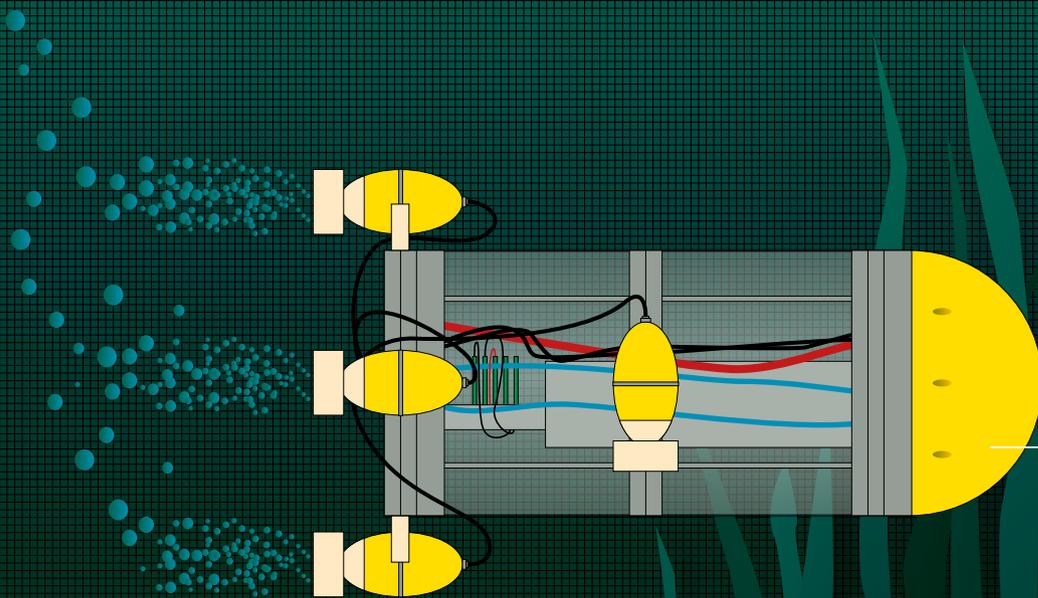


Ein Sinnesorgan für Snookie



Biophysiker und Ingenieure des Exzellenzclusters CoTeSys statten ein kleines U-Boot mit Sensoren aus, die merken, wenn sich Snookie – so der Name des U-Bootes – auf Kollisionskurs befindet. Das System haben sich die Forscher von einem kleinen blinden Höhlenfisch aus Mexiko abgeschaut. Die Technik ermöglicht dem U-Boot, auf eigene Faust auch ohne Sicht in trübem Gewässer zu manövrieren

Snookie – technische Daten

Form:	zylindrisch
Abmessungen:	74 cm Gesamtlänge, 25 cm Durchmesser
Einsatzgewicht:	32 kg unter Wasser
Antrieb:	6 Motoren mit je 7 Newton Vortriebskraft
Sensoren:	Wasserdruck, 3-D-Lasersensoren, 3-D- Beschleunigungssensoren, 3-D-Kompass
Geplant:	biomimetisches Seitenliniensystem

Herausforderungen

- Stark begrenzte Sicht unter Wasser
- Infrarotdetektoren, die bei Landrobotern neben Kameras oft verwendet werden, funktionieren unter Wasser nicht
- Drahtlose Kommunikation ist unter Wasser durch die schlechten Ausbreitungsbedingungen eingeschränkt
- Der Energievorrat ist begrenzt auf die Kapazität der Batterien, daher müssen alle Systeme äußerst effizient arbeiten
- Höchste Zuverlässigkeit ist gefragt, denn ein Unterwasserroboter ist schnell für immer verloren



Letzter Feinschliff vor dem Gang ins Wasser: Bevor Snookie ins Becken darf, überprüft der Physiker Moritz Franosch die Technik. Unter Wasser orientiert sich das wendige Mini-U-Boot mittels einer Sensorik, die dem Seitenlinienorgan der Fische nachempfunden ist

Jules Verne wäre begeistert gewesen. Der berühmte französische Schriftsteller überlegte sich in seinen Romanen so manche technische Raffinesse, die ihrer Zeit weit voraus war. So verfügte etwa das U-Boot Nautilus im Roman „Zwanzigtausend Meilen unter dem Meer“ über einen innovativen elektrischen Antrieb und zahlreiche weitere Erfindungen, die erst lange nach Vernes Buch das Licht der Welt erblickten. Doch ein eigener Tastsinn fehlte dem legendären Nautilus, mit dem Kapitän Nemo und Professor Aronnax durch die Tiefen der Weltmeere streiften.

Wie ein solches Sinnesorgan für ein U-Boot aussehen könnte, hätte sich Jules Verne sicher liebend gern in diesen Tagen im Labor von Prof. Leo van Hemmen, Dr. Moritz Franosch und Stefan Sosnowski im Herzen Münchens angeschaut. Dort testeten die Wissenschaftler einen Unterwasser-Roboter mit dem Namen „Snookie“. Snookie ist ein kleines, ca. 60 Zentimeter langes U-Boot, das an eine gestutzte Zigarre erinnert. Besonders markant ist Snookies runde Schnauze. Sie leuchtet in einem intensiven Gelb. Am hinteren Teil des Bootes

strahlen – ebenfalls tiefgelb – vier Propeller, die das Boot in jede erdenkliche Richtung bugsieren können. Snookies kompakter durchsichtiger Plexiglas Körper lässt keine Zweifel aufkommen: Das Mini-U-Boot macht einen wendigen Eindruck.

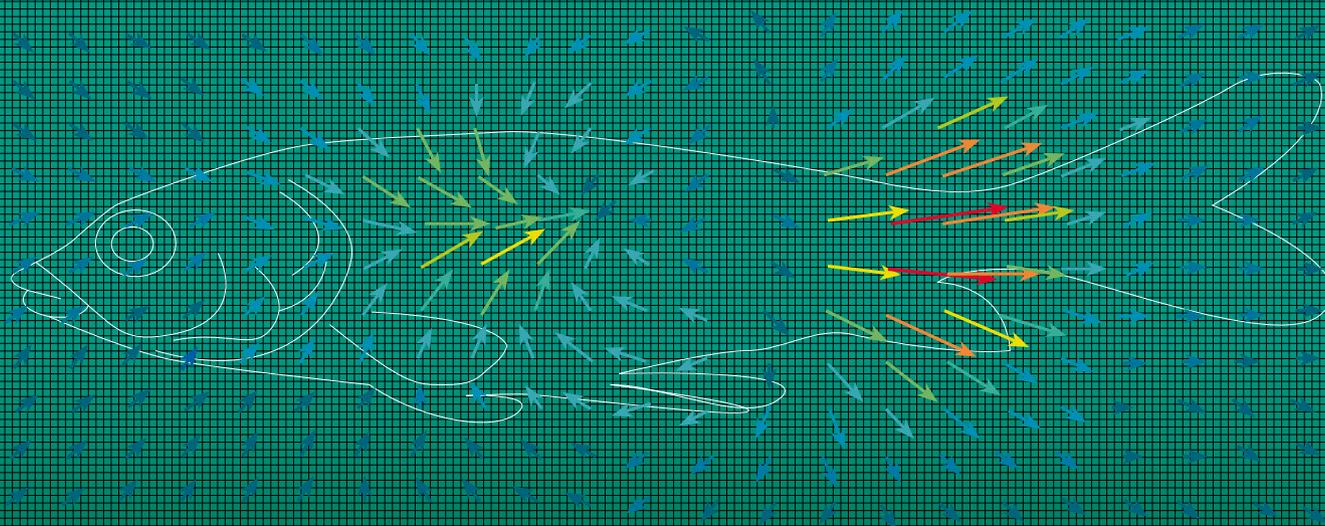
„Wendigkeit ist für unser Boot besonders wichtig“, erklärt Dr. Moritz Franosch. Franosch ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an van Hemmens Lehrstuhl für Theoretische Biophysik in Garching und, wie van Hemmen, Mitglied im Münchner Bernsteinzentrum für Computational Neuroscience. „Snookie soll an besonders engen, unübersichtlichen, trüben Stellen in Gewässern zum Einsatz kommen und sich dort selbstständig zurechtfinden“, erläutert Franosch weiter und streicht über den schnittigen Schwimmkörper des Bootes. Der Physiker und seine Kollegen haben ihr Labor in der ehemaligen großen Rechnerhalle des Leibniz-Rechenzentrums eingerichtet. Um die Forscher herum herrscht emsiges Treiben. Überall wird geschraubt, experimentiert und gerechnet. Mitten in dem Getümmel und unbeeindruckt von dem Treiben steht Snookie, festgezurret auf einem kleinen Podest.

Link

www.cotesys.de

Als Vorbild dient die Natur

Um sich unter schwierigen Bedingungen im Wasser zu orientieren, haben die Wissenschaftler des Exzellenzclusters CoTeSys (Cognition for Technical Systems)



Fische „hören“ Strömungen: Diese Strömungssimulation zeigt, wie Fische ihre Umgebung wahrnehmen. Strömungen (hier dargestellt durch Pfeile), die von anderen Tieren oder Gegenständen im Wasser ausgehen, erfassen Fische mit dem Seitenlinienorgan. Es besteht aus feinen Härchen, die sich auf den Schuppen und in winzigen Kanälen unter der Haut der Tiere befinden

Snookie mit einer komplett neuartigen Technologie ausgerüstet. Im Bug von Snookie befinden sich Sensoren, welche die Strömungsgeschwindigkeit rund um den Schwimmkörper analysieren. Sie geben damit Aufschluss, in welcher Umgebung sich das Fahrzeug gerade befindet und ob Hindernisse einer freien Fahrt im Weg stehen. „Mit unserer Technik kann sich der Roboter alleine anhand der Wassergeschwindigkeit zurechtfinden“, sagt Stefan Sosnowski, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Steuerungs- und Regelungstechnik der TUM unter der Leitung von Prof. Sandra Hirche. „Gerade bei schlechten Sichtbedingungen, wie sie etwa in trüben Kanälen oder Tanks, aber auch in offenen Gewässern anzutreffen sind, ist das ein entscheidender Vorteil bei der Orientierung.“

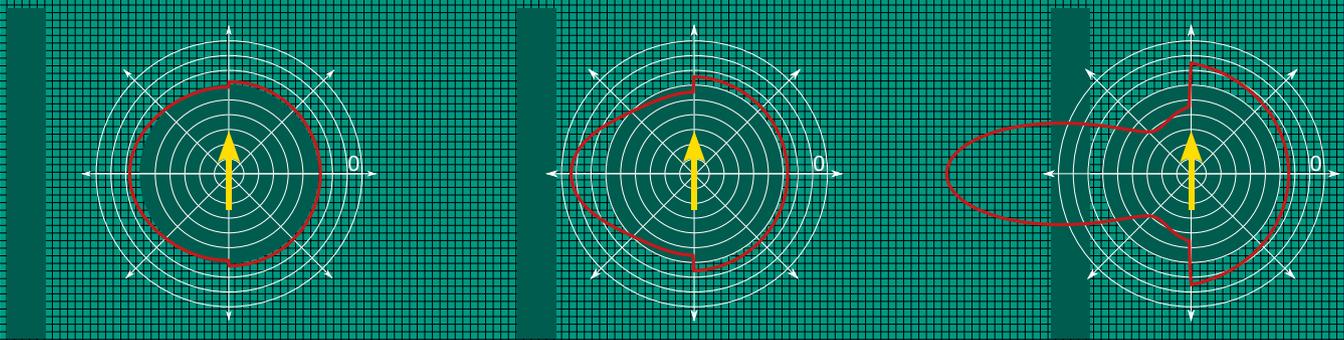
Abgeschaut haben sich die Wissenschaftler das System von der Natur. Als Vorbild diente den Forschern der blinde mexikanische Höhlenfisch *Astyanax mexicanus*. Irgendwann vor noch nicht einmal 20.000 Jahren hat sich dieser Fisch in dunkle Höhlen zurückgezogen. Seine Sehfähigkeit wurde damit überflüssig und er verlor sein Augenlicht komplett. Trotzdem navigiert das Tier wieselstark und sicher durch enge Höhlensysteme und reagiert blitzschnell auf Hindernisse.

Verantwortlich für diesen feinen Wahrnehmungssinn ist das sogenannte Seitenlinienorgan des Fisches. Die-

ses Organ besteht aus vielen Tausend feinen Härchen, die auf den Schuppen und in winzigen Kanälen unter der Haut angebracht sind. Sobald diese von einer Strömungsänderung erfasst werden, registriert *Astyanax* die Abweichung. Das System funktioniert bis etwa in eine Entfernung, die der Länge des Fisches entspricht. Auch viele im Wasser lebende Reptilien haben ein Seitenlinienorgan. So ist der Krallenfrosch *Xenopus laevis* damit sogar in der Lage, zwischen fressbaren und ungenießbaren Insekten zu unterscheiden. Der Mensch verfügt leider nicht über eine solche feine Wahrnehmungsfähigkeit. In unserem Innenohr jedoch gibt es ein vergleichbares System von Haarzellen. Hier steuern Hunderttausende feine Härchen die exakte Aufnahme und Ortung von Geräuschen. Aus dem neuronalen Zusammenwirken dieser Haarzellen im linken und rechten Ohr können wir sehr genau lokalisieren, aus welcher Richtung ein Ton kommt.

Von der Natur in die Technik

Das Seitenlinienorgan von *Astyanax* hat Prof. Leo van Hemmen akribisch studiert. Der Inhaber des Lehrstuhls für Theoretische Biophysik der TUM beschäftigt sich seit langer Zeit mit Fragestellungen, wie Menschen und Tiere ihre Umwelt wahrnehmen und ihre Sinneseindrücke neuronal verarbeiten. Anschließend überträgt van Hemmens Team die Ergebnisse auf technische Anwendungen. „Die Natur strukturiert Wahrnehmungs- ▷



Oben: Navigieren wie ein Fisch. Nähert sich ein Objekt im Wasser einer Wand, ändern sich die Strömungsgeschwindigkeiten auf der Körperoberfläche, noch bevor es das Hindernis berührt

Rechts: Erste Schwimmversuche hat Snookie schon im Schwimmbad absolviert. Allerdings wurde dort bis jetzt nur die Antriebs- und Manövrierfähigkeit getestet. Als Nächstes wird Snookies Sensorsystem geprüft

Grafik: edlundsepp

systeme bei Organismen möglichst einfach“, erklärt van Hemmen. „Dem Menschen reichen zum Beispiel zwei Augen, um dreidimensional zu sehen, genauso wie zwei Ohren genügen, um Geräusche zu lokalisieren. Und wenn die beiden Sinnessysteme ‚multimodal‘ zusammenwirken, wird es echt spannend.“ Im Fall des blinden mexikanischen Höhlenfisches hat die Natur sogar die Sehfähigkeit als überflüssig erachtet und sie einfach abgeschafft.

Will man nun die genialen Erfindungen der Natur in die Technik übertragen, braucht man zuerst eine Menge Mathematik. „Wir mussten unter Verwendung eines geeigneten mathematischen Modells numerisch darstellen, was passiert, wenn eine Strömung auf das Seitenlinienorgan trifft, und vor allem was passiert, wenn eine Veränderung des Wasserflusses den Fisch erfasst“, erläutert Moritz Franosch. Das genau ist der interessanteste Teil des Projekts: Nähert sich nämlich ein Höhlenfisch einem Hindernis, verändert sich das Strömungsbild rund um seinen Körper. Somit merkt das Tier, wenn es eng wird oder andere Tiere um es herumkreisen. Die Höhlenfische stoßen so niemals an Steine oder an Artgenossen. Die Wissenschaftler haben nun zuerst anhand eines Kugelmodells berechnet, wie sich die Strömungsgeschwindigkeit um den Körper verändert, wenn er sich einer Wand nähert. Die Kugel ist eine mathematisch gut darzustellende Form und entspricht in etwa dem runden

Kopf des U-Bootes Snookie. Im gelben Bug des Bootes befinden sich damit auch die Sensoren für die Strömungsanalyse. „Wir mussten also die Biologie erst einmal in die Mathematik übertragen und dann die Formeln als Software in einer technischen Anwendung verpacken“, sagt Moritz Franosch. Herausgekommen ist damit ein sogenanntes biomimetisches Seitenliniensystem.

Tastsinn aus 20 Sensoren

Die feinen Härchen des Fisches werden bei Snookie durch Hitze-Thermistoren ersetzt. Die nur ein Drittel Millimeter großen Sensoren sind so im Bug des Fahrzeugs angebracht, dass sie die Wassergeschwindigkeit von allen Seiten erfassen. Sie werden durch einen Strom erhitzt, der die Temperatur infolge einer Regulierung der Leistungsabgabe konstant hält. Erhöht sich nun die Strömungsgeschwindigkeit, steigt auch die elektrische Spannung in den Thermistoren. Die Thermistoren sind extrem sensibel und erbringen wahre Höchstleistungen. So reagieren sie auf Geschwindigkeitsschwankungen von weniger als einem Prozent und das jede tausendstel Sekunde. „Dazu verbrauchen unsere Sensoren wenig Energie, sodass wir viele davon einbauen können“, erläutert Stefan Sosnowski. Mit bis zu 20 Sensoren wollen die Forscher im ersten Schritt Snookie ausstatten und ihm damit einen Tastsinn mit auf große Fahrt geben. Das künstliche „Seitenliniensystem“ wird Snookie eine

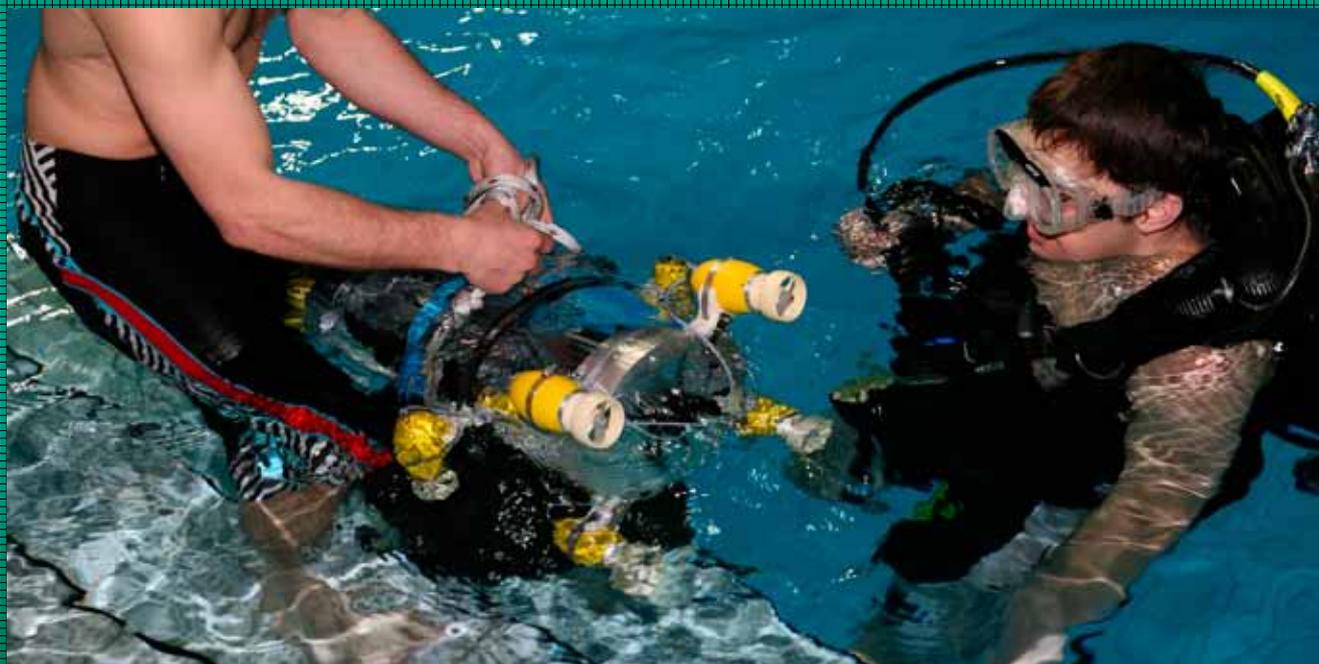


Foto: CoTeSys

enorme Selbstständigkeit unter Wasser bescheren, davon sind die Forscher überzeugt. Denn gerade unter Wasser sind die Kommunikationsmöglichkeiten durch schlechte Ausbreitungsbedingungen von Funkwellen beschränkt. Snookie könnte dann auch ohne externe Steuerung autark seinen Weg finden. Eine Herausforderung für die Ingenieure ist noch die Energieversorgung. Sie wird durch die Batteriekapazität stark begrenzt. Hier will das Team in nächster Zeit eine höhere Effizienz erreichen.

Alleskönner unter Wasser

Wenn Snookie fit ist für den Außendienst, werden sich viele Einsatzmöglichkeiten ergeben, glaubt das Forscherteam. Der Unterwasserroboter kann etwa bei der Suche nach Schiffswracks oder verunglückten Flugzeugen helfen. „Denn fast in jedem europäischen Gewässer herrschen schlechte Sichtbedingungen“, sagt van Hemmen. Der Physiker sieht aber auch zahlreiche weitere Chancen für die Erfindung. „Luft lässt sich genauso schlecht wie Wasser zusammendrücken und hat damit ähnliche Strömungseigenschaften“, erläutert van Hemmen. „Damit ergeben sich für die Sensortechnik auch an Land viele Einsatzmöglichkeiten in Robotern“, ist er überzeugt. Schließlich werden Roboter auch dort eingesetzt, wo Staub oder Rauch die Sicht behindern. Doch ein Orientierungssystem, wie es nun für Snookie entwickelt wird, soll für Leo van Hemmen erst der

Anfang sein. „Eine effiziente Sensorik bei Organismen beruht meistens auf mehreren Sinneseindrücken, die gleichzeitig im Gehirn zusammengefügt und verarbeitet werden“, sagt der Biophysiker. So spielen etwa beim Menschen permanent optische Reize gepaart mit akustischen Signalen zusammen und vermitteln das Bild seiner Umgebung. „Das nennen wir multimodale Integration“, ergänzt van Hemmen. So ein Konstrukt mathematisch und anschließend technisch umzusetzen, würde den Rechenaufwand, aber damit auch das sensorische Potenzial enorm steigern. Ebenso würden die Fertigkeiten der Ingenieure um ein Vielfaches stärker gefordert. „Die Natur kann das mühelos“, sagt van Hemmen bewundernd.

Zunächst ist der unimodale Tastsinn von Snookie im Fokus des Wissenschaftlerteams. Die Sensorik des U-Bootes wird derzeit vor allem in einem kleinen Aquarium im CoTeSys-Labor getestet. Das Becken ist nicht viel größer als das Fahrzeug selbst. Lückenlos überwacht werden Snookies Tastsinn-Aktivitäten von Computern. Snookies Bewegungs-Spielraum ist im kleinen Wasserbecken noch etwas eingengt. Doch erste Tests des Sensorsystems im Schwimmbad stehen kurz bevor. Dann wird Snookie selbstständig schwimmen lernen wie ein blinder Höhlenfisch. Und auch Jules Verne hätte so Stoff für ein weiteres visionäres wissenschaftliches Detail für seine Romane erhalten. *Thorsten Naeser*