

# Heizelmann, Koch

DK 621.187.127:663.631.7

## Wasseraufbereitung auf elektrochemischer Basis

Die elektrolytische Gebrauchswasseraufbereitung kann überall dort angewandt werden, wo Rost- (Korrosion) oder Steinbildung bzw. beide Faktoren gemeinsam wertvolles metallisches Material zerstören, den laufenden Betrieb erheblich gefährden und so große Kosten verursachen. Im Gegensatz zu den bisher gebräuchlichen Verfahren erfolgt hierbei die Wasserbehandlung auf elektrochemischem Wege.

In den Behälter der zu schützenden Anlage wird isoliert eine mit dem positiven Pol einer niederspannten Gleichstromquelle verbundene Aluminiumelektrode (99,7% Al) als Anode eingebaut, Bild 1. Der Behälter selbst bildet die Kathode, indem er mit dem negativen Pol der Gleichstromquelle leitend verknüpft wird. Die angelegten Spannungen liegen zwischen 10 und 15V, die Stromdichten bei etwa 200 mA/m<sup>2</sup> Kathodenfläche.

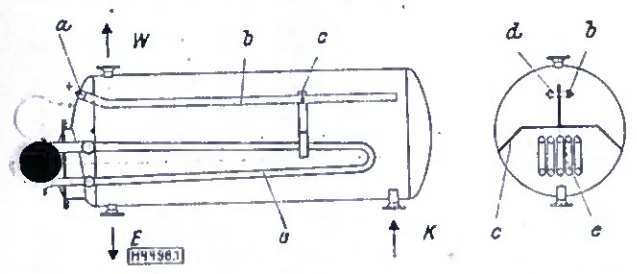
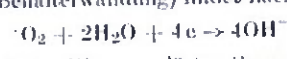


Bild 1. Anordnung der Anoden  
a Durchführung b Aluminiumanode c Trageisen d Doppeltragkonstruktion e Heizschlange E Entschlammung K Kalkwasser W Warmwasser

Der Warmwasserbereiter ist somit kathodisch geschützt, d. h. es fließt aus dem Elektrolyten (Wasser) von der Aluminiumanode zur Metalloberfläche (Kathode) ein Strom, der dem aus dieser Metalloberfläche austretenden Korrosionsstrom entgegen gerichtet ist. Das Potential der Korrosionskathoden wird durch den Schutzstrom auf dasjenige der Korrosionsanoden gesenkt, womit ein absoluter Schutz des Werkstoffs innerhalb des Strombereichs gewährleistet ist. Bei der kathodischen Belastung der Eisenelektrode (Behälterwandung) findet nach



eine Reduktion des im Wasser gelösten Sauerstoffs unter gleichzeitiger Ausbildung einer „Wandalkalität“ statt. Das Potential dieser reversibel arbeitenden „Sauerstoffelektrode“ ist pH-abhängig und verschiebt sich mit steigenden pH-Stufen zu unedleren Werten. Mit steigender Stromdichte wird die in der Einheit reduzierte Sauerstoffmenge größer. Die oben beschriebene Reduktionsreaktion ist von der Diffusion des Sauerstoffs an die Kathode abhängig, wobei nach dem 1. Fick'schen Gesetz:

$$\frac{dn}{dt} = D q \frac{dc}{dx}$$

die je Zeiteinheit herandiffundierende Sauerstoffmenge  $dn$  er-rechenbar ist.  $D$  stellt in dieser Gleichung den Diffusionskoeffizienten in cm<sup>2</sup>/s,  $q$  die Elektrodenoberfläche in cm<sup>2</sup> und  $dc/dx$  das Sauerstoffkonzentrationsgefälle dar. In Erweiterung des angeführten Gesetzes läßt sich der Diffusionsgrenzstrom, d. h. der für die Sauerstoffreduktion maximale Strom bei Annahme eines linearen Sauerstoffkonzentrationsgefälles errechnen [1].

Für Eisen muß eine Senkung des Potentials auf - 800 mV bis - 850 mV gegen die gesättigte Cu/Cu SO<sub>4</sub> - Elektrode erreicht werden [2].

Die angeführten Stromdichten reichen nicht aus, eine Elektrolyse des Gebrauchswassers unter merklicher kathodischer Wasserstoffabscheidung und anodischer Sauerstoffentwicklung zu ermöglichen.

Mannigfache Versuche haben ergeben, daß bei Anwendung der angeführten Stromdichten und einer mittleren Verweilzeit des Wassers im Elektrodenraum von etwa 20 min eine kathodisch bedingte Verminderung des Gesamtsauerstoffgehaltes von etwa 17% eintritt. Hinzu kommt noch eine rd. 20%ige Sauerstoffgehalterniedrigung infolge einer Reaktion des durch positive Belastung noch unedler und damit umsetzungsfreudiger vorliegenden Aluminiums mit dem im Wasser gelösten aggressiven Gas. Die schon erwähnte kathodische Wandalkalität ist in der Lage, freie Kohlensäure abzubinden.

Für einen effektiven Korrosionsschutz in den nachgeschalteten Rohrleitungen reicht selbstverständlich die eben geschilderte teilweise Sauerstoffbindung nicht aus.

Außerdem läßt sich der Wirkungsbereich des kathodischen Schutzes nicht auf das Rohrleitungsnetz ausdehnen, weil der Spannungsabfall innerhalb des metallischen Werkstoffs so groß ist, daß schon wenige Zentimeter hinter dem kathodisch belasteten Behälter kein merklicher Stromfluß mehr nachweisbar ist. Hier greift nun das elektrolytische Aufbereitungsverfahren im Gegensatz zu den üblichen Kathodenschutzsystemen auf kolloidchemischer Basis ein. Das anodisch geschaltete Aluminiummetall löst sich während des Anodenvorgangs unter Abscheidung von hochvoluminösem, stark wasserhaltigem Aluminiumhydroxyldhydrat mit sehr großer, aktiver Oberfläche auf. Letzteres geht in sehr geringer Menge in Lösung und baut sich sofort in das unter Anfangskorrosion gebildete Eisenhydroxyldhydrat bzw. Zinkhydroxyldhydrat kristallin unter Ausbildung einer dichten, weitgehend porenfreien, echten Schutzschicht ein. Weiterer Metallangriff wird somit unterbunden.

Die Dicke der Schutzschicht ist begrenzt, weil nur solange Aluminiumhydroxyd in das Eisen- bzw. Zinkhydroxydgitter eingebaut werden kann, wie letztere vorhanden sind.

Es ist darauf hinzuweisen, daß die Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalte des Wassers nach Passieren des Stromfeldes praktisch nicht größer als im unbehandelten Rohwasser sind.

Hochvoluminöses Aluminiumhydroxyldhydrat okkludiert die verschiedensten im Wasser enthaltenen Salze, womit der Widerstand des Elektrolyten heraufgesetzt und die Reichweite bestehender Korrosionselemente vermindert wird (Leitfähigkeitserniedrigung um etwa 15%).

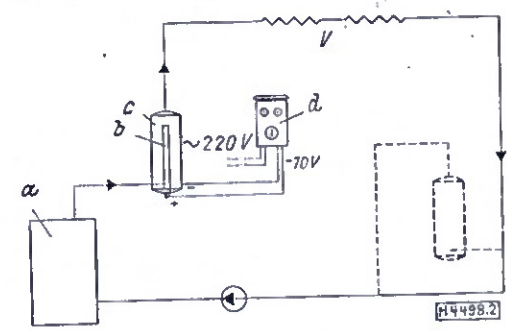
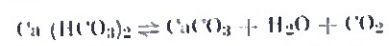


Bild 2. Schaltung des Reaktionsgefäßes im Heizkreislauf  
a Kessel b Anode c Reaktionsgefäß d Schaltschrank V Verbraucher  
Werkbilder: Guldager-Elektrolyse GmbH, Gelsenkirchen-Buer

Kesselsteinschutz läßt sich bei Anwendung des beschriebenen Verfahrens ebenfalls erreichen, indem die temperaturbedingt nach



ausfallenden Härtebildner (Calciumkarbonat als hexagonaler Calcit) auf Grund der Stromzufuhr in den energiereicheren rhombischen Aragonit übergeführt werden [3]. Dieser besitzt keine Haftfestigkeit an metallischen Wandungen. Das anodisch entstandene Aluminiumhydroxyldhydrat schließt die Kalkteilchen ein und sammelt sich mit ihnen am Boden des Behälters, von wo der Abzug durch eine geeignete Abschlammereinrichtung mühelos erfolgen kann.

Die geschilderten Vorgänge setzen eine Mindesttemperatur von 35°C voraus, weil unterhalb letzterer die notwendigen Behandlungszeiten (Verweilzeit des Wassers im elektrischen Feld) zu groß und damit die zu errichtenden Aggregate unwirtschaftlich werden. Obere Temperaturgrenzen sind dagegen dem Verfahren nicht gesetzt.

Verwendung findet das Verfahren auf dem Gebiet der Warmwasserbehandlung. Es werden Boiler- und Speicheranlagen mit absoluter Sicherheit geschützt. Die Anoden werden in den vorhandenen Behältern eingebaut, so daß keine zusätzlichen Einrichtungen erforderlich sind.

Auch die Behandlung von Kreislaufwässern (Warm- und Heißwasserheizungen) ist bis zu höchsten Temperaturen möglich.

Da in diesem Fall der Einbau von Aluminiumanoden in den Kessel selbst nicht durchführbar ist, wird ein zusätzlicher Reaktionsbehälter bestimmter Größe, der in dem gesammelten Vor- oder Rücklauf der Heizungsanlage anzuordnen ist, benötigt. In dieses Gefäß wird das erforderliche Anodenmaterial installiert. So passiert das im Umlauf befindliche Wasser ständig das elektrische Feld, welches alle im Elektrolyten befindlichen

aggressiven Gase wie Sauerstoff und Kohlensäure auf Grund der beschriebenen Redox-Reaktionen unschädlich macht. Auch hier werden die temperaturbedingt ausfallenden Härtebildner in Schlammform, d. h. ohne Haftfestigkeit an metallischen Wandungen gehalten, Bild 2.

Es sei darauf hingewiesen, daß mittels der elektrolytischen Aufbereitung sowohl Korrosions- als auch Steinschäden in einem Arbeitsgang absolut sicher ausgeschaltet werden und damit eine zusätzlich notwendige Entgasung entfällt. Von außen aufgenommenen Sauerstoff (undichte Pumpenstopfbuchsen, Zusatzwasser usw.) wird sogleich im Reaktionsgefäß abgebunden und kann nicht mehr im schädlichen Sinne wirken.

Ein weiterer Vorteil der elektrolytischen Wasserbehandlung liegt darin, daß keine ständige Wartung erforderlich ist. Gelegentliche Kontrollen können von jedem Nichtfachmann vorgenommen werden.

Rein kathodisch lassen sich alle Behälter und Gefäße schützen, die einen Einbau von Anoden zulassen.

Die durchschnittlichen Betriebskosten sind mit 0,4 bis 0,6 Dpf./m<sup>3</sup> Wasser ermittelt worden und gewährleisten somit eine günstige Amortisation.

#### Schrifttum

- [1] Schwarz, W.: Zur elektrochemischen Sauerstoffmessung nach F. Tödt. Werkstoffe und Korrosion 6 (1955) Nr. 11 S. 527/35.
  - [2] Rausch, W.: Anwendung des kathodischen Schutzes in der chemischen Industrie. Werkstoffe und Korrosion 6 (1955) Nr. 4 S. 189/98.
  - [3] Klas, H.: Untersuchungen über die Deckschichtenbildung bei der kathodischen Polarisation von Stahloberflächen. Korrosion X. Weinheim 1958, S. 45/52.
- U. Heinzelmann u. W. Koch [H 4498]  
Gelsenkirchen

DK 621.643.2.02.001.24:697.433.4

## Die Berechnung der erforderlichen Länge des Luftsackes

Über die Berechnung der notwendigen Längen von Luftleitungen sind im Schrifttum kaum Angaben zu finden. Die folgende Abhandlung ist ein Auszug aus einem Aufsatz, der unter dem gleichen Titel im Österr. Installateur 13 (1960) Nr. 5 S. 195, 197 u. 199 von W. H. Suter veröffentlicht wurde.

Dem Verfasser ist zuzustimmen, daß eine schädliche Wasserzirkulation durch die Luftleitung verhindert werden muß sowie auch darin, daß ein Luftsack in einem tiefer gelegenen Geschoß länger sein muß als in einem oberen Stockwerk. Der Wasserstand in den Luftsäcken darf nach dem Füllen der Anlage die untere Kante der waagerechten Luftleitung nicht erreichen, und zwar auch dann nicht, wenn das Ausdehnungsgefäß relativ hoch liegt und damit einen erheblichen Druck auf die Luft in der Luftleitung ausübt. Die Höhe der Wassersäule im Luftsack muß daher um so größer sein, je größer der Unterschied der beiden Wasserspiegel, je länger die luftgefüllte Länge der Luftleitung und je kleiner die Anzahl der lotrechten Schenkel sind.

Daraus entwickelt Suter die Formel:

$$h = \frac{760 L (0,09 \cdot 27 H + 0,0968 P)}{b S}$$

die unter der Voraussetzung gilt, daß die Luftleitungen einheitliche Durchmesser haben und an den Abzweigstellen der gleiche Pumpendruck herrscht. Darin bedeuten:

- $h$  die erforderliche Höhe des Luftsackes in m,
- $L$  die luftgefüllte Länge der angeschlossenen Luftleitungen in m,
- $H$  Höhenunterschied der beiden Wasserspiegel in m,
- $P$  Pumpenüberdruck in m WS,
- $S$  Anzahl der lotrechten Entlüftungsschenkel und Luftsack,
- $b$  Barometerstand am Ort der Heizungsanlage in Torr.

Die nach dieser Gleichung errechneten Wasserstandhöhen sind als Mindestmaße zu betrachten. Ergeben sich unausführbar große Höhen, so kann man die Anzahl der Luftsäcke vermehren oder eine sog. Luftflasche, d. h. einen Luftsack mit größerer Rohrweite, einbauen. Mit Rücksicht darauf, daß die Wasserheizungen zwar wasserdicht, aber nicht luftdicht sind, können die Zahlenwerte etwas erhöht werden, so daß sich ergibt:

$$h = \frac{760 L \cdot 0,1 (H + P)}{b S}$$

An einem im Bild gezeigten Beispiel soll diese Berechnung erläutert werden.

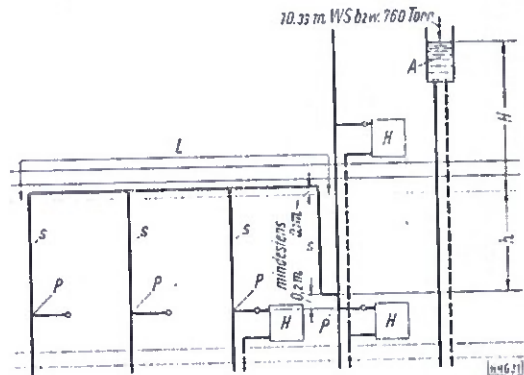
Drei Luftleitungen sind an eine gemeinsame Luftleitung angeschlossen, die in einen nach oben führenden Strang entlüftet wird. Waagerechte Länge  $L = 19,6$  m; dazu kommen  $4 \cdot 0,1$  m als Sicherheitsabstand, also insgesamt  $19,6 + 0,4 = 20,0$  m.  $H = 3$  m WS,  $P = 2$  m WS, da von dem Pumpendruck von 3 m WS im Rohrnetz 1 m WS verbraucht wird. Die Anlage liegt 500 m über NN, damit wird  $b = 716$  Torr. Es ergibt sich die erforderliche Wasserstandshöhe im Luftsack:

$$h = \frac{760 \cdot 20 (0,0927 \cdot 3 + 0,0968 \cdot 2)}{716 \cdot 4} = 2,5 \text{ m}$$

Zur Kontrolle: Endvolumen in der Luftleitung  $V_e = 20$  m, Anfangsvolumen in der Luftleitung  $V_a = 20 + 4 \cdot 2,5 = 30$  m; also  $V_a/V_e = 30/20 = 1,5$ . Um diese Berechnung zu kontrollieren, sollen die End-Anfangsvolumen der Luftleitung miteinander verglichen werden; da diese Rohre denselben Durchmesser haben, ist es viel einfacher, die Längen der luftgefüllten Rohrleitungen miteinander zu vergleichen. So beträgt die Länge  $L_e$  der luftgekühlten Leitung am Ende 20 m und am Anfang, d. h. ohne Pumpendruck und ohne Wasserdruck vom höher stehenden Ausdehnungsgefäß  $20 + 4 \cdot 2,5 = 30$  m. Damit wird

$$L_a : L_e = 30 : 20 = 1,5.$$

Die Drücke verhalten sich umgekehrt, da anfangs 716 Torr = 9,74 m WS vorhanden sind, die zum Schluß auf  $9,74 + 3 \cdot 0,958 + 2 = 14,62$  m WS anwachsen. Mithin ist  $14,62/9,74 = 1,5$  wie bei den beiden Volumen. Diese Wasserstandshöhe  $h = 2,5$  m ist



Strangenschema über die Entlüftung von drei Strängen an einem höher führenden Strang  
A Ausdehnungsgefäß H Heizkörper P Pumpenüberdruck in WS S lotrechte Entlüftungsschenkel bzw. Luftsack

aber praktisch nicht ausführbar. Um  $h$  zu verkleinern, ist es am wirksamsten, den Nenner des Bruches zu vergrößern, d. h. die Zahl der luftgefüllten Schenkel zu erhöhen. So soll hier jeder Strang mit einem Luftsack an die Luftleitung angeschlossen werden. Es kommen also zwei Luftsäcke hinzu, so daß  $S = 4 + 2 = 6$  wird. Damit enthält man  $h = \frac{2,54}{6} = 1,68$  m.

Die kurzen Stücke zwischen der nach unten abbiegenden Luftleitung und dem lotrechten Stück des nächsten Stranges sind in der Anlage nicht vorhanden, müssen daher in der Abbildung durchkreuzt werden.

Ein zweites Beispiel soll unter folgenden Annahmen durchgerechnet werden:

$L = 35$  m;  $H = 8$  m;  $S = 10$ ;  $b = 724$  Torr (400 m über NN); daraus folgt

$$h = \frac{760 \cdot 35 \cdot 0,927 \cdot 8}{724 \cdot 10} = 2,72 \text{ m}$$

Wird aber bei jedem Strang ein eigener Luftsack angeordnet, dann steigt  $S$  um 8 auf  $10 + 8 = 18$  an, so daß  $h = \frac{10 \cdot 2,72}{18}$