

## Messung hydrodynamischer Spuren für Verhaltensuntersuchungen an Seehunden

Wolf Hanke, Sven Wieskotten und Guido Dehnhardt

Allgemeine Zoologie und Neurobiologie, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum

hanke@neurobiologie.ruhr-uni-bochum.de, dehnhardt@neurobiologie.ruhr-uni-bochum.de

Aquatische Tiere haben oft hydrodynamische Sinnessysteme entwickelt, mit denen sie Wasserbewegungen wahrnehmen können. Seehunde verfügen zu diesem Zweck über speziell angepasste Barthaare (Vibrissen), deren Bedeutung für den Beutefang in den letzten Jahren aufgezeigt werden konnte (Dehnhardt et al., 1998, 2001). Seehunde können hydrodynamische Spuren lesen, also Wasserbewegungen, die von einem bewegten Objekt auf seinem Weg erzeugt werden und noch einige Zeit (bei den relevanten Reynoldszahlen typischerweise sekunden- bis minutenlang) erhalten bleiben.

Wir untersuchen zur Zeit verschiedene Details dieses Sinnessystems, insbesondere die Fähigkeit von Seehunden, die Bewegungsrichtung eines Objektes (Beutetieres) anhand der hydrodynamischen Spur zu bestimmen, die Fähigkeit, schnelle Richtungswechsel eines bewegten Objektes nachzuvollziehen und die Schwellenwerte für die Wahrnehmung von Objekten.

Als Reizerzeuger werden unter anderem ferngesteuerte Modell-U-Boote eingesetzt, mit denen unterschiedliche, teils komplizierte Spuren erzeugt werden. Abbildung 1 zeigt einen Seehund, der ein solches Boot anhand der hydrodynamischen Spur verfolgt.

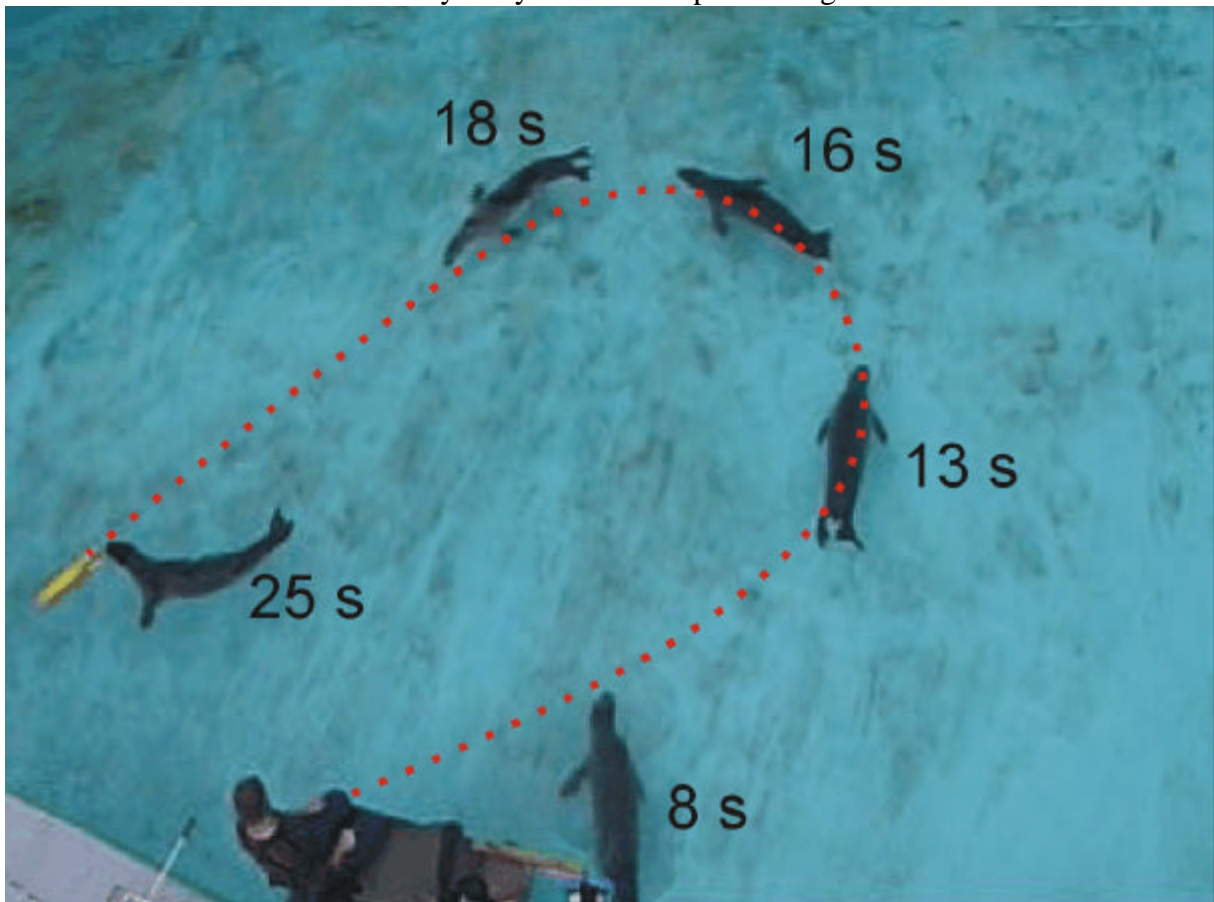


Abbildung 1: Spurverfolgung durch einen Seehund

Unten im Bild, an der Plattform am Ufer, wurde der Seehund vor Versuchsbeginn stationiert und mit Hilfe von Kopfhörern und einer Augenmaske an der Wahrnehmung des U-Bootes gehindert. Das U-Boot wurde auf einer gekrümmten Bahn durch das Becken gesteuert. Nach 6 Sekunden wurde der Motor ausgeschaltet. Erst nach dem Ausschalten des Motors bekam der Seehund das Signal, das U-Boot zu suchen. Diese Aufgabe hatte er zwar ohne Kopfhörer, aber mit Augenmaske zu lösen.

Die Zahlen im Bild zeigen die Zeitpunkte in Sekunden nach Versuchsbeginn, zu denen der Seehund an der gezeigten Position war. Zum Zeitpunkt  $t=6$  s wurden der Motor und die Steuerservos ausgeschaltet, so daß von diesen keine akustischen Reize ausgingen. Rot eingezeichnet ist der Weg des U-Bootes. Man sieht, daß die Bahn des U-Bootes vom Seehund genau verfolgt wurde, was auf die Nutzung der hydrodynamischen Spur schliessen lässt.

Es entstand nun die Notwendigkeit, die hydrodynamische Spur hinter dem U-Boot strömungstechnisch zu charakterisieren. In den vergangenen Monaten haben wir ein PIV-System aufgebaut, das an unsere speziellen Anforderungen angepasst ist, und damit die hydrodynamischen Spuren vermessen.

Unser Anforderungsprofil an das PIV-System unterscheidet sich von dem anderer Anwender dadurch, dass wir überwiegend kleine Strömungsgeschwindigkeiten messen (kleiner als 1 m/s), dass unser Versuchsbecken keine transparente Wand hat und dass die Messungen unter freiem Himmel durchgeführt werden. Das auszuleuchtende Feld kann mit ca. 50 cm Seitenlänge im Falle von Übersichtsbildern verhältnismäßig groß werden. Wir müssen größere Datenmengen entsprechend einer minutenlangen Spurentwicklung speichern können, zuzüglich der von Versuch zu Versuch kaum wiederholbaren Anfangsströmung, so daß die Aufzeichnung auf Videobänder sinnvoll wird.

Das System besteht aus folgenden Komponenten:

- ein diodengepumpter Festkörperlaser Entertainer 500 (Quantum Physics, HB Laser)
- eine Hybrid-Glasfaser (30 m, Durchmesser 50  $\mu\text{m}$ ) mit Kevlarmantel, Ein- und Auskoppeloptiken (Laserlight Showdesign)
- Lichtschnittoptik
- CCD-Videokameras für die Partikelzeichnung (DMK 803, The Imaging Source)
- Weitere Videokameras für die Aufzeichnung der Position des Reizerzeugers (des U-Bootes)
- DV-Recorder (Canon XL1) und SVHS-Recorder
- Schwebeteilchen: entweder Vestosint 1101, 100  $\mu\text{m}$ , oder die natürlich im Wasser vorkommenden Partikel
- Auswertungsrechner mit Digitalisierungskarten: Miro Video DC30 und DV-Video
- Bildanalyseprogramme in MatLab.

Abbildung 2 zeigt eines der U-Boote aus den Verhaltensversuchen bei der Fahrt durch den vom Laser erzeugten Lichtschnitt zu vier aufeinanderfolgenden Zeitpunkten ( $t=0$  s,  $t=0,1$  s,  $t=0,4$  s,  $t=0,5$  s). Die vom Laser beleuchtete Ebene liegt horizontal im Versuchsbecken und ist 45 cm breit. Das Licht kommt von links. Man erkennt neben dem Boot die vom Laser angestrahlten Schwebeteilchen. Das Boot trat am unteren Bildrand in den Messbereich ein und am oberen Bildrand wieder aus, d. h. auf Teilbild 1 sieht man den Bug, auf Teilbild 4 das Leitwerk des U-Bootes. Die Belichtungszeit betrug 0,02 s.

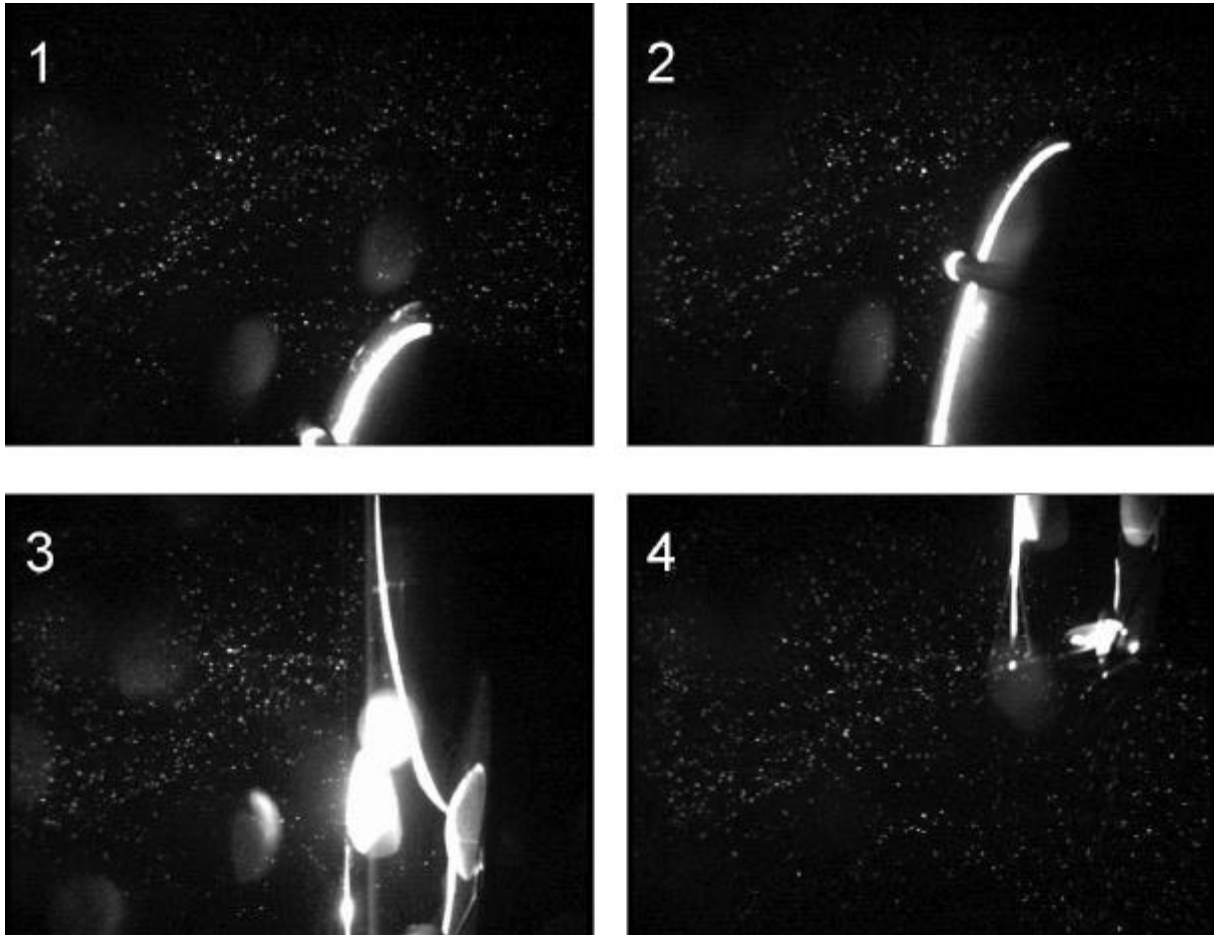


Abbildung 2. Modell-U-Boot während der PIV-Messung.

Abbildung 3 zeigt die Wassergeschwindigkeiten, die aus den Partikelbildern dieser Messung gewonnen wurden, über einen Zeitraum von einer Minute nach dem Vorbeifahren des U-Bootes. Die Breite der Abbildung 2 entspricht der Breite des Messbereiches (450 mm); die vertikale Achse der Abbildung stellt dagegen den Zeitverlauf dar (0 Sekunden entspricht dem Zeitpunkt, zu dem das U-Boot den Messbereich verlässt). Die farbkodiert dargestellten Wassergeschwindigkeiten wurden über die Fortbewegungsrichtung des Bootes gemittelt. Man erkennt, dass in dem für die Verhaltensversuche relevanten Zeitfenster (20 bis 30 s) Geschwindigkeiten von ca. 6 bis 8 mm/s gemessen wurden und die halbe Breite der Spur ca. 20 cm betrug.

Bei der Visualisierung der Strömung in mehr als 40 Versuchen stellten wir fest, daß für den menschlichen Betrachter in der hydrodynamischen Spur keine Richtungsinformation sichtbar war. Wenn auch eine Netto-Wasserströmung entgegengesetzt der Fahrtrichtung des U-Bootes vorhanden sein muss, wird sie doch von zahlreichen Wirbeln verdeckt. Interessanterweise hatten bei dem bisher verwendeten U-Boot-Typ auch die Seehunde Schwierigkeiten, die Fahrtrichtung zuverlässig zu erkennen. Die Spur wurde aber mit hoher Genauigkeit auch entgegen der Fahrtrichtung verfolgt. Versuche mit einem modifizierten U-Boot laufen zur Zeit, ebenso Versuche mit lebenden Fischen als Spurerzeuger.

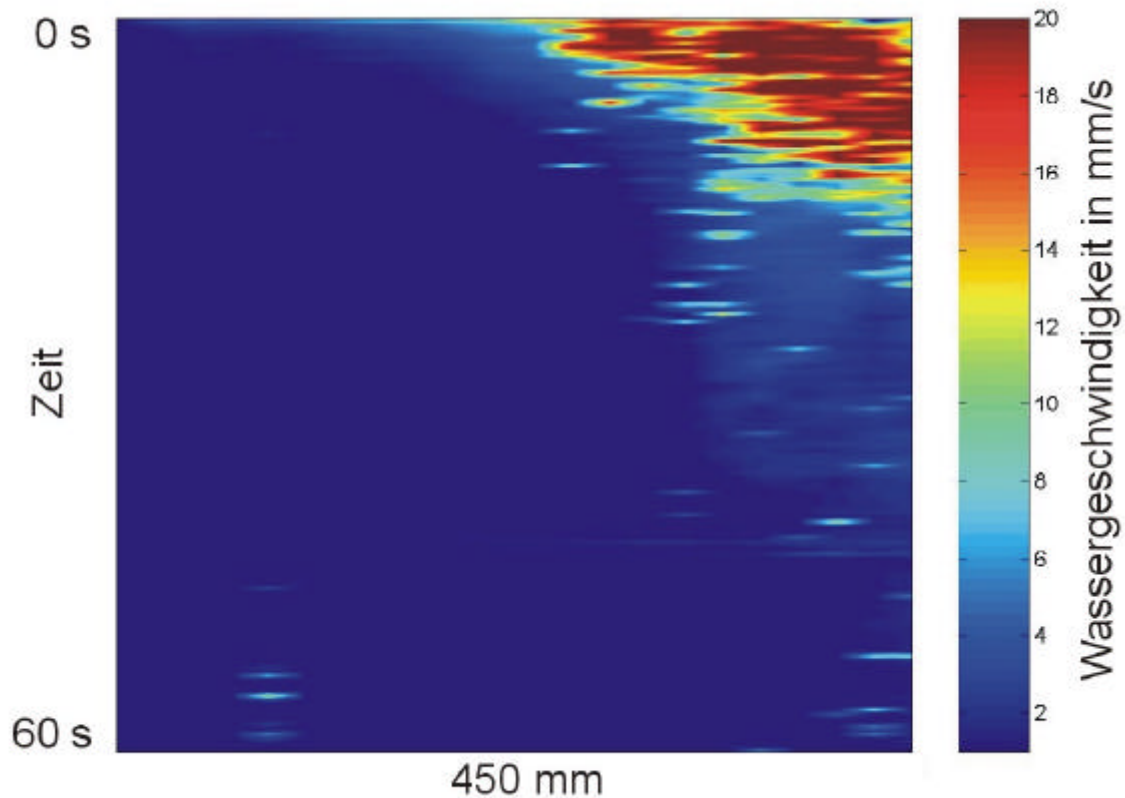


Abbildung 3. Hydrodynamische Spur des Modell-U-Bootes aus Abbildung 2.

#### Literatur:

Dehnhardt G., Kaminski A. (1995): Sensitivity of the mystacial vibrissae of harbor seals (*Phoca vitulina*) for size differences of actively touched objects. *Journal of Experimental Biology* 198 (11): 2317-2323.

Dehnhardt G., Mauck B. und Bleckmann H. (1998): Seal whiskers detect water movements. *Nature* 394, 235.

Dehnhardt G., Mauck B., Hanke W. und Bleckmann H. (2001): Hydrodynamic trail-following in harbour seals (*Phoca vitulina*). *Science* 293, 102-104.

Hanke W., Brücker C. und Bleckmann H. (2000): The ageing of the low-frequency water disturbances caused by swimming goldfish and its possible relevance to prey detection. *Journal of Experimental Biology* 203, 1193-1200.