

Journal of Applied Hydrography

HYDROGRAPHISCHE NACHRICHTEN

06/2025

HN 131

Ausbildung mit Inhalten
der Hydrographie



Tracking von Korallenlarven für Riffschutz und Forschung

Ein Beitrag von TIM PFAUS

Korallenriffe sind hochdynamische Ökosysteme mit großer Bedeutung für marine Biodiversität und natürlichen Küstenschutz. Eine entscheidende Rolle bei ihrer Regeneration spielen die Korallenlarven – winzige und noch frei schwimmende Organismen, die über Bewegung und Substratwahl die Wiederbesiedlung geschädigter Riffbereiche bestimmen. Am Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM) werden tropische Korallenarten gezielt zur Fortpflanzung angeregt, wodurch Larven unter kontrollierten Bedingungen verfügbar sind. Parallel wurde an der Jade Hochschule ein modulares, KI-gestütztes Trackingsystem entwickelt, welches Larvenbewegungen automatisiert und hochauflösend erfasst. Das System basiert auf handelsüblichen Komponenten, ist dokumentiert und flexibel erweiterbar. In einem ersten Versuch mit *Leptastrea purpurea* konnte es erfolgreich validiert werden. Es ermöglicht differenzierte Analysen der Larvendynamik und bildet die Grundlage für weiterführende Studien zu chemischen, physikalischen oder substratbasierten Einflussfaktoren. Damit eröffnet es neue Wege für standardisierte Experimente in der Riff- und Küstenforschung und trägt somit dazu bei, kleinste Prozesse sichtbar zu machen, die für großräumige ökologische Strukturen entscheidend sind.

Korallenriff | Tracking | Bewegungskordinaten
coral reef | tracking | movement coordinates

Coral reefs are highly dynamic ecosystems with great importance for marine biodiversity and natural coastal protection. A decisive role in their regeneration is played by coral larvae – tiny and still free-swimming organisms that determine the recolonisation of damaged reef areas through movement and substrate selection. At the Institute of Chemistry and Biology of the Marine Environment (ICBM), tropical coral species are specifically stimulated to reproduce, making larvae available under controlled conditions. At the same time, a modular, AI-supported tracking system was developed at Jade University, which records larval movements automatically and in high resolution. The system is based on commercially available components, is documented and can be flexibly expanded. It was successfully validated in an initial trial with *Leptastrea purpurea*. It enables differentiated analyses of larval dynamics and forms the basis for further studies on chemical, physical or substrate-based influencing factors. It thus opens up new avenues for standardised experiments in reef and coastal research and helps to visualise the smallest processes that are decisive for large-scale ecological structures.

Autor

Tim Pfaus hat seine Bachelorarbeit im Studiengang Projektingenieurwesen an der Jade Hochschule in Wilhelmshaven geschrieben. Jetzt studiert er Marine Sensorik an der Universität Oldenburg.

tim.pfaus@uni-oldenburg.de

Hintergrund

Korallenriffe zählen zu den faszinierendsten Ökosystemen der Erde. Sie vereinen eine außergewöhnliche Artenvielfalt mit struktureller Komplexität und spielen eine Schlüsselrolle im marinen Nährstoffhaushalt. Als natürliche Wellenbrecher schützen sie Küstenlinien vor Erosion und tragen zur Stabilisierung von Sedimenten bei. Doch dieses empfindliche Gleichgewicht ist zunehmend bedroht: Klimawandel, Versauerung der Ozeane, übermäßiger Nährstoffeintrag und physische Zerstörung setzen den Riffen weltweit zu. Ihr Rückgang reicht weit über lokale Folgen hinaus und ist ein Indikator für globale Zustandsänderungen in unseren Meeren (Gleason und Hofmann 2011).

Im Zentrum der natürlichen Regeneration eines

Riffs steht ein unscheinbares, aber entscheidendes Stadium: die Korallenlarve. Viele tropische Korallenarten vermehren sich über Massenspawning, seltene Ereignisse, bei denen ganze Kolonien zeitgleich Eizellen und Spermien ins Wasser abgeben. Daraus entstehen Planula-Larven, die sich aktiv im Wasser fortbewegen, ihre Umgebung erkunden und gezielt potenzielle Siedlungsorte suchen (Kwok und Ang 2013). Ihr Verhalten entscheidet darüber, wo und ob neues Riffwachstum beginnt. Diese Phase markiert den Übergang zwischen pelagischer Mobilität und sessilem Leben, ein Schlüsselmoment, von dem der Fortbestand ganzer Riffsysteme abhängt (Da-Anoy et al. 2017).

Am Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM) der Universität Oldenburg, Standort

Wilhelmshaven, werden tropische Korallenarten unter kontrollierten Bedingungen zur sexuellen Fortpflanzung gebracht (Nietzer et al. 2024). Dabei entstehen regelmäßig Larven, die experimentell untersucht werden können. Diese Infrastruktur bot die Basis für die Entwicklung eines modularen Systems zur automatisierten Verhaltensanalyse. Ziel war es, ein kompaktes, robustes und erweiterbares Tracking-System zu schaffen, das Larvenverhalten langfristig und unter definierten Bedingungen beobachtbar macht. Hierdurch ist es möglich, einzelnen Larven unterschiedliche chemische Stoffe in ihrer Umgebung zu präsentieren und Reaktionsänderungen auf Bewegung oder Ansiedlungsverhalten wahrzunehmen (Fiegel et al. 2024).

In Aufforstungsprogrammen für Korallenriffe werden oftmals gebrochene Stücke von Korallen genutzt, um aus den Bruchstücken wieder ganze Organismen zu züchten. Diese Methode ist gut beherrschbar, erzeugt allerdings nur genetische Klone des ursprünglichen Organismus, aus dem die Teile herausgebrochen wurden. Die sexuelle Reproduktion ist dagegen in der Lage, tausende von genetisch unterschiedlichen Organismen zu erzeugen.

Technische Umsetzung

Die Larve selbst besitzt von außen wenig körperlich differenzierbare Merkmale, die sich technisch fassen lassen. Da die Larve jedoch gezwungen ist, einen möglichst optimalen Ansiedlungsplatz zu finden, ist diese kontinuierlich in Bewegung. Diese Bewegung, die Geschwindigkeit und Beschleunigungsänderungen lassen sich über Aufenthaltskoordinaten im zeitlichen Verlauf ableiten. Dadurch ist es zum Beispiel möglich, nach Präsentation von chemischen Substanzen die Änderungen in der Geradlinigkeit oder Geschwindigkeit der Schwimmbewegung nachzuweisen (Saxena et al. 2018).

Damit entsprechende Fragestellungen technisch adressiert werden konnten, mussten zunächst die grundlegenden Anforderungen an das System definiert werden. Zentral war dabei die Auswahl eines geeigneten Trackingverfahrens. Darauf abgestimmt erfolgte die Auswahl der Hardwarekomponenten – insbesondere im Hinblick auf Auflösung und Bildqualität.

Zunächst wurde dazu IDtracker.ai als Analyseplattform evaluiert. Die Open-Source-Software erlaubt es, in Videodaten einzelne unmarkierte Objekte zu erkennen und zu verfolgen (Romero-Ferrero et al. 2019). Sie nutzt Deep-Learning-Methoden zur Segmentierung und erlaubt es, Bewegungskordinaten zu extrahieren.

Hierzu benötigt der Algorithmus eine abgebildete Fläche von etwa 10 Pixeln pro Larve. Dies stellte eine konkrete Anforderung an die Wahl der Kamera dar. Die Bildauflösung musste entspre-



Abb. 1: CAD-Modell des modularen Versuchsaufbaus

chend hoch genug sein, um die kleinen und kontrastarmen Larven zuverlässig segmentieren zu können. Die Entscheidung fiel daher auf Raspberry Pi V3-Kameramodule mit 12 Megapixeln, die durch ihre Kompatibilität, Verfügbarkeit und Bildqualität überzeugten. Zusammen mit konstruierten justierbaren Halterungen erlaubten sie eine präzise Ausrichtung des Bildausschnitts und die notwendige optische Auflösung zur zuverlässigen Analyse.

Ein Python-Skript steuert die Kameras über die Picamera2-Bibliothek (Geertsma et al. 2023). Auflösung, Fokus und Framerate sind hier individuell einstellbar. Die Daten werden auf lokalen SSDs gespeichert, die in einem Technikfach untergebracht sind.

Auf dieser Grundlage wurde die konkrete Umsetzung geplant, um eine kompakte und stabile Versuchseinheit zu entwickeln.

Aufgebaut wurde das System in einem Aluminiumrahmen aus eloxierten 20 × 20 mm starken Profilen (Abb. 1). Diese Bauweise ermöglicht eine robuste, vibrationsarme Konstruktion bei gleichzeitig geringem Gewicht. Zwei Raspberry Pi 5

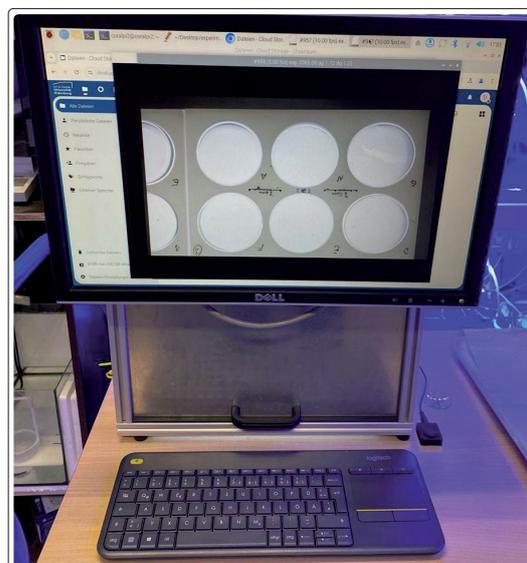


Abb. 2: Kamerawinkel einer Kamera mit sechs sichtbaren Larven

dienen als Recheneinheiten. Die Kameramodule wurden auf einstellbaren Schienen montiert, um variable Blickwinkel zu ermöglichen. Als Lichtquelle fungiert eine diffuse LED-Fläche, die unter der Objektebene gleichmäßigen Kontrast ohne Reflexionen erzeugt. Dies bietet optimale Bedingungen für zuverlässiges Tracking. Das gesamte System ist lichtdicht verkleidet. Wechselbare Seitenteile ermöglichen einen schnellen Umbau oder Erweiterung. Die Bedienung wird über einen Monitor mit drahtloser Tastatur und Maus über ein Frontend realisiert (Abb. 2).

Zur Validierung wurde ein standardisierter Versuch mit Larven der Art *Leptastrea purpurea* durchgeführt. Es kamen vier Trays mit je sechs separaten 45-mm-Uhrgläsern zum Einsatz, in die jeweils eine Larve gesetzt wurde. Die Trays wurden zentral auf der Leuchtplatte positioniert, sodass alle Objekte komplett im Bildausschnitt lagen. Die Aufnahmen erfolgten über 30 Minuten pro Experiment bei konstanten Umweltbedingungen (27 °C, stabile Lichtverhältnisse, keine Strömung, keine Vibration). Dabei wurden vier Kameras parallel eingesetzt, die jeweils ein Tray mit sechs Objekten abbildeten. Die Auflösung wurde mit 2560 × 1440 Pixel bei einer Framerate von 10 Bildern pro Sekunde festgelegt. Der Fokuswert wurde empirisch ermittelt. Die so gewonnenen Videodaten wurden mit IDtracker.ai ausgewertet. Damit standen pro Sekunde zehn Koordinatenpaare pro Larve zur Verfügung.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der einzelnen Experimente liefern drei Hauptdatenserien. Dies sind die Bewegungsdaten, die mittlere Geschwindigkeit und der Zeitverlauf der Beschleunigung. Die folgenden Diagramme illustrieren exemplarisch das Bewegungsverhalten von sechs Larven aus einem Tray: Zunächst die Trajektorien aus den detektierten Koordinaten der einzelnen Larvenorte (Abb. 3), anschließend die zeitlich aufgelösten Verläufe von Geschwindigkeit (Abb. 4) und deren Beschleunigung (Abb. 5).

Für jede Larve kann daraus ein individuelles Bewegungsprofil im zeitlichen Verlauf abgeleitet werden. In Verbindung mit einer genau terminierten Zuführung von verdünnten Triggersubstanzen kann die direkte Veränderung der Bewegung abgelesen werden.

Einsatzmöglichkeiten

Die Ergebnisse unterstreichen, dass das entwickelte System zuverlässig, reproduzierbar und mit hoher Detailgenauigkeit Bewegungsdaten von Korallenlarven erfassen kann. Es liefert nicht nur quantitative Einblicke in das Verhalten einzelner Organismen, sondern öffnet auch methodische Perspektiven etwa für die Analyse von Umweltinteraktionen, Besiedlungsmustern oder artspezifischen Strategien der Orientierung.

Durch reproduzierbare Versuchsbedingungen ist es möglich, unterschiedliche Szenarien zur Ansiedlung mit hinreichend vielen Replikaten zu untersuchen. Hierdurch kann statistische Evidenz geschaffen werden, welche Parameter(-kombinationen) zur Optimierung der Ansiedlungsbedingungen modifiziert werden können. Diese Ergebnisse können direkt in der Zucht genetisch diverser und damit in der Breite widerstandsfähigerer Populationen genutzt werden. Entsprechende Populatio-

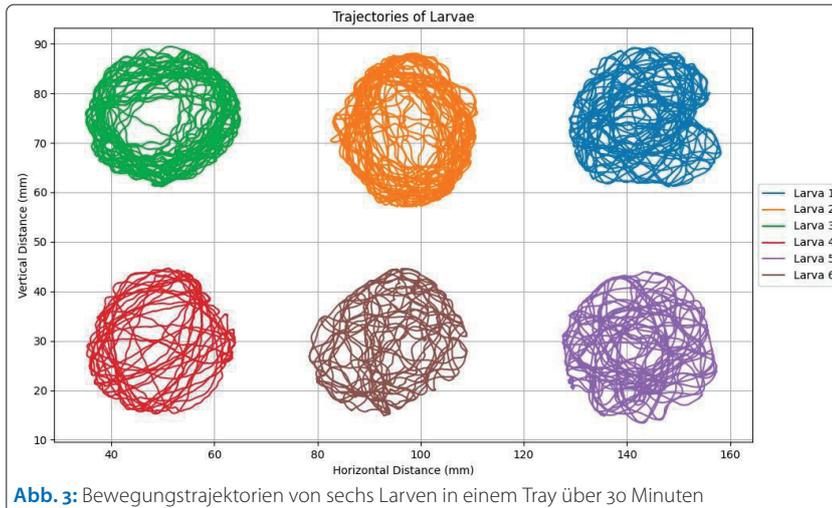


Abb. 3: Bewegungstrajektorien von sechs Larven in einem Tray über 30 Minuten

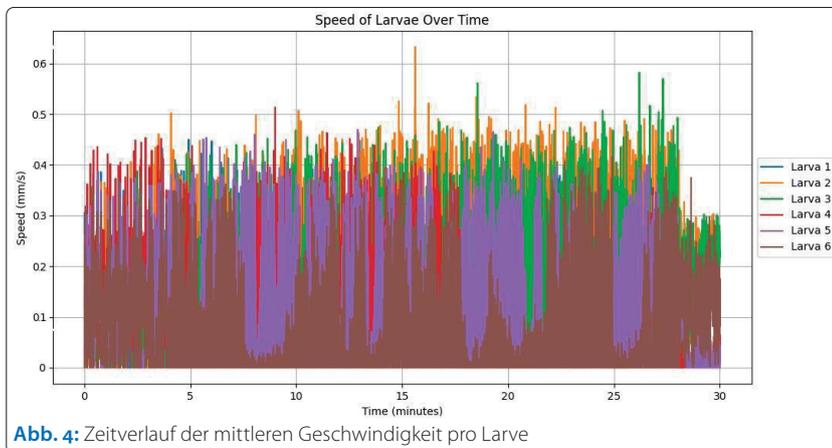


Abb. 4: Zeitverlauf der mittleren Geschwindigkeit pro Larve

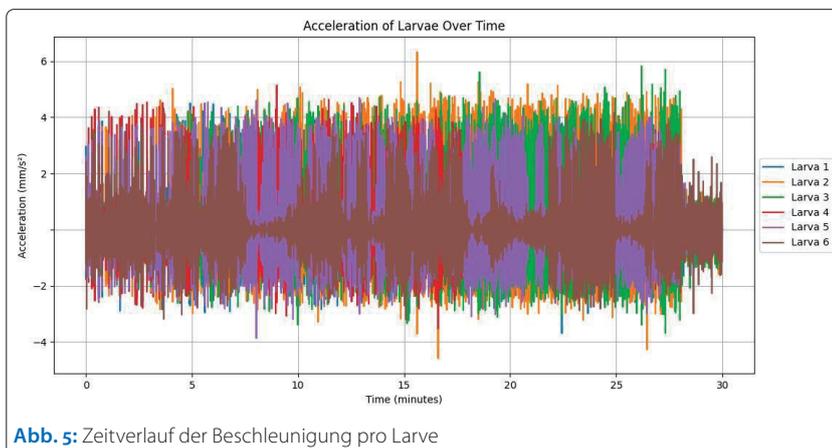


Abb. 5: Zeitverlauf der Beschleunigung pro Larve

nen können in der Wiederaufforstung von Korallenriffen eine resilientere Gemeinschaft bilden als genetische Klone.

In der Praxis muss sich durch weitere Versuche zeigen, wie weit sich die gewonnenen Laborergebnisse in situ nutzen lassen.

Ausblick

Der Aufbau ist umfassend dokumentiert und in weiten Teilen auf frei verfügbaren Komponenten basierend. Hierdurch ist das Gerät bewusst offen gestaltet. Das System eignet sich für Forschungsgruppen mit begrenzten Ressourcen ebenso wie für die akademische Lehre oder die internationale Zusammenarbeit. Der modulare Charakter lädt

dazu ein, eigene Fragestellungen zu formulieren und die Plattform weiterzuentwickeln.

Korallenriffe gehören zu den sensibelsten und zugleich wertvollsten Lebensräumen unserer Ozeane. Wer sie erhalten will, muss ihre Dynamik verstehen, und das beginnt bei den kleinsten Akteuren, die den eigentlichen Riffkörper bilden. Das hier vorgestellte System macht das Verhalten ebener Larven sichtbar, verständlich und wissenschaftlich nutzbar. Es verbindet den nutzbringenden Einsatz technischer Möglichkeiten mit ökologischer Relevanz und leistet damit einen Beitrag zur Forschung, der über das Labor hinaus wirkt – hin zu einer nachhaltigen Zukunft im marinen Raum. //

Literatur

Da-Anoy, Jeric P.; Ronald D. Villanueva; Patrick C.

Cabaitan; Cecilia Conaco (2017): Effects of coral extracts on survivorship, swimming behavior, and settlement of Pocillopora damicornis larvae. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, DOI: 10.1016/j.jembe.2016.10.006

Fiegel, Laura J.; Matthias Y. Kellermann; Samuel Nietzer; Lars-Erik Petersen; Mike Smykala; Ulf Bickmeyer; Peter J. Schupp (2023): Detailed visualization of settlement and early development in *Leptastrea purpurea* reveals distinct bio-optical features. *Frontiers in Marine Science*, DOI: 10.3389/fmars.2023.984656

Geertsma, Robbert-Jan; Pauline Kamermans; Tinka Murk; Tim Wijgerde (2023): Real-time high resolution tracking of coral and oyster larvae. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, DOI: 10.1016/j.jembe.2023.151910

Gleason, Daniel F.; Dietrich K. Hofmann (2011): Coral larvae: From gametes to recruits. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, DOI: 10.1016/j.jembe.2011.07.025

Kwok, Chun Kit; Put O. Ang (2013): Inhibition of larval swimming activity of the coral *Platygyra acuta* by interactive thermal and chemical stresses. *Marine Pollution Bulletin*, DOI: 10.1016/j.marpolbul.2013.06.048

Nietzer, Samuel; Mareen Moeller; Laura Fiegel; Peter Schupp (2024): Coral larvae on demand: a novel method for an instant acquisition of healthy brooded larvae. *Research Square*, DOI: 10.21203/rs.3.rs-4616138/v1

Romero-Ferrero, Francisco; Mattia G. Bergomi; Robert C. Hinz; Francisco J. H. Heras; Gonzalo G. de Polavieja (2019): idtracker.ai: Tracking all individuals in large collectives of unmarked animals. *Nature Methods*, DOI: 10.1038/s41592-018-0295-5

Saxena, Rajat; Warsha Barde; Sachin Deshmukh (2018): Inexpensive, scalable camera system for tracking rats in large spaces. *Journal of Neurophysiology*, DOI: 10.1152/jn.00215.2018

What fascinates you about hydrography?

In my point of view, the way hydrography combines technology, data and nature to map and analyse underwater features is what truly can intrigue me. Hydrography is not just about collecting data; it is about using that data to make decisions that impact the environment, navigation and even disaster management.

How did you become interested in hydrography?

Well, I have always had a deep interest in the world of water. I think this passion

has been a key factor in my decision to pursue hydrography. Since my bachelor's degree is in surveying engineering, I was drawn to the idea of blending my background in mapping with the world of water. Unlike other specialisations such as geoinformatics and geodesy, hydrography deals with a unique environment – water which requires more specialised tools and complex technologies like multibeam echo sounders, sonar systems, etc.

Where do you want to work later?

In future, I hope to work in a role where I can combine my knowledge of hydrog-

raphy, surveying and technology. Whether it's working for a research institution, a government agency or even a private company that specialises in marine and water-based projects. I am also especially interested in the intersection of hydrography and emerging technologies, like artificial intelligence and data sciences, to enhance managing water resources globally.

Sahel Hanifezadeh, 30
2. Semester, aus dem Iran

