

Low Cost-Stereo UW-Kameramesssystem

PETER KORDUAN, DIRK LÄMMEL

Keywords: Unterwasser-Fotogrammetrie, Fischmonitoring, künstliches Riff, Ostsee

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS.....	1
1 EINLEITUNG	1
2 GRUNDLAGEN	2
3 KONZEPTION	7
4 REALISIERUNG	9
5 KALIBRIERUNG	11
6 ANWENDUNGEN	12
7 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	14
8 LITERATURVERZEICHNIS	15

1 Einleitung

Als die Autoren, ein Geodät und ein Biologe, sich beim Forschungstaucherlehrgang kennenlernten, war das Motto von Prof. Dr. Hans Hass „Unter Wasser gibt es noch viel zu erforschen“, welches auch für die Preisverleihung gilt, Motivation und Berufung zugleich. Bei Gesprächen wurde schnell klar, dass sich über das Tauchen als gemeinsame Forschungsmethode automatisch eine interdisziplinäre Zusammenarbeit der verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen ergibt, die man ausnutzen kann und wie in unserem Fall zu einer Kombination von Ingenieurtechniken und unterwasserbiologischen Anwendungen führt. Es entstand die Idee eine über Wasser schon bekannte und weit verbreitete berührungslose Vermessungsmethode, die Fotogrammetrie, auch unter Wasser einzusetzen und als gängige Methode für die Forschung unter Wasser zu verbreiten. Die Fotogrammetrie beruht auf der geometrischen Rekonstruktion der aufgenommenen Objekte aus den Bildern

Die Unterwasserfotogrammetrie ist zwar auch nicht mehr neu, allerdings wenig populär und war bisher nur wenigen Experten vorbehalten, da sie auch recht kostspielig war. Mit der Einführung digitaler Kameras und einfacherer Auswertetechnik wird die Methode auch für kleinere Projekte interessant.

Problem- und Aufgabenstellung

Wir haben uns dieses Themas angenommen und sind der Frage nachgegangen, wie man eine kostengünstige Lösung zur 3D-Vermessung von Objekten unter Wasser realisieren kann, um diese Technologie einer breiteren Menge an Nutzern zur Verfügung zu stellen. Insbesondere Wissenschaftler wie Biologen, Geologen, Archäologen oder Ozeanographen würden gern eine derartige Technik verwenden.

Unsere Entwicklung einer UW-Stereomesskamera, die wir hier zur Preisverleihung vorschlagen, soll genau diese Lücke schließen und die dritte Dimension für alle UW-Fotografen erschließen helfen. Die Konzeption, die praktische Umsetzung und eine Anleitung zum Nachbauen sind Bestandteile unserer Arbeit. Es geht aber nicht nur darum, die Technik einer breiteren Masse von Nutzern zugänglich zu machen, sondern auch optimierte Lösungen für verschiedene Anwendungsfälle zu finden. Die Forschungen im Bereich der Mehrmedienfotogrammetrie sind

auf dem theoretischen Sektor weit fortgeschritten, jedoch fehlen praktische Umsetzungen, Genauigkeitsbetrachtungen sowie die Koppelung mit der rechnergestützten Weiterverarbeitung und digitalen Bild- bzw. Videoauswertung.

Ziel unserer Entwicklung war die Entwicklung einer Stereounterwasserkamera, die sowohl für den mobilen als auch ferngesteuerten Einsatz geeignet ist. Dabei sollten möglichst kostengünstige Komponenten verwendet werden, damit die Konstruktion auch von Amateur- und Hobbyfotografen sowie in *low budget*-Projekten eingesetzt werden kann.

Eine ausführliche Dokumentation des Stereokamerasystems und dessen Handhabung soll die Nutzbarkeit durch Forschungs-, Freizeit- und Sporttaucher ermöglichen und der Verbreitung dieser Technik im Unterwasserbereich dienen.

Aufbau des Beitrages

Um das Verständnis für die Fotogrammetrie zu fördern, werden in diesem Beitrag im Abschnitt 2 zunächst einige Grundlagen dargestellt und auf die Besonderheiten unter Wasser eingegangen.

Der Anlass für den Bau der anschließend vorgestellten Stereokamera war der Aufbau des künstlichen Riffs an der Ostseeküste vor Nienhagen durch das Fischereiforschungsinstitut Mecklenburg Vorpommern. Die konkreten Vorgaben für das Vermessungssystem, die im Abschnitt 3 beschrieben werden, waren zwar an die Gegebenheiten des Riffs und der zur Verfügung stehenden sonstigen Techniken und Rahmenbedingungen angepasst, jedoch kann das System auch für weitere Anwendungen übertragen werden, von denen auch einige im Abschnitt 6 beispielhaft beschrieben werden.

Im Abschnitt 4 wird ausführlich auf die technische Realisierung eingegangen. Dabei werden zunächst das verwendete Material und die Fertigung beschrieben. Für eine fotogrammetrische Auswertung sind die Kameras zu kalibrieren. Aber auch andere Dinge, wie die Länge der Basis zwischen den Stereokameras oder die Lage und Form der Gehäusescheibe sind zu berücksichtigen. Schließlich gilt es die Bildpaare auszuwerten, um schließlich die Objekte vermessen zu können.

Zunächst wird beschrieben, was Fotogrammetrie überhaupt ist und wie man damit Stereo sehen kann. Danach wird beschrieben, welche Komponenten erforderlich sind und worauf geachtet werden sollte bei der Beschaffung der Kameras und des Zubehörs. Je nach geforderter Genauigkeit ist ein unterschiedlicher Aufwand zu betreiben. Für eine fotogrammetrische Auswertung sind die Kameras zu kalibrieren. Aber auch andere Dinge, wie die Länge der Basis zwischen den Stereokameras oder die Lage und Form der Gehäusescheibe sind zu berücksichtigen. Schließlich gilt es die Bildpaare auszuwerten, um schließlich die Objekte vermessen zu können.

2 Grundlagen

Wie interessant und schön unsere UW-Welt ist, kann wohl jeder bestätigen, der schon ein mal ein Tauchgerät aufgeschnallt hat. Aber auch Nichttaucher bekommen anschaulich vermittelt, wie sich die UW-Welt für die Augen eines Tauchers darstellt. Möglich ist dies seit Jahrzehnten durch immer einfachere und kostengünstigere Kameras und Videotechnik. Die Zahl der UW-Fotografen steigt ständig, weil UW-Kameras mittlerweile auch für Freizeitfotografen erschwinglich werden. Zahlreiche Zeitschriften wie die „Unterwasser“ dokumentieren die Pflanzen- und Tierwelt sowie Wracks, Höhlen und andere Objekte in professioneller Art und Weise. Im Vordergrund stand bisher vor allem die bildliche Dokumentation der UW-Objekte. Fotografie kann aber auch für quantitative und räumliche Beschreibungen verwendet werden. Wie oft wird beispielsweise über die wahre Größe eines Fisches auf Fotos gerätselt. Gibt es nicht auch eine einfache Möglichkeit die Größen an Hand von Fotos zu bestimmen? Ja, es gibt sie.

Die Technik ist nicht neu, nur wenig populär. Sie nennt sich Fotogrammetrie. An Land im Medium Luft wird sie seit über 100 Jahren angewendet und hat auch mit der Digitalisierung und computergestützten Bildauswertung Konjunktur gegenüber anderen Verfahren. Die Grundlagen der Unterwasserfotogrammetrie wurden bereits in den 70iger Jahren wissenschaftlich untersucht (Höhle 1971). Die Auswertungsmethoden gingen jedoch bisher von analogen Bildern aus. Auch war die Anwendung nicht weit verbreitet, da sie sehr kostspielig ist. Die UW-Fotogrammetrie war bisher eher zahlungskräftigen Nutzern wie off-shore-arbeitenden Öl- oder Gasgesellschaften vorbehalten und wurde hauptsächlich von Experten professionell durchgeführt. Heute kann prinzipiell jeder die UW-Fotogrammetrie verwenden. Es stehen eine Reihe digitaler Kameras zur Verfügung zu denen es maßgeschneiderte Gehäuse gibt.

Für die Aufnahme von ebenen, unbeweglichen Objekten reichen Einzelbilder aus, für die Aufnahme von bewegten Objekten wie Fische oder 3D-Objekte, z.B. Schiffswracks jedoch nicht. Eine einfache Möglichkeit zur 3D-Vermessung und Visualisierung bietet uns die Stereofotogrammetrie.

Fotogrammetrie

Die Grundlagen der Fotogrammetrie lassen sich gut an einer einfachen Lochkamera erläutern. Dort verlaufen alle Lichtstrahlen nahezu durch einen Punkt, das so genannte Projektionszentrum, und bilden die aufzunehmenden Objekte auf der Bildebene (Fotoplatte, Film oder Chip) ab. Wenn der Abstand des Zentrums O von der Bildebene, die so genannte Kamerakonstante sowie der Abstand zur Ebene, in dem sich das Objekt befindet, bekannt ist, können alle Strecken in der Objektebene durch Messen der Bildkoordinaten bestimmt werden, siehe auch Abbildung 1. In der Praxis ist aber weder die Kamerakonstante genau bekannt, noch der Abstand zum Objekt. Außerdem befinden sich die aufzunehmenden Objekte oft gar nicht in einer Ebene, z.B. ein Fischschwarm.

$$\boxed{X = m_b \cdot x'} \quad \boxed{Y = m_b \cdot y'}$$

$$\boxed{Z = h = \frac{b \cdot c}{x' - x''}}$$

mit: $\boxed{m_b = \frac{h}{c}}$ oder $\boxed{m_b = \frac{b}{x' - x''}}$

x', y' Bildkoordinaten

X, Y, Z Objektkoordinaten

h senkrechter Abstand von Basis zum Objektpunkt

c Kamerakonstante

b Basislänge

Formel 1

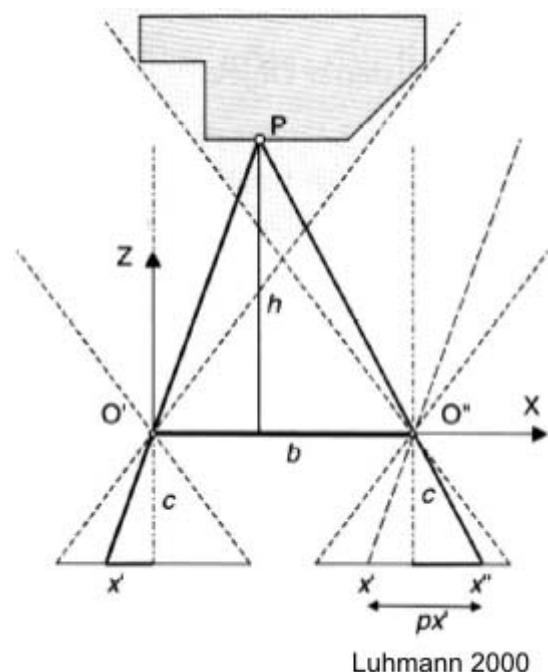


Abbildung 1: Normalfall der Stereofotogrammetrie

Zusätzlich zur unbekanntem Kamerakonstante kommen weitere Abweichungen vom Idealfall der Lochkamera. Die Aufnahmeachse steht nicht exakt senkrecht auf der Bildebene. Die Lichtstrahlen verlaufen nicht alle exakt durch einen Punkt im Objektiv. Es bestehen

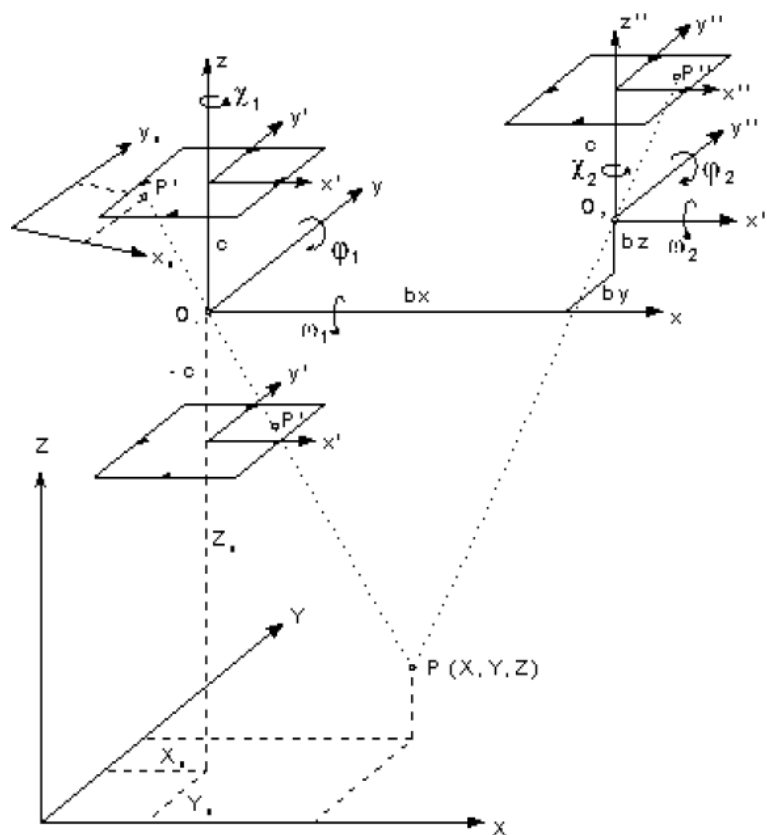
Abbildungsfehler der Optik. Diese Parameter, die für eine genaue Vermessung mit Kameras bekannt sein sollten nennen sich „*innere Orientierung*“ und lassen sich glücklicherweise vorab, oder sogar während der Aufnahmen mittels Kalibrierung bestimmen. Besonders wichtig ist dies für Kameras, die eigentlich nicht für die Fotogrammetrie entwickelt wurden und die wir für die *low cost*-Fotogrammetrie im Fokus haben.

Die Tatsache, dass wir in einem Bild allein ohne weitere Hilfsmittel die Rauminformation nicht richtig messen können, entschärfen wir, in dem wir das zweite Bild nehmen, welches zur selben Zeit aufgenommen wurde. Dabei muss nur die Lage der einen Kamera zur anderen bekannt sein. Das Prinzip ist dasselbe wie beim menschlichen Augenpaar. Versuchen Sie mal mit einem geschlossenen Auge die Entfernung zu schätzen. Wir fotografieren und messen also stereoskopisch und man nennt dieses Verfahren Stereofotogrammetrie. Der Vorteil der Stereofotogrammetrie gegenüber anderen 3D-Verfahren besteht darin, dass die Bilder in einem Stereoskop für die dreidimensionale Betrachtung und Bildauswertung verwendet werden können.

In Formel 1 sehen wir, dass wir zur Berechnung der Koordinaten im Überlappungsbereich der linken und rechten Aufnahme lediglich die Basis b und die Kamerakonstante c kennen müssen. Alles andere ergibt sich aus den Bildkoordinaten, die mit Programmen abgegriffen werden können. Diese Formeln gelten jedoch streng genommen nur, wenn die Aufnahmen parallel zueinander sind, senkrecht zur Basis stehen und die Bildränder parallel ausgerichtet und rechtwinklich zur Basis stehen. Wenn diese Bedingungen erfüllt sind, spricht man vom Stereonormalfall, siehe Abbildung 1.

Die gegenseitige Lage der Kameras wird „*äußere Orientierung*“ genannt. Im Stereonormalfall beschränkt sich die Bestimmung der äußeren Orientierung auf die Vermessung der Basislänge zwischen den Kameras. Bei

geringfügigen Abweichungen vom Normalfall sind die Verschwenkung und Verschiebungen der einen Kamera zur anderen zu bestimmen und zu berücksichtigen. Dies geschieht über die Verwendung von identischen Punkten im Überlappungsbereich der Aufnahmen. Weicht die gegenseitige Lage der Kameras zu stark vom Normalfall ab, spricht man vom Verschwenkungsfall. Dazu kommen andere Berechnungsansätze zur Anwendung. Die Koordinatenbestimmung von Punkten und Linien am Objekt ist zwar auch noch möglich, aber die Auswertung der Tiefeninformation kann nicht mehr durch stereoskopisches Sehen erfolgen. Durch das Aneinanderfügen mehrerer einzelner Bilder zu einem Bildverband ergibt sich jedoch die Möglichkeit größere Objekte ganzheitlich in seiner dreidimensionalen Ausdehnung zu vermessen. Dies ist beispielsweise an einer Darsser Kogge aus dem 13. Jahrhundert vor der Ostseeküste durch den Autor erfolgt (Korduan et. al. 2003).



Quelle: Lehrstuhl für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU-München

Abbildung 2: Geringfügige Abweichungen vom Stereonormalfall

Dass es weitere Verfahren gibt, um die Rauminformation aus Foto- oder Videoaufnahmen zu ermitteln, sei hier nur am Rande erwähnt. So könnte z.B. ein Spiegel, in einer definierten Entfernung parallel vor der Kamera angeordnet sein, so dass ein zu vermessendes Objekt sowohl selbst als auch sein Spiegelbild in der Bildebene der Kamera projiziert wird. Diese und andere auf externen Lichtquellen basierende Verfahren können oft auch nur bedingt unter Wasser angewendet werden.

Unterwasserfotogrammetrie

Fotogrammetrie lässt sich in Luftbild- und terrestrische Fotogrammetrie einteilen. Obwohl es auch Verfahren gibt, bei denen mittels Luftbildern submarine Informationen gewonnen werden, soll es hier um die Nahbereichsfotogrammetrie gehen, (Luhmann 2000). Die Unterwasserfotogrammetrie lässt sich auch der Mehrmedienfotogrammetrie zuordnen, da mindestens ein Übergang der Strahlen von Luft zu Wasser über Glas oder Acryl erfolgt. Die Grundlagen zur verallgemeinerten geometrischen Korrektur sind in Kotowski (1987) gegeben.

Die Unterschiede der UW-Fotogrammetrie gegenüber der Fotogrammetrie an der Luft und an Land lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Die Lichtbrechung am Kameragehäuse ist zu berücksichtigen.
- Die Sicht- und Lichtbedingungen sind schlechter und uneinheitlich.
- Die Zugänglichkeit ist erschwert und damit die Bestimmung der äußeren Orientierung mit terrestrischen Messmethoden nicht möglich.
- Weitere äußere Hindernisse, wie Seegang, mit der Tiefe zunehmender Druck, Strömung, Algen, Bewuchs von stationären Kameras, Eis und eine begrenzte Aufenthaltsdauer unter Wasser für Taucher.

Es bestehen also geometrische, technische und praktikable Unterschiede. Die Lichtbrechung, die an einer ebenen Gehäusescheibe auftritt, kann weitestgehend durch einen Dompport instrumentell korrigiert werden. Auch hier verbleiben jedoch Restfehler und die Kosten dafür sind hoch.

Bildfehler, die durch die Brechung des Lichtes am Port entstehen, können generell als:

- Fehler des optischen Systems in die innere Orientierung hineingerechnet werden oder
- in dem funktionalen Modell mit Abweichung von den Formeln der Zentralprojektion

berücksichtigt werden.

Im Folgenden wird die Korrektur über das funktionale Modell an planen Ports dargestellt.

Planer Port

Durch die Brechung des Lichtes beim Übergang vom Wasser durch die Glasscheibe in die Luft im Kameragehäuse sind Korrekturen an den Bildkoordinaten anzubringen. Es wird von einer radialsymmetrischen Verzerrung ausgegangen, wie sie in Abbildung 3 dargestellt ist. In Formel 2 wird die Korrektur der Bildkoordinaten mathematisch beschrieben. Dabei wird in einen Normalfall mit paralleler Scheibe vor der Kamera und einen Sonderfall mit einem schrägen Port unterschieden.

Die Formeln werden so hergeleitet, dass die Bilder nach einer Korrektur so aussehen, als wären sie an der Luft ohne Gehäuse gemacht worden.

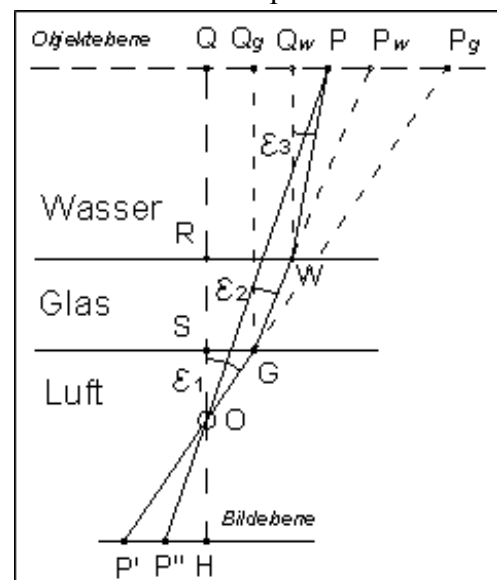


Abbildung 3: Strahlengang mit einem planen und zur Bildebene parallelen Port

Im hier bezeichneten Normalfall wird zunächst von einer zur Bildebene parallelen Platte als Port ausgegangen.

Brechungsgesetz:

$$n_1 \cdot \sin e_1 = n_2 \cdot \sin e_2 \quad \text{mit:} \quad \begin{array}{ll} n \dots \text{Brechungsindex} & \text{und:} \quad n_{\text{Luft}} \approx 1 \\ e \dots \text{Brechungswinkel} & n_{\text{Glas}} \approx 1.75 \\ & n_{\text{Wasser}} \approx 1.33 \end{array}$$

Abbildung des radialen Fehlers durch Brechung

$$\text{in Objektebene: } \Delta r = \Delta r_g + \Delta r_w \quad \text{in Bildebene: } \Delta r' = \frac{\Delta r}{m_b}$$

mit $m_b \dots$ Bildmaßstab und $\Delta r' = \overline{P'P''}$

Über das Brechungsgesetz, die Abbildungsgleichung und die trigonometrischen Beziehungen in den rechtwinkligen Dreiecken aus Formel 2 gelangt man zu folgender Beziehung für $\Delta r'$:

$$\Delta r' = f(r', c_k, g_k, p_k, n_1, n_2, n_3, l_p)$$

mit: $r' = P'H$... radialer Bildabstand

$c_k = HO$... Kamerakonstante

$g_k = OS$... Gehäusekonstante

$p_k = SR$... Portkonstante (z.B. Dicke der Gehäusescheibe)

n_1, n_2, n_3 ... Brechungsindizes der Medien

$l_0 = RQ$... Abstand vom Projektionszentrum zur Objektebene

folgt aus:

$$\Delta r = \overline{PP_G} = (g_k + p_k + l_p) \cdot \tan e_1 - g_k \cdot \tan \varepsilon_1 - p_k \cdot \tan \varepsilon_2 - \tan \varepsilon_3$$

$$\sin \varepsilon_2 = \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin \varepsilon_1$$

$$\Delta r' = r' - \frac{1}{m_b} \cdot [g_k \cdot \tan \varepsilon_1 + p_k \cdot \tan \varepsilon_2 + (l_0 - p_k - g_k) \cdot \tan \varepsilon_3]$$

$$\text{mit: } \sin \varepsilon_3 = \frac{n_1}{n_3} \cdot \sin \varepsilon_1$$

Formel 2: Korrekturwerte zur Berücksichtigung der Brechung im Normalfall

$$\tan \varepsilon_1 = \frac{r'}{c_k}$$

Um die vom Abstand zum Bildmittelpunkt abhängige radiale Korrektur bestimmen zu können, müssen lediglich die Kamerakonstante, die Glasdicke der Gehäusescheibe, der Abstand der Gehäusescheibe vom Projektionszentrum, der Objektabstand und die Brechungsindizes der Medien bekannt sein. Außer dem Objektabstand werden hier die anderen Größen als konstant angesehen. Es sind ebene, zur Bildebene parallele und nicht ebene Aufnahmeobjekte zu unterscheiden. Bei ersteren lässt sich der Objektabstand leicht über einen Maßstab im Objektraum bestimmen. Bei nicht ebenen Objekten wird die Mehrbildauswertung angewendet. Dabei müssen die Brechungsindizes von Glas und Wasser, der Abstand des Gehäuseglases vom Projektionszentrum und die Glasdicke als 4 bekannte Größen sowie die Parameter für die radiale Entzerrungsfunktion als unbekannte Größen in die Ausgleichung einfließen. In Li et.al. (1991) wurde eine ähnliche Korrekturfunktion für die stereoskopische Auswertung verwendet.

Darüber hinaus ist zu betonen, dass der Einfluss eines schief zur Bildebene stehenden Gehäuseports zusätzliche radialasymmetrische und tangentialer Verzerrungen hervorruft. Im folgenden Abschnitt werden Formeln zur Berücksichtigung dieses Fehlereinflusses dargestellt.

Planer Port – Schräge Scheibe

Wie man aus der Formel 3 leicht ablesen kann, ergibt sich bei einer Gehäusescheibenneigung von $\beta=0$ die gleiche Formel wie im Normalfall. Die Gehäuseneigung β ist die Neigung der Scheibe in der Richtung vom Bildhauptpunkt hin zum Bildpunkt, für den der Korrekturwert berechnet werden soll. Sinnvollerweise gibt man für die Neigung der Scheibe die Neigung ζ in x-Richtung und die Neigung ξ in y-Richtung an und berechnet sich die Neigung β in Abhängigkeit vom Richtungswinkel zum Punkt P' im Bildkoordinatensystem. Hinzu kommen noch die Ungenauigkeiten der oben als konstant angenommenen Werte, wie Portdicke, Portparallelität und Brechungsindizes. Auch wenn abzuschätzen ist, dass diese Fehlereinflüsse geringere Auswirkungen im Verhältnis zu den anderen besprochenen haben, sind diese jedoch noch zu untersuchen.

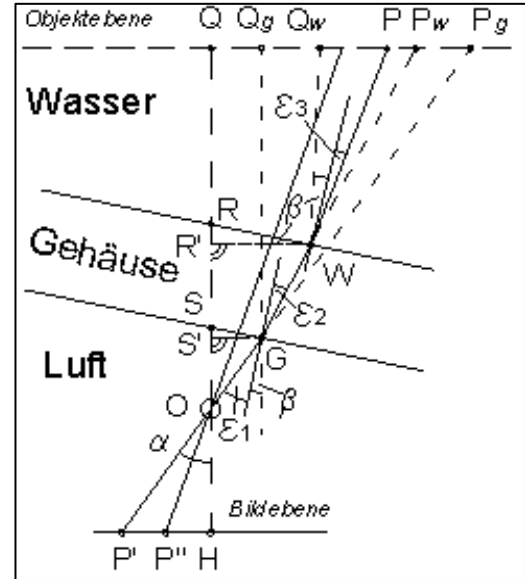


Abbildung 4: Strahlengang mit einem zur Bildebene schrägen Port

$$m_b := \frac{l_0}{c_k} \quad \alpha := \operatorname{atan}\left(\frac{r'}{c_k}\right) \quad \varepsilon_1 := \alpha - \beta \quad \varepsilon_2 := \operatorname{asin}\left(\frac{n_1}{n_2} \cdot \sin(\varepsilon_1)\right) \quad \varepsilon_3 := \operatorname{asin}\left(\frac{n_1}{n_3} \cdot \sin(\varepsilon_1)\right)$$

$$OS' := g_k \cdot \left[\frac{1}{(1 + \tan(\alpha) \cdot \tan(\beta))} \right] \quad S'R' := \frac{p_k}{\cos(\varepsilon_2)} \cdot \cos(\beta + \varepsilon_2) \quad R'Q := l_0 - OS' - S'R'$$

$$\Delta r' := r' - \frac{1}{m_b} \cdot (OS' \cdot \tan(\beta + \varepsilon_1) + S'R' \cdot \tan(\beta + \varepsilon_2) + R'Q \cdot \tan(\beta + \varepsilon_3))$$

Formel 3: Korrekturwerte zur Berücksichtigung der Brechung bei geneigter Gehäusescheibe

Die Werte g_k , p_k , n_2 sowie die Neigungen ζ und ξ stellen zusätzliche Konstanten der inneren Orientierung einer Unterwasserkamera mit planer Gehäusescheibe dar. Sie können für eine Gehäusekonstruktion vorab bestimmt und für die Berechnung von Bildern, die der Zentralprojektion entsprechen, verwendet werden.

3 Konzeption

Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben ergeben sich verschiedene Möglichkeiten für die fotogrammetrische Unterwasservermessung. Sie sind unterschiedlich aufwendig zu realisieren und auszuwerten. Die optimale Methode muss sich an den örtlichen Gegebenheiten, Rahmenbedingungen und der gewünschten Genauigkeit orientieren. In unserem Fall sind dies die Bedingungen, die durch das Projekt für das künstliche Riff vor Nienhagen gegeben waren. Im Abschnitt 6 wird auf das Projekt noch näher eingegangen. Gleichzeitig sind diese Rahmenbedingungen aber auch vielerorts anzutreffen und vergleichbar mit anderen Anwendungen, wie sie im Abschnitt 6 aufgezeigt werden.

Natürliche Voraussetzungen

Die Beobachtungen sollen in etwa 10 m Tiefe unter Wasser stattfinden. Das Wasser ist die überwiegende Zeit des Jahres mit Sichtweiten über 3 m recht klar. Insbesondere bei verstärktem Wachstum planktischer Algen kann die Sicht aber auch unter 1m fallen. Es treten Sprungschichten in unterschiedlichen Höhen und auch unmittelbar über dem Meeresboden auf.

Der Salzgehalt wechselt und es können Strömungen bis zu 1 m/s aus wechselnden Richtungen auftreten.

Technische Voraussetzungen

Die Beobachtung der UW-Objekte soll stationär über mehrere Monate vom Frühjahr bis zum Spätherbst erfolgen. Für eine Videoüberwachung des Objektraumes stehen bis zu 8 Unterwasserkameras (gebaut von Axel Kordian) zur Verfügung. Die Videosignale werden gebündelt und in einem Bild mit mehreren Frames übertragen. Ein weiterer Kanal steht für die Ansteuerung eines Messsystems zur Verfügung. Zur Stromversorgung steht ein solar nachgeladener Akku mit 12V Spannung bereit. Von diesem kann in der Größenordnung von etwa 500 mA Strom für das Messsystem abgenommen werden. Die Messeinrichtung soll auch im mobilen Betrieb verwendet werden können. Alle verwendeten Bausätze und -teile, deren Einsatz und Funktion nachfolgend beschrieben wird, sollen mit dieser Eingangsspannung von 12 V arbeiten können.

Finanzielle und zeitliche Rahmenbedingungen

Eine der wichtigsten Bedingungen, die bei der Durchführung des Projektes erfüllt sein sollte, war die möglichst kostengünstige Realisierung. Bei der Beschaffung der benötigten Bauteile wurde daher auf konfektionierte Einzelteile Wert gelegt. Die Beschaffungskosten für die Kameras sollten sich möglichst im unteren Preissegment bei unter 200 EUR befinden. Damit wird den Anforderungen einer kostengünstigen Nachnutzung und der Gefahr des Diebstahls im Freiwasser Rechnung getragen. Die Einrichtung der Möglichkeit zur Vermessung sollte nach der Wiederaufrichtung des Messmastes im Frühjahr 2004 beginnen und spätestens mit Ende des Sommers 2004 realisiert sein. Die Online-Verfügbarkeit der Vermessung kann später erfolgen. Das heißt die Hardwarekomponenten zum Messen müssen als erstes installiert werden, die Daten können zunächst zwischengespeichert werden und später ausgewertet werden. Wenn ein Rechner auf dem Messmast ansteuerbar ist, muss eine Online-Verfügbarkeit des Messsystems realisierbar sein.

Kriterien zur Beschaffung der Kamera

Zur Auswahl der Kameras wurden folgende Kriterien angesetzt:

- Die Kameras sollten einen Fixfokus oder fest einstellbarer Fokus (kein Autofokus) haben, da die Kamerakonstante bestimmt werden und konstant bleiben muss.
- kein optischer Zoom bzw. eine oder mehrere fest einstellbare Brennweiten unter anderem wegen der festen Kamerakonstante
- möglichst geringe Brennweite, da mit planem Port gearbeitet werden soll
- externe Stromversorgung wegen langer Betriebszeit
- Ein externer Blitzanschluss ist nicht zwingend erforderlich, da mit Tageslicht fotografiert werden soll.
- externe Ansteuerung der Kamera für Bilderdownload
- dauerhafter Stand-By-Modus (Kamera darf nicht selbständig komplett abschalten bzw. muss sich extern anschalten lassen)
- Tiefenschärfenbereich mindestens ab 0,5 cm
- Auflösung von mindestens 2 Mio. Pixel bzw. 1600 x 1200
- Kosten für einzelne Kamera unter 100 EUR

Als günstig erweist sich, das gerade die Kameras mit Fixfokus und ohne optischen Zoom zu den preisgünstigsten zählen. Diese Kameras sind aber in der Regel auch mit weniger Zusatzfunktionen ausgestattet, was die externe Ansteuerung betrifft.

4 Realisierung

Gehäuse

Für das Gehäuse wurden zwei dickwandige PVC-Röhren aus dem Sanitärbereich verwendet. Diese wurden uns freundlicherweise durch die CEWA GmbH Co. KG Röhrengroßhandel Ribnitz-Damgarten zur Verfügung gestellt. In die Schnittflächen der Rohrwandungen wurden auf der zum Öffnen vorgesehenen Seite jeweils Nuten für die Aufnahme von O-Ringen gefräst. Die Front-Acrylscheiben wurden aufgeklebt. Die beiden Rückendeckel werden durch den Zug der Verschraubung von jeweils 6 Gewindestangen auf den O-Ring gepresst,

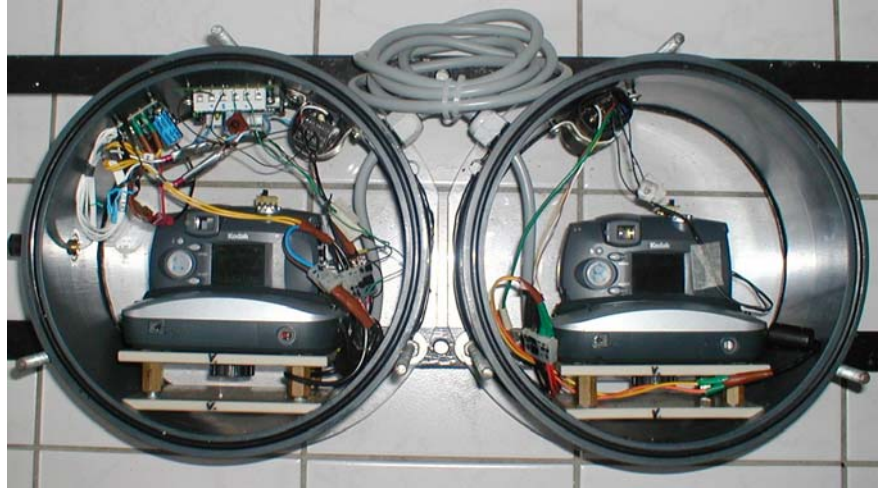


Abbildung 5: Gehäuse und Rahmen mit eingesetzten Kameras

um die Gehäuse zu verschließen. Auf der Oberseite ist je eine Durchführung (Quetschkupplung) zur Aufnahme eines 7-adrigen, gummiummantelten Kabels eingeklebt, welches für die Übertragung von Schaltströmen vorgesehen ist. Beide Gehäuseteile wurden anschließend nebeneinander auf einen Metallrahmen montiert. Der Rahmen ist größer dimensioniert als es für den zunächst avisierten Anwendungsfall nötig wäre. Die große Dimensionierung ist insofern von Vorteil, da durch nachträglich anzubringende zusätzliche Bohrungen im Rahmen die Nahbereichsgrenze der Tiefenschärfenzone variiert werden kann. Die Rahmenkonstruktion und Gehäuseteile wurden von Mitarbeitern der Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik der Universität gefertigt.

Kamerabeschaffung

Eine Recherche im Internet ergab, dass folgende Modelle prinzipiell für die Aufgaben geeignet sind: Fujifilm FinePix A202, Kodak CX3500, Kodak CX4200, Kodak CX 6200, Casio Exilim EX-S20, Concord Eye-Q Go Wireless, Hewlett-Packard Photosmart 435, BenQDC2300, Yakumo Mega Image VI, Umax AstraPix 540.

Wir haben uns für die Kodak DX 3500 entschieden, da sie die Voraussetzungen erfüllt und über ein Internet-Auktionshaus günstig zu beschaffen war. Zu den Kameras gehören Dockingstationen für die externe Stromversorgung.

Auslösung

Die beiden Kameras mussten für den Einbau in ein wasserdichtes Gehäuse modifiziert werden. Um Stereobilder von den zu vermessenden Objekten zu erhalten, müssen die Kameras *quasi* gleichzeitig auslösen. Dies haben wir mit einem elektrischen Schaltsignal realisiert, da dieses auch extern ausgelöst werden kann. Daher wurde zuerst die manuelle Auslösung geändert. Das Kameramodell besitzt einen mechanischen Druckpunktschalter. Dessen drei elektrische Kontakte (auf der Platine werkseitig mit A, C, und D bezeichnet) wurden mit Feindrähten nach außen verlegt. Das Überbrücken von zwei Kontakten (A und D) setzt beim verwendeten Kameramodell die Belichtungsmessung in Betrieb; das Überbrücken aller drei Kontakte löst die Kamera aus. Das Überbrücken aller drei Kontakte erfolgte mit jeweils einem Relais pro Digitalkamera und UW-Gehäuse. Die Relais werden parallel mit dem Schaltstrom versorgt.

Stromversorgung

Die Gewährleistung einer gleichmäßigen Stromversorgung unter Wasser ist das größte Problem für einen Langzeit-Einsatz des Systems. Wir sind davon ausgegangen, dass potentielle Anwender von UW-Technik am häufigsten mit einer Gleichspannung von 12 V arbeiten werden. Um das System einen möglichst langen Zeitraum ohne Akku-Wechsel betreiben zu können und u.U. das Stereokamerasystem nicht der einzige Verbraucher am Einsatzort ist (z.B. zusätzliche Videokameras zur Bildausschnittbetrachtung), sollte der Stromverbrauch weitestgehend gering gehalten werden. Zur Versorgung der Kameras wird mit einem Transformatorschaltkreis (ebenfalls als Bausatz in Elektronikfachgeschäften erhältlich) die Eingangsgleichspannung von 12 V auf die für die Dockingstationen der Kameras notwendigen 7 V heruntergeregelt.

Blitzlicht

Das kameraintegrierte Blitzlicht kann für die Aufnahmen im UW-Gehäuse nicht verwendet werden, da es zu Frontalreflexionen an der Innenseite der Scheibe und an Schwebeteilchen im Wasser führen würde. Die Kameras stehen jedoch im Standardmodus auf Autoblitz. Das würde bei den Lichtverhältnissen unter Wasser immer zum Auslösen des Blitzlichtes führen. Um dies zu verhindern, wurde in beide Kameras ein Schalter eingebaut, mit dem die Stromversorgung des eingebauten Blitzgerätes manuell unterbrochen werden kann. Zusätzlich muss die Kamera im „Blitz aus“-Betriebsmodus gehalten werden, sonst berechnen die Algorithmen der Belichtungselektronik eine falsche Belichtungszeit.

Betriebsmodus

Ein weiteres Problem musste für den Dauerbetrieb der Kameras gelöst werden. Das verwendete Kameramodell wurde vom Hersteller so konstruiert, dass die Kamera nach gewissen Zeiträumen automatisch die Betriebsmodi ändert und letztlich sogar in einen *deep sleep*-Modus verfällt. Dabei stellen sich alle manuell geänderten Kameraeinstellungen auf die Werksvoreinstellung zurück. Der aktuelle Betriebsmodus kann erhalten werden, wenn in einer Zeitspanne von 8 Minuten mindestens einmal ein Bedienelement der Kamera betätigt wird. Für einen mobilen Betrieb der Kamera mit manueller Auslösung hätten zwei weitere Durchführungen am UW-Gehäuse zur Blitzlichtbedienung ausgereicht. Für einen dauerhaften Stationärbetrieb mit Bedienung über eine Fernauslösung (Funkstrecke) muss der *deep sleep*-Modus jedoch auf andere Art und Weise verhindert werden, da mit dem Funksignal nur die Auslösung angesteuert werden kann. Es wurde daher jeweils der Belichtungsmessvorgang der Kamera mit einer regelbaren Intervallschaltung (handelsüblicher Bausatz erhältlich in Elektronikfachgeschäften), welche in ein Gehäuse eingebaut wurde, getriggert. Dazu werden die Kontakte A und D der Auslöseplatine in Abständen von 15 sec parallel an beiden Kameras überbrückt.

Kabelanschluss

Wichtig für die Verwendung der Kameras in den Bedienungsvarianten „mobil“ sowie „stationär“ und einen problemlosen Wechsel unter Wasser zwischen diesen beiden ist, dass nicht nur der Auslösekontakt für die Schaltrelais nach außen verlegt wird, sondern auch deren Stromversorgung sowie die Bedienung der Intervallschaltung und Kameras von außerhalb des UW-Gehäuses erfolgen kann. Für diesen Zweck wurde in das Gehäuse, welches Intervall- und Spannungswandlerbausatz enthält, eine nasswechselbare Steckerbuchse von SUBCONN für Schalter und Stromversorgung eingeklebt.

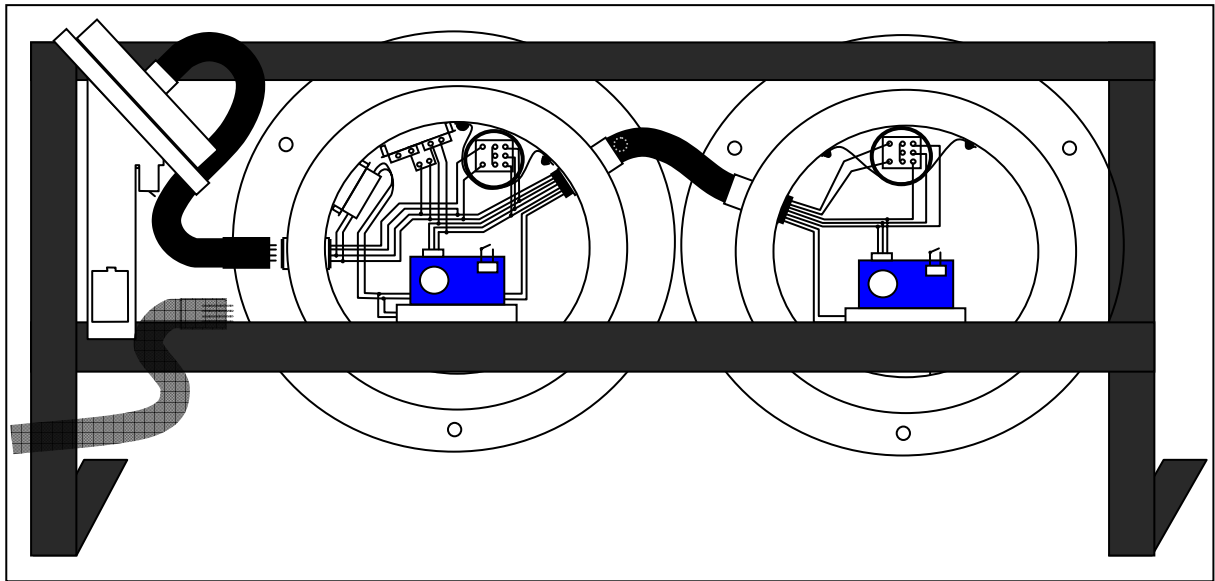


Abbildung 6: Detailskizzen zur Fertigung

Mobilschalter

Aus einem ausgemusterten UW-Lampengehäuse wurden der Mobilschalter und die mobile Stromversorgung gefertigt. Die Kabelverbindung wurde mit einer in den Reflektorport geschraubten, O-Ring-gedichteten Quetschkupplung durchgeführt. Mobilschalter bzw. Kabelbaum zum stationären Versorgungsmodul besitzen jeweils nasswechselbare SUBCONN Stecker.

Kameraausrichtung

Die stereoskopische Vermessung mit zwei Einzelbildern sollte im angenäherten Normalfall erfolgen. Um die Kameras in den Gehäusen zueinander ausrichten zu können, wurden sie mit ihren Dockingstationen auf verstellbare Tische montiert. Die Tische besitzen für die Justierung jeweils drei Schraub-Beine, so dass man die Hauptachse des Objektivs in allen Ebenen des Koordinatensystems ausrichten kann.

5 Kalibrierung

Die Kameras müssen kalibriert und die Korrekturwerte für die Lichtbrechung unter Wasser berücksichtigt werden. Für die Kalibrierung in den Medien Luft, Süßwasser und Salzwasser wurde ein Punktrasterfeld in der Größe 80x80cm angefertigt und doppelt laminiert. Die Punktgröße beträgt 10mm, die Rasterweite hat einen Abstand von 25mm. Um die Raumlage des Rasterfeldes im Bild erkennen zu können, sind die Ecken des Quadrats im Zentrum der Fläche mit den Zahlen 1 bis 4 bezeichnet; der Schnittpunkt der Rasterdiagonalen ist hervorgehoben. Das Punktraster wurde auf eine ebene Fläche aufgeklebt und mit kurzen Fußstelzen versehen. Die Fußstelzen sollen weitestgehend verhindern, dass am Meeresgrund treibende Algen während der Kalibrieraufnahmen in den Bildausschnitt geraten und damit die Auswertung über Bildmatching-algorithmen erschwert wird.

Die Kalibrierung erfolgt in zwei Schritten. Zunächst wurden die Kalibrieraufnahmen an der Luft, im Schwimmbecken in Süßwasser und im Salzwasser in der Ostsee in der Nähe und der Tiefe des Einsatzortes durchgeführt, siehe Abbildungen. Im zweiten Schritt werden die Kalibrierfotos ausgewertet.

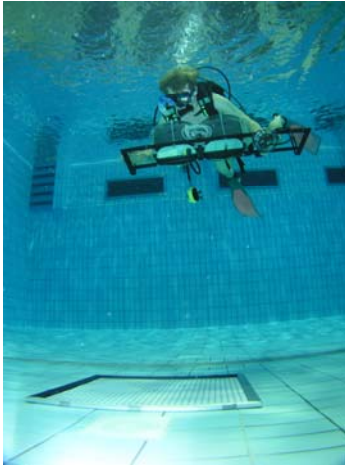


Abbildung 7: Kamerasystem im mobilen Einsatz während der Kalibrierung
(Foto: G. Niedzwiedz)

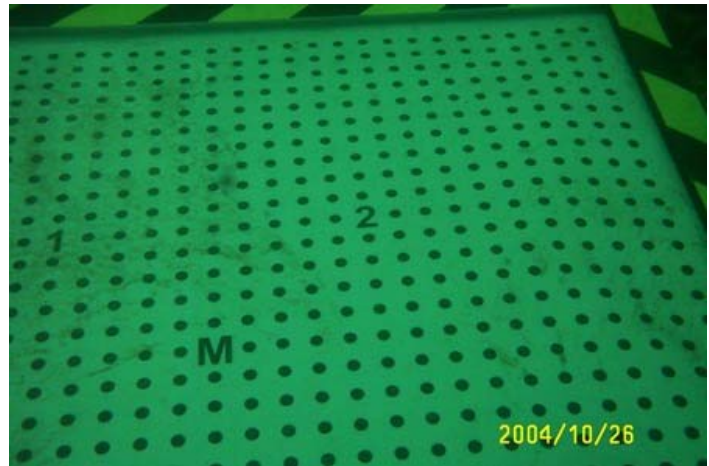


Abbildung 8: Kalibrieraufnahme in der Ostsee unter Wasser mit der linken Kamera

Zur Auswertung kommt das Programm „Australis“ zum Einsatz. Damit können verschiedene Kalibrierverfahren durchgerechnet werden. Die Ergebnisse der Kalibrierungen in den unterschiedlichen Medien werden mit den funktional ermittelten Korrekturen verglichen. Es soll nachgewiesen werden, dass für eine Genauigkeit im cm-Bereich eine Kalibrierung über Wasser ausreicht und die Lichtbrechung an der Gehäusescheibe unter Wasser lediglich durch den funktionalen Ansatz wie oben beschrieben und den Brechungsindex berücksichtigt werden kann. Die entsprechenden Auswertungen werden am Institut für Management ländlicher Räume der Universität Rostock durchgeführt.

6 Anwendungen

Als Haupteinsatzgebiete für das vorgestellte System kristallisieren sich drei Bereiche heraus:

- Monitoring- und Dokumentationsaufgaben in der ökologischen Forschung im marinen und limnischen Bereich (v. a. in der Fischereibiologie)
- Objektvermessung an ingenieurtechnischen Anlagen unter Wasser
- Objektvermessung und Lagemessungen im Raum in der UW-Archäologie

Vor allem Institute, Büros und Vereine, die im Rahmen von knapp kalkulierten und streng budgetierten Einzelprojekten Untersuchungen im Unterwasserbereich durchführen, dürften ein hohes Interesse an einer kostengünstigen Lösung für die UW-Objektvermessung haben.

Die Einsatzmöglichkeiten werden jedoch entscheidend durch den geplanten Bedienungsmodus (stationär oder mobil) bestimmt. Die Anwendungsfelder der vorgestellten Technik verdeutlichen sich, wenn man sich die wichtigsten Merkmale vor Augen führt, die unsere Entwicklung von anderen existierenden Systemen abgrenzen und sich die wesentlichen, einschränkenden Parameter für eine Benutzung unter Wasser vergegenwärtigt.

Die kennzeichnenden Vorzüge des Systems sind:

- besonders **kostengünstige** Realisierung
- Möglichkeit der Vermessung von **lebenden** Objekten unter Wasser
- Zeit- und Kostenersparnis unter Wasser durch **digitale** Datenerhebung und -haltung
- Möglichkeit der Bedienung in **verschiedenen** Modi (z.B. mobil oder stationär über Funkstrecke)

Fischmonitoring am künstliches Riff vor Nienhagen

Am künstlichen Riff vor dem Ostseebad Nienhagen, welches 1996 erstmalig eingerichtet und im Jahre 2003 wesentlich erweitert wurde, werden verschiedene wissenschaftliche Fragestellungen

untersucht. Dazu zählen grundlegende Untersuchungen zur ökologischen Wertigkeit künstlicher Habitats und ihrer Effekte in der maritimen Umwelt, die Analyse der Veränderung der fischereilich-technischen und touristischen Wertigkeiten sowie Untersuchungen zur Besiedlungsökologie. Im Rahmen dieses Projektes, welches durch das Institut für Fischerei Rostock der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern koordiniert wird, werden auch Methoden der visuellen Beobachtung des Fischverhaltens und längerfristiger ablaufender Prozesse angewendet. Hauptsächlich werden dabei Videokameras eingesetzt, deren Signale zusammen mit eingeblendeten Messwerten über eine Funkstrecke in das Internet eingespeist werden sollen. Zusätzlich zur überwachenden und dokumentierenden Funktion sollen Methoden zur Größenbestimmung von unter Wasser vorbeischwimmenden Objekten untersucht werden. Dabei sollen vor allem photogrammetrische Verfahren eingesetzt werden, (Niedzwiedz 2003).

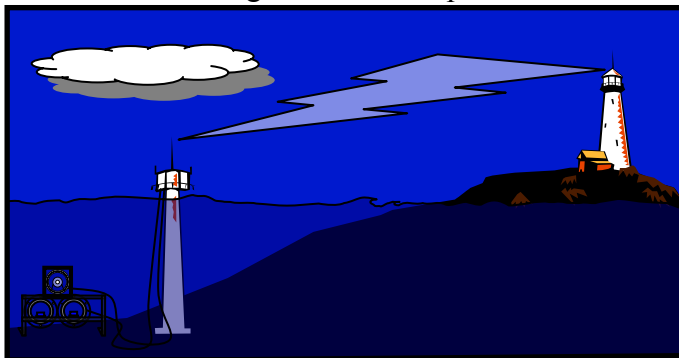


Abbildung 9: Konfiguration des Systems am künstlichen Riff vor Kühlungsborn

Im stationären Einsatz der UW-Stereokamera in 11m Wassertiefe steht ein Akku am Fuße des Messmastes zur Verfügung. Die Kameras werden über ein Unterwasserkabel verbunden. Um vorüberschwimmende Fische im Tiefenschärfenbereich bzw. Bildausschnitt der Kameras registrieren zu können, ist eine Fernbedienung der Kameras nötig. Dazu wurde zusätzlich eine Videokamera am Rahmen der Stereokamera montiert, mit der der Bildausschnitt einsehbar ist. Bei Betrachtung der über Funk übertragenen Videobilder (siehe Abbildung 9) kann nun die Aufnahme des Stereopaars ausgelöst und später nach dem Auslesen der Bilder vom Speicherchip ausgewertet werden. Die Bildpaare lassen sich über den Zeitstempel im Bild zuordnen. Für die Ausmessung der Bilder und die Berechnung der Strecken im Stereoausschnitt wird ein einfach zu handhabendes Programm entwickelt, welches sich auch für Internetanwendungen eignet. Wenn eine Anbindung der Kamera an das Internet realisiert ist, kann die Vermessung auch online über einen Internet-Browser erfolgen. Das Ziel ist, dass der Nutzer im Internet das Videobild betrachten und über eine URL-Anfrage die Kameras auslösen kann. Anschließend sollen die Bilder heruntergeladen werden können und zur Auswertung zur Verfügung stehen. In den Bildern müssen dann nur die beiden Punkte in beiden Bildern gesetzt werden und die 3D-Streckenlänge wird berechnet und angezeigt. Die technische Komponente ist bereits realisiert und einsatzbereit.

Weitere Anwendungsfälle

Spezifische Anwendungsfälle bilden zum Beispiel Funktionskontrollen zur Durchgängigkeitsprüfung an Fischaufstiegsanlagen. Ein aufwendiges Absperren der Fischaufstiegsanlagen mit Netzen und die fischschädliche Handvermessung der einzelnen, gefangenen Individuen wäre durch vorübergehende Montage des Kamerasystems in geeignete Becken von Schlitz-Fischpässen oder in Rauhgerinnebecken entsprechender Fischpässe nicht mehr notwendig. Auch Antworten auf verschiedene ökologische Fragestellungen lassen sich mit der beschriebenen Technik bei Vorliegen erwähnter Randbedingungen finden. Gedacht ist beispielsweise dabei an die Untersuchung von Wanderungsbewegungen rheophiler Fischarten im Rhithral, da hier Breite, Tiefe und Durchsichtigkeit der Gewässer die Ausbeute verwertbarer Ergebnisse begünstigt.

Auch für biomechanische Untersuchungen diverser Schwimmbewegungen in Aquarien und Strömungskanälen oder -becken, wo die direkte Beobachtung des interessierenden Objektes

durch seitliche Sichtfenster möglich ist, sind mit dem Einsatz des Kamerasystems Messergebnisse zu erzielen, die sonst nur schwierig bzw. überhaupt nicht zu erreichen sind.

Bei Entwicklung und Einbindung zusätzlicher technischer Lösungen sind auch noch andere Varianten der Kamerasteuerung ausführbar. Hierbei sei vor allem an selbsttätige Auslöser (Bewegungsmelder wie fotoelektrische Schranken oder Infrarotsensoren, Videobildfallen) gedacht, die den Auslösevorgang automatisieren und damit eine von der unmittelbaren Beobachtung unabhängige Verwendung des Systems bei verschiedenen ökologischen oder fischereibiologischen Aufgaben im Bereich Monitoring möglich wäre. Ein konkreter Anwendungsbereich, der davon profitieren könnte, wäre bei Vorliegen der Randbedingungen die Beobachtung und Beurteilung des Abwachsens verschiedener Fischgenerationen in fischereiwirtschaftlichen Anlagen ohne eine Fischentnahme.

Vielfältige Vermessungsaufgaben an verschiedenen ingenieurtechnischen Offshore-Anlagen im Mobilbetrieb unter Wasser sind ebenfalls als praktische Anwendung des Systems denkbar. Ein Vorteil des Kamerasystems wird hierbei in dessen Verwendung in stark gezeitenbeeinflussten Meeresbereichen gesehen, wo dem Taucher nur ein kleines, strömungsfreies Zeitfenster zwischen Ebbe und Flut für eine Vielzahl von Messungen zur Verfügung steht. Ebenso sind auch verschiedene Vermessungsaufgaben in der UW-Archäologie und bei Schiffsbodenuntersuchungen als Anwendungsfälle unseres Kamerasystems vorstellbar.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde ein Stereokamerasystem für den Unterwassereinsatz konzipiert und gebaut. Diese lässt sich sowohl über ein Kabel fernauslösen als auch im mobilen Betrieb benutzen. Es erlaubt die synchrone Aufnahme von digitalen Bildern, die die stereoskopische Auswertung insbesondere die Streckenvermessung an Objekten, z.B. Fischen, erlaubt.

Kombiniert mit einer Videoüberwachungskamera wird das System zum ferngesteuerten Langzeitmonitoring der Fischpopulation am Künstlichen Riff in der Ostsee eingesetzt. Das Stereokamerasystem setzt sich aus konfektionierten Einzelteilen zusammen und hat einen Materialpreis von unter 400 €. Es ist geeignet für jegliche andere UW-Objekte in der Größe, die mit einer Aufnahme erfasst werden können. Mit dieser Kamera werden praktikable Kalibriermethoden ermittelt, die auf den Amateurbereich übertragen werden können. Damit soll allen UW-Fotografen die Möglichkeit gegeben werden einfach und kostengünstig Fotogrammetrie zu betreiben. Ziel ist die Verfassung eines Handbuches der digitalen Unterwasserfotogrammetrie für den Amateurbereich.

Gegenwärtig werden die Bilder auf SD-Karten gespeichert und müssen regelmäßig ausgelesen werden. Es ist geplant einen UW-USB-Anschluss zu den Kameras zu realisieren. Damit ließen sich weitere Einstellungen an den Kameras steuern. Man könnte auf die Intervallschaltung zur Unterdrückung des *deep sleep*-Modus im Gehäuse verzichten und die Bilder online herunterladen. Damit kann eine Echtzeitvermessung über das Internet realisiert werden. Ein entsprechender Dienst ist in Planung. Im Bereich des Monitoring ist eine Automatisierung wünschenswert. Dazu können Bildmatching- und Bilderkennungsalgorithmen verwendet werden, die an die besonderen Verhältnisse wie Kontrastarmut und Dunkelheit bei Unterwasseraufnahmen angepasst sein müssen. Weitere Entwicklungsmöglichkeiten bestehen bei der Integration von unter Wasser befindlichen Sensoren in interoperable Informationsinfrastrukturen.

8 Literaturverzeichnis

- Li, R., Tao, C., Curran, T., Smith, R. (1996): Digital Underwater Photogrammetric System for Large Scale Underwater Spatial Information Acquisition. - Marine Geodesy, 20: 163-173.
- Höhle, J. (1971): Zur Theorie und Praxis der Unterwasser-Photogrammetrie. München, in: Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Dissertationen, Bayerische Akademie der Wissenschaften in Kommission bei der C.H.Beck'schen Verlagsbuchhandlung München
- Kotowski, R. (1987): Zur Berücksichtigung lichtbrechender Flächen im Strahlenbündel, in: Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Dissertationen, Bayerische Akademie der Wissenschaften in Kommission bei der C.H.Beck'schen Verlagsbuchhandlung München
- Korduan, P., Förster, T., Obst, R. (2003): Unterwasser-Photogrammetrie zur 3D-Rekonstruktion des Schiffswracks "Darßer Kogge", in: Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, Nr. 5, S. 373 - 381
- Luhmann, T. (2000): Nahbereichsphotogrammetrie, Wiechmann Verlag, Heidelberg
- Niedzwiedz, G. (2003): Künstliches Riff vor Nienhagen, Internet: www.uni-rostock.de/riff

Anschriften der Autoren:

Dr. Peter Korduan
 Universität Rostock
 Institut für Management ländlicher Räume
 Justus von Liebig Weg 6
 18059 Rostock

Dipl.-Biol. Dirk Lämmel
 17235 Neustrelitz
 Parkstrasse 11
 Email: dirk.laemmel@t-online.de

Email: peter.korduan@uni-rostock.de