

Wasseraufbereitung und automatische pH-Steuerung

Betriebsspezifikationen für Schwimmbecken mit Verkleidung aus natürlichem Kalkstein

1. Travertin und Wasser: eine natürliche Verbindung

Travertin entsteht im Wasser. Er bildet sich durch die Ablagerung von Kalkschichten in Quellen, die besonders reich an diesem Mineral sind. Wasser ist für den Travertin daher kein fremdes Element: es ist sein natürlicher Lebensraum, die Umgebung, in der er entstanden ist und in der er oft Jahrtausendlang ausgehalten hat.

Die Geschichte bestätigt diese Verbindung. Die antiken römischen Thermen wurden größtenteils aus Travertin errichtet. Berninis Barcaccia, der Vier-Ströme-Brunnen, der Trevi-Brunnen: alle Werke, die Wasser enthalten, aus dem Wasser hervorgehen, vom Wasser umspült werden. Die Thermalbäder von Saturnia und Rapolano, bis heute zugänglich, zeigen, dass dieser Stein in einer Zeitskala mit dem Wasser zusammenlebt, die das menschliche Maß übersteigt.

Wenn ein Kunde fragt, ob Travertin — oder Marmor, oder ein anderer Kalkstein — ein geeignetes Material für sein Schwimmbecken sei, lautet die Antwort eindeutig ja. Die erforderlichen technischen Vorkehrungen sind wenige und Teil einer normalen, fachgerechten Planung und Pflege jedes Natursteinbeckens.

Das Grundprinzip

Travertin hat, wie die meisten Marmore und Kalksteine, nur einen einzigen aggressiven Gegner: die Säure. Nicht die chemischen Pflegeprodukte, nicht das Chlor, nicht die Algizide — alle vertragen sich, bei richtiger Dosierung, einwandfrei mit dem Stein. Die einzige tatsächliche Bedrohung ist die Säure des Wassers, ob chronisch (langsame pH-Drift) oder akut (Stoßbehandlung mit Säure). Das gesamte vorliegende Dokument ist auf die Vorbeugung, Kontrolle und Neutralisierung dieser einzigen Variable ausgerichtet.

2. Die pH-Dynamik im Schwimmbecken

Zu verstehen, wie sich der pH-Wert in einem Schwimmbecken natürlicherweise verhält, ist die Voraussetzung dafür zu verstehen, warum das in diesem Dokument beschriebene automatische Steuerungssystem überhaupt existiert. Die folgende Schilderung gibt genau die Dynamik wieder, die in der Praxis beobachtet wird.

2.1 Der pH-Wert tendiert nach oben

In einem der Sonne ausgesetzten und von Badegästen genutzten Becken bleibt der pH-Wert nicht stabil. Er steigt aufgrund von zwei Faktoren:

- **Sonneneinwirkung:** die Sonnenstrahlung baut das freie Chlor im Wasser ab und verschiebt das Säure-Base-Gleichgewicht des Systems.

- **Organische Rückstände:** Schweiß, Sonnencremes, Blätter, Staub, Partikel, die durch Badegäste eingebracht werden. All dieses Material wird vom Chlor oxidiert, und der Prozess setzt basische Nebenprodukte frei, die den pH-Wert anheben.

Es handelt sich um eine physiologische Drift, in jedem Außenbecken unvermeidbar. Ohne kontinuierliche Korrekturmaßnahmen kann der pH-Wert innerhalb weniger Tage leicht über 8 steigen.

2.2 Bei zu hohem pH-Wert versagt die Chemie

Chlor und Algizide wirken nur innerhalb eines engen pH-Fensters (idealerweise 7,2–7,6). Oberhalb dieser Schwelle bricht ihre Desinfektionswirkung rasch ein: bei pH 8,0 verliert freies Chlor rund 70 % seiner Wirksamkeit gegenüber pH 7,2. Das Wasser, nun zu basisch, beginnt sich zu verschlechtern. Die vorhandenen Chemikalien können die Vermehrung von Algen und Bakterien nicht mehr kontrollieren, und in kurzer Zeit kippt das Wasser ins Grüne.

2.3 Die typische Reaktion: die Stoßbehandlung

Angesichts eines verschlechterten Wassers ist die verbreitete Praxis die sogenannte Stoßbehandlung (oder Schockbehandlung): eine massive, konzentrierte Säurezugabe, um den pH-Wert rasch auf Betriebswerte zurückzuführen, begleitet von einer Stoßchlorung. Der Effekt scheint zunächst genau der gewünschte zu sein: der pH-Wert sinkt, das Chlor wirkt wieder, das Wasser klärt sich innerhalb weniger Stunden.

Und genau hier wird der Stein beschädigt

Aus Sicht der Steinverkleidung ist die Stoßbehandlung das zerstörerischste Ereignis, das in einem Becken stattfinden kann. Eine massive Säuredosis, in ein relativ kleines Wasservolumen eingebracht, erzeugt — zumindest übergangsweise — örtlich stark saure Zonen mit pH-Werten unter 5, die das Calciumcarbonat des Steins direkt angreifen. Nicht das Routine-Beckenwasser zermalmt also den Travertin: es sind die reaktiven, konzentrierten, periodischen Korrekturen, zu denen man gezwungen wird, wenn die pH-Führung nicht kontinuierlich war.

2.4 Die doppelte Bedrohung: chronische Säuredrift

Es gibt auch ein zweites, entgegengesetztes und seltener auftretendes, aber ebenso schädliches Risiko: einen pH-Wert, der wegen schlecht kalibrierter Dosierung oder besonders weichen Leitungswassers dauerhaft unter 7,0 abdriftet. Es handelt sich nicht um einen Schock, sondern um eine langsame, kontinuierliche Erosion, die die Steinoberfläche Monat für Monat matt werden lässt — oft ohne dass es dem Besitzer auffällt, bis der Schaden makroskopisch ist.

Die Schlussfolgerung ist eindeutig: die Steinverkleidung wird geschützt, indem der pH-Wert kontinuierlich, innerhalb eines engen Fensters, vierundzwanzig Stunden am Tag stabil gehalten wird. Sie wird nicht durch nachträgliche Korrekturen geschützt.

3. Aufbau der Anlage

Die Anlage besteht aus sechs integrierten Teilsystemen. Die hydraulische Sequenz entspricht der typischen Zwangsumwälzung von Schwimmbädern, jedoch mit einem Automatisierungs- und Sicherheitsniveau, das speziell auf den Schutz der Steinverkleidung abgestimmt ist.

3.1 Hydraulischer Hauptkreis

- **Skimmer und Bodeneinläufe:** sammeln Oberflächenwasser (schwimmende Verunreinigungen) und Tiefenwasser (Sedimente). Anordnung so gewählt, dass Totzonen vermieden werden.
- **Umwälzpumpe:** drehzahl geregelt (Frequenzumrichter), dimensioniert für einen vollständigen Volumenaustausch alle 4–6 Stunden.
- **Korbvorfilter:** fängt grobe Schmutzteile ab, bevor sie die Pumpe erreichen.
- **Hauptfilter:** vorzugsweise aktiviertes Recyclingglas-Filtermedium (15 Mikrometer Feinheit) oder Diatomeenfilter. Beide effizienter als Quarzsand, mit reduziertem Chemieverbrauch.
- **Einlaufdüsen:** schwenkbar, so angeordnet, dass eine gleichmäßige rotierende Strömung entsteht, die thermische und chemische Schichtung verhindert.

3.2 Kontinuierliches Messsystem

Das Herzstück der automatischen Steuerung. Eine Analysezelle im Bypass des Rücklaufkreises (niemals im Vorlauf, um Fehlmessungen durch frisch dosierte Chemikalien zu vermeiden) beherbergt drei dauerhaft installierte Sonden:

- **pH-Sonde:** kombinierte Glaselektrode, Genauigkeit $\pm 0,01$ Einheiten, mit automatischer Temperaturkompensation.
- **Redox-Sonde (ORP):** misst das Redoxpotential in mV — indirekter Echtzeit-Indikator für die Desinfektionswirkung.
- **Temperatursonde:** PT100, erforderlich für die Kompensation der anderen Messwerte und für die Heizregelung.

Die Sonden übermitteln die Daten an ein programmierbares Steuergerät mit einer Abtastrate von mindestens einer Messung alle 30 Sekunden.

3.3 Dosiersystem

Zwei peristaltische oder Membranpumpen, vom Steuergerät geführt, entnehmen das Korrekturmittel aus den jeweiligen Vorratsbehältern und dosieren es in den Vorlaufkreis stromabwärts des Filters:

- **pH-minus-Pumpe:** dosiert das saure Korrekturmittel. Natriumhydrogensulfat ist gegenüber verdünnter Salzsäure zu bevorzugen, da es bei lokaler Diffusion weniger aggressiv ist und einen geringeren Punktipakt auf den Stein hat.
- **Desinfektionspumpe:** dosiert Natriumhypochlorit oder — die empfohlene Lösung — wird durch einen Salzelektrolyseur ersetzt (siehe Abschnitt 5).

Die Behälter sind mit Füllstandssensoren und Leerstandsalarman ausgestattet, um einen Trockenlauf der Pumpen zu verhindern.

3.4 Elektronisches Steuergerät

Mikroprozessorgesteuerte Einheit mit Display, WLAN- oder GSM-Anbindung und Fernzugriffs-App.
Wesentliche Funktionen:

- Gleichzeitige Erfassung von pH, ORP und Temperatur.
- Kontinuierlicher Abgleich mit den programmierten Sollwerten.
- Proportionale Ansteuerung der Dosierpumpen (PID-Algorithmus, kein einfaches Ein/Aus).
- Datenaufzeichnung der Messwerte für mindestens 12 Monate.
- Benachrichtigung des Betreibers im Anomaliefall.
- Automatische Dosiersperre bei fehlendem Durchfluss oder defekter Sonde.

4. Funktionsweise der automatischen pH-Steuerung

4.1 Grundprinzip: kontinuierliche Mikrodosierung statt Schütte

Die Betriebsphilosophie der Anlage besteht darin, das reaktive Management (periodische Stoßbehandlungen) durch ein präventives Management (kontinuierliche Kleinkorrekturen) zu ersetzen. Das Steuergerät, das den pH-Wert alle 30 Sekunden ausliest, greift ein, sobald es eine minimale Abweichung vom Sollwert feststellt. Die resultierende Dosis ist immer proportional und wird im Umwälzvolumen des Beckens sofort verdünnt, sodass die punktuellen Säurekonzentrationen, die für manuelle Behandlungen typisch sind, nie entstehen.

Daraus ergeben sich die beiden Vorteile, die die gesamte Investition rechtfertigen: der Stein erleidet nie lokale Säureangriffe, und das Wasser hält eine stabile Qualität, ohne Stoßkorrekturen zu erfordern.

4.2 PID-Regelung

Der Regelalgorithmus ist eine geschlossene PID-Regelung (Proportional-Integral-Differential). Drei Komponenten wirken zusammen:

- **Proportionalanteil:** dosiert das Korrekturmittel proportional zur Höhe der Abweichung vom Sollwert.
- **Integralanteil:** kompensiert langsame, systematische Driften.
- **Differentialanteil:** antizipiert den Eingriff auf Basis der Änderungsgeschwindigkeit des pH-Werts.

Ein einfacher Ein/Aus-Algorithmus (in Einsteigergeräten verbreitet) erzeugt Schwingungen und Überdosierungen und ist daher in Becken mit Steinverkleidung nicht zu empfehlen.

4.3 Sollwerte und Betriebsparameter

Das Steuergerät ist auf folgende Referenzwerte zu programmieren:

Parameter	Sollwert
pH	7,4 (Bereich 7,3–7,5)
pH-Totband	±0,05 Einheiten
ORP	650–720 mV
Wassertemperatur	26–28 °C (Privatschwimmbäder)
Gesamtalkalinität (TA)	80–120 ppm (wöchentliche Prüfung)
Calciumhärte	200–400 ppm (monatliche Prüfung)
Langelier-Sättigungsindex (LSI)	$-0,2 \leq \text{LSI} \leq +0,2$

Technischer Hinweis: der Sollwert von 7,4 liegt etwas höher als der übliche Wert herkömmlicher Bäder (7,2). Diese Wahl versetzt das Wasser in einen Bereich leichter Übersättigung in Bezug auf Calciumcarbonat und verlangsamt damit die Auflösung des Steins. Das geringe Risiko von Mikropräzipitationen ist dem Risiko einer Erosion deutlich vorzuziehen.

4.4 Sicherheitsverriegelungen und automatische Abschaltungen

Das Steuergerät muss die Dosierung selbstständig unterbrechen, wenn eine oder mehrere der folgenden Bedingungen vorliegen:

- Strömungswächter im Umwälzkreis meldet keinen Durchfluss.
- Sondenmesswert außerhalb des Plausibilitätsbereichs (pH < 6,5 oder > 8,5).
- Dauerdosierzeit überschreitet die programmierte Höchstdauer (typisch 15 Minuten).
- Leerstandsalarm am Vorratsbehälter des Korrekturmittels.
- Kommunikationsfehler zwischen Sonde und Steuergerät.

Jede Sperre löst eine Benachrichtigung des Betreibers aus und wird im Anlagenprotokoll registriert.

Warum die Sicherheitsverriegelungen unverzichtbar sind

Eine defekte pH-Sonde, die konstant einen überhöhten Wert ausgibt, kann das Steuergerät veranlassen, ohne Unterlass Säure zu dosieren. Ohne die beschriebenen Sperren kann der pH-Wert des Beckens innerhalb von Stunden unter 6 abstürzen — mit Folgen, die einer unkontrollierten Stoßbehandlung gleichkommen. Der daraus resultierende Schaden an der Verkleidung wäre irreversibel und nicht von der Garantie gedeckt.

5. Desinfektionssystem

Die Wahl des Desinfektionssystems hat einen unmittelbaren Einfluss auf die Lebensdauer der Verkleidung. PIETRE DI RAPOLANO® empfiehlt in folgender Präferenzreihenfolge:

5.1 Salzelektrolyse (empfohlene Lösung)

Eine Salzkonzentration (NaCl) von 3–5 g/l im Wasser wird durch eine Titanzelle elektrolytisch gespalten und erzeugt aktives Chlor kontinuierlich und unter Kontrolle. Vorteile bei Steinbecken: konstante Produktion mit geringer punktueller Belastung, keine chemischen Schütten durch manuelle Dosierung, Rückwandlung des Chlors in Salz nach der Desinfektionswirkung (geschlossener Kreislauf). Salzwasser bietet zudem einen besseren Komfort (weniger Reizung von Haut und Augen).

Das Steuergerät regelt die Zelle anhand des in Echtzeit erfassten ORP-Werts: fällt das Potential unter den Schwellenwert, wird die Chlorproduktion automatisch erhöht.

5.2 Ergänzende Systeme

- **UV-C-Lampe:** in Reihe im Rücklaufkreis installiert, reduziert die mikrobielle Restbelastung und erlaubt, den Chlorgehalt auf Minimalwerten (0,3–0,5 ppm) zu halten.
- **Ozongenerator:** Premium-Alternative, besonders geeignet für Hallenbecken oder gehobene Anlagen. Erfordert Kontaktkammer und Entgaser.

Strikt zu vermeiden: Langzeit-Tabletten aus Trichlor oder Dichlor in den Skimmern. Sie erzeugen lokal einen extrem sauren pH-Wert (3–4), der beim Vorbeifluss über die Steinoberfläche innerhalb weniger Monate eine konzentrierte und sichtbare Erosion verursacht. Ebenso zu vermeiden sind manuelle Stoßbehandlungen, aus den in Abschnitt 2 dargelegten Gründen.

6. Filtration und Umwälzung

Eine effiziente Filtration reduziert den Chemikalienbedarf, da saubereres Wasser weniger Desinfektionsmittel benötigt, um in der Hygieneklasse zu bleiben. In Steinbecken bedeutet dies geringere chemische Belastung der Verkleidung und höhere pH-Stabilität.

- **Filtergeschwindigkeit:** reduziert ($25\text{--}35\text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$), um die Rückhaltung feiner Feststoffe zu maximieren.
- **Filtermedium:** aktiviertes Recyclingglas, Feinheit 15 Mikrometer (gegenüber 30–40 Mikrometer bei Quarzsand).
- **Rückspülung:** automatisch, gesteuert über den Druckverlust, abgelesen an den Manometern am Filter-Ein- und -Ausgang.
- **Umwälzzeit:** mindestens ein Gesamtvolumen alle 4 Stunden in den Nutzungsmonaten; im Winter mit abgedecktem Becken Reduktion auf 8 Stunden möglich.

7. Überlaufbecken: zusätzliche Hinweise

Überlaufbecken — bei denen das Wasser über eine oder mehrere Seiten der Wanne in eine Sammelrinne überläuft und so einen kontinuierlichen Fluss entlang der Kante erzeugt — führen einen zweiten Belastungsfaktor für den Stein ein: die hydroabrasive Wirkung der Strömung. Auf einer

chemisch gut geschützten Oberfläche verursacht dieser Vorbeifluss keine nennenswerte Beeinträchtigung. Wenn das Wasser jedoch auch nur leicht sauer ist, kombinieren und verstärken sich die beiden Effekte gegenseitig: die Strömung legt kontinuierlich neue Oberfläche frei und beschleunigt so die Auflösung der Kante.

Die betriebliche Schlussfolgerung ist einfach: bei Überlaufbecken ist die automatische pH-Steuerung nicht empfohlen, sondern unverzichtbar. Das Toleranzband des Sollwerts sollte zudem auf $\pm 0,03$ Einheiten reduziert werden, und die Dosierung des Korrekturmittels sollte auf mehrere kleinere Einspritzungen über den Tag verteilt werden.

8. Wartung der Anlage

Täglich (automatisch):

- Prüfung der Parameter über Display oder Fern-App.
- Sichtung der Alarmbenachrichtigungen.

Wöchentlich (Betreiber):

- Manueller Abgleich von pH und Chlor mit kolorimetrischem Prüfset (Verifizierung der Sondenkalibrierung).
- Füllstandskontrolle der Korrekturmittelbehälter.
- Reinigung der Skimmer-Körbe und des Pumpen-Vorfilters.
- Messung von Gesamthärte und Calciumhärte.

Monatlich (Fachkraft):

- Kalibrierung der pH- und ORP-Sonden mit Pufferlösungen.
- Inspektion der peristaltischen Schläuche der Dosierpumpen (präventiver Austausch alle 12 Monate).
- Kontrolle der Elektrolysezelle (gegebenenfalls Entkalkung).
- Rückspülung des Filters.

Jährlich (geplante Inspektion):

- Ersatz der pH- und ORP-Elektroden (typische Lebensdauer 12–18 Monate).
- Vollständige Überholung von Pumpen, Ventilen und Strömungswächter.
- Prüfung der Dichtungen und des Zustands der Steinverkleidung.
- Erneuerung der hydro-oleophoben Schutzbehandlung auf dem Stein.

Telemetrie und Nachvollziehbarkeit

Alle vom Steuergerät aufgezeichneten Daten (pH, ORP, Temperatur, Dosierereignisse, Alarme) müssen gespeichert und exportierbar sein. Dieses Protokoll ist nicht nur ein Diagnoseinstrument: es ist die Dokumentation, die den ordnungsgemäßen Anlagenbetrieb belegt, und bei einer Reklamation über Mängel an der Verkleidung den objektiven Nachweis der Einhaltung der von PIETRE DI RAPOLANO® empfohlenen Parameter darstellt.

9. Normative und technische Referenzen

- DIN 19643 — Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser (Deutschland / EU-Referenz).
- UNI 10637 — Anforderungen an die Qualität von Schwimmbeckenwasser (Italien).
- Staat-Regionen-Vereinbarung 16/01/2003 — Hygiene- und Gesundheitsanforderungen für den Bau, die Wartung und die Überwachung von Schwimmbecken zum Schwimmgebrauch (Italien).
- Langelier-Sättigungsindex (W.F. Langelier, 1936) — Referenzmodell für das Calcium-Carbonat-Gleichgewicht.

PIETRE DI RAPOLANO® — Begleitendes technisches Dokument

Die in diesem Dokument enthaltenen Spezifikationen stellen eine technische Empfehlung für den ordnungsgemäßen Betrieb von Schwimmbecken dar, die mit von PIETRE DI RAPOLANO® gelieferten Naturstein-Materialien verkleidet sind. Die Einhaltung dieser Spezifikationen ist Bedingung für die Gültigkeit der Gewährleistung auf die Verkleidung.