



Schlussbericht 15.12.2017

Entwicklung und Anwendungstests einer 3D Fishtracking Software zur Analyse des Fischverhaltens an Wasserkraftanlagen

Development and application tests of a 3D fish-tracking software for the monitoring and analysis of fish behavior at HPPs

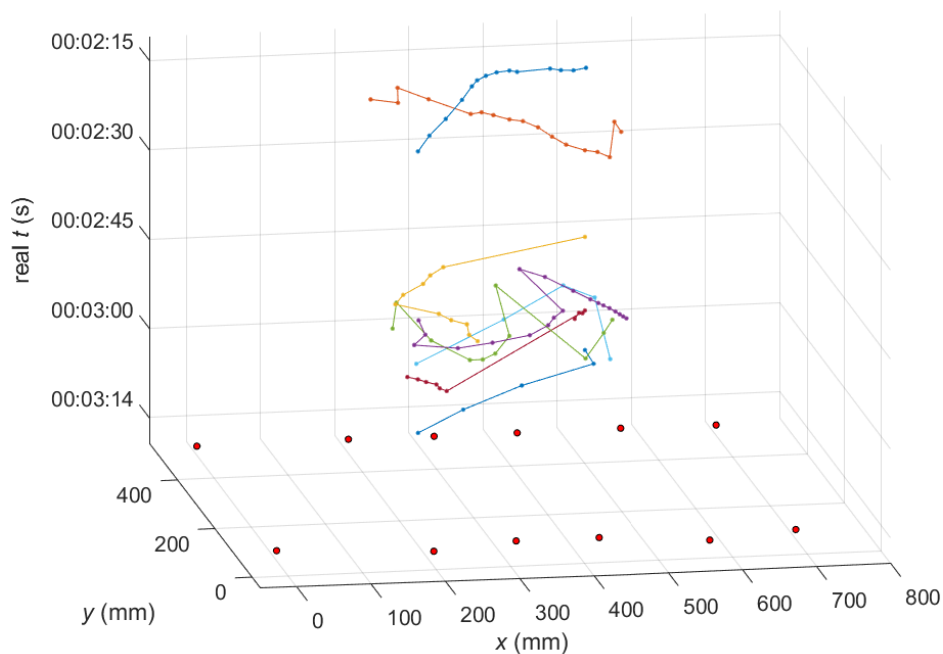


Bild: Fishtracking Schwimmpfade, detektiert über einen Zeitraum von 60 s



ETH zürich



Versuchsanstalt für Wasserbau,
Hydrologie und Glaziologie

Datum: 15.12.2017

Ort: Bern

Auftraggeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Wasserkraft
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmerin:

ETH Zürich
Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW)
Hönggerbergring 26
CH-8093 Zürich
www.vaw.ethz.ch

Autoren:

Dr. Martin Detert, VAW, detert@vaw.baug.ethz.ch
Dr. Ismail Albayrak, VAW, albayrak@vaw.baug.ethz.ch
Prof. Dr. Robert Boes, VAW, boes@vaw.baug.ethz.ch

BFE-Bereichsleitung: Dr. Michael Moser, michael.moser@bfe.admin.ch
BFE-Programmleitung: Dr. Klaus Jorde, klaus.jorde@kjconsult.net
BFE-Vertragsnummer: SI/501585-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch



Zusammenfassung

Die Abwärtswanderung von Fischen durch Turbinen oder über Schusrrinnen kann die Fisch-Mortalitätsrate deutlich erhöhen. Um sichere Fischwanderhilfen an Wasserkraftwerken zu entwerfen, ist das Wissen über das Migrationsverhalten von Fischen unerlässlich. Zu diesem Zweck wurde ein bestehender 2.5D Fishtracking Code auf 3D Anwendungen weiterentwickelt und für aktuelle Laborbedingungen optimiert. Die Software erlaubt es nun, das 3D-Schwimmverhalten von Fischen direkt aus Videos zu bewerten.

Résumé

La dévalaison des poissons à travers les turbines ou des déversoirs peut augmenter considérablement la mortalité des poissons pendant les périodes de migration. Pour concevoir des installations de passage des poissons sûrs aux centrales hydroélectriques, la connaissance du comportement migratoire des poissons est essentielle. À cette fin, un logiciel de suivi de poisson 2.5D existant a été développé en 3D et adapté aux conditions réelles du laboratoire. Le logiciel permettra d'évaluer le comportement spatial de nage des poissons directement à partir des enregistrements par vidéo.

Abstract

Passage of downstream migrating fish through turbines or over spillways may significantly increase fish mortality. To design safe fish passage facilities at hydropower plants, the knowledge of the migration behavior of fish is essential. To this end, an existing 2.5D fish tracking software has been developed further to 3D and adapted to actual laboratory conditions. The software will allow to evaluate the 3D swimming behavior of fish directly from video recordings.



Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangslage	5
2. Ziel der Arbeit	7
3. Vorgehen und Methode	7
3.1. Physikalisches Modell	8
3.2. Versuchsablauf	8
4. Ergebnisse	9
4.1. Kamera-Synchronisierung.....	9
4.2. Bildkalibrierung.....	10
4.2.1. Einzelkamera	10
4.2.2. Stereokamera-System	10
4.2.3. Bildkalibrierung – Starre Transformation des Stereokamera-Systems.....	11
4.3. Fishtracking	12
4.3.1. Einzelkamera	12
4.3.2. Stereokamera-System in 3D Rinnenkoordinaten	14
5. Schlussfolgerungen und Ausblick	16
6. Referenzen	16

1. Ausgangslage

Flusskraftwerke können die flussabwärts gerichtete Wanderung von Fischen beeinflussen. Beim aktuellen Ausbaustandard der meisten Anlagen wählt die Mehrzahl der migrierenden Fische aufgrund mangelnder alternativer Abwanderungskorridore die Turbinenpassage, welche Schädigungen zur Folge haben kann. Deshalb besitzt die Implementierung von Fischschutzsystemen, die potenziell gefährliche Gewässerbereiche für Fische unattraktiv machen oder absperren sollen, eine hohe Priorität bei der ökologischen Aufwertung von Flusskraftwerken. Aus diesem Grund werden im Rahmen des EU-Horizon 2020 Projektes 'Fishfriendly Innovative Technologies for hydropower (FIThydro)' an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich, bauliche Massnahmen zum Fischschutz in physikalischen und ethohydraulischen Modellen geprüft und so weiterentwickelt, dass sie aus fischökologischer und betrieblicher Sicht erfolgreich und ökonomisch eingesetzt werden können (Abb. 1a). Der Fokus der Untersuchung ist auf mechanische Verhaltensbarrieren und physikalische Barrieren wie vertikale und horizontale Leitreechen gerichtet (Abb. 1b und c).

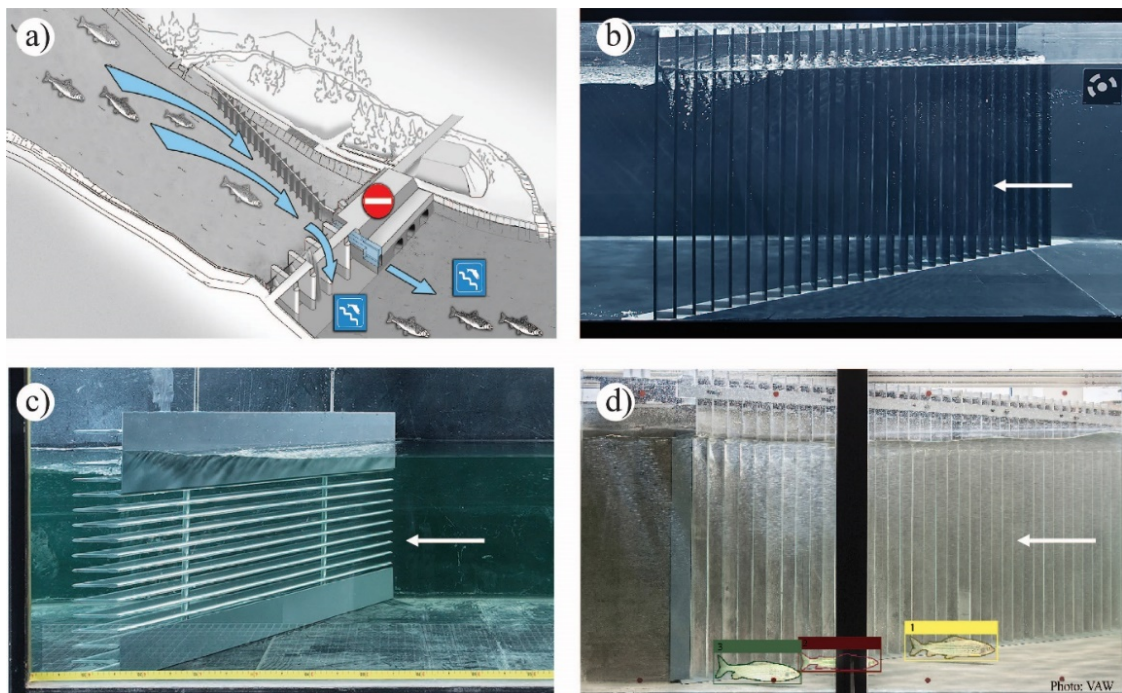


Abbildung 1: (a) Wirkungsprinzip vertikaler und horizontal Leitreechen vor Kraftwerkseinläufen, (b) vertikaler Leitreechen und (c) horizontaler Leitreechen im physikalischen Modellversuch, (d) 2D Fishtracking im ethohydraulischen Modell.

Für Wasserkraftanlagen (WKA) mit einem Durchfluss kleiner als $Q_d \approx 100 \text{ m}^3/\text{s}$ sind Horizontalreechen mit Stababständen $\leq 20 \text{ mm}$ (Abb. 1c) eine effektive und erprobte Fischleiteinrichtung. Für WKA mit grösseren Durchflüssen werden auch Vertikalreechen mit Stababständen von 50 mm (Abb. 1b) erfolgreich eingesetzt (z.B. im Nordosten der USA). Trotz zahlreicher spezifischer Studien zur Hydraulik und Fischleiteffizienz an verschiedenen Leiteinrichtungen ist eine generelle Beziehung zwischen beiden Faktoren nach wie vor unbekannt. Die Effizienz der Fischleiteinrichtung ist daher für komplexe Strömungssituationen wie beim Einlaufbereich von WKA kaum vorhersagbar. Daher werden im Rahmen des Projektes *FIThydro* 2018 und 2019 durch die VAW ethohydraulische Versuche mit Lebendfischen



durchgeführt. Zwei Arten von Fischleitreinrichtungen werden getestet: solche mit horizontalen und solche mit vertikalen Stäben (Abb. 1b und c). Die Analyse des Fischverhaltens soll dabei im Wesentlichen durch eine auf die Versuchsrandbedingungen adaptierte und automatisierte Fishtracking Software ermöglicht werden. Um ihre Aussagekraft zu erhöhen, sollen die berechneten Fishtracks zusätzlich in einem optimierten Verfahren gefiltert werden (stellvertretende Darstellung in Abb. 1d).

Eine entsprechende 2.5D-Methode wurde bereits an der VAW in einer vorhergehenden Studie entwickelt und erfolgreich angewendet (Detert *et al.*, 2014; unterstützt von BFE SI / 500957-01). Um Fischbewegungen in 3D analysieren zu können, sind allerdings überlappende Kamerabilder notwendig, welche für eine Stereoanwendung unter Berücksichtigung der 3D Kamerapositionen kombiniert werden müssen. Je nach Kameraaufstellung ist es darüber hinaus erforderlich, Refraktionseffekte zu kompensieren, welche durch die Grenzschichten Luft-Wasser bzw. Glas-Wasser entstehen. Ein vollständiges Videometrie-basiertes 3D Fishtracking-System sollte aus etwa acht bis zehn Synchronkameras mit Fischaugenobjektiven und einer entsprechenden leistungsfähigen Computerperipherie bestehen. Abb. 2 gibt ein Beispiel für ein ähnliches System, welches aktuell von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) in Karlsruhe gemeinsam mit der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) in Koblenz betrieben wird. Dort konnte gezeigt werden, dass eine solche Installation auch für mehrere Kameras über eine Gerinnelänge von bis zu 10 m und einer Experiment-Dauer von über 1 h technisch realisierbar ist. Bisher hat die VAW dieses Projekt durch eine Machbarkeitsstudie unterstützt und einen Softwarecode entwickelt, der komplexe Videodatensätze adäquat für eine erste ‚quasi 2.5D‘ Analyse aufbereitet. Die mit diesem Code abgeschätzten, kurzen 3D Tracks sind häufig nicht eindeutig einzelnen Fischen zuzuordnen und geben nur etwa 5–10% der gesamten Schwimmstrecke wieder. Das eigentliche, durch diese Software berechnete ‚big picture‘ in Form eines Weg-Zeit Diagrammes basiert auf der in vorherigen Studien entwickelten 2D Methodik. In dem vorgeschlagenen Forschungs-Projekt der VAW soll dieser Code nun an die Bedingungen im VAW-Labor für 2018 angepasst und für optimierte, d.h. ‚echte‘ 3D Analysen und Anwendungen vorbereitet werden.

Die ab 2018 im Rahmen der *FIThydro*-Experimente mit Lebendfischen gewonnenen Daten können damit adäquater automatisiert ausgewertet werden. Das Verhalten unterschiedlicher lokaler Fischarten sowie der Hydraulik von Fischleitreinrichtungen kann dann systematisch und automatisiert analysiert werden (z.B. Schwimmwege und Migrationskorridore, Schwimmgeschwindigkeiten und -beschleunigungen). Die Ergebnisse des hier beschriebenen Projekts - in Kombination mit den ethohydraulischen Tests innerhalb von *FIThydro* - stellen ein Werkzeug für ein 3D-Fishtracking im Labor dar. Zu einem späteren Zeitpunkt erscheint auch eine Anwendung unter realen Bedingungen im Fluss möglich.



Abbildung 2: 3D Fishtracking System mit mehreren synchrongeschalteten Kameras (Quelle: BAW)



2. Ziel der Arbeit

Das Ziel der Forschungsarbeit besteht darin, einen bestehenden 2.5D Fishtracking MATLAB Quellcode in Kombination mit dem 2D Fishtracking Modul aus den beiden BfE-geförderten Projektphasen zu optimieren, zu adaptieren und auf den 3D Raum zu erweitern. Mit der Software soll es somit möglich sein, das 3D Schwimmverhalten von Fischen direkt aus Videos zu bewerten.

3. Vorgehen und Methode

Der VAW stehen einfache Testdatensätze aus den Versuchen der BAW und BfG (Abb. 1) zur Verfügung. Weitere Testdatensätze wurden in der Laborrinne der VAW 2017 im Rahmen dieses Projekts mit zwei quasi-synchron geschalteten GoPro-Kameras gewonnen. Sie umfassen Aufnahmen (i) von Kalibrierungstafeln (Schachbrettmuster), (ii) aus getauchter und trockener Kameraposition sowie (iii) von Fischschwimmpfaden, welche mittels vereinfachter, durch das Wasser gezogener Objekten simuliert werden. Diese Datensätze ermöglichen eine Adaption des Codes auf die Randbedingungen der Laborrinne der VAW.

Das Arbeitsprogramm zur Weiterentwicklung des Quellcodes umfasst folgende Abschnitte:
(1) **Background Subtraction.**

Die Hintergrunderkennung im aktuellen Code erfolgt über ein einfaches *Gaussian Mixture Model*, welches teilweise instabil arbeitet, lange Rechenzeiten zur Folge hat und letztendlich zahlreiche Fehltracks generiert. Über die Einbindung von OpenCV Bibliotheken in MATLAB soll nun die Möglichkeit getestet werden, auch leistungsfähigere Hintergrunderkennungsalgorithmen zu verwenden.

(2) **Stereo-Kalibrierung.**

Eine wesentliche Herausforderung stellt die Stereo-Kalibrierung jeweiliger Kamerapaare dar. Für trocken aufgestellte Kameras wie in Abb. 2 ergibt sich durch Refraktionseffekte zwischen den Grenzflächen Luft-Glas und Glas-Wasser eine starke Verzerrung insbesondere der Randbereiche. Diese können durch entsprechende mathematische Kameramodelle, angewendet auf Aufnahmen von Kalibrierungsgittern (‘Schachbrettmuster’), näherungsweise bestimmt und eliminiert werden. Im aktuellen 2.5D MATLAB-Code ist ein Standard-Frame-Kameramodell implementiert. Im hier vorgeschlagenen Projekt sollen zur Bildverzerrung komplexere Fisheye-Modelle über OpenCV Bibliotheken in MATLAB eingebunden werden.

(3) **3D Transformation.**

Sobald die Stereokameraparameter bekannt sind, können einzelne Fishtracks aus dem 2D Kameraframe-Koordinatensystem (px) in ein echtes 3D Koordinatensystem (mm) überführt werden. Eine wesentliche Herausforderung stellt hier die Zuordnung der 2D-Tracks aus einer Kamera eines Stereokamerapaars hin zu den 2D-Tracks der jeweilig anderen Kamera dar, insbesondere wenn Fehltracks vorhanden sind (z.B. Anzahl Tracks entspricht nicht der Anzahl Fische). Hier muss anwendungsbezogen noch ein ‘optimierter Filter’ zur expliziten Zuweisung von Stereotracks entwickelt werden, welcher nicht im aktuellen 2.5D-Code implementiert ist.

(4) **Graphical User Interface (GUI).**



Zur weiteren Vereinfachung des Analyseprozesses kann darüber hinaus eine rudimentäre GUI geschrieben werden, welche einerseits die gewonnenen 3D Fishtracks mit den Rohdaten der Videoaufnahmen kombiniert und die aus den 3D Daten abgeleiteten Parameter wie Schwimmgeschwindigkeit, -beschleunigung oder -richtung anzeigt. Dieses Tool ist als Visualisierungs- und Analysetool für Dritte, wie z.B. Biologen, gedacht.

3.1. Physikalisches Modell

Die Versuche wurden in einer 9 m langen, 0.5 m breiten und 0.8 tiefen Rinne mit horizontaler Sohle durchgeführt (Abb. 3a). Alle Testläufe wurden unter gleichmässigen Strömungsbedingungen mit einer Wassertiefe von $h = 0.40$ m, einem Abfluss von $Q = 0.02$ m³/s und einer Geschwindigkeit von $U = 0.1$ m/s durchgeführt. Bewegungen eines Testfisches (Abb. 3b) wurden mit zwei GoPro Hero 4 Kameras (Abb. 3c) in Full HD-Auflösung, d.h. mit 1920×1080 px² und 25 Bildern pro Sekunde, aufgenommen. Die Kameras haben ein Fischaugenobjektiv mit einer Brennweite von 17.2 mm und einem Sichtfeld (FOV) von horizontal = 118.2 °, vertikal = 69.5 ° und diagonal = 133.6 °. Sie wurden so positioniert, dass sie an der Wasseroberfläche eingetaucht durchs Wasser nach unten gerichtet sind.

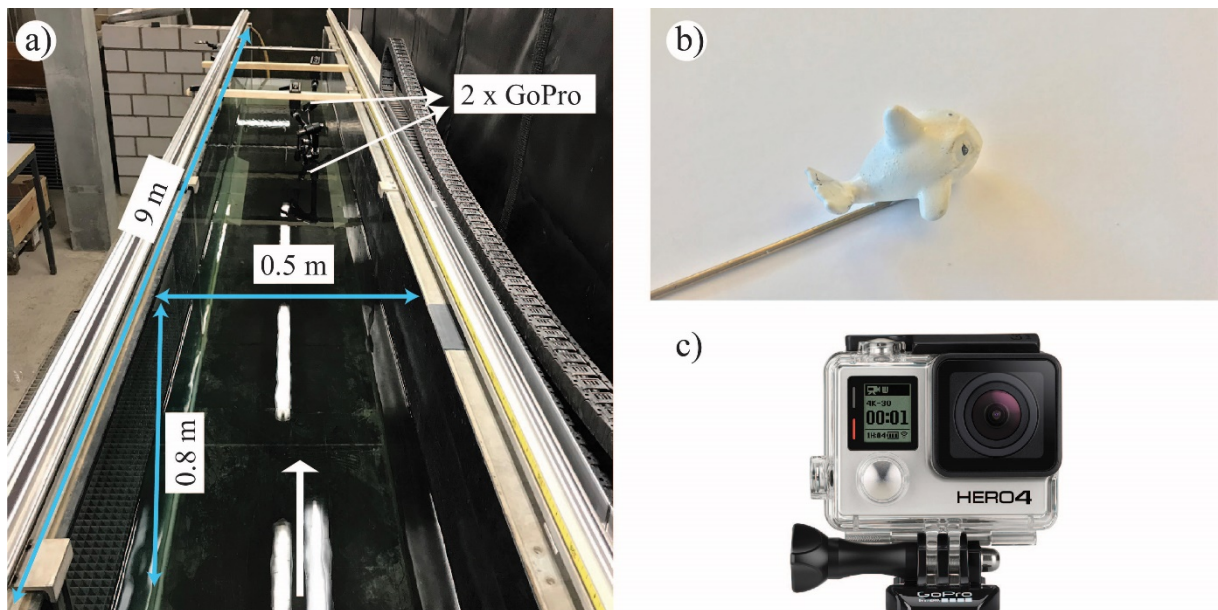


Abbildung 3: Versuchsaufbau. (a) Laborrinne, (b) künstlicher Testfisch und (c) GoPro Hero 4 Kamera (Quelle: GoPro Inc.).

3.2. Versuchsablauf

Der Ablauf der Experimente war wie folgt:

- Näherungsweise synchroner Start durch manuelles Drücken beider Startknöpfe auf den Kameras;



- Simultane Aufnahme einer Unterwasser-Stoppuhr (Smartphone) auf beiden Kameras zu Versuchsbeginn;
- Aufnahme von Videoframes eines Kalibrierschachbretts (hier mit 6x9 schwarz-weiss Quadraten mit einer Kantenlänge von 25.7 mm);
- Aufnahme von Bewegungsmustern des künstlichen Versuchsfisches;
- Simultane Aufnahme einer Unterwasser-Stoppuhr (Smartphone) auf beiden Kameras zum Versuchsende.

4. Ergebnisse

4.1. Kamera-Synchronisierung

Zur Synchronisierung wurde eine Smartphone-basierte Stoppuhr verwendet. Abbildung 4 zeigt die verzerrten und überlagerten Bilder, die von beiden Kameras aufgenommen wurden. Bei den hier überlagerten Videoframes wurde schon eine Verzögerung von $4/25$ s von Kamera 1 zu Kamera 2 berücksichtigt, was einer Verzögerung von vier Frames entspricht. Die Stoppuhrzeiten liegen bei beiden Kameras bei 8:05–8:06 s, d.h. im Bereich eines verbleibenden Synchronisierungsfehlers von 0.01 s. Für die Situation nach Aufnahme der Fischbewegungen wurde mit dem Versatz von $4/25$ s ein ähnlicher Synchronisierungsfehler ermittelt. Damit können die Kameras zwischen diesen Aufnahmen mit guter Näherung als synchronisiert angesehen werden. Die Gesamtdauer des Experiments betrug 3 Minuten 36 Sekunden.



Abbildung 4: Verzerrte und überlagerte Aufnahmen der Kameras nach Synchronisierung: Beide Kameras zeigen eine Zeit von 8.05–8.06 s (grün: Kamera 1, violett: Kamera 2).

4.2. Bildkalibrierung

4.2.1. Einzelkamera

Die aufgenommenen Bilder sind durch die GoPro Fischaugenlinse, das transparente Gehäuse und die Refraktionen an den Schnittstellen Luft–Plexiglasgehäuse und Plexiglasgehäuse–Wasser verzerrt (Abb. 5a). Im Rahmen der Einzelbildkalibrierung werden diese Bilder für jede Kamera entzerrt, sodass letztendlich gerade Linien auch als gerade Linien im Video dargestellt werden. Dazu wurde ein Kalibrierungsschachbrett in unterschiedlichen Winkeln und Abständen zu den Kameras unter Wasser aufgenommen. Schachbrettecken wurden durch Bildverarbeitungstechniken detektiert und das Bild auf Basis dieser Punkte rektifiziert. Da der Fischaugenverzerrungseffekt nicht klar ausgeprägt ist, wurde hier ein vereinfachtes, in der MATLAB-Funktion "estimateCameraParameters.m" implementiertes mathematisches Kameramodell zur Entzerrung verwendet. Abbildung 5 zeigt einen Ausschnitt des selben Schachbrettbildes vor und nach der Einzelkamera-Kalibrierung. Durch die Entzerrung der Bilder wurden verzerrte Linien auf eine für die aktuelle Studie zufriedenstellende Genauigkeit begradigt.

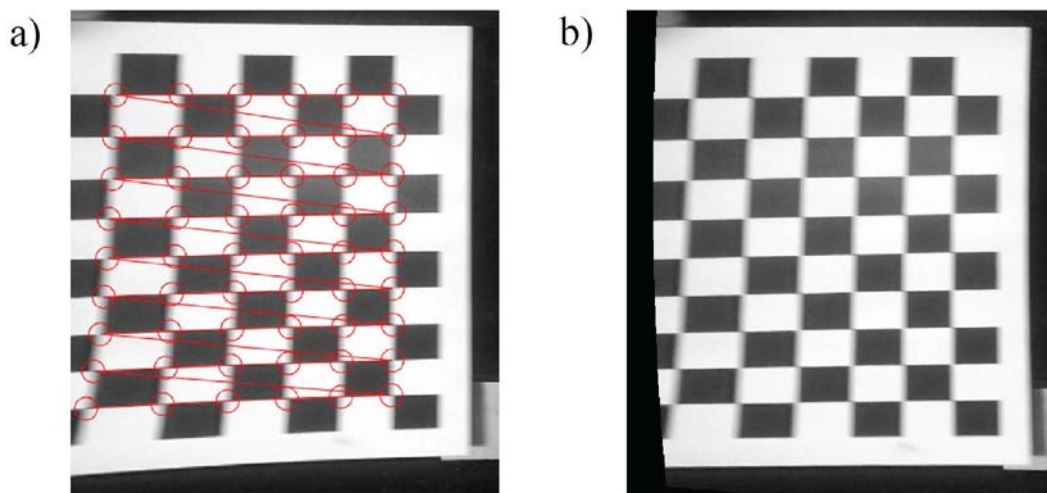


Abbildung 5: Schachbrett, Bildausschnitt. (a) verzerrten Rohaufnahme, (b) rektifizierte Darstellung.

4.2.2. Stereokamera-System

Um nach der Einzelkamera-Kalibrierung auch eine 3D-Ansicht zu erhalten, wurde die Stereokalibrierung ebenfalls mit der MATLAB-Funktion „estimateCameraParameters.m“ durchgeführt. Abbildung 6 visualisiert die extrinsischen Parameter von Kamera 1 (blau) und Kamera 2 (rot) im lokalen Koordinatensystem $[X, Y, Z]$ (mm) der Stereokalibrierung. Die Genauigkeit der Kalibrierung leidet hier unter einer fehlerhaften Entzerrung der Einzelbilder. Daher erscheinen Kamera 1 und Kamera 2 nicht perfekt ausgerichtet. Für die aktuelle Datenanalyse sind die erhaltenen Ergebnisse jedoch ausreichend präzise. Um die Genauigkeit der Stereokalibrierung für zukünftige Messreihen zu verbessern, wird jedoch ein besseres mathematisches Kameramodell empfohlen.

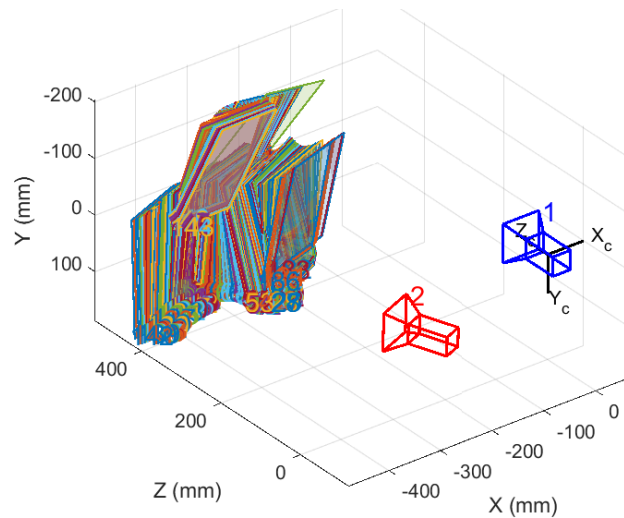


Abbildung 6: Stereokalibriertes Kamerasystem.

4.2.3. Bildkalibrierung – Starre Transformation des Stereokamera-Systems

Der finale Schritt in der Bildkalibrierung ist die starre Transformation des (zufälligen) lokalen Stereokamera-Koordinatensystems in das fixe Koordinatensystem der Versuchsrinne. Für ein einzelnes Stereokamerapaar wird dieser Schritt notwendig, um die späteren Fishtracks im 3D Raum der Versuchsrinne einordnen zu können und um sie für das ‚big picture‘ des Gesamtschwimmweges in Relation zu Tracks aus anderen Stereokamerapaaren setzen zu können.

Das Koordinatensystem wurde mittels der ‚rechte-Hand-Regel‘ so gewählt, dass x in Strömungsrichtung zeigt. Insgesamt wurden 14 Fixpunkte gewählt und eingemessen, wobei acht davon auf beiden Kameras sichtbar sind. Letztere Punkte wurden am Standbild beider Kameras digitalisiert (Abb. 7). Die Information der 3D Koordinaten im Rinnenkoordinatensystem sowie die Punktepaarkoordinaten in den beiden jeweiligen Kamerabildern wurde dann genutzt, um eine Berechnungsvorschrift zur starren Transformation ins Rinnenkoordinatensystem zu berechnen. Abb. 8 zeigt das Stereokamerasystem nach starrer Transformation ins globale Rinnenkoordinatensystem.

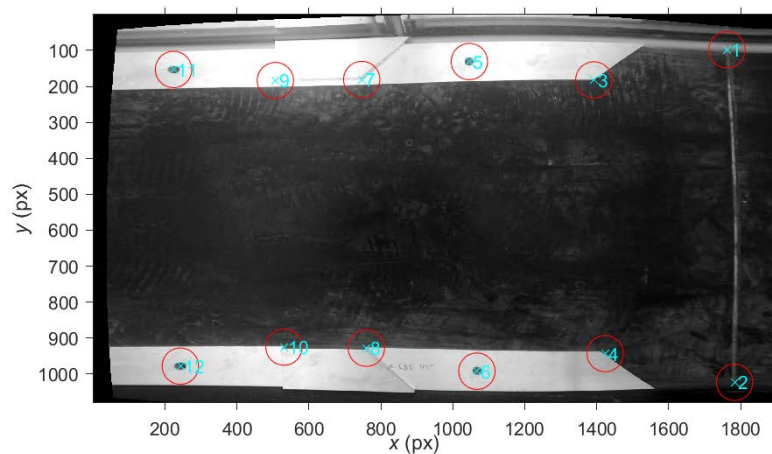


Abbildung 7: Im Standbild digitalisierte Punkte, hier exemplarisch für Kamera 1.

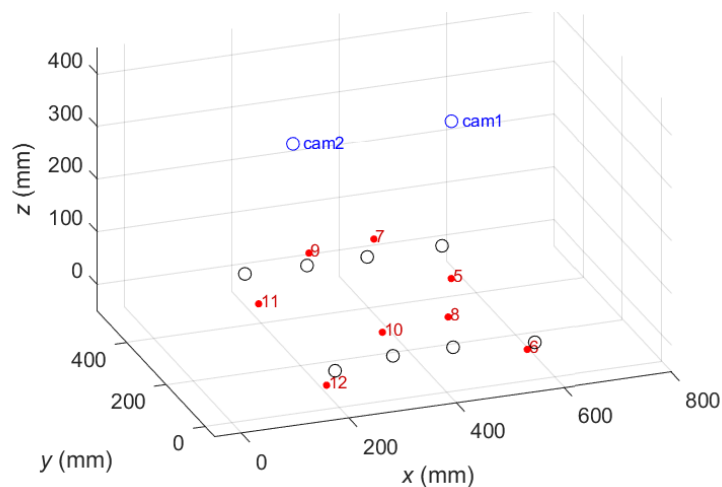


Abbildung 8: Stereokamera-System nach starrer Transformation ins Rinnenkoordinatensystem, mit vermessener Lage der verwendeten Referenzpunkte (o), deren Projektionen aus den Kamerabildern (•) sowie der Lage von Kamera 1 und Kamera 2 (o).

4.3. Fishtracking

4.3.1. Einzelkamera

Die Erkennung von bewegten Objekten und die bewegungsbasierte Verfolgung sind wichtige Komponenten vieler *Computer-Vision*-Anwendungen. Das Problem der bewegungsbasierten Objektverfolgung kann in zwei Teile unterteilt werden:

- Erkennung bewegter Objekte in jedem Frame;
- Zuweisung eines Einzelobjektes zu einer Bewegungsspur (Track).

Die Erkennung sich bewegender Objekte verwendet einen Hintergrund-Subtraktionsalgorithmus, der auf Gauß-Mischungsmodellen basiert. Morphologische Operationen werden auf die resultierende Vordergrundmaske angewendet, um Rauschen zu eliminieren. Die Analyse von „binary large Objects“ (blOb) erkennt schliesslich Gruppen von verbundenen Pixeln, die wahrscheinlich bewegten Objekten entsprechen.

Die Zuordnung von Erkennungen zu demselben Objekt basiert ausschliesslich auf Bewegung. Der räumlich-zeitliche Verlauf jedes Tracks wird durch einen Kalman-Filter geschätzt. Der Filter wird verwendet, um die Position des zu einem möglichen Track gehörigen Objektes im aktuell zu berechnenden Videoframe vorherzusagen und die Wahrscheinlichkeit zu bestimmen, dass jede Erfassung einem Track zugewiesen wird. Die ‚Wartung‘ der Tracks wird dabei zu einem wichtigen Aspekt. In jedem gegebenen Videoframe können möglicherweise einige Erkennungen Tracks zugewiesen werden, während möglicherweise andere Erkennungen keinen Tracks zugewiesen werden können. Die erfolgreich zugewiesenen Tracks werden mit den entsprechenden Erkennungen aktualisiert. Die nicht zugewiesenen Tracks sind als unsichtbar markiert. Eine nicht zugewiesene Erkennung beginnt einen neuen Track. Jeder Track zählt die Anzahl aufeinanderfolgender Bilder, für die ihn nicht zugewiesen wurde. Wenn die



Anzahl einen angegebenen Schwellenwert überschreitet, wird davon ausgegangen, dass das Objekt das Sichtfeld verlassen hat. Dieser Track wird dann im weiteren Verlauf des Videos nicht betrachtet.

Abbildung 9 zeigt die erfolgreiche Detektion einer Fischbewegung als eine Abfolge von vier Bildern bei $\Delta t = 1/25$ s (hier Kamera 1). Abbildung 10 zeigt exemplarische 2D-Tracks des Fisches während 40 s im Einzelbild-Koordinatensystem. Diese Ergebnisse veranschaulichen, dass der beschriebene Fischdetektions- und -tracking-Algorithmus selbst bei einigen fehlenden Fishtracks gut funktioniert.

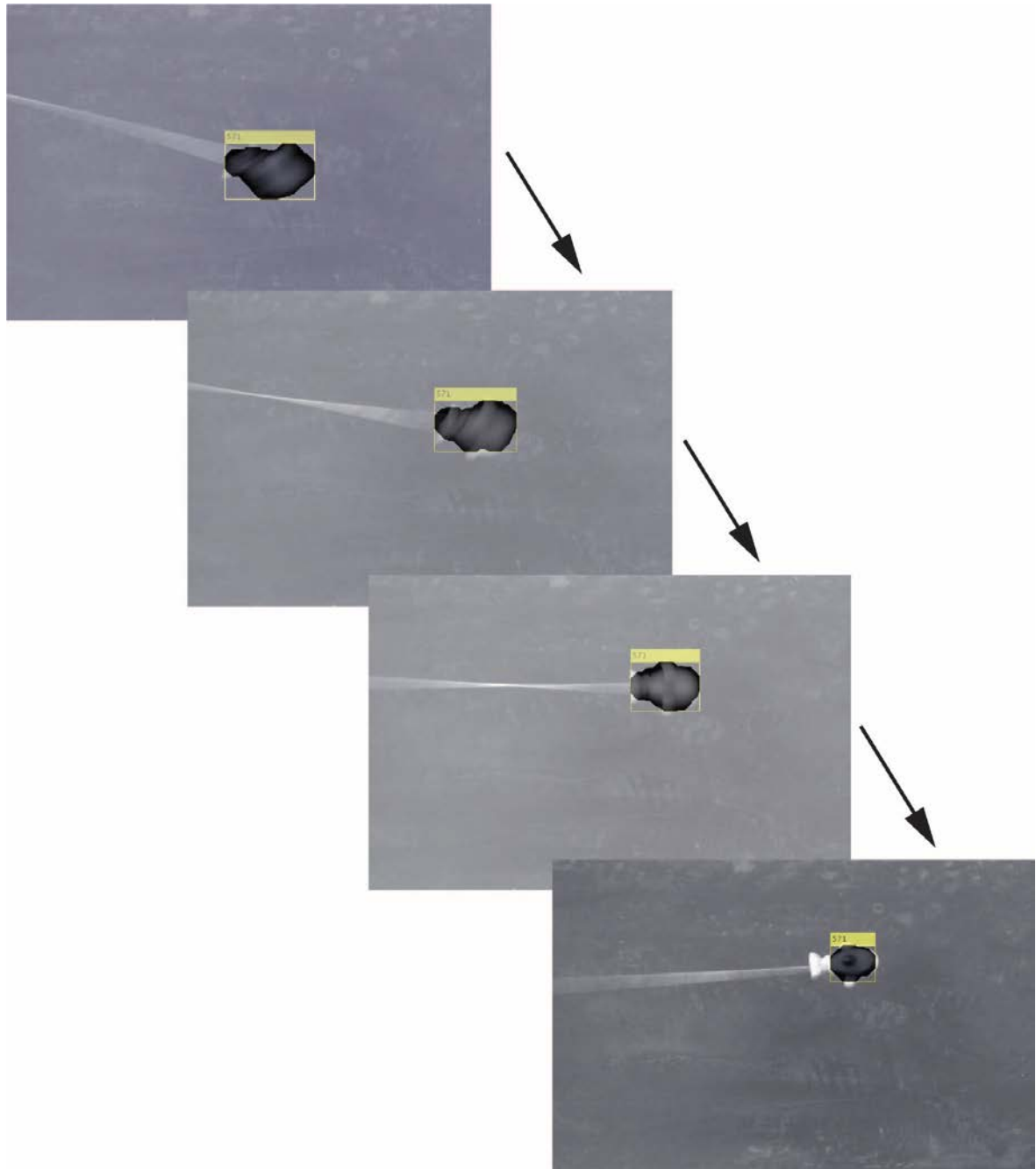


Abbildung 9: Exemplarische Darstellungen der Fischbewegung (Track #571) anhand von vier Einzelbildern mit Abstand $\Delta t = 1/25$ s (Teilausschnitt mit 833×544 px² aus Gesamtbild 1920×1080 px²).

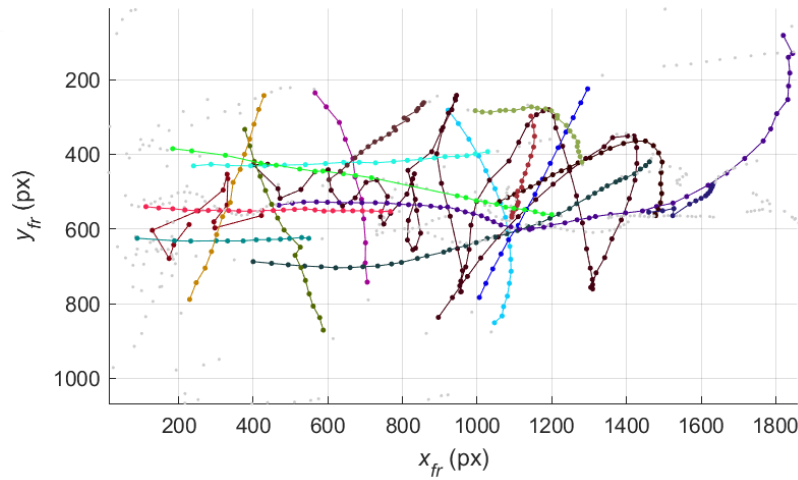


Abbildung 10: Exemplarische Visualisierung von verschiedenen Fishtracks, welche über einen Zeitraum von 40 s detektiert wurden. Hier: Darstellung im Einzelkamera-Koordinatensystem $[x_{fr}, y_{fr}]$ (px), Tracks aus Aufnahmen von Kamera 1.

4.3.2. Stereokamera-System in 3D Rinnenkoordinaten

Im letzten Schritt werden die 2D Tracks aus einem Stereokamerasystem mittels Trigonometrie in den 3D Raum überführt. Abb. 11 veranschaulicht die zugehörigen Zusammenhänge der Epipolargeometrie, welche dafür die Basis bilden.

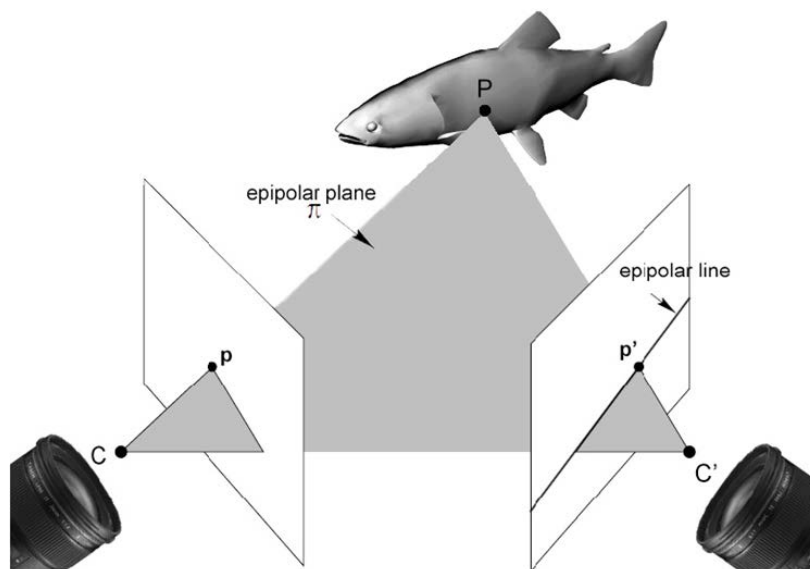


Abbildung 11: Epipolargeometrie (Rodriguez 2014, IWINAC).

Abb. 12+13 visualisiert die im Rahmen der Prinzipversuche dieser Studie berechneten Fishtracks. Die Tracks geben erstmals eine Darstellung von 3D-Bewegungsspuren eines (künstlichen) Fisches wieder,



aufgenommen mit einem rudimentären Unterwasser-Stereokamerasystem im Labor der VAW, ETH Zürich. Unglücklicherweise sorgen die suboptimalen Kalibrierungsmöglichkeiten sowie die Anordnung der verwendeten *low-cost* Kameras im vorliegenden Fall dafür, dass keine längeren Bewegungsspuren berechenbar sind. Trotzdem zeigen Abb.12+13, dass das implementierte Prinzip funktioniert. Mit qualitativ hochwertigeren Kameras inklusive hochwertiger Objektive und bei verbesserter Doppelkamera-Bildüberlagerung sind somit ab 2018 Aufnahmen und Auswertungen zum 3D Fishtracking möglich.

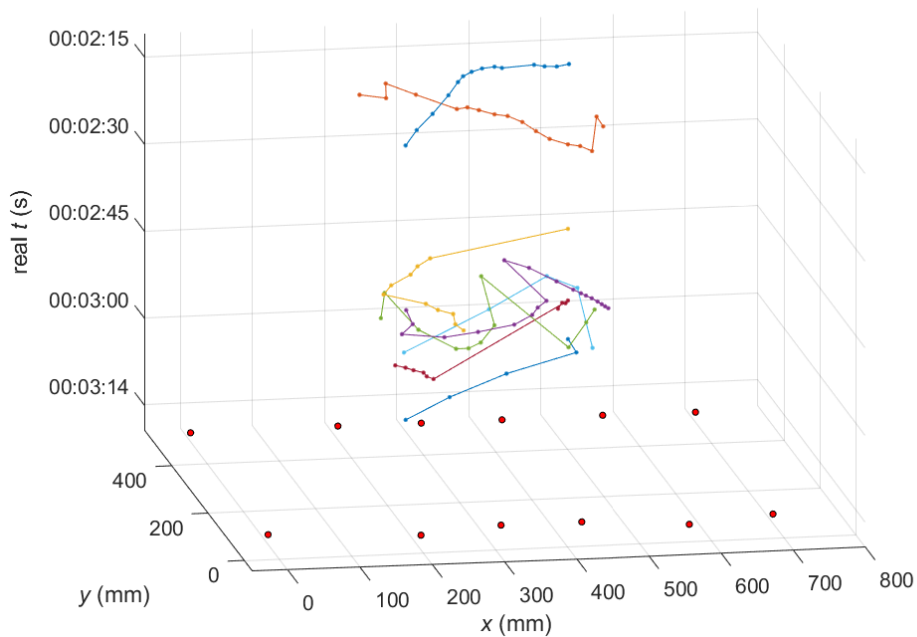


Abbildung 12: Berechnete 3D Tracks, hier als Weg-Zeit-Diagramm dargestellt im Rinnenkoordinatensystem über $[x, y]$ (mm) sowie Versuchsdauer t (s). Rotes Punktkorsett bei 3 min 14 s zeigt $[x, y]$ -Positionen der 14 Rinnenmarkierungspunkte.

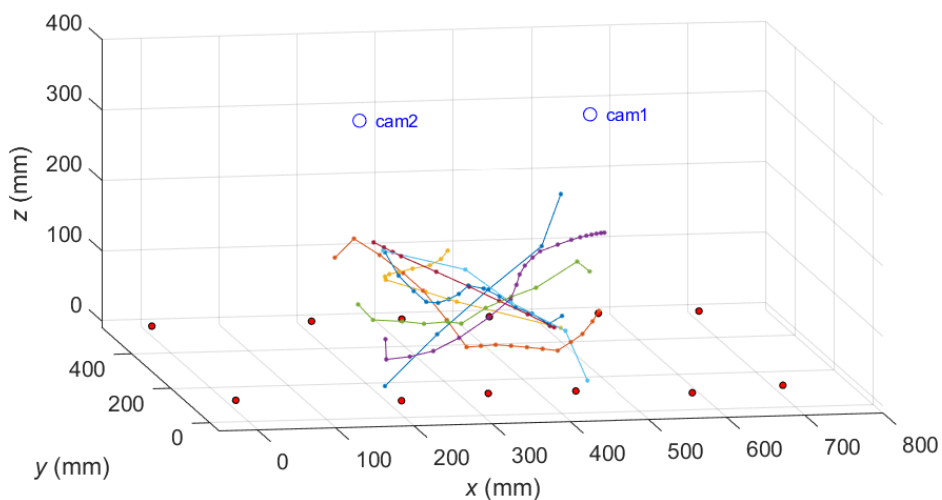


Abbildung 13: Berechnete 3D Tracks im Rinnenkoordinatensystem über $[x, y, z]$ (mm). Rotes Punktkorsett zeigt Positionen der 14 Rinnenmarkierungspunkte.



5. Schlussfolgerungen und Ausblick

Fische sind bei der Abwärtswanderung über Flusskraftwerke einer Verletzungsgefahr ausgesetzt. Das Wissen um das Fischverhalten im Nahbereich von Abstieghilfen ist für deren Beurteilung und Optimierung entscheidend. In vielen Untersuchungen erfolgt die Beobachtung des Fisch-Schwimmverhaltens jedoch meist rein qualitativ. Im Rahmen vorgängiger Projekte wurde bereits ein automatisiertes 2.5D *Fish-Tracking* Modul entwickelt und mit einer Vollautomatisierung optimiert, mit welchem das Wanderverhalten von Fischen direkt aus 2D-Videoaufnahmen an einem ethohydraulischen Labormodell ausgewertet werden kann.

Im Rahmen der aktuellen Studie wurde dieser Code nun auf 3D Anwendungen weiterentwickelt und für aktuelle Laborbedingungen optimiert, so dass bei der Verwendung von Kameras aus verschiedenen, sich überlagernden Blickwinkeln ein Fishtracking auch im 3D-Raum angewendet werden kann. Die Software erlaubt es somit, das 3D-Schwimmverhalten von Fischen direkt aus Videos zu bewerten.

Um Analysedaten zu generieren, wurde ein *low-cost* Videometrie-System bestehend aus zwei GoPro-Kameras verwendet. Es weist jedoch Qualitätsmängel bezüglich (1) Synchronisation der Messungen und insbesondere (2) adäquater Entzerrung der Einzelbilder auf. Trotzdem konnten auch anhand dieses Videometrie-Systems Aufnahmen gemacht werden, mit denen der vorhandene 2.5 Trackingcode auf einen echten 3D Trackingcode erweitert werden konnte.

Für die geplanten ethohydraulischen Versuche im Jahr 2018 wird auf Basis der Erkenntnisse dieser Studie nun ein verbessertes 3D-Fishtracking-System aufgebaut. Das System wird voraussichtlich aus acht Industriekameras mit hochwertigen Fischaugenobjektiven, einer spezialisierten PC-Peripherie zur Kamera-Synchronisation und professionellem Beleuchtungssystem bestehen. Mit Aufnahmen aus diesem Videometrie-System wird der nun vorliegende 3D Tracking-Code weiter optimiert werden können.

6. Referenzen

- [1] Detert, M., Kriewitz, C.R., Albayrak, I., Boes, R. (2014). Entwicklung und Anwendung eines automatisierten Fish-Tracking Moduls (Development and application of an automated fish-tracking modul). Report, BfE, Bern (unpublished).
- [2] Rodriguez, A. R., (2014). A methodology to develop Computer Vision systems in Civil Engineering: Applications in material testing and fish tracking. Promotion, Universität La Coruna, Spanien.