

Übersicht und Informationen zur Desinfektion des Schwimm- und Badebeckenwassers auf der Basis von Salz mittels Elektrolyseverfahren zur Herstellung von Aktivem Chlor

Wenn man sich heute in der Schwimmbadbranche über die Wasserbehandlung informieren will oder in verschiedenen Herstellerbroschüren blättert, trifft man häufig auf Schlagworte wie „natürliche Desinfektion des Schwimmbeckenwassers“ oder „Desinfektion auf Basis von Salzen“. Was verbirgt sich dahinter und welche Methoden gibt es, das Schwimmbeckenwasser basierend auf diesen Begrifflichkeiten zu desinfizieren?

Vorab: ein sorgfältig und gut aufbereitetes Schwimmbeckenwasser muss mit entsprechenden Wasserpflegemitteln versetzt und aufbereitet werden, um die einwandfreien hygienischen Bedingungen zu erfüllen, und sich selbst sowie andere Badegäste vor krankmachenden Keimen zu schützen. Dies geben schon die technischen Regelwerke für die öffentlichen Schwimmbäder (DIN 19643 - Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser in öffentlichen Bädern) oder für private Schwimmbäder (DIN EN 16713 und die bsw Richtlinie Nr. 2020/01 - Planung der Wasseraufbereitung für Privatschwimmbäder) vor. Auch im Infektionsschutzgesetz ist für Bäder vorgeschrieben, dass eine Beeinträchtigung der Gesundheit nicht besorgt werden darf.

Sämtliche Regelwerke haben gemeinsam, dass die Desinfektion auf Basis von Chlor bzw. oxidierenden Chlorverbindungen erfolgen soll. Wie kommt man nun von der Desinfektion auf salzhaltiger Basis zum Chlor?

Wenn von Salzen zur Desinfektion im Schwimmbeckenwasser die Rede ist, spricht man von Natriumchlorid (chem. NaCl, auch bekannt als Kochsalz). Natriumchlorid ist zum Beispiel auch im Meerwasser das überwiegend vorkommende Salz. Bei einem Salzgehalt im Meerwasser von etwa 3,5 % sind ca. 36 g Salz je Liter Wasser enthalten, wobei der Anteil an Natriumchlorid dabei rund



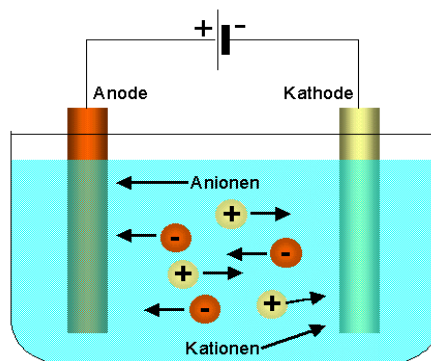
80 - 90 % beträgt. Salz ist die Urkraft des Meeres, und alles Leben stammt aus dem Meer. Dieses „maritime Milieu“ ist aber auch im genetischen Programm des Menschen verankert. Das Fruchtwasser im Mutterleib ist ein „Mikro-Meer“ mit einem isotonischen Salzgehalt von ca. 0,9 % und auch sonst haben wir 0,9 %ige Salzlösung (Tränen, Schweiß usw.) in uns.

Es hat sich herausgestellt, dass ein Salzgehalt des Beckenwassers, der dem Salzgehalt des menschlichen Körpers, der Haut und des Blutes entspricht oder dem nahe kommt, ein Optimum für den Schwimmer oder Badenden darstellt. Ein Salzgehalt ab 0,4 % findet dabei den größten Zuspruch.

Einige Salzgehalte	
Ostsee	bis zu 1,8 %
Nordsee	bis zu 2,5 %
Atlantik	bis zu 3,5 %
Mittelmeer	bis zu 4,0 %
Totes Meer	bis zu 33,0 %

Werden nun in diese Natriumchloridlösung zwei Elektroden eingetaucht und daran eine Gleichspannung angelegt, wird das Natriumchlorid entsprechend der Ladung aufgespalten. Diesen Vorgang nennt man Elektrolyse (griech.: mittels Elektrizität trennen).

Die positiv geladenen Natriumionen Na^+ (Kationen) wandern zur negativen Elektrode (Kathode) und die negativ geladenen Chloridionen Cl^- (Anionen) wandern zur positiven Elektrode (Anode). Auch das Wassermolekül H_2O wird entsprechend elektrolytisch aufgespalten - in H^+ und OH^- Ionen.



Elektrolysevorgang

Aus diesen entstehenden Elektrolyseprodukten wird nun je nach Verfahrensvariante das eigentliche Desinfektionsmittel - freies Chlor oder auch Aktives Chlor – gebildet und dem Schwimmbeckenwasser zugegeben oder direkt im Wasser erzeugt. Dieser Schritt kann im Durchfluss direkt oder aber auch indirekt im Durchlaufbetrieb erfolgen. Denn bei der Elektrolyse von Natriumchloridlösungen entstehen je nach Verfahrensvariante an der Anode zunächst elementares Chlor (Cl_2), an der Kathode entstehen Wasserstoff (H_2) und Hydroxidionen und in Folge Natronlauge (NaOH). Der prozessbedingt entstehende Wasserstoff muss dabei ins Freie abgeleitet werden. Entweder über eine manuelle

Abführung bei kleineren Mengen (konvektive Strömung) oder mittels eines geeigneten Ventilators. Bei der Durchflusselektrolyse wird der Wasserstoff über die Wasseroberfläche des Schwimmbades gefahrlos abgeleitet.

Aufgrund der Herstellung des Desinfektionswirkstoffes vor Ort spricht man auch von der „in-situ-Herstellung“. Vorteil ist dabei, dass der Transport und das Handling mit Gefahrstoffen wie flüssigen (Natriumhypochlorit) oder festen (Calciumhypochlorit) Chlorprodukten entfällt und ausschließlich Salz zum Einsatz kommt.

Hinweis zu Begrifflichkeiten: Bei der täglichen Anwendung und Messung der Konzentration an Desinfektionsmitteln spricht man bekanntermaßen von dem „Freien Chlor“. Genaugenommen umfasst das freie Chlor neben der Hypochlorigen Säure (HOCl) auch das Anion ClO^- . Nur: im üblichen, relevanten pH-Wert Bereich von ca. 6,5 – 7,5 ist davon auszugehen, dass vorwiegend die Hypochlorige Säure den maßgeblichen Anteil ausmacht.

Die gängigsten Verfahrensvarianten werden im Folgenden erläutert:

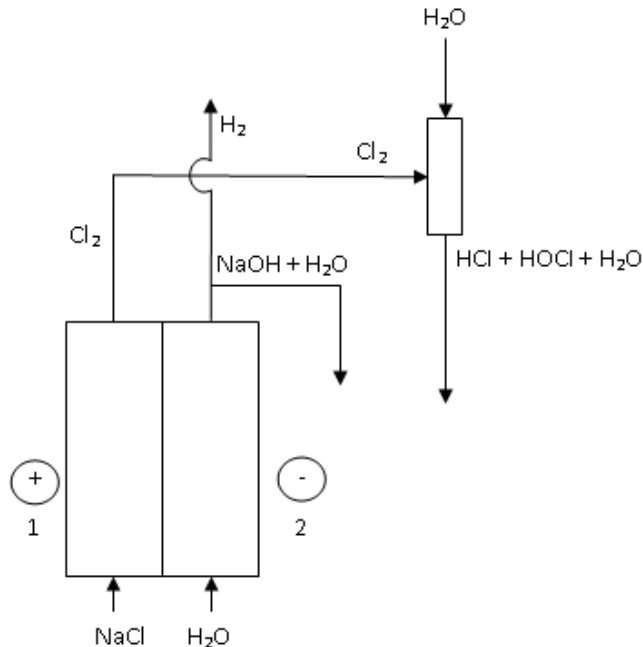
1. Herstellung von Natriumhypochloritlösung mittels Elektrolyse vor Ort

Das entstehende elementare Chlor sowie die Natronlauge werden nach der Elektrolysezelle in eine Vermischungseinrichtung (Reaktor) geführt und reagieren dort zu einer Natriumhypochloritlösung (chem. NaClO , häufig auch als Chlorbleichlauge bezeichnet) mit einer Konzentration von max. 35 g Aktivem Chlor je Liter. Die Natriumhypochloritlösung wird in einem separaten Kunststoffbehälter aufgefangen und von dort mittels einer Dosierpumpe nach Bedarf dem Filtrat zudosiert. Je nach Anlagenleistung und Behältergröße kann dabei für eine gewisse Zeit eine Bevorratung erfolgen. Zudem besteht die Möglichkeit, durch weitere Dosierpumpen auch mehrere Becken gleichzeitig zu bedienen. Aufgrund der Alkalität von Natriumhypochlorit ist eine pH-Wert Korrektur deshalb notwendig.

2. Herstellung von elementarem Chlor mittels Elektrolyse vor Ort

Ausgehend von den erzeugten Elektrolyseprodukten Chlor und Natronlauge werden diese beiden Produkte getrennt abgeführt. Während das Chlor ohne Zwischenlagerung mit Wasser zu Hypochloriger Säure reagiert und dem Filtrat zudosiert wird, muss die Natronlauge in einem separaten Behälter aufgefangen und zwischengespeichert werden. Die Anlagenleistung muss dem maximal möglichen Bedarf entsprechend ausgelegt werden. Die bevorratete Natronlauge kann je nach Reinheit entweder zur pH-Wert Korrektur verwendet oder aber mit ausreichend Wasser verdünnt abgeführt werden. Die bei der Einmischung von Chlor in Wasser entstehende Salzsäure muss dabei neutralisiert werden. Die

Entsäuerung kann z. B. mittels Marmorkies oder Zugabe von pH-Wert-Wasserpflegemittel (hierfür kann auch die zuvor zwischengespeicherte Natronlauge Verwendung finden) erfolgen.



Bei den bisher genannten Verfahren unter 1. und 2. spricht man auch von den indirekten Elektrolyseverfahren. Gekennzeichnet sind diese vor allem dadurch, dass das entstehende Desinfektionsmittel über eine separate Dosiereinrichtung (ob Dosierpumpe oder Injektorprinzip) dem Filtrat zugemischt wird und die Elektrolyse „extern“, also nicht unmittelbar im Beckenwasserkreislauf stattfindet.

Diese indirekten Elektrolyseverfahren werden überwiegend mit Elektrolysezellen ausgerüstet, dessen Elektroden (Anode- und Kathode) mittels Membranen voneinander getrennt sind (auch als geteilte Zellen bezeichnet). Man spricht dann auch von der Membranelektrolyse oder Membranzellenelektrolyse. Diese Membran trennt die beiden Elektroden insofern, als dass die Selektivität bezgl. der auftretenden Ionen und damit schließlich der Wirkungsgrad der Anlage erhöht wird.

Damit Härtebildner wie Calcium oder Magnesium die Membranen nicht belegen, werden bei Membranverfahren überwiegend Enthärtungsanlagen benötigt, die entweder extern angeschlossen oder in der Elektrolyseanlage bereits integriert sind. Neben den mittels Membranen getrennten Elektrolysezellen gibt es auch Elektrolysezellen ohne Membrantrennung (auch als ungeteilte Zellen

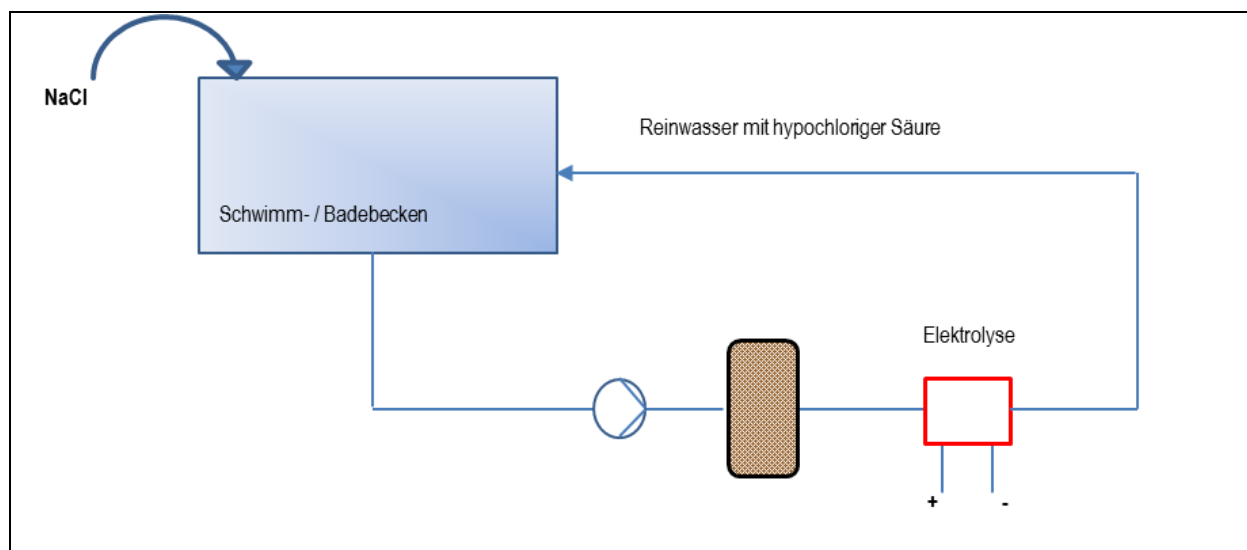
bezeichnet). In diesem Fall ist die Konzentration der Chlorlösung geringer sowie die Möglichkeit des Salzeintrages in den Beckenwasserkreislauf höher.

3. Herstellung von Hypochloriger Säure mittels Elektrolyse im salzhaltigen Filtrat

Bei diesem Verfahren handelt es sich um ein sog. direktes Elektrolyseverfahren, auch Durchflussverfahren oder Inline-Elektrolyse genannt. Dabei wird der Salzgehalt des kompletten Beckenwassers bzw. im gesamten Kreislauf durch manuelle oder automatische Zugabe von Salz angehoben. Die Konzentrationen betragen je nach Herstellerangaben etwa 0,2 - 0,5 % (entsprechend 2 - 5 g Salz je 1 Liter Wasser).

Die Elektrolysezelle (bestehend aus Anode und Kathode) wird hierbei direkt in die Filtratleitung installiert und vollständig oder in einem Teilstrom durchströmt. Dabei bildet sich an der Anode Chlor, welches im Wasser zu hypochloriger Säure und Salzsäure reagiert und sich damit direkt im Filtrat ohne weitere Dosiereinrichtungen befindet. Wichtig bei diesem Verfahren ist, dass aufgrund des dauerhaft hohen Salzgehaltes sämtliche verwendeten Werkstoffe im Schwimmbecken, der Anlagentechnik aber auch in der Schwimmhallenkonstruktion (bei Hallenbädern) in entsprechend beständiger Qualität ausgewählt werden.

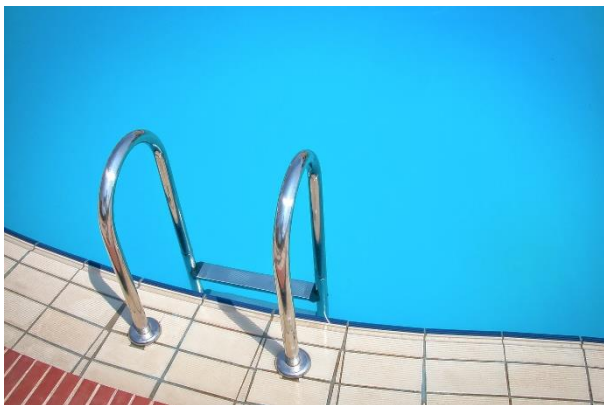
Damit eine ausreichende Desinfektionskapazität vorhanden ist, muss regelmäßig der Salzgehalt überprüft und angepasst werden, da aufgrund der Filterspülung mit Beckenwasser und Nachspeisung mit Trinkwasser der Salzgehalt verringert wird. Der Einfluss der Härtebildner ist auch bei diesem Verfahren bemerkbar. Deswegen müssen die Elektroden in regelmäßigen Abständen gespült und gereinigt werden und/oder es muss durch eine elektrische Umpolung der Belag entfernt werden.



Einfluss und Wechselwirkungen mit Werkstoffen bei Verfahren mit höherem Salzgehalt im Beckenwasserkreislauf

Bei Elektrolyseverfahren, bei denen ein höherer Salzgehalt im Beckenwasser erforderlich ist oder entstehen kann, sind durch den höheren Gehalt an Salzen im Beckenwasser auch höhere Anforderungen an die Qualität der verwendeten Werkstoffe zu stellen. Immer wieder kommt es vor, dass in Schwimmbecken Beckeneinbauteile oder Beckenausstattungen vorhanden sind, die nur eine begrenzte Beständigkeit aufweisen. Meist handelt es sich um Edelstähle, deren Einsatzgrenzen gemäß Herstellerangaben oder auch den Angaben der Informationsstelle Edelstahl rostfrei e. V. „geringer“ sind als die erforderlichen Salzkonzentrationen.

Geht man bei einer Elektrolyse im salzhaltigen Filtrat von einer Salzkonzentration von rund 0,2 % aus, (was an sich schon eine Konzentration im unteren Bereich darstellt), so entspricht dies 2 g Salz je l Wasser oder 2000 mg/l. Bei Verwendung von Natriumchlorid ist durch das chemische Verhältnis der



Anteil an Chlorid dann entsprechend 60 % - also 1.200 mg/l Chlorid (Cl⁻). Wenn also Schwimmbeckeneinbauteile und -ausstattungen in Kombination mit aufgesalztem Wasser vertrieben oder errichtet werden, so muss im Vorfeld eindeutig die jeweilige Beständigkeit berücksichtigt werden und in sich schlüssig sein.

Es ist nicht selten, dass ein Schwimmbecken mit Beckeneinbauteilen und -ausstattungen aus Edelstählen in Verkehr gebracht wird, dessen Beständigkeit gegenüber Chloriden z. B. in den Anleitungen und AGB ausdrücklich begrenzt wird, jedoch in Kombination mit einer Elektrolyse im salzhaltigen Filtrat eingesetzt wird. Das macht eine höhere Salzbeständigkeit erforderlich. Ein guter Schwimmbadbauer kann hier aber richtig beraten.

Es ist vorab zu klären, welche Werkstoffe geeignet sind und welche Chlorungsverfahren dann in Frage kommen. Neben den reinen werkstoffspezifischen Besonderheiten können auch konstruktive Einflüsse eine Korrosion begünstigen. Es ist hinreichend bekannt, dass an Bereiche, die Spalte aufweisen, oder an denen nur ein geringer Wasseraustausch stattfindet, die Korrosion begünstigt werden kann.

Salzqualität

Die Hersteller der Elektrolyseanlagen machen je nach Verfahren Angaben über die Mindestqualität des Salzes. Diese Angaben sollten in jedem Falle beachtet werden, da durch unterschiedliche

Zusammensetzungen und Nebenbestandteile in den Salzen der Wirkungsgrad der Elektrolyseleistung abnehmen kann und zudem eine häufigere Reinigung und Wartung mit einhergehen kann. Bei Verwendung von Salzen ist auf deren Qualität und Reinheit (z. B. nach DIN EN 16401) zu achten und darauf, ob diese biozidrechtlich verwendet werden dürfen. Es sollten hierbei nicht x-beliebige Natriumchloridverbindungen zum Einsatz kommen. Salze mit höherem Anteil an Verunreinigungen können z. B. Eisen- und Manganverbindungen enthalten, die dazu beitragen können, dass Korrosion begünstigt wird. Salzmischungen mit beispielsweise Magnesiumsulfat sind möglich, jedoch muss immer ein Mindestanteil an Natriumchlorid enthalten sein.

Rechtliche Rahmenbedingungen

Da jedes Desinfektionsmittel – ob im Schwimmbad, Trinkwasser oder im Haushalt verwendet – Bestandteile enthält, welche die Wirksamkeit ausmachen, werden die in dem Biozidprodukt enthaltenen Wirkstoffe geregelt. Grundlage hierfür ist die Biozidverordnung (EU Verordnung 528/2012) die die Inverkehrbringung und Verwendung von Biozidprodukten in ganz Europa regelt.

Bei in situ – also vor Ort (hier: durch Elektrolyse) – hergestellten Bioziden, ist das zulassungspflichtige Biozidprodukt entweder der Präkursor (Vorläufersubstanz), also das Salz, aus denen der Wirkstoff hergestellt wird, oder das hergestellte Chlor selbst. Wird z. B. "Aktives Chlor" aus Natriumchlorid hergestellt, so wäre das Natriumchlorid, welches zu Desinfektionszwecken vermarktet wird, als Biozidprodukt anzusehen. Wird dagegen "Aktives Chlor" ohne ausgelobten Präkursor (z. B.



Meerwasser, Natursole oder Salzmischungen) hergestellt, so stellt das "Aktive Chlor" das Biozidprodukt dar, da das Meerwasser selbst nicht als Präkursor vermarktet wird.

Gemäß Biozidverordnung dürfen Biozidprodukte nur noch Wirkstoffe bzw. Vorläufersubstanzen (hier: Natriumchlorid) von Herstellern enthalten, welche in der sog. Artikel 95 Liste der

Europäischen Chemikalienagentur (kurz: ECHA) geführt werden. (auszugsweise, Quelle: www.reach-clp-biozid-helpdesk.de). Da sich rechtliche Rahmenbedingungen ändern können, wird darauf hingewiesen, dass die hier gemachten Ausführungen den Sachstand zum Frühjahr 2021 darstellen.

Hinweise zu Begrifflichkeiten und Darstellungen

Bei einer Elektrolyse von Salzwasser laufen vielfältige Reaktionen ab. Für die Desinfektion von Wasser in Schwimmbädern ist jedoch das Reaktionsprodukt Aktives Chlor entscheidend, da Chlor eine

Depotwirkung im Beckenwasser hat. Die meisten anderen Reaktionsprodukte sind nur sehr kurz vorhanden und können nicht da wirken, wo der Schmutz eingebracht wird. Häufig tauchen die Begriffe der Hydrolyse oder der anodischen Oxidation auf, die insbesondere im Zusammenhang mit den Elektrolyseverfahren im salzhaltigen Filtrat verwendet werden.

Zur Hydrolyse

Es handelt sich um einen chemischen Begriff, der genaugenommen besagt, dass bei einer chemischen Reaktion in Anwesenheit von Wasser, das Wassermolekül (H_2O) aufgespalten wird und das entstehende Wasserstoffion (H^+) im vorliegenden Fall an das Chlor gebunden und das ebenfalls entstehende OH^- Anion an einen weiteren „Partner“ gebunden wird – hier an positiv geladene Gegenionen wie Na^+ , Ca^{2+}). Es handelt sich also um keine Besonderheit eines einzelnen Verfahrens, sondern um einen chemischen Vorgang, der ohnehin bei einer Elektrolyse in Anwesenheit von Wasser und Salz abläuft.

Zur Anodischen Oxidation

Auch dieser Begriff wird gerne verwendet, um möglicherweise ein besonderes Alleinstellungsmerkmal zu generieren. Wie zuvor bei der Hydrolyse handelt es sich auch bei der anodischen Oxidation um nichts anderes als eine Teilreaktion, die bei der Elektrolyse abläuft, jedoch nur bei geringer Salzkonzentration eine Rolle spielt. An der Anode können prinzipiell auch die OH^- -Ionen des Wassers oxidiert werden, wobei Sauerstoff entsteht. Durch weitergehende Dissoziation des Wassers im Bereich der Anode werden OH^- -Ionen nachgeliefert. Grundsätzlich ist die Elektrolyse von Wasser möglich, liefert jedoch kein Desinfektionsmittel mit Depotwirkung. Daher ist eine Mindestkonzentration an Natriumchlorid für die Chlorentstehung nötig.

Formal betrachtet bestehen die Elektrolysevorgänge aus mehreren aufeinander folgenden Schritten, die aber meist direkt innerhalb der Elektrolysezelle ablaufen. Anodische Oxidation ist also theoretisch eine zusätzliche mikrobiologische Barriere in der Desinfektion, allerdings ohne jegliche Depotwirkung, in Gegenwart von Chlorid von äußerst geringer Signifikanz und darüber hinaus viel zu geringer Kontaktzeit (zwischen Mikroorganismen und gebildeten Oxidantien), daher im Badewasser praktisch bedeutungslos.

Genaugenommen sind beide Begrifflichkeiten bei den hier aufgeführten Elektrolyseverfahren fachlich richtig, stellen jedoch jeweils nur einen „Ausschnitt“ aus der Gesamtheit aller ablaufenden Reaktionen dar.

Verwendung der Bezeichnungen „chlorfreies Verfahren“ oder „Desinfektion auf Salzbasis“

Zur Klarstellung: Bei Anwesenheit von Natriumchlorid – auch bei geringen Konzentrationen – entsteht bei Verwendung eines Elektrolyseverfahrens der Wirkstoff Aktives Chlor. Es mag durchaus sein, dass die Konzentration gering ist – aber dennoch vorhanden. Der Begriff „chlorfreies Verfahren“ ist daher fachlich nicht richtig. Die Begrifflichkeit „Desinfektion auf Salzbasis“ hingegen ist zunächst fachlich nicht zu beanstanden. Im Grunde ist das Salz (Natriumchlorid) der Ausgangsstoff, führt aber durch eine Elektrolyse wiederum zu dem bekannten Wirkstoff – dem Aktiven Chlor.

Abschließend

Elektrolyseanlagen zur Desinfektion des Schwimmbeckenwassers liegen sehr im Trend. Dies nicht zuletzt, da diese Verfahren wie eingangs erwähnt tatsächlich überwiegend mit dem völlig ungefährlichen „Kochsalz“ betrieben werden. Der Entfall von Transport, Lagerung und Handhabung von Chlorprodukten (gasförmig, flüssig oder fest) ist für viele Schwimmbadbesitzer ein gewichtiges Argument.

Welche Variante letztendlich bevorzugt wird, liegt einerseits beim Kundenwunsch selbst aber auch bei der Beratung durch ein Schwimmbadbaufachunternehmen. Auch die Bedienung der Elektrolyseanlagen hat sich vereinfacht. Manche Geräte zeigen z. B. schon frühzeitig an, ob eine Wartung erforderlich ist, so dass ein reibungsloser Betrieb sichergestellt werden kann. Das Argument der Betriebskosten spielt eine sehr große Rolle. Denn trotz der etwas höheren Investition in eine solche Anlage können sich über die Betriebskosten (Salz, Wasser, Strom und Wartung) auch bei kleineren Anlagen bereits günstige Amortisationszeiten ergeben.

Noch ein Hinweis zur pH-Wert Korrektur: Generelle Aussagen, ob und in welcher Höhe eine pH-Wert Korrektur erforderlich ist, lassen sich bei den unterschiedlichen Elektrolyseverfahren nicht machen. Der Einfluss der jeweiligen Säurekapazität und des pH-Wertes im Füllwasser sowie die Beckenbelastung geben neben dem verwendeten Elektrolyseverfahren den Ausschlag. In diesem Falle hat die Beratung durch das Schwimmbadfachunternehmen entsprechend fachkundig zu erfolgen.