

Versuche zur telemetrischen Verfolgung der Laichwanderung von Aalen (*Anguilla anguilla*) in der Nordsee

F.-W. TESCH

*Biologische Anstalt Helgoland (Zentrale);
Hamburg 50, Bundesrepublik Deutschland*

ABSTRACT: Experiments on telemetric tracking of spawning migrations of eels (*Anguilla anguilla*) in the North Sea. A newly developed ultrasonic receiving system was used for tracking migrating organisms in open sea areas. At first ultrasonic transmitters (pinger) originated from provisional, newly constructed and most powerful pingers; later, from smaller specimens available from commercial sources. For tracking, 6 eels *Anguilla anguilla* on their spawning migration were tagged in the Elbe estuary and in the southern North Sea near Helgoland. The receiver was installed on a 24 m cutter, and the hydrophone system mounted underneath its hull. 5 eels which were liberated at water temperatures above 9° C swam in north-westerly directions. At 5.6° C, only passive drifting with the prevailing tidal stream was observed (1 specimen). Tidal drifting of directional migrating eels (above 9° C) is largely compensated for by alternating directions of tidal water movements. Only a small west or north drift resulted, according to the governing residual current. Overall swimming speed through the water was calculated to be about 1 knot. Maximum speed within a period of one hour was about 1.5 kn. The longest telemetric tracking experiment lasted 14¹/₄ hrs and was conducted over a distance of at least 13.5 nautical miles. Technically, the tracking period could be much longer. Due to mostly bad weather conditions, swimming-depth determinations are rough approximations. The silver eels prefer to swim in medium water layers if water depth exceeds 20 m. In shallower water, the eels avoid areas less than 6 m deep. The probable orientation cues employed for following an apparent compass course and problems of open ocean migration are discussed.

EINLEITUNG

Die Frage, wie und wo die atlantischen Aale (*Anguilla spec.*) in ihr Laichgebiet gelangen, ist noch völlig offen. Konventionelle Markierungen in der Ostsee (NORDQUIST 1904, TRYBOM & SCHNEIDER 1908, MÄÄR 1947, MARTINKÖWITZ 1961) und in geringem Umfang auch in der Nordsee (LÜHMANN & MANN 1958) gaben nur Hinweise über die Wege im Küstengebiet und die mutmaßliche Wanderrichtung in der offenen Ostsee. Feldversuche über die Orientierungsfaktoren lassen sich mit dieser Methode nur schwer oder gar nicht durchführen, wie Verpflanzungsexperimente mit stationären Individuen (Gelbaalen) ergeben hatten (TESCH 1970).

Die Laichwanderung der Aale (Blankaale) und deren Orientierung sowie die Orientierung der Gelbaale während des Zurückfindens an ihren Heimatort gaben Anlaß, bessere Methoden zur Untersuchung der bestehenden Fragen zu suchen. Hierzu bot sich die noch verhältnismäßig neue Technik des Verfolgens mit Ultraschallsendern und -empfängern an. Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit den ersten Versuchen und Ergebnissen an Blankaalen (*Anguilla anguilla*), die im Küstengebiet und in der offenen Nordsee durchgeführt wurden. In einem Falle wurde außerdem eine Quappe (*Lota lota*) und in einem anderen Falle ein *Homarus vulgaris* verfolgt.

TELEMETRISCHE METHODE

Ultraschallsender

Für die ersten vier Versuche wurden Ultraschallsender (Pinger) verwendet, die im Laboratorium der Fried. Krupp Atlas-Elektronik hergestellt worden waren (Abb. 1). Es handelt sich hierbei um nicht reproduzierbare Versuchsmodelle. Mit einem Sendepiegel von 70 DB rel. $1 \mu\text{b}$, 1 m waren sie verhältnismäßig stark und somit den Erfor-

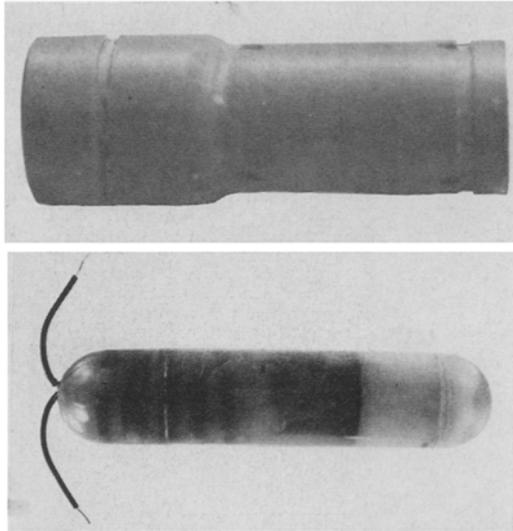


Abb. 1: Oben: Pinger von Atlas-Elektronik (Bremen). Unten: Pinger von Smith-Root-Electronic (Seattle)

dernissen des ebenfalls im Versuchsstadium befindlichen ersten Empfangsgerätes angepaßt. Sie hatten Form und Größe eines Zylinders von etwa 23×70 mm, der – je nach Stärke des verwendeten Batteriesatzes – in der Länge variierte. Das Unterwassergewicht des langlebigsten Pingers betrug nahezu 50 g und war daher ohne zusätzliche Verwendung von Auftriebsmasse selbst für sehr große Aale zu schwer. Die Frequenz lag bei 55 kHz. Um die Lebensdauer zu erhöhen, waren die Pinger zur Abgabe von

Impulsen von 3 bzw. 10 Millisekunden eingerichtet, die ein- bis zweimal in der Sekunde gesendet wurden. Der energiereichste der vier Pinger hatte eine theoretische Lebensdauer von 3 Monaten. Für die zunächst geplanten kurzen Versuche war dies ein bei weitem zu hoher Aufwand. Erhebliche Unkosten hätte die Entwicklung der Pinger zur Serienreife verursacht, was bei Bestellung einer höheren Stückzahl notwendig gewesen wäre.

Größe und Kosten dieser Pinger veranlaßten mich, in den späteren Versuchen kommerziell verfügbare Pinger der Firma Smith-Root-Electronics (Seattle, Washington 98 119, USA) zu verwenden. Die sehr leichten und kleinen Pinger, wie sie von HENDERSON et al. (1966) verwendet wurden, erwiesen sich als zu schwach und für das hier verwendete Empfangssystem als nicht brauchbar. Für die geplanten Versuche eignete sich am besten der Typ SR 69 B, Ultraschallfrequenz $74 \text{ kHz} \pm 1 \text{ kHz}$ (Abb. 1). Gemessener Sendepiegel: 46 DB rel. $1 \mu\text{b}$, 1 m (Angabe der Firma 52 DB), Impulse von 40 Millisekunden (in einem Falle auch von 15 Millisekunden) mit einer Impulsfolge von 2 (0,6) Sekunden, Dimensionen: Zylinder $14 \times 65 \text{ mm}$, vorne und hinten halbkugelförmig abgerundet, Gewicht im Wasser: 12 g, Lebensdauer: 20 Tage. Dieser und der oben geschilderte Pingertyp sind in eine Kunststoffkapsel eingehüllt. Zur Aktivierung der Pinger müssen zwei aus der Kapsel herausragende Drähte miteinander verlötet werden. Magnetschaltung ist bei anderen Pingertypen möglich.

Empfangsgerät

Für Empfang und Richtungsbestimmung genügt in Flüssen und nicht allzu großen Seen ein Hydrophon, das in Richtung des stärksten Ultraschallgeräusches eingestellt wird, sowie ein Empfänger, der den Ultraschall entweder hörbar oder sichtbar wiedergibt. In See und auf einem seegängigen Schiff sind solche im Handel erhältlichen Geräte nicht verwendbar. Schon bei Windstärken 3–4 ist es in der Nordsee nicht mehr möglich, ein Hydrophon an einer langen Stange für längere Zeit ins Wasser zu halten und auf die Schallquelle auszurichten. Es wurde versucht, das hier verwendete Hydrophon an einer Stange zu befestigen und fest an der Bordwand zu montieren, so daß es 2,5 m tief in das Wasser und unter den Kiel hinausragte. Hierdurch wurde der verwendete 24-m-Forschungskutter „Uthörn“ in seiner Manövrierfähigkeit sehr behindert und konnte nur noch 2 bis 3 kn laufen.

Die einzige bis dahin brauchbare Lösung wäre ein fest oder ausfahrbar am Schiffsboden eingebautes schwenkbares Hydrophon in der Bauweise eines Horizontallotes, wie es von englischer Seite (WALKER et al. 1971) in Verbindung mit der Transponder-technik verwendet wurde. Ein derartiges Hydrophon erfordert jedoch allein für den Einbau Kosten, die je nach Schiffsgröße kaum unter 10 000 DM liegen. Es sind außerdem so durchgreifende bauliche Veränderungen innerhalb des Schiffes notwendig, wie sie in jedem Falle nicht möglich oder aus nautischen Gründen nicht erwünscht sind. Hinzu kommt, daß ein Horizontallot während der Verfolgung eines Objektes ständig bedient werden muß, d. h. die Richtung des Pingers ständig gepeilt werden muß. Schließlich ist es nicht oder schwer möglich, das Hydrophon ohne große Kosten auf ein anderes Schiff umzubauen,

Die geschilderten Schwierigkeiten wurden mittels einer neuentwickelten Technik der Fried. Krupp GmbH Atlas-Elektronik in Bremen überwunden. Dieses Ultraschallverfahren arbeitet nach dem in der elektromagnetischen Hochfrequenztechnik bekannten ADCOCK- und Rahmen-Peiler (TRIEBOLD 1968). Das Prinzip des verwendeten Hydrophons besteht darin, daß vier an den Endpunkt eines Quadrates rundum empfindliche Hydrophone nach allen Seiten empfangen (Empfangswandler). Innerhalb eines Sichtgerätes werden diese Signale gegen störende Geräusche gefiltert, verstärkt und verarbeitet, so daß sie auf einem Oszillographen als Peilvektor erscheinen. Auf der Brücke in der Nähe des Ruders aufgestellt, ermöglicht dieses Gerät also die sofortige Ablesung der Richtung des Pingers und die sofortige Übertragung auf die Ruderanlage ohne Zwischenschaltung einer Person, der die Peilungen übermittelt. Die Impulse werden zusätzlich als akustische Signale hörbar gemacht. Durch Einstellen einer optimalen Tonhöhe von 2 kHz ist außerdem eine bestmögliche optische Signalwiedergabe gewährleistet. Mit der Tonwiedergabe werden gleichzeitig geringfügige Frequenzunterschiede der Pinger hörbar. Da grundsätzlich jeder kommerzielle Pinger eine etwas andere Frequenz bietet, also nicht genau 74 kHz, ist es daher möglich, eine große Zahl von Pingern auch gleicher Impulsfolge voneinander zu unterscheiden. Es können also viele Tiere zur gleichen Zeit beobachtet werden. Der Empfang anderer Frequenzbereiche (20 bis 80 kHz) ist unter geringfügiger Modifikation des Gerätes möglich. Empfangstechnisch vorteilhafter sind die niederen Frequenzen.

Die Empfangsreichweite ist abhängig von der Sendeleistung des Pingers und vom Störpegel im Wasser. Sie beträgt bei einem Sendepiegel von 46 DB rel. 1 μ b, 1 m unter günstigen Bedingungen 1000 m, auf der offenen See bei Windstärken unter 3 über 500 m. Bei höheren Windstärken kann die Reichweite durch den höheren Störpegel auf 200 bis 300 m absinken.

Auf dem Oszillographen erscheint außerdem eine Meßmarke, mit deren Hilfe durch Längenvergleich mit dem Peilvektor der Vertikalwinkel des Pingers grob ermittelt werden kann. Hinzu kommt die Möglichkeit der Entfernungsbestimmung an Hand der regulierbaren Peilvektorsignale. Solche Messungen sind jedoch nur bei ruhiger See zuverlässig.

Der Hydrophonsatz, also der Empfangswandler, wurde im vorliegenden Fall durch Taucher neben dem Kiel durch Halteschrauben am Schiffsboden befestigt. Ein Abstand der Hydrophone von mehr als 70 cm vom Schiffsboden ist vorteilhaft, um möglichst weit aus dem Blasenschleier des Schiffes herauszugelangen. Ein Mindestabstand von 50 cm ist je nach Schiffsgröße ratsam. Die Kabelverbindung zum Sichtgerät auf der Brücke kann bei genügender Befestigung außen am Schiffsrumpf entlanggeführt werden. Sie wurde im vorliegenden Fall durch eine Bohrung im Schiffsboden innerhalb eines Rohres bis über die Wasserlinie geführt. Selbstverständlich ist der Einsatz des Empfangswandlers durch ein im Schiffsboden ausfahrbares Rohr komfortabler und ohne Tauchereinsatz dann jederzeit möglich. Im Hafen oder bei ruhigem Wasser und gestopptem Schiff ist auch ein Empfang möglich, wenn der Empfangswandler unbefestigt von der Reling aus ins Wasser gehalten wird. In engbegrenzten Wasserbecken sind jedoch die Richtungsanzeigen wegen vielfacher Reflexionen schlecht.

Schiffseinsatz und Bestimmung des Kurses

In allen Fällen wurde FK „Uthörn“, ein 24 m langes Forschungsschiff der Biologischen Anstalt Helgoland mit 300 PS Motorleistung verwendet. Um den Wanderweg des verfolgten Objektes bestimmen zu können, sind von Zeit zu Zeit Standortbestimmungen notwendig. Sie erfolgten, wenn das Schiff über der Ultraschallquelle stand, was aus der Anzeige des Oszillographen gut zu ersehen ist. In weniger als 500 m Entfernung vom Land erfolgten die Ortsbestimmungen durch terrestrische Peilungen, durch Radarmessungen und vielfach auch nach der Lage schwimmender Seezeichen. Außerhalb des Bereiches von Peilmarken diente das Decca-Peilgerät zur Ortsbestimmung, das die Position mit einem Fehler von 50 m ermöglicht. Ortsbestimmungen erfolgten je nach den Erfordernissen alle 5–60 Minuten. Während des Verfolgens auf hoher See und rascher Wanderung des Objektes wurde das Schiff jeweils 10–20 Minuten gestoppt, so daß der Fisch sich entfernte und noch ständig gut auf dem Oszillographen zu erkennen war. Eine Entfernung vom Objekt erfolgte gleichzeitig durch die Drift des Schiffes im Tidestrom. Der Vorsprung des Fisches konnte dann in wenigen Minuten durch langsame Fahrt aufgeholt werden. In einem Fall, als die Ortsveränderungen eines Blankaales im Elbe-Ästuar bei Brunsbüttel nur durch den Gezeitenstrom erfolgten, konnte der Fisch für eine halbe Stunde aus der Peilung entlassen werden. Bei Standortkonstanz eines Hummers wurde das Objekt sogar für eine Nacht lang verlassen. In solchen Fällen ist es möglich, eine große Zahl von ultraschallmarkierten Tieren zu beobachten, da, wie oben beschrieben, eine Kennung durch Frequenzbestimmung und außerdem natürlich durch die Impulsfolge möglich ist.

Die ersten beiden Einsätze erfolgten im Elbe-Ästuar bei Brunsbüttel und bei Cuxhaven mit der vorher erwähnten Stange als Halterung des Empfangswandlers an der Bordwand. Sie sind als Versuchseinsätze zur Erprobung des neuentwickelten Empfangsgerätes zu betrachten. Die Anbringungsart erwies sich navigatorisch als ungünstig. Bei dem extrem starken Schiffsverkehr des Gebietes war eine ausreichende Manövrierbarkeit des Schiffes nicht gewährleistet, und auf der offenen Nordsee hätte die Seetüchtigkeit leiden müssen. Alle weiteren Fahrten fanden deshalb mit einem Empfangswandler statt, der unter dem Schiffsboden montiert worden war.

VERSUCHSOBJEKTE UND MARKIERUNGSTECHNIK

Es wurden insgesamt 6 Blankaale (*Anguilla anguilla* L.), eine Quappe (*Lota lota* L.) und ein Hummer (*Homarus vulgaris* M.-Edw.) verfolgt, hiervon 3 Aale und die Quappe mit großen Pingern (55 kHz), die übrigen Tiere mit kleinen Pingern (74 kHz). Die Aale waren 1000 bis 1500 g schwer und 75 bis 85 cm lang. Sie stammten aus Hamenfängen im Elbe-Ästuar bei Brunsbüttel. Sie waren also als sogenannte „Treib-aale“ in speziell für dieses Wanderstadium des Aales aufgestellte Geräte geraten. Die äußere Pigmentierung zeigte die typische Färbung der sogenannten „Blank-“ oder „Silberaale“. Es bestand daher kein Zweifel, daß es sich um Individuen handelte, die zum Laichen wanderten. Vom Fang bis zum Aussetzen vergingen 2 bis 14 Tage. Die

Quappe wurde mit dem Grundschleppnetz von FK „Uthörn“ im gleichen Gebiet gefangen und auch dort verfolgt. Sie war etwa 2500 g schwer und 70 cm lang.

Da die anfangs verwendeten Pinger verhältnismäßig schwer waren, wurden sie mit einem Styroporsattel versehen (Abb. 2), der sie auf das gesamtspezifische Gewicht von etwa 1 brachte. Die Versuchstiere wurden also in ihrem Verhalten weder durch Auftrieb noch durch die Schwere des Pingers beeinträchtigt. Durch den Styroporsattel mußte jedoch eine etwas stärkere hydrodynamische Behinderung in Kauf genommen

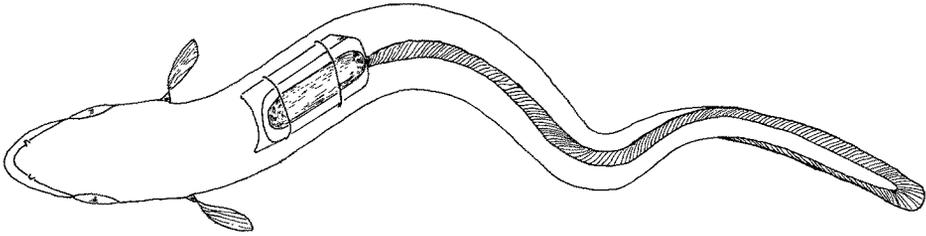


Abb. 2: Schema der Anbringung eines Pingers auf einem Aal mittels eines Styroporsattels

werden. Die Umkleidung durch das Styropor ermöglichte gleichzeitig eine sattelförmige Auflage auf dem Rücken des Fisches, so daß eine bessere Haltbarkeit gewährleistet war. Die Anheftung erfolgte durch Einnähen in die Rückenmuskulatur kurz vor der Rückenflosse mittels chirurgischer Nadel und Perlonnetzgarnfaden (Stapelfaser). Vorausgehende Aquarienversuche mit gleichgroßen Blankaalen hatten die Brauchbarkeit der Markierungsmethode erwiesen.

Zum Markieren wurden die Aale mit einer Benzocainlösung (4-Aminobenzoesäureäthylester) von etwa 500 mg/l betäubt. Die Dosierung mußte bei diesen verhältnismäßig großen Tieren teilweise noch etwas stärker gewählt werden, da sonst die Vollnarkose, die für die Markierungsoperation unbedingt notwendig war, nur sehr zögernd eintrat und eine halbe Stunde Einwirkung des Narkosemittels und länger erforderlich war. Nach der Narkose erholten sich die Fische in wenigen Minuten. Es wurden ihnen dann mindestens weitere 30 Minuten bis zum Aussetzen gewährt. Die Aale stammten aus einem Salzgehaltsbereich von 2–10 ‰. Beginn die Verfolgung auf offener See, also bei einem Salzgehalt von mehr als 30 ‰, so wurden die Tiere durch langsame, mindestens 6 Stunden dauernde Steigerung des Salzgehaltes adaptiert. Sie verblieben vor dem Aussetzen dann noch wenigstens weitere 12 Stunden in diesem Salzgehalt.

ERGEBNISSE

Quappe. Dieser Fisch wurde am 24. 9. 1969 von 14.34 Uhr (bei Hochwasser) bis 22.15 Uhr, also nahezu 7 Stunden lang und bei überwiegend ablaufendem Wasser 4 sm östlich von Brunsbüttel nahe seiner Fangstelle, verfolgt (Abb. 3). Die Tiefe betrug 12 bis 17 m. Die Ortsveränderungen entsprachen in ihrer Richtung dem Ebbstrom. Eigenbewegungen des Fisches fanden vermutlich insofern statt, als er nur wenig durch den an der Oberfläche maximal 2 bis 3 kn starken Strom verdriftet wurde. Während

des mindestens 6 Stunden herrschenden Ebbstromes änderte sich sein Standort nur $\frac{1}{2}$ sm. Wie weit er am Boden Schutz vor dem starken Strom hatte, konnte nicht ermittelt werden. Als Bodentier und verhältnismäßig langsam schwimmender Fisch gab die Quappe ein gutes Objekt für den ersten Verfolgungsversuch ab.

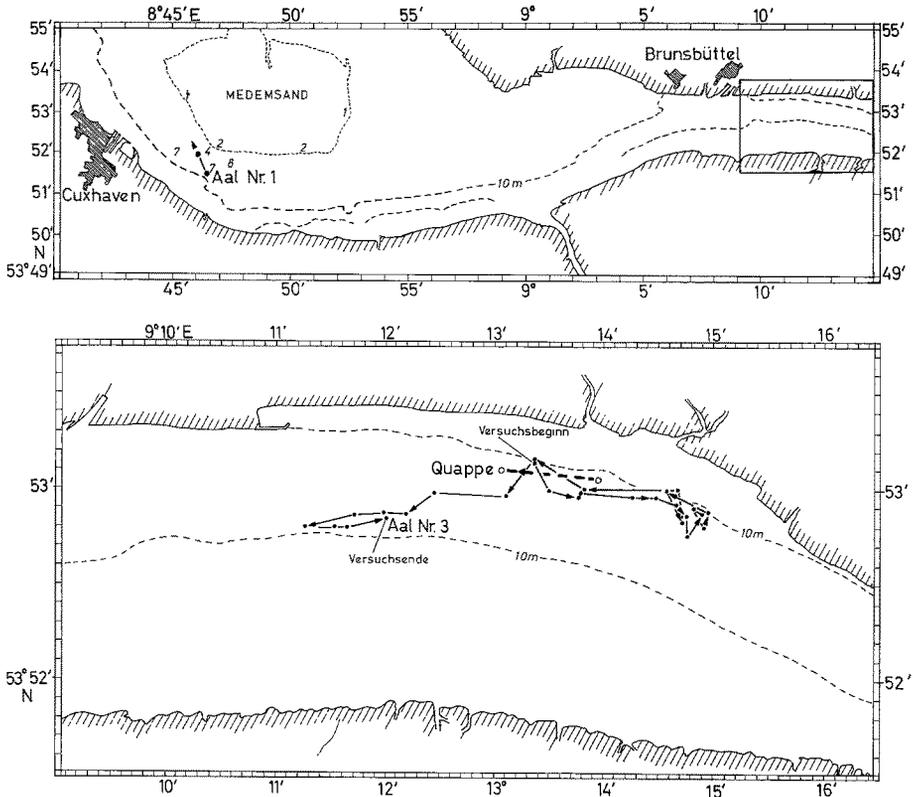


Abb. 3: Verfolgungstrecken von Aal Nr. 1 und 3 sowie der Quappe (unten) im Elbeästuar. Das umrandete Feld der oberen Karte bezeichnet den Ausschnitt, den die untere Karte darstellt. Kursiv gesetzte Zahlen: Wassertiefe

A a l N r. 1. Dieser im Wanderstadium befindliche Fisch wurde als erster Versuch, ein bewegliches Objekt zu verfolgen, eingesetzt. Das war jedoch mit der an einer langen Stange seitlich befestigten Empfangseinrichtung schwer möglich. Die Aussetzung erfolgte in der Elbmündung etwa 2 sm östlich von Cuxhaven am 25. 9. 1969 um 14.26 Uhr bei einsetzendem Ebbstrom und weit über 10° C liegender Wassertemperatur (Abb. 3). Der Fisch entfernte sich in nördlicher Richtung und konnte nach etwa 20 Min. infolge akustischer Störungen durch passierende Schiffe einige Minuten nicht verfolgt werden. Danach reichte die Manövrierfähigkeit des Schiffes nicht mehr aus, um die Fährte wiederaufzunehmen.

A a l N r. 2. Zwei Monate später wurde mit verbesserter und unter dem Schiffsboden montierter Empfangseinrichtung ein Blankaal verfolgt, der am 25. November

um 13.20 Uhr (bei Hochwasser) in der offenen Nordsee nordöstlich Helgoland ausgesetzt worden war (Abb. 4). Das Wasser hatte zu dieser Zeit bei Helgoland eine Temperatur von 9° C. Aus Kurs- und Stromangaben geht hervor, daß der Fisch im Endergebnis westliche bis nordwestliche Tendenz (ca. 280° in 12,5 Std.) hatte und daß der Gezeitenstrom starken Einfluß auf die Wanderrichtung hatte. Dies veranlaßte mich,

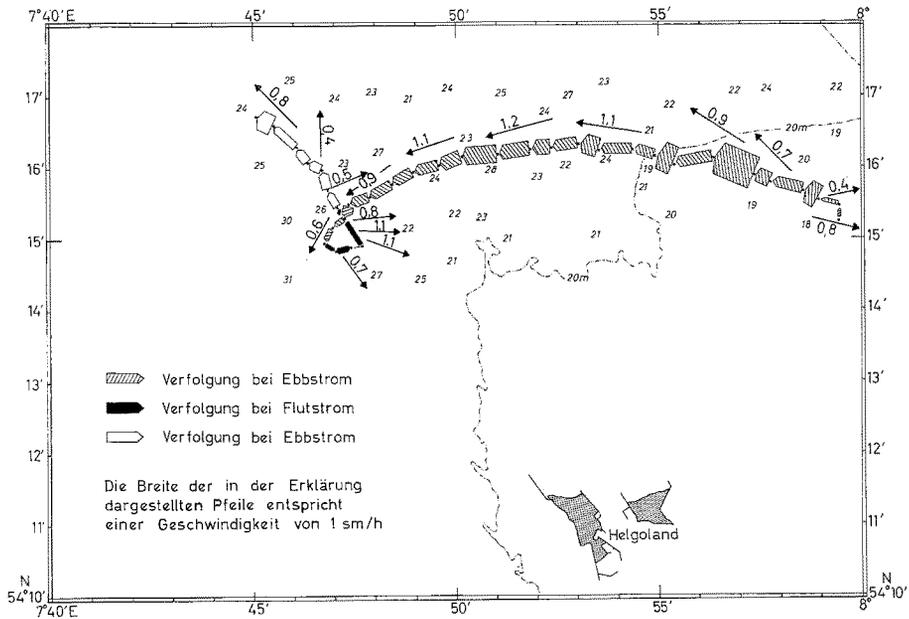


Abb. 4: Verfolgungstrecke von Aal Nr. 2 nördlich Helgoland. Die neben dem Wanderweg eingezeichneten schmalen Pfeile und die daneben stehenden großen Zahlen geben Richtung und Geschwindigkeit (kn) des Gezeitenstromes in stündlichen Abständen wieder. Die unterschiedliche Breite der kompakten Pfeile zeigen die jeweilige Schwimmgeschwindigkeit des Aales über Grund. Kursiv gesetzte Zahlen: Wassertiefe

aus den Vektoren von Strömungs- und Schwimmrichtung über Grund die Schwimmrichtung und Geschwindigkeit durch das Wasser zu berechnen (Tab. 1). Die verwendeten Strömungsangaben stellen langfristige Beobachtungswerte dar. Im vorliegenden Fall lag eine Springtide vor, so daß die dafür angegebenen Werte in Rechnung gestellt werden mußten. Aus der Vektorenberechnung entstanden Schwimmrichtung und Geschwindigkeit des Aales durch das Wasser, also die tatsächliche Bewegungsrichtung und Stärke. Natürlich stimmen die aktuellen nicht mit den theoretischen Gezeitenwerten überein. Da sich jedoch die aktuellen Werte nicht messen lassen, muß der zweifellos auftretende Fehler in Kauf genommen werden. Er hängt von der herrschenden Windrichtung ab. Der Wind wehte zur Beobachtungszeit bei bedecktem Himmel aus südöstlicher Richtung und bis zur Stärke 7, so daß nördlich verschobene Strömungen zu erwarten waren, und außerdem eine verstärkte Ebbe. Dementsprechend mußte auch die Schwimmrichtung des Aales über Grund nördlich verschoben und die Schwimmgeschwindigkeit über Grund erhöht sein. Tatsächlich kam der Aal über eine kurze

Strecke (10 min) mit über 3,7 kn (1,9 m/sec) vorwärts, was als Wanderleistung von größeren Aalen kaum zu erwarten ist (SÖRENSEN 1951). Die höchsten Leistungen über eine Stunde betragen 2,2 kn (1,1 m/sec). Durch das Wasser erreichte das Versuchstier jedoch innerhalb einer Stunde theoretisch nur maximal 1,55 kn (0,8 m/sec). Bei theoretisch beginnender Flut bewegte sich das Versuchstier anscheinend nur sehr langsam

Tabelle 1

Schwimmrichtung und Schwimgeschwindigkeit des Aales Nr. 2 über Grund und durch das Wasser (theoretisch) errechnet nach den Strömungsangaben von NEUMANN & MEIER (1964) sowie dem Atlas der Gezeitenströme für die Nordsee, Rostock (1968)

Tide	Schwimm- richtung über Grund	Schwimm- geschwindigkeit über Grund (kn)	Theoretische Schwimm- richtung durchs Wasser	Theoretische Schwimm- geschwindigkeit durchs Wasser (kn)
	4°	0,30	302°	0,89
1 Std. nach HW	305°	0,40	272°	0,77
2 Std. nach HW	290°	2,18	276°	1,39
3 Std. nach HW	277°	2,20	263°	1,55
4 Std. nach HW	275°	1,70	268°	0,60
5 Std. nach HW	264°	1,66	290°	0,40
6 Std. nach HW	249°	1,23	250°	0,13
6 Std. vor HW	335°	1,13	216°	0,25
5 Std. vor HW	220°	0,55	330°	0,10
4 Std. vor HW	93°	0,33	359°	0,56
3 Std. vor HW	} 325°	0,40	289°	1,28
2 Std. vor HW				
1 Std. vor HW				
Hochwasser	331°	0,80	304°	1,03
1 Std. nach HW	321°	0,93	299°	0,66
2 Std. nach HW	305°	1,50	295°	0,72

vorwärts. In einer Gezeitenperiode, d. h. 12,5 Std. lang, schwamm der Aal 1,02 kn über Grund, durch das Wasser jedoch nur 0,68 kn, also um $\frac{1}{3}$ weniger. Die Richtung über Grund zeigte über 12,5 Std. in 304°, durch das Wasser in 296°. Im Endeffekt wurde der Aal also pro Gezeitenperiode theoretisch 8° nach Norden versetzt, praktisch sogar fast 20°, was bei den herrschenden Winden zu erwarten war. Über die Wassertiefe des Fisches waren mit dem 1969 verwendeten Gerät Aussagen nur unter Vorbehalt möglich, da es noch keine Zusatzeinrichtungen für Horizontalwinkel und Entfernungsbestimmung hatte. Während des Ebbstromes und bei Dunkelheit waren die Anzeigen jedoch häufig so stark, daß sich der Fisch unmittelbar neben oder unter dem Schiff befinden mußte. Da Aale während der Laichwanderung mehrfach an der Oberfläche beobachtet wurden (Fischerbote 21, 316–318, 1929; Maritimes 1969, Winter 3–5), erscheint dies nicht überraschend. Während der Flut waren die Anzeigen dagegen meistens schwächer, was auf Bewegung des Aales am Boden hinweist. Die Verfolgung wurde um 3.06 Uhr abgebrochen, weil das Schiff normalerweise nur mit einer Wachmannschaft besetzt ist, so daß die Fahrt nicht über einen Tag hinaus ausgedehnt werden konnte.

Aal Nr. 3. Einen Tag nach dem vorher geschilderten Experiment mit einem

Blankaal nördlich von Helgoland wurde ein weiterer Blankaal im Elbemündungsgebiet bei Brunsbüttel ausgesetzt und verfolgt (Abb. 3). Die Wassertemperatur war in diesem Gebiet schon wesentlich weiter abgesunken als in der offenen Nordsee. Sie betrug an der Aussetzungsstelle $5,6^{\circ}$ C. Es war also nicht sicher, ob bei der niedrigen Temperatur noch eine Wanderaktivität zu erwarten war. Bei bedecktem Wetter wehte der Wind mit Stärke 6–7 aus NW. Die Verfolgung fand am 25. 11. 1969 von 15.16 (bei Hochwasser) bis 1.10 Uhr des nächsten Tages statt. Es zeigte sich, daß die Ortsveränderungen des Aales ein Ergebnis des Transportes durch den Gezeitenstrom darstellten. Wurde das Schiff also der Drift durch die Strömung überlassen, so trieb es, wenn die Windrichtung es zuließ, ähnlich wie der Aal. Das Versuchstier hielt sich ständig über Tiefen von 10 bis 17 m, verließ also Fahrrinne und Hauptströmung nicht. Während der 10-stündigen Verfolgung legte der Aal 4 sm zurück, also wesentlich weniger als der vorher verfolgte Aal. Die höchste Geschwindigkeit betrug während eines 10 Minuten dauernden Zeitabschnittes etwa 1,5 kn (1,5 Std. vor Niedrigwasser). Zu anderen Zeiten lag sie unter 1 kn, was durchaus in den Grenzen der Geschwindigkeit des Gezeitenstromes liegt. Die Temperatur zur Laichwanderung war also offensichtlich unterschritten. Die Verfolgung wurde deshalb abgebrochen.

Aal Nr. 4. Am 8. November 1971 wurde ein Versuch unternommen, bei dem ein Blankaal in den Binnenhafen der Insel Helgoland (Abb. 5) ausgesetzt wurde. Es sollte sich hierbei zeigen, wie schnell und auf welchem Wege der Fisch ein weitestgehend abgeschlossenes Wasserbecken und das Inselgebiet unter den gegebenen Gezeitenverhältnissen verlassen würde. Die Wassertemperatur betrug reichlich 11° C, so daß der Aal noch in Wanderbereitschaft sein mußte. Der Wind wehte aus NNW in Stärke 7–8, was jedoch auf die Ortsveränderungen des Aales unter Land nur wenig Einfluß gehabt haben kann. Der Himmel war bewölkt. Die Freilassung erfolgte um 8.27 Uhr, also 4,5 Std. nach Hochwasser. Aus der größtmöglichen Entfernung vom Hafeneingang (etwa 120 m) hatte der Fisch nach 73 Minuten aus dem Binnenhafen herausgefunden und den Hafen verlassen. Wie weit er sich hierbei an das Ufer hielt, war nicht zu ermitteln, da die Ultraschallimpulse in so einem engen Becken von den Spundwänden reflektiert werden und die Anzeige fehlerhaft wird. Später schwamm er in naher Entfernung vom Ufer (nicht mehr als 50 m entfernt) an den Landungsbrücken vorbei und am Ufer des Unterlandes entlang. Er hatte also den nördlichen Ausgang des Inselgebietes gewählt. Kurz nach Eintritt des theoretischen Niedrigwassers traf er am Eingang des Nordosthafens ein (10.45 Uhr), wo er sich unmittelbar neben der Spundwand aufhielt, jedoch nicht in den Hafen hineinschwamm. Gegen die hier ziemlich stark einsetzende Flut vermochte er aber offensichtlich nicht nach NW weiterzuschwimmen. Da der Pinger infolge eines Fehlers um 12.30 Uhr in nächster Nähe des Empfangsgerätes aussetzte, konnte die Verfolgung nicht weiter fortgesetzt werden.

Aal Nr. 5. Dieser Fisch wurde am 9. November 1971, also einen Tag nach dem vorher beschriebenen Versuchstier zwischen Hauptinsel und Düne Helgoland, ausgesetzt (Abb. 5). Wetterlage und Wasserbedingungen waren ähnlich wie am Vortage. Der Versuch begann 2,5 Std. nach Hochwasser. Die nordwestliche Ortsveränderung kann also bis zum Eintritt der Flut durch die transportierende Wirkung des Flutstromes stattgefunden haben. In der Zeichnung ist nur die vermutliche relative Stärke des Gezeitenstromes angegeben, da an diesen Stellen der Strom stark von den bekann-

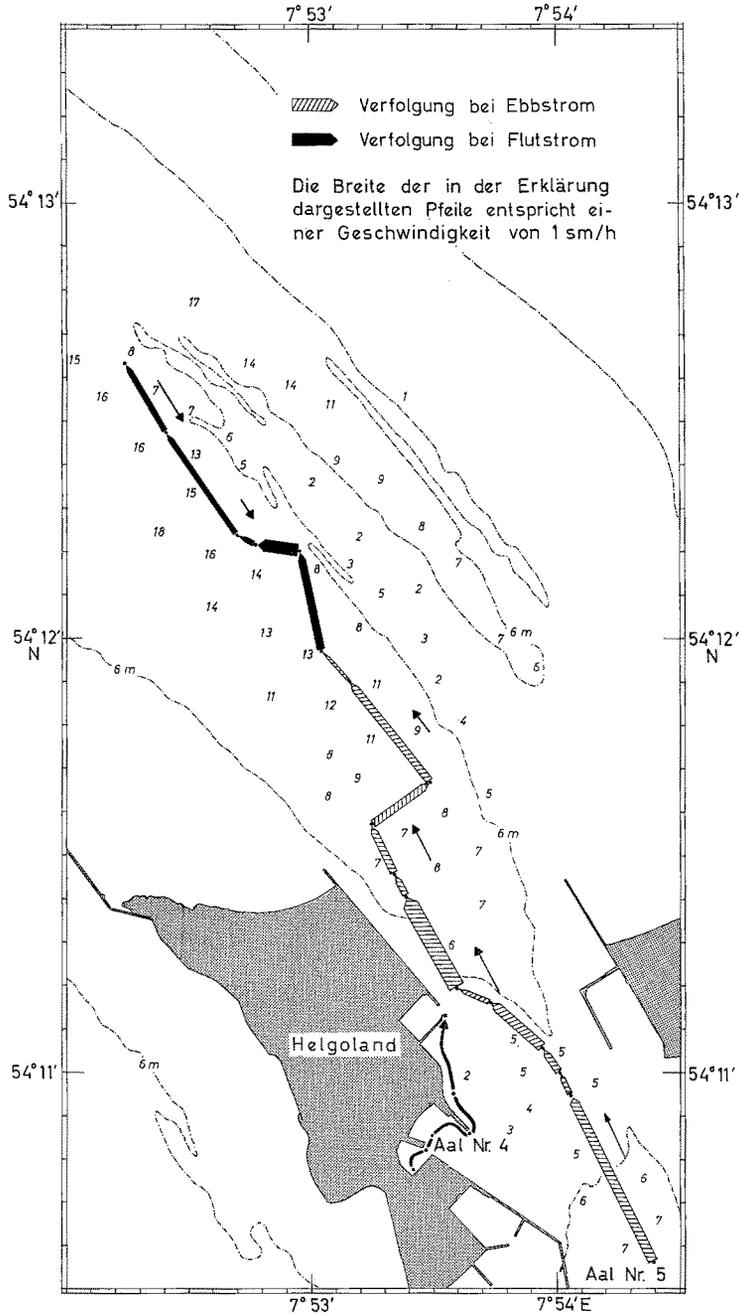


Abb. 5: Verfolgungsstrecken von Aal Nr. 4 und 5. Die neben dem Wanderweg von Aal Nr. 5 eingezeichneten schmalen Pfeile geben die Richtung des Gezeitenstromes wieder, deren Länge die relative Geschwindigkeit des Stromes. Die unterschiedliche Breite der kompakten Pfeile zeigt die jeweilige Schwimgeschwindigkeit des Aales über Grund. Kursiv gesetzte Zahlen: Wassertiefe

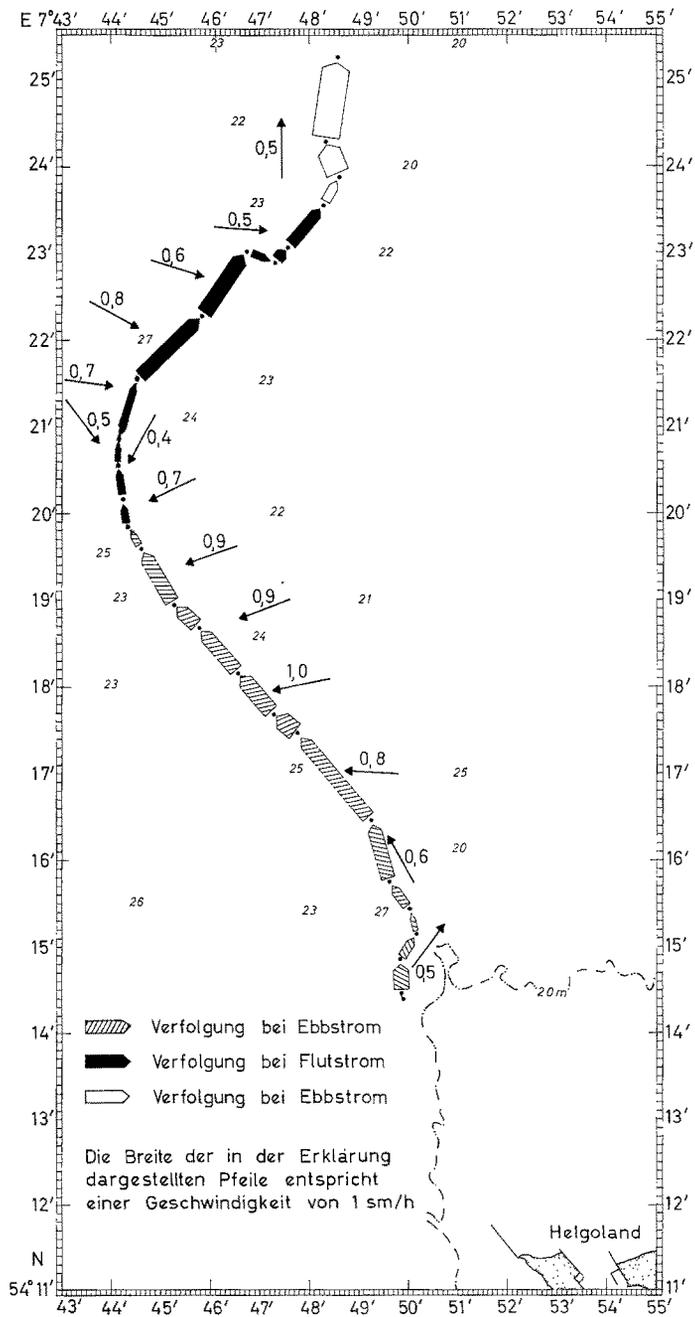


Abb. 6: Verfolgungstrecke von Aal Nr. 6 (Erklärungen siehe Abb. 4)

ten Werten um Helgoland abweicht und für die angegebenen einzelnen Positionen in seiner Stärke nicht bekannt ist. Bei einsetzender Flut, die bei dem starken nördlichen Wind möglicherweise eher begonnen haben kann (der Knick im mittleren Bereich der Verfolgungsstrecke mag dies andeuten), als aus der Abbildung ersichtlich ist, setzte der Aal seine Wanderung in nordwestlicher Richtung fort. Er hatte hierbei u. U. Strömungen von bis zu 1 kn zu überwinden. Die Vorwärtsbewegung lag vermutlich deshalb auch nicht höher als 0,5 kn. Der Aal hielt sich nach Verlassen der Helgoland-Reede in Tiefen von nicht weniger als 10 m und an den nördlichen Rand der den Felssockel Helgolands durchziehenden Rinne. Er verließ das Helgoländer Gebiet also, ähnlich wie das Versuchstier am Vortage, in nordwestlicher bis nördlicher Richtung. Der Versuch mußte nach einem 2,7 sm langen Wanderweg um 12.30 Uhr abgebrochen werden, da eine Verfolgung am Rande der Klippen, auf die der Wind auffrischend mit Stärke 7 gerichtet war, für das Schiff zu gefährlich war.

Tabelle 2

Schwimmrichtung und Schwimmgeschwindigkeit des Aales Nr. 6 über Grund und durch das Wasser (weitere Angaben siehe Tabelle 1)

Tide	Schwimm- richtung über Grund	Schwimm- geschwindigkeit über Grund (kn)	Theoretische Schwimm- richtung durchs Wasser	Theoretische Schwimm- geschwindigkeit durchs Wasser (kn)
1/2 Std. nach HW	357°	0,81	320°	0,55
1 Std. nach HW	33°	1,00	50°	1,00
2 Std. nach HW	338°	0,90	354°	0,31
3 Std. nach HW	319°	1,20	0°	0,84
4 Std. nach HW	315°	1,46	358°	1,22
5 Std. nach HW	325°	1,14	1°	1,08
6 Std. nach HW	328°	0,81	25°	1,02
6 Std. vor HW	332°	0,50	28°	0,83
5 Std. vor HW	8°	0,57	29°	0,88
4 Std. vor HW	5°	0,39	340°	0,83
3 Std. vor HW	18°	0,62	326°	0,87
2 Std. vor HW	48°	1,25	10°	1,25
1 Std. vor HW	35°	1,42	10°	1,36
Hochwasser	85°	0,61	44°	0,14
1 Std. nach HW	13°	1,28	21°	0,80

Aal Nr. 6. Zwei Tage nach dem vorher geschilderten Versuch (11. 11. 1971) wurde ein Blankaal außerhalb des Helgoländer Gebietes verfolgt (Abb. 6). Der Einsatz erfolgte bei Hochwasser und um 5.45 Uhr. Die Wassertemperatur betrug um 10.30 Uhr 7 sm nördlich Helgoland an der Oberfläche 11,4° C. Der Wind war zunächst umlaufend, die Dünung jedoch verhältnismäßig stark und aus nördlicher Richtung. Gegen Abend frischte der Wind auf Stärke 5 aus südwestlicher Richtung auf. Der Himmel war zunächst wolkenlos, nachmittags kam Bewölkung auf. Der Gezeitenstrom (Nipp-tide) konnte bei der herrschenden Wetterlage also vermutlich nicht wesentlich von der Norm abweichen, wenn der extreme NW-Wind an den Vortagen nicht noch einen Einfluß hatte. Die Berechnungen der Wanderung durch das Wasser (Tab. 2) wurden wie

bei Aal Nr. 2 durchgeführt. Die Wanderrichtung des Fisches innerhalb einer 12,5stündigen Tideperiode war NNWlich (354°). Sie wurde ähnlich wie bei Aal Nr. 2 in ihren Einzelabschnitten stark durch den Tidestrom beeinflusst. Die Durchschnittsrichtung von 13 zeitlich gleichmäßig über eine Tide-Periode verteilten Kursmessungen des Aales über Grund betrug 0° , die Richtung durch das Wasser 8° . Es fand also eine Versetzung durch den Strom nach Westen statt. Die durchschnittlichen Geschwindigkeiten durchs Wasser und über Grund wichen wenig voneinander ab (0,93 bzw. 0,88 kn). Die Differenzen zur tatsächlich erreichten Wanderrichtung innerhalb einer Tideperiode (354°) ergibt sich aus den unterschiedlichen Geschwindigkeiten während der 13 Teilkurse. Danach wurde also der Fisch theoretisch sogar 14° westlich verdriftet. Diese Abdrift nach Westen ist auf Grund der vorherigen Wetterlage zu erklären. Der Wind hatte tagelang aus nordwestlicher Richtung geweht, so daß bei plötzlich einsetzendem umlaufendem Wind die in der Deutschen Bucht aufgestauten Wassermassen nach NW abfließen mußten und damit eine verstärkte NW-Drift des Aales verursachten. Tatsächlich ist er ja auch über Grund ein wenig schneller vorwärtsgekommen als durch das Wasser; die NW-Strömung unterstützte seine Nordwanderung. Die höchste Geschwindigkeit des Aales über Grund innerhalb eines 25 Minuten dauernden Zeitabschnitts betrug 2,40 kn. Innerhalb der 13 Teilabschnitte einer Tide belief sie sich auf höchstens 1,46 kn. Durch das Wasser kam der Aal innerhalb der einstündigen Zeitabschnitte maximal auf 1,36 kn. – Infolge der starken Dünung können nur bedingte Aussagen über die Tiefenlage des Aales gemacht werden. Eine Krängung des Schiffes schon um 10° mußte die Winkelmessung entsprechend unsicher gestalten. Messungen um 11.30 Uhr, also etwa 1 Std. vor Niedrigwasser, ergaben eine Tiefenlage des Aales von 17 m (Wassertiefe 24 m) um 12.40 Uhr, also bei Niedrigwasser, von 11 m (Wassertiefe 24 m). Um 19.20 Uhr, also eine Stunde nach Hochwasser, und bei Dunkelheit sowie auch zu mehreren Messungen kurz davor befand sich der Aal dicht neben dem Schiff und in weniger als 10 m Tiefe (Wassertiefe 23 m). Die Verfolgung wurde um 20.00 Uhr, also nach $14\frac{1}{4}$ Stunden Einsatz, aus den gleichen Gründen wie bei Aal Nr. 2 abgebrochen. Die zurückgelegte Strecke betrug zu dieser Zeit mindestens 13,5 sm.

DISKUSSION

Die Versuche mit dem neuentwickelten Empfangsgerät ergaben, daß nach anfänglichen Entwicklungsschwierigkeiten die aktive Verfolgung wandernder Fische auf hoher See ohne weiteres möglich ist. Starker Verkehr auf Seewasserstraßen stellte nach Vervollkommnung der Methode kein Hindernis dar. Grenzen sind der Verfolgung nur durch die Seetüchtigkeit des Schiffes bei schlechtem Wetter gesetzt. Es ist dann also erforderlich, entsprechend größere oder leistungsfähigere Einheiten einzusetzen. Die Empfangsmöglichkeit und damit die Reichweite wird durch den erhöhten Störpegel zwar ebenfalls eingeschränkt, jedoch nicht in dem Maße, daß die horizontalen Messungen die Verfolgung erschweren würden. Schwierigkeiten entstehen dann nur bei der vertikalen Winkelmessung und Entfernungsbestimmung, die jedoch bei dieser Methode ohnehin nur innerhalb eines verhältnismäßig weiten Toleranzbereiches möglich sind.

Der Aal, dessen Laichwanderung und Orientierung noch weitestgehend unbekannt sind, hat sich als dankbares Verfolgungsobjekt erwiesen. Mit dieser Methode erscheint es ohne weiteres möglich, seinen Wanderweg über den gesamten Kontinentalschelf zu untersuchen. Wieweit die Verfolgung im ozeanischen Bereich noch aufrechterhalten werden kann, hängt von der Tiefe ab, die er bevorzugt. Unter Umständen müßten für solche Untersuchungen druckfestere Pinger verwendet werden. Es ist außerdem unbekannt, ob der Aal unter die Sprungschicht geht. In einem solchen Fall hätte der Ultraschall des Pingers diesen Grenzbereich zu durchstoßen. Reichweite und Winkelmessung könnten hierunter leiden.

Alle 5 über 9° C Wassertemperatur verfolgten Blankaale wanderten in westliche bis nördliche Richtung; auch der Aal Nr. 1, dessen Verfolgung aus technischen Gründen nur 20 Minuten lang möglich war, startete nordwestlich. Die Aale Nr. 4 und 5, die zwischen Düne und Hauptinsel ausgesetzt worden waren, verließen Helgoland in nordwestlicher Richtung, auch wenn – zumindest für Aal Nr. 5 – ohne weiteres die Möglichkeit bestanden hätte, in südwestlicher Richtung zu starten. Aal Nr. 4 hielt sich an das nördliche bis westliche Ufer. In diesem Zusammenhang mag interessieren, daß offensichtlich auch im Elbeästuar, wo die Strömung bei Brunsbüttel (Abb. 3) in ostwestlicher Richtung verläuft, die Aale das nördliche Ufer bevorzugen. Man kann dort während der Blankaalwanderung im Hauptströmungsbereich auf einer kurzen Strecke zahlreiche Kutter mit ausgebrachtem Aalhamen sehen, während das südliche Ufer vollkommen unbesetzt ist. Auch weiter seewärts fischen die Fahrzeuge an der nördlichen Begrenzung durch das Wattenmeer.

Die beiden bisher bekanntgewordenen Wiederfänge konventionell markierter Blankaale aus der Elbe waren zum nördlichen Ausgang der Nordsee, und zwar sogar mit enger Anlehnung an die dänische Küste, also sehr nördlich gewandert (LÜHMANN & MANN 1958). Für eine Abwanderung durch den Kanal gab es dagegen bisher keine Anzeichen. Es ist deshalb anzunehmen, daß die Blankaale der Nordseeküsten die Nordsee nach Norden verlassen.

Obgleich alle Aale stark durch die Strömung beeinflusst wurden, erscheint ein überwiegender Transport der Tiere durch den Tide- oder den Reststrom nicht mehr wahrscheinlich. Es hätte nahe gelegen, daß die adulten Tiere ähnlich wie die Glasaale durch den Flutstrom (z. B. DEELDER 1958), durch den Ebbstrom vom Kontinent weg transportiert würden. Die Ebbe vergrößert allenfalls die Wandergeschwindigkeit. Es findet auch kein Verbergen am Boden bei zurücktreibendem Flutstrom statt. Dies hatte zunächst den Anschein bei Aal Nr. 2 (Abb. 4). Die Berechnung des Wanderweges durch das Wasser (Tab. 1) ergab jedoch, daß hier vermutlich eine ständige aktive Wanderung auch gegen den Strom stattfindet. Die Aale Nr. 5 (Abb. 5) und Nr. 6 (Abb. 6) zeigten sogar, daß sie trotz des Flutstromes noch vorwärtskamen. Die auf Grund der normalen Tideströmungen errechneten Schwimmrichtungen durch das Wasser und damit die Richtungseinstellungen wichen zwar im einzelnen erheblich (Tab. 1 u. 2), im Gesamtdurchschnitt einer Gezeitenperiode aber nur unwesentlich von dem tatsächlich erfolgten Richtungsfortschritt ab. Dieser wird offensichtlich durch Einstellung einer Kompaßrichtung gesteuert. Der Tidestrom kann zur Richtungseinstellung kaum verholphen haben, da er im Verlaufe einer Gezeitenperiode aus zu unterschiedlichen Richtungen kommt. Damit entfällt auch, zumindest für diesen Wanderabschnitt, die Richtungsein-

stellung auf Grund der im erdmagnetischen Feld durch Wasserströmung entstehenden Potentialunterschiede (ROYCE et al. 1968, McCLEAVE et al. 1971). Die Geruchsorientierung ist beim Aal ebenfalls (TESCH 1970, DEELDER & TESCH 1970) und gerade bei den hier sehr unterschiedlich gerichteten Gezeitenströmen unwahrscheinlich. Optische Orientierung entfällt zumindest bei denjenigen Fischen, die bei Dunkelheit verfolgt wurden. Außerdem war der Himmel meistens bedeckt. Eine Orientierung an Hand morphologischer Gradienten des Seebodens fand in Landnähe statt. Die Aale Nr. 3, 4 und 5 verließen nicht den Tiefenbereich der Stromrinnen, der flacher als 6 m war (vgl. auch OVCHINNIKOV 1971). Die in der offenen Nordsee verfolgten Aale, insbesondere Nr. 6, konnten dagegen durch die Morphologie des Bodens nicht geleitet worden sein, da hier keine entsprechenden Gradienten vorlagen. Außerdem würde die Wanderung in mittleren Wasserschichten eine solche Orientierung nicht erlaubt oder zumindest sehr erschwert haben. Andere Feld- und Laborversuche hatten eine ähnliche Richtungseinstellung ergeben (siehe Diskussion bei DEELDER & TESCH 1970). Weitere Experimente sind also erforderlich, um die Frage der Richtungseinstellung ermöglichenden Faktoren zu klären.

Die telemetrischen Untersuchungen ergaben weiterhin Daten über die Schwimgeschwindigkeit der Blankaale in Freiheit, jedoch unter einer gewissen hydrodynamischen Belastung. Als maßgebend sollten die Geschwindigkeiten gelten, die der Fisch nach Abzug der Verdriftung, also durchs Wasser, erkennen ließ. Sie betrug bei den länger verfolgten Tieren durchschnittlich 0,68 kn (Nr. 2) und 0,88 kn (Nr. 6). Stärker hydrodynamisch belastet war der Aal Nr. 2. Hierauf mag seine geringere Geschwindigkeit zurückzuführen sein und vielleicht außerdem auf die niedrige Wassertemperatur. Eine gewisse Belastung mußte aber auch Aal Nr. 6 ertragen, weswegen dessen Wandergeschwindigkeit ebenfalls nicht optimal sein mag. Aal Nr. 5 ist während des letzten nahezu 2stündigen Beobachtungszeitraums, also gegen die Flut, mit 1 kn und schneller geschwommen. Es scheint deshalb durchaus möglich, daß von Blankaalen eine Durchschnittsgeschwindigkeit von ca. 1 kn eingehalten wird, das sind etwa 44 km pro Tag.

Für die beiden in der Nordsee mit konventionellen Marken wiedergefangenen Blankaale wurde eine Tagesgeschwindigkeit von 13 bzw. 25 km ermittelt (LÜHMANN & MANN 1958). Diese stellt jedoch nur Werte dar, die auf Grund der geradlinigen Verbindung von Aussetzungs- und Wiederfangort errechnet wurden, ganz abgesehen davon, daß der Zeitpunkt des tatsächlichen Wiederfanges früher liegen mußte. Der wirkliche Weg ist also länger, die Zeit kürzer und daher auch die Geschwindigkeit größer. Ähnlich sind die Ergebnisse an Blankaalen in der Ostsee von NORDQUIST (1904), TRYBOM & SCHNEIDER (1908), MÄÄR (1947) und MARTINKÖWITZ (1961) zu werten, bei denen mittlere Geschwindigkeiten von 5 bis 16 km pro Tag festgestellt wurden. Maximal ergaben sich jedoch auch Werte von 55–63 km pro Tag (MÄÄR 1947). Von verpflanzten Gelbaalen (TESCH 1967, DEELDER & TESCH 1970) wurden maximal Tagesstrecken von 15 bis 75 km zurückgelegt.

Es ist nun kaum noch zu bezweifeln, daß die Blankaale die nötige Wanderleistung aufbringen, um zum Sargassosee zu gelangen. Bis zum nördlichen Ausgang der Nordsee hätten sie 1000 km zurückzulegen, was bei einer Geschwindigkeit von 44 km am Tage in 23 Tagen möglich wäre. Dort hätten sie einen Kurswechsel nach Südwesten vorzunehmen. Eine solche Richtungsänderung könnte bei Erreichen des klareren und tiefe-

ren atlantischen Wassers ausgelöst werden. Bis zur Sargassosee hätten sie dann noch 6000 km zu bewältigen, was in ca. 136 Tagen möglich erscheint; es sei denn, Strömungen und Temperaturen würden eine solche Wanderleistung verändern. In Anbetracht der höheren Temperaturen schon im mittleren Bereich des Wanderweges könnte dort die Wandergeschwindigkeit höher liegen. Die Wanderung beginnt im Elbegebiet normalerweise im Oktober. Es wäre also ausreichend Zeit, um die Laichplätze Ende März im Sargassomeer zu erreichen. Der Wanderweg vom nördlichen Ausgang der Nordsee ist für *A. anguilla* zwar doppelt so weit wie für amerikanische Aale (*A. rostrata*). Die Wanderrichtung zeigt jedoch für beide Arten südwestlich, also in sehr ähnliche Richtung.

ZUSAMMENFASSUNG

1. Zur telemetrischen Verfolgung von schnell schwimmenden Organismen auf hoher See wurde in Zusammenarbeit mit der Fried. Krupp GmbH Atlas-Elektronik, Bremen, ein Ultraschallempfangsgerät entwickelt. Der Empfangswandler dieses Gerätes (4 Hydrophone) ist zur Aufnahme von Ultraschallimpulsen eingerichtet, die sofort verarbeitet werden und auf einem Oszillographen in Richtung und Stärke ablesbar sind.
2. Als Ultraschallsender (Pinger) wurden zunächst provisorisch von der Atlas-Elektronik für die Versuche konstruierte Pinger mit einer Phonstärke von 70 DB verwendet. In den weiteren Versuchen erwiesen sich Pinger der Smith-Root-Electronic mit 46 DB als ausreichend, die mit einer geringeren Größe die Versuchstiere nicht so stark belasteten. Durch einen Styroporsattel wurde bei allen Pingern ein Gewichtsausgleich herbeigeführt.
3. Der Empfangswandler wird, um eine gute Manövrierfähigkeit des Schiffes zu gewährleisten, unter dem Schiffsboden montiert und kann somit ohne besondere zusätzliche Umbauten auf jedem seegängigen Schiff verwendet werden. Im vorliegenden Fall wurde der 24 m lange Forschungskutter „Uthörn“ der Biologischen Anstalt Helgoland eingesetzt.
4. Untersucht wurde die Laichwanderung der Aale (*Anguilla anguilla* L.), wozu 6 weibliche Blankaale im Elbeästuar und bei Helgoland mit Pingern markiert wurden. Versuchsweise und mit Erfolg markiert und ausgesetzt wurden auch eine Quappe (*Lota lota* L.) und ein Hummer (*Homarus vulgaris* M.-EDW.).
5. Aale, die bei einer Wassertemperatur von über 9° C freigelassen wurden, begannen unmittelbar nach dem Einsetzen eine zielgerichtete Wanderung. Bei einem weiteren Aal war mit 5,6° C die notwendige Temperatur vermutlich unterschritten. Er zeigte trotz guter Vitalität keine aktive und gerichtete Wanderung, sondern trieb offenbar mit dem Gezeitenstrom.
6. Alle aktiv wandernden Individuen richteten ihren Weg, soweit es die morphologischen Gegebenheiten des Bodens zuließen, sofort in den nordwestlichen Sektor. In Landnähe wurde das nördliche oder westliche Ufer bevorzugt. Ebbe und Flut riefen keine sichtbaren Unterschiede ihres Verhaltens hervor. Sie wurden jedoch unter dem Einfluß des Gezeitenstromes erheblich verdriftet. Im Endeffekt glich sich aber diese Verdriftung im Laufe einer Tideperiode aus, so daß auf Grund des ver-

- bleibenden Reststromes nur eine geringe westliche oder nördliche Versetzung resultierte.
7. Die durchschnittliche Schwimgeschwindigkeit über 12,5 Stunden betrug unter Berechnung des Weges durch das Wasser bei den länger verfolgten Aalen 0,68 bzw. 0,88 kn. Ein weiterer Aal, der kürzere Zeit beobachtet wurde, erreichte gegen den Flutstrom vermutlich höhere Geschwindigkeiten als 1 kn. Es wird angenommen, daß ohne Belastung eine Dauergeschwindigkeit von etwa 1 kn ohne weiteres eingehalten werden kann. Über einen 1stündigen Teilabschnitt kamen die Aale sogar mit 1,55 bzw. 1,36 kn vorwärts. Über Grund, also mit Unterstützung des Gezeitenstromes, erreichten die Aale bis zu 3,7 kn.
 8. Die Tiefenlage der Aale konnte wegen teilweise ungünstiger Wetterlage nicht sicher bestimmt werden. Es wird angenommen, daß sich die Fische bei einer Wassertiefe von über 20 m in mittleren Wasserschichten aufhielten. Bei unregelmäßigen und geringeren Tiefen bevorzugten die Aale nach Möglichkeit Stromrinnen mit Wassertiefen über 6 m.
 9. Die eingeschlagenen Kurse lassen vermuten, daß aus dem Nordseeküstengebiet stammende Aale die Nordsee im Norden verlassen. Die Schwimgeschwindigkeit würde ausreichen, um die Sargassosee zum vermutlichen Laichtermin zu erreichen.
 10. Für die Einhaltung eines Kompaßkurses kommen auf Grund der beobachteten Verhaltensweisen eine Orientierung nach der Gezeitenströmung, visuellen Faktoren und olfaktorischen Reizen kaum in Frage.

Danksagungen. Das Verfolgungsgerät wurde von der Stiftung Volkswagen finanziert. Die Entwicklungsarbeit für dieses Gerät führte die Firma Fried. Krupp GmbH, Atlas-Elektronik in Bremen durch. Besonders verdienstvoll war die Mitarbeit der Ingenieure und Techniker bei den ersten Einsatzversuchen auf See und bei der Anfertigung der ersten Versuchspinger. An Ausrüstung und Einsatz des Schiffes für die Untersuchungen waren Herr Kapitän STOLDT und dessen Besatzung hervorragend beteiligt. Die Helgoländer Tauchergruppe stellte sich zur Unterwassermontage des Empfangswandlers zur Verfügung. Hierbei war insbesondere Herr P. JATZKE aktiv, der außerdem die Verfolgung des Hummers übernahm. Fischermeister G. OESMANN, Hamburg-Altenwerder, lieferte zur rechten Zeit und in der geforderten Qualität die Versuchstiere. Fräulein M. BARTEL und Herr J. MARSCHALL waren bei den Versuchen im Aquarium, bei der Anfertigung der Zeichnungen und des Manuskriptes behilflich. Allen Beteiligten sei für ihre Mitarbeit freundlichst gedankt.

ZITIERTE LITERATUR

- DEELDER, C. L., 1958. On the behaviour of elvers (*Anguilla vulgaris* TURT.) migrating from the sea into fresh water. J. Cons. perm. int. Explor. Mer. **24**, 135–146.
- & TESCH, F.-W., 1970. Heimfindevermögen von Aalen (*Anguilla anguilla*), die über große Entfernungen verpflanzt worden waren. Mar. Biol. **6**, 81–92.
- HENDERSON, H. F., HASLER, A. D. & CHIPMAN, G. C., 1966. An ultrasonic transmitter for use in studies of movements of fishes. Trans. Am. Fish. Soc. **95**, 350–356.
- LÜHMANN, M. & MANN, H., 1958. Wiederfänge markierter Elbaale vor der Küste Dänemarks. Arch. Fischwiss. **3**, 200–203.
- MÄÄR, A., 1947. Über die Aalwanderung im Baltischen Meer auf Grund der Wanderaalmarkierungsversuche im Finnischen und Livischen Meerbusen in den Jahren 1937–1939. Meddn. St. Unders.-o. Försvattfisk. **27**, 1–56.

- MARTINKÖWITZ, H., 1961. Ergebnisse von Blankaalmarkierungen an der ostrügenschon Küste und Möglichkeit ihrer Nutzung für die Fangsteigerung durch neuartige Reusenkonstruktionen. Z. Fisch. N.F. **10**, 653–663.
- MCCLEAVE, J. D., ROMMEL, S. A. & CATHCART, C. L., 1971. Weak electric and magnetic fields in fish orientation. In: Animal orientation: sensory basis. Ann. N. Y. Acad. Sci. (In press).
- NEUMANN, H. & MEIER, C., 1964. Die Oberflächenströme in der Deutschen Bucht. Dt. hydrogr. Z. **17**, 1–40.
- NORDQUIST, O., 1904. Alfiskeförsök och alundersökningar i södra Finland. Fisk-Tidskr. Finl. **13**, 73–84.
- OVCHINNIKOV, V. V., 1971. The Influence of Hydrobiological Factors upon the Orientation of European Eel (*Anguilla anguilla* [L.]). Coun. Meet. int. Coun. Explor. Sea (= C.M. – I.C.E.S.) Anadromous and Catadromous Fish Comm. M: 12.
- ROYCE, W. F., SMITH, L. S. & HART, A. N., 1968. Models of oceanic migration of Pacific Salmon and comments on guidance mechanism. Fishery Bull. Fish. Wildl. Serv. U.S. **66**, 441–464.
- TESCH, F.-W., 1967. Homing of eels (*Anguilla anguilla*) in the southern North Sea. Mar. Biol. **1**, 2–9.
- 1970. Heimfindevermögen von Aalen *Anguilla anguilla* nach Beeinträchtigung des Geruchssinnes, nach Adaptation oder nach Verpflanzung in ein Nachbar-Ästuar. Mar. Biol. **6**, 148–157.
- TRIEBOLD, K. F., 1968. Über den Systemfehler des akustischen Druck-Gradienten-Peilverfahrens. Diss., TU Hannover.
- TRYBOM, F. & SCHNEIDER, G., 1908. Markierungsversuche mit Aalen und die Wanderungen gekennzeichnete Aale in der Ostsee. Rapp. P.-v. Réunion. Cons. perm. int. Explor. Mer **9**, 51–59.
- WALKER, M. G., MITSON, R. B. & STORETON-WEST, T., 1971. Trials with a transponding acoustic fish tag tracked with an electronic sectorscanning sonar. Nature, Lond. **229**, 196–198.

Anschrift des Autors: Dr. F.-W. TESCH
Biologische Anstalt Helgoland (Zentrale)
2 Hamburg 50
Palmaille 9
Bundesrepublik Deutschland