischen Fall keine Hilfestellung für potentielle Folgeschäden erwarten läßt.

Wie aus den in den Tabellen 1 und 2 dargestellten Ergebnissen abzuleiten, wird der erfolgversprechendste Weg, potentielle Korrosionsrisiken zu beurteilen, in der Kombination zwischen Leitfähigkeitsmessung einerseits und Kationen- und/oder Anionenbestimmung andererseits in der wäßrigen Ablösung zu suchen sein. In welchem Nachweisbereich die Analysenmethoden liegen sollten, bzw. welche beaufschlagte Flächengröße für eine Untersuchung heranzuziehen ist, kann der Größenordnung nach aus den Werten der Tabellen 1 und 2 leicht errechnet werden.

Die qualitativ wie quantitativ an den einzelnen Proben erhaltenen Befunde sind nicht immer eindeutig miteinander in Einklang zu bringen.

So stehen z. B. bei der Paarung UP-Harz (f) / AlMg3 (A) die relativ hohe Leitfähigkeit, der analytisch bestimmte Anteil an Al, Mg und Cl sowie die Mikroaufnahme (Abb. 2) nicht im Einklang mit dem festgestellten Korrosionsabtrag Null. Für andere, zunächst nicht vereinbar erscheinende Werte, z. B. das Verhältnis der Al-, Mg- und



Bild 1.  
AlMg3 (A)/PVC-hart\* (b)  
(siehe Tab. 5),  
Vergrößerung 200:1.

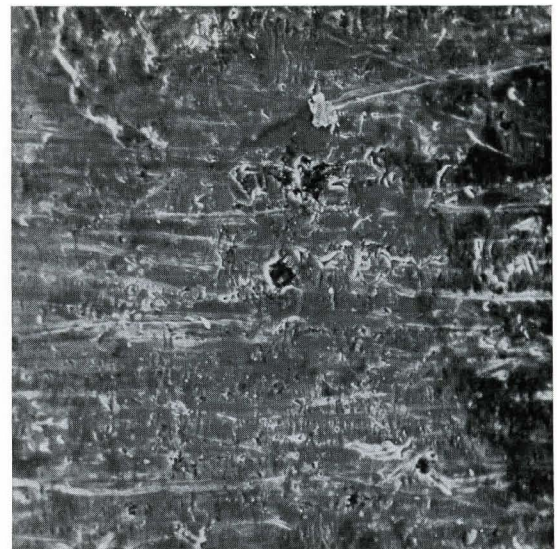


Bild 2.  
AlMg3 (A) / UP-Harz (f)  
(siehe Tab. 5),  
Vergrößerung 220:1.



Bild 3.  
Sonderstahl  
X 20 CrMoV 12 T (C)  
PVC-hart\* (b)  
(siehe Tab. 5),  
Vergrößerung 550:1.

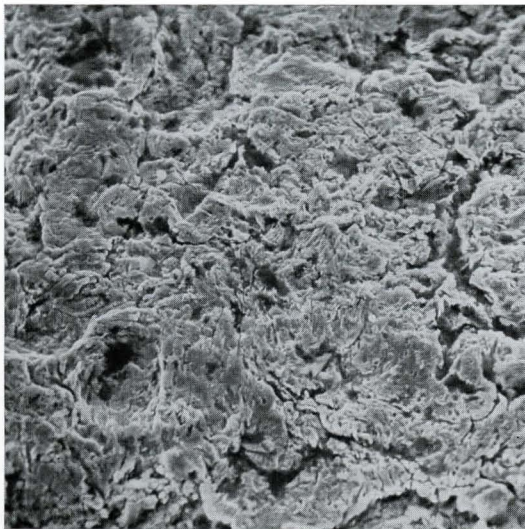


Bild 4.  
Sonderstahl  
X 20 CrMoV 12 T (C)  
PE (c) (siehe Tab. 5),  
Vergrößerung 550:1.

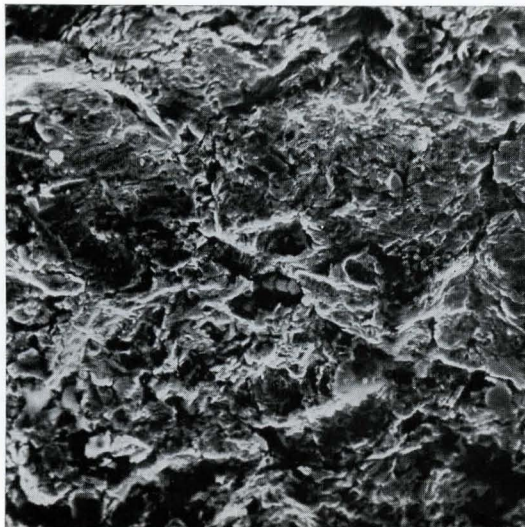


Bild 5.  
Sonderstahl  
X 20 CrMoV 12 T (C)  
UP-Harz (f)  
(siehe Tab. 5),  
Vergrößerung 600:1.

Cl-Bestimmungen bei AlMg3 untereinander, gibt es Erläuterungen, auf die an dieser Stelle nicht eingegangen werden kann. In einigen Fällen kann auch der notwendige Verzicht auf Parallelbestimmungen und gezielte Nachprüfungen Ursache abweichender Ergebnisse sein.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse jedoch ein in sich logisches Bild, das die Tatsache eines breiten Spektrums von durch Brandgasen verursachte Folgekorrosionen eindeutig dokumentiert. Da für die im Versuch gezeigten Korrosionen eine ganze Reihe von auslösenden Faktoren maßgeblich wa-

ren, kann eine Untersuchung von mit Brandgasen im praktischen Brandfall beaufschlagten Oberflächen allein aufgrund einer Cl-Analyse nicht sachgemäß und ausreichend sein.

#### Literaturnachweis

- [1] F. W. Locher, S. Sprung: Einwirkung von salzsäurehaltigen PVC-Brandgasen auf Beton. — Beton, 20 (1970), Hefte 2 u. 3, S. 63–65 und 99–104.
- [2] D. Briesemann, H. Greger: Zur Frage der Chloridwanderung in

PVC-Schmelgasen ausgesetztem Beton. — Betonstein-Zeitung, 1970, Heft 5, S. 314–321.

- [3] K. Fischer: Zur Frage der Korrosionsfolgeschäden durch PVC-Brandgase. — VFDB Zeitschrift, 1971, Heft 4, S. 140–144 und 1972, Heft 1, S. 1–11.
- [4] K. Fischer, W. Maier: Das Verhalten von Dispersionsfarbenanstrichen auf Mörtel und Beton gegenüber PVC-Brandgasen. — Farbe + Lack, 77 (1971), S. 437–443.
- [5] P. H. Effertz, H. Grupp, W. Jach: Einwirkung chlorwasserstoffhaltiger Brandgase auf Werkstoffe und Bauteile. — Der Maschinenschaden, 43 (1970), Heft 3, S. 89–99.
- [6] C. Hammer, K. Fischer: Feststellung, Beurteilung und Ausbesserung von Gebäudeschäden durch Brandgase. — Beton, 21 (1971), S. 9–10.
- [7] 2. Diskussionstreffen im Allianz-Zentrum für Technik 1973. — Einwirkung chlorwasserstoffhaltiger Brandgase auf Gebäude und Einrichtungen. — Vorgänge, Beurteilung und Sanierung. — Allianz Berichte Nr. 19, Nov. 1973.
- [8] W. Jach, O. Wollrab: Einwirkung chlorwasserstoffhaltiger Brandgase auf Beton und Kalkmörtel. — Schadenprisma, Heft 2/74, S. 25–36.
- [9] H. Martin: Zeitlicher Verlauf der Chloridionenwanderung in Beton, der einem PVC-Brand ausgesetzt war. — Betonwerk + Fertigteil Technik, 1975, H. 1 und 2, S. 19–24 und 89–95.
- [10] P. H. Effertz, H. Grupp: Einwirkung chlorwasserstoffhaltiger Brandgase auf metallische Werkstoffe sowie auf Bauteile der Feinmechanik und Elektronik. (Teil 2. und 3.). — Der Maschinenschaden, 45 (1972), H. 1, S. 7–19 und 46 (1973), H. 5, S. 164–168.
- [11] H. Renz, H. Grupp: Die Problematik von Brand- und Brandfolgeschäden an elektronischen Datenverarbeitungsanlagen. — Der Maschinenschaden, 46 (1973), H. 1, S. 13–23.