



2.75

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000300776

Veröffentlichungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton.

Heft 22. **Versuche über das Rosten von Eisen in Mörtel und Mauerwerk.** Ausgeführt in Berlin-Lichterfelde-West. Von Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königl. Materialprüfungsamt.
1913. Mit 15 Abb. und 5 Tabellen. Geh. Preis 2,80 M.

Heft 23. **Untersuchungen über die Längenänderungen von Betonprismen beim Erhärten und infolge von Temperaturwechsel.** Ausgeführt in Berlin-Lichterfelde-West. Von Professor **M. Rudeloff**, Geheimer Regierungsrat, Direktor im Königlichen Materialprüfungsamt, unter Mitwirkung von Dr.-Ing. **H. Sieglerschmidt**, Assistent der Abteilung für Metallprüfung.
1913. Mit 36 Textabb. und 32 Zusammenstellungen. Geh. Preis 5,60 M.

Heft 24. **Spannung σ_{hs} des Betons in der Zugzone von Eisenbeton-Balken unmittelbar vor der Rißbildung.** Von Dr.-Ing. **C. Bach**, Königl. württ. Baudirektor, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt an der Königl. Technischen Hochschule in Stuttgart und **O. Graf**, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt.
1913. Mit 13 Textabb. und 6 Zusammenstellungen. Geh. Preis 2,80 M.

Heft 25. **Wahl des Größenwertes der Elastizitätsverhältniszahl n für die Berechnung von Eisenbetonträgern.** Von **M. Möller**, Geheimer Hofrat, Professor an der Technischen Hochschule in Braunschweig und Dipl.-Ing. **M. Brunkhorst**, Assistent an der Hochschule.
1913. Mit 2 Textabb. Geh. Preis 1 M.

Heft 26. **Belastung und Abbruch von zwei Eisenbetonbauten im Königlichen Materialprüfungsamt Berlin-Lichterfelde-West. Nachtrag zu der Veröffentlichung über Brandproben an Eisenbetonbauten (Heft 11).** Ausgeführt in Berlin-Lichterfelde-West. Von Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt.
1913. Mit 11 Textabb. Geh. Preis 1,20 M.

Heft 27. **Gesamte und bleibende Einsenkungen von Eisenbeton-Balken. Verhältnis der bleibenden zu den gesamten Einsenkungen.** Von Dr.-Ing. **C. Bach**, Königl. württ. Staatsrat, Professor des Maschineningenieurwesens, Vorstand des Ingenieurlaboratoriums und der Materialprüfungsanstalt an der Königl. Technischen Hochschule in Stuttgart und **O. Graf**, Ingenieur der Materialprüfungsanstalt.
1914. Mit 58 Textabb. und 47 Zusammenstellungen. Geh. Preis 2,40 M.

Heft 28. **Untersuchung von Eisenbeton-Säulen mit verschiedenartiger Querbewehrung. DRITTER TEIL.** (Fortsetzung zu Heft 5 und 21.) Ausgeführt in Berlin-Lichterfelde-West. Von Professor **M. Rudeloff**, Geheimer Regierungsrat, Direktor im Königlichen Materialprüfungsamt.
1914. Mit 47 Textabb. Geh. Preis 8,40 M.

Heft 29. **Die vorschriftsmäßige Zusammensetzung des Betongemenges nach den Bestimmungen für Ausführung von Bauwerken aus Eisenbeton.** Bericht über Versuche im Königlichen Materialprüfungsamt Berlin-Lichterfelde-West. Erstattet von Professor **M. Gary**, Abteilungsvorsteher im Königlichen Materialprüfungsamt.
1915. Mit 16 Textabb. Geh. Preis 2,20 M.



XXX
980

25057

III. 357/13.

HEFT 22

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR EISENBETON

VERSUCHE

ÜBER DAS

ROSTEN VON EISEN IN MÖRTEL
UND MAUERWERK

AUSGEFÜHRT IM

KÖNIGLICHEN MATERIALPRÜFUNGSAMT

ZU

BERLIN-LICHTERFELDE-WEST

IN DEN JAHREN 1907 bis 1912.

BERICHT ERSTATTET VON

PROFESSOR M. GARY

ABTEILUNGSVORSTEHER

IM KÖNIGLICHEN MATERIALPRÜFUNGSAMT

MIT 15 ABBILDUNGEN UND 5 ZUSAMMENSTELLUNGEN



BERLIN 1913

VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN

~~G. 199~~
75

XXX
980



III 17949

III - 307181

Alle Rechte vorbehalten.

Druck von Oskar Bonde in Altenburg.

Akc. Nr. _____

21/59

DBK-D 228/2018

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Entstehung des Arbeitsplanes	1
Schematische Darstellung der Arbeitspläne.	
A. Versuche auf Haftfestigkeit und Rosten im Mauerwerk	6
B. Rosten und chemische Veränderung der Schutzmittel im Mörtel	7
1. Die Materialien.	
Körnung der verwendeten Bindemittel	4
Chemische Zusammensetzung des Zementes <i>b</i>	5
Allgemeine Eigenschaften der Zemente und der anderen Bindemittel	8
Zug- und Druckfestigkeit der Zemente <i>a</i> und <i>b</i>	9
Allgemeine Eigenschaften der Sande.	10
2. Herstellung der Proben.	
Gruppe A (Mauerwerkskörper).	12
Gruppe B (Mörtelkörper)	12
Lagerung der Mörtelproben	13
3. Prüfung der Körper.	
Die Prüfmaschine für die Gruppe A	15
Prüfungsergebnisse.	
A. Haften des Eisens im Mauerwerk	16
Ergebnisse der Haftversuche mit Ziegelkörpern	19
Ergebnisse der Haftversuche mit Bruchsteinkörpern.	31
Zusammenstellung der Mittelwerte	35
Eisen im Ziegelmauerwerk	37
Eisen im Bruchsteinmauerwerk	37
B. Rosten des Eisens im Mörtel.	
Befund an den Mörtelkörpern	38
Rostschäden	38
a) im Portlandzementmörtel	41
b) im Eisenportlandzementmörtel	42
c) im Kalkmörtel.	42
d) im verlängerten Zementmörtel.	43
e) im Estrichgips	43
f) im Stuckgips	44
Ergänzungsversuche	44
Nachtrag. Chemische Untersuchung des Marcardsmoores	45
I. Untersuchung der Grundwasserproben	45
II. Untersuchung der Moorproben	46

Bericht

über die

Versuche über das Rosten von Eisen in Mauerwerk und Mörtel.

Bearbeitet von M. Gary.

Angeregt durch die Bauabteilung des Ministeriums für öffentliche Arbeiten in Preußen hatte bereits am 15. Januar 1904 das Königliche Materialprüfungsamt in Groß-Lichterfelde einen Arbeitsplan aufgestellt zu dem Zwecke, das Verhalten von Eisen im Mauerwerk und in Mörteln verschiedener Art zu studieren. Der Plan zerfiel im wesentlichen in 4 Gruppen:

1. Versuche auf Haftfestigkeit und Rosten von Eisen in großen Mörtel- und Betonkörpern;
2. Versuche auf Haftfestigkeit und Rosten von Eisen in Ziegel- und Bruchstein-Mauerwerkskörpern in Luftmörtel;
3. Versuche auf Rosten und, wenn nötig, chemisches Verhalten von Eisen in kleinen Mörtelkörpern;
4. Versuche auf Rosten und, wenn nötig, Haftfestigkeit im Mauerwerk auf Baustellen (Kaimauern und dergl.).

Die Versuche unter 1 bis 3 sollten im Materialprüfungsamt ausgeführt werden, die Versuche unter 4 aber sollten der Bauverwaltung vorbehalten bleiben.

Wie die Versuche gedacht waren, geht aus folgenden Bemerkungen hervor:

1. Zur Bestimmung der Haftfestigkeit und des Rostens von Eisen in großen Mörtel- und Betonkörpern sollten 1 m lange Eisenstäbe in Mörtel- bzw. Betonwürfel von 20 cm Seitenlänge so eingebettet werden, daß die Eintauchtiefe der Stäbe in je einem Körper jeder Reihe 10, 15 und 20 cm betrug; im übrigen sollten die Eisen in der Mittelachse des Würfels in der Stampfrichtung stecken und nach Erhärtung herausgerissen werden¹⁾.

Es kamen in Frage:

- a) 1701 Körper mit Flacheiseneinlagen
- und b) 1701 Körper mit Rundeiseneinlagen.

Die Eisen sollten gereinigt, mit Teer sowie mit Mennige gestrichen, verzinkt und poliert werden.

2. Die Anordnung der Versuche auf Haftfestigkeit und Rosten von Eisen in Mauerkörpern mit Luftmörtel war derart angenommen, daß ausschließlich Flacheisen von 5·0,7 cm in die Fugen von Ziegelmauerwerk und Rundeisen von 3,5 cm Durchmesser in die Fugen von Bruchsteinmauerwerk eingebettet werden sollten.

¹⁾ Der Einfluß der Eintauchtiefe des Eisens in Beton auf den Gleitwiderstand ist inzwischen mit Hilfe anderer Versuche studiert worden. Vgl. Heft 14 dieser Veröffentlichungen: Versuche mit Eisenbetonbalken zur Ermittlung der Widerstandsfähigkeit von Stoßverbindungen der Eiseneinlagen.

Bei der Aufstellung des Planes wurden wesentlich die Wünsche der Hochbauabteilung berücksichtigt.

Die geplante Größe der Körper und die Art ihrer Anordnung ist aus der Skizze Abb. 1 ersichtlich. Es sind dieselben, die später zur Ausführung gelangten.

Auch in diesen Körpern sollten die Eisen gereinigt, mit Teer und Mennige gestrichen und verzinkt angewendet werden.

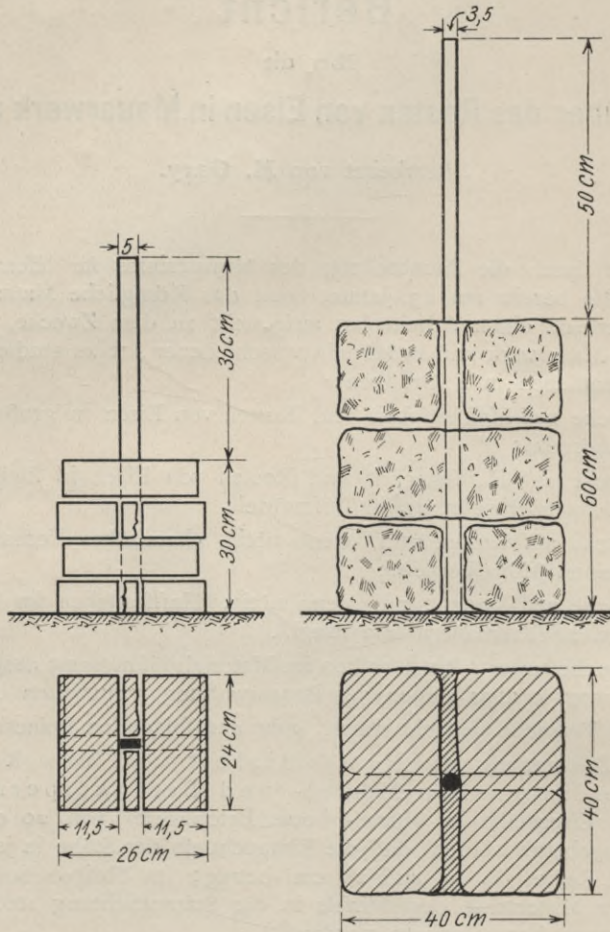


Abb. 1. Ziegel- und Bruchsteinkörper mit Flacheisen und Rundeisen.

3. Die Ausführung der Versuche auf Rosten oder nötigenfalls chemisches Verhalten an kleinen Mörtelkörpern war derartig geplant, daß je drei Rundeisenstäbchen von 11 cm Länge diagonal angeordnet in 2 Ecken und in der Mitte der Würfel von 10 cm Seitenlänge eingebettet wurden. Die Körper sollten zum Teil an der Luft, zum Teil unter Wasser, zum Teil unter feuchtem Sande lagern und zum Teil abwechselnd in Luft und Wasser gebracht werden, je nachdem es die Art des Mörtels und dessen praktische Verwendung bedingte.

(Diese Versuche wurden später den Vorschlägen gemäß ausgeführt.)

Die Unterbringung der Körper ließ sich mit den vorhandenen Einrichtungen ohne besondere Kosten ermöglichen.

Bezüglich Herstellung der Versuchsobjekte auf Bauplätzen und in vorhandenen Bauwerken machte das Amt darauf aufmerksam, daß, falls später die Eisen aus den Mauern herausgezogen werden sollten, die Beschaffung einer einfachen hydraulischen Vorrichtung zu empfehlen war, zu deren Bau das Amt Vorschläge machen konnte.

Dieser Arbeitsplan unterlag mehrfacher Besprechung und wurde schließlich dem inzwischen gebildeten Deutschen Ausschuß für Eisenbeton¹⁾ zur endgültigen Feststellung und Ausführung überwiesen.

Der Ausschuß hat sich in eingehenden Beratungen am 5. Dezember 1904 mit der Ausgestaltung des Arbeitsplanes und der Frage der Aufbringung der Kosten beschäftigt. Beschlossen wurde:

Durch Versuche ist zu ermitteln:

1. ob Eisen in verschiedenartigem Mauerwerk mehr oder weniger dem Rostangriff ausgesetzt oder davor geschützt ist;
2. welche Haftfestigkeit zwischen dem Mörtel und der Oberfläche des Eisens eintritt;
3. ob und welchen Einfluß die verschiedenartige Oberflächenbeschaffenheit des Eisens — Anstrich, Rostdecke, Verzinkung usw. — auf die genannten Eigenschaften ausübt, ob die größere oder geringere Entfernung der Eiseneinlage zur Außenfläche des Mauerkörpers von Einfluß ist und ob chemische Verbindungen zwischen Mörtel und Eisen anzunehmen sind.

Fragen über das statische Verhalten von Verbundkörpern aus Eisen und Beton blieben bei diesen Versuchen außer Betracht und wurden späterer Entschließung vorbehalten.

Zur Beantwortung der oben genannten Fragen wurden die bereits erwähnten Versuche für zweckmäßig erachtet, deren Gesamtkosten auf 55 000 Mark festgestellt wurden. Zu diesen Kosten stellte der Deutsche Beton-Verein 10 000 Mark zur Verfügung. Sein Vertreter beantragte indessen die Erweiterung der Versuche auf Haftfestigkeit des Eisens. Die Haftfestigkeit sollte nicht nur an starken Eisenstäben untersucht, sondern es sollten drei Versuchsreihen mit Eisen von 0,5, 0,7, 0,9 cm Durchmesser eingeschoben werden, weil befürchtet wurde, daß aus der geringeren spezifischen Haftung der dicken Eiseneinlagen ungünstige Rückschlüsse auf die Haftfestigkeit der schwächeren, hauptsächlich in den Eisenbetonkonstruktionen vorkommenden Eiseneinlagen gezogen werden könnten.

Von solchen Versuchen wurde indessen einstweilig abgesehen, weil der Arbeitsplan nicht bezweckte, Aufschluß über die Haftfestigkeit (den Gleitwiderstand) von Eisen in Beton zu bestimmen, sondern in erster Linie das Rosten und den Einfluß des Rostens auf Eisen im Mauerwerk klarzulegen²⁾.

Mit den Versuchen hätte nun begonnen werden können, wenn nicht die Aufbringung der Kosten Schwierigkeiten begegnet wäre.

An dem Unternehmen waren beteiligt: der Deutsche Beton-Verein, das Reichs-Marineamt, das Reichs-Postamt, die Ministerien der geistlichen, Unterrichts- und Medizinal Angelegenheiten, für Handel und Gewerbe, für Landwirtschaft, Domänen und Forsten, des Krieges und der öffentlichen Arbeiten. Außerdem sollte noch der Verein deutscher Portland-Zementfabrikanten herangezogen werden.

Während noch die Verhandlungen über die Aufbringung der Kosten zwischen den einzelnen Ressorts schwebten, wurden dem Ausschuß weitere Ziele gesteckt.

Am 21. März 1906 wurde von dem inzwischen erweiterten Ausschuß beschlossen, auf Antrag des Verbandes deutscher Architekten- und Ingenieur-Vereine

¹⁾ Ueber die Bildung dieses Ausschusses vgl. Heft 17 der Veröffentlichungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin.

²⁾ Demgemäß lassen sich die Ergebnisse der nachstehend geschilderten Versuche auch nicht ohne weiteres auf Eisenbeton übertragen.

und des Deutschen Beton-Vereins die Festsetzung einheitlicher, für ganz Deutschland gültiger Vorschriften für die Ausführung und Ueberwachung von Eisenbetonbauten anzustreben.

Ogleich anerkannt wurde, daß die bisherigen Arbeiten zur Erforschung der Eigenschaften des Betons (Arbeitsplan I)¹⁾ und die geplanten Versuche über das Verhalten von Eisen im Mauerwerk (Arbeitsplan II) wichtige und notwendige Vorarbeiten für die Aufstellung der gewünschten Vorschriften darstellen, mußte der Plan II doch zugunsten der neu aufzunehmenden Versuche mit Eisenbeton wesentliche Einschränkungen erfahren.

Ein Unterausschuß aus 14 Mitgliedern wurde beauftragt, den Arbeitsplan II zu prüfen und so zu ändern, daß die dringendsten Versuche auf dem Gebiete des Eisenbetonbaues auf Kosten weniger eiliger Versuche sofort in Angriff genommen werden konnten. Doch sollten bei der Aenderung die von dem Vertreter der Wasserbauverwaltung als dringlich zu bezeichnenden Versuche über das Verhalten von Eisen im Mauerwerk nicht zurückgestellt werden.

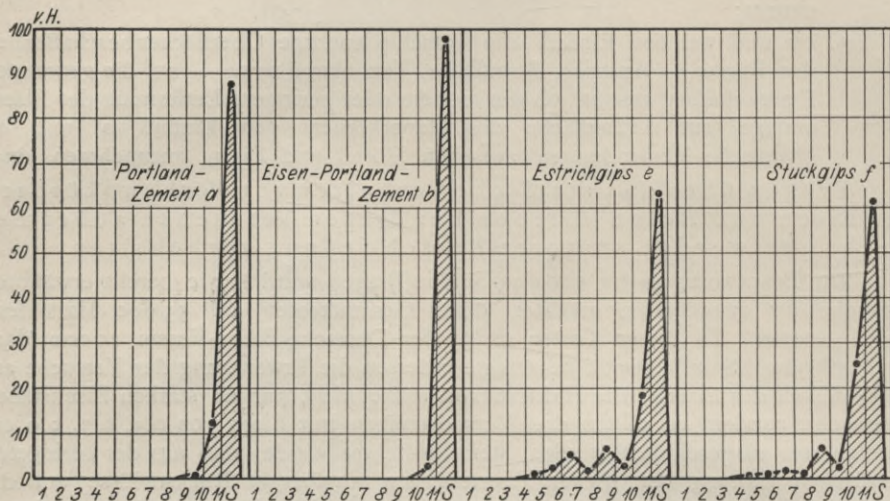


Abb. 2. Körnung der verwendeten Bindemittel.

Der Unterausschuß tagte bereits am 4. Mai 1906 und die von ihm aufgestellten Pläne wurden von dem Herrn Minister der öffentlichen Arbeiten mit Erlaß vom 20. Juni 1906 (III, 1, 2109) genehmigt. Das Materialprüfungsamt Groß-Lichterfelde wurde mit der Ausführung der in den Uebersichten auf S. 6 u. 7 dargestellten Versuche (nach dem früheren Plan 2 und 3) beauftragt. Die Gruppe 1 des früheren Planes sollte den Eisenbetonversuchen angegliedert werden. Ueber die Gruppe 4 des ehemaligen Arbeitsplanes, deren Ausführung der allgemeinen Bauverwaltung übertragen werden sollte, behielt sich der Minister der öffentlichen Arbeiten die Entscheidung vor.

Infolge der beschlossenen Einschränkungen wurde von den ursprünglich für Plan II vorgesehenen 55 000 Mark der größte Teil, nämlich 43 000 Mark, für die notwendigsten Eisenbeton-Versuche verfügbar; die noch verbleibenden Versuche mit Eisen in verschiedenem Mauerwerk und in Mörteln verschiedener Art wurden sofort in Angriff genommen.

¹⁾ Vgl. Heft 17 der Veröffentlichungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton.

I. Die Materialien.

An Materialien wurden beschafft:

- | | |
|---|--|
| 1. 4 Faß Portlandzement bezeichnet <i>a</i> | } Ursprung soll nicht
genannt werden. |
| 2. 2 Faß Eisenportlandzement bezeichnet <i>b</i> | |
| 3. 750 kg Estrichgips | } Ursprungsangabe nicht erwünscht. |
| 4. 400 kg Stuckgips | |
| 5. 1 cbm Kalkbrei der Berliner Mörtelwerke. | |
| 6. 2 cbm Mauersand der Berliner Mörtelwerke. | |
| 7. 2 cbm Freienwalder Rohsand (Grobsand). | |
| 8. 8 cbm Rüdersdorfer Kalkstein vorgeschriebener Größe. | |
| 9. 2000 Rathenower Handstrich-Ziegel. | |
| 10. 288 Flacheisen 5 · 0,7 cm im Querschnitt, 65 cm lang. | |
| 11. 99 Rundeisen 3,5 cm Durchmesser, 100 cm lang. | |
| 12. 3825 Rundeisen 1 cm Durchmesser, auf 11 cm Länge geschnitten. | |

Der zu verwendende Zement sollte möglichst abgelagert sein, um einige Gewähr dafür zu haben, daß er sich während der Dauer der Herstellung der Körper, die sich bei der großen Zahl und Mannigfaltigkeit der Proben einige Wochen hinzog, nicht wesentlich veränderte. Er sollte außerdem den „Normen“ entsprechen.

Die allgemeinen Eigenschaften der Zemente sind aus Tab. 1 zu ersehen, die Ergebnisse der Prüfung auf Normenfestigkeit sind in Tab. 2 zusammengestellt.

Abb. 2 enthält die zeichnerische Darstellung der Mahlung der Zemente. Nach Tab. 1 weisen die Zemente die charakteristischen Unterschiede zwischen normalem Portlandzement und Eisenportlandzement auf. Der Eisenportlandzement ist beträchtlich feiner gemahlen als der Portlandzement. Diesem Umstande ist zum Teil die erheblich höhere Festigkeit des Eisenportlandzementes zuzuschreiben, zum andern Teil ist der Unterschied vielleicht in der minder guten Aufbereitung des Portlandzementes begründet, der aus dem Handel bezogen und absichtlich nicht aus den besten Marken Deutschlands ausgewählt wurde. Es entsprach der Absicht, daß er den (alten) Normen eben genüge.

Der Eisenportlandzement *b* wurde aus der Fabrik bezogen und ist außer nach den Normen auch noch auf Schlackengehalt geprüft worden, um festzustellen, ob er die bei Eisenportlandzementen des Handels übliche Zusammensetzung hatte (30 % freie Hochofenschlacke).

Chemische Zusammensetzung des Zementes *b* im Anlieferungszustande.

(Abgekürzte Analyse.)

Glühverlust	3,48	%
Kieselsäure	24,36	%
Sulfidschwefel	0,23	%

Behufs Prüfung auf Reinheit des Zementes *b* wurde zur Trennung der leichten und schweren Anteile der Rückstand des Zementes auf dem 10000 Maschensieb benutzt.

Vor Herstellung des 10000-Maschengrieses wurde der Zement erst auf dem 900-Maschensieb abgesiebt und hinterließ dabei 0,75 % Rückstand, darunter Stücke bis zu Erbsengröße aus untermahlenem Klinker bestehend. Der 10000-Maschengries betrug 16 % des Ganzen.

Der durch Schlämmen mit Alkohol und Aether vom Staubfeinen befreite Rückstand wurde der Trennung mittels Methylenjodid unterworfen.

Abgesondert wurden:

- α) Anteile zwischen dem spezifischen Gewicht 2,70 und 2,98;
- β) Anteile schwerer als 3,08.

A. Versuche auf Haftfestigkeit und Rosten.

Mauerwerkskörper,
je 3 nach $\frac{1}{2}$, 2, 5 und x-jahren Alter zu prüfen.
Lufterhärtung.

Ziegelmauerwerk.

Flacheisen ($5 \times 0,7$ cm).

a) 1 Portl.-Zement
3 Sand
48

b) 1 Eisen-Portl.-Zem.
3 Sand
48

c) 1 Kalk
3 Sand
48

d) $\frac{1}{2}$ Portl.-Zem.
 $\frac{1}{2}$ Kalk
3 Sand
48

e) Estrichgips
48

f) Stückgips
48

g) 1 Portl.-Zem.
3 Sand
33

h) $\frac{1}{2}$ Portl.-Zem.
 $\frac{1}{2}$ Kalk
3 Sand
33

i) Estrichgips
33

288 Körper
gestrichen mit
Teer
Mennige

rein

rostig

verzinkt

rein

rostig

99 Körper
gestrichen
mit Mennige

gestrichen
mit Mennige

verzinkt

Bruchsteinmauerwerk.

Rundeisen (3,5 cm ϕ).

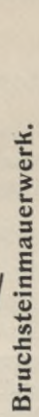


Tabelle 2. Zug- und Druckfestigkeit der Zemente a und b.

Herstellung der Probekörper am 26. Oktober 1906 mit 8,5% Wasser, normgemäß eingeschlagen.
 Erhärtung 1 Tag in feuchter Luft von etwa 18 C°, die übrige Zeit unter Wasser von etwa 17 C°.
 Mischung: 1 Gew.-T. Zement + 3 Gew.-T. Normsand¹⁾.

Zement ge- zeichnet	Ver- such Nr.	Zugproben: (Normenform) Zerreißquerschnitt = 5 qcm				Druckproben: (Würfel) Gedrückte Fläche = 50 qcm			
		$\sigma+B$ kg/qcm	$\pm \Delta$ %	$\sigma+B$ kg/qcm	V	$\sigma-B$ kg/qcm	$\pm \Delta$ %	$\sigma-B$ kg/qcm	V
		7 Tage alt				7 Tage alt			
		28 Tage alt				28 Tage alt			
		Mittleres Raumgewicht 24 Stunden nach dem Einschlagen							
		$r = 2,300 \text{ g/ccm}$				$r = 2,239 \text{ g/ccm}$			
Port- land- Zement a	1	16,3	- 3	23,6	102	120	- 2	159	88
	2	15,0	- 11	21,3	92	124	+ 2	188	104
	3	20,0	+ 19	24,1	104	123	+ 1	177	98
	4	15,9	- 5	23,4	101	120	- 1	187	103
	5	17,2	+ 2	22,6	98	125	+ 2	177	98
	6	15,2	- 10	25,8	112	118	- 3	186	103
	7	15,7	- 7	23,7	103	123	+ 1	176	97
	8	17,5	+ 4	25,3	110	123	+ 1	192	106
	9	17,3	+ 3	20,7	90	126	+ 3	188	104
	10	17,8	+ 6	20,8	90	120	- 2	184	102
Summe	167,9	+ 34	23+3	998	1222	+ 10	1814	1000	
Mittel	16,8	$\pm \Delta m = 7,0$	23,1	$\pm \Delta m = 1,6$	$\frac{1}{m} \cdot n = 1,4$	$\pm \Delta m = 6,2$	$\frac{1}{m} \cdot n = 5,3$	$\pm \Delta m = 1,9$	$\frac{1}{m} \cdot n = 2,6$
		Mittleres Raumgewicht 24 Stunden nach dem Einschlagen							
		$r = 2,300 \text{ g/ccm}$				$r = 2,259 \text{ g/ccm}$			
Eisen- Port- land- Zement b	1	24,3	- 3	30,8	88	302	+ 2	412	104
	2	23,2	- 7	38,0	109	302	+ 2	414	105
	3	23,8	- 5	37,9	109	287	- 3	384	97
	4	26,3	+ 5	32,0	92	286	- 3	392	99
	5	23,0	- 8	36,2	104	294	0	412	104
	6	27,3	+ 9	36,5	105	286	- 3	430	109
	7	24,4	- 2	33,9	97	294	0	423	107
	8	27,5	+ 10	37,0	106	299	+ 1	312	79
	9	23,9	- 4	33,0	95	297	+ 1	374	94
	10	25,9	+ 4	33,9	97	303	+ 3	407	103
Summe	249,6	+ 28	349,2	1002	2950	+ 9	3960	1001	
Mittel	25,0	$\pm \Delta m = 5,7$	34,9	$\pm \Delta m = 1,6$	$\frac{1}{m} \cdot n = 1,8$	$\pm \Delta m = 6,4$	$\frac{1}{m} \cdot n = 5,6$	$\pm \Delta m = 1,8$	$\frac{1}{m} \cdot n = 1,6$
		Es bedeutet: V = Verhältnis zum Mittelwert = 100. $\pm \Delta$ = Abweichungen vom Mittelwert in %/o. n = Anzahl der Versuche.							

¹⁾ Ein Liter Normsand wog eingelaufen 1,399 kg, eingerüttelt 1,686 kg.

Beide Anteile wurden auf Zusammensetzung geprüft:

	Anteil α :	Anteil β :
Glühverlust	3,60 $\frac{0}{0}$	0,82 $\frac{0}{0}$
Kieselsäure	33,20 $\frac{0}{0}$	22,04 $\frac{0}{0}$
Sulfidschwefel	0,95 $\frac{0}{0}$	0,02 $\frac{0}{0}$

Aus den Sulfidschwefelzahlen berechnet sich der Gehalt an freier Schlacke auf 23 $\frac{0}{0}$.

Der Eisenportlandzement *b* enthielt also beträchtlich weniger Schlacke als handelsüblich und in den Normen zugestanden ist.

Die Eigenschaften des Estrichgipses, des Stuckgipses und Kalkbreies sind aus Tab. 1 zu ersehen, die Körnung der beiden Gipssorten außerdem aus Abb. 2. Beide Gipse und auch der Kalk entsprachen der auf dem Berliner Baumarkt handelsüblichen Ware. Die Gipse waren beide ziemlich gleichmäßig fein gemahlen.

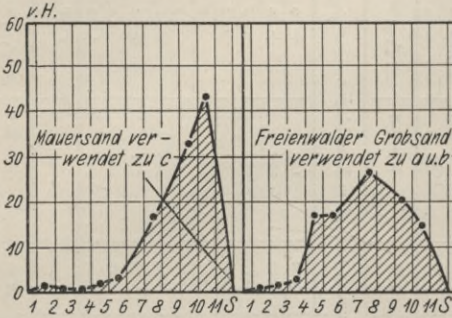


Abb. 3. Körnung der verwendeten Sande.

Auch der Berliner Mauer sand hatte die üblichen Eigenschaften und Körnung (Tab. 1 und Abb. 3). Er enthält im wesentlichen feines Korn.

Der Freienwalder Grobsand entstammt den tertiären Sandlagern der Braunkohlenformation, ist sehr rein, scharf und gemischt körnig, und deshalb besonders für solche Versuche geeignet, bei denen man die Einwirkung zufälliger Beimengungen ausschließen will. Seine Körnung ergibt sich aus Tab. 1 und Abb. 3.

Der Rüdersdorfer Kalkstein endlich hatte gleichförmig feinkörniges Gefüge, der Bruch war scharfkantig und unregelmäßig, die Farbe gelblich-grau.

1. Raumgewicht $r = 2,378$.

2. Spezifisches Gewicht s (am Pulver bestimmt) = 2,740.

3. Dichtigkeitsgrad $d = \frac{r}{s} = 0,868$.

4. Undichtigkeitsgrad $u = 1 - d = 0,132$.

Die Eigenschaften der Rathenower Handstrichziegel wurden nicht besonders ermittelt, da sie als bekannt vorausgesetzt werden können. Das Gewicht der Steine betrug im Mittel 3,336 kg, das Maß 24,4 · 11,7 · 6,5 cm.

Das Eisen entstammte einer Lieferung. Es war gewöhnliches Flußeisen und die Querschnitts-Abmessungen der Stäbe zu den Versuchen für Gruppe A waren so bemessen, daß die Haftfläche bei beiden gleich war und die Streckgrenze beim Herausziehen der Stäbe aus dem Mörtel auf keinen Fall überschritten wurde.

Von einer Analyse des Eisens ist abgesehen worden.

Die Eisenstäbe wurden dem Arbeitsplan entsprechend für die Versuche vorbereitet.

72 Flacheisen, 27 Rundeisen und 765 Stäbchen von 11 cm Länge wurden sorgfältig von anhaftendem Oel und Rost gereinigt, die letzteren derart, daß man sie mit trockenem scharfen Sand stundenlang in einer Laboratoriumskugelmühle laufen ließ.

Die gleiche Menge Eisenstäbe wurde im Freien gelagert, häufig mit Wasser benetzt und so lange liegen gelassen, bis sie völlig mit Rost überzogen waren. 36 Flacheisen und 765 Stäbchen wurden mit gewöhnlichem Steinkohlenteer sorgfältig gestrichen, so daß der Anstrich die Eisenoberfläche vollständig bedeckte.

36 Flacheisen, 18 Rundeisen und 765 Stäbchen wurden in gleicher Weise mit einem Anstrich von Bleimennige versehen und

72 Flacheisen, 27 Rundeisen und 765 Stäbchen wurden in üblicher Weise verzinkt.

Ende August 1906 waren alle Materialien beschafft und die Vorbereitungen beendet.



Abbild. 4. Lagerung der Mauerwerkskörper mit Eiseneinlagen im Freien.

2. Herstellung der Proben.

Gruppe A.

Die Herstellung der Mauerwerkskörper der Gruppe A wurde am 27. Juni 1907 begonnen. Für die Haftversuche wurde eine besondere Presse Bauart Martens von der Firma A. Borsig, Berlin, gebaut. Erst als diese Maschine fertig und erprobt war, konnte mit dem Aufmauern der Mauerpfeiler begonnen werden. Inzwischen waren für die 288 + 99 Mauerwerkskörper der Reihen A des Arbeitsplanes im Hofe des Materialprüfungsamtes zwei etwa 30 cm hohe Bänke durch Aufschüttung von Schotter und grobem Kies geschaffen. Auf diesen Kiesbänken wurden die Körper in zwei Reihen stehend und gegeneinander versetzt, so daß sie gleichmäßig der Witterung preisgegeben waren, von geschickten Maurern mit dem vom Amt zur Verfügung gestellten, dem Arbeitsplan entsprechenden Mörtel, dem Handwerksgebrauch entsprechend aufgemauert. Abb. 4 zeigt die Körper, im Vordergrund die Bruchsteinkörper mit Rundeisen, im Hintergrund die Ziegelkörper mit Flacheisen. Die Aufmauerung dauerte bis zum 6. August 1907. Zuerst wurden die Körper mit Zementmörteln und Stuckgips, dann die übrigen nacheinander gefertigt, wobei die Einteilung so getroffen wurde, daß die Prüfungstermine sich nicht überschneiden und für jeden Körper genügend Zeit zur Prüfung am vorgesehenen Tage verblieb.

Die Körper standen auf der Baustelle bis kurz vor der Prüfung; einige Tage vorher wurden sie vorsichtig in die Prüfstelle der Abteilung 1 (für Metallprüfung) übergeführt, um bei möglichst gleichmäßiger Wärme und Feuchtigkeit geprüft zu werden.

Die Leitung der Versuche zu Gruppe A unterstand dem Mitarbeiter der Abteilung für Metallprüfung, Ingenieur B. Stock.

Gruppe B.

Mit der Herstellung der Proben für die Rostversuche (Gruppe B) wurde bereits am 26. Oktober 1906 begonnen. Die Anfertigung zog sich aber wegen der notwendigen Reiheneinteilung für die verschiedenen Lagerplätze und die Zuteilung zu den Altersklassen bis zum 5. Januar 1907 hin.

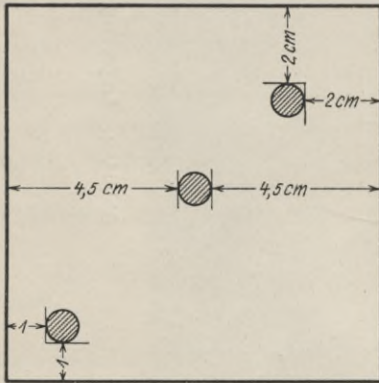


Abb. 5. Lage der Eisenstäbchen in den Mörtelkörpern.

Es wurden mörtelgerecht (also leicht von der Kelle gleitend) angerührte Mischungen zu Würfeln von 10 cm Seitenlänge geformt, indem gleichzeitig nach Maßgabe der Grundrisskizze Abb. 5 je 3 Eisenstäbchen (mit oder ohne Schutzhaut) von 11 cm Länge in den Mörtel eingebettet wurden. Das geschah derart, daß, wie Abb. 6 zeigt, über der eisernen Würfel-form, die in eine eiserne Grundplatte eingespannt wurde, ein zweiteiliger eiserner Halter die drei Stäbchen in ihrer Lage festhielt, während der Mörtel eingefüllt wurde. Um den Mörtel dicht an die Eisen heranzubringen und alle Räume der Form gleichmäßig auszufüllen, wurde ein besonderer kleiner Stampfer, der in Abb. 6 oben dargestellt ist, benutzt. Nach Füllung der Form wurde der Halter nach Lösen der beiden Seitenschrauben abgenommen, die

Oberfläche des Würfels nach Möglichkeit geglättet und das Erkennungszeichen aufgepreßt, welches das Wiederfinden jedes Körpers jeder Reihe noch nach Jahren mit Sicherheit gestattet. Nach 24 Stunden wurde die Würfelform entfernt und der Körper an die für ihn bestimmte Lagerstelle gebracht. Für die nach auswärts zu versendenden Proben wurden, bis die Reihen vollzählig waren, provisorische Lagerstätten geschaffen.

Die 1275 Mörtelkörper waren nach dem Arbeitsplan in 6 Gruppen zu teilen. Von diesen lagerte je eine

im Freien an der Luft,
 im Süßwasser,
 wechselnd an der Luft und im Süßwasser,
 im Seewasser,
 im Moorwasser,
 in feuchtem Sand.

Die an der Luft aufzubewahrenden Körper wurden auf einem umgitterten Betonfundament im Hofe des Amtes so aufgestellt, daß sie Erdfeuchtigkeit nicht aufsaugen konnten, aber von Regen und Sonnenschein gleichmäßig beansprucht und von der Luft umspült waren.

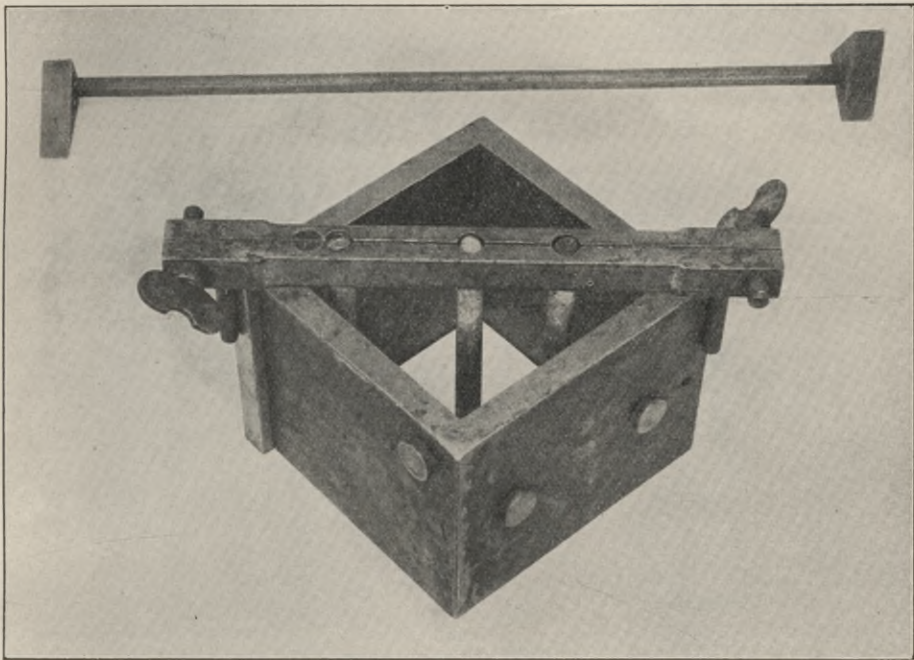


Abb. 6. Herrichtung der Formen für die Mörtelkörper.

Die Süßwasserproben lagerten in großen Betonbehältern im Laboratorium. Das Wasser wurde monatlich erneuert.

Die wechselnd Luft und Wasser ausgesetzten Proben lagerten die ersten 8 Tage an der Luft, kamen dann 8 Tage unter Süßwasser und wurden in dieser Weise wechselnd bis zu 6 Monaten Alter behandelt. Von da ab wurde der Wechsel nur vierteljährlich einmal vorgenommen.

Die Seewasserproben wurden in Munkmarsch auf Sylt in einem besonderen Bauwerk untergebracht, welches am Ufer des Wattenmeeres derart errichtet ist, daß das Wasser die Körper von allen Seiten frei umspülen kann. Sie lagen in mittlerer Wasserhöhe, so daß jede Flut die Proben einmal völlig bedeckte und jede Ebbe sie vollständig freilegte, auf diese Weise Saugwirkung ausübend.¹⁾

¹⁾ Ueber die Beeinflussung anderer Mörtelkörper durch Seewasser an derselben Stelle vergl. II. Bericht über das Verhalten hydraulischer Bindemittel im Seewasser von Gary und Schneider, Mitt. a. d. Königl. Materialprüfungsamt 1909 S. 239 u. f.

Nur für die erste Reihe, die nach einem Monat zu prüfenden Proben, wurde Seewasser von der Königl. Biologischen Anstalt auf Helgoland bezogen, in welches die frischen Körper sogleich eingelegt wurden.

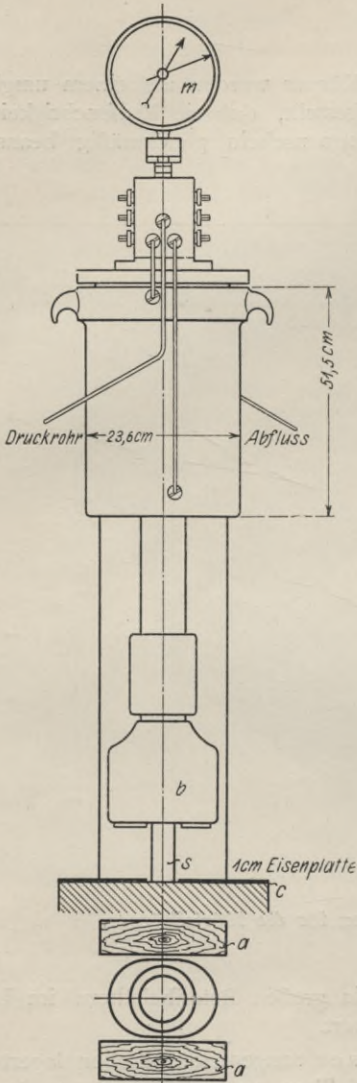


Abb. 7.
Schematische Darstellung
der Presse
Bauart Martens.

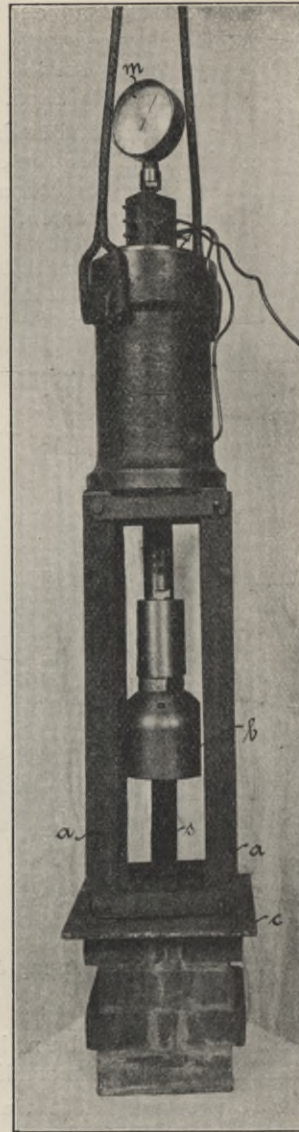


Abb. 8. Hydraulische Presse
(Bauart Martens)
zur Prüfung der Haftung
von Eisen in Mauerwerk.

Die Lagerung im Moorwasser ließ sich dank dem Entgegenkommen des Königl. Meliorations-Bauamtes V der Provinz Hannover in Aurich durchführen. In der von der Königl. General-Kommission zu Hannover besiedelten und verwalteten Hochmoor-Kolonie Marcardsmoor in Ostfriesland fand sich eine geeignete Stelle, wo die Körper unter Aufsicht des dort ansässigen Moorvogts im Moore gelagert wurden, um zu den vorgeschriebenen Terminen zur Prüfung an das Amt

eingesendet zu werden, für jeden Termin 30 Probewürfel mit Eiseneinlagen. Diese 30 Körper lagerten im Moore zusammen in einem Holzkasten, fünf Kästen nebeneinander, so daß die Kästen einzeln von frischem Moor umgeben waren. Boden und Wände der Kästen waren durchbohrt, so daß das Moorwasser von allen Seiten frei hinzutreten konnte. Selbstverständlich waren alle Körper sorgfältig gezeichnet, so daß Verwechslungen ausgeschlossen waren. Die Rücksendung erfolgte von der 16 km entfernten Station Wittmund aus. (Vgl. „Nachtrag“.)

Die unter feuchtem Sand aufzubewahrenden Probekörper lagerten in einem Kellerraum derart, daß die einzelnen Körper etwa 10 cm voneinander entfernt standen und vollständig von angefeuchtem Sand bedeckt und umgeben waren. Der Sand wurde durch gelegentliches Besprengen dauernd feucht gehalten.

Im Januar und in den ersten Tagen des Februar 1907 wurden sämtliche Körper an die Lagerstellen gebracht, die zusammengehörigen Reihen gleichzeitig. Sie wurden erst tunlichst kurze Zeit vor der Prüfung den Lagerstätten entnommen, und die aus der See und aus dem Moor entnommenen Proben zwischen Sägemehl verpackt, welches mit See- bzw. Moorwasser angefeuchtet war.

3. Prüfung der Körper.

Die Prüfmaschine

für die Haftversuche von Eisen im Mauerwerk
(Gruppe A).

Die Maschine ist in Abb. 7 bis 9 dargestellt. Aus den Bildern ist auch die Art der Einspannung der Körper ersichtlich. Der Mauerwerkskörper stand auf dem Fußboden. Gegen ihn wurde die Presse mit zwei Bohlen *aa* abgestützt, so daß der Eisenstab *s* zwischen die Eisenspannklaue *b* hineinreichte. Zur gleichmäßigen Kraftverteilung über die Oberfläche des Mauerwerkskörpers wurde zwischen den Körper und die Bohlen eine Eisenplatte *c* eingeschaltet, die in der Mitte eine Oeffnung hatte, um den Eisenstab durchzulassen. Das Loch hatte bei den Bruchsteinkörpern mit Rundeisen 7,5 cm Durchmesser und war bei den Ziegelkörpern mit Flacheisen rechteckig 7,5 : 3,0 cm.

Die Klaue war nach Abb. 9 als Kugellager ausgebildet um zentrischen Zug zu sichern. Die Einspannung wurde durch Beißkeile bewirkt.

Der Antrieb der Presse erfolgt hydraulisch und die Kraftmessung an einem in Grade geteilten Federmanometer *m*.

Vor jeder Versuchsreihe wurde die Presse neu geacht, und die Beziehungen zwischen der Zugkraft und den am Manometer abzulesenden Graden wurden festgestellt.

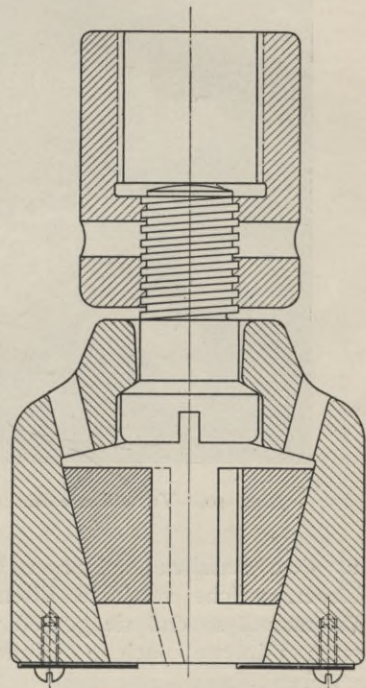


Abb. 9. Einspannklaue für Eisenstäbe.

Prüfungsergebnisse.

A. Haften des Eisens im Mauerwerk.

Sämtliche Ergebnisse der Versuche sind in den Tab. 3 zusammengestellt, die auch Angaben über den Befund des Mauerwerkes sowie über das Aussehen der Eiseneinlagen enthalten. Eine Zusammenstellung der Mittelwerte der Haftversuche enthält Tab. 4. In dieser Tabelle bedeuten die schraffierten Flächen, daß keine Körper zur Prüfung vorgesehen waren. Die wagerechten Striche bedeuten den Zerfall des Probekörpers.

Ein Teil der Körper leistete nämlich den Einflüssen der Witterung nicht genügend Widerstand. Bereits nach $\frac{3}{4}$ Jahr waren die Ziegelkörper mit Kalkmörtel 1 : 3 soweit zerstört, daß das Eisen nicht mehr haftete und leicht von Hand



Abb. 10. Verwitterte Mauerwerkskörper aus Kalkstein und Gipsmörtel.

aus dem zerfallenden Körper herausgenommen werden konnte. Nur die drei Körper, welche verzinkte Eisen enthielten, leisteten dem Wetter ausreichenden Widerstand, so daß sie geprüft werden konnten. Die Ziegelkörper mit Estrichgips waren teilweise nach 2 Jahren, völlig nach 5 Jahren zerfallen (auseinandergetrieben).

Von den Ziegelkörpern mit Stuckgips waren die $\frac{3}{4}$ -Jahresproben zerfallen, während sich von den 2-Jahresproben die Körper mit rostigen und verzinkten Eisen noch prüfen ließen, wenn sie auch sehr niedrige Haftung ergaben. (Der bessere Bestand dieser 2-Jahresproben ist nur eine zufällige Erscheinung.) Nach 5 Jahren war keiner der Körper mehr brauchbar.

Von den Bruchsteinkörpern waren die mit verlängertem Zementmörtel, soweit sie rostige und verzinkte Eisen enthielten, nach 5 Jahren zerfallen; die übrigen ergaben nur sehr geringe Haftfestigkeit. Die Bruchsteinkörper mit Estrichgips sind sämtlich nach 5 Jahren zerfallen oder so stark beschädigt, dass sie zur Prüfung untauglich sind. Abb. 10 zeigt den Zustand dieser Körper.

Die schlechte Bewahrung des Estrichgipses (Maurergips) hat seinen wesentlichen Grund in der geringen Raumbeständigkeit dieses Materials bei Zutritt von

Wasser. Bekanntlich haben alte Bauwerke, die im Mittelalter mit Estrichgips errichtet wurden, Jahrhunderte überdauert, wenn sie in ihrer Gesamtmasse den Einflüssen der Witterung entzogen waren, sie haben aber beträchtliche Treiberscheinungen da gezeigt, wo Regenwasser zudringen konnte.¹⁾

Die kleinen, den Einflüssen der Witterung von allen Seiten frei ausgesetzten Probekörper haben der Treibwirkung des Gipses nicht lange widerstehen können.

Bezüglich der Wirkung der verschiedenen Eisenschuttmittel ist aus den Tabellen und aus den Abb. 11 bis 13 folgendes zu ersehen:

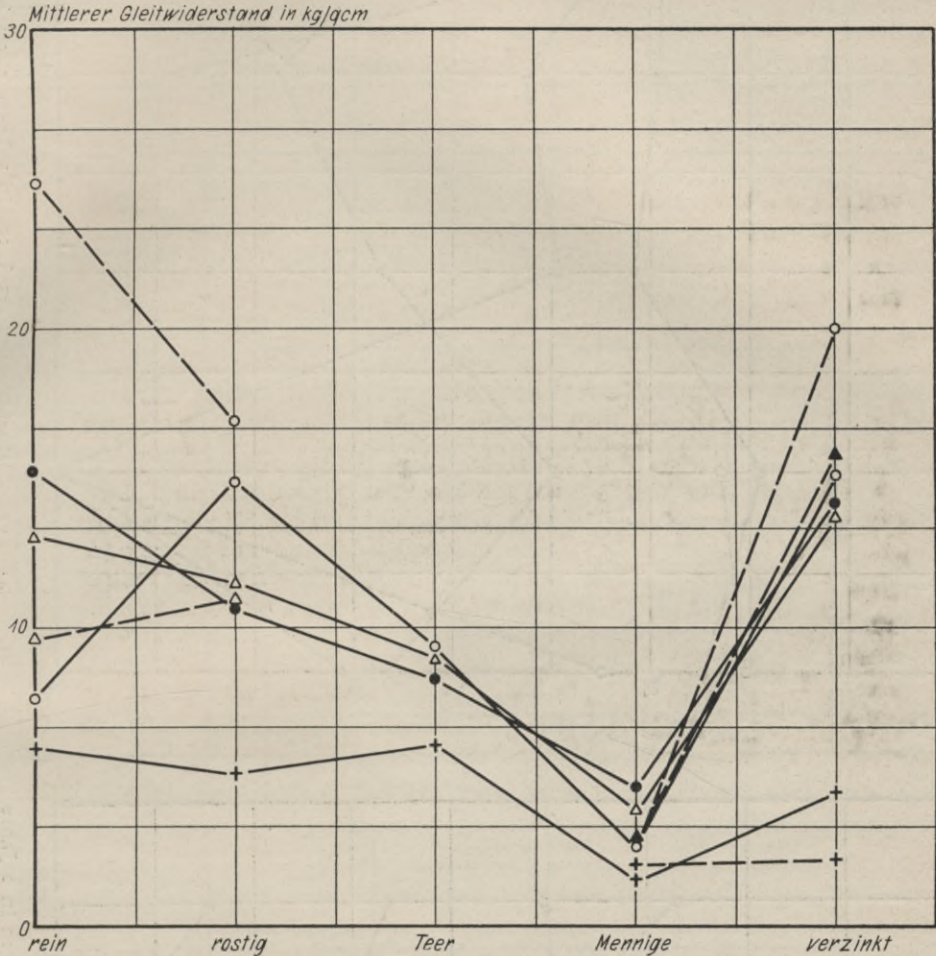


Abb. 11. Gleitwiderstand der Eisen in $\frac{3}{4}$ Jahr altem Mauerwerk.

Zeichenerklärung zu Abb. 11 bis 13.

- Ziegelmauerwerk. - - - - - Bruchsteinmauerwerk.
- ——— ○ } Portlandzementmörtel 1 : 3.
- ——— ● } Eisen-Portlandzementmörtel 1 : 3.
- + ——— + } Verlängerter Zementmörtel ($\frac{1}{2}$ Portl.-Zem. : $\frac{1}{2}$ Kalk : 3 Sand).
- ▲ ——— ▲ } Estrichgips.
- △ ——— △ }

¹⁾ Näheres hierüber siehe Gary: Ueber Versuche mit Gipsmörteln. Mitteilungen aus dem Königlichen Materialprüfungsamt 1904 S. 50 bis 75.

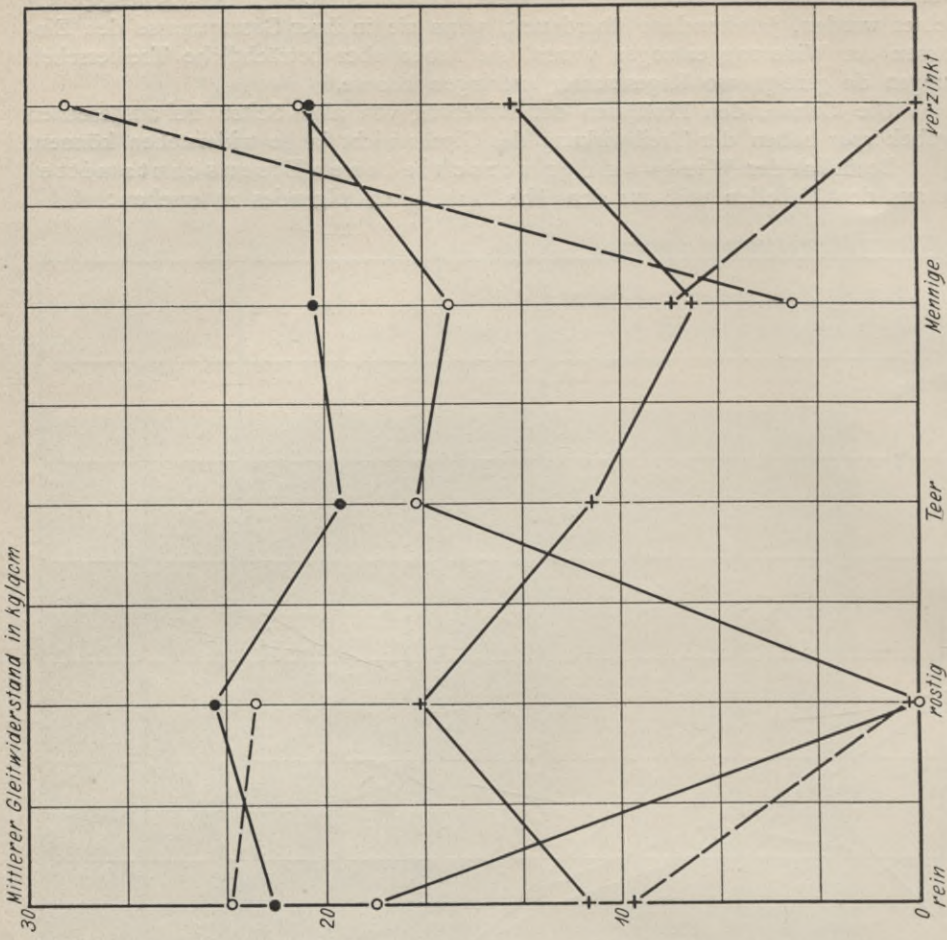


Abb. 13. Gleitwiderstand der Eisen in 5 Jahre altem Mauerwerk.

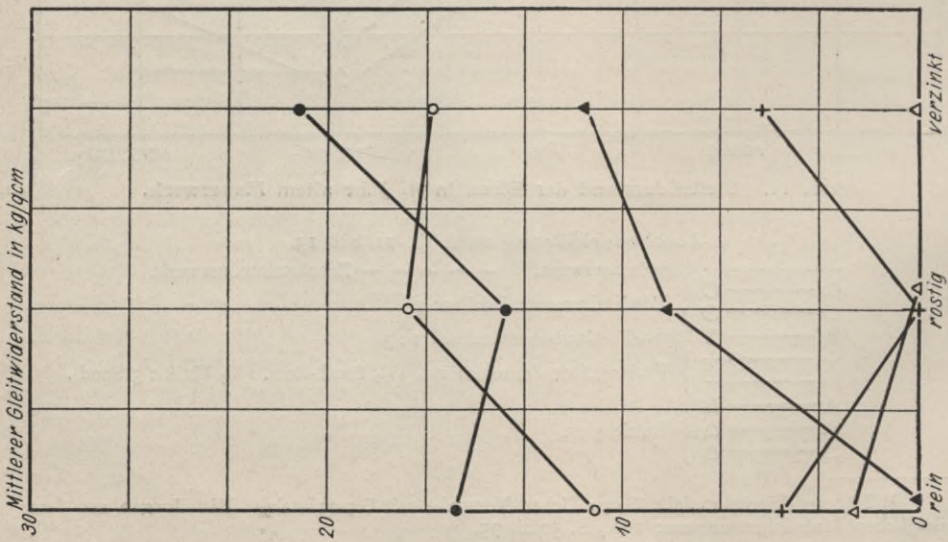


Abb. 12. Gleitwiderstand der Eisen in 2 Jahre altem Ziegelmauerwerk.

Tab. 3. **Ergebnisse der Haftversuche,**
ausgeführt in der Abteilung 1 (für Metallprüfung).
Ziegelkörper.

Probe Nr.	Art der Probe	Alter in Jahren	Abmessungen		Ergebnisse			Bemerkungen
			Höhe des Mauer- körpers cm	Haft- fläche qcm	Gleit- wider- stand kg/qcm	Befund		
						Mauerkörper	Eiseneinlage im Mauerkörper	
1	Portland- zement- mörtel 1 : 3. Eisenstab: rein.	3/4	29,8	353,43	8,0	Gut und fest	Mehrere kleine Rost- fleckchen, sonst rein	Die frei heraus- ragenden Enden sind völlig ver- rostet
2			29,5	355,77	8,9	"	Rost an der Eintritt- stelle, sonst rein.	
3			29,5	353,41	5,9	"	Ziemlich starke Rost- bildung	
Mittel		—	—	7,6	—	—	—	
4		2	29,8	348,66	9,8	Gut und fest	Rostbildung an der Eintrittsstelle	
5			28,8	338,69	10,6	"	"	
6		28,7	335,79	12,7	"	"		
Mittel		—	—	11,0	—	—	—	
7		5	29,6	346,91	20,2	Gut und fest	2/3 der Oberfläche schwach gerostet	
8	30,0		349,20	17,3	"	"		
9	29,8		349,85	17,6	"	"		
Mittel	—	—	18,4	—	—	—		

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,15$ cm, Dicke $a = 0,72$ cm.

13	Portland- zement- mörtel 1 : 3. Eisenstab: verrostet.	3/4	30,0	357,60	15,0	Gut und fest	Stark verrostet	—
14			30,0	348,60	14,6	"	"	
15			29,8	349,85	15,4	"	"	
Mittel		—	—	15,0	"	"	—	
16		2	30,0	351,00	14,2	Gut und fest	Stark verrostet	
17			30,5	357,46	19,2	"	"	
18		30,0	349,20	18,5	"	"		
Mittel		—	—	17,3	—	—	—	
19		5	—	—	—	Vollständig zerfallen	Sehr stark verrostet	
20	—		—	—	"	"		
21	—		—	—	"	"		
Mittel	—	—	—	—	—	—		

Ziegelkörper.

Probe Nr.	Art der Probe	Alter in Jahren	Abmessungen		Ergebnisse			Bemerkungen
			Höhe des Mauer- körpers cm	Haft- fläche qcm	Gleit- wider- stand kg/qcm	Befund		
						Mauerkörper	Eiseneinlage im Mauerkörper	

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,18$ cm, Dicke $a = 0,73$ cm.

25	Portland- zement- mörtel 1 : 3.	$\frac{3}{4}$	30,3	358,75	6,6	Gut und fest	Teeranstrich gut und rein, an der Eintrittsstelle Rostbildung	
26			30,0	354,60	8,6	"	"	
27			29,5	346,92	12,7	"	"	
Mittel			—	—	9,3	—	—	
28	Eisenstab: mit Teer gestrichen.	5	30,0	349,20	17,3	Gut und fest	Zahlreiche, etwa linsengroße Rostflecke	
29			29,5	343,38	15,7	"	$\frac{1}{2}$ der Oberfläche gerostet	
30			30,0	344,40	17,6	"	$\frac{1}{3}$ der Oberfläche gerostet	
Mittel			—	—	16,9	—	—	

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,12$ cm, Dicke $a = 0,73$ cm.

31	Portland- zement- mörtel 1 : 3.	$\frac{3}{4}$	29,9	349,83	1,5	Gut und fest	Der Anstrich ist zum Teil abgestreift; keine Rostbildung.	
32			29,8	347,47	2,5	"	"	
33			28,3	332,24	2,0	"	Der Anstrich ist zum Teil abgestreift; an der Eintrittsstelle Rostbildung.	
Mittel			Eisenstab: mit	—	—	2,0	—	—
34	Mennige gestrichen.	5	29,5	341,02	16,1	Gut und fest	Der Anstrich ist zum Teil abgestreift; keine Rostbildung.	
35			30,5	355,02	17,0	"	"	
36			29,5	344,56	14,3	"	"	
Mittel			—	—	15,8	—	—	

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,14$ cm, Dicke $a = 0,71$ cm.

37	Portland- zement- mörtel.	$\frac{3}{4}$	29,8	349,85	19,2	Gut und fest	Guterhalten, völlig rein	Die freien Enden der Stäbe weisen große Rostflecke auf
38			30,0	351,60	15,2	"	Nur an der Eintrittsstelle Rostbildung	
39			29,9	349,83	11,7	"	An der Eintrittsstelle u. auf beiden Schmalseiten Rostbildung	
Mittel			—	—	15,4	—	—	
40	Eisenstab: verzinkt.	2	30,3	353,90	17,1	Gut und fest	An der Eintrittsstelle Rostbildung	
41			30,2	351,53	17,7	"	"	
42			30,2	350,32	14,6	"	"	
Mittel			—	—	16,5	—	—	
43	5	30,0	351,00	18,9	Gut und fest	$\frac{1}{5}$ der Oberfläche gerostet		
44		30,0	344,40	20,3	"	$\frac{1}{2}$ der Oberfläche gerostet		
45		30,0	351,00	22,9	"	Kleine Roststellen		
Mittel		—	—	20,7	—	—		

Ziegelkörper.

Probe Nr.	Art der Probe	Alter in Jahren	Abmessungen		Ergebnisse			Bemerkungen
			Höhe des Mauer- körpers cm	Haft- fläche qcm	Gleit- wider- stand kg/qcm	Befund		
						Mauerkörper	Eiseneinlage im Mauerkörper	

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,16$ cm, Dicke $a = 0,75$ cm.

1	Eisen-	$\frac{3}{4}$	28,8	343,30	17,6	Gut und fest	Einige kleine Rost- flecke	Die freien Enden der Eisen sind völlig verrostet.
2			30,0	356,40	16,0	"	"	
3			29,3	347,50	12,4	"	"	
Mittel	—	—	15,3	—	—			
4	portland- zement- mörtel	2	28,7	340,38	16,1	Gut und fest	Rostbildung an der Eintrittsstelle	
5			28,9	339,29	16,1	"	"	
6			30,0	354,60	16,4	"	"	
Mittel	Eisenstab:	—	—	16,2	—	—		
7	rein.	5	29,0	340,46	22,6	Gut und fest	$\frac{1}{2}$ der Oberfläche schwach gerostet	
8			29,0	336,40	22,1	"	"	
9			30,0	345,00	20,9	"	"	
Mittel	—	—	21,9	—	—			

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,17$ cm, Dicke $a = 0,76$ cm.

13	Eisen-	$\frac{3}{4}$	30,7	362,26	13,2	Gut und fest	Stark verrostet	Die freien Enden der Eisen sind völlig verrostet.
14			30,6	362,92	10,1	"	"	
15			30,8	365,90	8,9	"	"	
Mittel	—	—	10,7	—	—			
16	portland- zement- mörtel	2	30,4	359,33	16,9	Gut und fest	Stark verrostet	
17			30,6	361,08	12,7	"	"	
18			30,6	362,30	12,5	"	"	
Mittel	Eisenstab:	—	—	14,0	—	—		
19	rostig.	5	30,0	353,40	27,7	Gut und fest	Stark verrostet	
20			30,0	354,00	26,5	"	"	
21			30,0	355,20	17,0	"	"	
Mittel	—	—	23,7	—	—			

Ziegelkörper.

Probe Nr.	Art der Probe	Alter in Jahren	Abmessungen		Ergebnisse			Bemerkungen
			Höhe des Mauer- körpers cm	Haft- fläche qcm	Gleit- wider- stand kg/qcm	Befund		
						Mauerkörper	Eiseneinlage im Mauerkörper	

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,13$ cm, Dicke $a = 0,72$ cm.

25	Eisen- portland- zement- mörtel	$\frac{3}{4}$	30,0	353,40	9,8	Gut und fest	Teeranstrich gut er- halten. An der Ein- trittsstelle Rostbildung	Die freien Enden der Eisen sind verrostet.
26			30,5	359,29	6,6	"	"	
27			29,3	339,29	9,9	"	"	
Mittel	—	—	8,8	—	—			
28	Eisenstab: mit Teer gestrichen.	5	29,0	337,56	22,8	Gut und fest	$\frac{1}{5}$ der Oberfläche schwach gerostet	
29			29,0	338,14	17,2	"	$\frac{2}{3}$ "	
30			29,0	339,30	18,5	"	$\frac{1}{2}$ "	
Mittel	—	—	19,5	—	—			

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,13$ cm, Dicke $a = 0,73$ cm.

31	Eisen- portland- zement- mörtel	$\frac{3}{4}$	29,5	343,38	4,5	Gut und fest	Der Anstrich ist zum Teil abgestreift; kein Rost	—
32			29,1	342,80	3,8	"	"	
33			29,0	340,46	4,8	"	"	
Mittel	—	—	4,4	—	—			
34	Eisenstab: mit Mennige gestrichen.	5	29,0	337,56	17,9	Gut und fest	Der Anstrich ist zum Teil abgestreift; kein Rost	
35			29,0	337,56	23,1	"	"	
36			29,0	334,08	19,8	"	"	
Mittel	—	—	20,3	—	—			

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,13$ cm, Dicke $a = 0,71$ cm.

37	Eisen- portland- zement- mörtel	$\frac{3}{4}$	29,2	345,14	12,7	Gut und fest	An der Eintrittsstelle Rostbildung	Die freien Enden der Eisen weisen Rostflecke auf.
38			30,0	351,60	14,8	"	"	
39			28,4	330,58	15,0	"	Gut erhalten und völlig rein	
Mittel	—	—	14,2	—	—			
40	Eisenstab: verzinkt.	2	28,7	334,64	18,7	Gut und fest	An einigen Stellen leichte Rostbildung	
41			27,9	324,20	22,4	"	"	
42			28,7	334,07	21,5	"	"	
Mittel	—	—	20,9	—	—			
43	Eisenstab: verzinkt.	5	30,0	349,20	21,0	Gut und fest	$\frac{1}{5}$ der Oberfläche schwach gerostet	
44			30,0	351,60	18,8	"	"	
45			30,0	348,60	22,4	"	2 talergroße Rostflecke	
Mittel	—	—	20,7	—	—			

Ziegelkörper.

Probe Nr.	Art der Probe	Alter in Jahren	Abmessungen		Ergebnisse			Bemerkungen
			Höhe des Mauer- körpers cm	Haft- fläche qcm	Gleit- wider- stand kg/qcm	Befund		
						Mauerkörper	Eiseneinlage im Mauerkörper	

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,16$ cm, Dicke $a = 0,75$ cm.

1	Kalk- mörtel. Eisenstab: rein	$\frac{3}{4}$	—	—	—	Der Mörtel hat nicht gebunden, die Probe fällt beim Anheben auseinander	Die Eisen sind leicht mit der Hand her- auszunehmen	Eisen völlig verrostet
2								
3								
Mittel								
4		2	—	—	—	Vollständig zerfallen	—	
5								
6								
Mittel								
7		5	—	—	—	Vollständig zerfallen	—	
8								
9								
Mittel								

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,17$ cm, Dicke $a = 0,76$ cm.

13	Kalk- mörtel. Eisenstab: rostig	$\frac{3}{4}$	—	—	—	Völlig zerfallen	Völlig verrostet	Die Eisen lassen sich leicht mit der Hand heraus- ziehen
14								
15								
Mittel								
16		2	—	—	—	Völlig zerfallen	—	
17								
18								
Mittel								
19		5	—	—	—	Vollständig zerfallen	—	
20								
21								
Mittel								

Ziegelkörper.

Probe Nr.	Art der Probe	Alter in Jahren	Abmessungen		Ergebnisse			Bemerkungen
			Höhe des Mauer- körpers cm	Haft- fläche qcm	Gleit- wider- stand kg/qcm	Befund		
						Mauerkörper	Eiseneinlage im Mauerkörper	

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,16$ cm, Dicke $a = 0,75$ cm.

25	Kalk- mörtel.	$\frac{3}{4}$	—	—	—	Der Kalkmörtel hat nicht gebun- den, die Steine liegen lose auf- einander	Die Eisen sind leicht mit der Hand her- auszuziehen	Teeranstrich teil- weise abgeblättert. Eisen stark ver- rostet, die nicht geteernten Enden völlig verrostet.
26								
27								
Mittel	Eisenstab: mit Teer gestrichen	5	—	—	—	Vollständig zerfallen	—	
28								
29								
30								
Mittel								

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,15$ cm, Dicke $a = 0,76$ cm.

31	Kalk- mörtel.	$\frac{3}{4}$	—	—	—	Der Kalkmörtel hat nicht gebun- den, die Steine liegen auf- einander	Die Eisen sind leicht mit der Hand her- auszuziehen	Anstrich gut und frei von Rost. Die nicht gestrichenen oberen Enden sind völlig verrostet.
32								
33								
Mittel	Eisenstab: mit Mennige gestrichen	5	—	—	—	Vollständig zerfallen	—	
34								
35								
36								
Mittel								

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,16$ cm, Dicke $a = 0,72$ cm.

37	Kalk- mörtel.	$\frac{3}{4}$	—	—	—	Der Kalkmörtel hat nicht gebun- den, die Steine liegen lose auf- einander	Die Eisen lassen sich leicht mit der Hand herausziehen	Zinküberzug gut er- halten. Bei Probe 37 an der Eintritt- stelle Rostbildung, die übrigen frei von Rost.	
38									
39									
Mittel	Eisenstab: verzinkt	2	28,0	329,28	17,4	Nur lose Ver- bindung zwischen Stein und Mörtel	Rostflecke		
40			27,9	330,34	10,7				
41			28,0	327,04	16,3				
42			—	—	14,8				
Mittel									
43	Kalk- mörtel.	5	—	—	—	Vollständig zerfallen	—		—
44									
45									
Mittel									

Ziegelkörper.

Probe Nr.	Art der Probe	Alter in Jahren	Abmessungen		Ergebnisse			Bemerkungen
			Höhe des Mauer- körpers cm	Haft- fläche qcm	Gleit- wider- stand kg/qcm	Befund		
						Mauerkörper	Eiseneinlage im Mauerwerk	

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,12$ cm, Dicke $a = 0,69$ cm.

1	Ver- längertes Zement- mörtel. Eisenstab: rein	$\frac{3}{4}$	29,0	339,30	5,9	Gut und fest	Rostflecke	Die freien Enden des Eisens sind völlig verrostet
2			29,1	339,31	6,5	"	"	
3			29,0	338,72	5,3	"	"	
Mittel		—	—	5,9	—	—		
4		2	28,6	332,33	5,1	Gut und fest	Rostflecke	
5			29,0	336,40	4,6	"	"	
6			29,3	338,71	4,1	"	"	
Mittel			—	—	4,6	—	—	
7		5	—	—	—	Vollständig zerfallen	—	
8	29,0		344,52	10,2	Gut und fest	Auf einer Seite gerostet		
9	28,4		333,98	12,0	"	Schwach gerostet		
Mittel	—	—	11,1	—	—			

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,13$ cm, Dicke $a = 0,76$ cm.

13	Ver- längertes Zement- mörtel. Eisenstab: rostig	$\frac{3}{4}$	30,0	354,00	4,8	Gut und fest	Stark verrostet	—
14			29,9	352,82	4,2	"	"	
15			30,5	358,68	6,3	"	"	
Mittel		—	—	5,1	—	—		
16		2	—	—	—	Vollständig zerfallen	—	
17			—	—	—	—	—	
18			—	—	—	—	—	
Mittel			—	—	—	—	—	
19		5	30,0	354,60	16,4	Gut und fest	Stark verrostet	
20	30,0		354,00	18,4	"	"		
21	30,0		353,40	15,5	"	"		
Mittel	—		—	16,8	—	—		

Ziegelkörper.

Probe Nr.	Art der Probe	Alter in Jahren	Abmessungen		Ergebnisse			Bemerkungen
			Höhe des Mauer- körpers cm	Haft- fläche qcm	Gleit- wider- stand kg/qcm	Befund		
						Mauerkörper	Eiseneinlage im Mauerkörper	

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $c = 5,18$ cm, Dicke $a = 0,71$ cm.

25	Ver- längerter Zement- mörtel.	$\frac{3}{4}$	29,0	341,62	8,0	Gut und fest	Rostfleck	—
26			29,5	347,51	6,5	"	"	
27			29,0	342,78	3,8	"	"	
Mittel			—	—	6,1	—	—	
28	Eisenstab: mit Teer gestrichen.	5	29,0	350,32	12,1	Wenig zerfallen	Rostfleck	—
29			30,0	357,00	10,1	"	"	
30			—	—	—	Vollständig zer- fallen	—	
Mittel			—	—	11,1	—	—	

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,16$ cm, Dicke $a = 0,69$ cm.

31	Ver- längerter Zement- mörtel.	$\frac{3}{4}$	29,5	344,56	1,4	Gut und fest	Der Anstrich hat sich beim Herausziehen zum großen Teil ab- gestreift	Die ungestrichenen freien Enden der Eisen sind völlig verrostet, die ge- strichenen freien En- den gut erhalten und ohne Rost. Bei 33 an der Eintrittsstelle etwas Rostbildung.
32			29,5	345,74	1,5	"	"	
33			29,2	341,06	1,4	"	"	
Mittel			—	—	1,4	—	—	
34	mit Mennige gestrichen.	5	29,0	343,94	7,5	Gut und fest	Roststellen	—
35			30,0	353,40	5,8	"	"	
36			29,0	348,00	9,5	"	"	
Mittel			—	—	7,6	—	—	

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,17$ cm, Dicke $a = 0,71$ cm.

37	Ver- längerter Zement- mörtel.	$\frac{3}{4}$	28,1	332,70	5,9	Gut und fest	Zinküberzug ist gut er- halten und frei von Rost	—
38			28,0	332,64	3,0	"	"	
39			28,3	332,81	4,7	"	"	
Mittel			—	—	4,5	—	—	
40	Eisenstab: verzinkt.	2	27,5	322,85	4,2	Gut und fest	Zinküberzug ist gut er- halten und frei von Rost	Das freie Ende hat einen großen Rostfleck.
41			28,0	327,60	5,0	"	"	
42			28,0	327,04	6,3	"	"	
Mittel			—	—	5,2	—	—	
43	Eisenstab: verzinkt.	5	28,8	344,45	12,3	Gut und fest	Schwach gerostet	—
44			28,5	334,02	15,4	"	"	
45			30,0	355,80	13,2	"	"	
Mittel			—	—	13,6	—	—	

Ziegelkörper.

Probe Nr.	Art der Probe	Alter in Jahren	Abmessungen		Ergebnisse			Bemerkungen
			Höhe des Mauer- körpers cm	Haft- fläche qcm	Gleit- wider- stand kg/qcm	Befund		
						Mauerkörper	Eiseneinlage im Mauerkörper	

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,16$ cm, Dicke $a = 0,75$ cm.

1	Estrich- gips. Eisenstab: rein.	$\frac{3}{4}$	29,2	346,90	12,7	Gut und fest	Rostflecke	Die freien Enden der Eisen sind völlig verrostet.
2			29,6	352,24	14,0	"	"	
3			29,1	338,72	12,9	"	"	
Mittel			—	—	13,2	—	—	
4		2	29,0	341,04	2,4	Locker, teilweise zerfallen	Stark verrostet	
5			29,0	340,46	3,2	"	"	
6			29,0	343,94	2,0	"	"	
Mittel		—	—	2,5	—	—		
7		5	—	—	—	Vollständig zerfallen	—	
8			—	—	—			
9	—		—	—				
Mittel	—		—	—				

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,16$ cm, Dicke $a = 0,75$ cm.

13	Estrich- gips. Eisenstab: rostig.	$\frac{3}{4}$	23,0	271,40	8,6	Ein Stein ist losgebrochen	Völlig verrostet	Nach dem Ver- such ist das Mauerwerk aller 3 Proben völlig zerfallen.
14			23,0	271,86	8,4	"	"	
15			23,0	272,32	17,6	"	"	
Mittel			—	—	11,5	—	—	
16		2	—	—	—	Vollständig zerfallen	—	
17			—	—	—			
18			—	—	—			
Mittel		—	—	—	—	—		
19		5	—	—	—	Vollständig zerfallen	—	
20			—	—	—			
21	—		—	—				
Mittel	—		—	—				

Ziegelkörper.

Probe Nr.	Art der Probe	Alter in Jahren	Abmessungen		Ergebnisse			Bemerkungen
			Höhe des Mauer- körpers cm	Haft- fläche qcm	Gleit- wider- stand kg/qcm	Befund		
						Mauerkörper	Eiseneinlage im Mauerkörper	

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,16$ cm, Dicke $a = 0,75$ cm.

1	Stuck- gips. Eisenstab: rein.	$\frac{3}{4}$	—	—	—	Vollständig zerfallen	—	—
2			—	—	—		—	—
3			—	—	—		—	—
Mittel								
4		2	—	—	—	Vollständig zerfallen	—	—
5								
6								
Mittel								
7								
8		5	—	—	—	Vollständig zerfallen	—	—
9								
Mittel								

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,16$ cm, Dicke $a = 0,74$ cm.

13	Stuck- gips. Eisenstab: rostig.	$\frac{3}{4}$	—	—	—	Völlig zerfallen	stark rostig	Die Eisen lassen sich leicht mit der Hand herausziehen.	
14						"	"		
15						"	"		
Mittel						—	—		
16		2	29,6	350,46	8,1	8,1	Gut und fest	"	Das freie Ende ist verrostet.
17							9,5	"	
18							8,6	"	
Mittel							8,7	—	
19		5	—	—	—	Vollständig zerfallen	—	—	
20									
21									
Mittel									

Ziegelkörper.

Probe Nr.	Art der Probe	Alter in Jahren	Abmessungen		Ergebnisse			Bemerkungen
			Höhe des Mauer- körpers cm	Haft- fläche qcm	Gleit- wider- stand kg/qcm	Befund		
						Mauerkörper	Eiseneinlage im Mauerkörper	

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,16$ cm, Dicke $a = 0,75$ cm.

25	Stuck- gips.	$\frac{3}{4}$	—	—	—	Mauerwerk völlig zerfallen, so daß Eisen leicht mit der Hand heraus- ziehen sind.	Völlig verrostet	Das freie nicht geteerte Ende ist völlig verrostet, das geteerte feine Ende ist stark verrostet.
26								
27								
Mittel								
28	Eisenstab: mit Teer gestrichen.	5	—	—	—	Vollständig zerfallen	—	—
29								
30								
Mittel								

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,17$ cm, Dicke $a = 0,72$ cm.

31	Stuck- gips.	$\frac{3}{4}$	—	—	—	Vollständig zerfallen	—	—
32								
33								
Mittel								
34	Eisenstab: mit Mennige gestrichen.	5	—	—	—	Vollständig zerfallen	—	—
35								
36								
Mittel								

Mittlere Abmessungen der Eisen: Breite $b = 5,16$ cm, Dicke $a = 0,69$ cm.

37	Stuck- gips.	$\frac{3}{4}$	—	—	—	Zerfallen	Rostflecke	Die freien Enden der Eisen zeigen Rostflecke.	
38							verrostet		
39							verrostet		
Mittel							—		
40		2	7,0	81,34	8,9	I., 2. u. 4. Lage abgefallen	Zerfallen		—
41							Vollständig verrostet		
42							Teilweise verrostet		
Mittel		Eisenstab: verzinkt.	—	—	11,3	—	—		—
43									
44									
45	5	—	—	—	Vollständig zerfallen	—	—		
Mittel									

Bruchsteinkörper.

Probe Nr.	Art der Probe	Alter in Jahren	Abmessungen		Ergebnisse			Bemerkungen
			Höhe des Mauer- körpers cm	Haft- fläche qcm	Gleit- wider- stand kg/qcm	Befund		
						Mauerkörper	Eiseneinlage im Mauerkörper	

Mittlere Abmessungen der Eisen: Durchmesser = 3,65 cm.

18	Portland- zement- mörtel.	3/4	53,2	610,20	28,2	Gut und fest	An der Eintrittsstelle Rost, sonst rein	Die freien Enden der Eisen sind völlig verrostet. Nr. 20 ist oben mit Gips abge- glichen, die beiden andern durch Sandschicht.
19			49,5	564,30	27,0	"	Völlig rein	
20			50,7	584,57	19,7	"	An der Eintrittsstelle Rost, sonst rein	
Mittel		—	—	25,0	—	—		
21	Eisenstab: rein.	5	48,5	544,17	23,9	Gut und fest	Einige Roststellen	—
22			48,1	542,57	22,2	"	"	
23			52,0	585,00	23,4	"	"	
Mittel			—	—	23,2	—	—	

Mittlere Abmessungen der Eisen: Durchmesser = 3,61 cm.

28	Portland- zement- mörtel.	3/4	50,1	568,13	16,3	Gut und fest	Verrostet	Die freien Enden der Eisen sind völlig verrostet.
29			50,6	573,80	16,8	"	"	
30			49,5	561,33	18,0	"	"	
Mittel		—	—	17,0	—	—		
27	Eisenstab: rostig.	5	52,0	586,56	21,9	Gut und fest	Verrostet	—
31			52,0	599,56	21,2	"	"	
32			50,0	573,50	24,1	"	"	
Mittel			—	—	22,4	—	—	

Mittlere Abmessungen der Eisen: Durchmesser = 3,65 cm.

36	Portland- zement- mörtel.	3/4	53,0	607,91	1,6	Gut und fest	Frei von Rost, der Anstrich ist teil- weise abgestreift	—
37			50,3	573,42	3,5	"	"	
38			50,5	583,78	2,6	"	"	
Mittel		—	—	2,6	—	—		
39	Eisenstab: mit Mennige gestrichen.	5	51,0	578,34	4,4	Gut und fest	Frei von Rost, der Anstrich ist teil- weise abgestreift	—
40			51,5	577,83	4,1	"	"	
41			51,0	572,22	4,0	"	"	
Mittel			—	—	4,2	—	—	

Bruchsteinkörper.

Probe Nr.	Art der Probe	Alter in Jahren	Abmessungen		Ergebnisse			Bemerkungen
			Höhe des Mauer- körpers cm	Haft- fläche qcm	Gleit- wider- stand kg/qcm	Befund		
						Mauerkörper	Eiseneinlage im Mauerkörper	

Mittlere Abmessungen der Eisen: Durchmesser = 3,61 cm.

42	Portland- zement- mörtel.	$\frac{3}{4}$	53,5	605,09	22,6	Gut und fest	Völlig rein	—
43			50,7	573,42	22,3	"	An der Eintrittsstelle Rost, sonst rein	
44			51,0	579,87	15,3	"	An der Eintrittsstelle Rost	
Mittel			—	—	20,1	—	—	
45	Eisenstab: verzinkt.	5	50,5	569,64	35,1	Gut und fest	Einige Rostflecke	—
46			51,5	582,47	26,0	"	"	
47			50,5	572,67	25,2	"	Rostfrei	
Mittel	—	—	28,8	—	—	—	—	

Mittlere Abmessungen der Eisen: Durchmesser = 3,65 cm.

34	Ver- längerter Zement- mörtel.	$\frac{3}{4}$	52,0	594,88	4,9	Gut und fest	Rein und gut erhalten	Die freien Enden der Eisen sind völlig verrostet. Bei 34 sind die 2 Steine der oberen Schicht in der Mörtel- fuge auseinander gebrochen. Die einzel. Steine sind unverletzt.
35			50,0	572,00	5,5	"	"	
36			52,2	600,30	6,2	"	"	
Mittel	—	—	5,5	—	—	—	—	
37	Eisenstab: rein.	5	50,0	561,00	12,9	Teilweise zerfallen	Rein und gut erhalten	—
38			50,0	575,00	7,6	"	"	
39			50,0	572,00	8,6	Gut und fest	"	
Mittel	—	—	9,7	—	—	—	—	

Mittlere Abmessungen der Eisen: Durchmesser = 3,61 cm.

43	Ver- längerter Zement- mörtel.	2	50,0	572,00	9,7	Gut und fest	Rostig	Die freien Enden rostig.
44			51,1	579,47	11,1	"	"	
45			48,0	540,00	16,3	"	"	
Mittel	—	—	12,4	—	—	—	—	
46	Eisenstab: rostig.	5	—	—	—	Vollständig zerfallen	—	—
47			—	—	—	—	—	
48	—	—	—	—	—	—	—	
Mittel	—	—	—	—	—	—	—	

Bruchsteinkörper.

Probe Nr.	Art der Probe	Alter in Jahren	Abmessungen		Ergebnisse			Bemerkungen
			Höhe des Mauer- körpers cm	Haft- fläche qcm	Gleit- wider- stand kg/qcm	Befund		
						Mauerkörper	Eiseneinlage im Mauerkörper	

Mittlere Abmessungen der Eisen: Durchmesser = 3,63 cm.

3	Ver- längerter Zement- mörtel.	3/4	50,9	580,26	2,3	Gut und fest	Anstrich zum Teil abgestreift Rostfrei	Anstrich der freien Eisenenden gut erhalten. Einige Rostflecken. Die nicht gestrichenen Enden sind völlig verrostet.
4			52,0	589,68	2,0	"	"	
5			52,1	593,94	1,9	"	"	
Mittel			—	—	2,1	—	—	
6	Eisenstab: mit Mennige gestrichen.	5	49,0	558,60	12,5	Gut und fest	Anstrich zum Teil abgestreift Rostfrei	
7			50,0	568,50	3,1	"	"	
8			50,0	568,50	9,7	"	"	
Mittel			—	—	8,4	—	—	

































Mittlere Abmessungen der Eisen: Durchmesser = 3,59 cm.

9	Ver- längerter Zement- mörtel.	3/4	33,6	378,00	1,7	Die oberste Stein- schicht ist ausein- andergangen, die Steine liegen lose auf	Der Zinküberzug ist gut erhalten und ohne Rost	—
10			51,0	573,75	2,7	Gut und fest	"	
11			50,3	567,38	2,2	"	"	
Mittel			—	—	2,2	—	—	
12	Eisenstab: verzinkt.	5	—	—	—	Vollständig zerfallen	—	—
13			—	—	—	—	—	
14			—	—	—	—	—	
Mittel	—	—	—	—	—	—	—	

Mittlere Abmessungen der Eisen: Durchmesser = 3,62 cm.

1	Estrich- gips.	3/4	51,2	582,14	9,0	Scheinbar gut u. fest	Stark verrostet	Nach dem Versuch fallen Probe 1 und 2 auseinander.
2			46,9	531,85	7,9	"	"	
3			50,3	571,91	11,9	Gut und fest	"	
Mittel			—	—	9,6	—	—	
4	Eisenstab: rein.	5	—	—	—	Vollständig zerfallen	—	—
5			—	—	—	—	—	
6			—	—	—	—	—	
Mittel	—	—	—	—	—	—	—	

Tab. 4. Prüfung auf Haftfestigkeit.
Zusammenstellung der Mittelwerte.

Vermauert mit	Alter der Proben in Jahren	Mittlerer Gleitwiderstand in kg/qcm					Bemerkungen
		Eisen					
		rein	rostig	mit Teer gestrichen	mit Mennige gestrichen	verzinkt	
Ziegelmauerwerk.							
Portland- zementmörtel 1 : 3	³ / ₄	7,6	15,0	9,3	2,0	15,4	1) Die gestrichelten Flächen bedeuten, daß keine Probe- körper zur Prüfung vorgesehen sind.
	2	11,0	17,3			16,5	
	5	18,4	—	16,9	15,8	20,7	
Eisenportland- zementmörtel 1 : 3	³ / ₄	15,3	10,7	8,8	4,4	14,2	
	2	16,2	14,0			20,9	
	5	21,9	23,7	19,5	20,3	20,7	
Kalkmörtel 1 Kalk + 3 Sand	³ / ₄	—	—	—	—	—	
	2	—	—			14,8	
	5	—	—	—	—	—	
Verlängerter Zementmörtel ¹ / ₂ Zement + ¹ / ₂ Kalk + 3 Sand	³ / ₄	5,9	5,1	6,1	1,4	4,5	
	2	4,6	—			5,2	
	5	11,1	16,8	11,1	7,6	13,6	
Estrichgips	³ / ₄	13,2	11,5	9,2	3,7	14,1	
	2	2,5	—			—	
	5	—	—	—	—	—	
Stuckgips	³ / ₄	—	—	—	—	—	
	2	—	8,7			11,3	
	5	—	—	—	—	—	
Bruchsteinmauerwerk.							
Portland- zementmörtel 1 : 3	³ / ₄	25,0	17,0		2,6	20,1	2) Versehentlich im Alter von 2 Jahren geprüft.
	2						
	5	23,2	22,4		4,2	28,8	
Verlängerter Zementmörtel ¹ / ₂ Zement + ¹ / ₂ Kalk + 3 Sand	³ / ₄	5,5	2)		2,1	2,2	
	2		12,4				
	5	9,7	—		8,4	—	
Estrichgips	³ / ₄	9,6	11,0		2,9	15,8	
	2						
	5	—	—		—	—	

Was zunächst den Gleitwiderstand der Flacheisen in **Ziegelmauerwerk** anbelangt, so hat sich ergeben:

Der **Mennigeanstrich** hat die Gleitfestigkeit der Eisen in der ersten Zeit (gemessen nach $\frac{3}{4}$ Jahren) beträchtlich herabgesetzt. Es scheint indessen, als wenn diese schädliche Wirkung des Mennigeanstrichs im Laufe der Zeit sich vermindert, denn nach 5 Jahren haben die Eisen mit Mennigeanstrich, soweit sie in Portlandzementmörtel, in Eisenportlandzementmörtel und in verlängertem Zementmörtel eingebettet waren, nicht wesentlich geringere Gleitfestigkeit ergeben als die reinen Eisen.

Der **Teeranstrich** hat fast denselben Gleitwiderstand ergeben, als er bei den reinen Eisen ermittelt wurde. Geringe Verminderung des Gleitwiderstandes ist beobachtet worden im Portlandzementmörtel (aber nur nach 5 Jahren) und im Eisenportlandzementmörtel. Im verlängerten Zementmörtel ist der Gleitwiderstand der geteerten Flacheisen im Ziegelmauerwerk fast derselbe wie der der reinen Eisen.

Die **verzinkten Eisen** haben anfangs, mit einziger Ausnahme von 3 Eisen im verlängerten Zementmörtel, im Portlandzementmörtel, im Eisenportlandzementmörtel und im Estrichgips fast gleichmäßigen Gleitwiderstand geliefert.

Nach 2 Jahren ergaben die verzinkten Eisen im Eisenportlandzementmörtel den besten Widerstand, darauf folgt Portlandzementmörtel, darauf der Stuckgips und schließlich der verlängerte Zementmörtel.

Nach 5 Jahren ist der Gleitwiderstand im Portlandzementmörtel und im Eisenportlandzementmörtel fast gleich; im verlängerten Zementmörtel hat er sich verbessert und im Stuckgips ist er wegen Zerfalles der Proben nicht bestimmbar gewesen.

Eigenartiges Verhalten zeigen die **gerosteten Stäbe**. Zunächst sind die Unterschiede des Gleitwiderstandes der gerosteten Stäbe gegenüber den reinen nicht erheblich. Eine Ausnahme machen nur die Stäbe im Portlandzementmörtel, die nach $\frac{3}{4}$ Jahren und nach 2 Jahren im verrosteten Zustande höhere Widerstände geliefert haben als die reinen Stäbe.

Nach 5 Jahren ist der Gleitwiderstand der gerosteten Stäbe im Ziegelmauerwerk gleich Null gefunden worden, weil der Körper beschädigt war.

Der Gleitwiderstand der runden Stäbe im **Bruchsteinmauerwerk** ist nur im Portlandzementmörtel, im verlängerten Zementmörtel und im Estrichgips bestimmt worden. Auch bei diesen Versuchen hat der Mennigeanstrich die schlechtesten Gleitwiderstände geliefert. Mit Teeranstrich sind diese Proben nicht durchgeführt worden.

Die **verzinkten Stäbe** im Bruchsteinmauerwerk haben sich ganz ähnlich verhalten wie die verzinkten Flacheisen im Ziegelmauerwerk und auch die rostigen Stäbe zeigten kein wesentlich anderes Verhalten. Nur die reinen Stäbe haben im Portlandzementmörtel, namentlich im Anfange seiner Erhärtung, im Bruchsteinmauerwerk höhere Widerstände ergeben als die Flacheisen im Ziegelmauerwerk. Der Unterschied ist aber nach 5 Jahren nur noch gering.

Betrachtet man nun nach Tabelle 4 die Mittelwerte der Gleitfestigkeit für jede Eisenanstrichsorte und für jeden Mörtel, besonders mit Rücksicht auf die Aenderung des Gleitwiderstandes mit höherem Alter, so ergibt sich, daß der Gleitwiderstand in allen Mörteln, soweit Messungen durchgeführt wurden, von $\frac{3}{4}$ bis zu 5 Jahren gewachsen ist. Den besten Fortgang des Gleitwiderstandes zeigen die Flacheisen im Portlandzementmörtel und im Eisenportlandzementmörtel der Ziegelkörper, während in demselben Mörtel der Gleitwiderstand der runden Stäbe im Bruchsteinmauerwerk sich nicht wesentlich vermehrt hat.

Es scheint demnach, als ob der Flacheisenstab gegenüber dem Rundeisenstab für Anker im Mauerwerk den Vorzug verdient.

Was schließlich das Aussehen der Eisen nach beendeten Versuchen anbetrifft, so sind darüber in den Tabellen 3 die Einzelangaben enthalten so weit sie der Niederschrift für wert gehalten wurden.

Bei der Beurteilung der Rosterscheinungen an den Eisen muß berücksichtigt werden, daß die Gestaltung der Mauerwerkskörper und die senkrecht aus ihnen

hervorstehenden Eisenstäbe für den Rostschutz des Eisens denkbar ungünstig waren. Nicht nur, daß Regen- und Schneewasser in die Fugen der Mauerwerkskörper von oben frei eindringen konnte, das Wasser lief auch an den Eisenstäben herab und konnte sich an ihnen entlang in den Steinkörper hineinziehen. Das sind so ungünstige Umstände, wie sie in der Praxis bei Eisenankern im Mauerwerk nur sehr selten vorkommen dürften, bei Eisenbeton aber z. B. niemals, weil dort die Eisen stets vom Zementmörtel und Beton völlig umschlossen sind. Es darf daher aus dem Verhalten der Eisen im Zementmörtel dieser Versuche kein Schluß auf das Verhalten von Eisen im Zementmörtel allgemein gezogen werden.

An den Eisen der Versuchskörper sind folgende Beobachtungen gemacht worden.

Eisen im Ziegelmauerwerk.

Im Portlandzementmörtel sind die reinen Eisen von der Eintrittsstelle des Eisens aus in den Körper fortschreitend verrostet. Der Rost an den bereits verrostet eingebetteten Eisen hat im Laufe der Jahre zugenommen. Der Teeranstrich hat das Rosten nicht völlig zu verhindern vermocht. Dagegen hat sich der Mennigeanstrich, der sich teilweise beim Herausziehen der Eisen aus dem Mauerwerk abgestreift hat (wodurch der geringe Gleitwiderstand verursacht wurde), die Eisen 5 Jahre lang vor dem Rosten bewahrt.

Die verzinkten Eisen sind wie die reinen Eisen von der Eintrittsstelle aus allmählich verrostet.

Im Eisenportlandzementmörtel haben sich dieselben Erscheinungen gezeigt wie im Portlandzementmörtel.

Im Kalkmörtel haben die Eisen nicht lange festen Halt bewahrt. Die Körper sind schon nach $\frac{3}{4}$ Jahren nicht mehr transportfähig gewesen. Die Eisen ließen sich anfangs leicht herausziehen und sind später von selbst herausgefallen. Selbstverständlich sind sie völlig verrostet, soweit sie nicht der Mennigeanstrich davor geschützt hat.

Der Teeranstrich war bei diesen Proben teilweise abgeblättert und hatte das Rosten nicht verhindern können und auch die Verzinkung hat den Rost nicht ganz abgehalten.

Im verlängerten Zementmörtel haben die reinen Eisen sehr bald Rostflecke erlitten. Die schon rostig eingebetteten Eisen sind noch weiter stark verrostet.

Die mit Teer gestrichenen haben schon nach $\frac{3}{4}$ Jahren Rostflecke aufgewiesen, aber die mit Mennige gestrichenen und die verzinkten Eisen erst nach 5 Jahren.

Im Estrichgips haben die reinen Eisen schon nach $\frac{3}{4}$ Jahren Rostflecke gezeigt und sind nach 2 Jahren stark verrostet.

An den schon rostig eingebetteten Eisen hat der Rost erhebliche Fortschritte gemacht.

Die mit Mennige gestrichenen, sowie die verzinkten Eisen waren im Estrichgips, solange die Körper den Zusammenhang behielten, im wesentlichen rostfrei.

Auch im Stuckgips haben sich die Eisen, so lange die Körper den Zusammenhang bewahrten, wie im Estrichgips verhalten.

Eisen im Bruchsteinmauerwerk.

Im Portlandzementmörtel haben die Rundeisenstäbe von der Eintrittsstelle aus rosten können; die mit Mennige gestrichenen sind wieder rostfrei geblieben; die verzinkten haben nur zum Teil an der Eintrittsstelle Rostspuren gezeigt.

Im verlängerten Zementmörtel haben sich die reinen Rundeisen 5 Jahre lang gut erhalten.

Die rostigen Eisen haben in demselben Mörtel keine bemerkenswerten Rostfortschritte gezeigt.

Die mit Mennige gestrichenen und die verzinkten Eisen sind im verlängerten Zementmörtel rostfrei geblieben.

Im Estrichgips sind auch bei der Verwendung von Bruchsteinmauer-

werk die Eisen stark gerostet mit Ausnahme der mit Mennige gestrichenen, die rostfrei geblieben sind. —

Es verbleibt nun noch zu berichten, wie sich die frei aus dem Mauerwerk herausragenden Eisenstäbe bei den angestellten Versuchen verhalten haben. Hierbei spielt der Mörtel oder das Mauerwerk, in dem die Eisen mit ihrem unteren Teil eingebettet waren, keine Rolle.

Die reinen Eisen sind unter dem Einfluß der Luft stark gerostet und an den schon rostigen Stellen hat der Rost Fortschritte gemacht.

Auch der Teeranstrich hat den Rost nicht zurückgehalten, ebensowenig wie die Verzinkung. Nur der Mennigeanstrich hat, soweit er die Eisen bedeckte, das Rosten verhindert.

B. Rosten des Eisens im Mörtel.

Befund an den Mörtelkörpern.

Die Mörtelkörper und ihre Einlagen wurden zu den im Arbeitsplan vorgesehenen Zeiten besichtigt und der Befund festgestellt. Was zunächst die äußere Erscheinung der Mörtelkörper anbelangt, so wurde beobachtet, daß die Körper sich in Luft und in Wasser, beim Wechsel von beiden, im Seewasser wie im Moorwasser und auch im feuchten Sande gut und rissfrei erhielten, mit zwei Ausnahmen: Einige der im Wattenmeer lagernden Körper aus Eisenportlandzementmörtel zeigten nach 2 Jahren Lagerung durchlaufende Risse, die wesentlich in der Richtung der Stampffuge auftraten und sich, nach 5 Jahren auch noch in einigen weiteren Körpern derselben Art bemerkbar machten, ohne daß weitere Zerstörungserscheinungen beobachtet werden konnten. Da die Körper in der Mischung 1 : 4 mit Grobsand hergestellt, also für das Seewasser auch im Inneren zugänglich waren, müssen Zersetzungs- und Treiberscheinungen, die innere Spannungen hervorrufen, in diesen Körpern angenommen werden. Es bleibt abzuwarten, ob etwa an den noch weiter auf unbestimmte Zeit aufzubewahrenden Körpern Erscheinungen auftreten, aus denen die Ursache der Rissebildung durch chemische Untersuchung zweifelsfrei festgestellt werden kann¹⁾.

Ferner sind die Mörtelkörper c, Kalkmörtel, teilweise mürbe, zum Teil zerfallen. Alle übrigen Mörtelkörper haben sich gut gehalten bis auf einige aus Estrichgips, die infolge von Rostbildung Schäden aufweisen, auf die weiter unten näher eingegangen wird.

Im Marcardsmoor sind bisher an den Mörtelkörpern keine Schäden aufgetreten, weil dort, wie der Befund der Körper und die nachträglich angeordnete Untersuchung (vgl. „Nachtrag“) nachweist, weder Schwefelwasserstoff in größeren Mengen noch schädliche Säuren vorhanden sind. Sonst würden die Mörtelkörper stark geschwärzt, die Eisen, soweit sie aus den Körpern herausragen, nach 5 Jahren bereits erheblich angeätzt worden sein, wie die von dem deutschen Moorausschuß angestellten Versuche, deren Ergebnisse demnächst veröffentlicht werden sollen, bereits bewiesen haben.

Nach Mitteilung des Königlichen Meliorations-Bauamtes zu Aurich steht im Nordgeorgsfehkanal des Marcardsmoores seit etwa 1830 eine aus Ziegelsteinen gemauerte Schleuse. Die Fugen sind jetzt allerdings stellenweise etwas durchlässig. Würde das Moorwasser dort aber erheblich zerstörende Wirkung haben, so müßte die Schleuse schon längst eingestürzt sein.

Rostschäden.

Die Ergebnisse der Beobachtungen der verschiedenen behandelten Eisenstäbe in verschiedenen Mörteln bei verschiedener Lagerungsart sind in Tab. 5 übersichtlich zusammengestellt. Um die Uebersicht zu erleichtern, ist von wörtlicher Beschreibung der beobachteten Erscheinungen abgesehen und es sind Zeichen eingeführt worden, welche einen direkten Vergleich in der Tabelle ermöglichen.

¹⁾ Ueber die Wirkungen des Seewassers auf Zementmörtel sind die Berichte in den Mitt. aus dem Königl. Materialprüfungsamt Jahrgang 1900 Ergänzungsheft I und 1909 S. 239 und folgende zu vergleichen.

Zur Erläuterung diene folgende

Zeichen-Erklärung.

- Rostpunkte.
- Rostfleck.
- ∞ Rostflächen.
- ⊗ Stab völlig verrostet.
- ⊗ Eisen durch Rost stark angegriffen.
- Z Oxydation der Verzinkung.
- m Angriff des Mennigeanstriches.

Tab. 5. Ergebnisse der Beobachtung von Eisenstäbchen in Mörteln bei 1 Monat, 6 Monate, 2 und 5 Jahre alten Versuchskörpern.

Die Körper sind erhärtet	Alter der Versuchskörper	a) Portlandzement. 1 Portlandzement + 4 Freienwalder Grobsand					b) Eisenportlandzement 1 Eisenportlandzement + 4 Freienwalder Grobsand				
		Eisen					Eisen				
		rein	rostig	mit Teer	mit Mennige	verzinkt	rein	rostig	mit Teer	mit Mennige	verzinkt
an der Luft	1 Monat	○	⊗					⊗			
	6 Monate	∞	⊗			○		⊗			
	2 Jahre	∞	⊗	•••		○	○	⊗	•••		
	5 Jahre	⊗	⊗	○		○	∞	⊗	○	Z	
in Süßwasser	1 Monat	○	⊗					⊗			
	6 Monate	∞	⊗					⊗			
	2 Jahre	∞	⊗					⊗			
	5 Jahre	∞	⊗			Z	○	⊗		Z	
wechselnd in Luft und Süßwasser	1 Monat	○	⊗			•••	⊗				
	6 Monate	○	⊗			○	⊗				
	2 Jahre	○	⊗				∞	⊗		•••	
	5 Jahre	○	⊗			Z	∞	⊗	•••	○Z	
in Seewasser	1 Monat	•••	⊗				•••	⊗			
	6 Monate	•••	⊗			Z	○	⊗		Z	
	2 Jahre	○	⊗			Z	∞	⊗	m	Z	
	5 Jahre	○	⊗			Z	∞	⊗	m	Z•••	
in Moorwasser	1 Monat	•••	⊗				•••	⊗			
	6 Monate	○	⊗				•••	⊗		Z	
	2 Jahre	∞	⊗			Z	○	⊗	m	Z	
	5 Jahre	∞	⊗			Z	∞	⊗	m	Z	

(Fortsetzung S. 40.)

Tab. 5 (Fortsetzung). Ergebnisse der Beobachtung von Eisenstäbchen in Mörteln bei 1 Monat, 6 Monate, 2 u. 5 Jahre alten Versuchskörpern.

Die Körper sind erhärtet	Alter der Versuchskörper	c) Kalkmörtel 1 Kalk + 4 Mauersand ¹⁾					d) verlängert Zementmörtel 1 Portlandzement + 1/2 Kalk + 5 Mauersand					e) Estrichgips					f) Stuckgips						
		rein	rostig	Eisen mit Teer	mit Mennige	ver-zinkt	rein	rostig	Eisen mit Teer	mit Mennige	ver-zinkt	rein	rostig	Eisen mit Teer	mit Mennige	ver-zinkt	rein	rostig	Eisen mit Teer	mit Mennige	ver-zinkt		
an der Luft	1 Monat		⊗				⊗				∞	⊗				∞	⊗					∞	
	6 Monate		⊗				⊗				∞	⊗				∞	⊗					∞	
	2 Jahre	••	⊗		••		∞	⊗			∞	⊗		∞	••	∞	⊗					∞	
	5 Jahre	••	⊗		••		∞	⊗		••	∞	⊗		∞	••	∞	⊗			••			∞
		••	⊗		••		∞	⊗		••	∞	⊗		∞	••	∞	⊗			••			∞
unter feuchtem Sande	1 Monat	••	⊗				••				∞	⊗				∞	⊗					∞	
	6 Monate	••	⊗				••				∞	⊗				∞	⊗					∞	
	2 Jahre	••	⊗		••		∞	⊗		••	∞	⊗		••	∞	⊗			••				∞
		••	⊗		••		∞	⊗		••	∞	⊗		••	∞	⊗			••				∞
	5 Jahre	••	⊗		••		∞	⊗		••	∞	⊗		••	∞	⊗			••				∞

1) Körper nach 2 Jahren mürbe, teilweise zerfallen. Nach 5 Jahren: der Zerfall schreitet fort.

Allgemein wurde folgendes beobachtet:

1. Sämtliche Eisenstäbe haften bei allen Mörtelproben fest im Mörtel, bis auf die Körper „c“ (Kalkmörtel), die von der Witterung teilweise zerstört, teilweise sehr mürbe geworden waren; infolgedessen waren bei den Kalkmörtelproben (Luft und Sandlagerung) die Stäbe größtenteils lose bzw. herausgefallen.

2. Der verschiedenen große Abstand der Eisenstäbe von den Außen-

seiten der Würfel erwies sich im allgemeinen als ohne Einfluß auf geringere oder größere Rosterscheinungen.

Bei den Zementmörtelproben „a“ (Portlandzement) und „b“ (Eisenportlandzement), die abwechselnd in Luft (3 Monate) und im Wasser (3 Monate) lagen, zeigten sich zum Teil an den Eisenstäben die Rosterscheinungen um so stärker, je näher die Stäbe der Außenfläche standen. Doch waren die Unterschiede gering.

Im einzelnen konnte folgendes festgestellt werden :

a) Im Portlandzementmörtel.

Die Erscheinungen an den Eisenstäbchen, die in Mörtel aus 1 T. Portlandzement und 4 T. Grobsand eingebettet waren und mit diesem an der Luft, im Süßwasser, wechselnd in Luft und Süßwasser, in Seewasser und in Moorwasser aufbewahrt wurden, waren je nach der Verschiedenheit des angewendeten Schutzmittels verschieden¹⁾. Die mit Mennige gestrichenen Eisenstäbe sind bis nach 5 Jahren vollkommen rostfrei und ohne Angriff geblieben.

Demnächst haben sich die mit Teeranstrich versehenen Eisenstäbchen tadellos gehalten und nur in den Mörteln an der Luft sind nach 2 Jahren vereinzelte kleine Rostflecke aufgetreten, die sich nach 5 Jahren nur wenig vergrößert haben, ein Beweis dafür, daß Mennige- und Teeranstriche selbst in sehr mageren und durchlässigen Zementmörteln das Eisen auf lange Jahre hinaus vor dem Roste zu schützen vermögen.

Der durchlässige Portlandzementmörtel an sich allein hat den Rostangriff nicht völlig zu verhindern vermocht; die von der Walzhaut befreiten Eisen haben in den Mörteln, gleich-

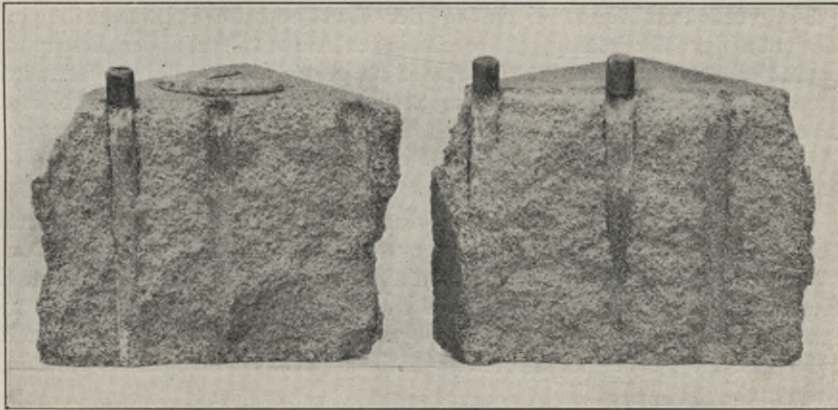
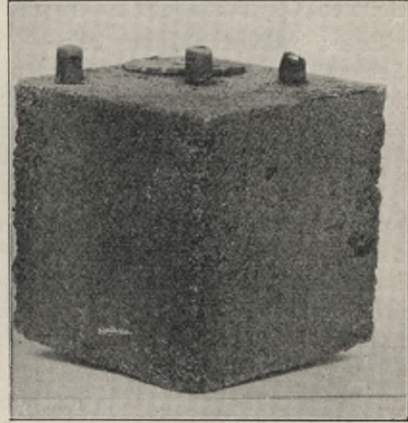


Abb. 14. Eisenportlandzementmörtel mit verzinktem Eisen, 5 Jahre an der Luft aufbewahrt, gut erhalten. Eisen haften fest.

gültig, wie sie aufbewahrt wurden, zuerst kleine Rostflecken, dann zusammenhängende Rostflächen erlitten, hauptsächlich im Süßwasser und im Moorwasser, wie an der Luft, auffallenderweise aber am geringsten im Seewasser, was wohl auf den Porenschluß durch die Umsetzung des Kalkes im Mörtel mit der Magnesia des Seewassers zurückzuführen ist.

Auch die Verzinkung der Eisen hat an der Luft die Bildung von Rostflecken nicht zu verhindern vermocht, im Süßwasser und bei wechselnder Auf-

¹⁾ Ueber den Angriff des Eisens durch Wassers und wässrige Lösungen sind zu vergleichen die Arbeiten von Heyn und Bauer, Mitt. aus dem K. Materialprüfungsamt Lichterfelde I. 1900 S. 39 und folgende; II. 1908 S. 1 und folgende; III. 1910 S. 62 und folgende.

bewahrung der Mörtelkörper in Luft und Süßwasser hat sich nach 5 Jahren ein Angriff der Verzinkung gezeigt, im Seewasser ist dieser Angriff bereits nach 6 Monaten aufgetreten und im Moorwasser nach 2 Jahren.

Die in stark verrostetem Zustande in den Zementmörtel eingebetteten Stäbe bis zu 2 Jahren Alter haben im wesentlichen, abgesehen von der einmal vorhandenen Rosthaut, dasselbe Verhalten gezeigt, wie die rein in den Mörtel eingebrachten Stäbchen, nur daß sich an der Luft sowohl als bei wechselnder Aufbewahrung in Luft und Süßwasser, wie im Seewasser und im Moorwasser nach 5 Jahren ein starker Angriff des Eisens durch den Rost bemerkbar gemacht hat, ein Zeichen dafür, daß der magere Zementmörtel das Umsichgreifen der einmal eingeleiteten Oxydation des Eisens nicht aufzuhalten vermag.

Es ist bedauerlich, daß keine Versuche mit eingeschlammten Eisen (Eisen mit Zementüberzug) angestellt worden sind, um festzustellen, ob nicht Zementanstriche besser als alle anderen das Eisen im Zementmörtel vor dem Rosten schützen.

b) Im Eisenportlandzementmörtel.

Etwas anderes Verhalten zeigen die Eisenstäbe, die im Mörtel aus 1 Eisenportlandzement und 4 Grobsand eingebettet wurden. Auch im Eisenportlandzement hat der Mennigeanstrich das Eisen am besten vor Rost zu schützen vermocht; nur im Seewasser und im Moorwasser ist nach 2 Jahren ein Angriff des Mennigeanstriches aufgetreten, der möglicherweise allmählich zur völligen Zerstörung des Schutzanstriches führen kann.

Der Teeranstrich hat nach 2 Jahren bei Aufbewahrung an der Luft den Beginn der Rostbildung in dem Eisenportlandzementmörtel genau wie im Portlandzementmörtel nicht aufzuhalten vermocht. Auch bei Wechsel von Luft und Wasser hat sich unter dem Teeranstrich, nach 5 Jahren beginnend, Rostbildung gezeigt.

Die verzinkten Eisen zeigen an der Luft und im Süßwasser beginnende Oxydationen der Verzinkung, bei wechselnder Aufbewahrung der Eisenportlandzement-Mörtelkörper in Luft und in Wasser haben sich nach 2 Jahren fortschreitend wachsende Rostflecken gezeigt und im Seewasser nach 5 Jahren. Abb. 14 stellt einen unversehrten und einen aufgespaltenen Körper dar, der an der Luft gelegen hat. Das Bild läßt erkennen, daß trotz der geringen Rostangriffe die Eisen noch fest im Mörtel haften.

Die reinen Eisenstäbe haben im wesentlichen im Eisenportlandzementmörtel sich ebenso verhalten, wie im Portlandzementmörtel; nur bei Wechsel von Luft und Wasser und im Seewasser scheint die Ausdehnung der Rostflecken im Eisenportlandzementmörtel schneller vor sich zu gehen als im Portlandzementmörtel, dagegen ist bei sämtlichen Aufbewahrungsarten das Verhalten der rostigen Eisenstäbe im Eisenportlandzementmörtel anscheinend etwas günstiger als im Portlandzementmörtel.

c) Im Kalkmörtel.

Die Körper aus dem Kalkmörtel (1 Kalk und 4 Mauersand) sind den Verhältnissen der Praxis entsprechend nur an der Luft und unter feuchtem Sande aufbewahrt worden. Sie sind, wie bereits erwähnt, teilweise mürbe geworden und zerfallen. Aber auch in diesem Mörtel hat sich scheinbar der Mennigeanstrich am besten bewährt. Er zeigt an der Luft nach 5 Jahren nur geringe Beschädigung und hat zwar unter feuchtem Sande nach 5 Jahren die Bildung von Rostflecken nicht ganz zu verhindern vermocht, hat aber doch bis dahin das Eisen geschützt. Auch der Teeranstrich hat im Kalkmörtel die Rostbildung bis zu 5 Jahren aufzuhalten vermocht.

Die verzinkten Eisen haben sich im Kalkmörtel an der Luft völlig tadellos gehalten, unter feuchtem Sande dagegen schon nach 2 Jahren Rostflecken und Oxydation der Verzinkung erlitten.

Die reinen Eisen haben an der Luft nach 2 Jahren zu rosten begonnen und schon nach 5 Jahren erhebliche Rostangriffe erlitten; unter feuchtem Sande hat die Rostbildung im Kalkmörtel sofort eingesetzt und ist bis zu 5 Jahren fortgeschritten. In noch höherem Maße ist das der Fall bei den rostigen Eisen, die sowohl an der Luft als unter feuchtem Sande nach 5 Jahren starke Rostangriffe aufwiesen.

d) Im verlängerten Zementmörtel.

Der Mörtel aus $\frac{1}{2}$ Portlandzement + $\frac{1}{2}$ Kalk + 5 Mauersand, der ebenfalls nur an der Luft und unter feuchtem Sande aufbewahrt wurde, hat im wesentlichen die Eisen nicht besser zu schützen vermocht als der reine Kalkmörtel, im Gegenteil sind sogar an den verzinkten Eisen nach 2 bzw. 5 Jahren Rostflecken aufgetreten und hat auch weder der Mennigeanstrich noch der Teeranstrich den Beginn des Rostens länger als höchstens 2 Jahre aufzuhalten vermocht. Die reinen Eisen haben im verlängerten Zementmörtel noch ausgedehntere Rostangriffe erfahren als im reinen Kalkmörtel. Daraus wird zu schließen sein, daß bei Einlagerung von Eisen in Zementmörtel mit Kalkzusätzen Vorsicht am Platze ist.

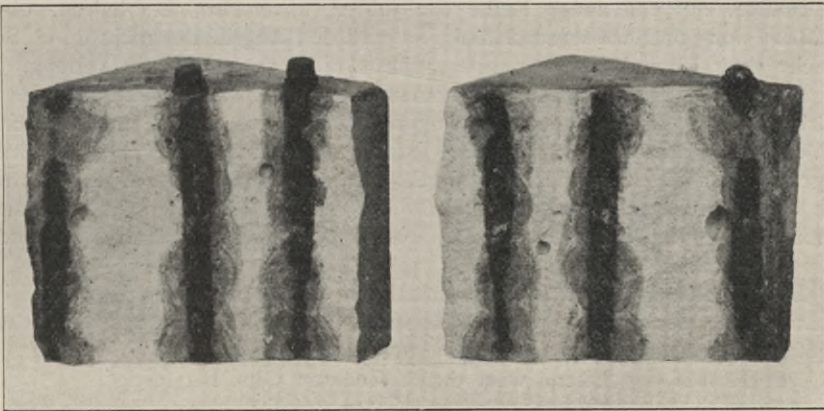
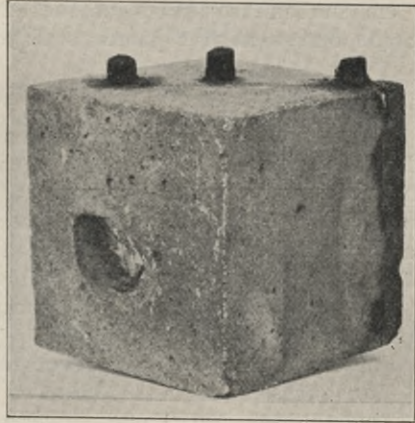


Abb. 15. Estrichgips mit verrosteten Eiseneinlagen, an der Luft gelagert.
Oben Rißbildung infolge rostens. Unten Verfärbung des Gipses durch Rost.

e) Im Estrichgips.

Wie zu erwarten war, haben die in Estrichgips eingebetteten und mit diesem an der Luft und unter feuchtem Sande gelagerten Eisen sehr starke Rostangriffe schon nach kurzer Zeit erlitten. Der Mennigeanstrich zeigt schon nach 6 Monaten im Estrichgips Angriffe und kann in der Luft die Eisen nur etwa 2 Jahre vor dem Beginne des Rostens schützen, welches dann schnell fortschreitet.

Der Teeranstrich schützt nur etwa 2 Jahre; nach 5 Jahren ist an der Luft der Stab unter dem Teeranstrich bereits völlig gerostet. Noch weniger Schutz gewährt die Verzinkung im Estrichgips, die schon bei 6 Monaten Lagerung an der Luft und nach 2 Jahren im feuchten Sande das Auftreten zusammenhängender

Rostflächen nicht zu verhindern vermag und bereits nach 5 Jahren vollkommen zerstört ist.

Die reinen Eisen überziehen sich im Estrichgips sofort nach dem Einbetten mit Rostflecken und bereits nach 6 Monaten sind die Stäbe völlig verrostet. Der Rost dringt in den Gips ein und färbt ihn gelb.

Die schon rostig in den Gips eingebrachten Stäbe zeigen naturgemäß den Rostfortschritt in noch stärkerem Maße. Abb. 15 stellt einen Körper dar, der durch Rost bereits einen starken Riß erlitten hat und einen absichtlich aufgespaltenen Körper, an dem zu erkennen ist, wie weit der Rost in den Gips eindringt und ihn verfärbt. Solche Verfärbungen sind innerhalb der Beobachtungszeit bis zu 3 cm Durchmesser rings um die Stäbe aufgetreten. In feuchtem Sande sind die Stäbe bereits nach 2 Jahren stark vom Rost angefressen.

f) Im Stuckgips.

Die Körper aus Stuckgips wurden der Natur des Materials entsprechend nur an der Luft aufbewahrt. Der Mennigeanstrich und der Teeranstrich haben die Eisen im Stuckgips immerhin bis zu 5 Jahren vor dem Beginn des Rostens geschützt. Die Verzinkung dagegen hat fast nichts genutzt, da bereits nach 6 Monaten zusammenhängende Rostflächen aufgetreten sind und schon nach 2 Jahren die Eisenstäbe vollständig mit Rost überzogen haben.

Die reinen Eisen haben im Stuckgips sich noch etwas besser gehalten als im Estrichgips, sind aber auch nach 5 Jahren völlig gerostet. Die rostig in den Gips eingebrachten Eisen sind weiter verrostet.

Von höchstem Interesse dürfte es sein, abzuwarten, wie nun namentlich in den Zementmörteln im Laufe längerer Zeit die Anstriche und die Verzinkung sich verhalten und ob es z. B. gelingt, Eisen mit Mennigeanstrich im Portlandzementmörtel auf eine lange Reihe von Jahren unversehrt zu erhalten, obgleich der Mörtel luft- und wasserdurchlässig ist und den Angriff des nicht durch Schutzanstriche oder Verzinkung verwahrten Eisens nicht zu verhindern vermag.

Neben den Rostflecken sind namentlich im Gips schwärzliche und weiße Verfärbungen als Zersetzungserscheinungen insbesondere des Mennigeanstrichs und der Verzinkung aufgetreten. Es war jedoch nicht möglich, von den Anflügen genügende Mengen zu gewinnen, um die Zusammensetzung der dünnen Schichten durch chemische Analyse zu ermitteln. Die äußere Beschaffenheit und die vorgenommenen Untersuchungen lassen aber auf folgenden chemischen Bildungsvorgang schließen:

Der Estrichgips enthält Schwefelcalcium. Dieses entwickelt in Gegenwart von Luft und Feuchtigkeit Schwefelwasserstoff, der die Mennige in schwarzes Schwefelblei und das Zink in weißes Schwefelzink umwandelt.

Das Rosten des Eisens wird durch feuchten Gips begünstigt.

Das verschiedenartige Verhalten der Eisen in den verschiedenen Mörteln und die auffallenden Erscheinungen an den Körpern aus Eisenportlandzement haben dem Arbeitsausschuß des deutschen Ausschusses für Eisenbeton Veranlassung gegeben, in seiner Ausschußsitzung vom 29. Oktober 1912 die Durchführung weiterer Versuche zu beschließen, mit deren Hilfe das Verhalten von Eisen in Eisenbetonbalken festgestellt werden soll, die unter Verwendung von Portlandzement, Eisenportlandzement und Hochofenzement angefertigt werden.

Diese Versuche sowohl wie die noch weiter im Gange befindlichen, für die Beobachtung nach einer längeren Reihe von Jahren bestimmten Mauerwerks- und Mörtelproben mit Eiseneinlagen werden ausreichen, um ein sicheres Urteil darüber zu fällen, welche Arten von Mörtel dem Eisen besonders schädlich sind und welche Schutzmittel das Eisen dauernd oder wenigstens eine längere Reihe von Jahren vor Rost zu schützen vermögen.

Nachtrag.

Die inzwischen von dem Moorausschuß des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton gesammelten Erfahrungen, nach denen die Moore je nach ihrer Art und Beschaffenheit und nach der Zusammensetzung ihrer Wässer sehr verschiedenartig auf Zementbeton und auf Eisen einwirken, gaben Veranlassung, nachträglich das Marcardsmoor an den Stellen, an denen die Probekörper untergebracht waren (vergl. S. 15) zu untersuchen.

Von Professor Rothe, Vorsteher der Abteilung 5 (für allgemeine Chemie), wurden geeignete Stichproben des Moores und seines Wassers sorgfältig entnommen und untersucht. Die Grube, in der die Probekörper aufbewahrt wurden, war 3 m lang, 2 m breit und 2 m tief, etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllt und enthielt noch den Kasten mit den x-Jahresproben. Die Wände der Grube waren mit kiefernen Bohlen abgestützt. Dieser Grube entstammt die Wasserprobe a. Zur Entnahme einer Probe des Wassers b, welches nicht mit Zement- oder Mörtelkörpern in Berührung gekommen ist, und zur Entnahme des Moorbodens selbst wurde etwa $2\frac{1}{4}$ m von der alten Grube entfernt eine gleichgroße und gleichtiefe Grube aufgeworfen. Dabei war keinerlei Geruch nach Schwefelwasserstoff bemerkbar und dieses Gas ließ sich auch nicht durch Bleipapier nachweisen, doch ergab das Moor, mit Lackmuspapier geprüft, saure Reaktion. Nach Ausheben der Grube zeigte sich, daß das Moor Wasser nur schwer durchließ. Es dauerte etwa 14 Tage, bis sich in der frisch aufgeworfenen Grube genügend Wasser zur Probenahme gesammelt hatte. Der Wasserwechsel im Moor ist daher sehr gering.

Prüfungsergebnis.¹⁾

I. Untersuchung der Grundwasserproben.

	a.	b.
Bezeichnung der Proben . . .	Wasserprobe, aus der alten Grube entnommen am 28. 11. 12.	Wasserprobe, aus der neuen Grube entnommen am 11. 12. 12.
Außere Beschaffenheit . . .	klar, tief gelb gefärbt, geruchlos, kein merklicher Bodensatz.	im wesentlichen wie Probe a.
Reaktion gegen Lackmus . . .	anscheinend neutral	—
„ „ Methylorange . . .	nicht mineralsauer	nicht mineralsauer.

Die Untersuchung ergab in 1 l der Proben:

Kieselsäure	4 mg	nicht ermittelt.
Tonerde	20 „	Spuren.
Eisenoxyd	4 „	„
Kalk	24 „	7 mg.
Magnesia	20 „	12 „
Kohlensäure, gebundene oder freie,	war in beiden Proben nicht in merklichen Mengen aufzufinden.	
Schwefelsäure, chemisch gebunden	15 mg	8 mg.
Chlor	139 „	nicht ermittelt.
Gesamt-Rückstand bei 125 C ⁰ getrocknet	490 „	385 mg.

¹⁾ Veröffentlichungen über Marcardsmoor finden sich in den Protokollen der Zentral-Moor-Kommission. Der ausführliche Plan für die Besiedelung nebst Ergebnissen der Bodenuntersuchungen in dem 24. Band.

Die Probe *a* erforderte bei der Titration mit $\frac{n}{10}$ Schwefelsäure bis zur sauren Reaktion auf Methylorange für 1 l etwa 12 ccm dieser Säure. Diese Tatsache läßt bei der festgestellten Abwesenheit von Karbonaten darauf schließen, daß die Probe merkliche Mengen von organischsauren Salzen enthält. Die Menge der organischen gebundenen Säuren, berechnet auf wasserfreie Schwefelsäure, beträgt gemäß der Titration etwa 50 mg für 1 l.

Die Probe *b* enthielt keine wesentlichen Mengen organischsaurer Salze, jedoch merkliche Mengen auf Phenolphthalein sauerwirkender organischer Stoffe, denn sie verbrauchte beim Titrieren mit $\frac{n}{10}$ Natronlauge bis zum Auftreten der Rottärbung etwa 9 ccm der Lauge entsprechend 36 mg freier Säure, berechnet auf wasserfreie Schwefelsäure.

II. Untersuchung der Moorproben.

Bezeichnung	{ Moorprobe aus etwa $\frac{3}{4}$ m Tiefe unter Terrain	Moorprobe aus etwa $1\frac{1}{2}$ m Tiefe unter Terrain
Außere Beschaffenheit	{ brauner Torf, fast geruchlos	dunkelbrauner Torf, fast geruchlos.
Schwefelwasserstoff	in beiden Proben nicht nachweisbar.	
Wassergehalt, durch Trocknen im Vakuum neben konzentrierter Schwefelsäure ermittelt	91,0 %	88,5 %

Die Untersuchung des wässrigen Auszuges ergab:

Bezeichnung	Moorprobe aus etwa $\frac{3}{4}$ m Tiefe unter Terrain	Moorprobe aus etwa $1\frac{1}{2}$ m Tiefe unter Terrain
Mineralsäuren	fehlen	fehlen.
Organische, sauerwirkende Stoffe durch Titration mit $\frac{n}{10}$ Kalilauge unter Anwendung von Phenolphthalein als Indikator ermittelt, berechnet als wasserfreie Schwefelsäure	0,01 %	0,01 %
Sulfate	in beiden Proben nur Spuren.	
Eisen, durch Salzsäure (1:3) aus dem ursprünglichen Boden auslösbar	„ „ „ „ „	„ „ „ „ „
Nach Behandeln mit Salzsäure durch heiße, verdünnte Salpetersäure auslösbares Eisen	fehlt in beiden Proben.	
Kohlensaure Erden	in beiden Proben nicht wesentliche Mengen.	

Schlußergebnis der Untersuchung des Marcardsmoores.

Beide Proben Grundwasser zeigen insofern eine nicht gewöhnliche Beschaffenheit, als sie weder Karbonate, noch freie oder halbgebundene Kohlensäure in nennenswerten Mengen enthalten und als auch ihr Gehalt an sonstigen Kalk- und Magnesiumsalzen sehr gering ist. Der etwas höhere Gehalt an letzteren bei

der Probe *a* ist wohl durch die Anwesenheit der Probekörper in dieser Grube zu erklären. Der Gehalt dieser Probe *a* an organisch-sauren Salzen rührt möglicherweise von Auslaugungen des in der Grube befindlichen Holzes her.

Die Anwesenheit merklicher Mengen sauerwirkender organischer Stoffe in dem Wasser aus der neuen Grube ließe einen Angriff auf Mörtel und Beton befürchten, wenn infolge von Strömungen fortdauernd frisches Grundwasser dieser Beschaffenheit zu den Mörteln gelangte. Das ist aber nicht der Fall, und daraus erklärt es sich, daß die Körper selbst nach 5 Jahren noch keine äußerlich wahrnehmbaren Beschädigungen erlitten haben.

Die beiden Moorproben enthalten keine Stoffe, die einen unmittelbaren Angriff auf Mörtel oder Eisen vermuten lassen.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307185

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313146

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307186

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313147

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307181

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307187

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313148

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307188

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313149

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307189

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313150

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307190

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313151

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



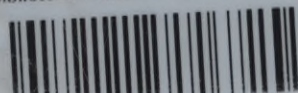
III-307191

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000313152

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300776