

Desinfektion von Wasser Früher und Heute

Referent:
Thomas Beutel

Lutz-Jesco GmbH
und
Sachverständiger für
Schwimmbadtechnik und
dosiertechnischen Anlagenbau



Mitglied folgender Gremien

- DIN/DVGW AA „Desinfektion, „Schwimmbeckenwasser“ und „Aufbereitungsstoffe und Anlagen“,
- CEN/DIN NASport „privat genutzte Schwimmbäder“ und „Schwimmbadgeräte“,
- Austrian Standard Institut AG 245.02 „Chlorungsanlagen“,
- Technischen Ausschuss und im AK "Wasser" der DGfdb,
- Technischer Beirat des BSW e.V. und
- FIGAWA AK "Schwimmbeckenwasser" und Obmann "Chlor und Chlorverbindungen"
Weiter als Sprecher der Arbeitskreise zur Erstellung neuer Regelwerke wie Elektrolyseanlagen, Chlordioxidanlagen oder Aufbereitung und Betrieb von Springbrunnen tätig

Geschichtlicher Rückblick

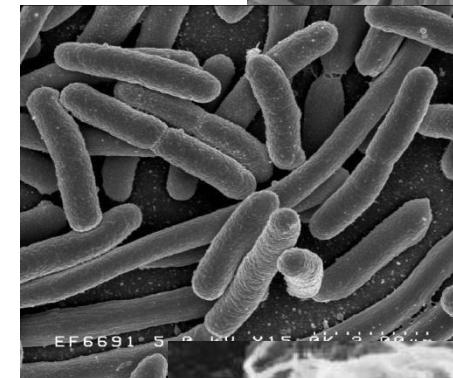
Schwimmbäder

Notwendigkeit von Wasserdesinfektion

Die Desinfektion von Trinkwasser durch Chlor hat wesentlich zur Eindämmung von Epidemien und Seuchen geführt, die z. B. durch Cholera-, E.Coli- oder Typhusbakterien ausgelöst werden.



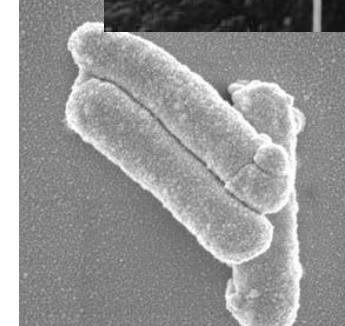
Cholera



E.Coli



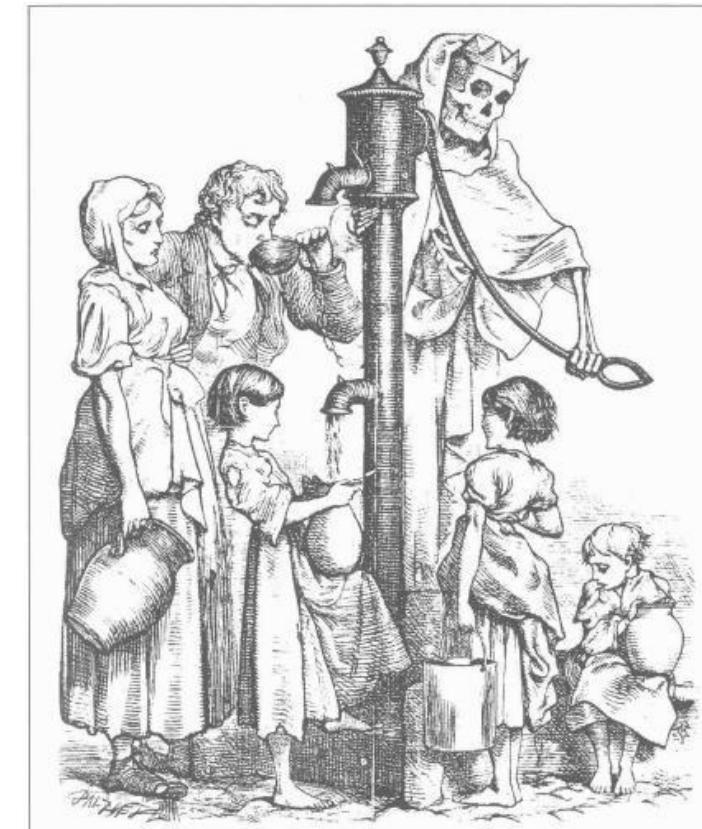
Giardia Lamblia



Typhus

Geschichte der Wasserdesinfektion

- Um 3000 v. Chr. gab es Rohre zur Wasserversorgung im Euphrat-Tal.
- Um 2500 v. Chr. wurden in Ägypten bereits Brunnen und Abwasseranlagen genutzt.
- Um 300 v. Chr. bauten die Römer Fernleitungen zur Wasserversorgung in Form von Aquädukten.
- Um 1350 n. Ch. wurden in Europa die ersten Holzrohre, um 1450 Wasserrohre aus Gusseisen eingesetzt.
- Die erste zentrale Wasserversorgung Deutschlands entstand 1848 in Hamburg und das erste Klärbecken in Frankfurt 1895.



Bäder schon immer ein Bedürfnis

- Schwimmen und Baden in künstlich angelegten Becken gehören seit der Antike zu den beliebtesten Freizeitvergnügen der Menschen. Das belegen die Reste der Thermen in Griechenland und dem gesamten ehemaligen Imperium Romanum.
- So gab es in Rom zur Zeit des Kaisers Konstantin (306–337 n. Chr.) elf große kaiserliche Thermen und über 900 öffentliche Bäder, die von 19 Aquädukten mit frischem Wasser versorgt wurden. Die Leistungsfähigkeit der Leitungen – mit zum Teil über 80 km Länge – war so groß, dass in Rom pro Einwohner täglich 1400 l Wasser zur Verfügung standen. Diese große Wasserzufuhr erklärt auch die hohe Kultur des Badens im alten Rom und den Bau der riesigen und großartigen Thermen.
- Erwärmten wurden das Badewasser und die prächtig ausgeschmückten Schwimmhallen mit Holz und einer schon damals effizienten Heiztechnik. Die Wasserführung der Becken wurde im Durchfluss betrieben. Auf höchste Reinlichkeit und persönliche Hygiene vor der Benutzung des Bades legten die Römer größten Wert.

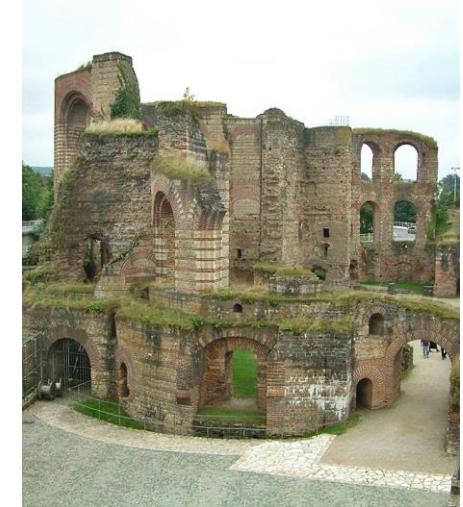


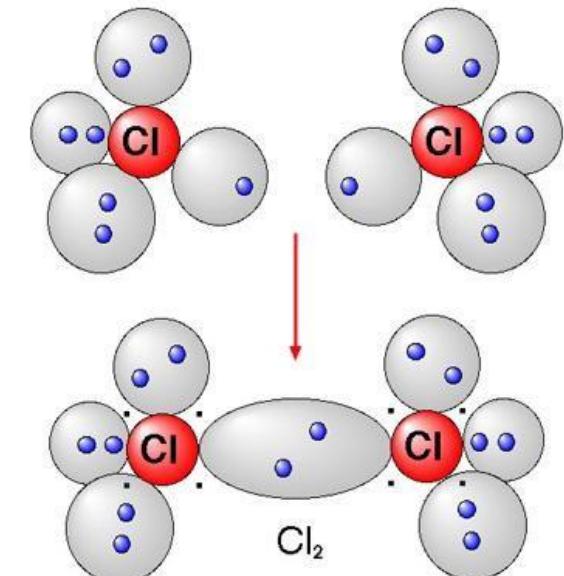
Bild: www.roemer-tour.de



Abbildung 1: Plombières. Holzschnitt aus Konrad Gessner,
Libri excerptorum et observationum de thermis. In:
De balneis omnia, Venezia 1553 (aus: Martin S. 281).

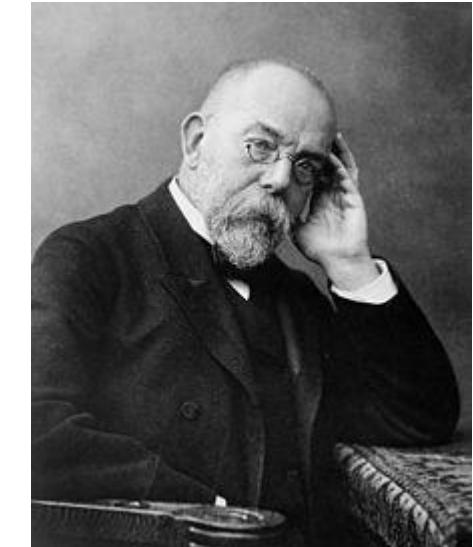
Chemisches Element Chlor

- 1774 von Carl Wilhelm Scheele entdeckt
- I. d. R. gasförmiger Aggregatzustand
- Existiert in der Natur nicht in elementarer Form sondern vorwiegend als Anion Cl^-
- Gewinnung von Chlor i. d. R. durch Chloralkali- Elektrolyse einer Natriumchlorid- Lösung



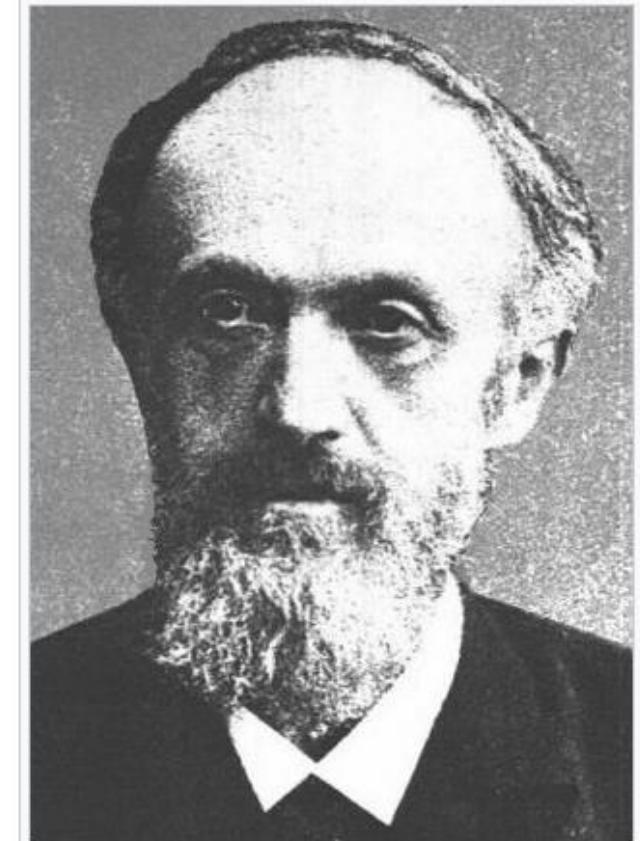
Begründung der Bakteriologie

- 1876 begründete Robert Koch die Bakteriologie
- Es folgten zahlreiche Studien zu Infektionskrankheiten
- 1885 neuer Lehrstuhl für Hygiene in Berlin
- 1892 Choleraepidemie in Hamburg, Koch leitete die ersten Seuchenbekämpfungsmaßnahmen ein.
- 30.06.1900 trat das Reichsseuchengesetz in Kraft
- 1905 Nobelpreis an Koch
- 1913 gab es in Deutschland ca. 3500 Desinfektoren



Desinfektionskolonnen
bringen 1892 Chlorkalk
aus, um Cholera-Erreger
abzutöten

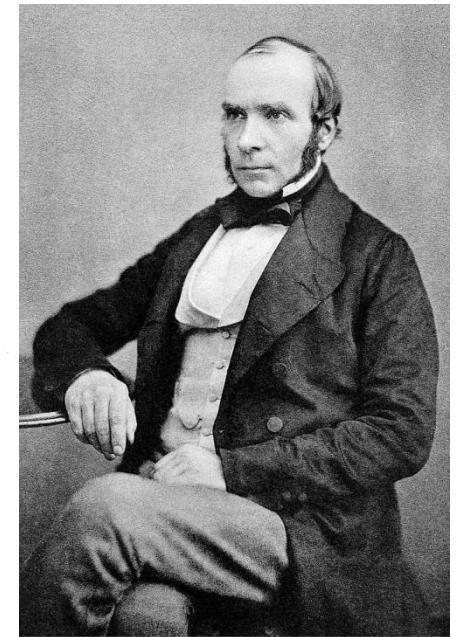
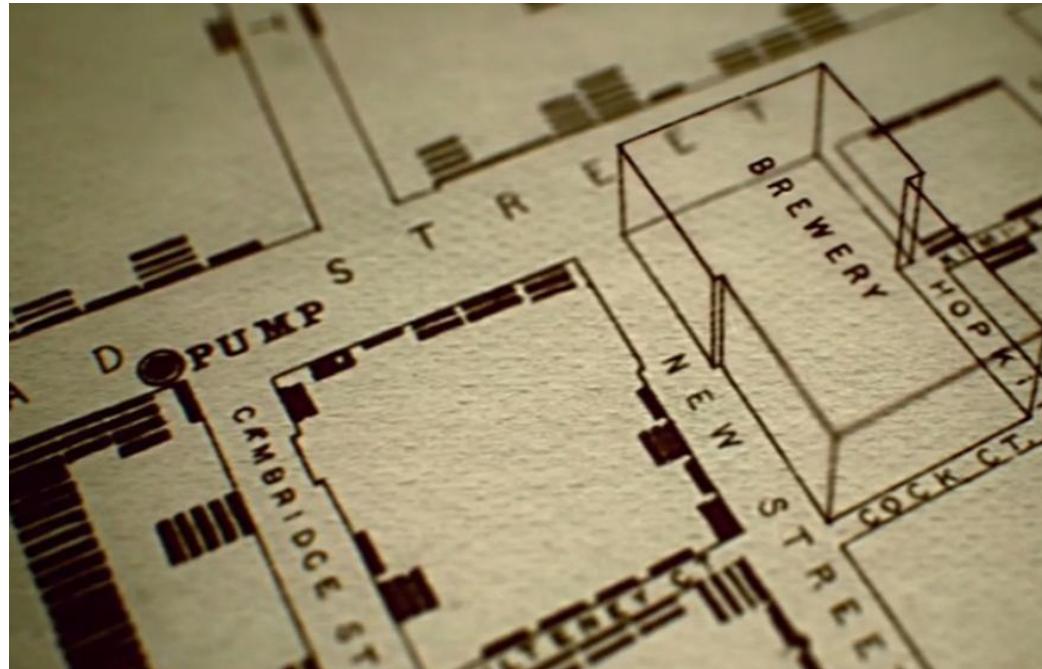
- Anfänge der Desinfektion von Wasser mit Chlor
- 1894 hat M. Traube, ein Schüler von Robert Koch, die ersten experimentellen Untersuchungen zur Abtötung von Krankheitserregern im Wasser mit Chlor durchgeführt. Er schreibt:
„Man kann also, wie aus den beschriebenen Versuchen hervorgeht, durch verhältnismäßig sehr geringe Mengen Chlorkalk und darauf folgende Behandlung mit Natriumsulfit, also auf sehr einfache und wenig kostspielige Weise in kurzer Zeit und beliebiger Menge ein keimfreies Wasser darstellen, ohne dass in demselben nach erfolgter Sterilisation ein fremdartiger Bestandteil verbleibt.“
- Der Begriff Sterilisation wurde seinerzeit gleichbedeutend mit Desinfektion verwandt.
- Trotz der überzeugenden Ergebnisse fand die Desinfektion des Wassers mit Chlor erst viele Jahre später Eingang in die Praxis



Moritz Traube – Porträt, Quelle: Ber. d. deutschen chem. Gesellsch. 28 (1895) S. 1085

Übertragung von Krankheiten

- John Snow erkannte 1854 in London, dass Cholera über das Trinkwasser übertragen wird. Dazu prüfte er wo die Häufigkeit der Erkrankung am höchsten war. In der Nähe des Wasserbrunnen war die Erkrankungsrate am höchsten, und in der Nähe der Brauerei am niedrigsten.

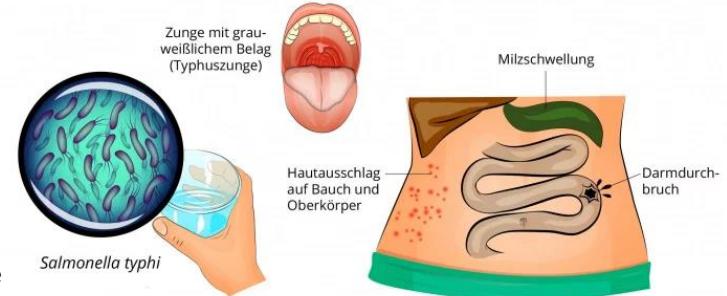


- 1896 wurde in Pola (Heute: Pula in Kroatien) an der Adria erstmals Chlor zur Desinfektion von Trinkwasser eingesetzt, um eine Typhus-Epidemie einzudämmen. Der nächste Einsatz erfolgte ein Jahr später in Maidstone, England, gleichfalls zur Bekämpfung einer Typhus-Epidemie. Ob der Einsatz von Chlor wesentlich zur Eindämmung der Typhus-Epidemien beigetragen hat, lässt sich nicht feststellen. Davor und danach hat es viele Epidemien gegeben, bei denen der Typhus-Erreger mit dem Trinkwasser übertragen wurde und bei denen die Epidemien auch ihr Ende fanden, ohne dass das Wasser desinfiziert wurde.
- Erstmals 1902 wurde in Middelkerke (Belgien) Chlor zur permanenten Desinfektion des Trinkwassers eingesetzt. Ein Jahr später folgte die Nachbarstadt Ostende. Middelkerke und Ostende waren zu dieser Zeit berühmte Bade- und Kurorte, in denen sich z. B. der europäische Hochadel zur Sommerfrische traf.



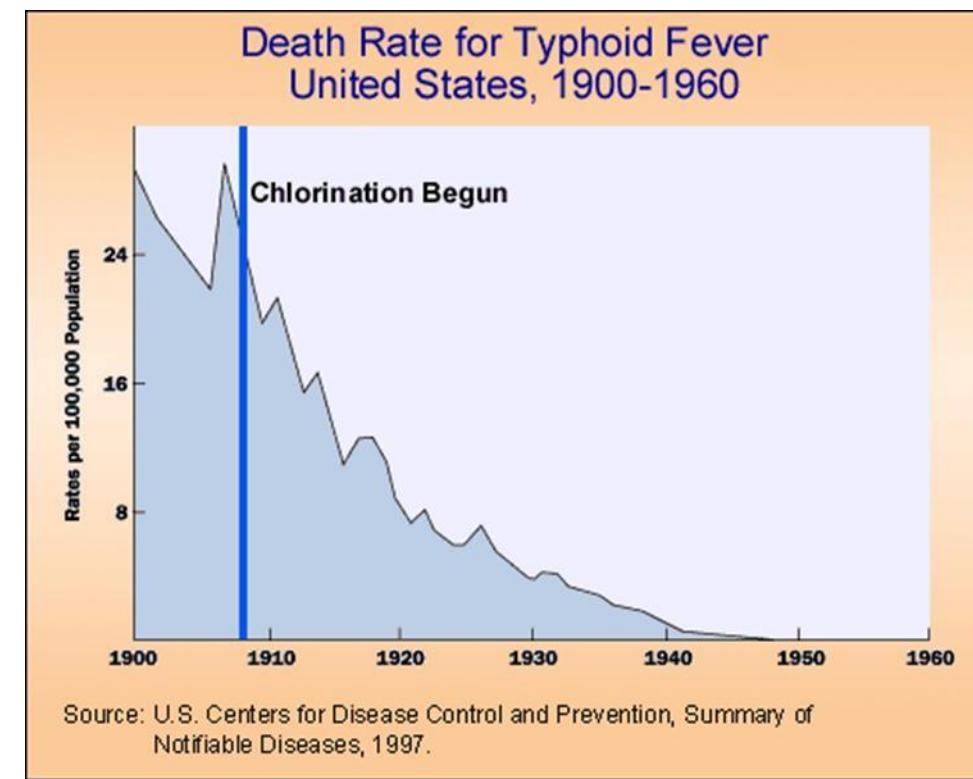
Quelle: www.medpertise.de

Typhus



Desinfektion mit Chlor

- John L. Leal entwickelte 1908 die erste regelmäßige Desinfektion der öffentlichen Wasserversorgung mit Chlor für die Trinkwasserversorgung von New Jersey
- Ein Gericht erlaubte zunächst für 3 Monate die Chlorierung von Trinkwasser.
- Dramatischer Rückgang der durch Wasser übertragbarer Krankheiten wie Typhus, Cholera und Ruhr.
- Entwickelte die Verfahrenskombination Filtration und Chlorung.
- Erste Dosieranlage für Calcium-hypochlorit



- Der Einsatz von Chlor zur Desinfektion wurde nach einem Besuch von Whipple in Europa 1906 in den USA bekannt gemacht. Die Desinfektion des Trinkwassers mit Chlor fand nach John L. Leals erfolgen in den USA rasch weite Verbreitung, weil sie wesentlich kostengünstiger als die Aufbereitung des Wassers mittels Filtration ist.
- 1910 gab es bereits mehr als 100 US-amerikanische Wasserversorgungen, die das Wasser mit Chlor desinfizierten, wie K. Imhoff und C. Saville nach einem Besuch in den USA in einem Beitrag im Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung (später gwf) berichtet und empfohlen haben, auch in Deutschland die kostengünstige Chlорdesinfektion einzuführen. Die Autoren weisen allerdings in ihrem Beitrag nicht auf Untersuchungsergebnisse hin, die belegen, dass der Zusatz von Chlor zur Bereitstellung eines seuchenhygienisch einwandfreien Wassers beiträgt.

	Einmalige Baukosten für 1 cbm der täglichen Wasser- menge in M	Jährliche Betriebs- kosten mit Zins und Tilgung der Baukosten für 100 cbm Wasser in M
Langsame Sandfiltration	26,0	1,10
Amerikanische Schnellfiltration	15,0	1,10
Ozonbehandlung	3,0	1,50
Chlорdesinfektion	0,13	0,05

■ Tabelle 1: Preisvergleich für verschiedene Verfahren der Trinkwasseraufbereitung und Desinfektion in Mark (M)³⁷

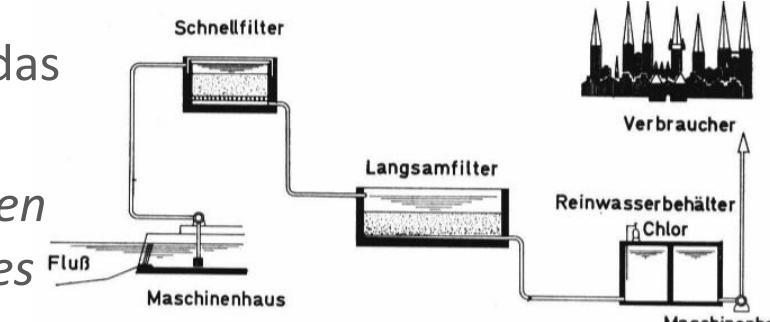
Filtration vs. Desinfektion

- In Europa und speziell in Deutschland wurde die Filtration des Wassers gegenüber der Desinfektion bevorzugt. Die zuverlässige Wirkung der Filtration hat sich bereits 1892 anlässlich der Cholera-Epidemie in Hamburg gezeigt.
- Altona blieb von einer Epidemie verschont, weil das Wasser im Gegensatz zu Hamburg für die Stadt filtriert wurde.
- H. Bruns, erster Leiter des Hygiene-Instituts in Gelsenkirchen, führte 1911 die ersten Versuche zur Desinfektion des Trinkwassers bei Ruhrwasserwerken durch, als sich der Typhus im Ruhrgebiet ausgebreitet hatte.
- 1915 erhebt August Gärtner in seinem Buch „Die Hygiene des Wassers“ Bedenken gegen die Chlорdesinfektion des Trinkwassers. Gärtner schließt das Kapitel „Sterilisation mit Chlor“, wie folgt:
- „*Ob das Chlorverfahren berufen ist, bei uns mit in die Reihe der regelmäßigen Wasserverbesserungsverfahren einzutreten, muss die Zukunft lehren; dass es aber geeignet ist, als ein vorzügliches Aushilfsmittel, als eine gute Reserve zu dienen, daran kann schon jetzt kein Zweifel sein.*“



Prof. Dr. Hayo Bruns

Quelle:www.hyg.de



Schema der Wasseraufbereitung
im Oberflächenwasserwerk

der Stadtwerke Lübeck von 1929 bis 1959

Abb. 1

Desinfektion mit Chlor in Deutschland

- Auf die Schwimmbadwasserdesinfektion verweist Gärtner auf einen Bericht aus den USA: „*Nach Lewis hat man für das Hallenschwimmbad der North-Western University, dessen Wasser nur Sonnabends unter gleichzeitiger Reinigung des Beckens abgelassen wurde, durch einen wöchentlich ein- oder zweimaligen Zusatz von 2 g Chlorkalk auf 1 cbm ein hygienisch einwandfreies Wasser erhalten.*“
- Die ersten Versuche in Deutschland zur Schwimmbadwasserdesinfektion mit Chlor wurden 1912 in Frankfurt am Main durchgeführt. Grundsätzliche Erwägungen haben aber dazu geführt, dem Durchfluss den Vorzug vor der Chlordesinfektion zu geben.
- Die erste Anwendung von Chlor zur Schwimmbadwasserdesinfektion in Deutschland wurde 1916 in Breslau vorgenommen, nachdem zuvor das stark besuchte Hallenbad von Armeehygienikern geschlossen worden war. Sie befürchteten eine Übertragung von Typhus mit dem Schwimmbadwasser, weil die Gefahr bestand, dass Soldaten, die aus dem Osten auf Urlaub waren, Typhus einschleppten. Vergleichbare Einschränkungen des Badebetriebs gab es in anderen Städten nicht, obwohl den Autoren die Verhältnisse in Breslau nicht ungünstiger erschienen als in anderen Städten. Das Bad konnte wieder genutzt werden, nachdem das Wasser in dem Bad permanent mit Chlor desinfiziert wurde.

„Dieses pichlein sagt
uns von allen paden
die vō natur heis̄ sein“



Abbildung 3: Titelholzschnitt zu Hans Folz,
„Diele von den naturheissen Bädern“, vor 1495
(aus: Martin S. 266).-

- Seit dem Einsatz von Chlor 1916 in einem Bad in Breslau, um eine Ausbreitung von Typhus auszuschließen Gab es vielfältige weitere Untersuchungen. In den folgenden Jahrzehnten wurde das Schwimmbadwasser gechlort, um die Übertragung der Schwimmbadkonjunktivitis zu verhindern, nachdem es zuvor speziell bei Badenden in einigen Berliner Bädern gehäuft zu Augenentzündungen (Kunjunktivitis) gekommen war.
- Die Schwimmbadkonjunktivitis wird durch Chlamydia trachomatis verursacht, ein Krankheitserreger, der zu Urogenital- und Augenentzündungen führt und der jetzt als Verursacher einer „sexually transmitted disease“ (Geschlechtskrankheit) gilt.

3. Stadtbad Mitte in Berlin

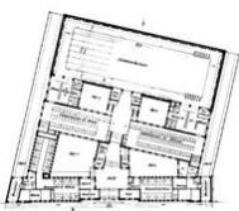


Abb. 3. 3

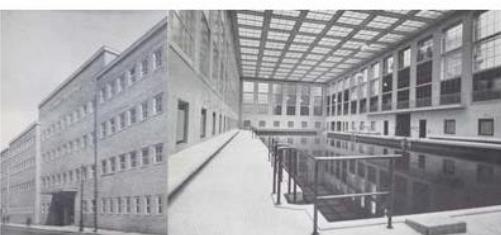


Abb. 3. 8

Abb. 3. 10

4. Stadtbad in Berlin-Schöneberg

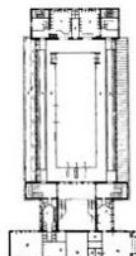


Abb. 4. 3



Abb. 4. 7



Abb. 4. 10

Adresse:

Architekt:

Baujahr/ Eröffnung:

Baukosten:

Gartenstr. 5, 10115 Berlin

Oberbaurat Carlo Hermann Jelkmann & Heinrich Tessenow

1929-1930

3.030.000 RM

Adresse:

Architekt:

Baujahr/ Eröffnung:

Hauptstraße 38-39, 10827 Berlin

Stadtbaudirektor Heinrich Lassen

1929-1930

Chlor setzt sich durch

- Die Chlorbehandlung des Wassers brachte einen großen wirtschaftlichen Vorteil, wie in der Literatur später immer wieder betont wird. Anfang 1922 wurde das Wasser außer in Breslau in zwei weiteren Bädern in Neukölln (Berlin) und Eppendorf (Hamburg) mit Chlor desinfiziert. Bürger begründet den Einsatz von Chlor jedoch nicht mit der Bekämpfung eines Infektionsrisikos durch Typhus, sondern mit der Übertragung der Schwimmbadkonjunktivitis. Mit dem Hinweis auf das Risiko der Schwimmbadkonjunktivitis hat sich in den folgenden Jahrzehnten die permanente Desinfektion des Schwimmbadwassers mit Chlor durchgesetzt und gilt im Prinzip für Frei- und Hallenbäder als selbstverständlich. Diese Praxis hat auch ihren Niederschlag in Empfehlungen und Normen für den Betrieb von Bädern gefunden.

Betrieb	Kosten	
Betriebskosten ohne Chlorung und Wasserwechsel 2- bis 3-mal pro Woche	159 000	M / Jahr
Chlordinfektionsanlage	268 000	M
Betriebskosten mit Chlorung aber ohne häufigen Wasserwechsel	50 000	M / Jahr

Tabelle 2:
Kostenberechnung von Bürger 1922 für ein Berliner Bad mit und ohne Chlordinfektionsanlage.¹³⁾ Die Kosten für die Chlordinfektionsanlage machen sich nach damaliger Abschätzung nach 2,5 Jahren bezahlt.

Desinfektion mit Chlor

- Durch die Aufbereitung von Wasser mit der Verfahrenskombination Filtration und Chlorung konnte auch Schwimmbeckenwasser effizient aufbereitet werden.
- Nach dem zweiten Weltkrieg entstanden vor allem in den USA ca. 2000 öffentliche Bäder



Dokumentation der Entwicklung im Badewesen

100 Jahre Desinfektion des Schwimmbadwassers mit Chlor

Rückblick und Ausblick

1. Jahrgang

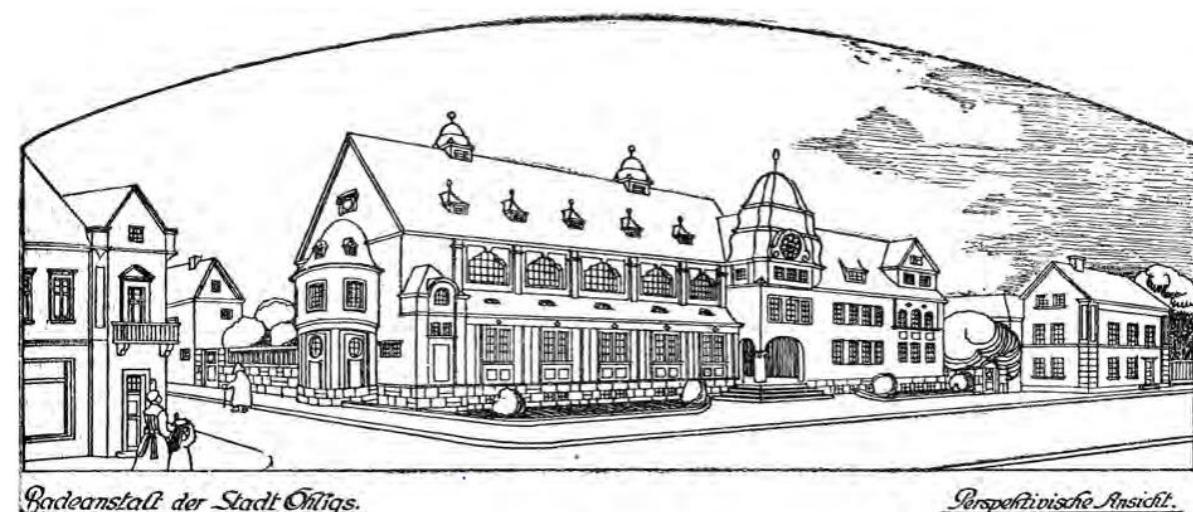


Abb. 21. 12 Zeitschriftenkopf mit schematischer Zeichnung einer Schwimmhalle in Anlehnung an das Hallenbad in

Einsatzgebiete von Chlor

- Als Desinfektionsmittel in Schwimmbädern
- Als Desinfektionsmittel für Trinkwasser und industrielle Prozesswässer
- In der chemischen Industrie, wo es in Endprodukten wie z. B. PVC und Bleichmittel anzutreffen ist.



Ausgewählte Unterschiede Schwimmbad

	• freies chlor [mg/l]	gebundenes chlor [mg/l]
• USA (ANSI APSP-11)	1,0 – 4,0 (2,0 – 5,0 Spa)	< 0,2
• Frankreich (Arrêté)	0,4 – 1,4	< 0,6
• Schweiz (SIA)	0,2 – 0,4	< 0,2
• Österreich (BHV)	0,3 – 1,2	< 0,3
• Österreich (ÖVS)	0,3 – 0,5	< 0,2
• Deutschland (DIN 19643)	0,3 – 0,6	< 0,2
• Türkei (UHE)	0,3 – 0,6	< 0,3
• Belgien	0,3 – 1,5	< 0,8
• Spanien (A.T.E.P.)	0,5 – 2,0	< 0,4
• England (PWTAG)	0,5 – 2,5	< ½ des freien Chlor; max. 1,0
• Russland (СанПиН)	0,3 – 0,5	< 0,1
• Niederlande (WHVBZ)	1,0 – 1,5	< 1,0
• WHO	< 3,0	< ½ of free; ideally < 0,2

Chlorung

Aufbereitung von
Schwimm- und Badebeckenwasser

Warum Desinfektion des Beckenwassers?

- **Eindämmung von Krankheiten**, die durch Infektionen hervorgerufen werden können
 - direkt im Becken
 - Desinfektionsmittel im Becken inaktiviert rasch die vom Badegast und aus der Umwelt eingetragenen Krankheitserreger
 - in der Aufbereitungsanlage
 - verhindert den Übergang von Krankheitserregern ins Becken
- Abtötung bzw. Inaktivierung durch **Oxidation** von Krankheitserregern
 - Bakterien, Pilzen, Algen und Viren
- zusätzlich erfolgt **oxidativer Abbau von organischen Belastungsstoffen**, aber dadurch auch:
 - Bildung von Desinfektionsnebenprodukten
 - Chlor-Stickstoff-Verbindungen (→ „gebundenes Chlor“)
 - Trihalogenmethane („THM“)
 - Organische Halogenverbindungen („AOX“)
 - weitere, nicht näher spezifizierte Verbindungen

Anforderung an das Desinfektionsmittel

- [...] Dabei werden von den Badegästen und aus der Umgebung eingebrachte Mikroorganismen durch ein **im Beckenwasser enthaltenes oxidierendes Desinfektionsmittel** abgetötet.
- Für die Desinfektion wurde eine Keimabtötung an *Pseudomonas aeruginosa* von vier Zehnerpotenzen innerhalb von 30 s zugrunde gelegt.
 - 99,99 % Reduktion von *Ps. aer.* in 30 Sekunden ist die zu erfüllende Wirksamkeitsanforderung, welche ein Desinfektionsmittel grundsätzlich leisten müssen
- Im Beckenwasser dürfen Desinfektionsmittel nur in der erforderlichen Konzentration vorhanden sein.
- Weitere Desinfektionsmittel dürfen nur aufgenommen werden, wenn
 - diese den Nachweis bezüglich der Wirksamkeit mit den Verfahrenskombinationen und
 - die oben geforderten Keimtötung erfüllen
 - bei gleichzeitiger Berücksichtigung der im Kap. 11.2.2.1 genannten Randbedingungen.

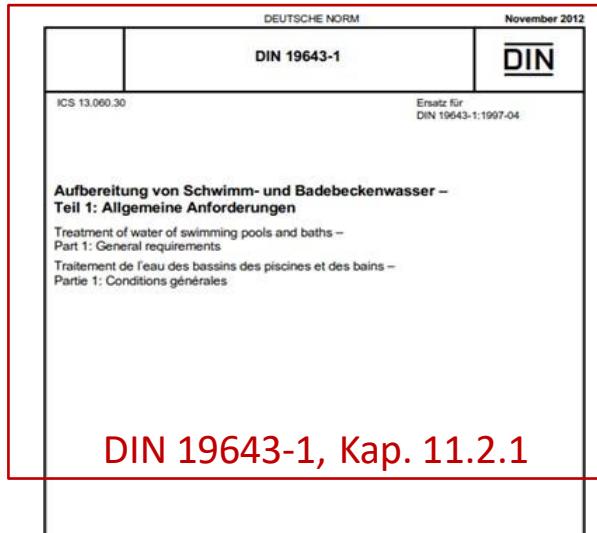
Anforderung an das Desinfektionsmittel



Desinfektionsverfahren

Aufbereitung von
Schwimm- und Badebeckenwasser

Anforderung an die Chemikaliendosierung



- Die Zugabe des Desinfektionsmittels ist so zu dimensionieren, dass folgende **Spitzenwerte** dosiert werden können:
 - ⇒ Hallenbäder: mindestens 2 g Cl₂ je m³ Filtrat
 - ⇒ Freibäder: mindestens 10 g Cl₂ je m³ Filtrat
 - ⇒ Bei der Ultrafiltration (DIN 19643-4) ist der Chlorbedarf zu verdoppeln, da k = 1,0 nur für die Aufbereitung gilt!
- Um die Chlorzugabe zum Filtrat nicht unterbrechen zu müssen, sind entsprechende **Chlorvorräte in Bereitschaft** zu halten, bzw. bei der Chlorelektrolyse im Durchfluss sind rasch auswechselbare Elektroden vorzuhalten.
- Bei **Ausfall** der Anlage wegen Chlormangels muss eine **Störmeldung** gegeben werden.
- Bei allen Chlorungsanlagen sind die Regelungen der BGR/GUV-R 107-001 zu beachten.

Chlorungsverfahren nach DIN 19643

- Zur Desinfektion im Beckenwasser dürfen folgende Mittel verwendet werden:
 - **Chlorgas** nach **DIN EN 15363** (bzw. DIN EN 937), abgefüllt in Druckbehältern,
 - Aktivchlorgehalt: ca. 100 %
 - **Chlorgas**, hergestellt am Verwendungsort **durch Elektrolyse** von Natriumchlorid-Lösung (NaCl nach DIN EN 16401) (Kochsalzlösung, Meerwasser, Sole) oder Salzsäure,
 - **Natriumhypochlorit-Lösung** nach **DIN EN 15077** (bzw. DIN EN 901),
 - Aktivchlorgehalt: ca. 120...150 g/l
 - **Natriumhypochlorit-Lösung**, 0,2 - 3,5 %ige Lösung, hergestellt am Verwendungsort **durch Elektrolyse** von Natriumchlorid-Lösung (NaCl nach DIN EN 16401) (Kochsalzlösung, Meerwasser oder Natursole), bzw. von salzhaltigem Wasser,
 - Aktivchlorgehalt: ca. 2...35 g/l
 - **Calciumhypochlorit** ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) nach **DIN EN 15796** (bzw. DIN EN 900) als Granulat oder in Tablettenform,
 - Aktivchlorgehalt: ca. 650...750 g/kg
 - **Hypochlorige Säure/Hypochlorit-Lösung** hergestellt durch **Chlorelektrolyse im Inline-Betrieb** von chloridhaltigem Filtrat.



Bilder: Lutz-Jesco GmbH, Dr. Nüsken Chemie GmbH

Dritter Abschnitt GefStoffV:

- Grundpflichten aus den §§ 8 – 11 – gelten immer!
- **Substitutionsgebot**
- **Minimierungsgebot**

Die GefStoffV legt in § 24 fest:

„Gefahrstoffe sind so aufzubewahren oder zu lagern, dass sie die menschliche Gesundheit und die Umwelt nicht gefährden.“

In der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) §52 heißt es:

„Gefährliche Arbeitsstoffe dürfen nur in solchen Mengen am Arbeitsplatz vorhanden sein wie es der Fortgang der Arbeit erfordert.“

Nach § 9 Abs. 1 GefStoffV ist die durch einen Gefahrstoff bedingte Gefährdung der Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten **mit geeigneten Maßnahmen zu beseitigen oder auf ein Minimum zu reduzieren**. Bei Tätigkeiten mit hoher Gefährdung, wie sie häufig bei giftigen Stoffen wie z. B. Chlor anzutreffen sind, ist nach § 10 Abs. 1 GefStoffV **ein Gefahrstoff durch Stoffe, Zubereitungen oder Erzeugnisse oder Verfahren zu substituieren, soweit dies technisch und wirtschaftlich möglich ist.**



Gemäß Gefahrstoffverordnung und der Technischen Regel für Gefahrstoffe TRGS 600 ist eine Substitutionsprüfung für die in Frage kommenden Chlorprodukte und Verfahren durchzuführen. Dabei werden **die Chlorungsverfahren entsprechend ihrer Einsatzmöglichkeit und Gefährdung beurteilt**. Bei allen in der DIN 19643-1:2011-11 genannten und nachfolgend beschriebenen Desinfektionsverfahren mit **Ausnahme der Chlorelektrolyse im Inlinebetrieb** entstehen Stoffe oder werden Stoffe eingesetzt, die als **Gefahrstoffe** einzustufen sind.

Bei jeder Substitutionslösung muss die **Gefährdung** durch Gefahrstoffe insgesamt **verringert** werden.

- Entscheidungskriterien für eine Substitution oder eine Ersatzlösung sind die
 - ✓ technische Eignung,
 - ✓ gesundheitliche Gefährdungen
 - ✓ physikalisch-chemische Gefährdungen
 - ✓ Realisierbarkeit unter Berücksichtigung der betrieblichen Verhältnisse.
- Die Prüfung der technischen Eignung einer Ersatzlösung hat einzelfallbezogen unter Berücksichtigung folgender Aspekte zu erfolgen:
 - ✓ Stand der Technik,
 - ✓ Funktion des Gefahrstoffes (z. B. Hilfsstoff oder unverzichtbare Komponente (Precursor))
 - ✓ technische Konsequenzen der Substitution auf das Arbeits- oder Produktionsverfahren



■ Abwägungsgründe für den betrieblichen Einsatz von Ersatzlösungen

s. Anlage 3 Nr. 1 Absatz 7

Möglichst alle Einflussfaktoren sollen betrachtet und zutreffende Unterpunkte ausgewählt werden.

Für jeden Einflussfaktor, ggf. gegliedert nach Unterpunkten soll zumindest qualitativ dokumentiert werden, ob sich die Ersatzlösung positiv (+), negativ (-) oder neutral (0) auswirkt.

1. **Einsatzstoffkosten**, Ggf. Kosten für Hilfs- und Verbrauchsstoffe berücksichtigen

2. **Lagerkosten**

3. **Transportkosten**, z.B. Kosten für Verpackungen, Frachttarife, etc.

4. **Entsorgungskosten** z.B. Kosten zur Abwasserbehandlung

5. **Energiekosten**

6. **Kosten für F&E**, z.B. Anpassung der Ersatzlösung

7. **Anlagekosten**, Investitionen in die Anlage

8. **Personalkosten** z.B. Gehälter, Kosten für Weiterbildung, etc

9. **Kosten für das Risikomanagement**: z.B. bauliche Maßnahmen, PSA, etc.

weitere Einflussfaktoren (ggf. nicht in Kosten zu beschreibende, betriebsbezogene Faktoren):

- a. öffentliche Wahrnehmung, Firmenimage, etc.
- b. Mitarbeiterzufriedenheit, Motivation, etc.
- c. vorteilhafte Produktkennzeichnung, Gütesiegel, etc.

abschließende Bewertung: –Ersatzlösung betrieblich nicht geeignet, weil, ...
–Ersatzlösung eingeleitet,

Tabelle "Abwägungsgründe für den betrieblichen Einsatz von Ersatzlösungen"
(s. Anlage 3 Nummer 1 Absatz 7 der TRGS 600, Stand: August 2008)

Tabelle: Abwägungsgründe für den betrieblichen Einsatz von Ersatzlösungen

Möglichst alle Einflussfaktoren sollen betrachtet und zutreffende Unterpunkte ausgewählt werden. Für jeden Einflussfaktor, ggf. gegliedert nach Unterpunkten soll zumindest qualitativ dokumentiert werden, ob sich die Ersatzlösung positiv (+), negativ (-) oder neutral (0) auswirkt. Bei mehreren denkbaren Ersatzlösungen kann die Tabelle erweitert oder mehrfach angelegt werden.

Einflussfaktoren	Veränderung durch die Ersatzlösung ++/+/-/ oder Kostenschätzung	Bemerkungen
variable Kosten:		
1. Einsatzstoffkosten Ggf. Kosten für Hilfs- und Verbrauchsstoffe berücksichtigen.		
2. Lagerkosten		
3. Transportkosten z.B. Kosten für Verpackungen, Frachttarife, etc.		
4. Entsorgungskosten z.B. Kosten zur stofflichen Wiederverwertung, zur Abfall-, Abwasser- und Abluftbehandlung		
5. Energiekosten		
6. Versicherungskosten etc.		
fixe Kosten:		
7. Kosten für F&E Entwicklung und Anpassung der Ersatzlösung in der Wertschöpfungskette		
8. Anlagekosten Investitionen in die Produktionsanlage		
9. Personalkosten z.B. Gehälter, Kosten für Weiterbildung, etc.		
10. Kosten für das Risikomanagement: – technische Maßnahmen, – organisatorische Maßnahmen – persönliche Maßnahmen z.B. bauliche Maßnahmen, Lüftungsmaßnahmen, ggf. Bedarf an zusätzlichen Material, Arbeitsplatzmessungen, persönliche Schutzausrüstung, etc.		
11. Kosten für arbeitsmedizinische Vorsorge		
12. Kosten für Arbeitsmanagementsysteme und zur Erfüllung rechtlicher Auflagen z.B. ISO-Zertifizierung, Gefahrstoffkataster, Registrierungen, Genehmigungen, etc.		
13. Vertriebskosten etc.		
weitere Einflussfaktoren (ggf. nicht in Kosten zu beschreibende, betriebsbezogene Faktoren):		
a. öffentliche Wahrnehmung, Firmenimage, etc.		
b. Mitarbeiterzufriedenheit, Motivation, etc.		
c. vorteilhafte Produktkennzeichnung, Gütesiegel, etc.		
etc.		
weitere relevante Faktoren (falls erforderlich betriebs- und fachbezogen ergänzen)		
abschließende Bewertung:		
– Ersatzlösung betrieblich nicht geeignet, weil, ...		
– Ersatzlösung eingeleitet,		
– erneute Prüfung bis ...		
– oder Freitext		

Desinfektionsverfahren nach Gefährdung

Geringere Gefährdung:

Chlorelektrolyse im Inline-Betrieb

Kein entweichen von Chlorgas möglich.

Gleiche Gefährdung:

Chlorgas

Membranzellenelektrolyse

Natriumhypochlorit-Dosierung

Erhöhte Gefährdung:

Calciumhypochlorit-Dosierung

Zusätzlich Brandfördernd

Aus der Veröffentlichung im Archiv des Badewesen 12-2010

„Prüfung der Substitutionsverpflichtung der Gefahrstoffverordnung“

Dr. Robert Kellner und Hans Kübler,

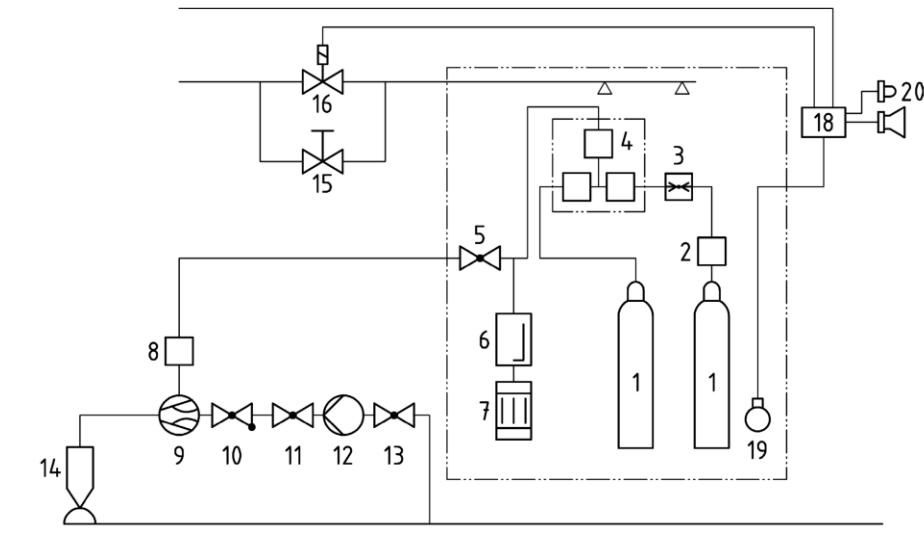
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), München

Verfahren	Gefahrstoff Gefährdung	akute Gesundheits- gefahr	chronische Gesundheits- gefahr	Umwelt- gefahr	Brand- und Explosions- gefahr	Freiset- zungs- verhalten	Gefahren durch das Verfahren
Durchfluss- elektrolyse	Wasserstoff	kein R-Satz	kein R-Satz	nicht wasser- gefährdend	R 12 (hoch- entzündlich)	Gas	geschlossene, dichte Anlage
	Gefährdung	vernach- lässigbar	vernach- lässigbar	vernach- lässigbar	wegen gerin- ger Konzen- tration ver- nachlässigbar	sehr hoch	vernachlässigbar
Chlorgas- dosierung	Chlor	R 23 (giftig beim Einatmen)	kein R-Satz	R 50 (sehr gif- tig für Was- serorganismen)	sehr schwer entzündlich	Gas	geschlossenes Verfahren mit Expositionsmög- lichkeit beim Flaschenwechsel
	Gefährdung	hoch	vernach- lässigbar	sehr hoch	vernach- lässigbar	sehr hoch	Störfall: sehr hoch
Membran- elektrolyse	Natronlauge	R 35 (stark ätzend)	kein R-Satz	schwach was- sergefährdend	unbrennbar	Flüssigkeit	geschlossenes Verfahren mit Expositionsmög- lichkeit beim Störfall im Tech- nikraum
	Wasserstoff	kein R-Satz	kein R-Satz	nicht wasser- gefährdend	R 12 (hoch- entzündlich)	Gas	
	Natriumhypochloritlösung	R 31 (giftige Gase bei Kon- takt mit Säure)	kein R-Satz	R 50 (sehr gif- tig für Was- serorganismen)	unbrennbar	Flüssigkeit	
	Chlor	R 23 (giftig beim Einatmen)	kein R-Satz	R 50 (sehr gif- tig für Was- serorganismen)	sehr schwer entzündlich	Gas	
	Gefährdung	hoch	vernach- lässigbar	sehr hoch	gering we- gen kontrol- lierter Ablei- tung des Wasserstoffs	sehr hoch	Störfall: sehr hoch
Natrium- hypochlorit- dosierung	Natriumhypochloritlösung	R 31 (entwi- ckelt bei Berühr- ung mit Säure giftige Gase)	kein R-Satz	R 50 (sehr gif- tig für Was- serorganismen)	unbrennbar	Flüssigkeit	geschlossene Verarbeitung mit Expositionsmög- lichkeit bei Tätigkeiten mit Behältern, z. B. beim Ab- und Umfüllen
	Chlor	R 23 (giftig beim Einatmen)	kein R-Satz	R 50 (sehr gif- tig für Was- serorganismen)	sehr schwer entzündlich	Gas	
	Gefährdung	hoch	vernach- lässigbar	sehr hoch	vernach- lässigbar	sehr hoch	Störfall: sehr hoch
Calcium- hypochlorit- dosierung	Calcium- hypochlorit	R 31 (entwi- ckelt bei Berührung mit Säure giftige Gase)	kein R-Satz	R 50 (sehr gif- tig für Was- serorganismen)	R 8 (Feuerge- fahr bei Be- rührung mit brennbaren Stoffen)	staubender Feststoff	trotz geschlosse- nem Verfahren Expositionsmög- lichkeit bei Bedienfehlern (Kontakt von Calciumhypo- chlorit mit pH- Senker)
	Chlor	R 23 (giftig beim Einatmen)	kein R-Satz	R 50 (sehr gif- tig für Was- serorganismen)	sehr schwer entzündlich	Gas	
	Gefährdung	hoch	vernach- lässigbar	sehr hoch	hoch	sehr hoch	Störfall: sehr hoch

Desinfektion mit Chlorgas

nach DIN EN 15363 (bzw. DIN EN 937)

- für Ausstattung, Aufbau und Aufstellung gelten DIN 19606 und DGUV-R 107-001,
 - hoher sicherheitstechnischer Aufwand,
- unterbrechungslose Chlorgaszugabe muss sichergestellt sein,
- durch die Zugabe von Chlorgas bildet sich im Wasser u.a. Salzsäure (HCl):
 - $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HOCl} + \text{HCl}$
 - Absenkung des pH-Wertes in Abhängigkeit von der im Wasser vorhandenen Säurekapazität,
 - zur Vermeidung unerwünschter pH-Wert-Senkungen kann ein „Marmorturm“ verwendet werden:
 - $2 \text{ HCl} + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2 \text{ Cl}^- + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
 - „Aufhärtung“ des Wassers mit Calcium-Ionen
 - keine Zunahme der Säurekapazität



1	Chlorgasbehälter	11	Absperrventil
2	Vakuumregler	12	Treibwasserpumpe
3	Hinterdruckregler	13	Absperrventil
4	Chlorgasumschalter	14	Impfstelle
5	Sicherheitssperrventil	15	Absperrventil
6	Abblaseventil	16	Magnetventil
7	Adsorptionseinheit	18	Gaswarngerät
8	Rückschlagventil	19	Chlorgassensor
9	Injektor	20	Warnsignal
10	Rückschlagventil		

- Chlor ist ein hochreaktiver Stoff
- Chlor mit Feuchtigkeit wirkt extrem korrosiv!
- Chlor wirkt brandfördernd!

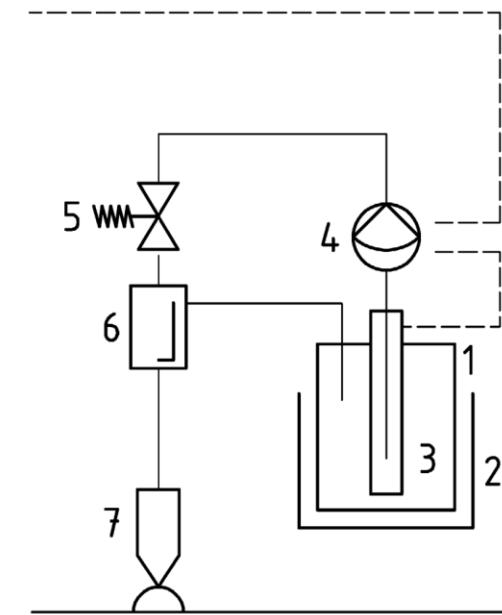


Konzentration Chlor in Luft	Wirkung auf den Menschen
> 0,5 Vol.-%	tödlich
0,001 Vol.-% (10 Vol.-ppm)	bleibende Schädigung Von Leben und Gesundheit besonders der Atmungsorgane
0,0001 Vol.-% (1 Vol.-ppm)	Reizung der Haut und der der Atmungsorgane
0,5 Vol.-ppm	Arbeitsplatzgrenzwert (AGW)
0,3 Vol.-ppm	Geruchsschwelle

Desinfektion mit Natriumhypochlorit

nach DIN EN 15077 (bzw. DIN EN 901)

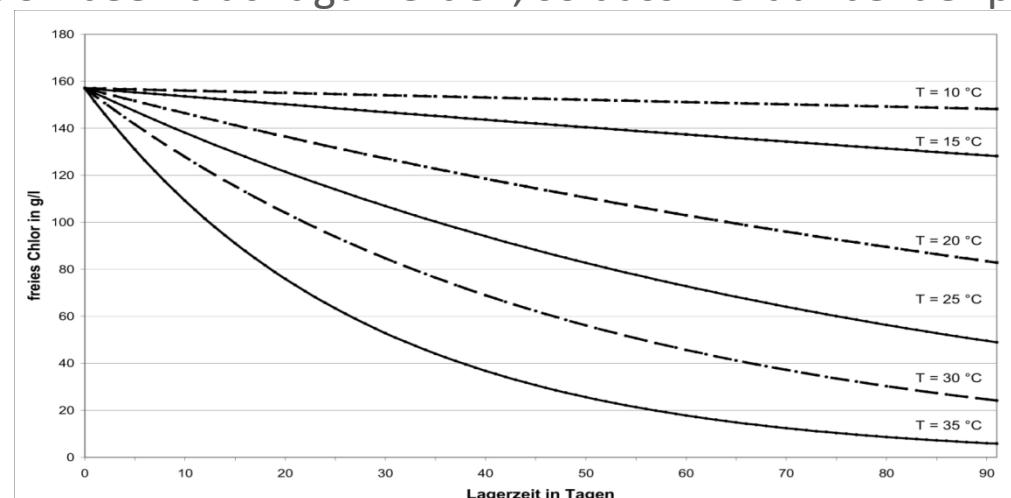
- Handelsübliche Lösungen enthalten etwa 150 g/l Aktivchlor → Aktivitätsverlust durch Lagerung (ca. 1 g/Tag)
 - Chlorat-Bildung: $3 \text{ NaOCl} \rightarrow 2 \text{ NaCl} + \text{NaClO}_3$
- Die Zugabe der Natriumhypochlorit-Lösung zum Filtrat hat durch Dosierpumpen zu erfolgen.
- Die Dosierung kann aus einem Behälter oder aus dem Liefergebinde erfolgen.
- Die Dosieranlagen sind mit Trockenlaufschutz und Leermeldeeinrichtungen zu versehen.
- Durch die Zugabe von Natriumhypochlorit bildet sich im Wasser Natronlauge (NaOH):
 - $\text{NaOCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HOCl} + \text{NaOH}$
 - Anhebung des pH-Werts ,
 - Carbonatausfällung an der Impfstelle kann zu einer Beeinträchtigung der Dosierleistung führen.



- 1 Liefergebinde
- 2 Sicherheitsauffangwanne
- 3 Sauglanze
- 4 Dosierpumpe
- 5 Druckhalteventil
- 6 Überdruck-Sicherheitsventil
- 7 Impfstelle

Desinfektionsanlagen mit Natriumhypochlorit-Lösung

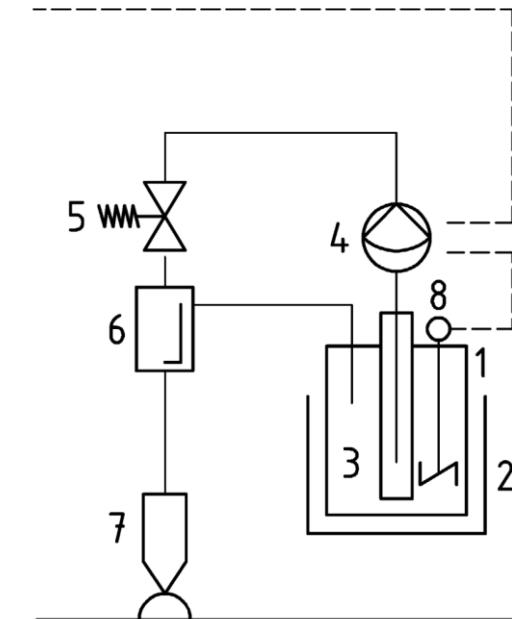
- Desinfektionsanlagen mit Natriumhypochlorit-Lösung nach DIN EN 15077
- Die Zugabe der Natriumhypochlorit-Lösung zum Filtrat hat durch Dosierpumpen zu erfolgen.
- Die Dosierung kann aus einem Behälter oder aus dem Liefergebinde erfolgen.
- Die Dosieranlagen sind mit Trockenlaufschutz und Leermeldeeinrichtungen zu versehen.
- Die Dosierung von Natriumhypochlorit bewirkt eine Erhöhung des pH-Wertes.
- Dadurch können Flockung und Desinfektion beeinträchtigt werden, so dass hierauf bei der pH-Wert-Regelung geachtet werden muss.



Desinfektion mit Calciumhypochlorit

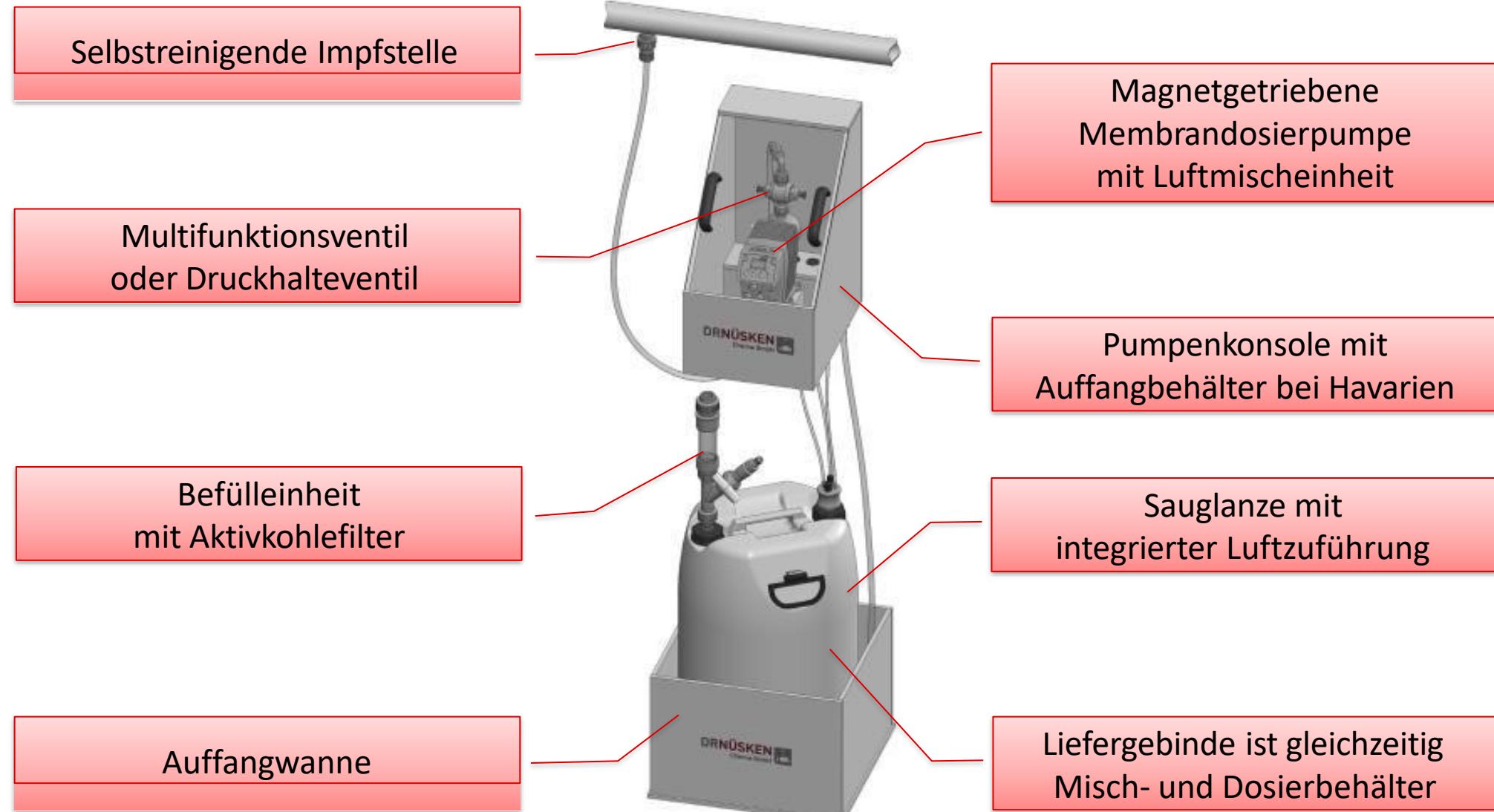
nach DIN EN 15796 (bzw. DIN EN 900)

- Calciumhypochlorit (Granulat, Tabletten) sollte mindestens 65 % $\text{Ca}(\text{ClO})_2$, neben 5 - 10 % Kristallwasser und 2 - 5 % unlösliche Bestandteile.
- Das Lösen von Calciumhypochlorit erfolgt in Ansetzbehältern mit einer Löseeinrichtung.
- Durch die Zugabe von Calciumhypochlorit bildet sich im Wasser Calciumhydroxid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$):
 - $\text{Ca}(\text{OCl})_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{HOCl} + \text{Ca}(\text{OH})_2$
 - Anhebung des pH-Werts durch $\text{Ca}(\text{OH})_2$,
 - Calciumhydroxid-Schlämme an der Impfstelle können zu einer Beeinträchtigung der Dosierleistung führen.
 - Je 1 kg Granulat bilden sich etwa 0,36 kg $\text{Ca}(\text{OH})_2$.
 - Aufgrund der entstehenden Schlämme sind reinigbare Dosierstellen und Ansetzbehälter vorzusehen.



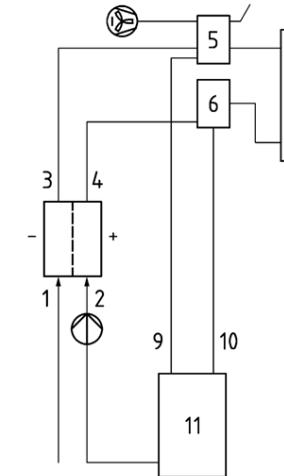
- 1 Ansetzbehälter
- 2 Sicherheitsauffangwanne
- 3 Sauglanze
- 4 Dosierpumpe
- 5 Druckhalteventil
- 6 Überdruck-Sicherheitsventil
- 7 Impfstelle
- 8 Rührwerk/Mischeinrichtung

InnoDOS CHC - Misch- und Dosierstation

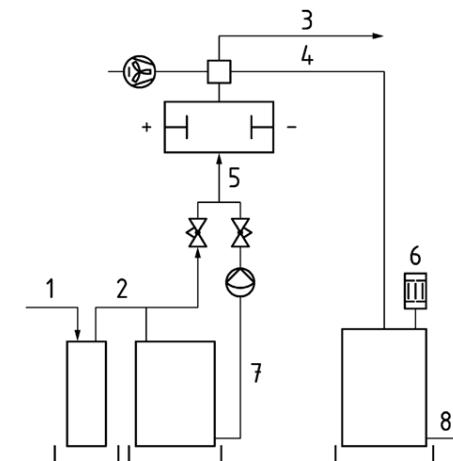


Aktivchlor – hergestellt durch Elektrolyse am Verwendungsort (EN 17818)

- **Natriumhypochlorit-Lösung**, hergestellt durch Elektrolyse von Natriumchlorid (Kochsalz, Meerwasser, Sole)
→ 2 - 35 g/l Aktivchlor
- $2 \text{ NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{⚡} \rightarrow 2 \text{ NaOCl} + \text{H}_2 \uparrow$
- Membran-geteilte Zelle oder Rohrzelle
 - Rohrzelle mit Salzschlupf
- Wasserstoff muss sicher abgeleitet werden.
- Dosierung aus Vorratstanks.
- Beim Lösen in Wasser entsteht Natronlauge.
- Chloratbildung bei Herstellung und Lagerung.
- Natriumchlorid-Salze müssen entsprechen
 - DIN EN 16401: NaCl zur Erzeugung mittels Elektrolyse
 - DIN EN 16370: NaCl zur Erzeugung mittels Membranzellen
 - Qualität 1 bei geteilter Zelle, ansonsten Verblockung möglich



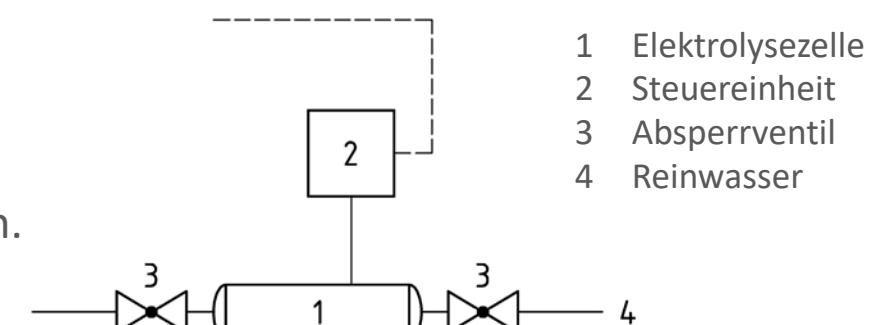
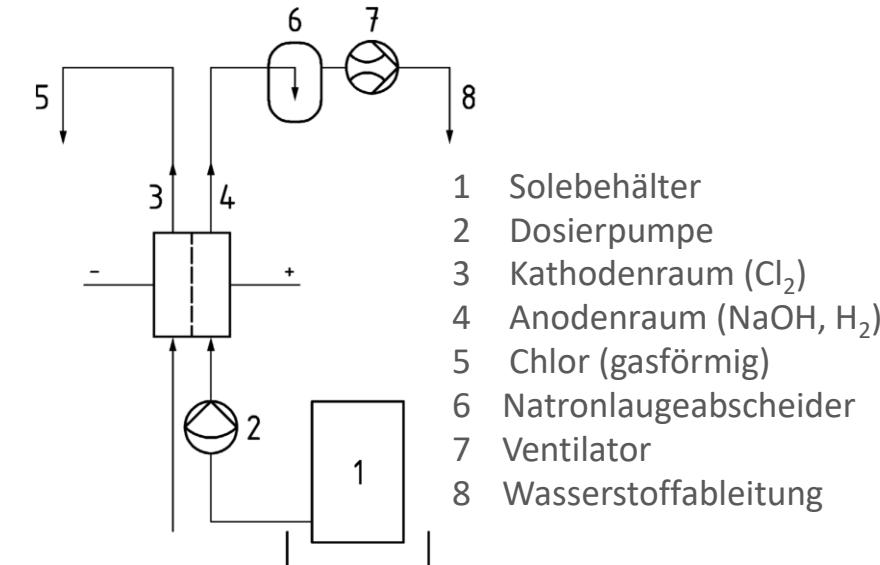
- 1 Wasser
- 2 Dosierpumpe für Sole
- 3 Kathodenraum
- 4 Anodenraum
- 5 Behälter Katholyt (Cl_2)
- 6 Behälter Anolyt (NaOH)
- 7 Reaktor
- 8 Natriumchlorit-Lösung
- 9 Magersole
- 10 Wasser
- 11 Sole



- 1 Betriebswasser
- 2 Verdünnungswasser
- 3 Wasserstoff
- 4 Chlorlösung
- 5 Salzlösung
- 6 Adsorber
- 7 Sole
- 8 Dosierlösung

Aktivchlor – hergestellt durch Elektrolyse am Verwendungsort (EN 17818)

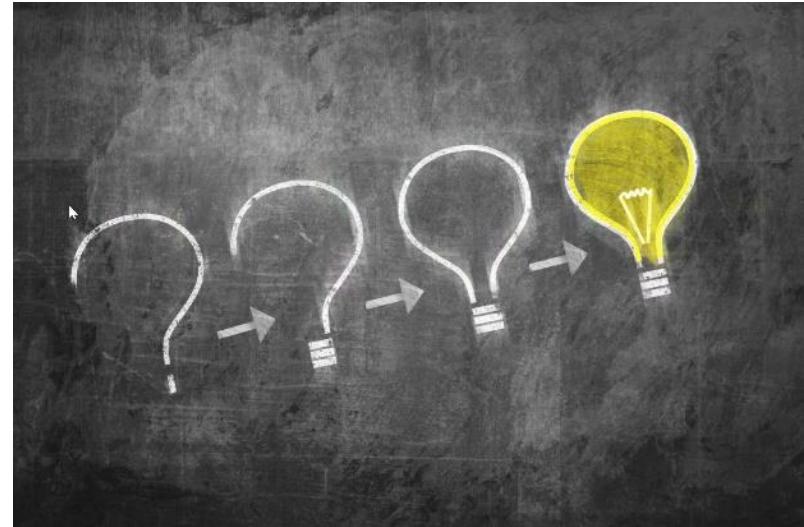
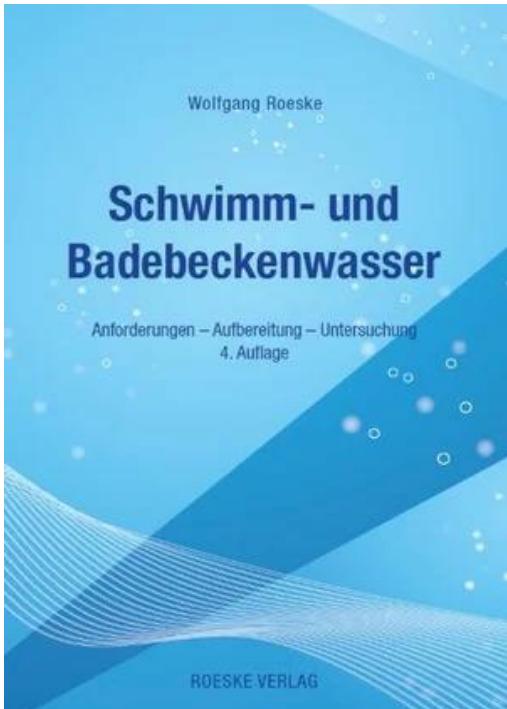
- Chlorgas, hergestellt durch Elektrolyse von Natriumchlorid (Kochsalz, Meerwasser, Sole) oder Salzsäure
 - $2 \text{ NaCl} + \text{---} \rightarrow \text{Cl}_2 \uparrow + \text{H}_2 \uparrow + 2 \text{ NaOH}$
- Wasserstoff muss sicher abgeleitet werden.
- Chlorgas wird im Unterdruckverfahren eingebracht.
- Beim Lösen in Wasser entsteht Salzsäure.
- **Hypochlorige Säure und Natriumhypochlorit**, hergestellt durch Elektrolyse von chloridhaltigem Beckenwasser im Durchfluss
 - (Kochsalz, Meerwasser, Sole) → Chloridgehalt im Wasser: > 1,2 g/l
 - $2 \text{ Cl}^- + 2 \text{ H}_2\text{O} + \text{---} \rightarrow \text{HOCl} / \text{OCl}^- + \text{H}_2 \uparrow$
- Wasserstoff entweicht über Wasseroberflächen.
- Besondere technischen Anforderungen in Bezug auf erhöhte Korrosivität sind zu beachten.
- An der Kathode kann es zu Kalkausfällungen kommen.
- Für jedes Becken muss eine separate Elektrolyseeinheit eingesetzt werden.
- Bei Messwertgebern müssen Redox-Elektroden verwendet werden, die durch den entstehenden Wasserstoff nicht gestört werden.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit...

Haben Sie Fragen?

Gerne jetzt oder später →



Thomas Beutel
Association Management/Product Representative

Phone: +49 5130 580-20
Mobil: +49 171 4145473
Mail: Thomas.Beutel@lutz-jesco.com



Lutz-Jesco GmbH
Am Bostelberge 19 | 30900 Wedemark | Germany
www.lutz-jesco.com

safety is our concern