

Schwimmverhalten gezielt erforschen

Wie die Forschungsgruppe für Umweltströmungsmechanik an der ETH Zürich das Verhalten von Ruderfußkrebse mit Mikrotron High-Speed Kameras visualisiert

Die Erforschung des Schwimmverhaltens von Ruderfußkrebse stellt Wissenschaftler vor zahlreiche Herausforderungen. Ruderfußkrebse sind lichtempfindlich, bewegen sich sehr ruckartig und für eine statistische relevante Auswertung muss eine sehr hohe Anzahl von Schwimmbahnen innerhalb einer längeren Zeitspanne erfasst werden. Die Forschungsgruppe an der ETH Zürich nutzt dazu die Methode der 3D-PTV Technologie. Ausgestattet mit vier Mikrotron EoSens® Kameras kombiniert die Versuchsanordnung die Vorteile einer hohen Lichtempfindlichkeit, High-Speed Aufnahmefrequenzen und langer Aufnahmezeiten.

Die Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich ist eine der weltweit führenden technisch-naturwissenschaftlichen Universitäten. Dank ihrer exzellenten Lehre, ihrer wegweisenden Grundlagenforschung und einem direkten Transfer von neuen Erkenntnissen in die Praxis genießt die ETH Zürich eine erstklassige Reputation. In internationalen Rankings belegt sie regelmäßig die besten Plätze.

Die Erforschung des Schwimmverhaltens von Ruderfußkrebse

Dr. François-Gaël Michalec arbeitet als Forscher in der Gruppe für Umweltströmungsmechanik am Institut für Umweltingenieurwissenschaften unter Prof. Dr. Markus Holzner. Seine Forschung konzentriert sich auf calanoide Ruderfußkrebse und ihr Schwimmverhalten in Bezug auf physikalische und chemische Eigenschaften ihrer Umgebung. Ruderfußkrebse sind sehr kleine Krustentiere von 0,2 bis 2 mm, die in praktisch allen Wassermilieus zu Hause sind. Calanoide Ruderfußkrebse stellen in der Regel den größten Anteil des marinen

Zooplanktons und sind damit für Organismen einer höheren trophischen Ebene wie z.B. Fischlarven oder kleine Krustentiere eine wichtige Nahrungsquelle. Aufgrund dieser für den Aufbau der Nahrungskette entscheidenden Rolle hat die Wissenschaft ein sehr großes Interesse an der Erforschung von Ruderfußkrebse entwickelt. Wissenschaftler bemühen sich deshalb verstärkt darum, ihre Ökologie besser zu verstehen.

Wegen ihrer kleinen Größe haben Ruderfußkrebse eine sehr eingeschränkte Schwimmfähigkeit. In der Regel treiben sie mit der Strömung der Ozeane mit. In begrenztem Umfang können sie sich aber auch unabhängig von der jeweiligen Strömung bewegen. Dank dieser Beweglichkeit können sie zum Beispiel eine Beute fangen, selbst einem Raubtier oder anderen gefährlichen Situationen entfliehen und sich paaren. Gleichzeitig wird das Verhalten der Ruderfußkrebse von umweltbedingten Faktoren natürlichen oder anthropischen Ursprungs beeinflusst. Zu diesen Faktoren zählen unter anderem der Salzgehalt, chemische



Signale von Artgenossen oder eines Raubtiers, ein phytoplanktonisches Exsudat, die Lichtintensität oder wasserbezogene Verschmutzungen. Wissenschaftler sind deshalb sehr daran interessiert, die Menge an Ruderfußkrebse bei unterschiedlichen Umwelt-Bedingungen zu quantifizieren um eine exakte ökologische Voraussage zu treffen und Bevölkerungsdynamiken zu modellieren.

Das High-Speed 3D-PTV System am Institut für Umweltströmungsmechanik

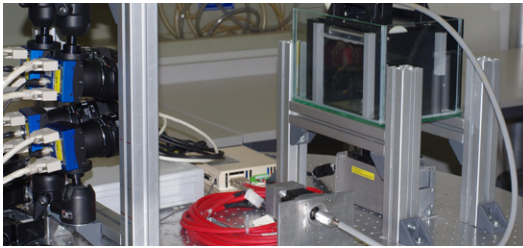
Die Forschungsgruppe unter Dr. Michalec hat die Schwimmbahnen der Ruderfußkrebse über eine dreidimensionale partikelunterstützte Geschwindigkeitsmessung nachvollzogen. Das am Institut für Umweltströmungsmechanik verwendete System bietet die seltene Chance, High-Speed Aufnahmen mit langen Aufnahmezeiten zu kombinieren. Es

besteht aus vier kalibrierten monochromen EoSens® Mikrotron Kameras, die für vier verschiedene Blickwinkel positioniert wurden. Die Kameras zeichnen synchron auf und erfassen die Bewegungen der freischwimmenden Ruderfußkrebse innerhalb eines Messvolumens von etwa zwei Litern. Dabei werden bis zu 506 Bilder pro Sekunde bei einer vollen Auflösung von 1.280 × 1.024 Pixel erfasst. "Die benutzerfreundliche Bedienung ist eine große Erleichterung und die Kameras leisten wirklich hervorragende Arbeit", lobt Dr. Michalec. Um eine möglichst hohe Anzahl von Schwimmbahnen zu generieren und damit eine statistisch verlässliche Analysegröße zu erzielen, betreibt Dr. Michalec im Experiment die Kameras mit 100 Bildern pro Sekunde. Die Aufnahmezeit lässt sich so auf eine Stunde ausdehnen. Die Bilder werden auf ein großvolumiges Speichersystem (RAID) übertragen und mit einer von der

SEQUENZEN VON SCHWIMMENDEN RUDERFUSSKREBSEN



Die Ruderfußkrebse werden mit vier Mikrotron EoSens® Kameras aufgenommen. Ihre Bewegungen werden aus vier verschiedenen Perspektiven dreidimensional erfasst. Auf diesen Bildern ist eine detaillierte Ansicht von mehreren Ruderfußkrebsen zu sehen. Jede Kamera zeichnet eine Sequenz von 30.000 Bildern in 5 Minuten auf.



Der Aufbau des 3D-PTV Systems am Institut für Umweltströmungsmechanik. Die Versuchsanordnung arbeitet mit vier Mikrotron EoSens® Kameras.

ETH Zürich entwickelten Software analysiert. Sie rekonstruiert die Schwimmbahnen der Ruderfußkrebse über die synchronisierten Bildersequenzen der vier unabhängig voneinander funktionierenden Kameras. Aus den Schwimmbahnen ermittelt die Forschungsgruppe von Dr. Michalec relevante Lagrange Werte wie z.B. Geschwindigkeit, Beschleunigung und Bewegungs-Komplexität. Über einen Vergleich mit Kontrollwerten lässt sich die Veränderung der Verhaltensmuster bestimmen. So haben Messungen bei einer in einem Mündungsgebiet weit verbreiteten Art eine Hyperaktivität gezeigt, die von einer nahezu tödlichen Konzentration von Giftstoffen verursacht wurde. Dies hat Fragen zu den Hintergründen der Verschmutzung aufgeworfen. Im Gegensatz zu anderen Untersuchungen zur Sterblichkeit konnte diese Verhaltensanalyse auch Veränderungen aufgrund der aufgespürten Giftstoffmengen feststellen und damit wertvolle Informationen und Daten zur Beeinträchtigung der subtilen ökologischen Prozesse liefern.

Die nützliche Kombination von High-Speed Bildern und langen Aufnahmezeiten

Calanoide Ruderfußkrebse können auf lokale Störungen der Strömung durch rasantes Beschleunigen und plötzliche Sprünge sowie durch phasenweise langsames und schnelles Schwimmen reagieren. Vorausgegangene Studien wurden mit einem 3D-PTV System durchgeführt, das nur aus zwei Kameras bestand und mit einer niedrigeren Bildrate aufzeichnete. Die zügigen Bewegungen und die zeitweiligen

Aktionen, die für das Verhalten der Ruderfußkrebse charakteristisch sind, wurden aber so nicht erfasst. Dank der kompletten 3D-PTV Messung am Institut für Umweltströmungsmechanik konnte das Team von Dr. Michalec die hohe zeitliche Auflösung von bis zu 506 Bildern pro Sekunde mit langen Aufnahmezeiten koppeln – für eine verlässliche Beschreibung der



Die Bewegungen der Ruderfußkrebse werden mit einer Geschwindigkeit von 100 Bildern pro Sekunde bei einer Auflösung von 1.280 x 1.024 Pixeln aufgezeichnet. Die Ruderfußkrebse erscheinen als weiße Punkte auf dem schwarzen Hintergrund.

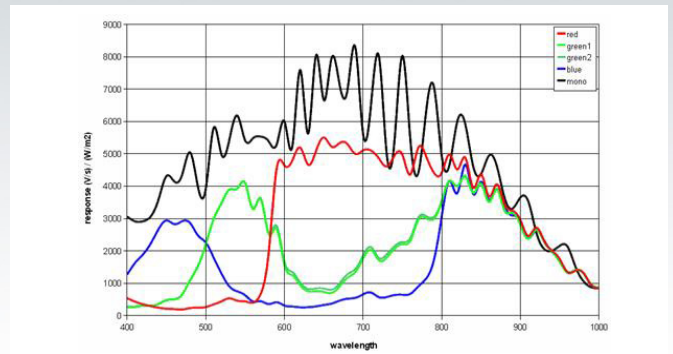
Bewegungsabläufe von Ruderfußkrebsen eine entscheidende Anforderung. Nicht zuletzt verbesserte die Anzahl von vier Kameras die Partikel-Detektion und die Effizienz beim Nachvollziehen der Schwimmbahnen, weil beim Stereo-Verfahren stärker auftretende Unklarheiten reduziert wurden. So kann das Team jetzt das Verhalten von Hunderten Ruderfußkrebsen gleichzeitig nachvollziehen.

Der Vorteil der Lichtempfindlichkeit

Bei der 3D-PDV Technologie wird die Strömung über kleine, indifferente und schwimmfähige Streupartikel

bestimmt. Für eine helle Beleuchtung im Aufnahmebereich wird dabei in der Regel ein Laser verwendet. Allerdings sind Ruderfußkrebse sehr lichtempfindlich und um Temperaturanstiege zu vermeiden, müssen die Experimente mit einer niedrigen Lichteinstrahlung durchgeführt werden. Deshalb hat Dr. Michalecs Team mit Nah-Infrarotlicht gearbeitet. Bei diesen Wellenlängen arbeitet der EoSens® Sensor mit einem hohen Quantenwirkungsgrad und erlaubt eine relative hohe Blendenöffnung, eine große Tiefenschärfe und trotz des schwachen Lichts im gesamten Untersuchungsraum eine hohe Bildschärfe.

Am meisten profitiert Dr. Michalecs Team von der äußerst hohen Lichtempfindlichkeit der Mikrotron EoSens® Kamera. So können die Ruderfußkrebse auch bei schwachen Lichtverhältnissen erfasst werden. Ein weiterer Vorteil ist die flexible Hand-



Der Quantenwirkungsgrad der Mikrotron EoSens® CL Kamera, ein- und mehrfarbig sowie ohne UV/IR Filterschnitt. Diese Kamera liefert im Nahinfrarotbereich mit einer Wellenlänge von 700 nm ausgezeichnete Ergebnisse.

habung von Bildrate und Aufnahmedauer: "Bei 100 Hertz können wir eine Stunde aufzeichnen, bei 500 Hertz zehn Minuten. So können wir die Anzahl der Schwimmbahnen erhöhen und damit gleichzeitig auch einen Großteil ihres Verhaltens entschlüsseln", erklärt Dr. Michalec.

MIKROTRON CAMERALINK® & 3D-PTV

Dreidimensionale partikelunterstützte Geschwindigkeitsmessung

Die dreidimensionale partikelunterstützte Geschwindigkeitsmessung ist eine Strömungsmesstechnik, die zur Untersuchung von turbulenten Strömungen entwickelt wurde. Die Methode basiert auf der Visualisierung einer Strömung durch kleine, indifferente und schwimmende Partikel, die der Strömung konstant folgen. Drei oder vier digitale Kameras aus verschiedenen Perspektiven zeichnen die beleuchteten

Partikel auf. Die Kameras sind kalibriert; dadurch lässt sich die Raumgeometrie des Objekts rekonstruieren und die dreidimensionalen Koordinaten der Partikel bestimmen. Das anschließende Tracking-Verfahren rekonstruiert die Schwimmbahnen der Partikel und erlaubt damit die Aufzeichnung des Strömungsverhaltens.

Die Merkmale der Kamera auf einen Blick:

- EoSens® CL / monochrom
- 1.3 Megapixel CMOS Sensor mit 22,9 mm Diagonale
- Auflösung: 1.280 (H) x 1.024 (V) pixel, 14 µm Pixel
- Lichtempfindlichkeit: 2.500 ASA
- Bildrate: Bis zu 506 Vollbilder pro Sekunde
- Leistungsstarke CameraLink® Schnittstelle, 680 MByte / Sekunde Datenübertragungsrate



viZaar industrial imaging AG
 Hechinger Straße 152
 D-72461 Albstadt
 Fon: 0 74 32 / 98 37 5-0
 Fax: 0 74 32 / 98 37 5-0
 info@highspeed-xtra.de
 www.highspeed-xtra.de

www.highspeed-xtra.de

