



Dank seines Elektrosinns weiß dieser Zitronenhai genau, wie er seine Beute – in dem Fall einen kleinen Fisch – am besten erwischt.

Der sechste Sinn der **HAIFISCHE**

Ein Hai erkennt mit einem zusätzlichen Sinnesorgan das extrem schwache elektrische Feld eines Beutetiers. Vor allem benutzt er diesen Sensor kurz vor dem Zuspappen.

Von R. Douglas Fields

Zuerst sehen wir die spitze Flosse, die auf uns zurast – ein drei Meter langer Blauhais hat das Blut gerochen. Mehrere große Haie umzingeln schon unser Spezialboot, die sieben Meter messende »Boston Whaler«. Plötzlich schießt eine blausilberne Schnauze durch die quadratische Öffnung im Deck. »Pass auf!«, schreit Melanie. Instinktiv schrecken wir zurück, obwohl meine Frau und ich wissen, dass uns nichts passieren kann. Der Hai zeigt nur sein mit messerscharfen Zähnen bewehrtes Grinsen und sinkt wieder ins Wasser.

Zwar hatten wir die Haie mit Blut angelockt. Doch nicht diese Reaktion wollten wir erforschen – sie war bestens bekannt. Vielmehr interessierte uns ihr damals noch ziemlich geheimnisvoller »sechster Sinn«. Sinnesphysiologen wussten aus Aquariumsexperimenten zwar schon, dass Haie die äußerst schwachen elektrischen Felder wahrnehmen können, die im Meerwasser von Tieren ausgehen – genauer gesagt von deren Zellen. Aber noch niemand hatte wirklich untersucht, wie diese Knorpelfische ihren ungemein scharfen »Elektrosinn« tatsächlich gebrauchen.

Bis Anfang der 1970er Jahre ahnten Tierforscher jenen feinen Sinn der Haie nicht einmal. Heute können wir seine Funktion ganz gut erklären: Elektrowahrnehmung setzen diese Raubfische zur Futtersuche ein. Ihr sechster Sinn hilft ihnen dabei auch in Umwelten und Situationen, in denen die herkömmlichen Sinne – Sehen, Riechen, Schmecken, Fühlen und Hören – nicht zu gebrauchen sind, etwa in verwirbeltem oder brackigem Wasser, bei totaler Finsternis und sogar dann, wenn sich die Beute im Sand versteckt.

Inzwischen erforschen meine Kollegen und ich die molekularen Grundlagen dieser er-

staunlichen Fähigkeit. Andere Wissenschaftler untersuchen unter anderem, wie sich das spezielle Sinnesorgan bei der Keimesentwicklung heranbildet. Systematiker wollen herausfinden, welche heutigen und früheren Fische es besitzen beziehungsweise besaßen. Interessant zu erfahren wäre etwa, ob auch die Vorfahren der Landwirbeltiere über einen Elektrosinn verfügten. Von jenen Zusammenhängen wissen wir meist noch nicht besonders viel. In diesem Artikel möchte ich die wenig bekannte Entdeckungsgeschichte der Elektrorezeption bei Haien erzählen. Anschließend berichte ich von eigenen Studien dazu, wie dieser Sinn den Tieren beim Beutemachen hilft.

Als hätten Haie Bartstoppeln

Schon im Jahr 1678 beschrieb der italienische Anatom Stefano Lorenzini die vielen winzigen Poren, die bei Haien und Rochen vorn am Kopf, vor allem um das Maul herum, sitzen, was fast so aussieht, als wären die Fische schlecht rasiert. Er entfernte die Haut an diesen Stellen und fand unter jeder Pore eine kleine durchsichtige Röhre, die ein kristallines Gel enthielt. Manche dieser Röhren wirkten dünn und zart. Andere waren fast so dick wie Spagetti und durchaus etliche Zentimeter lang. Tief im Kopf vereinten sich diese Röhren zu mehreren großen, klaren Gallertmassen. Seine erste Idee, dass es sich um Drüsen für Körperschleim handeln könnte, verwarf Lorenzini wieder. Zwar spekulierte er später über eine »mehr versteckte Funktion«. Doch wozu die »Lorenzinischen Ampullen«, wie sie heute heißen, gut sind, blieb noch einige Jahrhunderte im Dunkeln.

Der Lösung kamen Physiologen erst ab der Mitte des 19. Jahrhunderts schrittweise näher – seit sie die Bedeutung des so genannten Seitenlinienorgans von Fischen und Amphibien erforschen. Viele Tiere aus beiden

In Kürze

- ▶ **Haie spüren** die äußerst schwachen elektrischen Felder, von denen Tiere im Wasser umgeben sind.
- ▶ **Sie messen diese** mit besonderen Sinnesorganen am Kopf, den Lorenzinischen Ampullen – benannt nach einem italienischen Anatomen, der diese Gebilde im 17. Jahrhundert erstmals beschrieb.
- ▶ **Ihren sechsten Sinn** benutzen Haie in der Schlussphase eines Angriffs auf Beute. Er sagt ihnen, wo genau sie zubeißen sollten.

Wurden die Lorenzischen Ampullen gereizt, feuerten die Sinnesnerven je nach Reiz schneller oder langsamer als sonst

Gruppen tragen entlang der Körperseite eine feine Linie, die sich äußerlich sichtbar von den Kiemen zum Schwanz zieht. In seinem inneren Aufbau ähnelt dieses Organ in manchem dem Röhrensystem der Haie, das Lorenzini beschrieben hatte. Es handelt sich um ein spezielles Sinnessystem, einen regelrechten Ferntastsinn, mit dem Fische und Amphibien selbst geringe Wasserbewegungen genauestens spüren. Sie bemerken damit Wasserdruckwellen und Strömungsänderungen, wie sie etwa Hindernisse, mögliche Beute oder sich nähernde Raubfische erzeugen.

Beim Seitenliniensystem der Fische liegt unter einer Linie perforierter Schuppen ein Kanal mit darin aufgereihten Sinnesknospen. Das sind Gallertkappen, die durch Wasserbewegungen verschoben werden. In ihre Basis ragen feine Haarsinneszellen. Schwimmt in der Nähe ein anderer Fisch vorbei, werden die Haarzellen abgelenkt – etwa so, als ob ein Kornfeld im Wind wogt. Nervenzellen erfassen den Vorgang. Sie melden dem Gehirn Stärke und Richtung der Wasserbewegung.

Erst mit den besseren Mikroskopen des späten 19. Jahrhunderts konnten Forscher zeigen, dass auch die von Lorenzini beschriebenen Strukturen in der Haischnauze offenbar für irgendwelche Sinneswahrnehmungen gut sind. Nun war zu erkennen, dass jedes

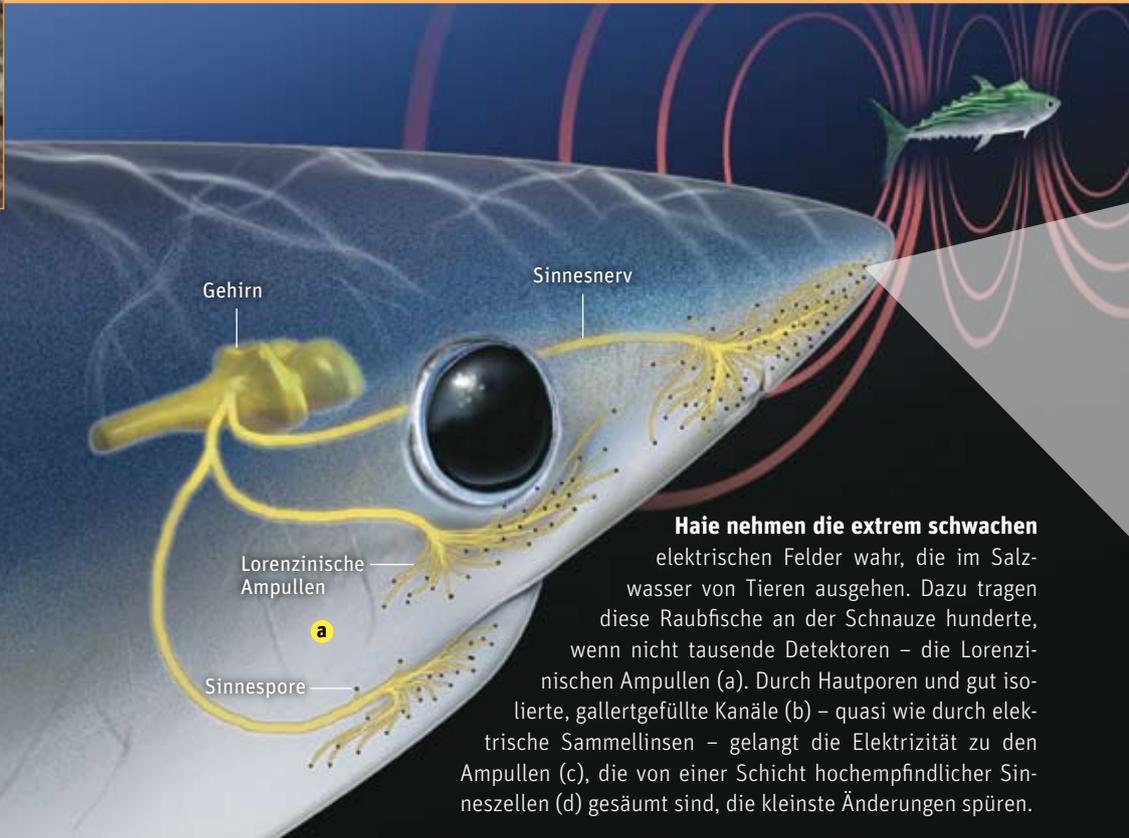
Röhrchen in eine breite Aussackung mündet. Bei jeder solchen »Ampulle« tritt ein feiner Nerv aus, der sich mit dem vorderen Seitenliniennerv vereint (siehe Kasten unten). Die Wissenschaftler konnten die Nervenfasern bis zur Schädelbasis verfolgen, wo sie im oberen Bereich des verlängerten Rückenmarks ins Gehirn ziehen – ein üblicher Weg für Nerven, die Sinnesinformation überbringen. Die Forscher fanden auch winzige Haarzellen ähnlich denen im Seitenlinienorgan. Trotzdem blieb noch lange völlig rätselhaft, für welche Art von Wahrnehmung diese Strukturen zuständig sind.

Frühe Irrtümer der Forscher

Dem Zoologen George Howard Parker von der Harvard-Universität in Cambridge (Massachusetts) gelang es im Jahr 1909 zwar zu zeigen, dass ein Hai auch dann noch auf leichte Berührungen der Ampullen an der Schnauze reagiert, wenn man alle Tastrezeptoren in der Haut rundherum ausgeschaltet hat. Was das bedeutete, konnte er jedoch nicht herausfinden. Er überlegte, ob die Fische mit dem Organ eine Wasserbewegung oder einen leichten Wasserdruck wahrnahmen. Allerdings – wenn wir zum Beispiel einen Schlag aufs Auge spüren, schließen wir es im Reflex, obwohl er zu diesem Zweck nicht entstanden ist.



EIN SINNESORGAN, DAS ELEKTRIZITÄT MISST



Haie nehmen die extrem schwachen elektrischen Felder wahr, die im Salzwasser von Tieren ausgehen. Dazu tragen diese Raubfische an der Schnauze hunderte, wenn nicht tausende Detektoren – die Lorenzischen Ampullen (a). Durch Hautporen und gut isolierte, gallertgefüllte Kanäle (b) – quasi wie durch elektrische Sammellinsen – gelangt die Elektrizität zu den Ampullen (c), die von einer Schicht hochempfindlicher Sinneszellen (d) gesäumt sind, die kleinste Änderungen spüren.

Erst die Erfindung von elektronischen Verstärkerröhren Anfang des 20. Jahrhunderts machte es Sinnesphysiologen endlich möglich, an Sinnesnerven die winzigen elektrischen Signale zu erfassen, die Sinnesorgane zum Gehirn schicken. Im Jahr 1938 gelang es Alexander Sand von der Meeresbiologischen Gesellschaft in Plymouth (England), auch jene Nervenimpulse zu verstärken und aufzuzeichnen, die von den Lorenzinischen Ampullen ausgehen. Sand bemerkte dabei, dass über die Nerven fortwährend in gleichmäßigen Abständen neuronale Impulse liefen, wenn er die Ampullen in Ruhe ließ.

Doch sobald der Wissenschaftler diese Strukturen reizte, kamen die Signale plötzlich schneller beziehungsweise langsamer, je nach Reizeinfluss. Und zwar änderte sich die Impulsrate sowohl auf Berührung und Druck als auch bei einem Kältereiz. Die Ampullen reagierten noch auf Temperaturunterschiede von 0,2 Grad Celsius. Da sich Fische in vielem nach Temperaturgradienten richten, zum Beispiel auch auf ihren Wanderungen, schien die Funktion der Lorenzinischen Ampullen gefunden zu sein: Sie mussten wohl hochempfindliche Organe zur Wärmemessung darstellen.

Die Experimente Sands wiederholte der Sinnesphysiologe R. W. Murray an der Uni-

versität Birmingham (England) in den frühen 1960er Jahren mit der modernsten elektro-physiologischen Technik. Dass die Lorenzinischen Ampullen auf Temperaturänderungen, Berührung und Druckunterschiede ansprechen, fand er dabei bestätigt. Zusätzlich verzeichnete er jedoch, dass sie auf leichte Änderungen im Salzgehalt des Wassers reagieren.

Einmal schaltete Murray zufällig über einer Pore ein elektrisches Feld an. Auch da änderte sich die Impulsrate des zugehörigen Nervs. Genauere Untersuchungen ergaben dann, dass sich die Entladungsrate nach der Stärke sowie der Polarität des elektrischen Felds richtete. Rückte der positive Pol des Felds dichter zur Pore, so nahm die Feuerrate ab. Kam der negative Pol näher, dann stieg die Aktivität in der Nervenfasern.

Der Forscher staunte über die extreme Empfindlichkeit dieses Sinnesorgans. Bei diesen Versuchen registrierte es noch eine Spannung von einem millionstel Volt, die er über einem Zentimeter Meerwasser anlegte. Spätere Verhaltensstudien und Messungen von Hirnwellen zeigten eine noch viel höhere Sensitivität. Demnach würden Haie es merken, ob eine 1,5-Volt-Batterie an- oder abgeschaltet ist, deren einer Pol im Atlantik vor New York und deren anderer Pol vor Florida einge-

FORSCHUNGSGESCHICHTE

1678: Stefano Lorenzini beschreibt am Kopf von Haien und Rochen Strukturen unbekannter Funktion.

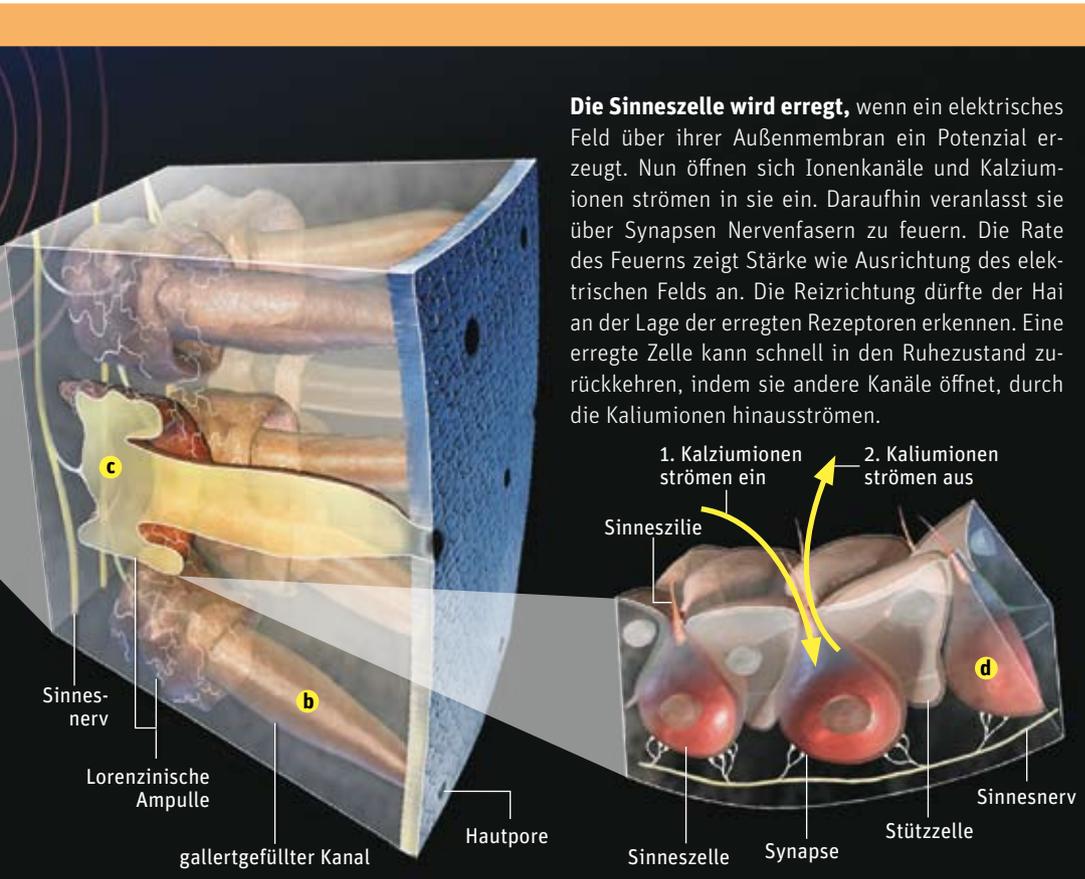
spätes 19. Jahrhundert: Forscher ergründen die Bedeutung des Seitenliniensystems bei Fischen. Mikroskopische Studien verdeutlichen den Aufbau der so genannten Lorenzinischen Ampullen.

1950er Jahre: H. W. Lissmann und andere Forscher entdecken bei Fischen einen neuen Sinn: den Elektrosinn. Sie beschreiben bei schwach elektrischen Fischen ein etwas anderes Sinnesorgan – die tuberösen Elektrorezeptoren, mit denen die Fische auch ihre eigenen Felder wahrnehmen.

frühe 1960er Jahre: R. W. Murray erkennt, dass die Lorenzinischen Ampullen auf leichte Änderungen des Salzgehalts im Wasser und auf schwache elektrische Felder ansprechen.

1970er Jahre: Adrianus Kalmijn weist die elektrischen Felder tierischer Körper im Meerwasser nach. Haie im Aquarium attackieren vergrabene eingeschaltete Elektroden.

Erkenntnisse seit 1990: Ein Elektrosinn kommt bei vielen Fischen und wasserlebenden Amphibien vor. Es ist ein uraltes Sinnessystem der Wirbeltiere.



ANDERE FISCH MIT EINEM SECHSTEN SINN

Eine Reihe anderer Fische verfügt über Elektrozeporen vom gleichen Typ wie Haie. Hier einige Beispiele:

Rochen finden Beute durch »passive« Elektrootung.



MINDEN PICTURES, FRED BAVENDAM

Sägefische (Sägerochen) spüren im Sand versteckte Tiere mit ihrer bewegungs- und elektro-sensitiven Schnauze auf.



MINDEN PICTURES, NORBERT WU

Zitterrochen betäuben oder töten Tiere zudem mit ihrem elektrischen Organ.



CORBIS, STEPHEN FRINK

Störe suchen ihre Nahrung auf dem Grund.



MINDEN PICTURES / FOTO NATURA, WIL MEINERTS

Lungenfische leben im oft trüben Süßwasser.



MINDEN PICTURES / AUSCAPE, JEAN-PAUL FERRERO

taucht wäre. Sie erkennen noch eine Spannung von zehn milliardstel Volt auf einen Zentimeter.

Somit war endlich klar: Die Lorenzini-schen Ampullen an der Schnauze von Haien und Rochen dienen offensichtlich der Wahrnehmung sehr schwacher elektrischer Felder und deren Veränderung. Darin sind sie im Tierreich unübertroffen. Bis heute kennen wir kein anderes Organ oder Gewebe, das für diese Reizqualität so besonders empfindlich ist. Dem Menschen fällt es sogar mit modernster Technik schwer, dermaßen schwache elektrische Felder im Meerwasser überhaupt zu messen.

Doch wozu brauchen Haie einen so extrem sensiblen Elektrosinn? Die Forscher wussten zu der Zeit schon, dass manche Fische mit speziellen Strukturen selbst elektrische Felder erzeugen – was Haie allerdings nicht tun. Beispielsweise betäubt der Zitteraal seine Beute mit starken Stromstößen, die er mit einem speziellen Organ hervorbringt, das fast seinen ganzen Körper durchzieht. Viele andere ebenfalls so genannte elektrische Fische produzieren aber nur ganz schwache Stromstöße. Andere Tiere können sie damit nicht erlegen. Schon Charles Darwin hatte in seinem Hauptwerk »Über den Ursprung der Arten« gerätselt, wozu dieses Phänomen wohl gut sein könnte und ob es tatsächlich zwecklose Organe gibt.

Hierfür fanden Zoologen in den 1950er Jahren schließlich eine Antwort, unter ihnen H. W. Lissmann von der Universität Cambridge. Sie entdeckten, dass solche Fische das schwache elektrische Feld, das sie selbst erzeugen, auch selbst wahrzunehmen im Stande sind. Dazu verfügen sie über so genannte tuberöse Rezeptoren oder Organe, die völlig anders aussehen als die Lorenzini-schen Ampullen. Ersteren fehlt zum einen die feine Röhre, zum anderen sind sie für elektrische Felder lange nicht so empfindlich wie die Ampullenorgane. Doch immerhin zeigte diese Entdeckung, dass manche Fische neben den bekannten fünf Sinnen noch einen Elektrosinn besitzen.

Zusammen dienen die schwachelektrischen Organe und die tuberösen Rezeptoren als Sender und Empfänger zur Navigation und Ortung, vergleichbar einem Radarsystem. Die Fische, die über beides verfügen, leben meist in sehr trüben Gewässern, etwa im schlammigen Amazonas. Viele gehen nachts auf Futtersuche. Objekte im Bereich des selbst erzeugten elektrischen Felds verzerren dieses und werden somit für das Tier wahrnehmbar, identifizierbar und genau lokalisierbar. Weil Haie und Rochen selbst keine Sender für elek-

trische Felder besitzen, kam den Sinnesphysiologen der Verdacht, die Lorenzini-schen Ampullen könnten als Empfängerstrukturen eines besonders empfindlichen, rein passiven Ortungssystems dienen. Aber was orten diese Fische damit? Denn schließlich verfügen sie auch über andere hervorragende Sinnesorgane. Wozu benötigen sie zusätzlich einen feinen Elektrosinn?

Im Prinzip erzeugen viele aktive Organe von potenziellen Beutetieren im Wasser schwache elektrische Pulse – so die Muskeln, das schlagende Herz, auch das Gehirn. Allerdings ergibt das Schwankungen im Millisekundenbereich, zu schnell für die Lorenzini-schen Ampullen. Diese scheinen vielmehr dafür gemacht, elektrische Felder zu erfassen, die sich nur langsam ändern, wie etwa bei elektrochemischen (galvanischen) Batterien. Ähnlich solchen Batterien funktionieren aber Zellen. Batterien können Strom liefern, weil zwei Salzlösungen – Elektrolyten – mit unterschiedlichem elektrochemischem Potenzial eine Spannung erzeugen. Auch zwischen Meerwasser und lebenden Zellen besteht eine Spannung, denn die Salzlösungen sind verschieden. Darum stellt ein Fischkörper im Meerwasser eine schwache Batterie dar. Das resultierende Spannungsfeld um den Fisch herum verändert sich zudem, wenn er Wasser durch seine Kiemen pumpt.

Elektrischer Köder für Chimären

Dem Biologen Adrianus Kalmijn, der damals an der Universität Utrecht arbeitete, gelang es in den 1970er Jahren, die ganz schwachen elektrischen Felder um Meerestiere zu messen. Diese Felder bleiben praktisch immer fast gleich stark. Genau für dergleichen schienen die Lorenzini-schen Ampullen geeignet zu sein. Kalmijn simulierte dann in Aquarien mittels vergrabener Elektroden Spannungsfelder, wie sie für Beutetiere von Haien typisch sind. Und wirklich ließen sich die Haie davon täuschen. Sobald der Forscher ein solches elektrisches Feld erzeugte, schwammen sie genau zu der betreffenden Stelle hin und versuchten eine Attacke.

Ich selbst führte vor Jahren ganz ähnliche Experimente durch. Allerdings arbeitete ich nicht mit Haien, sondern mit Chimären, auch Seedrachen genannt – eigenartigen Tiefseefischen aus der Gruppe der Knorpelfische, die mit Haien und Rochen nur entfernt verwandt sein dürften (siehe Kasten S. 60).

Wenn ein Experiment im Labor funktioniert, ist damit noch lange nicht erwiesen, wie sich die Tiere in freier Natur verhalten. Es war nicht einfach zu beweisen, ob und wie Haie ihren Elektrosinn wohl im Meer anwenden.

Die zufriedensten Autofahrer aller Klassen
erkennt man an der Nase.



CHANGE

Der Toyota Prius mit Hybrid-Synergy-Drive®. Gesamtsieger in der J. D. Power Kundenzufriedenheitsstudie.



Mit dem Toyota Prius wird Deutschland ein gutes Stück sauberer. Der erste serienmäßige Hybridantrieb der Welt macht den Prius in der Mittelklasse zum Fahrzeug mit den niedrigsten CO₂-Emissionswerten. Seine Hybrid-Synergy-Drive®-Technologie verbindet einen VVT-i-Benzinmotor mit einem emissionsfreien Elektromotor. Damit ist der Toyota Prius die ideale Kombination aus Fahrleistung, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit. Der Toyota Prius. Die Zukunft atmet auf.

- Kraftstoffverbrauch in l/100 km: außerorts 4,2, innerorts 5,0, kombiniert 4,3. CO₂-Emission kombiniert: 104 g/km.

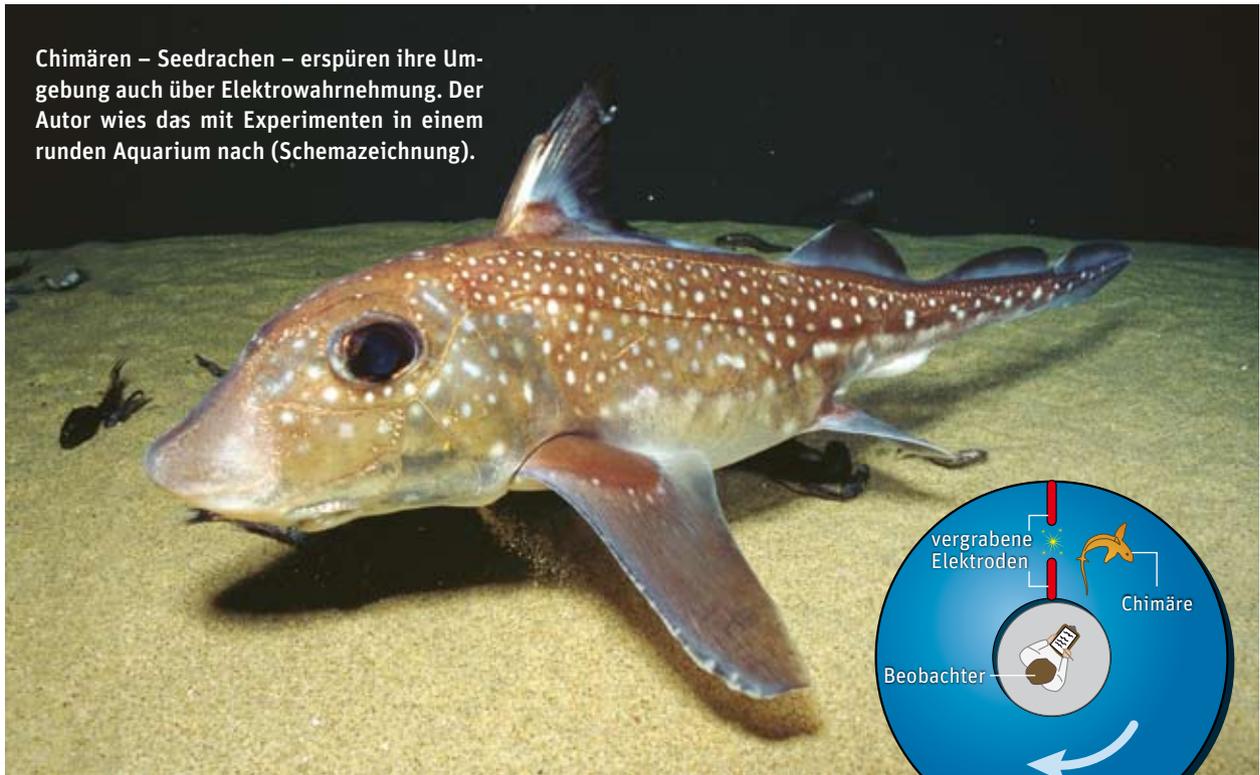
- Deutschlands Auto mit den höchsten Werten bei der Kundenzufriedenheitsstudie 2007 von J.D. Power and Associates – veröffentlicht in AUTO Straßenverkehr 16/2007.
 - Kraftvolle 82 kW (113 PS) mit 478 Nm max. Drehmoment.
 - Beim 100.000-km-Dauertest der AUTO BILD (42/06) und auto motor und sport (4/07) mit „sehr gut“ abgeschnitten.
 - 8 Jahre Garantie auf alle Hybridkomponenten inkl. der Batterie
- Weitere Informationen: 01 80/5 35 69 69 (0,14 €/Min. aus dem Festnetz der dt. Telekom, ggf. abweichende Preise aus dem Mobilfunknetz).
Abb. zeigt Prius Sol.



Nichts ist unmöglich. **TOYOTA**

WAS CHIMÄREN FÜHLEN

Chimären – Seedrachen – erspüren ihre Umgebung auch über Elektrowahrnehmung. Der Autor wies das mit Experimenten in einem runden Aquarium nach (Schemazeichnung).



GRAFIK: MELISSA THOMAS; FOTO: HINDEN PICTURES, NORBERT WU

Schon ferne Vorfahren der Haifische müssen einen Elektrosinn gehabt haben. Denn auch entfernte Verwandte unter den Knorpelfischen, die ertümelich anmutenden Chimären, besitzen die Sinnesorgane dazu. Systematiker bezeichnen deren verschiedene Arten insgesamt als Seedrachen, einige zudem als Seekatzen oder Seeratten.

Meine erste Chimäre sah ich Ende der 1970er Jahre auf einem kalifornischen Fischkutter. Das Tier besaß so große Vorderzähne, dass es sein Maul nicht ganz schließen konnte. Mit seinen Riesenaugen und dem dünnen, langen Hinterteil wirkte es reichlich bizarr.

Für die Fischer war der Seedrachen wertlos, so durfte ich ihn mitnehmen. Zwar war er schon tot. Doch immerhin konnte ich ihn anatomisch untersuchen. Unter der Kopfhaut fand ich eine durchscheinende gallertige Masse. Durchleuchtete ich diese schräg mit einer Lampe, erkannte ich eine Menge transparenter, mit Gallerte gefüllter Kanälchen, die zur Hautoberfläche ausstrahlten, wo sie in Hautporen mündeten. Das erinnerte an die Lorenzinischen Ampullen von Haien, deren Funktion als elektrosensitives Sinnesorgan damals schon bekannt war.

Ob diese Strukturen bei Chimären eine ähnliche Funktion erfüllen, wollte ich zunächst an einem lebenden Tier nachweisen. Darum bat ich Fischer der Gegend, falls sie einen Seedrachen fingen, das Tier am Leben zu erhalten. Und wirklich bekam ich eines Morgens einen Anruf, ich könnte eine Seekatze im Hafen abholen. Im Labor hatte ich schon ein Meerwasseraquarium für Studien vorbereitet. Das Behältnis war rund und so eingerichtet, dass ständig eine Strömung herrschte. Von einer Aussparung in der Mitte aus konnte ich das Tier beobachten (siehe Bild).

Am liebsten schwamm die Chimäre gegen die Strömung. So kam mir die Idee für folgendes Experiment: Ich vergrub Elektroden im Sand des Behältnisses. Ab und zu, wenn der Fisch gerade darüber hinwegglitt, schaltete ich ein schwaches elektrisches Feld ein. Gleichzeitig stupste ich das Tier am Kopf mit einem Glasstab an, woraufhin es sofort kehrtmachte, also nun mit der Strömung schwamm.

Doch nicht lange, dann drehte die Seekatze wieder in ihre Lieblingsrichtung gegen die Strömung um. Falls sie den Elektroreiz wahrnahm, so überlegte ich, könnte man sie vielleicht darauf trainieren, ihre bevorzugte Schwimmrichtung auch dann zu verlassen, wenn ich nur die Elektroden einschaltete.

Es dauerte einige Zeit, aber die Chimäre lernte es schließlich wirklich umzukehren, sobald das elektrische Feld auftrat. Von nun an konnte ich diese Reaktion beliebig oft auslösen. Waren die Elektroden dagegen ausgeschaltet, schwamm die Seekatze ohne Weiteres über sie hinweg. Folgende Tests mit verschiedenen Reizstärken und -frequenzen erwiesen, dass dieser Seedrachen genügend empfindliche Elektrosinnesorgane besitzt, um im Meer Fische an deren elektrischem Feld aufzuspüren.

Später brachten David Lange vom Scripps-Institut für Ozeanografie in San Diego (Kalifornien) und ich mit elektrophysiologischen Verfahren auch den Nachweis, dass Chimären für diese Ortung jene Strukturen unter ihrer Kopfhaut benutzen, die so verblüffend den Lorenzinischen Ampullen ähneln. Die Sinnesnerven feuerten bei unterschiedlichen Elektroreizen mit ganz ähnlichen Mustern wie bei Haien. Wie sich später zeigte, gleichen die Sinneszellen auch anatomisch völlig denen der Haie.

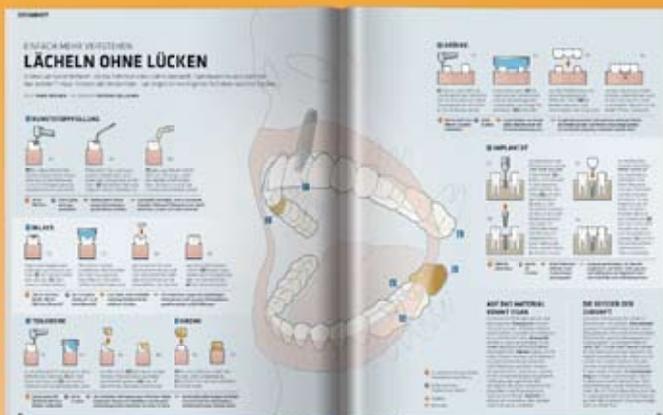
Sie möchten mehr WISSEN?



Wie gesund ist Sport wirklich?



Neue Technik-Serie: Das Erfolgsrezept von Apple



Welcher Zahnersatz ist der richtige?



Galerie: Pflanzensamen unter dem Mikroskop



www.zeit-wissen.de

Erleben Sie ZEIT WISSEN, das intelligente Wissenschaftsmagazin! Lesen Sie Neues und Spannendes über Wissenschaft, Technik, Leben und Gesundheit: faszinierend, lebendig und lebensnah. Jetzt im Handel oder unter Tel. 0180/52 52 909 (14 Cent/Min. aus dem deutschen Festnetz, Mobilfunkpreise können abweichen).

ZEIT WISSEN
DAS WILL ICH WISSEN

JAGD MIT ALLEN SINNEN

Bei einem Beutezug lässt ein Hai seine Sinne zusammenspielen. In jeder Phase der Jagd dominieren aber andere Wahrnehmungssysteme.

1
Auf Entfernung erkennt der Raubfisch Beute in der Regel über seinen Geruchs- und Hörsinn. Ein verwundetes Tier hinterlässt gewöhnlich eine Blutspur, und wenn es panisch um sich schlägt, erzeugt es im Wasser Geräusche.

Ohr
Nase
Gehirn

2
Näher beim Opfer kann der Hai zunehmend seine Augen einsetzen, das Wasser schmecken und mit seinem Seitenliniensystem Wasserbewegungen registrieren.

Seitenlinie

Elektrosensoren

3
Beträgt der Abstand zur Beute unter einen Meter, dann übernimmt der Elektrosinn die Führung. Dank seiner erkennt der Hai, wo genau er am besten zubeißt.

MEHR DAZU

- ▶ Viele Tiere schlammiger Gewässer – auch das Schnabeltier – sind aktiv **schwach elektrisch**. Sie erzeugen gezielt Felder, die zur Ortung und oft zur Kommunikation dienen. Sie modulieren ihre Elektrizität je nach Situation.
- ▶ **Stark elektrische Fische** betäuben oder töten mit Stromstößen. Der Zitteraal erzeugt mit seinen elektrischen Organen bis zu 800 Volt.
- ▶ Wie stark Fische sich auf ihren Elektrosinn verlassen, spiegelt sich in der Größe zugeordneter **Hirnstrukturen**. Bei manchen Arten bedecken diese das gesamte Gehirn.

ERIC STROUD UND MICHAEL HERMANN, SHARK DEFENSE

MAGNETFELDER ZUM SCHUTZ DER HAIE

Nach Schätzungen des WWF ist jede fünfte Haiart bedroht. Jede Nacht fallen schätzungsweise 50 000 Haie der Langleinenfischerei zum Opfer, bei der lange Schnüre mit zahlreichen Angelhaken ausgebracht werden. Amerikanische Forscher möchten Vorrichtungen (Bild) entwickeln, um die Raubfische mit starken Magneten fernzuhalten, die ihre Elektrosensoren stören. Kommt der Hai in das Magnetfeld, soll ihn ein irritierender Strom durchziehen. Da die meisten Speisefische keinen Elektrosinn besitzen, würden sie trotzdem an den Haken gehen. Noch ist das Verfahren, dessen Entwicklung der WWF unterstützt, allerdings nicht erprobt, obwohl erste Versuche damit viel versprechend erscheinen. Ob sich eines Tages auch Sportler irgendwie mit Magneten schützen könnten, ist noch völlig offen.

Schließlich wimmelt es im Ozean von elektrischen Störfeldern. Ob Wasserschichtungen unterschiedlichen Salzgehalts oder Säuregrads, Strömungen oder verschiedene Temperaturen – alles Mögliche ergibt Elektrosmog, der die schwachen Felder um Organismen vielleicht überdeckt. Schon ein einfacher Metalldraht bewirkt eine Spannung, die ein Hai ohne Weiteres aufspürt.

Kalmijn, der heute an der Scripps-Institution für Ozeanografie in San Diego (Kalifornien) arbeitet, und ich beschlossen, diese Meeresstudien zusammen durchzuführen. Mit dabei waren meine Frau Melanie und Kalmijns Mitarbeiterin Gail Heyer vom Ozeanografischen Institut in Woods Hole (Massachusetts). Um Haie direkt beim Jagen im Ozean zu testen, benötigten wir ein Boot ohne Metall. So kamen wir zu der sieben Meter langen »Boston Whaler«, die aus Glasfasermaterial konstruiert ist. Die viereckige Öffnung im Boden des Gefährts diente uns für die Experimente. Wir wollten herausfinden, ob die großen Haie der offenen See ihren Elektrosinn einsetzen, wenn sie einfach nur Beute machen. Zu dem Zweck konstruierten wir eine T-förmige Apparatur mit Elektroden an den Enden.

Wie sich Haie im letzten Moment täuschen lassen

Im Sommer 1981 war es so weit. Wir fuhren aufs Meer hinaus und senkten unser Gerät durch das Loch im Boot ins Wasser. Dann pumpten wir durch eine spezielle Öffnung zwischen den Elektroden zermahlene rohen Fisch. Anschließend schaltete einer von uns nach einem Zufallsschema eine der Elektroden an. Dort entstand nun ein ganz schwaches elektrisches Feld ähnlich dem von Fischen. Jemand anders, der nicht wusste, welche Elektrode gerade eingeschaltet war, musste das Verhalten der Haie beobachten.

Schon die erste Nacht, in der wir vor dem Loch kauerten und gespannt ins dunkle Wasser hinunterblickten, war ein eindrucksvolles Erlebnis. Ein riesiger Blauhai kreiste unter uns. Dann nahm er die Blutspur auf und schwamm direkt auf die Öffnung in unserem Apparat zu, aus der Fischbrei tröpfelte. Doch im letzten Moment bog der Hai plötzlich scharf nach rechts ab – und biss in den rechten Arm der T-Konstruktion. Der Gigant erzitterte und zuckte wild. Dann ließ er die Elektrode abrupt wieder los.

Einen ähnlichen Ablauf beobachteten wir später noch oft. Die Haie orientierten sich offenbar fast bis zuletzt an der Blutspur. Doch zum Schluss attackierten sie die aktivierte Elektrode – und zwar nur diese. Offenbar war

deren elektrisches Feld der entscheidende Reiz im Augenblick des Angriffs.

Demnach kann ein Reiz, den der Elektrosinn direkt vor dem Zubeißen erfasst, stärker sein als selbst ein starker Geruchs- oder Geschmackszreiz. Vielleicht erklärt das sogar manche Augenzeugenberichte über Angriffe auf Menschen. Es scheint nicht selten zu geschehen, dass ein Hai nur sein erstes Opfer immer wieder attackiert, aber eine weitere Person, die dem Verletzten zu Hilfe kommt und ihn abschleppt, völlig in Ruhe lässt. Man sollte meinen, dass das Raubtier sich in dem verwirbelten, blutgetrübten Wasser mit Nase und Augen nicht mehr so scharf orientieren kann, als dass es die beiden zappelnden Menschen auseinanderzuhalten vermag. Womöglich richtet sich der Hai aber jetzt nach dem starken elektrischen Feld, das direkt an der Wunde durch die Salze des ausströmenden Bluts entsteht.

Beim Jagen benutzen Haie sicherlich alle ihre Sinne (siehe Kasten links). Riechen und Hören sind besonders geeignet, um Beute aus größerer Entfernung zu orten. Näher bei dem Opfer dürften das Sehen, der Seitenliniensinn und letztlich auch der Geschmackssinn wichtiger werden. Der Elektrosinn tritt auf dem letzten Meter, direkt vor der Attacke, in Aktion: In der Endphase des Angriffs vermittelt er dem Räuber genauestens, wo sich die Beute befindet und wo seine Kiefer zuschnappen müssen. Mit diesen Erkenntnissen sollte es eines Tages möglich sein, Haie mit technischen Kniffs von Badestränden wegzulocken.

Meine Kollegen und ich haben den außerordentlich feinen Elektrosinn von Haien zuerst beim Fressen untersucht, weil sich solche Experimente noch vergleichsweise einfach durchführen lassen. Inzwischen glauben wir, dass diese Knorpelfische die Wahrnehmung elektrischer Felder auch für mehr Zwecke benutzen. Als Menschen brauchen wir sehr viel Fantasie, um uns vorzustellen, wie die Welt einem Tier mit sechs Sinnen vorkommt. ◀



R. Douglas Fields ist Neurobiologe an den Nationalen Gesundheitsinstituten der USA in Bethesda (Maryland).

Electroreception. Von T. H. Bullock et al. Springer 2005

Amputary sense organs, peripheral, central and behavioral electroreception in shimaeras (*Hydrolagus*, Holocephali, Chondrichthyes). Von R. D. Fields et al. in: Brain, Behavior and Evolution, Bd. 41, S. 269, 1993

Weblinks zu diesem Thema finden Sie unter www.spektrum.de/artikel/905470.