

# Mitteilungen der deutschen Materialprüfungsanstalten

---

Sonderheft XI:

Aus dem Staatlichen Materialprüfungsamt zu Berlin-Dahlem

---

## Der Einfluß eines geringen Kupferzusatzes auf den Korrosionswiderstand von Baustahl

Von

Prof. Dr.-Ing. E. h. O. Bauer  
Staatl. Materialprüfungsamt

Prof. Dr. O. Vogel  
Staatl. Materialprüfungsamt

Dr. C. Holthaus  
Dortmunder Union

Mit 44 Abbildungen



Berlin  
Verlag von Julius Springer  
1930

ISBN 978-3-642-89229-5 ISBN 978-3-642-91085-2 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-642-91085-2

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1930

## Inhaltsangabe.

	Seite
A. Einleitung . . . . .	3
B. Arbeitsplan . . . . .	3
C. Untersuchung . . . . .	4
Ia. Analysen der Stahlsorten . . . . .	4
Ib. Analysen der Wässer . . . . .	4
II. Ermittlung der Festigkeitswerte . . . . .	4
III. Metallographische Gefügeuntersuchung . . . . .	5
IV. Korrosionsversuche bei Zimmertemperatur . . . . .	5
a) Korrosionsversuche in destilliertem Wasser . . . . .	10
b) Korrosionsversuche in Flußwasser . . . . .	11
c) Korrosionsversuche in Nordseewasser . . . . .	12
d) Korrosionsversuche in humussäurehaltigem Wasser . . . . .	12
e) und f) Tauchversuche in 1 proz. Natriumchloridlösung und in destilliertem Wasser	15
g) Korrosionsversuche an freier Luft . . . . .	16
h) Löslichkeitsversuche in 1 proz. Schwefelsäure . . . . .	16
i) Löslichkeitsversuche in 1 proz. Salzsäure . . . . .	17
V. Korrosionsversuche bei etwa 50° . . . . .	19
a) Korrosionsversuche in destilliertem Wasser bei etwa 50° . . . . .	20
b) Korrosionsversuche in Flußwasser (Spreewasser) bei etwa 50° . . . . .	20
c) Korrosionsversuche in Nordseewasser bei etwa 50° . . . . .	21
d) Korrosionsversuche in humussäurehaltigem Wasser bei etwa 50° . . . . .	21
e) Löslichkeitsversuche in 1 proz. Schwefelsäure bei etwa 50° . . . . .	21
VI. Korrosionsversuche mit Blechproben mit der Walzhaut . . . . .	22
D. Gesamtzusammenfassung . . . . .	23
I. Korrosionsversuche mit Probeplättchen ohne Walzhaut . . . . .	23
a) Bei Zimmertemperatur . . . . .	23
b) Bei etwa 50° . . . . .	23
c) In Schwefelsäure und Salzsäure . . . . .	24
II. Korrosionsversuche mit Blechproben mit der Walzhaut . . . . .	24
E. Schlußergebnis . . . . .	25

# Der Einfluß eines geringen Kupferzusatzes auf den Korrosionswiderstand von Baustahl.

Von O. Bauer, O. Vogel und C. Holthaus.

## A. Einleitung.

Die große wirtschaftliche Bedeutung einer etwaigen wesentlichen Verlängerung der Lebensdauer eines Eisenbauwerkes aus Kupferstahl gegenüber der eines solchen aus gewöhnlichem Baustahl ist unbestreitbar. In erster Linie handelt es sich hierbei um Bauwerke, die ohne schützende Überzüge der Einwirkung von verschiedenen Wässern, Atmosphärien usw. ausgesetzt werden, wie z. B. Spundbohlen usw. Die Frage, inwieweit ein Kupferzusatz die Korrosion verhindert, ist jedoch noch sehr umstritten. Die in der Fachliteratur veröffentlichten Arbeiten widersprechen sich zum Teil.

Zur weiteren Klärung des Einflusses eines Kupferzusatzes wurden im Jahre 1927 auf Veranlassung des Herrn Preußischen Ministers für Handel und Gewerbe umfangreiche Versuche eingeleitet. Es handelt sich dabei erstens um Versuche im „großen“ mit eigens für diesen Zweck hergestellten Spundbohlen<sup>1</sup>, und zweitens um Versuche im „kleinen Maßstab“ (Laboratoriumsversuche) mit allseitig abgeschmirgelten Versuchsplättchen, bei denen lediglich der Einfluß des Kupferzusatzes im Stahl unbeeinflusst durch die Walzhaut festgestellt werden sollte.

Die Herstellung der erforderlichen Materialien hatten die Vereinigten Stahlwerke A.-G. Dortmunder Union in Dortmund übernommen. Die Versuche im „kleinen Maßstab“ (Laboratoriumsversuche) wurden teils im Staatlichen Materialprüfungsamt, teils im Laboratorium der Dortmunder Union ausgeführt; sie sind nunmehr abgeschlossen. Über das Ergebnis ist nachstehend berichtet.

## B. Arbeitsplan.

Zur Verwendung gelangten 18 Werkstoffe (Thomasstahl) mit verschiedenen Kohlenstoff- und Kupfergehalten:

### 1. Weicheisen (37 kg/qmm Festigkeit):

- G 1 mit 0% Cu,
- A 1 „ 0,1 bis 0,15% Cu,
- B 1 „ 0,25 bis 0,35% Cu,
- C 1 „ 0,5% Cu,
- D 1 „ 0,75% Cu,
- E 1 „ 1,0% Cu.

### 2. Hochbaustahl (48 kg/qmm Festigkeit):

- G 2 mit 0% Cu,
- A 2 „ 0,1 bis 0,15% Cu,
- B 2 „ 0,25 bis 0,35% Cu,

- C 2 mit 0,5% Cu,
- D 2 „ 0,75% Cu,
- E 2 „ 1,0% Cu.

### 3. Hartstahl (50 bis 60 kg/qmm Festigkeit):

- G 3 mit 0% Cu,
- A 3 „ 0,1 bis 0,15% Cu,
- B 3 „ 0,25 bis 0,35% Cu,
- C 3 „ 0,5% Cu,
- D 3 „ 0,75% Cu,
- E 3 „ 1,0% Cu.

Die verschiedenen Materialien wurden zu Flacheisen von etwa 5 mm Dicke ausgewalzt und nach dem Auswalzen gegläht. Mit den 18 verschiedenen Stahlsorten wurden folgende Untersuchungen ausgeführt:

#### I. Vollständige chemische Analysen:

- a) Analysen der Stahlsorten,
- b) Analysen der verwendeten Wässer.

#### II. Ermittlung der Festigkeitswerte.

#### III. Metallographische Gefügeuntersuchung.

#### IV. Korrosionsversuche bei Zimmertemperatur:

- a) in destilliertem Wasser,
- b) in „Flußwasser“,
- c) in „Nordseewasser“,
- d) in humussäurehaltigem Wasser,
- e) Tauchversuche in 1proz. NaCl-Lösung<sup>1</sup>,
- f) Tauchversuche in destilliertem Wasser<sup>1</sup>,
- g) an freier Luft (auf dem Dach des Amtes in Dahlem)<sup>1</sup>,
- h) in 1proz. Schwefelsäure,
- i) in 1proz. Salzsäure<sup>1</sup>.

#### V. Korrosionsversuche bei +50°:

- a) in destilliertem Wasser,
- b) in „Süßwasser“ (Flußwasser),
- c) in „Nordseewasser“,
- d) in Wasser, das einen Gehalt an Humussäure besitzt,
- e) in 1proz. Schwefelsäure<sup>2</sup>.

#### VI. Korrosionsversuche mit Blechproben (150×150×0,5 mm) mit Walzhaut<sup>2</sup>:

- a) in Süßwasser (gereinigtes Ruhrwasser),
- b) in Nordseewasser,
- c) in 0,5proz. Salzsäure,
- d) in gesättigtem Wasserdampf mit Luftzutritt.

<sup>1</sup> Die Versuche a), b), c), d) und h) wurden sowohl im Amt wie auch im Laboratorium der Dortmunder Union durchgeführt; die Versuche e), f), g) und i) wurden lediglich im Amt ausgeführt.

<sup>2</sup> Lediglich im Laboratorium der Dortmunder Union ausgeführt.

<sup>1</sup> Die Versuche sollen sich über 6 Jahre erstrecken. Über das Ergebnis wird seinerzeit berichtet werden.

### C. Untersuchung.

#### Ia. Analysen der Stahlsorten.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1. Chemische Analysen der Stahlsorten.  
(Ausgeführt im Laboratorium der Dortmunder Union.)

Stahlsorte	Bezeichnung	Kohlenstoff %	Silizium %	Mangan %	Phosphor %	Schwefel %	Kupfer %
Weicheisen	G 1	0,13	Spur	1,00	0,074	0,044	<b>0,04</b>
	A 1	0,09	„	0,49	0,041	0,040	<b>0,18</b>
	B 1	0,07	„	0,53	0,061	0,042	<b>0,27</b>
	C 1	0,07	„	0,53	0,068	0,044	<b>0,61</b>
	D 1	0,07	„	0,51	0,058	0,042	<b>0,80</b>
Hochbaustahl	E 1	0,08	„	0,64	0,061	0,040	<b>1,04</b>
	G 2	0,15	Spur	0,51	0,048	0,035	<b>0,04</b>
	A 2	0,15	„	0,50	0,061	0,040	<b>0,15</b>
	B 2	0,25	„	0,76	0,085	0,044	<b>0,30</b>
	C 2	0,22	„	0,54	0,047	0,040	<b>0,58</b>
Hartstahl	D 2	0,19	„	0,54	0,064	0,040	<b>0,84</b>
	E 2	0,22	„	0,81	0,064	0,036	<b>1,07</b>
	G 3	0,27	Spur	0,73	0,051	0,034	<b>0,03</b>
	A 3	0,29	„	0,73	0,059	0,028	<b>0,18</b>
	B 3	0,29	„	0,78	0,035	0,032	<b>0,37</b>
Hartstahl	C 3	0,29	„	0,90	0,090	0,034	<b>0,54</b>
	D 3	0,32	„	0,80	0,065	0,044	<b>0,72</b>
	E 3	0,24	„	0,67	0,088	0,040	<b>1,05</b>

Hiernach steigen die Kupfergehalte sehr regelmäßig an.

#### Ib. Analysen der Wässer.

Das Flußwasser wurde vom Wasserbauamt „Berlin“, das „Nordseewasser“ vom Wasserbauamt „Tönning“ entnommen. 250 Liter wurden nach Dortmund und

Tabelle 2. Chemische Analysen der Wässer.  
(Ausgeführt in der chemischen Abteilung des Staatl. Materialprüfungsamtes.)

Bezeichnung des Wassers	Spreewasser	Nordseewasser	Humussäurehaltiges Wasser
Äußere Beschaffenheit	klar, gelb, geruchlos mit geringem braunem, flockigen Bodensatz	klar, farblos, geruchlos, ohne Bodensatz	trübe, braun, schwacher Schwefelwasserstoffgeruch, mit braunem, flockigem Bodensatz
In 1 Liter der Probe sind enthalten:			
Kieselsäure . . . . .	11 mg	Spur	19 mg
Kalk . . . . .	65 „	274 mg	63 „
Magnesia . . . . .	8 „	2288 „	28 „
Kohlensäure (einfach gebunden) .	49 „	30 „	45 „
Schwefelsäure(SO <sub>3</sub> ) .	19 „	2119 „	75 „
Chlor . . . . .	28 „	18510 „	172 „
Salpetersäure . . .	fehlt	fehlt	Spur
Schwefelwasserstoff	„	„	„
Organische Stoffe .	103 mg	„	171 mg
Gesamtrückstand bei 125° C getrocknet . . . . .	257 mg	36594 mg	602 mg
Härte in deutschen Härtegraden (1 Härtegrad = 1 Gewichtsteil Kalk oder die äquivalente Menge Magnesia in 100000 Gewichtsteilen Wasser)			
Gesamthärte . . .	7,6	347,7	10,2
Bleibende Härte .	1,4	343,9	4,5
Vorüberg. Härte .	6,2	3,8	5,7

250 Liter an das Amt in Eisenfässern gesandt. Über die Entnahme teilen die Wasserbauämter folgendes mit:

„Nordseewasser“: Das Wasser ist der Nordsee 2 km südlich von der Südspitze der Insel Helgoland entnommen.“

„Flußwasser: Das Wasser ist am 25. 8. 1927 aus der Spree oberhalb der Mühlendammschleuse in Berlin entnommen.“

Das „humussäurehaltige Wasser“ wurde von den Vereinigten Stahlwerken Dortmund durch 3monatiges Laugen von Torf mit Leitungswasser erhalten.

In Tabelle 2 sind die Analysen der drei Wässer mitgeteilt.

#### II. Ermittlung der Festigkeitswerte.

(Ausgeführt im Laboratorium der Dortmunder Union.)

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Zugversuche zusammengestellt und in Abb. 1 graphisch aufgetragen.

Tabelle 3.

Stahlsorte	Bezeichnung	Kupfer %	Kohlenstoff %	Streckgrenze kg/mm <sup>2</sup>	Bruchgrenze kg/mm <sup>2</sup>	Dehnung %	Einschnürung %
Weicheisen	G 1	0,04	0,13	43	54	27,8	59
	A 1	0,18	0,09	33,5	42,0	32	62,8
	B 1	0,27	0,07	34,0	46,0	31,8	62,5
	C 1	0,61	0,07	36,0	46,6	29,3	61,0
	D 1	0,80	0,07	39,0	48,6	27,5	55,0
Hochbaustahl	E 1	1,04	0,08	45,0	55,5	28,0	58,0
	G 2	0,04	0,15	45	60,6	26,2	52
	A 2	0,15	0,15	36,5	48,0	26,7	58,0
	B 2	0,30	0,25	42,2	55,0	23,4	50,0
	C 2	0,58	0,22	38,0	51,0	26,6	50,0
Hartstahl	D 2	0,84	0,19	40,7	53,5	28,0	57,3
	E 2	1,07	0,22	45,0	60,2	23,4	51,7
	G 3	0,03	0,27	42	61,3	22,3	49
	A 3	0,18	0,29	41,6	59,5	20,0	43,4
	B 3	0,37	0,29	40,2	57,2	24,6	50,3
Hartstahl	C 3	0,54	0,29	42,8	64,5	22,7	48,0
	D 3	0,72	0,32	46,0	63,0	20,0	45,0
	E 3	1,05	0,24	47,7	60,5	29,2	48,3

Aus Tabelle 3 und Abb. 1 ergibt sich folgendes:

Zunächst erscheint es auffallend, daß die Vergleichsmaterialien G (nahezu kupferfrei) in fast allen Fällen die höchsten Festigkeitswerte ergeben haben. Bei G 1 dürfte dieses Verhalten auf den höheren Mangangehalt zurückzuführen sein; G 2 und G 3 besitzen jedoch nahezu gleiche Mangangehalte wie die kupferhaltigen Materialien; worauf ihre günstigen Festigkeitszahlen zurückzuführen sind, ist nicht ohne weiteres zu erkennen.

Bezüglich des Einflusses eines steigenden Kupfergehaltes gilt folgendes:

Weicheisen: Mit steigendem Kupfergehalt steigen  $\sigma_B$  und  $\sigma_S$  von 0,18% Cu ab ganz regelmäßig an.

Dehnung und Einschnürung weisen schwachen Abfall auf.

Hochbaustahl: Der Einfluß eines steigenden Kupfergehaltes ist der gleiche wie beim Weicheisen.

Die Werte für Material B 2 fallen etwas heraus, was auf den höheren Kohlenstoffgehalt dieses Materials (0,25% C) zurückzuführen sein dürfte. Die Werte sind in Abb. 1 in Klammern [ ] gesetzt.

Hartstahl: Dieses Material weist größere Schwankungen im Kurvenverlauf auf. Die Ursache dafür dürfte auch hier in den schwankenden Kohlenstoffgehalten zu suchen sein. Ein schwacher Anstieg von  $\sigma_S$  mit steigendem Kupfergehalt ist jedoch auch hier unverkennbar. Die verhältnismäßig hohe Dehnung des Materials E 3 hängt vermutlich mit dem niedrigeren Kohlenstoffgehalt zusammen.

### III. Metallographische Gefügeuntersuchung.

Von allen 18 Materialien wurden Querschliffe und Längsschliffe entnommen, die mit alkoholischer Salpetersäure geätzt wurden. Sämtliche Werkstoffe zeigten am Rand eine schwache Entkohlung<sup>1</sup>.

Aus der Gefügeuntersuchung ergibt sich, daß innerhalb der drei Stahlsorten keine wesentlichen Unterschiede im Kleingefüge bestehen. Selbst Kupfergehalte über 1% Cu haben gar keinen Einfluß auf den Gefügebau.

### IV. Korrosionsversuche bei Zimmertemperatur.

Zu den Korrosionsversuchen wurden allseitig abgeschmirgelte Plättchen (Abmessungen etwa: 44×28×4,5 mm und Bohrung von 5 mm Durchmesser) verwendet. Die Plättchen wurden zunächst mit Benzol und darauf mit einem Alkohol- und Äthergemisch entfettet, im Trockenschrank bei 100° getrocknet und dann gewogen.

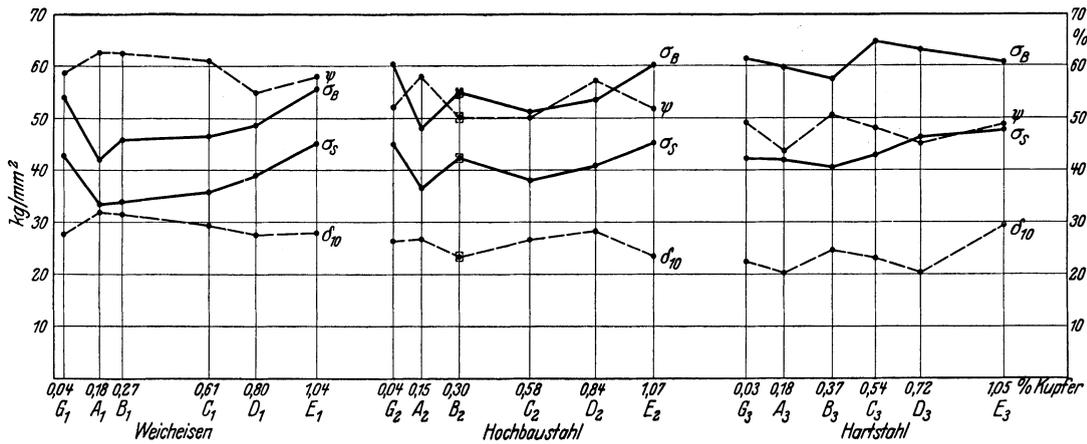


Abb. 1. Ergebnisse der Festigkeitsversuche (Tabelle 3).

Tabelle 4. Gefügeuntersuchung der zu den Korrosionsversuchen verwendeten Materialien. (Ausgeführt im Laboratorium der Dortmunder Union.)

Stahl-sorte	Be-zeichnung	Kupfer %	Kohlen-stoff %	Beschreibung des Gefüges	Abb.	Lineare Ver-größer-ung
Weich-eisen	G 1	0,04	0,13	Sehr feines, am Rande etwas gröberes Korn. In der Mitte schwache Zeilenstruktur	2	300
	A 1	0,18	0,09	Am Rande schwache Rekristallisation, in der Mitte feines, gleichmäßiges Korn	3	300
	B 1	0,27	0,07	Feines und gleichmäßiges Korn	4	300
	C 1	0,61	0,07	Wie B 1	5	300
	D 1	0,80	0,07	Wie A 1	6	300
	E 1	1,04	0,08	Sehr feines, gleichmäßiges Korn. In der Mitte Anhäufungen nichtmetallischer Einschlüsse	7	300
	G 2	0,04	0,15	Am Rande schwache Rekristallisation. Sehr feines, gleichmäßiges Korn. In der Mitte schwache Zeilenstruktur	8	300
Hoch-bau-stahl	A 2	0,15	0,15	Feines, gleichmäßiges Korn. In der Mitte nichtmetallische Einschlüsse	9	300
	B 2	0,30	0,25	Sehr feines, gleichmäßiges Korn. In der Mitte schwache Zeilenstruktur	10	300
Hoch-bau-stahl	C 2	0,58	0,22	Feines, gleichmäßiges Korn	11	300
	D 2	0,84	0,19	Sehr feines, gleichmäßiges Korn. In der Mitte nichtmetallische Einschlüsse	12	300
	E 2	1,07	0,22	Sehr feines, gleichmäßiges Korn	13	300
	G 3	0,03	0,27	Ziemlich gleichmäßiges, feines Korn	14	300
	A 3	0,18	0,29	Sehr feines, gleichmäßiges Korn	15	300
Hart-stahl	B 3	0,37	0,29	Wie A 3	16	300
	C 3	0,54	0,29	Feines und gleichmäßiges Korn	17	300
	D 3	0,72	0,32	Sehr feines, gleichmäßiges Korn. Im Kern schwache Zeilenstruktur	18	300
	E 3	1,05	0,24	Sehr feines, gleichmäßiges Korn	19	300

<sup>1</sup> Für die nachfolgend beschriebenen Korrosionsversuche ist die schwache Entkohlung belanglos, da zu den

Versuchen allseitig abgeschmirgelte Probeplättchen verwendet wurden.

Weicheisen.

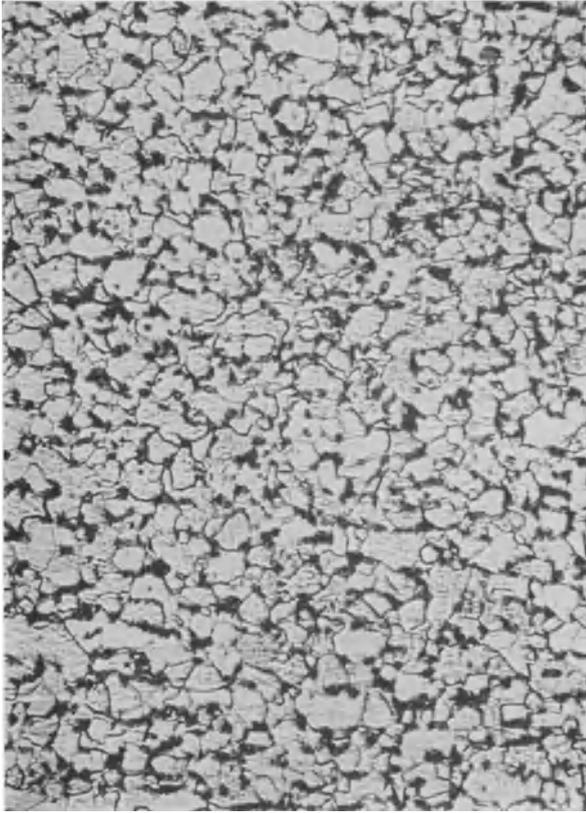


Abb. 2. G<sub>1</sub>.  $\nu=300$ .

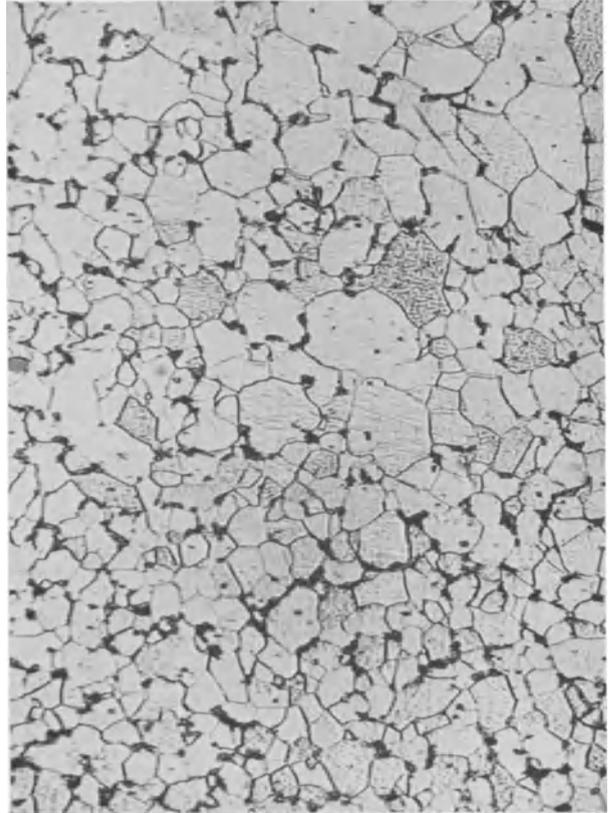


Abb. 3. A<sub>1</sub>.  $\nu=300$ .

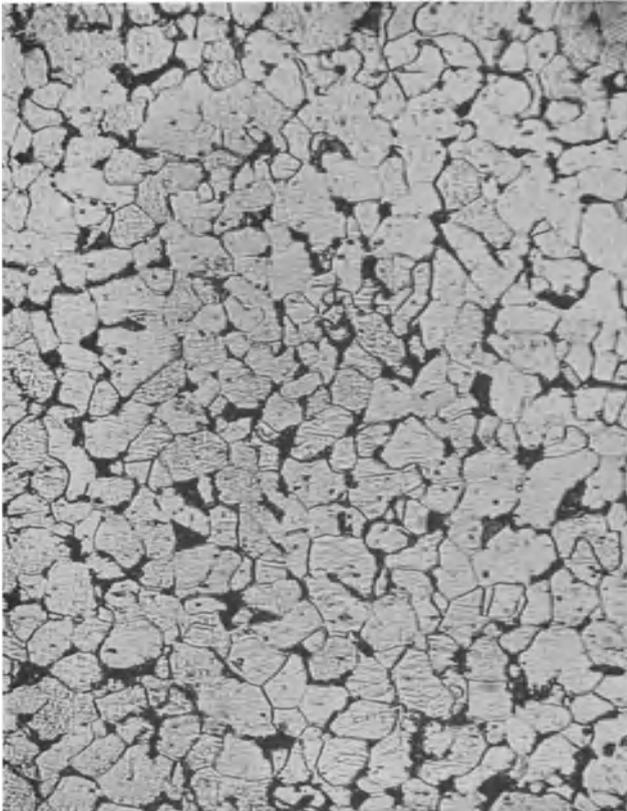


Abb. 4. B<sub>1</sub>.  $\nu=300$ .

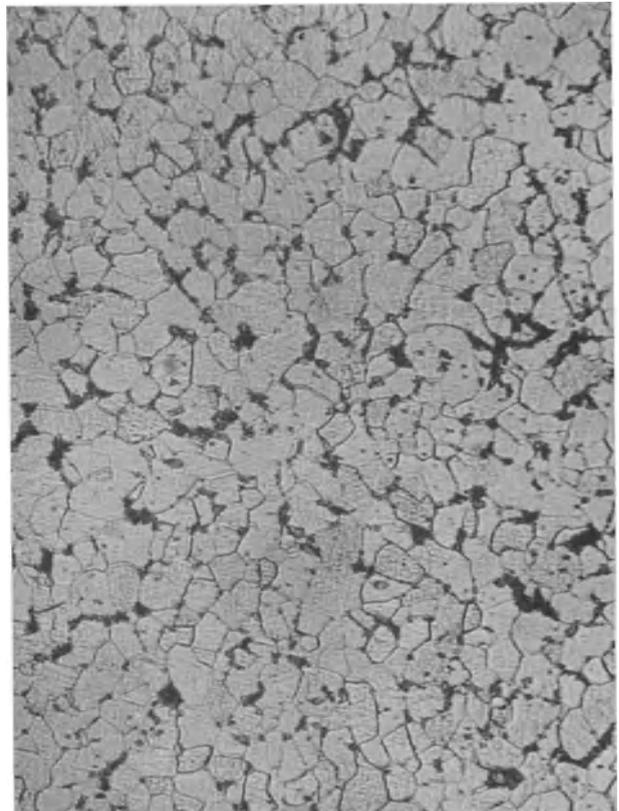


Abb. 5. C<sub>1</sub>.  $\nu=300$ .

**Weicheisen.**

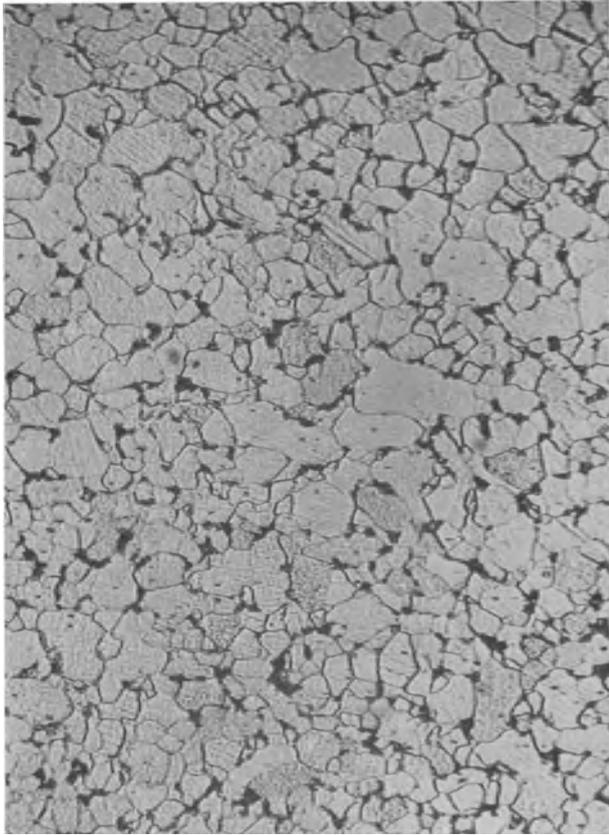


Abb. 6. D<sub>1</sub>.  $\nu=300$ .

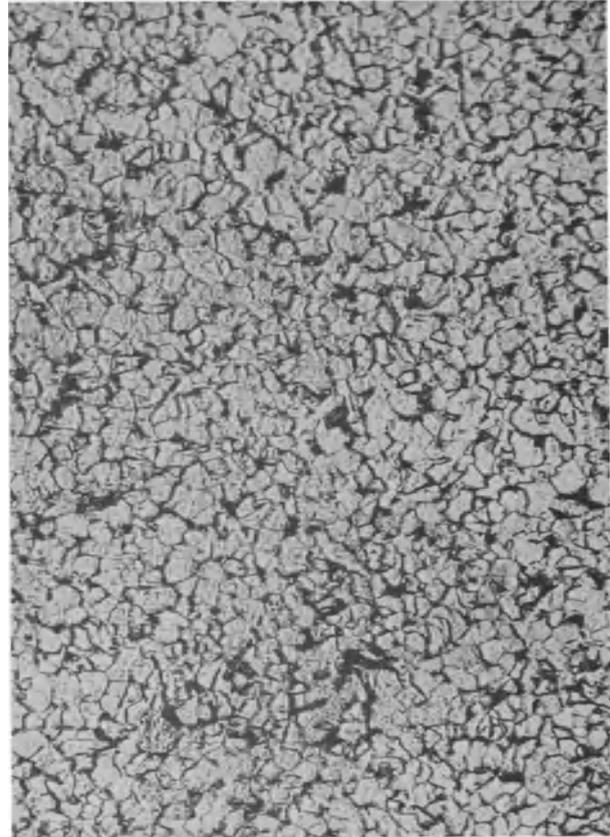


Abb. 7. E<sub>1</sub>.  $\nu=300$ .

**Hochbaustahl.**

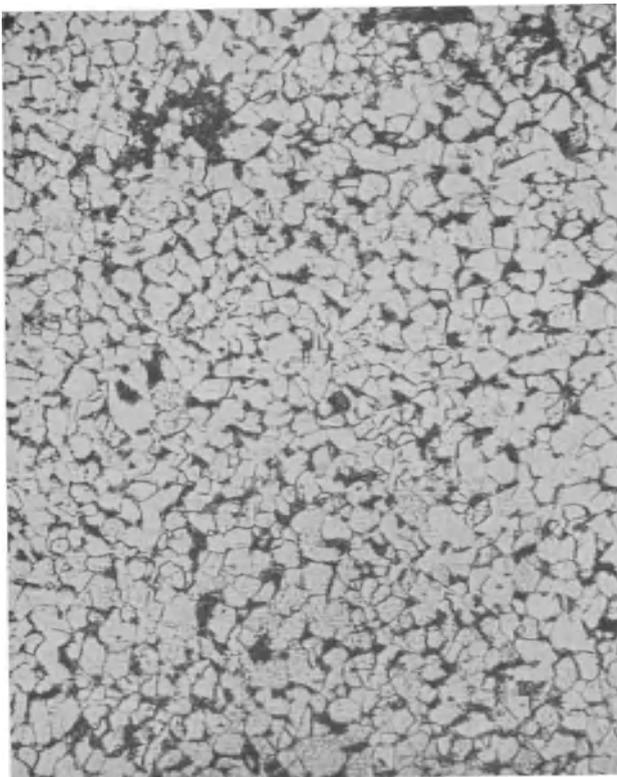


Abb. 8. G<sub>2</sub>.  $\nu=300$ .

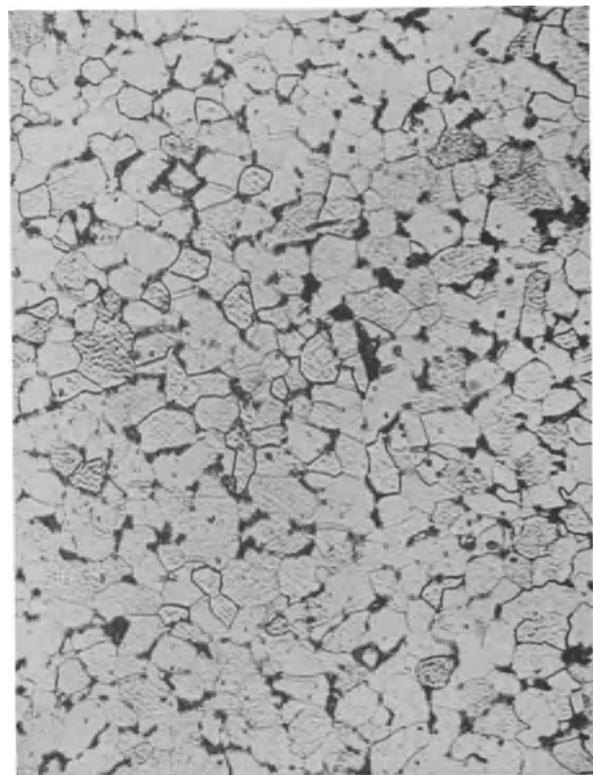


Abb. 9. A<sub>2</sub>.  $\nu=300$ .

Hochbaustahl.

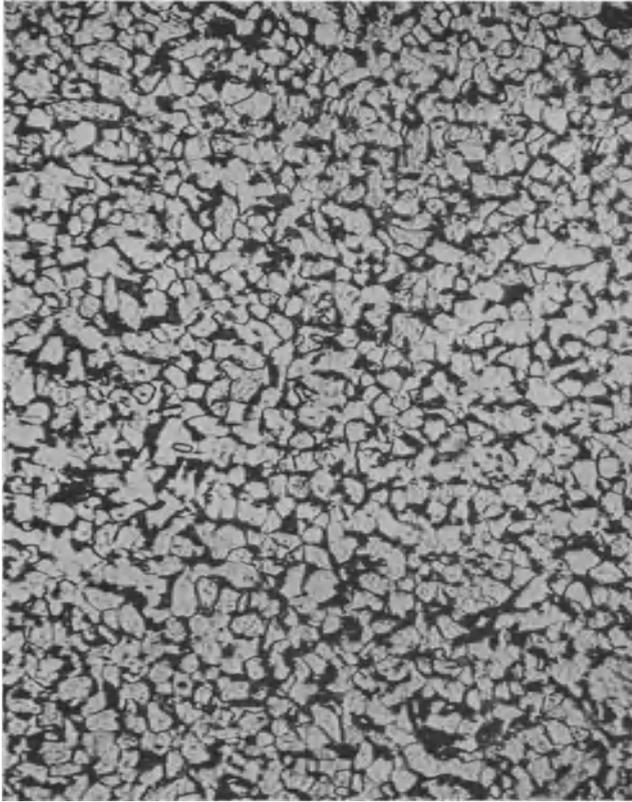


Abb. 10. B<sub>2</sub>.  $\nu=300$ .

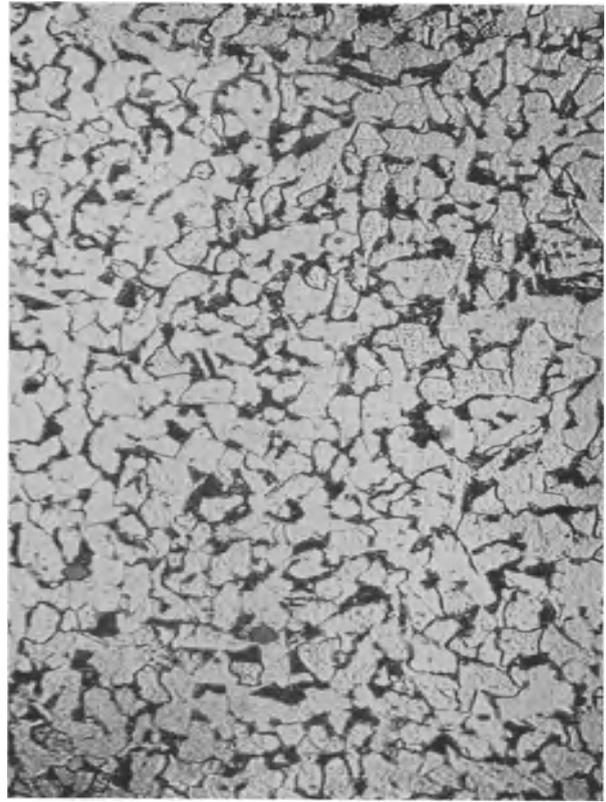


Abb. 11. C<sub>2</sub>.  $\nu=300$ .

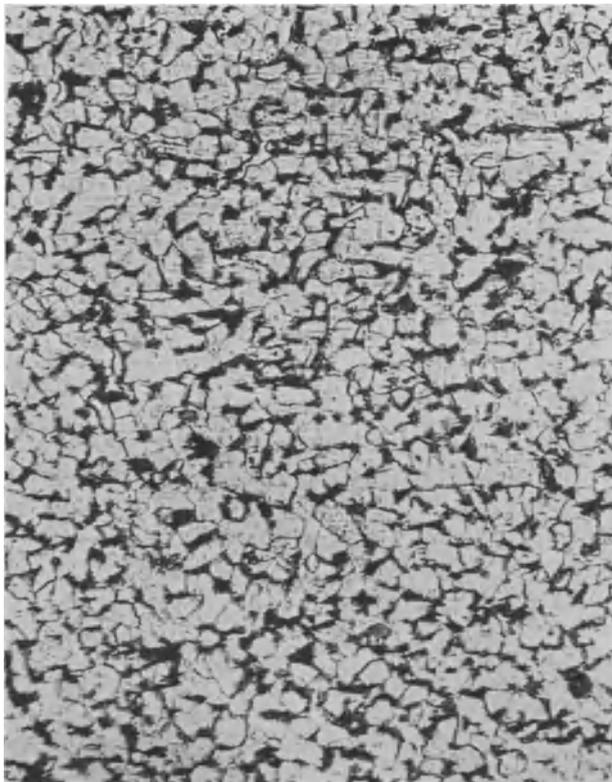


Abb. 12. D<sub>2</sub>.  $\nu=300$ .

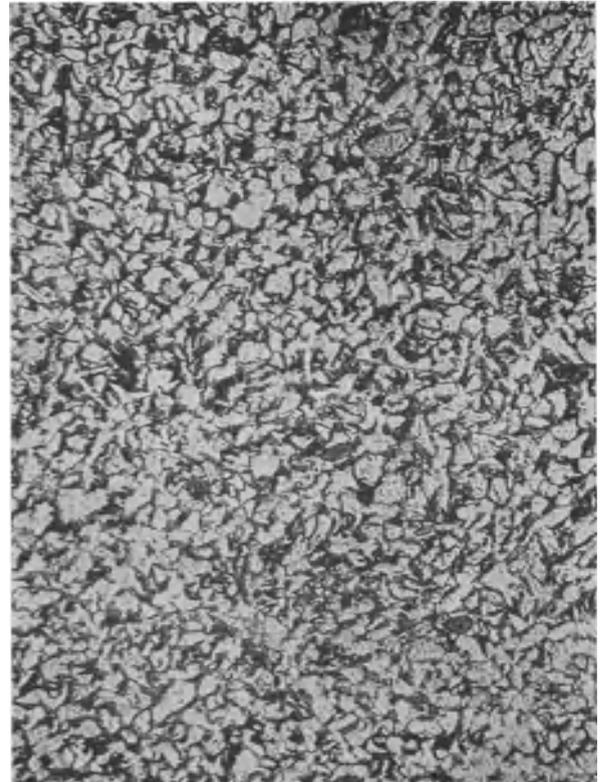


Abb. 13. F<sub>2</sub>.  $\nu=300$ .

Hartstahl.

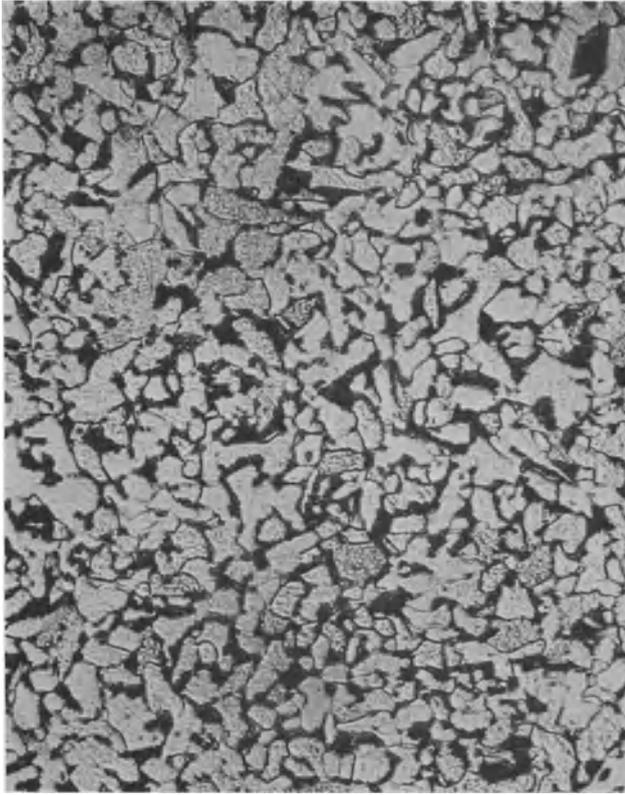


Abb. 14. G<sub>3</sub>.  $v=300$ .

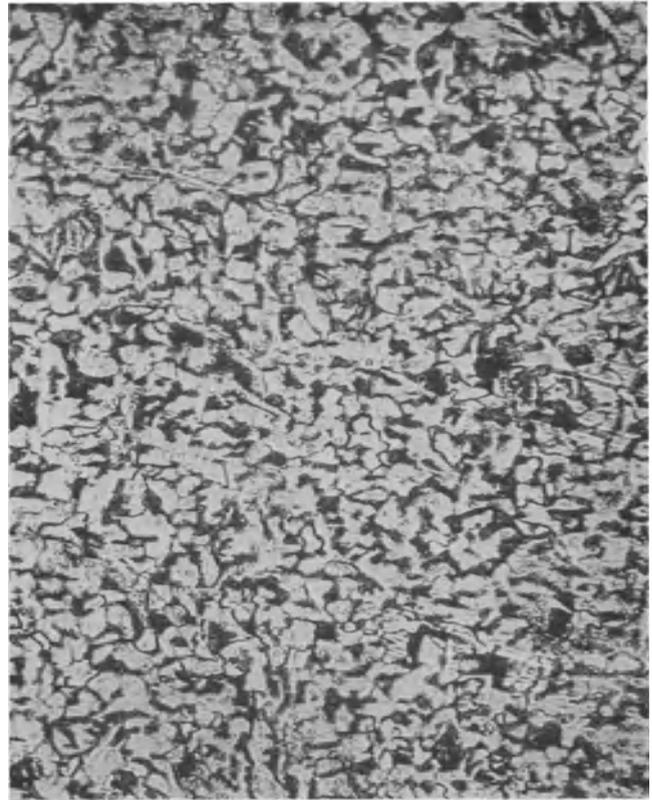


Abb. 15. A<sub>3</sub>.  $v=300$ .

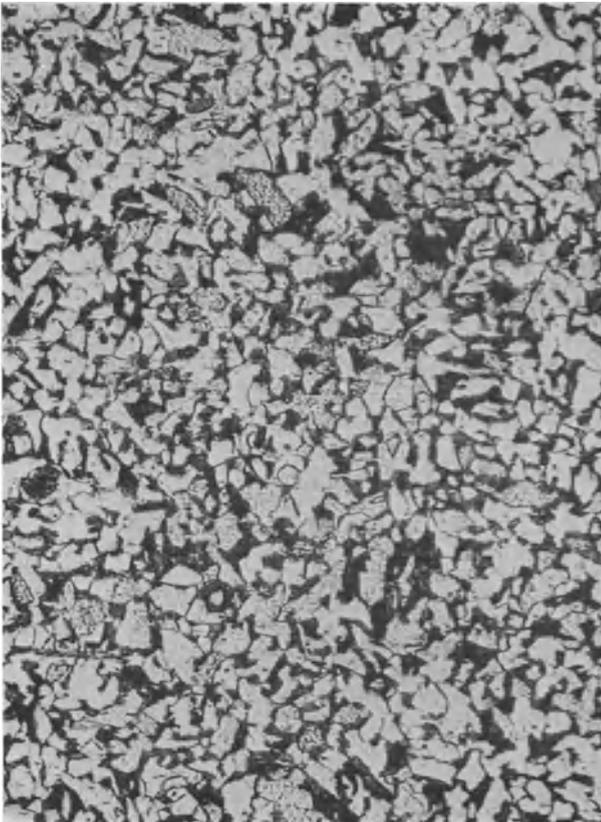


Abb. 16. B<sub>3</sub>.  $v=300$ .

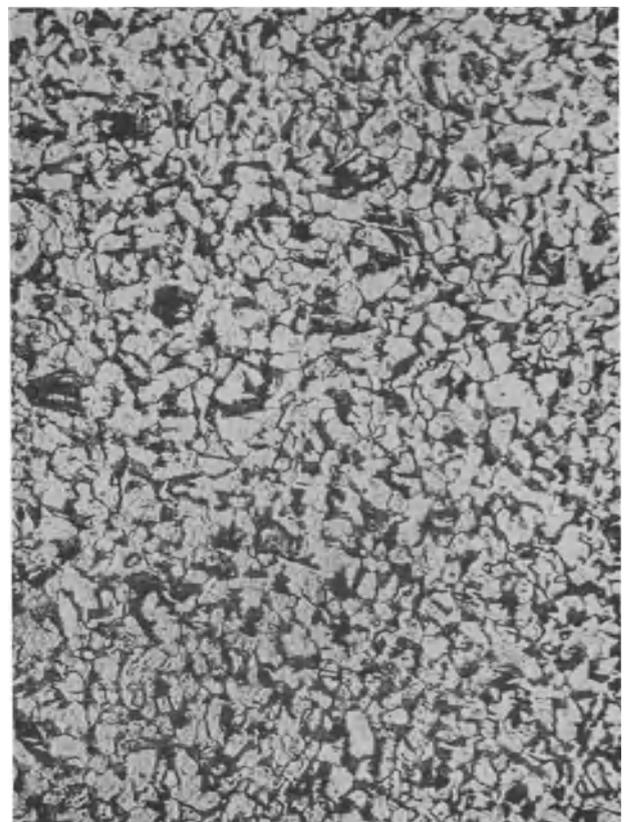


Abb. 17. C<sub>3</sub>.  $v=300$ .

**Hartstahl.**

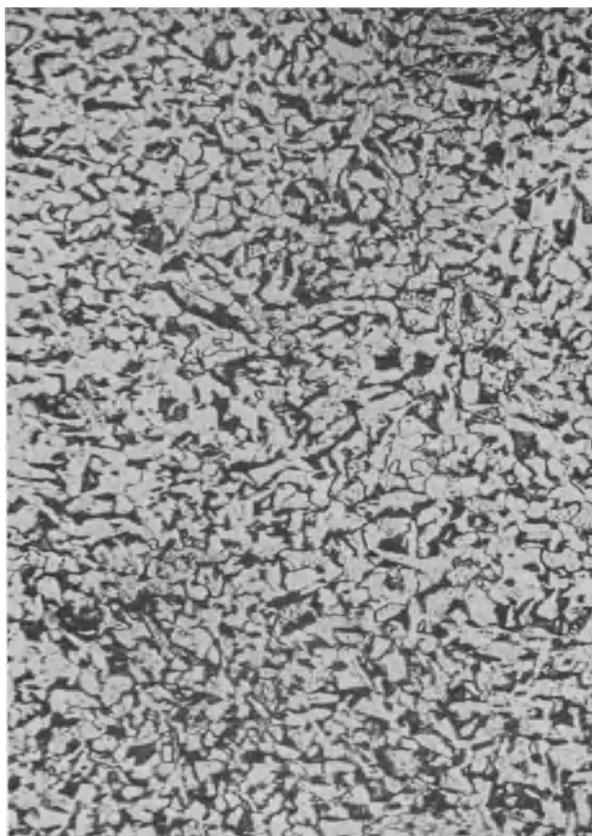


Abb. 18. D<sub>3</sub>. v=300.

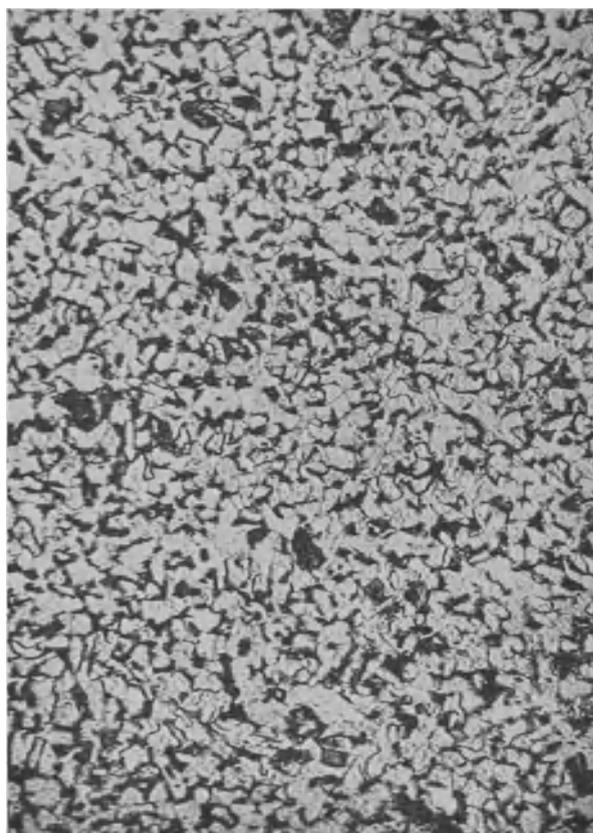


Abb. 19. E<sub>3</sub>. v=300.

Nach Maßgabe der Abb. 20 wurde je ein Plättchen am Glashaken in einen Glaszylinder mit 500 ccm Versuchsflüssigkeit (Wasser, Säure usw.) eingehängt; die obere Kante des Plättchens befand sich 25 mm unter dem Flüssigkeitsspiegel. Das verdunstete Wasser wurde nach je 10 Tagen durch Zugabe von destilliertem Wasser ersetzt. Nach 20, 40 und 60 Tagen wurden je 3 Probeplättchen jedes Materials herausgenommen, mit einer weichen Bürste von anhaftendem Rost bzw. Belag gereinigt<sup>1</sup>, in Alkohol gelegt, mit einem Tuch getrocknet, bei 100° im Trockenschrank erwärmt und nach dem Abkühlen wieder gewogen. Da sämtliche Plättchen nahezu gleiche Oberfläche und gleiches Gewicht hatten, so sind in den nachfolgenden Tabellen die Gewichtsabnahmen in Prozenten des Ge-

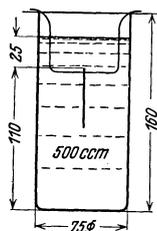


Abb. 20. Versuchsanordnung für die Korrosionsversuche bei Zimmertemperatur.

samtgewichtes angegeben. Jede Prozentangabe ist der Mittelwert aus 3 Einzelwerten.

IVa. Korrosionsversuche in destilliertem Wasser.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 zusammengestellt und in Abb. 21 graphisch aufgetragen.

Aus Tabelle 5 und Abb. 21 geht folgendes hervor:

1. Die im Amt und in Dortmund ausgeführten Korrosionsversuche weisen unter Berücksichtigung der an den verschiedenen Orten (Berlin und Dortmund) herrschenden verschiedenen Zimmertemperaturen, ferner unter Berücksichtigung des Umstandes, daß die Versuche zu verschiedenen Jahreszeiten ausgeführt werden mußten, überraschend gute Übereinstimmung auf. Größere Abweichungen finden sich nur bei den Versuchen mit Hartstahl (60 Tage Versuchsdauer).

2. Im allgemeinen weisen die Kurven, von einzelnen Schwankungen abgesehen, mit steigendem Kupfergehalt

<sup>1</sup> Der auf den Plättchen fester haftende, nicht abwaschbare Rost wurde nach den folgenden zwei Verfahren entfernt:

1. Verfahren: Die Plättchen werden mit schwach ammoniakalischer Ammoniumzitratlösung (173 g Ammoniumzitatrat auf 1 Liter Wasser und 200 ccm Ammoniak, Vol.-Gewicht = 0,925) behandelt. Der Rost löst sich darin auf; das darunter befindliche Eisen wird nicht angegriffen. Dieses Verfahren wurde bei der Dortmunder Union angewendet.

2. Verfahren: Die Plättchen werden in 7proz. Natronlauge mit Zinkspänen oder Zinkgranalien auf dem Wasserbad erwärmt. Nach kurzer Zeit tritt starke Wasserstoffentwick-

lung auf, die eine Reduktion des Eisenrostes zu schwarzem Eisen einleitet. Das unter dem Rost befindliche Eisen wird von Natronlauge nicht angegriffen. Eine einstündige Behandlung der gerosteten Plättchen reicht zumeist aus, um den Eisenrost völlig zu reduzieren; der lockere Eisenschlamm läßt sich dann leicht abwaschen. Bei längerer Behandlung mit Natronlauge und Zink bleibt auf den Plättchen ein Belag von Zinkhydroxyd zurück, der mit Arsenschwefelsäure (2proz. Schwefelsäure + 2 g arsenige Säure im Liter; vgl. O. Bauer: Mitt. Materialpr.-Amt 1914, S. 458) leicht abgelöst werden kann. Das letztere Verfahren wurde bei den Versuchen im Amt fast ausschließlich angewendet.



Aus Tabelle 6 und Abb. 22 geht folgendes hervor:

1. Die im Amt und in Dortmund durchgeführten Korrosionsversuche weisen bei 20tägiger Versuchsdauer einigermaßen befriedigende Übereinstimmung auf, bei den längeren Versuchsdauern (40 und 60 Tage) sind zum Teil erhebliche Schwankungen vorhanden. Hierzu ist zu bemerken, daß die Versuche an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten ausgeführt wurden, wobei es naturgemäß unmöglich ist, die Raumtemperaturen, die einen wesentlichen Einfluß auf die Stärke der Korrosion ausüben, immer gleich zu halten.

2. Bei den im Amt ausgeführten Versuchen ist zwar beim Weicheisen ein sehr schwaches Absinken der Korrosion mit steigendem Kupfergehalt erkennbar; die in Dortmund ausgeführten Versuche weisen gerade bei dieser Reihe die größten Schwankungen auf.

3. Beim Hochbaustahl weisen die im Amt ausgeführten Versuche ein schwaches Absinken der Korrosion mit steigendem Kupferzusatz auf; die in Dortmund ausgeführten Versuche lassen einen Einfluß des Kupferzusatzes nicht erkennen.

4. Beim Hartstahl weisen die im Amt ausgeführten Versuche keinen deutlichen Einfluß des Kupferzusatzes auf; die in Dortmund ausgeführten Versuche lassen ein schwaches Absinken der Korrosion erkennen.

**IVc. Korrosionsversuche in Nordseewasser.**

Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 zusammengestellt und in Abb. 23 graphisch aufgetragen.

Aus Tabelle 7 und Abb. 23 geht folgendes hervor:

1. Die in Dortmund durchgeführten Korrosionsversuche mit Nordseewasser weisen durchgängig erheblich größere Gewichtsabnahme der Eisenplättchen auf, als die

Es ist bekannt, daß schon kleine Temperaturschwankungen den Rostangriff stark beeinflussen<sup>1</sup>; der Angriff steigt nahezu linear mit der Temperatur.

Tabelle 7. Korrosionsversuche in Nordseewasser bei Zimmertemperatur.

Material	Bezeichnung	Chemische Zusammensetzung		Versuche des Staatl. Materialprüfungsamtes			Versuche der Dortmunder Union		
				Gewichtsabnahme in % (Mittel aus je 3 Einzelwerten) nach			Gewichtsabnahme in % (Mittel aus je 3 Einzelwerten) nach		
				Cu %	C %	20 Tagen	40 Tagen	60 Tagen	20 Tagen
Weicheisen	G 1	0,04	0,13	0,140	0,254	0,364	0,225	0,366	0,492
	A 1	0,18	0,09	0,129	0,258	0,359	0,235	0,375	0,510
	B 1	0,27	0,07	0,128	0,250	0,361	0,220	0,359	0,510
	C 1	0,61	0,07	0,131	0,253	0,349	0,240	0,355	0,510
	D 1	0,80	0,07	0,128	0,246	0,344	0,210	0,314	0,472
Hochbaustahl	E 1	1,04	0,08	0,129	0,249	0,367	0,205	0,365	0,500
	G 2	0,04	0,15	0,142	0,270	0,394	0,235	0,385	0,523
	A 2	0,15	0,15	0,139	0,254	0,376	0,224	0,356	0,486
	B 2	0,30	0,25	0,133	0,243	0,348	0,222	0,347	0,508
	C 2	0,58	0,22	0,136	0,254	0,377	0,220	0,369	0,499
Hartstahl	D 2	0,84	0,19	0,133	0,257	0,358	0,220	0,377	0,477
	E 2	1,07	0,22	0,139	0,261	0,371	0,210	0,343	0,468
	G 3	0,03	0,27	0,148	0,274	0,383	0,215	0,381	0,532
	A 3	0,18	0,29	0,135	0,262	0,371	0,220	0,380	0,492
	B 3	0,37	0,29	0,142	0,264	0,388	0,230	0,410	0,567
Hartstahl	C 3	0,54	0,29	0,138	0,253	0,354	0,228	0,372	0,524
	D 3	0,72	0,32	0,141	0,253	0,365	0,224	0,361	0,509
	E 3	1,05	0,24	0,139	0,267	0,366	0,220	0,365	0,502

2. Ein deutlicher Einfluß eines steigenden Kupfergehaltes auf den Korrosionswiderstand ist bei diesen Versuchen nicht erkennbar.

**IVd. Korrosionsversuche in humussäurehaltigem Wasser.**

Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 zusammengestellt und in Abb. 24 graphisch aufgetragen.

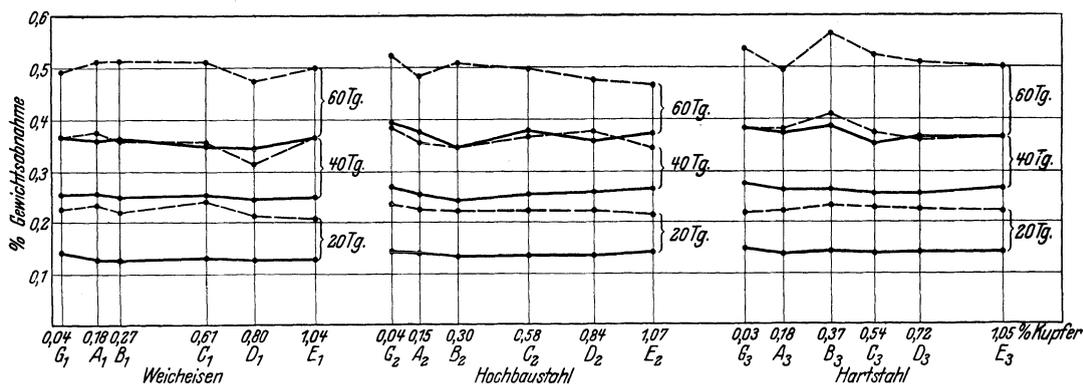


Abb. 23. Korrosionsversuche in Nordseewasser bei Zimmertemperatur (Tabelle 7).  
 ····· Versuche des Staatl. Materialprüfungsamtes; - - - - Versuche der Dortmunder Union.

im Amt durchgeführten. Die Erklärung dafür läßt sich nur unter Berücksichtigung der verschiedenen Jahreszeiten, zu denen die Versuche ausgeführt wurden, geben. Im Amt lag die Versuchszeit für diese Reihe in den kalten Wintermonaten des Winters 1928/29, die Zimmertemperatur kühlte in den kalten Nächten bis auf +8° C ab. In Dortmund wurden diese Versuche in den warmen Sommermonaten des Jahres 1928 ausgeführt.

Aus Tabelle 8 und Abb. 24 geht folgendes hervor:

1. Die in Dortmund durchgeführten Korrosionsversuche weisen ganz erheblich größere Gewichtsabnahmen

<sup>1</sup> Siehe auch O. Bauer, O. Vogel und K. Zepf: „Das Verhalten von Eisen, Rotguß und Messing gegenüber den in Kaliabwässern enthaltenen Salzen und Salzgemischen bei gewöhnlicher Temperatur und bei den im Dampfkessel herrschenden Temperaturen und Drücken“. Mitt. Materialpr.-Amt Berlin-Dahlem, Sonderheft Nr. 1, S. 14. Berlin: Julius Springer 1925.

der Eisenplättchen auf als die im Amt durchgeführten. Diese großen Unterschiede sind teils auf höhere Zimmertemperaturen<sup>1</sup> während der Versuchszeit und teils auf die Erneuerung des angreifenden Wassers in Dortmund nach je 10 Tagen zurückzuführen. Einen wesentlichen Einfluß auf die Angriffsfähigkeit des humussäurehaltigen Wassers wird auch die Lager-

**IVe und IVf. Tauchversuche in 1proz. Natriumchloridlösung und in destilliertem Wasser.**

Versuchsdauer: 30, 60 und 75 Tage.

(Ausgeführt im Staatl. Materialprüfungsamt.)

Die Probeplättchen wurden, wie in Abb. 25 wiedergegeben, an Glashaken in Gefäße mit 500 ccm der Ver-

Tabelle 8. Korrosionsversuche in humussäurehaltigem Wasser bei Zimmertemperatur.

Material	Bezeichnung	Chemische Zusammensetzung		Versuche des Staatl. Materialprüfungsamtes			Versuche der Dortmunder Union		
				Gewichtsabnahme in % (Mittel aus je 3 Einzelwerten) nach			Gewichtsabnahme in % (Mittel aus je 3 Einzelwerten) nach		
				20 Tagen	40 Tagen	60 Tagen	20 <sup>2</sup> Tagen	40 <sup>2</sup> Tagen	60 <sup>2</sup> Tagen
Weichstahl	G 1	0,04	0,13	0,040	0,130	0,249	0,165	0,409	0,567
	A 1	0,18	0,09	0,020	0,063	0,111	0,200	0,380	0,519
	B 1	0,27	0,07	0,016	0,049	0,160	0,191	0,351	0,579
	C 1	0,61	0,07	0,014	0,055	0,111	0,168	0,379	0,567
	D 1	0,80	0,07	0,013	0,032	0,070	0,168	0,374	0,564
E 1	1,04	0,09	0,016	0,035	0,106	0,159	0,381	0,534	
Hochbaustahl	G 2	0,04	0,15	0,033	0,078	0,233	0,145	0,452	0,602
	A 2	0,15	0,15	0,024	0,079	0,235	0,118	0,385	0,573
	B 2	0,30	0,25	0,024	0,048	0,128	0,127	0,403	0,597
	C 2	0,58	0,22	0,016	0,066	0,109	0,120	0,404	0,577
	D 2	0,84	0,19	0,018	0,035	0,101	0,135	0,421	0,553
E 2	1,07	0,22	0,013	0,026	0,091	0,139	0,425	0,585	
Hartstahl	G 3	0,03	0,27	0,022	0,083	0,101	0,142	0,459	0,581
	A 3	0,18	0,29	0,015	0,048	0,071	0,125	0,400	0,554
	B 3	0,37	0,29	0,016	0,050	0,049	0,131	0,421	0,562
	C 3	0,54	0,29	0,020	0,043	0,123	0,155	0,395	0,517
	D 3	0,72	0,32	0,015	0,054	0,055	0,150	0,419	0,589
E 3	1,05	0,24	0,019	0,033	0,046	0,140	0,405	0,543	

Tabelle 9. Tauchversuche in 1proz. Natriumchloridlösung und in destill. Wasser bei Zimmertemperatur.

Material	Bezeichnung	Chemische Zusammensetzung		In Natriumchloridlösung <sup>1</sup>			In destilliertem Wasser		
				Gewichtsabnahme in % (Mittel aus je 3 Einzelwerten) nach			Gewichtsabnahme in % (Mittel aus je 3 Einzelwerten) nach		
				30 Tagen	60 Tagen	75 Tagen	30 Tagen	60 Tagen	75 Tagen
Weichstahl	G 1	0,04	0,13	1,746	5,591	8,189	0,301	0,602	0,640
	A 1	0,18	0,09	1,572	5,458	7,997	0,228	0,452	0,484
	B 1	0,27	0,07	1,574	5,639	8,608	0,235	0,423	0,465
	C 1	0,61	0,07	1,603	5,815	8,920	0,222	0,380	0,483
	D 1	0,80	0,07	1,576	5,982	8,825	0,199	0,394	0,469
E 1	1,04	0,08	1,721	6,411	8,634	0,204	0,378	0,503	
Hochbaustahl	G 2	0,04	0,15	1,710	5,538	8,321	0,232	0,442	0,588
	A 2	0,15	0,15	1,752	5,865	8,831	0,225	0,389	0,491
	B 2	0,30	0,25	1,850	6,475	8,923	0,194	0,385	0,455
	C 2	0,58	0,22	1,789	6,143	8,950	0,189	0,408	0,532
	D 2	0,84	0,19	1,851	6,643	9,487	0,192	0,384	0,454
E 2	1,07	0,22	1,939	5,931	7,860	0,199	0,366	0,428	
Hartstahl	G 3	0,03	0,27	1,775	5,725	8,755	0,235	0,462	0,572
	A 3	0,18	0,29	1,850	6,063	8,255	0,177	0,360	0,442
	B 3	0,37	0,29	1,850	6,696	8,961	0,177	0,396	0,488
	C 3	0,54	0,29	1,899	6,991	8,645	0,161	0,320	0,414
	D 3	0,72	0,32	1,867	6,229	8,343	0,198	0,336	0,396
E 3	1,05	0,24	1,933	6,532	8,340	0,194	0,347	0,431	

zeit des Wassers haben, da sich die Humussäure im Wasser allmählich zersetzt und damit die Angriffsfähigkeit sinkt<sup>3</sup>.

suchsflüssigkeit eingehängt. Nach 24 Stunden wurden sämtliche Plättchen durch Heben des Aufhängegitters G aus der Flüssigkeit herausgehoben (siehe Abb. 26) und

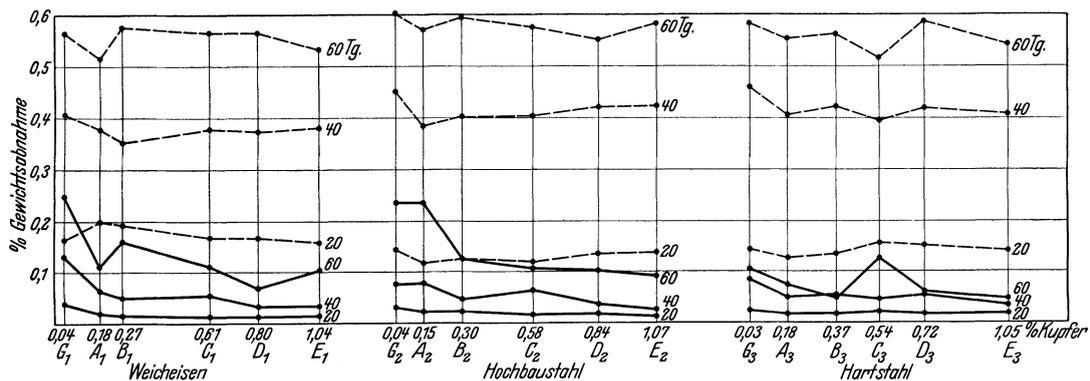


Abb. 24. Korrosionsversuche in humussäurehaltigem Wasser bei Zimmertemperatur (Tabelle 8).  
 —•—•—• Versuche des Staatl. Materialprüfungsamtes; - - - - Versuche der Dortmunder Union.

2. Mit steigendem Kupfergehalt des Materials ist eine schwache Abnahme des Rostangriffs erkennbar.

<sup>1</sup> Das Wasser wurde bei den Versuchen der Dortmunder Union nach je 10 Tagen erneuert.

<sup>2</sup> Vgl. auch Fußnote 1 Seite 11.

<sup>3</sup> Bei den Versuchen in Dortmund wurde stets frisches, humussäurehaltiges Wasser verwendet, während bei den Versuchen im Amt das von der Dortmunder Union übersandte humussäurehaltige Wasser erst nach etwa 5monatiger Lagerzeit zur Verwendung kommen konnte.

<sup>1</sup> Die Plättchen waren nach dem Ausheben aus der Flüssigkeit zunächst schwarz, wurden an der Luft allmählich rostbraun und nach Eintauchen wieder schwarz. Nach längerer Versuchsdauer blättern die Rostschichten zum Teil von den Plättchen ab (siehe die in Abb. 29 wiedergegebenen Plättchen). Das stärkere Rosten und Abblättern der Rostschichten beim Tauchversuch in Natriumchloridlösung ist darauf zurückzuführen, daß infolge der hygroskopischen Wirkung des Natriumchlorids die Plättchen an der Luft länger feucht blieben und daß somit bei ungehindertem Zutritt des Sauerstoffs die Bedingungen für verstärktes Rosten gegeben waren.

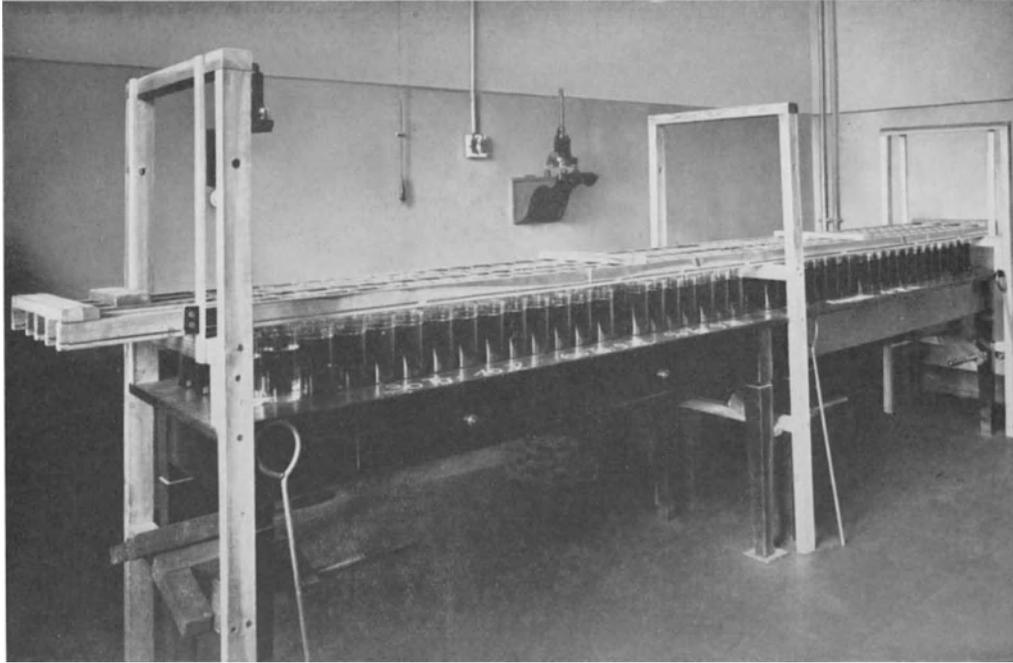


Abb. 25. Versuchsanordnung für die Tauchversuche. Probeplättchen in der Versuchsflüssigkeit.

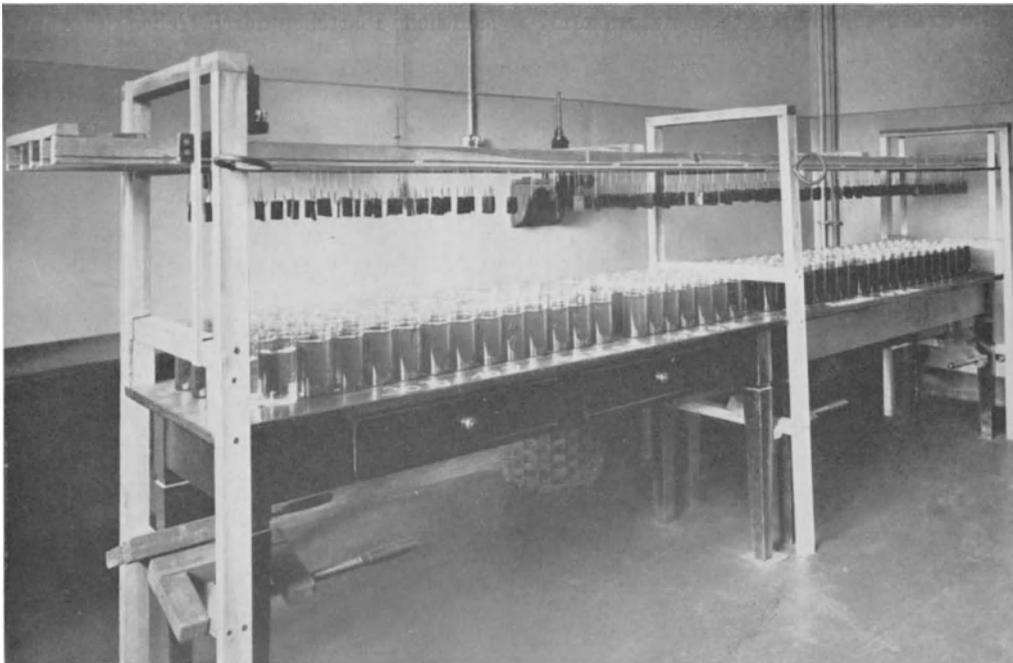


Abb. 26. Versuchsanordnung für die Tauchversuche. Probeplättchen außerhalb der Versuchsflüssigkeit.

nach 24stündigem Hängen an der Luft wieder in die Flüssigkeit eingetaucht. Die Plättchen befanden sich somit während der 75 täglichen Versuchsdauer abwechselnd je 24 Stunden in der Flüssigkeit und je 24 Stunden an der Luft.

der Rostneigung der Bleche mit verschiedenen Kupfergehalten erkennbar.

Bei 60- bzw. 75 tägiger Versuchsdauer weisen die Proben mit verschiedenen Kupfergehalten starke Schwankungen in der Rostneigung auf. Im allge-

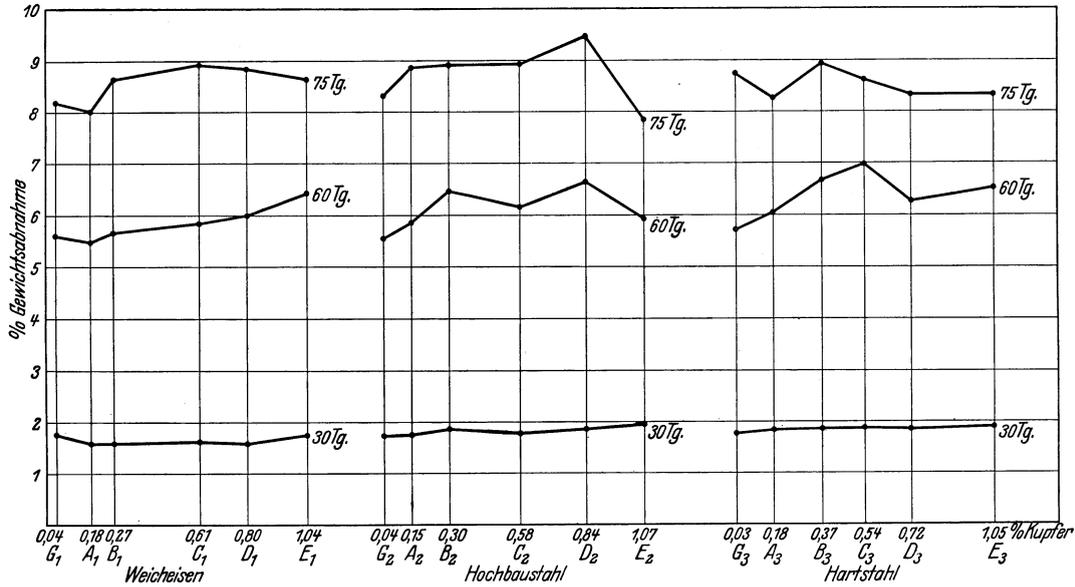


Abb. 27. Tauchversuche in 1proz. Natriumchloridlösung bei Zimmertemperatur (Tabelle 9).  
Versuche ausgeführt im Staatl. Materialprüfungsamt.

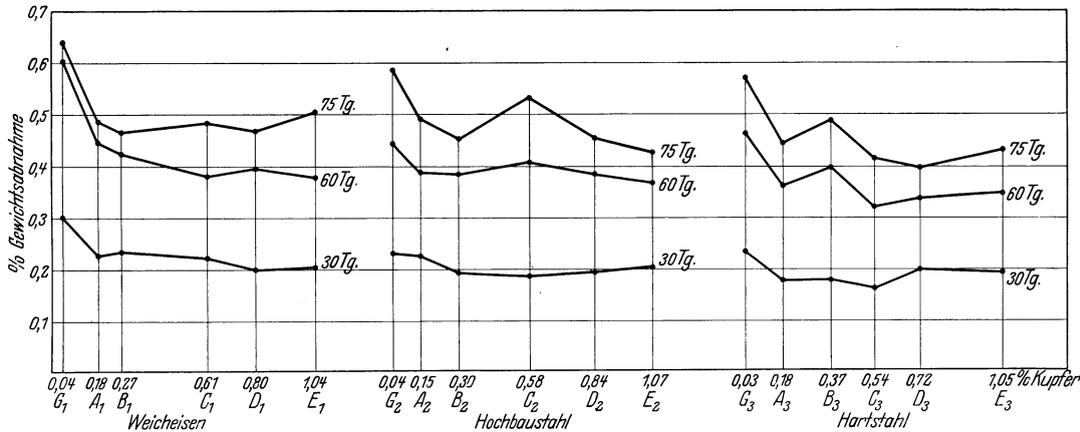


Abb. 28. Tauchversuche in destilliertem Wasser bei Zimmertemperatur (Tabelle 9).  
Versuche ausgeführt im Staatl. Materialprüfungsamt.

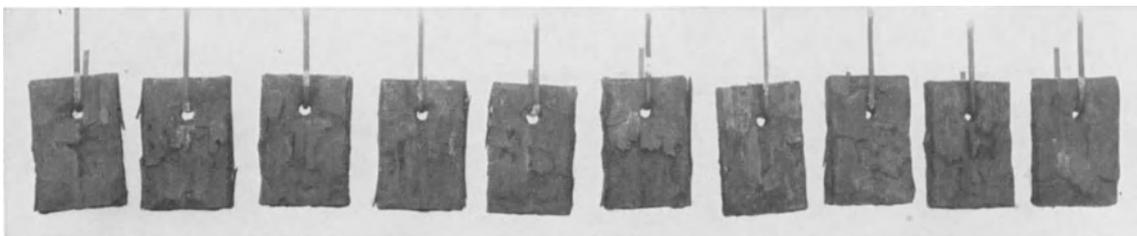


Abb. 29. Aussehen der Eisenplättchen nach Beendigung des Tauchversuchs in 1proz. Natriumchloridlösung.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 9 zusammengestellt und in den Abb. 27 und 28 graphisch aufgetragen.

Die Tauchversuche haben folgendes ergeben:

1. Tauchversuche in 1proz. NaCl-Lösung.  
Bei 30 tägiger Versuchsdauer ist kein Unterschied in

meinen steigt der Rostangriff mit steigendem Kupfergehalt sogar an.

2. Tauchversuche in destilliertem Wasser.

Die Gewichtsabnahme der Probeplättchen betrug hier nur etwa  $\frac{1}{10}$  der Gewichtsabnahme in 1proz. Natrium-

chloridlösung. Im allgemeinen fällt der Angriff mit steigendem Kupfergehalt.

**IVg. Korrosionsversuche an freier Luft**

(auf dem Dach des Amtes in Dahlem).

Versuchsdauer: 3, 6 und 9 Monate (23. II. bis 23. XI.1928)

(ausgeführt im Staatl. Materialprüfungsamt).

Die Probestättchen wurden an weichem Eisendraht auf dem Dach frei aufgehängt.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 10 zusammengestellt und in Abb. 30 graphisch aufgetragen.

Tabelle 10. Korrosionsversuche an freier Luft (auf dem Dach des Amtes in Dahlem).

Material	Bezeichnung	Chemische Zusammensetzung		Gewichtsabnahme in % (Mittel aus je 3 Einzelheiten) nach		
		Cu %	C %	3 Monaten	6 Monaten	9 Monaten
Weich Eisen	G 1	0,04	0,13	0,849	1,128	1,624
	A 1	0,18	0,09	0,727	0,975	1,522
	B 1	0,27	0,07	0,728	1,014	1,473
	C 1	0,61	0,07	0,677	1,015	1,543
	D 1	0,80	0,07	0,646	0,996	1,522
Hochbaustahl	E 1	1,04	0,08	0,627	0,972	1,521
	G 2	0,04	0,15	0,723	1,107	1,623
	A 2	0,15	0,15	0,669	1,047	1,573
	B 2	0,30	0,25	0,621	0,962	1,391
	C 2	0,58	0,22	0,685	0,961	1,570
Hartstahl	D 2	0,84	0,19	0,670	0,947	1,565
	E 2	1,07	0,22	0,611	0,894	1,413
	G 3	0,03	0,27	0,704	1,108	1,574
	A 3	0,18	0,29	0,604	0,922	1,366
	B 3	0,37	0,29	0,638	1,012	1,445
	C 3	0,54	0,29	0,613	0,929	1,290
	D 3	0,72	0,32	0,625	0,972	1,299
	E 3	1,05	0,24	0,633	1,009	1,283

nur noch unerheblichen Abfall, zum Teil tritt sogar wieder ein Anstieg des Rostangriffs auf.

**IVh. Löslichkeitsversuche in 1proz. Schwefelsäure.**

Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 zusammengestellt und in den Abb. 31 und 32 graphisch aufgetragen.

Aus Tabelle 11 und den Abb. 31 und 32 ergibt sich folgendes:

1. Bei gleichlanger Versuchsdauer (2 Tage) haben die Löslichkeitsversuche der Dortmunder Union (Abb. 32) er-

Tabelle 11. Löslichkeitsversuche in 1proz. Schwefelsäure bei Zimmertemperatur.

Material	Bezeichnung	Chemische Zusammensetzung		Versuche des Staatl. Materialprüfungsamtes			Versuche der Dortmunder Union		
		Cu %	C %	Gewichtsabnahme in % (Mittel aus je 3 Einzelwerten) nach			Gewichtsabnahme in % (Mittel aus je 3 Einzelwerten) nach		
				1 Tag	2 Tagen	3 Tagen	2 Tagen	5 <sup>1</sup> Tagen	10 Tagen
Weich Eisen	G 1	0,04	0,13	2,032	4,134	5,464	15,7	48,48	92,7
	A 1	0,18	0,09	0,320	0,601	0,921	1,57	14,55	15,51
	B 1	0,27	0,07	0,321	0,637	1,016	1,75	8,97	13,14
	C 1	0,61	0,07	0,257	0,509	0,708	1,32	6,80	10,65
	D 1	0,80	0,07	0,220	0,441	0,609	1,09	4,84	9,42
Hochbaustahl	E 1	1,04	0,08	0,226	0,431	0,655	0,99	4,80	11,79
	G 2	0,04	0,15	1,525	3,158	4,608	17,7	42,95	91,6
	A 2	0,15	0,15	0,619	1,280	1,842	3,60	23,92	30,72
	B 2	0,30	0,25	0,507	1,130	1,832	3,38	17,72	29,73
	C 2	0,58	0,22	0,185	0,320	0,480	1,11	4,59	8,12
Hartstahl	D 2	0,84	0,19	0,192	0,403	0,633	1,32	5,33	12,15
	E 2	1,07	0,22	0,321	0,477	0,721	3,33	5,74	11,62
	G 3	0,03	0,27	2,128	4,197	5,511	15,9	45,48	87,3
	A 3	0,18	0,29	0,259	0,571	0,903	1,92	15,53	24,17
	B 3	0,37	0,29	0,235	0,475	0,723	1,21	7,9	11,84
	C 3	0,54	0,29	2,167	4,891	5,775	11,6	41,8	65,05
	D 3	0,72	0,32	0,259	0,593	0,969	1,88	8,35	15,32
	E 3	1,05	0,24	0,481	0,942	4,926	4,42	6,03	11,21

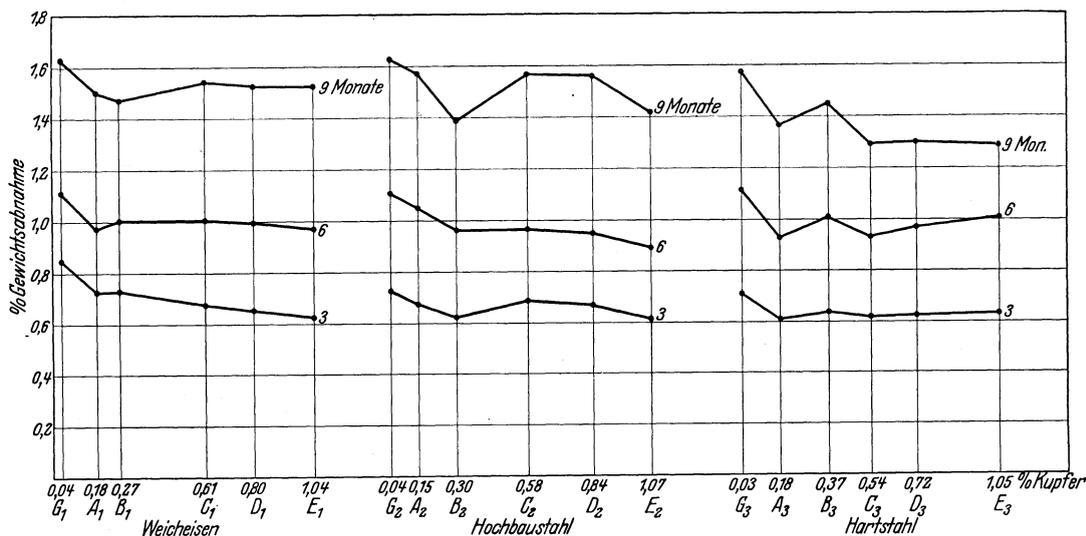


Abb. 30. Korrosionsversuche in freier Luft (auf dem Dach des Amtes) (Tabelle 10). Versuche ausgeführt im Staatl. Materialprüfungsamt.

Aus Tabelle 10 und Abb. 30 ergibt sich folgendes:  
Bei Korrosionsversuchen an freier Luft fällt im allgemeinen mit steigendem Kupfergehalt der Angriff. Der stärkste Abfall liegt immer zwischen den nahezu kupferfreien Blechen G und den Blechen mit etwa 0,2 bis 0,3% Cu. Weitere Erhöhung des Kupfergehaltes bedingt

heftig stärkere Gewichtsabnahmen ergeben als die Versuche des Materialprüfungsamtes. Bekanntlich wird der Säureangriff in sehr starkem Maße durch die Temperatur beeinflusst. Im Amt wurden die Säurelöslichkeitsver-

<sup>1</sup> Die Schwefelsäure wurde bei den Versuchen in Dortmund nach 5 Tagen erneuert.

suche in den kalten Wintermonaten 1928/29, in Dortmund im warmen Sommer 1928 durchgeführt. Hierin dürfte die Erklärung für das verschiedene Verhalten zu suchen sein.

Die Proben B 2 (0,085% P) in Abb. 32 und E 3 (0,088% P) in Abb. 31 zeigen ebenfalls im Vergleich mit den anderen Proben bei längerer Versuchsdauer eine zum Teil starke Zunahme der Löslichkeit.

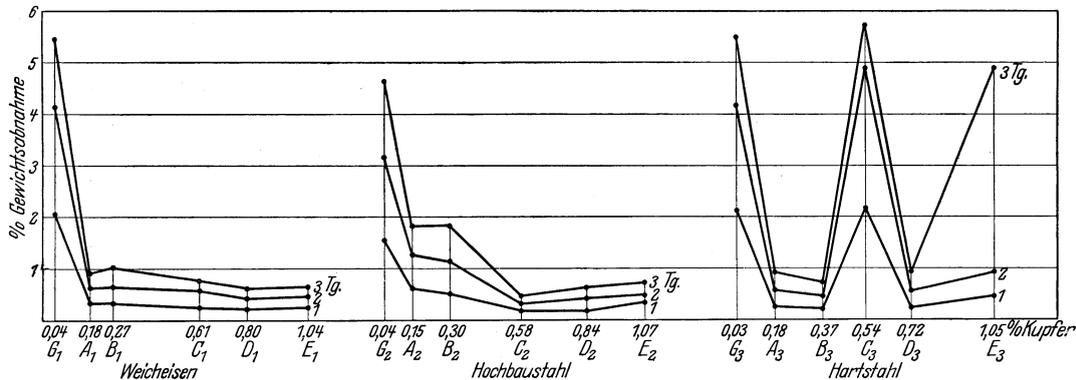


Abb. 31. Löslichkeitsversuche in 1proz. Schwefelsäure (Tabelle 11).  
Versuche ausgeführt im Staatl. Materialprüfungsamt.

2. Ein kleiner Zusatz von 0,18 bis 0,3% Cu zu dem nahezu kupferfreien Ausgangsmaterial G (mit 0,03 bis 0,04% Cu) bewirkte einen sehr starken Abfall der Säurelöslichkeit. Weitere Erhöhung der Kupferzusätze bedingte nur noch unerhebliche weitere Verringerung der Säurelöslichkeit, zum Teil stieg sie sogar wieder etwas an.

**IVi. Löslichkeitsversuche in 1proz. Salzsäure.**

(Ausgeführt im Staatl. Materialprüfungsamt.)

Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 zusammengestellt und in Abb. 33 graphisch aufgetragen.

Aus Tabelle 12 und Abb. 33 ergibt sich folgendes:

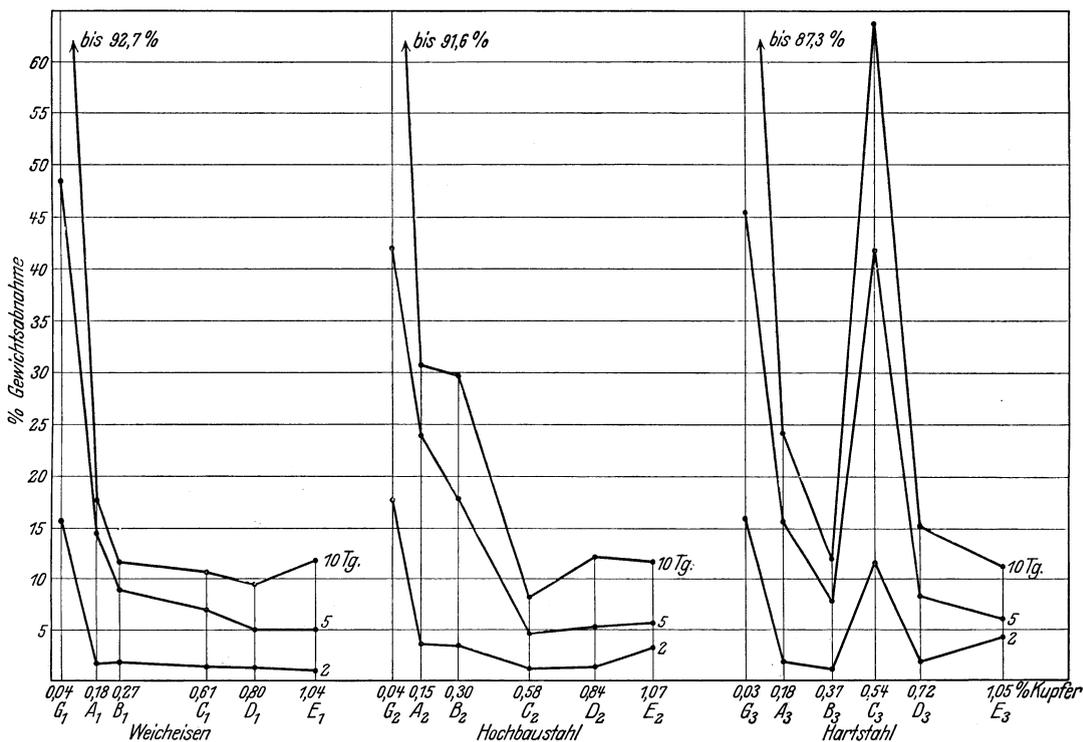


Abb. 32. Löslichkeitsversuche in 1proz. Schwefelsäure (Tabelle 11).  
Versuche ausgeführt in der Dortmunder Union.

3. Ein auffallendes Verhalten zeigte das Material C 3. Die Säurelöslichkeit stieg hier wieder ganz außerordentlich stark an. Es erscheint schwierig, für dieses Verhalten eine ausreichende Erklärung zu geben. Vielleicht spielt der hohe Phosphorgehalt dieses Materials (0,09% P) hierbei eine Rolle, da erfahrungsgemäß die Säurelöslichkeit mit dem Phosphorgehalt stark zunimmt.

1. Der Salzsäureangriff wird schon durch einen kleinen Kupferzusatz (0,15 bis 0,18%) wesentlich herabgemindert.

2. Weitere Erhöhung des Kupferzusatzes bedingt keine wesentliche weitere Verminderung des Angriffs, zum Teil war sogar ein schwacher Anstieg zu beobachten.

3. Der bei den Versuchen mit Schwefelsäure (Tabelle 11 und Abb. 31 und 32) bei dem Material C 3

Tabelle 12. Löslichkeitsversuche in 1proz. Salzsäure bei Zimmertemperatur.

Material	Bezeichnung	Chemische Zusammensetzung		Gewichtsabnahme in % (Mittel aus je 3 Einzelwerten) nach		
		Cu %	C %	1 Tag	2 Tagen	3 Tagen
Weicheisen	G 1	0,04	0,13	2,356	4,867	7,199
	A 1	0,18	0,09	0,346	0,700	0,887
	B 1	0,27	0,07	0,349	0,695	1,037
	C 1	0,61	0,07	0,322	0,628	0,946
	D 1	0,80	0,07	0,294	0,614	0,873
E 1	1,04	0,08	0,311	0,640	0,923	
Hochbaustahl	G 2	0,04	0,15	1,684	3,205	5,323
	A 2	0,15	0,15	0,531	1,173	1,710
	B 2	0,30	0,25	0,459	1,054	1,722
	C 2	0,58	0,22	0,243	0,498	0,835
	D 2	0,84	0,19	0,290	0,632	0,911
E 2	1,07	0,22	0,275	0,545	0,809	
Hartstahl	G 3	0,03	0,27	2,039	4,433	6,148
	A 3	0,18	0,29	0,321	0,654	0,908
	B 3	0,37	0,29	0,293	0,578	0,854
	C 3	0,54	0,29	0,251	0,447	0,657
	D 3	0,72	0,32	0,353	0,794	1,204
E 3	1,05	0,24	0,304	0,560	0,915	

einem deutlichen Einfluß eines Kupferzusatzes nicht gut gesprochen werden kann.

3. In der Größenordnung des Rostangriffs weisen die drei Stahlsorten keine merkbaren Unterschiede auf.

IVc. Korrosionsversuche in Nordseewasser (Tabelle 7, Abb. 23).

1. Ein deutlicher Einfluß eines steigenden Kupferzusatzes ist bei diesen Versuchen nicht zu erkennen.

2. Weicheisen, Hochbaustahl und Hartstahl haben sich bei den Rostversuchen annähernd gleich verhalten.

IVd. Korrosionsversuche in humussäurehaltigem Wasser (Tabelle 8, Abb. 24).

1. Mit steigendem Kupfergehalt ist hier, insbesondere beim Weicheisen und beim Hochbaustahl, ein deutlicher Abfall des Rostangriffs unverkennbar.

2. Der Hartstahl zeigte in humussäurehaltigem Wasser etwas geringere Rostneigung als das Weicheisen und der Hochbaustahl.

IVe. Tauchversuche in 1proz. Natriumchloridlösung (Tabelle 9, Abb. 27).

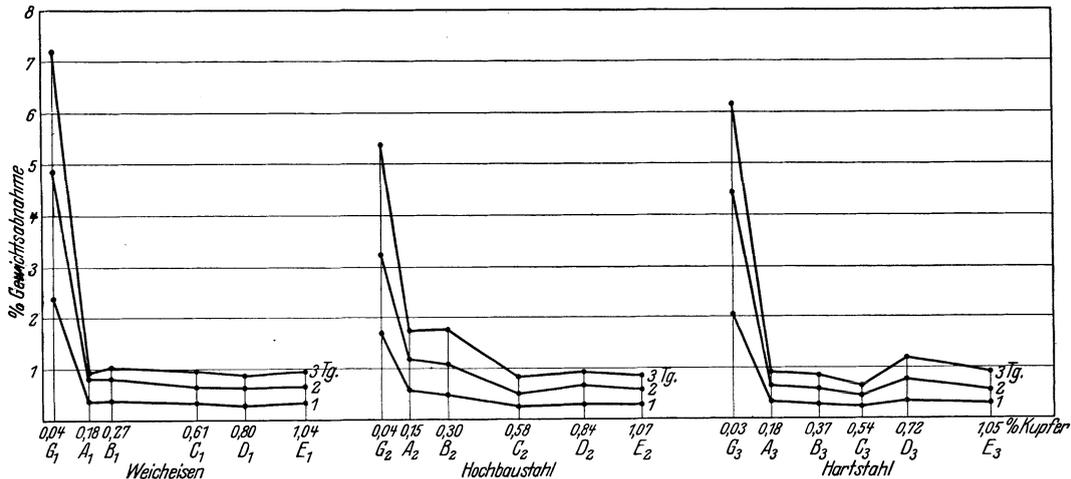


Abb. 33. Löslichkeitsversuche in 1proz. Salzsäure (Tabelle 12). Versuche ausgeführt im Staatl. Materialprüfungsamt.

(hoher Phosphorgehalt) beobachtete starke Anstieg der Säurelöslichkeit trat bei den Versuchen mit Salzsäure nicht auf.

Zusammenfassung der Ergebnisse der Korrosionsversuche bei Zimmertemperatur.

IVa. Korrosionsversuche in destilliertem Wasser (Tabelle 5, Abb. 21).

1. Mit steigendem Kupfergehalt ist ein schwacher Abfall des Rostangriffs unverkennbar.

2. Weicheisen und Hochbaustahl haben sich bei den Rostversuchen annähernd gleich verhalten; der Hartstahl ist im allgemeinen etwas stärker gerostet als die beiden anderen Stahlsorten.

IVb. Korrosionsversuche in Flußwasser (Tabelle 6, Abb. 22).

1. Ein deutlicher Abfall des Rostangriffs mit steigendem Kupfergehalt ist nur beim Hochbaustahl festzustellen.

2. Die beiden anderen Stahlsorten weisen bei den Rostversuchen so große Schwankungen auf, daß von

1. Im allgemeinen nimmt der Rostangriff mit steigendem Kupfergehalt etwas zu; die Einzelwerte weisen jedoch starke Schwankungen auf.

2. Weicheisen, Hochbaustahl und Hartstahl haben sich annähernd gleich verhalten.

IVf. Tauchversuche in destilliertem Wasser (Tabelle 9, Abb. 28).

1. Mit steigendem Kupfergehalt ist ein deutlicher Abfall der Rostneigung unverkennbar.

2. Der Hartstahl zeigt etwas geringere Rostneigung als die beiden anderen Stahlsorten.

IVg. Korrosionsversuche an freier Luft (Tabelle 10, Abb. 30).

1. Mit steigendem Kupfergehalt fällt der Angriff. Der stärkste Abfall liegt bei allen drei Stahlsorten zwischen dem nahezu kupferfreien Material G und den Materialien mit 0,2 bis 0,3% Kupfer.

2. Wesentliche Unterschiede zwischen dem Verhalten der drei Stahlsorten Weicheisen, Hochbaustahl und Hartstahl bestehen nicht.

IVh. Löslichkeit in 1proz. Schwefelsäure (Tabelle 11 und 12, Abb. 31 und 32).

1. Ein kleiner Kupferzusatz von etwa 0,15 bis 0,3% Cu zu dem nahezu kupferfreien Material G bedingte in allen Fällen ein sehr starkes Herabsinken der Säurelöslichkeit. Weitere Erhöhung des Kupferzusatzes war im allgemeinen nur noch von unerheblichem Einfluß auf die Säurelöslichkeit.

2. Die drei Materialien Weicheisen, Hochbaustahl und Hartstahl haben sich, wenn von dem auffallenden Verhalten des Materials C 3 abgesehen wird, nicht wesentlich verschieden gegenüber dem Säureangriff verhalten.

IVi. Löslichkeit in 1proz. Salzsäure (Tabelle 12, Abb. 33).

1. Der Salzsäureangriff wurde schon durch einen kleinen Kupferzusatz (0,15 bis 0,18% Cu) wesentlich herabgemindert. Eine weitere Erhöhung des Kupfergehaltes bedingte jedoch keine wesentliche weitere Verminderung des Angriffs.

2. Die drei Stahlsorten Weicheisen, Hochbaustahl und Hartstahl haben sich gegenüber dem Angriff von Salzsäure nicht wesentlich verschieden verhalten.

**V. Korrosionsversuche bei etwa +50°.**

Im Staatlichen Materialprüfungsamt wurde folgende Versuchsanordnung angewandt:

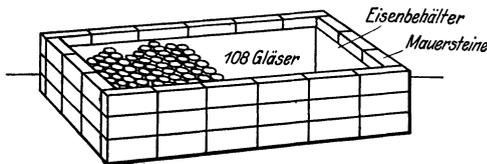


Abb. 34. Versuchsanordnung für die Korrosionsversuche bei etwa +50° (Materialprüfungsamt.)

Die Glaszylinder mit den Probeplättchen wurden nach Abb. 34 in ein 18 cm hohes Eisengefäß eingesetzt. Das Gefäß war mit Ziegelsteinen ummauert und während der Versuche mit einem Deckel aus Asbest zugedeckt.

Die Heizung erfolgte elektrisch; die Heizdrähte lagen unter dem Boden des Gefäßes. Die Temperatur wurde werktäglich etwa 8 Stunden lang auf +50° gehalten; in der Nacht kühlten die Versuchsgläser auf Zimmerwärme ab. Das verdunstete Wasser wurde täglich durch destilliertes Wasser ersetzt. Nach 30 und 60 Tagen wurden die Plättchen herausgenommen und wie früher gereinigt und zurückgewogen.

Bei den Versuchen der Dortmunder Union erfolgte die Beheizung der Glaszylinder durch große elektrische Heizplatten; die Temperatur wurde täglich etwa 12 Stunden lang auf +50 bis +60° gehalten. Die weitere Versuchsausführung war die gleiche wie im Amt.

Die Versuchsdauer betrug hier 20, 40 und 60 Tage.

Tabelle 13. Korrosionsversuche in destilliertem Wasser bei +50° (Abb. 35).

Material	Bezeichnung	Chemische Zusammensetzung		Versuche des Staatl. Materialprüfungsamtes		Versuche der Dortmunder Union		
		Cu %	C %	Gewichtsabnahme in % (Mittel aus je 3 Einzelwerten) nach		Gewichtsabnahme in % (Mittel aus je 3 Einzelwerten) nach		
				30 Tagen	60 Tagen	20 Tagen	40 Tagen	60 Tagen
Weicheisen	G 1	0,04	0,13	0,529	1,085	1,63	2,59	3,73
	A 1	0,18	0,09	0,492	1,051	0,725	1,887	3,07
	B 1	0,27	0,07	0,511	1,003	1,14	1,768	3,29
	C 1	0,61	0,07	0,485	1,022	1,16	1,63	2,65
	D 1	0,80	0,07	0,487	0,968	0,917	2,19	3,76
E 1	1,04	0,08	0,478	0,978	1,37	2,40	3,60	
Hochbaustahl	G 2	0,04	0,15	0,481	1,099	1,63	2,36	3,90
	A 2	0,15	0,15	0,518	1,017	0,904	2,30	3,78
	B 2	0,30	0,25	0,472	0,970	1,63	2,65	3,98
	C 2	0,58	0,22	0,504	1,005	1,34	2,17	3,93
	D 2	0,84	0,19	0,482	1,008	0,763	2,06	3,55
E 2	1,07	0,22	0,481	1,005	1,31	2,65	3,83	
Hartstahl	G 3	0,03	0,27	0,526	1,008	0,942	3,26	4,78
	A 3	0,18	0,29	0,497	0,997	0,657	2,56	4,64
	B 3	0,37	0,29	0,460	0,982	0,802	2,53	4,33
	C 3	0,54	0,29	0,494	0,952	0,844	1,94	3,60
	D 3	0,72	0,32	0,488	1,031	0,942	2,91	5,50
E 3	1,05	0,24	0,445	0,896	0,932	2,87	5,50	

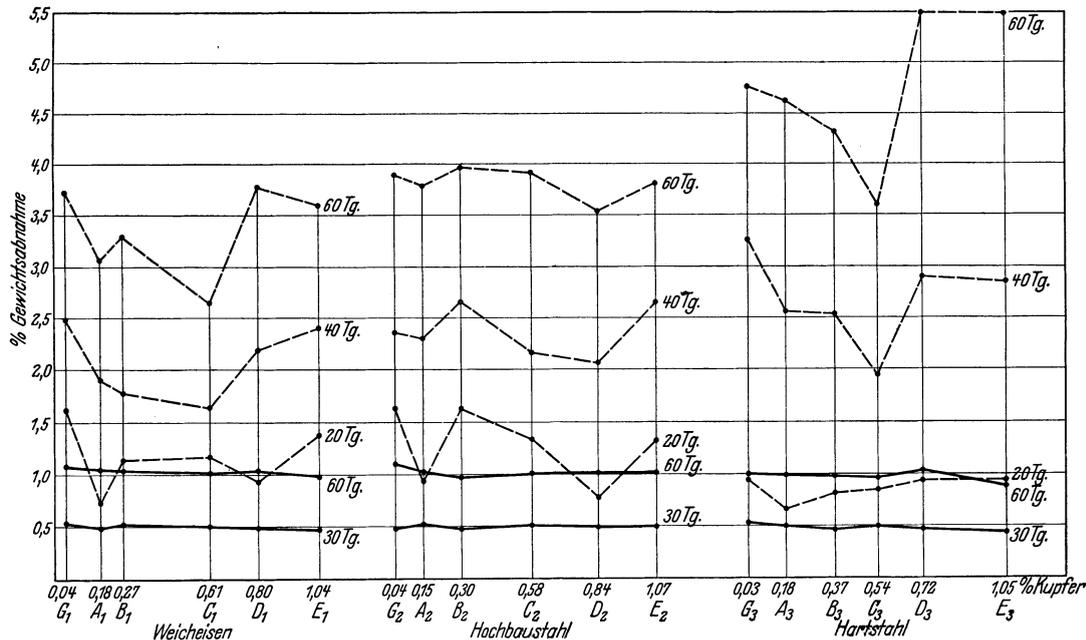


Abb. 35. Korrosionsversuche in destilliertem Wasser bei etwa +50° (Tabelle 13).  
 — — — — — Versuche des Staatl. Materialprüfungsamtes; · · · · · Versuche der Dortmunder Union.



Kupferzusatzes war zum Teil wieder ein Anwachsen der Rostneigung erkennbar.

Vc. Korrosionsversuche in Nordseewasser bei etwa +50°.

In Tabelle 15 sind die Versuchsergebnisse zusammengestellt und in Abb. 37 graphisch aufgetragen.

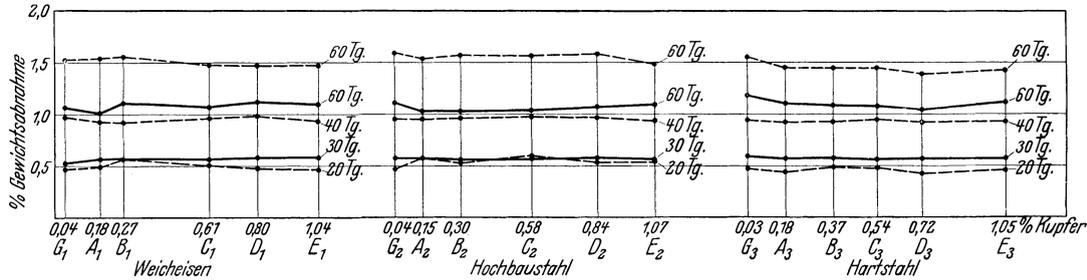


Abb. 37. Korrosionsversuche in Nordseewasser bei etwa +50° (Tabelle 15).  
 — • — • — • Versuche des Staatl. Materialprüfungsamtes; - - - - - Versuche der Dortmunder Union.

Aus Tabelle 15 und Abb. 37 geht folgendes hervor:  
 1. Weder die im Amt durchgeführten Rostversuche noch die Versuche der Dortmunder Union lassen einen die Rostneigung herabmindernden Einfluß eines steigenden Kupferzusatzes erkennen.  
 2. Die drei Stahlsorten (Weicheisen, Hochbaustahl und Hartstahl) weisen unter sich keinen wesentlichen Unterschied in der Rostneigung auf.

Vd. Korrosionsversuche in humussäurehaltigem Wasser bei etwa +50°.

In Tabelle 16 sind die Versuchsergebnisse zusammengestellt und in Abb. 38 graphisch aufgetragen.

Aus Tabelle 16 und Abb. 38 ergibt sich folgendes:

1. Durch einen steigenden Kupferzusatz wurde die Rostneigung der drei Stahlsorten weder bei den im Amt

noch bei den in Dortmund ausgeführten Rostversuchen merkbar herabgemindert.

2. Die drei Stahlsorten (Weicheisen, Hochbaustahl und Hartstahl) haben sich im allgemeinen gleich verhalten.

Ve. Löslichkeitsversuche in 1proz. Schwefelsäure bei etwa +50°.

(Ausgeführt in der Dortmunder Union.)

Die Versuchsdauer betrug hier nur 2 und 5 Tage. In Tabelle 17 sind die Ergebnisse zusammengestellt und in Abb. 39 graphisch aufgetragen.

Tabelle 16. Korrosionsversuche in humussäurehaltigem Wasser bei etwa +50° (Abb. 38).

Material	Bezeichnung	Chemische Zusammensetzung		Versuche des Staatl. Materialprüfungsamtes		Versuche der Dortmunder Union		
		Cu %	C %	Gewichtsabnahme in % (Mittel aus je 3 Einzelwerten) nach		Gewichtsabnahme in % (Mittel aus je 3 Einzelwerten) nach		
				30 Tagen	60 Tagen	20 Tagen	40 Tagen	60 Tagen
Weicheisen	G 1	0,04	0,13	0,502	1,064	0,380	0,762	0,779
	A 1	0,18	0,09	0,449	1,023	0,409	0,746	0,761
	B 1	0,27	0,07	0,361	1,035	0,427	0,735	0,766
	C 1	0,61	0,07	0,364	0,997	0,428	0,721	0,746
	D 1	0,80	0,07	0,356	0,993	0,410	0,756	0,678
E 1	1,04	0,08	0,383	1,015	0,444	0,671	0,704	
Hochbaustahl	G 2	0,04	0,15	0,420	0,992	0,435	0,679	0,692
	A 2	0,15	0,15	0,458	0,946	0,418	0,767	0,825
	B 2	0,30	0,25	0,318	0,917	0,431	0,658	0,714
	C 2	0,58	0,22	0,361	0,899	0,434	0,647	0,661
	D 2	0,84	0,19	0,341	0,918	0,427	0,652	0,708
E 2	1,07	0,22	0,446	1,018	0,433	0,637	0,701	
Hartstahl	G 3	0,03	0,27	0,465	1,143	0,421	0,738	0,758
	A 3	0,18	0,29	0,418	0,991	0,399	0,719	0,747
	B 3	0,37	0,29	0,410	0,958	0,419	0,713	0,728
	C 3	0,54	0,29	0,398	1,028	0,417	0,576	0,703
	D 3	0,72	0,32	0,474	0,956	0,409	0,701	0,708
E 3	1,05	0,24	0,471	1,014	0,409	0,637	0,727	

Tabelle 17. Löslichkeitsversuche in 1% Schwefelsäure bei etwa +50° (Dortmunder Union.)

Material	Bezeichnung	Chemische Zusammensetzung		Gewichtsabnahme in % nach	
		Cu %	C %	2 Tagen	5 Tagen
Weicheisen	G 1	0,04	0,13	54,70	95,0
	A 1	0,18	0,09	14,88	35,0
	B 1	0,27	0,07	13,03	29,6
	C 1	0,61	0,07	10,55	26,8
	D 1	0,80	0,07	10,58	24,0
E 1	1,04	0,08	7,19	18,8	
Hochbaustahl	G 2	0,04	0,15	41,43	79,3
	A 2	0,15	0,15	20,12	42,4
	B 2	0,30	0,25	17,13	38,4
	C 2	0,58	0,22	8,67	21,7
	D 2	0,84	0,19	8,19	21,5
E 2	1,07	0,22	14,10	38,5	
Hartstahl	G 3	0,03	0,27	38,29	56,8
	A 3	0,18	0,29	17,23	38,6
	B 3	0,37	0,29	6,10	17,1
	C 3	0,54	0,29	62,43	93,8
	D 3	0,72	0,32	7,55	17,2
E 3	1,05	0,24	17,57	37,8	

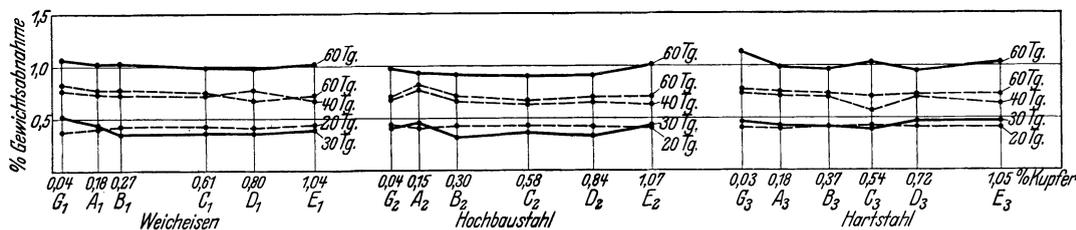


Abb. 38. Korrosionsversuche in humussäurehaltigem Wasser bei etwa +50° (Tabelle 16).  
 — • — • — • Versuche des Staatl. Materialprüfungsamtes; - - - - - Versuche der Dortmunder Union.

Aus Tabelle 17 und Abb. 39 ergibt sich folgendes:  
 1. Der Verlauf der Kurven ist im großen und ganzen der gleiche wie bei den Säurelöslichkeitsversuchen bei gewöhnlicher Temperatur (Tabelle 11, Abb. 32).

2. Der Abfall der Säurelöslichkeit ist beim Weicheisen zwischen dem nahezu kupferfreien Material G 1 und dem Material A 1 (mit 0,18% Cu) sehr erheblich; weitere Steigerung des Kupferzusatzes bedingt einen weiteren, jedoch weniger steilen Abfall.

3. Beim Hochbaustahl war zunächst der Abfall der Säurelöslichkeit ebenfalls stark, zwischen 0,58 und 0,84% Cu blieb die Säurelöslichkeit gleich niedrig, um bei weiterer Steigerung der Kupfergehalte wieder anzusteigen.

4. Beim Hartstahl zeigte wieder das Material C 3 (mit 0,54% Cu) ein auffallendes, sehr starkes Anwachsen der Säurelöslichkeit. Auf die vermutliche Ursache dieses

Einzelwerte waren jedoch sehr schwankend, und bei weiterer Steigerung (über 0,60% Cu) stieg der Rostangriff wieder an.

Vc. Korrosionsversuche in Nordseewasser (Tabelle 15, Abb. 37).

1. Weder bei den Versuchen des Amtes noch bei denen der Dortmunder Union war ein die Rostneigung vermin- dernderEinflußeinessteigendenKupfergehalteserkennbar.

2. Die drei Stahlsorten sind im allgemeinen gleich stark gerostet.

Vd. Korrosionsversuche in humussäurehaltigem Wasser (Tabelle 16, Abb. 38).

1. Die Rostneigung der drei Stahlsorten wurde durch steigende Kupferzusätze weder bei den im Amt noch bei den in Dortmund durchgeführten Rostversuchen merk- bar herabgemindert.

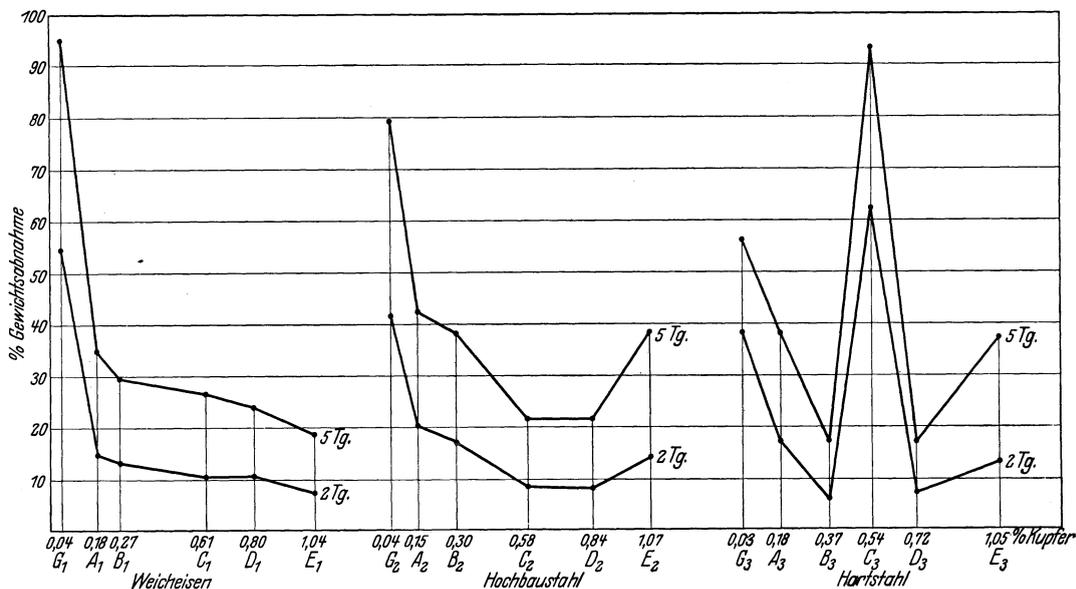


Abb. 39. Löslichkeitsversuche in 1proz. Schwefelsäure bei etwa +50° (Tabelle 17). Versuche ausgeführt in der Dortmunder Union.

auffallenden Verhaltens (hoher Phosphorgehalt) wurde bereits bei Besprechung der Ergebnisse bei Zimmer- temperatur hingewiesen.

Zusammenfassung der Ergebnisse der Korro- sionsversuche bei etwa +50°.

Va. Korrosionsversuche in destilliertem Wasser (Tabelle 13, Abb. 35).

1. Die im Amt ausgeführten Rostversuche ließen keinen das Rosten vermindern- den Einfluß eines steigen- den Kupferzusatzes erkennen.

2. Bei den Rostversuchen der Dortmunder Union waren die Ergebnisse sehr schwankend. Beim Weicheisen und Hartstahl war nach längerer Versuchsdauer bei Kupfergehalten bis etwa 0,6% ein Absinken des Rostangriffs zu erkennen.

Vb. Korrosionsversuche in Flußwasser (Ta- belle 14, Abb. 36).

1. Die im Amt durchgeführten Rostversuche ließen keinen das Rosten vermindern- den Einfluß eines steigen- den Kupferzusatzes erkennen.

2. Bei den Versuchen der Dortmunder Union wies nur der 60 Tage währende Versuch mit steigendem Kupfergehalt einen Abfall des Rostangriffs auf. Die

2. Die drei Stahlsorten haben sich im allgemeinen gleich verhalten.

Ve. Löslichkeitsversuche in 1proz. Schwefel- säure (Tabelle 17, Abb. 39).

1. Ein kleiner Kupferzusatz zu dem nahezu kupfer- freien Material bedingte bei allen drei Stahlsorten einen sehr starken Abfall der Säurelöslichkeit. Durch weiteren Kupferzusatz konnte nur noch eine geringe weitere Ver- minderung der Säurelöslichkeit erzielt werden.

2. Das Weicheisen wies im Vergleich mit den beiden anderen Stahlsorten (Hochbaustahl und Hartstahl) den stärksten Säureangriff auf. Eine Ausnahme machte lediglich der Hartstahl C 3 mit 0,54% Cu. Hier stieg die Säurelöslichkeit (wie auch schon bei den Säurelös- lichkeitsversuchen bei Zimmertemperatur beobachtet wurde) außerordentlich stark an. Die Ursache dieses auffallenden Verhaltens hängt vermutlich mit dem hohen Phosphorgehalt dieses Materials zusammen.

VI. Korrosionsversuche mit Blechproben mit der Walzhaut (ausgeführt in der Dortmunder Union.)

An Stelle der abgeschliffenen Probeplättchen wurden dünne Blechproben in der Abmessung 150×150×0,5 mm verwendet, um den angreifenden Mitteln eine möglichst

große Oberfläche zu bieten und somit den Korrosionsangriff stärker in Erscheinung treten zu lassen. Die Versuchsdauer wurde auf 15 Monate ausgedehnt. Die chemische Zusammensetzung der verschiedenen Materialien war folgende:

Material	C %	Cu %	Si %	Mn %	P %	S %
W 1	0,15	<b>0,04</b>	0,01	0,57	0,048	0,035
W 2	0,15	<b>0,15</b>	0,01	0,50	0,061	0,040
W 3	0,23	<b>0,35</b>	0,01	0,76	0,065	0,044
W 4	0,23	<b>1,09</b>	0,01	0,81	0,064	0,036

Die aus normalen Spundwandrücken ausgewalzten Bleche wurden bei 900° mit nachfolgender Ofenabkühlung ausgeglüht.

Die ausgeglühten Probebleche wurden mit zwei Löchern versehen, ausgewogen und in Glasgefäße von

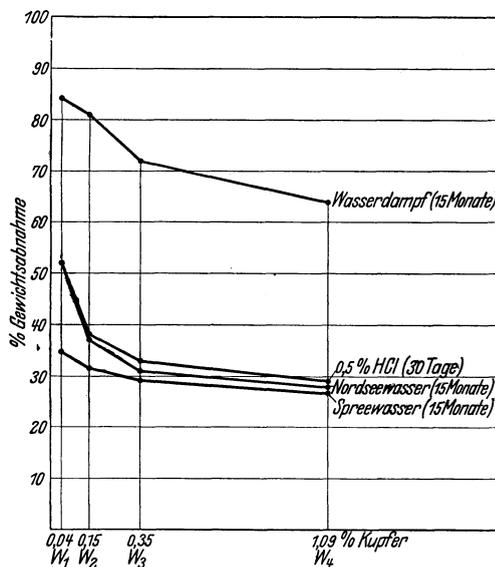


Abb. 40. Korrosionsversuche mit Blechen mit der Walzhaut (Tabelle 18). Versuche der Dortmunder Union.

8000 ccm Inhalt (300 mm hoch und 200 mm Durchmesser) so eingehängt, daß sie etwa zu  $\frac{4}{5}$  in die Versuchsflüssigkeiten (je 5000 ccm) eintauchten.

Als Versuchsflüssigkeiten dienen:

1. Süßwasser (gereinigtes Ruhrwasser): Versuchsdauer 15 Monate.
  2. Natürliches Nordseewasser: Versuchsdauer 15 Monate.
  3. 0,5% Salzsäure: Versuchsdauer 30 Tage.
- Schließlich wurde noch eine Versuchsreihe mit
4. gesättigtem Wasserdampf (Versuchsdauer 15 Monate) ausgeführt.

Bei den Versuchen 1, 2 und 3 wurden die Versuchsflüssigkeiten immer nach 14 Tagen erneuert. Das täglich verdunstete Wasser wurde durch destilliertes Wasser ersetzt. Die Versuchstemperatur schwankte zwischen +20 und +25° C.

Bei dem Versuch 4 wurden die Bleche an gummiisolierten Drähten in einen Kochkessel von 80 Liter Inhalt eingehängt; der Kessel war nur mit 10 Liter Wasser gefüllt, der Abstand zwischen Unterkante der Probebleche und dem Wasserspiegel betrug 20 cm.

Die Beheizung des Kessels erfolgte von außen durch einen untergestellten Bunsenbrenner. Die Verdunstung des Wassers wurde durch tägliches Auffüllen ausgeglichen. In Tabelle 18 sind die Versuchsergebnisse zusammengestellt und in Abb. 40 graphisch aufgetragen.

Aus Tabelle 18 und Abb. 40 geht hervor, daß bei den Probeblechen mit Walzhaut in allen Fällen der Angriff mit steigendem Kupfergehalt regelmäßig abnahm.

Die größten Gewichtsverluste hatten die Bleche bei den Versuchen mit heißem, stark sauerstoffhaltigem Wasserdampf erlitten.

## D. Gesamtzusammenfassung.

### I. Korrosionsversuche mit Probeplättchen ohne Walzhaut.

#### a) Bei Zimmertemperatur.

1. Bei den Korrosionsversuchen in destilliertem Wasser, in humussäurehaltigem Wasser, beim Tauchversuch in destilliertem Wasser und beim Korrosionsversuch in freier Luft fiel der Rostangriff mit steigendem Kupfergehalt schwach ab.

2. Bei den Korrosionsversuchen in Flußwasser war nur beim Hochbaustahl ein Abfall des Rostangriffs mit steigendem Kupfergehalt zu beobachten.

3. Bei den Korrosionsversuchen in Nordseewasser war ein deutlicher Einfluß eines steigenden Kupferzusatzes nicht zu erkennen.

4. Bei den Tauchversuchen in 1proz. Natriumchloridlösung stieg sogar im allgemeinen der Rostangriff mit steigendem Kupfergehalt an.

#### b) Bei etwa +50° C.

5. Bei den im Amt durchgeführten Korrosionsversuchen in destilliertem Wasser, Flußwasser, Nordseewasser und humussäurehaltigem Wasser war ein die Rostneigung vermindender Einfluß eines steigenden Kupferzusatzes nicht zu beobachten.

6. Bei den Versuchen der Dortmunder Union waren die Ergebnisse bei den Versuchen in destilliertem Wasser und in Flußwasser sehr schwankend, teils war bei langer

Tabelle 18. Korrosionsversuche mit Blechen mit der Walzhaut (Abb. 40).

Material	Kupfer %	1. Süßwasser	2. Nordseewasser	3. 0,5% Salzsäure	4. Gesättigter Wasserdampf	Bemerkungen
		Versuchsdauer 15 Monate	Versuchsdauer 15 Monate	Versuchsdauer 30 Tage	Versuchsdauer 15 Monate	
		Gewichtsabnahme %	Gewichtsabnahme %	Gewichtsabnahme %	Gewichtsabnahme %	
W 1	0,04	34,6	52	52	84	In den Abb. 41 bis 44 sind die Probebleche nach Beendigung der Korrosionsversuche in gesättigtem Wasserdampf im Lichtbild wiedergegeben
W 2	0,15	31,4	37	38	81	
W 3	0,35	29,2	31	33	72	
W 4	1,09	26,8	28	29	64	

Versuchsdauer mit steigendem Kupfergehalt ein Absinken des Rostangriffs zu erkennen (in destilliertem Wasser), teils wieder ein Ansteigen (in Flußwasser), während bei den Korrosionsversuchen in Nordseewasser und humussäurehaltigem Wasser kein eindeutiger Einfluß des Kupferzusatzes zu beobachten war.

7. Die drei Stahlsorten „Weicheisen“, „Hochbaustahl“ und „Hartstahl“ haben sich im großen und ganzen gleich verhalten; nur beim Versuch mit humussäurehaltigem Wasser (bei Zimmertemperatur) und bei dem

gedrückt. Der Hauptabfall trat jedoch vorwiegend zwischen den nahezu kupferfreien Proben G und den Proben mit etwa 0,2 bis 0,3% Cu auf.

9. Bei Zimmertemperatur haben sich die drei Stahlsorten Weicheisen, Hochbaustahl und Hartstahl gegenüber dem Angriff durch 1proz. Schwefelsäure und 1proz. Salzsäure nicht wesentlich verschieden verhalten. Bei

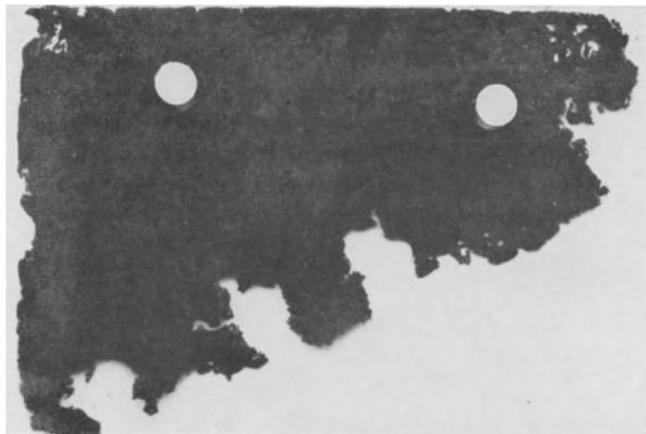


Abb. 41. 0,04% Cu.

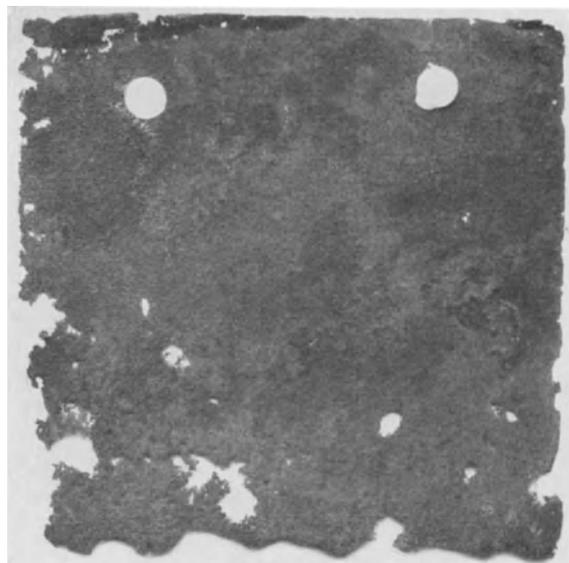


Abb. 43. 0,35% Cu.

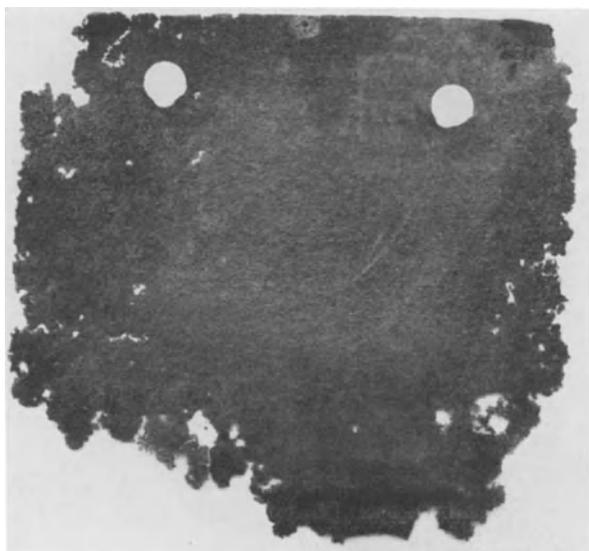


Abb. 42. 0,15% Cu.

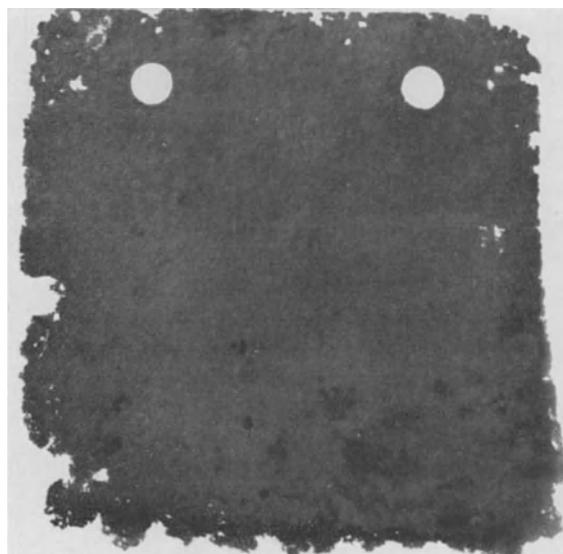


Abb. 44. 1,09% Cu.

Abb. 41—44. Korrosionsversuche an ungekupferten und gekupferten Stahlblechen in gesättigtem Wasserdampf. Versuchsdauer: 15 Monate.

Tauchversuch in destilliertem Wasser zeigte der Hartstahl etwas geringere Rostneigung; die Unterschiede waren jedoch nicht erheblich. Von einer wesentlichen Überlegenheit der einen oder anderen Stahlsorte kann somit nicht gesprochen werden.

c) In Schwefelsäure und Salzsäure.

8. Die Säurelöslichkeit des Eisens wurde durch einen kleinen Kupfergehalt sowohl bei Zimmertemperatur wie auch bei etwa +50° außerordentlich stark herunter-

+50° wies das Weicheisen in 1proz. Schwefelsäure gegenüber den beiden anderen Stahlsorten (Hochbaustahl und Hartstahl) den stärksten Angriff auf.

10. Ein hoher Phosphorgehalt scheint auch bei gleichzeitiger Gegenwart von Kupfer die Löslichkeit in Schwefelsäure in hohem Maße zu begünstigen.

## II. Korrosionsversuche mit Blechproben mit der Walzhaut.

1. Bei den Korrosionsversuchen mit Blechproben mit der Walzhaut fiel der Angriff in allen Fällen (Süßwasser,

Nordseewasser, 0,5 proz. Salzsäure und gesättigtem Wasserdampf) ganz regelmäßig mit steigendem Kupfergehalt.

### E. Schlußergebnis.

1. Bei den Proben ohne Walzhaut war ein starker, die Korrosion herabdrückender Einfluß eines erhöhten Kupfergehaltes nur bei den Säurelöslichkeitsversuchen in Schwefelsäure und Salzsäure zu beobachten. Bei den Korrosionsversuchen mit säurefreien Wässern (Rostversuche) waren die Ergebnisse sehr schwankend. Bei einigen Wässern war eine schwache, rosthindernde Wirkung zu beobachten, bei anderen wieder nicht. Der Einfluß eines steigenden Kupferzusatzes trat im allgemeinen bei längerer Versuchsdauer etwas deutlicher hervor. Überall da, wo sich eine Verringerung des Angriffs mit steigendem Kupferzusatz nachweisen ließ, lag der stärkste Abfall im allgemeinen zwischen den nahezu kupferfreien Proben G und den Proben mit etwa 0,2 bis 0,3% Cu. Eine weitere Erhöhung des Kupferzusatzes bis etwa 0,6% Cu bedingte nur in einigen Fällen (bei Tropentemperatur in Süß- und Nordseewasser) einen weiteren Abfall.

2. Im Gegensatz zu den abweichenden und teilweise negativen Ergebnissen der Versuche mit den Probeplättchen ohne Walzhaut zeigten die Versuche mit den ausgewalzten Blechproben mit steigendem Kupfergehalt in allen angreifenden Mitteln ein ziemlich regelmäßiges Ansteigen des Korrosionswiderstandes. Der Grund dafür dürfte in erster Linie, neben dem Einfluß der beim Walzen, Glühen usw. auf dem Material sich bildenden oxydischen Walz- und Glühhaut, auf die lange Versuchsdauer von 15 Monaten zurückzuführen sein. Eine derartig lange Versuchsdauer ist bei der Prüfung von gekupferten Stählen unbedingt erforderlich, da die Verzögerung des Rostangriffs erst nach Bildung der dichten und festhaftenden Rostschicht einsetzt<sup>1</sup>.

Noch im Gange befindliche Versuche im großen mit ausgewalzten Profilen bei langer Versuchsdauer sollen hierüber weiteren Aufschluß bringen.

---

<sup>1</sup> Siehe auch C. Carius u. E. H. Schulz: „Über den Einfluß des Kupfers auf den Rostvorgang gekupferten Stahles an der Atmosphäre und in verschiedenen Wassern.“ Mitt. a. d. Forschungsinstitut der Vereinigten Stahlwerke A.-G., Dortmund. Bd. 1, Lieferung 7. 1929.