©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

Wissenschaft

Österreichs Fischerei Jahrgang 44/1991 Seite 49–64

Kurt Bauer

Zur Bedeutung der Kohlensäure in Karpfenteichen

Extrem hohe pH-Werte während der Vegetationsperiode führen in einer Vielzahl von Karpfenteichen zu einer Schädigung der Fische und zu entsprechenden wirtschaftlichen Verlusten. Derartige pH-Werte treten auf, obwohl in den Teichen ein Säurebindungsvermögen (SBV) gemessen wird, das nach der klassischen Lehre der Karpfenteichwirtschaft den pH-Wert auf wesentlich niedrigere Werte begrenzen müßte. Die einschlägige Literatur stellt die chemischen und biologischen Zusammenhänge im Karpfenteich, insbesondere die Rolle der Kohlensäure, in der Regel mißverständlich, z. T. sogar unrichtig dar. Außerdem erzwingen neue wissenschaftliche Erkenntnisse über die Nutzbarkeit der verschiedenen Kohlensäureformen sowie über den Vorgang der »biogenen Entkalkung« ein Umdenken in einigen Kapiteln der Limnologie von Karpfenteichen. Diese Zusammenhänge sollen im Folgenden dargestellt werden. Insbesondere soll die zentrale Rolle der Kohlensäure und ihrer Verfügbarkeit im Teich aufgezeigt werden.

Mangelnde Verfügbarkeit an freier Kohlensäure für die Photosynthese führt zur Fehlentwicklung im Teich.

Die unmittelbare Ursache der eingangs genannten hohen pH-Werte ist die Photosynthese von Schwebalgen und Wasserpflanzen. Photosynthese ist als Grundlage der Produktion erwünscht und wird durch »Düngung« gefördert. Gerät hierbei jedoch die Nährstoff-Versorgung aus der Balance, sodaß Kohlenstoff im Vergleich zu den Phosphor- und Stickstoff-Vorräten zum Mangelfaktor wird, dann wird das Wasser durch Kohlensäuremangel basisch. Kohlenstoff als Mangelfaktor bedeutet dabei nicht unbedingt, daß das Wachstum der Algen durch den Kohlensäuremangel mengenmäßig besonders eingeschränkt wäre. Vielmehr wachsen u. U. unter dem Einfluß überschüssigen Phosphors jene Algenarten in einer konkurrenzlosen Massenentwicklung, die auf eine Nutzung des schwerer verwertbaren Hydrogencarbonates spezialisiert sind und die eine besonders dramatische Steigerung des pH-Wertes herbeiführen. Maßnahmen, welche eine solche Fehlentwicklung des Teiches verhindern oder bekämpfen sollen, zielen darauf ab, neben der Vermeidung von Phosphor-Überschüssen vor allem die Verfügbarkeit ausreichender Mengen an freier Kohlensäure zur Zeit des Bedarfes sicherzustellen.

Phosphor verursacht einen mehr als hundertfachen Bedarf an Kohlenstoff.

Ein »Kohlensäure-Mangel« ist im Zusammenhang mit den anderen Düngestoffen zu sehen. Aus anorganischen Düngesalzen soll in einem klassischen Karpfenteich Fischmasse erzeugt werden. Dies wird vermittelt durch die pflanzliche Urproduktion an Biomasse, welche über die Nahrungskette schließlich zu Fischmasse umgewandelt wird.
Eine chemische Analyse der Lebewesen eines Teiches ergibt folgende durchschnittliche Zusammensetzung aus den wichtigsten chemischen Elementen (Uhlmann 1988):

$$C_{106}H_{180}O_{45}N_{16}P_1 = \text{BIOMASSE}$$

Das bedeutet, daß neben den Bestandteilen des Wassers, also Wasserstoff und Sauerstoff, die sog. Nährstoff-Elemente in einem chemischen Mengenverhältnis

Phosphor (P) : Stickstoff (N) : Kohlenstoff (C) = 1 : 16 : 106

verfügbar sein müssen, wenn nicht einer davon zum begrenzenden Faktor der Produktion werden soll.
Um die chemischen Mengenverhältnisse der Nährstoff-Elemente zu veranschaulichen, sind in der Abbildung 1 die Aufwandmengen der Düngesubstanzen, des Wassers und der Kohlensäure zusam-

©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

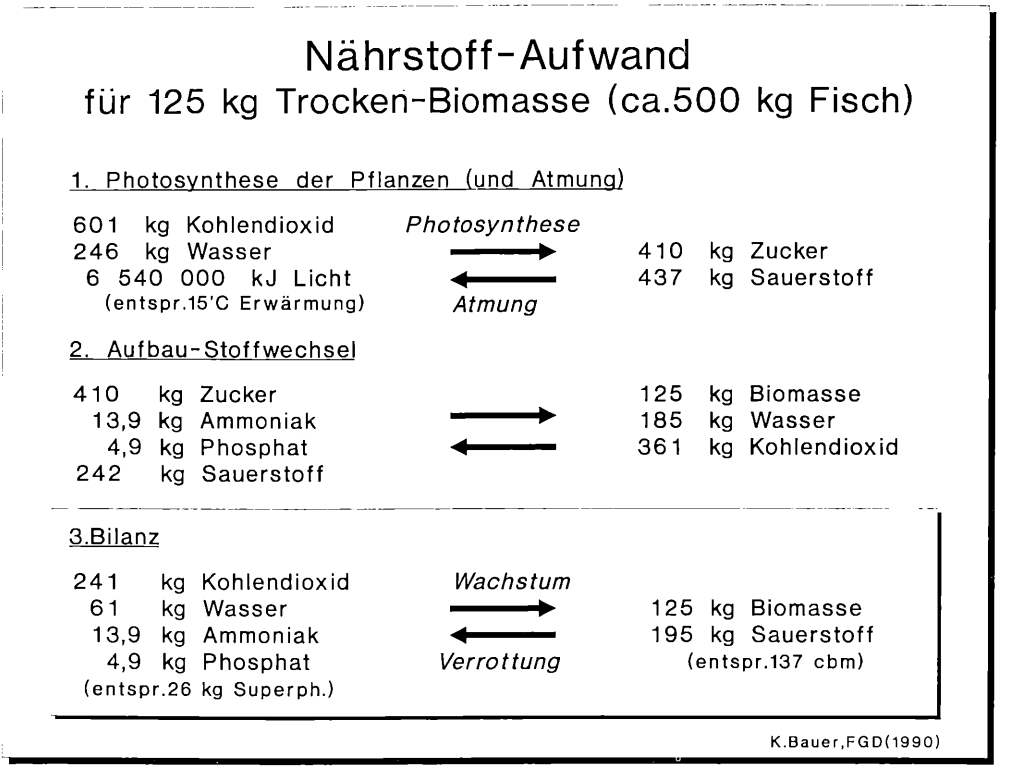

Abb.1: »Nährstoff-Aufwand für 125 kg Trocken-Biomasse (ca. 500 kg Fisch)«. Zunächst wird bei der Photosynthese aus Wasser und Kohlendioxid Zucker gebildet und Sauerstoff freigesetzt. Im Aufbau-Stoffwechsel bilden die Pflanzen daraus die komplizierteren Verbindungen der »Biomasse«, wozu sie auch Stickstoff (als Ammonium oder Nitrat) und Phosphor benötigen. Ein Großteil des Zuckers wird dabei wieder als Energiespender veratmet.

mengestellt, die für eine Hektarproduktion von 500 kg Fisch nötig sind. Dabei sind nur diejenigen Mengen berücksichtigt, die im Fisch selbst verbleiben. Verluste als Schlamm oder über den Abfluß verursachen einen höheren Aufwand. Man vergleiche dennoch den Bedarf an Phosphat in Form von 26 kg Superphosphat mit den in der AID-Broschüre Nr. 359 empfohlenen Menge von 300 kg Superphosphat (Jahn, v. Lukowicz, Wurzel, 1979).

Die harmloseste Folge eines Ungleichgewichtes der Nährstoffe wäre eine begrenzte Produktion mit ungenutzten Überresten der anderen Nährstoffe. Dies ist jedoch nur bei Phosphor-Begrenzung so. Bei Stickstoff-Begrenzung treten dagegen Blaualgen in größerer Menge auf, welche den gasförmigen Stickstoff nutzen können. Sie sind jedoch in der Fischproduktion vor allem deshalb problematisch, weil eine Reihe von Blaualgen-Arten zu geschmacklichen Beeinträchtigungen der Fische führen. Eine begrenzte Verfügbarkeit an Kohlenstoff schließlich führt immer zu hohen pH-Werten.

In natürlichen Gewässern ist Phosphor aufgrund seiner chemischen Eigenschaften fast immer der Mangelfaktor. Seine Verfügbarkeit begrenzt, trotz seines geringen Bedarfsanteils, die Produktion. Karpfenteiche sind dagegen durch absichtliche Düngung oder durch hochbelastete Wasserversorgung häufig in der Situation eines Phosphor-Überschusses, sodaß in der Regel Kohlensäure zum Mangelfaktor wird. Dieses Problem ist in der teichwirtschaftlichen Literatur im Prinzip erkannt. Verschiedenartige Darlegungen über Kalk und SBV zielen auf die Lösung dieses Problemes ab. Sie sind jedoch leider meist fehlerhaft.

©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

Algen und Pflanzen können nur freie Kohlensäure und Hydrogencarbonat als Kohlenstoff-Quellen nutzen. Aber besonders die Verwertung von Hydrogencarbonat führt zu extremen pH-Werten im Wasser.

Kohlensäure liegt im Wasser prinzipiell in vier verschiedenen Formen vor, deren Beziehung in Abbildung 2 dargestellt ist. Es sind dies:

1. gelöstes Kohlendioxid-Gas (CO_2),
2. Kohlensäure im engeren Sinn (H_2CO_3), nach Verbindung des CO_2 mit Wasser,
3. das Hydrogencarbonat-Ion (HCO_3^-, auch Bicarbonat oder halbgebundene Kohlensäure genannt), nach Abspaltung eines Wasserstoff-Ions (H^+) vom Kohlensäure-Molekül, und schließlich
4. das Carbonat-Ion (CO_3^{--}, auch Monocarbonat oder doppelt gebundene Kohlensäure genannt), nach Abspaltung eines weiteren Wasserstoff-Ions aus dem Hydrogencarbonat-Ion.

Abbildung 2 zeigt, in welchem naturgesetzlichen Zusammenhang der pH-Wert des Wassers und die relativen Konzentrationsanteile der *gelösten* Kohlensäure-Formen zueinander stehen. Dabei werden meist CO_2und H_2CO_3 wegen ihres nahezu gleichbleibenden Verhältnisses (ca. 650 : 1) als »freie Kohlensäure« zusammengefaßt. Diese Abbildung sagt nichts über die absoluten Mengen gelöster Kohlensäure aus, weil sich diese durch Atmung und Photosynthese sowie durch Fällung oder Auflösung von Kalk oder Dolomit verändern können.

Für alle Schwebalgen und Wasserpflanzen ist freie Kohlensäure ohne besonderen Aufwand verwertbar. Ihre elektrisch nicht geladenen Teilchen können frei durch die Zellwand diffundieren. Nur ein spezialisierter Teil der Algen und Pflanzen besitzt dagegen einen Mechanismus, um auch Hydrogencarbonat-Ionen aufnehmen zu können. Der Aufwand besteht darin, die elektrisch negativ geladenen und deshalb nicht frei diffundierenden Hydrogencarbonat-Ionen gezielt aufzunehmen, und zwar im Austausch gegen ein anderes negativ geladenes Ion, nämlich das Hydroxyl-Ion (OH^-) (Kohl, Nicklisch, 1988). Dieser Austausch ist notwendig, um das elektrische Ladungsgleichgewicht zu erhalten, um also zu verhindern, daß sich die Algen elektrisch negativ aufladen.

Wird freie Kohlensäure durch Photosynthese verbraucht, verringert sich ihr verhältnismäßiger Anteil im Vergleich zum Hydrogencarbonat. Wie aus Abbildung 2 zu erkennen ist, führt dies zu einem höheren pH-Wert. Wird dagegen Hydrogencarbonat genutzt, so wird, wie gezeigt, von den Algen oder Pflanzen im Austausch gegen eine bestimmte Menge Hydrogencarbonat-Ionen eine entsprechende Menge Hydroxyl-Ionen freigesetzt. Diese entziehen wiederum einer weiteren entsprechenden Menge von Hydrogencarbonat-Ionen je ein Wasserstoff-Ion, sodaß daraus die entsprechende Menge an Carbonat-Ionen entsteht. Damit steht nun der doppelt verminderten Menge an gelösten Hydrogencarbonat-Ionen eine einfach erhöhte Menge an Carbonat-Ionen gegenüber. Wie Abbildung 2 zeigt, ist eine deutliche pH-Steigerung die bekannte und in der Praxis immer wieder gemessene Folge. (Auf eine Fällung der Carbonat-Ionen und Calcium-Ionen als ungelöstes Calciumcarbonat, die daraufhin langsam in Gang kommt, muß später eingegangen werden.)

Nach dem Stand der botanischen Wissenschaft ist eine Nutzung von Carbonat durch pflanzliche Wasserorganismen nicht möglich. Schäperclaus (1961) schloß auf eine derartige Nutzung aus den starken pH-Erhöhungen bei der Photosynthese von Elodea. Da er die Kohlensäure-Formen als molekulare Calciumverbindungen (»verschiedene Kalkarten«) schrieb, erlag er dem Irrtum, die basische Reaktion des Wassers müsse auf die Bildung von Calciumhydroxid aus der letzten nicht basischen Kalkart, dem Calciumcarbonat, zurückgehen. Diese trügerische Denkweise in einer vermeintlichen Abfolge von Kalkarten führt in der Literatur sogar dazu, daß manche Autoren im Teich durch pflanzliche Tätigkeit Branntkalk entstehen lassen (Klee 1985, Reichle 1989, Klee 1990).

Wie schon Pia (1933) unter Bezugnahme auf Schäperclaus eindringlich mahnt, sollte man es deshalb prinzipiell vermeiden, gelösten kohlensauren Kalk als $CaCO_3$ zu schreiben. Diese Schreibweise steht immer für eine ungelöste und deshalb nicht in die Ionen aufgespaltene Verbindung (Kalkstein, Kesselstein, Seekreide, Marmor etc.) Geht kohlensauerer Kalk in Lösung, bilden sich elektrisch positiv geladene Teilchen des Calciums, also Ca^{++}-Ionen, und elektrisch negativ geladene Carbonat-Ionen, CO_3^{--} Unabhängig von den Calcium-Ionen verhalten sich die Carbonat-Ionen als freie Teilnehmer am Gleichgewichtssystem der Kohlensäure-Formen. Darüber hinaus existiert eine Substanz »Calciumhydrogencarbonat« mit der Formel »Ca $(HCO_3)_2$« überhaupt nicht, weder gelöst noch als Feststoff. Das Hydrogencarbonat liegt immer in Form von Hydrogencarbonat-Ionen HCO_3^- frei im Wasser vor, unabhängig davon, ob eine entsprechende (»äquivalente«) Menge Calcium-Ionen, Magnesium-Ionen oder andere elektrisch positive Ionen im Wasser vorhanden sind und als elektrischer Ladungsausgleich dienen.

©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

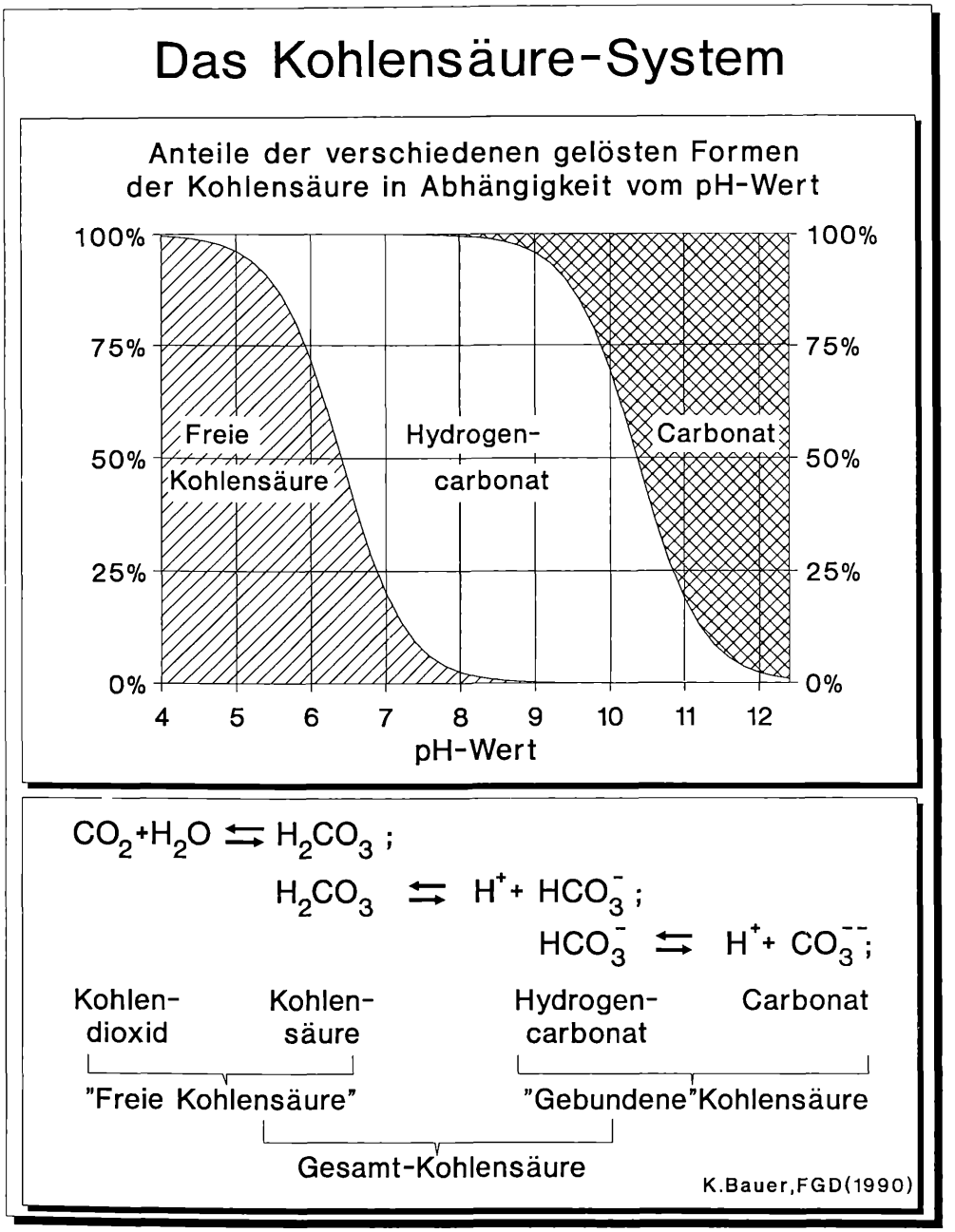

Abb. 2: »Das Kohlensäure-System«. Der obere Teil zeigt den Anteil, den die einzelnen Kohlensäure-Formen in Abhängigkeit vom pH-Wert an der Summe der **gelösten** Kohlensäure-Formen haben. Umgekehrt kann bei bekanntem Verhältnis der Kohlensäure-Formen abgelesen werden, welcher pH-Wert herrscht. (Grafik berechnet nach DIN 38 404 für 15°C und eine elektrische Leitfähigkeit von 160μS/cm bei 25°C Bezugstemperatur).

©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

Die nutzbaren Anteile der gelösten Kohlensäure im Wasser stammen aus der Atmung von Organismen, jedoch nicht aus der Luft und nicht aus den Carbonaten des Bodens.

Für die nutzbare Kohlensäure im Teich werden stets *irrtümlich* zwei Quellen genannt: der Kohlendioxidgehalt der Luft und der Carbonatgehalt des kalk- oder dolomithaltigen Bodens. In *Wahrheit* ist fast ausschließlich die aus der Veratmung von organischem Material stammende Kohlensäure die Quelle der freien Kohlensäure und auch die Quelle der nutzbaren Hälfte des Hydrogencarbonates. Die Luft enthält nur 0,03% ihres Volumens an Kohlendioxid. Obwohl sich Kohlendioxid im Wasser sehr viel besser löst als die anderen Luftgase, hat dieser geringe Gehalt in der Luft zur Folge, daß sich

bei	0	10	20	30	°C
nur	1	0,67	0,5	0,33	mg/l

an freier Kohlensäure im Wasser bei intensivem Kontakt mit Luft lösen. Jede darüber hinaus gehende Konzentration an gelöster freier Kohlensäure kann nur durch die Veratmung von biologischer Substanz im Wasser entstehen.

Die Quelle all dieser biologischen Substanz ist letztlich die Photosynthese der Landpflanzen. Diese können auf 1 m² Standfläche mit ca. 10–15 m² Laubfläche den geringen Kohlensäure-Gehalt aus der sich stetig erneuernden Luft einfangen. Für das Teichwasser stellt dagegen die geringe Wasseroberfläche einen Engpaß zum Luftraum dar, durch den der Kohlensäurebedarf der Unterwasserpflanzen und Algen nicht entfernt gedeckt werden könnte. Den Landpflanzen muß man deshalb nur Phosphor und Stickstoff als Dünger bieten. Die Pflanzen unter Wasser sind dagegen auch auf eine Versorgung mit Kohlensäure angewiesen.

Über die biologischen Nahrungsketten gelangt ein großer Teil der von den Landpflanzen gebildeten Biomasse als abbaufähiges Material auf den Boden und wird dort von den Mikroorganismen mineralisiert, also u. a. zu Kohlensäure veratmet. Regenwasser nimmt erst dort nennenswerte Kohlensäure-Mengen auf. Zugleich wird organisches Material in die Gewässer geschwemmt und setzt dort ebenfalls durch Veratmung seinen Kohlensäure-Gehalt frei.

Der Hydrogencarbonat-Gehalt des Wassers entsteht, wenn kohlensaurer Kalk oder Dolomit, je nach dem geologischen Untergrund, aus dem Boden gelöst werden, und zwar unter Einwirkung von Wasser, in welchem eine hinreichende Menge Kohlensäure gelöst ist. Die *Erläuterung: »Kalk-Gleichgewicht«* enthält eine Beschreibung der Lösung von Kalk in kohlensaurem Wasser.

Eine Kalkauflösung in größerem Umfang ist nur möglich, wenn eine Säure, in der Regel die freie Kohlensäure aus der Atmung, die benötigten Wasserstoff-Ionen liefert. Hierdurch können die (zunächst nur in verschwindenden Mengen) gelösten Carbonat-Ionen zu Hydrogencarbonat-Ionen umgewandelt werden. Nur dann können weitere Carbonat-Ionen aus dem kalk- oder dolomithaltigen Boden in Lösung gehen. Die freie Kohlensäure selbst wandelt sich durch diese Abspaltung von Wasserstoff-Ionen in Hydrogencarbonat-Ionen um, und zwar in gleicher Menge, wie Hydrogencarbonat-Ionen aus den Carbonat-Ionen des gelösten Bodengesteins gebildet wurden.

Im Wasser als »Säurebindungsvermögen« (SBV) gemessenes Hydrogencarbonat stammt also je zur Hälfte aus Atmungskohlensäure und aus dem Carbonat-Gehalt des Bodens. Bei der Photosynthese ist ebenfalls nur die Hälfte des Hydrogencarbonates nutzbar, die andere Hälfte wird dabei zu Carbonat umgewandelt und fällt letztlich als kohlensaurer Kalk wieder aus.

Das SBV ist kein Maß für den Kalkgehalt des Wassers.

Die Erläuterung: *»Was ist das SBV?«* stellt dar, wie das SBV gemessen wird und was es bedeutet. Es gehört zu den am meisten mißverstandenen Größen in der Teichwirtschaftslehre.

Der Meßwert des SBV sagt nicht automatisch auch etwas über die vorhandenen Konzentrationen an Calcium-, Magnesium- oder anderen positiv geladenen Ionen aus. In Gegenden mit Kalkböden (z. B. Jura) kann man meist davon ausgehen, daß, entsprechend dem Lösungsvorgang des Kalkgesteines, mit den Hydrogencarbonat-Ionen auch eine äquivalente Menge Calcium-Ionen in Lösung vorhanden ist. In Dolomit-Gegenden, wozu ein großer Teil der »Kalk«-Alpen und ihr Vorland gehören, liegen stattdessen zu etwa gleichen Teilen Calcium- und Magnesium-Ionen vor. In sulfathaltigen Wässern schließlich kann wesentlich mehr Calcium (gelöster Gips) enthalten sein, als nach dem SBV zu erwarten wäre. Schließlich soll noch darauf hingewiesen werden, daß es auch in Mitteleuropa Sodagewässer gibt, z. B. um den Neusiedler See, in denen Natrium mehr oder weniger weitgehend die Stelle von Calcium einnimmt.

©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

Erläuterung:

Das Kalk-Gleichgewicht

Unter dem Kalk-Gleichgewicht versteht man das Zusammenspiel zwischen der Löslichkeit von kohlensaurem Kalk in Wasser und dem Mengengleichgewicht der Kohlensäure-Formen.

Löslichkeitsprodukt: Kohlensauerer Kalk $CaCO_3$ löst sich in reinem Wasser nur in geringen Konzentrationen. Nach dem chemischen »Massen-Wirkungsgesetz« steht eine wäßrige Lösung, die Calcium-Ionen Ca^{++} und Carbonat-Ionen CO_3^{--} enthält, dann mit ungelöstem Calciumcarbonat in einem Mengengleichgewicht, wenn die Konzentrationen $[Ca^{++}]$ bzw. $[CO_3^{--}]$ beider Ionen miteinander multipliziert den Wert K_L ergeben, das sog. Löslichkeits-Produkt. Dieser Wert ist von der Temperatur abhängig. Er errechnet sich nach DIN 38404 bei 20°C zu $10^{-8,39}$ (Mol^2/l^2).

$$CaCO_3(fest) \rightleftharpoons Ca^{++} + CO_3^{--}; \quad (1) \quad [Ca^{++}]*[CO_3^{--}] = K_L;$$

Auflösen des Kalkes: Die aus kohlensaurem Kalk in Lösung gegangenen Carbonat-Ionen beteiligen sich am Gleichgewichts-System der gelösten Kohlensäure-Formen. Bei Aufnahme von Wasserstoff-Ionen H^+ wandeln sie sich in Hydrogencarbonat-Ionen HCO_3^- um:

$$CO_3^{--} + H^+ \rightleftharpoons HCO_3^-; \quad (2)$$

Diese Wasserstoff-Ionen entstehen bei der Umwandlung von freier Kohlensäure in Hydrogencarbonat-Ionen:

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO_3^- + H^+; \quad (3)$$

Gleiche Mengen Hydrogencarbonat-Ionen entstehen also gleichzeitig aus 1. Carbonat-Ionen und 2. freier Kohlensäure.

In der Summe ergibt sich folgende Reaktionsgleichung:

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \rightleftharpoons Ca^{++} + CO_3^{--} + H_2CO_3 \rightleftharpoons Ca^{++} + 2\,HCO_3^-;$$

Es geht nun so lange kohlensauerer Kalk in Lösung, wie genügend Wasserstoff-Ionen aus der freien Kohlensäure zur Verfügung stehen, um Carbonat-Ionen in Hydrogencarbonat-Ionen umzuwandeln und sie somit aus dem Lösungsgleichgewicht (1) zu entziehen. Je zwei entstandenen Hydrogencarbonat-Ionen steht in Lösung ein Calcium-Ion gegenüber.

Das Gleichgewicht: Während der Auflösung von kohlensaurem Kalk nimmt die Konzentration der Hydrogencarbonat-Ionen zu und die der freien Kohlensäure nimmt ab. Damit steigt der pH-Wert und der Anteil an Carbonat-Ionen im Gleichgewicht der Kohlensäure-Formen. Zugleich nimmt auch die Konzentration der Calcium-Ionen zu. Erreichen Calcium- und Carbonat-Ionen gerade das Löslichkeitsprodukt K_L, so endet die Auflösung von Kalk. Der nun herrschende pH-Wert wird als »Gleichgewichts-pH« bezeichnet. Die verbleibende Konzentration an freier Kohlensäure erhält die Bezeichnung »zugehörige Kohlensäure« (Abbildung 4). Diese Werte hängen von der hierbei aufgebauten Konzentration an Hydrogencarbonat-Ionen ab, meßbar als SBV.

»Überschüssige« Kohlensäure: Ist ein Wasser nicht »im Gleichgewicht«, sondern enthält mehr freie Kolensäure, so wird die zusätzliche Menge als »überschüssige Kohlensäure« bezeichnet. Damit könnte zusätzlich kohlensauerer Kalk gelöst werden. Den Teil der überschüssigen Kohlensäure, der hierbei zu Hydrogencarbonat umgewandelt würde, bezeichnet man als »(kalk-)aggressive« Kohlensäure. Bei den unterschiedenen Teilbeträgen der freien Kohlensäure handelt es sich chemisch um die gleiche Substanz. Für Fische, Pflanzen und Algen sind sie nicht unterscheidbar.

Biogene Entkalkung: Wird freie Kohlensäure aus dem Mengenbereich der zugehörigen Kohlensäure verbraucht, dann ist das Wasser mit kohlensaurem Kalk »übersättigt«. Daraufhin kommt es zu der vergleichsweise langsamen »biogenen Entkalkung«, also der Ausfällung des überschüssigen kohlensaueren Kalkes. Da hierbei Carbonat-Ionen aus dem Reaktionsgleichgewicht (2) ausscheiden, werden sie aus Hydrogencarbonat-Ionen nachgebildet, wobei diese Wasserstoff-Ionen abgeben, die eine ebenso große Menge Hydrogencarbonat-Ionen in freie Kohlensäure umwandeln. Die Fällung endet, wenn ein neues Gleichgewicht mit vermindertem SBV erreicht ist.

Gleiche Mengen Hydrogencarbonat-Ionen werden also gleichzeitig umgewandelt in 1. Carbonat, das ausfällt, und 2. freie Kohlensäure

©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

Erläuterung:

Was ist das SBV?

Grundlage: Das Salzsäure-Bindungs-Vermögen (SBV) ist ein Labor-Meßwert, der in chemischen Maßeinheiten angibt, wieviel Salzsäure in einem Liter einer Wasserprobe gebunden wird, bis der pH-Wert auf den Wert 4,3 vermindert ist. Der Zielwert pH 4,3 ergibt sich, weil mit dem SBV gelöste Formen der Kohlensäure gemessen werden sollen. Man geht davon aus, daß in natürlichem Wasser keine anderen Substanzen vorhanden sind, die Salzsäure in merklichem Umfang binden.

Interpretation: Liegt der pH-Wert der Wasserprobe unter 8,2, so liegen hauptsächlich freie Kohlensäure und Hydrogencarbonat-Ionen in Lösung vor. Bei Zugabe von Wasserstoff-Ionen in Form von Salzsäure reagieren diese größtenteils mit den Hydrogencarbonat-Ionen zu freier Kohlensäure. Bei pH 4,3 sind fast alle Hydrogencarbonat-Ionen umgewandelt und die verbrauchte Menge Salzsäure entspricht weitgehend der ursprünglichen Menge an Hydrogencarbonat-Ionen.

Liegt der pH-Wert ursprünglich über 8,2, so liegen hauptsächlich Hydrogencarbonat-Ionen und Carbonat-Ionen nebeneinander vor. Wasserstoff-Ionen der Salzsäure wandeln dann zuerst Carbonat-Ionen in Hydrogencarbonat-Ionen um, bis pH 8,2 erreicht ist. Bei weiterer Zugabe von Salzsäure werden die ursprünglichen und die soeben neu gebildeten Hydrogencarbonat-Ionen in freie Kohlensäure umgewandelt, bis pH 4,3 erreicht ist. Ein »SBV bis pH 8,2« gibt dann Auskunft über die Konzentration der Carbonat-Ionen in der Probe. Da Carbonat-Ionen die doppelte Menge an Salzsäure verbrauchen, um in freie Kohlensäure umgewandelt zu werden, muß dieser Carbonat-Wert doppelt vom »normalen« SBV (bis pH 4,3) abgezogen werden, um die Konzentration der Hydrogencarbonat-Ionen zu erhalten.

Störungen der Messung: Im Wasser kommen zusätzlich andere Puffersysteme vor, wie z. B. Silikate, Phosphate, Ammoniak und organische Verbindungen mit Säure- oder Basecharakter. Diese können ebenfalls Salzsäure »binden« und zum SBV beitragen. Soweit sie mit anderen Methoden meßbar sind, muß ihr Einfluß beim Rückschluß auf Kohlensäure berücksichtigt werden. Meistens sind diese Störungen vernachlässigbar. Nach der Ausbringung von Branntkalk kann auch die Kalklauge selbst Salzsäure binden. Eine sehr wichtige Störung liegt in der häufigen Anwesenheit von fein verteiltem kohlensaurem Kalk, der oft nicht einmal abfiltriert werden kann. Unter dem Einfluß der Salzsäure löst er sich auf und täuscht ein zusätzliches SBV vor.

Fehlinterpretationen: In der Fischerei wird das SBV häufig mit dem Kalkgehalt gleichgesetzt. Dies ist nur in seltenen Fällen zutreffend. In Dolomitwässern ist die Hälfte des erwarteten Calciums durch Magnesium ersetzt. Überhöhte Calciumgehalte treten dagegen in Gipswässern auf. In bestimmten Gegenden gibt es Sodawässer, die fast keinen Calciumgehalt aufweisen. Eine andere Fehlinterpretation betrifft den Begriff »Puffer«. Gegenüber der Salzsäure und anderen Säuren und Laugen ist das SBV ein Puffer. Kohlensäure und Hydrogencarbonat sind dagegen Bestandteile (Komponenten) des Puffers, durch deren Zufuhr oder Entzug sich der pH-Wert neu einstellt. Diese pH-Bewegungen sind unabhängig vom SBV immer gleich groß, finden aber in einem umso höheren pH-Bereich statt, je höher das SBV ist!

In selteneren Fällen kommt es vor, daß neben dem System der Kohlensäure-Formen andere Puffersysteme z. B. der Phosphorsäure oder der Kieselsäure sowie Huminsäuren und andere, z. B. von absterbenden Organismen freigesetzte, organische Substanzen sowie Ammoniak und Amine einen Teil des SBV-Meßwertes erzeugen.

Das SBV liefert bei Photosynthese keine freie Kohlensäure nach.

Häufig wird die Meinung vertreten, das »SBV« liefere freie Kohlensäure direkt nach, wenn infolge Photosynthese freie Kohlensäure aus dem Gleichgewicht entzogen wird. Wie aus Abbildung 2 erkennbar, müßte aber je ein Hydrogencarbonat-Ion mit einem Wasserstoff-Ion reagieren, um ein

©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

Molekül der freien Kohlensäure zu bilden. Die Konzentration an Hydrogencarbonat-Ionen entspricht weitgehend dem SBV und liegt in der Größenordnung von »1 mval/l«, das entspricht 10^{-3}Mol/l. Um hieraus freie Kohlensäure zu gewinnen, sind eben so viele Wasserstoff-Ionen notwendig, also ca. 10^{-3}Mol/l. Wir wissen aber, daß z. B. bei pH 7 nur 10^{-7}Mol/l Wasserstoff-Ionen vorhanden sind (siehe *Erläuterung: »Was ist der pH-Wert«*), also nur etwa der 10000ste Teil von 10^{-3}Mol/l. Ohne eine zusätzliche Quelle von Wasserstoff-Ionen bleiben also die Mengen an freier Kohlensäure und Hydrogencarbonat beinahe unverändert. Sie bleiben so, wie die biologischen Prozesse, bei denen freie Kohlensäure erzeugt oder verbraucht wird, sie einstellen.

Die Ausfällung von kohlensaurem Kalk, die sog. »biogene Entkalkung«, könnte freie Kohlensäure liefern. Diese Reaktion ist jedoch langsam und wird durch das organische Material im Teichwasser zusätzlich stark behindert.

Schäperclaus (1961) schreibt, *»daß das Kohlensäurereservoir um so größer ist, je größer die vorhandenen Mengen an Ca $(HCO_3)_2$ und je größer das SBV ist. Die Kohlensäure kann also – entgegen früheren Anschauungen – nie ins Minimum geraten, solange ein hinreichendes SBV (Salzsäu-*

Erläuterung:

Was ist der pH-Wert?

Der pH-Wert ist eine Maßzahl der Konzentration an Wasserstoff-Ionen

Der pH-Wert gibt die Konzentration der Wasserstoff-Ionen H^+ im Wasser an. Auf welche Weise, das soll die Tabelle zeigen:

Konzentration der Wasserstoff-Ionen H^+ in Mol/l			
als Dezimalzahl	als Bruchzahl	als Zehnerpotenz	als pH-Wert
10	10/1	10^1	–1
1	1/1	10^0	0
0,1	1/10	10^{-1}	1
0,01	1/100	10^{-2}	2
0,001 (=1 mmol/l)	1/1000	10^{-3}	3
0,000 001	1/1000 000	10^{-6}	6
0,000 000 1	1/10 000 000	10^{-7}	7
usw.			

Die Maßeinheit »Mol« leitet sich vom Molekulargewicht ab und entspricht für Wasserstoff-Ionen einem Gramm, da deren Molekulargewicht per Definition 1,0 ist. Ein Millimol ist ein Tausendstel Mol (1 mmol = 0,001 Mol).

Der pH-Wert einer Wasserprobe gibt an, wieviel mal eine Säure, die 1 Mol/l Wasserstoff-Ionen enthält, im Verhältnis 1 10 zu verdünnen ist, um die gleiche Konzentration an Wasserstoff-Ionen wie in der Probe zu erhalten. Es handelt sich also um eine logarithmische Skala. Für den praktischen Umgang ergibt sich dazu eine einfache Regel: eine Steigerung des pH-Wertes um eine ganze Einheit entspricht einer Abnahme der Konzentration der Wasserstoff-Ionen auf ein Zehntel und eine Abnahme des pH-Wertes um eine ganze Einheit bedeutet eine Zunahme der Wasserstoff-Ionen auf das 10fache. Ferner entspricht eine Steigerung bzw. Senkung des pH-Wertes um 0,3 Einheiten fast genau einer Halbierung bzw. Verdoppelung der Konzentration an Wasserstoff-Ionen.

Auf der pH-Skala gilt der Wert pH 7 als Neutralpunkt. Destilliertes Wasser zeigt eine geringfügige Aufspaltung in Wasserstoff-Ionen und Hydroxyl-Ionen (OH^-), sodaß pH 7 herrscht, also 0,0001 mmol/l an Wasserstoff-Ionen vorliegen. Dieser Neutralpunkt darf in natürlichen Gewässern nicht als Normalwert und als der für die Fische günstigste pH-Wert mißverstanden werden.

©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

rebindungsvermögen), beruhend auf Ca $(HCO_3)_2$ und gelöstem $CaCO_3$ und gekennzeichnet durch nicht zu hohe pH-Werte, vorhanden ist.« Er nimmt damit Bezug

1. auf die Nutzbarkeit von Bicarbonat und, wie er irrtümlich annimmt, von Carbonat für die Pflanzen und Algen sowie
2. sehr wahrscheinlich – seine Herleitung ist nicht klar – auf den Mechanismus der »biogenen Entkalkung«, den er hinsichtlich seiner Kohlensäure liefernden Wirkung jedoch nicht näher beschreibt.

Schäperclaus (1961) macht die Nutzbarkeit des Kohlensäure-Vorrates eindeutig von der gleichzeitigen Anwesenheit gelösten Calciums abhängig. Tatsächlich können Calcium- und Magnesium-Ionen durch die Ausfällung schwerlöslicher Carbonate in die Freisetzung von freier Kohlensäure eingreifen, wie dies den Natrium-Ionen in einem Soda-Gewässer nicht möglich ist.

Die Ausfällung von kohlensaurem Kalk, also die sogenannte biogene Entkalkung, ist im Prinzip die Umkehrung der in der *Erläuterung: »Kalk-Gleichgewicht«* formulierten Auflösung des kohlensauren Kalkes. Wenn in einem Calcium-haltigen Wasser durch Photosynthese der pH-Wert steigt, so wird hierbei in einem nach Abbildung 2 erkennbaren Maß der Anteil der Carbonat-Ionen erhöht durch Umwandlung von Hydrogencarbonat-Ionen. Dabei kann die Konzentration der Carbonat-Ionen höher werden, als bei der vorhandenen Konzentration an Calcium-Ionen auf Dauer in Lösung bleiben kann. Es entsteht eine sog. übersättigte Lösung, aus der allmählich Calciumcarbonat auszufallen beginnt.

Die Konzentration der Carbonat-Ionen nimmt durch die Ausfällung ständig ab, sodaß Hydrogencarbonat-Ionen nachdissoziieren. Sie spalten dabei Wasserstoff-Ionen ab, welche zum größten Teil mit weiteren Hydrogencarbonat-Ionen zu freier Kohlensäure reagieren. Der Vorrat an Hydrogencarbonat-Ionen wird also zu einer Hälfte in freie Kohlensäure und zur anderen Hälfte in Carbonat umgewandelt und das Carbonat fällt ständig mit Calcium zusammen als kohlensaurer Kalk aus. Dieser Vorgang endet, wenn der um äquivalente Teile verminderte Calcium- und Hydrogencarbonat-Vorrat, die gebildete freie Kohlensäure und der hierbei wieder gesenkte pH-Wert einem neuen Zustand von »Kalk-Gleichgewicht« entsprechen.

Würde dieser Vorgang mit der gleichen Geschwindigkeit ablaufen, die wir von den Gleichgewichts-Reaktionen zwischen den Formen der Kohlensäure gewöhnt sind, dann könnte man nach dem SBV eines reinen Kalkgewässers (d. h. in welchem nur Calcium-Ionen entsprechend den Hydrogencarbonat-Ionen, jedoch keine Magnesium- etc. Ionen enthalten sind) dessen höchstmöglichen pH-Wert aus den bekannten Gleichgewichts-Tabellen und -Grafiken ablesen. Immer, wenn durch Photosynthese freie Kohlensäure aus dem Gleichgewicht entzogen würde, käme es sofort zu einer Entkalkung. Sie würde zwar das SBV entsprechend senken, der pH-Wert könnte jedoch nur langsam steigen und es würde dabei ständig Kohlensäure freigesetzt.

Wie die Praxis zeigt, werden jedoch die Grenzen des Kalk-Gleichgewichtes an Sonnentagen fast immer überschritten. In nährstoffreichen Karpfenteichen werden fast regelmäßig hohe pH-Werte gemessen, die bei dem jeweils gemessenen SBV nicht auftreten dürften. Hierfür sind zwei Gründe verantwortlich:

Der erste Grund liegt in einer Unzulänglichkeit der Messung. Wir messen als SBV gegebenenfalls auch Calciumcarbonat, das bereits aus der Lösung auskristallisiert ist, jedoch noch feinst verteilt im Wasser schwebt. Bei der SBV-Messung löst es sich unter dem Einfluß der Salzsäure hinreichend rasch und umso besser wieder auf, je kleiner seine Kristalle noch sind. Gelegentlich bemerkt man bei der SBV-Messung eine etwas »zähe« Reaktion des pH-Wertes während der Zugabe der Salzsäure. Dann kann man mit Sicherheit davon ausgehen, daß mikrokristalliner Kalk mitgemessen wird, der gelöste Formen der Kohlensäure vortäuscht (Roßknecht 1976, 1977, 1980).

Der entscheidende Grund für die regelmäßig über das theoretische Gleichgewichts-Niveau steigenden pH-Werte ist jedoch, daß die Reaktion der Kalkfällung sehr langsam abläuft. In einem »sauberen« Wasser dauert es annähernd einen Tag, bis sich nach der Entstehung einer Kalk-Übersättigung das neue Gleichgewicht einstellt. Darüber hinaus konnte aber am Bodensee gezeigt werden, daß organisches Material die Einstellung des neuen Kalkgleichgewichtes auf bis zu zwei Wochen verlangsamen kann (Kleiner 1989). In Karpfenteichen ist aufgrund des hohen Gehaltes an organischem Material mit einer noch wesentlich stärkeren Verzögerung der biogenen Entkalkung zu rechnen.

Die Ursache der Verzögerungen bei der Ausfällung von Kalk konnte im Raster-Elektronenmikroskop gezeigt werden. Die Oberflächen feinster Kalkkristalle, die als Ansatzpunkte für den Fortgang der Kalkfällung wirken sollten, belegen sich mit organischen Partikeln. Daneben spielen auch

©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

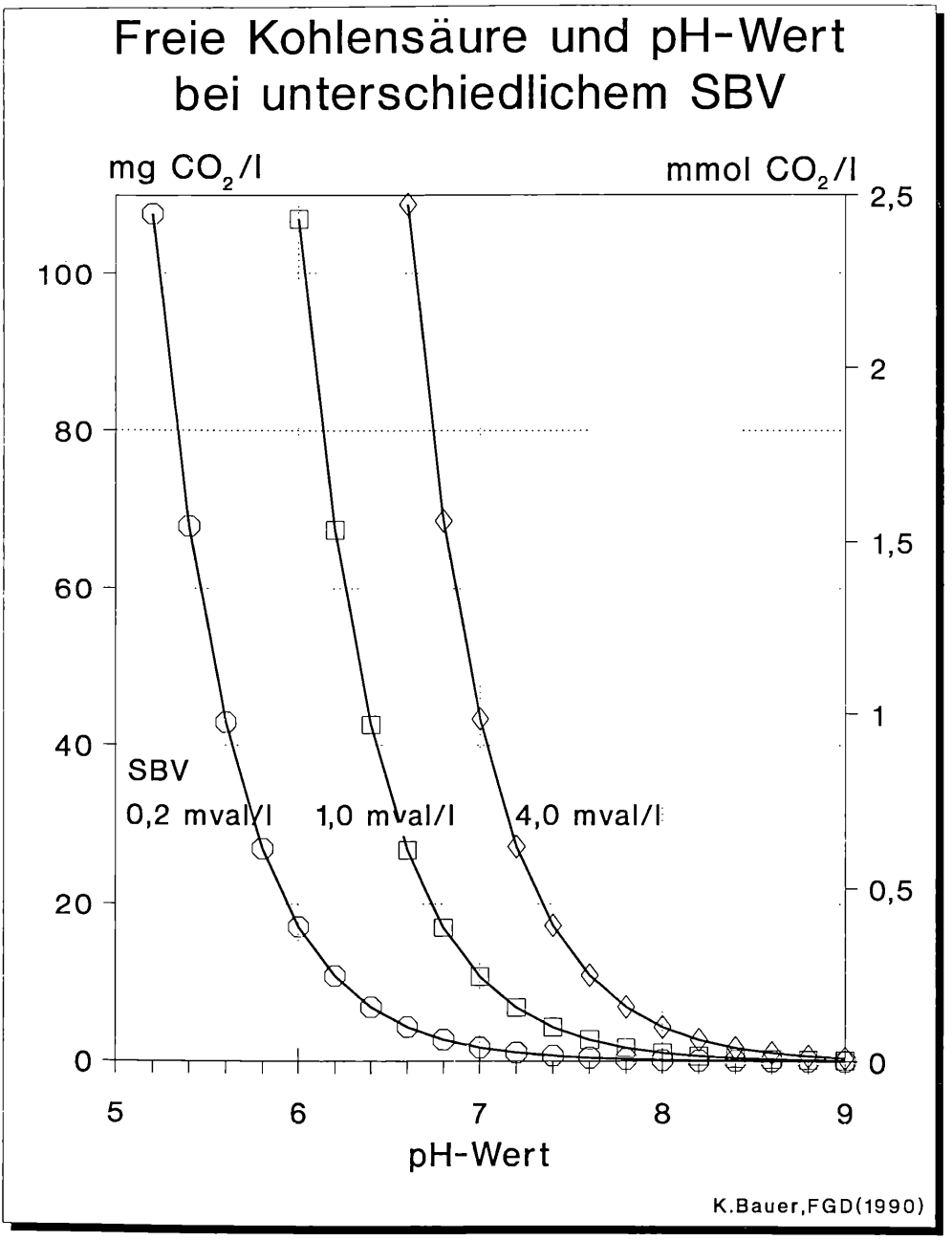

Abb. 3: »Freie Kohlensäure und pH-Wert bei unterschiedlichem SBV«. Jeder Linienzug setzt einen bestimmten Gehalt an Hydrogencarbonat-Ionen (SBV in mval/l) voraus. Der Gehalt des Wassers an freier Kohlensäure ist in Abhängigkeit vom pH-Wert aufgetragen (Skalen in mg/l und mmol/l). Die drei Kurven für sehr unterschiedliche SBV sind nur längs der pH-Skala versetzt. Gleiche Änderungen des Kohlensäure-Gehaltes bewirken gleich große Änderungen des pH-Wertes. Der pH-Wert selbst ist umso höher, je höher das SBV ist.

©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

gelöste organische Moleküle eine Rolle, die als sog. Chelatbildner das Calcium zum Teil »maskieren« und so von der Kalkfällung ausschließen können.

Das SBV puffert nicht die durch Verbrauch und Erzeugung von Kohlensäure verursachten Schwankungen des pH-Wertes.

Es trifft nicht zu, daß die pH-Steigerungen, die durch den photosynthetischen Verbrauch an freier Kohlensäure verursacht werden, um so geringer sind, je größer das als SBV gemessene »Puffervermögen« ist. Atmung und Photosynthese verändern lediglich das Verhältnis der beiden »Pufferkomponenten«, also der Konzentrationen von Hydrogencarbonat-Ionen und freier Kohlensäure. Damit wird der pH-Wert »eingestellt«. Die Photosynthese kann dieses Puffersystem jedoch nicht in seiner Eigenschaft nutzen, pH-Bewegungen zu dämpfen. Diese Eigenschaft zeigen Puffer nur gegenüber der Zufuhr von Wasserstoff-Ionen bzw. Hydroxyl-Ionen durch andere als die am Puffersystem beteiligten Säuren bzw. Laugen.

Abbildung 3 zeigt für verschiedene Werte des SBV den Zusammenhang zwischen pH-Wert und Gehalt an freier Kohlensäure. Die untereinander deckungsgleichen Kurvenzüge sind rein aus dem Gleichgewicht der Kohlensäure-Formen errechnet, ohne Berücksichtigung der Kalkfällung. Es ist zu erkennen, daß die gleiche Veränderung des Gehaltes an freier Kohlensäure auch immer eine gleich große Änderung des pH-Wertes verursacht. Keineswegs sind also diese pH-Änderungen bei höherem SBV geringer. Sie bewegen sich lediglich in einem höheren (!) pH-Bereich. Im sehr weichen Wasser der Mittelgebirge ist der pH-Wert selbst bei geringen Gehalten an freier Kohlensäure für die Fische zu niedrig. Der Aufbau eines SBV von wenigstens ca. 1 mval/l positioniert die pH-Bewegungen in einen günstigen Bereich.

Bei allen Maßnahmen gegen zu hohe pH-Werte im Teich geht es darum, den Kohlensäurebedarf und die verfügbare Menge an freier Kohlensäure aufeinander abzustimmen.

Wir haben gezeigt, daß es in Karpfenteichen, besonders unter dem Einfluß gesteigerter Phosphorgehalte, leicht zu einem Mangel an freier Kohlensäure kommen kann und daß gefährlich erhöhte pH-Werte die Folge sind. Wir haben ferner gezeigt, daß der Kohlensäure-Eintrag aus der Luft keine Rolle spielt und daß das SBV die rettende Rolle aus mehreren Gründen nicht spielen kann, die ihm in der derzeit geltenden Lehrmeinung zugesprochen wird. Wir haben schließlich gezeigt, daß alle im Teich verwertbare Kohlensäure über die Veratmung von organischem Material in das Wasser gelangen mußte.

Alle Maßnahmen gegen hohe pH-Werte in Karpfenteichen haben deshalb etwas damit zu tun, den aktuellen Bedarf an freier Kohlensäure entweder zu beschränken oder ihn zu befriedigen. Der Bedarf an freier Kohlensäure und die verfügbare Menge müssen also aufeinander abgestimmt werden. Herrschen bereits hohe pH-Werte im Teich, so wird man rasch für eine ausreichende Menge an Kohlensäure sorgen müssen, welche imstande ist, den pH-Wert wieder in einen günstigen Bereich abzusenken. Man wird aber gleichzeitig dafür sorgen müssen, daß diese Kohlensäure nicht sofort wieder aufgebraucht wird. Besser ist es freilich, den Teich von Anfang an nicht in den Zustand geraten zu lassen, in dem sich ein Überschuß des Kohlensäure-Bedarfes über den verfügbaren Kohlensäure-Vorrat ergibt. Deshalb sollen im Folgenden zuerst die Sofort-Maßnahmen gegen entgleiste pH-Verhältnisse besprochen werden. Abschließend wollen wir dann auf die Methoden der Bewirtschaftung eingehen, die von Anfang an ein Gleichgewicht der Nährstoffe erzeugen.

Branntkalk wirkt rasch und zuverlässig, engt aber bei wiederholter Anwendung den Vorrat an verfügbarer Kohlensäure immer mehr ein!

Das Ausbringen von gemahlenem Branntkalk ist eine meist erfolgreich geübte Methode, um hohe pH-Werte in Karpfenteichen wieder zu senken. Beim Ausbringen wird der Branntkalk im Wasser sofort zu gelöschtem Kalk. Hydratkalk ist ein anderer Name für gelöschten Kalk. Löst er sich im Wasser, so entsteht Kalklauge, also eine Lösung von entsprechenden Mengen Calcium- und Hydroxyl-Ionen.

Es bedarf der Erklärung, wie es möglich ist, einen zu hohen pH-Wert durch das Ausbringen einer Substanz zu senken, die selbst hohe pH-Werte erzeugt. Die Wirkung des Branntkalks beginnt damit, daß die ausgebrachten Kalkpartikel in ihrer unmittelbaren Umgebung durch die extrem basische Wirkung Schwebalgen abtöten und damit den Bestand derjenigen Organismen dezimieren, die den übermäßigen Kohlensäure-Bedarf verursachen. Die somit abgetötete Biomasse wird

©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

rasch von Mikroorganismen mineralisiert und setzt dabei ihren Kohlenstoff-Gehalt als Kohlensäure frei.
Zugleich beginnt der Branntkalk auf rein physikalisch-chemischem Weg zu wirken. Wiederum in direkter Umgebung der Branntkalk-Partikel bildet sich eine stark erhöhte Konzentration an Calcium-Ionen. Die freigesetzten Hydroxyl-Ionen wandeln ferner Hydrogencarbonat-Ionen in Carbonat-Ionen um, sodaß auch deren Konzentration örtlich stark zunimmt. Es entsteht also kleinsträumig eine erhebliche Übersättigung mit kohlensaurem Kalk, sodaß sich rasch in großer Menge Kristallisationskeime bilden, welche die verzögerte biogene Entkalkung katalytisch beschleunigen. Hierbei wird, wie besprochen, Kohlensäure freigesetzt.
Ein dritter Effekt besteht darin, daß bei der Kalkfällung auch Schwebalgen ausflocken und zu Boden gezogen werden. Auch sie sterben letztlich ab und setzen Kohlensäure frei. Darüberhinaus bedeutet die entstandene Wassertrübung eine Abschattung der noch aktiven Algen, die somit weniger Kohlensäure verbrauchen.
Trotz alledem ist Branntkalk ein problematisches Mittel zur Freisetzung von Kohlensäure! Er bindet einen Teil der freigesetzten Kohlensäure, entsprechend seiner Menge. Je nach den momentanen Umständen werden daraus gefälltes Carbonat und Hydrogencarbonat-Ionen zu unterschiedlichen Anteilen. Wir haben bereits gezeigt, daß die im festen Calciumcarbonat gebundene Kohlensäure biologisch nie mehr verwertbar ist. Entsprechend gilt, daß von den aus freier Kohlensäure neu gebildeten Hydrogencarbonat-Ionen auch nur eine Hälfte nutzbar ist. Die andere Hälfte wird dabei, wie gezeigt, ebenfalls zu Carbonat.
In einem Karpfenteich von 1 m Tiefe bedeutet dies, daß eine ausgebrachte Menge von 50–100 kg Branntkalk je Hektar den Gegenwert von 0,18–0,36 mval/l SBV an Kohlensäure unwiederbringlich aus dem Verkehr zieht! Darüber darf ein eventuell momentan erhöhtes SBV nicht hinwegtäuschen. Man kann sich ausrechnen, welche Einengung des Vorrates an Kohlensäure sich ergibt, wenn Branntkalk regelmäßig in der irrigen Absicht einer »Teichpflege« ausgebracht wird.
Aufgrund dieser Zusammenhänge ist es auch sehr problematisch, mit Branntkalk ein SBV aufbauen zu wollen. Schäperclaus (1961) hält es deshalb für wichtig, darauf hinzuweisen, *»wie rein praktisch durch Zufuhr von Kalk und zersetzlicher organischer Substanz der Kalk- und Kohlensäurevorrat, der für die CO_2-Assimilation eine so große Rolle spielt, in der Teichwirtschaft vergrößert werden kann.«* Erst die organische Substanz liefert also die nötige Kohlensäure, aber die Hälfte davon wird auch in diesem Fall nie mehr nutzbar sein!
Es versteht sich fast selbst, daß sich das Ausbringen von Branntkalk dort katastrophal auswirkt, wo Kohlensäure weder in Form von Biomasse noch als Hydrogencarbonat in Verbindung mit einer Übersättigung von Calciumcarbonat in ausreichenden Mengen vorhanden ist, um die Kalklauge zu neutralisieren.

Chlorkalk dezimiert Algen und senkt den pH-Wert, ohne Kohlensäure zu binden. Er bildet jedoch gefährliche Rückstände an Chlorkohlenwasserstoffen.

Wegen der Nachteile des Branntkalkes erschien lange Zeit Chlorkalk als das Mittel der Wahl. Auch Natron-Chlorbleichlauge wurde zum gleichen Zweck verwendet. Diese Hypochlorite des Calciums bzw. des Natriums wirken durch eine Abspaltung von Chlor oxidierend und giftig auf Algen, sodaß sie deren Bestand dezimieren und dadurch den Kohlensäure-Bedarf senken. Beim Abbau der abgetöteten Algenmasse wird Kohlensäure frei und senkt den pH-Wert. Wegen der geringen Aufwandmengen von 10–15 kg Chlorkalk je Hektar Teichfläche wird kein nennenswerter Teil der freigesetzten Kohlensäure gebunden.
Die Wirkung des Chlorkalkes ist geringer als die des Branntkalkes, da keine nennenswerte Auslösung der biogenen Entkalkung und keine starke Trübung des Wassers entsteht. Darüberhinaus ist die Wirksamkeit umso schwächer oder die Aufwandmenge umso größer, je dichter die Algen wachsen, auf die sich das Chlor verteilen muß. Und die Wirkung ist umso schwächer, je höher der pH-Wert ist. Denn Hypochlorite entstehen durch die Bindung von Chlor in Laugen bei hohem pH-Wert und sie geben das Chlor bei niedrigen pH-Werten wieder frei. Dies steht der Absicht bei einer teichwirtschaftlichen Verwendung entgegen, hohe pH-Werte zu bekämpfen.
Neuerdings ist man darauf aufmerksam geworden, daß Substanzen, welche Chlor abspalten, mit organischem Material zusammen eine besonders gefährliche Kombination darstellen. Sie bilden in durchaus bedeutenden Mengen Chloroform und andere chlorierte Kohlenwasserstoffe, die als sog. »AOX«-Stoffe zusammengefaßt werden (Absorbierbare Organische Halogenverbindungen). Der ganze Umfang einer Bildung von Rückständen dieser Schadstoffe im Teich und in den Fischen ist noch nicht untersucht, jedoch sind vorübergehend bereits 145 µg/l Chloroform im Teichwasser

©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

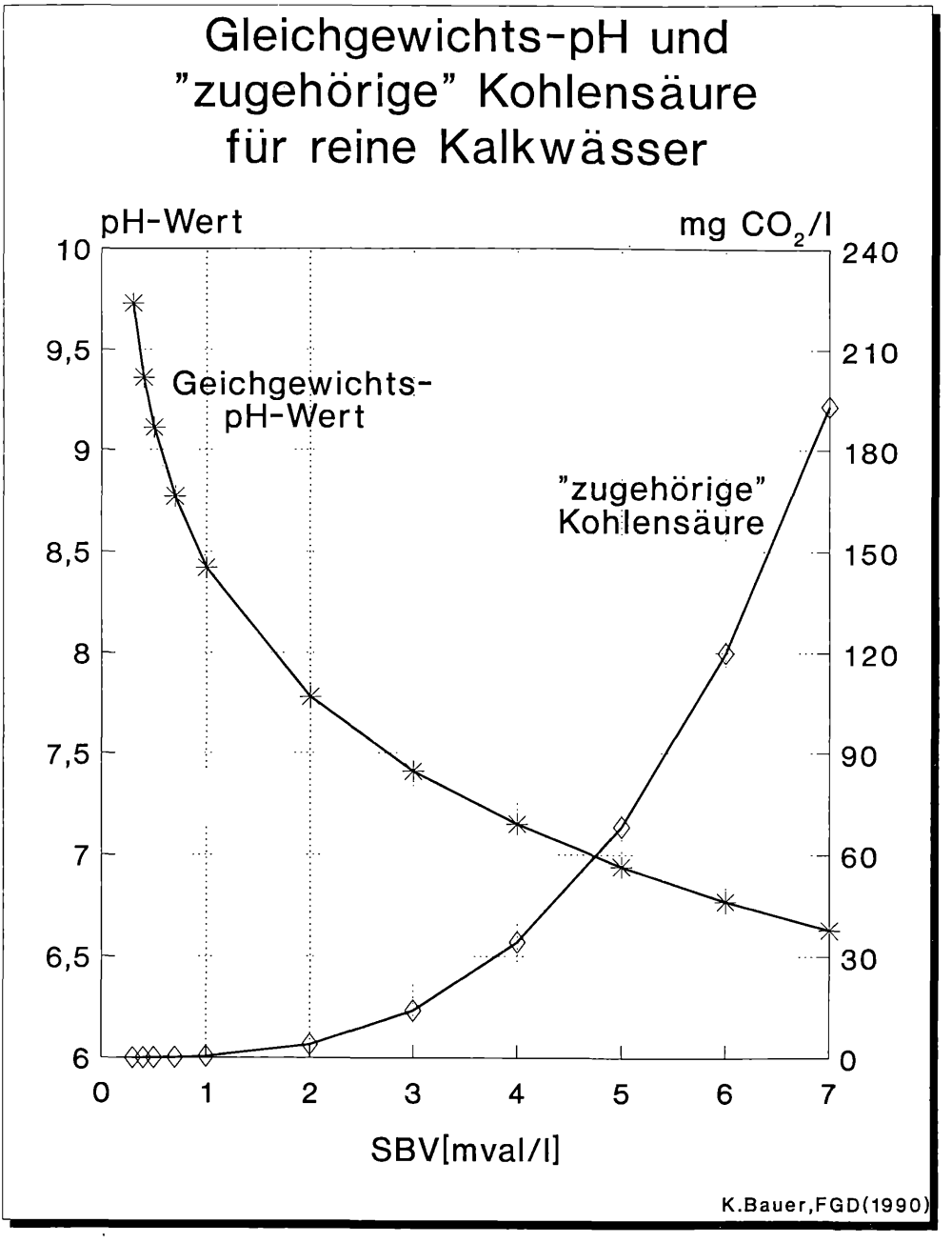

Abb. 4: »Gleichgewichts-pH und zugehörige Kohlensäure für reine Kalkwässer«. Es wird also vorausgesetzt, daß das gesamte Hydrogencarbonat durch Auflösen von kohlensaurem Kalk mit freier Kohlensäure gebildet wurde, sodaß mit dem SBV zugleich die Calcium-Konzentration bekannt ist. (Bei der Berechnung der Kurven wurden die derzeit geltenden Konstanten nach DIN 38 404 für das Löslichkeitsprodukt des kohlensauren Kalkes und die Säurekonstanten des Kohlensäure-Systems bei den gleichen Bedingungen wie in Abb. 2 zugrunde gelegt. Hierdurch unterscheiden sich die Werte von denen älterer Literatur.)

©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

nach einer Chlorkalk-Behandlung gemessen worden (Graf, Bohl, 1990). Rückstandsuntersuchungen an Fischen aus einem mit Chlor belasteten Fluß legen den Schluß nahe, daß vor allem von den schwereren Komponenten der AOX-Stoffklasse, z. B. von Trichlorethen und Tetrachlorethen, höhere Konzentrationen in den Fischen gespeichert werden.
Aufgrund dieser Problematik wird seitens der Wasserwirtschafts-Verwaltung neuerdings Chlor als besonders wassergefährdender Stoff klassifiziert. Im eigenen Interesse wird sich die Fischerei deshalb von diesem Mittel trennen, sobald derzeit laufende Untersuchungen über ungefährliche Ersatzstoffe, vornehmlich Peroxide, abgeschlossen sind.

Kohlensaurer Kalk trübt das Teichwasser, regt die biogene Entkalkung an und verbraucht keine Kohlensäure.

Der kohlensaure Kalk ist als fein gemahlener Jura oder Kreide auf dem Markt. Nur in der fein gemahlenen Form entfaltet er eine spürbare Wirkung gegen hohe pH-Werte. Chemisch bleibt dieser Kalk zunächst unbeteiligt. Er trübt das Wasser und beschattet dadurch die Algen. Ihre Photosynthese wird eingeschränkt, die Atmung und somit die Freisetzung von Kohlensäure überwiegt. Zu lange abgeschattete Algen sterben ab und werden u. a. zu Kohlensäure mineralisiert.
Der fein gemahlene kohlensaure Kalk kann eine große Oberfläche an Kristallisationskeimen zur Verfügung stellen, um die biogene Entkalkung zu katalysieren. Damit kann der kohlensaure Kalk, ähnlich dem Branntkalk, ziemlich rasch zur Freisetzung größerer Mengen freier Kohlensäure aus dem Vorrat des Hydrogencarbonates beitragen.
Da es sich hierbei immer um Kohlensäure-Mengen handelt, die frei werden, wenn sich das Kalk-Gleichgewicht von einer Übersättigung her einstellt, kann diese Kohlensäure niemals den kohlensauren Kalk auflösen. Er wird also in der Regel langsam zu Boden sinken und den Schlamm aufstocken. Erst die dort oft vermehrt auftretende Atmungs-Kohlensäure kann einen Teil des kohlensauren Kalkes lösen. In diesem Fall stellt der Kalk die ungenutzte, die Atmungs-Kohlensäure dagegen die nutzbare Hälfte des neu gebildeten Hydrogencarbonates.
In Gebieten mit sehr weichem Wasser liegen die pH-Werte selbst bei geringem Gehalt an freier Kohlensäure sehr niedrig. Ein aus dem Hydrogencarbonat mobilisierbarer Vorrat an Kohlensäure existiert hier ebenfalls nicht. In diesen Fällen ist kohlensaurer Kalk das Mittel der Wahl. Er kann mit der freien Kohlensäure dieses Wassers ein SBV aufbauen. Diese Kohlensäure bleibt weiterhin biologisch nutzbar. Zugleich besteht nicht die Gefahr wie bei Branntkalk, durch eine Überdosierung den pH-Wert auf Dauer in die Höhe zu treiben.
Eine ähnliche Wirkung wie der kohlensaure Kalk hat die Wassertrübung, die beim Aufwirbeln des Bodenschlammes entsteht, sei es durch eine unter Wasser gezogene Egge, sei es durch gut »arbeitende« Karpfen. Ein zusätzlicher Vorteil entsteht hierbei, daß nämlich organisches Material, das sich im Bodenschlamm abgesetzt hatte, wieder im sauerstoffreichen Wasser suspendiert wird und ebenfalls zu Kohlensäure veratmet werden kann.

Mit organischem Material kann ein akuter Kohlenstoffmangel ausgeglichen werden.

Die Anwendung verschiedener Kalkarten und die Eintrübung des Wassers sind Methoden, mit denen der im Teich vorhandene Kohlenstoff teilweise wieder in eine verfügbare Form gebracht werden kann. Gibt es jedoch keine Biomasse an Schwebalgen zum Abtöten und keine Übersättigung an Calcium und Carbonat, deren Ausfällung ausgelöst oder beschleunigt werden könnte, dann versagen diese Methoden. In diesen Fällen kann Kohlensäure nur aus organischem Material verfügbar gemacht werden, das den Kohlensäure-Bestand des Teiches komplettiert. Am günstigsten sind Heu, Stroh oder strohhaltiger Stallmist. Der Phosphor- und Stickstoffgehalt sollte dabei möglichst niedrig sein.

Gründüngung versorgt den Teich mit den Nährstoffen im richtigen Verhältnis und beugt der Fehlentwicklung zu hohen pH-Werten im Teich vor.

Wie eingangs dargelegt, ist eine Versorgung des Teiches mit Kohlensäure unerläßlich. Mineraldünger können diese Versorgung nicht gewährleisten, weil sie keinen Kohlenstoff enthalten. Ein altbewährtes Mittel in der Karpfenteichwirtschaft ist hier die Gründüngung. In Teichen, welche im Winter trockengelegt werden können, wird raschwüchsiges Wintergetreide angesät, z. B. Hafer oder Gerste. In Himmelsteichen, die nicht trockengelegt werden können, ist diese Methode leider nicht anwendbar. Hier muß das organische Material in Form von Heu, Stroh oder Mist eingebracht werden.

©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

Bei der Gründüngung entnehmen die Pflanzen Kohlensäure aus der Luft und nutzen mit ihren Wurzeln die Phosphor- und Stickstoff-Vorräte des Teichbodens. Die von ihnen aufgebaute Biomasse entspricht in ihrer Zusammensetzung weitgehend dem eingangs genannten Bedarfsverhältnis der Nährstoffe, mit einem gewissen Kohlenstoff-Überhang sogar. Wenn diese Pflanzen nach dem Bespannen des Teiches absterben und mineralisiert werden, ist der Teich mit Nährstoffen ausgewogen versorgt.

Zusammenfassung:

Extrem hohe pH-Werte, die auf einen relativen Mangel an Kohlensäure zurückzuführen sind, sind zu einem vorrangigen Problem in vielen Karpfenteichen geworden. Hohe Phosphorbelastungen, oft schon im Zulauf, führen 100fach verstärkt zu einem erhöhten Bedarf an Kohlenstoff. Er wird von Wasserpflanzen und Algen durch Nutzung von Kohlendioxid gedeckt. Spezialisierte Wasserpflanzen und Algen können auch Hydrogencarbonat-Ionen im Austausch gegen Hydroxyl-Ionen nutzen. Dabei steigen die pH-Werte bis 10 und höher. Die nutzbaren Anteile der im Wasser gelösten Kohlensäure-Formen stammen aus der Atmung von Organismen, nicht aus der Luft (zu geringe Diffusion). In der Bilanz ist auch der aus den Carbonaten des Bodens entstandene Teil des Hydrogencarbonats nicht biologisch nutzbar. Die Rolle des Gehaltes an Hydrogencarbonat, der durch das Säurebindungsvermögen (SBV) gemessen wird, muß revidiert werden. Weder besteht die behauptete Pufferwirkung gegenüber den biogenen pH-Veränderungen, noch kann Hydrogencarbonat unmittelbar Kohlensäure freisetzen (mangels Wasserstoff-Ionen). Nur über eine Ausfällung von Calciumcarbonat (»biogene Entkalkung«) kann Kohlensäure freigesetzt und der pH-Wert gesenkt werden. Diese Reaktion ist, besonders unter dem Einfluß organischen Materials im Wasser, wesentlich langsamer als der photosynthetische Kohlensäure-Verbrauch im Teich. Die Fällungsreaktion kann sowohl durch die Anwendung von kohlensaurem Kalk als auch von Branntkalk beschleunigt werden, wobei Branntkalk jedoch den Vorrat an nutzbarer Kohlensäure im Teich verringert. Auf organische Düngung, besonders auf »Gründüngung«, wird hingewiesen. Diese stellt dem Teich, im Gegensatz zu Mineraldüngern, auch den benötigten Kohlenstoff als Düngeelement zur Verfügung.

Summary

On the importance of carbon dioxide in carp ponds

Extremely high pH-values have become a major problem in many carp ponds due to a relative deficit of carbon. High phosphorus load, often contained in the inflow water already, requires a 100-fold amplified carbon supply. Water plants and algae cover it by using carbon dioxide. Specialized plants and algae can also utilize hydrogen carbonate, by exchange with hydroxyl ions, increasing the pH to 10 and above. The usable parts of the carbonic acid spezies dissolved in the water originate from organic respiration, but not from the atmosphere (too low diffusion). In balance, also the hydrogen carbonate originating from the carbonates of the soil is unusable. The role of the hydrogen carbonate content, measurable as alkalinity, has to be revised. Neither does it buffer the biogenic change of pH nor can it directly deliver carbonic acid (due to missing amounts of protons). Only by a precipitation of calcium carbonate (»biogenic decalcification«) carbonic acid can be delivered and the pH be lowered. However, this reaction is far slower than the photosyntetic uptake of carbonic acid in the pond, particularly when influenced by suspended organic matter in the water. The velocity of precipitation can be accelerated by the application of either calcium carbonate or calcium oxide. But calcium oxide reduces the stock of usable carbonic acid. We would like to propose the use of organic fertilization, especially in the form of »green fertilization«. By contrast to mineralic fertilizers, it would provide the necessary carbon as a nutrient element for the pond.

LITERATUR

Uhlmann, D., 1988: Hydrobiologie. Ein Grundriß für Ingenieure und Naturwissenschaftler. 3. Aufl.; Stuttgart, New York, Fischer

Jahn, F., M. v. Lukowicz, M. Wurzel, 1979: Teichwirtschaft als Zuerwerb. AID-Broschüre 359

Kohl, J. und A. Niklisch, 1988: Ökophysiologie der Algen. Wachstum und Resourcennutzung. Stuttgart, New York, Fischer

Schäperclaus, W., 1961: Lehrbuch der Teichwirtschaft. 2. Aufl.; Berlin, Hamburg, Parey

©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

Reichle, G., 1989: Ein Thema für Ausgleichszahlungen: Kalk in Karpfenteichen. Fischer und Teichwirt 40, 224f.
Klee, O., 1985: Angewandte Hydrobiologie: Trinkwasser - Abwasser - Gewässerschutz. Stuttgart, New York, Thieme, (S. 114ff.)
Klee, O., 1990: Wasser untersuchen. Einfache Analysenmethoden und Beurteilungskriterien. 1. Aufl., Heidelberg, Wiesbaden, Quelle und Meyer, (S. 54-56)
Pia, J., 1933: Kohlensäure und Kalk. Einführung in das Verständnis ihres Verhaltens in den Binnengewässern. Die Binnengewässer Bd. XIII, Stuttgart, Schweizerbart
Roßknecht, H., 1976: Bestimmung von partikulärem Kalk in gepufferten Wässern. Die Naturwissenschaften 63, 384f
Roßknecht, H., 1977: Zur autochthonen Calcitfällung im Bodensee-Obersee. Arch. Hydrobiol. 81, 35-64
Roßknecht, H., 1980: Phosphatelimination durch autochthone Calcitfällung im Bodensee-Obersee. Arch. Hydrobiol. 88, 328-344
Kleiner, J., 1989: Calcite Precipitation - Regulating Mechanisms in Hardwater Lakes. Verh. Internat. Verein. Limnol. 24 (in print); XXIV SIL-Congress, München, Abstracts p. 89
Graf, E. und M. Bohl, 1990: Impact of Calcium Hypochlorite on the Biocoenosis and Water Chemistry in Carp Pond. EIFAC/90/Symp.E.40

Adresse des Autors:
Kurt Bauer, Tiergesundheitsdienst Bayern e.v., Senator-Gerauer-Straße 23, D-8011 Grub.

Österreichs Fischerei *Jahrgang 44/1991* *Seite 64–66*

Johannes Schöffmann

Die Weichmaulforelle *(Salmothymus obtusirostris,* Heckel 1851), eine bedrohte Salmonidenart in Dalmatien

Die Weichmaulforelle oder Weichlippe, wie sie nach ihrem kroatischen Namen[1] auch genannt wird, gehört zur Gattung *Salmothymus* (Berg) und hat auch eine geographisch eng begrenzte Verbreitung, nämlich nur in einigen Adriazuflüssen Jugoslawiens. Das Genus *Salmothymus* stellt die ältesten Vertreter der Familie Salmonidae der Balkanhalbinsel dar, und es wird vermutet, daß sein Verbreitungsgebiet im Vorglazial bedeutend größer war als heute (Karaman, 1966).
In deutscher Literatur findet man für diesen nichtmigrierenden Lachsfisch gelegentlich auch die Bezeichnung »adriatischer Lachs«, wahrscheinlich weil die Form seiner Flecken denen des Lachses ähnelt.

Die Gattung *Salmothymus* unterscheidet sich in zwei Arten:

a) *Salmothymus ohridanus* (Steindachner 1892) lebt nur im Ohridsee.
b) *Salmothymus obtusirostris* (Heckel 1851) kommt in dalmatinischen Küstenflüssen vor und wird nach seinem Fundort in folgende endemische Rassen eingeteilt:
S. o. kerkensis (Krka bei Knin), *S. o. salonitana* (Jadro bei Split), *S. o. oxyrhyncus* (Neretva-System), *S. o. zetensis* (Zeta bei Titograd), wobei letztgenannte Art *S. o. ohridanus* am nächsten stehen soll.

In den wenigen Veröffentlichungen (Ade 1989, Ladiges & Vogt 1979, Müller 1983, Terofal 1984), in denen die Weichmaulforelle angeführt wird, findet man immer wieder Abbildungen, die die charakteristischen Merkmale dieser Spezies nur ungenau oder gar nicht wiedergeben. Nebenstehende Skizze und ein Farbfoto auf der hinteren Umschlagseite von einer Weichmaulforelle sollen auf die spezifischen äußeren Kennzeichen dieser Art hinweisen.
Die auffälligsten Kennzeichen dieser Fische sind wohl der kurze, in einer stumpfen, beinahe hackenförmigen Schnauze endende Kopf und das kurze, aber breite Oberkiefer.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Österreichs Fischerei

Jahr/Year: 1991

Band/Volume: 44

Autor(en)/Author(s): Bauer Kurt

Artikel/Article: Zur Bedeutung der Kohlensäure in Karpfenteichen 49-64