

W. WICHARD und K. HEUSS

Institut für Landwirtschaftliche Zoologie und Bienenkunde der Universität Bonn;
Landesanstalt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen

Der Chloridzellenfehlbetrag als ökomorphologischer Zeigerwert für die Salinität von Binnengewässern

Zusammenfassung: Die Larven von Baetiden verfügen im Integument der Tracheenkiemen über Chloridzellen, die an der Osmoregulation dieser Tiere beteiligt sind und sich bei veränderter Salinität eines Gewässers durch eine veränderte Anzahl anzupassen vermögen. So induziert eine minimale Salinität eine artspezifische hohe Chloridzellenzahl. Jede Abweichung von dieser Bezugszahl wird als Chloridzellenfehlbetrag bezeichnet. Dieser Fehlbetrag wird als Maß für eine erhöhte Salinität in einem Gewässer interpretiert.

Einleitung

Die ökologische Klassifizierung binnenländischer Salzwässer unterscheidet sich deutlich von der Klassifikation der Brackgewässer im Küstenbereich (vgl. CASPERS 1959; SCHMITZ 1959; ZIEMANN 1968). Als unterschiedliche Faktoren sind neben hydrologischen und geographischen Gegebenheiten vor allem das ionale Verhältnis der gelösten Salze und der andersartige Organismenbestand zu nennen. Die Carbonat-, Sulfat- und Chloridgewässer im Binnenland werden häufig von Organismen besiedelt, die ursprünglich salzarmen Gewässern angepaßt sind und nun eine veränderte Osmoregulation aufweisen.

Die aquatischen Insekten leben meist im stark hypotonischen Milieu des Süßwassers. Sie sind zur osmotischen Hyperregulation befähigt, um die hohe Ionenkonzentration ihrer Hämolymphe aufrecht zu erhalten. Bei Eintagsfliegenlarven treten im Integument für die hierbei notwendige Salzaufnahme Chloridzellen auf, die dem Ionentransport zwischen dem wäßrigen Milieu und der Hämolymphe dienen (WICHARD, KOMNICK

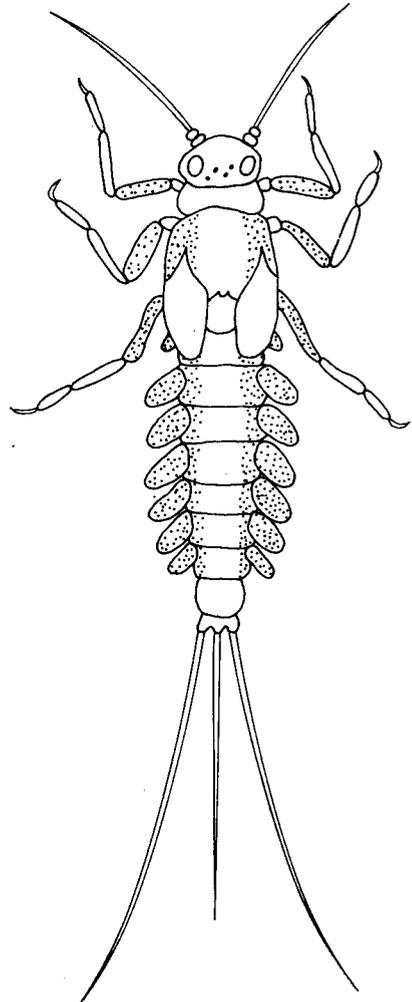


Abb. 1. Schema einer Baetidenlarve

Dunkle Punkte lokalisieren die Chloridzellen auf dem Integument.

und ABEL 1972). Diese Zellen befinden sich zahlreich auf den Tracheenkiemen, lateral auf den abdominalen Tergiten und Sterniten, ferner auf dem Thorax und den Extremitäten, vereinzelt auch auf dem Kopf (Abb. 1). Da die Chloridzellen im apikalen Zellbereich Chlorionen akkumulieren, die nach Behandlung mit Silbernitrat lokal zu Silberchlorid ausgefällt und nach anschließender Reduktion des Silbers als dunkle Punkte lichtmikroskopisch sichtbar werden, ist diese histochemische Methode geeignet, die Chloridzellen im Integument sichtbar zu machen.

Die Chloridzellen aquatischer Insekten können als Bioindikatoren für die Salinität von Binnengewässern herangezogen werden, da sich gezeigt hat, daß bei veränderter Salinität in der veränderten Anzahl von Chloridzellen eine morphologische Anpassung erfolgt, die im Einklang mit der Osmoregulation dieser Tiere steht (WICHARD, TSUI und KOMNICK 1973). Eine geringere Salinität induziert eine hohe Chloridzellenzahl, umgekehrt induziert eine hohe Salinität eine relativ geringe Anzahl von Zellen. Dieser ökomorphologische Zusammenhang zwischen der Chloridzellenzahl und der Salinität funktioniert, wenn während einer langfristigen Anpassung möglichst mehrere Häutungen der Larven zwischengeschaltet sind.

Zur Testung des Zeigerwertes der Chloridzellen befaßt sich diese Untersuchung mit Eintagsfliegen, die in der Orb, einem Chloridgewässer, unter verschiedenen Konzentrationen leben.

Material und Methode

Die Orb entspringt im Spessart und mündet nach einem 12 km langen Lauf in der Kinzig. Im August 1973 wurden Wasserproben und Larven von *Baetis rhodani* L. (Baetidae) an drei Probestellen entnommen, die sich durch unterschiedliche Leitfähigkeit auszeichneten

- Probestelle: 1. 0,5 km oberhalb Bad Orb
 2. Bad Orb
 3. 3 km unterhalb Bad Orb, vor Mündung in die Kinzig.

Die Larven von *Baetis rhodani* L. wurden unmittelbar nach der Entnahme aus dem Wasser 10 min lang mit 0,1 N AgNO_3 in 1 N NH_3 im Dunkeln behandelt, anschließend 10 min mit 1 N HNO_3 gewaschen, danach in 5% wäßriger Glutaraldehydlösung fixiert und nach ca. 5 h in 70% Alkohol konserviert. Zur Reduktion des Silbers wurden die Präparate dem Licht ausgesetzt. Anschließend wurden jeweils 20 Larven mit der Größe von 5 mm aussortiert und die rechten Tracheenkiemen des 4. Abdominalsegments abgetrennt. Die Tracheenkiemen wurden nach der Entwässerung in der aufsteigenden Alkoholreihe und nach Überführung in Xylol anschließend mit Eukitt auf einem Objektträger eingedeckelt. Mit Hilfe einer Zähluhr wurden die Chloridzellen, die als dunkle Punkte aus reduziertem Silber gut sichtbar sind, unter dem Mikroskop ausgezählt. Von den drei jeweils 20 Daten über die Anzahl der Chloridzellen wurden Mittelwerte (\bar{x}), Standardabweichung (s) und die Signifikanz der Differenzen im t -Test errechnet.

Die chemische Untersuchung der Wasserproben erfolgte nach den „Deutschen Einheitsverfahren“.

Ergebnisse

Chemische Daten

Die Orb ist ein ausgeprägtes Chloridgewässer, das besonders im Mittel- und Unterlauf durch saline Zuläufe gespeist wird. Daher sind die drei Probestellen unterschiedlichen Salinitätsstufen zuzuordnen. Grob gerechnet, nimmt die Salzkonzentration und mithin die Leitfähigkeit zur Mündung hin von Probestelle 1 zu Probestelle 3 um das 10-fache zu. Bei Betrachtung der chemischen Daten der einzelnen Probestellen (Tab. 1) wird deutlich, daß die Salinität in erster Linie auf Natriumchlorid zurückzuführen ist; andere Ionen haben nur untergeordnete Bedeutung.

Tabelle 1. Daten zur Salinität der Orb

Probestellen	Leitfähigkeit [$\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$]	Cl ⁻ [mg/l]	Na ⁺ [mg/l]	K ⁺ [mg/l]	GH [°d]
1	76	40	4,3	2,0	1,7
2	461	150	72,0	6,8	3,4
3	1070	300	162,0	18,0	8,2

Morphologische Daten

Die Chloridzellenzahl der drei Populationen von *Baetis rhodani* ist unterschiedlich und die Differenzen erweisen sich im *t*-Test als signifikant ($P < 0,05$) (Tab. 2). Die Salzkonzentrationsunterschiede an den drei Probestellen der Orb sind jedoch auffallend gering (Tab. 1) im Vergleich zu 15-tägigen Adaptationsversuchen mit *Callibaetis*

Tabelle 2. Daten zur Chloridzellenzahl auf Tracheenkiemen von *Baetis rhodani* L. aus der Orb

Probestellen	\bar{x} ($N = 20$)	<i>s</i>	<i>t</i> -Test ($f = 38$)
1	294,2	± 17,8	2,13 ⁺
2	281,0	± 21,1	2,64 ⁺
3	263,6	± 20,7	⁺ $p < 0,05$

coloradensis, bei denen erst unter hohen Konzentrationsunterschieden eine Signifikanz ($P < 0,001$) beobachtet wurde (WICHARD, TSUI und KOMNICK 1973). Die Salzkonzentration kann bis in die Nähe des iso-osmotischen Punkts (140 ··· 150 mMol NaCl/l) gesteigert werden; mit zunehmender Konzentration steigt allerdings die Mortalität, da unter diesen Bedingungen die osmotische Hyperregulation offenbar erschwert wird und die Baetidenlarven im allgemeinen kaum zur osmotischen Hyporegulation befähigt sind (FORBES und ALLANSON 1970). Wird die Adaptationszeit dagegen verlängert, können auch geringe Konzentrationsunterschiede in der veränderten Chloridzellenzahl wahrgenommen werden. So lebten Larven von *Callibaetis floridans* während der gesamten larvalen Entwicklung mit einer Population im Brackwasser (26 mMol NaCl/l) und mit einer anderen Population im Süßwasser (0,5 mMol

NaCl/l) und unterscheiden sich deutlich signifikant ($P < 0,001$) in der Chloridzellenzahl (WICHARD, TSUI und KOMNICK 1973). Doch selbst wesentlich feinere Konzentrationsunterschiede induzieren noch bei geeigneten Arten und bei einer Adaptationszeit, die der larvalen Entwicklungszeit entspricht, nachweisbare Differenzen in der Chloridzellenzahl. Diese morphologischen Daten lassen sich aber möglicherweise, wie im Falle von *Baetis rhodani* in der Orb, nicht mit 99,9% ($P < 0,001$) sondern vielleicht nur mit 95% ($P < 0,05$) Wahrscheinlichkeit feststellen. Das osmoregulatorische Anpassungsvermögen in der unterschiedlichen Chloridzellenzahl erweist sich in dieser Hinsicht als Resultat aus den Komponenten von Adaptationszeit und Salzkonzentration. Es begünstigt den ökomorphologischen Zeigerwert der Chloridzellen für die Salinität von Binnengewässern, da die Larven langfristig während der larvalen Entwicklung den bestehenden Salinitäten angepaßt sind und somit bereits relativ geringe Konzentrationsunterschiede in der Salinität morphologisch registrieren können.

Diskussion

Chemische Wasseranalysen können durch momentane Konzentrationsschwankungen einzelner Wasserinhaltsstoffe ein vom allgemeinen Zustand des Gewässers abweichendes und daher unzutreffendes Bild geben. Demgegenüber besteht die Bedeutung eines Bioindikators gerade in seinem langfristigen Aussagewert.

Von den als Bioindikatoren verwendbaren Chloridzellen werden kurzfristige Salzgehaltsänderungen eliminiert, indem sie allein die anhaltende Tendenz in der Salinität eines Gewässers anzeigen. Das ist möglich, weil das langfristige Anpassungsvermögen als supracellulare Adaptation deutlich von einer kurzfristigen intracellularen Adaptation unterschieden ist (WICHARD 1971). Die kurzfristige Anpassungsform ist eine Reaktion

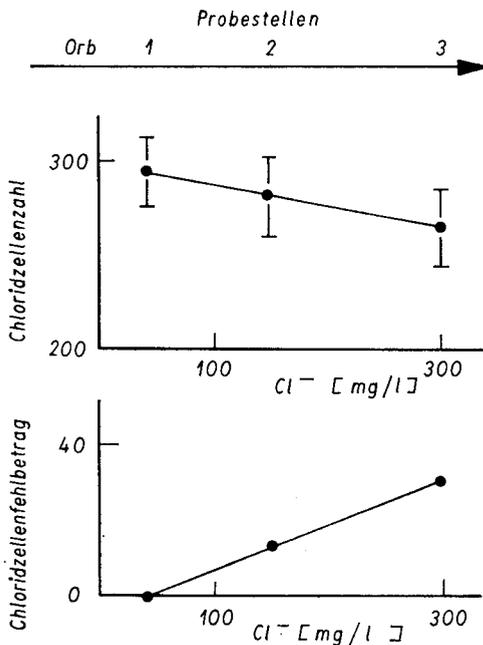


Abb. 2 Graphische Darstellung der Chloridzellenzahl und des Chloridzellenfehlbetrags von *Baetis rhodani* L. bei veränderter Salinität in der Orb.

Punkte bedeuten Mittelwerte ($\bar{x}/N = 20$); Vertikallinien sind Maßstäbe der Standardabweichung ($\bar{x} \pm s$)

auf vorübergehende Schwankungen, meist im Tagesverlauf, und besteht in cytologischen Veränderungen der Chloridzellen (WICHARD, TSUI und KOMNICK 1973). Der ökomorphologische Zeigerwert der Chloridzellen basiert auf der supracellularen Adaptation, die langfristig nur über mehrere Häutungen möglich ist und praktisch im letzten Larvenstadium ihre volle Ausprägung findet. Eine minimale Salzkonzentration in einem Gewässer induziert eine artspezifisch hohe Chloridzellenzahl. Jede Abweichung von dieser Bezugszahl bezeichnen wir als Chloridzellenfehlbetrag (vgl. KOTHE 1962), er ist eine Maßzahl für die erhöhte Salinität im Gewässer (Abb. 2).

Literatur

- CASPERS, H.: Vorschläge einer Brackwassernomenklatur („The Venice System). *Int. Revue ges. Hydrobiol.* **44** (1959), 313–315.
- FORBES, A. T., und B. R. ALLANSON: Ecology of the Sundays River – II. Osmoregulation in some mayfly nymphs (Ephemeroptera: Baetidae). *Hydrobiologia* **36** (1970) 489–503.
- KOTHE, P.: Der „Artenfehlbetrag“, ein einfaches Gütekriterium und seine Anwendung bei biologischen Vorflutuntersuchungen. *Dtsch. Gewässerkundl. Mitt.* **6** (1962) 3, 60–65.
- SCHMITZ, W.: Zur Frage der Klassifikation der binnenländischen Brackwässer. *Arch. Oceanogr. Limnol.* **11** (1959), 179–225.
- WICHARD, W.: Zum Indikatorwert der Chloridzellen aquatischer Insekten für die Salinität von Binnengewässern. *Verh. Ges. Ökologie Saarbrücken* (1974) 201–203.
- WICHARD, W., H. KOMNICK, and H. J. ABEL,: Typology of ephemerid chloride cells. *Z. Zellforsch.* **132** (1972), 533–551.
- WICHARD, W., T. P. T. TSUI, and H. KOMNICK: Effect of different et salinities on the coniform chloride cells of mayfly larvae. *J. Insect Physiol.* **19** (1973), 1825–1835.
- ZIEMANN, H.: On the ecological classification of inland saline waters. *Water Research* **2** (1968) 449–457.

Manuskripteingang: 15. 9. 1974

Anschrift der Verfasser:

Dr. W. WICHARD D–5300 Bonn, Melbweg 42, Institut für landwirtschaftliche Zoologie der Universität Bonn;

Dr. K. HEUSS, D–4150 Krefeld-Hülserberg, Am Waldwinkel 70, Landesanstalt für Wasser und Abwasser des Landes Nordrheinwestfalen, Biologischer Dienst.