

Vorwort

Veränderungen an Pooloberflächen sind nicht zwangsläufig auf Material- oder Herstellungsfehler zurückzuführen. Häufig stehen sie vielmehr im Zusammenhang mit der Wasserqualität, den Betriebsbedingungen, der Pflege und Aufbereitung des Beckenwassers sowie mit den Wechselwirkungen zwischen Wasserchemie und den eingesetzten Werkstoffen.

Dieser Leitfaden erläutert die grundlegenden Prinzipien und wesentlichen Zusammenhänge der Wasserchemie im Schwimmbadbetrieb. Er vermittelt ein praxisorientiertes Verständnis dafür, wie Wasserqualität, Wasseraufbereitung, Betriebsbedingungen und Materialverhalten zusammenwirken und welche Mechanismen zu Oberflächenveränderungen, Ablagerungen oder anderen betriebsbedingten Erscheinungen führen können.

Der Leitfaden richtet sich insbesondere an **Fachhändler, Fachplaner, Schwimmbadbauer, Servicetechniker und andere Fachpersonen**, die mit der Planung, Installation, Inbetriebnahme, Betreuung und Wartung von Schwimmbadanlagen befasst sind. Darüber hinaus soll er auch technisch Interessierten als fundierte Grundlage zum Verständnis der relevanten Zusammenhänge dienen.

Ziel ist es, die fachgerechte Beurteilung von Wasserqualität und Betriebsbedingungen zu unterstützen, mögliche Ursachen für Veränderungen frühzeitig zu erkennen und einen sachgerechten und materialgerechten Betrieb von Schwimmbecken zu fördern.

Haftungsausschluss

Dieser Leitfaden erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und stellt weder eine verbindliche Richtlinie noch eine allgemein anerkannte Regel der Technik dar. Er ersetzt insbesondere nicht die Beachtung der jeweils gültigen gesetzlichen Vorschriften, Normen, Herstellerangaben oder produktspezifischen Betriebsanleitungen.

Die Inhalte wurden nach bestem Wissen und mit größtmöglicher Sorgfalt erarbeitet. Sie basieren auf dem zum jeweiligen Stand des Dokuments verfügbaren fachlichen Kenntnisstand. Eine Gewähr für die Vollständigkeit, Richtigkeit oder Aktualität der enthaltenen Informationen kann nicht übernommen werden.

Die Anwendung und Auslegung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen erfolgt in der Verantwortung des jeweiligen Anwenders. Für daraus resultierende Folgen übernehmen die AVK, die AVK-Arbeitsgruppe „GFK-Schwimmbecken“, ihre Mitglieder und die Autoren – soweit gesetzlich zulässig – keine Verantwortung.



Inhaltsverzeichnis

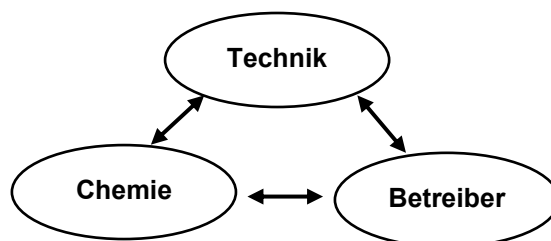
1. Ziel und Grundverständnis	3
2. Wasserqualität als Ergebnis von Technik, Chemie und Betreiberverantwortung	3
3. Alkalinität und pH-Wert	6
4. Carbonat-CO ₂ -Gleichgewicht und pH-Regelung	6
5. Desinfektion, Wirksamkeit und Einfluss des pH-Werts	18
6. Korrosion von Edelstahl - Ursachen und Vermeidung	21
7. Pflege, Wartung und Achtsamkeit im Betrieb	26
8. Algenbildung trotz korrekter Wasserparameter	28
9. Ablagerungen	31
10. Best Practices	31
11. Schlussbemerkung	33
12. Literatur	33

1. Ziel und Grundverständnis

Ziel eines Schwimmbads oder Pools ist nicht nur klares Wasser, sondern ein dauerhaft hygienisch einwandfreier und materialschonender Betrieb nach EN 16713-3. Dafür ist ein Zusammenspiel aus Technik, Chemie und sachgerechter Bedienung erforderlich.

Dieses Verständnis ist nicht nur bei GFK-Pools, sondern bei allen Pooloberflächen wie Beton, Edelstahl, PP, PVC, Naturstein, Folie oder Fliesen wichtig. Wasserchemie und Betriebsführung beeinflussen nicht nur die Hygiene, sondern auch Oberfläche und angrenzende Bauteile. Verfärbungen, Ablagerungen, Aufhellungen, Glanzverlust oder Schädigungen können sowohl chemische als auch betriebliche Ursachen haben.

2. Wasserqualität als Ergebnis von Technik, Chemie und Betreiberverantwortung



Eine dauerhaft hohe Wasserqualität entsteht durch das Zusammenspiel von Anlagentechnik, eingesetzter Chemie und regelmäßiger Betreuung. Zur Technik gehören insbesondere eine zuverlässige Wassenumwälzung, wirksame Filtration und eine stabile Dosiertechnik. Die Chemie sorgt dafür, dass organische Belastungen oxidiert, Keime inaktiviert und pH-Wert sowie Pufferung im geeigneten Bereich gehalten werden. Der Betreiber trägt die Verantwortung, die Anlage zu verstehen, Messwerte regelmäßig zu plausibilisieren, Auffälligkeiten zu erkennen und rechtzeitig gegenzusteuern.

Für die Aufrechterhaltung einer gleichmäßig hohen hygienischen Wasserqualität haben sich Desinfektionsanlagen mit geeigneter Mess- und Regeltechnik bewährt. Sie ermöglichen eine bedarfsgerechte Dosierung der Chemikalien und reduzieren zugleich manuelle Eingriffe sowie damit verbundene Schwankungen.

Relevante Kernparameter für den Betrieb:

- **Steuergrößen:** pH-Wert, freies Chlor / Redox-Potential
- **Einflussgrößen:** Temperatur, Gesamtalkalität (TA) / Karbonatalkalität, Cyanursäure
- **Qualitätsindikatoren:** Chlorid, gebundenes Chlor, Calciumhärte, Phosphat
- **Summenparameter:** Leitwert / TDS (u. a. Chlorid, Sulfat, Natrium, Calcium, Magnesium, TA)

Auszug typischer Stellmittel bei Mess- Regel- und Dosieranlagen (MRD):

- **Desinfektion:** Chlor (siehe EN 16713-3)
- **pH-Regulierung (-):** Schwefelsäure (nach EN 15078), CO₂ (nach EN 15513)
- **pH-Regulierung (+):** Natriumhydrogencarbonat (nach EN 15075), Natriumcarbonat (nach EN 15362)
- **Flockung:** Flockungsmittel (z.B. nach EN 15031 oder EN 15797)

Wichtig ist, dass Desinfektionsanlagen und insbesondere ihre angezeigten Messwerte regelmäßig, mindestens wöchentlich, manuell plausibilisiert werden. Nur so lassen sich Messwertdrift, Fehlsteuerungen, unnötiger Chemikalieneinsatz und Folgeschäden rechtzeitig vermeiden. Ein stabiles, bedarfsgerechtes Desinfektionsniveau ist erforderlich, um hygienische Sicherheit zu gewährleisten, ohne Materialien unnötig zu belasten.

Anm.: Chlor wirkt im Wasser nicht nur gegen Keime, sondern auch gegen Algen. Es schädigt deren Zellstruktur und hemmt damit Wachstum und Vermehrung. Diese Schutzwirkung ist jedoch begrenzt und hängt unter anderem von der Chlorkonzentration und dem pH-Wert ab.

Primäre Chlor-Desinfektionsmittel nach EN 16713-3 (für Desinfektionsanlagen):

Chlorgas

- a. in Druckflaschen (nur für öffentliche Bäder, mit hohem Gefahrenpotenzial)
- b. In-situ-Elektrolyse (Membranzelle / geschlossen) aus reiner NaCl-Lösung

Natriumhypochlorit

- c. Chlorlauge (12–15 %) in Kanistern nach EN 15077
- d. In-situ-Elektrolyse (Rohrzelle) aus reiner NaCl-Lösung über Zwischenbehälter (Anolyt)
- e. In-situ-Inline-Elektrolyse (offene Rohrzelle) aus salzversetztem Poolwasser-Filtrat

Nachfolgend eine Gegenüberstellung der verschiedenen Chlor-Desinfektionsanlagen:

Anm.: Die Angaben stellen eine qualitative, allgemeine Orientierung typischer Systemeigenschaften dar und können abhängig von konkreter Anlagenkonstruktion, Dimensionierung, Betriebsweise, Hersteller und Installationsbedingungen erheblich abweichen.

	a) Cl ₂ (Gas, Druckflasche)	b) Cl ₂ (in situ Elektrolyse)	c) NaClO (Flüssig, EN 15077)	d) NaClO-Anolyt (in situ Elektrolyse)	e) NaClO-Anolyt (In situ inline Elektrolyse)
Prozessstabilität	hoch	hoch	hoch	hoch	mittel
Begleitreaktion	pH↓	pH↓	pH↑	pH↑	CO ₂ ↓/pH↑
Gefährlichkeit	hoch	gering	gering	gering	gering
Wartungsaufwand	hoch	hoch	gering	gering	gering
Kosten (Betrieb)	mittel	hoch	gering	gering	gering
Kosten (Anschaffung)	mittel	hoch	gering	mittel	gering

Daraus ergibt sich, dass bei Chlorierungsanlagen eine regelmäßige pH-Kontrolle und – abhängig vom Verfahren und der Betriebsweise – eine geeignete pH-Regelung immer empfehlenswert ist.

Allgemein ist darauf hinzuweisen, dass sich gelöste Stoffe und Desinfektionsnebenprodukte im Beckenwasser durch Badebetrieb, Wasserpflege und Desinfektion aufkonzentrieren und nur durch Verdünnung mit Frischwasser begrenzt werden können. In vielen privaten Schwimmbecken hat sich ein regelmäßiger Teilwasserwechsel von etwa 2–3 % pro Woche bewährt. Das Umweltbundesamt verweist allgemein auf Frischwasserzufuhr, um eine unerwünschte Anreicherung nicht entfernbare Stoffe zu verhindern (Chlorat lässt sich im Beckenwasser beispielsweise nicht abbauen, sondern nur verdünnen) [9].

Anmerkungen zu e) In-situ-Inline-Elektrolyseanlagen mit offener Rohrzelle:

Bei In-situ-Inline-Elektrolyseanlagen mit offener Rohrzelle ist neben der erhöhten Chloridbelastung zu berücksichtigen, dass bei der Elektrochlorierung Wasserstoff entsteht. Typische Anlagen können dabei mehrere tausend Liter Wasserstoff pro Tag erzeugen, weshalb eine sichere Ableitung bzw. Überwachung erforderlich ist [3].

Betrieblich ist außerdem zu beachten, dass diese Art von Salzelektrolyseanlagen im Vergleich zu anderen Chlorierungsverfahren den pH-Anstieg zusätzlich begünstigen. Ursache hierfür sind elektrochemische Prozesse an der Kathode sowie ein verstärkter CO₂-Ausstrag.

Die Wirksamkeit der Desinfektion sowie die Bildung unerwünschter Nebenprodukte hängen bei diesem Verfahren stark von den Betriebsbedingungen vor Ort ab, insbesondere vom pH-Wert, der Wasserzusammensetzung, der Reinheit der eingesetzten Chemikalien, der korrekten Funktion und Wartung der Messelektroden sowie den verwendeten Pflegeprodukten. Bei Abweichungen der Betriebsbedingungen können unerwünschte Nebenprodukte [1] sowie Schwankungen in der Chlorierung und im pH-Wert entstehen.

Für eine therapeutische Wirkung für den in privaten "Salzwasserpools" üblichen Salzgehalt auf die Haut liegt nach aktuellem Kenntnisstand keine belastbare wissenschaftliche Evidenz vor.

Es dürfen keine bromidhaltigen Produkte oder verunreinigten Salze eingesetzt werden, da sich andernfalls für die Gesundheit bedenkliches Bromat bilden kann ([1], [2], [4]). Die Relevanz dieses Themas zeigt sich auch darin, dass die europäische Norm EN 16370 den zulässigen Bromidgehalt des eingesetzten Natriumchlorids für solche Anlagen ausdrücklich begrenzt [4].

Bei diesem Verfahren erfordern Betrieb und Qualitätssicherung eine regelmäßige Kontrolle der Betriebsparameter. Im privaten Bereich stehen hierfür jedoch in der Regel nicht dieselben analytischen Kontrollmöglichkeiten wie bei der industriellen Herstellung und Qualitätsüberwachung von Chlorprodukten zur Verfügung.

3. Alkalinität und pH-Wert

Für den Poolbetrieb sind Alkalinität und pH-Wert von zentraler Bedeutung. Der pH-Wert beeinflusst nicht nur die Wirksamkeit der Desinfektion, sondern auch die Tendenz zu Belägen, Korrosion, Glanzverlust und Oberflächenveränderungen. Die Alkalinität, meist als Gesamtalkalinität (*Total Alkalinity bzw. TA*) oder Säurebindungsvermögen bezeichnet, wirkt als Puffer und stabilisiert den pH-Wert. Sie gibt an, welche Säuremenge erforderlich ist, um eine definierte Wassermenge auf pH 4,3 einzustellen. Ist sie zu niedrig, wird das System empfindlich und der pH-Wert kann rasch schwanken. Ist sie zu hoch, wird die pH-Regelung erschwert und der Verbrauch an Regelchemikalien steigt.

Zur Gesamtalkalinität trägt im Wesentlichen die Karbonatalkalinität bei. Cyanurate (CYA), Borate und Phosphate spielen meist eine untergeordnete Rolle. Wichtig ist die Unterscheidung zwischen **Karbonatalkalinität** und **Karbonathärte**. Beide Begriffe werden in der Praxis häufig verwechselt, obwohl sie nicht dasselbe bedeuten. Die Karbonatalkalinität ist maßgeblich für pH-Stabilität und CO₂-Pufferung, während die Karbonathärte den Anteil der gelösten Calcium- und Magnesiumionen beschreibt, der mit der Karbonatalkalinität zusammenhängt. Für die betriebliche Beurteilung ist diese Differenzierung wichtig, da Ablagerungsneigungen und pH-Verhalten nur mit einem korrekten Verständnis der Wasserchemie zuverlässig eingeordnet werden können.

- **Karbonatalkalinität [mg/L CaCO₃] ≈ TA [mg/L CaCO₃] – (CYA [mg/L] / 3)**
- Karbonathärte KH [°dH] = Minimum(Gesamthärte, Karbonatalkalinität)
- Gesamthärte = Gesamtkonzentration gelöster Calcium- und Magnesiumionen

In der Praxis wird häufig vereinfacht:

- **KH [°dH] ≈ TA [mg/L CaCO₃] / 17,85**

In enthärtetem Wasser kann die Karbonatalkalinität hoch sein, während die KH niedrig ist, da Calcium und Magnesium durch Natriumionen ersetzt wurden.

Eine zu geringe Karbonatalkalinität kann instabile pH-Verhältnisse, erhöhte Korrosionsneigung, geringere Flockungswirkung und unzuverlässige Messwerte zur Folge haben. Auch Messsensoren können schneller altern oder unplausible Werte liefern. Deshalb ist die regelmäßige Kontrolle der TA ein wichtiger Bestandteil der Betriebsroutine.

Bei der photometrischen pH-Messung (Phenol Red Tablette) werden in der Regel Reagenzien eingesetzt (Thiulfat), die den Einfluss von Chlor auf die Anzeige reduzieren. Bei sehr niedrigen TA-Werten (< 35 mg/L CaCO₃) können laut Herstellerangaben dennoch falsche pH-Werte entstehen.

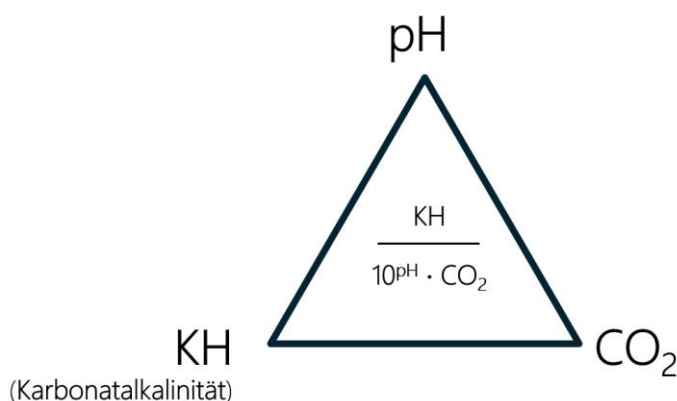
4. Carbonat-CO₂-Gleichgewicht und pH-Regelung

Der pH-Wert im Pool steht in engem Zusammenhang mit dem Carbonat-CO₂-Gleichgewicht. Kohlendioxid ist im Wasser gelöst, kann aber an die Umgebungsluft entweichen. Dieser CO₂-Verlust führt dazu, dass der pH-Wert steigt. Die Höhe der Karbonatalkalinität beeinflusst dabei die Systemstabilität: Bei hoher Pufferung erscheint der pH-Wert oft stabiler, gleichzeitig steigt jedoch der Regelaufwand. Bei zu niedriger Pufferung droht dagegen ein sprunghafter pH-Abfall bis hin zum Säuresturz.

Für die pH-Senkung werden in der Praxis unterschiedliche Verfahren eingesetzt. Die Dosierung mit Säure ist technisch einfach, kann jedoch die Karbonatalkalinität abbauen und langfristig zu einem instabilen System führen. Außerdem kommt es dabei zu einer Aufsalzung des Wassers, etwa durch Sulfate. Die pH-Regelung

mit CO_2 kann hier Vorteile bieten, da sie die Karbonatalkalität nicht verbraucht und damit eine stabilere Betriebsweise ermöglicht.

Wesentlich ist, dass im Poolwasser stets ein dynamisches Gleichgewicht zwischen gelöstem CO_2 , Hydrogencarbonat und Carbonat besteht. Sinkt der CO_2 -Gehalt durch Ausgasung, steigt der pH-Wert. Wird CO_2 gezielt zudosiert, sinkt der pH-Wert wieder, ohne die Pufferkapazität in gleichem Maße zu verbrauchen wie bei Mineralsäuren. Nachfolgend ist dieser Zusammenhang in einem Dreieck dargestellt. Das soll verdeutlichen, dass diese drei Parameter voneinander abhängen, da die Formel bei Poolwasser bei praktischer Annäherung (keine Fremdpufer) gegen einen konstanten Wert von 1/30 ppm strebt ([7]).



Dieser Zusammenhang gilt näherungsweise im pH-Bereich von $6 < \text{pH} < 9$:

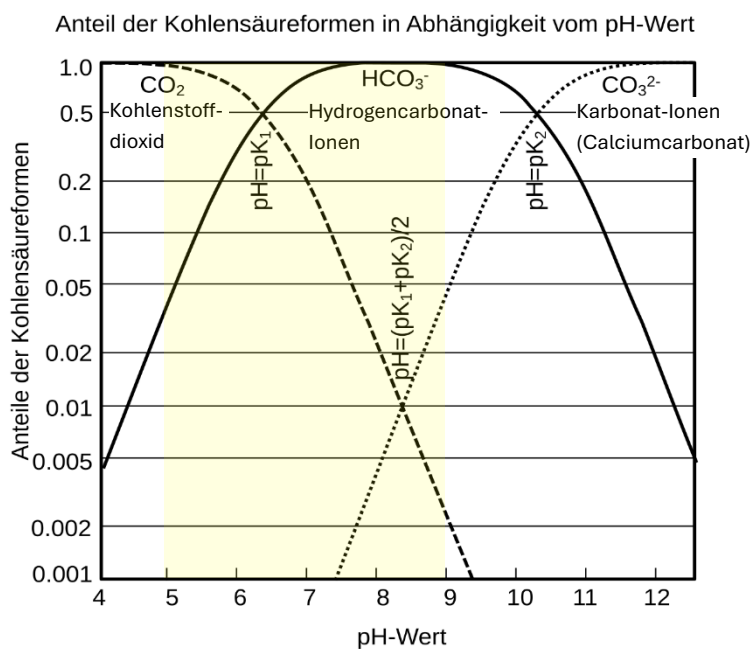
$$\text{CO}_2 \approx \frac{KH}{2,8} \cdot 10^{7,91 - \text{pH}}$$

Das Wasser befindet sich in diesem pH-Bereich in einem **Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht**, bei dem sich gelöstes CO_2 , Hydrogencarbonat und Calciumcarbonat gegenseitig im Gleichgewicht halten. Ist dieses Gleichgewicht ausgeglichen, liegt kein überschüssiges CO_2 vor.

Bei einem Mangel an freiem CO_2 verschiebt sich das Gleichgewicht in Richtung Carbonatbildung. Hydrogencarbonat zerfällt dabei zu Carbonat, das mit Calciumionen schwerlösliches Calciumcarbonat (Kalk) bilden kann. Dieser Effekt wird insbesondere bei steigenden pH-Werten (typischerweise im alkalischen Bereich, $\text{pH} > 8$) deutlich verstärkt, da dann der Anteil der Carbonat-Ionen zunimmt.

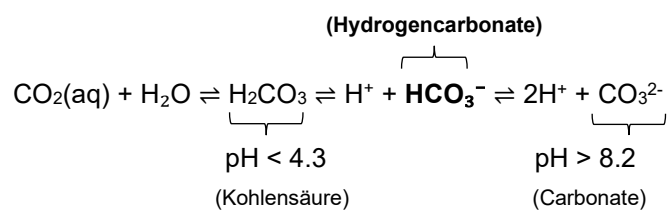
Umgekehrt führt ein Überschuss an gelöstem CO_2 zu einem kalkaggressiven Wasserzustand. In diesem Fall wird Calciumcarbonat aus bestehenden Ablagerungen wieder gelöst, um das chemische Gleichgewicht herzustellen. Die gelöste Kohlensäure wirkt dabei als Gleichgewichtspartner, der die Karbonatalkalität in Lösung hält.

Die tatsächlich wirksame Kohlensäure (H_2CO_3) macht dabei nur einen sehr geringen Anteil aus (typischerweise ~0,1 %) des insgesamt gelösten CO_2 im Wasser ($\text{CO}_2(\text{aq})$).

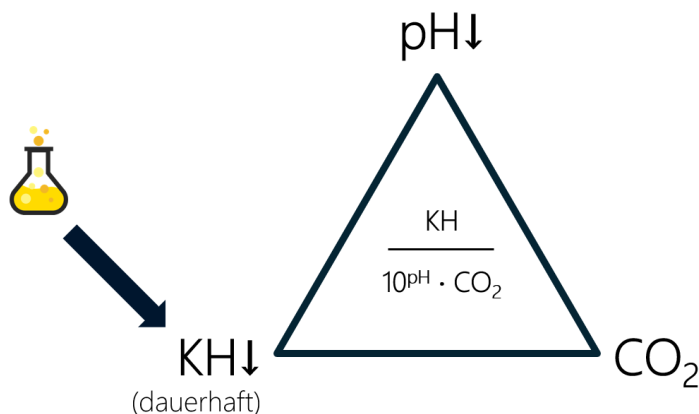


Von Johannes Kalliauer - <http://www.trinkwasserspezi.de/Image3.gif>, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=86170265>

Das zugrunde liegende Gleichgewicht lautet:



pH-Reduktion mit Säure:



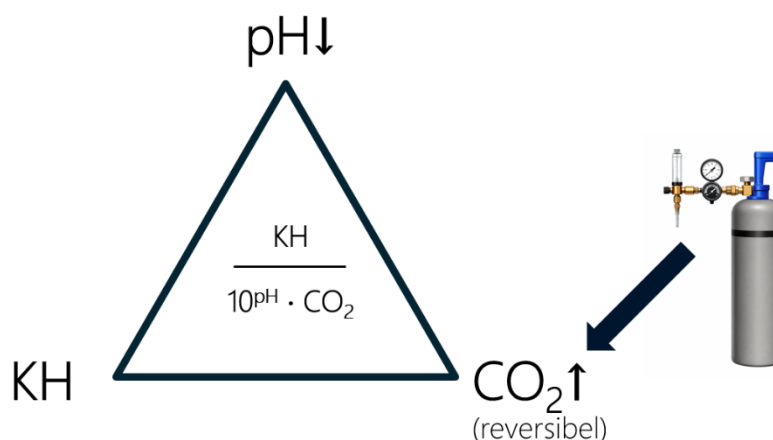
Bei chlorbasierten Anlagen wird der pH-Wert häufig durch Zugabe von Schwefelsäure gesenkt. Die Säure verändert zunächst vor allem die Karbonatalkalität. Dadurch entsteht ein Überschuss an gelöstem CO₂, der in den folgenden Stunden und Tagen ausgast und den pH-Wert wieder ansteigen lässt. Ein Kanister pH-Minus kann zudem die Sulfatkonzentration erhöhen, was insbesondere bei Betonoberflächen oder mineralischen Fugen zu beachten ist.



Da sich die Konzentration des gelösten CO₂ unmittelbar nach der Säurezugabe zunächst nicht wesentlich verändert, führt die Absenkung der Karbonatalkalität zu einem relativen Überschuss an gelöstem CO₂ im System. Dieser Zustand verschiebt das Gleichgewicht in Richtung eines niedrigeren pH-Werts. Im Verlauf von Stunden bis Tagen entgast dieser CO₂-Überschuss allmählich in die Atmosphäre, wodurch sich das Gleichgewicht erneut verschiebt und der pH-Wert wieder ansteigt.

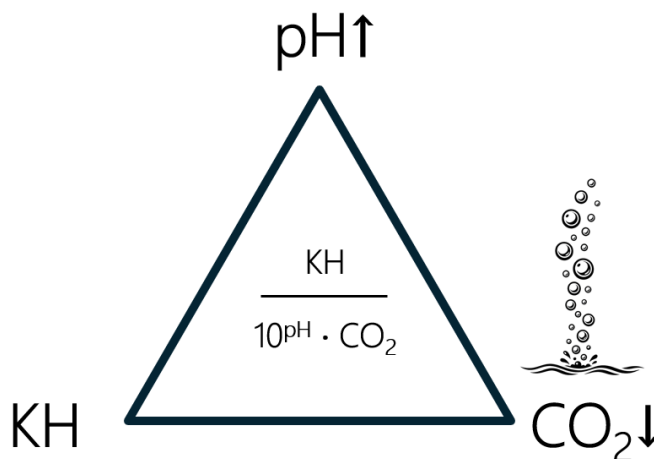
Anm.: Die Zugabe von Schwefelsäure (z.B. über pH-Minus-Produkt 20kg, 14,9%) führt zusätzlich zu einer Erhöhung der Sulfatkonzentration im Wasser. Bei einem 30m³-Becken kann dies zu einer Erhöhung von bis zu ca. 100 mg/L SO₄²⁻ führen. Dieser Aspekt ist insbesondere bei Betonbecken sowie mineralischen Fugen zu beachten, die dauerhaft mit Poolwasser in Kontakt stehen.

pH-Reduktion mit CO₂ (EN 15513):



Bei der pH-Regelung mit CO₂ wird gezielt ein Überschuss an gelöstem Kohlendioxid im Wasser erzeugt (CO₂ hat als gesättigte Lösung einen pH-Wert von 5). Dieses steht im reversiblen Gleichgewicht mit der Karbonatalkalität und kann über die Gasphase wieder ausgasen.

Im Gegensatz zur Säuredosierung, die die Karbonatalkalität irreversibel verändert, bleibt das System bei der CO₂-Dosierung chemisch weitgehend geschlossen hinsichtlich der Pufferkapazität. Die pH-Absenkung erfolgt dadurch langsamer und träger, jedoch in der Regel stabiler.

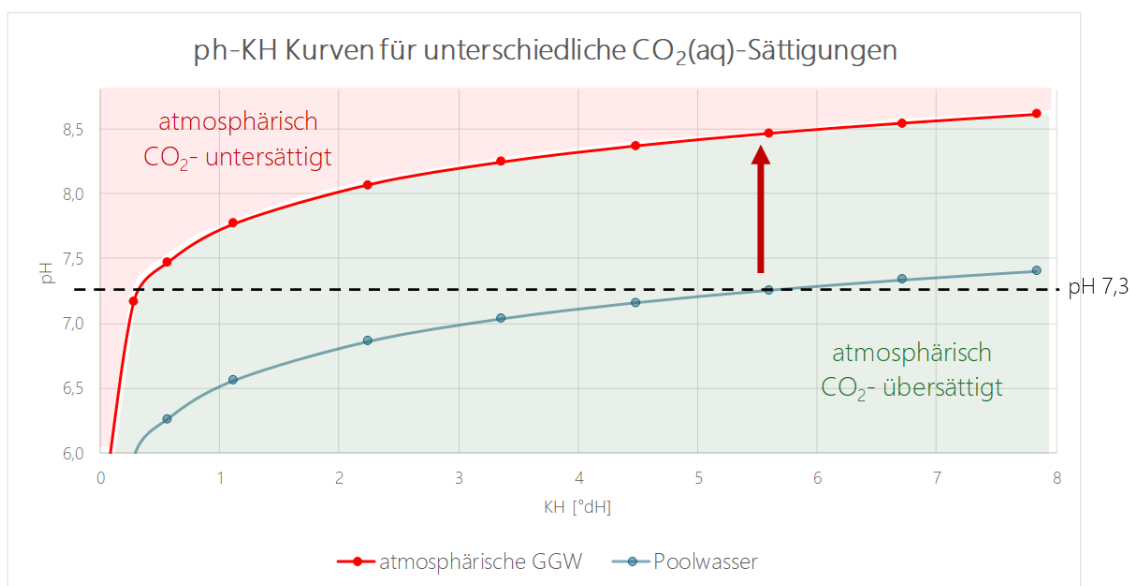


Für die Praxis bedeutet das: Ein gutes pH-Management ist nicht allein eine Frage der Messelektrode oder der Regelanlage, sondern vor allem eine Frage des Verständnisses für das Gesamtsystem. Temperatur, Wasserbewegung, Oberflächenkontakt, Beckengeometrie, Abdeckung und Luftaustausch beeinflussen die CO₂-Abgabe und damit die pH-Stabilität. Messwerte müssen daher immer im Zusammenhang mit den Betriebsbedingungen bewertet werden.

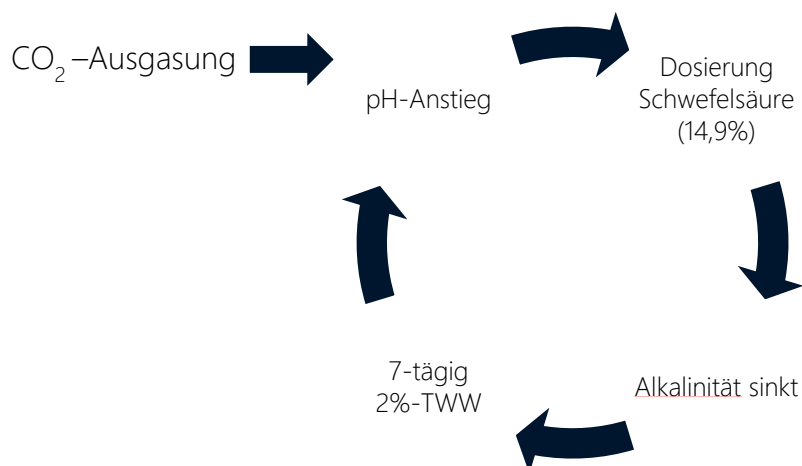
pH-Haltung mit Säure aufgrund von CO₂-Ausgasung ohne Chlorierung

Auch ohne Chlorierung steigt der pH-Wert durch CO₂-Ausgasung an, weshalb eine regelmäßige pH-Regelung erforderlich bleibt. Frisches Poolwasser ist in der Regel CO₂-übersättigt [8]. Der CO₂-Verlust hängt unter anderem von Abdeckung, Wasseroberfläche, Luftbewegung, Wasserumwälzung und Temperatur ab. Bei unzureichender TA-Haltung kann die Alkalinität bis nahezu null absinken, wodurch das Wasser hochgradig pH-instabil wird. Bereits kleine Säurezugaben können dann einen Säuresturz auslösen.

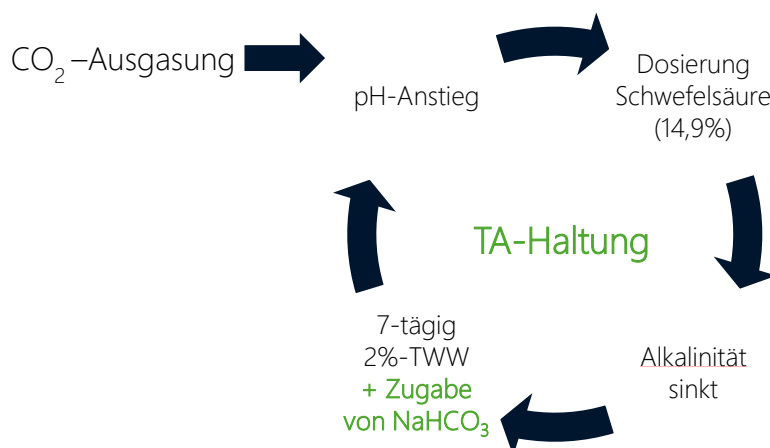
Zur Veranschaulichung: Poolwasser mit einem pH-Wert von 7,3 und einer Alkalinität von TA = 100 mg/L CaCO₃ (ca. 5,6 °dKH) enthält im Gleichgewicht etwa 11 mg/L gelöstes CO₂(aq). Die Außenluft weist üblicherweise rund 450 ppm CO₂ auf, was im Wasser nur etwa 0,67 mg/L gelöstem CO₂(aq) entspricht. Das Poolwasser ist damit gegenüber der Atmosphäre deutlich CO₂-übersättigt und strebt daher fortlaufend zur Ausgasung. Bei einem durchschnittlichen TA-Wert von etwa 100 mg/L CaCO₃ ist dadurch ein pH-Anstieg von bis zu ΔpH ≈ +1,0 pro Woche grundsätzlich möglich, abhängig von Abdeckung, Wasseroberfläche, Wind, Wasserbewegung und Temperatur.



Verfügt das Füllwasser ausnahmsweise über eine sehr hohe Karbonatalkalinität, kann ein Teil des Alkalinitätsverlusts durch den wöchentlichen Teilwasserwechsel im Rahmen der erforderlichen Filtrerrückspülung in begrenztem Umfang kompensiert werden:

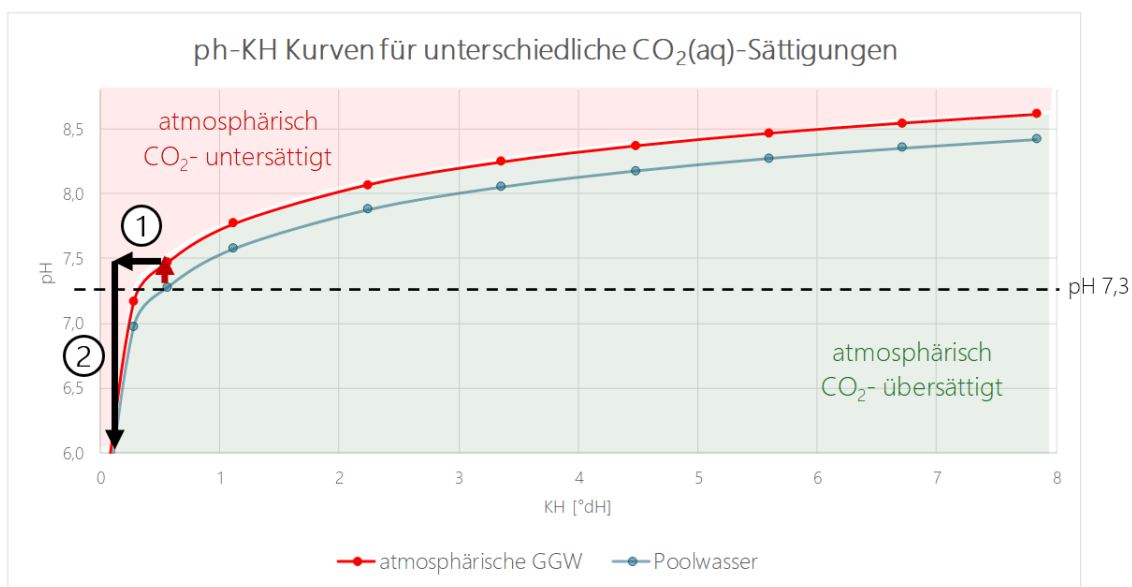


In der Praxis muss der verbleibende Alkalinitätsverlust jedoch meist durch die regelmäßige Zugabe von Natriumhydrogencarbonat (NaHCO_3) ausgeglichen werden. Dabei ist zu beachten, dass die CO_2 -Verlustrate mit zunehmender Alkalinität deutlich ansteigt:



Wird keine regelmäßige TA-Haltung vorgenommen, kann die Alkalinität auf sehr niedrige Werte bis nahezu 0 mg/L CaCO_3 absinken. In diesem Bereich ist das Wasser hochgradig pH-instabil, sodass bereits geringe Säurezugaben einen Säuresturz auslösen können.

Zur Veranschaulichung: Poolwasser mit pH 7,3 und einer sehr geringen Alkalinität von $\text{TA} = 10 \text{ mg/L CaCO}_3$ (ca. 0,56 °dKH) enthält im Gleichgewicht nur noch etwa 1 mg/L gelöstes $\text{CO}_2(\text{aq})$. Trotz dieses niedrigen Werts ist das Wasser gegenüber der Atmosphäre weiterhin CO_2 -übersättigt und gibt CO_2 ab, wodurch der pH-Wert weiter ansteigt. Eine zusätzliche Zugabe von beispielsweise 1,7 L Schwefelsäure (14,9 %) auf 30 m³ würde die Karbonatalkalinität um 10 mg/L CaCO_3 senken ($\Delta\text{TA} = -10 \text{ mg/L CaCO}_3$) und damit einen Säuresturz mit pH-Werten unter 6 begünstigen:

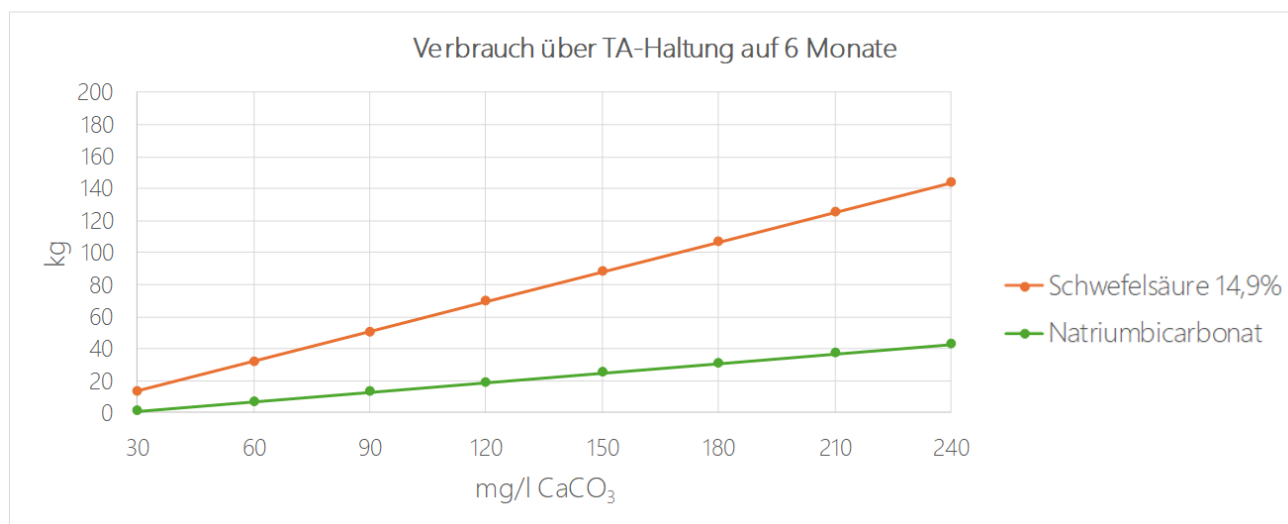


① pH-Senkung mit Säure (1,7L Schwefelsäure (14,9%) auf 30m³)

② Säuresturz

Daraus ergibt sich bereits bei einer Karbonatalkalinität von unter 1 °dKH ein erhebliches Korrosionsrisiko.

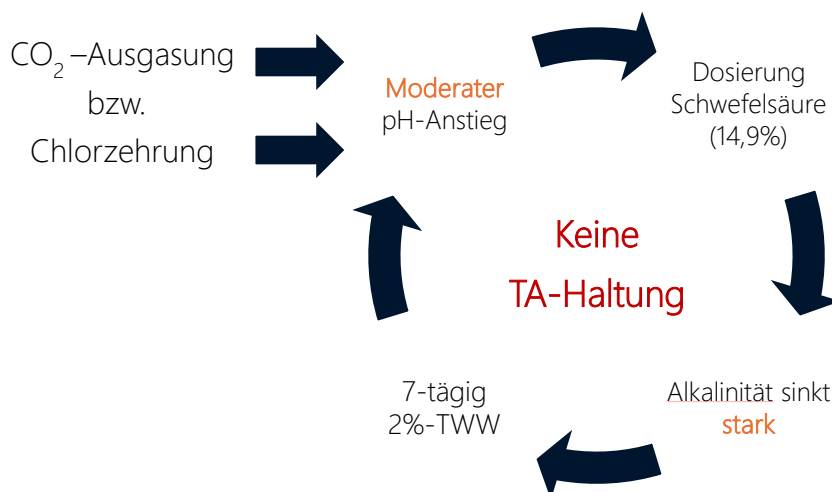
Nachfolgend ist der Verbrauch an Natriumhydrogencarbonat und Schwefelsäure (14,9 %) in Abhängigkeit vom Zielwert der TA-Haltung dargestellt, basierend auf einer 6-Monats-Simulation für ein nicht chloriertes 30-m³-Becken (Annahme: 28 °C, pH-Haltung auf 7,3, Füllwasser mit TA = 100 mg/L CaCO₃, durchschnittlicher täglicher Badebetrieb):



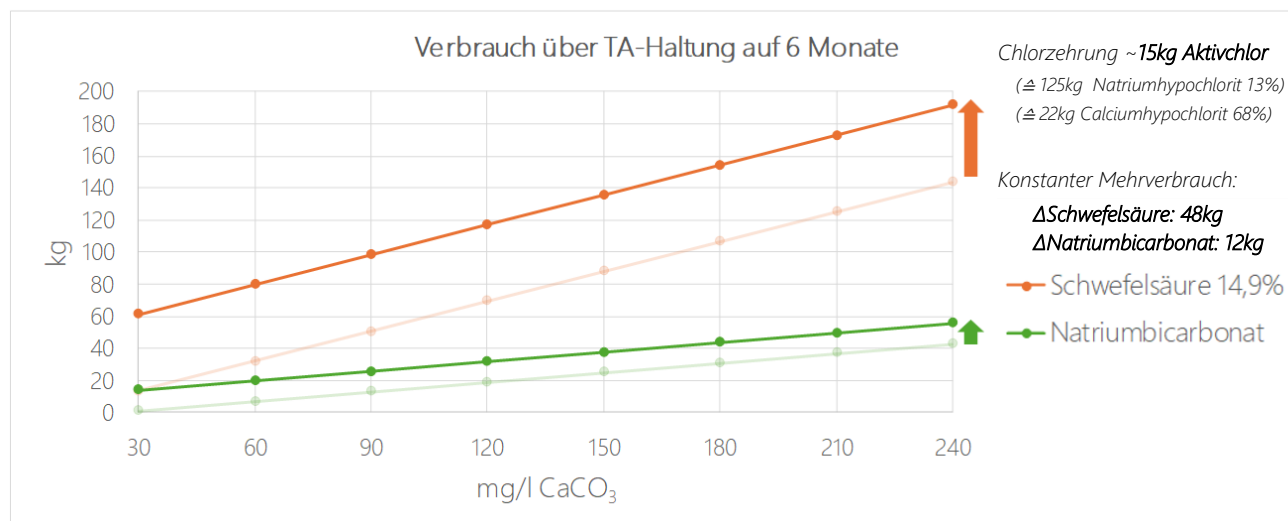
⇒ Im dargestellten Simulationsmodell zeigt sich, dass der Verbrauch an Stellmitteln mit steigendem TA-Zielwert unnötig stark zunimmt.

pH-Haltung mit Säure aufgrund von CO₂-Ausgasung und Chlorierung

Bei chlorierten Becken mit anorganischem Chlor verstärkt die Chlorierung den pH-Anstieg zusätzlich. Ohne ausreichende TA-Kompensation führt dies oft innerhalb weniger Wochen zu sehr niedrigen TA-Werten und damit zu pH-Instabilitäten bis hin zu Säuresturz und Korrosionserscheinungen, insbesondere in Verbindung mit erhöhten Chloridwerten.



Nachfolgend ist der Verbrauch an Natriumhydrogencarbonat und Schwefelsäure (14,9 %) in Abhängigkeit vom Zielwert der TA-Haltung dargestellt. Grundlage ist eine 6-Monats-Simulation für ein chloriertes 30-m³-Becken (Annahme: 28 °C, freies Chlor 0,4 mg/L, pH-Haltung auf 7,3, Füllwasser TA = 100 mg/L CaCO₃, durchschnittlicher täglicher Badebetrieb):



Das dargestellte Simulationsmodell zeigt, dass der zusätzliche Verbrauch an Stellmitteln aufgrund der Chlorierung im betrachteten Modell über den untersuchten TA-Bereich hinweg weitgehend unabhängig vom Ziel-TA-Wert verläuft.

Gleichzeitig verschiebt sich das Verhältnis der Verbrauchsanteile:

Bei niedrigeren Ziel-TA-Werten dominiert der Verbrauch infolge der Chlorzehrung, während bei höheren TA-Werten zunehmend der Einfluss der CO₂-Ausgasung überwiegt.

Ein Übergangsbereich, ab dem die CO_2 -Ausgasung den Hauptanteil des Stellmittelverbrauchs bestimmt, liegt in diesem Modell bei etwa 90 mg/L CaCO_3 .

Der geeignete TA-Bereich ist dabei abhängig vom eingesetzten Verfahren und der Betriebsführung. Als untere technische Mindestanforderung kann ein Wert von > 36 mg/L CaCO_3 gemäß DIN 19643 herangezogen werden (u. a. für ausreichende Flockungswirkung und Ausbildung eines kalkstabilisierenden Gleichgewichts).

In der Praxis werden je nach Systemführung höhere Zielbereiche empfohlen, beispielsweise 60–120 mg/L CaCO_3 .

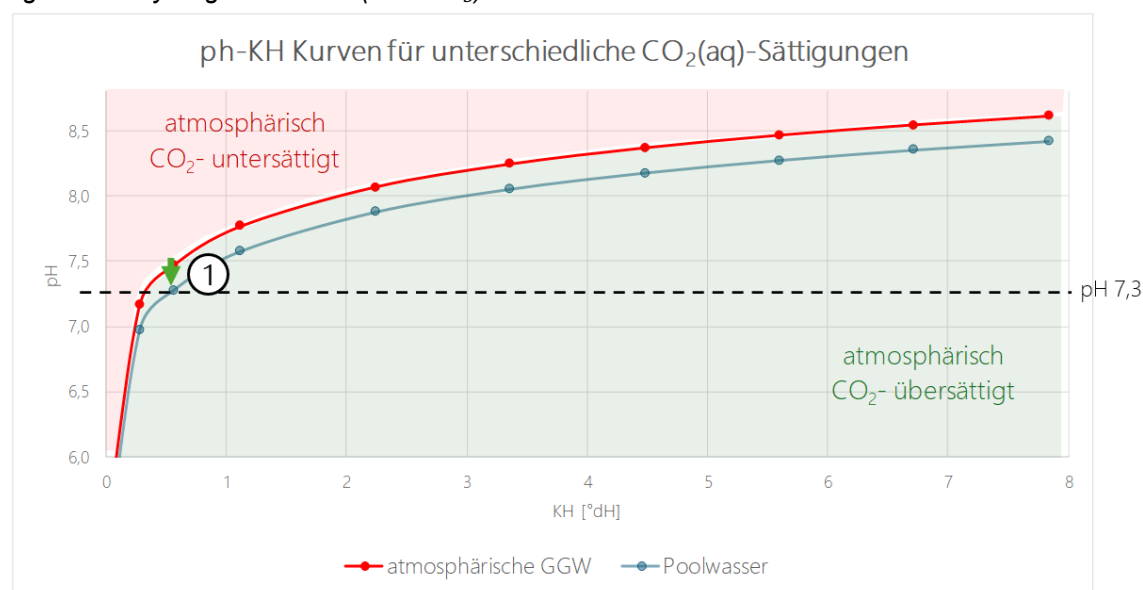
pH-Haltung mit CO_2 (EN 15513) aufgrund von CO_2 -Ausgasung bei Chlorierung

Die pH-Haltung mittels CO_2 ist eine sinnvolle Alternative, insbesondere wenn ein niedriger bis mittlerer TA-Bereich kontrolliert eingehalten wird. Der CO_2 -Verbrauch hängt dabei stark von der TA ab: Hohe TA-Werte erhöhen den Austrag, niedrige Werte senken den Bedarf.

Als Jahresverbrauch wird dabei bis zu max. 4kg CO_2 pro m^3 Poolwasser bei einem TA-Wert von ~ 60 mg/L CaCO_3 geschätzt (siehe auch [6]). Das bedeutet bei einem 30m^3 Pool für eine Saison (6 Monate) bis zu 60kg CO_2 .

WICHTIG: Bei der pH-Regelung mit CO_2 und gleichzeitiger Chlorierung mittels Natriumhypochlorit steigt die Karbonatalkalität des Wassers kontinuierlich an. Ursache ist, dass die bei der Chlorierung entstehenden Hydroxidionen durch das dosierte CO_2 zu Hydrogencarbonat umgesetzt werden und dadurch dauerhaft zur Alkalinität beitragen.

Ein 25-kg-Kanister Natriumhypochlorit (12–13 % Aktivchlor) kann die Karbonatalkalität eines 30-m^3 -Pools bei CO_2 -Regelung um bis zu etwa 50 mg/L als CaCO_3 erhöhen. Dies entspricht ungefähr der Wirkung von 3,4 kg Natriumhydrogencarbonat (NaHCO_3).



① pH-Senkung mit CO_2 (0,25 ... 0,5 l/min bei 30m^3)



Vorteile der pH-Regelung mit CO₂:

- Stabilere Prozessführung (keine Alkalinitätszehrung)
- Säuresturzgefahr geringer
- Bessere Flockung
- Geringere Aufsalzung (**keine Sulfat-Anreicherung**)
=> **Besonders relevant bei Beton- oder Fliesenbecken mit mineralischen Fugen**
- Höhere Anlagensicherheit (kein Risiko durch Säure-Hypochlorit-Mischung)
- Kann den Chlorverbrauch reduzieren
- Kann günstige Bedingungen für geringere Nebenproduktbildung schaffen

Die CO₂-Lagerung muss wegen des Sicherheitsrisikos sachgerecht erfolgen: gut belüftet, gegen Wärme und Sonnenlicht geschützt, nicht unter Erdgleiche und mit geeigneter Warnkennzeichnung und CO₂-Warngerät sowie Sicherung gegen Umfallen.

Spezialfall:
CO₂ zur TA-Haltung bei Flüssigchlor-Dosierung und pH-Haltung mit Säure

Bei der Chlorierung mit Natriumhypochlorit in Verbindung mit einer gezielten CO₂-Dosierung kann die Karbonatalkalität des Wassers langfristig ansteigen. Ursache hierfür ist die Umsetzung der bei der Chlorierung vorhandenen Hydroxidionen zu Hydrogencarbonat.

Die zugrunde liegenden Zusammenhänge sind:

- Handelsübliches Flüssigchlor (Natriumhypochlorit, ca. 12–13 % Aktivchlor) enthält typischerweise:
 - 12–13 Gew.-% Natriumhypochlorit (NaOCl)
 - 10–12 Gew.-% Natriumchlorid (NaCl), das prozessbedingt bei der Herstellung entsteht
 - 0,2–0,6 Gew.-% Natriumhydroxid (NaOH) zur Stabilisierung der Natriumhypochloritlösung
 - geringe Mengen Chlorat als Nebenprodukt der Herstellung sowie infolge der Alterung und Lagerung des Produkts
 - Rest: Wasser
- Natriumhypochlorit dissoziiert im Wasser unmittelbar:

$$\text{NaOCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OCl}^-$$
- Das enthaltene Natriumhydroxid dissoziiert ebenfalls vollständig:

$$\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$$
- Das Hypochlorit-Ion steht mit der hypochlorigen Säure in einem pH-abhängigen Gleichgewicht:

$$\text{OCl}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HOCl} + \text{OH}^-$$

Mit steigendem pH-Wert verschiebt sich das Gleichgewicht zunehmend zur Hypochlorit-Seite (OCl⁻).
- Die im System vorhandenen Hydroxidionen werden durch das dosierte Kohlendioxid abgefangen und zu Hydrogencarbonat umgesetzt:

$$\text{CO}_2 + \text{OH}^- \rightarrow \text{HCO}_3^-$$

Dadurch wird ein Teil der durch die Chlorierung bereitgestellten Alkalität nicht als dauerhafter pH-Anstieg wirksam, sondern durch Reaktion mit CO₂ in Form von Hydrogencarbonat-Ionen in die Karbonatalkalität überführt.

Praktische Konsequenz: Dieser Effekt kann gezielt genutzt werden. Die allgemeine pH-Regelung erfolgt überwiegend mit einer Mineralsäure (z. B. Schwefelsäure), während CO₂ ausschließlich zur Kompensation des durch Natriumhypochlorit verursachten pH-Anstiegs dosiert wird (CO₂-Dosierung nur während der Chlordosierung mit einer entsprechenden Nachlaufzeit). Unter geeigneten Betriebsbedingungen kann sich dadurch langfristig ein stabiler und praxisgerechter Bereich der Karbonatalkalität einstellen. Gleichzeitig wird der Säureverbrauch geringfügig reduziert. Darüber hinaus lässt sich der zusätzliche Bedarf an Natriumhydrogencarbonat zur Aufrechterhaltung der Karbonatalkalität (TA) deutlich verringern oder sogar vollständig vermeiden.

Vorteile der kombinierten Betriebsweise:

- Stabiler Prozessführung (teilweise Kompensation der Alkalitätszehrung)
- Geringeres Risiko eines Säuresturzes
- Geringerer Verbrauch an Mineralsäure => Geringere Sulfatanreicherung des Beckenwassers
- Keine bzw. nur geringe manuelle Zugabe von Natriumhydrogencarbonat zur TA-Haltung erforderlich

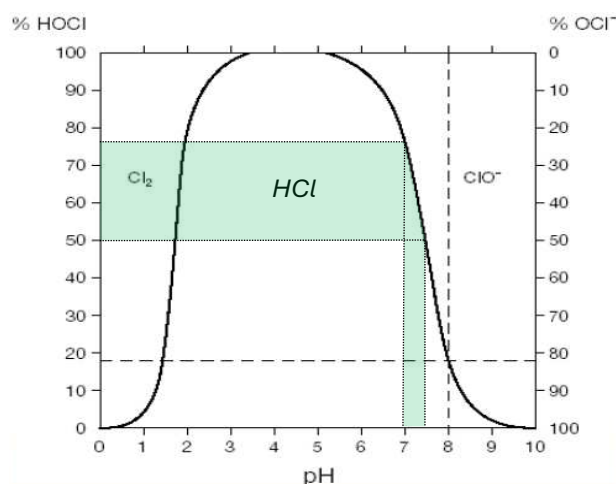
5. Desinfektion, Wirksamkeit und Einfluss des pH-Werts

Die Desinfektion ist das zentrale Element der hygienischen Sicherheit. In chlorbasierten Systemen ist nicht jede Form des freien Chlors gleich wirksam. Entscheidend ist der Anteil der aktiven, nicht gebundenen hypochlorigen Säure (HOCl). Der pH-Wert beeinflusst dabei die Wirksamkeit direkt, weil sich bei steigendem pH ein größerer Anteil in die weniger wirksame Form des Hypochlorit-Ions verschiebt. Zudem kann Cyanursäure einen Teil des freien Chlors binden und damit die wirksame Desinfektionsleistung reduzieren.

Freies Chlor (mittels DPD1 gemessenes Chlor) setzt sich aus der aktiv wirksamen hypochlorigen Säure (HOCl), auch Aktivchlor genannt, dem wesentlich schwächer wirksamen Hypochlorit-Ion (OCl^-) sowie dem an Cyanursäure gebundenen Chlor (chlorierte Cyanurate) zusammen.

$$\text{Freies Chlor (DPD1)} = \text{HClO} + \text{ClO}^- + \text{chlorierte Cyanurate}$$

Primär wirksam ist die aktiv wirksame hypochlorige Säure. Bei zu hohem pH-Wert verschiebt sich das Gleichgewicht in Richtung Hypochlorit, und der Redox-Wert sinkt trotz scheinbar ausreichendem Chlorgehalt.



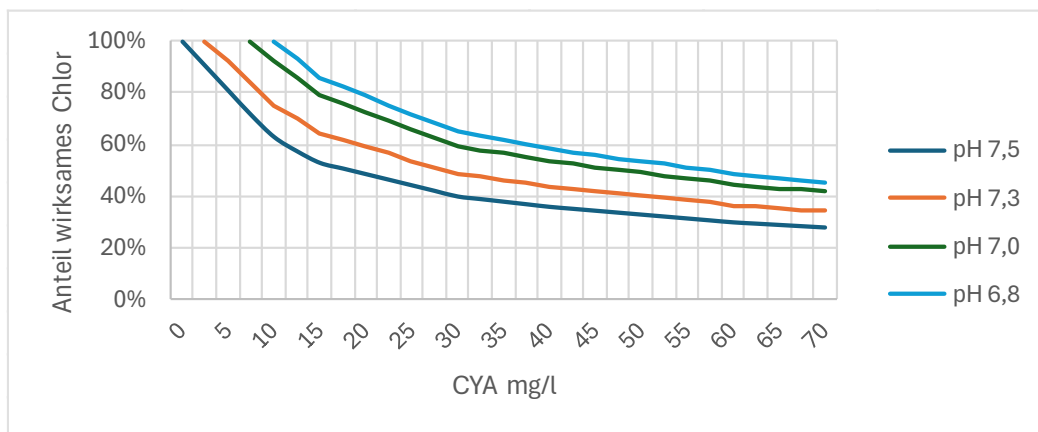
Auch ein erhöhter Cyanursäureanteil kann die Wirksamkeit deutlich mindern und trotz hoher freier Chlor-Werte zu Algenwachstum und unzureichender Desinfektion führen.

Historische Untersuchungen zeigen einen deutlichen Zusammenhang zwischen dem Redoxpotential und der Abtötung von E. coli in gechlortem Wasser [14]:

Redoxpotential	Desinfektionszeit
450 – 500 mV	167 Min
500 – 550 mV	6 Min
550 – 600 mV	1,7 Min
600 – 650 mV	0,5 Min
>700 mV	wenige Sekunden
Abtötungszeiten von 99,9% E. Coli abhängig vom Redoxpotential in gechlortem Wasser (pH-7,0).	

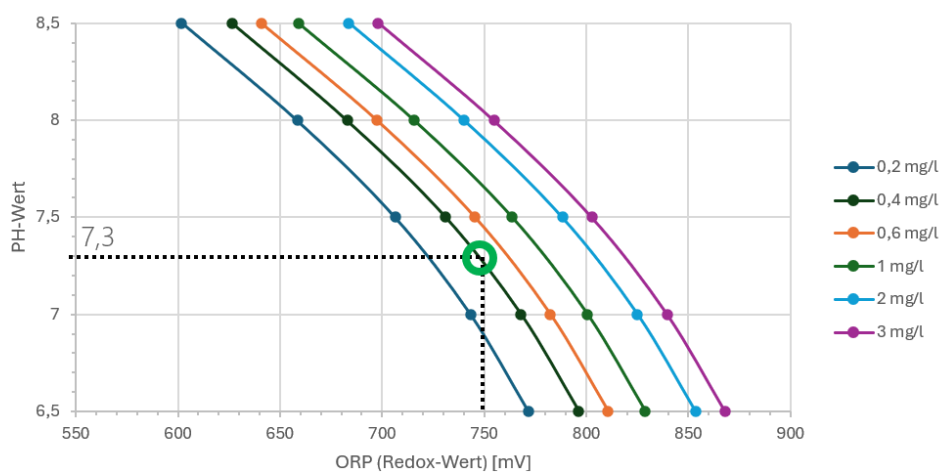
Anm.: Die Angaben beziehen sich auf die in der zugrunde liegenden Untersuchung beschriebenen Versuchsbedingungen und sind nicht als allgemeingültige Desinfektionszeiten für beliebige Schwimmbecken oder Wasserzusammensetzungen zu verstehen.

Nachfolgend eine Richtwert-Angabe zur tatsächlichen Wirksamkeit des Chlors in Abhängigkeit der Cyanursäure bei unterschiedlichen pH-Werten:



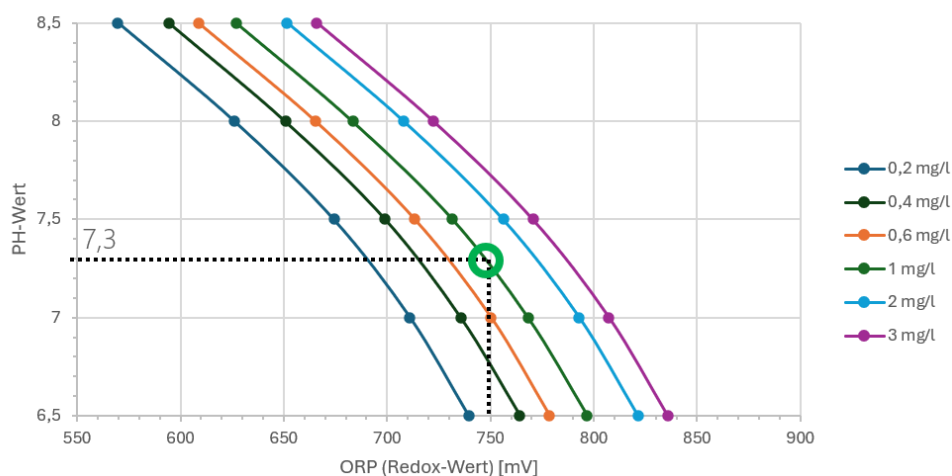
Dieser Zusammenhang lässt sich auch über folgendes Diagramm darstellen, welches ein vereinfachtes Modell zur Veranschaulichung des Zusammenhangs zeigt (Anm.: tatsächliche Redox- und Chlorwerte können je nach Wasserzusammensetzung abweichen):

Redox vs freie Chlor für unterschiedliche PH-Werte (T=28°C, CYA=0 mg/l)



Keine CYA $\Rightarrow$ 2/3 des freien Chlors (DPD1: 0,4 mg/L) ist aktiv wirksam $\hat{=}$ 0,25 mg/L HClO (ungebunden)

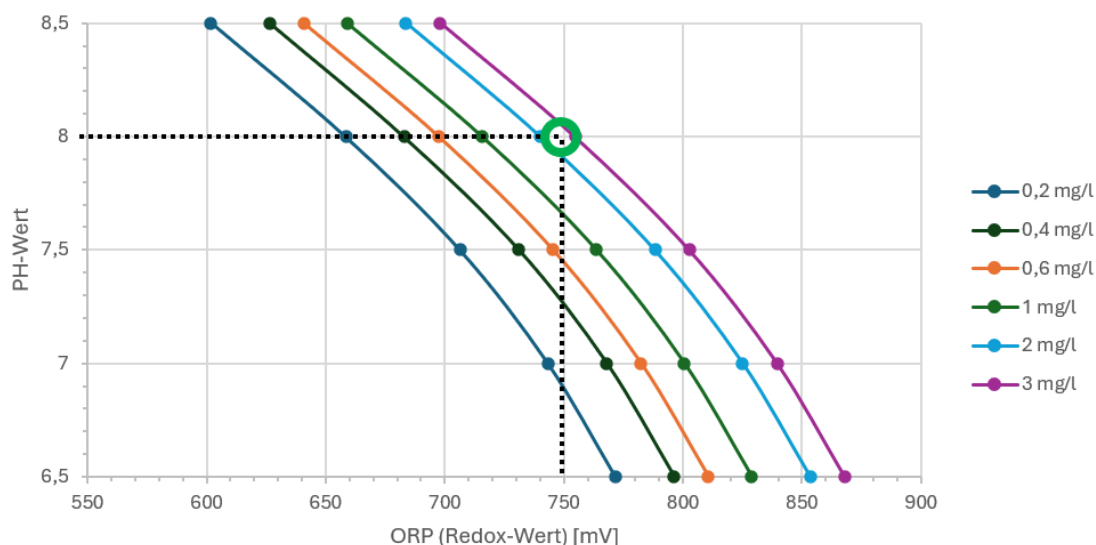
Redox vs freie Chlor für unterschiedliche PH-Werte (T=28°C, CYA=35 mg/l)



35 mg/L CYA ⇒ verdoppelt erforderlichen freien Chlorgehalt (DPD1: 0,4 → 1,0 mg/L)

Gefahr der Überdosierung wenn Cyanursäure im Wasser und bei Kalibrierung nicht berücksichtigt wird!

Redox vs freie Chlor für unterschiedliche PH-Werte (T=28°C, CYA=0 mg/l)



Hoher pH-Wert (zB pH 8) ⇒ stark erhöhter erforderlicher Chlorgehalt (DPD1: 0,4 → 2,0 mg/L)

Gefahr der Überdosierung wenn pH-Sonde nicht richtig funktioniert / driftet / falsch kalibriert wurde!

Für den Betreiber ergibt sich daraus die Pflicht, die Desinfektionswirkung nicht nur über einen Einzelwert zu beurteilen, sondern den Zusammenhang zwischen freiem Chlor, pH-Wert, Cyanursäure und Redoxverhalten mitzudenken. Ein scheinbar ausreichender Chlorwert kann unter ungünstigen Bedingungen deutlich weniger wirksam sein als erwartet. Eine stabile Wasserpflege bedeutet daher auch, diese Einflussgrößen regelmäßig zu prüfen und bei Bedarf anzupassen.

6. Korrosion von Edelstahl - Ursachen und Vermeidung

Der in Pools eingesetzte Edelstahl ist meist ein austenitischer Edelstahl (zB 1.4404), welcher bei geeigneten Betriebsbedingungen eine hohe Korrosionsbeständigkeit aufweist. Wesentliche Bedingungen sind dabei:

- Verwendung von sauberem und möglichst chloridarmem Füllwasser.
- Korrekt eingestellte Wasserwerte, vor allem hinsichtlich:
 - Chloridkonzentration
 - Total Alkalinity (TA) bzw. Säurekapazität
 - pH-Wert
 - freie Chlorgehalt
- Keine zu hohen Wassertemperaturen (kurzzeitig max. 32°C).
- Fachgerechte Dosierung und ausreichende Verteilung der Wasserpflegemittel.
- Verwendung von sauberem, metallarmem Füllwasser (keine Befüllung über Hydranten, da hierbei Eisen-, Mangan- oder Kupferpartikel sowie Rostpartikel in das System eingetragen werden können und die Korrosion begünstigen.)
- Vermeidung von direktem Kontakt mit konzentrierten Chemikalien.
- Regelmäßiger Filterbetrieb mit ausreichender Umwälzleistung zur Vermeidung von Stagnations- und Totzonen.
- Regelmäßige Kontrolle und Reinigung der Edelstahloberflächen zur Entfernung von Ablagerungen und Belägen.
- Verwendung eines Metallionen-Sequestriermittels.
- Vermeidung von Verunreinigungen bzw. Kontaminationen der Edelstahloberfläche (z. B. Fliesenreiniger, Mörtel- oder Zementschleier sowie Eisenpartikel aus Werkzeugen oder Schleifarbeiten).
- Bei der Montage von Edelstahl-Einbauteilen sind ausschließlich geeignete, für Edelstahl vorgesehene Werkzeuge einzusetzen. Der Kontakt mit ungeeigneten oder zuvor für un- oder niedriglegierte Stähle verwendeten Werkzeugen und Hilfsmitteln ist zu vermeiden, da dadurch Fremdeisen auf die Edelstahloberfläche übertragen werden kann und an den betroffenen Stellen lokale Korrosionserscheinungen entstehen können.

Korrosionserscheinungen werden dabei insbesondere durch das Zusammenwirken mehrerer Faktoren begünstigt. Als besonders kritisch gelten erhöhte Chloridkonzentrationen, ungünstige hydraulische Verhältnisse, Ablagerungen auf Edelstahloberflächen sowie erhöhte Temperaturen.

Auch ein vorheriger Kontakt mit stark sauren Reinigungsmitteln oder konzentrierten chlorhaltigen Wasserpflegeprodukten kann die schützende Passivschicht des Edelstahls lokal schädigen.

Die eigentliche Korrosion entwickelt sich anschließend häufig schleichend und wird oftmals erst Wochen später durch sichtbare Rost- oder Korrosionserscheinungen erkennbar.

Hinweis bei der Verwendung von Metallionen-Sequestriermitteln

Metallionen-Sequestriermittel können abhängig von ihrer chemischen Zusammensetzung, der Dosierung und der jeweiligen Wasserbeschaffenheit die Messung und Regelung des Beckenwassers beeinflussen. Dies betrifft insbesondere Redoxmessungen sowie die amperometrische Messung von freiem Chlor (Echtchlor). Die Auswirkungen können je nach Wasserzusammensetzung und eingesetztem Produkt unterschiedlich stark ausfallen und unter ungünstigen Bedingungen auch zu einer Beeinträchtigung bzw. dauerhaften Belegung der Elektrodenoberfläche führen.

Bei einer Behandlung mit Metallionen-Sequestriermitteln wird daher empfohlen, die automatische Mess- und Regelanlage während der ersten 24 Stunden zu deaktivieren und den Durchfluss durch die Messzelle zu unterbrechen. Nach Ablauf dieser Einwirkzeit sollte die Anlage wieder in Betrieb genommen und das Verhalten der Messwerte über mehrere Tage sorgfältig beobachtet werden.

Insbesondere bei der Redox- und Echtchlormessung können sich die Messwerte gegenüber dem Ausgangszustand verändert haben. Gegebenenfalls sind die Messzelle bzw. Elektroden zu kontrollieren, zu reinigen oder neu zu kalibrieren und die Regelparameter entsprechend anzupassen.

Chlorideintrag

Abgesehen von Becken mit Salzelektrolyse werden Chloride im Schwimmbad vor allem über die eingesetzten Chlor-Desinfektionsmittel eingetragen. Bei Flüssigchlor erhöht zusätzlich der produktionsbedingte Natriumchloridanteil die Chloridfracht, der bei handelsüblichen 12,5-%-Natriumhypochloritlösungen typischerweise 10 bis 12,5 Gew.-% beträgt. Chlorid wird im normalen Poolbetrieb praktisch nur durch Teilwasserwechsel reduziert.

Anm.: pH-Minus Produkte auf Salzsäurebasis würden den Chloridgehalt zusätzlich erhöhen. In der Praxis werden jedoch überwiegend pH-Minus-Produkte auf Schwefelsäurebasis eingesetzt, bei denen kein zusätzlicher Chlorideintrag erfolgt.

Beispiel für einen 30 m³ Pool:

- Ein 25 kg Kanister Flüssigchlor (12 % Aktivchlor)
→ Erhöhung des Chloridgehalts um bis zu **130 mg/L**
- Aktivchlor-äquivalente 4,5 kg Calciumhypochlorit (68 - 70%), bzw. äquivalente 15 organische Chlortabletten à 250 g (~90w% Trichlorisocyanursäure)
→ Erhöhung des Chloridgehalts um bis zu **70 mg/L**
- Ein 20 kg Kanister pH-Minus flüssig (14,9 % Schwefelsäure)
bzw. äquivalent ~7,5 kg pH-Minus Granulat (Natriumbisulfat)
→ Verringerung der Karbonatalkalinität um **~100 mg/L CaCO₃**

Werden diese Stoffe über längere Zeiträume ohne ausreichenden Wasseraustausch eingesetzt, können sich die Wasserparameter sukzessive in einen für Edelstahl ungünstigen Bereich verschieben.

Beckenbetrieb mit jährlicher Neubefüllung

Bei einem jährlich vollständig neu befüllten Becken ist bei Flüssigchlor-Dosierung üblicherweise kein zusätzlicher größerer Teilwasserwechsel erforderlich, sofern der Verbrauch von Chlorkanistern (25 kg, ca. 12 % Aktivchlor) **einen Kanister je 10 m³ Beckenvolumen und Saison nicht überschreitet und der Chloridgehalt des Füllwassers unter 100 mg/L liegt**. Die durch regelmäßige Filterrückspülungen bedingten kleinen Teilwasserwechsel werden hierbei als ausreichend angenommen.

Anm.: Aus diesem Grund sollte auf die Verwendung möglichst frischer Chlorkanister geachtet werden, da durch Alterung und unsachgemäße Lagerung der Aktivchlorgehalt abnimmt und für die gleiche Desinfektionsleistung entsprechend größere Produktmengen erforderlich werden können.

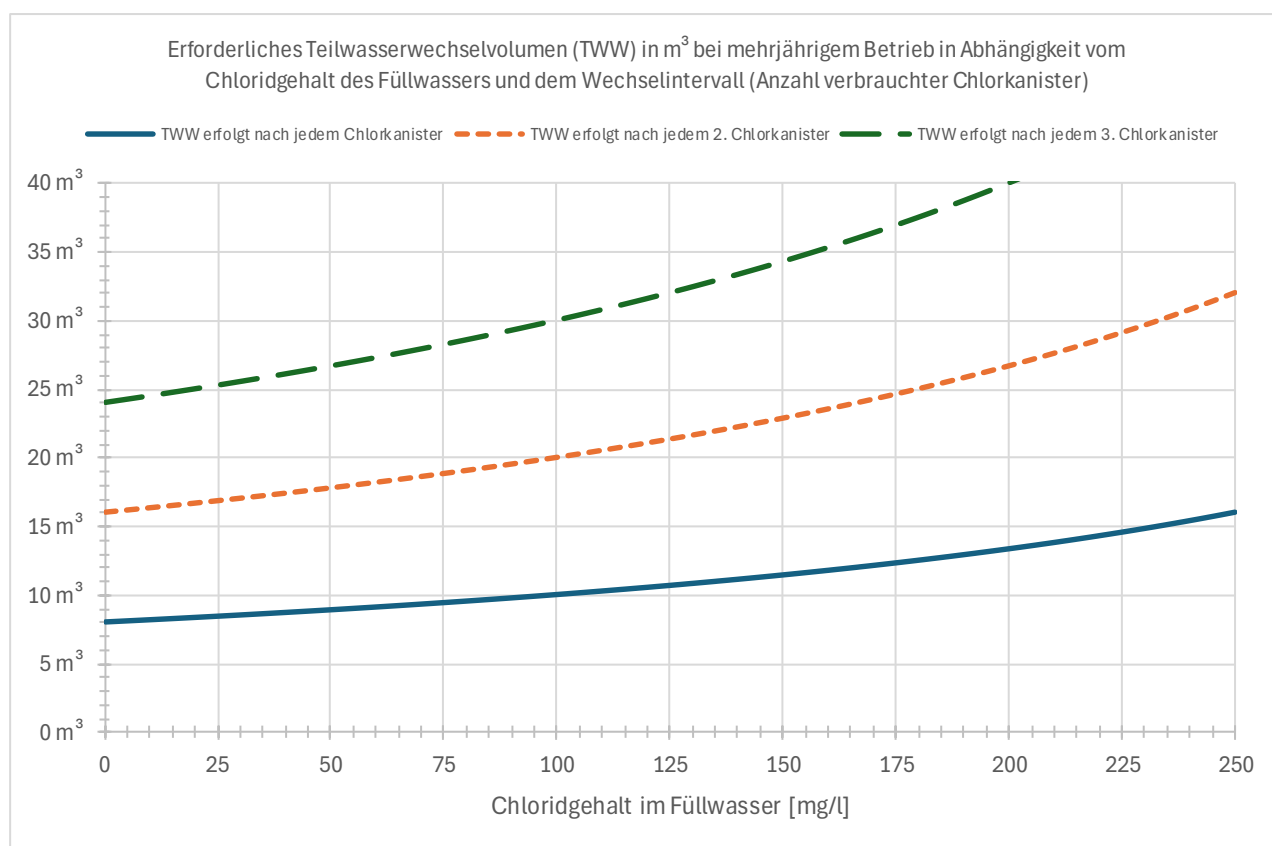
Mehrjähriger Beckenbetrieb mit laufendem Teilwasserwechsel

Bei einem mehrjährigen Betrieb ohne vollständige Neubefüllung ist ein regelmäßiger größerer Teilwasserwechsel erforderlich, um die Chloridkonzentration dauerhaft in einem für Edelstahl günstigen Bereich zu halten. Das erforderliche Wechselvolumen wird dabei maßgeblich durch die Chloridkonzentration des Füllwassers bestimmt, während das optimale Wechselintervall primär vom Chlorverbrauch abhängt.

Nachfolgend ist das bei mehrjährigem Beckenbetrieb erforderliche Teilwasserwechselvolumen (TWW) in Abhängigkeit vom Chloridgehalt des Füllwassers sowie von unterschiedlichen Wechselintervallen mit folgender Formel dargestellt, sodass in diesem vereinfachten Berechnungsmodell eine angenommene Chloridkonzentration von z.B. 500 mg/L nicht überschritten wird:

$$TWW [m^3] = \frac{N_{Kanister} \cdot m_{Cl^-}}{500 - Cl_{Füllwasser}}$$

$N_{Kanister}$ = Anzahl der eingesetzten 25-kg-Kanister Natriumhypochlorit
 m_{Cl^-} = 4,0 kg Chlorid je 25-kg-Kanister Natriumhypochlorit
 $Cl_{Füllwasser}$ = Chloridkonzentration des Füllwassers [mg/L]



Anm.: Die Wechselintervalle sind dabei als Anzahl der zwischen zwei Teilwasserwechseln verbrauchten Chlorkanister angegeben.

Je höher die Chloridkonzentration des Füllwassers und je seltener ein Teilwasserwechsel durchgeführt wird, desto größer muss das auszutauschende Wasservolumen sein.

Empfohlene Schnellmethode zur Bestimmung der Chloridkonzentration: Chlorid-Teststreifen

Bedeutung der Alkalinität

Neben der Chloridkonzentration spielt die Alkalinität (TA bzw. Säurekapazität) eine wesentliche Rolle für einen stabilen und korrosionsarmen Betrieb. Durch die laufende Dosierung von Schwefelsäure zur pH-Wert-Regelung wird die Alkalinität kontinuierlich reduziert. Sinkt diese zu weit ab, werden starke pH-Schwankungen begünstigt, wodurch korrosive Betriebszustände leichter entstehen können.

Ab einer gemessenen Alkalinität von etwa 60 mg/L CaCO_3 sollte regelmäßig Natriumbicarbonat (nach EN 15075) dosiert werden.

Als Faustregel sind ab einem TA-Wert von ~60 mg/L CaCO_3 **pro verbrauchtem Kanister pH-Minus (20 kg, 14,9 % Schwefelsäure) ~5 kg Natriumbicarbonat** (nach EN 15075) nachzudosieren. Die Zugabe sollte über den Verbrauchszeitraum verteilt in mehreren kleineren wöchentlichen Teilmengen erfolgen.

Einfluss von Eisen und Metallablagerungen

Erhöhte Eisengehalte im Füllwasser können die Bildung von Eisenoxidablagerungen auf Edelstahloberflächen fördern. Solche Beläge können insbesondere in hydraulisch schlecht durchströmten Bereichen lokale Differenzbelüftungszellen (Sauerstoffkonzentrationszellen) ausbilden. Der eingeschränkte Sauerstoffnachschub erschwert die Wiederpassivierung der Edelstahloberfläche und vermindert lokal die Stabilität der Passivschicht. Beginnt die Passivschicht lokal aufzubrechen, werden Metallionen aus dem Edelstahl freigesetzt, deren Hydrolyse unmittelbar an der Metalloberfläche zu einer lokalen Ansäuerung führt. Ist die Alkalinität zu niedrig, kann diese lokale Ansäuerung nicht ausreichend abgepuffert werden, wodurch die Passivschicht destabilisiert und das Risiko für Korrosionserscheinungen wie Unterbelagskorrosion, Spaltkorrosion, und Lochfraßkorrosion steigt.

Hohe Chloridkonzentrationen, erhöhte Temperaturen sowie hohe Redoxpotentiale verstärken diesen Effekt zusätzlich. Aus diesem Grund sollte möglichst sauberes und eisenarmes Füllwasser verwendet werden. Eine Befüllung über Hydranten sollte nach Möglichkeit vermieden werden, da hierbei – abhängig von Zustand und Ausführung des Versorgungssystems – Eisen-, Mangan-, Kupfer- oder Rostpartikel eingetragen werden können.

Bei eisen- oder metallhaltigem Füllwasser ist eine geeignete Vorfiltration des Füllwassers (zB Eisenfilter) empfehlenswert. Zusätzlich sollte gemäß Bedienungsanleitung regelmäßig ein geeignetes Metallionen-Sequestriermittel dosiert werden. Dieses reduziert die Ausfällung und Ablagerung von Metallverbindungen und sollte nicht nur bei der Inbetriebnahme, sondern dauerhaft während des Betriebs eingesetzt werden.

Umgang mit Chemikalien

Die schützende Passivschicht von Edelstahl kann durch den direkten Kontakt mit konzentrierten Chemikalien geschädigt werden. Besonders kritisch sind:

- salzsäurehaltige Poolreiniger
- konzentrierte Chlorlauge (Natriumhypochlorit)
- lokal hohe Konzentrationen von Calciumhypochlorit

Solche Produkte dürfen niemals direkt auf Edelstahloberflächen gelangen. Ebenso sollten Flüssigchlor und andere Wasserpflegemittel nicht in unmittelbarer Nähe von Edelstahleinbauteilen oder hydraulisch ruhigen Bereichen in das Becken eingebracht werden. Eine ausreichende Verdünnung und schnelle Verteilung im Beckenwasser ist sicherzustellen.

Reinigung und Pflege von Edelstahloberflächen

Ablagerungen, Fremdrost und sonstige Beläge sollten regelmäßig entfernt werden, um die natürliche Passivschicht des Edelstahls zu erhalten. Geeignete Produkte für die Pflege und Aufarbeitung von Edelstahloberflächen im entleerten Becken sind beim Schwimmbad-Fachhändler zu erfragen.

Beispiel: Edelstahlreiniger zur Rostentfernung und Passivierung auf Citratbasis

Je früher Korrosionsansätze entfernt werden, desto größer sind die Erfolgsaussichten einer vollständigen Wiederherstellung der Oberfläche.

Konstruktive Gestaltung von Edelstahleinbauteilen

Neben Werkstoffauswahl und Wasserqualität hat auch die konstruktive Gestaltung eines Edelstahleinbauteils einen wesentlichen Einfluss auf dessen langfristige Beständigkeit.

Spalte und schwer zugängliche Zwischenräume sollten grundsätzlich vermieden werden. Dies betrifft insbesondere überlappende Klemm- und Steckverbindungen sowie andere konstruktiv bedingte Spalte, in denen sich Wasser, Chloride und Ablagerungen ansammeln können [12]. Sind Spalte konstruktiv unvermeidbar, sollten diese möglichst weit ausgeführt werden [13].

Für Einbauteile in Schwimmbecken ist daher eine möglichst einfache, spaltarme und gut zu reinigende Konstruktion anzustreben. Unnötig viele Schraub-, Klemm-, Steck-, Schweiß- oder sonstige Verbindungsstellen sollten vermieden werden.

Für Edelstahleinbauteile in Schwimmbecken gilt daher als konstruktives Grundprinzip:

Je einfacher, glatter, spaltärmer und besser zugänglich ein Bauteil ausgeführt ist, desto weniger potenzielle Korrosionsstellen entstehen und desto leichter können diese kontrolliert und gereinigt werden.

Dies lässt sich auch anschaulich anhand einer vereinfachten Wahrscheinlichkeitsbetrachtung verdeutlichen. Angenommen, jede von (n) voneinander unabhängigen Detailstellen besitzt innerhalb eines Betrachtungszeitraums die Einzelwahrscheinlichkeit (p), dass dort unter ungünstigen bzw. von den empfohlenen Wasserwerten abweichenden Betriebsbedingungen eine Korrosionserscheinung auftritt. Dann beträgt die Wahrscheinlichkeit, dass mindestens eine dieser Stellen betroffen ist:

$$P_{ges} = 1 - (1 - p)^n$$

Bei 100 Verbindungsstellen ergibt bereits eine Einzelwahrscheinlichkeit von 0,1 % ein $P_{ges} = \sim 10\%$.

Anm.: Diese Berechnung dient ausschließlich als mathematisches, hypothetisches Beispiel. Aus ihr lässt sich keine allgemeingültige Korrosionswahrscheinlichkeit für eine bestimmte Edelstahlverbindung oder ein konkretes Bauteil ableiten.

Fazit

Durch die Einhaltung der empfohlenen Wasserparameter, regelmäßige Teilwasserwechsel, eine ausreichende Alkalinität, gute hydraulische Verhältnisse, den Einsatz von Sequestriermitteln sowie eine sachgerechte Reinigung und Pflege lässt sich die Korrosionsbeständigkeit von Edelstahl in Schwimmbädern langfristig unterstützen.

7. Pflege, Wartung und Achtsamkeit im Betrieb

Ein funktionsfähiger Poolbetrieb verlangt neben der Chemikalienzugabe vor allem Disziplin in Pflege und Wartung. Messwerte müssen mindestens wöchentlich auf Plausibilität geprüft werden. Die Gesamtalkalinität ist regelmäßig zu kontrollieren, ebenso die Funktionsfähigkeit von Sonden und Messstellen.

Filterrückspülungen, die richtige Lagerung von Flüssigchlor sowie der rechtzeitige Austausch gealterter Sonden gehören ebenso zu einer sorgfältigen Betriebsführung wie die Beachtung der Wechselwirkungen zwischen pH, Temperatur, Cyanursäure und Desinfektionsleistung.

Bei Messelektroden sind neben den Herstellerangaben insbesondere folgende Punkte zu beachten:

- Lagerung und Transport immer stehend, in Aufbewahrungsflüssigkeit und frostgeschützt.
- Elektroden altern auch im Ruhezustand.
- Der Redox-Wert ist stark vom pH-Wert und von Cyanursäure abhängig.
- Cyanursäure kann bestimmte membranbedeckte Echtchlor-Sonden beeinträchtigen.
- Der Verschleiß einer qualitativen pH-Elektrode führt innerhalb einer Saison zu einem spürbaren Signalverlust und damit zu Messdrift.

Anm.: Der Rohsignalverlust liegt typischerweise im Bereich von etwa 40 mV pro Saison. Dies entspricht – abhängig von der jeweiligen Steilheit der Elektrode – einem pH-Drift von etwa 0,4 oder mehr (abhängig von aktueller Messteilheit).

Bsp.: Wird eine zu Saisonbeginn frisch kalibrierte pH-Sonde während der Saison nicht nachkalibriert, führt dies zu einer systematischen Messabweichung. In der Praxis bedeutet dies, dass die Anzeige zu Saisonende weiterhin einen pH-Wert von 7,2 anzeigt, während der tatsächliche pH-Wert des Wassers bereits bei etwa 6,8 liegt.

- Mess-Elektroden sollten idealerweise jährlich erneuert werden.
- Nach Möglichkeit nur Anlagen mit Zweipunktkalibrierung einsetzen, da sich damit das Steilheitsverhalten und somit die Funktionsfähigkeit der Messung zuverlässig beurteilen lassen.

Chlordosierung mittels Mess-, Regel- und Dosieranlagen (MRD-Anlagen)

In privaten Poolanlagen werden häufig MRD-Anlagen eingesetzt, die den Redoxwert (ORP-Sensor) zur Regelung der Chlordosierung nutzen. Diese Systeme sind vergleichsweise kostengünstig und einfach zu betreiben. Bei den im Privatbereich üblichen Beckenvolumina von meist bis zu 50 m³ funktioniert dieses Prinzip in der Praxis oft zufriedenstellend, da die Trägheit des Gesamtsystems noch beherrschbar ist.

Der Redoxwert erfasst jedoch nicht direkt die Konzentration des Desinfektionsmittels und sollte daher nicht mit dem tatsächlichen Gehalt an freiem Chlor gleichgesetzt werden. Vielmehr liefert er einen Hinweis auf die Desinfektionswirkung des Wassers. Das Redoxpotential wird unter anderem von Wasserbelastung, Cyanursäuregehalt, Temperatur, pH-Wert und Elektrodenzustand beeinflusst. Aus diesem Grund wird der Redoxwert im öffentlichen Badebetrieb nur als ergänzender Hygiene-Indikatorparameter herangezogen, während die Chlordosierung über eine direkte Messung des freien Chlors erfolgt.

Im privaten Bereich hat sich die Regelung über Redox mittels hochwertiger ORP-Sensoren dennoch vielfach bewährt, sofern die Funktionsfähigkeit der Sonde regelmäßig kontrolliert / kalibriert und bei Bedarf ersetzt wird (meist jährlich), da diese Sensoren grundsätzlich eine ausreichende Messgeschwindigkeit (Messwert einer Referenz/Kalibrierflüssigkeit sollte sich innerhalb von 30 Sekunden stabilisieren) mit hoher Messauflösung und geringer Messvarianz haben. Dies gilt gleichermaßen für pH-Elektroden (Messsteilheit sollte hier >55 mV/pH betragen).

Am Markt sind zudem MRD-Anlagen mit amperometrischen Chlorsensoren („Echtchlor-Elektroden“) verfügbar. Diese Systeme gelten theoretisch als präziser, da sie die Konzentration des freien Chlors direkt erfassen. Voraussetzung hierfür sind jedoch eine regelmäßige Kalibrierung, Reinigung und Wartung. Die Praxiserfahrung zeigt jedoch, dass solche Sensoren im privaten Poolbereich insbesondere nach längeren Stillstandszeiten, reduziertem Pumpenbetrieb (ECO-Modus) oder nach der Winterpause zur Oxidation und Verschmutzung neigen. Ohne manuelle Reinigung können dadurch erhebliche Messabweichungen entstehen. Auch die häufig beworbenen selbstreinigenden Messzellen, bei denen kleine Kugeln den Sensor reinigen sollen, erreichen in solchen Fällen keine ausreichende Reinigungswirkung mehr.

Zusätzlich erfolgt die Kalibrierung bei Echtchlor-Elektroden in der Praxis häufig lediglich als Einpunktkalibrierung. Dadurch entsteht beim Betreiber leicht der Eindruck eines „exakt“ gemessenen Chlorwertes. Tatsächlich kann jedoch die Empfindlichkeit (Messsteilheit) der Elektrode signifikant reduziert sein. In diesem Fall wird ein scheinbar dauerhaft gleichbleibender Chlorwert angezeigt, obwohl die tatsächliche Chlorkonzentration im Beckenwasser erheblich davon abweichen kann. Die Folge sind eine erhöhte Messunsicherheit und eine deutlich reduzierte Aussagekraft der Messung.

Der Einsatz von Echtchlorsensoren und/oder einer Redox-Regelung erfordert im Privatbereich eine konsequente Wartung sowie eine regelmäßige Überprüfung und Plausibilisierung der Messwerte. Bei einer reinen Redox-Regelung ist die technische Betriebsführung für Privatanutzer unter geeigneten Betriebsbedingungen in der Regel vergleichsweise einfach, sofern ausschließlich anorganisches Chlor eingesetzt wird und ein Eintrag von Cyanursäure vermieden wird.

8. Algenbildung trotz korrekter Wasserparameter

Auch bei scheinbar einwandfreien Wasserwerten können Algenprobleme auftreten. Der Grund hierfür ist, dass die im Poolbetrieb üblichen Routinemessungen – insbesondere pH-Wert, freies Chlor, Cyanursäure und Alkalinität – nicht alle Faktoren erfassen, die das Algenwachstum beeinflussen können. Insbesondere Phosphate, hydraulische Schwachstellen und Biofilme bleiben dabei häufig unberücksichtigt.

Algensporen gelangen kontinuierlich über die Luft, Badegäste sowie weitere Umwelteinträge in das Poolwasser. Ob sich daraus tatsächlich ein sichtbarer Algenbefall entwickelt, hängt vom Zusammenwirken zahlreicher biologischer, chemischer und hydraulischer Einflussfaktoren ab. Die wichtigsten davon werden nachfolgend erläutert:

Freies Chlor

Chlor wirkt desinfizierend, oxidierend und algenhemmend. Kurzzeitige Unterschreitungen des empfohlenen Chlorgehalts führen insbesondere bei guter Beckenhydraulik und geringer organischer Belastung nicht zwangsläufig zu einem Algenbefall. Dauerhaft zu niedrige Werte erhöhen jedoch das Risiko für Algenbildung deutlich. Besonders widerstandsfähige Arten wie Senf- oder Schwarzalgen sind deutlich schwieriger zu entfernen als gewöhnliche Grünalgen.

Zur Vorbeugung sind eine stabile Grunddesinfektion sowie bei Bedarf regelmäßige Stoßchlorierungen sinnvoll, vorzugsweise mit anorganischem Chlor (z. B. Calciumhypochlorit).

pH

Die Wirksamkeit von Chlor ist stark pH-abhängig. Je höher der pH-Wert, desto geringer ist der Anteil der besonders wirksamen hypochlorigen Säure. Für Privatswimmingpools wird daher üblicherweise ein pH-Wert zwischen 7,0 und 7,4 empfohlen.

Anmerkung: Da der pH-Wert durch CO₂-Ausgasung kontinuierlich ansteigt, ist insbesondere bei beheizten Pools eine automatische pH-Regelung empfehlenswert. Dabei sollte auf eine ausreichende Alkalinität (TA-Wert) geachtet werden, um eine stabile Regelung zu gewährleisten.

Achtung: Eine pH-Handmessung mittels Phenol-Red-Tablette kann bei sehr niedriger Alkalinität unzuverlässige Ergebnisse liefern!

Cyanursäure (Chlorstabilisator)

Cyanursäure wird vor allem durch organische Chlorprodukte wie klassische Chlortabletten oder Chlorgrenulat in das Wasser eingetragen. Diese Produkte haben den Vorteil, dass sie den pH-Wert des Wassers – im Gegensatz zu anorganischem Chlor – nur gering beeinflussen und dass die enthaltene Cyanursäure das Chlor vor schnellem UV-Abbau schützt. Mit zunehmender Konzentration reduziert die Cyanursäure jedoch den Anteil der tatsächlich wirksamen hypochlorigen Säure (HOCl) und damit die Desinfektions- und Algenbekämpfungswirkung.

Beispiel: Eine Stoßchlorierung mit organischem Chlor kann die Cyanursäure um bis zu 10 mg/L erhöhen. Eine Langzeit-Chlortablette erhöht den Wert bei einem 30-m³-Pool typischerweise um etwa 4–5 mg/L.

Ab etwa 50 mg/L Cyanursäure sinkt die Desinfektions- und Algenbekämpfungswirkung auf weniger als ein Drittel der ursprünglichen Wirkung. Deshalb sollte der Cyanursäuregehalt regelmäßig kontrolliert und unter 50 mg/L gehalten werden.

Bereits bei 20 mg/L Cyanursäure sind mehr als 4 mg/L (DPD1) freies Chlor erforderlich, um die gleiche Wirksamkeit wie 0,5 mg/L freies Chlor ohne Cyanursäure zu erzielen [10, 11].

Während für die hygienische Desinfektion häufig bereits niedrigere Chlorwerte ausreichend sind, können zur zuverlässigen Vorbeugung von Algenwachstum höhere Werte erforderlich sein. Bei einem CYA-Gehalt von etwa 25 mg/L sind für eine zuverlässige Algenprävention in der Praxis meist mindestens 2 mg/L freies Chlor

(DPD1) empfehlenswert. Für einen zusätzlichen Sicherheitsbereich hat sich ein Zielbereich von 3 bis 4 mg/L (DPD1) bewährt.

Wassertemperatur

Mit steigender Wassertemperatur nehmen sowohl die Chlorzehrung als auch das Wachstum von Mikroorganismen und Algen zu. Warme, nährstoffreiche und schlecht durchmischte Wasserbereiche sind besonders anfällig für Algenbildung.

Pools mit Temperaturen über 28 °C benötigen daher eine intensivere Wasserpflege und häufigere Kontrolle der Wasserwerte.

Nährstoffeintrag (Phosphat und Nitrat)

Phosphate und Nitrate zählen grundsätzlich zu den wichtigsten Nährstoffen für das Algenwachstum. Während Nitrat in privaten Schwimmbecken in der Regel nur eine untergeordnete Rolle spielt, stellt Phosphat häufig den limitierenden Nährstoff dar. **Eine Verringerung des Phosphatgehalts kann das Algenwachstum daher bereits deutlich einschränken.** Phosphate und Nitrate gelangen unter anderem durch Badegäste, Umwelteinträge sowie über das Füllwasser in den Pool.

Mit zunehmendem Phosphatgehalt steigt das Risiko eines Algenwachstums. In der Praxis werden bei Phosphatgehalten oberhalb von etwa 1 mg/L häufiger Algenprobleme beobachtet, insbesondere wenn weitere ungünstige Randbedingungen vorliegen. Gleichzeitig erhöhen hohe Phosphatgehalte häufig den Chlorbedarf und damit auch den Chlorverbrauch. Die gezielte Entfernung von Phosphat kann daher den Pflegeaufwand und den Chlorverbrauch deutlich reduzieren. Zur Reduzierung erhöhter Phosphatkonzentrationen können geeignete Phosphatbindemittel eingesetzt werden. Dosierung und Einsatzweise sind entsprechend den Herstellerangaben und der jeweiligen Wasserbeschaffenheit festzulegen.

Chlor tötet Algen ab, entfernt jedoch keine Nährstoffe aus dem Wasser. Ein erhöhter Phosphatgehalt bleibt daher auch nach einer Stoßchlorierung bestehen und kann das erneute Algenwachstum begünstigen.

Hinweis: Einige Wasserversorger setzen Orthophosphate gezielt als Korrosionsschutz im Trinkwassernetz ein. Dadurch kann bereits das Füllwasser erhöhte Phosphatkonzentrationen aufweisen.

Falls im Füllwasser bereits hohe Phosphatkonzentrationen festgestellt werden, ist der Einsatz eines geeigneten Phosphatfilters für die Füllwasserleitung empfehlenswert.

Beckenhydraulik und Umwälzung

Schlecht durchströmte Bereiche und hydraulische Totzonen begünstigen die Bildung von Ablagerungen, Biofilmen und Algen. Eine zu geringe Pumpenleistung kann zwar die Filtration durch niedrigere Filtergeschwindigkeiten verbessern, gleichzeitig jedoch die Durchmischung des Beckenwassers verschlechtern und die Desinfektionswirkung in schlecht durchströmten Bereichen reduzieren. Insbesondere bei frequenzgeregelten Pumpen sollte daher nicht nur auf eine optimale Filtergeschwindigkeit, sondern auch auf eine ausreichende Beckendurchströmung geachtet werden. Ziel einer guten Beckenhydraulik ist es, alle Bereiche des Beckens kontinuierlich und möglichst gleichmäßig mit ausreichend desinfiziertem Wasser zu durchströmen.

Biofilme bilden sich bevorzugt in Rohrleitungen, hydraulischen Totzonen, Skimmern, Rollladennischen sowie anderen schlecht durchströmten Bereichen. Sie bieten Mikroorganismen einen wirksamen Schutz vor der Desinfektionswirkung des Chlors und können als Ausgangspunkt für wiederkehrenden Algenbefall dienen. Eine gut ausgelegte Beckenhydraulik, regelmäßige mechanische Reinigung sowie gelegentliche Stoßchlorierungen tragen wesentlich dazu bei, die Bildung von Biofilmen zu verhindern bzw. bestehende Biofilme zu reduzieren.

Zustand der Filteranlage

Verschmutzte oder zu klein dimensionierte Filteranlagen sowie ungeeignete Filtermedien verschlechtern die Wasserqualität und reduzieren die Entfernung von Schmutzpartikeln, Mikroorganismen und Algensporen. Dadurch steigt der Chlorbedarf und infolgedessen häufig auch der Chlorverbrauch. Regelmäßiges Rückspülen, ausreichend lange Filterlaufzeiten, eine geeignete Filtrationsgeschwindigkeit sowie ein sauberes Filtermedium sind wesentliche Voraussetzungen für einen algenfreien Pool.

Reinigung und Einsatz von Algiziden

Regelmäßiges Bürsten von Wänden und Boden entfernt Beläge und Biofilme und erschwert die Ansiedlung von Algen. Algizide können die Algenbildung zusätzlich hemmen. Sie ersetzen jedoch niemals eine ausreichende Desinfektion oder eine funktionierende Wasseraufbereitung. Auf kupferhaltige Algizide sollte nach Möglichkeit verzichtet werden, da sie insbesondere bei ungeeigneter Wasserchemie zu Verfärbungen und Ablagerungen auf Oberflächen führen können.

Fazit

Ein Algenbefall ist in den meisten Fällen nicht auf eine einzelne Ursache zurückzuführen, sondern auf das Zusammenwirken mehrerer ungünstiger Einflussfaktoren. Eine dauerhaft wirksame Algenprävention erfordert daher ein Gesamtkonzept aus ausreichender Desinfektion, stabilem pH-Wert, niedrigen Gehalten an Cyanursäure und Phosphat, einer guten Beckenhydraulik, leistungsfähiger Filtration sowie regelmäßiger Reinigung. Werden diese Faktoren konsequent berücksichtigt, lässt sich Algenwachstum auch ohne routinemäßigen Einsatz von Algiziden in der Regel zuverlässig vermeiden.

9. Ablagerungen

Insbesondere bei höheren Wassertemperaturen sowie bei unregelmäßigem oder unzureichendem Teilwasserwechsel kann es zu einer Aufsalzung des Wassers und zur Anreicherung gelöster Stoffe wie Phosphate, Sulfate oder Silikate kommen. In Verbindung mit Calcium oder Magnesium sowie bei temporären pH-Schwankungen können daraus Ablagerungen entstehen, die optisch Kalkablagerungen ähneln, sich jedoch mit sauren Reinigern nicht oder nur eingeschränkt entfernen lassen. Diese Ablagerungen schreiten insbesondere dann schneller voran, wenn die Oberflächen bereits abgestumpft oder matt sind.

10. Best Practices

- **Messwerte der Regeltechnik mindestens einmal wöchentlich plausibilisieren**
- Flüssigchlor sachgerecht lagern und innerhalb der empfohlenen Lagerdauer verbrauchen
 - Auf frische Chlorware achten, da Aktivchlor rasch abgebaut wird (~1g/l pro Tag)
Anm.: Bei der Lagerung von Aktivchlor (z. B. in Kanistern) kann es unter ungünstigen Bedingungen zur Bildung von Chlorat kommen.
Bsp.: 3 Monate Lagerung unter ungünstigen Bedingungen (25 °C):
⇒ Halbierung des Aktivchlorgehalts
⇒ Erhöhter Chemikalienverbrauch (≈ Faktor 2)
 - Die Chloridkonzentration im Pool durch Chemikalieneinsatz im Blick behalten
Die Zugabe von 25 kg frischem Natriumhypochlorit (12 %) in ein 30-m³-Becken kann die Chloridkonzentration um bis zu 130 mg/L erhöhen.
Die Zugabe von aktivchloräquivalenten 4,5 kg Calciumhypochlorit (68 – 70%) bzw. von 15 organischen Chlortabletten à 250 g (~90w% Trichlorisocyanursäure) in ein 30-m³-Becken kann die Chloridkonzentration langfristig um bis zu 70 mg/L erhöhen.
- TA-Wert mindestens einmal monatlich kontrollieren
 - Bei pH-Regelung mit Schwefelsäure bei Bedarf mit Natriumbicarbonat (gemäß DIN EN 15075:2013) gegensteuern
Die Zugabe von 20 kg ph-Minus flüssig (14,9 % Schwefelsäure) bzw. äquivalente 7,5 kg pH-Minus Granulat (Natriumbisulfat) in ein 30-m³-Becken
- **reduziert die Karbonatalkalität um ~100 mg/L als CaCO₃ (± 5,7 °dKH)**
- **erhöht die Sulfatkonzentration um ~100 mg/L.**
 - Bei pH-Regelung mit CO₂ und Chlorierung mittels Natriumhypochlorit:
Ein 25-kg-Kanister Natriumhypochlorit (12–13 % Aktivchlor) kann die Karbonatalkalität eines 30-m³-Pools bei CO₂-Regelung um bis zu etwa 50 mg/L als CaCO₃ erhöhen. Dies entspricht ungefähr der Wirkung von 3,4 kg Natriumhydrogencarbonat (NaHCO₃).
 - Regelmäßig kleine Pufferanhebungen sind besser als eine starke Anhebung
- Rückspülintervalle entsprechend Filtertyp, Filterbelastung, Druckverlust und Herstellerangaben festlegen (damit auch regelm. Teilwasserwechsel).
Achtung: Eine unzureichende Filterreinigung kann zu folgenden Problemen führen
 - ⇒ Anstieg Filterdruck
 - ⇒ unzureichender Anströmung Messsonden
 - ⇒ verminderte Selbstreinigung der Elektroden
 - ⇒ erhöhte Oxidations- und Ablagerungsneigung
 - ⇒ erhöhte Messabweichung
 - ⇒ Überdosierung

- Bei drehzahlgeregelten Pumpen ist auf eine ausreichende tägliche Umwälzleistung und Beckendurchströmung zu achten (Steigert Filtereffizienz):
Achtung: Eine unzureichende Umwälzleistung (zu langer Eco-Betrieb / zu wenig Filterzeit) führt zu
⇒ *hydraulische Totzonen (lokal unzureichende Desinfektion)*
⇒ *erhöhte Biofilm- und Algenrisiko*
- Mess-Sonden jährlich tauschen und regelm. kalibrieren
- Einfluss von Cyanursäure (CYA) und pH-Wert auf die Chlorwirksamkeit berücksichtigen
Anm.: CYA reduziert zwar die UV-Chlorzehrung, senkt aber den Anteil wirksamen Chlors. Bsp.:
 - Bei 0 mg/L CYA: ~35% Aktivchlor-Verlust in 1h ☹
 - Bei 20 mg/L CYA: ~5% Aktivchlor-Verlust in 1h ☺, Aber:
⇒ *reduziert Anteil wirksames Chlor von 100% auf ~60% ☹*
⇒ *dämpft die Redoxmessung ☹*
⇒ *erfordert doppelten Chlorgehalt ☹*
⇒ *Führt bei sehr hohen CYA-Werten zu Chlor-Überdosierung ☹*
⇒ *Hohe Prozess-Instabilität bei Echtchlorsonden (CYA-Messung nicht automatisierbar) ☹*
- Die **Cyanursäurekonzentration (CYA)** im Pool überwachen, wenn organisches Chlor eingesetzt wird
 - Organisches (stabilisiertes) Chlor beeinflusst den pH-Wert in der Regel kaum. Der Nachteil ist aber der Eintrag von Cyanursäure (CYA): *In einem 30-m³-Becken kann organisches Chlor die Cyanursäurekonzentration (CYA) wie folgt erhöhen:*
 - **Langsam lösliche Tablette** (250 g mit ~90w% **Trichlorisocyanursäure**) → **+4,3 mg/L**
 - **Stoßchlorierung nach Herstellerangabe mit schnell löslichem Chlor:**
 - 600 g Tablette oder Granulat (~55w% **Tri-Chlorisocyanursäure**) → **+6 mg/l**
 - 600 g Tablette oder Granulat (~55-60w% **Di-Chlorisocyanursäure**) → **+10 mg/l**

=> Stoßchlorierungen sollten vorzugsweise mit anorganischen Chlorprodukten durchgeführt werden, insbesondere bei bereits erhöhtem Cyanursäuregehalt.
- **Anorganische und organische Chlorprodukte nicht miteinander mischen:**
Das Vermischen inkompatibler Chlorprodukte kann zu heftigen chemischen Reaktionen, Bränden oder explosionsartigen Reaktionen führen.

11. Schlussbemerkung

Die Qualität eines GFK-Pools hängt nicht allein von der Werkstoff- und Oberflächenqualität ab, sondern in hohem Maß von Wasserchemie und Betriebsführung. Viele sichtbare Erscheinungen an der Beckenschale sind nicht ausschließlich als Materialproblem zu verstehen, sondern als Ergebnis eines Zusammenspiels aus chemischer Belastung, Betriebszustand und Betreiberverhalten. Dieses Kapitel soll daher als Einordnungshilfe dienen: Es erläutert die chemischen Grundlagen und zeigt zugleich, warum sorgfältige Pflege und Aufmerksamkeit unverzichtbar sind, um Funktion, Optik und Lebensdauer eines GFK-Pools langfristig zu sichern.

12. Literatur

- [1] Granger, C. O.; Richardson, S. D. (2022): Do DBPs swim in salt water pools? Comparison of 60 DBPs formed by electrochemically generated chlorine vs. conventional chlorine. *Journal of Environmental Sciences*, 117, 232–241. DOI: 10.1016/j.jes.2022.04.044.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35725075/>
- [2] Denis, J.-M.; Donzé, G.; Willen, S.; Darioly, M.; Andlauer, W.; Piantini, U. (2022): Monitoring of On-site Generated Hypochlorite for Water Disinfection. *CHIMIA*, 76(10), 871–875. DOI: 10.2533/chimia.2022.871.
<https://pdfs.semanticscholar.org/b7d7/7b596b6a0641f29046f3c6d3b24d62a4078a.pdf>
- [3] Pool Water Treatment Advisory Group (PWTAG) (2023): Technical Note 69 – Hydrogen Safety in Electrochlorination. 15 June 2023.
<https://www.pwtag.org/hydrogen-safety-in-electrochlorination-tn69/>
- [4] CEN (2022): EN 16370:2022 – Chemicals used for treatment of water intended for human consumption – Sodium chloride for on-site electrochlorination using membrane cells. European Committee for Standardization, Brussels, April 2022.
<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/69877/a59c52ac30c14aa592244fd2adb6b2a4/SIST-EN-16370-2022.pdf>
- [5] Jung, Y. J.; Baek, K. W.; Oh, B. S.; Kang, J.-W. (2010): An investigation of the formation of chlorate and perchlorate during electrolysis using Pt/Ti electrodes: The effects of pH and reactive oxygen species and the results of kinetic studies. *Water Research*, 44(18), 5345–5355. DOI: 10.1016/j.watres.2010.06.029.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20619871/>
- [6] Gomà, A.; Guisasola, A.; Tayà, C.; Baeza, J. A.; Baeza, M.; Bartrolí, A.; Lafuente, J.; Bartrolí, J. (2010): Benefits of carbon dioxide as pH reducer in chlorinated indoor swimming pools. *Chemosphere*, 80(4), 428–432. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2010.04.064.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20529696/>
- [7] Dickson, A. G.; Sabine, C. L.; Christian, J. R. (Eds.) (2007): Guide to Best Practices for Ocean CO₂ Measurements. PICES Special Publication No. 3; IOCCP Report No. 8. North Pacific Marine Science Organization (PICES), Sidney, British Columbia, 191 pp. DOI: 10.25607/OBP-1342.
<https://doi.org/10.25607/OBP-1342>
- [8] Wojtowicz, J. A. (1995): Swimming Pool Water Balance – Part 3: Factors Affecting Loss of Carbon Dioxide. *Journal of the Swimming Pool and Spa Industry*, 1(3), 19–26.
https://www.poolhelp.com/wp-content/uploads/2024/09/JSPSI_V1N3_pp19-26-1.pdf
- [9] Umweltbundesamt (UBA) (2013): Wasserqualität der Schwimm- und Badebecken. Umweltbundesamt, Deutschland.
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/schwimmen-baden/schwimm-badebecken/wasserqualitaet-der-schwimm-badebecken>
- [10] Pickens, S. R. (2019): Relative Effects of pH and Cyanurate on Disinfection. *Journal of the Swimming Pool and Spa Industry*, 6(1), 6–19.
<https://www.poolhelp.com/wp-content/uploads/2019/03/JSPSI-Volume-6-Number-1-pp-06-19-Pickins.pdf>
- [11] Falk, R. A.; Blatchley, E. R., III; Kuechler, T. C.; Meyer, E. M.; Pickens, S. R.; Suppes, L. M. (2019): Assessing the Impact of Cyanuric Acid on Bather's Risk of Gastrointestinal Illness at Swimming Pools. *Water*, 11(6), 1314. DOI: 10.3390/w11061314.
<https://www.mdpi.com/2073-4441/11/6/1314>
- [12] Informationsstelle Edelstahl Rostfrei (ISER) (2016): Merkblatt 831 – Edelstahl Rostfrei in Schwimmbädern. 3. überarbeitete Auflage, Düsseldorf, 11 S.
https://www.edelstahl-rostfrei.de/fileadmin/user_upload/ISER/downloads/MB_831_Schwimmba_776_der_Web.pdf
- [13] Heubner, U. (2012): Merkblatt 830 – Edelstahl Rostfrei in chloridhaltigen Wässern. 3. überarbeitete Auflage, Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, Düsseldorf, 16 S.
https://www.edelstahl-rostfrei.de/fileadmin/user_upload/ISER/downloads/MB_830_Web_01.pdf
- [14] Carlson, S.; Hässelbarth, U.; Mecke, P. (1968): Die Erfassung der desinfizierenden Wirkung gechlorter Schwimmbadwässer durch Bestimmung des Redoxpotentials. *Archiv für Hygiene und Bakteriologie*, 152(4), 306–320. PMID 4885847.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/4885847/>