

Unterwasser-Photogrammetrie zur 3D-Rekonstruktion des Schiffswracks „Darßer Kogge“

PETER KORDUAN, THOMAS FÖRSTER & ROLAND OBST, Rostock

Keywords: underwater archaeology, ship wrack, underwater photogrammetry, medium refraction, 3D-modelling

Summary: *Underwater-Photogrammetry for 3D-Reconstruction of the Ship Wreck "Darßer Kogge"*. This article describes the photogrammetric documentation of the ship wrack "Darßer Kogge". A historical review gives information about the wrack which was found for the first time in 1977. Previous survey supplies two-dimensional plans and photo-mosaics. Problems with underwater photogrammetric measurements with plane camera port are discussed. Photographs taken with a dom-port camera were used for 3D-reconstruction of the ship hull.

Zusammenfassung: In diesem Beitrag wird die photogrammetrische Dokumentation für das Schiffswrack „Darßer Kogge“ beschrieben. Ein historischer Rückblick gibt Informationen über das Wrack, das 1977 gefunden wurde. Die ersten Vermessungen erbrachten zweidimensionale Pläne und Fotomosaik. Es folgt eine Problemdiskussion zur Anwendung der Unterwasser-Photogrammetrie mit planen Gehäusescheiben. Für die 3D-Rekonstruktion des Schiffskörpers wurde eine Dom-Port-Camera zur Aufnahme der Fotos eingesetzt.

Einleitung

Die Dokumentation von Fundstellen spielt in der Archäologie seit jeher eine besondere Rolle. Durch die systematische archäologische Prospektion vor der Küste von Mecklenburg-Vorpommern konnten in der Ostsee seit 1989 über 750 Fundstellen lokalisiert werden, die bis zur politischen Wende für Forschungen kaum zugänglich waren. Bedingt durch die Erfordernisse einer aktiven Bodendenkmalpflege bildeten die Arbeiten an acht spätmittelalterlichen Schiffswracks und zwei Hafenanlagen den besonderen Schwerpunkt der Untersuchungen. Dazu gehört auch das Wrack einer Kogge, welches erstmalig in den 70iger Jahren von Rettungsschwimmern vor dem Darß entdeckt und grob dokumentiert wurde.

Systematische archäologische Untersuchungen an Schiffswracks und Hafenanlagen vor der Küste von Mecklenburg-Vorpommern erbrachten im letzten Jahrzehnt

zahlreiche neue Ergebnisse zum maritimen Alltagsleben und zum Seehandel des Spätmittelalters. Die im Rahmen von Grabungen geborgene Sachkultur ergänzt das vorhandene Quellenmaterial um wichtige Aspekte, so dass zusammen mit den Schrift- und Bildquellen ein sehr viel facettenreicher Einblick auf das Leben an Bord von spätmittelalterlichen Schiffen ermöglicht wird. Es lässt sich erkennen, dass das tägliche Leben auf See durch die Größe, die Aufgabe und das Fahrtgebiet des jeweiligen Seefahrzeugs geprägt sind. Diese Faktoren wirken sich auf die Ausrüstung des Schiffes, die Proviantierung und die persönliche Habe der Besatzung aus. Da die Fahrtstrecke, die eine Besatzung bewältigen musste, von besonderem Aussagewert ist, wird in der Betrachtung neben dem Schiff auch auf noch vorhandene Ladung ein Schwerpunkt der Untersuchungen gelegt.

In diesem Beitrag soll es jedoch um die konstruktiven Teile des Schiffes gehen. Mit

der Unterwasser-Photogrammetrie (UW-Photogrammetrie) wird eine Methode beschrieben, die im Bereich der Archäologie trotz der frühen Arbeiten (z. B. HÖHLE 1971) noch nicht weit verbreitet ist. Die noch dominierende Methode, die herkömmliche Vermessung von Wracks mit Messband, Hilfsgerüsten, Freihandzeichnungen und Bildmosaiken, ist zweidimensional. Aber gerade die Möglichkeit zur 3-dimensionalen berührungslosen Auswertung mit kurzen Messzeiten unter Wasser und der gleichzeitigen flächendeckenden Photodokumentation macht die Mehrbild-Photogrammetrie für die UW-Archäologie sehr interessant. Schnellere und flächendeckende Verfahren zur Dokumentation von Holzschiffen und -fundstücken in der südlichen Ostsee gewinnen auch durch den aus westlicher Richtung zunehmenden Befall der Wracks durch die Pfahlbohrmuschel „*Teredo Navalis*“ an Bedeutung.

Im Projekt „Monitoring, Safeguarding and Visualizing North-European Shipwreck Sites“ (MoSS) werden Möglichkeiten zur Nutzung von zukunftsweisenden Technologien für die Dokumentation und das Monitoring von Wracks und Fundstellen gesucht und durch das EU-Programm „Culture 2000“ gefördert. Die UW-Photogrammetrie spielt dabei eine wichtige Rolle. Besonders an Fundplätzen, an denen es die Sichtverhältnisse hergeben, kann die Photogrammetrie einen wichtigen Beitrag für eine effiziente und genaue Dokumentation von Wracks leisten. Um dies in der Praxis nachzuweisen, haben sich Wissenschaftler des Instituts für Geodäsie und Geoinformatik der Universität Rostock und ein UW-Photograph von der „Thüringer Allgemeinen“ im Sommer 2002 zusammen mit den Archäologen vom Amt für Bodendenkmalpflege MV aus Schwerin an den Ausgrabungen der Darßer Kogge vor Prerow beteiligt. Die dabei angestellten theoretischen Überlegungen, durchgeführten Arbeiten und erzielten Ergebnisse werden im Folgenden beschrieben.

Der Beitrag beginnt zunächst mit einer Einführung zu den bisher gewonnenen Erkenntnissen zur Darßer Kogge und beschreibt die bisherigen Dokumentationen

und Ausgrabungen. Im Abschnitt „UW-Photogrammetrie“ wird die Methode zur Datengewinnung beschrieben. Dabei werden die besonderen Bedingungen und Schwierigkeiten der Photogrammetrie unter Wasser und speziell bei der Darßer Kogge hervorgehoben. Eine Abhandlung über den Strahlenverlauf bei der Mehrmedien-Photogrammetrie, wie sie unter Wasser vorkommt, unterstreicht die Unterschiede zur terrestrischen Photogrammetrie. Der nächste Abschnitt beschäftigt sich mit der 3D-Rekonstruktion aus den gewonnenen UW-Aufnahmen. Dabei kam das Programm „Photo Modeler“ zur Anwendung. Die Abtastung der darzustellenden Bauelemente des Schiffes stellte sich auf Grund schlecht identifizierbarer homologer Punkte in den Bildpaaren als schwieriger Teil dar. Unter Zuhilfenahme der Kernlinien und der 3D-Ansicht konnte dennoch ein ansehnliches Ergebnis erzielt werden, welches im letzten Abschnitt vor der Zusammenfassung und dem Ausblick besprochen und abgebildet wird.

Die Darßer Kogge

Für das ausgehende 13. Jahrhundert lässt sich mit einem Koggenfund vor dem Darß, MOHR (2001), eine Zunahme der Schiffsgrößen auch an der südwestlichen Ostseeküste belegen. Das mit einem flachen, kraweelen Schiffsboden, geklinkerten Seitenwänden und steilen Steven dem Typ der „Bremer Kogge von 1380“ entsprechende einmastige Schiff wurde nach 1293 gebaut, LAHN (1992). Einen Hinweis auf den möglichen Bauort liefern die verwendeten Eichen, die in dem Gebiet um Elbing gefällt wurden. Die Konstruktion der Kogge deutet darauf hin, dass durch die Städtegründungen der Hanse mit den eingewanderten Siedlern Schiffbautraditionen der friesischen Nordseeküste in die Ostsee Einzug fanden. Das 1 km vor der Küste gesunkene Schiff befindet sich in einem außerordentlich guten Erhaltungszustand. An dem Wrackfund sind neben der Kiel- und Stevenkonstruktion auch die Steuerbordseite fast komplett erhalten geblieben, FÖRSTER (2000). Der Fund

erlaubt dadurch wichtige Schlüsse zu vorhandenen Räumen an Bord. Das über 20 m lange Fahrzeug verfügte durch ein Deck und Aufbauten über geschlossene Räume zur Unterbringung der Besatzung, Schiffsausrüstung und Ladung. Die Mannschaftsstärke dürfte nach den Erfordernissen zur Bedienung dieser Schiffsgröße auf See mindestens zehn Personen umfasst haben.

Durch den Untergang in einem größeren Abstand zur Küste verblieben Reste der Ladung, die Ausrüstung und die persönliche Habe der Besatzung im Wrack. Die Küstenbevölkerung konnte wegen der Wassertiefe nicht an diese Gegenstände gelangen und auch die Brandung verlagerte das Inventar nicht. Das bereits geborgene und untersuchte Fundmaterial lässt einen bislang einzigartigen Blick in das Leben auf den Koggen zu.

Anhand der Ladung ist es ersichtlich, dass die Kogge vermutlich aus dem norwegischen Bergen an der Küste entlang ins heimische Elbing segelte und durch einen Schaden am Schiffskörper vor der Darßer Küste versank.

Zur wichtigen Ausrüstung der hansischen Seeleute zählte ein in der Kogge gefundenes Bleilot zur Tiefenmessung. Eine mit Wachs gefüllte Aussparung an der Unterseite des Lotes erlaubte darüber hinaus Untersu-

chungen zu den Sedimentverhältnissen am Seegrund. Durch häufige Nutzung ist die Unterseite des Lotes stark gestaucht. Zur Beleuchtung der geschlossenen Schiffsräume oder bei Nacht mag eine Laterne gedient haben, die aus einem ledernen Schlauch mit Holzboden besteht, der durch Bronzeringe ausgesteift war.

Ausgrabung

Bei der ersten Dokumentation der Kogge 1977 durch Rettungsschwimmer wurde eine Handskizze angefertigt. Darin wurden in etwa die Form, die Breite, die Länge und die Richtung des Wracks angegeben sowie einzelne vorgefundene Details eingezeichnet. An Hand dieser Skizze und einer beigefügten schriftlichen Beschreibung des Zustandes lässt sich erkennen, dass in jüngster Zeit sehr viele Einzelteile durch anthropogene Einflüsse entfernt wurden oder durch den Seegang zerstört und abgetragen wurden. Auf Grund fehlenden Interesses der DDR-Administration und des allgemeinen Tauchverbotes in der Ostsee konnten keine genaueren Aufnahmen durchgeführt werden und an eine Ausgrabung war nicht zu denken. Erst nach der Wende kamen international übliche Techniken zur Aufnahme von Unterwasserwracks zur Anwendung.

Schon erste Unterwasser-archäologische Untersuchungen ergaben, dass die Darßer Kogge sehr gut erhalten ist. Der auf UW-Fotos aufgenommene Teil der Kogge, der aus dem Meeresboden herausragte, deutete darauf hin, dass die Steuerbordseite fast vollständig erhalten sein könnte. Diese Beobachtung konnte durch geophysikalische Meßmethoden, dem Sedimentsonar, bestätigt werden. Die Hülle, welche in einer Länge von 17 m und einer Breite von 8 m aus dem Meeresboden herausragt, ist in einer bis zu 1,5 m tiefen Sedimentschicht erhalten. Im August 2002 wurde die Steuerbordseite des Wracks vom Vorderstevan an bis zur Mittschiffssektion auf einer Höhe des dritten Schiffsbalkens und dem Mastfuß im Kielschwein freigelegt. Während dieses Prozesses wurde eine Fülle von Konstruktionsdetails aufgezeichnet.



Abb. 1: Maßstäbliche Handskizze.

Zur Dokumentation der ausgegrabenen Teile des Wracks wurde bisher ein aus Stahlstangen bestehendes Gerüst verwendet. Dieses deckte den Ausgrabungsbereich mit zwei annähernd quadratischen Rasterflächen von je ca. 25 m² ab. Über die in 1 m Höhe über dem Grund verlaufenden horizontalen Gerüststangen wurden in Meterabständen Stahlseile gespannt. Die so entstehenden 1 m² großen Flächen wurden nach und nach frei Hand und mit Maßstäben unter Wasser abgezeichnet. Die Einzelblätter wurden an Land maßstäblich in eine mit Rasterlinien versehene Zeichnung übernommen. Das Ergebnis ist eine maßstäbliche, ebene, aber sehr detailreiche Kartierung, siehe Abb. 1.

Unterwasser-Photogrammetrie

Die Unterwasser-Photogrammetrie unterscheidet sich gegenüber der Photogrammetrie an der Luft hinsichtlich der Sichtverhältnisse, der Lichtgeschwindigkeit und der sonstigen äußeren Aufnahmebedingungen. Die Sicht wird im Wasser vor allem durch vorhandene Schwebstoffe und mit der Tiefe zunehmenden Dunkelheit verschlechtert. Die Lichtgeschwindigkeit wird vor allem durch den Salzgehalt und die Temperatur des Wassers beeinflusst. Dies führt zur Brechungsproblematik besonders an Grenzflächen beim Übergang von Glas zu Wasser und an Sprungschichten mit unterschiedlichen Eigenschaften des Wassers. Die begrenzte Aufenthaltsdauer für Taucher unter Wasser, Strömung, Fixierungsprobleme für Kameras, schlechte Bedienbarkeit der Kamera, eingeschränkte Möglichkeiten für die Bestimmung der äußeren Orientierung stellen weitere Schwierigkeiten für die UW-Photogrammetrie dar. Die Lichtbrechung beim Übergang vom Wasser zum Gehäuse (Port) kann auf zweierlei Art und Weise eliminiert werden. Zum einen kann der Fehlereinfluss rechnerisch korrigiert werden. Die Berücksichtigung lichtbrechender Flächen im Strahlenbündel wurde bereits in KOROWSKI (1987) behandelt. Im nachfolgenden Abschnitt soll der mathematische Zusammenhang noch mal speziell für plane Ports dargestellt werden. Eine zweite prak-

tische Möglichkeit ist die Verwendung von Dom-Ports, bei denen die Brechung durch die Krümmung der Glasoberfläche eliminiert wird. Ein derartiger Port, dessen Mittelpunkt mit dem Projektionszentrum zusammenfallen sollte, wurde für die Aufnahmen der Darßer Kogge schließlich verwendet. Doch zunächst zur Geometrie an planen Ports.

Planer Port – Normalfall

Im Folgenden soll eine Korrektur für Unterwasseraufnahmen hergeleitet werden, die dazu führt, dass die Bilder so aussehen, als wären sie an der Luft ohne Gehäuse gemacht worden. Im hier bezeichneten Normalfall wird zunächst von einer zur Bildebene parallelen Platte als Port ausgegangen, siehe Abb. 2.

$$n_1 \sin \varepsilon_1 = n_2 \sin \varepsilon_2$$

Mit:

$n \dots$ Brechungsindex

$\varepsilon \dots$ Brechungswinkel

$$n_{\text{Luft}} \approx 1 \quad n_{\text{Glas}} \approx 1,75 \quad n_{\text{Wasser}} \approx 1,33$$

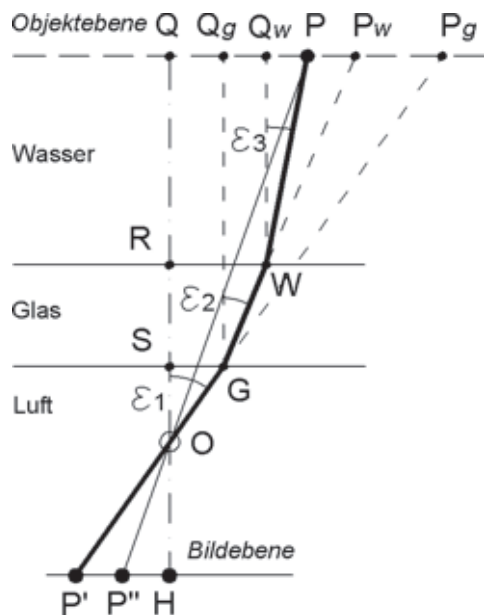


Abb. 2: Strahlengang mit einem planen und zur Bildebene parallelen Port.

Abbildung des radialen Fehlers durch Brechung:

In Objektebene:

$$\Delta r = \Delta r_g + \Delta r_w$$

In Bildebene:

$$\Delta r' = \Delta r/m_b$$

Mit:

m_b ... Bildmaßstabszahl

$$\Delta r' = P'P''$$

Über das Brechungsgesetz, die Abbildungsgleichung und die trigonometrischen Beziehungen in den rechtwinkligen Dreiecken aus Abb. 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 ... Brechungsindex der Medien

l_0 = OQ ... Abstand vom Projektionszentrum zur Objektebene

l_p = RQ ... Abstand vom Gehäuse zur Objektebene

$$\Delta r = PP_G = (g_K + p_K + l_p) \cdot \tan \varepsilon_1 - g_K \cdot \tan \varepsilon_1 - p_K \cdot \tan \varepsilon_2 - l_p \cdot \tan \varepsilon_3$$

Diese Funktion ermöglicht es, die Unterwasseraufnahmen so zu korrigieren, als wären die Bilder an der Luft ohne Gehäuse aufgenommen worden. Um die vom Abstand zum Bildmittelpunkt abhängige radiale Korrektur bestimmen zu können, müssen lediglich die Kamerakonstante, die Glasdicke der Gehäusescheibe, der Abstand der Ge-

häusescheibe 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 vom Glas und dem 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. (1996) wurde eine ähnliche Korrekturfunktion für die stereoskopische Auswertung verwendet. Darüber hinaus ist zu betonen, dass der Einfluss eines schief zur Bildebene stehenden Gehäuseports zusätzliche radial-asymmetrische und tangentiale Verzerrungen hervorruft, siehe Abb. 3. Im folgenden Abschnitt werden Formeln zur Berücksichtigung dieses Fehlereinflusses dargestellt.

Planer Port – Schrägfall

Wie man aus der Formel 2 leicht ablesen kann, ergibt sich bei einer Gehäusescheibeneigung von $\beta = 0$ dieselbe Formel wie im Normalfall (Formel 1). 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 Richtungswin-

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

mit: $\sin \varepsilon_2 = n_1/n_3 \cdot \sin \varepsilon_1$
 $\sin \varepsilon_3 = n_1/n_3 \cdot \sin \varepsilon_1$
 $\tan \varepsilon_1 = r'/c_K$

Formel 1: Korrekturwerte zur Berücksichtigung der Brechung im Normalfall.

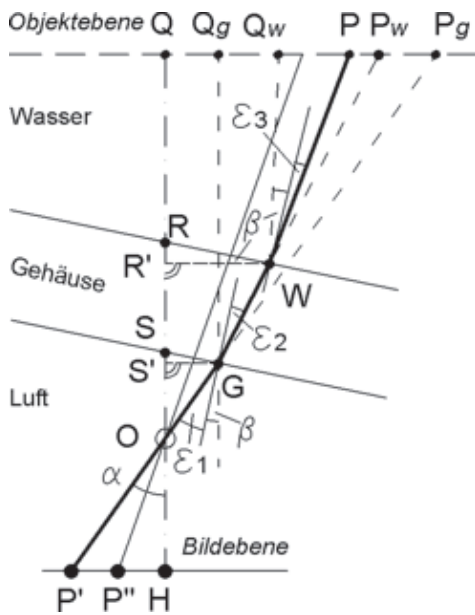


Abb. 3: Schräger Gehäuseport.

kel 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 haben im Verhältnis zu den anderen besprochenen, sind diese jedoch noch zu untersuchen. 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, können für eine Gehäuse-Kammerkonstruktion vorab bestimmt werden und für die Berechnung von Bildern, die der Zentralprojektion entsprechen, verwendet werden.

$$m_b = \frac{l_0}{c_k} \alpha = \arctan\left(\frac{r'}{c_k}\right)$$

$$\varepsilon_1 = \alpha - \beta$$

$$\varepsilon_2 = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2} \cdot \sin(\varepsilon_1)\right)$$

$$\varepsilon_3 = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_3} \cdot \sin(\varepsilon_1)\right)$$

$$OS' = g_k \cdot \left[\frac{1}{(1 + \tan(\alpha) \cdot \tan(\beta))} \right]$$

$$S'R' = \frac{p_k}{\cos(\varepsilon_2)} \cdot \cos(\beta + \varepsilon_2)$$

$$R'Q = l_0 - OS' - S'R'$$

Aufnahmen für die Darßer Kogge

Eine erste photogrammetrische Vermessung wurde 2001 im Rahmen einer Diplomarbeit an der Fachhochschule Neubrandenburg durchgeführt WEHDEN (2001). Die Aufnahmen wurden aus einer gleichen Höhe über dem Grund mit ca. 60% Längs- und 30% Querüberlappung angefertigt. Die Auswertung erfolgte über eine Bündelblockausgleichung. Weite Teile des Wracks befanden sich jedoch noch unter dem Sediment, so dass lediglich die Geländeoberfläche mit einzelnen herausragenden Spanten dargestellt werden konnte.

Die Aufnahmen bei der Ausgrabung von 2002 (siehe Abb. 4) überspannen einen beträchtlichen Teil des freigelegten Wracks. Dieses wurde in einem Abstand von ca. 50 cm mit kugelförmigen Marken flächendeckend signalisiert. Zur Maßstabsbestimmung und Orientierung wurden im Objekt-raum Messbänder ausgelegt und Fluchtstäbe angebracht. Die Sicht war durch Algenwuchs und Schwebeteilchen verhältnismäßig schlecht. Durch aufgestellte Netze um das Wrack wurde verhindert, dass sich das freigelegte Wrack mit Mulch zusetzt und die Sicht behindert. Zu anderen Jahreszeiten ist das Wasser wesentlich klarer und es herrschen Sichtweiten von über 8 m. Jedoch ist der Lichteinfall im Sommer besser. Die Aufnahmen erfolgten mit einer handelsüblichen

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

Formel 2: Korrekturwerte zur Berücksichtigung der Brechung bei geneigter Gehäusescheibe.

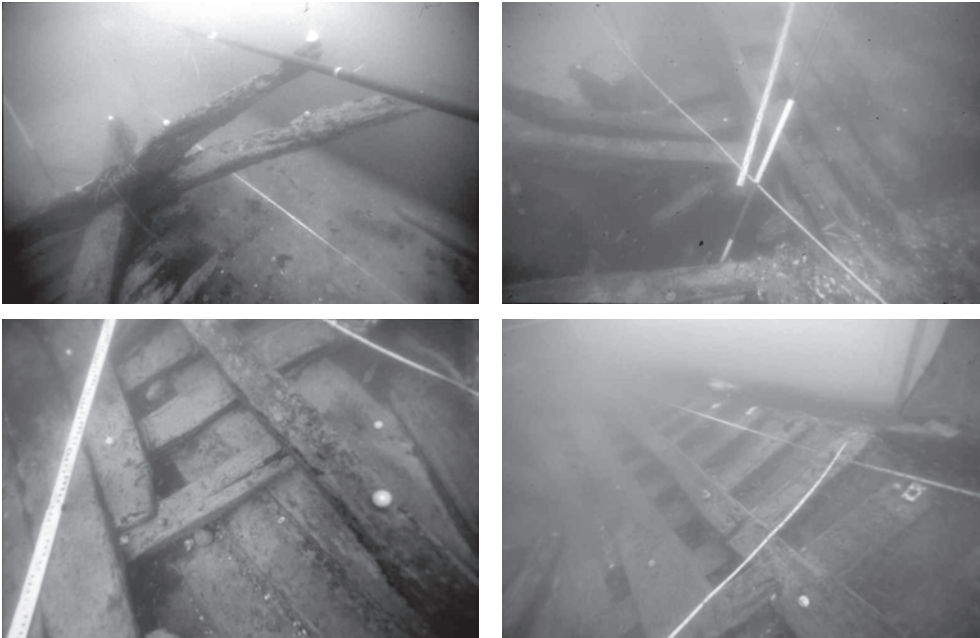


Abb. 4: UW-Aufnahmen mit kugelförmiger Signalisierung, Maßbändern und Fluchtstäben.

24 mm × 36 mm Kamera. Um die Brechung des Lichtes am Glas weitestgehend zu eliminieren, wurde ein Gehäuse mit Dom-Port gewählt. Auf Grund der geringen Genauigkeitsanforderungen wurde die Kamera zunächst noch nicht kalibriert. Eine Genauigkeitssteigerung will man sich für weitere Messkampagnen vorbehalten. Die mit Blitzlicht aufgenommenen Bilder haben eine Überlappung von bis zu 80%. Die gesamte Aufnahme wurden in einem zweiten Gang wiederholt. Damit standen 72 Bilder zur Auswertung zur Verfügung.

Bei der Verwendung einer Digital-Kamera mit Vorschau-Display besteht die Möglichkeit die Qualität der Bilder direkt nach jeder Aufnahme visuell zu prüfen. Dadurch kann ggf. ein kompletter zweiter Aufnahme-gang entfallen und so unter Wasser weitere Zeit eingespart werden. Durch die direkte Prüfung der Aufnahmequalität am Objekt ließen sich vorab auch Einstellungen an der Kamera testen, um so optimale Einstellungen zu finden.

3D-Rekonstruktion

Zur Rekonstruktion der Schiffshülle wurde das Programm „Photo Modeler“ verwendet. Zunächst wurden die Bilder gescannt. Nach dem Einlesen der Bilder wurden jeweils die 4 Eckpunkte der Bilder als Rahmenmarken gesetzt. Anschließend erfolgte die Verknüpfung der Bilder über die signalisierten Verknüpfungspunkte. Um den Bildverband weiter zu stabilisieren, wurden in einigen Regionen zusätzliche homologe, nicht signalisierte Punkte in der Struktur des Holzes oder des Bodens verwendet (insgesamt 138). Nach der Berechnung des Bildverbandes mit 41 Einzelbildern wurden die Objektpunkte über räumliche Rückwärts-schnitte aus zunächst 2 Bildern bestimmt. Danach erfolgte die Verbindung der Punkte mit Liniensegmenten. Da die Objektpunkte nicht eindeutig als homologe Punkte zu identifizieren waren, wurden Epipolarlinien genutzt und die Ebenheit von Flächen als Bedingung eingeführt. Dabei erwies sich der Wechsel zwischen 3D-Ansicht und der Bildansicht sowie die Möglichkeit zur Rückpro-

jektion der berechneten Objektlinien und Punkte in die Bildebene als sehr hilfreich. Zur Kontrolle wurde für jedes Objektsegment ein drittes Bild hinzugezogen, in das die projizierten Linien der Objekte dargestellt wurden. Auf diese Art wurden 313 Objektpunkte gemessen und die Konturen der Konstruktionselemente nachgezeichnet. Der Maßstab des Modells wurde über die 50 cm Fluchtstabsabschnitte und zwischen den Verknüpfungspunkten mit Messband gemessenen Strecken bestimmt.

Ergebnisse

Das bisherige Ergebnis der Kampagne von 2002 ist ein digitales 3D-Modell der Konstruktionselemente der vorderen Steuerbordseite mit Teilen des Kieles, der Bodenwangen und Decksbalken, wie in Abb. 5 dargestellt. Die Objekte der Schiffskonstruktion wurden in Brauntönen eingefärbt. Auf eine Textur aus den Originalbildern wurde auf Grund der schlechten Qualität verzichtet. An Hand von Vergleichsstrecken zwischen den am Wrack angebrachten Ver-

knüpfungspunkten konnten Abweichungen von bis zu 12 cm auf 5 m festgestellt werden. Die innere Genauigkeit in der Ausgleichung beträgt bis zu 3 cm. Obwohl die Messung mit unkalibrierter Kamera vorgenommen wurde, kann das Ergebnis schon als brauchbar eingeschätzt werden. Vor allem besteht mit der 3D-Ansicht erstmals die Möglichkeit der Aufrichtung des Wracks in die senkrechte Lage und die Betrachtung von Details aus verschiedenen Sichten. Des Weiteren können in dem 3D-Modell beliebige Raumstrecken gemessen werden, was in den 2D-Darstellungen nicht möglich war.

Zusammenfassung und Ausblick

Vor der Ostseeküste sind hunderte von Wracks lokalisiert worden. Einige sind wichtige Zeugen der Vergangenheit. Die Ausbreitung der Pfahlbohrmuschel verlangt jedoch zunehmend die Konservierung von Holzschiffen und Methoden zur zügigen und gründlichen Dokumentation der Schiffswracks in der Ostsee. Die 1977 vor Prerow gefundene Kogge aus dem Ende des

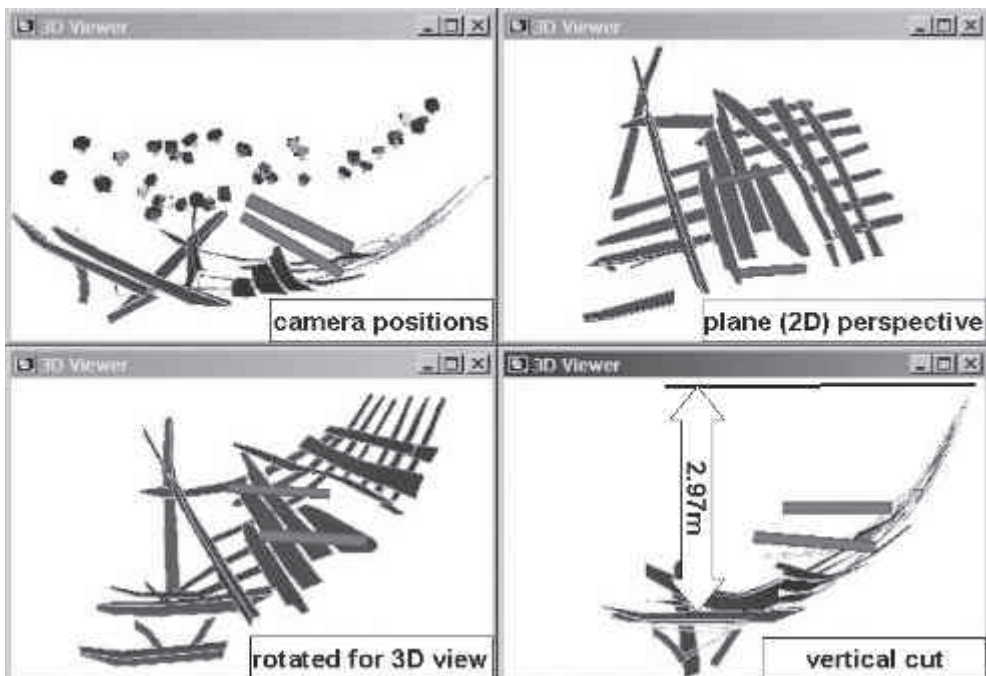


Abb. 5: 3D-Ansichten der rekonstruierten Schiffskonstruktion.

13. Jahrhunderts ist noch in gutem Zustand erhalten. Von ihr wurden im Jahre 2002 photogrammetrische Aufnahmen gemacht und dreidimensional ausgewertet. Die bei der UW-Photogrammetrie auftretenden Schwierigkeiten wurden dargestellt. Das Ergebnis der ersten Messkampagne ist ein digitales 3D-Modell. Bei der nächsten Kampagne soll eine digitale und kalibrierte Kamera eingesetzt werden. Damit soll die Genauigkeit gesteigert und das 3D-Modell vervollständigt werden.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die Förderung durch die EU innerhalb des Projektes „Monitoring, Safeguarding and Visualizing North-European Shipwreck Sites (MoSS)“.

Literatur

- FÖRSTER, T., 2000: Neue Wrackfunde zwischen Rügen und Darßer Ort. – Nachrichtenblatt Arbeitskreis Unterwasserarchäologie, Band 7: 50–54.
- HÖHLE, J., 1971: Zur Theorie und Praxis der Unterwasser-Photogrammetrie. – Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Nr. 163, München.
- KOTOWSKI, R., 1987: Zur Berücksichtigung lichtbrechender Flächen im Strahlen-bündel. – Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Nr. 330, München.
- LAHN, W., 1992: Die Kogge von Bremen. – Schriften des Deutschen Schiffahrtsmuseums, Bremerhaven, 30.
- 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.
- MOHR, D. 2001: Schiffswracks an der Ostseeküste von Fischland und Darß – eine Übersicht. – Nachrichtenblatt Arbeitskreis Unterwasserarchäologie, Band 8: 59–66.
- WEHDEN, F., 2001: Photogrammetrische Vermessung des Wracks der Darßer Kogge. – Diplomarbeit, FH Neubrandenburg, Fachbereich Bauingenieur- und Vermessungswesen.

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Ing. PETER KORDUAN
 Universität Rostock
 Institut für Geodäsie und Geoinformatik (IGGI)
 Justus-von-Liebig-Weg 6
 D-18059 Rostock
 Tel.: 0381-498 21 64, Fax: 0381-498 21 88
 e-mail: peter.korduan@auf.uni-rostock.de

Dipl.-Mus. THOMAS FÖRSTER
 Landesamt für Bodendenkmalpflege Mecklenburg-Vorpommern
 Schloss Wiligrad
 D-19069 Wiligrad
 Tel.: 3867-240 oder 8805
 Fax: 3867-8806
 e-mail: archaeomuseum.m-v@t-online.de

ROLAND OBST
 Thüringer Allgemeine Bildredaktion
 Gottstedter Landstraße 6
 D-99092 Erfurt
 Tel.: 0361-2274, Fax: 0361-2275144
 e-mail: roland_obst@t-online.de

Manuskript eingereicht: Februar 2003
 Angenommen: März 2003