

Pfl. M. Heft Nr. 2a.

Vorschriften
für
Speisewasserpflege
Alkalischen Kesselschutz



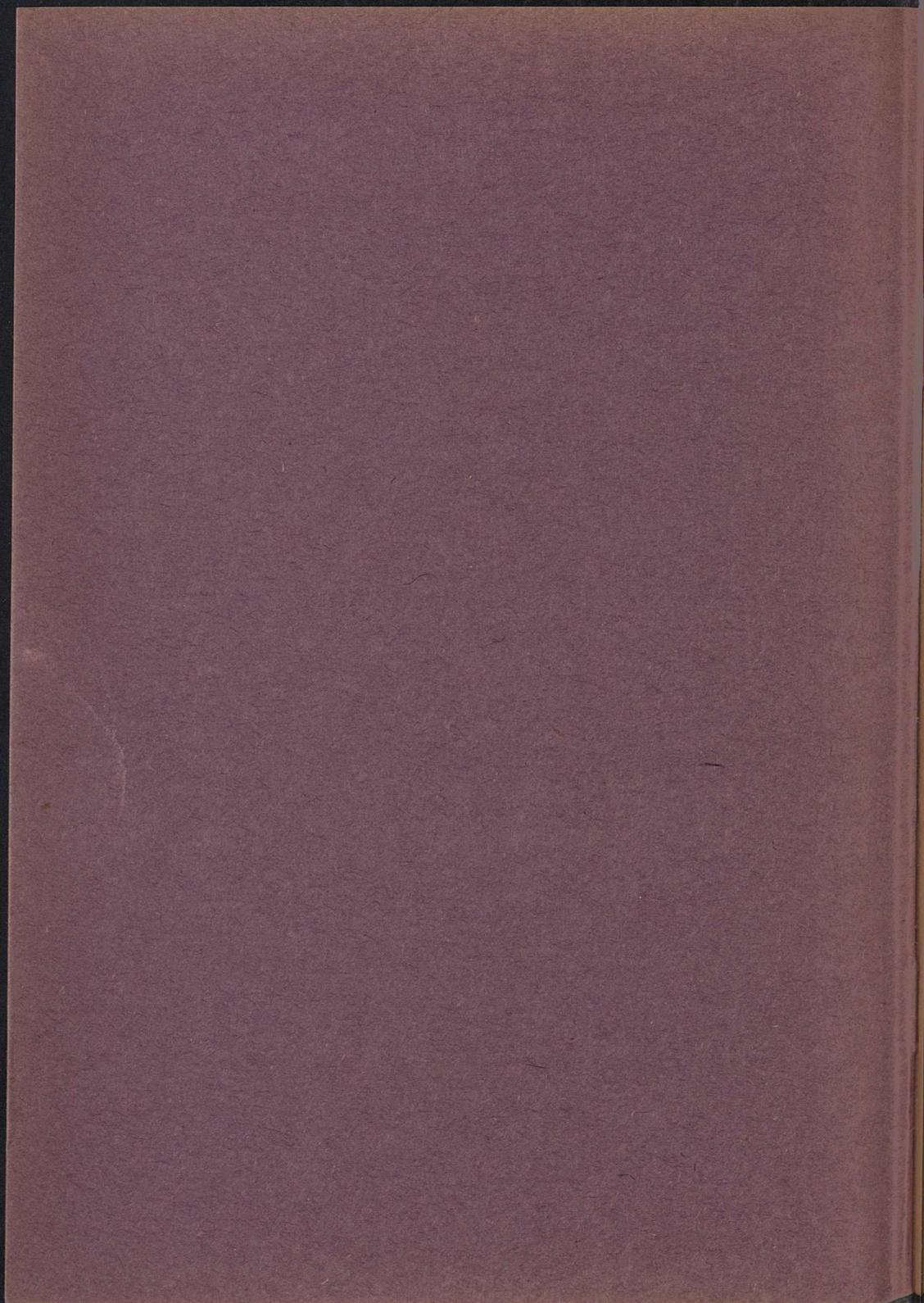
Berlin 1942

Nachdruck 1943

Mit eingearbeitetem Deckblatt 1

Oberkommando der Kriegsmarine

M. Dv. Nr. 847



Lfd.-Nr.: 557
Bibl.-Obj.-Nr.: 72809

Vfl. M. Heft Nr. 2a.

Vorschriften
für
Speisewasserpflege
Alkalischen Kesselschub



Berlin 1942

Nachdruck 1943
Mit eingearbeitetem Deckblatt 1

Oberkommando der Kriegsmarine

M. Dv. Nr. 847

Genehmigt

Berlin, den 13. Januar 1943

Der Oberbefehlshaber der Kriegsmarine

Raeder

Inhaltsverzeichnis.

Teil I.

Vorschrift für Speisewasserpflege und alkalischen Kesselschug.

	Seite
A. Aufgaben von Natrium und Trinatriumphosphat	5
B. Forderungen an die Beschaffenheit des Speise- und Kesselwassers	6
I. Hochdruck-Heißdampfessel	6
a) Speisewasser	6
b) Kesselwasser	7
II. Nahdampfessel	8
1. Wasserrohrkessel	8
a) Speisewasser	8
b) Kesselwasser	9
2. Zylinderkessel	10
a) Speisewasser	11
b) Kesselwasser	12
III. Kessel mit zinkhaltigen Armaturen	12
C. Speise- und Kesselwasser-Untersuchungen	14
Allgemeines (Glasgeräte und Abmessung von Flüssigkeiten)	14
1. Bestimmung des pH Wertes	16
2. " der Alkalitätszahl (AZ)	16
3. " " Phosphatzahl (PZ) nach Demberg	17
4. " " Chloridzahl (ClZ)	18
5. " " Sauerstoffzahl (OZ) nach Winkler	19
6. " " Gesamthärte	22
a) Für Speisewasser von Nahdampfanlagen mit Härten über $0,5^{\circ}$ dH nach Boutron Boudet	22
b) Für Speisewasser von Hochdruck-Heißdampfanlagen mit Härten unter $0,5^{\circ}$ dH nach Boutron Boudet-Zerb	22
D. Meßstellen für die Speise- und Kesselwasser-Untersuchung	23
E. Speise- und Kesselwasser-Überwachungsplan für Hochdruck-Heißdampfessel für See- und Hafenertrieb	24
F. Speise- und Kesselwasser-Überwachungsplan für Nahdampfessel für See- und Hafenertrieb	26
G. Chemikalien-Zusammenstellung, Verpackung und Vorräte	28
H. Apparate und Glasgeräte für die Speisewasser-Untersuchungen und vorrätig zu haltende Reiserbestücke	30

Teil II.

Begriffserklärungen.

1. Wasser	33
2. p_{H} und p_{OH} -Wert	33
3. Indikatoren	37
4. Säuren	37
5. Alkalien und alkalisch wirkende Salze	37
6. Alkalitätszahl (AZ)	37
7. Phosphatzahl (PZ)	38
8. Chloridzahl (ClZ)	38
9. Sauerstoffzahl (OZ)	38
10. Härtebildner und Härte	40
11. Kesselstein	41
12. Dichtebildner und Dichte	42

Teil III.

Ursachen von Kesselschäden, insbesondere von Kesselrohrschäden.

A. Ursachen, Auswirkungen und Bekämpfung von Korrosionen	43
B. Auswirkung von ölhaltigem Kesselwasser	52

Die Speisewasserpflege nach Heft Nr. 2a wird z.Zt. noch nicht einheitlich, sondern je nach Art der Anlage nach besonderen Vorschriften durchgeführt. Heft 2a gilt für alle aus der früheren Kriegsmarine übernommenen Einheiten voll, für alle aus anderen Marinen übernommenen Einheiten nur insoweit, als keine Abweichungen von den Sonderbestimmungen für diese Einheiten bestehen.

Teil I.

Vorschrift für Speisewasserpflege und alkalischen Kesselschutz.

A. Aufgaben von Ätznatron und Trinatriumphosphat.

I. Die Aufgaben von Ätznatron und Trinatriumphosphat als Zusatz zum Speise- oder Kesselwasser sind folgende:

a) Schutz des Werkstoffes (alkalischer Kesselschutz).

Ätznatron und Trinatriumphosphat wirken im Speise- und Kesselwasser hemmend auf die Korrosion, wenn die Anreicherung dieser alkalischen Stoffe im Wasser, die auch als „Schutzstoffe“ bezeichnet werden, in bestimmten Grenzen gehalten und für die ständige Aufrechterhaltung eines ausreichenden p_{H} -Wertes Sorge getragen wird (siehe Teil III unter A).

Die zulässige Anreicherung von Ätznatron (NaOH) und Trinatriumphosphat ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) im Kesselwasser richtet sich

1. nach dem Grade der Enthärtung und Entgärung des Speisewassers,
2. nach der Bauart und den Betriebsverhältnissen der Kessel.

Als Maß für den Gehalt des Kesselwassers an Schutzstoffen dienen die Alkalitätssahl (AZ) und die Phosphatzahl (PZ).

b) Beseitigung der Resthärte (Speise- und Kesselwasserpflege).

Ätznatron und Trinatriumphosphat gehen mit den im Speise- und Kesselwasser befindlichen Härtebildnern (s. Teil II unter 10 und 11) chemische Umsetzungen ein. Die sich hierbei bildenden Ausscheidungen müssen aus dem Kesselwasser durch Abschäumen oder Ausblasen von Kesselwasser entfernt werden.

II. Die im nachfolgenden Abschnitt B. angegebenen Zusätze von Ätznatron und Trinatriumphosphat zum Speise- und Kesselwasser reichen aus, um

1. einen p_{H} -Wert (s. Teil II unter 2), insbesondere durch den Ätznatron-Zusatz, herzustellen, der für den alkalischen Kesselschutz ausreichend ist,
2. die Resthärte unschädlich zu machen, insbesondere durch Trinatriumphosphat-Zusatz, und somit das Ansetzen von Kesselstein (s. Teil II unter 11) zu vermeiden,
3. eine dünne Phosphatschutzschicht (s. Teil III unter A.) durch den Trinatriumphosphat-Zusatz mit dem Eisen zu bilden.

B. Forderungen an die Beschaffenheit des Speise- und Kesselwassers.

I. Hochdruck-Heißdampfessel.

a) Speisewasser.

Das Speisewasser soll klar, sauber, geruchlos und frei von Öl sein.

Der p_{H^+} -Wert darf hinter Regelbehälter gemessen nicht unter 8,5 liegen. Er muß stets zwischen 8,5 und 9,5 gehalten werden. Nach Möglichkeit ist die ständige Einhaltung der oberen Grenze sicherzustellen. Der Ausschlag des elektrischen Salzmeßgerätes hinter Regelbehälter gibt einen gewissen Anhalt für den jeweils im Speisewasser vorhandenen p_{H^+} -Wert, weil die alkalischen Zusätze den Ausschlag des Gerätes beeinflussen. Wenn der Ausschlag zwischen 7 und 10 mg/l liegt, kann damit gerechnet werden, daß der p_{H^+} -Wert in den vorgeschriebenen Grenzen liegt, dies gilt jedoch nur für den Fall, daß der im Speisewasser von der Frischwassererzeugung herrührende Chloridgehalt nicht höher ist als 5 mg/l.

Die Sauerstoffzahl (OZ) soll — hinter Entgaser gemessen — den Wert von 0,05 mg/l nicht überschreiten. Bei Bestimmung der Sauerstoffzahl nach dem Verfahren von Winkler wird der im Speisewasser wirklich vorhandene Sauerstoffgehalt um etwa 0,02 mg/l zu niedrig angezeigt. Daher darf die Sauerstoffzahl, nach Winkler gemessen, nicht mehr als 0,03 mg/l betragen, damit der zulässige Sauerstoffgehalt von 0,05 mg/l nicht überschritten wird. Bei Schiffen und Booten ohne Entgasungsanlagen kann ein Höchstwert für die zulässige Sauerstoffzahl nicht festgesetzt werden. Der Sauerstoffgehalt ist durch betriebliche Maßnahmen möglichst niedrig zu halten.

Bemerk: Auf den M Booten 35 sind, bis auf weiteres, Bestimmungen des p_{H^+} Wertes sowie der Sauerstoffzahl nicht durchzuführen.

Die Chloridzahl (ClZ) — hinter Regelbehälter gemessen — soll nicht größer als 5 mg/l sein. Das gleiche gilt für von Land übernommenes Zusatzwasser.

Der Härtegrad des Speisewassers soll nicht höher als 0,1 dH sein. Das gleiche gilt für von Land übernommenes Zusatzwasser (Destillat), ferner für das unmittelbar hinter dem Frischwassererzeuger entnommene oder dem Speisewasserkreislauf aus Speisewasserzellen zugeföhte Destillat.

Der Abdampfrückstand darf höchstens 10 mg/l betragen. (Untersuchung wird im allgemeinen nur im Laboratorium durchgeführt.)

Um auch die Speisewasser-Rohrleitungen und -Pumpen vor Anfröffungen zu schützen, sind die alkalischen Zusätze während des Betriebes bei Maschinenanlagen mit Überdruck-Entgasern mit der Nil-

Feinzusatzpumpe, bei Anlagen mit Unterdruck-Entgasern mit der Zuzubeinrichtung für Feinregelventil in den Regelbehälter einzuführen. (Siehe hierzu die Beschreibung und Betriebsvorschrift für die Nd-Zuzubanlage und für die Zuzubeinrichtung mit Feinregelventil.) Bei letzterer Einrichtung ist darauf zu achten, daß im Vorratsbehälter für das Feinregelventil stets eine genügende Menge an alkalischer Lösung vorhanden ist, da sonst durch das Feinregelventil Luft in den Unterdruck-Regelbehälter und damit in das Kondensat angesaugt wird.

Bei Anlagen ohne Entgaser ist sinngemäß zu verfahren.

b) Kesselwasser.

Die Alkalitätszahl des Kesselwassers, deren untere Grenze nicht unterschritten werden darf, soll für

Echlotschiffe	}	zwischen 80 und 150 mg/l,
Kreuzer		
Zerstörer		
Torpedoboote		
M-Boote 35		zwischen 400 und 600 mg/l liegen.

Bei Bensonkesseln kann die Alkalitätszahl bis auf 300 mg/l steigen.

Zu beachten ist, daß die Alkalitätszahl des Kesselwassers während des Dampfaufmachens bis zum Erreichen der dem Betriebsdruck zugeordneten Betriebstemperatur ansteigen kann, weil das spezifische Gewicht des Kesselwassers sich ändert und für den abströmenden Dampf zunächst eine Nachspeisung nicht erfolgt. In solchen Fällen ist das Kesselwasser abzuschäumen und der mit der Nd-Feinzusatzpumpe oder mit dem Feinzusatz-Regelventil zuzuführende Alkalizusatz zeitweilig zu verringern, jedoch nicht vollständig zu unterbrechen.

Die Phosphatzahl, deren untere Grenze nicht unterschritten werden darf, soll für

Echlotschiffe	}	zwischen 10 und 25 mg P_2O_5 /l,
Kreuzer		
Zerstörer		
Torpedoboote		
M-Boote 35		zwischen 20 und 40 mg P_2O_5 /l liegen.

Achtung! Beim Ansehen der Lösungen für den alkalischen Zusatz zum Speise- bzw. Kesselwasser ist stets eine Schutzbrille zu tragen.

Die Chloridzahl des Kesselwassers soll bei Hd-Heißdampfkesseln 60 mg/l nicht überschreiten.

Das Kesselwasser ist je nach seinem Verschmutzungsgrad abzuschäumen. Die Zeitdauer, in der die Kessel mit demselben alkalischen Kesselwasser in Betrieb gehalten werden können, hängt naturgemäß von der Chloridzahl des eingespeisten Wassers ab. Die Beschaffenheit des Speisewassers

ist also für den sicheren Kessel-Dauerbetrieb bestimmend. Auf die Gewinnung guten Kondensats aus den Frischwassererzeugern ist deshalb größte Sorgfalt zu verwenden. Die Dichtigkeit der Kondensatoren ist besonders eingehend zu überwachen. (Seewassereintruch!)

Bei stärkerem Fallen der Alkalitäts- (AZ)- oder Phosphatzahl (PZ) einzelner Kessel eines Kraftwerkes, z. B. nach dem Ausdrücken oder Abschäumen, Seewassereintrüchen u. dgl. m., ist die Hd-Zusatzpumpe zur Erhöhung der AZ oder PZ auf die vorgeschriebene Meßzahl zu verwenden (s. Beschreibung und Betriebsvorschrift der Hd-Zusatzpumpe).

Die Kesselwasserproben sollen möglichst keinen Ölshimmer erkennen lassen.

Der Ölgehalt des Kesselwassers soll kleiner sein als 10 mg/l.

II. Naßdampfkessel.

1. Wasserrohrkessel.

a) Speisewasser.

Das Speisewasser soll klar, sauber, geruchlos und frei von Öl sein.

Auf Schiffen mit Zugabe der Schutzstoffe in den Regelbehälter oder in die Speisepumpenleitung soll der p_{H^+} -Wert — in der Speisepumpenleitung gemessen — zwischen 8,5 und 9,5 gehalten werden. Nach Möglichkeit ist die ständige Einhaltung der oberen Grenze anzustreben. Soweit elektrische Salzmeßgeräte im Speisewasserkreislauf hinter der Zugabestelle für die Alkalien angeordnet sind, kann ihr Ausschlag einen gewissen Anhalt für den jeweils im Speisewasser vorhandenen p_{H^+} -Wert geben. Wenn der Ausschlag zwischen 10 und 15 mg/l liegt, kann damit gerechnet werden, daß der p_{H^+} -Wert in den vorgeschriebenen Grenzen liegt, dies gilt jedoch nur für den Fall, daß der Chloridgehalt des Speisewassers nicht höher ist als 10 mg/l.

Der Sauerstoffgehalt soll, auch wenn keine Entgaser vorhanden sind, so niedrig wie möglich gehalten werden.

Die Chloridzahl des Speisewassers soll — hinter Regelbehälter gemessen — unter 10 mg/l liegen.

Der Härtegrad des Speisewassers soll nicht höher sein als 0,5° dH.

Als Zusatzwasser für Wasserrohrkessel bis zu 25 atü Betriebsdruck darf nur destilliertes oder aufbereitetes Wasser benutzt werden, das nicht mehr als 2° dH hat und dessen Chloridzahl bei der Übernahme nicht größer ist als 90 mg/l.

Muß zum Auffüllen der Kessel im Notfall ein Wasser mit mehr als 2° dH verwendet werden, so sind die Kessel (bei normalem Wasserstand) nach Möglichkeit zwei bis drei Tage mit dem alkalischen Zusatz konserviert stehen zu lassen, damit sich die durch Atnatron ($NaOH$) und Trinatriumphosphat ($Na_3 PO_4 \cdot \sim 10 H_2O$) ausgefällten Härtebildner

(Kesselstein s. Teil II unter 11.) in den Unterkesseln absetzen können. Diese Kessel müssen zur Vermeidung des Aufwirbelns des ausgefallenen und abgesetzten Schlammes der Härtebildner langsam angeheizt werden. Der Schlamm ist bei etwa 2 atü Dampfdruck auszublauen. Während des Betriebes ist die zuweitgehende Eindickung des Kesselwassers durch häufiges Abschäumen und Ausblauen von Kesselwasser zu beseitigen.

Bei der Übernahme von Speisewasser ist — besonders in ausländischen Häfen — auch auf die Farbe des Wassers zu achten. Gutes Speisewasser ist farblos oder höchstens ganz schwach gelblich.

Zeigt das Wasser eine auch nach einhalbstündigem Stehen an der Luft noch bleibende Gelbfärbung, die beim Vergleichen mit einer Probe von gutem Trinkwasser sofort auffällt, so enthält das Wasser organische Bestandteile in solchen Mengen, daß es für die Kesselspeisung ungeeignet ist. Läßt sich in solchen Fällen besseres Wasser nicht beschaffen, so kann nur regelmäßiges, reichliches Abschäumen und Ausblauen ein Stoßen und Spucken der Kessel verhindern. Die Verwendung eines Zusatzwassers, das viele organische Bestandteile enthält, muß auch deshalb vermieden werden, weil durch die Zersetzung dieser Stoffe ein poröser, möglicherweise ölbaltiger Kesselstein entstehen kann, der sehr wärmestauend wirkt (s. Teil III unter B).

Weist das Wasser außer einer gelben Färbung noch einen unangenehmen Geruch (Schwefelwasserstoff) auf, so ist es für die Kesselspeisung völlig ungeeignet. Muß im Notfall ein solches Wasser verwendet werden, so treten, infolge der Anwesenheit der gelösten Gase, Korrosionen an Kesselteilen und Armaturen auf. Außerdem wird das Stoßen und Spucken des Kessels nicht zu vermeiden sein.

b) Kesselwasser.

Die Alkalitätszahl des Kesselwassers soll etwa 300 sein.

Die Phosphatzahl soll zwischen 10 und 25, bei ölbaltigem Kesselwasser zwischen 20 und 40 mg P_2O_5 /l liegen. Die untere Grenze darf nicht unterschritten werden.

Die Chloridzahl soll den Wert von 200 mg/l nicht überschreiten.

Diese Vorschriften gelten auch für die Hilfskessel aller Schiffe.

Soweit Feinzusaspumpen, Feinzusatz-Regelventile oder Schleusen bei Naßdampfanlagen nicht eingebaut sind, gilt für die Durchführung des alkalischen Zusatzes folgendes:

Beim Wasserwechsel werden die alkalischen Zusätze, die in einem Eisengefäß aufzulösen sind, durch das obere Manuloch in das Kesselwasser gegeben. In den Betriebspausen (Stillstandszeiten) wird der alkalische Zusatz mit einer Handpumpe oder nach dem Abstellen und Erkalten des Kessels mit Hilfe des Vakuums im Kessel durch ein Wasserstands-Prüfventil dem Kesselwasser zugeführt.

Achtung! Beim Auflösen der Zusatzchemikalien ist stets eine Schutzbrille zu tragen.

Es dürfen nicht mehr als 1 kg Chemikalien auf 8 l Wasser aufgelöst werden, da sich sonst die Zusätze wieder auscheiden und die Zuführungsleitungen verstopfen.

In beiden vorstehend genannten Fällen ist für baldige Durchmischung des Kesselwasserinhalts zu sorgen. Zweckmäßig werden dabei die alkalischen Zusätze kurz vor der Inbetriebnahme zugesetzt. Beim Ansaugenlassen durch das Kesselvakuum ist der benutzte Zusatzweg mit mindestens den gleichen Mengen reinen Speisewassers nachzuspülen, um Beschädigungen durch konzentrierte Lösung oder Verstopfungen zu verhüten.

Die Kesselwasser-Probenahme ist stets bei normalem Wasserstand vorzunehmen. Hierzu ist der Kessel bis zum höchsten Wasserstand aufzufüllen. Dann ist die Speisung zu unterbrechen. Anschließend ist mehrmals durchzublasen und die Probe in dem Augenblick zu entnehmen, in dem der normale Wasserstand erreicht wird. Das zum Auffangen der Probe dienende Gefäß ist mit dem Kesselwasser auszuspülen, bevor die Probe endgültig genommen wird.

Beim Auffüllen eines Kessels sind je m^3 Kesselwasserinhalt 300 g Abnatron (NaOH) und 125 g Trinatriumphosphat ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot \sim 10 \text{H}_2\text{O}$) zuzusetzen. Ein Zusatz von 125 g Trinatriumphosphat je m^3 Kesselwasserinhalt ergibt theoretisch eine Phosphatzahl von 25 $\text{mg P}_2\text{O}_5/l$. Für einen Kessel mit 7 m^3 Wasserinhalt (kalter Kessel) würden also zuzusetzen sein:

$$7 \cdot 300 = 2100 \text{ g NaOH und}$$

$$7 \cdot 125 = 875 \text{ g Na}_3\text{PO}_4 \cdot \sim 10 \text{H}_2\text{O}.$$

Die vorstehend angegebene Menge von 125 g m^3 Trinatriumphosphat kann jedoch beim Auffüllen des Kessels, — je nach dem bekannten oder vorher festzustellenden Härtegrad des benutzten Wassers — um 50 g m^3 für 1° dH erhöht werden, um ein schnelles Absinken der Phosphatzahl zu vermeiden.

Es ist besonders darauf zu achten, daß die vorgeschriebenen Werte für die Alkalitäts- und Phosphatzahl stets vorhanden sind.

2. Zylinderkessel.

Bereits längere Zeit in Betrieb befindliche Zylinderkessel, deren Speise- und Kesselwasser nicht oder nicht genügend alkalisch behandelt worden ist, weisen zum Teil infolge starken Kesselsteinansatzes und dadurch verursachten Wärmestauungen Undichtheiten an Nieten, Nähten usw. auf. Solche Undichtheiten sind oft schwierig zu beseitigen.

Bei nachträglich einsetzender alkalischer Behandlung des Speise- und Kesselwassers solcher Zylinderkessel in der Art, wie sie für Naßdampf-Wasserrohrkessel vorgeschrieben und — gegebenenfalls (s. nachstehend unter III.) — für neue Zylinderkessel durchführbar ist, würden sich diese

Undichtheiten infolge der mehr oder minder starken Beseitigung des Kesselsteinbelags, insbesondere durch Trinatriumphosphatzusatz, noch mehr unangenehm und störend bemerkbar machen.

Eine alkalische Behandlung des Speise- und Kesselwassers in der Art, wie sie für Wasserrohrkessel erforderlich ist, wird deshalb für alte und meist mit zinkhaltigen Armaturen versehene Zylinderkessel nicht allgemein vorgeschrieben, sondern die Notwendigkeit häufigerer Kesseluntersuchungen, -reinigungen und -ausbesserungen zunächst noch in Kauf genommen.

Für die Speise- und Kesselwasserbehandlung derartiger Zylinderkessel gilt folgendes:

a) Speisewasser:

Als Speisewasser für Zylinderkessel mit mehr als 3 atü Dampfdruck ist ein möglichst weiches und reines Wasser, d. h. also destilliertes oder bis auf etwa 0,5° dH enthärtetes Wasser zu verwenden.

Das Speisewasser ist täglich zweimal auf seine Chloridzahl zu untersuchen. Sie soll unter 20 mg/l liegen.

Um schädlichen Auswirkungen von Zylinder-Schmieröl im Kesselwasser entgegenzuarbeiten zu können, kann dem Speisewasser im Regelbehälter (Warmwasserkasten) laufend eine gewisse Menge Soda zugesetzt werden, die jedoch vor dem Zusetzen in Seewasser aufzulösen ist. Hierdurch wird hauptsächlich verhindert, daß sich zusammenhängende Ablagerungen an den Kesselwandungen bilden. Es entsteht ein Niederschlag, der nach dem Trocknen erdige und pulverförmige Beschaffenheit zeigt. Die Wirkung der in Seewasser gelösten Soda besteht also darin, daß die im Seewasser enthaltenen Härtebildner in Verbindung mit der Soda kleine Steilchen mit einer Trennungsschicht umgeben und somit eine Vereinerung derselben zu einem wärmestauenden Wandbelag verhindern. Der sich bildende und zu Boden sinkende Schlamm ist regelmäßig auszublasen. Eine noch bessere Wirkung läßt sich mit dem Zusatz von Trinatriumphosphat (s. nachstehend unter III.) durch den entstehenden Phosphat-schlamm erreichen.

Wird dem Speisewasser Soda zugesetzt, so gilt für die zuzusetzende Menge an Soda, die sich nach der Menge des verbrauchten Zylinder-Schmieröls richtet, folgendes:

Bei Kristallsoda (etwa 35 % Sodagehalt) sind 1,5 kg Soda auf 1 kg verbrauchtes Zylinderöl zu nehmen. Diese Sodamenge ist in zehnfacher Seewassermenge aufzulösen. Wird kalzinierte Soda (etwa 95 % Sodagehalt) verwendet, sind nur 0,5 kg Soda auf 1 kg verbrauchtes Zylinderöl zu nehmen. Die Sodamenge ist in diesem Fall in der dreißigfachen Menge Seewasser aufzulösen.

Wenn der Salzgehalt des Speisewassers 100 mg/l (d. h. Chloridzahl rund 60 mg/l), überschreitet, ist zu prüfen, ob Seewassereintrich eingetreten ist (z. B. durch undichte Kondensatoren).

Als Zusatzwasser soll nur destilliertes oder aufbereitetes Wasser benutzt werden, das nicht mehr als 2° dH hat und dessen Chloridgehalt bei der Übernahme nicht größer als 90 mg/l ist.

Müssen Zylinderkessel in Notfällen mit anderem als destilliertem oder enthärtetem, z. B. mit stark versalztem Wasser (Seewassereintrich) gespeist werden, sind diese Kessel bei der nächsten sich bietenden Gelegenheit aufzunehmen, zu untersuchen und — falls nötig — zu reinigen.

b) Kesselwasser:

Die Menge der Dichtebildner im Kesselwasser bzw. dessen Dichte (s. Teil II unter 12) ist auf jeder Wache einmal durch Salzmeßgeräte (z. B. Salinometer) zu messen.

Im allgemeinen ist die Dichte zwischen 2 bis 3‰ zu halten. Sie darf 9‰ nicht überschreiten. Die Salinometer, die in den Betriebsräumen verwendet werden (Gebrauchsalinometer), sind des öfteren mit dem an Bord befindlichen Kontrollsalinometer zu vergleichen.

Bemerkt wird, daß mit dem Salinometer nicht der Kochsalzgehalt (oder „Salzgehalt“), sondern die Gesamtmenge aller im Kesselwasser gelösten Dichtebildner im Vergleich zu chemisch reinem Wasser, bezogen auf gleiche Temperatur, festgestellt wird.

Wird dem Kesselwasser Soda zugesetzt, ist durch Zugabe von einigen Tropfen Phenolphthalein zur Kesselwasserprobe festzustellen, ob Farbumschlag nach rot eintritt. Als Annäherungsregel gilt hierbei folgendes:

Wird die Wasserprobe gar nicht rot, so ist zu wenig Soda im Kesselwasser, wird sie tiefdunkelrot, so ist zuviel Soda im Kesselwasser. Eine deutliche Rosafärbung ist das Kennzeichen für richtigen Sodazusatz.

III. Kessel mit zinkhaltigen Armaturen.

Sind Armaturen von Zylinder- wie auch Wasserrohrkesseln sowie im Speisewasser-Kreislauf liegende Rohrleitungs- und Pumpenteile noch aus zinkhaltigen Kupferlegierungen hergestellt, so ist die alkalische Speisewasserbehandlung und damit auch der alkalische Kesselschutz mit Aznatron wegen der Alkaliempfindlichkeit des Zinks nicht durchführbar. Dem Speise- oder Kesselwasser darf daher Aznatron nicht zugesetzt werden, während der Zusatz von Trinatriumphosphat erfolgen kann, weil die Angriffsfähigkeit des Trinatriumphosphats auf Zink viel geringer ist als die von Aznatron auf Zink.

Die Phosphatzahl des Kesselwassers ist zwischen 10 und 25, bei ölhaltigem Kesselwasser zwischen 20 und 40 mg P_2O_5 /l zu halten. (Bestimmung der PZ s. Teil I unter C. 3.)

Die Chloridzahl des Kesselwassers soll bei derartigen Wasserrohrkesseln den Wert von 200 mg/l bei Kesseln ohne Überhitzer, 60 mg/l bei Kesseln mit Überhitzer nicht überschreiten.

Im übrigen gelten für solche Dampfkessel die gleichen Vorschriften für Speise- und Kesselwasserbehandlung, wie sie im Teil I unter B. II. 1 und 2 angegeben sind.

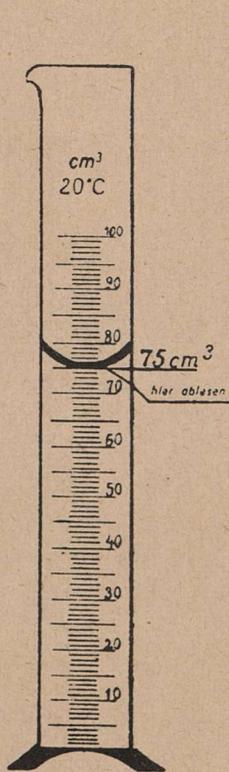
C. Speise- und Kesselwasser-Untersuchungen.

Allgemeines.

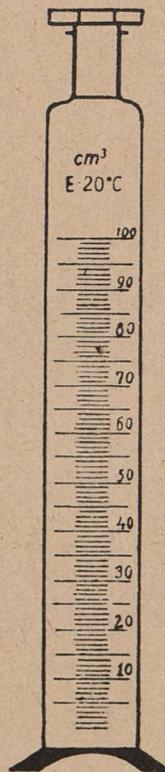
1. Flüssigkeiten, deren Menge abgemessen werden soll, müssen auf annähernd 20° C abgekühlt werden. Trübe und schmutzige Flüssigkeiten müssen vorher filtriert werden.
2. Die Gefäße sind stets sauber zu halten.
3. Nach Gebrauch ist jedes Gerät sofort dreimal mit destilliertem Wasser gut auszuspülen.

Meßzylinder (Abb. 1) und Mischzylinder (Abb. 2).

Beim Abmessen einer bestimmten Flüssigkeitsmenge in einem Meß- oder Mischzylinder bringt man die Unterkante des Flüssigkeitspiegels mit der Strichmarke für die gewünschten cm^3 zur Deckung (siehe Abbildung 1).



Meßzylinder
Abbildung 1.



Mischzylinder
Abbildung 2.

Füllen der Pipette (Abb. 3).

1. Pipette tief genug in die Flüssigkeit tauchen.
2. Die Flüssigkeit bis über die Marke ansaugen.
3. Pipette mit dem schwach angefeuchteten Zeigefinger verschließen.
4. Ringmarke der verschlossenen Pipette in Augenhöhe bringen.
5. Durch vorsichtiges Lüften des Zeigefingers so lange Flüssigkeit aus der Pipette laufen lassen, bis sich die Unterkante des Flüssigkeitspiegels mit der Marke deckt.

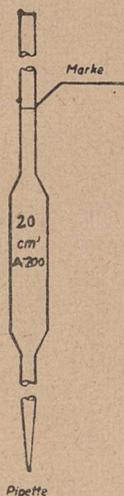


Abbildung 3.

Auslauf der Pipette.

1. Flüssigkeit ruhig auslaufen lassen.
 2. Pipette nach dem Auslauf noch etwa 15 bis 20 Sekunden ruhig halten und an der inneren Gefäßwand abstreifen.
- Nicht ausblasen! —

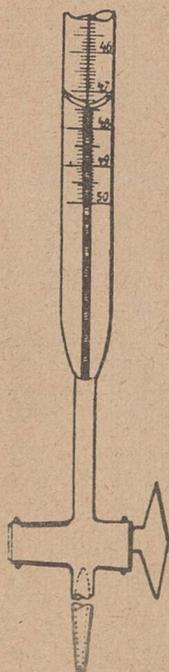


Bürette (Abb. 4 und 5).

Die Büretten für die Bestimmung der Sauerstoff- (OZ), Alkalitäts- (AZ) und Chloridzahl (ClZ) besitzen eine Maßeinteilung in $\frac{1}{10}$ cm³. Die Bürette für die Härtebestimmung, nach Boutron-Boudet ist in Härtegrade eingeteilt.

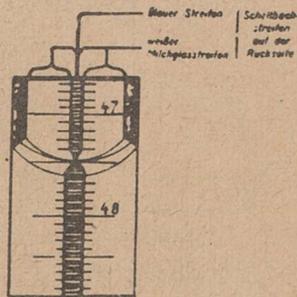
Vor dem Gebrauch wird die Bürette zweimal mit je etwa 10 cm³ der Flüssigkeit, die in die Bürette gefüllt werden soll, ausgespült. Die Flüssigkeit ist durch den Hahn ablaufen zu lassen. Dann ist die Bürette bis über den Nullstrich zu füllen und in der Halterung zu befestigen. Die überschüssige Flüssigkeit läßt man wieder durch den Hahn abfließen, bis der Flüssigkeitspiegel auf dem Nullstrich steht. Dabei muß darauf geachtet werden, daß das Auslaufrohr unterhalb des Hahnes ganz mit Flüssigkeit gefüllt ist. (Keine Luftblasen!)

Zum Ablesen der Flüssigkeitsmenge wird das Auge in Höhe des Flüssigkeitspiegels gebracht. Durch den Flüssig-



Bürette

Abbildung 4.



Ablesen des Flüssigkeitspiegels

Abbildung 5.

feitspiegel sieht man eine feine blaue Spitze. Es wird die Marke abgelesen, auf die diese blaue Spitze zeigt (Abb. 5).

Der Hahn der Bürette muß leicht mit Hahnfett eingefettet werden. Übermäßiges Einfetten ist zu vermeiden.

1. Bestimmung des p_H -Wertes.

Zur Durchführung der Bestimmung werden das p_H -Meßgerät von Hellige und der Hellige-Universalindikator gebraucht.

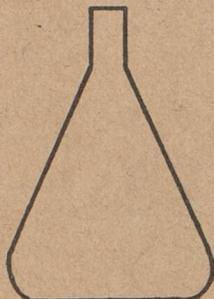
Das Meßglas ist zweimal mit dem zu untersuchenden Wasser auszuspülen. Zuerst sind in das Meßglas aus der Kapillartropfflasche 9 Tropfen Universalindikator zu geben. Dann ist das Meßglas mit dem zu untersuchenden Wasser bis zur 10-cm³-Marke aufzufüllen und in das p_H -Meßgerät (linke rechteckige Ausparung des Schiebers) zu bringen.

Die entstandene Farbtonung ist mit der Farbtafel des p_H -Meßgerätes zu vergleichen. Neben dem Farbfeld, das die gleiche Farbe wie die Wasserprobe hat, ist der p_H -Wert (s. Teil II unter 2.) abzulesen. Liegt die Farbtonung der Wasserprobe zwischen den Farben zweier benachbarter Farbfelder der Farbtafel, so ist für den p_H -Wert der entsprechende Zwischenwert abzuschätzen.

Bemerk: Auf den M-Booten 35 ist die Bestimmung des p_H -Wertes bis auf weiteres nicht auszuführen.

2. Bestimmung der Alkalitätszahl (AZ).

Mit einer Pipette sind genau 100 cm³ der Wasserprobe in einen Erlenmeyer-Kolben (Abb. 6) zu geben. Ist das Wasser trübe, dann ist die Wasserprobe vor dem Abmessen der 100 cm³ zu filtrieren. Danach sind etwa drei Tropfen Phenolphthalein-Lösung zum Wasser zu geben. Das Wasser färbt sich rot. Anschließend ist die mit „Sa“ bezeichnete Bürette bis zur Nullmarke mit $\frac{1}{10}$ normaler Salzsäure zu füllen. Aus der Bürette ist Salzsäure tropfenweise — unter ständigem Umschwenken des Kolbens — in die Wasserprobe zu geben.



Erlenmeyerkolben

Abbildung 6.

Es ist soviel Salzsäure zuzugeben, bis die rote Färbung des Wassers gerade eben verschwindet. Die Anzahl der verbrauchten cm³ der $\frac{1}{10}$ normalen Salzsäure, die als „p“-Faktor (s. Teil II unter 6) bezeichnet werden, ist aufzuschreiben und mit 40 malzunehmen.

Das Ergebnis ist die „Alkalitätszahl“:

$$AZ = 40 \cdot p.$$

3. Bestimmung der Phosphatzahl (PZ) nach Demberg.

a) Bestimmung mit unverdünnter Wasserprobe.

Mittels Messpipette sind 2 cm³ der zu untersuchenden, unverdünnten Wasserprobe in ein Reagenzglas zu geben, das bei 2 und 10 cm³ Inhalt eine Messmarke besitzt.

Dann sind 0,5 cm³ salpetersaure Ammoniummolybdatlösung (Lösung aus Flasche I) und 0,3 cm³ essigsäure Benzidinlösung (Lösung aus Flasche II) zur Wasserprobe zu geben. (Reihenfolge beachten!) Anschließend ist das Reagenzglas mit gesättigtem essigsäurem Natrium (Natriumacetat-Lösung aus Flasche III) auf 10 cm³ (bis zur oberen Marke) aufzufüllen. Enthält die Wasserprobe Phosphat, dann entsteht eine Blaufärbung. Das Reagenzglas ist jetzt in das Kolorimeter zu bringen. Die entstandene Farbtönung ist im Kolorimeter mit demjenigen Farbglas zu vergleichen, das den gleichen Farbton wie die Wasserprobe hat. Die zu diesem Farbglas gehörende Zahl wird als „Phosphatzahl“ abgelesen.

Liegt die abgeschätzte Phosphatzahl der unverdünnten Wasserprobe zwischen 15 und 25, dann ist die Bestimmung der Phosphatzahl zu wiederholen. Um die richtige Phosphatzahl bestimmen zu können, sind Verdünnungen in wechselnden Verhältnissen so oft durchzuführen, bis vergleichende Prüfungen mit mindestens zwei verschiedenen Verdünnungen (nach den Umrechnungen mit dem Verdünnungsfaktor) praktisch übereinstimmende Ergebnisse zeigen.

b) Bestimmung mit verdünnter Wasserprobe.

In einem Mischungszylinder sind 30 cm³ von der zu untersuchenden Wasserprobe zu geben und anschließend 60 cm³ destilliertes, phosphatfreies Wasser oder Brüdenkondensat vom Frischwassererzeuger. (Verdünnung ist also 1 : 3).

(Das destillierte Wasser oder das Brüdenkondensat ist vorher auf Phosphatgehalt zu prüfen.) Der Mischungszylinder ist zu verschließen und das Wasser kurzzeitig durchzuschütteln.

Für diese 1 : 3 verdünnte Phosphatlösung ist die Phosphatbestimmung, wie vorher beschrieben, durchzuführen. Ist die jetzt gefundene Phosphatzahl annähernd ein Drittel so groß, wie die zuerst bestimmte Zahl, dann war die erste Bestimmung richtig und die zuerst gefundene Phosphatzahl ist anzugeben.

Liegt die Phosphatzahl der verdünnten Lösung jedoch auch zwischen 15 und 25, dann stimmt sie nicht mit dem errechneten Wert aus dem

Verdünnungsverhältnis überein, d. h., die mit der unverdünnten Lösung bestimmte Phosphatzahl ist falsch.

In diesem Falle sind solange wechselnde Verdünnungsverhältnisse herzustellen, bis die Phosphatzahlbestimmungen zweier verschiedener Verdünnungen, unter Berücksichtigung des Verdünnungsfaktors, gleiche Phosphatzahlen ergeben.

Dieses Verfahren ist auch für die Bestimmung der Phosphatzahl in ölbaltigen sowie silikathaltigen Wässern (bis zu 200 mg/l Si O₂) brauchbar.

Beispiel 1:

a) PZ bei unverdünnter Wasserprobe	20
b) PZ für die 1 : 3 verdünnte, ursprüngliche Wasserprobe	6
Da die Verdünnung 1 : 3 war, errechnet sich die Phosphatzahl der unverdünnten Wasserprobe zu 3×6	18
Die errechnete Phosphatzahl 18 und die mit 20 bestimmte PZ der unverdünnten Wasserprobe stimmen also praktisch überein. Daher ist die Bestimmung der PZ der unverdünnten Wasserprobe richtig gewesen.	

Beispiel 2:

a) PZ der unverdünnten Wasserprobe	20 bis 25
b) PZ für die 1 : 3 verdünnte, ursprüngliche Wasserprobe	20
Errechnete PZ der unverdünnten Lösung: 3×20	60
c) PZ für die 1 : 6 verdünnte, ursprüngliche Wasserprobe	9
Errechnete PZ der unverdünnten Wasserprobe 6×9	54

Da die aus den beiden Verdünnungen b) und c) errechneten Phosphatzahlen 60 und 54 praktisch übereinstimmen, liegt also die PZ der ursprünglichen Wasserprobe zwischen 54 und 60. Der zuerst ermittelte Wert von 20 bis 25 der unverdünnten Wasserprobe war also falsch.

4. Bestimmung der Chloridzahl (ClZ).

a) Bestimmung der Chloridzahl von Speise- bzw. Kesselwasser durch Titration.

Zur Bestimmung der Chloridzahl des Speisewassers sind mit einer Pipette 100 cm³,

zur Bestimmung der Chloridzahl des Kesselwassers sind 20 cm³ in eine Porzellanschale (nicht Erlenmeyer-Kolben) zu füllen.

Der Wasserprobe sind dann etwa drei Tropfen Phenolphthalein zuzusetzen. Ist Rotfärbung aufgetreten, so ist verdünnte Salpetersäure (keine Salzsäure!) tropfenweise — unter ständigem Umrühren mit einem Glasstab — der Wasserprobe zuzusetzen, bis die Rotfärbung gerade ver-

schwindet. Dann sind 20 Tropfen der 10prozentigen Kaliumchromatlösung zur Wasserprobe zu geben. Es tritt jetzt Gelbfärbung auf.

Unter ständigem Amrühren des Wassers ist aus der mit „Si“ bezeichneten Bürette Silbernitratlösung (4,79 g/l) der Wasserprobe tropfenweise hinzuzugeben, bis in der gelben Flüssigkeit erstmalig ein schwacher, rotbrauner Schimmer bestehen bleibt. Die Anzahl der verbrauchten cm^3 der Silbernitratlösung ist aufzuschreiben.

Bei der Untersuchung von 100 cm^3 Speisewasser sind die verbrauchten cm^3 Silbernitratlösung mit 10,

bei der Untersuchung von 20 cm^3 Keisewasser sind die verbrauchten cm^3 Silbernitratlösung mit 50 malzunehmen. Die errechneten Werte sind die Chloridzahlen.

- Vermerk:**
1. An der Eintropfstelle der Silbernitratlösung in die Wasserprobe tritt zuerst ein rotbrauner Fleck auf, der jedoch beim Amrühren wieder verschwindet.
 2. Nach dem Gebrauch sind die Gefäße mit destilliertem Wasser sorgfältig zu säubern.

b) Angenäherte Bestimmung der Chloridzahl von Speisewasser mit dem kleinen Salzmeßgerät.

Das Meßglas ist bis zur Marke 50 cm^3 mit dem zu untersuchenden Wasser zu füllen. Dem zu untersuchenden Wasser sind 20 Tropfen 10prozentige Kaliumchromatlösung zuzugeben, wodurch sich das Wasser gelb färbt. Jetzt ist der Wasserprobe tropfenweise Silbernitratlösung (4,79 g/l) aus der Tropfflasche hinzuzugeben. Die im Meßglas befindliche Wasserprobe ist nach jedem Eintropfen so umzuschwenken, daß der Inhalt gut durchgemischt wird. An der Eintropfstelle entsteht jedesmal ein rotbrauner Niederschlag, der beim Umschwenken wieder verschwindet. Im Wasser entsteht eine weiße Trübung. Wenn erstmals nach dem Umschwenken ein rotbrauner Schimmer bestehen bleibt, ist die Zugabe der Silbernitratlösung beendet.

Die Chloridzahl errechnet sich aus der Anzahl der aus der Tropfflasche verbrauchten Tropfen Silbernitratlösung, die mit $\frac{1}{2}$ malzunehmen ist.

5. Bestimmung der Sauerstoffzahl (OZ) nach Winkler.

a) Probenahme.

Die Sauerstoffmeßflasche ist soweit über das Entnahmegerät des Meßfühlers zu führen, bis das Rohr etwa 5 mm über dem Flaschenboden steht. Dann läßt man das Wasser in der Flasche langsam aufsteigen und mindestens eine Minute lang aus dem Flaschenhals überlaufen, um das mit Luft in Berührung gekommene Wasser zu verdrängen. Nachdem man dann die Flasche ohne Unterbrechung des Wasserzuflusses langsam

gesenkt hat, bis das Entnahmerohr des Meßstüblers nicht mehr in die Flasche taucht, ist möglichst schnell, aber vorsichtig, der schräg abgeschliffene Glasstopfen aufzusetzen, so daß keine Luftblase unter dem Stopfen bleibt. Danach ist die Klammer über den Glasstopfen zu schieben und die Flasche, mit dem Stopfen nach unten, in einem mit Destillat oder Speisewasser gefüllten Blechgefäß zum Untersuchungsraum zu bringen.

Vermerk: Zeigen sich vor der Untersuchung unter dem Glasstopfen Luftblasen, so ist die Probe zu verwerfen und noch einmal zu ziehen. Es ist darauf zu achten, daß das Wasser, das aus dem Meßstübler bei der Probenahme fließt, eine Temperatur von nicht mehr als 30° C hat.

b) Ausführung.

Im Untersuchungsraum, für dessen Beleuchtung eine Tageslichtlampe erforderlich ist, ist der Wasserprobe mittels der eigens hierfür vorgesehenen Pipette zuerst 1 cm^3 Manganchlorurlösung dicht über dem Boden der mit der Wasserprobe gefüllten Flasche zuzusetzen. Darauf ist ebenfalls mit der eigens hierfür vorgesehenen Pipette 1 cm^3 jodkaliumhaltige Natronlauge (Reihenfolge genau beachten!) dicht über dem Boden der gefüllten Flasche zuzugeben, ungeachtet etwaigen Überlaufens von Wasser. (Der Gebrauch von Büretten zum Zufüllen dieser Lösung ist grundsätzlich falsch.) Die Zugabe der beiden Lösungen soll möglichst rasch erfolgen. Anschließend ist der Glasstopfen sofort wieder aufzusetzen, ohne das Austreten von Wasser aus dem Flaschenhals zu beachten. Durch Drehen der Flasche wird der Inhalt gemischt.

Der entstehende Niederschlag bleibt weiß, wenn der Sauerstoffgehalt im Wasser entweder sehr klein oder praktisch Null ist. Je mehr Sauerstoff in der Wasserprobe war, desto stärker ist der Niederschlag von schwach gelb bis braun gefärbt.

Nachdem sich der Niederschlag abgesetzt hat, ist die Flasche durch Drehen des Stopfens vorsichtig zu öffnen (ohne Aufwirbelung des Niederschlages!) und sofort sind mit der dafür eigens vorgesehenen Pipette 5 cm^3 konzentrierte Phosphorsäure zuzugeben, ohne Beachtung des überlaufenden Wassers. Die Flasche ist dann wieder zu verschließen und der Inhalt durch Drehen zu mischen, bis sich der Niederschlag vollständig aufgelöst hat.

Der Inhalt der Flasche ist nunmehr ohne Verlust in einen Erlenneyer-Kolben zu geben. Danach sind 5 cm^3 haltbar gemachte, 10prozentige Stärkelösung zuzusetzen. Färbt sich hierbei die Lösung blau, so ist, unter ständigem Umschwenken des Erlenneyer-Kolbens, $\frac{1}{100}$ normale Natriumthiosulfatlösung aus einer Bürette tropfenweise solange zuzusetzen, bis gerade der letzte blaue Schimmer der Lösung verschwunden ist. Dabei ist ein Stück weißes Papier zum besseren Erkennen der Farbtonung unter den Erlenneyer-Kolben zu legen.

Der Verbrauch der Natriumthiosulfatlösung ist jetzt abzulesen. Eine nachträglich wieder auftretende Blaufärbung des Wassers wird nicht berücksichtigt.

Wenn von der $\frac{1}{100}$ normalen Natriumthiosulfatlösung (n) cm³ verbraucht worden sind und V der Inhalt der Flasche in cm³ ist (auf den Flaschen eingezäht), dann errechnet sich die Sauerstoffzahl (OZ) in mg l wie folgt:

$$OZ = \left(\frac{80}{V - 2} \right) \cdot n \text{ Sauerstoff in mg l.}$$

Der Faktor $\left(\frac{80}{V - 2} \right)$ kann für jede Flasche vor den Sauerstoff-Bestimmungen ausgerechnet werden. Die Zahl 80 ist ein Rechnungsfaktor, der sich durch die Anwendung der Natriumthiosulfatlösung ergibt. Die von V abzuziehende Zahl 2 berücksichtigt die durch die beiden zuerst zugegebenen Reagenzien aus der Flasche verdrängten 2 cm³ Wasser.

Bemerk: a) Bei den M-Booten 35 ist die Bestimmung der OZ bis auf weiteres nicht auszuführen.

- b) Wenn je Tag nur wenige Sauerstoffbestimmungen durchzuführen sind, ist die Bürette nur mit 10 bis 15 cm³ Natriumthiosulfatlösung aufzufüllen. Die Füllung der Bürette ist bei täglichem Gebrauch alle 24 Stunden aus der Vorratsflasche zu erneuern. Die Bürette ist oben durch einen übergefüllten Bürettentrichter dauernd verschlossen zu halten.
- c) Die Sauerstoff Bestimmung nach Winkler ergibt nur Ergebnisse von ausreichender Genauigkeit, wenn Sulfid, Si oder organische Stoffe in dem zu untersuchenden Wasser nicht enthalten sind. Bei Gegenwart derartiger Stoffe kann mit dem Verfahren nach Alsterberg mit größerer, jedoch auch noch nicht ausreichender Genauigkeit gearbeitet werden.

Auch bei Nichtvorhandensein von Sulfid, Si oder organischen Beimengungen sind beide Verfahren für die Bestimmung von Sauerstoffmengen unter 0,02 mg l insofern der in beiden Verfahren liegenden, chemisch bedingten Fehler nicht brauchbar. Weiterhin werden die Endergebnisse durch den Sauerstoffgehalt der Zusatzchemikalien (bei Winkler werden 5, bei Alsterberg 7 Zusatzchemikalien benötigt) beeinflusst.

Um die Sauerstoff Bestimmung für den Vordbetrieb möglichst einfach zu machen, wird z. Bt. das mit „Tolidin Methode“ bezeichnete Sauerstoff Messverfahren, das sich an das Verfahren von Winkler anlehnt, noch geprüft.

Beim Tolidin Verfahren vereinfacht sich die Sauerstoff Bestimmung, da wie bei der Bestimmung des pH Wertes und der Phosphatzahl nicht titriert, sondern mit Farbvergleich gearbeitet wird. Bei weiterer Bewährung des Verfahrens wird es voraussichtlich in den Vord und Landbetrieb der Kriegsmarine eingeführt werden können.

6. Bestimmung der Gesamthärte.

a) Für Speisewasser von Naßdampfanlagen mit Härten über $0,5^{\circ}$ dH nach Boutron-Boudet.

40 cm³ des zu untersuchenden Wassers sind in den Mischzylinder zu füllen. Danach ist 1 Tablette Kochsalz (0,2 g) zur Wasserprobe zu geben. Hierauf ist 0,1 cm³ phenolphthaleinlösung der Wasserprobe zuzusetzen.

Färbt sich die Wasserprobe rot, so ist aus der mit „Sa“ bezeichneten Bürette $\frac{1}{10}$ n-Salzsäure tropfenweise so lange hinzuzugeben, bis die Wasserprobe eine gerade noch deutlich sichtbare Rosafärbung zeigt. Wird dagegen das Wasser nach der Zugabe von Phenolphthalein weder rosa noch rot, sondern bleibt es farblos, dann wird so lange $\frac{1}{10}$ n-Natronlauge aus einer Bürette tropfenweise zur Wasserprobe zugegeben, bis das Wasser eine gerade deutlich sichtbare Rosafärbung angenommen hat.

Aus der bis zur Füllmarke mit der Seifenlösung gefüllten Bürette ist (in kleinen Anteilen) Seifenlösung zur Wasserprobe zuzugeben. Nach dem Verschließen des Mischzylinders ist die Wasserprobe jedesmal kräftig durchzuschütteln. Die Seifenlösung wird so lange in kleinen Anteilen zugefegt, bis ein bleibender, kleinblasiger, nicht mehr knisternder Schaum entsteht.

Verschwimmt dieser Schaum bei weiterer Zugabe der Seifenlösung wieder, so ist mit dem Zusatz der Seifenlösung so lange fortzufahren, bis erneut der kleinblasige, nicht mehr knisternde Schaum stehenbleibt. Das Aufhören des Knisterns läßt sich am besten wahrnehmen, wenn man das Ohr nach Entweichenlassen der eingeschüttelten Luftblasen an das geöffnete Gefäß hält.

Der Stand der Seifenlösung in der Bürette gibt die Gesamthärte in dH an.

b) Für Speisewasser von Hochdruck-Heißdampfanlagen mit Härten unter $0,5^{\circ}$ dH nach Boutron-Boudet-Sevb.

Die Durchführung der Härte-Bestimmung geschieht genau so, wie vorstehend unter 6. a) angegeben. Es ist jedoch statt der Seifenlösung von Boutron-Boudet die verdünnte Seifenlösung von Boutron-Boudet-Sevb zu benutzen.

Die an der Bürette abgelesenen Zahlenwerte sind durch 10 zu teilen und ergeben dann unmittelbar die Gesamthärte in $^{\circ}$ dH.

Bemerk: Wenn die Seifenlösung von Boutron Boudet in der Flasche einen Bodensatz hat, so wird die verschlossene Flasche in warmes Wasser (nicht über 45° C) gestellt und der Bodensatz wieder aufgelöst. Die Seifenlösung ist dann wieder brauchbar.

D. Meßstellen für die Speise- und Kesselwasser-Untersuchung.

a) Benson- und La Mont-Kessel mit Unterdruck-Entgasern.

Nr.	Wasserentnahmestelle	Kühlergröße	Untersuchung auf		
1.	Zubringepumpendruckleitung	II	pH	OZ	CIZ
2.	Kesselintritt	I		OZ	
3.	Bensontrommel unten, La-Mont-Trommel Wasserraum	I	AZ	PZ	CIZ

b) Anlagen mit Überdruck- und Entspannungs-Entgasern, sowie alle Anlagen mit Wagner-Kesseln*).

1.	Kondensatpumpendruckleitung	II		OZ	CIZ
2.	Hinter Rückkühler	II	pH**)	OZ	
3.	Kesselintritt vor Speiseventil	I		OZ	
4.	Obertrommel	I	AZ	PZ	CIZ

c) M-Boote 35.

1.	Kesselintritt vor Speiseventil	I			CIZ
2.	Obertrommel	I	AZ	PZ	CIZ

d) Naßdampfchiffe.

1.	Speisepumpendruckleitung	II	pH**)		CIZ
2.	Obertrommel	I	AZ	PZ	CIZ

*) Bei Wagnerkesseln ohne Entgasungsanlagen entfallen Meßstellen 2 u. 3.

***) Nur bei Schiffen mit Alkalienzugabe in den Regelbehälter oder in die Speisepumpenleitung.

E. Speise- und Kesselwasser-Überwachungsplan für Hochdruck-Heißdampfessel für See- und Hafenebetrieb.

a) Speisewasser.

	Wagner-Kessel.	Denion-Kessel.	La-Mont-Kessel.
1.	Bei Zugabe von Destillat aus Vorratszellen in den Speisewasserkreislauf ist das Destillat mit dem kleinen Salzmeßgerät auf Chloridgehalt zu untersuchen. Sie soll 5 mg/l nicht überschreiten. Der Särtegrad für Zufluß- und Speisewasser soll nicht höher sein als 0,1° dH. Zusatzwasser ist vor Abernahme zu untersuchen.		
2.	Vakuum und Unterföhlung des Kondensats im Kondensator sind laufend zu beobachten. Die Unterföhlung eintreue kleiner als 5° C sein (Wasserstand beobachten!). Größere (scheinbare) Unterföhlung kann u. U. auf Luft eintreue zurückzuführen sein.		
3.	Drücke und Temperaturen in der Entgasungszone des Entgasers wie auch Temperaturen im Wasserraum des Regelbehälters sind laufend zu überwachen. Die Temperaturen in der Entgasungszone der Unterdruckentgasung sollen 106° C, der Spannungsentgasung 103° C nicht unterschreiten.	Die in der Entgasungszone der Unterdruckentgasung am Widerstandsbarometer abgelesenen Temperaturen müssen größer sein als die nach der Dampfabelle zu den gemessenen Drücken gehörenden Siedertemperaturen.	Für die Unterdruckentgasung gelten die gleichen Bedingungen wie für die Entgasung der Denion-Kessel. Für die Überdruckentgasung gelten die gleichen Bedingungen wie für die Entgasung der Wagner-Kessel.
4.		Der Druckunterschied zwischen Kondensator und Unterdruckentgasung muß größer als 20 mm Hg sein.	Für die Unterdruckentgasung gelten die gleichen Bedingungen wie bei den Denion-Kesseln.
5.	Die Abd. Feinzuflußpumpe ist laufend in Betrieb zu halten und gemäß den vom Maschineninspektoren angezeigten Fabrikdaten einzustellen.	Das Feinzufluß Regelventil ist stets geöffnet zu halten und so einzustellen, daß der vorgeschriebene pH Wert des Speisewassers ständig aufrecht erhalten wird.	Wie für Denion Kessel oder Wagner Kessel.

6. Der Ausschlag des elektrischen Salzmeßgerätes hinter Regelbehälter, d. h. gemessen in der Zubringepumpen-Druckleitung, ist laufend zu beobachten. Der Ausschlag soll stets zwischen 7 bis 10 mg/l liegen. (pH-Wert liegt dann etwa zwischen 8,5 und 9,5, sofern die Chloridzahl nicht größer ist als 5 mg/l.)
7. Falls der Ausschlag des elektrischen Salzmeßgerätes in der Zubringepumpen-Druckleitung während der Wache stets unter 10 mg/l gelegen hat, ist die Chloridzahl des Speisewassers je Wache einmal mit dem kleinen Salzmeßgerät zu bestimmen. Bei erheblich größerem Ausschlag des elektrischen Salzmeßgerätes als 20 mg/l ist die Chloridzahl sofort mit dem kleinen Salzmeßgerät nachzuprüfen, wenn dieser größere Ausschlag nicht nach kurzer Verweilzeit auf seinen normalen Betriebswert zurückgeht. Die genauere Chloridzahlbestimmung ist, falls erforderlich, nach Teil I unter C. 4 durchzuführen.
8. Das Speisewasser hinter Regelbehälter ist je Wache mindestens zweimal auf den pH-Wert zu untersuchen. Die pH-Werte sollen zwischen 8,5 und 9,5 liegen. Die ständige Einhaltung der oberen Grenze ist anzustreben.
- Bei den M-Boosten 35 ist vorläufig keine pH-Wert-Bestimmung durchzuführen.
9. Die Chloridzahl des durch Frischwasserverzweiger bezogenen Speisewassers soll nicht größer als 3 mg/l sein. Sie ist stündlich mit dem kleinen Salzmeßgerät zu bestimmen. Hinter Regelbehälter gemessen, soll sie 5 mg/l nicht überschreiten.
10. Zur Überwachung der Arbeitsweise der Entgaser und der Dichtigkeit der unter Unterdruck stehenden Anlagen sind alle 8 Stunden Sauerstoffbestimmungen von Speisewasserproben durchzuführen, die bei Überdruckentgasern aus den Zapfstellen hinter Rückfühler und Kessleintritt und bei Unterdruckentgasern aus den Zapfstellen Zubringepumpendruckleitung und Kessleintritt gezogen werden. Der Sauerstoffgehalt soll, hinter Entgaser gemessen, 0,05 mg/l nicht übersteigen.
- Bei den M-Boosten 35 sind vorläufig keine Sauerstoffbestimmungen durchzuführen.

b) Kesselwasser.

Das Kesselwasser der Obertrammel ist alle 4 Stunden auf Alkalität und Chloridzahl und alle 8 Stunden auf Phosphatzahl zu untersuchen.

AZ zwischen 80 u. 150 mg/l
 PZ zwischen 10 u. 25 mg P₂O₅/l
 CLZ nicht über 60 mg/l

Die AZ darf bis auf 300 mg/l steigen.

Vermerk:

Bei M-Boosten 35:
 AZ zwischen 100 bis 600 mg/l.
 PZ zwischen 20 u. 40 mg P₂O₅/l.
 CLZ nicht über 60 mg/l.

F. Speise- und Kesselwasser-Überwachungsplan für Naßdampfessel für See- und Hafetrieb.

1. Wasserrohrkessel.

a) Speisewasser.

1. Bei Zugabe von Destillat aus Vorratszellen in den Speisewasserkreislauf ist das Destillat mit dem kleinen Salzmeßgerät auf Chloridzahl zu untersuchen. Der Härtegrad des Speisewassers soll nicht höher als 0,5° dH, der des Zusatzwassers nicht höher als 2° dH sein. Die Chloridzahl des Zusatzwassers soll bei der Übernahme 90 mg/l nicht überschreiten. Das Zusatzwasser ist vor der Übernahme zu untersuchen.
2. Vakuum des Kondensators und Unterkühlung des Kondensats im Kondensator sind laufend zu beobachten. Die Unterkühlung soll kleiner als 5° C sein (Wasserstand beobachten).
3. Die Vorwärm-Temperatur des Speisewassers im Regelbehälter ist laufend zu überwachen.
4. Die Nd. Feinzufaspumpe ist laufend in Betrieb zu halten und gemäß den am Maßbündeltelegrafen an geeigneten Fabrikstufen einzustellen.

5. Über das Zufügen von Ebonitalien zum Speisewasser von Kesselanlagen, die mit Nd. Feinzufaspumpen oder Feinzufasregelventilen nicht ausgerüstet sind, siehe Teil I unter B. II. 1.
6. Der Ausschlag des elektrischen Salzmeßgeräts vor der Speisepumpe ist laufend zu beobachten. Der Ausschlag soll zwischen 10 und 15 mg/l liegen. (Gleichzeitig ungefährer Anhalt für den jeweils vorhandenen pH-Wert, wenn die Substanz in die Speisewasserleitung zugegeben werden.)
7. Falls der Ausschlag des Salzmeßgeräts vor der Speisepumpe während der Woche stets unter 15 mg/l gelegen hat, ist die Chloridzahl des Speisewassers je Woche einmal mit dem kleinen Salzmeßgerät zu bestimmen. Bei erheblich größerem Ausschlag des elektrischen Salzmeßgeräts als 20 mg/l ist die Chloridzahl

iefert mit dem kleinen Salzmeßgerät nachsprühen, wenn dieser größere Ausstoß nicht nach kurzer Verweilzeit auf seinen normalen Betriebswert zurückgeht. Die genauere Chloridzahlbestimmung ist, falls erforderlich, nach Zeit I. C. 1. durchzuführen.

7. Sinter Frischwasserzweiger gemessen, soll die Chloridzahl des bereinigten Speisewassers höchstens 5 mg/l sein. Sie ist stündlich mit dem kleinen Salzmeßgerät zu bestimmen. Sinter Regelbehälter gemessen, soll sie 10 mg/l nicht überschreiten.

b) Kesselwasser.

1. Das Kesselwasser der in Betrieb befindlichen Kessel ist alle 12 Stunden einmal auf Alkalität und Phosphatzahl, alle 24 Stunden einmal auf Chloridzahl zu untersuchen. (AZ rd. 300 mg/l, PZ zwischen 10 und 25, bei ölhaltigem Kesselwasser zwischen 20 und 40 mg P₂O₅/l, ClZ unter 200 mg/l.)

2. Dampferkessel.

a) Speisewasser.

1. Das Speisewasser ist täglich zweimal auf seine Chloridzahl zu untersuchen. Die Chloridzahl soll unter 20 mg/l liegen.

2. Das Zusatzwasser soll bis auf 0,5° dlI entkärter sein. Die Chloridzahl des Zusatzwassers soll bei der Abnahme 90 mg/l nicht überschreiten. Über Soda oder Natriumphosphatzusatz siehe Zeit I unter B. II. 2 und III.

b) Kesselwasser.

1. Die Dichte des Kesselwassers ist auf jeder Wache einmal durch Salzmeßgerät (Salinometer) zu messen. Sie ist zwischen 2 bis 3 % zu halten und darf 9 % nicht überschreiten. Über Soda Zusatzprüfung (siehe Zeit I unter B. II. 2.

G. Chemikalien-Zusammenfassung, -Verpackung und -Vorräte.

Bestimmungsart	Zusammensetzung und Stärke der Lösungen	Mert der Anlieferung	Für 14 Tage ausreichende, vorrätig zu haltende Mengen.					Kochdampfamt.
			Schlacktüpfel und Kreutzer	Zerföhner	T. Boote	F. Boote	M. Boote	
1. P ₁₇ -Bestimmung	Seltige Universal-Indikator in Kapillar tropfflaschen 1/10 n Salzsäure Phenolphthaleinlösung — 3,75 g Phenolphthalein in 1 l Methanol gelöst, das gegen Phenolphthalein neutralisiert ist. Ammoniumoxalatlösung: 100 g Ammoniumoxalat (1182 Merck) werden in 1 l kaltem destill. Wasser gelöst. Diese Lösung wird in 1 l Salpetersäure (Dichte 1,28) bei 20° C gegossen (nicht umgekehrt!). In dieser Lösung werden 100 g Natriumoxalat (Merck 6648) aufgelöst. Lösung I. Auf bewahren in braunen Flaschen. Benzindilution: 1 g Benzidin (Merck 1762) wird in 200 cm ³ konzentrierter kalter Essigsäure gelöst und mit destilliertem Wasser auf 1 l verdümt. Lösung II. Natriumacetatlösung: Kaltgesättigte Natriumacetatlösung, die	20 Fl	10 Fl	10 Fl	10 Fl	10 Fl	—	—
2. Alkalitätszahl-Bestimmung		80 "	40 "	30 "	15 "	20 Fl	20 Fl	10 Fl
3. Phosphatbestimmung (nach Denberg)		6 "	3 "	2 "	2 "	2 "	2 "	1 "
		100 "	10 "	10 "	5 "	10 "	5 "	3 "
		100 "	10 "	8 "	3 "	8 "	5 "	3 "
		Drig.-Fl. zu 500 cm	15 "	15 "	4 "	15 "	7 "	4 "

Orig. Stk	8 Stk.	4 Stk.	3 Stk.	2 Stk.	2 Stk.	2 Stk.	2 Stk.
500 cm.							
500 "	10 "	5 "	5 "	3 "	3 "	3 "	3 "
250 "	20 "	15 "	10 "	10 "	10 "	10 "	10 "
500 "	1 "	1 "	1 "	1 "	1 "	1 "	1 "
500 "	1 "	1 "	1 "	1 "	1 "	1 "	1 "
500 "	5 "	5 "	3 "	2 "	2 "	2 "	2 "
100 "	30 "	30 "	20 "	20 "	20 "	20 "	20 "
250 "	10 "	10 "	5 "	5 "	5 "	5 "	5 "
500 "							
250 "							
250 "							
500 "	2 "	2 "	2 "	1 "	1 "	1 "	1 "
250 "	1 "	1 "	1 "	1 "	1 "	1 "	1 "
250 "	4 "	2 "	2 "	1 "	1 "	1 "	1 "
50 "	1 "	1 "	1 "	1 "	1 "	1 "	1 "

nach bei 30° C einen Niedersatz von ungelöstem Natriumacetat hat. (Vgl. Lösung III.)
 Phenolphthaleinlösung wie unter 2.
 verdünnte Salpetersäure (1,1 normale Lösung)
 Kaliumbromatlösung (10prozentig)
 Silbernitratlösung (4,79 g/l)
 Manganchloridlösung 100 g. An Cl₂ · 4H₂O in 1 l dest. Wasser, eisenfrei
 Natriumbisulfitige Natronlauge
 konzentrierte Phosphorsäure (85proz.)
 1,00 n. Thioharnstofflösung
 1prozentig haltbar gemachte Stärkelösung
 Phenolphthaleinlösung wie unter 2.
 1,00 n. Salzsäure wie unter 2.
 1,00 n. Natronlauge
 Kochsalz Tabletten zu 0,2 g
 Zeifenlösung nach Beutren Doubet (DIN 8106)
 Phenolphthaleinlösung wie unter 2.
 1,00 n. Salzsäure wie unter 2.
 1,00 n. Natronlauge
 Kochsalz Tabletten zu 0,2 g
verdünnte Zeifenlösung nach Beutren Doubet. (Die unverdünnte Beutren Doubet'sche Lösung wird mit 56 (Vol.-%) prozentigem, vorher zweckmäßig mit Natronlauge und Phenolphthalein neutralisiertem Alkohol (Methanol oder Propanol) auf das 10fache verdünnt.)
 Sabrifett

4. Chloridschl. Bestimmung.

5. Zauerstoffbestimmung (nach Winkler)

6. Gesamtbäre Bestimmung für a) über 0,5 dH

b) unter 0,5 dH

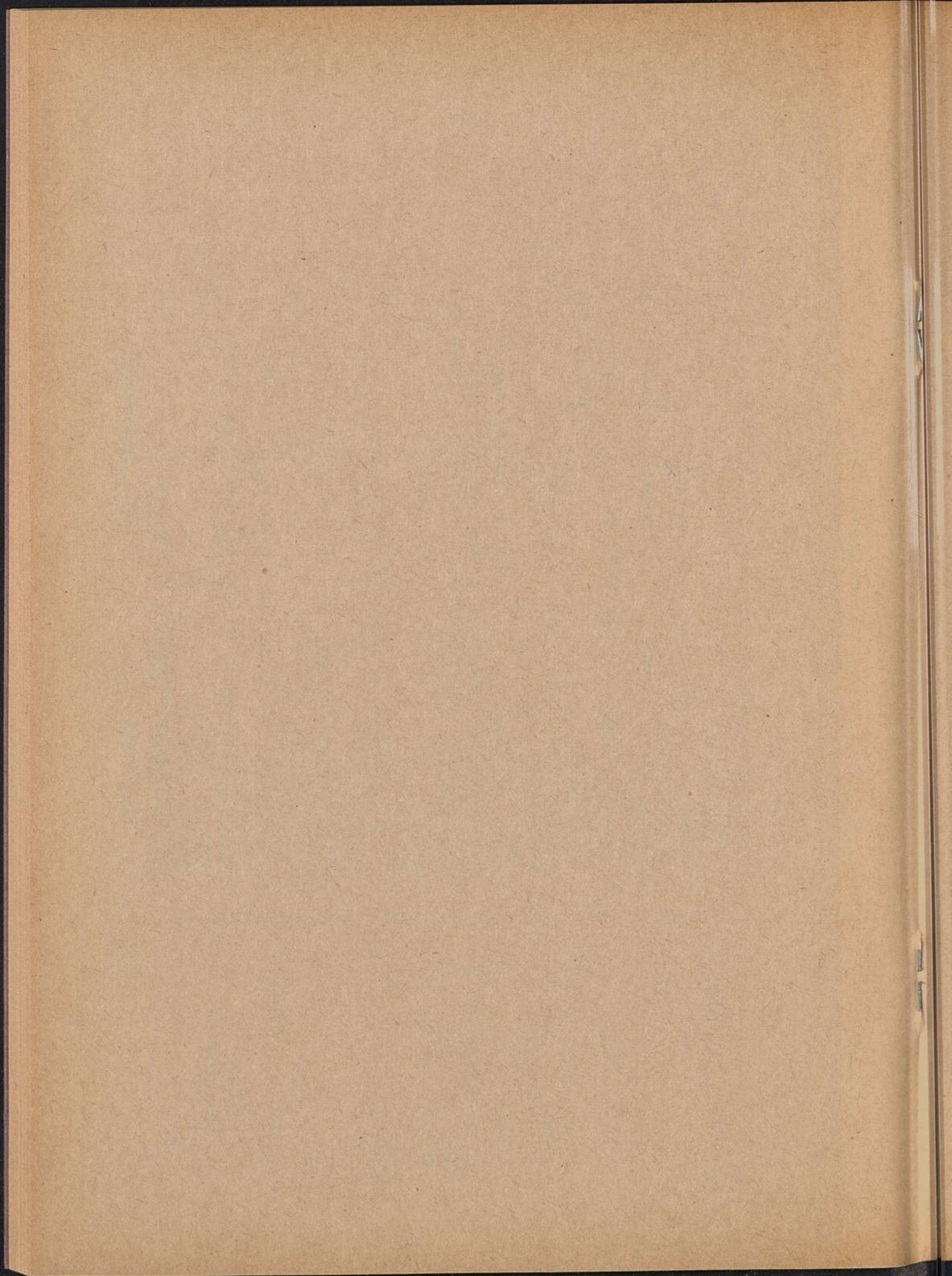
7. Zentlige Chemie fallen

H. Apparate und Glasgeräte für die Speisewasser-Untersuchungen und vorrätig zu haltende Reservestücke.

Bestimmungsart	Apparate und Glasgeräte:	Reservestücke:
1. pH-Bestimmung	für jeden Zurbinnenraum ein Sellige p_H -Meßgerät (Nr. 3700) Gerätesätze 1936; 132 Dr - IX)	je Gerät zwei Meßgläser
2. Alkalitätszahlbestimmung	1 Vollpipette 100 DIN 12690	1 Vollpipette
	1 Trichter 100 DIN 12445	2 Trichter
3. Phosphatzahlbestimmung (nach Demberg)	300 Stück Faltenfilter Durchmesser 150	1 Bürette
	1 Scheibach-Bürette 25 DIN 12701 mit Beschriftung „Sa“	3 Kolben
	1 weithalsiger Erkennener Kolben 500 Demog 12	—
	10 Probenabmeßflaschen (Flaschen für die Säuerstoffbestimmung)	—
	2 Traggestelle für je 6 Probenabmeßflaschen	—
	1 Farbscheibenteiler mit Gestell	1 Zerstreuflaßbe
	1 weiße 500 cm ³ Zerstreuflaßbe (Schott u. Gen.) mit Glasstopfen und Aufschrift Lösung III	2 Pipetten mit Ball und Gummistopfen für Lösung I
	1 Pipette mit Eichmarke bei 0,5 cm ³ mit Ball und Gummistopfen für gleiche Lösung I und mit Aufschrift 0,5 cm ³	2 Pipetten mit Ball und Gummistopfen für Lösung II
	1 Pipette mit Eichmarke bei 0,3 cm ³ mit Ball und Gummistopfen für gleiche Lösung II und mit Aufschrift 0,3 cm ³	2 Pipetten
	1 Pipette mit Eichmarke 2 cm ³ (nach besonderer Angabe) und mit Aufschrift 2 cm ³	12 Reagensgläser
12 Reagensgläser (Volumarten bei 2 und 10 cm ³) 160 × 16 mm	1 Milchzylinder	
1 Milchzylinder 100 DIN 12685	1 Pipette	
1 Vollpipette 100 Din 12690	1 Pipette	
1 Vollpipette 20 DIN 12690	2 Zebolen	
1 halbkugelförmige Porzellanlaßbe 300 cm ³ im Innern 20, 109 Größe 50, innen und außen weiß glasiert, äußerer Durchmesser 130 mm		

4. Chloridzahlbestimmung

1	Einbettung, äußerer Durchmesser 110 mm	
1	Glasstab, Stärke 5 mm, Länge 150 mm	
1	Eshellbach Bürette 25 DIN 12701 mit Beschriftung: „Si“	5 Stück
		1 Bürette
		je Kalten 1 Meßglas
1	kleiner Zalkmekfaifen (für jeden Turbinenraum)	
6	Flaschen zur Sauerstoffbestimmung mit Drahtklammer	10 Pipetten
2	Meßzimer (s. Transport d. Sauerstoff-Flaschen)	1 Bürette
4	Sauerstoffpipetten	3 Kolben
1	Eshellbach Bürette 25 DIN 12701 mit Beschriftung „Ep“	6 Gießbüchsen
1	weibsaftiger Eisenmeßer Kolben 500 Denog 12	1 Mischbüchse
1	Sagesichtlampe	1 Bürette
1	Mischbüchse 50 Denog 51	
1	Eshellbach Bürette 10 DIN 12701 mit Einteilung in Värtegraden gemäß Normogramm DIN Denog 1000	
1	Mischbüchse 50 Denog 51	
1	Eshellbach Bürette 10 DIN 12701 mit Einteilung in Värtegraden gemäß Normogramm DIN Denog 1000 (Beschriftung „dlI und cm ³ “)	
1	Eshellbach Bürette 10 DIN 12701 mit Aufschrift „Na“	
1	Pipett Flasche Denog 1000 mit der Aufschrift „Phenolphthalein“	
1	Pipett Flasche Denog 1000 mit der Aufschrift „Kaliumchromat 10prozentig“	
1	Pipett Flasche Denog 1000 mit der Aufschrift „Verdünte Salpetersäure“	
6	Trichter 45 Din 12445 (dienen zum Auffüllen der Büretten)	
5	Bürettentrichter mit Aufschrift „Sa“, „Si“, „Th“, „Sci“ und „Na“	
1	Apotheker Sandwaage (Tragkraft 500 g)	
1	Gewichtsglas (Deckelstopf, Gewichte von 10 mg bis 200 g)	
1	Thermometer bis 100° C.	
5.	Sauerstoffabsbestimmung	
6.	Gesamtwärtebestimmung für a) über 0,5° dlI (Nachdampfanlagen)	
	b) unter 0,5° dlI (Sodendestillationsanlagen)	
7.	Zentlige notwendige Geräte	



Teil II.

Begriffserklärungen.

1. Wasser.

Wasser ist eine chemische Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff und hat die chemische Formel HOH. In der Summenformel wird Wasser H_2O geschrieben.

Eine bestimmte, jedoch äußerst geringe Menge dieser chemischen Verbindung ist stets in elektrisch entgegengesetzt geladene Teilchen zerfallen, die man als „Ionen“ bezeichnet. Im Wasser sind daher stets H^+ -Ionen, d. h. Wasserstoffionen und $(OH)^-$ -Ionen, d. h. Hydroxylionen vorhanden.

2. p_{H^+} und $p_{(OH)^-}$ -Wert.

Der p_{H^+} -Wert ist die Maßzahl für die im Speise- oder Kesselwasser jeweils vorhandene Wasserstoffionenkonzentration,

Der $p_{(OH)^-}$ -Wert ist die Maßzahl für die im Speise- oder Kesselwasser jeweils vorhandene Hydroxylionenkonzentration.

Bei der Durchführung der Speisewasserpflege wird die Bestimmung des p_{H^+} -Wertes gebraucht. Eine Bestimmung des $p_{(OH)^-}$ -Wertes findet nicht statt.

Zu beachten sind folgende Grundsätze:

- a) Das Verhältnis der Wasserstoff- und Hydroxylionenkonzentration zur Gesamtzahl der Flüssigkeitsmoleküle hat — bei einer bestimmten Temperatur — einen bestimmten Wert.
- b) Das Produkt aus den Konzentrationen der Wasserstoff- und Hydroxylionen hat den Wert von 10^{-14} , wenn das Wasser chemisch rein ist und die Temperatur $23^\circ C$ hat. Diese Temperatur wird die Bezugstemperatur genannt.

Beispiel: Wenn also in einem Wasser von $23^\circ C$ die Konzentration an H^+ -Ionen 10^{-4} ist, dann muß die Konzentration an $(OH)^-$ -Ionen 10^{-10} sein, weil das Produkt aus beiden Konzentrationen 10^{-14} ergeben muß.

- c) Um das Produkt aus den Konzentrationen der Wasserstoff- und Hydroxylionen errechnen zu können, müssen die Maßzahlen der Konzentrationen hierfür, d. h. die p_{H^+} und $p_{(OH)^-}$ -Werte, addiert werden.
- d) Die Summe der Maßzahlen für die Konzentrationen, d. h. die Summe der p_{H^+} und $p_{(OH)^-}$ -Werte, hat den Wert 14, wenn das Wasser chemisch rein ist und die Bezugstemperatur ($23^{\circ} C$) hat.

Beispiel: Das vorstehend unter b) angegebene Beispiel lautet mit den Maßzahlen ausgedrückt wie folgt:

Wenn in einem Wasser von $23^{\circ} C$ der p_{H^+} -Wert mit 4 fest-
gestellt worden ist, dann muß der $p_{(OH)^-}$ -Wert 10 sein, weil die
Summe der Maßzahlen 14 betragen muß.

- e) Ob ein Wasser sauer oder alkalisch reagiert, hängt ausschließlich vom Verhältnis seiner Konzentrationen von Wasserstoff- und Hydroxylionen zueinander ab. Dieses Verhältnis kann durch Zugabe von Säuren und Alkalien beeinflusst werden.
- f) Sind die Konzentrationen von Wasserstoff- und Hydroxylionen gleich groß, z. B. 10^{-7} für ein Wasser von $23^{\circ} C$, oder anders ausgedrückt, sind die Maßzahlen für die Konzentrationen gleich groß, z. B. $p_{H^+} = 7$ und $p_{(OH)^-} = 7$ bei $23^{\circ} C$, dann ist das Wasser neutral.

Für Wasser von $23^{\circ} C$ (Bezugstemperatur) gelten folgende Angaben:

1. Saure Wässer haben eine größere Konzentration an H^+ -Ionen als an $(OH)^-$ -Ionen. Die p_{H^+} -Werte liegen unter 7.
2. Alkalische Wässer haben eine kleinere Konzentration an H^+ -Ionen als an $(OH)^-$ -Ionen. Die p_{H^+} -Werte liegen über 7. (Maximal bis zu 14.)
3. Neutrales Wasser hat gleich große Konzentrationen an H^+ - und $(OH)^-$ -Ionen. Der p_{H^+} -Wert ist dann der Neutralwert. Er hat, z. B. bei chemisch reinem Wasser, den Wert 7.

In nachstehender Zahlentafel 1 ist die Beziehung zwischen den Konzentrationen von Wasserstoff- und Hydroxylionen sowie den p_{H^+} -Werten angegeben. (Gültig für chemisch reines Wasser bei $23^{\circ} C$).

Zahlentafel 1.

Art der Lösung	Konzentrationen von Wasserstoff- und Hydroxylionen in Grammion	pH-Wert
Sauer: d. h. H ⁺ -Zonen herrschen vor	1,0 Wasserstoffionen H ⁺	0
	0,1 " "	1
	0,01 " "	2
	0,001 " "	3
	0,0001 " "	4
	0,00001 " "	5
	0,000001 " "	6
Neutral: d. h. H ⁺ und (OH) ⁻ -Zonen sind in gleicher Menge vorhanden	0 0000001 H ⁺ und (OH) ⁻ -Zonen	7
Alkalisch: d. h. (OH) ⁻ -Zonen herrschen vor	0,000001 Hydroxylionen (OH) ⁻	8
	0,00001 " "	9
	0,0001 " "	10
	0,001 " "	11
	0,01 " "	12
	0,1 " "	13
	1,0 " "	14

Bei Änderung der Wassertemperatur ändern sich die Konzentrationen von Wasserstoff- und Hydroxylionen und damit auch die Summe, die aus den Maßzahlen hierfür, nämlich den p_H- und p_(OH)-Werten, errechnet ist.

Für neutrales, chemisch reines Wasser bedeutet dies eine Veränderung des p_H-Wertes 7. Mit steigender Wassertemperatur wird der Neutralwert kleiner als 7, mit fallender Wassertemperatur wird er größer.

Nachstehender Abbildung 7 ist der Verlauf des p_H-Neutralwertes chemisch reinsten Wassers in Abhängigkeit von der Wassertemperatur ersichtlich.

Nach Abbildung 7 sinkt der Neutralwert reinsten Wassers, der bei 23° C bei 7 liegt, bei 100° C auf 6,1, bei 200° C auf 5,7, bei 300° C auf 5,6.

Die Aufspaltung des neutralen, chemisch reinen Wassers in Wasserstoff- und Hydroxylionen steigt also mit steigender Temperatur, d. h. neutrales, chemisch reines Wasser ist bei 300° C stärker aufgepalten in Wasserstoff- und Hydroxylionen als neutrales Wasser von 23° C.

Hierbei ist aber zu beachten, daß auch bei 300° C die Konzentrationen von Wasserstoff- und Hydroxylionen gleich groß sind, d. h., daß chemisch reines Wasser auch bei 300° C neutral ist. Trotzdem wirkt neutrales Wasser von 300° C stärker angreifend als neutrales Wasser von niedrigerer Temperatur, weil die Wasserstoffionenkonzentration bei höherer Temperatur größer ist und gerade sie den korrodierenden Einfluß ausübt.

Allgemein ist also festzustellen, daß jede wässrige Lösung mit steigender Wasserstoffionenkonzentration, d. h. fallendem p_H-Wert, stärker korrosiv wirkt (s. Teil III).

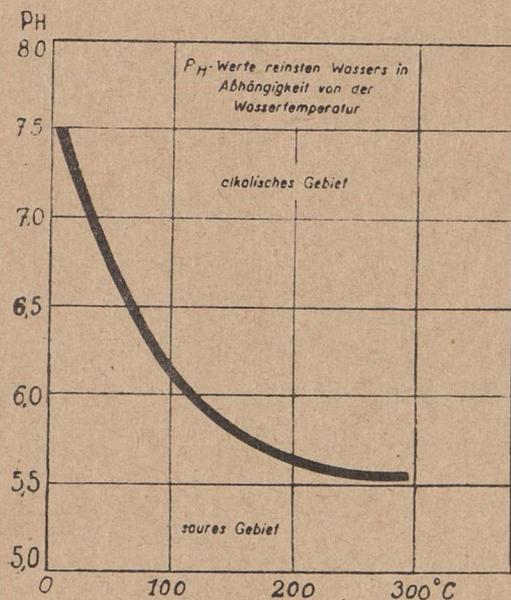


Abbildung 7.

In gleicher Weise, wie der Neutralwert chemisch reinen Wassers mit steigender Temperatur absinkt, sinken auch in entsprechendem Maße die p_{H^+} Werte der alkalischen bzw. sauren Wässer. Ein alkalisches Wasser, dessen p_{H^+} Wert bei 23° C mit 9 festgestellt wurde, hat also bei 200° C nur einen p_{H^+} Wert von annähernd $9 - 1,3 = 7,7$. (Die Zahl 1,3 ergibt sich aus der Differenz für neutrales, chemisch reines Wasser bei 23° C und 200° C, d. h. aus $7 - 5,7 = 1,3$).

Wie vorstehend gekennzeichnet, liegt der Neutralwert chemisch reinsten Wassers von 23° C bei 7. Bei Speisewässern, die mit Alkalien oder alkalisch wirkenden Salzen mehr oder weniger stark geimpft sind, liegt er bei 23° C im alkalischen Gebiet. Die Erfahrung hat nun gezeigt, daß die Angriffsfähigkeit z. B. des Speisewässers auf Eisen und Stahl nicht bei einem p_{H^+} Wert von 7 am geringsten ist, sondern bei einem p_{H^+} Wert von rd. 9,6.

Bemerkung: Alkalische Wässer, deren p_{H^+} Werte über 10 liegen, lassen sich mit dem in dieser Vorschrift vorgesehenen Bestimmungsverfahren nicht einwandfrei auf den p_{H^+} Wert untersuchen. Für diese alkalischen Wässer wird der Alkaligehalt nicht durch den p_{H^+} Wert, sondern durch die Alkalitätszahl bestimmt.

Allgemein gilt also:

Die Bestimmung des p_{H^+} Wertes wird für das Speisewasser, die Bestimmung der Alkalitätszahl wird für das Kesselwasser gebraucht.

3. Indikatoren.

Der chemische Indikator ist ein Farbstoff, der innerhalb eines bestimmten p_{H^+} -Bereiches bestimmte Farbtöne annimmt.

Da der Farbumschlag der einzelnen Indikatoren an verschiedenen Stellen des p_{H^+} -Bereiches bestimmte Farbtöne annimmt, lassen sich die Indikatoren auch zur p_{H^+} -Bestimmung gebrauchen.

Für die vorgeschriebenen Untersuchungen kommen folgende Indikatoren zur Anwendung.

Phenolphthalein, Universalindikator von Selligo und Stärkelföschung.

4. Säuren.

Säuren, wie z. B. Salzsäure, Phosphorsäure, Salpetersäure, Kohlen- säure usw. sind Chemikalien, bei deren Zugabe in Wasser der p_{H^+} -Wert erniedrigt wird.

5. Alkalien und alkalisch wirkende Salze.

Alkalien, wie z. B. Änatron (auch Natronlauge genannt), sind Chemi- kalien, bei deren Auflösung in Wasser der p_{H^+} -Wert erhöht wird.

Alkalisch wirkende Salze, wie z. B. Trinatriumphosphat oder Soda, geben bei ihrer Auflösung eine chemische Reaktion mit dem Wasser (Hydrolyse) ein. Hierdurch wird ebenfalls der p_{H^+} -Wert erhöht, d. h. das Wasser reagiert alkalisch.

6. Alkalitätszahl (AZ) mg/l.

Die Alkalitätszahl ist ein Maß dafür, welcher Teil der im Kesselwasser vorhandenen, alkalisch wirkenden Chemikalien (Soda, Änatron, Trina- triumphosphat usw.) sich unter den gegebenen Kesselwasserbedingungen wie Änatron verhält. Die Alkalitätszahl errechnet sich wie folgt:

$$AZ = 40 \cdot p \text{ (40 mal „p“-Faktor).}$$

Unter „p“-Faktor versteht man die Anzahl $\text{cm}^3 \frac{1}{10} n$ -Salzsäure, die beim Titrieren unter Zusatz von Phenolphthalein als Indikator, bis zum Umschlagspunkt von rot nach farblos bei Anwendung von 100 cm^3 Kessel- wasser verbraucht wird.

Dieser „p“-Faktor wird auf Änatron durch Malnehmen mit 40 um- gerechnet. (40 ist das Verbindungsgewicht von Änatron. $\text{NaOH} = 23 + 16 + 1 = 40$).

Ist z. B. der „p“-Faktor zu 2,5 festgestellt worden, so ist die Alkali- tätszahl:

$$AZ = 40 \cdot 2,5 = 100 \text{ mg l.}$$

Die AZ von beispielsweise 100 mg/l wird dadurch hergestellt, daß man 100 mg NaOH in 1 Liter destilliertem Wasser auflöst. Die $AZ = 1$ wird dadurch hergestellt, daß in 1 Liter destilliertem Wasser 1 mg NaOH auf- gelöst wird.

Vermerk: Die „Alkalitätszahl“ ist an Stelle der bisher in der alkalischen Speisewasserpfege angewandten Kenngröße „Natronzahl“ aus Gründen der Vereinfachung der chemischen Bestimmung allgemein eingeführt worden.

Zur Beachtung:

Es wird besonders darauf hingewiesen, daß der für die Errechnung der „AZ“ durch Messung zu bestimmende „p“ Faktor nicht mit dem ebenfalls durch Messung zu bestimmenden p_{H} Wert zu verwechseln ist!

7. Phosphatzahl (PZ) mg P_2O_5 /l.

Die Phosphatzahl gibt die Anzahl mg Phosphorsäure-Anhydrid an, die in einem Liter der Wasserprobe vorhanden sind (mg P_2O_5 /l). Der fünffache Wert der Phosphatzahl ergibt die Menge des im Handel gebräuchlichen Trinatriumphosphats ($Na_3PO_4 \cdot \sim 10 H_2O$), die dem Wasser zuzusetzen ist, um eine bestimmte PZ herzustellen.

8. Chloridzahl (ClC) mg/l.

Die Chloridzahl gibt die Anzahl mg Chloriden an, die in einem Liter der Wasserprobe vorhanden sind.

Nicht nur das Wasser selbst ist in Ionen gespalten, sondern in noch viel stärkerem Maße alle in Wasser gelösten Säuren, Alkalien und Salze. Der Salzgehalt des Seewassers besteht zu rund neun Zehntel aus Chloriden. Infolgedessen besteht der Restsalzgehalt, der in einem aus Seewasser gewonnenen Speisewasser in mehr oder minder großem Maße vorhanden ist, ebenfalls hauptsächlich aus Chloriden.

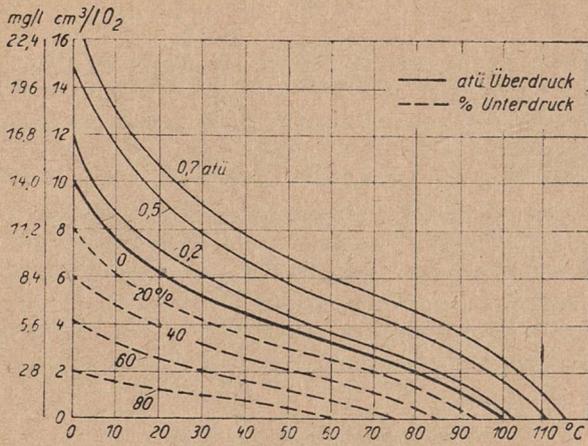
Das gleiche ist der Fall bei der Salzanreicherung im Kesselwasser. Auch hier sind es die Chloride, die den Salzgehalt hauptsächlich darstellen. Es ist daher berechtigt, den Anteil der Dichtebildner (siehe Teil II unter 12) vom Speise- oder Kesselwasser, der durch die aus dem Seewasser herührenden Salze bedingt ist, durch die Bestimmung der Chloride in mg/l zu kennzeichnen.

9. Sauerstoffzahl (OZ) mg/l.

Die Sauerstoffzahl gibt die Anzahl mg Sauerstoff an, die in einem Liter der Wasserprobe gelöst ist.

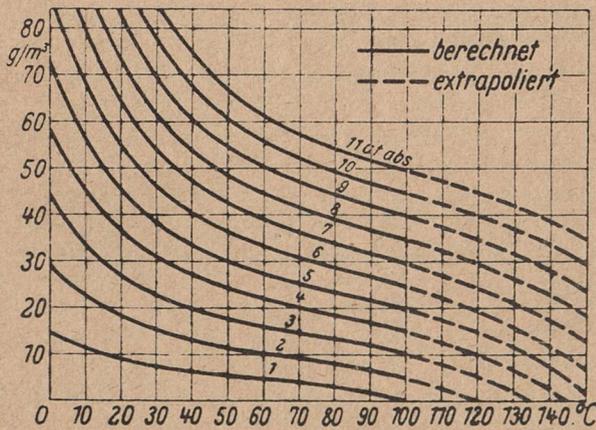
Gase sind in Flüssigkeiten nur in beschränktem Maße löslich. Die gelösten Gasmenngen hängen ab von der Art des Gases, der Flüssigkeit, der Temperatur und dem Druck (s. Abbildungen 8, 9, 10).

In jedem Wasser, welches mit der Luft in Berührung kommt, sind also die Gase, aus denen die Luft besteht, d. h. Sauerstoff, Stickstoff, Kohlen-säure usw. gelöst, und zwar in Abhängigkeit von der jeweils vorhandenen Wassertemperatur sowie dem Druck, unter dem das mit dem Wasser in Berührung befindliche Gas jeweils steht.



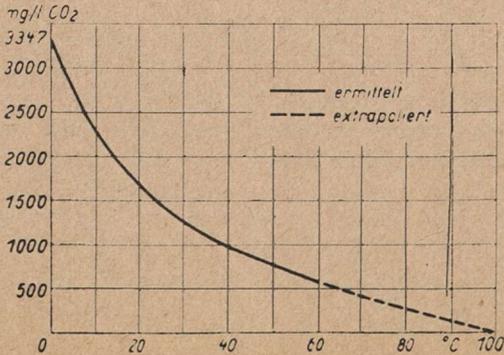
Löslichkeit von Luftsauerstoff in reinem Wasser bei verschiedenen Temperaturen und Drücken.

Abbildung 8.



Löslichkeit von Luftsauerstoff in Abhängigkeit von Druck und Temperatur.

Abbildung 9.



Löslichkeit von Kohlendioxyd (CO₂) in reinem Wasser bei verschiedenen Temperaturen bei Atmosphärendruck.

Abbildung 10.

Mit steigender Temperatur nimmt die Löslichkeit der Gase im Wasser ab. Mit steigendem Druck nimmt sie an sich zu. Daraus ergibt sich, daß die Menge der im Wasser gelösten Gase durch Temperaturerhöhung sowie durch Druckabsetzung vermindert werden kann, eine Maßnahme, die in der Speisewasserpfege mit „Entgasung“ bezeichnet wird.

Um festzustellen, ob die Entgasung des Speisewassers in der Entgasungseinrichtung mit Sicherheit stattfindet, wird die Sauerstoffzahl (OZ) als Kennziffer für den Entgasungsvorgang durch Messung bestimmt.

Je sauerstoffärmer ein Wasser infolge der Entgasung ist, um so begieriger nimmt es Sauerstoff wieder auf, wenn es bei Temperaturen, die unter seinem Siedepunkt liegen, mit Luft in Berührung kommt.

10. Härtebildner und Härte.

Nur die in Wasser gelösten Calcium- und Magnesiumsalze sind Härtebildner.

Die Maßeinheit für die Härte ist der deutsche Härtegrad, bezeichnet mit ° dH. Diese Kenngröße ist wie folgt festgelegt:

$$1^{\circ} \text{ dH} = 10 \text{ mg/l Calciumoxyd (CaO) oder auch}$$

$$1^{\circ} \text{ dH} = 7,14 \text{ mg/l Magnesiumoxyd (MgO).}$$

Für die zahlenmäßige Festlegung der Härte sind alle im Wasser vorhandenen Magnesium-Verbindungen durch Malnehmen mit 1,4 auf die in chemischem Sinne verhältnismäßigen Mengen Calciumoxyd (CaO) umzurechnen, da $7,14 \text{ mg/l MgO} \cdot 1,4$ den Wert von 10 mg/l CaO ergeben.

Bei den Härtebildnern unterscheidet man folgende Gruppen:

- a) Gesamthärte,
- b) Karbonathärte,
- c) Nicht-Karbonathärte.

Gesamthärte ist die Summe der aus den Calcium- und Magnesiumsalzen gebildeten Einzelhärten.

Karbonathärte ist die Summe aller Karbonate (kohlen-sauren Salze) des Calciums und Magnesiums.

Nicht-Karbonathärte ist die Summe aller übrigen Salze des Calciums und Magnesiums, wie z. B. Calciumsulfat, Calciumsilikat, Magnesiumchlorid und Magnesiumsulfat.

Den Zusammenhang zwischen deutschen, französischen und englischen Härtegraden zeigt nachstehende Zahlentafel 2.

Zahlentafel 2.

Umrechnungszahlen für deutsche, französische und englische Härtegrade.

Bezeichnung	Härtegrade		
	deutsch dH	französisch fH	englisch eH
Begriffs- bestimmung	10 mg/l CaO	10 mg/l CaO ³	1 grain CaCO ₃ per Gallon
1° dH =	1,—	1,79	1,25
1° fH =	0,56	1,—	0,70
1° eH =	0,80	1,43	1,—

11. Kesselstein.

Der Kesselstein wird durch die im Rohwasser gelösten Härtebildner verursacht. An seiner Bildung sind beteiligt:

- a) Calciumcarbonat: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (auch doppelt-kohlensaurer Kalk genannt).
- b) Calciumsulfat: CaSO_4 (mit 2 Molekülen Kristallwasser wird $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ Gips genannt).

Das Calciumsulfat bleibt bei geringer Anreicherung im Wasser bis etwa 140° C löslich. Bei größerer Anreicherung beginnt es sich schon bei etwa 100° C auszuschcheiden.

Das Ausschneiden des Gipses erfolgt durch Bildung nadelförmiger Kristalle, wodurch gewissermaßen ein Netz entsteht, in dessen Maschen sich entweder weitere Gipsnadeln oder die anderen auscheidenden Salze festsetzen und so eine feste Kruste, den Kesselstein, bilden. In Verbindung mit Gips erhärtet auch die Carbonate und tragen auf diese Weise zum Aufbau der Kesselsteinschicht bei.

c) Magnesiumsalze:

Die Kesselsteinbildung ist kein einheitlicher Vorgang. Sie ist das Endergebnis verschiedener chemischer und physikalischer Vorgänge, die einerseits in der Bildung und Ausscheidung von schwerlöslichen Stoffen, andererseits aus dem Zusammenschluß kleinerer Teilchen zu größeren Gebilden durch Kristallisationsvorgänge bestehen.

Bei hohen Wärmedurchgangszahlen, z. B. 300 000 kcal m²h, bilden schon dünne Kesselsteinbeläge eine Gefahr. Auch durch Korrosion hervorgerufene Eisenoxydbeläge, die mit Kesselstein verfest sind, können in Hochdruckdampfesseln erhebliche Wärmestauungen hervorrufen. (Aufbeulung, Rohrreißer). Diese schädlichen Auswirkungen werden erheblich verstärkt, wenn sich Schlamm mit dem Kesselstein vermischt. Die Kesselsteinbildung muß daher möglichst weitgehend vermieden werden.

Diese Forderung kann durch Zusetzen bestimmter Mengen von z. B. Soda (Na_2CO_3) oder Abnatron (NaOH), insbesondere aber durch Zu-

sehen genügender Mengen von Trinatriumphosphat (Na_3PO_4) zum Speisewasser oder Kesselwasser erfüllt werden. Bei der durch diesen Zusatz einsetzenden chemischen Umsetzung der Härtebildner entstehen Verbindungen, die im Wasser am schwersten löslich sind und daher als Schlamm ausfallen und ausgeblasen werden können. Da das Trinatriumphosphat mit allen Härtebildnern schwerlösliche Verbindungen eingeht, ist es besonders geeignet, die Resthärte zu beseitigen. (NaOH reagiert im Gegensatz zum Na_3PO_4 nicht mit CaSO_4 ; mit Mg Cl_2 reagiert NaOH in geringerem Maße als Na_3PO_4).

Die Voraussetzungen zur Vermeidung der Kesselsteinbildung sind also gegeben durch:

1. gute Beschaffenheit des Speisewassers,
2. gute Restenthärtung des Speise- und Kesselwassers.

Allgemein gilt, daß ein Wasser, welches mehr als 2° dH hat, für die Speisung von Naßdampf-Wasserrohrkesseln nicht verwendet werden darf. Für Hd-Heißdampf-Kessel liegt diese Grenze bei $0,1^\circ$ dH (s. Teil I unter A und B).

Muß im Notfall vorübergehend mit härterem Wasser als zulässig gespeist werden, so muß eine zu weitgehende Eindickung des Kesselwassers durch häufiges Abschäumen oder Ausblasen von Kesselwasser vermieden werden.

12. Dichtebildner und Dichte.

Die in einem Wasser vorhandenen Beimengungen (ausgenommen sind hierbei die Gase), durch die sich z. B. das Speise- oder Kesselwasser von chemisch reinstem Wasser unterscheiden, werden als „Dichtebildner“ bezeichnet.

Infolge der Anwesenheit der Dichtebildner hat, bei gleicher Temperatur, 1 cm^3 Kesselwasser ein anderes Gewicht als 1 cm^3 reinsten Wassers.

Das Verhältnis des Gewichts von 1 cm^3 Speise- oder Kesselwasser zum Gewicht von 1 cm^3 reinsten Wassers (bei gleicher Temperatur) wird als „Dichte“ bezeichnet, genauer ausgedrückt: „Dichteverhältnis“.

Die Dichte ist daher ein Kennzeichen für die Gesamtmenge aller im Speise- oder Kesselwasser vorhandenen Dichtebildner.

Die Bezugstemperatur für die Bestimmung der Dichte ist 20°C .

Die Bestimmung der Dichte erfolgte bisher noch vielfach in Baumé-(Bé)-Graden. Diese Bestimmungsart gibt keine ausreichenden Aufschlüsse über die für das Speise- oder Kesselwasser erforderlichen Merkmale, wie pH -Wert, AZ, PZ, ClZ usw. Da die Kenntnis dieser Merkmale für die Speisewasserversorgung und somit für den Schutz von Kessel- und Rohrleitungen ohnehin erforderlich ist, sind Dichtemessungen bei alkalisch geführtem Kesselbetrieb überflüssig und nicht mehr durchzuführen.

Bei Betrieb von Kesseln, die nicht alkalisch arbeiten, ist die Bestimmung der Dichte mit dem Salzmeßgerät (Salinometer) durchzuführen.

Teil III

Ursachen von Kesselschäden, insbesondere von Kesselrohrschäden.

A. Ursachen, Auswirkungen und Bekämpfung von Korrosionen.

I. Grundlagen der Korrosion.

a) Allgemeines.

Die Metalle haben in Gegenwart von Feuchtigkeit oder Wasser mehr oder weniger das Bestreben, unter dem Einfluß des Sauerstoffes in die stabile Form der Metalloxyde oder unter dem Einfluß von Salzen oder Säuren in Metallsalzverbindungen überzugehen.

Dieser auf der Oberfläche beginnende Zerstörungsvorgang kann entweder chemischer oder elektrochemischer Natur sein und wird, wenn er unbeabsichtigt erfolgt, als Korrosion bezeichnet. Im allgemeinen versteht man unter Korrosion (d. h. Verrottung oder Anfrassung) der Metalle elektrochemische Vorgänge, die in Gegenwart von Wasser ablaufen.

Die Ursache der Korrosion ist trotz der Vielseitigkeit der Korrosionserscheinungen in allen Fällen die gleiche. Die zur Korrosion neigenden Metalle, wie z. B. Eisen und Aluminium, kommen in der Natur in Form von Verbindungen vor und werden erst durch den Eingriff des Menschen in den metallischen Zustand übergeführt. Je größer die zur Herstellung des Metalles aus der Metallverbindung (Erz) aufgewendete Arbeit (Wärme oder elektrische Energie) ist, um so mehr neigt das Metall dazu, wieder in seinen ursprünglichen, oxydischen Zustand zurückzukehren, d. h. zu korrodieren. Dies kommt auch durch die Stellung der Metalle in der Spannungsreihe zum Ausdruck (s. S. 46). Beispielsweise ist zur Herstellung von Gold kein Arbeitsaufwand nötig, da es in der Natur rein vorkommt, es korrodiert daher auch nicht. Dagegen ist zur Erzeugung von Aluminium und Magnesium ein sehr hoher Energieaufwand notwendig. Diese Metalle haben daher eine besonders starke Neigung, in den oxydischen Zustand überzugehen.

Für das Verhalten der Metalle gegenüber Korrosionen sind — wenn man von dem Angriff durch heiße, trockene Gase und durch nichtwässrige Flüssigkeiten absieht — die beiden folgenden, unter b) und c) im einzelnen erläuterten Vorgänge von besonderer Bedeutung.

b) Einwirkung des Sauerstoffes auf die Metalloberfläche.

Fast alle Metalle bedecken sich bei Anwesenheit von Sauerstoff mit einer äußerst dünnen Drydhaut. Eine derartige Metalloxydation beeinflusst das metallische Aussehen im allgemeinen nicht und ist daher zunächst nicht als Korrosion anzusprechen, sondern kann im Gegenteil korrosionsschützend wirken.

Die Metalloryde bilden sich um so leichter und sind um so stabiler, je unedler ein Metall ist, z. B. beim Aluminium. Damit ein Dryd schützend wirken kann, muß es aber nicht nur stabil sein, sondern auch fest und lückenlos an der Oberfläche haften. Diese Eigenschaft ist nur dann vorhanden, wenn das Dryd in der korrodierenden Flüssigkeit unlöslich ist.

Die Metalle neigen um so mehr zum natürlichen Korrosionsschutz, d. h. zur Deckschichtenbildung — ein Vorgang, den man auch mit Passivität bezeichnet — je stärker die beiden genannten Eigenschaften, nämlich die Unlöslichkeit und die Stabilität der Dryde, ausgeprägt sind. Am stärksten ist dies bei den Metallen Chrom und Aluminium der Fall. Beim Eisen dagegen ist die dünne Drydhaut im allgemeinen porös und bewirkt keinen Korrosionsschutz.

Von diesen dünnen unsichtbaren Drydhäuten sind die im Verlaufe der Korrosion z. B. beim Eisen entstehenden dicken, rotbraunen Rostschichten und ebenfalls die bei hoher Temperatur entstehenden Zunderschichten (blaugrau, grün-grau bis schwarz) zu unterscheiden. Diese Rost- und Zunderschichten wirken nicht korrosionshemmend, sondern sogar meistens korrosionsfördernd (s. S. 47, Lochfraß).

c) Elektrochemischer Verlauf der Korrosion in wässriger Lösung (Lokalelement-Theorie).

Der Grundvorgang der meisten Korrosionserscheinungen besteht darin, daß sich auf der Metalloberfläche in Gegenwart eines Elektrolyten (wässrige Lösungen, Seewasser usw.) galvanische Elemente, sogenannte Lokalelemente, bilden.

Ursachen hierfür können sein:

1. Unterschied in der chemischen Zusammensetzung oder Verschiedenartigkeit des Gefüges an der Metalloberfläche,
z. B. Seigerungen, Einschlüsse, Kaltverformungen.
2. Verschiedenartige Oberflächenbeschaffenheit.
Glatte, z. B. polierte Oberflächen korrodieren weniger als raube, riefige, rissige Oberflächen.
3. Ortliche Bedeckung mit Drydhäuten, Korrosionsprodukten, Fremdkörpern,
z. B. Zunder-, Rost-, Kohle- oder Salzablagerungen, Fremdmetalnteilchen.

4. Verschiedene Belüftung der Oberflächenstellen.
5. Konzentrationsunterschiede im Elektrolyten.
6. Temperaturunterschiede an der Oberfläche.
7. Strömungsunterschiede im Elektrolyten
usw.

Durch diese Unterschiede bilden sich anodische (unedlere) und kathodische (edlere) Stellen an der Metalloberfläche. Hierbei geht das Metall an der Anode in Form seiner Ionen, d. h. elektrisch positiv geladener Metallatome, in Lösung, während die Wasserstoffionen der Lösung zur Kathode wandern, dort entladen werden und sich als Wasserstoff abscheiden. Im Metall fließt gleichzeitig ein Elektronenstrom von der Anode zur Kathode (s. Abb. 1). In stark sauren Lösungen p_H -Wert kleiner als 4) entweicht der Wasserstoff in Form von Gasblasen. In den üblichen wässrigen Lösungen, wie z. B. Kesselwasser und Seewasser, bildet der Wasserstoff an den kathodischen Stellen zunächst eine isolierende Schicht, wodurch das Fließen des galvanischen Stromes unterbrochen wird, so daß auch an der Anode keine Metallionen mehr in Lösung gehen können. Durch diese „Polarisation“ der Kathode würde der Korrosionsvorgang zum Stillstand kommen, wenn nicht der im Elektrolyten gelöste Sauerstoff die isolierende Wasserstoffschicht im Augenblick ihrer Entstehung zu Wasser oxydieren würde (Depolarisation). Daraus ist zu folgern:

Der Fortgang der Korrosion ist einzig und allein von dem Vorhandensein und der jeweiligen Nachlieferung von Sauerstoff an die Kathode des Lokalelementes abhängig.

Gleichzeitig spielt sich folgender Vorgang ab:

Die in Lösung gegangenen Metallionen vereinigen sich mit den OH^- -Ionen des Wassers zu Metallhydroxyden, die häufig unlöslich sind. Beim Eisen kam außerdem noch eine Oxydation des anfänglich gebildeten Eisen(2)-hydroxyds (schwarz) zum rotbraunen Eisen(3)-hydroxyd (Rost) erfolgen. Wie lange und wieweit dieser Vorgang stattfindet, hängt von dem Zutritt des Sauerstoffs ab.

Da der Sauerstoff aber gleichzeitig auch die Eigenschaft hat, die Metalloberfläche mit einer schützenden Oxydhaut zu bedecken (s. Deckschichtenbildung vorstehend unter a), kann in diesem Falle die gleiche Substanz, nämlich der Sauerstoff, sowohl korrosionsfördernd als korrosionshemmend wirken. Ferner können Deckschichten außer durch Oxydation auch durch andere Mittel gebildet werden. Es können z. B. auch dichte Schichten von Kalzsalzen, Phosphat usw. schützend wirken.

Abgesehen von der Einwirkung des Sauerstoffes und der möglichen Deckschichtenbildung ist aber auch die Stellung des Metalls in der sogenannten Spannungsreihe der Metalle für die Korrosion von Einfluß (s. nachstehende Zahlentafel).

Zahlentafel.

Spannungsreihe der Metalle.

Normal-Potentiale der Metalle (gegen Wasserstoffelektrode gemessen).		
Metall:	Zonenart:	Potential in Volt:
Magnesium	Mg ^{..}	— 1,55
Aluminium	Al ^{...}	— 1,28
Mangan	Mn ^{..}	— 1, —
Zink	Zn ^{..}	— 0,76
Chrom	Cr ^{..}	— 0,50
Eisen	Fe ^{..}	— 0,44
Cadmium	Cd ^{..}	— 0,40
Kobalt	Co ^{..}	— 0,29
Nickel	Ni ^{..}	— 0,23
Blei	Pb ^{..}	— 0,12
Zinn	Sn ^{..}	— 0,10
Wasserstoff	H [·]	+ 0,0
Antimon	Sb ^{..}	+ 0,10
Wismut	Bi ^{...}	+ 0,20
Kupfer	Cu ^{..}	+ 0,52
Silber	Ag [·]	+ 0,80
Quecksilber	Hg [·]	+ 0,86
Gold	Au ^{...·}	+ 1,36

Ein Metall wird in Verbindung mit einem anderen Metall in einem Elektrolyten zur Anode und geht anodisch in Lösung, wenn es unedler ist, d. h. wenn sein Potential kleiner ist als das des anderen Metalls. Anders ausgedrückt lautet dies: Die Potentiale zeigen den Lösungsdruck der Metalle an. Je größer nun der Potential-Unterschied beider Metalle ist, um so heftiger ist das Bestreben des anodischen Metalles, in Lösung zu gehen. Andererseits wird das edlere Metall auf Kosten des unedleren Metalles kathodisch vor Korrosion geschützt. (In der Zahlentafel ist stets das nächstfolgende Metall edler als das über ihm stehende.)

Beispielsweise geht Zink in Verbindung mit Eisen in wässriger Lösung anodisch in Lösung, während das Eisen auf Kosten des Zinks kathodisch geschützt wird. (Anwendung von Zink als Schutz für Eisen und von Eisen als Schutz für Kupfer.) Ferner liefert die Spannungsreihe einen Anhaltspunkt für die Beständigkeit der Metalle gegen Säuren.

Scheinbare Widersprüche, z. B. die verhältnismäßig gute Beständigkeit des sehr unedlen Aluminiums gegen Korrosion, erklären sich durch die weiter oben erwähnte Bedeckung der Metalloberfläche mit einer dichten, gegen Korrosion schützenden Oxidschicht.

Es muß noch erwähnt werden, daß die Stellung der Metalle in der Spannungsreihe nicht fest ist, sondern von der jeweiligen Ionenkonzentration der Lösung abhängt. Es kann manchmal der Fall eintreten, daß

sich infolge Potentialveränderung Elemente regelrecht umpolen, z. B. wird in alkalischer Lösung Eisen edler als Zinn oder Blei.

d) Erscheinungsformen der Korrosion.

Die Erscheinungsformen der Korrosion sind sehr mannigfaltig. Im Grunde lassen sie sich jedoch auf folgende Arten zurückführen:

1. gleichmäßige Abtragung der Werkstoffoberfläche,
2. Lochfraß,
3. interkristalline Korrosion,
4. Korrosionsdauerbruch.

Die gleichmäßige Abtragung der Oberfläche der Metalle durch Korrosion, die beim Eisen in der Regel als Rosten bezeichnet wird und vorwiegend beim Angriff des Eisens in der Atmosphäre auftritt (Abblättern großer Rostflächen), ist die am wenigsten gefährliche Art der Korrosion. In allen Fällen, in denen ein solcher gleichmäßiger Korrosionsangriff stattfindet, kann man als Maß für die Korrosionsgeschwindigkeit den Gewichtsverlust in g/m^2 Tag angeben. Diese Angabe ist jedoch immer dann irreführend, wenn nicht gleichmäßige Abtragung, sondern örtlichverstärkter Angriff (Abb. 2) vorliegt, wie er am ausgeprägtesten und gefährlichsten beim Lochfraß und der interkristallinen Korrosion auftritt.

Lochfraß zeigt sich nur bei der Korrosion in Wasser oder wässrigen Lösungen. Seine Entstehung erklärt sich aus der Wirkungsweise der Lokalelemente (s. S. 44 und Abb. 3). Ist ein solches Lokalelement einige Zeit tätig, so bildet sich an der anodischen Stelle, an der das Metall in Lösung geht, eine grubchenartige Vertiefung. In diese Vertiefung gelangt weniger Sauerstoff, da der in der Lösung befindliche Sauerstoff vor allem an den benachbarten kathodischen Stellen verbraucht wird. Die Sauerstoffverarmung wird weiter dadurch begünstigt, daß sich über der anodischen Stelle Korrosionsprodukte ablagern, z. B. beim Eisen Rost, der manchmal sogar in Form einer geschlossenen Rostkappe vorliegt, wodurch die Sauerstoff-Nachlieferung noch mehr behindert wird. Die Anode wird daher noch unedler als sie an sich schon war, die Spannungsdifferenz zwischen ihr und der Kathode wird also noch größer, so daß die Aufressung an der Anode beschleunigt fortschreitet, d. h. stark in die Tiefe geht (s. Abb. 4).

Besonders gefährlich ist die interkristalline Korrosion, die aber nur unter ganz bestimmten Bedingungen auftritt (s. Abb. 5a und 5b). Bei der interkristallinen Korrosion geht die Zerstörung längs der Korngrenzen vor sich, also zwischen (lat.: inter) den Kristallen hindurch. Das bekannteste Beispiel der interkristallinen Korrosion ist die sogenannte Laugenbrüchigkeit beim Stahl.

Ist ein Werkstoff Dauerwechselbeanspruchungen und gleichzeitig der Korrosion ausgesetzt, so treten Brüche bei Beanspruchungen auf, die weit unter der Dauerfestigkeit liegen (Korrosionsdauerbruch). Dabei

ist meistens äußerlich nicht einmal ein starker Korrosionsangriff zu erkennen. Der Korrosionsdauerbruch verläuft in der Regel intrakristallin, d. h. durch die Kristallkörner hindurch, also innerhalb (lat.: intra) der Kristalle, z. B. Querrisse an Kesselrohren (Abb. 6).

II. Korrosionen im Kesselbetrieb und ihre Verhütung.

Nach den Ausführungen im vorhergehenden Abschnitt sind für den Verlauf der Korrosion an ständig oder zeitweise benetzten Flächen folgende Faktoren von besonderer Bedeutung, die jedoch nicht alle gleichzeitig zusammenwirken müssen:

1. Vorhandensein von Lokalelementen,
2. Anwesenheit von Sauerstoff,
3. Anwesenheit von Salzen,
4. Anwesenheit von Gasen,
5. Wasserstoffionenzentration (p_{H^+} -Wert) des Speisewassers und Alkalität des Kesselwassers,
6. Temperatur.

Das Vorhandensein oder Auftreten von Lokalelementen wird sich nie ganz vermeiden lassen, da diese, wie bereits auf Seite 44 aufgezählt, mannigfache Ursachen haben können. Beim Bau der Kesselanlagen wird bereits für einwandfreie Beschaffenheit des Werkstoffes Sorge getragen. Kesselrohre mit dickeren und teilweise abgesprungenen Zunderschichten dürfen nicht verwendet werden, da an den blanken Eisenstellen Anfrassungen infolge Elementbildung mit den zunderbedeckten (edleren) Oberflächenteilen auftreten würden. Auch bei Stahlteilen, die vor dem Einbau vollständig entzundert wurden, können sich u. U. durch Dampfkorrosion (siehe Seite 51) Schichten von Eisen(2)-Eisen(3)-oxyd bilden. Stellen, an denen die Oxydschicht das Eisen nicht lückenlos bedeckt oder beschädigt ist, können im Kessel unter der Einwirkung des Wassers in dem Lokalelement Eisen — Zunderschicht als Anode wirken und örtliche Anfrassungen zur Folge haben. Dies kann z. B. eintreten, wenn die Oxydschicht porig oder beschädigt worden oder infolge unterschiedlicher Wärmedehnung zwischen Oxydschicht und Grundwerkstoff rissig geworden ist.

Lokalelementbildung infolge von Unterschieden in der chemischen Zusammensetzung des Kesselwerkstoffes, z. B. örtliche Seigerungen, sind erfahrungsgemäß für die Korrosion in Kesseln ohne Bedeutung. Auch Gefügeunterschiede, z. B. Streckung der Kristalle und Fliedlinienbildung bei kaltverformten Kesselrohren, haben nie zu einer ernsthaften örtlichen Korrosion geführt. Nicht selten ist zu beobachten, daß unabhängig von an solchen Gefügeunterschieden etwas verstärkt aufgetretenen Korrosionen außerdem starker Lochfraß eingetreten ist. Dies ist ein Beweis dafür, daß die anderen im vorigen Absatz erwähnten, lokalelementbildenden Einflüsse stärkere Auswirkung auf die Korrosion zeigen als Gefüge-

unterschiede. Das Gleiche gilt für örtliche Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung.

Auch an Schweißstellen, wo der Werkstoff immer starke Gefügeunterschiede aufweist, haben sich im Kesselbau in der Regel keine auffällig starken Korrosionen gezeigt. Etwa aufgetretene Korrosionen sind hier eher auf kleine Hohlräume und Vertiefungen, wie Einbrandkerben, Bindungsfehler an der Wurzel usw., oder auf größere Schlackeneinschlüsse zurückzuführen.

Ferner ist festgestellt worden, daß die verschiedenen niedriglegierten Kesselbaustähle sich in bezug auf ihren Korrosionswiderstand praktisch alle gleich und ebenso wie unlegierter Stahl verhalten.

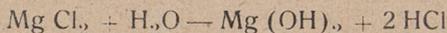
Außer der oben beschriebenen Zunderbildung im Betrieb können auch Schmutzteilechen, z. B. in Überhitzerrohren aus mitgerissenen Kesselwasserteilchen stammend, die sich stellenweise abgelagert haben, ferner anhaftende Luftblasen oder abgelagerte Fremdstoffteilchen den Anlaß zu Befestigungsverschiedenheiten der Eisenoberfläche geben und somit zu Lokalelementbildung führen.

Ferner können Salzablagerungen bei kurzen Stillständen des Kessels mit Kondenswasser örtlich eine starke Salzlösung bilden und an diesen Stellen, häufig auf der Unterseite des Rohres, zu Anfrassungen führen (s. Abb. 7). Solche reihenförmig verlaufenden Korrosionen an einer Seite von Kesselrohren, insbesondere aber von Überhitzerrohren, können aber auch davon herrühren, daß in dem Rohr nach dem Bau und vor Inbetriebnahme oder während Stillstandszeiten Wasser gestanden hat. U. U. kann in dem Rohr sogar vor seinem Einbau, während es auf Lager lag, Wasser gestanden haben. Es muß daher scharf darauf geachtet werden, daß die Kesselrohre während der Lagerung auf den Werkten und Stützpunkten und an Bord, ferner zwischen Fertigstellung und Inbetriebnahme des Kessels gut erhalten und möglichst trocken gehalten werden. Während Stillstandszeiten des Kessels sollen daher alle gefährdeten Teile entweder vollkommen trocken oder vollständig mit gut entgastem, d. h. sauerstofffreiem und alkalischem Wasser gefüllt sein. (Frostgefahr beachten!)

Der Sauerstoff ist, wie schon aus der Beschreibung der Lokalelementtheorie hervorgeht, der wichtigste und gefährlichste Korrosionsfaktor. Er ist die treibende Kraft des Korrosionsvorganges. So sind die starken Anfrassungen in Überhitzerrohren mit darauf zurückzuführen, daß das bei Feuerans in den Überhitzerrohren sich bildende Kondensat begierig Sauerstoff aufnimmt und besonders stark korrodierend wirkt, zumal es alkalifrei ist. Es muß daher im Kesselbetrieb streng auf eine gründliche Entgastung des Speise- und Kesselwassers geachtet, ferner durch Vermeidung von Undichtigkeiten dafür gesorgt werden, daß beim Erkalten des Kessels keine Luft eingesaugt und somit der schädliche Sauerstoff vom Kesselwasser ferngehalten wird.

Chemische Stoffe lassen sich im Speise- und Kesselwasser nicht vermeiden, ja, sie müssen sogar zur Pflege des Wassers (s. Teil I unter A und B) zugesetzt werden. Sie üben insofern eine schädigende Wirkung aus, als die Leitfähigkeit des Wassers durch ihre Gegenwart stark heraufgesetzt und dadurch die Tätigkeit der Lokalelemente, d. h. die Korrosion, verstärkt wird, sofern die anderen Grundbedingungen für die Korrosion (Anwesenheit von Sauerstoff usw.) gegeben sind.

Vor allem müssen Seewassereinbrüche in das Speisewasser vermieden werden. Bei nicht durch Zusatz von NaOH oder Na_3PO_4 alkalisch gehaltenem Kesselwasser hydrolysiert das im Seewasser enthaltene Magnesiumchlorid stark, d. h. es wird nach der Gleichung



in Magnesiumhydroxyd und Salzsäure zerlegt. Die Salzsäure ist mit dem Wasserdampf flüchtig und kann, z. B. im Überhitzer, durch Erhöhung der Wasserstoffionenkonzentration Korrosionen hervorrufen.

Wird der Kessel mit Kondensat gespeist, so ist die Fernhaltung von Magnesiumsalzen nicht schwierig. Die hauptsächlichste Quelle für das Eindringen löslicher Magnesiumsalze in das Speise- oder Kesselwasser ist das Schäumen und Spucken der Frischwassererzeuger für die Herstellung von Zusatzwasser aus Seewasser.

Um die schädliche Wirkung von mitgerissenen Magnesiumsalzen möglichst zu hemmen, wird dem Kesselwasser Trinatriumphosphat zugesetzt, das etwa vorhandenes Magnesiumchlorid in unschädliches Magnesiumphosphat überführt. Der Zusatz von Phosphaten zum Speisewasser ist seiner Zeit zunächst zur Bekämpfung der kesselbildenden Kaliumsalze eingeführt worden. Das dabei gleichzeitig eintretende Unschädlichmachen des Magnesiumchlorids ist jedoch für die Bekämpfung der Korrosionen, insbesondere Überhitzerrohrkorrosionen, sehr günstig. Die ständige Aufrechterhaltung einer ausreichenden Phosphatzahl ist daher besonders wichtig.

Ein weiterer Schädling im Kessel ist u. U. die Kohlenäure. Sie kann von freiem, im Speisewasser gelöstem Kohlenoxyd herrühren oder auch erst im Kessel durch Zersetzung von Karbonaten oder Bikarbonaten entstanden sein. Abhilfe ist, ebenso wie beim Sauerstoff, nur durch gründliche Entgasung des Speisewassers und durch Vermeidung von Soda und Härtebildnern, die als Karbonate vorliegen, möglich. Bei Schiffskesseln ist infolge Fehlens von Karbonathärte in Speise- oder Kesselwasser und nur geringen Anteils gelöster Kohlenäure im Seewasser mit Kohlenäurekorrosion im allgemeinen nicht zu rechnen.

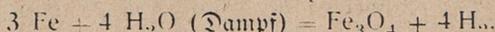
Die richtige Wasserstoffionenzentration des Speise- und Kesselwassers ist von besonderer Bedeutung. Wie schon aus der Wirkungsweise der Lokalelemente hervorgeht, spielen die H-Zonen bei der Korrosion eine besondere Rolle. Sie wandern zur Kathode und werden dort zu Wasserstoff entladen. Sie sind also ein Glied im Korrosionsverlauf. Sie besorgen

den Stromtransport im Elektrolyten. Ist die Wasserstoffionenkonzentration groß, so ist auch die Korrosion stark. Es ist also wichtig, die Wasserstoffionenkonzentration niedrig zu halten.

Die geringste Angriffsfähigkeit des Speisewassers liegt bei einem p_{H} -Wert von 9,6 (bei 23° C). Es muß daher dafür gesorgt werden, daß der p_{H} -Wert des Speisewassers ständig auf mindestens 8,5, besser möglichst nahe an 9,6, gehalten wird. Hierbei ist zu beachten, daß die Wasserstoffionenkonzentration beim p_{H} -Wert 8,5 zehnmal so groß ist, wie beim p_{H} -Wert 9,5. Genaue Einhaltung der unteren Grenzwerte ist deshalb unbedingt erforderlich. Das Speisewasser muß daher durch möglichst genau bemessene Zusatzmengen von Natron (NaOH) und Trinatriumphosphat ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ständig alkalisch gehalten werden.

Auf den Einfluß der Temperatur ist noch besonders hinzuweisen. Da die Ionenreaktionen mit steigender Temperatur schneller ablaufen, ist auch die Korrosion stark temperaturabhängig. So zeigen sich im allgemeinen auf der dem Feuer zugekehrten Seite der Kessel- und Überhitzerrohre stärkere Korrosionen als auf der abgewandten Seite.

Bei höheren Temperaturen wird Eisen auch ohne Anwesenheit von freiem Sauerstoff durch Wasserdampf angegriffen. Dieser Vorgang wird als *Dampfkorrosion* bezeichnet. Es handelt sich hierbei um eine chemische Reaktion, die nach der Gleichung verläuft:



Sie beginnt u. A. schon bei etwa 300° C, erreicht jedoch erst oberhalb etwa 550° C nennenswerte Geschwindigkeit. Dabei werden Kesselbaustähle erst von diesen Temperaturen an durch Dampfkorrosion merklich angegriffen. Dampfkorrosion wird vorwiegend in Überhitzerrohren, zuweilen aber auch in Kesselrohren an Stellen, an denen örtliche Überhitzungen aufgetreten sind, angetroffen (z. B. unter Kesselsteinbelag).

III. Bekämpfung der Korrosionsfäden.

Die zur Bekämpfung von Korrosionsursachen im Maschinenbetrieb anzuwendenden Maßnahmen müssen sich erstrecken auf:

1. Ständige Vorsorge für stetiges Vorhandensein von alkalischen Schutzstoffen im Speise- und Kesselwasser.
(Aufrechterhaltung der vorgeschriebenen p_{H} -Werte, AZ und PZ).
2. Verhinderung von Seewassereintritten.
(Überwachen der Kondensatoren, Frischwassererzeuger usw. mit Hilfe der Salzmessgeräte und durch Messen der ClZ im Speisewasser).
3. Vermeidung des Schäumens und Spuckens des Kesselwassers.
(Überwachen der ClZ des Kesselwassers, Einhalten des günstigsten Wasserstandes, Inbetriebnahme einer genügenden Kesselzahl für die angeforderte Dampfmenge oder befohlene Fabrikstufe).

4. Ständige Vorsorge für möglichst restlose Entlüftung des Speisewassers.
(Ständige Einhaltung der vorgeschriebenen Entgasungstemperatur, Vermeiden von Sauerstoffeinbrüchen usw., Überwachen der OZ).
 5. Entfernung mitgerissener Salze bei Kesseln mit Überhitzern nach jedem Feueraus.
(Spülen der Überhitzer.)
 6. Vermeidung aller korrosionsfördernden Faktoren bei stillgesetzten Kesseln.
(Überwachen der Erhaltungsmaßnahmen durch Messen von AZ und OZ).
- U. a. m.

B. Auswirkung von ölhaltigem Kesselwasser.

Ein mehr oder minder großer Ölgehalt im Kesselwasser wirkt sich im Kesselbetrieb im allgemeinen auch als ein mehr oder minder großer Störungseinfluß aus, insbesondere auf die Kesselrohre bei Wasserrohrkesseln oder auf die Flammrohre bei Zylinderkesseln.

Die Maßnahmen, die verhindern sollten, daß Öl in das Kesselwasser gelangt, müssen von vornherein weitgehend und sorgfältig getroffen sein und genauestens im Betrieb beachtet werden.

Das Öl im Speise- oder Kesselwasser stammt bei Verwendung von Kolbenmaschinen zum Antrieb der Haupt- und Hilfsmaschinen in den meisten Fällen aus dem zurückgewonnenen Kondensat. Beim Antrieb durch Turbinen kann es z. B. aus den Lagern durch die Stopfbuchsen in den Speisewasserkreislauf dringen. Auf Schiffen mit Heizölfeuerung kann Heizöl durch Undichtheiten des Heizölvorwärmers oder an den im Heizölbunker eingebauten Heizschlangen in das Kondensat und dadurch in den Kessel kommen.

Es ist darauf zu achten, daß die Schmierung der Arbeitsflächen in den Zylindern und Schieberkästen so zweckmäßig wie möglich gestaltet ist und sie so eingestellt wird, daß mit der geringstmöglichen Schmierölmenge gefahren werden kann. Dies gilt nicht nur für die Haupt-, sondern auch für die Hilfsmaschinen.

Spuren von Öl bleiben auch bei sorgfältigster Filterung im Speisewasser. Für die Entölung sind im allgemeinen vor dem Regelbehälter Filter eingebaut, die Kokosfasern, Koks, Filtermatten u. dgl. enthalten. Für die Entölung werden auch, wie z. B. auf den M-Booten 35, Aktivkohle-Filter eingebaut.

Ein geringer Ölgehalt kann bei den meisten Kesselbauarten im Kesselwasser vorhanden sein, ohne daß Schäden auftreten, wenn das Kesselwasser frei von Härtebildnern ist. Sobald sie jedoch Kesselstein, wenn auch nur in geringen Mengen, auf den beheizten Kesselwandungen und -rohren

schon abgesetzt hat, kann veröltes Kesselwasser in verschärftem Maße Kesselschäden bewirken.

Das Eindringen geringer Mengen von Härtebildnern in das Kesselwasser, z. B. durch undichte Kondensatoren, Salzmittreißer der Frischwassererzeuger usw., kann für den Kesselbetrieb unschädlich bleiben, wenn die Härtebildner durch eine ausreichende Menge von Trinatriumphosphat und Abnatron im Kesselwasser ausgefällt werden. Je nach der Stärke des Eindringens von Härtebildnern, das auch an dem starken Absinken der Phosphatzahl zu erkennen ist, tritt ein mehr oder weniger großer Verbrauch an diesen Schutzstoffen ein, insbesondere an Trinatriumphosphat. Bei auch nur vorübergehend eingetretenem völligem Verzehr der Phosphatzahl setzen sich die Härtebildner auf den am stärksten beheizten Flächen ab, z. B. auf den dem Feuer zugekehrten Kesselrohrhälften.

Der Belag auf der wasserberührten Rohrseite verhindert eine ausreichende Kühlung des Werkstoffes und führt daher hier zu Werkstoffüberhitzungen. Auf der rauchgasberührten Seite der Rohre tritt Verzungderung und Abtragung des Rohrwerkstoffes ein. Im Innern der Rohre wird der zwischen Rohrwand und Kesselsteinbelag eindringende Wasserdampf infolge der stark erhöhten Rohrwandtemperatur zersetzt. Der hierdurch entstehende Sauerstoff greift das Eisen besonders heftig an und zehrt es bis zum völligen Durchbruch ab. Dampfkorrosion! (Siehe Seite 48 und 51).

Durch ölhaltige Ablagerungen verursachte mangelnde Kühlung der vom Feuer stark beheizten Rohrseite führt zu Stauchungen dieser Rohrhälfte, weil ihre Temperatur erheblich höher liegt als die vom Feuer abgekehrte und normalgekühlte Rohrseite. Die übermäßig hoch erhitzte Rohrhälfte längt sich gegenüber der anderen Rohrhälfte über das Maß der elastischen Verformung hinaus, so daß die Verformung bei Abkühlung des Kesselrohrs (Feueraus) nicht wieder vollständig zurückgehen kann. Die Folgen dieser mit jeder Inbetriebnahme des Kessels und mit allen Belastungsänderungen sich ändernden Dauerwechselbeanspruchungen äußern sich in Form von meist quer zur Rohrachse liegenden Wanddurchbrüchen (Querrissen), wobei auch Korrosionseinflüsse beteiligt sein können (s. Seite 47, Korrosionsdauerbruch). Bei sehr häufigen Belastungs- und Temperaturänderungen können Rohrdurchrisse durch Wechselbeanspruchungen schon auftreten, bevor die infolge der hohen Rohrwandtemperatur allgemein erfolgende Abtragung des Rohrwerkstoffes bereits zu einer merklichen Verminderung der Rohrwanddicke geführt hat. In der Mehrzahl der Fälle überlagern sich beide Schadensformen.

Der Belag auf der Rohrimmensseite kann sich auf die Verbrennung nachteilig auswirken. Wenn noch unverbrannte Heizölteilchen auf die hoch erhitzten Rohrwände der den Feuerraum begrenzenden Rohrreihen auf treffen, verkoken diese Heizölteilchen an den heißen Rohren und bilden

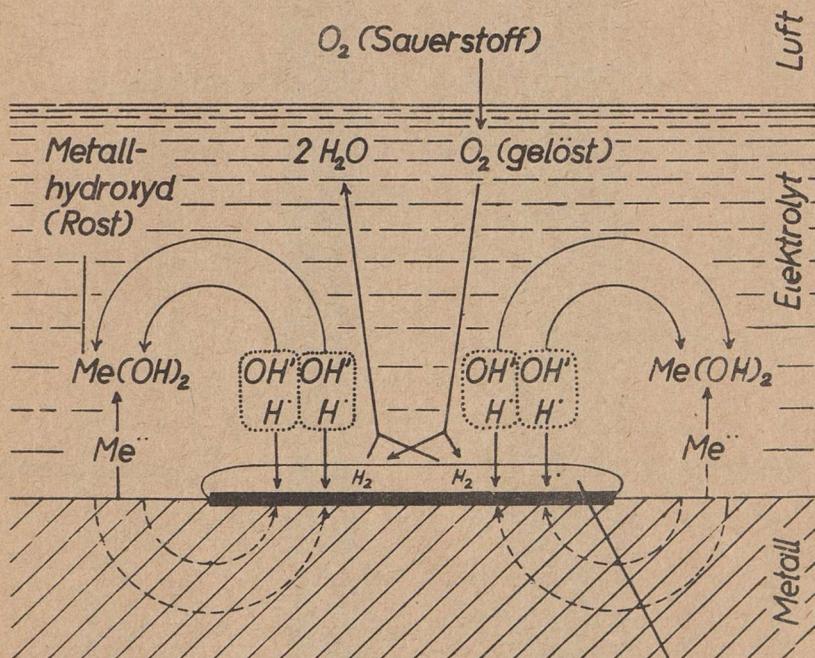
zusammen mit den unverbrennlichen Bestandteilen des Heizöles eine harte emailleähnliche Schicht, die den Wärmedurchgang behindert.

Infolge der ständig wechselnden Rohrwand- und örtlichen Feuerraumtemperaturen platzt der äußere, hier den Werkstoff schützende Rohrbelag stellenweise ab und verursacht an diesen Stellen starke, örtliche Überhitzung des Rohrwerkstoffes, auf der Rohrrinnen- und Rohrwandabzehrung (Dampfkorrosion), wodurch die dünner werdende, überhitzte Rohrwandstelle durch den Dampfdruck stellenweise in Form von kleinen Beulen herausgedrückt wird und schließlich durchbricht.

Vermerk: Für M-Boote 35 ist, um für alle Fälle einen möglichst großen Vorrat an Schutzstoffen, insbesondere an Trinatriumphosphat, im Kesselwasser zu haben, angeordnet worden, daß eine Phosphatzahl von mindestens 20 und eine Alkalitätszahl von mindestens 400 ständig aufrechtzuerhalten ist (s. Teil I unter B. 1).

Die in Form von Schlamm ausgefallenen Härtebildner und Steilchen müssen rechtzeitig und möglichst vollständig aus dem Kesselwasser durch Ausdrücken und Abschäumen entfernt werden. Andernfalls kann sich dieser Schlamm aus Schlamm und Rost zu Klumpen zusammenballen, einzelne Rohre dichtsetzen und schließlich Rohrreißer verursachen. Besonders ist diese Gefahr bei neuen Kesselanlagen oder auch bei Kesselanlagen von Schiffen und Booten vorhanden, die aus der Werft kommen, wenn die Kessel längere Zeit offen gestanden haben und die Kesselwandungen oder Kesseltrohre Rost angefressen haben. Bei neuen Kesseln, nach Rohrerneuerungen und Werftliegezeiten ist deshalb vermehrte Zugabe von Schutzstoffen, insbesondere von Trinatriumphosphat, und häufiges Abschäumen erforderlich, damit die Kesselwandungen möglichst bald überall eine Phosphatschicht erhalten und Rostablagerungen entfernt werden.

Durch ausreichende, stetige Zugabe von Schutzstoffen muß dafür gesorgt werden, daß die durch plötzlich auftretende Versalzungen, häufig aber auch durch langdauernde, schleichende Seewassereinbrüche entstehende Anreicherung des Kesselwassers mit Härtebildnern laufend bekämpft wird. Im Kesselwasser muß daher stets ein genügend großer Überschuss an Trinatriumphosphat und Natriumcarbonat vorhanden sein.



anodische (unedle)
Oberflächenstellen



kathodische (edle)
Oberflächenstellen



Elektronenströme
(Transport neg. Ladung)

Wasserstoffschicht

diese H_2 -Schicht bildet sich nur, wenn 1.) im Elektrolyten kein gelöster Sauerstoff vorhanden ist, da dieser sofort den Wasserstoff zu Wasser oxydiert, oder wenn 2.) der Elektrolyt stark sauer ist ($pH < 4.0$); in diesem Fall entweicht der Wasserstoff gasförmig.

Abbildung 1.

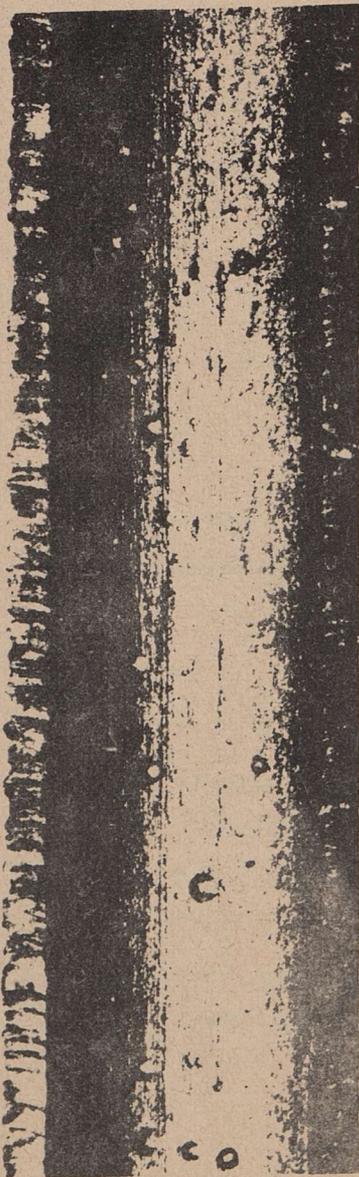


Abbildung 2.
Kesseltube mit Ziebriefen und Vordraß.

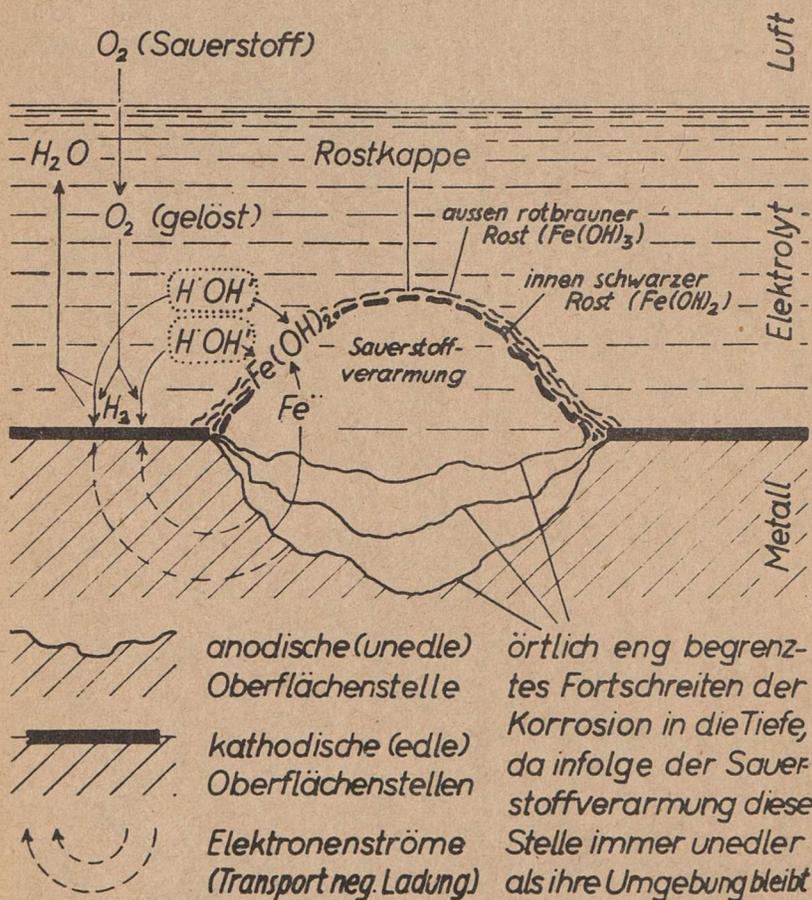


Abbildung 3.

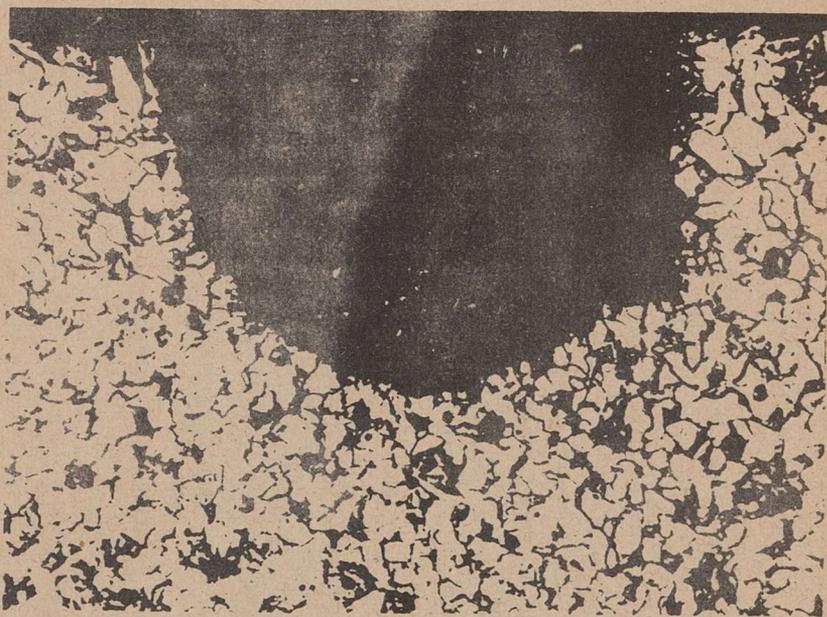


Abbildung 4.
Vergrößerter Querschliff durch eine örtliche Anfrischung aus Abb. 2.



Abbildung 5 a.
Interkristalline Korrosion an der Oberfläche des Werkstoffes beginnend.



Abbildung 5 b.
Interkristalline Korrosion im Innern des Werkstoffes.

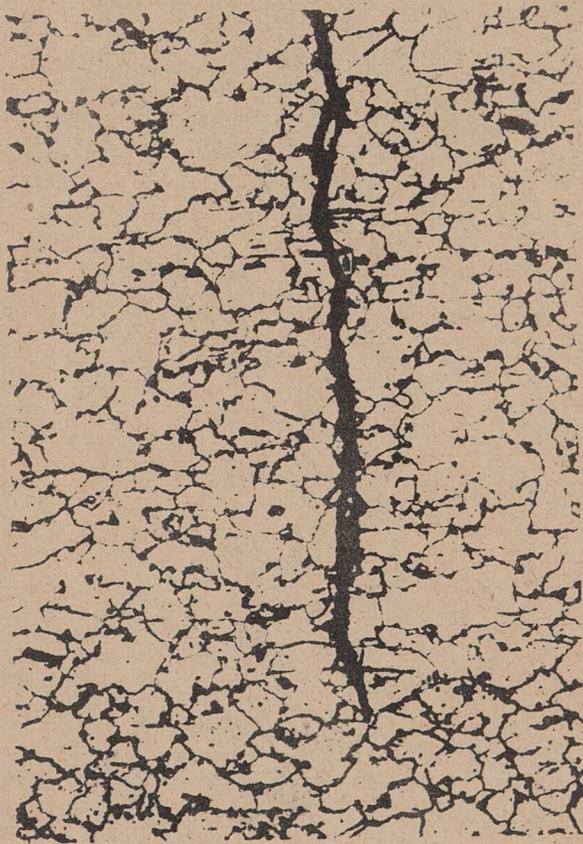


Abbildung 6.
Korrosionsdauerbruch (Intrakristalline Korrosion).



Abbildung 7.
Reihenartige Anordnungen, durch im Rohr siebenzehnebene Wellenfalten hervorgerufen.

