

Chlorierung von Trinkwasser

Historischer Rückblick

Trinkwasser muss frei sein von Krankheitserregern - Diese Forderung, so in § 4 der TrinkwV 2001, geht auf leidvolle Erfahrungen vor allem in den vergangenen Jahrhunderten zurück, in denen es durch die klassischen Seuchenerreger zu zahlreichen Epidemien mit schwerwiegenden Erkrankungen und auch Todesfällen kam. So starben beispielsweise in den Jahren 1854 und 1873 in München über verunreinigtes Trinkwasser durch die Cholera 2223 und 1490 Menschen. 1892 ereignete sich die größte dokumentierte Trinkwasserseuche mit Cholera in Hamburg, an der 8605 Menschen verstarben. Damit solche Epidemien in Zukunft vermieden werden können, wurde es erforderlich, das Trinkwasser zu desinfizieren.

Die letzte große, durch bakteriell verunreinigtes Trinkwasser ausgelöste Epidemie geht auf das Jahr 1978 zurück, als in dem 12000-Seelenort Ismaning (Vorort von München) 2450 Menschen an der Bakterienruhr (fiebrige, mit blutigem Durchfall verbundene Erkrankung) erkrankten. Zu diesem Zwischenfall kam es, weil der zur Trinkwasserversorgung dienende Flachbrunnen das mit Keimen verseuchte Abwasser ansaugte und im Wasserwerkshaus mit dem sauberen Trinkwasser mischte und in die Leitungen einspeiste.

Ort	Jahr	Erkrankung	Erkrankte	Todesfälle
München	1854	Cholera	?	2223
Halle	1871	Typhus	282	11
Stuttgart	1872	Typhus	180	14
München	1873	Cholera	3075	1490
Hamburg	1892	Cholera	16956	8605
Paderborn	1898	Typhus	234	32
Petersberg	1908	Cholera	9000	4000
Pforzheim	1919	Typhus	4000	400
Hannover	1926	Typhus	2500	260
Ismaning	1978	Bakterienruhr	2450	-

Tabelle 1: Durch verunreinigtes Trinkwasser hervorgerufene Epidemien in deutschen Städten (Auswahl)

Bakterielle Verunreinigungen und Indikatoren

Keime werden fast ausschließlich durch Fäkalverunreinigungen in das Trinkwasser eingebracht. Da es aus kosten- und zeittechnischen Gründen nicht möglich ist, das Wasser vor dem Einspeisen in das Leitungssystem auf alle Krankheitserreger zu untersuchen, hat man sich auf Indikator-Bakterien geeignet. Solche Indikatoren sind u.a. die Bakterienart *Escherichia coli* (*E.coli*) und die Bakteriengruppe der Coliformen, sowie die Fäkalstreptokokken, da hauptsächlich sie in hoher Konzentration im Stuhl vorkommen. Weitere Verunreinigungsmöglichkeiten können über Koloniezahlbestimmungen ermittelt werden.

Erregerart	Hervorgerufene Erkrankung
Viren: Polioviren Coxsackieviren A und B ECHOviren Rotaviren A und B Adenoviren Hepatitisviren A und E Astroviren Coronaviren Caliciviren wie Norwalk-Virus u.a. kleine Rundviren	Kinderlähmung, Meningitiden Herpangina, Meningitiden, Ekzeme, Perikarditiden Meningitiden, Enteritiden, respiratorische Erkrankungen Enteritiden, Erbrechen respiratorische Erkrankungen, Enteritiden, Augeninfektionen Brechdurchfall, epidemische Hepatitis Enteritiden respiratorische Erkrankungen Enteritiden, Erbrechen
Bakterien: <i>Salmonella Typhi</i> <i>Salmonella Paratyphi A,B,C</i> Enteritis-Salmonellen <i>Shigella</i> spp. pathogene <i>Escherichia coli</i> (EPEC, EIEC, ETEC, EHEC)	Typhus Paratyphus Enteritiden Ruhr Enteritiden, Enterotoxämien, HUS
<i>Yersinia enterocolitica</i> <i>Brucella</i> spp. <i>Francisella tularensis</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Vibrio cholerae</i> und Biotyp <i>El Tor</i> NAG-Vibrionen <i>Campylobacter jejuni</i> <i>Helicobacter pylori</i> <i>Leptospira</i> spp. <i>Listeria monocytogenes</i> <i>Bacillus anthracis</i> <i>Clostridium botulinum</i> <i>Clostridium perfringens</i> <i>Mycobacterium</i> spp. <i>Mycoplasma species</i> <i>Chlamydia trachomatis</i> <i>Staphylococcus aureus</i>	Enteritiden Bang'sche Erkrankung Tularämie Otitiden, Dermatitiden Cholera Enteritiden Enteritiden Magenulzerationen Weil'sche Krankheit, Kanikolafieber Listeriose Milzbrand Botulismus Lebensmittelintoxikationen, Gasbrand Hautulzerationen, Tuberkulose respiratorische Erkrankungen Konjunktivitis Lebensmittelintoxikationen
<i>Legionella</i> spp.	Lungenentzündung, Pontiac-Fieber
Protozoen: <i>Giardia lamblia</i> <i>Cryptosporidium parvum</i> <i>Entamoeba histolytica</i> <i>Naegleria fowleri</i>	Lamblienruhr Cryptosporidiose Amöbenruhr Meningoenzephalitis
Helminthen: <i>Ascaris lumbricoides</i> <i>Taenia</i> species <i>Trichuris trichuria</i> <i>Enterobius vermicularis</i>	Ascariasis Bandwurmbefall Trichuriasis Oxyuriasis

Tabelle 2: Einige menschen- und tierpathogene Erreger, die direkt oder indirekt über Trink-, Schwimmbecken-, Oberflächen- und Abwasser krankheitsauslösend wirken

Escherichia coli gehört zu den Enterobakterien und kommt im menschlichen und tierischen Darm vor. Pro Tag scheidet ein jeder von uns ungefähr 1 Trillion *E. coli*-Bakterien aus. *E. coli* gilt als fakultativ pathogen, d.h. dass es bei abwehrschwachen Personen opportunistische Infektionen (Nieren- u. Blasenerkrankungen, Darminfektionen) verursachen kann. Für gesunde Menschen ist eine niedrige Keimdichte harmlos. Der Parameter *E. coli* und Coliforme zur Trinkwasserüberwachung sind nicht auf deren pathogene Wirkung begründet, sondern auf deren wasserhygienischen Indikatorfunktion. Die Untersuchung auf weitere Keime und Viren wird ausschließlich im Bedarfsfall vom Gesundheitsamt gefordert.

Bei der üblichen Routineuntersuchung gilt Trinkwasser dann als einwandfrei, wenn in 100 ml Probe *E. coli* und Coliforme nicht nachweisbar sind. Für die Koloniezahlwerte in je 1 ml Probe gilt, dass keine anormale Veränderung auftreten sollte, wobei am Zapfhahn bei 22°C und bei 36°C üblicherweise nicht mehr als 100 Koloniebildner sein sollten.

Verkeimung und Wiederverkeimung

Wenn Trinkwasser das Wasserwerk verlässt, kann es in der Regel als hygienisch einwandfrei angesehen werden. Wiederverkeimungen sind unter Umständen möglich. So sind zum Beispiel defekte Rohrleitungen, Rohrbrüche oder Reparaturarbeiten im Wasserversorgungsnetz oft Ursache dafür, dass mikrobiell verunreinigtes Wasser (Regenwasser, Abwasser) in das Trinkwasser eindringen kann. Im Abwasser sind stets große Mengen an pathogenen Keimen (Bakterien, Viren, Pilzsporen und Eier von Parasiten) enthalten, die über die Fäkalien von Mensch und Tier in das Abwasser gelangen. Verkeimungen in den Leitungen selbst finden bevorzugt im Bereich von Absperrhähnen, Schweißnähten und Dichtungen statt. Dies liegt zum einen daran, dass dort eine Kontamination von außen möglich ist; zum andern bieten vor allem Fugen- und Dichtungsmaterial aus Kunststoffen geradezu ideale Voraussetzungen für die Besiedlung von Bakterien und Pilzen. Da Bakterien über Enzyme verfügen, mit denen sie Kunststoffe abbauen können, stellen die Füll- und Zusatzstoffe von Kunststoffen einen guten Nährboden für Mikroorganismen dar.

Mögliche Verfahren zur Trinkwasser Desinfektion

Die Desinfektion ist der Prozess, welcher gesundheitsgefährdende Organismen (Pathogene) entfernt oder physikalisch/chemisch abtötet. Der Prozess der Desinfektion darf nicht mit der Sterilisation, dem Abtöten aller Lebewesen im Wasser, verwechselt werden. Neben der Chlorierung gibt es auch andere Verfahren welche mehr oder weniger oft zur Desinfektion eingesetzt werden wie z. B die oxidative Entkeimung mit aktiviertem Sauerstoff, die physikalische Entkeimung durch UV-Bestrahlung, die Kontaktentkeimung an Silber und die biologische Entkeimung auf Langsamfiltern.

	Chlorung	(Ozonung)	Verfahren: UV-Be- strahlung	Thermische Desinfektion	Filtration
Einzel vorliegend:					
Viren	+/-	+	+	+	+
Bakterien	+	+	+	+	+
(Bakt.- sporen)	-	-	-	-	+
Parasiten	-	-	-	+	+
Würmer	-	-	-	+	+
In Aggregaten, Biofilmen oder in Partikeln vorliegend:					
Viren	-	-	-	+	+
Bakterien	-	-	-	+	+
(Bakt.- sporen)	-	-	-	-	+
Parasiten	-	-	-	+	+
Würmer	-	-	-	+	+

Bei üblicher Anwendung: +: wirksam; +/-: fraglich wirksam; -: in der Regel unwirksam

Tabelle 3: Effektivität der unterschiedlichen Verfahren zur Wasser-Desinfektion

Chlor-Chemie

Bakterien mit Hilfe von Chlor zu töten bedarf der Kenntnis der Chlor-Chemie. Chlor ist unter Normalbedingungen ein grünelbliches, aus zweiatomigen Molekülen bestehendes Gas von stechendem Geruch. Es ist 2,5 mal so schwer wie Luft und sehr toxisch. Chlor wird bei der Trinkwasseraufbereitung eingesetzt, da es eine hohe oxidierende Wirkung besitzt, welche auf seine hohe Elektronegativität zurückzuführen ist.

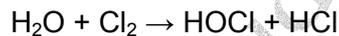
Verfahren der Chlorierung und ihre Eigenschaften

Die wichtigsten Chlorungszusätze sind gasförmiges Chlor, Natriumhypochlorit und Chlordioxid.

Chlorgas (Cl_2)

Das Chlorgas-Verfahren wird wegen seiner Einfachheit oft mit geringer Dosierung vor der Wasserabgabe in das Rohrnetz oder als Sicherheitschlorung in Fernleitungen eingesetzt auch wenn schon eine andere Art der Desinfektion (z. B. Aktivkohlefilter) erfolgt ist.

Chlorgas wird in großen Wasserwerken im verflüssigten Zustand bei 6 bar in Drucktanks gelagert. Wird dieses Chlorgas (gasförmig) in das aufzubereitende Wasser eingeleitet, reagiert es sofort unter Bildung von unterchloriger Säure und Salzsäure:



Die entstandene Salzsäure wird durch die im Wasser vorhandenen Karbonate neutralisiert, trotz dessen kommt es zur Beeinflussung des pH-Wertes. Der pH-Wert ist der entscheidende Faktor bei der Wirkung von HOCl, da die undissoziierte Form der schwachen Säure 20 bis 50 mal effektiver bei der Tötung der Mikroorganismen ist als die dissoziierte Form OCl^- . Die bakterizide Wirkung geht also vom HOCl-Molekül aus. Die unterchlorige Säure (HOCl) dissoziiert mit steigendem pH-Wert, d.h. bei höheren pH-Werten ist weniger HOCl vorhanden was mit einer geringeren desinfizierenden Wirkung einhergeht.

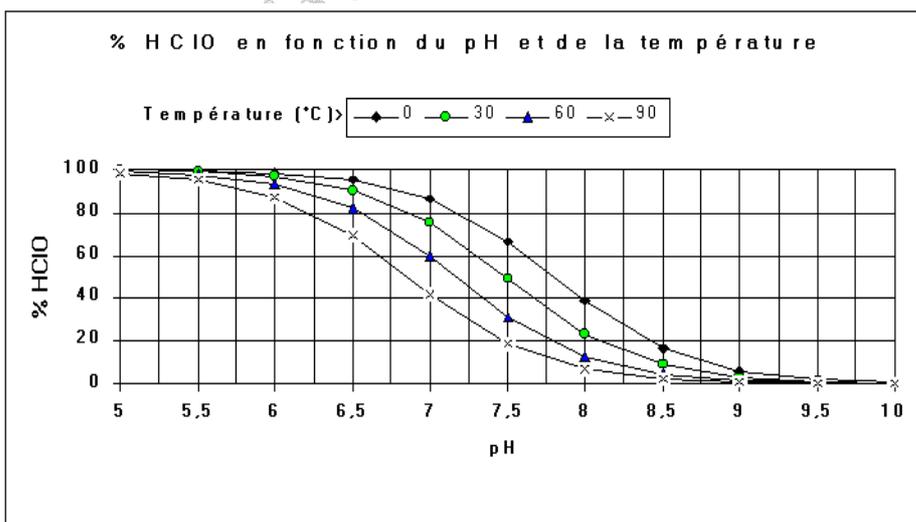


Abbildung 1: Dissoziation der unterchlorigen Säure (HClO) in Abhängigkeit vom pH-Wert und der Temperatur

Die Lipid-Struktur der Zellmembran ist anfällig gegenüber nicht-polaren Lösungsmitteln und wird hauptsächlich von HOCl durchdrungen. Der Angriff von OCl⁻ ist wesentlich ineffektiver. Bei der Desinfektion reagiert ausschließlich das freie, verfügbare Chlor als Summe aus Cl₂, HOCl und OCl⁻. Chlor als starkes Oxidationsmittel reagiert (oxidiert) im Wasser sowohl mit organischen als auch anorganischen Inhaltsstoffen wobei es zur Chlorzehrung kommen kann und das Chlor nicht mehr der Desinfektion von Bakterienzellen zur Verfügung steht. Das heißt es besteht kein direkter Zusammenhang zwischen Chlorkonzentration und Keimabtötung. Die Keimabtötungsgeschwindigkeit ist abhängig vom Angebot an unverbrauchten Oxidationsmitteln die ein hohes Oxidationspotential schaffen. Das Oxidationspotential ist durch die Redoxspannung überprüfbar.

Nach der TrinkwV 2001 darf die zulässige Zugabe 1,2 mg/l freies Chlor nicht übersteigen. Nach abgeschlossener Behandlung darf der Wert von 0,3 mg/l nicht über- und 0,1 mg/l nicht unterschritten werden.

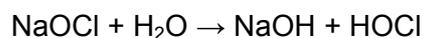
Die Vorteile der Chlorgas-Entkeimung liegen in der Einfachheit des Systems, der leichten Beschaffung des verflüssigten Chlorgases, der schnellen Reaktion mit den Wasserinhaltsstoffen und der geringen Dosierung. Die meisten Keime sind nach 5 Minuten Einwirkzeit vernichtet. Das Chlor zur Oxidation von Wasserinhaltsstoffen ist nach 15 Minuten aufgebraucht.

Natürlich weist der Einsatz von Chlorgas auch Nachteile auf. Ein Hauptproblem ist die hohe Toxizität des Chlorgases was auch zu Gefahren bei Transport und Lagerung führt. Die Einhaltung des hohen Sicherheitsstandards ist kostspielig und schwer einzuhalten. Ein weiterer Nachteil ist die Chlorierung von organischen Inhaltsstoffen bei dem Einsatz von Chlorgas. Dies wurde erst Mitte der 70er Jahre erkannt. Es werden dabei verschiedene Trihalogenmethane (THM, auch Haloforme) gebildet von denen einige im Verdacht stehen kanzerogen zu wirken. Es kann aber auch zur Bildung von Chlorphenolen durch die Reaktion mit aromatischen Verbindungen kommen, welche dem Wasser einen unangenehmen muffigen Apothekengeruch verleihen.

Insgesamt lässt sich sagen, dass der Einsatz von Chlorgas bei sorgfältigem Betrieb und genauer Dosierung keine wirklichen Probleme mit sich bringt.

Natriumhypochlorit (NaOCl)

Der chemische Hintergrund ist gleich dem des Chlorgases. Das Natriumhypochlorit reagiert beim einlassen in das Wasser zu unterchloriger Säure:



Natriumhypochlorit ist als ‚giftige‘ Lösung frei im Handel erhältlich.

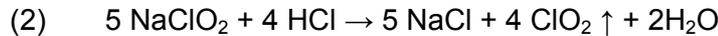
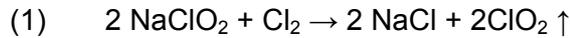
Von Vorteil bei diesem Verfahren ist die geringe toxische Wirkung des Natriumhypochlorits aber auch die einfache Handhabung. Die kontinuierliche Zugabe erfolgt mittels Tropfapparats oder Kippbecher welche keinen Strom benötigen.

Als Nachteile gelten die höheren Kosten gegenüber Chlorgas und die begrenzte Haltbarkeit des Natriumhypochlorits. Ein weiterer Nachteil ist, dass Natriumhypochlorit nur 150-170 g/l wirksames Chlor enthält und somit ein erhöhter Lösungseinsatz erforderlich ist. Auch die Reaktionszeit ist deutlich länger. Es vergehen bis zur Entkeimung 30-60 Minuten. Der Wirksamkeit gegen Viren stehen auch Zweifel gegenüber.

Dieses Verfahren kommt hauptsächlich bei Desinfektion von Anlagenteilen zum Einsatz und in kleineren Wasserwerken.

Chlordioxid (ClO₂)

Um mit Chlordioxid Wasser zu desinfizieren muss es vor Ort hergestellt werden. Es gibt zwei Möglichkeiten der Herstellung von Chlordioxid, erstens aus Natriumchlorit und Chlor oder zweitens aus Natriumchlorit und Salzsäure:



Das Chlordioxid ist ein instabiles Gas und neigt zur explosiven Zersetzung.

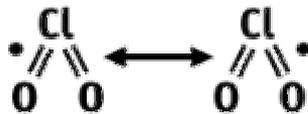


Abbildung 2 Strukturformel vom Chlordioxid

Die Oxidationskraft von Chlordioxid ist etwa 2,5-mal größer als die von Chlorgas und im alkalischen bis neutralen Bereich (pH-Wert 4-8) verhältnismäßig konstant. Im sauren Bereich ist das Oxidationspotential des Chlors größer.

Ein Vorteil dieses Verfahrens ist natürlich der Verzicht auf Chlorgas aber auch die kurze Reaktionszeit zur Entkeimung von wenigen Minuten. Chlordioxid kommt hauptsächlich bei stark organisch belastetem Wasser zu Einsatz da es kaum Trihalogenmethane (THM) und kanzerogene Verbindungen bildet. Der größte Vorteil gegenüber Chlorgas liegt in der Fähigkeit Biofilme zu entfernen und Bakterien, Sporen und Viren zu töten. Ein Biofilm ist eine Schicht von Mikroorganismen, die in einer Matrix eingelagert sind, welche sich in Verbindung mit Wasser auf Oberflächen (z.B. Rohrleitungen) bildet. Durch die Ansiedlung der Krankheitserreger auf diesen Biofilmen sind sie vor Bioziden geschützt. Biofilme schützen pathogene Organismen wie Listeria, E. coli und Legionella vor der Zerstörung und bieten ihnen die Möglichkeit sich stetig zu reproduzieren. Durch die Entfernung des Biofilms durch das Chlordioxid wird einer Kontamination entgegen gewirkt.

Wenn im Wasser phenolartige Verbindungen vorkommen führt das Chlordioxid nicht zur Bildung von Chlorphenolen und damit kommt es zu keiner Geschmacksbeeinträchtigung. Weiterhin bildet Chlordioxid mit Aminoverbindungen und Ammoniumionen auch keine Chloramine welche gesundheitlich als nicht unbedenklich angesehen werden.

Neben den vielen positiven Effekten sind auch negative zu verzeichnen. Zum Beispiel muss das Chlordioxid immer abgesaugt werden da es in die Atmosphäre entgast und bei hohen Konzentrationen explosiv reagiert. Demzufolge ist dieses Verfahren mit mehr Kosten verbunden. Nachteilig ist das bei der Umsetzung von Chlordioxid mit reduzierend wirkenden Wasserinhaltsstoffen Chlorit- Ionen entstehen, die gesundheitsschädigend sind. Dieses Chlorit ist in der Trinkwasserverordnung begrenzt und um dies wieder zu entfernen muss Geld investiert werden. Auch die ganze Installation für die Chlordioxid-Herstellung ist natürlich sehr kostenintensiv.

Chlordioxid darf höchstens in einer Menge von 0,2 mg/l nach der Chlorung im aufbereiteten Trinkwasser enthalten sein.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Chlordioxid-Verfahren zwar das teuerste aber auch das beste im Bezug auf die Wasserqualität ist. Es gewinnt immer mehr an Bedeutung.

Allgemeiner Reaktionsverlauf und Einflussfaktoren

Die meisten Wasservorräte beinhalten organische und anorganische Verunreinigungen. Da Chlor im Allgemeinen sehr reaktiv ist und mit diesen Inhaltsstoffen reagiert, wirkt eine gewisse Menge Chlor nicht als Desinfektionsmittel. Der Verbrauch von Chlor läuft nach einem bestimmten Schema ab (Abbildung 3).

I – Die unterchlorige Säure reagiert zu erst mit dem gelösten Eisen, den Schwefel-Wasserstoff-Verbindungen, sowie anderen anorganischen Inhaltsstoffen. Die Reaktionsprodukte haben keine desinfizierende Wirkung.

II – Im Folgenden reagiert das Chlor mit reduzierenden Verbindungen und organischem Material (z.B. Algen). Die gebildeten Reaktionsprodukte haben eine sehr geringe desinfizierende Wirkung. Die Schritte I und II werden Chlor-Zehrung genannt.

III – Chlor reagiert mit Ammoniak im Wasser, wobei die genaue Reaktion vom pH-Wert abhängt. Bei ausreichendem NH_3 -Gehalt bilden sich Chloramine mit desinfizierender Wirkung; das Chlor wird als gebundenes, aber reaktives Chlor definiert. Das erste Reaktionsprodukt ist das Monochloramin. Bei erhöhter Zugabe von unterchloriger Säure reagiert diese mit dem Monochloramin um Dichloramin zu bilden.

IV – Bei weiterer Zugabe von unterchloriger Säure werden die Chloramine aus Reaktion II und III zerstört. Bei ununterbrochener Zugabe von unterchloriger Säure erreicht man den *Breakpoint*. Jede weitere Zugabe von Chlor verbleibt als HClO , ggf. als OCl^- im Wasser und wird freies Chlor genannt.

Es sind hauptsächlich die Produkte der Reaktionen III und IV welche die desinfizierende Wirkung haben.

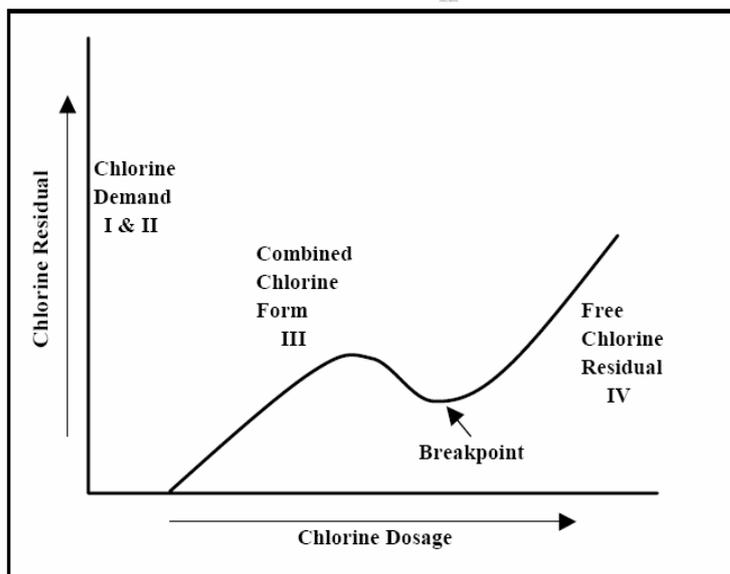


Abbildung 3: Chlor Dosierung, Verbrauch und freies Chlor

Auf den Verlauf dieser Reaktionen, egal ob Chlorzehrung oder die Wirkung als Desinfektionsmittel, haben viele verschiedene Faktoren einen Einfluss. Die wichtigsten Faktoren sind Einwirk- oder Kontaktzeit, Dosierung, Desinfektionsmittel, Trübung,

Temperatur, pH-Wert und UV- Strahlung. Diese Faktoren arbeiten zum Teil zusammen andere arbeiten gegeneinander.

Die **Kontaktzeit** ist mitbestimmend für den Wirkungsgrad der Desinfektion. Das Chlor braucht eine gewisse Zeit bis es mit den Wasserinhaltsstoffen reagiert und diese abtötet oder entfernt. Die Einwirkzeit hängt ab von dem Verunreinigungsgrad des Wassers und dem Desinfektionsmittel. Jedes Desinfektionsmittel hat eine spezifische Art zu reagieren, d.h. jedes erfordert verschiedenen Einwirkzeiten.

Auch die **Dosierung** spielt eine große Rolle. Sie ist bei jedem Wasseraufbereitungs-betrieb und -verfahren verschieden. Die Dosierung muss auf die Verschmutzung abgestimmt werden. Dabei werden z.B. Eisen, Sulfide, Algen, organisches Material und Ammoniak betrachtet. Die Chlordosierung wird in den meisten Betrieben durchflussabhängig vorgenommen.

Die **Trübung** wird durch suspendierendes Material hervorgerufen. Diese suspendierenden Partikel können sich an Bakterien anlagern und sie somit vor Chlor schützen da dies durch die Bakterienzellwand eindringt und wirkt. Weiterhin kann dieses Material auch als Wirt für Krankheitserreger dienen. Das suspendierende Material sollte also während der Behandlung entfernt werden ansonsten kann es zu Ausfällungen und Ablagerungen kommen. Wenn Chlor als Hauptdesinfektionsmittel genutzt wird sollte die Trübung unter ein 1 NTU (nephelometrischer Trübungseinheit) liegen. Allgemein lässt sich sagen das Chlor mit steigender Trübung an Wirkung verliert, da es entweder mit den Wasserinhaltsstoffen reagiert oder das Material die Bakterien oder Viren vor dem Chlor schützt.

Der **pH-Wert**, welcher den negativ dekadischen Logarithmus der Wasserstoffaktivitäten darstellt, beeinflusst das Reaktionsvermögen von Chlor und seinen Verbindungen stark. Am effektivsten ist die Chlorung bei einem pH-Wert von unter 8. Je geringer das Reaktionsvermögen umso mehr Chlor müsste eingesetzt oder die Kontaktzeit verlängert werden. Da der pH-Wert bei Oberflächenwasser schwanken kann muss die Wasserqualität überprüft werden und die Chlordosis und der pH-Wert aufeinander abgestimmt werden.

Die **Temperatur** wirkt stark auf die Reaktionsfähigkeit des Chlors. Es arbeitet im warmen Wasser schneller als im kalten. 12°C ist die kritische Temperatur für die Chlorung. Unter dieser Temperatur reagiert bzw. arbeitet das Chlor extrem langsam und ist somit nicht mehr effektiv genug.

Die Gesamtheit und die jeweiligen Wechselwirkungen dieser Faktoren spielen eine wichtige Rolle bei der Chlorung von Trinkwasser. Man muss die Zusammenhänge erkennen um effektiv und richtig mit Chlor arbeiten zu können.

Nebenprodukte (DBP – disinfection by-products)

Lebende Zellen reagieren mit Chlor und verringern dessen Konzentration beim Absterben. Es finden Umwandlungsreaktionen statt, wobei Chlor-Derivate entstehen, von denen einige eine desinfizierende Wirkung zeigen. Eine wichtige Gruppe von Cl-Verbindungen stellen die Chloramine dar, welche aus der Reaktion mit Stickstoffverbindungen hervorgehen. Diese Chloramine sind eine Gruppe der gesundheitsschädlichen Nebenprodukte bei der Chlorierung von Trinkwasser entstehen können. Weitere schädigende Nebenprodukte sind z.B. die Chlorit- Ionen und die

Trihalogenmethane (THM) auf deren Entstehung schon bei den einzelnen Verfahren eingegangen wurde.

Zusammenfassung

Epidemien, welche durch verunreinigtes Trinkwasser im letzten Jahrhundert hervorgerufen wurden, kosteten Millionen von in Mitteleuropa lebenden Menschen das Leben. Eine angemessene Aufbereitung, in diesem Fall die Desinfektion, wurde erforderlich. Chlorverbindungen haben sich über Jahrzehnte hinweg als effektives Desinfektionsmittel bewährt. Kostengünstig, zuverlässig und gut bekannte Reaktionen machen Chlor in der Wasseraufbereitung unverzichtbar. Die Desinfektionsverfahren durch Chlor dominieren auf dem Weltmarkt mit gut 80% Anteil.

Trotz den vielen Vorteilen steigt in der Bevölkerung die Besorgnis über Desinfektions-Nebenprodukte (DBPs) denen zum Teil kanzerogene und mutagene Wirkung nachgesagt wird. Geschmacks- und Geruchsbeeinträchtigung des Trinkwassers müssen in Kauf genommen, da die Sicherstellung der hygienischen Reinheit wichtiger ist.

Die Empfehlung richtet sich an die Wasserbehörden, welche durch Ausweisung von Schutzzonen die Wasserqualität erhalten sollen, damit eine mikrobiologische Verunreinigung vermieden werden kann.

nicht validierte Studententexte

Quellenverzeichnis

Dr. A Braghetta, Dr J Jacangelo, Dr R Rhodes Trussell & Dr J Meheus (1997), The blue pages – the IWSA information source on drinking water issues. Publication: www.iwahq.org.uk/pdf/bp0004.pdf

Dr. P Schindler, Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit; Beitrag im Rahmen des FLUGS-Seminars „Wasser – Reservoir des Lebens. Aktuelle Fragen zu Wasserversorgung und –hygiene“ (6.Oktober 2003, Nürnberg)

Katalyse e.V. Institut für angewandte Umweltforschung, Das Wasser Buch (1993). Kiepenheuer & Witsch, Köln

Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV 2001) v. 21 Mai 2001, BGBl 2001 Teil I, Nr. 24 S. 959-980

Bretschneider, H.; Lecher, K.; Schmidt, M. (1993): Taschenbuch der Wasserwirtschaft, 7. vollst. neubearb. Aufl., Verlag Paul Parey Hamburg und Berlin, 1022 Seiten

Grombach, P.; Haberer, K.; Merkl, G.; Trüeb, E. (1993): Handbuch der Wasserversorgungstechnik, 2. völlige überarb. Aufl., R. Oldenbourg Verlag München Wien, 1123 Seiten

Mutschmann, J.; Stimmelmayer, F. (1995): Taschenbuch der Wasserversorgung, 11. überarb. akt. Aufl., Franckh- Kosmos Verlags- GmbH & Co., Stuttgart

<http://www.lenntech.com/deutsch/>

<http://www.rpi.edu/dept/chem-eng/Biotech-Environ/DISINFECT/>

<http://www.bayern.de/lfu/>