

5/79

15. Mai 1979

28. Jahrgang

G 21663 E

**PRAXIS
DER
NATURWISSENSCHAFTEN
BIOLOGIE**

IM UNTERRICHT DER SCHULEN



AULIS VERLAG DEUBNER & CO KG KÖLN

PRAXIS DER NATURWISSENSCHAFTEN

Heft 5

15. Mai 1979

28. Jahrgang

BIOLOGIE

Reizphysiologische Experimente mit *Gnathonemus petersii* — einige Anleitungen

Von *Alois Babl*, *Robert Schwankner* und *Richard Spies* in Traunstein

„In den Naturwissenschaften gilt nur das als wahr, was sich im reproduzierbaren Experiment unter Ausschluß aller möglicherweise verfälschenden Einflußgrößen als richtig erwiesen hat. Naturwissenschaft also erzieht zur Skepsis, derer wir heute, da wir wegen der Fülle von Kommunikationsmöglichkeiten mehr denn je zuvor dem Einfluß von Scharlatanen ausgesetzt sind, besonders dringlich bedürfen. Zu viele Leute, die ihrer Ideologie, ihrer Heilslehre oder den Anpreisungen ihrer Waren ein wissenschaftliches Mäntelchen umhängen, sind darauf aus, uns irrezuführen und auszubeuten. ‚Jugend forscht‘ kann mithin als eine hohe Schule des kritischen Bewußtseins angesehen werden, als eine Gelegenheit, sich auf das Leben in der technisierten Welt vorzubereiten. Und das scheint mir aller Mühe wert zu sein, auch der Ibrigen¹⁾.“

Vorbemerkungen

Trotz der immer wieder gemachten Abstriche am wissenschaftlichen Anspruch der Kollegstufe — ein Begriff der nichts mit überfüllten, an Notenstellen orientierten Curricula gemeinsam hat — legen wir diese Arbeit vor.

Wir sind der Ansicht, daß nur das selbständige Durchlaufen von Forschungsellipsen den wahren Wert der reformierten Oberstufe ausmacht. Wie

oft müssen Kollegiaten leider feststellen, daß sie mit dem ihnen aufgetragenen Thema der Facharbeit nicht zurechtkommen: geringe Zeit des ohnehin überlasteten Kursleiters, keine Geräte, Stoffülle, keine Möglichkeit zum Experimentieren. Angesichts der genannten Tatsachen verwundert es nicht, daß auch in den Naturwissenschaften immer mehr „literarische“ Themen vergeben werden, und damit die Chance des eigenständigen Arbeitens und selbständigen Erlebens von Naturwissenschaft vertan wird. Es soll damit gerade nicht einer fachlichen Spezialisierung das Wort geredet werden, um mit der Kreidebiologie der reformierten Oberstufe „Aminosäuerlinge“ im Sinne von *Horst Stern*²⁾ heranzuzüchten, denn diese beschreiten ohnehin ihren Weg — vielmehr geht es darum, in unserer hochtechnisierten Welt einer möglichst breiten Schicht naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweise näherzubringen.

Unterricht soll also nicht um des Curriculums, sondern um der Lernenden willen organisiert werden, sondern als Beitrag zur Förderung konstruktiv kritischen Denkens und Beurteilens im Sinne obigen Zitats.

¹⁾ Dr. Thomas von Randow, Leiter des Wissenschaftsressorts der „Zeit“ im Taschenbuch: *Jugend forscht* 75, 6—7

²⁾ Vgl. *Horst Stern*, Mut zum Widerspruch, rororo

Somit versteht sich diese Arbeit als Beitrag zur Erleichterung von Facharbeiten im Bereich Biologie; sie zeigt einige technische Möglichkeiten auf, wobei es dem Kollegiaten überlassen ist, mit diesen eine sinnvolle Fragestellung anzugehen. Eine technische Hilfe also von Betroffenen für Betroffene!

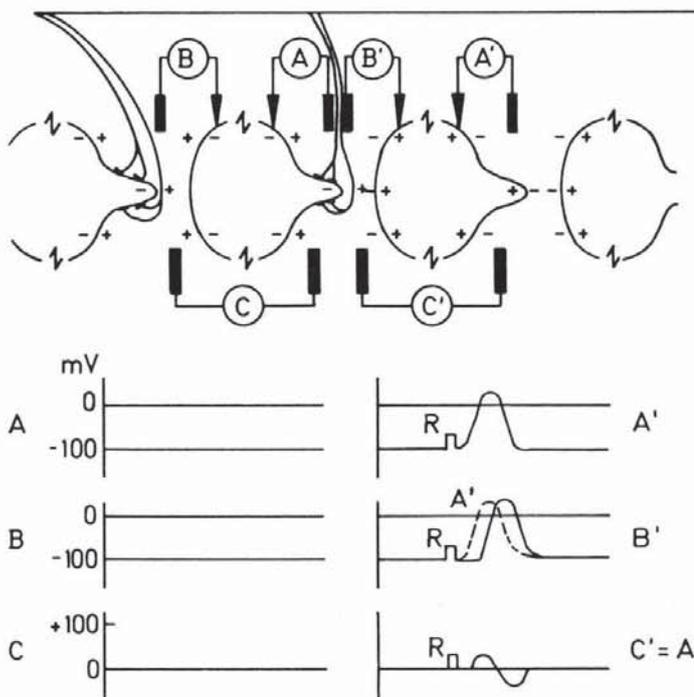
Lange vor Beginn unserer Zeitrechnung kannte man das Phänomen der Elektrizität bei Fischen: Die Ägypter wußten von der Macht der elektrischen Schläge des Zitterwelses (Abbildungen in Grabkammern), Griechen und Römer verwendeten den Schock des Zitterrochens zu therapeutischen Zwecken und zur Bestrafung von Sklaven. Zu den genannten Vertretern der stark elektrischen Fische zählt man den Zitteraal, der Schläge von 700 V bis 1 A aussenden kann. Erst in den letzten Jahrzehnten beschäftigte man sich in zunehmenden Maße mit den zahlreichen Arten der schwach elektrischen Fische. Man kommt zu der Erkenntnis, daß schwach elektrische Fische biphasische Impulse zum einen in regelmäßiger, aber veränderbarer Frequenz („Summer“), zum anderen diese Impulse in unregelmäßiger Folge („Knatterer“) aussenden. Zur zweiten aufgeführten Spezies zählt auch *Gnathonemus petersii*.

Man nimmt an, daß die Wahrnehmung schwach elektrischer Felder bereits bei den Frühformen

der Wirbeltiere vorhanden war. Wahrscheinlich führte aber die Entwicklung leistungsfähigerer Sinnesorgane bei den meisten Fischfamilien zum Verlust der Elektrorezeptoren.

Schwach elektrische Fische besitzen elektrische Organe, die sie zur Elektro-Kommunikation bzw. zur aktiven und passiven Ortung benützen. Diese Organe entstanden aus umgebildeten Muskelzellen, vor allem im Schwanzbereich, die sich als Elektrozyten (=Zellen des elek. Organs) hintereinander anordnen. Abbildung 1 zeigt eine solche Elektrozytenreihe als Ausschnitt. Eine solche Zelle ist durch eine isolierende Membran geteilt, somit läßt sich auch über der hinteren Seite (A) und über der vorderen Seite (B) ein Ruhepotential ableiten. Löst man nun durch elek. Reizung des motorischen Nerven die Entladung eines Elektrozyten aus, so beobachtet man sowohl in Ableitung A' an der hinteren, als auch in B' an der vorderen Membran eine kurzfristige Umladung, d. h. ein Aktionspotential.

Beide Membranen laden sich um, wobei die Amplituden zeitlich verschoben (wäre dies nicht der Fall, so könnte keine Nettospannung gemessen werden) sind = biphasischer Impuls. Durch Reihen- und Parallelschaltung kann maximal eine Spannung um 1 V* und eine Stromstärke von einigen



Schematischer Ausschnitt aus einer Reihe von Elektrocyten

Abgegriffene Potentiale

R = Reiz

Abb. 1. Schematischer Ausschnitt aus einer Reihe von Elektrozyten: A, B, C symbolisieren die Abgreifelektroden zur Registrierung von Ruhepotentialen. Über A', B', C' werden die Aktionspotentiale abge-

griffen. Die Polung der Elektrozytenmembran kehrt sich bei der Reizung um! Entstehung des biphasischen Impulses, siehe Text.

* im Wasser abgegriffen

mA erreicht werden (vgl. Reihenschaltung von Batterien führt zur Summation der Einzelspannungen, die Parallelschaltung erlaubt höhere Belastung). Der Fisch baut mit Hilfe dieses Potentials um sich ein elektrisches Feld auf.

Durch spezielle Elektrozeporen kann er eine Verzerrung dieses Feldes registrieren und unterscheidet dabei nach neuraler Verrechnung zwischen Kommunikation mit Artgenossen und dem Vorhandensein von Stoffen verschiedenen Leitvermögens in der näheren Umgebung. Hierbei ist zu beachten, daß Leiter mit hoher Dielektrizitätskonstante die Feldlinien in sich verdichten und diese somit verstärkt auf die Haut des Fisches „auftreffen“, bei Nichtleitern ist es umgekehrt. *Gnathonemus* besitzt also unterschiedliche Rezeptoren, die die Entladungen von Artgenossen und die Veränderung des eigenen Feldes registrieren (Siehe Abb. 2 und 3). Zudem können elek. Fische schwächste Gleichstromfelder wahrnehmen.

1. Versuchsanleitungen für reizphysiologische Experimente bei *Gnathonemus petersii*

Für die Versuche werden Exemplare der Art *Gnathonemus petersii* verwendet.

Gnathonemus petersii kennt man auch unter dem Namen Tapirfisch, Rüsselfisch oder Elefantenfisch; er entstammt der Familie der Mormyridae, Nilhechte. Die Größe des Fisches variiert von 15–25 cm. Das Vorkommen beschränkt sich vorwiegend auf die Äquatorialzone des afrikanischen Kontinents. Dort lebt er in schlammigen Nebenflüssen (Diese Tatsache mag auch eine Erklärung dafür sein, daß neben den schlechten optischen Sinnesorganen ein ausgeprägtes elektrozepitives System ausgebildet wurde — evolutorisch bedingt?) und wird von den Einheimischen sogar als Speisefisch gefangen (Abb. 4).

Jedes Tier wird in ein Plasticaquarium mit ungefähr 30 Liter Wasser eingesetzt (für das Einsetzen sind die genauen Anleitungen der Tierhandlung zu beachten), die Temperatur des Wassers beträgt 26 °C; Härtegrad des Wassers: 9 °dH. Zur Grundausstattung des Aquariums benötigt man noch: 1 Heizstab, 1 Umwälzpumpe mit Filter, 1 Luftzufuhr. Zugabe von Salz kann der Zusammensetzung des Wassers, das möglichst den natürlichen Gegebenheiten entsprechen soll, förderlich sein. Am Grund des Beckens wird vor dem Einsetzen des Fisches eine 2–3 cm hohe Sandeinlage aufgefüllt. Zusätzlich benötigt man eine Hart-

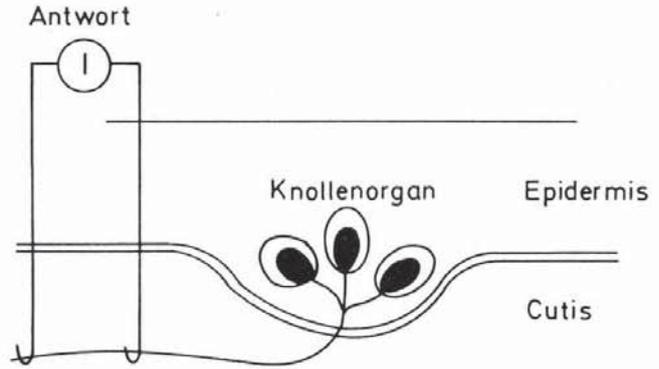


Abb. 2. Durch die einfache Anwendung des Reafferenzprinzips (2) kann *Gnathonemus* in den Knollenorganen zwischen Eigenentladungen und Fremdentladungen unterscheiden.

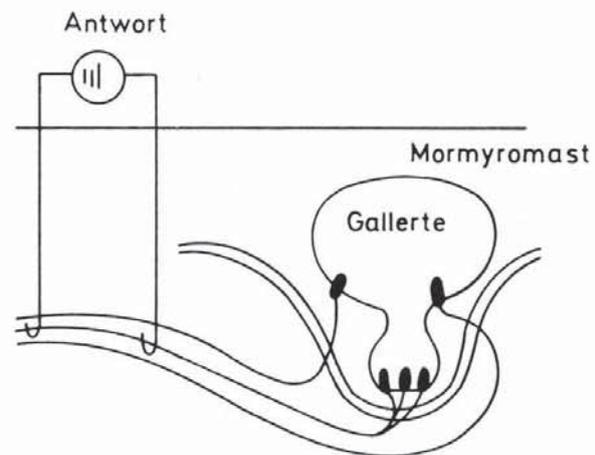


Abb. 3. Durch die Mormyromasten wird eine Verzerrung des elektrischen Feldes des Fisches registriert, wenn sich gute Leiter (vermehrtes Auftreffen von Entladungen auf die Haut des Fisches) in der Nähe befinden; umgekehrt bei der Annäherung an schlechte Leiter.



Abb. 4. *Gnathonemus petersii*; gut sichtbar der charakteristische „Rüssel“ und der Bereich zwischen den Rückenflossen, wo das elektrische Organ lokalisiert ist.

plastikröhre, die der Fisch sehr schnell als seine Wohnröhre in Besitz nimmt. Sie sollte so groß sein, daß *Gnathonemus* völlig darin verschwindet und sie muß an beiden Seiten geöffnet sein, damit das Tier hindurchschwimmen kann. Als Futter dienen ungefähr 5 g frische Tubifex, die im Abstand von 2 Tagen in das Wasser gegeben werden (je nach Größe des Fisches). Das Aquarium muß mit einer Styroporplatte abgedeckt werden, da *Gnathone-mus petersii* möglicherweise versucht, aus dem Aquarium zu springen. In die Abdeckplatte werden Löcher für die Elektroden eingebrannt.

1.1. Sichtbarmachen der Impulse am Oszillographen

Die beiden Abgreifelektroden (Kohlelektroden) sind mit einem Vorverstärker (100fache Verstärkung) verbunden. Der Verstärker wird auf den Oszillographeneingang geschaltet. Die Zeitablenkung am Osz. beträgt $50 \mu\text{s}/\text{cm}$ (Abb. 5).

Am Sichtschirm erscheinen unregelmäßige, biphasische Impulse, die meistens nur einige μs andauern. Sie lassen sich durch mechanische, akustische oder andere Reizung des Fisches stark verändern (Abb. 6).

1.2. Registrierung der Impulse mit einem Zählgerät (Leybold 57 545) (Abb. 8)

Die Abgreifelektroden werden auf den Verstärkereingang geschaltet (bei Röhrengerät etwa 10

Minuten aufheizen). Der Verstärkerausgang (niederohmig) wird auf den Zählgeräteingang geschaltet. Der Rauschpegel des Verstärkers darf die Eingangsschwelle des digitalen Zählgerätes nicht übersteigen, da dies sonst zu einer Verfälschung der Impulsrate führen würde. Eine Überprüfung der gezählten Impulse wird durch den Lautsprecher des Zählgerätes ermöglicht, das heißt die hörbaren Impulse müßten mit den Impulsen auf der Sichtanzeige des Zählgerätes übereinstimmen. Außerdem ist eine Stoptaste vorhanden, die es ermöglicht Zwischensummen abzurufen, während das Gerät weiterzählt. Mit dem Zählgerät kann wahlweise jeder Impuls, jeder 10te oder 100ste Impuls registriert werden (das Gerät ist preisgünstig und bietet auch Einsatzmöglichkeiten in der Radiochemie) [14]. Schaltbild siehe Abb. 7 ohne Impulsgenerator.

1.3. Registrierung der Impulse mit einem Schreiber (Leybold 57 560) (Abb. 10)

Die Abgreifelektroden werden wiederum auf den Eingang des NF-Verstärkers geschaltet. Vom Ausgang des Verstärkers geht man auf ein Ratemeter (Leybold 57 552). Eingang für Wechselspannung verwenden, nicht für Hochspannung! Die Vorspannung am Hochspannungseingang bleibt somit immer auf 0 Volt! Die Einstellung am Ratemeterausgang und Schreibeingang beträgt 10 Imp/s/V .

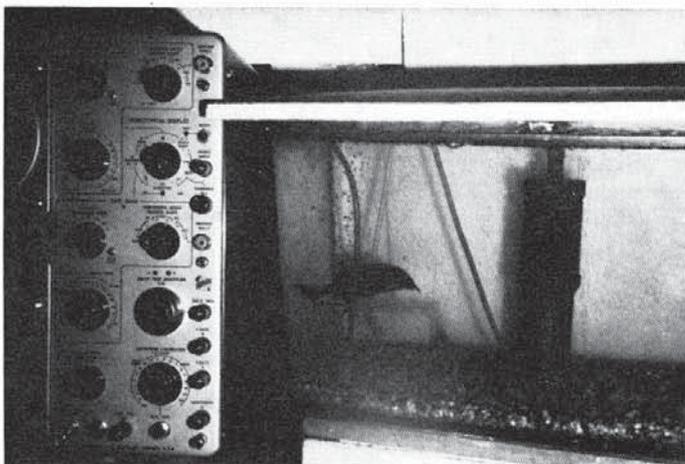


Abb. 5. G. p. Im Aquarium mit Umwälzpumpe und Luftzufuhr. Links der Oszillograph.

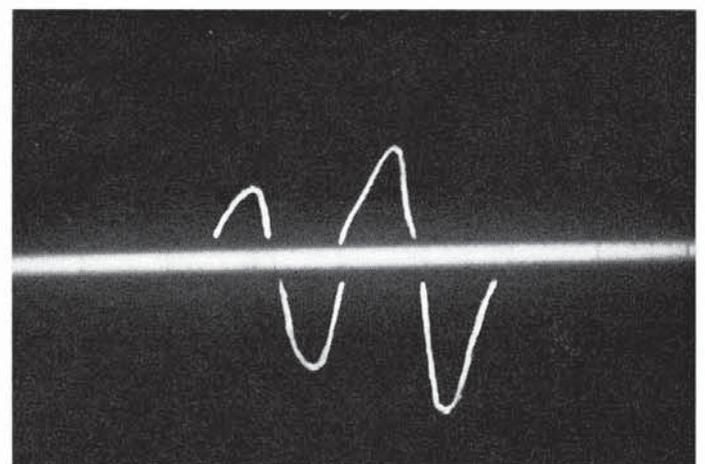


Abb. 6. Abgeleitete Impulse des Fisches; charakteristisch die biphasischen Entladungen mit unterschiedlicher Amplitude!

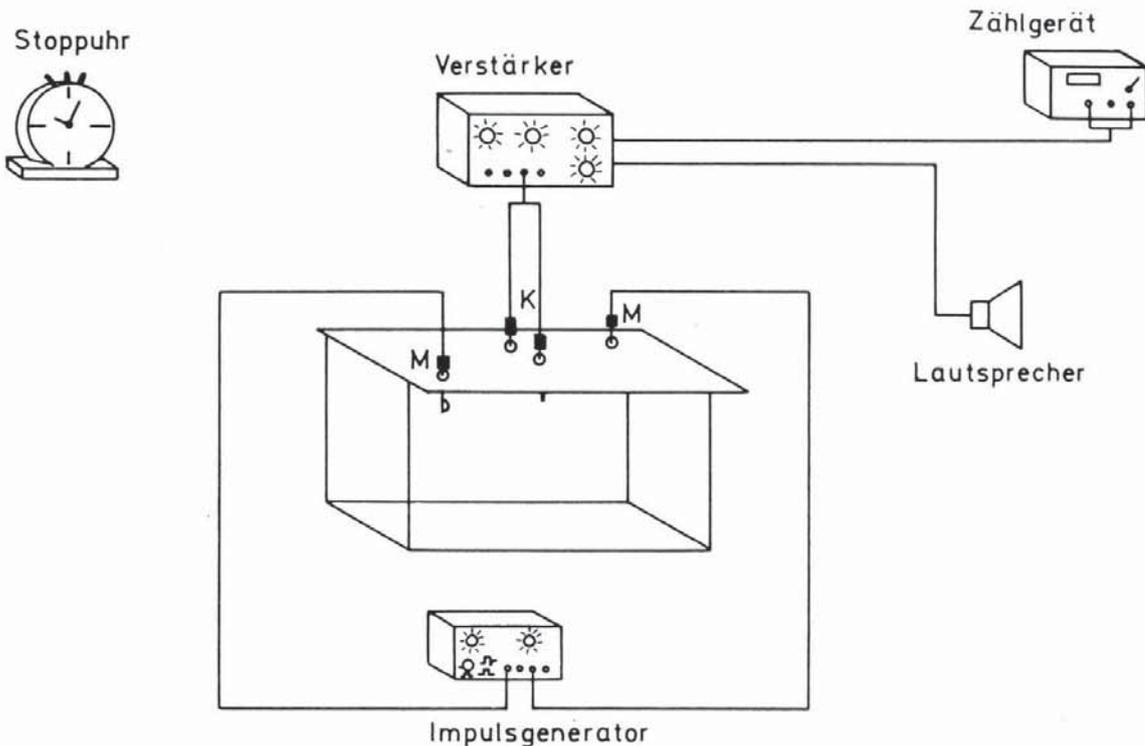


Abb. 7. Elektrodenabstand:

M=Metallelektroden 20 cm, werden als Reizelektroden verwendet (keine eckigen Kanten!).
 K=Kohleelektroden 5 cm, werden als Abgreifelektroden verwendet (keine eckigen Kanten).
 Mit dieser einfachen Versuchsanordnung läßt sich das Versuchstier leicht reizen und die veränderte Ent-

ladungstätigkeit aufzeichnen. Beim Einstellen der Registerschwelle (unterschwellige Impulse werden vernachlässigt) kann der Lautsprecher sehr hilfreich sein, im ständigen Vergleich zum Zählgerät. Alle Geräte müssen geerdet sein!

Die Aufzeichnung erfolgt analog, d. h. es werden die Impulse im Ratemeter aufsummiert und somit das Integral der Impulse (= Impulssumme) über die Zeit gebildet. Die unter der Kurve liegende Fläche entspricht der Entladungstätigkeit des Fisches (Abb. 9 ohne Impulsge.).

gang des Tonbandes geschaltet. Das Tonband muß vor der Aufnahme bereits laufen und darf nur langsam hochgeregelt werden, um einen Einschaltimpuls zu vermeiden. Beim Abzählen der Impulse wird der Lautsprecherausgang des Tonbandes auf den Zählgeräteingang geschaltet.

1.4. Aufzeichnung der Impulse mit dem Tonband
 Elektroden und NF-Verstärker wie vorher. Der Verstärkerausgang wird auf den Mikrophonein-

2. Versuchsanleitungen zur Reizung

2.1. Reizung durch verschiedene Impulsformen

Der Versuch wird folgendermaßen aufgebaut: Durch einen Impulsgenerator werden elektrische Reize über Metallelektroden in das Aquarium geleitet. Mittels zweier Kohleelektroden werden die Entladungsimpulse des Fisches über einen NF-Verstärker auf ein Zählgerät und einen Lautsprecher übertragen. Die Reizelektroden werden in den Aquarienecken diagonal angeordnet, die Abgreifelektroden befinden sich senkrecht zur Verbindungslinie der ersteren (d. h. auf einer Äquipotentiallinie des ersten Feldes). Diese Anordnung ist nötig, um eine starke Überlagerung beider Felder zu vermeiden, was zu einer Verfälschung der

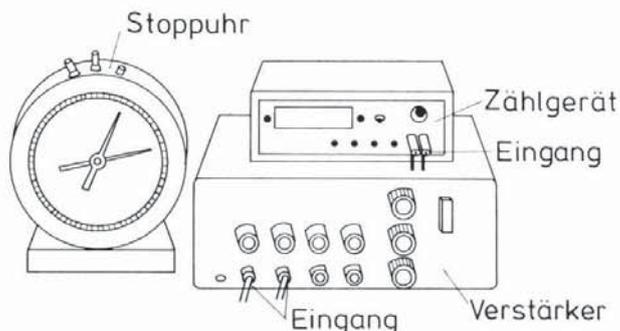


Abb. 8. NF-Verstärker; Zählgerät; Tischstoppuhr, um die Zeitabstände für die Zwischensummen ablesen zu können (Tischstoppuhr LEYBOLD 31305).

Stoppuhr

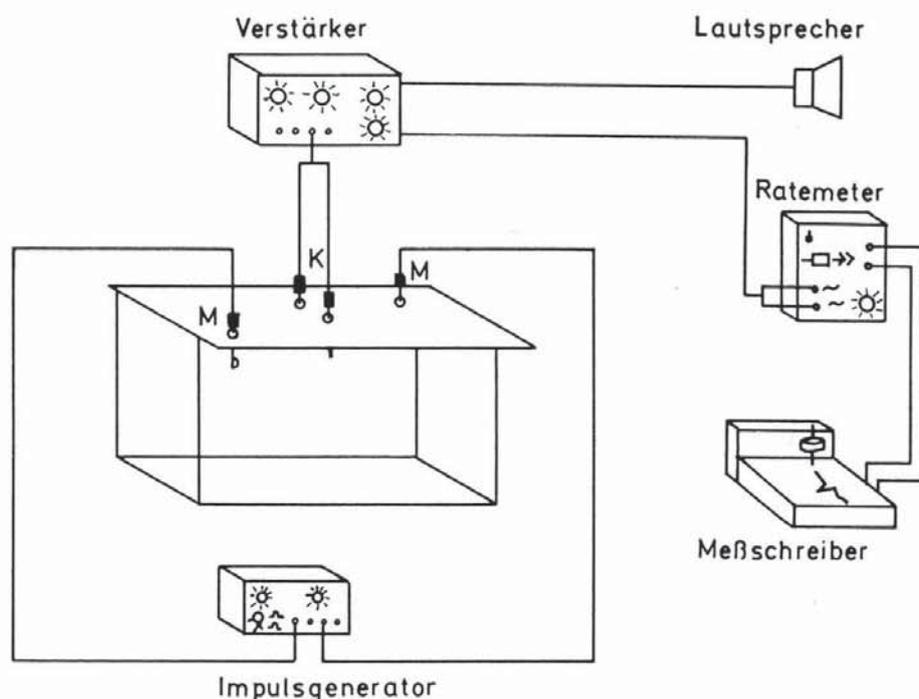


Abb. 9. Elektrodenabstand wie bei Abb. 7.

Bei der Reizung durch ein Magnetfeld wird die gleiche Anordnung verwendet, nur tritt an die Stelle des Impulsgenerators ein Niederspannungsnetzgerät (Gleichstrom), das mit der Spule im Aquarium in Ver-

bindung steht. Zusätzlich sollte in Serie ein Amperemeter in den Stromkreis geschaltet werden. Integrator und Meßschreiber eignen sich zu einer sehr genauen Aufzeichnung der Impulse des Fisches (alle Geräte erden!).

Meßrate führen könnte. Abstand der Reizelektroden: 20 cm, Eintauchtiefe: 9,5 cm. Abstand der Abgreifelektroden: 5 cm, Eintauchtiefe: 5 cm (Schaltbild Abb. 7).

Durch den Impulsgenerator (Leybold 52 256) können 5 verschiedene Impulsformen (monophasische und biphasische) als Reizimpulse verwendet werden. Die Reizspannung sollte ungefähr 0,1 V betragen. Die Reizfrequenz ist biologisch sinnvoll zu wählen (Abb. 11).

Bevor nach 2 Minuten eine neue Reizfrequenz eingestellt wird, soll eine 15 Sek. dauernde Pause gemacht werden. Aufzeichnung wie unter 1.2 oder 1.4.

2.2. Aufzeichnung der Tag- und Nachtentladungstätigkeit

Aufbau des Versuchs wie unter 1.3. Bei einer Aufzeichnung über 24 Stunden ist zu beachten, daß eine möglichst kleine Laufgeschwindigkeit gewählt wird, jedoch so, daß die einzelnen „Bursts“ noch aufgelöst werden.

Möchte man nur einzelne Stichproben über einen Zeitraum von 24 h verteilen, so ist es zweckmäßig

eine Schaltuhr zu verwenden, die Schreiber und Ratemeter für gewisse Zeitspannen in Betrieb setzt.

2.3. Aufzeichnungen bei verschiedenen Wassertemperaturen

Aufbau wie unter 1.3. Wenn das Wasser im Aquarium auf eine bestimmte Temperatur erwärmt ist (in einem biologisch sinnvollen Bereich zwischen 20°—30 °C), muß das gesamte Aquarium mit Styroporplatten abgedeckt werden um die Temperatur einigermaßen konstant zu halten (Kontrollen mit einfachen Thermometer).

Eine weitere Möglichkeit, die Temperatur aufrecht zu erhalten, bietet ein Umlaufbecken. Man verwendet ein zweites abkühlbares bzw. beheizbares Aquarium, das unter dem Experimentieraquarium steht und pumpt das Wasser langsam in das Versuchsaquarium. In diesem muß ein Ablauf vorhanden sein, der es ermöglicht die gleiche Wassermenge in das beheizbare Aquarium zurückfließen zu lassen. Die Wassermenge, die umgepumpt wird, darf nur sehr gering sein.

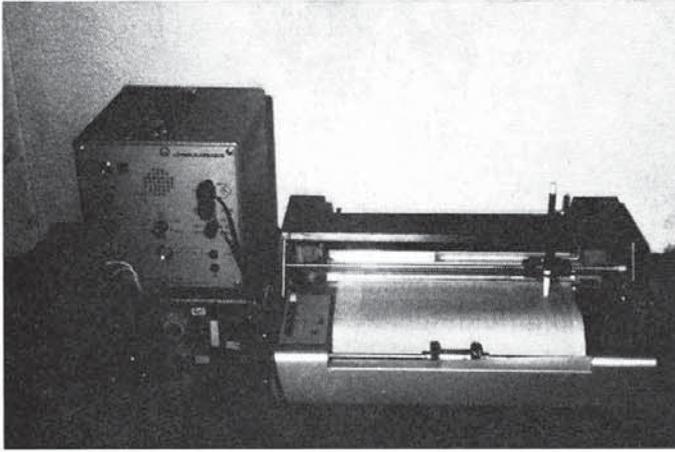


Abb. 10. Verstärker, Ratemeter; Schreiber.



Abb. 11. Zählgerät; Stoppuhr; NF-Verstärker; Impuls-generator.

2.4. Reizung durch ein Magnetfeld

Man unterscheidet zwischen einem konstanten Magnetfeld, das parallel oder senkrecht zum elektrischen Feld des Fisches aufgebaut wird. Die Geräte werden wie in Abbildung 9 zusammenschaltet (beachte Legende zu Abb. 9).

2.4.1. Reizung durch ein Magnetfeld; parallel zum elektrischen Feld des Fisches

Für dieses Experiment wird ein Telefondraht (Durchmesser 1,5 mm, um eine Erwärmung zu vermeiden; der Draht muß völlig isoliert sein!) um die Längsachse einer Plastikröhre gewickelt, so daß eine Magnetspule entsteht. Der Fisch wird nun in diese Röhre hineingesperrt, er muß sich aber darin noch bewegen können. Mit Hilfe eines Niederspannungsgerätes fließt durch die Spule ein Gleichstrom. Übertragung und Aufzeichnung der Antwortimpulse erfolgt wie bei allen anderen Experimenten, nur sind diesmal als Abgreifelektroden zwei Kupferdrähte in die Röhre eingebaut. Konstruktion der Spule Abb. 12; 13. Die Magnetfeldstärke, die als Reizparameter verwendet werden kann, berechnet sich wie folgt:

$$\text{Feldstärke} = \frac{\text{Zahl der Wicklungen} \times \text{Stromstärke}}{\text{Länge der Spule}}$$

$$\left(H = \frac{n \cdot J}{l} \right)$$

Man muß ein gutes Niederspannungsgerät verwenden, das etwa mit 12 A belastbar ist; es ist natürlich auch eine Kurzschlußsicherung am Gerät nötig. Bei der Einstellung der gewünschten Stromstärke darf nur langsam hochgeregelt werden. Um

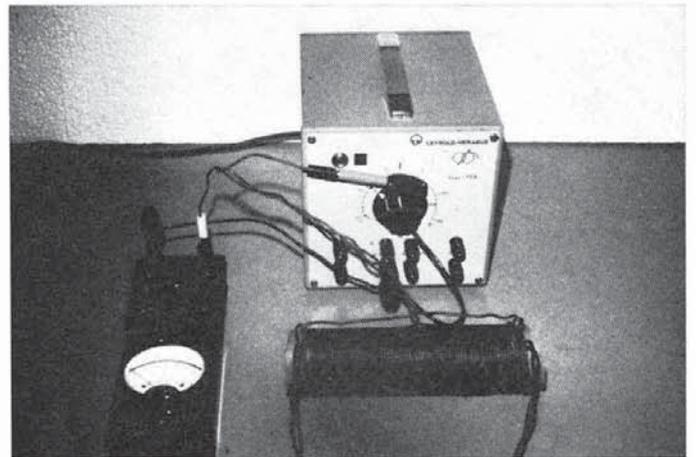
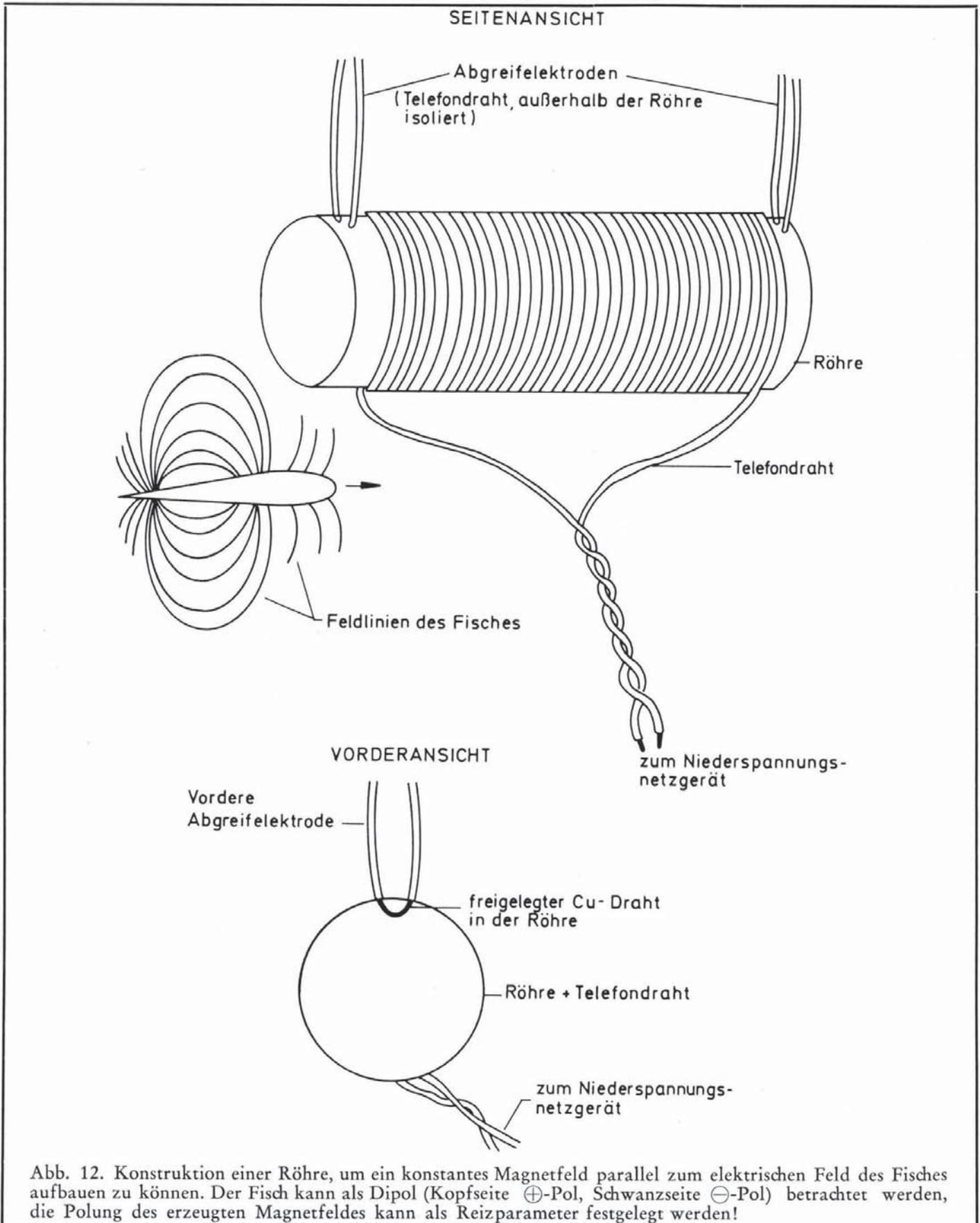


Abb. 13. Magnetspule, um ein Magnetfeld parallel zum elek. Feld des Fisches aufbauen zu können; Ampere-meter; Niederspannungsnetzgerät (Kleinspannungstrrafo: LEYBOLD 522 39).

kein „Netzbrummen“ zu erhalten, muß ein Gerät benützt werden, das dies unterdrückt (50 Hz aus Wechselstromnetz) (Abb. 13).

2.4.2. Reizung durch ein Magnetfeld senkrecht zum elektrischen Feld des Fisches

Für dieses Experiment benötigt man zusätzlich zu einer Plastikwohnröhre ein PVC-Rohr (Durchmesser: 16 cm, Länge: 30 cm). In dieses PVC-Rohr wird ungefähr in der Mitte, quer zur Längsachse, auf jeder Seite ein Loch gebohrt, so daß die Plastikröhre hindurchgeschoben werden kann. Dann wird rechts und links der kleineren Röhre eine 4—5 cm breite Wicklung angelegt (3fach), diese Wicklung schließt man an ein Niederspannungsgerät an und läßt Gleichstrom durch die Spule fließen. In die kleinere Röhre, in der sich dann der Fisch befindet, sind als Abgreifelektroden wieder 2 Kupferdrähte eingebaut, die außerhalb



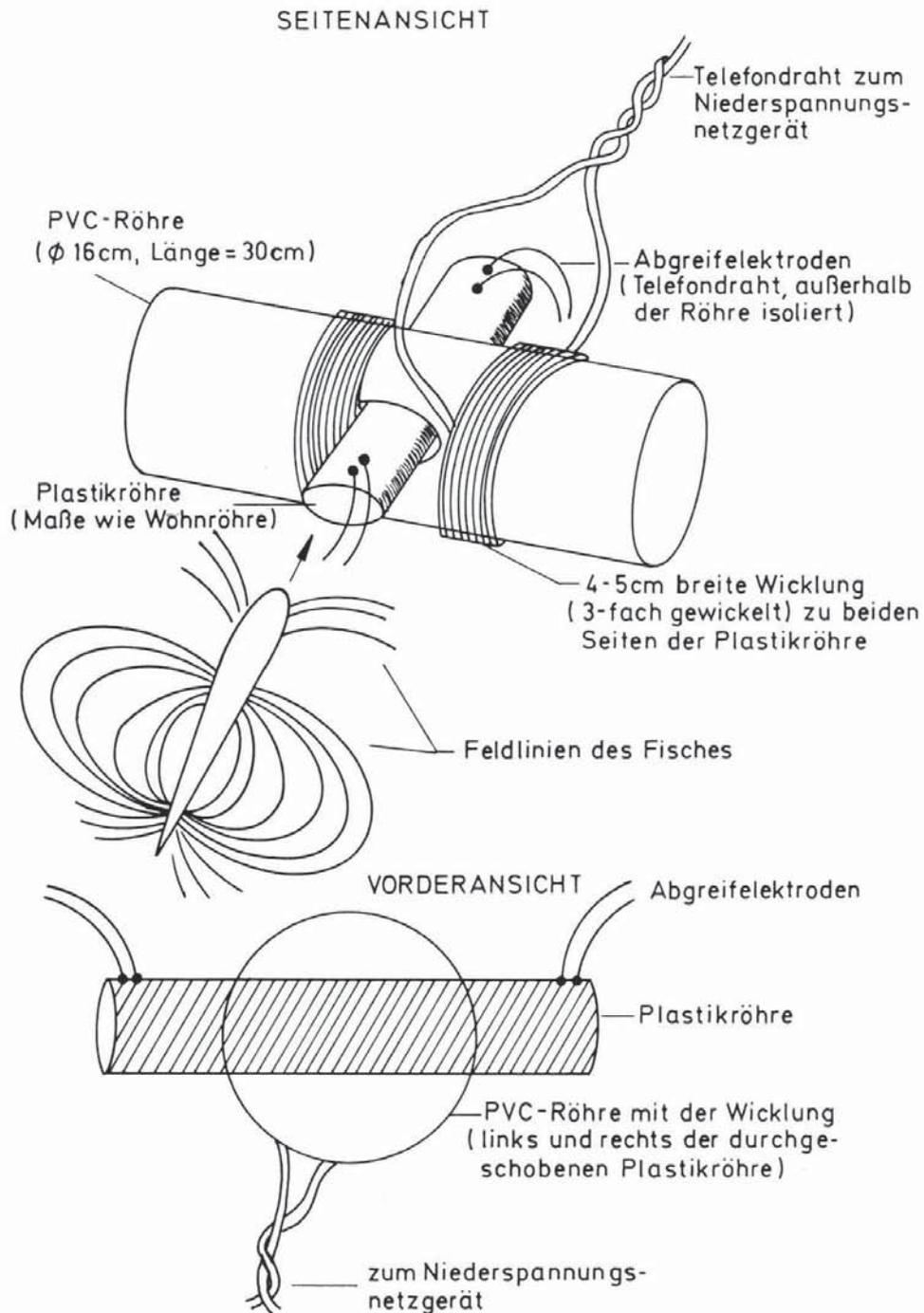


Abb. 14. Konstruktion einer Röhre, um ein Magnetfeld senkrecht zum elek. Feld des Fisches aufbauen zu können. Das Loch in der PVC-Röhre, durch das die Plastikröhre geschoben wird, wird am besten ausgebohrt (einzelne Bohrungen nebeneinander und dann herausbrechen) oder auch ausgefräst.

der Röhre isoliert sind. Die Aufzeichnung der Antwortimpulse erfolgt durch NF-Verstärker, Ratemeter, Schreiber. (Genauer Konstruktionsplan siehe Abb. 14.) Für die Berechnung der Feldstärke und für das Niederspannungsnetzgerät gilt das bereits unter 2.4.1. erwähnte. Die Magnetfeldstärke sollte der Erdmagnetfeldstärke angeglichen sein, bzw. kann in Relation dazu verändert werden.

3. Versuche mit den angegebenen Mitteln

Falls zwei Fische vorhanden sind, kann man durch Kabel mit Elektroden 2 Aquarien zusammenschalten, d. h. die Impulse des einen Fisches werden in das andere Becken geleitet, und umgekehrt. Hierbei dürfte es vor allem interessant sein, inwieweit sich die Frequenz der Entladungen der beiden Fische voneinander abhebt.

Eine andere Möglichkeit ergibt sich durch das Einsetzen mehrerer Fische in ein Aquarium (nur für die Versuchsdauer). Die Untersuchung der Gesamtaktivität und des Verhaltens der Fische dürfte zu eindrucksvollen Ergebnissen führen.

Ein sehr einfaches Experiment ermöglicht die Tatsache, daß *Gnathonemus petersii* auf verschiedene Leiter bzw. Nichtleiter reagiert. Es wäre folgendermaßen durchzuführen:

Gegenstände der gleichen Form (Stäbe), aber mit verschiedener Leitfähigkeit, werden einzeln für eine bestimmte Zeit (etwa 1 Minute) in das Aquarium gelassen; dabei wird die Entladungstätigkeit aufgezeichnet. Als Ersatz könnte man auch die Abgreifelektroden mit verschiedenen Widerständen verbinden, die der unterschiedlichen Leitfähigkeit entsprechen.

4. Hinweise zu den Versuchen

1. Außer bei der Reizung durch Magnetfelder bleibt die Wohnröhre im Aquarium; während der Versuche nicht füttern.

2. Pumpe und Heizstab sollten bei den Versuchen entfernt werden (Gefahr von Verletzung oder Kurzschluß).

3. Um den Fisch nicht zu stören, muß das Aquarium zum Experimentator abgedeckt werden. Um eine Beobachtung dennoch zu ermöglichen, stellt man einen Spiegel so auf, daß der Fisch gesehen werden kann, aber nicht gestört wird.

4. Außergewöhnliche Lichtreize, akustische und

mechanische Reize (z. B. Erschütterung durch Schritte) sind bei den Versuchen zu vermeiden.

5. Da bei den Versuchen die Elektroden ins Wasser reichen, wird der Fisch diese mehr oder weniger heftig angreifen. Es bleibt diese Reaktion des Fisches nach einiger Zeit aus.

6. Alle Geräte erden. Erdleitungen kurz machen. Hat ein Gerät keine Erdungsbuchse wird eine Litze befestigt.

7. Einheitliche Fütterungszeiten. Gewöhnung an die Röhre. Verdunstetes Wasser wird durch Wasser gleicher Härte ergänzt (Mischung: Leitungsentmineralisiertes Wasser). Keine Pflanzen einsetzen.

Die angegebene Literatur beschäftigt sich mit Theorie und Versuchen zur Reizphysiologie der schwach elektrischen Fische. Es werden aber andere Versucharten und Meßmethoden angeführt, die im vorhergehenden Text nicht verwendet wurden. Es ist aber von großer Wichtigkeit, vor allem die Arbeiten von *T. Szabo*, *H. W. Lissmann*, *A. Roth* und *P. Moller* als Literatur heranzuziehen.

Literatur

- [1] *T. Szabo*, *R. Bauer*, *P. Moller*, Elektrische Sinneswahrnehmungen und Verhalten bei elek. Fischen, *Naturwissenschaften* 60, 10—18 (1973).
- [2] *E. v. Holst*, *H. Mittelstaedt*, Das Reafferenzprinzip, *Naturwissenschaften* 37, 464—476 (1950).
- [3] *A. Roth*, *K. Daumer*, Elektrische Fische und Elektrorezeptoren, *Biologie in unserer Zeit*, 11—20 (1976, Nr. 1).
- [4] *A. Roth*, Elek. Sinnesorgane beim Zwergwels, *Zeitschrift für vergleichende Physiologie* 65, 368—388 (1969).
- [5] *H. W. Lissmann*, *K. E. Machin*, Mechanism of object location in *Gymnarchus niloticus*, *British Journal of Experim. Biology* 35, 451—486 (1958).
- [6] *P. Moller*, *R. Bauer*, Communication in weakly electric fish, *Animal Behaviour* 21, 501—512 (1973).
- [7] *N. Suga*, Coding in Tuberos and Ampullary Organs of a Gymnotid Electric Fish, *Journal of Comparative Neurol.* 131 437—451 (1967).
- [8] *T. Szabo*, *A. Fessard*, Electrorécepteurs chez les Mormyres, *J. Physiol*, Paris 57, 343—360 (1963).
- [9] *M. V. L. Bennet*, Mormyrid Electromotor Nuclei, *J. of Neurophysiology* 30, 180—208 (1967).
- [10] *F. J. Mandriota*, *R. L. Thompson*, *M. V. L. Bennet*, Avoidance Conditioning in Mormyrids, *Animal Behaviour* 16, 448—455 (1968).
- [12] *P. Belbenoit*, Détermination de la distance maximale d'électroperception des objets chez les Mormyridés, *J. Physiol* (Paris) 62 suppl. 3, 344 (1970).
- [13] *Günter Tembrock*, Biokommunikation, *rororo* (1975).
- [14] *R. Schwankner*, Ausgewählte Geräte, Versuche und Methoden zur Demonstration radiochemischer Experimente in der reformierten Oberstufe (Teil I); *Praxis der Naturwissenschaften, Chemie* 26 (3/1977), (4/1977).

Es ist uns ein Bedürfnis, allen jenen zu danken, die durch Rat und Tat am Zustandekommen dieser Arbeit beteiligt waren:

Hermeland Kreß von der Firma Leybold-Heraeus, München, der für uns den Firmennamen oft in „Leihbold“ abwandelte und uns wertvolle experimentelle Tips gab;

Priv. Dozent Dr. Anton Roth, Zoologisches Institut der Universität München;

Dr. Karl Daumer, Dipl. Physiker M. Nehmann, OStD.

Dr. H. H. Falkenhahn, Prof. Dr. Franz Bukatsch danken wir für die Anregungen und langen kritischen Diskussionen;

den Firmen Seral dest in Ransbach, Zoohandlungen Werner in München und Wellnitz in Traunstein,

Photo Zannantonio, Traunstein, und IBM, München, für die großzügige apparative und finanzielle Unterstützung.

Einer von uns wurde außerdem während der Untersuchungen als Stipendiat in die Studienstiftung des deutschen Volkes aufgenommen, was ihn vom „Zwang“ eines bezahlten Ferienjobs befreit und ihm somit Gelegenheit bietet, dem großzügigen Angebot von Dr. Anton Roth zu folgen und in seiner Abteilung die Magnetfeldarbeiten während der Semesterferien fortzuführen.

Last not least OStR Helmut Matschi, der das Wagnis etwas „ortsunüblicher“ Facharbeiten einging und uns weitgehend freie Hand ließ.

Allen Genannten nochmals ein herzliches Dankeschön!