

Das Verhalten des Zitterwelses (*Malapterurus electricus* Gmelin) im homogenen Gleichstromfeld

Die Erscheinungen der Galvanotaxis s.str., d.h. der im elektrischen Feld erzeugten gesetzmässig nach der Anode oder auch nach der Kathode gerichteten Lokomotion, sind bei vielen Wassertieren bekannt und untersucht. Die Frage nach dem Rezeptionsort elektrischer Reize ist nur teilweise geklärt: bei relativ starker Reizung von Knochenfischen verschiedener Arten offenbar unmittelbare Irritabilität der Muskulatur auch bei Ausschaltung des gesamten Nervensystems im Sinn einer «Zuckung»^{1,2} – bei äusserst schwachen Reizen Rezeption und Lokalisation in spezifischen Sinnesorganen^{3,4}, so beim Nilhecht *Gnathopomus* ausgehend von Störungen in dem durch seine eigenen Entladungen erzeugten elektrischen Feld. Über ein solches Rezeptionsvermögen können auch nicht-elektrische Fische (Zergwels, *Amiurus*) verfügen⁵. Über die kausalen Zusammenhänge bei der Orientierung im elektrischen Feld weiss man so gut wie nichts.

Eine Besonderheit gewisser «stark-elektrischer Fische» ist, dass sie selbst spontan ein Feld von relativer Stärke (bis zu 800 Volt) zu erzeugen vermögen. Es fehlen jedoch auch nach früheren Vorversuchen klare Erkenntnisse darüber, wie diese Formen sich in einem solchen bzw. in einem experimentell erzeugten Feld verhalten. Unsere Untersuchungen über das Verhalten vom Zitterwels (*Malapterurus electricus* Gmelin) in einem homogenen Gleichstromfeld haben ergeben: Auch dieser «stark-elektrische» Fisch orientiert sich in einem künstlich erzeugten elektrischen Feld im Sinne einer Galvanotaxis. Aus dieser Feststellung allein ergeben sich Konsequenzen verschiedenster Art.

Schon bei einer Felddichte von $0,3 \mu\text{A}/\text{mm}^2$ kommt es bei Orientierung des Kopfes in Richtung Anode (Stellung A) zu Zucken der Barteln, Seitwärtsschlagen des Schwanzes, Verstärkung der Kiemendeckelbewegung («primäre Reaktion»); steht der Fisch mit dem Kopf in Richtung Kathode (Stellung K), so verdoppelt sich die Reizschwelle ($0,8 \mu\text{A}/\text{mm}^2$); bei einer Orientierung quer zu den Feldlinien (Stellung Q) treten die Reaktionen schon bei $0,6 \mu\text{A}/\text{mm}^2$ ein.

Bei Erhöhung der Dichte über diese Werte wird ausserdem die Lokomotion in Form einer Galvanotaxis («sekundäre Reaktion») ausgelöst; diese besteht aus dem Zurücklegen mehrerer kontinuierlich aufeinanderfolgender Schwimmstrecken (Phasen). Die erste (negative) Phase umfasst stets ein Schwimmen in Richtung Kathode; als zweite (positive) Phase beobachtet man nach einer Wendung um 180° ein Schwimmen zur Anode. Diese gerichtete Lokomotion zu den beiden Elektroden hält an, so lange das elektrische Feld besteht (Versuch: zunächst 30 sec). Eine solche «diphasische Galvanotaxis» wurde bisher nur bei zwei Seesternen (*Astropecten*, *Asterina*) beobachtet⁶. Die Reizschwelle für die Auslösung der Lokomotion ist am niedrigsten bei Stellung A ($0,7 \mu\text{A}/\text{mm}^2$), verdreifacht sich fast bei Stellung K ($1,8 \mu\text{A}/\text{mm}^2$) und nimmt einen intermediären Wert ($1 \mu\text{A}/\text{mm}^2$) bei Stellung Q an.

Es hat sich nun gezeigt, dass eine solche Reizschwelle in der Nähe der Elektroden plötzlich absinkt, d.h. dort, wo das Versuchstier seine Wendung um 180° zu machen pflegt (Figur 1). Dieser Befund könnte vielleicht die regelmässige Körperwendung des Fisches am Ende jeder negativen und positiven Phase erklären. Die Untersuchung des Verlaufs der Feldlinien beim Erreichen der kritischen Zone durch den Fisch könnte Aufschluss hierüber geben.

Bei Erhöhung der Felddichte über die für eine Lokomotion entscheidende Reizschwelle hinaus wird folgendes beobachtet: 1. Eine Steigerung der Zahl der Körperwendungen bis zu einem Maximum von 6 Wendungen in 30 sec, das bei etwa $4,3 \mu\text{A}/\text{mm}^2$ liegt. Diese Zahl sinkt aber bei

noch höheren Werten rasch ab und erreicht den Wert 0 bei Dichten von $\geq 9,2 \mu\text{A}/\text{mm}^2$, so dass die diphasische Galvanotaxis völlig erlischt. 2. Eine deutliche Verkürzung der Schwimmstrecken, d.h. wenn z.B. bei einer Reizung mit einer Felddichte von $1 \mu\text{A}/\text{mm}^2$ der Zitterwels noch bis zu den Elektroden schwimmt und somit Strecken von jeweils 50 cm Länge zurücklegt, dann führt eine Reizung von $8 \mu\text{A}/\text{mm}^2$ zu Strecken von jeweils nur 12 cm Länge (Figur 2). Reizung mit Felddichten von mehr als $9,2 \mu\text{A}/\text{mm}^2$ führt zu einem «krampfähnlichen Zustand». Die einzigen dann erkennbaren Reaktionen bestehen in einem heftigen Zucken der Barteln, das bei der Stromschliessung einsetzt und erst bei der Stromöffnung wieder verschwindet, sowie einer sehr starken Erhöhung der Frequenz der Kiemendeckelbewegung. Wenn also hier bei einer Erhöhung der Felddichte um etwa $8 \mu\text{A}/\text{mm}^2$ erst ein krampfähnlicher Zustand, der Tod noch nicht bei $35 \mu\text{A}/\text{mm}^2$ eintritt, so bewirkt bei anderen Knochenfischen (nicht-elektrische!) schon etwa $1 \mu\text{A}/\text{mm}^2$ galvanischen Krampf bzw. galvanischen Tod.

Reizt man nun den Zitterwels mehrmals hintereinander mit derselben Dichte aus den o.a. Bereichen, so antwortet er bald auf weitere Reizungen nicht mehr. Dabei spielt die Pause zwischen den Reizungen die wichtigste Rolle. Beträgt sie z.B. 15 sec (Dauer jeweils einer Reizung 30 sec), tritt das Ausbleiben der Antwort nach 5 Reizungen ein;

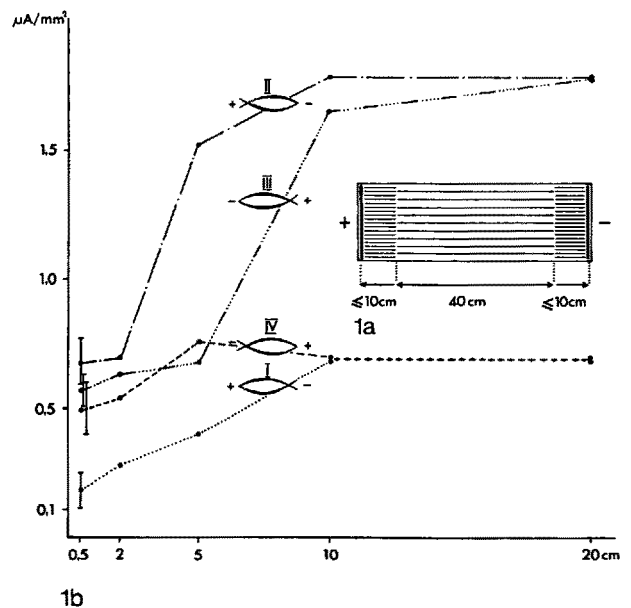


Fig. 1. a) Verteilung gleicher und veränderter Reizschwellen im Versuchsbereich. \equiv Zone konstanter Reizschwellen. \equiv Zone absinkender Reizschwellen und Auslösung der Lokomotion mit Wendung des Fisches um 180° . b) Änderung der zur Auslösung einer Lokomotion erforderlichen Reizschwelle mit dem Abstand von Elektrode und Fisch. I, Abstand zwischen Anode und Kopf. II, Abstand zwischen Anode und Schwanz. III, Abstand zwischen Kathode und Kopf. IV, Abstand zwischen Kathode und Schwanz.

¹ O. KUHN, J. SCHULZE und D. SPIECKER, *Experientia* 11, 327 (1955).

² D. SPIECKER, *Zool. Jb., Abt. Physiol* 67, 224 (1957).

³ K. E. MACHIN und H. W. LISSMANN, *J. exp. Biol.* 37, 801 (1960).

⁴ TH. SZABO und A. FESSARD, *J. Physiol. Lond.* 57, 343 (1965).

⁵ A. ROTH, *Z. vgl. Physiol.* 65, 368 (1969).

⁶ F. SCHEMINZKY, *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 226, 58 (1930).

bei einer Pause von 5 sec dagegen wird schon die 3. Reizung zu keiner Antwort mehr führen. Pausen von über 30 min vermögen auf die Antwort keinen Einfluss mehr auszuüben. Diese Erscheinung (Adaptation? Ermüdung?) wird bei anderen, d. h. nicht-elektrischen Knochenfischen unter den gleichen Bedingungen nicht beobachtet.

Reizungen mit impulsförmigem Gleichstrom sollen die grösste Wirkung auf einen Fisch erzielen^{7,8}. Untersuchungen der Elektrofischereiforschung aus neuerer Zeit (mündliche Mitteilungen) bestätigen diese Aussage. Man könnte also erwarten, dass Stromimpulse auch bei *Malapterurus* wirksamer sind als Stromdauerfluss. Das ist aber keineswegs der Fall. Bei Reizungen mit Impulsen müssen beim Zitterwels viel höhere Dichten verwendet werden, um eine Lokomotion («diphasische Galvanotaxis») auszulösen.

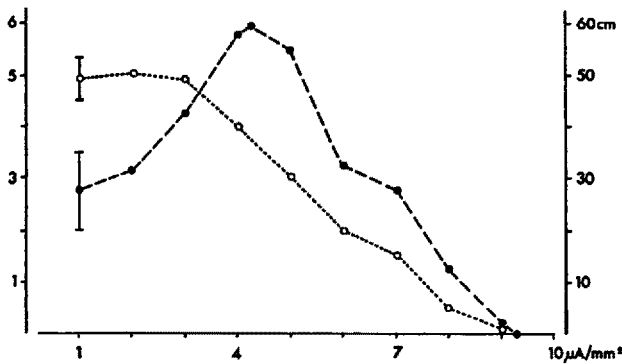


Fig. 2. Mittelwerte von der Anzahl der Körperwendungen (● Ordinate links) sowie der Schwimmstrecken (○ Ordinate rechts) bei verschiedenen Felddichten (Abszisse) während einer Reizung von 30 sec.

Dabei spielen sowohl die Breite des Impulses als auch die Impulsintervalle eine wichtige Rolle. Impulse, deren Breite kleiner als 5 msec oder deren Intervall grösser als 90 msec beträgt, vermögen selbst bei vervielfachter Felddichte nicht mehr zu einer Lokomotion zu führen. Da *Malapterurus* selbst bei seinen Entladungen elektrische Felder in Form von Stromstössen entstehen lässt, wäre es denkbar, dass die höhere Reizschwelle gegenüber solchen hiermit in Zusammenhang steht.

In der Auswertung befinden sich Untersuchungen über das Verhalten von *Malapterurus* mit und ohne eigene Entladungen im inhomogenen Gleich- bzw. Wechselstromfeld, den Verlauf der Feldlinien in Beziehung zum Fischkörper sowie die Lokalisation der Reizstellen unter Ausschaltung z. B. des Ramus lateralis⁹.

Résumé. On a observé que le malaptérure réagit à des excitations électriques externes (courant continu homogène) par une «galvanotaxie diphasique». Ces résultats avec leurs détails mettent en évidence une différence bien nette entre le comportement du malaptérure et celui des autres poissons osseux non électriques.

E. KASTOUN⁹

Zoologisches Institut der Universität, Weyertal 119,
D-5 Köln 41, Lindenthal (Deutschland), 29. März 1971.

⁷ E. HALSBAND, Arch. Fisch. Wiss. 7, 143 (1954).

⁸ H. W. DENZER, Handbuch der Binnenfischerei in Mitteleuropa, (Schweizerbart, Stuttgart 1956), Erg.-Bd. zu V, p. 161

⁹ Mit Unterstützung des «Conseil National de la Recherche Scientifique» (Beirut).

Acid-Base Balance in Artificially Respired Guinea-Pigs under Normal Conditions and During Exposure to Hyperbaric Helium

Certain drug evaluation procedures being used in this laboratory necessitate the use of artificial respiration of guinea-pigs during exposure of the animals to a hyperbaric helium atmosphere. In order to ascertain that the artificial ventilation maintained normal acid-base balance, arterial blood pH was measured in guinea-pigs during artificial respiration either at normal or elevated pressure. In animals respired at normal pressure, arterial blood pO₂ and pCO₂ were also measured. The pH and gas values were compared with values found in unanesthetized and in anesthetized, non respired animals. The values for pH and pCO₂ determined for normal animals were not in good agreement with previously reported values¹.

Four groups of male guinea-pigs of the NMRI (H) strain, weighing 300–500 g, were used. In group I (normal, unanesthetized), a length of PE-50 tubing was inserted in the carotid artery while the animals were under light ether anesthesia. 4 h following recovery from anesthesia, carotid artery blood samples were drawn for analysis. In group II, animals were anesthetized with Dial-urethane solution (0.6 ml/kg, i.p.) and the carotid artery was cannulated as in the first group. Duration of anesthesia was greater than the remainder of the experiment, and arterial blood samples were drawn 4 h after completion of surgery. Groups III-A and III-B (artificially respired animals exposed to normal or high pressure, respectively) were treated in the same manner as animals in group II, but, in addition, the trachea was cannulated and the animals were connected to a

piston-type small animal respirator with inflation volume set to provide an inflation pressure of 65 mm H₂O.

The respirator was set at a rate that just prevented animals from breathing spontaneously, and this rate was determined by trial and error for each animal. The suppression of spontaneous respiration was considered to result primarily from operation of an inhibitory respiratory reflex (Hering-Breuer inflation reflex). The possibility that hyperventilation contributed to the suppression cannot be totally ruled out, but this contribution must have been quite small in view of the normal arterial blood pH values subsequently measured in these animals.

Blood samples from animals in group III-A were obtained after 1 and 4 h of artificial respiration. Animals in group III-B were pressurized in a hyperbaric chamber² to a total pressure of 282 Ψ (final composition of the hyperbaric atmosphere was pHe = 19.0 atm.; pO₂ = 0.2 atm.). Blood samples from animals of group III-B were obtained 1 and 4 h after pressurization. Gas and pH values for group III-A, and pH values for group III-B, measured in

¹ P. L. ALTMAN and D. S. DITMER, *Biology Data Book* (Federation of American Societies for Experimental Biology, Washington, D.C. 1964), p. 260.

² A. SMALL, Toxic. appl. Pharmac. 17, 250 (1970).