

# Korrosion der Befestigungselemente bei vorgehängten Fassaden

**T 596**

T 596

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00  
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)



FORSCHUNGS- UND  
MATERIALPRÜFUNGSANSTALT  
BADEN-WÜRTTEMBERG - OTTO-GRAF-INSTITUT -

FMPA

FORSCHUNGS-AUFTRAG IfBt IV/ 1-5-154/ 77

**KORROSION DER BEFESTIGUNGSELEMENTE  
BEI VORGEHÄNGTEN FASSADEN**

VON

**G. REHM  
R. LEHMANN  
U. NÜRNBERGER**

STUTTGART, MÄRZ 1980

## 1. Allgemeines

In einer von den Verfassern durchgeführten Forschungsarbeit "Literaturstudium zur Frage der Konstruktion, bauphysikalischer Aspekte und der Dauerhaftigkeit der Befestigungselemente bei vorgehängten Fassaden" wurde bereits zu dem Problem der Korrosion der Befestigungselemente Stellung genommen.

Die Arbeit beschreibt zunächst die wesentlichen Konstruktionsmerkmale vorgehängter Fassaden. Dabei finden die Art der Befestigung und die verwendeten Befestigungsmittel sowohl in konstruktiver als auch in werkstofftechnischer Hinsicht besondere Berücksichtigung. Bei der Beschreibung der Werkstoffeigenschaften steht das Verhalten unter Korrosionsbeaufschlagung im Vordergrund.

Auf theoretischem Wege wurden die eine Korrosion beeinflussenden klimatischen Verhältnisse im Bereich der vorgehängten Fassaden unter Berücksichtigung der natürlichen Randbedingungen (Außenklima, Innenklima) abgeschätzt. Für einige typische Außenwandkonstruktionen wurde rechnerisch ermittelt, ob für den stationären Fall mit Kondenswasser im Bereich der Fassade, vor allem aber an den metallischen Befestigungsteilen zu rechnen ist.

Diese theoretischen Betrachtungen haben gezeigt, daß die heute geltenden Regeln für den Korrosionsschutz von Befestigungen der Unterkonstruktion und Fassade auf der sicheren Seite liegen. Es ist jedoch anzunehmen, daß die Forderung nach Korrosionsschutz I (DIN 4115) für Unterkonstruktionen aus Stahl und nach ausschließlich rostfreiem Stahl für die Verbindungsmittel in manchen Anwendungsfällen unberechtigt ist.

Nur bei den rechnerisch schwer faßbaren instationären Fällen muß in bestimmten Bereichen der Fassade an metallischen Befestigungsteilen mit zeitweisem Kondenswasserbefall gerechnet werden. Im üblicherweise betrachteten stationären Fall kommt es im Bereich der Fassadenverankerungen i.a. nicht zu einem Kondenswasserniederschlag. Kritisch können hier jedoch "Wärmebrücken" werden, die in Verbindung mit bestimmten diffusionstechnisch ungünstigen Wandaufbauten länger andauerndem Kondenswasser ausgesetzt sein können.

Die bisher auf dem Gebiet der Korrosion der Befestigungselemente bei vorgehängten Fassaden angestellten theoretischen Betrachtungen und Zeitraffer - Laborversuche erlauben z.Zt. noch keine abschließende Beurteilung dieses Problemkreises, da entsprechende Vergleichsversuche unter baupraktischen Bedingungen bzw. Untersuchungen an älteren bestehenden Fassaden nicht zur Verfügung standen.

Um mehr Informationen über das tatsächliche Korrosionsverhalten in der Praxis zu bekommen, sollten daher in dem vorliegenden Forschungsvorhaben Befestigungselemente aus bestehenden Bauwerken entnommen und hinsichtlich ihres Korrosionszustandes untersucht werden. Hierbei sollten insbesondere Bauwerke mit extremen lokalen und baulichen Verhältnissen sowie möglichst langen Standzeiten ausgewählt werden. Die Konstruktion und Wirkungsweise der jeweiligen Fassade sollte besondere Berücksichtigung finden.

## 2. Ermittlung von geeigneten Bauwerken

Um das gestellte Forschungsziel zu erreichen, mußten zunächst geeignete Bauwerke ausfindig gemacht werden. Zu diesem Zweck wurde ein Erhebungsblatt (Bild 1) ausgearbeitet, welches Fragen zu den gewünschten Informationen enthält. Dieses Erhebungsblatt wurde an 91 Adressen versandt mit der Bitte, geeignete Bauwerke zu benennen.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die angeschriebenen Personengruppen und die erzielte Resonanz. Demnach wurden ca. 50 % der Anfragen beantwortet, 21 % der angeschriebenen Personen bzw. Institutionen sandten ausgefüllte Fragebogen zurück und nannten z.T. mehrere Objekte. Den übrigen Absendern waren keine geeigneten Bauwerke bekannt, jedoch gaben sie z.T. nützliche Anregungen und Hinweise für das weitere Vorgehen.

Die eingegangenen Antworten nannten insgesamt 62 Bauwerke, deren wesentliche Angaben in Tabelle 2 zusammengestellt sind. Es sei vermerkt, daß zahlreiche Fragebogen nicht zu allen der genannten Fragen Angaben enthielten; in Tabelle 2 sind fehlende Angaben mit o.A. (ohne Angaben) gekennzeichnet.

1. BAUWERK

- a) Sind Schäden an der Fassade bekannt ? Nein/ Ja .....
  - b) Standort des Bauwerks : PLZ .....Straße: .....
  - c) Gebäudehöhe:  0 - 8 m       8 - 20 m       20 - 100 m       über 100 m
  - d) Baujahr:       1940 - 1950       1950 - 1960       1960 - 1970       ab 1970
  - e) Eigentümer bzw. Verwalter d. Bauwerks: .....
  - f) Planung bzw. Entwurf d. Bauwerks: .....
  - g) Bauausführende Firma: .....
- Bemerkungen zu .....

2. MONTAGE DER FASSADE

- Montage
- a) bei der Erstellung des Gebäudes im Jahr .....
  - b) nachträgliche Fassadenverkleidung im Jahr .....
  - c) Montagefirma: .....
- Bemerkungen zu .....

3. FASSADENSYSTEM

- a) Fassadenplatten : Typ ..... Größe .....
  - Befestigung der Platten: Blindniet/ Dübel/ Haken/ Nagel/ Niet/ Schraube/ .....
  - b) Ausbildung der Fugen : horizontal : offen/ abgedichtet/ überlappt/ .....
  - vertikal : offen/ abgedichtet/ überlappt/ .....
  - c) Unterkonstruktion : Holz/ Asbestzement/ Aluminium/ Stahl/ .....
  - Verlegerichtung der Unterkonstruktion: horizontal/ vertikal/ Trägerrost/ .....
  - d) Befestigung an der tragenden Wand:
  - Anker/ Ankerschiene/ Dübel, Metall-, Kunststoff - /Bolzen/Schrauben/ .....
  - e) Aufbau der Fassade:
  - Dicke des Luftspaltes (Hinterlüftung) : .....
  - Dicke der Dämmschicht: .....
  - Tragende Wand: Baustoff ..... Dicke .....
- Bemerkungen zu .....

4. Weitere INFORMATIONEN zum Bauwerk/ zur Fassade sind erhältlich bei :

.....

Bitte zurücksenden an: FMPA - Bauwesen (Otto-Graf-Institut)  
zu Hd. von Herrn Dr. Nürnberger  
Pfaffenwaldring 4  
7000 Stuttgart 80 (Vaihingen)

Angeschriebener Personenkreis	Zahl der Anfragen	Zahl d. Antworten *	
		positiv	negativ
Fassadenbau- firmen	4	1	1
SVA-Fassadenbau	19	5	4
Interessengruppe Fassadenbekleidungen	11	2	5
Interessengruppe Verbindungsmittel	11	2	4
SVA-Dübel	15	1	5
Prüfämter	31	8	8

\* positiv : Antwort und Nennung von Bauwerken

negativ : Antwort und keine Nennung von Bauwerken

Tabelle 1: Übersicht über den angeschriebenen Personenkreis  
und die Zahl der Antworten

lfd. Nr.	Baujahr der Fassade	Umwelt	Schäden bekannt	Gebäudehöhe (m)	tragende Wand	Art der Fassadenplatten	Unter-konstruktion	Befestigung der Fassadenplatten an der Unter-konstruktion	Befestigung der Unter-konstruktion an der tragenden Wand	Dicke der Dämmschicht (mm)	Dicke des Luftspalts (mm)	Bemerkungen
4/1	65/66	o.A.	nein	100	Beton 30 cm	Washbeton	entfällt	Krallenanker	entfällt	5,5	5,5	
4/2	71	"	"	8	"	"	"	Fassadenanker V4A Schrauben	"	0	6	
8/1	67/68	normal	"	o.A.	Stahlskelett	PVC- (hart) Kassetten	"	"	"	0	0	hinterlüftete Fassade
8/2	67	"	"	"	"	"	o.A.	o.A.	o.A.	o.A.	o.A.	"
8/3	66	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
8/4	66	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
8/5	65	nahe Kokerei	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
8/6	67	normal	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
8/7	67	"	"	"	"	"	Holzrost	Schrauben	"	"	"	"
8/8	66	"	"	"	"	"	o.A.	geklemmt in Kunstst.-Leisten	"	"	"	"
8/9	73	"	"	"	"	Polydet.	"	o.A.	"	"	"	"
8/10	75	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
8/11	75	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
8/12	75	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
8/13	73	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
8/14	60	aggr. Chemie	"	"	Brüstung	PVC-Wellplatte	Holzplatten	Schrauben	"	"	"	"
8/15	73	normal	"	"	o.A.	Polydet	o.A.	o.A.	o.A.	"	"	"
8/16	72	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
8/17	72	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
8/18	71	aggr. Chemie	"	"	Brüstung	Polyester	verzinkte Glasfaser	Schrauben	o.A.	"	"	"
8/19	73	normal	"	"	Mauerwerk+ Beton	FVC	Winkelleisen	o.A.	"	"	"	"
8/20	64/65	"	"	"	o.A.	"	"	"	"	"	"	"
8/21	63	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
8/22	64	extr. Wetter	ja	"	"	"	Holzplatten	"	"	"	"	"
8/23	64	normal	nein	"	Mauerwerk	PVC-hart	entfällt	Messingschraube+ Kunstst.-Dübel	entfällt	"	"	"
8/24	64	Industrie	"	"	o.A.	"	Holzplatten	o.A.	o.A.	"	"	"
8/25	63	normal	"	"	Bimssteine	"	Styropur 2 cm	Schrauben	"	Styropur 20	"	"
8/26	60	Industrie	"	"	Holzständer	Polyester	o.A.	o.A.	"	PVC (hart) 4	"	"
8/27	62	Flußsäure	"	"	Brüstung	FVC-hart	"	"	"	entfällt	entfällt	Verkleidung Dachaufbau
8/28	64/65	Industrie	"	"	Gasbeton	"	entfällt	Schrauben	entfällt	"	"	"
8/29	60	"	"	"	o.A.	"	Holzplatten	o.A.	o.A.	o.A.	o.A.	"
8/30	64/65	"	"	"	Gasbeton	"	o.A.	"	"	"	"	"
8/31	60	"	"	"	o.A.	FVC	"	"	"	"	"	Älteste PVC-Fassade in BRD
9	62	o.A.	"	20	"	verm. Naturstein	"	"	"	"	"	"
11	71	normal	"	20	Beton+ HLZ	Beton	Asbestzement	Schrauben	Dübel+ V21-Schrauben	0	50	"
14/1	74/75	"	"	20	Beton	Ickler TM	Aluminium	Blindniete	Kunststoffdübel	50	55	"
14/2	74/75	"	ja	20	Beton	Ickler Clickpress	"	"	"	50	22	"
19/1	67	"	nein	20	Beton	Aluminium	o.A.	o.A.	o.A.	o.A.	o.A.	"
19/2	75/76	"	"	100	Beton 20 cm	"	Stahlkonsolen	"	Ankerschiene+ Schrauben	50	80	"
21/1	74/76	"	"	20	Beton+ Mauerwerk	Panelcraft	Aluminium	Blindniete	Dübel+ Schrauben	40	30/40	"
21/2	75/76	"	"	20	"	"	Alu. Rohr-konstruktion	"	Kunstst.-Dübel Schrauben	0	30/40	"
21/3	75/76	"	"	20	"	"	"	"	"	70	50/60	"
21/4	73/74	"	"	20	"	"	"	"	"	30	30/40	"
22/1	69	"	"	100	Stahl-konstruktion	Trapezprofil	entfällt	Schrauben	entfällt	40	ca.30	"
22/2	65	"	"	20	"	"	"	"	"	30	40	"
25/1	64	"	"	100	Beton	Alu-Kassetten	Holz+feuer- verzinkter St	Klemmleiste	"	50	0	"
25/2	66	"	"	100	"	PVC-Kassetten	Aluminium	"	Halfenschiene	o.A.	o.A.	"
30/1	69	"	ja	100	"	Eternit 8 mm	"	Blindniete	Kunstst.-Dübel + Schrauben	45	30	"
30/2	73	"	nein	20	Stahlbeton- stützen	Aluminium	Stahl verzinkt	Schrauben	Liebig-Dübel	60	40	"
32/1	70	"	"	20	Beton	Asbestzement	Holz	Nägel	Kunstst.-Dübel + bolzen	100	50	"
32/2	61/62	"	"	100	o.A.	"	Alu-farit-halter	o.A.	"	o.A.	0	"
32/3	53/54	"	"	o.A.	Durisol+ Beton	Natur-schiefer	entfällt	Nägel verzinkt	entfällt	o.A.	0	"
32/4	63/64	o.A.	"	100	"	"	"	"	"	o.A.	0	"
36/1	67	"	"	100	Stahlskelett	Profil-blech	entfällt	Schrauben	entfällt	35	40	"
36/2	69	"	"	100	Corten-Stahl	Aluminium	Aluminium	"	Schrauben	100	"	trapezförmiger Luftspalt
36/3	70	"	"	20	Stahlskelett	Aluminium	entfällt	"	entfällt	40	"	"
38	69	"	"	20	o.A.	Stahl	Stahl	Blindniete	Schrauben	50	"	"
41	72/73	"	"	100	Kalksand- stein	Eternit	"	Nieten	Metalldübel	40	110	"
42	74	"	"	20	Beton	"	Holz	"	Schrauben	50	50	"
43	75	"	"	100	Stahlbeton- ziegel	Aluminium	Stahl	Blindniete	Dübel	30	120	"
44	69/70	"	"	100	HLZ 36,5 cm	Eternit	"	Schrauben	Dübel+ Schrauben	0	40	"
46	73	"	"	20	Mauerwerk 36,5	Alu-panels	"	"	Schrauben	0	1000	"

Tabelle 2 : Zusammenstellung der in der Fragebogenaktion erhaltenen Informationen

Tabelle 2 soll im folgenden kurz erläutert werden. Die Numerierung erfolgte in der zeitlichen Reihenfolge des Eingangs der Antworten. Die Ziffern sind nicht fortlaufend, weil die in Tabelle 1 mit "negativ" gekennzeichneten Antworten keine Bauwerke nannten und deshalb nicht aufgeführt sind. Wurden von einem Absender mehrere Bauwerke genannt, sind diese unter der Ziffer des betreffenden Absenders hinter dem Schrägstrich fortlaufend durchnumeriert.

Neben vorgehängten Fassaden wurden teilweise auch Angaben über sogenannte Verkleidungen gemacht. Das Alter der genannten Bauwerke liegt zwischen 2 und 24 Jahren. Eine große Zahl der älteren Bauwerke weist Fassadenplatten aus PVC auf, die in der Regel auf eine Unterkonstruktion aus Holzlatten geschraubt sind. Weiterhin sind Unterkonstruktionen aus Stahl bzw. Aluminiumprofilen sowie Asbestzement angegeben. Einige Fassadenplatten sind direkt an der tragenden Wand befestigt. Die tragende Konstruktion der angegebenen Bauwerke besteht in der Regel aus Beton bzw. Mauerwerkswänden. In einigen Fällen ist eine Stahlskelettkonstruktion vorhanden. Die Befestigung der Unterkonstruktionen an den tragenden Wänden erfolgte in der Mehrzahl der Fälle mittels Kunststoffdübeln und verzinkten Schrauben. Metalldübel wurden nur bei wenigen Fassaden verwendet. Diese Fassaden haben zudem meist ein relativ geringes Alter von ca. 3 bis 4 Jahren.

Die genannten Bauwerke ermöglichen somit hauptsächlich eine Untersuchung von (verzinkten) Schrauben und Nägeln in Holzlatten bzw. Schrauben in Kunststoffdübeln. Dies gilt auch für ältere Befestigungsteile in Industrielatmosphäre.

Es wurde zunächst mit Erhebungen bei Verkleidungen auf dem Gelände eines großen deutschen Chemiewerks begonnen, da sich nach unserer Information dort mehrere bis zu 17 Jahre alte Bauwerke (8/21, 8/27, 8/29, 8/31; nach Tabelle 2) in extrem ungünstiger Umgebung für die Untersuchungen anboten. Bei direkter Kontaktaufnahme mit der Firma ergab sich folgende Situation. Von den in Tabelle 2 ausgesuchten 4 Bauwerken erwiesen sich nur 2 als für die Untersuchung geeignet. Demgegenüber wurden uns weitere Gebäude auf dem Werksgelände für Untersuchungen angeboten, jedoch handelte es sich überwiegend um Verkleidungen. Nach Prüfung der konstruktiven Gegebenheiten

sowie des Alters und der Umweltbelastung wurden die in Tabelle 3 aufgeführten Konstruktionen an Ort und Stelle augenscheinlich beurteilt und soweit möglich und sinnvoll Befestigungsteile entnommen. Den Arbeiten waren dadurch Grenzen gesetzt, daß Beobachtungen und Entnahmen nur bis auf eine Höhe von etwa 3 m möglich waren und jeweils nur solche Befestigungsteile entnommen werden konnten, die unmittelbar und problemlos durch neue Teile ersetzt werden konnten. Die fotografische Dokumentation anhand von Übersichtsaufnahmen von Bauwerk und Umgebung war nicht möglich, die gemachten Detailaufnahmen wurden freundlicherweise von der Firma für eine Veröffentlichung freigegeben. In Tabelle 3 sind die wesentlichen Angaben der auf dem Werksgelände des Chemiebetriebes untersuchten Fassaden zusammengestellt.

### 3. Untersuchungsergebnisse

#### 3.1 Bauwerk A nach Tabelle 3

Das 14 Jahre alte Bauwerk ist ca. 5 m hoch und besteht aus einer Stahlbetonskelettkonstruktion, die mit Mauerwerk ausgefacht ist. Die Stützen der Konstruktion sind in Sichtbeton ausgeführt und haben einen Abstand von ca. 10 m. Das Mauerwerk ist mit PVC-Paneelen verkleidet. Diese sind auf eine Unterkonstruktion aus Holzlatten genagelt. Zwischen dem PVC-Profil und den Nägelköpfen sind 2 mm starke Unterlegscheiben aus Kunststoff angeordnet. Die Paneele sind seitlich durch einen Falz gestoßen. Im Falzbereich sind die Befestigungsnägel angeordnet und werden durch das nächstfolgende PVC-Profil abgedeckt. Lediglich beim letzten Profil vor der Stütze sind die Nägelköpfe nicht abgedeckt.

Bezeichnung	Alter [Jahre]	Umwelt	raumabschließende Wand	Art der Fassadenplatten	Unterkonstruktion	Befestigungsart d. Fassadenpl.	Befestigungsart d. Unterkonstr.
A	14	ohne besondere Beaufschlagung	Mauerwerk	seitl. durch einen Falz gestoßene PVC-Panäle	Holzplatten	verzinkte Nägel (entnommen)	Stahlnägel (Entn. nicht mögl.)
B	13	180 m südlich Chlorfabrik, 200 m östlich Schwefelsäurefabrik	keine (Verkleidung)	PVC-Spundwandprofil	Holzbalken auf Stahlkonstr.	verzinkte Schrauben	nicht feststellbar
C	15	100 m westlich Chlorfabrik, Lagerhalle für Ätznatron	keine (Verkleidung)	Welleternit	[ -Profil aus Stahl	Befestigungshaken mit Schraubgewinde aus Stahl	entfällt
D	15	Südecke der Schwefelsäurefabrik	keine (Verkleidung)	transluzentes Spundwandprofil	Stahlwinkel auf Stahlkonstruktion	Poppniete (Monel) Cu-Legierung	entfällt
E	16	ohne besondere Beaufschlagung	Mauerwerk	PVC-Spundwandprofil	Holzplatten	Schrauben aus Kunststoff - Polyamid?	nicht feststellbar
F	12	nahe Ammoniakfabrik (während ca. 6 Jahre)	Beton Gasbeton	PVC-Spundwandprofil	keine	vernickelte Messingschrauben in Kunststoffdübeln	entfällt
G	12	ohne besondere Beaufschlagung	keine (Verkleidung)	transluzentes Spundwandprofil	Stahlwinkel auf Stahlkonstruktion	Poppniete (Monel) Cu-Legierung	entfällt
H <sub>1</sub>	11	keine besondere Beaufschlagung	keine	PVC-Spundwandprofil	[ -Profil aus Stahl	verzinkte selbstschneidende Schrauben	entfällt
H <sub>2</sub>	>5	dto.	dto.	dto.	dto.	Blechschrabe aus nichtrostendem Stahl	entfällt
J	11	ca. 50 m östl. Chlorelektrolyse	Stahlkonstr. + Styropordämmung	seitlich durch einen Falz gestoßene PVC-Panäle	verzinkte Stahlunterkonstruktion	Klemmwinkel an der Unterkonstruktion	nicht feststellbar

Tabelle 3: Zusammenstellung von Angaben der auf dem Werksgelände eines Chemiebetriebes untersuchten Fassaden

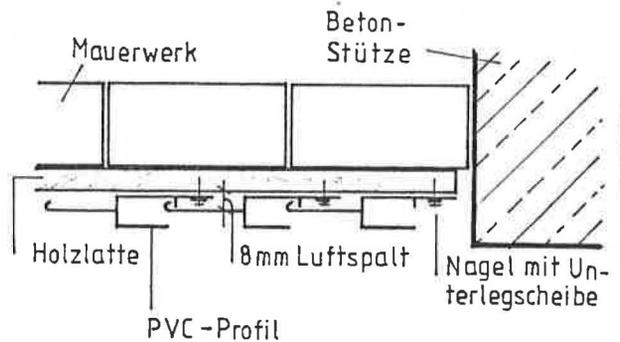


Bild 2 Horizontalschnitt

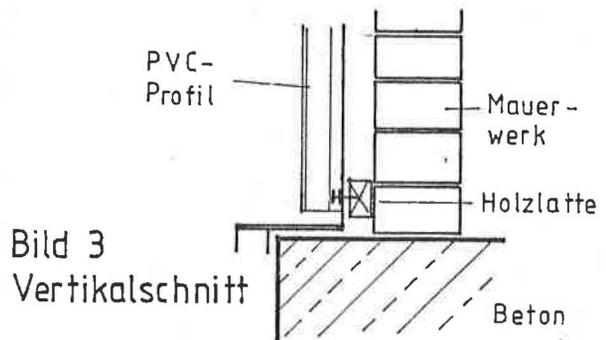


Bild 3 Vertikalschnitt

Bild 1: Ausschnitt der Fassade im Sockelbereich

Bild 1 zeigt einen Ausschnitt der Fassade im unteren Bereich neben einer Stütze.

Bild 2 verdeutlicht schematisch die Ausbildung des PVC-Profiles, dessen Befestigung auf der Holzlattung und die Verfalzung mit dem Nachbarprofil.

Bild 3 zeigt den Anschluß der Fassade an den 30 cm hohen Betonsockel. Ca. 1 cm oberhalb der Oberkante des Sockels ist mit der untersten Nagelreihe ein Z-Profil aus PVC an der Holzlatte befestigt, das sowohl hinter die Fassade reicht als auch ca. 50 mm vor die Fassade auskragt. Die Paneele enden ca. 20 mm oberhalb des Z-Profiles;

durch diesen Luftspalt wird die Fassade hinterlüftet. Im Bereich der Befestigungslatten ist der Luftspalt ca. 8 mm breit; zwischen den Holzlatten erweitert er sich um die Holzlattenbreite auf 32 mm.

Die Länge der Paneele bis zu einem darüberliegenden Fensterband beträgt ca. 3 m. Der obere Abschluß der Fassade ist sinngemäß wie beim Sockel ausgeführt. Dadurch wird ein Eindringen von Regenwasser verhindert und eine Hinterlüftung der Fassade ermöglicht.

Die Fassade wurde an mehreren Stellen geöffnet und in verschiedenen Höhenlagen die für die Befestigung der PVC-Paneele verwendeten verzinkten Nägel entnommen.

Beim Öffnen der Fassade wurde etwa 1 m neben einer Stütze unmittelbar oberhalb des Betonsockels ein Ventilator festgestellt, der den dahinterliegenden Raum entlüftete und die Abluft in den Luftspalt zwischen Mauerwerk und Fassadenbekleidung blies. Dadurch wurde die Fassade auf einem Bereich von 1 - 2 m Breite "zwangshinterlüftet".

Entnahmen erfolgten an den Stellen:

- a) ca. 8 m vom "zwangshinterlüfteten" Bereich und ca. 1 m von der nächsten Stütze entfernt in der untersten Befestigungsreihe und 70 bzw. 250 cm vom Erdboden entfernt;
- b) an verschiedenen Stellen der unteren Befestigungsreihe etwa 4 - 6 m von den benachbarten Stützen entfernt;
- c) im "zwangshinterlüfteten" Bereich in Sockelhöhe und 250 cm über dem Erdboden;
- d) unmittelbar neben einer Betonstütze; hier waren die Nagelköpfe frei der Bewitterung ausgesetzt.

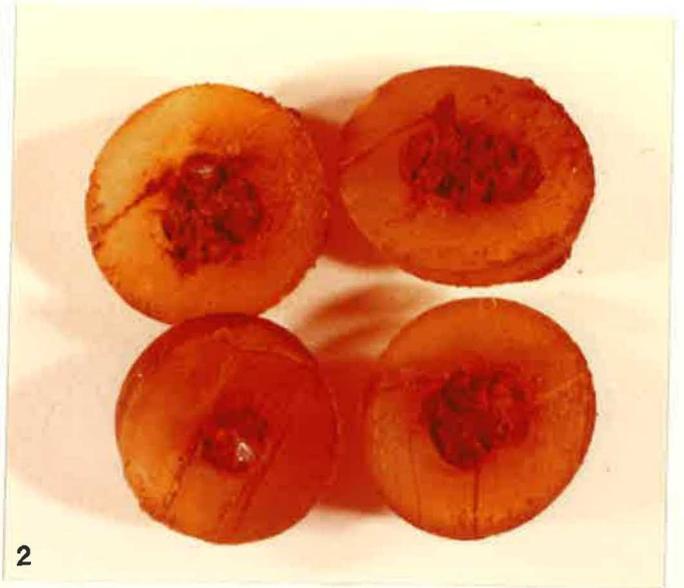
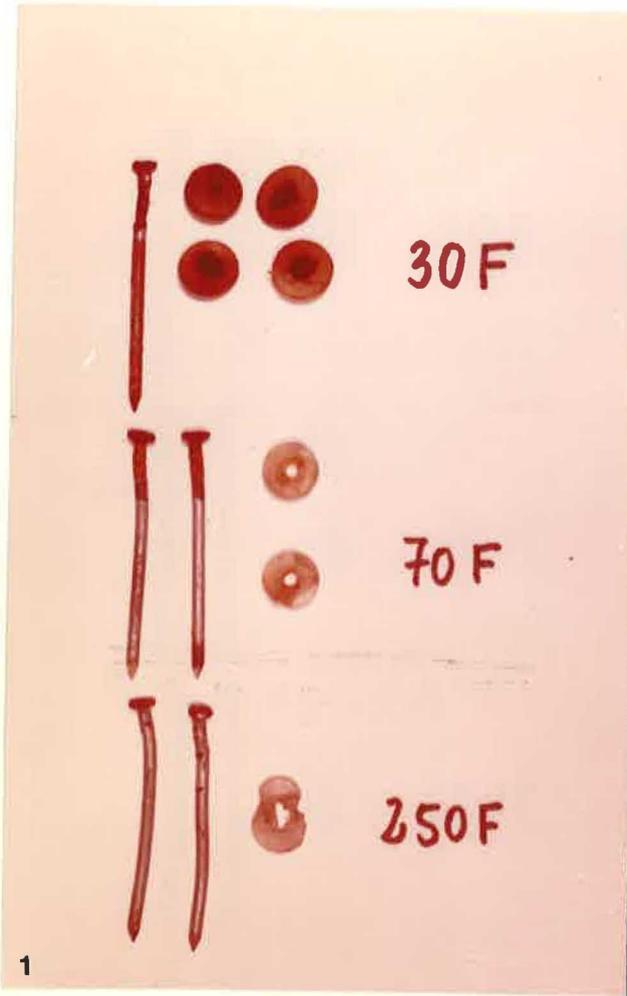


Bild 4: Nägel an den Entnahmestellen a und b

← 4.1 - Seitenansicht der Nägel in verschiedenen Höhenlagen

4.2 - Durchgerostete Nägel im Sockelbereich unterhalb der Unterlegscheibe

(die Zahlen ..F geben die Höhenlage über dem Erdboden in cm wieder)

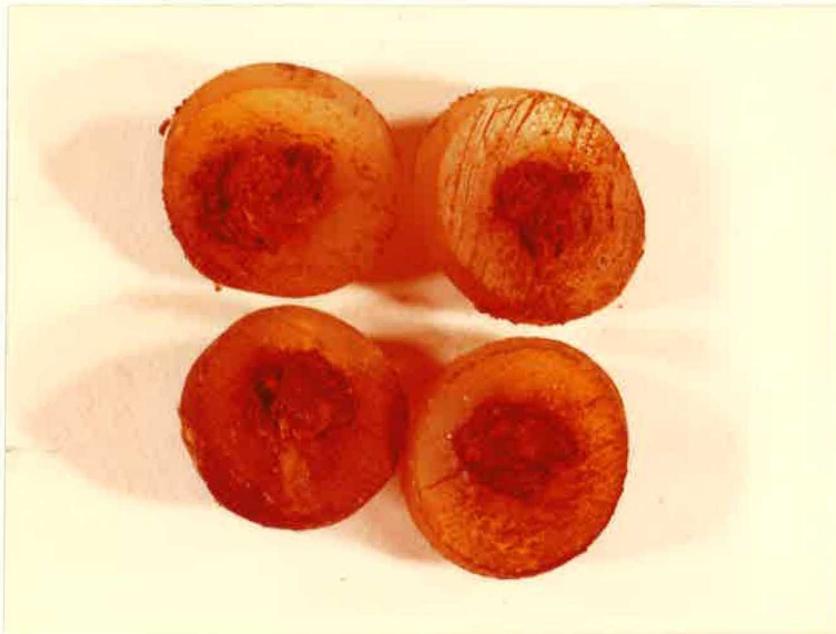
Für den Normalbereich (keine "Zwangshinterlüftung") ist charakteristisch, daß eine Korrosion der Nägel stattgefunden hat, die deutlich von der Höhenlage abhängt. Unmittelbar über dem Sockel ist die Korrosion am stärksten; hier waren die meisten Nägel im Bereich unterhalb der Unterlegscheibe aus Kunststoff durchgerostet. Bild 4.1 oben zeigt einen Nagel mit deutlicher Querschnittsminderung in diesem Bereich und dessen Korrosion in der Holzlattung. Bild 4.2 zeigt durchgerostete Nägel im Sockelbereich mit Blick hinter die Unterlegscheibe. Bild 4.1 Mitte und unten verdeutlicht die mit zunehmender Höhenlage geringer werdende Korrosion.

Die abnehmende Korrosionsintensität mit zunehmender Höhenlage wird nochmals aus Bild 5 deutlich, das den Korrosionszustand der Nagelköpfe in verschiedenen Höhenlagen zeigt.



250 F

70 F



30 F

Bild 5: Nagelköpfe an den Entnahmestellen a und b  
(die Zahlen geben die Höhenlage über dem Erdboden  
in cm wieder)

Im "zwangshinterlüfteten" Bereich entsprach das Korrosionsbild der unteren Nagelreihe in etwa dem im "Normalbereich". Oberhalb des Gebläses war die Korrosion geringer als im "Normalbereich". Bild 6 bringt hierfür Beispiele.

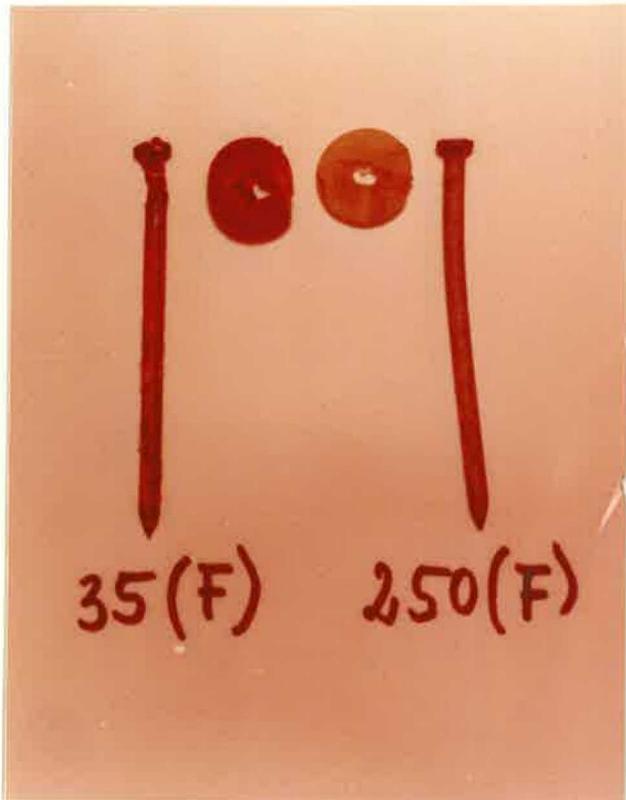


Bild 6: Nägel an der Entnahmestelle c

(die Zahlen geben die Höhenlage über dem Erdboden in cm wieder)

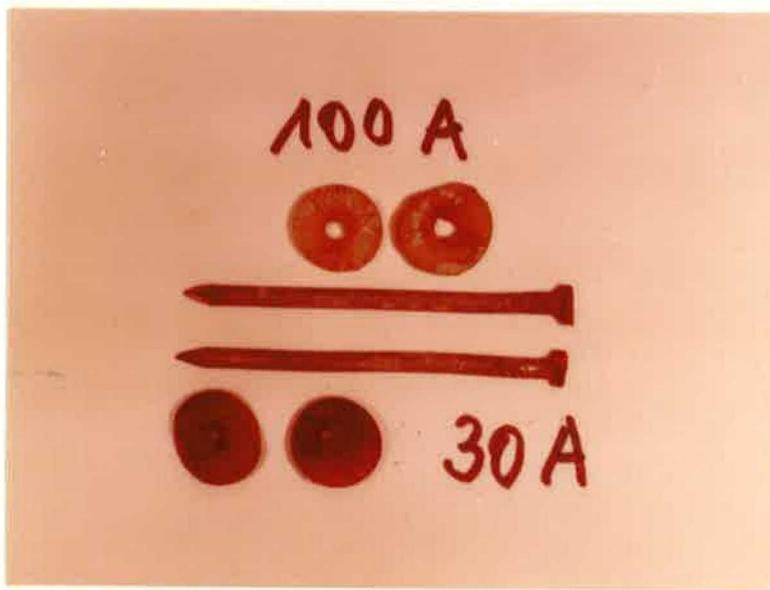


Bild 7: Nägel an der Entnahmestelle d

(die Zahlen geben die Höhenlage über dem Erdboden in cm wieder)

Bei den der unmittelbaren Bewitterung ausgesetzten Nägeln waren die untersten Nägel ebenfalls durchgerostet (Bild 7 unten). Die höherliegenden Nägel zeigten auf dem Nagelkopf unabhängig von der Höhenlage Korrosionspunkte, jedoch keine vollständige Abtragung des Zinks. Der Korrosionsabtrag der Nagelköpfe entsprach etwa 70 F und 250 F in Bild 5. Am Nagelschaft war das Zink an keiner Stelle bis zum Stahlgrund abgetragen.

Die Nägel aus dem "Normalbereich" der Fassade wurden auf den Köpfen mittels energiedispersiver Röntgenanalyse hinsichtlich Vorhandensein von Schadstoffen analysiert. Bild 8 zeigt zunächst die aus dem Korrosionsbild (Bild 5) erwartete Abnahme des Zinks mit geringer werdender Höhenlage. Darüber hinaus wurden nicht unwesentliche Gehalte an Chlor und Schwefel festgestellt, die offensichtlich von unten nach oben zunehmen. Im vorliegenden Fall war die Fassade somit einer typischen Industrielatmosphäre ausgesetzt. Die festgestellten Gehalte an Chlor und Schwefel dürften aus der mehrere hundert Meter entfernten Chlor- bzw. Schwefelsäurefabrik stammen.

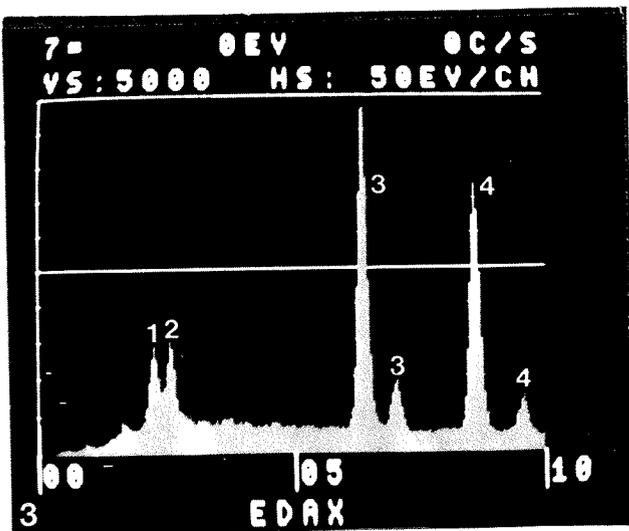
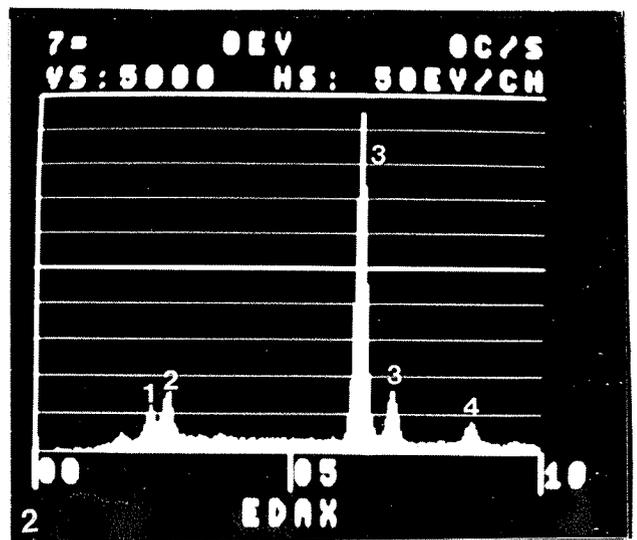
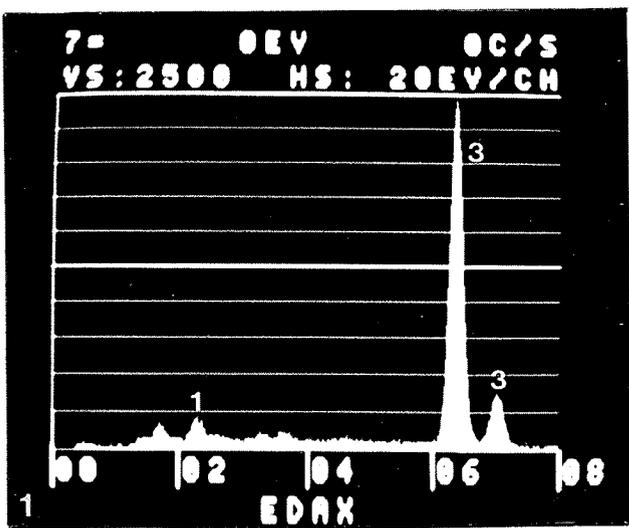


Bild 8: Analyse von Nagelköpfen aus dem "Normalbereich" der Fassade

Bildreihe:

- 8.1-Sockelbereich
- 8.2- 70 cm ) über
- 8.3-250 cm ) Erdboden

Elemente:

- 1-S
- 2-Cl
- 3-Fe
- 4-Zn

Für die hier untersuchte Fassade und die vorherrschenden ungünstigen Umweltbedingungen hat die Verzinkung der Nägel (diese lag ursprünglich bei 5 µm Stärke) nicht ausgereicht. Dies gilt insbesondere für den Sockelbereich, wo eine ungünstige konstruktive Ausbildung zu einer häufigen Beaufschlagung mit Spritzwasser geführt hat. Die Holzlattung wirkte dabei als Feuchtigkeitsspeicher. Die Korrosion war am stärksten unterhalb der Unterlegscheiben, wo sich die Feuchtigkeit

infolge Spaltbildung über längere Zeit halten konnte. Mit zunehmender Höhe der Fassade kam eine Hinterlüftung der Fassade zum Tragen, jedoch war diese etwa bis 1,5 m Höhe über dem Erdboden nicht ausreichend. Die Korrosion der verzinkten Nägel wurde durch Schadstoffe gefördert. Die frei der Bewitterung ausgesetzten Nägel waren, wenn diese außerhalb der Spritzwasserzone lagen, insgesamt schwächer korrodiert als jene im unteren Fassadenbereich (außerhalb der Spritzwasserzone bis ca. 1,5 m Höhe), jedoch stärker als jene im oberen Fassadenbereich (oberhalb 1,5 m Höhe). Dies zeigt, daß die Korrosionsverhältnisse bei einer Freiluftbewitterung unter Umständen günstiger sein können als bei ungenügend belüfteten Fassadenbereichen.

### 3.2 Bauwerk B nach Tabelle 3

Das 13 Jahre alte Bauwerk liegt ca. 180 m südlich einer Chlorfabrik und ca. 250 m östlich einer Schwefelsäurefabrik. Die Fassade selbst zeigt nach Osten. Es handelt sich um ein ca. 5,50 m hohes Lagergebäude, welches bis auf eine Höhe von ca. 2,50 m mit Holzbrettern verkleidet war und darüber eine ca. 3 m hohe Verkleidung mit PVC-Spundwandprofilen aufwies. Die Profile waren im Abstand von ca. 60 cm mit verzinkten Schrauben an horizontal verlaufenden Holzbalken befestigt, die ihrerseits durch T-Profile aus Stahl gehalten wurden. Die Konstruktion der Verkleidung ist schematisch in Bild 9 dargestellt.

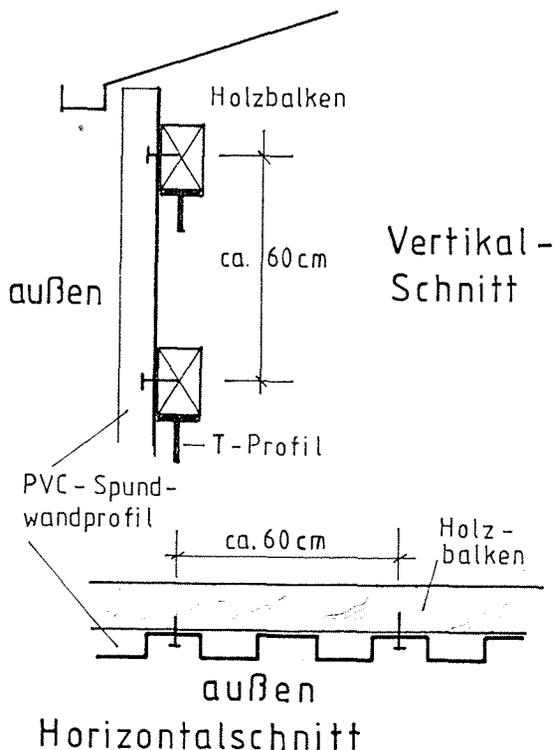


Bild 9: Schematische Darstellung der Konstruktion

Die zur Befestigung der Spundwandprofile auf die Holzunterkonstruktion verwendeten verzinkten Sechskantschneidschrauben wurden näher untersucht. Nach Angaben des Bauherrn wurden diese Schrauben erst nachträglich angebracht. Sie sind mindestens 4 - 6 Jahre alt. Die Schrauben sind mit zwei gewölbten Unterlegscheiben versehen, von denen die untere aus Weich-PVC und die obere aus verzinktem Stahlblech besteht. Darüber hinaus sind die Schraubenköpfe mit Kappen aus Silikonkautschuk abgedeckt.

Zwei besonders stark korrodierte Schrauben sowie einige Kunststoffkappen sind in Bild 10 abgebildet.



Bild 10: Entnommene Schrauben  
und Kunststoffkappen

Die in Bild 10 links dargestellte Schraube stellt den Normalfall dar. Diese Schraube war auf der gesamten Länge korrodiert. Eine deutliche Abtragung des Stahluntergrundes war nur im Kopfbereich vorhanden. Die starke Korrosion der Schraubenköpfe hatte hier zu einem Aufreißen der Abdeckkappen geführt. Nach dem Ablösen der Abdeckkappen blieb hier eine 2 mm dicke Korrosionsschicht haften. Teile der Verzinkung waren nur noch örtlich, vornehmlich am konisch zulaufenden Schraubenende zu erkennen.

Einige Schrauben (entsprechend Bild 10 rechts) waren ursprünglich nicht fest angezogen worden. Dadurch, daß die Unterlegscheiben nicht fest an dem Profil anlagen, wurde keine Abdichtung des Gewindebereiches dieser Schrauben erreicht. Dies führte auch zu einer extremen Abrostung des Gewindes.

An einigen Schrauben, bei denen im Gewindebereich die Zinkschicht nach Augenschein noch weitgehend unversehrt war, wurde metallographisch die Dicke der Zinkauflage festgestellt: Die galvanisch verzinkten Schrauben wiesen ursprünglich eine Auflage von ca. 20 µm auf.

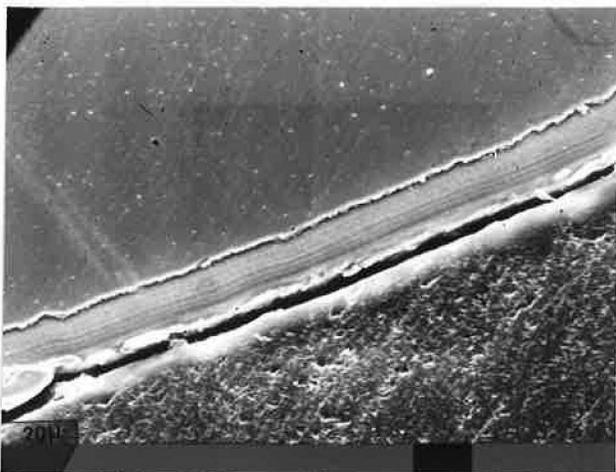


Bild 11: Zinkauflage bei den Schrauben (Stahluntergrund oben)

Sowohl die Abdeckkappen (Außenseite) als auch die korrodierten Schraubenköpfe wurden mittels energiedispersiver Röntgenanalyse hinsichtlich Art und Menge (halbquantitativ) vorhandener korrosionsfördernder Schadstoffe untersucht. Bild 12.1 zeigt zunächst eine Analyse der Abdeckkappe (frisch erzeugter Bruch): Die Elemente Si und Ti sind herstellungsbedingt. Außenseitig (Bild 12.2) sind die Kappen insbesondere mit Schwefelverbindungen, weniger stark mit Chloriden verunreinigt. Korrodierte Schraubenköpfe zeigten an Stellen geringster Korrosion stark Eisen, weniger stark Zn, was auf die Korrosion und den Abtrag der Zinkauflage hindeutet (Bild 12.3). An Stellen starker Korrosion war kein Zink mehr vorhanden. In den Korrosionsprodukten sind zudem die korrosionsfördernden Elemente Schwefel und Chlor vorhanden. Die Fassade wurde somit einer typischen Industrielatmosphäre ausgesetzt. Die festgestellten Gehalte an Chlor und vor allem Schwefel dürften aus der ca. 250 Meter entfernten Schwefelsäurefabrik und der ca. 180 m entfernten Chlorfabrik stammen.

Für die hier untersuchte Verkleidung und die vorherrschenden ungünstigen Umweltbedingungen hat auch die verhältnismäßig starke Verzinkung nicht ausgereicht. Die Zinkauflage von ca. 20 µm dürfte aufgrund des festgestellten Befundes am Schraubenkopf bereits nach 2 - 4 Jahren, im Gewindebereich nach etwa 4 - 6 Jahren abgetragen worden sein.

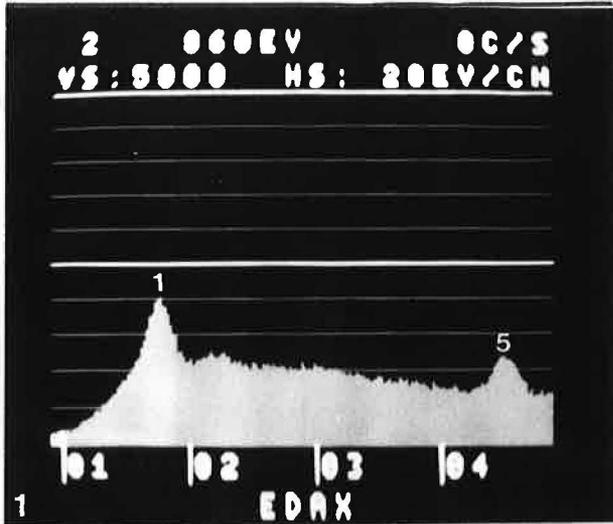


Bild 12.1: Analyse der Abdeck-  
kappe (frischer Bruch)

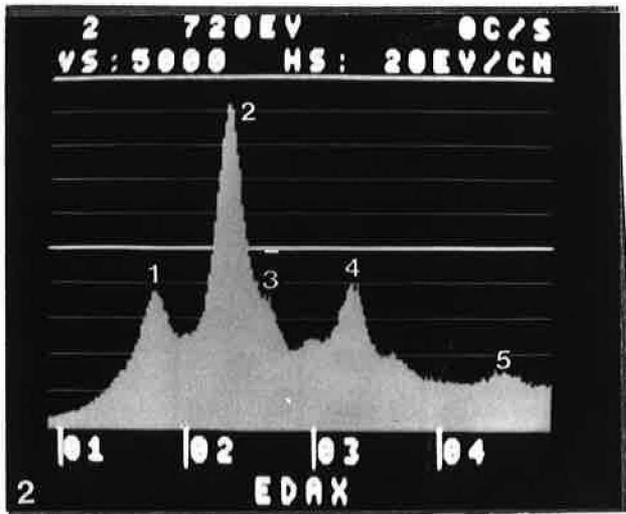


Bild 12.2: Analyse der Abdeck-  
kappe - Außenseite

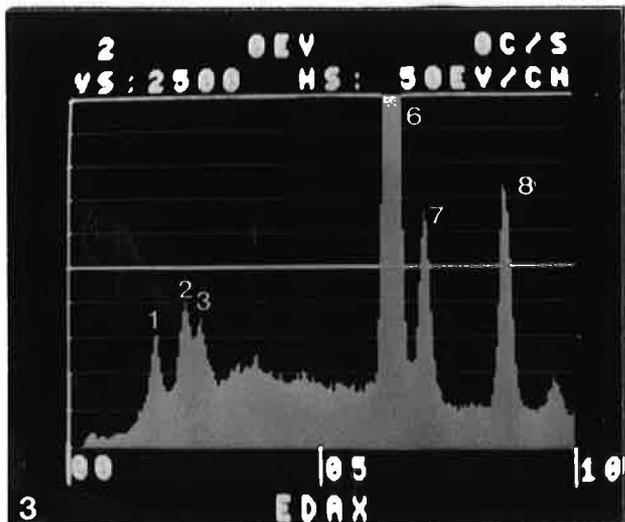


Bild 12.3: Analyse eines korro-  
dierten Schraubenkopfes  
(Stelle geringster  
Korrosion)

- 1-Si
- 2-S
- 3-Cl
- 4-K
- 5-Ti
- 6+7-Fe
- 8-Zn

Die aufgebrachten Schutzkappen haben die ihnen zuge dachte korrosions-  
schützende Wirkung nicht erreicht, da diese ursprünglich wohl nicht  
ausreichend dicht auf der Verkleidung hafteten. Es muß sogar ange-  
nommen werden, daß unter den nicht abschließenden Kappen besonders  
ungünstige Korrosionsverhältnisse vorgelegen haben. Hier kann sich  
Feuchtigkeit länger halten und eine Belüftungskorrosion begünstigen.  
Auch die Unterlegscheiben aus Weich-PVC haben nicht ausreichend ab-  
gedichtet, u.a. deshalb, weil diese im Laufe der Zeit versprödeten.  
Die Elastizität neuer Unterlegscheiben war nicht mehr vorhanden.  
Die Feuchtigkeit und gelöste Schadstoffe dürften einmal vom Schrauben-  
kopf ausgehend durch die Gewindegänge und zum anderen durch die un-  
zureichende Abdichtung Kunststoffscheibe/Verkleidung in den Gewinde-  
bereich eingedrungen sein.

Die Stärke der Korrosion nach 4 - 6 Jahren läßt vermuten, daß im vor-  
liegenden Fall nach weiteren 5 Jahren eine ausreichende Tragwirkung  
der Schraubenverbindung nicht mehr gewährleistet ist.

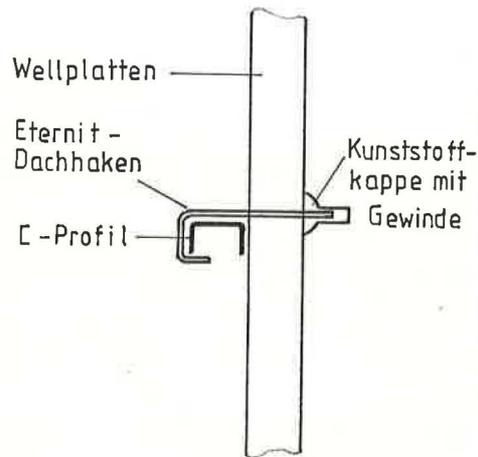
### 3.3 Bauwerk C nach Tabelle 3

Das ca. 15 Jahre alte Bauwerk dient zur Lagerung von Ätznatron. Es  
liegt ca. 100 m westlich einer Chlorfabrik. Die Lagerhalle ist ca. 4 m  
hoch. Die an der Ostseite untersuchte Außenwand besteht bis auf ca.  
1,60 m Höhe aus Mauerwerk und darüber aus einer Welleternitverkleidung,  
die mit sog. Eternitdachhaken aus Stahl an einem dahinterliegenden  
[-Profil aus Stahl befestigt sind. Auf der Außenseite ist auf das  
Gewinde des Dachhakens eine Kunststoffkappe mit darunterliegender  
Dichtscheibe (beide aus Silikonkautschuk) aufgeschraubt worden, bei  
der das Gewinde beim Aufdrehen eingeschnitten wurde.



Bild 13:  
Ausschnitt der  
Verkleidung mit  
Befestigung

Bild 13 zeigt einen Ausschnitt aus der Verkleidung mit zwei Befestigungen.



Vertikalschnitt

Bild 14:

Schnitt durch die Verkleidung im Bereich eines Befestigungspunktes

Bild 14 zeigt schematisch einen Schnitt durch die Verkleidungskonstruktion.

Sämtliche Befestigungshaken waren im Bereich der aufgeschraubten Kunststoffabdeckkappen stark korrodiert und zum Teil demzufolge im Querschnitt reduziert.

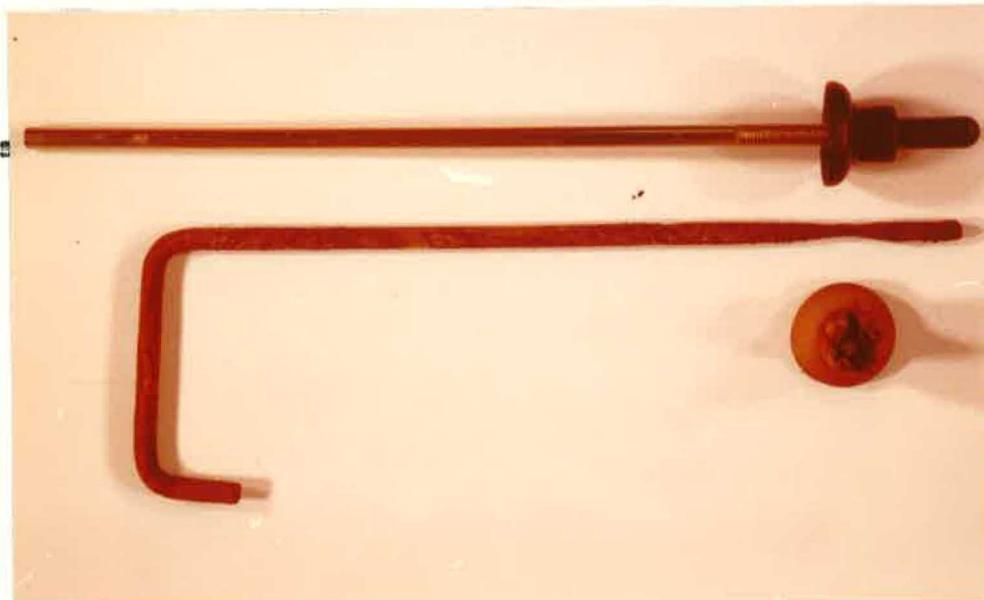


Bild 15:

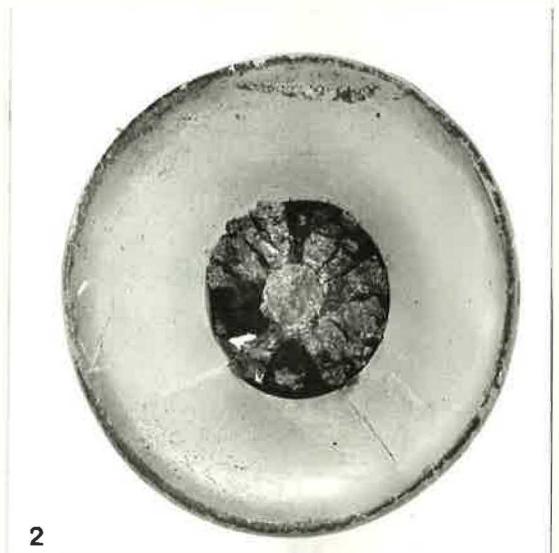
Entnommener Dachhaken mit Abdeckkappe und vergleichbare Neuausführung

Bild 15 zeigt einen entnommenen Haken mit Abdeckkappe. Die aufgeschraubten Abdeckkappen waren durch die Korrosionsprodukte aufgesprengt worden und teilweise ganz abgefallen. Bild 16 verdeutlicht das Aussehen der Befestigungsteile. Bild 16.1 zeigt den Befestigungshaken oberhalb der Dichtscheibe. Aus Bild 16.2 ist ersichtlich, daß der Haken im Bereich der Dichtscheibe durchgerostet war. Die Dichtscheiben aus Silikonkautschuk waren zum Zeitpunkt der Entnahme nur noch wenig elastisch.



1

Außenseite



2

Innenseite



3

aufgeschraubte Kunststoffkappe

Bild 16:  
Aussehen der Befestigungsteile außerhalb der Eternitverkleidung

Die Korrosionsprodukte des in Bild 16.1 und 16.2 dargestellten Befestigungsteils wurden hinsichtlich korrosionsfördernder Stoffe untersucht. Bild 17 zeigt das Ergebnis einer energiedispersiven Röntgenanalyse. Die Korrosionsprodukte enthalten Schwefel- und Chloranteile

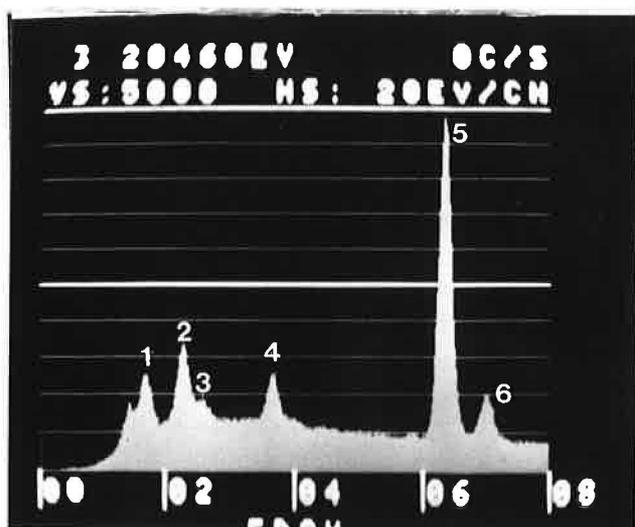


Bild 17:

Analyse der Korrosionsprodukte

1-Si; 2-S

3-Cl; 4-Ca

5+6-Fe

Das Durchrosten der Haken ist die Folge von Belüftungskorrosion innerhalb der Abdeckkappe bzw. Scheibe. Wegen einer ungenügenden Abdichtung der Scheibe auf der gewölbten Verkleidung konnte ständig an der Verkleidung ablaufendes Regenwasser in den Gewindebereich eindringen und sich dort längerzeitig halten. Diese Korrosion wurde durch eine aggressive Umgebung gefördert. Die festgestellten Gehalte an Schwefel und Chloriden sind Emissionen der umliegenden Chemiebetriebe. Es ist nicht anzunehmen, daß durch das in Säcken gelagerte Ätznatron die Korrosion maßgeblich beschleunigt wurde. Dies geht einerseits aus dem Gesamtzustand der Haken hervor (vergl. Bild 15) und andererseits aus der Tatsache, daß Ätznatron nicht übermäßig aggressiv auf Eisen wirkt.

### 3.4 Bauwerk D nach Tabelle 3

In dem mehr als 15 Jahre alten Bauwerk wurde bis vor ca. 5 Jahren Schwefelsäure hergestellt. Es handelt sich um eine mehrgeschossige Stahlskelettkonstruktion, die mit transluzenten Spundwandprofilen verkleidet war. Diese waren mit Nieten an Stahlwinkeln befestigt.

Bild 18 zeigt schematisch einen Schnitt der Konstruktion im Bereich der Befestigungsstelle.

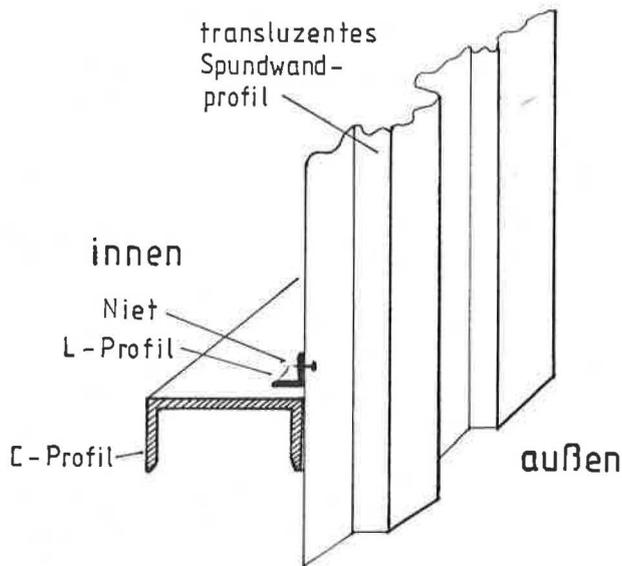


Bild 18:  
Schnitt durch die  
Wandkonstruktion

Die Befestigungsteile waren in diesem Fall einer extremen Beanspruchung ausgesetzt. Im untersuchten Bereich war das Stahlprofil, an dem die Fassade befestigt war, weggerostet. Die Niete waren noch weitgehend unversehrt, jedoch war eine kraftschlüssige Verbindung natürlich nicht mehr vorhanden. Bild 19 zeigt Einzelheiten der Befestigungspunkte. Die Korrosionsprodukte des Stahlwinkels zeigten erwartungsgemäß erhebliche Anteile von Schwefel. Auch auf dem Niet wurde Schwefel festgestellt (Bild 20).

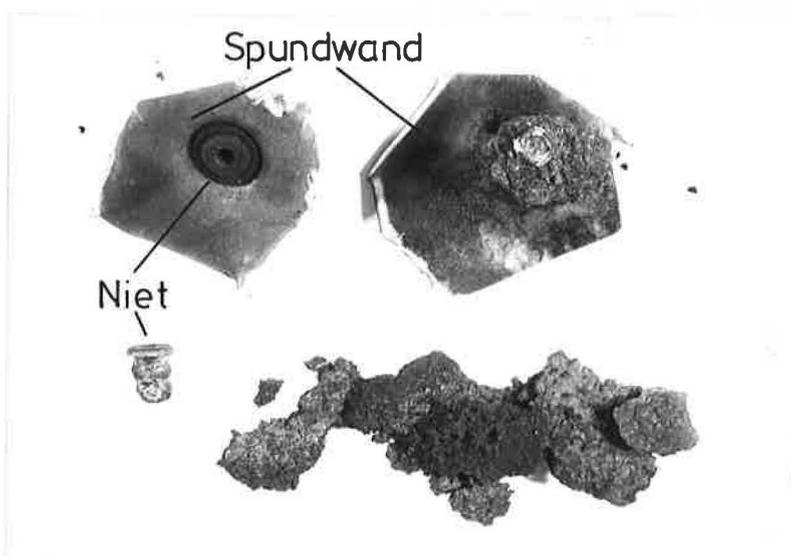


Bild 19:  
Aussehen der Be-  
festigungspunkte

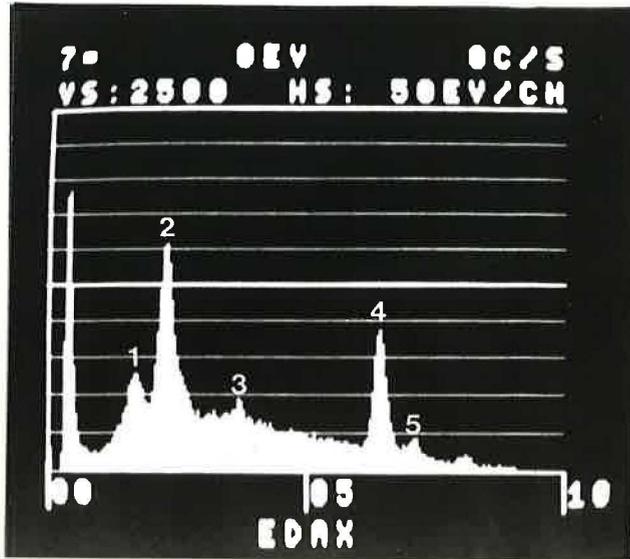


Bild 20:

Analyse der Korrosions-  
produkte des Stahl-  
winkels

1 - Si; 2 - S;

3 - Ca; 4 + 5 - Fe

Das an einigen Stellen beobachtete totale Wegrosten des Stahlwinkels ist die Folge der direkten Einwirkung von Schwefelsäuredämpfen. Die Niete aus Kupfer zeigten dagegen die erwartete hohe Resistenz bei Einwirkung von Schwefelsäure.

### 3.5 Bauwerk E nach Tabelle 3

Bei einem 16 Jahre alten Bauwerk ohne besondere Beaufschlagung mit Schadstoffen wurde die Brüstungsverkleidung unterhalb des untersten Fensterbandes untersucht. Die Verkleidung bestand aus PVC-Spundwandprofilen, die mit PVC-Schrauben auf einer Holzlattung befestigt waren. Zwischen Schraube und Bekleidung waren Unterlegscheiben aus PVC angeordnet (Bild 21).

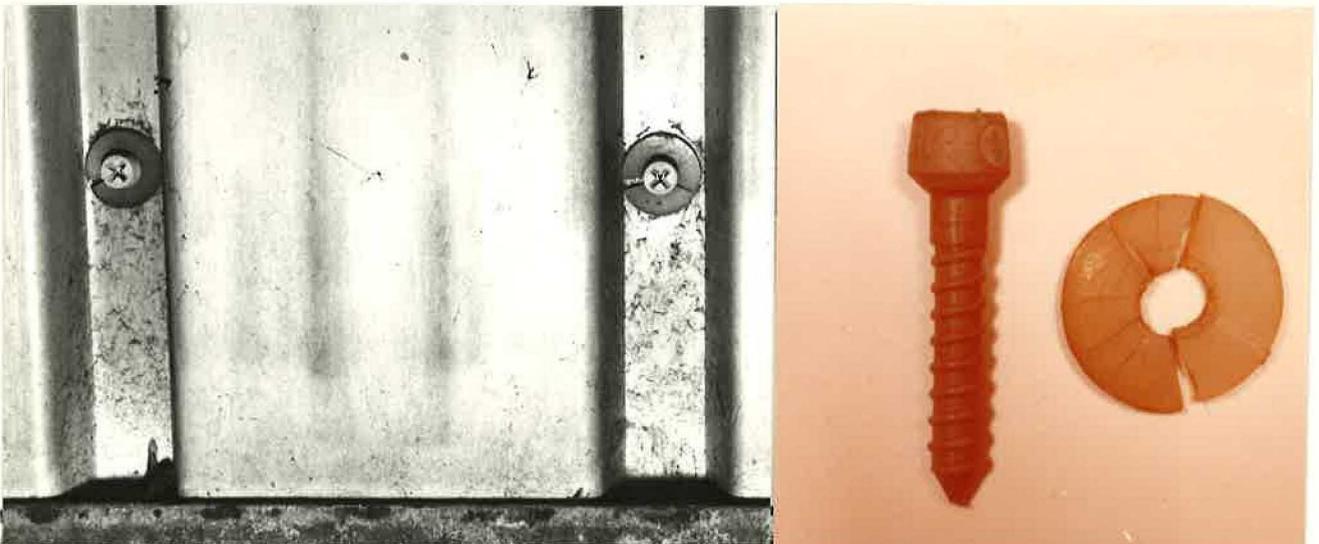


Bild 21: Befestigungsdetails und PVC-Schraube mit Unterlegscheibe

Die PVC-Schrauben waren nach Augenschein noch in sehr gutem Zustand. Die Unterlegscheiben waren dagegen alle in Radialrichtung vielfach gerissen.

### 3.6 Bauwerk F nach Tabelle 3

Bei dem 12 Jahre alten Lagergebäude bestehen Sockel und Stützen aus Stahlbeton. Die einzelnen Felder sind mit Mauerwerk aus Gasbeton ausgefacht. Die Bekleidung aus grauen Spundwandprofilen aus PVC war unmittelbar auf der Wand bzw. dem Sockel und den Stützen befestigt. Es wurden Kunststoffdübel mit galvanisch verzinkten Messingschrauben verwendet. Die Zinkauflage der Schrauben betrug ehemals ca. 5 - 7  $\mu\text{m}$ . Zwischen Spundwandprofil und Befestigungsschraube war eine Unterlegscheibe aus Kunststoff vorhanden. In der unmittelbaren Umgebung des Bauwerks waren zum Zeitpunkt der Entnahme keine ungewöhnliche Emissionen vorhanden, während der ersten 6 Jahre der Nutzung soll jedoch eine Ammoniakfabrik in der näheren Umgebung gewesen sein. Es konnten Schrauben in ca. 60 cm Höhe aus dem Betonsockel und in ca. 1,60 Höhe aus dem Gasbeton entnommen werden. Im Sockelbereich lagen die Befestigungspunkte ca. 15 cm vom Ende der Bekleidung entfernt (Bild 22).

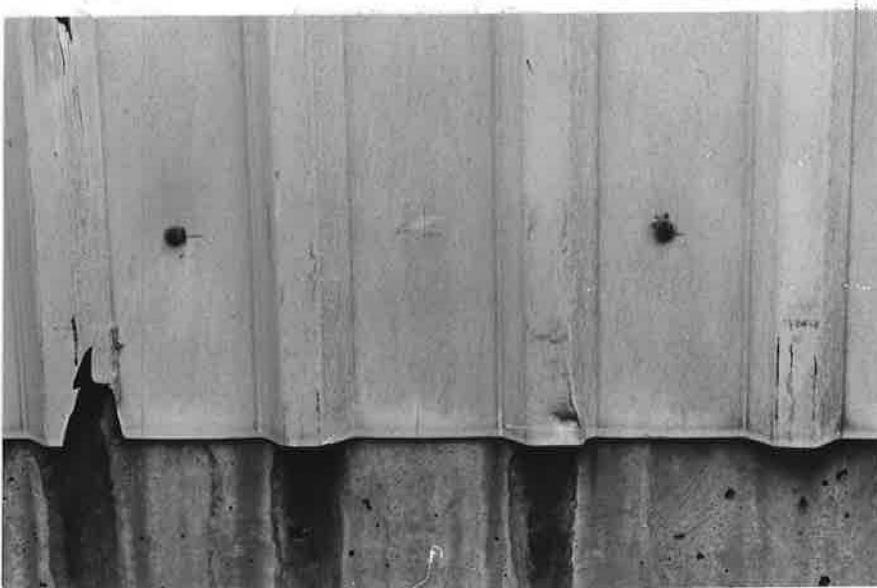


Bild 22:

Lage der unteren Befestigungspunkte

Im Gasbeton waren die Dübel (offenbar verarbeitungsbedingt) ca. 1 cm im Mauerwerk versenkt.

Bild 23 verdeutlicht den Korrosionszustand der entnommenen Schrauben.

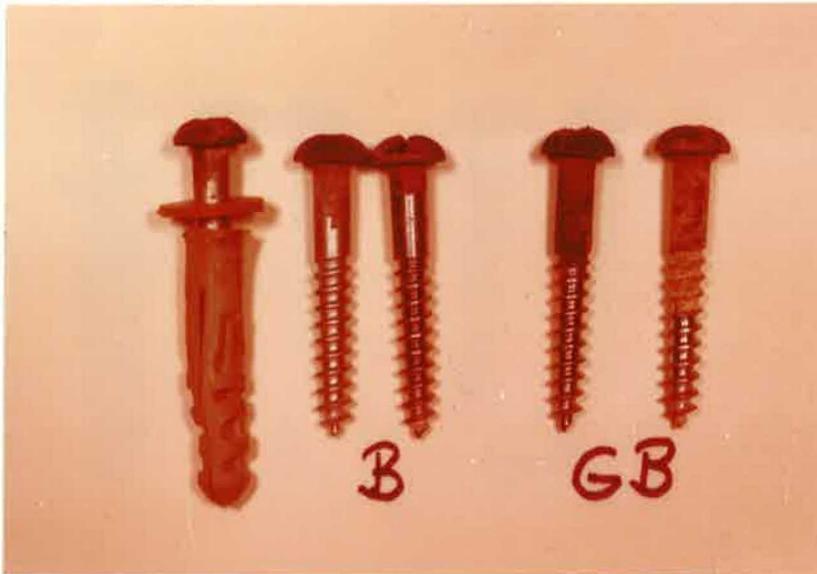


Bild 23:

Schrauben im Beton (B) und Gasbeton (GB)

Sämtliche Schraubenköpfe sind korrodiert. Der Schraubenschaft ist bei den aus dem Gasbeton entnommenen Schrauben in der Tiefe auf einem größeren Bereich korrodiert als bei den Schrauben im Beton. Hinsichtlich der Intensität der Korrosion waren keine Unterschiede zwischen den Schrauben im unterschiedlichen Ankergrund (Beton bzw. Gasbeton) festzustellen.

Bild 24 zeigt die Ergebnisse von energiedispersiven Röntgenanalysen. Bild 24.1 verdeutlicht eine nahezu völlige Abtragung des Zinks und die Mitwirkung von Schwefel und vor allem Chlor bei der Korrosion. Im korrodierten Schaftbereich wurden dieselben Verhältnisse festgestellt.

In den Bildern 24.2 und 24.3 werden die Verhältnisse für den augenscheinlich nicht korrodierten Gewindebereich gezeigt. Bei etwa der Hälfte der Proben (Bild 24.2) wurden bei Oberflächenanalysen bereits Anteile von Kupfer festgestellt, was auf einen gewissen Abtrag der nur dünnen Zinkauflage hindeutet (das Zink ist hier augenscheinlich matt). Bei der anderen Hälfte der Proben war die Oberfläche im Gewindebereich glänzend. Das Fehlen von Kupfer in der Oberflächenanalyse deutet auf einen nur geringen Abtrag des Zinks hin (Bild 24.3).

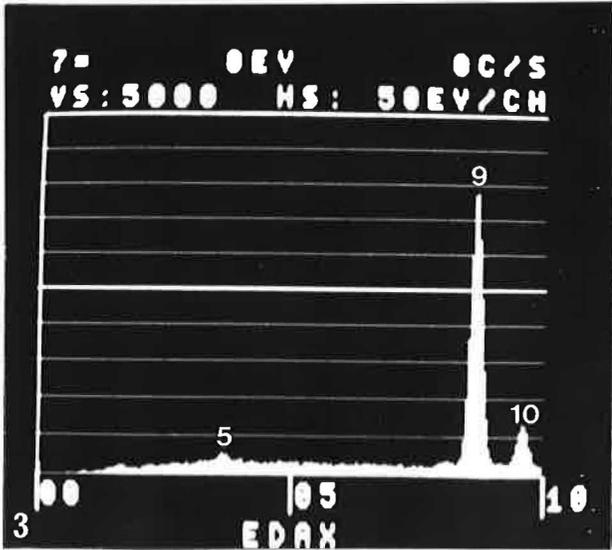
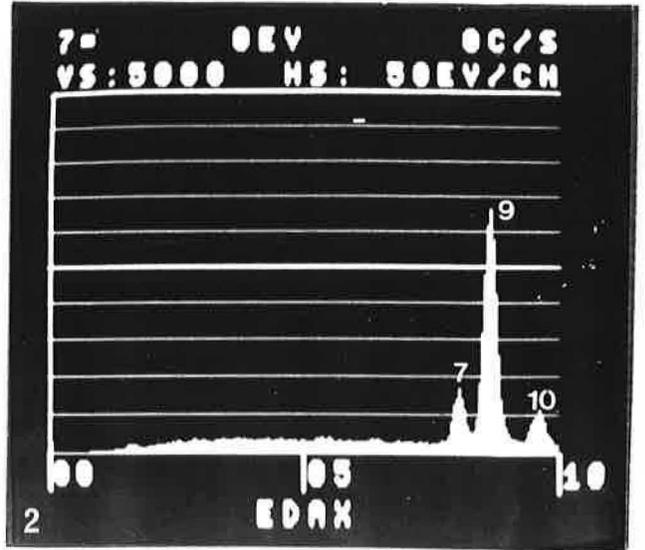
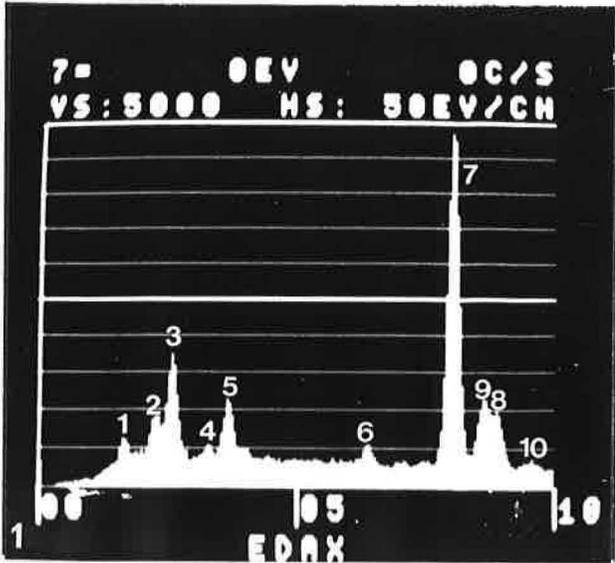


Bild 24:

Ergebnisse von Röntgenanalysen

- 24.1 - korrodierter Schraubenkopf
- 24.2 - unkorrodierter Gewindebereich
- 24.3 - unkorrodierter Gewindebereich

1-Si; 2-S; 3-Cl; 4-K; 5-Ca; 6-Fe; 7+8 - Cu; 9+10 - Zn;

Im vorliegenden Fall sind die Schrauben im Gasbeton über größere Bereiche der Oberfläche korrodiert als jene im Normalbeton, da im ersteren Fall die Kunststoffdübel nicht bis zur Betonoberfläche reichten. Die Korrosion ist entlang der Schrauben offenbar so weit fortgeschritten, wie Chloride aus der Umgebung eindringen konnten.

Der Einsatz verzinkter Messingschrauben war vermutlich im Hinblick auf zu erwartende Beaufschlagung mit Ammoniumchloriden gewählt worden. Letztere greifen nämlich Kupferlegierungen bei Luftzutritt stark an. Im vorliegenden Fall war die Verzinkung teilweise vollständig abgetragen, ohne daß jedoch das Messing merklich in die Tiefe angegriffen wurde.

### 3.7 Bauwerk G nach Tabelle 3

Das 12 Jahre alte Bauwerk dient als Maschinenraum und besitzt ein vorwiegend trockenes und warmes Innenklima (im Winter beheizt). Es handelt sich um eine mehrgeschossige Stahlskelettkonstruktion, die mit PVC-Spundwandprofilen verkleidet ist. Die Profile sind mit Nieten an Stahlwinkeln befestigt. Der Wandaufbau entspricht jenem in Bild 18. Die Niete bestehen aus einer Monel-Legierung (vorwiegend aus Ni und Cu, vermutlich Ni, Cu 30 Fe); die Unterlegscheibe besteht aus Kunststoff. Das Bauwerk war keinen extremen Korrosionsbeanspruchungen ausgesetzt. Bild 25 zeigt 2 Befestigungspunkte auf der Außenseite der Verkleidung.

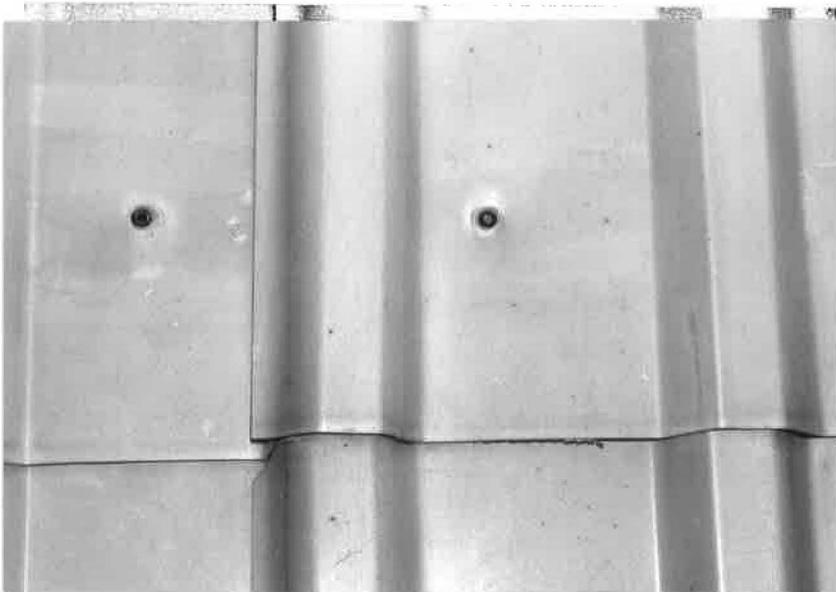


Bild 25:

Befestigungspunkte an der Außenseite der Fassade

Bild 26 zeigt 2 in 1,60 m Höhe entnommene Niete in der Seitenansicht. Die Niete zeigen im Schaftbereich lediglich Belegungen mit Rost, Bild 26 links, bzw. mit Schmutz, Bild 26 rechts. Nach Ablösen dieser Schichten zeigten sie keinerlei Korrosionsangriff.

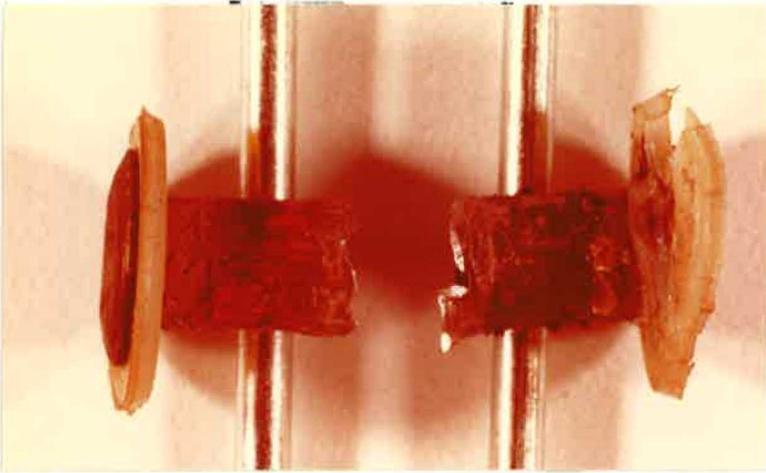


Bild 26:  
Seitenansicht der entnommenen Niete

Die festgestellten Rostbelegungen sind die Folge einer Kontaktkorrosion mit dem Stahlprofil. Auch auf der der direkten Bewitterung ausgesetzten Kopfseite waren die Niete nahezu unversehrt.

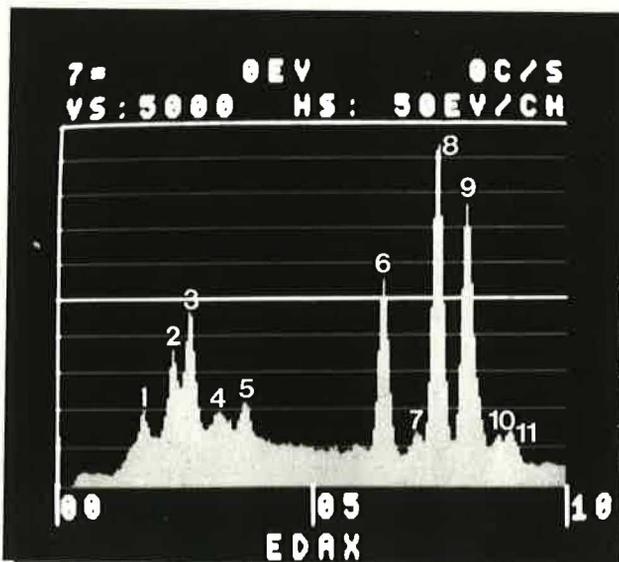


Bild 27:  
Oberflächenanalyse im Schaftbereich eines Nietes (Bild 26 links)  
1-Si; 2-S; 3-Cl;  
4-K; 5-Ca; 6,7-Fe;  
8-Ni; 9-Cu; 10-Zn;  
11-Cu.

Bild 27 zeigt eine Oberflächenanalyse aus dem Schaftbereich eines Nietes. Neben den genannten Rostablagerungen (Fe) wurden auch korrosionsfördernde Stoffe wie Chlor und Schwefel nachgewiesen. Letztere sind auch auf dem Nietkopf vorhanden.

Die Untersuchungen bestätigen die zu erwartende hohe Korrosionsbeständigkeit der verwendeten Monel-Legierung gegenüber neutralen Salzlösungen und bei Schwitzwasserbeanspruchung (der Niet wirkt als Kältebrücke). Das ungeschützte Stahlprofil wird dagegen im Berührungsbereich angegriffen. Hier wurde vermutlich eine Spaltkorrosion wirksam.

### 3.8 Bauwerk H nach Tabelle 3

Das 11 Jahre alte Bauwerk dient als Stahllagerhalle und wird nicht beheizt. Die Stahlskelettkonstruktion ist mit Spundwandprofilen aus PVC verkleidet. Diese sind mit selbstschneidenden, verzinkten Stahlschrauben unmittelbar an den horizontalen Tragprofilen ([-Profile) angeschraubt (vergleichbar Bild 18). Die Schichtdicke der galvanischen Verzinkung betrug ehemals ca. 20  $\mu\text{m}$  (vergleichbar Bild 11). Die Schrauben waren mit gewölbten Unterlegscheiben aus verzinktem Stahl und einer zusätzlichen Scheibe aus Weich-PVC unterlegt. Die Schraubenköpfe waren mit Kappen aus einem nicht näher untersuchten Kunststoff abgedeckt. Im Prinzip entsprechen die Befestigungsteile jenen bei Bauwerk B. Das Bauwerk war keinen besonders aggressiven Umweltbedingungen ausgesetzt.

Bild 28 zeigt zwei Befestigungspunkte in der Ansicht.

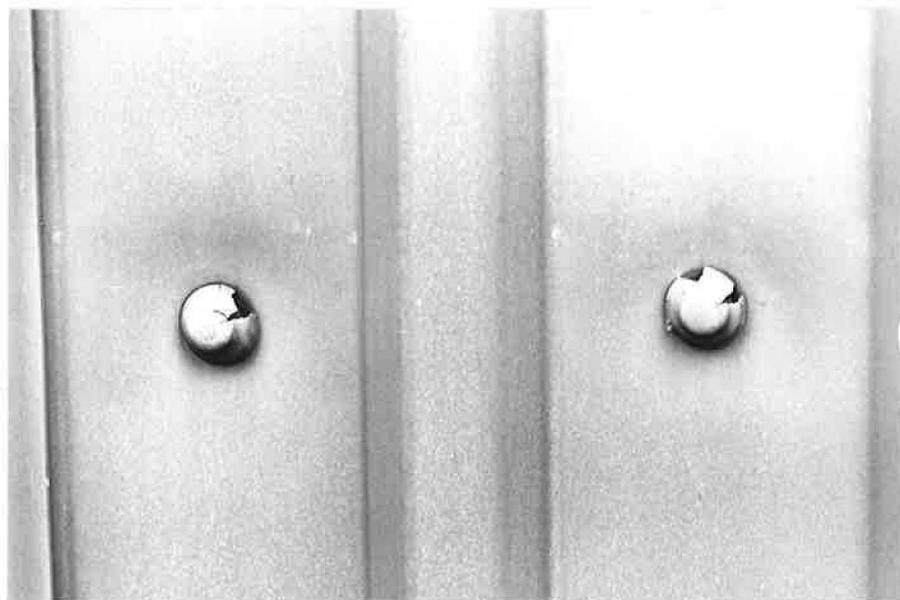


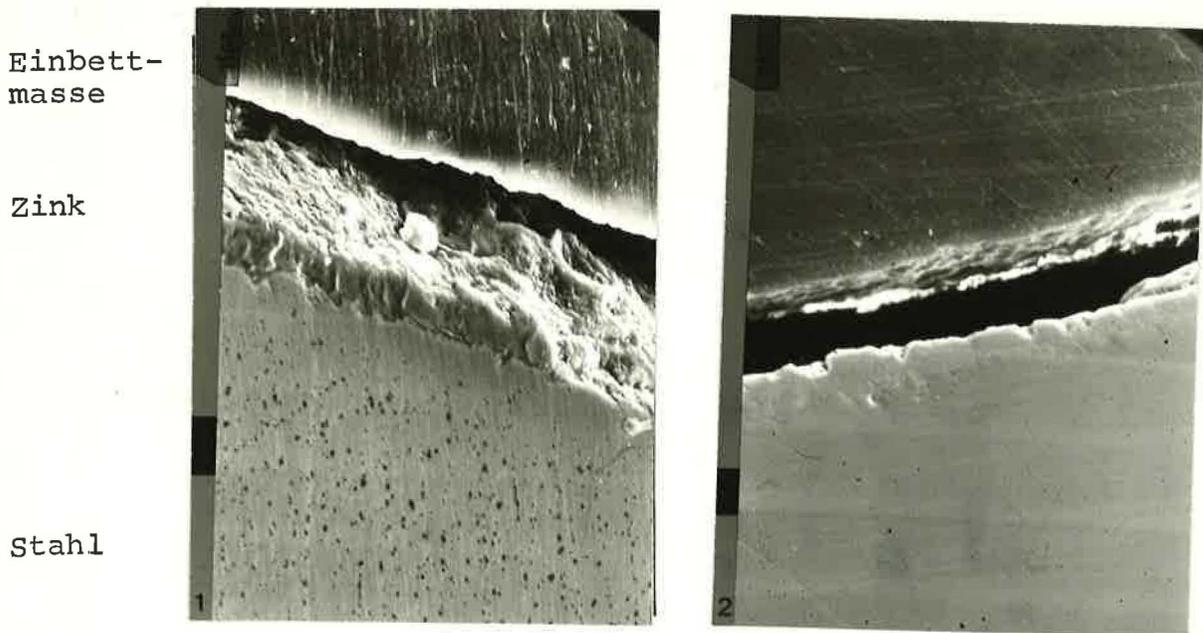
Bild 28:  
Ansicht zweier  
Befestigungs-  
punkte

An der Westseite des Bauwerks wurden Schrauben in 0,30 m Höhe entnommen. Bild 29 zeigt deren typisches Aussehen. Alle Abdeckkappen sind stark rissig und Teilbereiche der Kappen sind vollständig abgeplatzt. Die Verzinkung der Schraubenköpfe ist teilweise bis zum Stahluntergrund abgetragen. Im Gewindebereich zeigten die meisten Schrauben nur einen unwesentlichen Angriff, während bei einzelnen das Zink örtlich bis auf den Stahluntergrund abgetragen wurde.



Bild 29:  
Entnommene Befestigungsschrauben und Abdeckkappen

Bild 30 zeigt Ergebnisse von Schliiffuntersuchungen an den Schraubenköpfen, die mit dem Rasterelektronenmikroskop durchgeführt wurden.



Einbett-  
masse

Zink

Stahl

Bild 30: Zinkabtrag infolge Korrosion

Bild 30.1 zeigt einen Bereich mit geringem und Bild 30.2 mit vollständigem Zinkabtrag.

Auf der Oberfläche der Schraubenköpfe wurde kein merklicher Gehalt an Chlor- und Schwefelverbindungen festgestellt.

### 3.9 Bauwerk J nach Tabelle 3

Das 11 Jahre alte Bauwerk liegt ca. 50 m ostwärts einer Chlorelektrolyseanlage. Es handelt sich um eine ca. 3 m hohe Bürobaracke. Die Wandkonstruktion besteht aus einem Skelett aus verzinkten Stahlprofilen, die mit Mauerwerk ausgefacht sind. Auf der Außenseite ist eine 1 cm dicke Wärmedämmschicht aus Polystyrolhartschaumplatten vorhanden. Die hinterlüftete Fassade besteht aus PVC-Profilen (wie bei Bauwerk A). Die Breite des Luftspalts beträgt 8 mm. Der Aufbau der Fassade ist in Bild 31 dargestellt.

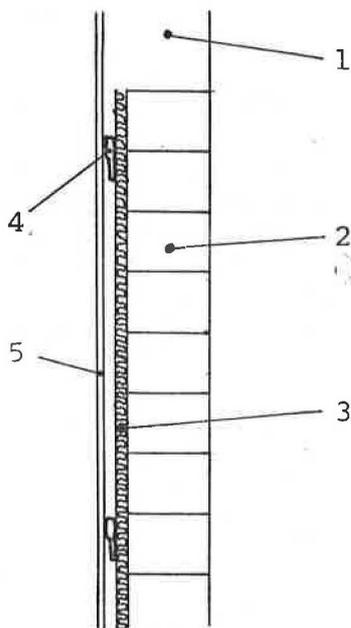


Bild 31:

Vertikalschnitt durch die Fassade

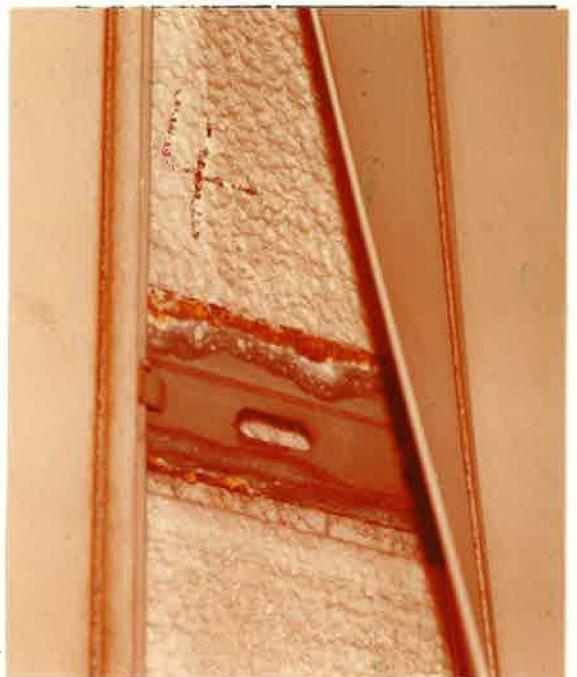
- 1 vertikale Stahlprofile
- 2 Ausmauerung
- 3 Wärmedämmung aus Polystyrolhartschaum
- 4 horizontale Stahlprofile
- 5 PVC-Profile

Die Fassade wurde an der Ost- und Westseite geöffnet; die horizontal verlaufenden Stahlprofile wurden per Augenschein hinsichtlich ihres Korrosionszustandes beurteilt. Bild 32 zeigt die Profile in unterschiedlichen Höhen über dem Erdboden.

Auf der Westseite zeigten sämtliche Profile Korrosionserscheinungen des Stahles. Bei dem unteren Profil war die Zinkschicht gänzlich abgetragen, bei den darüberliegenden Profilen nur an den Ober- und/oder Unterkanten. An der Ostseite war beim unteren Profil der Stahl ebenfalls korrodiert. Bei den darüberliegenden Profilen war nur geringfügige Rostbildung des Stahles festzustellen.



3



4



2



1



5

Bild 32:

Korrosion der Metallprofile

- 32.4 - 1,7 m Höhe)
- 32.3 - 1,2 m Höhe)
- 32.2 - 0,7 m Höhe) Westseite
- 32.1 - 0,2 m Höhe)
- 32.5 - 0,2 u. 0,7 m Höhe Ostseite

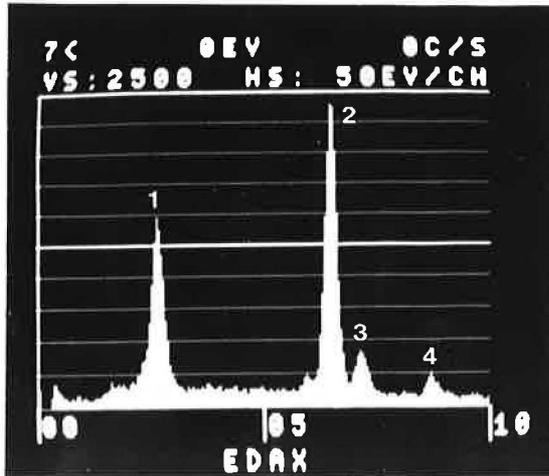


Bild 33:

Analyse der rostbraunen  
Korrosionsprodukte  
in Bild 32

1-Cl, 2+3-Fe, 4-Zn

Bild 33 zeigt die chemische Zusammensetzung der Korrosionsprodukte des Eisens. Diese zeigen erhebliche Anteile von Chlor und nur noch Restanteile von Zink.

Bei der hier untersuchten Fassade kann im Sockelbereich offensichtlich Spritzwasser hinter die Verkleidung dringen. Dadurch werden die unteren Profile extremer Feuchtigkeit ausgesetzt, zumal die Wärmedämmung als Feuchtigkeitsspeicher dienen kann. Insofern liegen in etwa entsprechende Verhältnisse vor wie bei Bauwerk A. Es wurde mitgeteilt, daß an der Westseite vor mehr als 5 Jahren eine Dachreparatur notwendig war, da Regenwasser hinter die Verkleidung lief. Es ist daher anzunehmen, daß die auf der Westseite an den oberen Profilen festgestellten Korrosionserscheinungen vornehmlich darauf zurückzuführen sind. Bei einer besseren konstruktiven Ausbildung des Sockelbereiches und einem dichten Dach wären die starken Korrosionserscheinungen sicherlich nicht aufgetreten.

Neben den in Tabelle 3 aufgeführten Bauwerken im Bereich eines Chemiebetriebes wurden auch an folgenden Gebäuden Befestigungsteile untersucht:

Bauwerk K - Mehrzweckhalle in Industriegegend

(Befestigungsteile im Bereich des Daches)

Bauwerk L - Fassade eines Schulgebäudes in einer Industriegegend

Bauwerk M - Fassade eines Verwaltungsgebäudes in einer Großstadt

(keine Industriegegend)

Bauwerk N - Fassade eines Hochhauses in einer Großstadt

(keine Industriegegend)

### 3.10 Bauwerk K

Die 16 Jahre alte Halle ist mit einer Stahlbetonkuppel überdacht. Die Kuppel ist mit einer zusätzlichen Bedachung versehen, deren Konstruktion aus dem folgenden Bild 34 zu ersehen ist. Auf einer Holzkonstruktion mit dazwischenliegender Wärmedämmung, die mit einer Bretterverschalung abgedeckt wurde, war bituminierte Dachpappe verlegt worden. Die Dachpappe war mittels verzinkter Nägel befestigt worden. Auf der Dachpappe waren als Wetterhaut achteckige PVC-Platten angebracht worden, die sich schuppenartig in allen Richtungen überlappen. An den oberen Kanten sind die Platten unmittelbar auf die Unterkonstruktion aufgeschraubt. Hierfür wurden verzinkte Holzschrauben mit verzinkten Unterlegscheiben verwendet. Im Überlappungsbereich sind die PVC-Platten über ca. 1 cm dicke Schaumgummistreifen miteinander verklebt. An der Unterseite werden die Platten von PVC-beschichteten Haken aus Edelstahl mit Kunststoffunterlegscheiben gehalten. Diese Haken sind ebenfalls mit verzinkten Holzschrauben auf der Unterkonstruktion befestigt. Aus dem Konstruktionsprinzip ergeben sich unterhalb der einzelnen Platten abgeschlossene Luftspalte (keine Hinterlüftung möglich) von 0 bis 30 mm Höhe.

Bild 35 zeigt die wegen Sanierungsarbeiten infolge eines Schwelbrandes geöffnete Dachkonstruktion. Die einzelnen Befestigungsteile gehen schließlich aus Bild 36 hervor. Die hier erkennbaren Blechstreifen aus Stahl waren lediglich zu Montagezwecken angebracht worden.

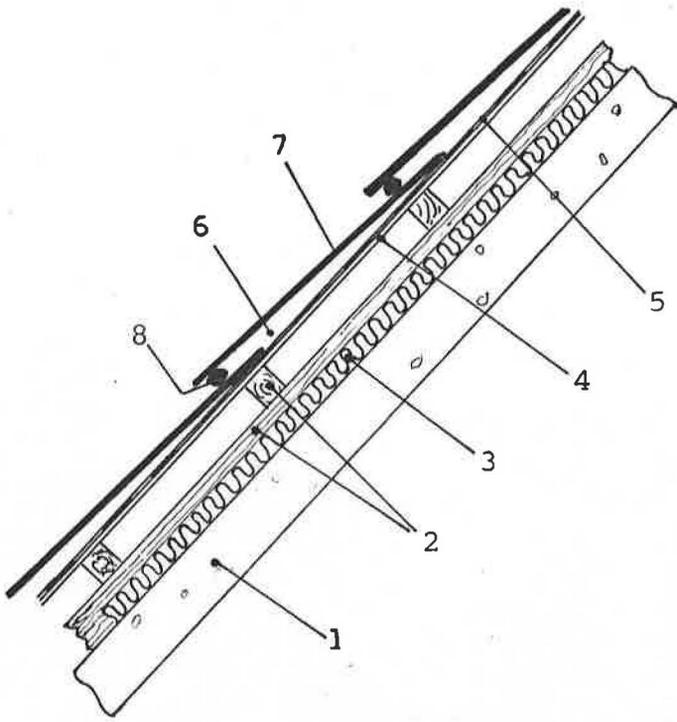


Bild 34:

Schematischer Schnitt durch die Bedachung

- 1 Betonschale
- 2 Kanthölzer
- 3 Wärmedämmung
- 4 Bretterschalung
- 5 Dachpappe
- 6 abgeschlossener Luftraum
- 7 PVC-Platten
- 8 Moosgummi verklebt



Bild 35:

Dachansicht während Sanierungsarbeiten infolge eines Schwelbrandes



Bild 36:

Detailansicht von Befestigungspunkten nach Entfernen einer Dachplatte

- 1-unverzinkte Nägel
- 2-verzinkte Nägel
- 3-Blechstreifen aus Stahl
- 4-verzinkte Schrauben mit Unterlegscheiben
- 5-Haken aus Edelstahl

Folgende Befestigungsteile wurden entnommen und augenscheinlich beurteilt: Unverzinkte und verzinkte Dachpappennägel, verzinkte Schrauben mit verzinkten Unterlegscheiben und Befestigungswinkel aus nichtrostendem Stahl.

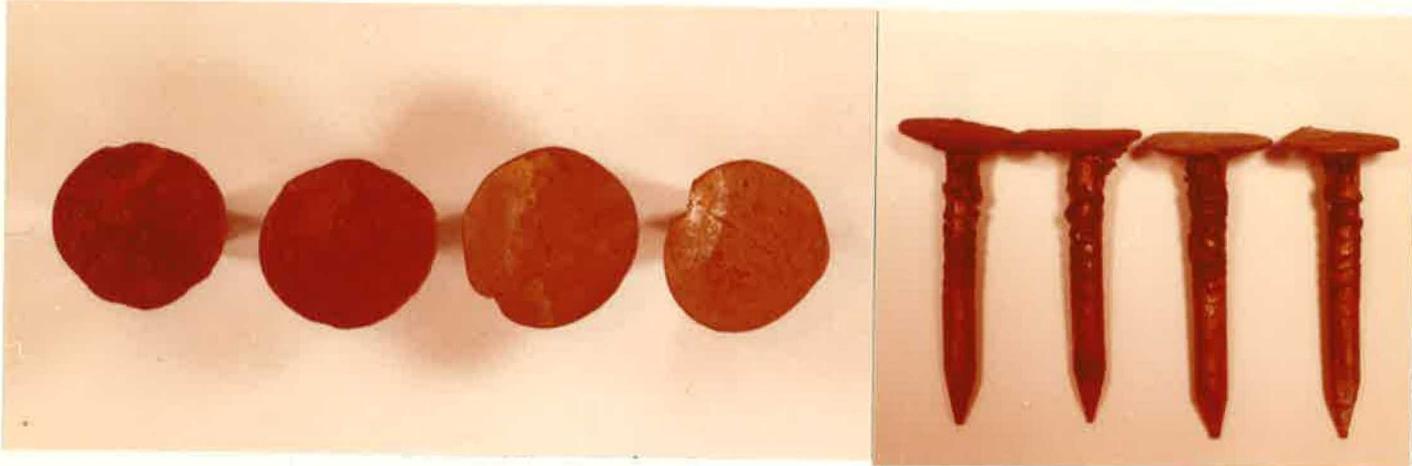


Bild 37: Aufsicht auf die Nagelköpfe und Seitenansicht der Nägel;  
Unverzinkte Stahlnägeln links, verzinkte rechts



Bild 38:  
Verzinkte Holzschrauben  
mit zugehörigen verzink-  
ten Unterlegscheiben

Die unverzinkten Nägel (Bild 37) zeigten auf dem Kopf starke Korrosionserscheinungen, während bei den verzinkten Nägeln die Verzinkung einen wirksamen Korrosionsschutz darstellte. Im Schaftbereich waren bei den unverzinkten und verzinkten Nägeln etwa gleich starke Korrosionserscheinungen festzustellen, die jedoch zu keinem bedeutsamen Abtrag des Stahles geführt haben. Bei den verzinkten Schrauben (Bild 38) waren insbesondere die Schraubenköpfe und die Gewindebereiche korrodiert. Der Schaft zeigt im Bereich der Unterlegscheiben

und der PVC-Platten keine Korrosionserscheinungen. Die Unterlegscheiben selbst sind an der Ober-, jedoch nicht an der Unterseite korrodiert.

Bei den PVC-beschichteten Stahlprofilen ist die Beschichtung in den der Atmosphäre ausgesetzten Bereichen teilweise vollständig abgeplatzt. Der Stahl selbst zeigt punktförmige Rostflecken.

An den verzinkten Nägeln, Schrauben und Unterlegscheiben wurden Messungen der Zinkschichtdicke an jenen Stellen durchgeführt, wo diese per Augenschein noch weitgehend unversehrt waren. In der genannten Reihenfolge wurden hier mittlere Auflagen von 17,9 bzw. 6  $\mu\text{m}$  festgestellt. Die Nägel waren offenbar ursprünglich stärker verzinkt gewesen als die Schrauben und Unterlegscheiben, wodurch das bessere Verhalten der Nägel zu erklären ist.

Sowohl bei den verzinkten Nägeln als auch verzinkten Schrauben und Unterlegscheiben waren die Zinkschichten in den freiliegenden Bereichen und auch im Holz abgetragen worden. In den freiliegenden Bereichen kann der Zinkabtrag auf häufige Schwitzwasserbeaufschlagung zurückgeführt werden, wobei sich eine fehlende Hinterlüftung offenbar nachteilig auswirkte.

### 3.11 Bauwerk L

Das ca. 3 Jahre alte Bauwerk ist etwa 40 m hoch. Die Außenwände aus Stahlbeton sind mit Aluminiumtrapezblechen verkleidet. Die Bleche überlappen sich sowohl seitlich als auch in der Höhe. In Bild 39 ist schematisch ein Schnitt durch die Fassadenkonstruktion im Bereich eines Befestigungspunktes an der tragenden Außenwand dargestellt.

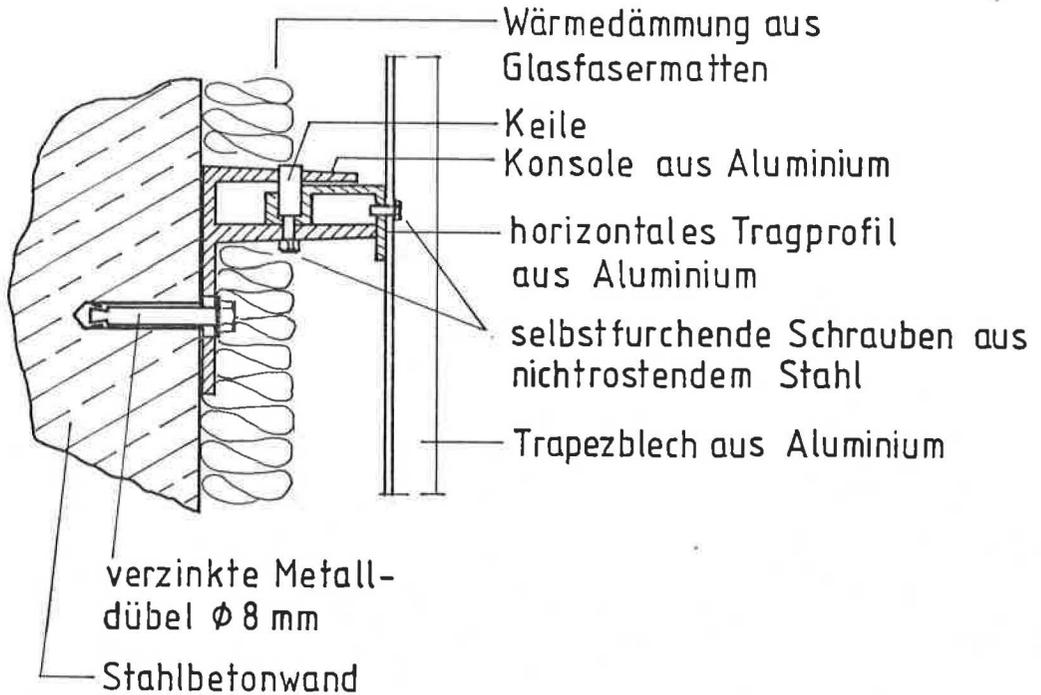


Bild 39: Schnitt durch die Fassadenkonstruktion

Unmittelbar an der Betonwand sind mittels verzinkter Metalledübel Aluminiumkonsolen befestigt. Die horizontal verlaufenden Tragprofile aus Aluminium verlaufen ca. 8 cm vor der Außenwand und sind mit selbstschneidenden Schrauben aus nichtrostendem Stahl mit den Konsolen verschraubt. Auch die Fassadenbleche sind mit selbstschneidenden Edelstahlschrauben an der Unterkonstruktion befestigt, wobei zwischen den Schraubenköpfen und den Trapezblechen Unterlegscheiben aus nichtrostendem Stahl mit einer zusätzlichen Dichtscheibe an der Unterseite verwendet wurden. Unmittelbar auf der Außenwand ist eine ca. 5 cm dicke Wärmedämmschicht aus Glasfasermatten vorhanden.

Das Bauwerk befindet sich im Ruhrgebiet, in seiner näheren Umgebung sind jedoch keine besonderen, die Korrosion fördernden Stoffe vorhanden.

An allen vier Gebäudeseiten wurden in unterschiedlichen Höhen Befestigungsteile der Fassadenkonstruktion entnommen. An der Westseite des Gebäudes wurde zudem in ca. 1,70 m Höhe ein Dübel ausgebaut.

Zum Zeitpunkt der Überprüfung ca. 3 Jahre nach der Herstellung der Fassade wurde nach dem Entfernen der Schrauben aus nichtrostendem Stahl an den untersuchten Stellen im Kontaktbereich der Schrauben

mit den Aluminiumprofilen per Augenschein kein Hinweis für eine Kontaktkorrosion des Aluminiums gefunden.

Auf einer Seite des Dübelschaftes waren auf der Außenseite ausgehend von der Betonoberfläche bis auf etwa 2,5 cm Tiefe Korrosionserscheinungen des Stahluntergrundes festzustellen. Hier war das Zink völlig abgetragen. Im vorliegenden Fall war die vorhandene Verzinkung der Dübel von ca. 5 bis 8  $\mu\text{m}$  offenbar nicht ausreichend. Der Abtrag des Zinks kann teilweise auf die alkalische Wirkung des Betons zurückgeführt werden.

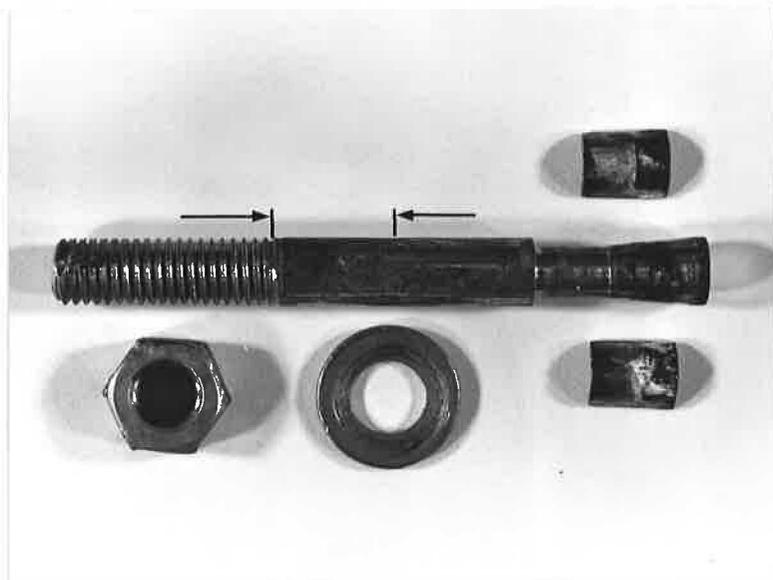


Bild 40:

Ansicht des entnommenen Dübels, korrodierte Bereiche durch Pfeile gekennzeichnet

### 3.12 Bauwerk M

Das 32 m hohe Verwaltungsgebäude besteht aus einer Stahlbetonskelettkonstruktion. In Höhe der Deckenplatten ragen in den Gebäudeachsen ca. 80 cm lange Stahlbetonkonsolen aus den raumabschließenden Wänden heraus, die als Auflager für die Gitterroste der außenliegenden Putz- bzw. Fluchtgänge dienen und an deren Stirnseite eine Brüstung aus Aluminium angebracht ist. Die Konsolen wurden als Fertigteile in Stahlschalungen hergestellt und weisen planebene Flächen auf. An der Stirnseite der Stahlbetonkonsolen sind Stahlplatten mit je zwei Selbstbohrdübeln M 10 in Verbindung mit Schrauben aus nichtrostendem Stahl befestigt, die die horizontalen, auf die Verkleidung einwirkenden Windsogkräfte aufnehmen müssen.

In Bild 41 ist ein Schnitt durch die Konstruktion im Bereich eines Befestigungspunktes dargestellt.

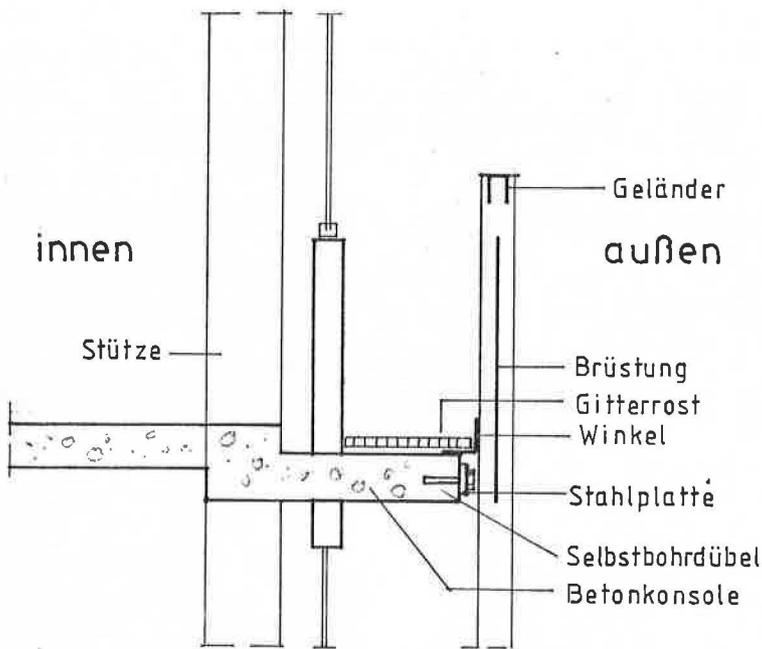


Bild 41:

Schnitt durch die Konstruktion im Bereich eines Befestigungspunktes

Die Bereiche oberhalb der Brüstungsbänder sind offen, und es kann dort Schlagregen hinter die Fassade und zu den Befestigungspunkten gelangen. Die Montage der Fassade erfolgte vor ca. 3 Jahren. Das Gebäude steht in einer Großstadt ohne nennenswerte Industrieansiedlung in Norddeutschland. Korrosionsfördernde Stoffe sind in der Umgebung des Gebäudes nicht vorhanden.

An der Südseite des Gebäudes wurden in ca. 8 m Höhe und 12 m von der Gebäudekante entfernt zwei Dübel samt dem umgebenden Beton entnommen. Der Ringspalt zwischen Dübelhülse und Beton war mit 0,03 - 0,1 mm Breite relativ schmal. Nach dem Herauslösen der Dübelhülsen aus dem Beton wurde die Karbonatisierung im Bereich des Bohrloches festgestellt. Der Beton war auf der gesamten Bohrlochwandung (Tiefe des Bohrloches ca. 4 cm) karbonatisiert und bildete somit keinen Korrosionsschutz mehr für die Dübel.

Die Selbstbohrdübel sind galvanisch verzinkt und zusätzlich chromatiert. Die Dicke der Verzinkung beträgt ca. 8 bis 12 µm. Im Innern der Dübelhülse ist der Gewindebereich nicht und der Spreizbereich nur im hinteren Drittel auf ca. 5 mm Länge verzinkt und chromatiert. Die Konen sind ebenfalls verzinkt und chromatiert. Bild 42 zeigt die Ergebnisse von Oberflächenanalysen.

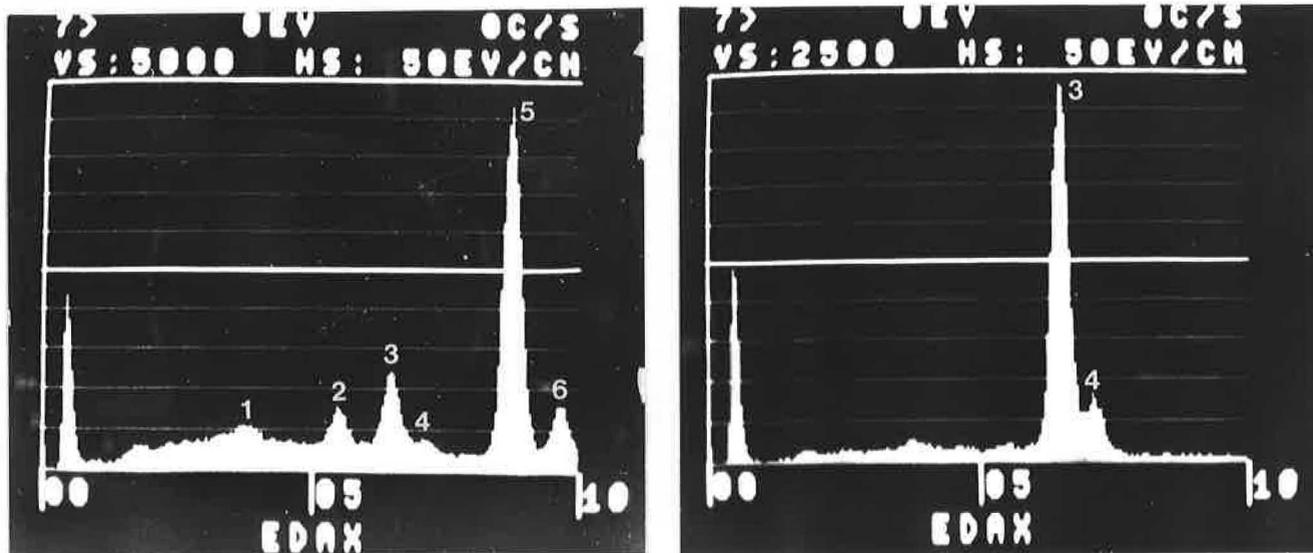


Bild 42: Oberflächenanalyse der Dübelhülsen in korrosionsfreien Bereichen

42.1 - Außenseite      42.2 - Innen, Gewindebereich

1 - Ca, 2 - Cr, 3 + 4 - Fe, 5 + 6 - Zn

Die Dübelhülsen zeigen sowohl außen- als auch innenseitig Korrosion; hier ist das Zink bis zum Stahluntergrund abgetragen und letzterer selbst korrodiert. Außenseitig konzentriert sich die Korrosion auf einen Bereich von 1,5 cm Tiefe, gemessen von der Betonoberfläche (Bild 43). Innenseitig ist Korrosion nur in unverzinkten Zonen des Spreizbereiches vorhanden (Bild 44). Diese wurde begünstigt durch die Spaltwirkung zwischen Konus und Hülseninnenwand. Eine merkliche Reduzierung der Hülsenwandung infolge Korrosion wurde jedoch in keinem Fall festgestellt.

Die Bilder 45 und 46 zeigen Analysen der Korrosionsprodukte des Eisens an der Hülsenaußen- bzw. Hülseninnenwandung.



Bild 43:  
Korrosionszustand  
außenseitig

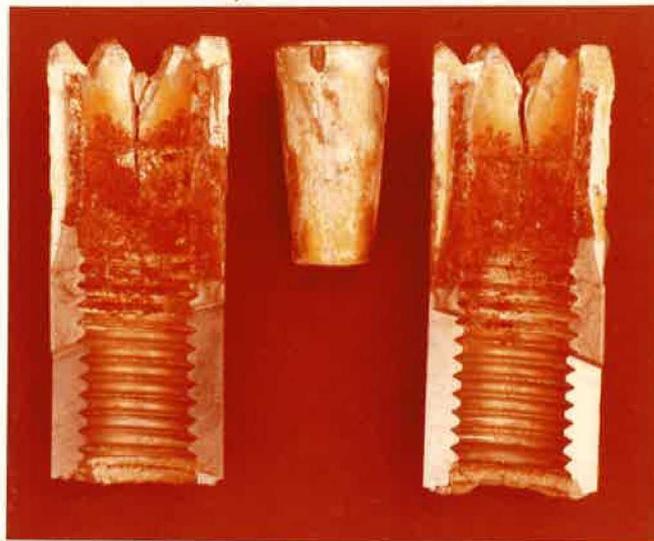


Bild 44:  
Korrosionszustand  
innenseitig

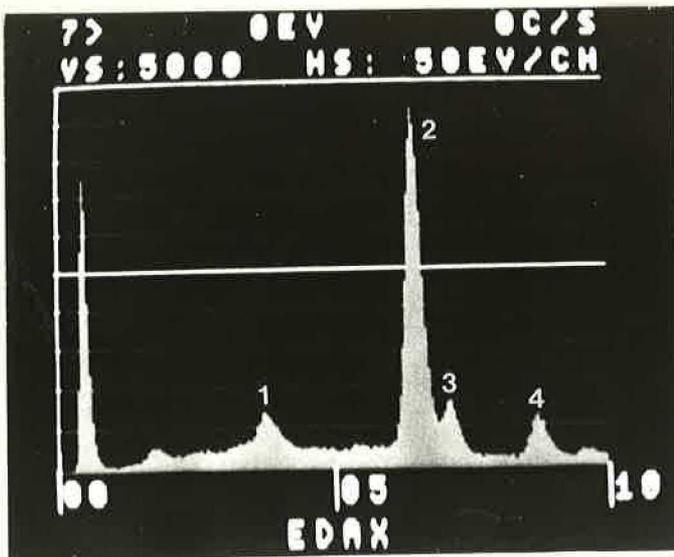


Bild 45:  
Analyse der Korrosionsprodukte  
außenseitig  
1 - Ca, 2 + 3 - Fe, 4 - Zn

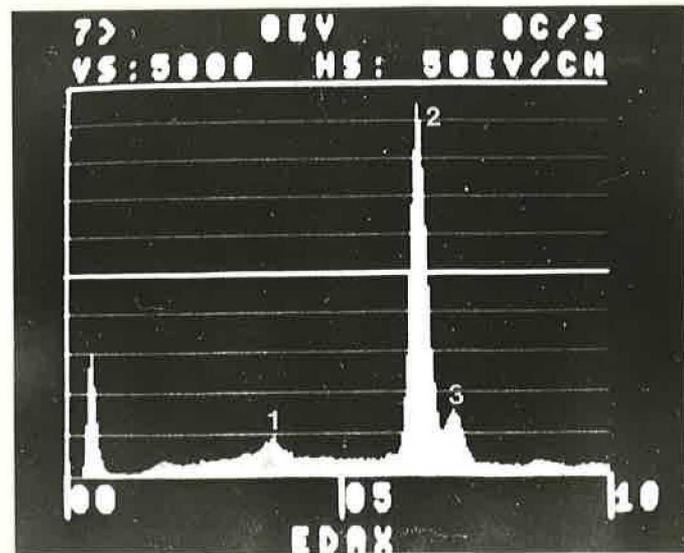


Bild 46:  
innenseitig

Die Befestigungsschrauben aus nichtrostendem Stahl standen für die Untersuchungen nicht zur Verfügung. Jedoch kann Bild 44 entnommen werden, daß offenbar eine Kontaktkorrosion zwischen Schraube und unverzinkter Hülse im Gewindebereich nicht stattgefunden hat.

Im vorliegenden Fall konnte Regenwasser und hohe Luftfeuchtigkeit unmittelbar auf die Befestigungsteile einwirken und sich dort in den relativ schmalen Ringspalten zwischen Hülse und Bohrlochwand bzw. im Innern zwischen Konus und Hülsenwand längerzeitig halten. Außenseitig wurde die Korrosion durch die rasche Karbonatisierung des Betons im Bohrloch und innenseitig durch das Fehlen einer Verzinkung begünstigt.

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß eine Verzinkung der Dübel bei den vorliegenden Gegebenheiten nur als temporärer Korrosionsschutz angesehen werden kann.

### 3.13 Bauwerk N

Das 14 Jahre alte Bauwerk ist ca. 16 m hoch und besteht aus einer Stahlbetonkonstruktion, die eine vorgehängte Fassade aus Stahlbeton-Fertigteileplatten aufweist. Der Aufbau der Fassadenkonstruktion ist schematisch in Bild 47 dargestellt.

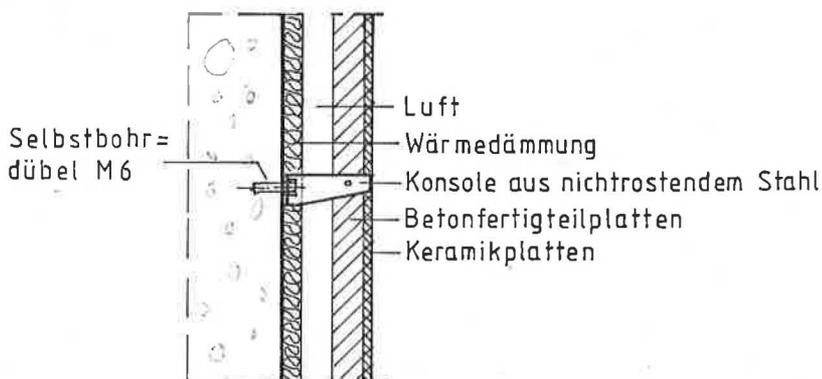


Bild 47:  
Schematischer  
Aufbau der Fassa-  
denkonstruktion

Die Fassadenplatten von 1,00 x 1,75 m sind ca. 5 cm dick und außen mit keramischen Platten belegt. Die Fugen zwischen den Platten sind mit dauerelastischem Kitt verfugt. Vor den Stahlbetonwänden sind 2 cm dicke Wärmedämmplatten aus zementgebundenen Holzfasern angeordnet, die beim Betonieren der Wände in die Schalung gestellt wurden. Nach einer hier durchgeführten Meßanalyse enthalten die Wärmedämmplatten einen wasserlöslichen Chloridanteil von 0,14 Gewichtsprozent.

Zwischen Wärmedämmung und Fassadenplatten verbleibt ein ca. 5 cm breiter Luftspalt. Im Attikabereich soll eine Blechabdeckung ein Eindringen von Regenwasser in den Luftspalt verhindern. Die Fassadenplatten sind an 4 Punkten je Platte mit Dollen an Konsolen aus nichtrostendem Stahl aufgehängt. Die Konsolen sind mit je zwei verzinkten Selbstbohrdübeln M 6 in Verbindung mit nichtrostenden Edelstahlschrauben befestigt. Zwischen der Stirnseite der Dübel und der Konsole ist eine Unterlegscheibe aus Kunststoff vorhanden.

Es wurden an der Westseite des Bauwerkes im Bereich der Gebäudekanten insgesamt 20 Dübel samt dem umgebenden Beton entnommen. Die Entnahme erfolgte im Attikabereich (10 Dübel) sowie im unteren Bereich der Fassade, die an der untersuchten Stelle in ca. 4 m Höhe über dem Erdboden beginnt.

Der Korrosionszustand der Dübel unterscheidet sich nicht nach der Entnahmestelle. Im Bereich der Bohrlochwand war der Beton über die gesamte Dübellänge, außerhalb der Bohrlöcher bis auf etwa 1,5 bis 2,0 cm, von der Betonoberfläche aus gesehen, karbonatisiert.

Bild 48.1 zeigt Dübel in einer Aufsicht und die zugehörigen Bohrlochwandungen nach dem Aufspalten des Betons. Die Bohrlochwände sind über die gesamte Länge mit Korrosionsprodukten der Dübel belegt. Die Bilder 49.1 und 49.2 zeigen zugehörige Dübel. Bild 49.3 zeigt einen Sonderfall. Hier ragte der Dübel ca. 5 mm über die Betonoberfläche heraus; in diesem Bereich ist die Verzinkung noch weitgehend unversehrt, wohingegen im Bohrloch selbst die Dübel stark korrodiert sind.



Bild 48.1:  
Aufsicht auf  
die tragende  
Außenwand



Bild 48.2:  
Korrosionspro-  
dukte an den  
Bohrlochwan-  
dungen

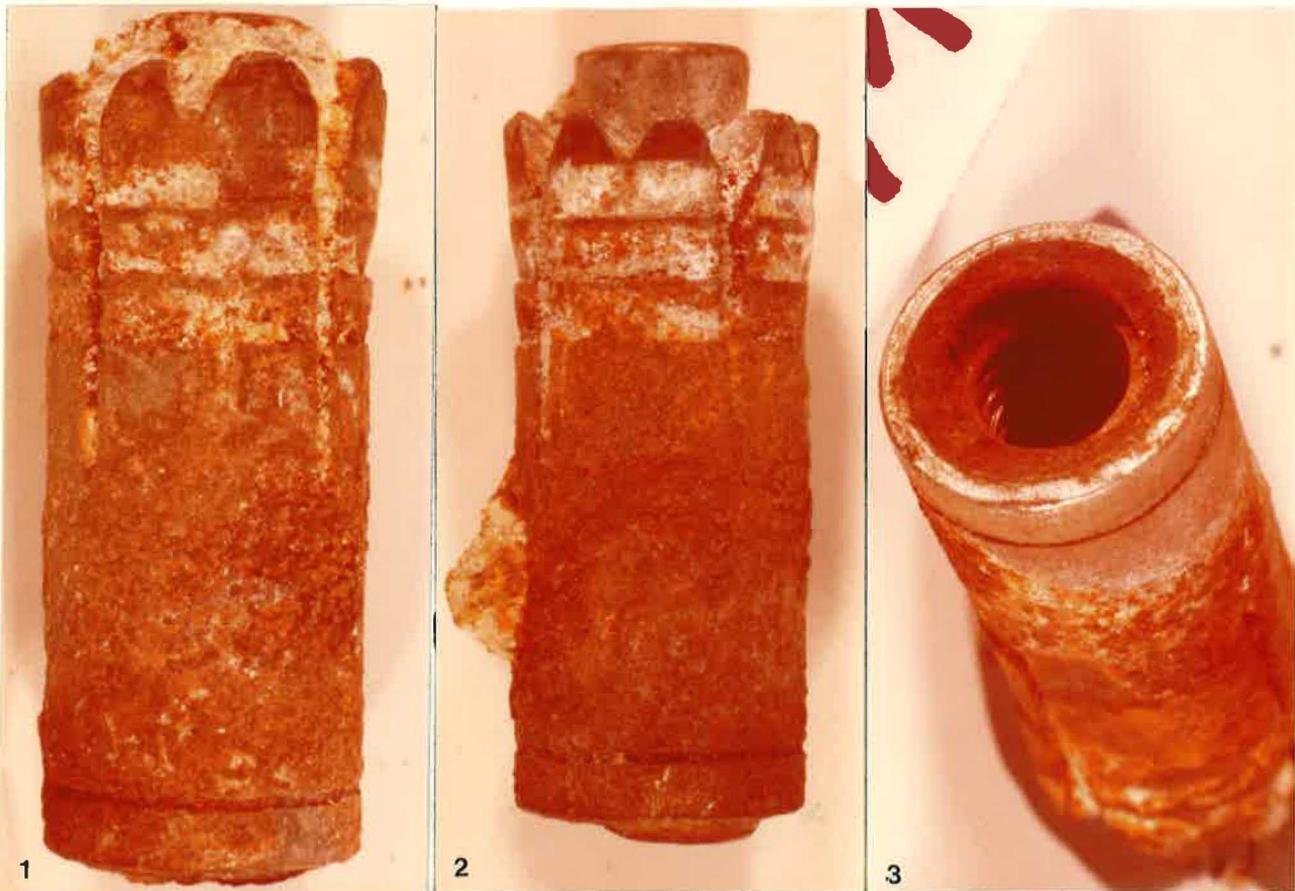


Bild 49: Außenkorrosion der Dübel

Nach Ablösen der Korrosionsprodukte zeigte die Dübelaußenseite einen lochfraßartigen Korrosionsangriff (Bild 50). Es wurden maximale Narbendurchmesser von ca. 1,5 mm und maximale Narbentiefen von ca. 0,5 mm festgestellt.

Im Berührungsbereich von Konus und Hülseninnenwandung (Spreizbereich) wurden Anzeichen einer Spaltkorrosion (Bild 51) nachgewiesen. Auffallend war die Tatsache, daß im Spreizbereich und in den unteren 2 bis 3 Gewindegängen (im Kerbgrund) Anrisse vorhanden sind. Diese Anrisse liegen vorzugsweise auf der Hülseninnenseite, jedoch wurden auch auf der Hülsenaußenseite vereinzelt Risse festgestellt. Ein Teil der Risse war durch Korrosion aufgeweitet (Bild 52), andere (Bild 53.1) waren lochfraßinduzierte Risse, wiederum andere (Bild 53.2) standen nicht in Verbindung mit einer Oberflächenkorrosion. Wie Bild 53.3 verdeutlicht, erfolgte die Rißbildung interkristallin bezüglich der ehemaligen Austenit-Korngrenzen der Härtingszone. Es wurde festgestellt, daß die überwiegende Zahl der Risse spätestens am Übergang Härtingszone/duktiler Grundwerkstoff zum Stehen kam. Die Tiefe der Härtingszone betrug ca. 500 bis 600  $\mu\text{m}$ . Nur in Ausnahmefällen drangen Risse auch in den ungehärteten Bereich vor; hier betrug die maximale Rißlänge dann ca. 0,8 mm (Bild 54).

In den Korrosionsprodukten der Dübel wurden stellenweise Chloride festgestellt (Bild 55).

Zwecks Feststellung der Ursache der vorhandenen Anrisse im Spreizbereich wurden neuwertige Selbstbohrdübel der Größen M 8 und M 10, die im Beton verspreizt waren, untersucht. Auch hier wurden Anrisse im Spreizbereich und in den unteren Gewindegängen in der ca. 400 bis 450  $\mu\text{m}$  tiefen Einhärtungszone festgestellt, jedoch war die Häufigkeit dieser Risse in der Regel geringer als bei den korrodierten Dübeln.

150:1

25:1

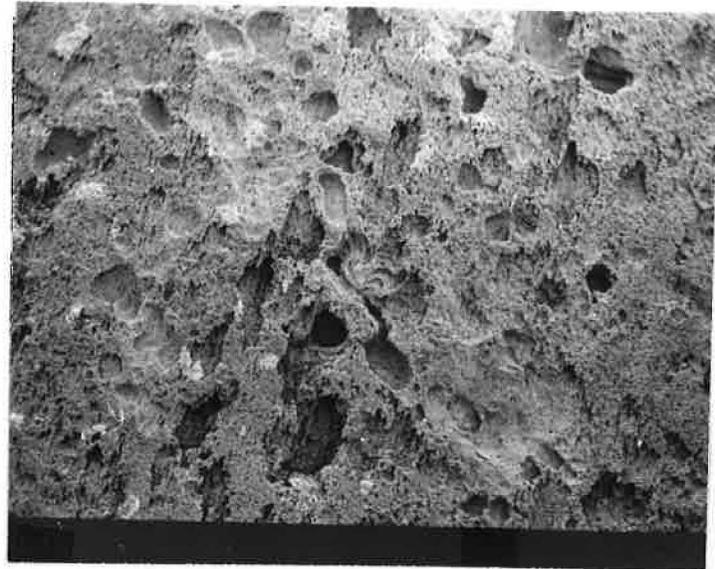
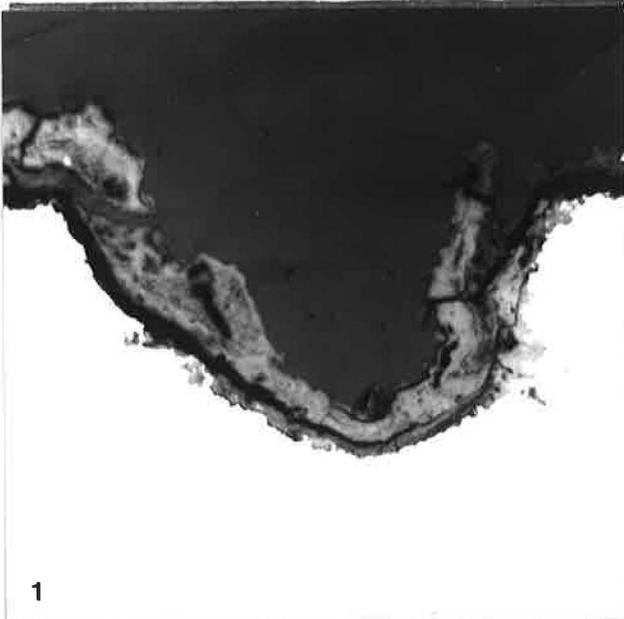
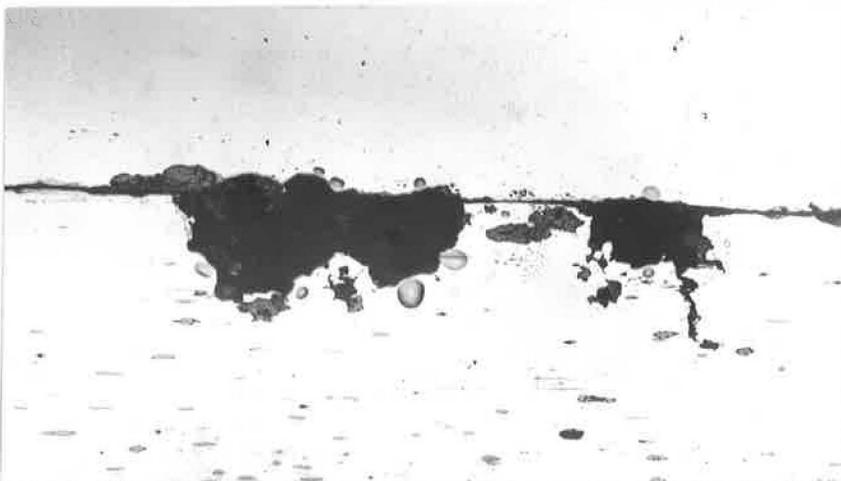


Bild 50:

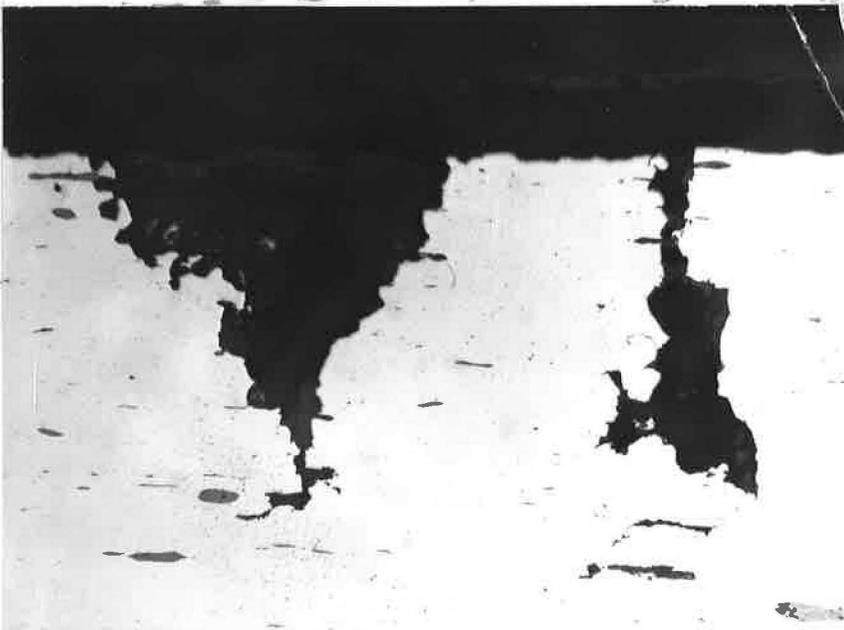
Lochfraßkorrosion auf der Dübelaußenseite.



60:1

Bild 51:

Spaltkorrosion zwischen  
Konus (oben) und  
Hülswand (unten)



400:1

Bild 52:

Durch Korrosion auf-  
geweitete Anrisse  
im Spreizbereich  
(Hülseinnenseite)

200 : 1



150 : 1



400:1

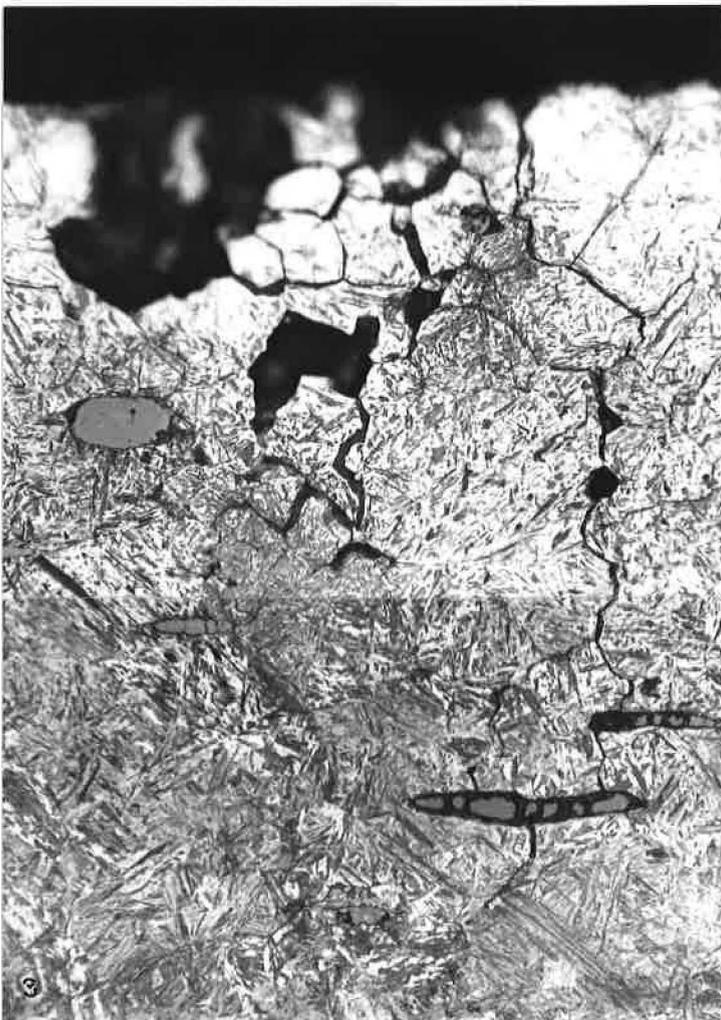


Bild 53:

Typische Anrisse im  
Spreizbereich  
(Hülseninnenseite)

Bild 53.3:

HNO<sub>3</sub> - geätzt

160:1

6644

5156

3238

3119

3009

2613

2552

2445

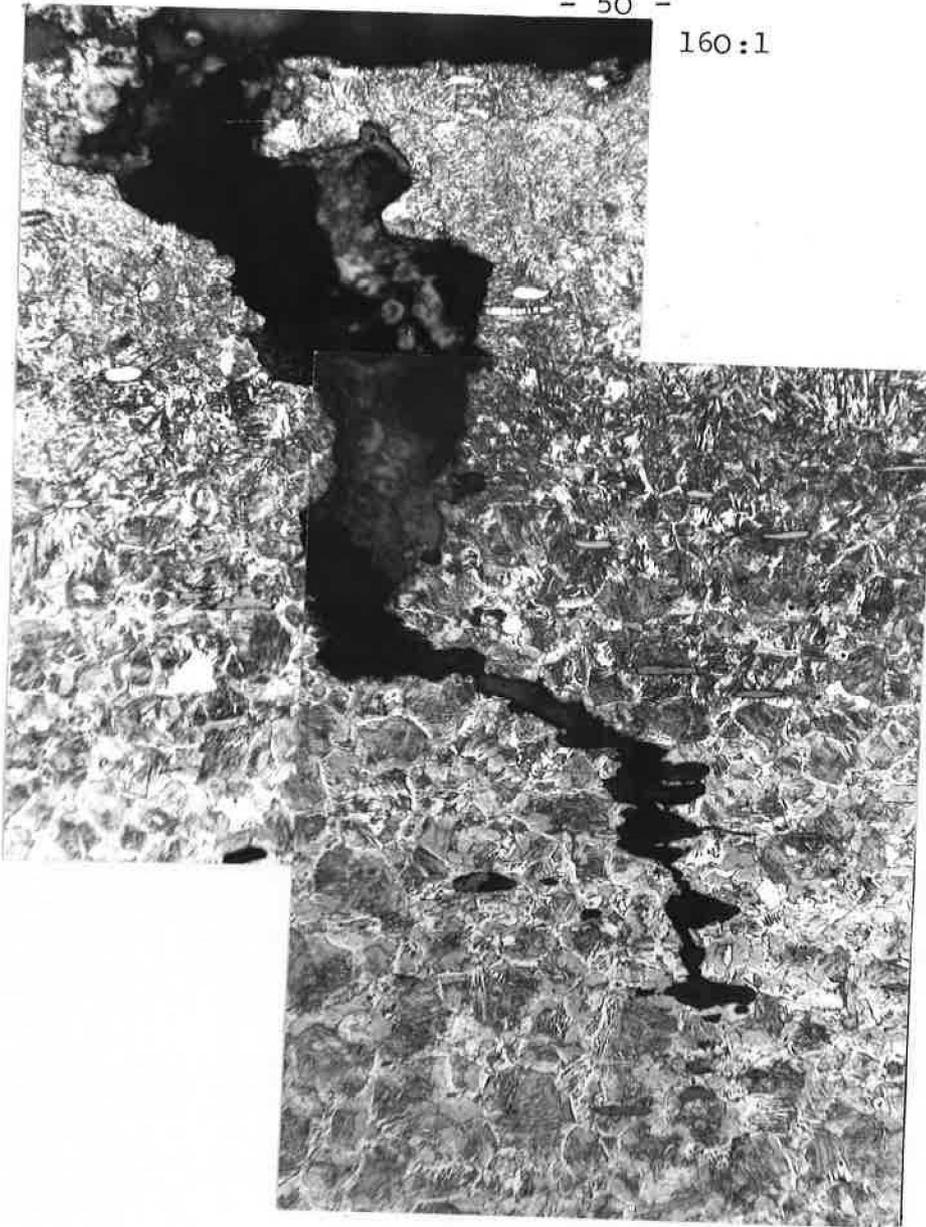
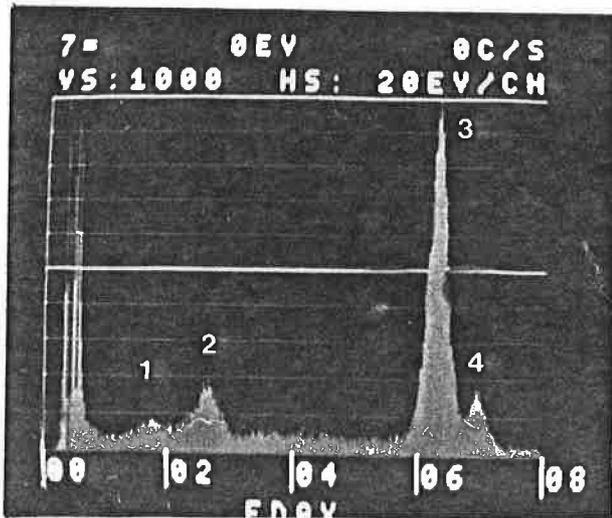


Bild 54:

ca. 0.8 mm tiefer Anriß  
 im Spreizbereich  
 (Zahlen:  $HV_{0.5}$  in  $N/mm^2$ )  
 $HNO_3$  geätzt.



1-Si, 2-Cl, 3+4 Fe

Bild 55:

Oberflächenanalyse der  
 Korrosionsprodukte  
 (Dübelaußenseite).

Im vorliegenden Fall ist die starke Korrosion der verzinkten Dübel innerhalb von 14 Jahren primär auf die Karbonatisierung des umgebenden Betons, vor allem im Bereich der Bohrlochwandung zurückzuführen. Eine korrosionsfördernde Wirkung muß auch der Wärmedämmschicht zugeschrieben werden, da sie zum einen als Feuchtigkeitsspeicher wirken kann und zum anderen Chloride enthält.

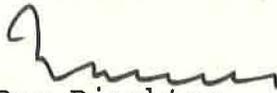
Die festgestellten Rißbildungen sind zunächst eine spezifische Eigenheit dieses Dübeltyps. Bei nicht optimaler Einhärtung ist mit ringförmigen Anrissen beim Verspreizen zu rechnen. Diese Anrisse erreichen jedoch im Regelfall nur die Tiefe der Einhärtungszone. Die Gebrauchsfähigkeit muß dabei im normalen Anwendungsfall nicht eingeschränkt sein. Bei den korrodierten Dübeln hat sich gezeigt, daß auch zusätzliche Risse durch Korrosion entstanden sind, vermutlich als Folge einer lochfraßinduzierten Wasserstoffrißkorrosion. Letztere wird bevorzugt in engen Spalten als Folge einer Sauerstoffverarmung wirksam, wenn ein empfindlicher Werkstoff vorliegt. Eingehärtete Zonen sind bekanntlich hinsichtlich Wasserstoffeinfluß empfindlich.

### Zusammenfassung

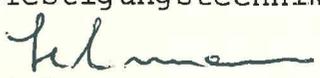
Im Rahmen von Bauwerkserhebungen wurden im Labor metallische Befestigungsteile von Verkleidungen und vorgehängten Fassaden untersucht, welche bis zu 16 Jahren vorwiegend ungünstigen bis extremen, aber auch in einigen Fällen normalen korrosiven Umweltbelastungen ausgesetzt waren. Die untersuchten Teile wie Nieten, Schrauben, Nägel und Metallspreizdübel waren in der Regel verzinkt.

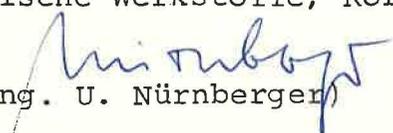
In den meisten Fällen war die Zinkschicht abgetragen, und die Teile waren korrodiert, wobei die Korrosion auch bei extremen Umweltbedingungen nur in wenigen Ausnahmefällen zu einem totalen Verlust der Tragfähigkeit führte.

Bei den aus Betonwänden entnommenen Metallspreizdübeln war ein Korrosionsschutz durch die Alkalität des Betons wider Erwarten nicht mehr gegeben, da der Beton nach relativ kurzer Zeit an den Bohrlochwänden und nach längeren Zeiträumen auch von der Oberfläche her bis ca. 1,5 cm Tiefe karbonatisiert war. Demzufolge wurden auch bei normalen Umweltbedingungen Korrosionsgrade erreicht, welche nach bisherigen Vorstellungen nicht mehr toleriert werden können. Es ist zu beachten, daß im ungünstigsten Fall auch die Mitwirkung von Chloriden nicht ausgeschlossen werden kann. Die übliche galvanische Verzinkung mit Zinkauflagen von 35-70 g/m<sup>2</sup> (entsprechend 5 - 10 µm) hat sich somit in vielen Fällen lediglich als temporärer Korrosionsschutz bewährt. Es wurde erkennbar, daß das bei freier Bewitterung festgestellte Korrosionsverhalten auf Befestigungsteile hinter vorgehängten Fassaden nicht uneingeschränkt übertragbar ist, sondern bei Anwesenheit von Feuchtigkeit in engen Spalten eine Spaltkorrosion wirksam wird, welche die Zinkabtragung mit nachfolgender Korrosion beschleunigt.

  
Der Direktor

(o.Prof.Dr.-Ing. G. Rehm)

Referat II.4  
Befestigungstechnik  
  
(Dipl.-Ing. R. Lehmann)

Referat II.6  
Metallische Werkstoffe, Korrosion  
  
(Dr.-Ing. U. Nürnberger)