

Zeitschrift: Mitteilungen der aargauischen Naturforschenden Gesellschaft

Herausgeber: Aargauische Naturforschende Gesellschaft

Band: 22 (1945)

Artikel: Limnologische Untersuchungen im Hallwilersee

Autor: Keller, Rudolf

Kapitel: 4: Die Methoden zur Bestimmung der Kohlensäure-Aggressivität unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse im Wasser des Hallwiler Sees

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-172261>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 10.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

chen Tiefe in engem Zusammenhang und deutet auf maximalen Abbau von Phytoplankton hin, da auch sehr zahlreiche Zooplankter kaum imstande wären, eine solche Kohlensäureübersättigung zu erzeugen.

Eine ähnliche Beobachtung beschreibt *L. Minder*²¹ und sagt wörtlich: «Ist die Sprungschicht ausgebildet, so bereitet sich frühzeitig schon im Metalimnion eine Kohlensäureanhäufung vor. — Ganz besonders hohe Kohlensäurewerte im Metalimnion, d. h. in 15 bis 20 m Tiefe, hatten wir im Jahre 1924, und zwar Juli und Oktober. Wir hatten dann aber in diesen Tiefen auch bedeutende Zooplanktonmengen, wenn auch nicht verschwiegen bleibe, daß ähnliche oder sogar noch höhere Zooplanktonmengen anderer Jahre nicht die entsprechenden Kohlensäurewerte hervorbrachten.» An anderer Stelle gibt *Minder* die Erklärung für diese Kohlensäureanhäufung und schreibt sie der Tag- und Nachtwanderung des Zooplanktons zu, indem sich die Tag für Tag erfolgenden Kohlensäurezuschüsse in gewissen Tiefen summierten.

4. Die Methoden zur Bestimmung der Kohlensäure-Aggressivität unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse im Wasser des Hallwiler-Sees

a) *J. Tillmans* und *Heublein*²² haben zur Ermittlung der überschüssigen d. h. kalkaggressiven Kohlensäure das chemische Gleichgewicht zwischen der Konzentration der gebundenen CO₂ in Form von kohlensaurem Kalzium und der freien zugehörigen CO₂, welche nach dem Verfahren von *Klut*¹⁰ mittels Soda und Phenolphthalein ermittelt wurde, gewählt und graphisch dargestellt. Die Ordinate trägt die freie CO₂ in mg/l und die Abszisse die gebundene CO₂. Die Kurve stellt also die Menge zugehöriger CO₂ dar, die jedesmal nötig ist, um die entsprechende Menge Kalziumbikarbonat in Lösung zu halten.

*F. Auerbach*²³ hat darauf hingewiesen, daß die zugehörige CO₂ auf Grund des Versuchsmaterials von *J. Tillmans* und *Heub-*

lein auch aus den Gesetzen des chemischen Gleichgewichtes berechnet werden könne. *J. Tillmans*²⁴ leitete daraus die Formel ab, mit welcher die zugehörige CO₂ aus der gebundenen Kohlensäure und dem Gehalt an CaCO₃, alles in mg gerechnet, bestimmt werden kann. Die Tillmansche Formel lautet z. B. für 17 °C:

$$\text{zugehörige CO}_2 = (\text{gebundene CO}_2)^2 \cdot \text{CaO} \cdot 2 \cdot 10^{-5}$$

Die Gleichgewichtsverhältnisse bei höheren Temperaturen als 17 °C wurden von *J. Tillmans* mit *Hirsch* und *Heckmann*²⁵ abgeklärt und für die Temperaturen von 40 °, 60 ° und 80 °C entsprechende Konstanten errechnet.

b) *Heyer*²⁶ geht zur Bestimmung der kalkaggressiven CO₂ so vor, daß der Wasserprobe mehrere Gramm fein gepulverter und mit ausgekochtem, destilliertem Wasser gut gewaschener Marmor beigegeben wird. Die aggressive CO₂ löst eine entsprechende Menge Marmor auf, sodaß sich nach mehrmaligem Durchschütteln das neue Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht einstellt. Die Differenz der Werte für gebundene CO₂ entspricht der aggressiven CO₂.

*Rechenberg*¹³ überbrückt in seinen praktischen Versuchen das nachteilige langsame Einstellen des Gleichgewichtes bei harten Wässern dadurch, daß er anstelle von Marmor präzipitierten kohlensauren Kalk von Merck verwendet und zu Beginn des Versuches eine Stunde auf der Maschine schüttelt.

Bei sehr weichen Wässern, die nur sehr wenig freie CO₂ enthalten, gibt der Heyer-Versuch wegen der Eigenlöslichkeit von Kalziumkarbonat für aggressive CO₂ etwas hohe Werte.

*Strohecker*²⁷ diskutiert die Methode von *J. Tillmans* und macht auf folgende Fehler aufmerksam: Bei der Titration der freien Kohlensäure geht *Tillmans* von der Annahme aus, daß der Aequivalenzpunkt einer Ca- oder NaH CO₃-Lösung bei pH = 8,3 liegt. Nach *Strohecker* trifft dies nicht zu. Bei Anwendung der von *Tillmans* vorgeschriebenen Phenolphthaleinlösung liegt der Aequivalenzpunkt nicht bei 8,3 sondern pH 7,8. Außerdem haben Untersuchungen von *R. Strohecker, Schilling* und *Budenbender*²⁸ ergeben, daß der Aequivalenzpunkt von Natrium einerseits und Bikarbonat andererseits weitgehend abhängig ist von der Konzentration. Während konzentrierte Natriumbikarbonatlösungen

etwa den pH 8,3 aufweisen, sinkt bei weiterer Verdünnung der pH-Wert ständig ab, bis bei ganz dünner Bikarbonatlösung (0,0001 n), wie sie etwa dem Bikarbonatgehalt vieler Trinkwässer entsprechen, der pH-Wert von 6,9 erreicht wird.

Bei Verhältnissen, wie sie in natürlichen Wässern vorkommen, wird also zu weit titriert, nämlich auf Stufe 7,8 (Tillmans 8,3) statt 6,9. Dieser Fehler bewirkt, daß zu viel aggressive CO₂ gemessen wird gegenüber der Heyer-Methode, bei welcher die aus dem Marmorpulver zusätzlich aufgenommene Härte mit Salzsäure gegen Methylorange einwandfrei und auf CO₂ bestimmt und umgerechnet wird.

c) *Strohecker*²⁷ umgeht mit seiner «Aciditätsmethode» die titrimetrischen Fehlermöglichkeiten. Er weist darauf hin, daß der Säuregrad des Wassers in erster Linie für die Aggressivität des Wassers verantwortlich ist. Die Wasserstoffionen-Konzentration ist aber gleichzeitig eine Funktion des mehr oder weniger großen Gehaltes an Bikarbonatkohlensäure, was ja durch die Gleichgewichtskurve von *J. Tillmans* und *Heublein* ange deutet ist, welche zeigt, daß je größer der Bikarbonatgehalt ist, umso größer auch der Gehalt an freier CO₂ sein muß, damit Angriff erfolgt.

Die Aggressivität wird daher durch den jeweiligen pH-Wert und den Bikarbonatgehalt eines Wassers bestimmt.

Aus dem Massenwirkungsgesetz errechnet *Strohecker* den pH-Wert des Kalk-Kohlensäuregleichgewichtes und kommt zur Formel:

$$\text{pH} = 11,39 - 2 \log (\text{geb. CO}_2) \text{ in mg/l}$$

Mit Hilfe dieser Gleichung können wir also für einen gegebenen Gehalt an gebundener CO₂ denjenigen pH-Wert berechnen, den das Wasser aufweisen würde, wenn es im Gleichgewicht stünde. Umgekehrt können wir sagen, wenn ein Wasser denselben pH-Wert zeigt, wie er sich aus der Gleichung errechnet, so steht das Wasser im Gleichgewicht.

Aggressive Wässer werden also eine stärkere Acidität und deshalb einen tiefen pH-Wert als der aus der gebundenen CO₂ berechnete aufweisen. Wässer, die weniger CO₂ enthalten als dem Gleichgewicht entspricht, werden dagegen einen höheren pH-Wert besitzen als es die Gleichung verlangt.

Wird nun der pH-Wert eines Wassers nach der Methode von *Soracreppa*²⁹ experimentell gleich ermittelt, so kann entschieden werden, ob ein Wasser aggressiv ist oder nicht. Ist die Differenz aus dem errechneten pH und dem bestimmten pH gleich Null, so befindet sich das Wasser im Gleichgewicht. Eine negative Differenz weist auf ein Wasser mit unterschüssiger CO₂ hin. Ist die Differenz groß, so ist die Möglichkeit für Kalkausscheidung vorhanden. Eine deutlich positive Differenz hingegen lässt aggressives Wasser erkennen.

Die Möglichkeit der Berechnung des pH-Wertes für jedes beliebig harte Gleichgewichtswasser führt zur Aufzeichnung einer pH-Gleichgewichtskurve. Die Ordinate trägt die gebundene CO₂ in mg/l und die Abszisse die pH-Werte. Die Tillmans und Heubleinsche Gleichgewichtskurve hat hier eine Analogie gefunden.

*Strohecker*³⁰ hat die rein qualitative Erkenntnis der Aggressivität der Wässer anhand dieser pH-Gleichgewichtskurve quantitativ nutzbringend umgestaltet. Mit seinem Verfahren ist es möglich, aus der gemessenen gebundenen Kohlensäure und dem gemessenen pH-Wert des Wassers auch die Menge aggressiver Kohlensäure zu errechnen.

5. Kombinierte Temperatur-Sauerstoff-Plankton-Untersuchung während 24 Stunden im Hallwiler-See am 18./19. 6. 43

Einleitung

Von verschiedenen Autoren (*L. Minder, H. Müller, H. J. Elster* und *W. Einsele*) wurden bei Untersuchungen in Seen innert 24 Stunden Schwankungen in der Temperatur und im Sauerstoffgehalt an ein und derselben Stelle beobachtet.

Es wurde nun versucht, diese bis anhin noch nicht erklär-