

Einwirkung chlorwasserstoffhaltiger Brandgase auf Beton und Kalkmörtel

Dr. rer.-nat. Wilhelm Jach und Otto Wollrab

A. Einleitung

Das sich in den Jahren nach der Währungsreform ständig vergrößernde Brandrisiko in der Sachversicherung durch die zunehmende Verwendung zum Teil leicht entflammbarer Kunststoffe in der Industrie und im Baugewerbe führte in den letzten zehn Jahren zu einer sprunghaften Steigerung der Schadensquote durch bislang unbekannte Brandfolgeschäden.

Anfang 1963 (Lit. 1) wurde die Aufmerksamkeit erstmals auf halogen-substituierte Kunststoffe gelenkt, die bislang als „schwerentflammbar“ und deshalb als „prämiengünstig“ galten, im Brandfall jedoch höchst korrosionsaktive Säuren abspalten. Der häufigste Kunststoff dieser Art, er dürfte in irgendeiner Form jetzt an fast allen Brandereignissen beteiligt sein, ist das Polyvinylchlorid (PVC), sein Zersetzungsprodukt Chlorwasserstoff, das ist gasförmige Salzsäure. Salzsäuredämpfe dringen mit den Brandgasen auch in nicht unmittelbar vom Brand betroffene Gebäudeteile ein, kondensieren dort, insbesondere in Verbindung mit Wasserdampf (u. a. vom Löschwasser), und vermögen vor allem an metallischen Einrichtungen, aber auch an Bauteilen unter bestimmten Bedingungen schwerwiegende Korrosionsschäden hervorzurufen, die bis zum Totalverlust der betroffenen Objekte führen können (Lit. 2, 3 und 4).

Aber nicht nur ungeschützte, sondern auch geschützte Metalle, wie sie vor allem als Armierung im Beton, insbesondere im Spannbeton vorliegen, laufen Gefahr zu korrodieren, sofern sie von der Salzsäure bzw. ihren Verbindungen erreicht werden (Lit. 2, 3, 4 und 5).

Es zeigt sich, daß die löslichen Calciumverbindungen der Salzsäure infolge des Konzentrationsgefälles deutliche „Wanderungstendenzen“ ins Objektinnere aufweisen. Darüber hinaus führte starker Salzsäurebefall zu Ge-

fügerstörungen im Beton mit der Folge einer Qualitätsminderung (Lit. 4).

Über die Konzentrationsgrenzen, in deren Bereich mit einer Korrosion des Stahles im Beton zu rechnen ist, wurden zunächst folgende Angaben gemacht:

Schuh (Lit. 2) spricht 1966 in Kiel von einem Grenzwert von 0,05 % Cl' bei Spannbeton, bezogen auf das Betongewicht. Reiter (Lit. 3) führte 1967 über damalige Angaben von Sachverständigen folgendes aus:

„Von welcher Menge an eine Schädigung des Betonstahls zu befürchten ist, wurde bisher noch nicht mit wissenschaftlicher Genauigkeit festgestellt. Die Angaben der Sachverständigen gehen hierin noch auseinander, doch bewegen sie sich immerhin in einer Größenordnung von etwa 0,4 Gewichtsprozent Chlorid des schlaffbewehrten Betons und rund 0,01 % des Spannbetons. Metallfreie Baustoffe wie Putz und unbewehrter Beton werden durch so geringe Chloridmengen, jedenfalls nach den vorliegenden Beobachtungen, nicht angegriffen.“

Diese Werte wurden von Richartz 1969 (Lit. 7) und von Locher und Sprung 1970 (Lit. 8) im wesentlichen bestätigt.

Die Vorschriften aus dem Jahre 1967 (Lit. 9) nennen als zulässige obere Grenze für den Chloridgehalt eines Spannbetons im direkten Verbund 0,2 % des Zementgewichtes. Bezogen auf das Betongewicht bei einem üblichen Mischungsverhältnis von 1:4 entspricht dieser Wert einem Chloridgehalt von 0,04 %. Für den schlaffbewehrten Beton wird ein Chloridgehalt bis zu 0,4 % zugelassen, das sind 0,08 % Chlorid, bezogen auf das Untergewicht, ein Mischungsverhältnis von 1:4 zugrunde gelegt. Diese Werte gelten jedoch nur unter der Voraussetzung, daß die Stahlbewehrung eine vorschriftsmäßige Überdeckung besaß und der Beton mit einem niedrigen W:Z-Faktor (max. 0,5) hergestellt war. Hammer und Fischer (Lit. 10) übernahmen 1971 diese Werte.

Die ständig anwachsende Anzahl von PVC-Bränden machte eine weitere intensive Beschäftigung mit Sanierungsmaßnahmen erforderlich. Hierüber berichteten Reiter (Lit. 3) und Schuh 1968 (Lit. 5).

Briesemann und Greger (Lit. 6) stellten in Langzeitversuchen an Proben aus einem Brandfall des Jahres 1965 Wanderungseffekte des Chlorids im Spannbeton fest und versuchten, diese aufzuheben und damit unwirksam zu machen. Richartz (Lit. 7) schrieb 1969 über die teilweise Bildung einer schwerlöslichen, wenig wanderungsfähigen Chloridverbindung im Beton. Auch Locher und Sprung behandelten 1970 dieses Thema über die Bildung von „Friedelschen Salzen“ (Lit. 8).

Über die Wirksamkeit von Sanierungsmaßnahmen, die hinsichtlich ihrer Durchführung und des damit verbundenen Kostenaufwandes stark voneinander abweichen, bestanden lange Zeit Meinungsverschiedenheiten zwischen den Fachleuten.

Im Frühjahr 1969 wurden deshalb in Zusammenarbeit mit dem Allianz-Zentrum für Technik (AZT), Ismaning, in einem alten Wehrmachtbunker in Kiel-Schilksee umfangreiche orientierende Abbrandversuche durchgeführt, die aufschlußreiche Ergebnisse über Bildung und Kondensation des Chlorwasserstoffs sowie über Korrosion durch Salzsäure und über Vorbeugungs- und Sanierungsmaßnahmen erbrachten (Lit. 11).

Trotzdem wurde den genannten, noch jetzt gültigen Grenzwerten in der Schadenpraxis mit erheblicher Skepsis begegnet, da vor allem die Frage der Kondensation und der Eindringtiefe in Abhängigkeit von der Entfernung zur Brandstelle, der Zeit und höherer Luftfeuchtigkeit sowie das Verhalten der Chloride im Beton bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen nur unzureichend geklärt war. Weitgehende Klärung sollten deshalb langfristig vorbereitete Versuche erbringen, die vom 27. März bis 7. April 1971 auf dem Gelände des Staatlichen Materialprüfamt (MPA) des Landes Nordrhein-Westfalen in Dortmund-Aplerbeck (Bild 1) im Auftrage der Arbeitsgruppe öffentlich-rechtliche Versicherung, Hamburg, und des Verbandes der Sachversicherer, Köln, stattfanden.

Das umfangreiche Versuchsprogramm wurde, wie der I. Versuchsabschnitt in Kiel-Schilksee – in engster Zusammenarbeit mit dem Allianz-Zentrum für

(Fortsetzung auf Seite 29)



Bild 1.
Brandversuchshaus des MPA in Dortmund.

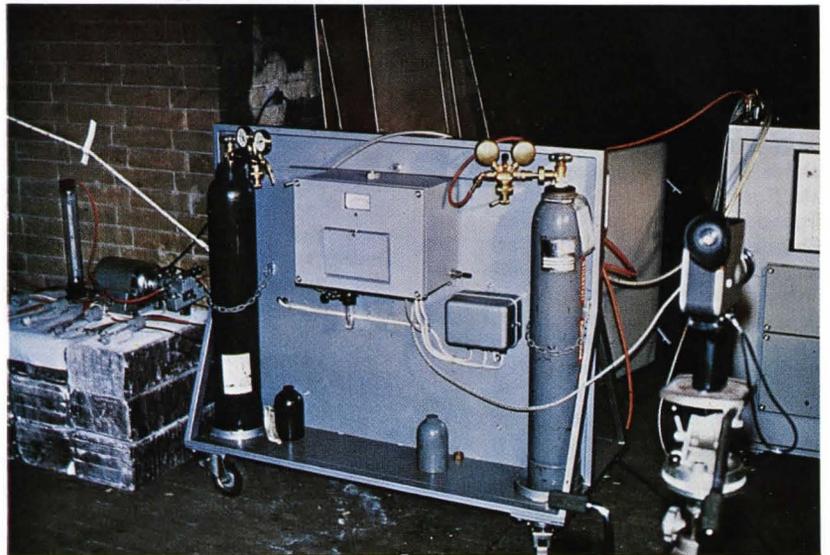


Bild 2.
Teilansicht der mobilen Meßwarte.

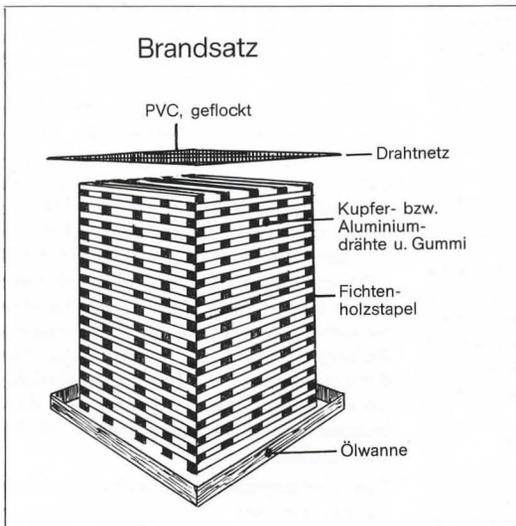


Bild 3.
Der Brandsatz.

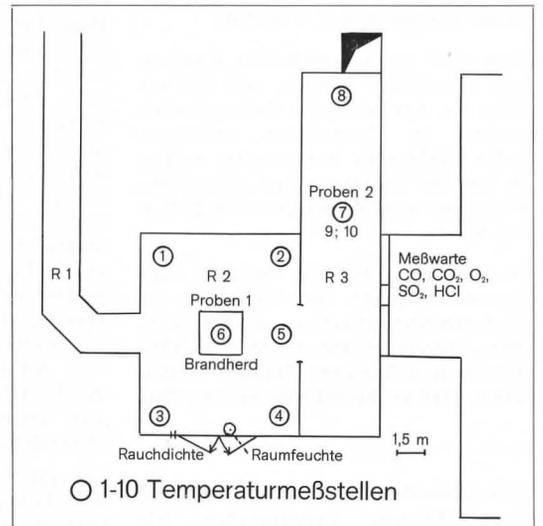


Bild 4.
Übersicht der Temperaturmeßstellen in den Versuchsräumen.



Bild 5.
Korrosionen am Stahl in Betonprüfkörpern. Die Korrosionen traten jedoch lediglich an Stellen mit unzureichender Ummantelung (Lunkerstellen) auf.

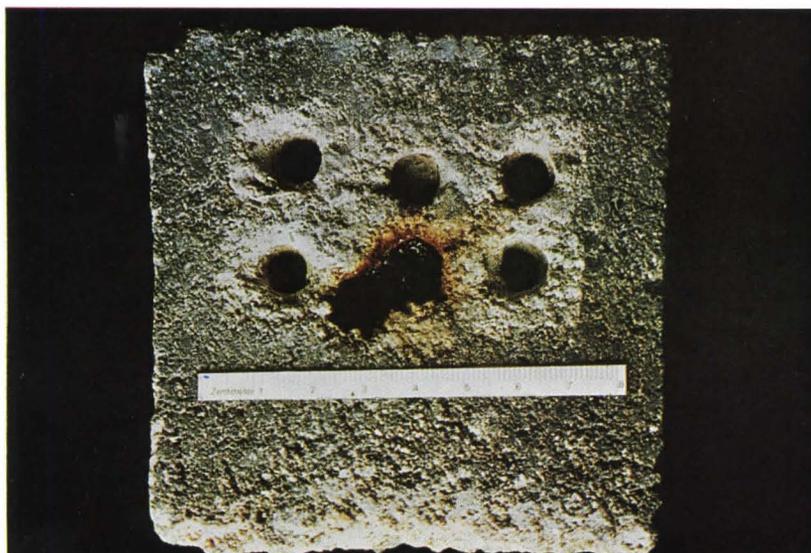


Bild 6.
Wurde bei der Probennahme zufällig die Stahleinlage freigelegt (hier Mörtelprüfkörper), so führt es bei der Außen- und bei der Unterwasserlagerung zu Korrosionen mit Ausbluteffekt.

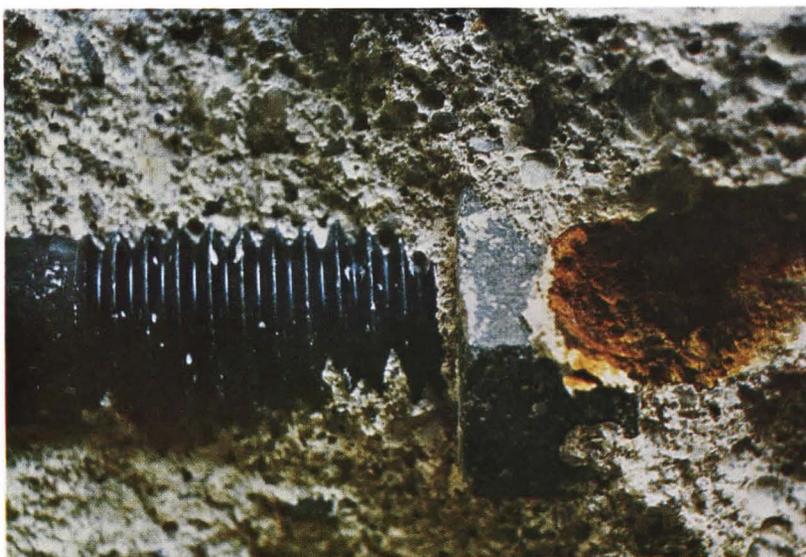


Bild 7.
Bei den Betonprüfkörpern blieb die Korrosion auf das Bohrloch begrenzt (Unterwasserlagerung).



Bild 8.
Typische Korrosion am Bolzenkopf bei den Mörtelproben. Derartige Merkmale fehlten bei den Betonproben völlig (Außenlagerung).



Bild 9.
Leichte Korrosionen bei den Mörtelproben an den Bolzenenden und beginnende Korrosion am Schaft, d. h. eindeutig im Bereich außerhalb der Chlorideinwirkung (Außenlagerung).



Bild 10.
Starke Korrosionsmerkmale an Bolzenköpfen bei Mörtelproben (Außenlagerung).

Technik (AZT), München-Ismaning – durchgeführt. Dabei wurde eine Arbeitsteilung durchgeführt:

Das AZT führte Untersuchungen an ungeschützten feinmechanischen, elektrischen und elektronischen Bauteilen durch. Auch der abbrandtechnische Teil wurde vom AZT übernommen. Das Laboratorium für Brandschutztechnik, Kiel, stellte dagegen – mit Ausnahme der stationären Rauchdichte- und Temperaturmeßanlage des MPA Dortmund-Aplerbeck – die volle meßtechnische Überwachung der Versuchsabläufe zur Verfügung. Die für diese komplexe Aufgabenstellung erforderlichen Meß- und Registriergeräte wurden z. T. eigens für das geplante Versuchsprogramm konzipiert und angeschafft.

Die Arbeitsgruppe öffentlich-rechtliche Sachversicherung im Verband der Sachversicherer e. V., Hamburg, stellte die volle Finanzierung des sehr kostspieligen und umfangreichen Versuchsprogramms sicher, die eine Summe von mehr als 60 000 DM in Anspruch nahm. Das Kieler Laboratorium führte Brandgasbelastungsversuche an definierten Mörtel- und Betonproben mit und ohne Stahlbewehrung durch.

Der nachfolgende Bericht wertet etwa 10 000 analytische Einzelbestimmungen aus 6 Brandversuchsreihen aus. Er stellt wegen der Fülle des Materials eine sehr stark gekürzte Fassung des Originaluntersuchungsberichtes dar.*)

B. Versuchsprogramm und Vorbereitung

Folgende Probleme sollten bei den Abbrandversuchen und bei den sich anschließenden Auslagerungen der Prüfkörper untersucht bzw. geklärt werden:

1. Die Salzsäurebildung beim Abbrand in Abhängigkeit von der Menge und der Art des beteiligten PVC.
2. Die Kondensation der gasförmigen Salzsäure auf Beton- und Mörtelprüfkörper und die Eindringtiefe in Abhängigkeit von der Konzentration, der Zeit, der Luftfeuchte und der Entfernung zum Brandherd.
3. Das Verhalten der bei der Beaufschlagung in die Prüfkörper eingedrungenen Salzsäure in Abhängigkeit von der Zeit unter unterschiedlichen klimatischen Auslagerungsbedingungen.

Gleichzeitig sollte während der Abbrandversuche die Temperatur an verschiedenen Punkten des Raumes, die Rauchdichte und die Rauchgaszusam-

ensetzung hinsichtlich ihres Gehaltes an:

- Kohlendioxid,
- Kohlenmonoxid,
- Schwefeldioxid und
- Sauerstoff

gemessen werden.

Die für die Versuche vorgesehenen Probekörper wurden ca. 1½ Jahre vorher gefertigt und ungeschützt im Freien gelagert. Einen Monat vor Versuchsbeginn wurden sie in einen auf 20 °C/65 % rel. Feuchte klimatisierten Raum überführt. Die Würfel besaßen eine Kantenlänge von 100 mm und wurden zur besseren Homogenisierung der Komponenten und der damit verbundenen besseren Analytik und Reproduzierbarkeit der ermittelten Er-

gebnisse unter Verwendung von quarzitischem Estrichkies 0/3 mm mit einem natürlichen Kalkgehalt von ca. 2 % CaCO₃ gefertigt. Diese Betonprüfkörper, nachfolgend als Beton bezeichnet, wurden mit Portlandzement (PZ 275) im Verhältnis 1 : 5 (RT) = 200 kg Zement/m³ Beton hergestellt. Um eine ausreichende Porosität der Prüfkörper ohne Zusatzmittel zu erzielen (erschwerte Versuchsbedingungen), wurde mit einem Wasserzementwert (W/Z) von 0,95 (13) gearbeitet und manuell verdichtet.

Die Mörtelprüfkörper wurden aus Hydratkalk, Zement und Kies im Verhältnis 2 : 1 : 9 gefertigt (DIN 18 550 MG II). Die abgebundenen und ausgetrockneten Proben besaßen zu Beginn der Versuche folgende Eigenschaften:

Tabelle 1

	Beton	Mörtel
Bindemittel / Zuschlag (RT)	1 : 5	1 : 3
" / " (GT)	1 : 5,4	1 : 5,4
Bindemittel %	15,6	15,6
Rohdichte	2,04	1,88
Reindichte	2,53	2,59
Porenvolumen %	19,5	27,4

In jeweils die Hälfte der Probekörper wurden Bolzen (12 × 60 mm) mit Gewinde und Mutter aus unlegiertem Stahl (8.8 C 35 – C 45) so eingebettet,

daß die Köpfe eine Überdeckung von ca. 15 mm besaßen. Sie wurden vor dem Einbetten mit Benzol entfettet.

Tabelle 2. **Abmessung der in Verbund stehenden Versuchsräume:**
Siehe Bild 4 auf Seite 26

Raum	Länge	Breite	Höhe	Volumen	Gesamtvolumen
1 Gang	12	1	2	24,0 m ³	
2	5	4	2,8	56,0 m ³	56,0 m ³
3	9	2	2,8	50,4 m ³	50,4 m ³
Gesamt				130,4 m ³	106,4 m ³

Die Innenauskleidung bestand aus geklinkertem Ziegelmauerwerk. An der hinteren Schmalseite des 3. Raumes befand sich ein Kamin.

Bei den einzelnen Versuchen wurden die Mengen des PVC und die Zeitdauer der Begasung variiert.

C. Versuchsteil

1. Versuchsablauf

Der Brandsatz wurde jeweils aus einer Grundbrandlast und einem variierten PVC-Anteil zusammengestellt und sollte einen Innenraumbrand mit definierter Brandlast und PVC-Kabelisierung simulieren (Bild 3).

In jeden Versuch wurden insgesamt 32 Prüfkörper eingebracht, und zwar je 16 über dem Brandherd unter der Decke (Raum 2) und 5 m davon entfernt in 1,5 m Höhe in Raum 3. Es handelte sich dabei um jeweils acht Beton- und acht Mörtelprüfkörper, von denen je die Hälfte die beschriebene Stahleinlage besaß.

*) Dieser Originalbericht kann im Laboratorium für Brandschutztechnik der Schleswig-Holsteinischen Landesbrandkasse, Kiel, jederzeit eingesehen werden.

Tabelle 3

Nr.	Chronol. Folge	PVC Menge u. Art	\triangle NYM $3 \times 1,5^2$	\triangle gHCl	Dauer	Bemerkungen
1	1	1 kg Hart	22 m	550	1 h	Wasserzugabe während d. Abbrandes
2	5	1 kg Hart	22 m	550	2 h	
3	9	1 kg Hart	22 m	550	1 h	
4	3	1,3 kg Weich	22 m	500	1 h	15 kg Holz Null-Versuch mit Polyäthylen
5	8	3 kg Hart	66 m	1650	1 h	
6	2		0	0	1 h	

2. Meßergebnisse

Temperaturmessungen und Bestimmungen der Rauchdichte wurden in der stationären Meßwarte der Materialprüfanstalt vorgenommen. Die relative Raumfeuchte wurde mit einem im Abbrandraum installierten Hygrometer ermittelt. Sämtliche anderen Messungen wurden in einer mobilen Meßwarte durchgeführt, die unmittelbar an den Raum 3 angrenzend errichtet worden war. Die Entnahme der Meßgase erfolgte kontinuierlich in der Mitte der Probenstelle 2 in einer Höhe von 1,5 m am Temperaturmeßpunkt 7 (Bild 4).

2.1. Chlorwasserstoff (Salzsäure)

Die Bestimmung des Chlorwasserstoffgehaltes der Rauchgase war trotz Einsatzes verschiedener Meßmethoden wegen des hohen Feuchtigkeitsgehaltes der Rauchgase nicht mit letzter Sicherheit möglich.

Bei einer Menge von 1 bzw. 3 kg PVC mit einem Chlorgehalt von 55 % und einem Gesamtvolumen der drei Räume von 130 m³ (s. Tabelle 2) errechnet sich bei restloser Verbrennung und gleichmäßiger Verteilung eine Konzentration von ~ 0,28 bzw. 0,83 Vol.% Salzsäure. Unter Berücksichtigung des Kaminzu-

ges und des Wärmehauftriebs konnte daher in den Räumen 2 und 3 insbesondere in deren oberer Hälfte mindestens mit diesen Werten gerechnet werden.

Wie die Untersuchungen der eingehängten Probekörper ergaben, erfolgte bei gleichen PVC-Mengen, aber bei Verlängerung der Begasung auf 2 Stunden, auch eine annähernde Ver-

doppelung der Beaufschlagungsmenge (Versuch 1 u. 2).

Es kann also durchaus gefolgert werden, daß die Salzsäure im Luftraum in Umgebung der Proben auch länger als nach einer Stunde noch nahezu in unveränderter Konzentration vorhanden war.

2.2. Temperatur

Die Temperaturmessung erfolgte mit 10 in den Räumen 2 und 3 installierten Eisen/Konstantan-Thermoelementen.

Bei allen 6 Versuchen wurden die höchsten Temperaturen unmittelbar über dem Brandherd gemessen. Sie fielen deutlich mit der Entfernung vom Brandherd ab.

Die Maximaltemperaturen waren weiterhin abhängig vom Brandgut. Sie lagen bei Polyäthylen am höchsten (520 °) und bei Hart-PVC deutlich niedriger (440 °). Weich-PVC nimmt eine Mittelstellung ein (480 °).

2.3. Relative Luftfeuchte

Die relative Luftfeuchtigkeit sank durch die Brandhitze erwartungsgemäß

Tabelle 4

Meßpunkt	Raum	Position	Höhe	Maximaltemperatur ° C					
				V 1	V 2	V 3	V 4	V 5	V 6
1	2	linke Ecke hinten	2,8 m	265	260	200	265	200	270
2	2	rechte Ecke hinten	2,8 m	270	265	185	260	190	260
3	2	linke Ecke vorn	2,8 m	255	270	180	270	195	265
4	2	rechte Ecke vorn	2,8 m	260	280	200	275	195	285
5	2	Durchg. zum Raum 3	2,8 m	300	300	225	315	220	305
6	2	über Brandherd	2,8 m	460	440	325	480	355	520
9	3	Probestelle 2	2,0 m	150	150	120	155	110	130
7	3	Probestelle 2	1,5 m	125	135	105	130	110	120
10	3	Probestelle 2	0,5 m	90	60	50	90	45	80
8	3	Rückwand	2,8 m	150	160	120	155	110	140

Tabelle 5

Tiefe (mm)	Betonwürfel	Mörtelwürfel
0 - 1	0,040 % bezogen auf	0,036 % bezogen auf
1 - 5	0,016 % Betongewicht	0,014 % Mörtelgewicht
5 - 10	0,015 %	0,013 %
10 - 15	0,013 %	0,012 %
15 - 20	0,012 %	0,012 %
20 - 25	0,016 %	0,014 %
25 - 30	0,018 %	0,018 %
30 - 35	0,018 %	0,018 %
0 - 10 *)	0,018 %	0,016 %
0 - 10 **)	360 γ /cm ²	305 γ /cm ²

*) Der Mittelwert aus den drei Schichten 0-1, 1-5 und 5-10 mm wurde unter Zugrundelegung der Rohdichte (Tab. 1.) errechnet.

**) Um die folgenden Brandversuche hinsichtlich der Flächenbeaufschlagung durch Chlorwasserstoff unter den verschiedenen Versuchsbedingungen vergleichend bewerten zu können, wurden die bei der Blindwertbestimmung in den Schichten 0-1, 1-5 und 5-10 mm gefundenen Chloridmengen nicht nur als Gewichtsprozente ausgewertet, sondern auch auf die Flächeneinheit bezogen. In Anlehnung an die in der Metallkunde üblichen Korrosionstabellen wurden sie in Gamma (1 000 000 γ = 1g) bezogen auf 1 Quadratzentimeter angegeben.

Tabelle 6

Probenstelle 1 (Brandherd)

Tiefe (mm)	Versuch 1 1 kg Hart-PVC		Versuch 2 1 kg Hart-PVC		Versuch 3 1 kg Hart-PVC mit Wasserzugabe		Versuch 4 1,3 kg Weich-PVC		Versuch 5 3 kg Hart-PVC		Versuch 6 (Nullversuch) 1 kg Polyäthylen	
	Gesamtchlorid in Gew. = %											
	1 Stunde Beton Mörtel		2 Stunden Beton Mörtel		1 Stunde Beton Mörtel		1 Stunde Beton Mörtel		1 Stunde Beton Mörtel		1 Stunde Beton Mörtel	
0-1	0,081	0,196	0,146	0,223	0,173	0,264	0,102	0,177	0,203	0,316	0,030	0,053
1-5	0,057	0,041	0,104	0,081	0,096	0,096	0,065	0,052	0,166	0,163	0,009	0,005
5-10	0,020	0,011	0,024	0,020	0,023	0,021	0,014	0,008	0,061	0,040	0,007	0,004
10-15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0-10	0,040	0,042	0,069	0,065	0,068	0,074	0,043	0,043	0,118	0,117	0,010	0,010
0-10 γ/cm^2	832	780	1393	1216	1379	1414	878	795	2399	2198	206	180

Tabelle 7

Probenstelle 2 (Gang - brandentfernt)

Tiefe (mm)	Versuch 1 1 kg Hart-PVC		Versuch 2 1 kg Hart-PVC		Versuch 3 1 kg Hart-PVC mit Wasserzugabe		Versuch 4 1,3 kg Weich-PVC		Versuch 5 3 kg Hart-PVC		Versuch 6 (Nullversuch) 1 kg Polyäthylen	
	Gesamtchlorid in Gew. = %											
	1 Stunde Beton Mörtel		2 Stunden Beton Mörtel		1 Stunde Beton Mörtel		1 Stunde Beton Mörtel		1 Stunde Beton Mörtel		1 Stunde Beton Mörtel	
0-1	0,042	0,124	0,122	0,236	0,117	0,163	0,071	0,137	0,153	0,266	0,012	0,054
1-5	0,039	0,035	0,091	0,085	0,059	0,048	0,041	0,046	0,122	0,119	0,012	0,005
5-10	0,013	0,006	0,009	0,019	0,006	0,009	0,002	0,002	0,018	0,017	0,008	0,004
10-15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0-10	0,027	0,030	0,054	0,068	0,039	0,040	0,025	0,034	0,074	0,083	0,010	0,009
0-10 γ/cm^2	538	552	1083	1261	780	753	502	623	1492	1562	204	169

mäß. Mit Einsatz von Löschmaßnahmen traten jeweils erhebliche Steigerungen ein.

D. Untersuchung der Probekörper vor und nach den Brandversuchen

Die Bestimmung des Chloridgehaltes der Probekörper erfolgte auf physikalisch-chemischem Wege (Trübungsmessung) und ergab für die einzelnen Schichten der Probekörper die in den Tabellen 5-7 angegebenen Werte.

1. Blindwerte

Jeweils 4 Probekörper aus Beton und Mörtel wurden von den Versuchen ausgeschlossen. Sie wurden lediglich zur Bestimmung der Dichte, des Porenvolumens und der Blindwerte herangezogen. Der natürliche Chloridgehalt (Blindwert) dieser Probekörper ist für die einzelnen Schichttiefen in der Tabelle 5 zusammengestellt.

Die Probekörper besitzen also an der Oberfläche eine Zone mit einer erheblich über dem Durchschnitt liegenden Chloridkonzentration, die sich jedoch ins Probeninnere deutlich verringert, sie steigt dann in größeren Tiefen leicht wieder an.

2. Beaufschlagungen und Eindringtiefen

Die durch Salzsäurebeaufschlagung in den Proben entstandenen Calcium-Chloridmengen errechnen sich aus dem Gesamtgehalt abzüglich des Blindwertes.

Bemerkenswert erscheint die Tatsache, daß bei sämtlichen Versuchen die Eindringintensität der Salzsäurekondensate bei den Betonproben stärker ausgeprägt war als bei den Mörtelproben, d. h. im Kalkzementmörtel erfolgte eine erheblich größere Chloridanreicherung im Oberflächenbereich als beim Beton.

Diese deutliche Differenz ist auf die unterschiedliche Reaktionsgeschwindigkeit zwischen feuchtem Chlorwasserstoff und Calcium-Silikaten beim Beton bzw. reinem Calcium-Karbonat beim Mörtel zurückzuführen (Lit. 4, S. 11 unten rechts und 5, S. 19 unten links).

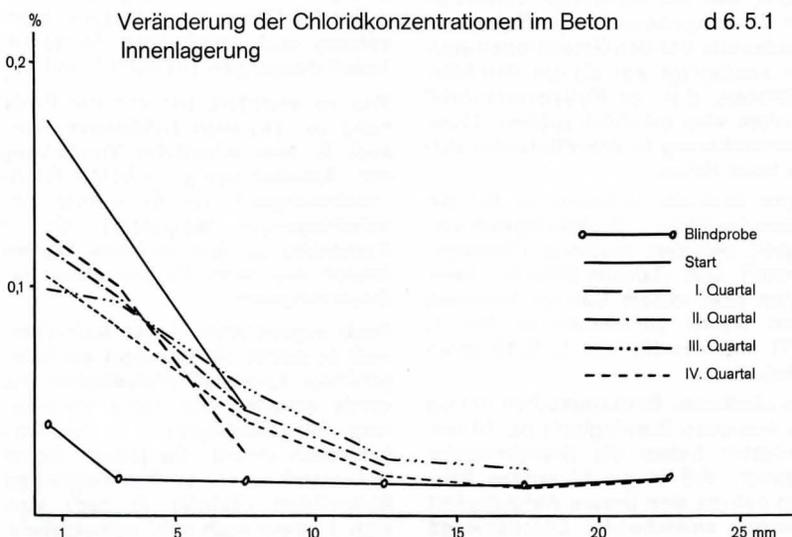
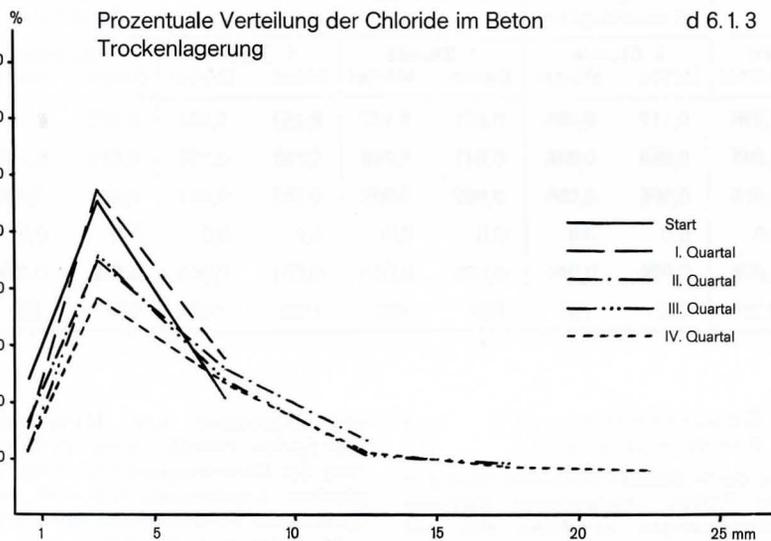
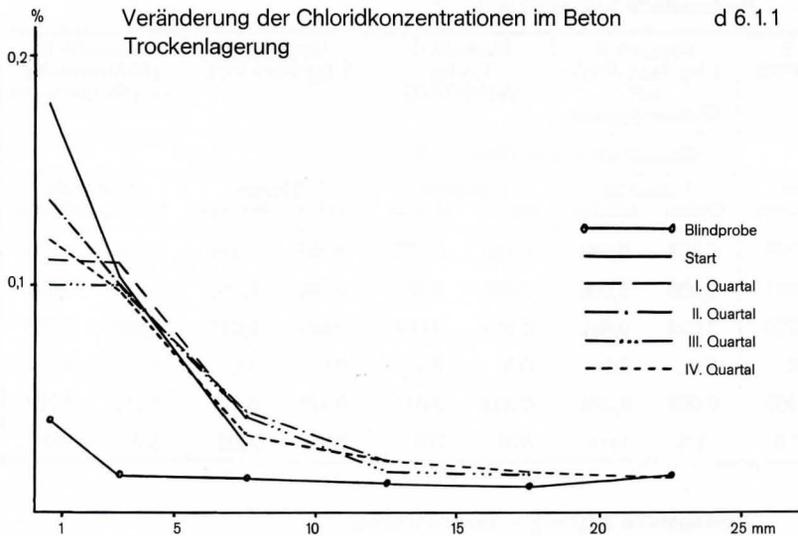
Bei sämtlichen Brandversuchen betrug die maximale Eindringtiefe ca. 10 mm. Weiterhin haben die Brandversuche ergeben, daß in geschlossenen Räumen nahezu eine lineare Abhängigkeit zwischen entstehender Chloridmenge

und Branddauer bzw. Menge des Brandgutes besteht. Eine Verlängerung der Einwirkungszeit führt fast zu gleichen Ergebnissen wie eine entsprechende Vervielfachung des Brandgutes (Versuch 1, 2 und 5).

Wird Hart-PVC durch äquivalente Mengen von Weich-PVC ersetzt, so erfolgen im Brandfall ungeachtet der unterschiedlichen Rauchgaszusammensetzung auch gleich hohe Salzsäurebeaufschlagungen (Versuch 1 und 4).

Wie zu erwarten, trat mit der Erhöhung der relativen Luftfeuchte (Versuch 3) eine erhebliche Verstärkung der Beaufschlagung (erhöhte Reaktionsfreudigkeit) ein. Es wurden Beaufschlagungen festgestellt, die in Brandnähe zu fast gleichen Werten führten wie durch Verdoppelung der Einwirkungszeit.

Beim sogenannten Nullversuch (Versuch 6) diente als Brandgut ein halogenfreier Kunststoff (Polyäthylen). Es wurde erwartet, daß keine Veränderung des Chloridgehalts in den Probekörpern eintritt. Da jedoch dieser Nullversuch in seiner chronologischen Reihenfolge (Tabelle 3) nach Versuch 1 sowie nach zwei vorhergehenden



den orientierenden Probeabbränden stattfand, waren die teilweise berußten Ziegelwände mit Chlorwasserstoff angereichert. Von diesen nicht reaktionsfähigen Flächen konnte der Chlorwasserstoff unter der Brandhitze des Nullversuches in den Raum zurückgasen und führte hierdurch zu einer zwar geringfügigen, aber merkbareren Erhöhung des Chloridgehaltes der Probekörper.

Aus den Begasungsversuchen wird die Notwendigkeit einer ausreichend guten Durchlüftung des gesamten Einzugsbereiches der Brandgase deutlich erkennbar, da es sich bei der Beaufschlagung, insbesondere bei Beton und Kalkputz, weniger um eine Kondensation der Salzsäure als vielmehr um eine reaktionelle Umsetzung handelte. Die gasförmige Salzsäure besitzt also ein beachtliches Beharrungsvermögen in unbelüfteten Räumen. Aus diesem Grund bewirkten Unterzüge, Deckenschürzen und andere Raumunterteilungen auch nur kurzfristig eine Verzögerung der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Rauchgase.

Eine schnelle Durchlüftung ist vor allem vorzunehmen, wenn die Luftfeuchtigkeit der betroffenen Räume durch Löschmaßnahmen erheblich angestiegen ist.

Von gleicher Wichtigkeit wie eine schnelle und gute Durchlüftung erscheint aber auch auf jeden Fall die Beseitigung von salzsäurehaltigen Niederschlägen (Ruß) auf nicht reaktionsfähigen Materialien, da die daraus rückgasende Salzsäure zwar bei Beton kaum Schädigungen hervorruft, bei bereits sanierten oder neu installierten ungeschützten metallischen Werkstoffen und Geräten aber durchaus Korrosionen auszulösen vermag (Lit. 14).

E. Auslagerungen

Die langfristigen Auslagerungen der von den Brandversuchen stammenden Probekörper sollten über den Wanderungseffekt (Chloriddiffusion) Aufschluß geben.

Die Salzsäurebeaufschlagungen der Proben weisen bei sämtlichen Auslagerungen einen Wanderungseffekt ins Innere auf, der von der Trocken- zur Unterwasserlagerung hin im steigenden Maße zunimmt und bei den Mörtelproben z. T. stärker ausgeprägt ist als beim Beton. Darüber hinaus waren jedoch auch Rück- und vereinzelt Zuwanderungstendenzen aus dem Probeninneren erkennbar.

Obwohl für die Praxis der Versuch der Trockenlagerung mit hermetisch in Polyäthylen-Folien eingewickelten Versuchskörpern bedeutungslos erschien, ergab sich, daß nach Ablauf eines Jahres die ursprüngliche maxi-

male Eindringtiefe bis zu 10 mm sich auf 15 mm, d.h. um 50 % vergrößert hatte. Der Diffusionsmechanismus, der zu diesem Ergebnis führte, ist noch nicht geklärt. Es ist denkbar, daß er u. U. auf den hohen Wasserzementwert der Probekörper zurückgeführt werden kann (vgl. Abschnitt B und F).

Bei der Lagerung von Prüfkörpern unter normalen Raumbedingungen vergrößerte sich die Wanderungstendenz erwartungsgemäß. Nach einem Jahr wurden als maximale Eindringtiefe ca. 20 mm erreicht.

Verglichen mit den Normallagerungsbedingungen wirkt sich der Witterungseinfluß bei Außenlagerungen erheblich aus. Am Ende der Auslagerungszeit war eine Chloriddiffusion bis in eine Tiefe von rd. 25 mm eingetreten. Bemerkenswert ist der vermutlich auf Regen zurückzuführende Auswascheffekt des Chlorids (Rückdiffusion). Hierdurch könnten je nach Umständen deutliche Rückwanderungen an die Oberfläche unter gleichzeitiger Verarmung im Innern bewirkt werden.

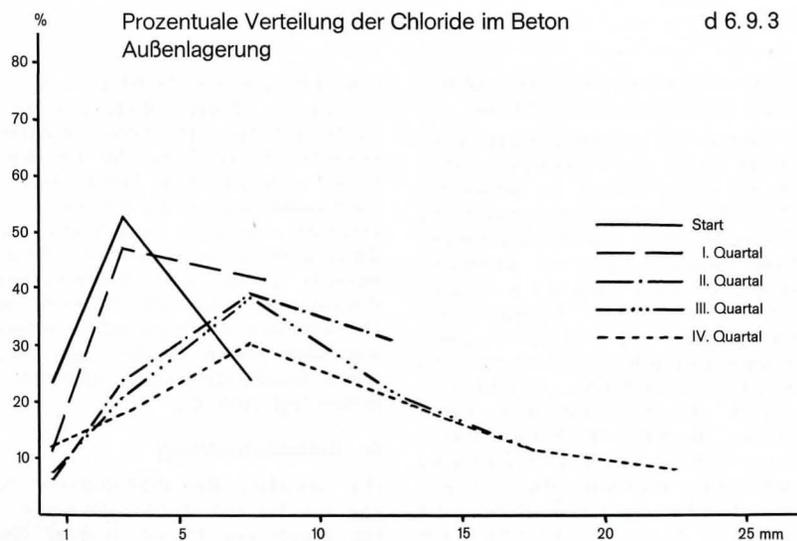
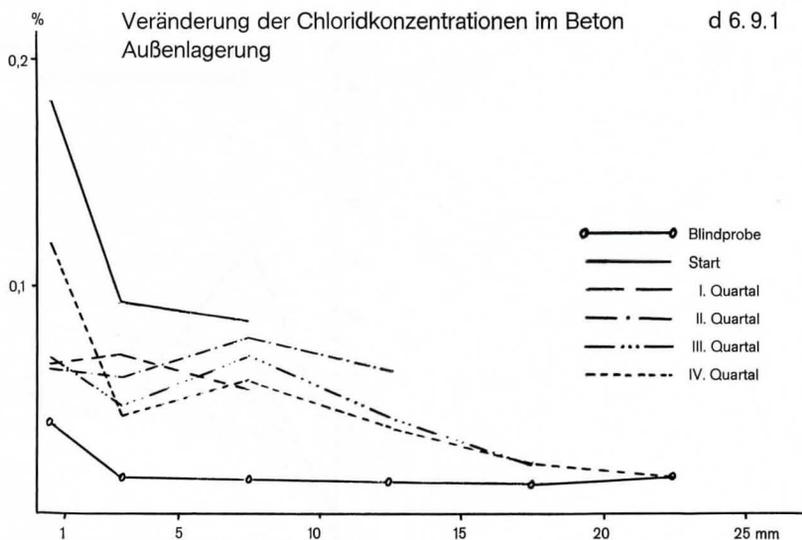
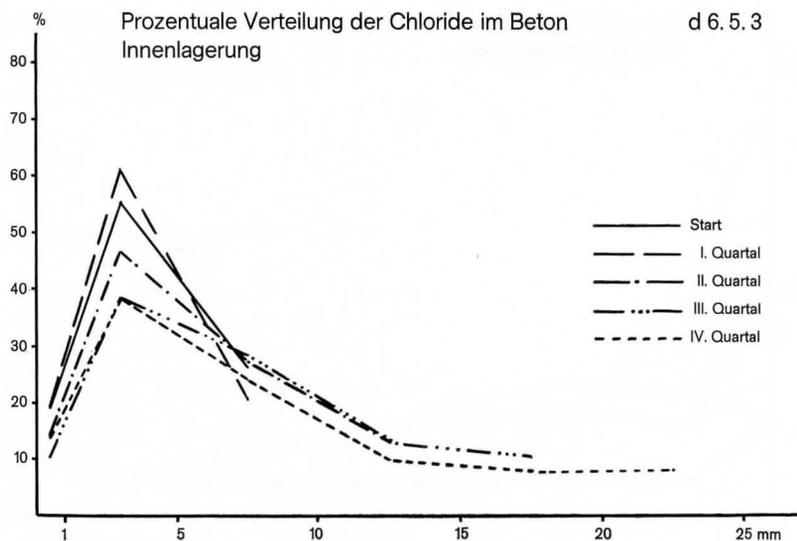
Die Unterwasserlagerung zeigte diese Tendenz im verstärkten Maße.

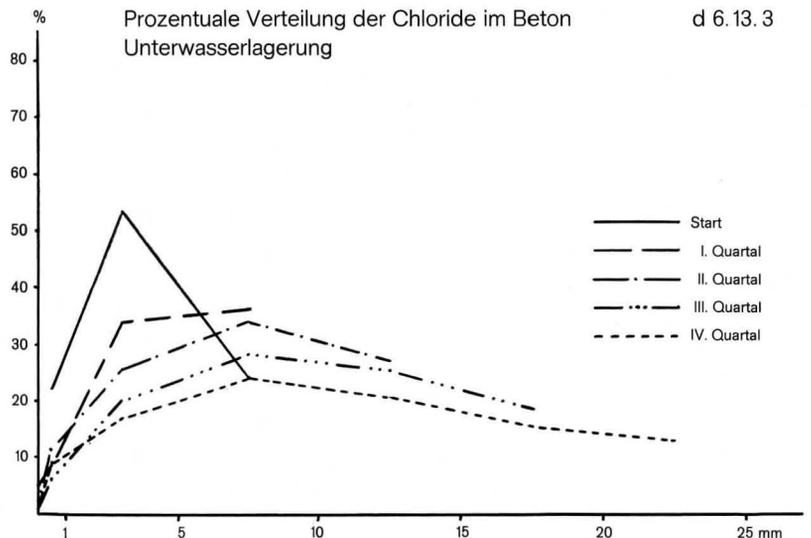
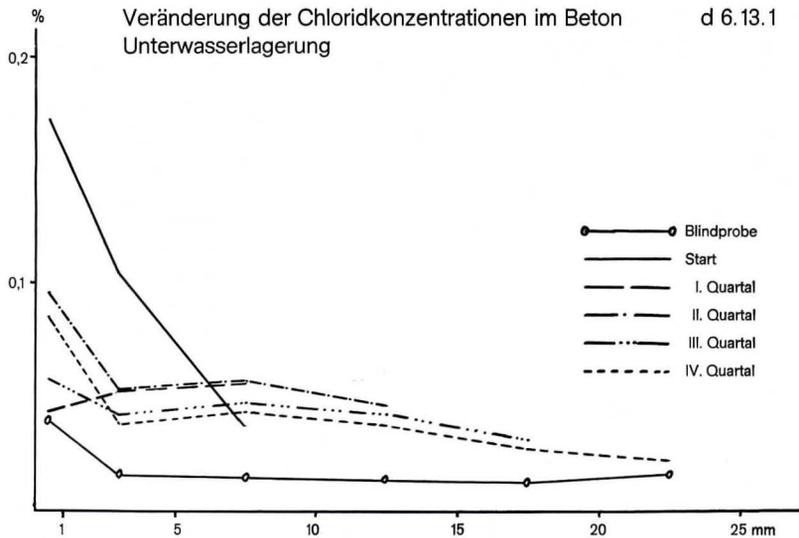
Dies trifft sowohl für die Diffusionsgeschwindigkeit des Chlorids als auch für den Auslaugeeffekt bis zum Abbau des brandbedingten Chloridgehalts zu.

F. Korrosion der eingebetteten Stahlbolzen und Bildung schwerlöslicher Verbindungen

Im Abschnitt B – Versuchsprogramm und Vorbereitung – wurde darüber berichtet, daß einem Teil der Beton- und der Mörtelprüfkörper eine Modellbewehrung eingelegt wurde. Diese bestand in jedem Fall aus einer Maschinenschraube, auf deren Schraubende eine Mutter aufgezogen war. Vor Einbettung dieser Schraube wurde ihre nicht korrodierte Oberfläche mit Benzol sorgfältig entfettet bzw. entölt.

Bei den Prüfkörpern aus Kalk-Zement-Mörtel (Mörtelgruppe II) traten sowohl bei den Blindversuchen als auch bei den brandbelasteten Probekörpern an der Oberfläche des Stahles erwartungsgemäß Korrosionen auf (Bilder 5–10). Diese verstärkten sich unter dem Einfluß erschwelter Auslagerungsbedingungen. Im Gegensatz dazu konnten an den betonumhüllten Bewehrungen im Beobachtungszeitraum von einem Jahr auch unter zunehmend feuchten Auslagerungsverhältnissen keine Korrosionen am Stahl beobachtet werden. Dieses Ergebnis war überraschend, da in den Bereich der 15 mm überdeckten Köpfe bzw. Endschrauben nachgewiesener-





maßen nach einem Jahr das brandbedingte Chlorid eindiffundiert war.

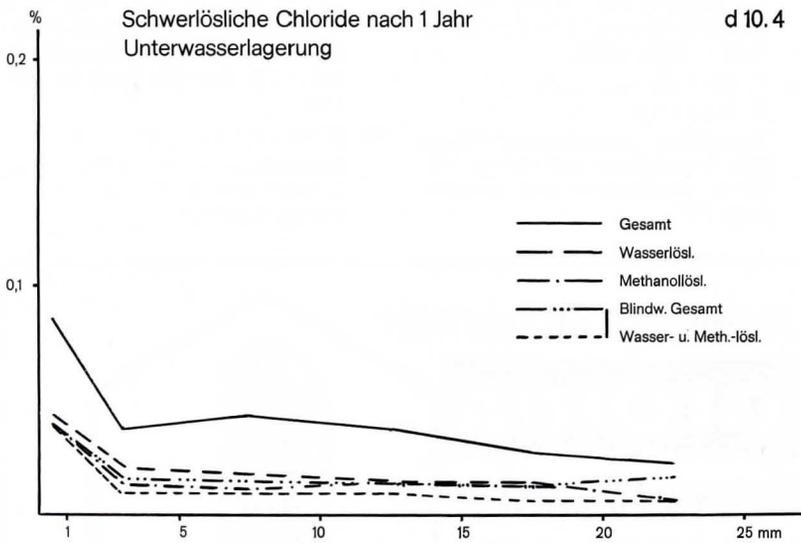
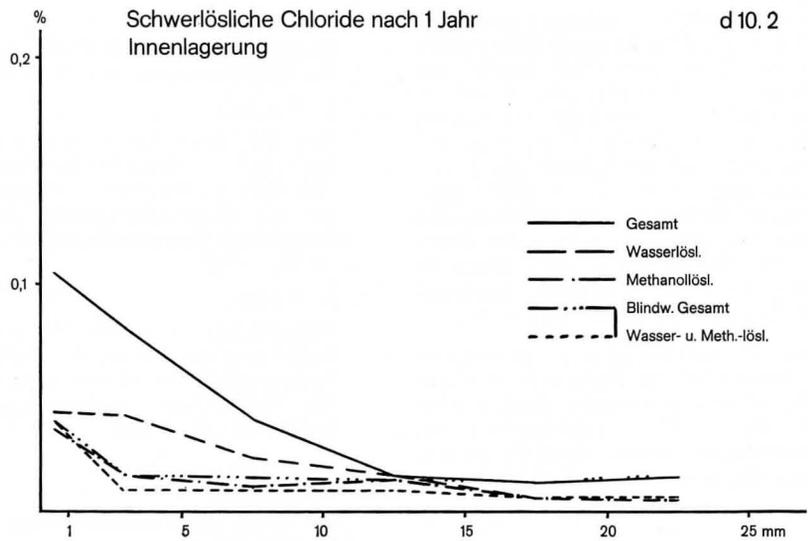
Im Rahmen der Untersuchungsarbeiten wurden daher die Prüfkörper zusätzlich auf ihren Gehalt an schwerlöslichen Chloridverbindungen quantitativ untersucht, ohne die Strukturklärung dieser Verbindungen zu betreiben. Abweichend von den in der Literatur (7) bekannten Mengenverhältnissen zwischen schwerlöslichen und leichtlöslichen Anteilen ergab sich, daß ein sehr hoher Anteil schwerlöslicher Chloridverbindungen gebildet wurde, der in einer Tiefe von 15 mm und darüber hinaus nahezu dem

Gesamtchloridgehalt entsprach. Diese Bildungstendenz dürfte auf den sehr hohen Wasserzementwert der Prüfwürfel zurückzuführen sein. Der hohe Gehalt an Anmachwasser scheint die Bildung eines erhöhten Anteils reaktionsbereiter Zwischenprodukte zu bewirken, die einerseits primär eine beschleunigte Wanderungstendenz der Chloride ins Probeninnere zur Folge haben, sekundär dann jedoch in der Lage sind, schwerlösliche Chloridverbindungen zu bilden (vgl. Abs. E).

G. Schlußbetrachtung

Die während der Abbrandversuche und aus den Untersuchungen ermittelten Ergebnisse stellen in ihrer Ge-

samtheit wichtige Erkenntnisse und Bestätigungen von Hypothesen über die Beaufschlagung von Beton u. ä. Baustoffen mit Salzsäure aus PVC-Abbränden dar. Sie geben gute Hinweise über die Abhängigkeit der Beaufschlagung von Art und Menge des am Brand beteiligten PVCs, von der Dauer der Einwirkung, von der Entfernung zum Brandherd, von der Luftfeuchtigkeit und von der Art des Baustoffes. Ebenfalls konnten aufschlußreiche Erkenntnisse über das Verhalten der Salzsäure im Beton unter den unterschiedlichsten Auslagerungsbedingungen über einen längeren Zeitraum gewonnen werden. Aus den Ergebnissen lassen sich wesentliche Hinweise über vorbeugende, aber auch über Sanie-



ungsmaßnahmen ableiten, über die noch zu einem späteren Zeitpunkt zu berichten sein wird. Das gleiche gilt für interessante Nebenerscheinungen, die über den Rahmen dieser Veröffentlichung hinausgehen, wie die Bildung von schwerlöslichen Verbindungen, sowie die für die brandtechnische Beurteilung von Baustoffen wichtigen Kriterien der Bildung von Kohlenmonoxid und der Rauchdichte.

Obwohl bei der Fertigung der Betonprüfkörper z. T. von den für die Herstellung von hochwertigem Spannbeton gültigen Richtlinien bewußt abgewichen wurde (hoher Wasser-Zementfaktor, Kieskörnung 0/3 mm und daraus resultierende größere Porosität), können diese Maßnahmen

durchaus als erschwerende Versuchsbedingungen gewertet werden. In der Praxis dürfte daher unter ähnlichen Brandbedingungen aufgrund der dort vorhandenen relativ höheren Bindemittelkonzentration und der geringeren Luftporenaktivität bei Erwärmung eine geringere Eindringtiefe bei der Beaufschlagung zu erwarten sein. Das gleiche gilt für die Wanderungsgeschwindigkeit der Chloride ins Betoninnere, die durch den relativ höheren Bindemittelanteil und ein größeres Korn im Zuschlagstoff eine erhebliche Verzögerung gegenüber den Versuchen erfahren dürfte.

Den Herren Direktoren Dr. jur. Georg Fiedler und Dipl. sc. pol. Peter Schlie, Mitglieder des Vorstandes der Schles-

wig-Holsteinischen Landesbrandkasse, Kiel, sei für ihre Unterstützung bei der Bewältigung der schwierigen organisatorischen Probleme beim Großversuchsablauf herzlich gedankt.

Den Herren Chemie-Ing. Grupp, Allianzzentrum Ismaning, und Brandrat a. D. Dipl.-Ing. Prösdorf, Allianz-Hauptverwaltung, München, sei für die hervorragende und ergänzende Zusammenarbeit während des gesamten Versuchsprogramms an dieser Stelle sehr herzlich gedankt. Besonders hervorgehoben werden muß jedoch die überaus tatkräftige und wirkungsvolle Unterstützung unserer Arbeiten durch den leitenden Regierungsdirektor Dr. rer. nat. Rumberg und dessen technischen Mitarbeiterstab in der Mate-

rialprüfanstalt Dortmund-Aplerbeck. Ihnen gilt deshalb unser ganz besonderer Dank. Besonders herzlich sei auch der Arbeitsgruppe öffentlich-rechtliche Versicherung im Verband der Sachversicherer e. V., Hamburg, gedankt, daß die schwierigen Finanzierungsprobleme in so großzügiger Weise durchgeführt und gelöst werden konnten. Ohne die großzügige finanzielle Hilfe von dieser Seite hätten die umfangreichen Versuche überhaupt nicht durchgeführt werden können.

Für die sorgfältige und unermüdlige Hingabe bei der Probenvor- und aufbereitung sei unserem Altlaboranten H. Carle, Kiel, Laboratorium für Brandschutztechnik, ebenfalls an dieser Stelle herzlich gedankt.

Literatur

1. W. Jach
Gebäudebrandschaden: Textilfabrik J. Koch, Kreuzfeld/Malente v. 23. 3. 1963, unveröffentlichtes Gutachten.
2. R. Schuh
Neuzeitliche Fragen der Brandschadenverhütung. Vortrag am 10. 11. 1966 in der Landesbrandkasse in Kiel.
3. C. Reiter
Chloridschäden durch PVC-Brände. ZS. Versicherungswirtschaft 19/67.
4. C. Reiter
Das Schadenrisiko neuzeitlicher Kunststoffe – Möglichkeiten einer Verminderung des Risikos. Vortrag auf der Brandschutztagung der Bayerischen Versicherungskammer am 21. 1. 1968.
5. R. Schuh
Folgeschäden von Bränden mit Beteiligung des Werkstoffes PVC. Vortrag auf der Brandschutztagung der Bayerischen Versicherungskammer am 21. 1. 1968.
6. D. Briesemann und H. Greger
Zur Frage der Chloridwanderung in PVC-Schwelgasen ausgesetztem Beton. ZS. Betonstein Zeitung 5/70.
7. W. Richartz
Die Bindung von Chlorid bei der Zementehärtung. ZS. Zement – Kalk – Gips 10/69.
8. F. W. Locher und S. Sprung
Einwirkung von salzsäurehaltigen PVC-Brandgasen auf Beton. ZS. Beton, Herstellung und Verwendung 2/70.
9. Der Minister für Arbeit, Soziales und Vertriebene der BRD. Die Minister des Innern der Länder
Korrosionsschutz bei Spannbeton- und Stahlbetonbauteilen (Korrosionserlaß, Fassung Februar 1967) ZS. Amtsblatt für Schleswig-Holstein 38/67.
10. Chr. Hammer und K. Fischer
Feststellung, Beurteilung und Ausbesserung von Gebäudeschäden durch PVC-Brandgase. ZS. Beton, Herstellung und Verwendung 9/71.
11. P. H. Effertz, H. Grupp und W. Jach
Einwirkung chlorwasserstoffhaltiger Brandgase auf Werkstoffe und Bauteile. ZS. Der Maschinenschaden 3/70.
12. P. H. Effertz und H. Grupp
Einwirkung chlorwasserstoffhaltiger Brandgase auf metallische Werkstoffe sowie auf Bauteile der Feinmechanik und Elektronik. (2. Teil). ZS. Der Maschinenschaden 1/72.
13. R. Wendehorst
Baustoffkunde. 18. Auflage 1966, S. 293 ff. und 321 ff. C. R. Vincentz Verlag, Hannover.

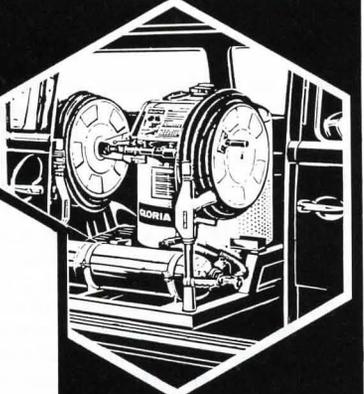
Jederzeit Sicherheit

GLORIA®

Feuerlöscher

In mehr als 100 Staaten der Welt.






Jederzeit Sicherheit durch laufende Wartung der Geräte durch GLORIA-Verkaufsbüros und Kundendienststellen. Nachweis in den Branchenverzeichnissen der amtlichen Fernsprechbücher unter dem Suchwort »Feuerlöscher«

GLORIA-WERKE H. Schulte-Frankenfeld KG · 4724 Wadersloh i. W.
Telefon (02523) 1061-1067 · Telex 089 424