

Digitale Nahbereichsphotogrammetrie zur Objektrekonstruktion der Bremer Hanse Kogge

MANFRED WIGGENHAGEN¹, ADELHEID ELMHORST², ULLA WISSMANN³

Zusammenfassung: In diesem Beitrag wird die dreidimensionale photogrammetrische Objektrekonstruktion der Bremer Hanse Kogge im Schiffmuseum Bremerhaven mit Methoden der digitalen Nahbereichsphotogrammetrie beschrieben.

Neben der Aufnahmeplanung, Signalisierung der Objektpunkte und -linien, und Durchführung der photogrammetrischen Aufnahme wird auch auf die Besonderheiten der Auswertemethodik mit der verwendeten Auswertesoftware eingegangen.

1 Einleitung

Die Hanse Kogge wurde im Oktober 1962 in der Weser gefunden und von 1982 bis 1999 im heutigen Schiffmuseum in Bremerhaven vollständig in Konservierungsflüssigkeit eingetaucht (DSM, 2003B; HOFFMANN, 1981). Diese Maßnahme diente der langfristigen Sicherung des hölzernen Schiffsrumpfes. Vor der Konservierung wurde das Schiff 1982 vom Institut für Photogrammetrie und GeoInformation (IPI) mit der analogen Stereomesskamera SMK 120 aufgenommen. Für den Auftraggeber wurden Strichzeichnungen und Profilpläne im Maßstab 1: 20 aus den Messbildern angefertigt. Nach 17 Jahren in der Konservierungsflüssigkeit wurde das Schiff trockengelegt. Nach Abschluss der Trocknung wurde festgestellt, das sich der Schiffskörper in der Zwischenzeit teilweise um bis zu 25 cm verformt hatte. Daher wurde das IPI im Jahr 2003 erneut mit der photogrammetrischen Erfassung und Rekonstruktion des Objektes beauftragt. Um die vollständige Form der Kogge ermitteln zu können, wurden über 100 Bilder mit den digitalen Kameras Nikon D100 und Rollei D7 metric⁵ aufgenommen. Der Bildverband wurde mit der Auswertesoftware PhotoModeler 5.0 Pro der Firma EOS gerechnet. Um eine stabile Verknüpfung des Verbandes zu erzielen, wurden ca. 105 Verknüpfungspunkte an der Kogge befestigt. Da der Auftraggeber die Profilauswertung aus dem Jahr 1982 als Vergleich heranziehen wollte, wurden die ursprünglichen Profillinien am Schiffskörper signalisiert und ebenfalls dreidimensional erfasst. Als Ergebnis der Auswertung wurden die 10 Profile in analoger Form im Maßstab 1:20 und auch als AutoCAD Datei im DXF-Format an den Auftraggeber abgegeben.

2 Material und Methoden

2.1 Rahmenbedingungen

Die Bremer Hanse Kogge wurde im Schiffmuseum in Bremerhaven in der Ausstellungshalle mit einer Stahlkonstruktion unter dem Hallendach befestigt. Stählerne Streben und Diagonalelemente halten das hölzerne Schiff zusammen und fixieren es mit der Unterseite auf dem Fußboden (WESKI, 1999; DSM, 2003A, GNT,2003). Die

¹ Dr.-Ing. Manfred Wiggenhagen, Universität Hannover, Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Nienburger Str.1, D-30167 Hannover, email: wigge@ipi.uni-hannover.de,

² Dipl.-Ing. Adelheid Elmhorst, email: elmhorst@ipi.uni-hannover.de,

³ Dipl.-Ing. Ulla Wissmann, email: wissmann@ipi.uni-hannover.de.

Maximalausdehnung der Kogge beträgt 24 x 8 x 7 m.

Die Position der Kogge im Ausstellungsraum im Erdgeschoss ermöglicht die Festlegung einiger Kamerastationen auf der Empore im 1. Stockwerk. Alle weiteren Kamerastationen befanden sich im Erdgeschoss in einem maximalen Abstand von 7 m. Aufgrund von Sichtbehinderungen durch Wände, Pfeiler und sonstige räumliche Gegebenheiten wurden die meisten Bilder in Aufnahmeabständen von 2.5 bis 6 m aufgenommen.

2.2 Historische Ergebnisse

Die historischen Ergebnisse bestanden sowohl aus detaillierten Strichzeichnungen des Schiffskörpers, als auch aus Profilzeichnungen an zehn verschiedenen Positionen rechtwinklig zur Schiffsachse. Um die Ergebnisse der Profilauswertung aus dem Jahr 1982 mit der aktuellen Messung vergleichen zu können, wurden die Profillinien aus den Originalzeichnungen rekonstruiert und am Schiffskörper mit weißem Band markiert. Zusätzlich wurden ca. 105 kreisförmige Zielmarken auf der Oberfläche befestigt. Diese Punkte wurden später als Verknüpfungspunkte für die Einzelbilder innerhalb der Bündelblockausgleichung genutzt.

2.3 Anwendung digitaler Kameras

Für die photogrammetrische Aufnahme wurden zwei digitale Kameras verwendet. Die 6-Mpixel Kamera Nikon D100 und die metrische 5-Mpixel Kamera Rolleiflex D7 metric⁵ wurden vor dem Einsatz mit einem dreidimensionalen und einem zweidimensionalen Testfeld kalibriert (WIGGENHAGEN, 2002). Die Punktsignalisierung und Bildaufnahme erforderte einen Zeitaufwand von ca. 10 Stunden. Die meiste Zeit wurde für die Punktbelegung und die Wiederherstellung der Profillinien auf der Kogge sowie für den Bilddaten-transfer und die Bildkonvertierung von der Speicherkarte zum Notebook benötigt. Bedingt durch die unterschiedlichen Blickwinkel und lokale Sichtbehinderungen mussten in der Ausstellungshalle über 100 Bilder aufgenommen werden. Von der Rolleiflex D7 metric⁵ wurden 60 Bilder und der Nikon D100 wurden 39 Bilder für die spätere photogrammetrische Auswertung verwendet.

Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Sensorgrößen und der maximalen Objektdistanzen und Basislängen wurde die erreichbare Punktmessgenauigkeit abgeschätzt (siehe Tabelle 1).

Die berechnete Punktmessgenauigkeit erfüllte mit 1 bis 11 mm die geforderte Messgenauigkeit von maximal 20 mm in diesem Projekt.

Kamera		Objekt- abstand/ Basislänge	Bild- maßstab	Genauigkeit in x,z,y
Rolleiflex	[mm]			[mm]
Sensor- breite	8.76	6.9 / 1.8	1 : 929	2.8, 2.8, 10.7
Brenn- weite	7.43	2.8 / 1.8	1 : 377	1.1, 1.1, 1.8
Nikon				
Sensor- breite	23.7	6.9 / 1.8	1 : 280	2.2, 2.2, 8.6
Brenn- weite	24.6	2.8 / 1.8	1 : 114	0.9, 0.9, 1.4

Tab. 1: Erreichbare Punktmessgenauigkeit

Die Software PhotoModeler 5.0 Pro der Firma Eos Systems Inc. (EOS 2003) wurde für die Bildkoordinatenmessung, Bündelblockausgleichung und die Aufbereitung der Ergebnisse verwendet. Die meisten der Verknüpfungspunkte wurden in 3 und mehr Bildern gemessen (siehe Tabelle 2). Die hohe Redundanz bewirkte einen sehr stabilen Bildverband und eine zuverlässige Punktbestimmung innerhalb der Bündelblockausgleichung.

Nachdem alle Bilder orientiert worden waren, konnten die signalisierten Profile erfolgreich gemessen werden. Die dreidimensionale Punktwolke wurde im 3D-Viewer der Software angezeigt und überprüft. Punkte mit schlechter oder schwacher Geometrie wurden durch zusätzliche Messungen gestützt. Die meisten der Profilpunkte konnten in drei und mehr Bildern gemessen werden.

Punkttyp	Anzahl	
	Punkte	Strahlen pro Punkt
Verknüpfungspunkt	4	< 3
	12	3
	200	≥ 4
Summe	216	
Profilpunkt	27	< 3
	213	3
	107	≥ 4
Summe	347	

Tab. 2: Bildstrahlen pro Messpunkt

3 Ergebnisse

Um die aktuellen Ergebnisse mit den Vermessungen aus dem Jahr 1982 vergleichen zu können, wurden die Profile erneut im Maßstab 1 : 20 ausgedruckt.

3.1 Koordinaten

Die photogrammetrische Auswertung lieferte dreidimensionale Koordinaten der 216 Verknüpfungspunkte mit einer Genauigkeit von +/- 0.5 mm. Die hohe Genauigkeit basiert auf der Tatsache, dass die kreisförmigen Zielmarken mit einem automatischen Punktmessoperator im digitalen Bild gemessen wurden, der das Zentrum der abgebildeten Ellipse mit einer Genauigkeit von etwa +/- 0.1 pix im Bild messen kann. Die Profilpunkte wurden manuell gemessen. Da die Messung monoskopisch in konvergenten Bildern durchgeführt wurde, war die Lokalisierung identischer Punkte in manchen Fällen vergleichsweise schwieriger als bei stereoskopischer Auswertung. In diesen Fällen erwies sich die Möglichkeit zur Einblendung von Epipolarlinien als sehr hilfreich. Die Punktgenauigkeit im Objektraum wurde für diese 347 Punkte mit +/- 3 mm in allen drei Koordinatenrichtungen berechnet.

3.2 Linien

In Ergänzung zur photogrammetrischen Aufnahme wurden zehn Kontrollstrecken eingemessen. Die Anfangs- und Endpunkte dieser Strecken wurden signalisiert und in den digitalen Bildern gemessen. Innerhalb der Bündelausgleichung wurden diese Strecken als unabhängige Referenzstrecken definiert. Für die nachfolgende Ergebnisdokumentation wurden die verschiedenartigen Linien in unterschiedlichen Layern und Farben abgespeichert. Für die Darstellung der Profillinien wurden die berechneten Profilpunkte zusätzlich durch

Linien verbunden. Ein Vergleich zwischen der Messung aus dem Jahr 1982 und 2003 für das Profil 9 ist in Abbildung 1 dargestellt.

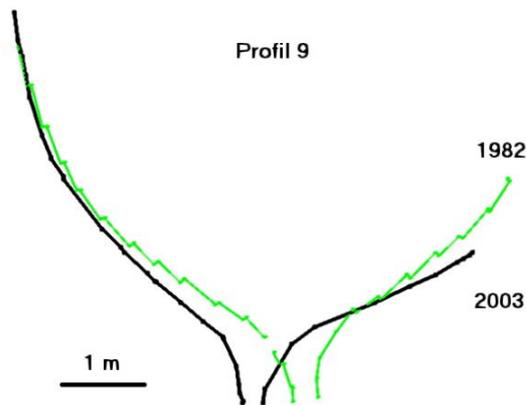


Abb. 1: Verformungen im Profil 9

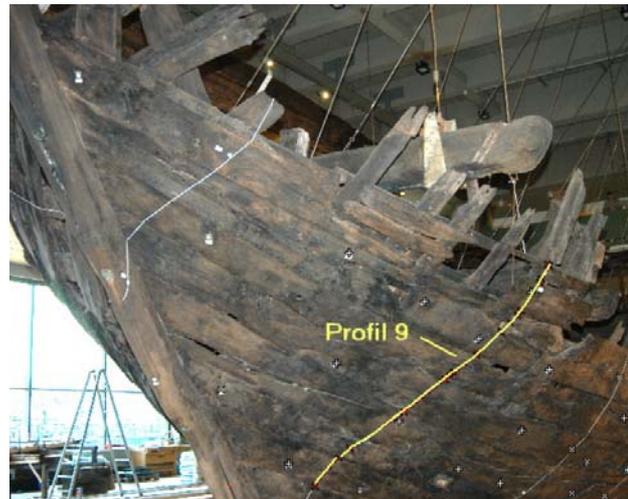


Abb. 2: Oberfläche mit markierter Profilhälfte

Zur Verdeutlichung wurde in einem der digitalen Bilder die Lage der rechten Hälfte des Profiles 9 hervorgehoben (siehe Abb. 2). Zwischen dem Hallendach und der Kogge sind die unterschiedlichen Befestigungselemente aus Stahl erkennbar, die es dem Konservator und Holztechniker ermöglichten, das Schiff im Raum zu fixieren und die Form des Holzrumpfes festzulegen.

Die Deformationen der Kogge sind auf unterschiedliche Einflüsse zurückzuführen. Einige lokale Verformungen wurden durch die unterschiedliche Längenausdehnung der hölzernen Konstruktionselemente bewirkt. Während das Schiff in den Jahren 1982 bis 1999 in Konservierungsflüssigkeit eingelegt war, dehnten sich einzelne Planken stärker aus als die benachbarten Spanten. Zwischen einzelnen horizontalen Ebenen und Oberflächenteilen wurden später Differenzen bis zu 20 cm entdeckt.

Eine der größeren Verformungen des Schiffes entstand, als man versucht hatte, mit zusätzlichen stählernen Verstrebrungen innerhalb des Bootskörpers einige der lokalen Deformationen zu kompensieren. Da die Aufhängungen diagonal von der Decke der Museumshalle aus wirkten, bewegte sich daraufhin die Kogge mit dem Kiel zu einer Seite und rollte zusätzlich geringfügig in einer Richtung. Diese Effekte sind durch die erneute photogrammetrische Rekonstruktion der dreidimensionalen Form der Kogge nachgewiesen worden. Im Vergleich der ausgedruckten Profile aus den Jahren 1982 und 2003 sind die unterschiedlichen Veränderungen des Schiffskörpers erkennbar (siehe Abb. 3).

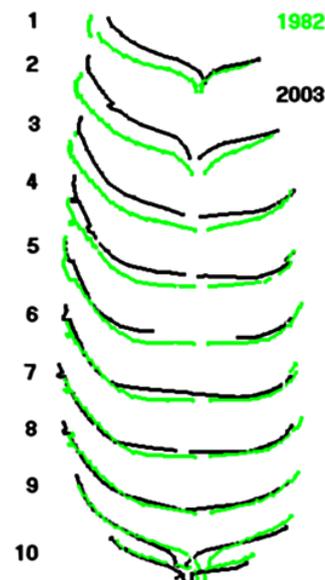


Abb. 3: Vergleich der Profile

3.3 Oberflächen

Zu Dokumentationszwecken wurde die Photoinformation aus mehreren digitalen Bildern als Material für die Darstellung eines texturierten Oberflächenmodells genutzt. Die Zuweisung der Bildinformation aus unterschiedlichen Blickrichtungen erfolgte über 46 Farbbilder der Nikon D100.

Ein Teil der linken Schiffsseite wurde als dreidimensionales Oberflächenmodell mit der Asuwertesoftware berechnet und dargestellt. Ein dreidimensionaler Eindruck des Ergebnisses ist auch im Internet zu betrachten, wenn der Internet Browser über ein geeignetes plug-in zur Darstellung von VRML-Dateien verfügt. Es wurden z.B. die frei erhältlichen Viewer: Cortona oder Cosmo Player eingesetzt.

Abbildung 4 zeigt die linke Seite der Kogge mit Profilen, Verknüpfungspunkten und Phototexturen im vorderen Teil des Schiffes.

Die Oberflächendefinition wurde durch Dreiecksvermaschung über die gemessenen Profil- und Verknüpfungspunkte erreicht.

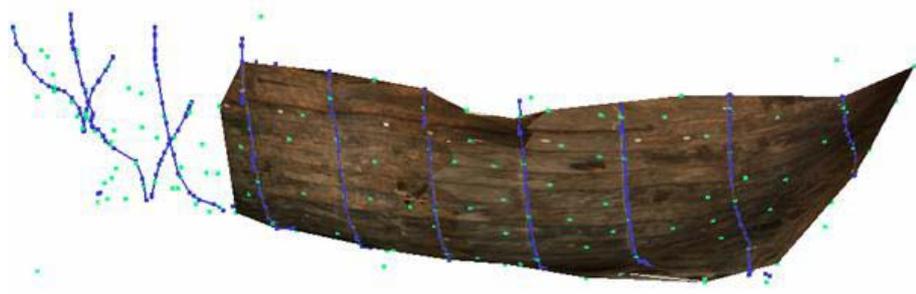


Abb. 4: Texturiertes Teilmodell

3.4 Qualitätskontrolle

Um eine Qualitätskontrolle der berechneten dreidimensionalen Punktwolke zu ermöglichen, wurden mehrere Kontrollstrecken im Messvolumen signalisiert und eingemessen. Zehn Kontrollstrecken mit Streckenlängen von 1.6 bis 6.0 m wurden gemessen und mit den berechneten Strecken aus der photogrammetrischen Bündelausgleichung verglichen. In Tabelle 3 werden die Ergebnisse zusammengefasst.

Da die Kontrollstrecken mit einem herkömmlichen Stahlmessband gemessen wurden, wird für sie nur eine Genauigkeit von +/- 5 mm angesetzt.

Aufgrund ungünstiger Sichtbedingungen und schlechter Schnittwinkel konnten einige der Kontrollstrecken nur mit geringer Genauigkeit bestimmt werden. Die mittlere absolute Längendifferenz von 13.4 mm erfüllte jedoch die gestellten Anforderungen in diesem Projekt.

	Kontrollstrecke	[m]	
		Länge	Differenz
1	1208-518	3.590	-0.010
2	1207-528	3.910	-0.020
3	1206-526	3.550	-0.029
4	223-225	6.048	-0.014
5	801-802	2.800	-0.016
6	285-296	3.760	-0.012
7	083-073	2.020	0.011
8	415-053	3.470	0.013
9	445-311	1.590	0
10	310-017	2.201	0.009

Tab. 3: Berechnete Längenabweichungen

4 Diskussion

3.1 Vergleich Analogauswertung mit Digitaltechnik

Im Vergleich zu der historischen analogen Bildaufnahme erforderte die digitale Messung eine Unzahl an zusätzlichen digitalen Bildern. Dies ist begründet in der geringeren Auflösung der digitalen Kameras und den ungünstigen Sichtbedingungen in der Ausstellungshalle.

Im Jahr 1982 wurden vierzig Stereobildpaare für die Herstellung der Strichzeichnungen der Kogge benötigt. Für die Berechnung der Profile wurden lediglich zehn vertikale Lotlinien von beiden Seiten auf den Schiffskörper projiziert und aufgenommen (siehe Abb.5). Diese Linien wurden am Stereoplanigraph C8 gemessen und in Echtzeit auf einem mechanischen Zeichentisch ausgegeben.

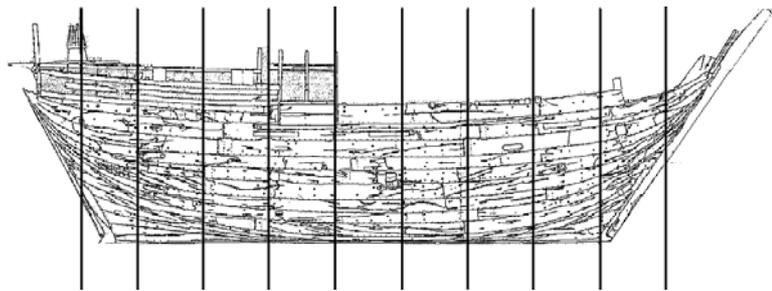


Abb. 5: Strichzeichnung mit Lotlinien

In der zweiten Messkampagne im Jahr 2003 wurden über 90 Bilder für die photogrammetrische Bündeltriangulation genutzt. 227 Verknüpfungspunkte und zwanzig signalisierte Profillinien waren notwendig, um genügend identische Punkte in den konvergenten Bildern für die monoskopische Bildauswertung vorzufinden. Die Profile werden aus etwa 340 zusätzlich gemessenen Punkten gebildet. Die Bildkoordinaten dieser Punkte wurden manuell mit der graphischen Maus am Computer gemessen.

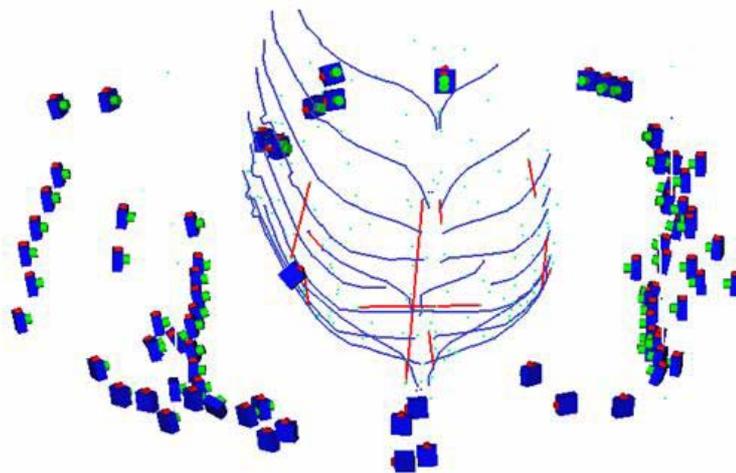


Abb. 6: Aufnahmesituation

Abbildung 6 zeigt eine Übersicht der Kamerastandorte, der Profillinien, Kontrollstrecken und Verknüpfungspunkte.

Die gesamte Bildpunktmessung, Bildorientierung und Objektrekonstruktion wurde mit einem Standardcomputer ohne zusätzliche digitale Stereoarbeitsstation durchgeführt.

Die geforderte Genauigkeit von maximal 20 mm im Objektraum konnte in allen Fällen eingehalten werden.

Die eingesetzte Software PhotoModeler 5.0 Pro. der Firma Eos Systems Inc. bot für die Auswertung u.a. folgende Funktionen an:

- Kamerakalibrierung
- Projektverwaltung
- Manuelle und automatische Punktmessung
- Epipolarlinienunterstützung
- Definition von Punkten, Linien, Oberflächen und Texturen
- Photogrammetrische Bündelblockausgleichung
- Messung dreidimensionaler Koordinaten und Strecken
- Visualisierung dreidimensionaler Ergebnisse
- Orthobildberechnung
- Vektor- und Rasterdatenexport.

Mit Hilfe der statistischen Berichte und Darstellungen der Restklaffungen konnten Messfehler sehr gut erkannt und eliminiert werden. Die Möglichkeit mehrere Projektkameras in einem gemeinsamen Bildverband zu berücksichtigen, war sehr wichtig für die gleichzeitige Nutzung beider eingesetzten Kameras in einem gemeinsamen Projekt.

4.2 Analoge Ergebnisse im Vergleich zu digitalen Resultaten

1982 wurden Strichzeichnungen und Profildarstellungen im Maßstab 1 : 20 hergestellt. Die Strichzeichnungen wurden für beide Seiten und den Innenraum der Kogge mit hohem Auswerteaufwand hergestellt. Der Detaillierungsgrad der Strichzeichnungen war von der Erfahrung des Auswerters abhängig und stellte als Interpretationsergebnis der Bilder alle wichtigen Objektteile dar. Da dieses Verfahren äußerst zeit- und kostenintensiv war, werden heute stattdessen bevorzugt Orthobildmosaiken angefertigt.

Aus Kostengründen wurden 2003 keine detaillierten Strichzeichnungen vom Auftraggeber gefordert. Es wurden nur Analogausgaben der zehn Profile und die digitalen Ergebnisdaten verlangt. Die Ergebnisse wurden in Standardformaten, wie z.B. DXF und VRML exportiert, um mit externen Anwendungen wie z.B. AUTOCAD weiterverarbeitet werden zu können.

5 Zusammenfassung

In diesem Projekt konnte nachgewiesen werden, dass moderne digitale Kameras geeignet sind, um die Objektrekonstruktion eines großen Objektes in vertretbarer Zeit durchführen zu können. Die Bremer Hanse Kogge wurde mit über 100 digitalen Bildern aufgenommen. Hierzu wurden die digitalen Kameras Rollei D7 metric⁵ und Nikon D100 eingesetzt. Die gewünschte Genauigkeit von maximal 20 mm im Objektraum konnte eingehalten werden. Die erreichte Punktgenauigkeit am Objekt wurde über zehn unabhängig gemessenen Kontrollstrecken berechnet. Die mittlere Längenmessabweichung betrug 13.4 mm. Mit den erneut gemessenen Profilen konnte die Verformung der Kogge nachgewiesen werden. Schnitte durch den Schiffskörper wurden als Profile dargestellt und im Maßstab 1 : 20 ausgegeben.

6 Danksagung

Das Institut für Photogrammetrie und GeoInformation (IPI) der Universität Hannover dankt der Firma Rolleimetric GmbH, Braunschweig für die Möglichkeit das Projekt mit ihrer digitale metrischen Kamera Rollei D7 metric⁵ durchzuführen. Die Kamera hat sich als sehr stabil erwiesen, die radiometrische Qualität der Bilder war bemerkenswert hoch und die Anwendung der Kamera im Praxiseinsatz wurde als unkompliziert eingestuft.

7 Literaturverzeichnis

- DSM, 2003A. „Die Bremer Hanse Kogge von 1380 im DSM, Archäologische Sensation und Ausgangspunkt erfolgreicher Forschung“. <http://www.dsm.de/Kogge/kogge.htm> (Zugriff am: 6. 9.2003)
- DSM, 2003B. „Mittelalterliche Schifffahrt. Die Konservierung der Mittelalter-Flotte“. <http://www.dsm.de/MA/konserve.htm> (Zugriff am: 6.9.2003)
- EOS, 2003. PhotoModeler 5, User manual, Eos Systems Inc., pp. 211-230.
- GNT, 2003. „Hansekogge wird im Mai freigegeben“ <http://www.gnt-verlag.de/programm/42/info-dk000211.shtml> (Zugriff am: 6. 9.2003)
- HOFFMAN, P., 1981, Towards the Conservation of the Bremen Hanse Cog. *Mariner's Mirror*, 67.4: pp.372-373.
- WESKI, T., 1999. Fiktion oder Realität? – Anmerkungen zum archäologischen Nachweis spätmittelalterlicher Schiffsbezeichnungen. *SKYLLIS, Zeitschrift für Unterwasserarchäologie* (2)2, pp.96-106.
- WIGGENHAGEN, M., 2002. Calibration of digital consumer cameras for photogrammetric applications, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Com.III, Graz, Austria, Vol. XXXIV 2002, Part 3B, pp. 301-304.