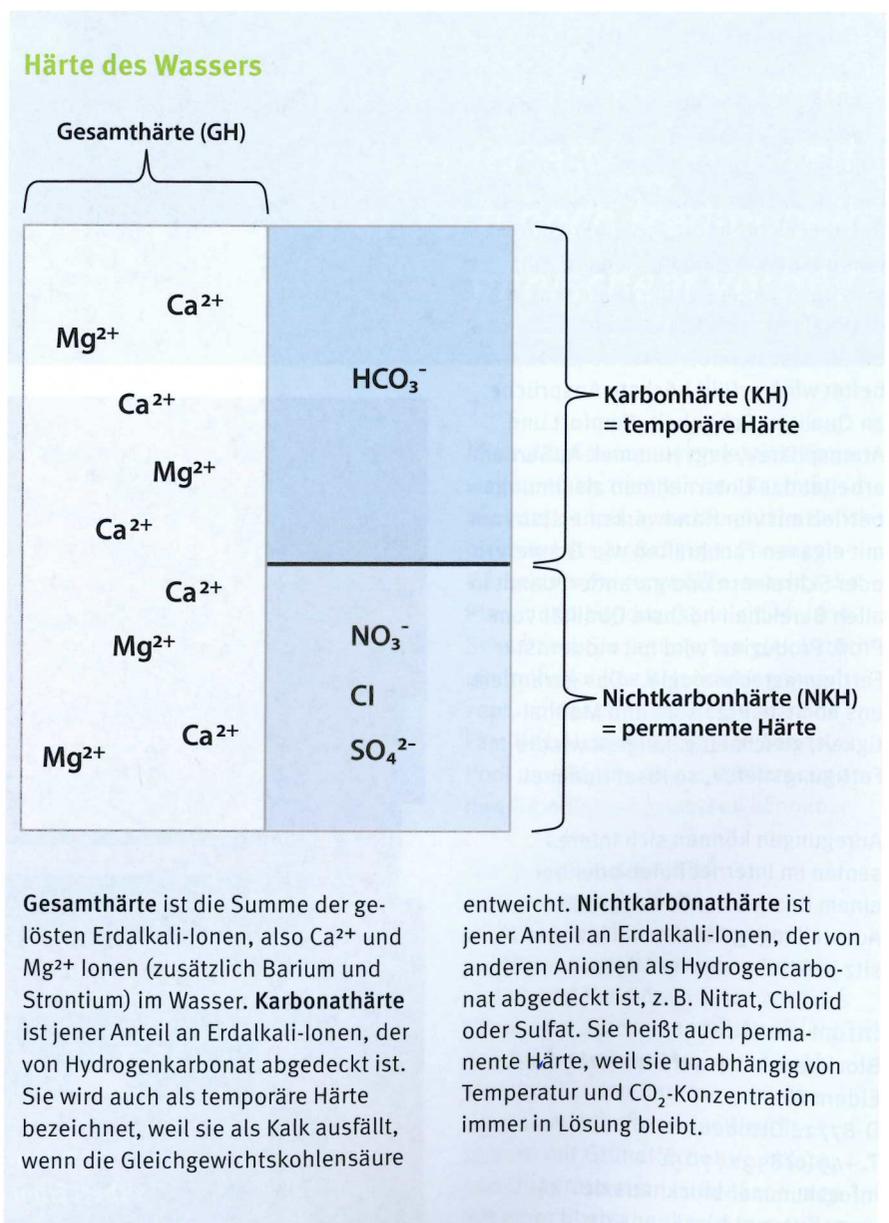


# Das Kalk-Kohlensäuresystem im Wasser

*Ob Trinkwasser im Leitungssystem, Meerwasser oder Süßwasser in Flüssen und Seen – das Kalk-Kohlensäuresystem hat durch sein Streben nach Gleichgewicht mannigfaltige Auswirkungen, auch in Schwimmteich und Naturpool. Peter Petrich gibt einen Überblick.*

Wie kommt der Kalk ins Wasser? Das Regenwasser ist kalkfrei, es steht mit der Atmosphäre im Gasgleichgewicht und enthält dabei 0,5–1,0 mg/l  $\text{CO}_2$ . Wenn der Regen auf die Erde fällt, durchsickert er den Boden. Dort ist die  $\text{CO}_2$ -Konzentration aufgrund der Wurzel- und Bakterienatmung circa fünfzigmal höher als in der Atmosphäre. Daher löst sich das Kohlenstoffdioxid, die Konzentration steigt im Sickerwasser auf 10–20 mg/l und es wird kalkaggressiv. Wenn es anschließend durch Kalkstein sickert, löst es Kalk und es entsteht Kalziumhydrogenkarbonat  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Das ist die Karbonathärte. Es bleibt ein wenig Kohlendioxid in Lösung, die sogenannte Gleichgewichtskohlensäure. So entsteht ein Gleichgewicht zwischen gelöstem Kalk und Kohlensäure, das Wasser befindet sich im Kalk-Kohlensäuregleichgewicht. Wenn dieses harte Wasser in einen See einsickert, verändern sich die äußeren Bedingungen. Das Wasser erwärmt sich, wodurch überschüssige Kohlensäure in die Atmosphäre ausgast. Damit das Gleichgewicht zwischen Hydrogenkarbonat und Kohlensäure erhalten bleibt, bzw. wieder entstehen kann, fällt Kalk aus. Dieser Prozess kann durch biologische Prozesse beschleunigt werden, wenn z. B. Algen oder Wasserpflanzen im Zuge der Assimilation  $\text{CO}_2$  aus dem Wasser aufnehmen (biogene Entkalkung).



Das Phänomen des ausfallenden Kalkes ist in natürlichen Seen oder auch in neu angelegten Schwimmteichen gut zu erkennen. Der Kalk fällt in Form von mikroskopisch kleinen Kalzit-Kristallen aus, die sich am Boden absetzen. Das führt in frisch befüllten Schwimmteichen kurzfristig zu türkisblauer Wasserfarbe. Bei diesem Kalkfällungsprozess wird auch eventuell vorhandenes Phosphat sehr effizient als Kalziumphosphat  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  (Apatit) ausgefällt. Das führt dazu, dass Schwimmteiche, dessen Füllwasser hart sind und viel Phosphat enthalten, bei der Erstfüllung zunächst geringes Algenwachstum aufweisen und scheinbar gut funktionieren – solange der Fällungsprozess anhält.

### Das Kalk-Kohlensäuresystem als Puffer

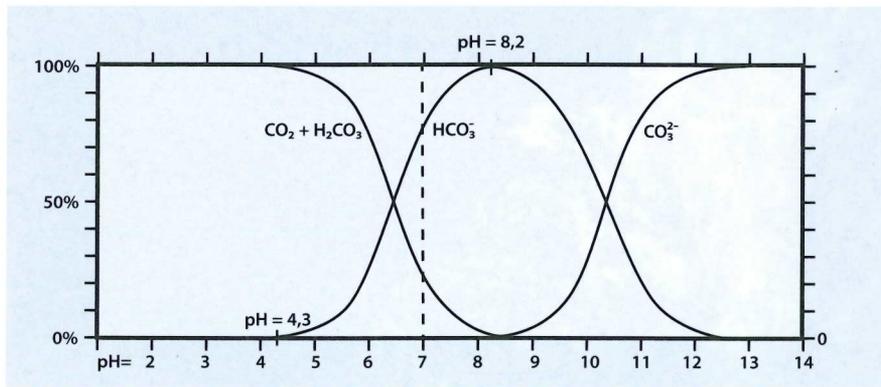
Das Puffervermögen des Wassers ist die Fähigkeit, Säure oder Base in einer bestimmten Menge aufzunehmen, ohne dass sich der pH-Wert wesentlich verschiebt. Das Karbonatsystem bedingt mit seinen Salzen das Puffervermögen. Gibt man eine Säure zu einem gepufferten Wasser, so werden zunächst die  $\text{H}^+$ -Ionen vom Hydrogencarbonat



▲ *Das Brunnenmoos Fontinalis gab dem Wasserpflanzentyp, der ausschließlich  $\text{CO}_2$  assimilieren kann, seinen Namen.*

*Das Phänomen des ausfallenden Kalkes, der durch die Kalzit-Kristalle eine türkisblaue Wasserfarbe erzeugt, ist z. B. beim Grünen See am Fuß des Hochschwab gut zu sehen.* ▼





▲ Abb. 1: Anteile von  $CO_2$ ,  $HCO_3^-$  und  $CO_3^{2-}$  in Abhängigkeit.

an. Man erkennt, dass bei pH 6,5 die Anteile an  $CO_2$  und  $HCO_3^-$  gleich groß sind, deshalb ist hier die Pufferkapazität in beide Richtungen betrachtet am höchsten. Sie versagt bei der Zugabe von Säuren im sauren Bereich, da unter pH 5 fast kein Hydrogenkarbonat mehr vorhanden ist. Sie versagt ebenso bei der Zugabe von Laugen im stark alkalischen Bereich, da oberhalb von pH 8 kein Kohlendioxid mehr im Wasser vorkommt.

Wichtig zu wissen ist, dass der Anteil der verschiedenen anorganischen Kohlenstoffverbindungen den pH-Wert bedingt und nicht umgekehrt. Der pH-Wert wird deshalb auch als Reaktionszahl bezeichnet. Wenn sie z. B. zu 25 Prozent als  $CO_2$  und 75 Prozent als  $HCO_3^-$  vorliegen ist der pH-Wert bei sieben, wird  $CO_2$  zugeführt, ändern sich die Anteile und somit auch der pH-Wert.

### Assimilaton und pH-Wert

Kohlenstoff ist mit einem Anteil von ca. 47 Prozent an der pflanzlichen Trockenmasse der wichtigste Nährstoff. Da die Landpflanzen diesen aus der Luft aufnehmen, er also nicht zusätzlich gedüngt werden muss, ist es nicht im allgemeinen Bewusstsein. Im Wasser von Schwimmteichen ist die  $CO_2$ -Konzentration sehr gering und nach Verbrauch kommt es nur sehr langsam nach, da die Diffusionsgeschwindigkeit von Gasen im Wasser im Vergleich zur Luft 10 000 mal langsamer ist. Das der Kohlenstoff bzw. das Kohlendioxid zum Mangelfaktor werden kann, zeigt der Verlauf des pH-Wertes in einem Teich während eines Tages. Der pH-Wert ist im Wasser in der Früh am niedrigsten und steigt am Vormittag an, weil er vom Anteil der anorganischen Kohlenstoffverbindungen abhängt und weil Kohlendioxid von den Pflanzen durch Assimilation aufgenommen wird; dadurch nimmt der  $CO_2$ -Anteil ab und der pH-Wert steigt.

Der pH-Wert muss direkt am Teich gemessen werden, weil er sich beim Transport ins Labor sehr schnell verändern kann. Außerdem ist es wichtig, die Zeit der Messung festzuhalten, denn je nach Tageszeit ist ein und derselbe Wert sehr unterschiedlich zu interpretieren.

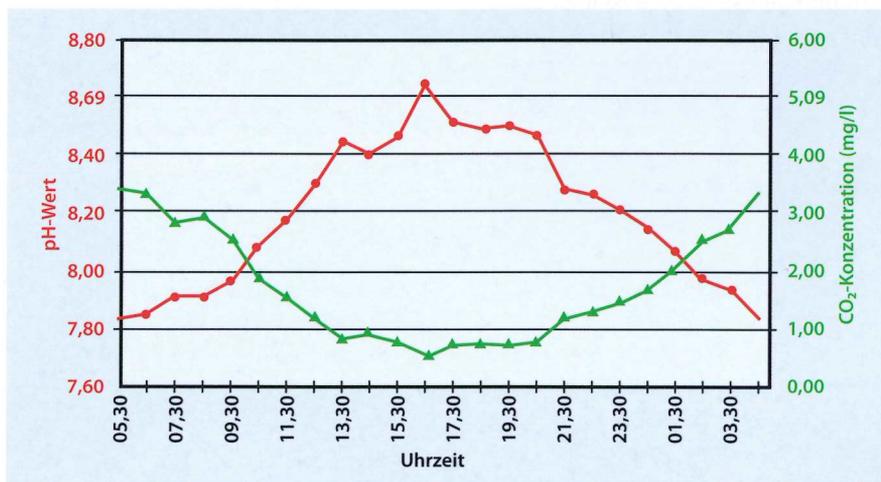
gebunden. Es entsteht Kohlensäure, die zum größten Teil in Kohlendioxid\* und Wasser zerfällt. Der restliche Anteil der Kohlensäure dissoziiert sehr schwach, so dass sich die  $H^+$ -Ionenkonzentration nur geringfügig erhöht. Der pH-Wert bleibt somit annähernd konstant. Gibt man Lauge ins Wasser, so werden die  $OH^-$ -Ionen sofort vom Kohlendioxid gebunden und es wird Hydrogenkarbonat gebildet. Der Verlust an Kohlendioxid wirkt sich nur geringfügig auf den Gehalt an Kohlensäure ( $H^+$ -Ionenkonzentration) aus. Der pH-Wert steigt nur schwach an.

Grundsätzlich gilt, je höher die Karbonathärte ist, desto höher ist das Puffervermögen des Wassers. Je mehr Hydrogenkarbonat im Wasser enthalten ist, desto mehr freie  $H^+$ -Ionen können abgefangen werden. Diese Eigenschaft des Hydrogenkarbonats wird als Säurebindungsvermögen (SBV) bezeichnet.

Das Diagramm (Abb. 1) zeigt, wie groß die Anteile von  $CO_2$ ,  $HCO_3^-$  und  $CO_3^{2-}$  beim jeweiligen pH-Wert sind. Unter pH 4,3 ist der gesamte anorganische Kohlenstoff als  $CO_2$  gelöst, je höher der pH-Wert liegt, desto geringer wird der  $CO_2$ -Anteil und desto höher der  $HCO_3^-$  Anteil. Bei pH 8,2 ist der gesamte anorganische Kohlenstoff als  $HCO_3^-$  gelöst. Wenn der pH-Wert noch höher ansteigt, sinkt auch der  $HCO_3^-$  Anteil und der Karbonatanteil ( $CO_3^{2-}$ ) steigt entsprechend

**\*Formeln**  
 $HCO_3^- + H^+ \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow CO_2 + H_2O$   
 $CO_2 + OH^- \rightarrow HCO_3^-$

▼ Abb. 2: Tagesgang des pH-Wertes und der  $CO_2$ -Konzentration in einem Teich





### Bedeutung für die Pflanzen

Bezogen auf die Kohlenstoffassimilation werden drei Typen von Wasserpflanzen unterschieden. Der Fontinalis-Typ ist nach dem Brunnenmoos *Fontinalis* benannt. Die Wasserpflanzen dieses Typs können nur  $\text{CO}_2$  assimilieren. Der Elodea-Typ ist nach der Wasserpest *Elodea* benannt. Alle Pflanzen dieses Typs können sowohl  $\text{CO}_2$  als auch Hydrogencarbonat  $\text{HCO}_3$  assimilieren. Für die Verwertung des Hydrogencarbonats benötigen sie jedoch fünfmal soviel Energie wie für Kohlendioxid. Die meisten Wasserpflanzen gehören diesem Kohlenstoffernährungstyp an. Der Dritte ist der Scenedesmus-Typ, benannt nach der Grünalge *Scenedesmus*. Pflanzen dieses Typs assimilieren vorwiegend Hydrogencarbonat.



Die Wasserpest *Elodea* ist für die Gruppe der Wasserpflanzen namensgebend, die sowohl  $\text{CO}_2$  als auch  $\text{HCO}_3$  assimilieren können.

An der Abbildung 1 ist zu erkennen, dass der *Fontinalis*-Typ, der nur  $\text{CO}_2$  verarbeiten kann, nur bis zu einem pH-Wert von 8,5 assimilieren kann. Liegt der pH-Wert höher, verhungert die Pflanze förmlich. Der *Elodea*-Typ kann in dem Milieu existieren, aber die Assimilation ist sehr energieaufwendig.

Das bedeutet für die Praxis, dass für ein gutes Wasserpflanzenwachstum ausreichend Kohlendioxid vorhanden sein muss, was am pH-Wert zu erkennen ist.

Eutrophierungsprozesse können auch zum Ausfall von Pflanzenarten führen, indem z. B. Phosphor ins Wasser gelangt, was eine erhöhte Assimilation und  $\text{CO}_2$ -Aufnahme zur Folge hat, woraufhin der pH-Wert steigt. Empfindliche Arten des *Fontinalis*-Typs (z. B. *Myriophyllum verticillatum*) können nicht mehr assimilieren und fallen aus.



Der *Scenedesmus*-Typ assimiliert vorwiegend Hydrogencarbonat und ist nach der gleichnamigen Grünalge benannt.

### Nicht nur bei der Pflanzenauswahl auf Nummer sicher gehen

Das Computerprogramm Pond Analyst hilft, die Wasseranalyse zu verstehen und die richtigen Schlüsse daraus zu ziehen. Die Werte aus dem Labor werden eingegeben und das Programm gibt eine entsprechende Interpretation mit Einschätzungen und Empfehlungen aus. Je umfangreicher die Laborergebnisse, desto tiefergreifender die Interpretation des Programms. Ist z. B. eine Verbesserung der Karbonathärte angezeigt, empfiehlt das Programm nicht nur das Karbonatprodukt, sondern errechnet auch dessen genaue Dosierung. Gleiches gilt für Nährstoffe wie Nitrat und Phosphor.

Aus der Analyse des Füllwassers kann mit einem Knopfdruck eine Liste empfohlener Pflanzenarten erstellt werden, die auch der geografischen Lage des Schwimmteichs angepasst ist. Weitere Informationen unter [www.pondanalyst.com](http://www.pondanalyst.com).

### Zum Autor

Peter Petrich ist Geschäftsführer der Biotop Landschaftsgestaltung GmbH und Inhaber der Marken »Swimming-Teich« und »Living-Pool«. Über Partnerfirmen werden diese Produkte weltweit erfolgreich realisiert. Er hat an der Universität für Bodenkultur in Wien Landschaftsökologie und Landschaftsgestaltung studiert.

