

Elektrolytische Desinfektion von Trinkwasser

Verordnungsgerechte Desinfektion von Trinkwasser und hausinternen Trinkwasserinstallationen mit dem Elektrolyse-Verfahren

Prof. Dr. Dieter Kreysig, wissenschaftlicher Berater

Dipl.-Ing. Burkhard Sandt, Leiter Technik und Betrieb

Ist ein hausinternes Trinkwasser-Installationssystem von einem Biofilm besiedelt, der eine pathogene Spezies wie z.B. Legionellen beherbergt, kann das aus den Armaturen fließende Wasser schädliche Konzentrationen derartiger Krankheitserreger enthalten. Dieses Wasser mit seinem gesundheitsgefährdenden Potential entspricht nicht den Qualitätsanforderungen des Infektionsschutzgesetzes (IfSG) [1] und der darauf beruhenden Trinkwasserverordnung 2001 (TrinkwV) [2] und darf nicht an Verbraucher abgegeben werden. Dies gilt insbesondere für Trinkwasserinstallationen, aus denen Wasser an die Öffentlichkeit abgegeben wird („öffentlich-gewerblicher Bereich“).

Für die strikte Einhaltung dieses Gebotes ist der jeweilige Betreiber oder Inhaber der Versorgungseinrichtung – unter Strafandrohung im Falle eines Verstoßes – persönlich und uneingeschränkt haftbar. Er muss dafür sorgen, dass in seinem Trinkwasser-Installationssystem keine mikrobielle Kon-

tamination des abzugebenden Trinkwassers erfolgen kann (Prävention) bzw. im Falle einer nachgewiesenen Kontamination diese und deren Ursachen nachhaltig beseitigt werden. Vorgaben, Hinweise und Empfehlungen für eine derartige Vermeidungsstrategie sowie für die Beseitigung einer eingetretenen Kontamination des Installationssystems (mit der Folge der mikrobiellen Qualitätseinbuße des daraus bereitzustellenden Wassers) und eine erforderliche hygienische Sanierung, finden sich im einschlägigen Regelwerk [3] und sind hinsichtlich ihrer Wirkungen und Wirkungsgrenzen vielfältig beschrieben [4]. Für alle anzuwendenden präventiven sowie sanierenden Maßnahmen sind nur die in der Anlage zu § 11 der TrinkwV aufgeführten „Aufbereitungsstoffe, die zur Desinfektion eingesetzt werden“ sowie „Desinfektionsverfahren“ [5] zulässig. In dieser verbindlichen Liste werden u.a. als für die Desinfektion einzusetzender Stoff *freies Chlor* in Form von hypochloriger Säure (HOCl) im pH-abhängigen Gleichgewicht mit Hypochlorit (ClO⁻) sowie als Desinfektionsverfahren die *Elektrolytische Herstellung und Dosierung von Chlor vor Ort* genannt.

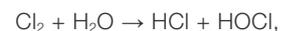
Entscheidend für die Dosierung von freiem Chlor ist die Einhaltung der Grenzwerte von (0,1 ... 0,3) mg freiem Chlor/Liter an den Zapfstellen (in Ausnahmefällen max. 0,6 mg/Liter) sowie die Beachtung der Bildung von Nebenprodukten wie Trihalogenmethane (THM < 50 µg/Liter) bzw. Bromat im Falle bromidhaltigen Wassers. Darüber hinaus ist der Betreiber von Hausinstallationen, in denen derartige verfahrenstechnische Maßnahmen der Trinkwasserhygiene zur Anwendung kommen, zur Führung eines Betriebsbuches verpflichtet (wöchentliche Kontrolle und Protokollierung des Verbrauchs

an Desinfektionsmittel und täglich dito der Konzentration an freiem Chlor an einer repräsentativen Zapfstelle). Von dieser Maßnahme ist er befreit, wenn diese Werte z.B. messtechnisch ermittelt und elektronisch gespeichert werden.

DAS DESINFEKTIONSMITTEL „FREIES CHLOR“

Das desinfektionswirksame Agens „freies Chlor“ ist hypochlorige Säure/Hypochlorit in wässriger Lösung, herstellbar durch

► Einleiten von Chlor in Wasser:



► Auflösen von festem Hypochlorit (NaOCl, Ca(OCl)₂) in Wasser

► elektrolytische (anodische) Oxydation von Chloridionen:



Infolge der pH-Abhängigkeit des Gleichgewichts $\text{HOCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{ClO}^-$ liegt, unabhängig von der Art der Zubereitung/Herstellung, die desinfektionswirksamere hypochlorige Säure in mit steigendem pH-Wert immer geringeren Anteilen vor:

(in % bei 20 °C, C _{freies Chlor} 0,3 mg/l)			
	pH 6,5	pH 7	pH 7,5
HOCl	93	81	57
ClO ⁻	7	19	63

Dieser Zusammenhang ist durch den jeweiligen pH-Wert des zu desinfizierenden Wassers determiniert und ohne weitere zusätzliche Eingriffe (z.B. pH-Korrektur) im konkreten Fall einer Desinfektionsmaßnahme nicht beeinflussbar. Freies Chlor unterliegt einer Reihe von Folgereaktionen, die als Konzentrationsschwund und damit Verlust an Desinfektionswirksamkeit („Chlorzehrung“) den praktischen Einsatz beschränken und u. U. sogar ausschließen können:

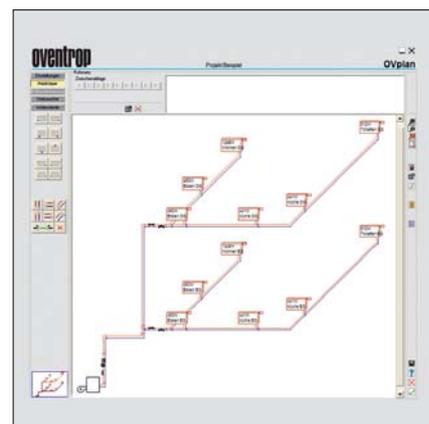


Abb.2 AQUADES DOS-Anlage – Innenansicht

tamination des abzugebenden Trinkwassers erfolgen kann (Prävention) bzw. im Falle einer nachgewiesenen Kontamination diese und deren Ursachen nachhaltig beseitigt werden. Vorgaben, Hinweise und Empfehlungen für eine derartige Vermeidungsstrategie sowie für die Beseitigung einer eingetretenen Kontamination des Installationssystems (mit der Folge der mikrobiellen Qualitätseinbuße des daraus bereitzustellenden Wassers) und



„OVplan“ Planungs- und Anlagensoftware:
praxisgerechte Berechnung von hydraulischen Systemen in der Gebäudetechnik



Strangschemata Heizung

Die neue Programmversion „OVplan“ ist „die“ praxisgerechte Software zur Anlagenberechnung der Gewerke Heizung, Kühlung, Trinkwasser und Flächenheizung. Die Software bietet ein hohes Maß an Benutzerfreundlichkeit und ermöglicht so eine schnelle Projektbearbeitung.

Ihr Nutzen:

- praxisgerechte Berechnung von nahezu allen hydraulischen Systemen in der Gebäudetechnik
- benutzerfreundlich durch einfache Eingabemöglichkeiten
- übersichtliche Materiallisten erleichtern das Bearbeiten bzw. die Bestellung
- „OVplan“ steht im Internet unter www.oventrop.de zum „downloaden“ oder auf der Oventrop CD 2006 kostenlos bereit

Bitte fordern Sie weitere Informationen an:

F. W. OVENTROP GmbH & Co. KG
Paul-Oventrop-Straße 1
D-59939 Olsberg
Telefon (0 29 62) 82-0
Telefax (0 29 62) 82-400
E-Mail mail@oventrop.de
Internet www.oventrop.de

Thermischer Zerfall:

Hypochlorige Säure und ihr Anion, das Hypochlorit, unterliegen einem temperaturabhängigen Zerfall
 $\text{HOCl} \rightarrow \text{HCl} + \frac{1}{2} \text{O}_2$ bzw.
 $\text{ClO}^- \rightarrow \text{Cl}^- + \frac{1}{2} \text{O}_2$ (vgl. Abb.1).

Wasserinhaltsstoffe, dispergierte Partikel verschiedene Metalle/Metallionen usw. beschleunigen diesen Zerfallsprozess, so dass die Standzeit derartiger Zubereitungen als Stammlösung konstanter Konzentrationen z. B. für Dosierverfahren beschränkt ist.

Folgereaktionen

Eine wichtige mit dem Schwund an freiem Chlor einhergehende Folgereaktion ist die Bildung von Chlorat, ClO_3^- , einem in Trinkwasser nicht erlaubten Chlorprodukt $2 \text{HOCl} + \text{ClO}^- \rightarrow \text{ClO}_3^- + 2 \text{Cl}^- + 2 \text{H}^+$. In einer wässrigen Lösung von freiem Chlor mit einem Gehalt von ca. 150g „Aktivchlor“/l („Chlorbleichlaug“) liegt – unter der Voraussetzung das „Aktivchlor“ besteht aus HOCl/ClO^- – eine ca. 3-molare Lösung vor. Unter der Annahme konstant bleibender Reaktionsgeschwindigkeit und unter Vernachlässigung weiterer Reaktionspfade für das freie Chlor ergibt sich aus kinetischen Parametern schon rein rechnerisch, dass eine „Chlorbleichlaug“ mit einem Gehalt von 150g „Aktivchlor“/l (3 Mol Hypochlorige Säure/Hypochlorit/l) nach wenigen Wochen Standzeit bei einer Lagertemperatur von (25...30)°C nur noch 50% der Ausgangskonzentration an freiem Chlor (gerechnet ab ihrer Herstellung) enthält, während die Konzentration an Chlorat auf bis zu 30g/l gestiegen ist. Abhängig

von der Wasserzusammensetzung kann es in Abhängigkeit von der Konzentration kohlenstoffhaltiger organischer Inhaltsstoffe (repräsentative Summenparameter hierfür: *DOC – gelöster organischer Kohlenstoff; TOC – Totalgehalt organischer Kohlenstoff*) in Gegenwart von freiem Chlor zur Bildung von chloresubstituierten Reaktionsprodukten kommen mit der Bildung von Trihalogenmethanen (THM, HCX_3 ; X = Cl, Br) als Endprodukt einer vielstufigen Reaktionskaskade, deren Grenzkonzentration mit $\leq 50 \mu\text{g/l}$ definiert ist. In allen Fällen der Dosierung von freiem Chlor ist – unabhängig von der Zusammensetzung und Art der Stammlösung, die zum Einsatz gelangt – die Einhaltung dieses Grenzwertes objektspezifisch zu sichern und jederzeit zu gewährleisten. Aus diesen „chlorzehrenden“ Reaktionspfaden einer wässrigen Lösung an „freiem Chlor“ ergibt sich, dass derartige Zubereitungen nur bedingt und für kurze Zeit als Stammlösung mit über die gesamte Dosierdauer konstanter Konzentration an Desinfizienz geeignet sind.

DESINFIZIERUNGSVERFAHREN UND HAUSINSTALLATION

Grundsätzlich erfordert die Trinkwasserhygiene in einer Hausinstallation entweder die Vermeidung der Entwicklung eines von pathogenen Keimen besiedelten Biofilms oder dessen Eliminierung. Als Maßstab gelten die Befunde mikrobiologischer Untersuchungen, wobei keimmindernde Maßnahmen, z.B. im Falle von Legionellen mit dem Ziel $< 100 \text{ KBE}/100 \text{ ml}$ [3, a] außerhalb von Krankenhäusern, Pflegeeinrichtungen usw., als ausreichend angesehen werden, während eine „Desinfektion“, d. h. eine Keimreduzierung von $10^5:10^0$, angestrebt werden sollte. Wird die Keimminderung bzw. Desinfektion mit freiem Chlor in den in [5] vorgeschriebenen Grenzkonzentrationen durchgeführt, ist zu unterscheiden, ob die Maßnahme im – in der Regel als Zirkulationssystem gestalteten – Bereich der Trink-Warmwasser-(TWw-)Versorgung oder im nicht zirkulierenden Trink-Kaltwasser-(TKw-)Bereich

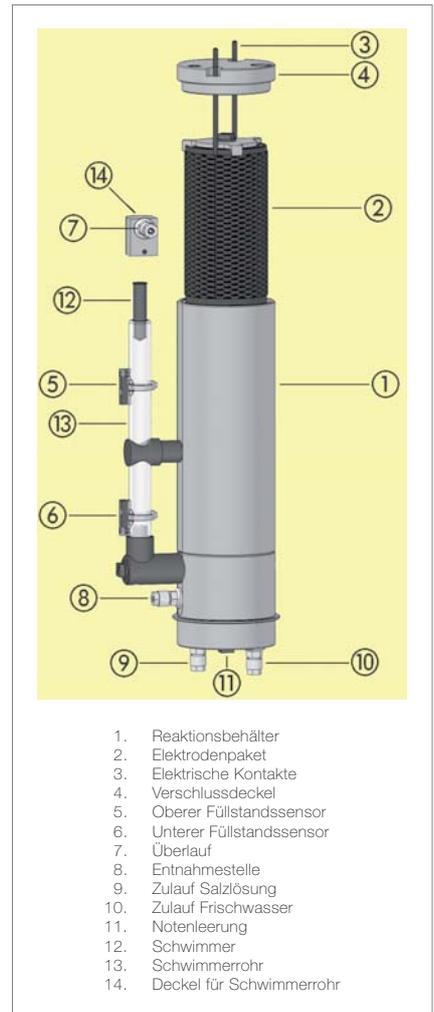


Abb.3 Aufbau Elektrolysezelle

zielführend angewendet wird. Eine einmalige Dosierung von (0,1...0,3...0,6) mg freiem Chlor/l in Wasser mit einer Temperatur von 60 °C/55 °C ist praktisch unwirksam in Bezug auf Desinfektion, da infolge des thermisch begünstigten Zerfalls (s. o.) und der thermisch beschleunigten weiteren chlorzehrenden Prozesse diese Desinfizienzkonzentration sehr schnell unter die Wirksamkeitsgrenze abfällt. Erfolg versprechend ist hingegen die in einem Bypass zum Vorlauf der TWw-Versorgung erfolgende konzentrationsgesteuerte elektrolytische Generierung von freiem Chlor, um bei jedem Zirkulationsdurchlauf die desinfektionswirksame Konzentration erneut einzustellen und damit permanent die für eine Desinfektion erforderliche und zugelassene Grenzkonzentration im System zu gewährleisten. Anlagen des Typs AQUADES Elektrolyse von AquaRotter wirken erfolgreich nach diesem Prinzip [6].

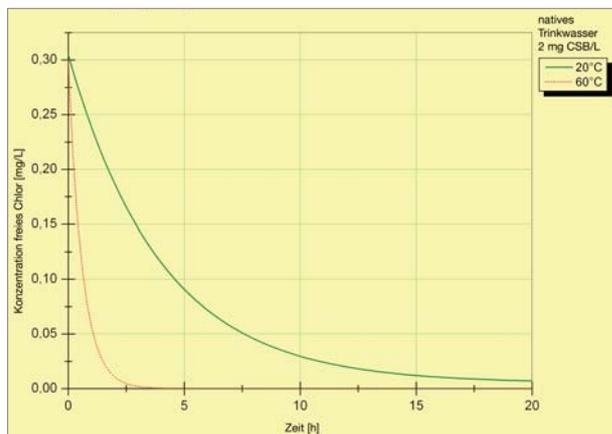


Abb.2 Thermisch induzierter zeitlicher Verlauf der Chlorzehrung (exemplarisch)

Im Unterschied hierzu ist es im Falle der Anwendung von freiem Chlor als Desinfizienz im TWK-Bereich im Prinzip nur einmalig möglich, die erforderliche und zugelassene Maximalkonzentration in das (fließende) Wasser einzutragen.

Wegen der niedrigeren Betriebstemperatur in diesem Installationsbereich verlaufen die chlorzehrenden Prozesse entsprechend langsamer, Abb.2. Infolgedessen ist es möglich, in einem bau- und betriebstechnisch entsprechend gestalteten und bestimmungsgemäß betriebenen „Einbahnstraßen-System“ wie der nichtzirkulierenden TWK-Versorgung auch unter diesen Bedingungen das freie Chlor als desinfektionswirksames Potential bis an die Zapfstellen zu transportieren. Mit der AQUADES DOS-Anlage ist sowohl ein Infektionsschutz (Prävention) wie auch eine hygienische Sanierung kontaminierter Trink-Kaltwasser führender Installationsbereiche zuverlässig und ordnungsgerecht realisierbar.

DIE ELEKTROLYSE-ANLAGE

Vorgaben für die Anlagenentwicklung

Die zu gestaltende Anlage sollte folgenden konstruktiven und funktionalen Prämissen gerecht werden:

► Das Desinfizienz „freies Chlor“ soll als Dosier-Stammlösung nach dem bewährten Verfahren der elektrochemischen Oxydation von Chloridionen in wässriger Lösung generiert werden.

► Diese Stammlösung muss eine stets gleich bleibende Konzentration an freiem Chlor besitzen und bedarfsgerecht sowie zeitnah zur Applikation durch volumstrom-proportionale Dosierung verfügbar sein.

► Die anlageninterne Deponierung der Stammlösung muss unter Ausschluss von Konzentrationsverlusten an Desinfizienz den Verbrauchsmengen/Volumenströmen des zu schützenden/desinfizierenden TWK-Systems angepasst sein.

► Unter Nutzung einer verfahrenstypischen Sensorik und Aktorik und einer angepassten Steuerung (Hard- und Software) muss die Anlage ihren weitestgehend automatisierten und wartungsarmen Betrieb ermöglichen.

► Die für die Führung des Betriebsbuches erforderlichen Mengen- und Konzentrationsangaben müssen bei Bedarf

jederzeit angezeigt werden können.

► Die Anlage ist in ihrer Kapazität auszuwählen für TWK-Installationssysteme mittlerer Kapazität/Verbrauchsmengen.

► Es ist ein im Feld einsatzfähiger Prototyp bereitzustellen, der auf Grund seiner modularen Bauweise jederzeit für Down- sowie Upscaling geeignet ist.

Mit der inzwischen zur Verfügung stehenden und in zahlreichen Objekten/Installationssystemen erfolgreich eingesetzten Elektrolyse-Anlage wurden diese Vorgaben umgesetzt, Abb.1.

Elektrolytische Generierung von freiem Chlor

Auf der Entwicklung und dem Betrieb von AQUADES Elektrolyse-Anlagen [6] basierende Erfahrungen belegen: An mit Gleichstrom beaufschlagten Elek-

trolysen befüllt und ist bei Bedarf, der über Füllstandssensoren am Dosierbehälter signalisiert wird, momentan für die Herstellung der nächsten Charge Elektrolyt bereit.

Das Resultat ist eine Charge Elektrolysat von immer derselben Konzentration von 1 g freiem Chlor/l. Nach Abschluss des Elektrolysevorganges wird dieses Elektrolysat per Schlauchpumpe in das Vorratsgefäß (Dosierbehälter) befördert und steht als Stammlösung für die Dosierung in das zu behandelnde Trinkwassersystem zur Verfügung.

Nach ihrer Entleerung wird die Elektrolysezelle sofort wieder in vorbeschriebener Weise mit dem Standard-Elektro-

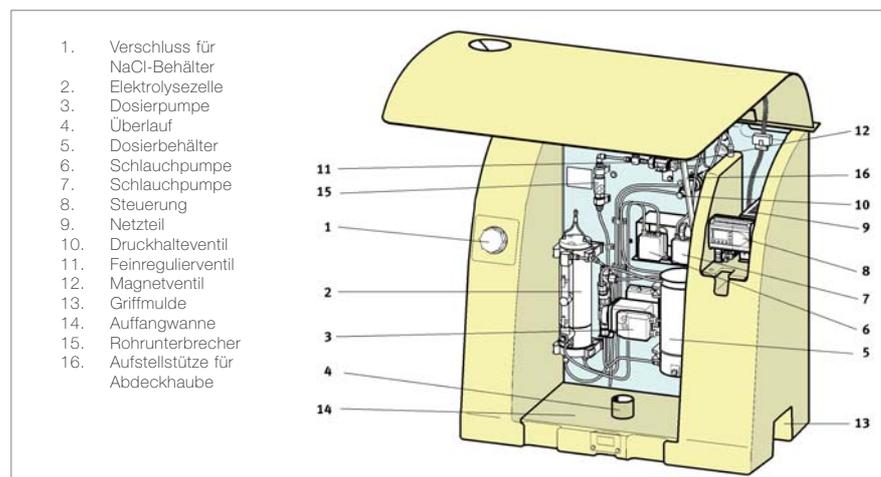


Abb.4 Aufbau der Elektrolyse-Anlage: Bauteile

troden, bestehend aus Ruthenium-Iridium-Mischoxid-beschichteten Titanium-Elektroden kann sowohl in einer im Durchfluss- wie auch im stationären Betrieb arbeitenden Elektrolysezelle eine temperatur-, stromdichte-, durchfluss- und (bezüglich des Chloridgehaltes des Elektrolyten) konzentrationsabhängige Menge an freiem Chlor pro Volumen- und Zeiteinheit generiert werden.

Das System ist ausgestattet mit einer Elektrolysezelle, Abb.3, bestückt mit zwei unipolar betriebenen Zylinderelektroden und wird im Batch-Verfahren betrieben. Sie wird – kontrolliert durch die Steuereinheit – chargenweise befüllt mit 4,8 %iger wässriger NaCl-Lösung. Diese Befüllung erfolgt mittels einer Schlauchpumpe aus dem als Hohlkörper ausge-

lyten befüllt und ist bei Bedarf, der über Füllstandssensoren am Dosierbehälter signalisiert wird, momentan für die Herstellung der nächsten Charge Elektrolyt bereit.

Dosierung von freiem Chlor in das Trinkwasser

Die Dosier-Stammlösung wird volumstromgesteuert über ein Druckhalteventil und nach DIN EN 1717 abgesichert durch einen Rohrunterbrecher durch eine Impflanze mit Rückflussverhinderer in das Trinkwasser eingebracht, Abb.4 und 6. Die Dosierpumpe wird durch einen der hydraulischen Dynamik des jeweiligen Installationssystems angepassten Kontaktwasserzähler über die anlageninterne Steuerung so geregelt, dass nach Einmi-

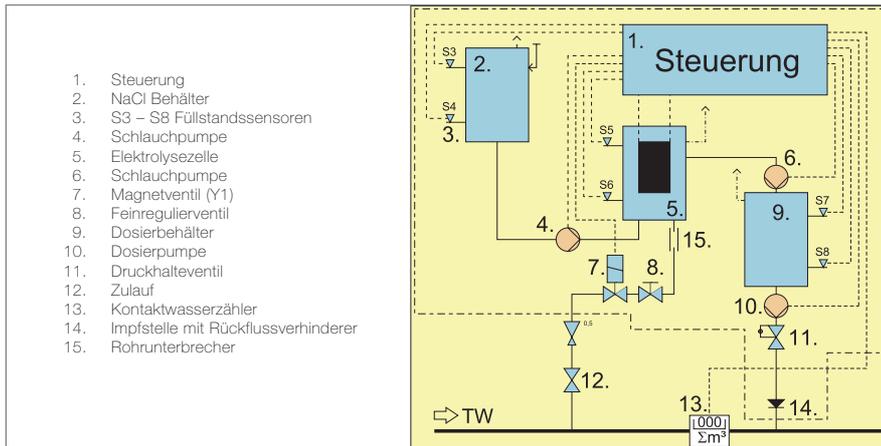


Abb.5 Funktionsschema der Elektrolyse-Anlage

schen der Stammlösung in das fließende Wasser (Mindestabstand 25 DN nach dem Einmischpunkt, vgl. Abb.6) die zugelasene und erforderliche Konzentration an freiem Chlor zu den Verbrauchern gelangt.

Die Steuerung gewährleistet die langzeitkonstante Einhaltung der programmierten Chlorkonzentrationen von 0,3 mg/l im Normalbetrieb, 0,6 mg/l im behördlich sanktionierten Ausnahme-Betrieb sowie 1,2 mg/l bei erforderlicher „Hochchlorung“ für Sonderanwendungen (kein Trinkwasser!). Im Normalbetrieb reicht eine Charge Elektrolyt (800 ml) für die ordnungsgerechte Behandlung von (2,4...2,7) m³ Trinkwasser. Wie erwähnt signalisieren Füllstandssensoren am Dosierbehälter via Steuereinheit, wann die mit Elektrolyt beschickte Elektrolysezelle mit der Elektrolyse der Folgecharge starten muss, um bedarfsgerecht die nächste Charge Elektrolysat herzustellen und in den Dosierbehälter zu befördern.

Einbindung der AQUADES DOS-Anlage in das Installationssystem Varianten für die Einbindung der Anlage in ein Trinkwasser-Installationssystem (TWk) sind entsprechend dem hydraulischen Aufbau der jeweiligen Versorgungseinrichtung, dem zu lösenden Sanierungsproblem und der hygienetechnischen Zielstellung wählbar.

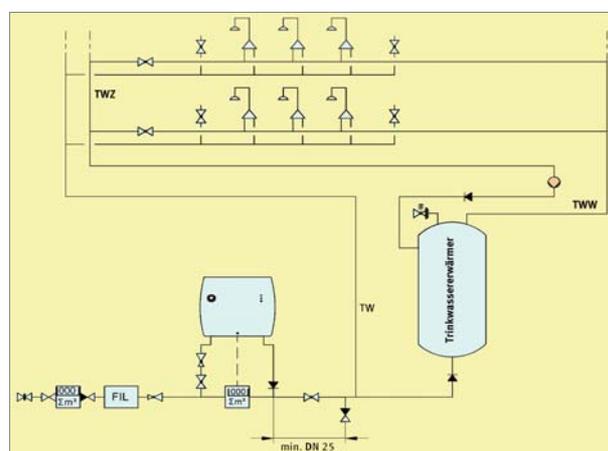


Abb.6 Einbindungsbeispiel

Standardbeispiele hierfür sind:

- ▶ Einbindung der Anlage in die TW-Zuleitung vor dem Abzweig zum Warmwasserbereiter, Abb.6.
- ▶ Einbindung der Anlage in die TW-Verteilungsleitung – in Fließrichtung – hinter dem Abzweig zum Warmwasserbereiter,
- ▶ Einbindung der Anlage in eine Versorgungsleitung nach dem TW-Verteiler.

Planung, Montage und Betrieb der AQUADES DOS-Anlage

Die problemangepasste Ermittlung der Betriebsvoraussetzungen, die Planung der Installation, die Montage und der Betrieb der AQUADES DOS-Anlagen sind in ausführlichen Dokumentationen und Anleitungen für jeden sachkundigen Planer, Installateur und Betreiber verständlich und leicht nachvollziehbar dargestellt [7]. Für den Betreiber einer solchen Anlage ergeben sich im Wesentlichen folgende Erfordernisse für die Aufrechterhaltung des weitestgehend automatisierten Betriebs:

- ▶ Sicherung der ausreichenden Bevorratung der konzentrierten wässrigen NaCl-Lösung im Gehäuse-Hohlkörper, zuzubereiten durch Lösen von jeweils 2,88 kg Natriumchlorid der Qualität DIN EN 973; CAS.Nr. 77-82-50-5; EINECS-Nr. 321-959-5 (entsprechend Anlage zu § 11 TrinkwV) in 10 Liter Fertiglösung;
 - ▶ Tägliche Messung der Konzentration an freiem Chlor an einer repräsentativen Zapfstelle (Probenahmestelle \geq 25 DN entfernt von der Einmischstelle)
 - ▶ Wöchentliches Auslesen des zwischenzeitlichen Wasserverbrauchs im System und der Anzahl injizierter Reaktorfüllungen als Desinfektionsmittel aus dem Speicher der Steuereinheit
 - ▶ Dokumentation der entsprechenden Werte im zu führenden Betriebsbuch.
- Die Anlagen- und Betriebssicherheit wird zusätzlich gewährleistet durch den Abschluss eines Wartungsvertrages und darauf beruhender Wartungen, Instandhaltungen und im Bedarfsfall Instandsetzungen der Anlage durch autorisiertes Personal.

Eingehaltene Normen und Anforderungen

- ▶ DVGW Merkblätter W 203 „Begriffe der Chlorung“ und W 229 „Reinigung und Desinfektion von Wasserverteilungsanlagen“
- ▶ DVGW Arbeitsblatt W 229 „Chlor in der Wasserversorgung“ (Entwurf: Stand vom März 2006)
- ▶ Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß § 11 TrinkwV 2001 – Stand 2006

ZUSAMMENFASSUNG

In der nach dem diskontinuierlichen Batch-Verfahren arbeitenden AQUADES DOS-Anlage wird in einer standardisierten Elektrolysezelle eine Stammlösung erzeugt, die von Zyklus zu Zyklus die gleiche Konzentration an freiem Chlor aufweist. Diese Lösung wird

- ▶ aus einem definierten Volumen einer wässrigen Natriumchloridlösung konstanter Konzentration
- ▶ an stromstabilisierten Spezialelektroden und
- ▶ in einem stets gleichen Zeitintervall verbrauchsnahe hergestellt und in einem Vorratsgefäß für die bedarfsgerechte

volumenstromgesteuerte Dosierung in Trinkwasser bereitgehalten.

Die Vorteile der Anlage bestehen in folgenden Besonderheiten:

► Neben Trinkwasser und elektrischem Strom wird lediglich Natriumchlorid einer definierten Qualität als Betriebsstoff benötigt; Transport, Lagerung sowie Umgang mit Gefahrstoffen wie z.B. Chlorbleichlaugung entfallen.

► Die Desinfizienz-Stammlösung wird bedarfsgerecht und zeitnah zu ihrem Verbrauch hergestellt und unterliegt deshalb vor deren Dosierung keinerlei Alterung (z.B. Konzentrationsschwund, Bildung von Chlorat usw.)

► Die Anlage funktioniert automatisiert, bedienungsfreundlich und wartungsarm.

► Sie ist ausgelegt für kleinere und mittlere nicht zirkulierende gebäudeinterne Trinkwasser-(speziell TWK) Versorgungssysteme, auf Grund ihres modularen Aufbaus als Sonderausführung erweiterbar.

► In verzweigten Systemen kann sie separat und verbrauchernah in die jeweils zu schützenden hygienisch sensiblen (Teil-)Bereiche installiert werden.

Autor

*Prof. Dr. Dieter Kreysig,
Wissenschaftlicher Berater
Dipl.-Ing. Burkhard Sandt,
Leiter Technik und Betrieb
AQUAROTTER, Ludwigsfelde
Fotos und Grafiken: Aquarotter
www.aquarotter.de*

Literatur

- [1] Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen (Infektionsschutzgesetz – IfSG) vom 20. Juli 2000; BGBl. I, S.1045 ff.
- [2] Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch – Trinkwasserverordnung (TrinkwV) 2001.
- [3] a) Technische Regel Arbeitsblatt W 551, April 2004, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas

und Wasser mbH, Bonn; b) VDI-Richtlinien – VDI 6023, Beuth Verlag, Berlin; und darin zitierte weitere Normen und Richtlinien.

[4] Kreysig, D.: Legionellen – humanpathogene wasserergängige Bakterien, Teil 5: Sanierung kontaminierter Trinkwasserversorgungssysteme, in: IKZ Haustechnik, 2004, 14, Teil 6, Strobel Verlag; ders.: Wassertechnische Systeme zur Wasser-nachbehandlung, *ibid.*, 2005, 2.

[5] Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß § 11 der Trinkwasser-Verordnung 2001, 5. Änderung, Stand: Juli 2006.

[6] Kreysig, D. et al.: a) Ausgewählte Verfahren der Desinfektion von Trinkwasser und Trinkwasserinstallati-onen, in: „Ausgewählte Kapitel der Sanitärtechnik“, Handbuch, VDI Bildungswerk; b) Elektrolytische Trinkwasserdesinfektion, in: ISH Kompendium für die Gebäudetechnik 2001, Bertelsmann Fachzeitschriften.

[7] a) Planungs- und Installationsanleitung Elektrolytische Trinkwasserdesinfektionsanlage. b) Montage- und Betriebsanleitung AQUADES DOS Elektrolytische Trinkwasserdesinfektionsanlage AQRM 318 und 319 AQUAROTTER GmbH.

Zugegeben, der Komet wird es nicht so genossen haben wie die NASA-Wissenschaftler, als es gelang, mit einem Kupfer-Projektile einen Fußballfeld-großen Krater in „Temple I“ zu schießen. Kupfer ist ein Metall mit durchschlagendem Erfolg: Ob Elektronik, Sanitär-, Heizung- oder Klimatechnik – Kupfer ist der Werkstoff für SHK-Profis und NASA-Spezialisten.

**... das Gefühl,
es ist Kupfer.**

Erfahren Sie alles über Kupfer.
www.kupfer.de · info@kupfer.de

Gefördert von: International Copper Association
und European Copper Institute

Kupfer – einfach universell.



Die Welt ist keine Scheibe - Ihre Anzeigen auch nicht [...]



innovatools

Werkzeuge für den Erfolg

Fach.**Journal**

Fachzeitschrift für Erneuerbare Energien & Technische Gebäudeausrüstung

[Hier mehr erfahren](#)



innovapress

*Innovationen publik machen
schnell, gezielt und weltweit*

Filmproduktion | Film & Platzierung | Interaktive Anzeige | Flankierende PR | Microsites/Landingpages | SEO/SEM | Flashbühne