

Unterwasser-Konstruktionen in der Antike

Die Anwendung von Schiffbautechniken bei der Errichtung von
Unterwasser-Fundamente – Neue Erkenntnisse

Christopher Brandon

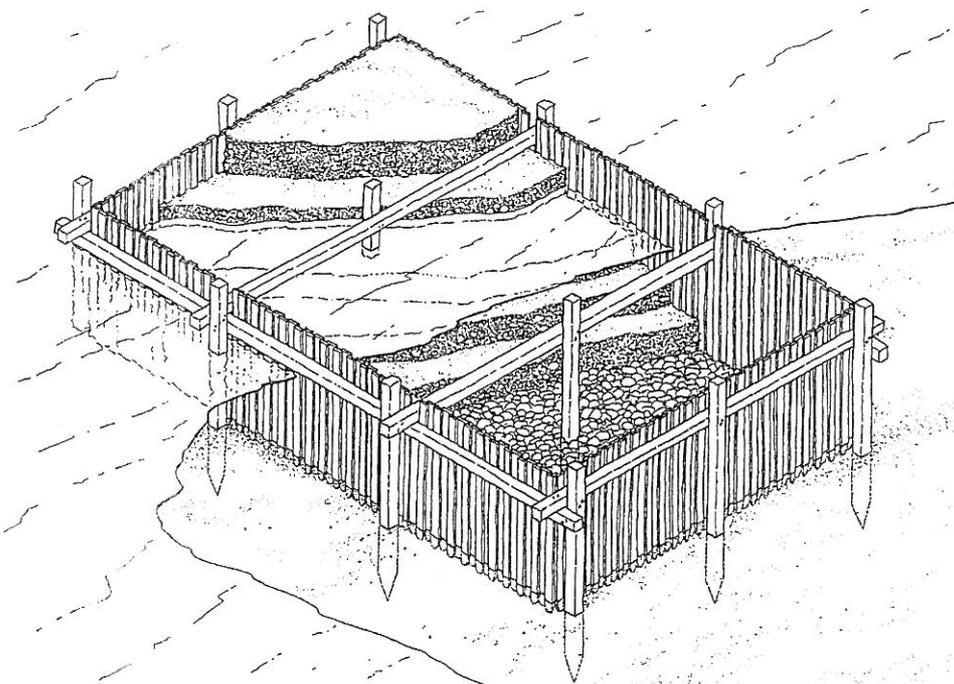
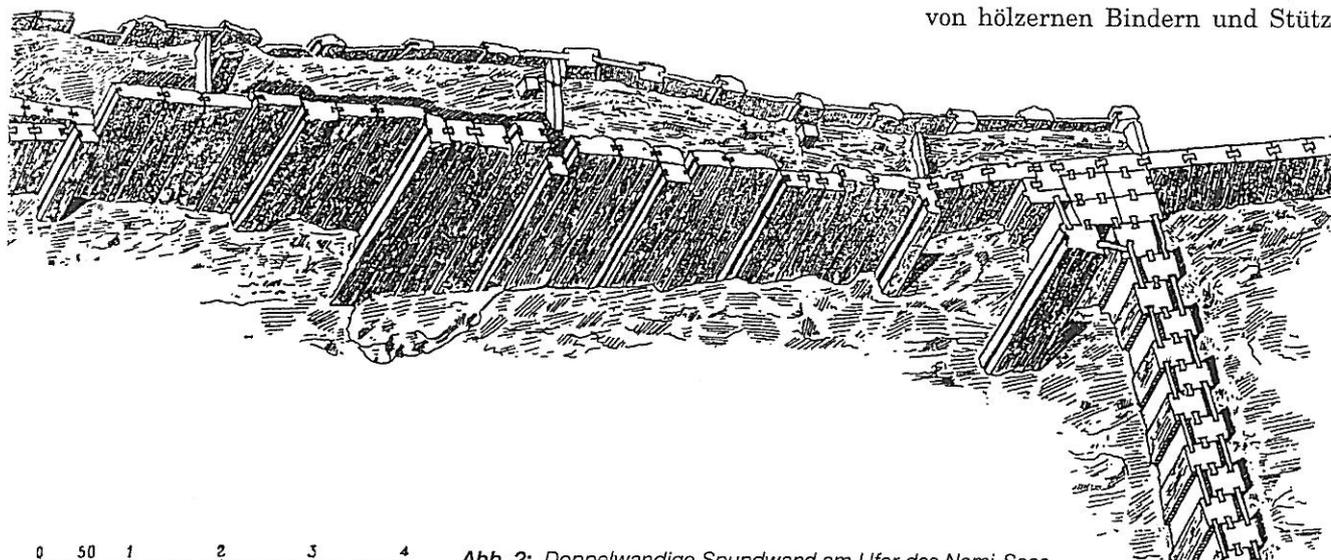


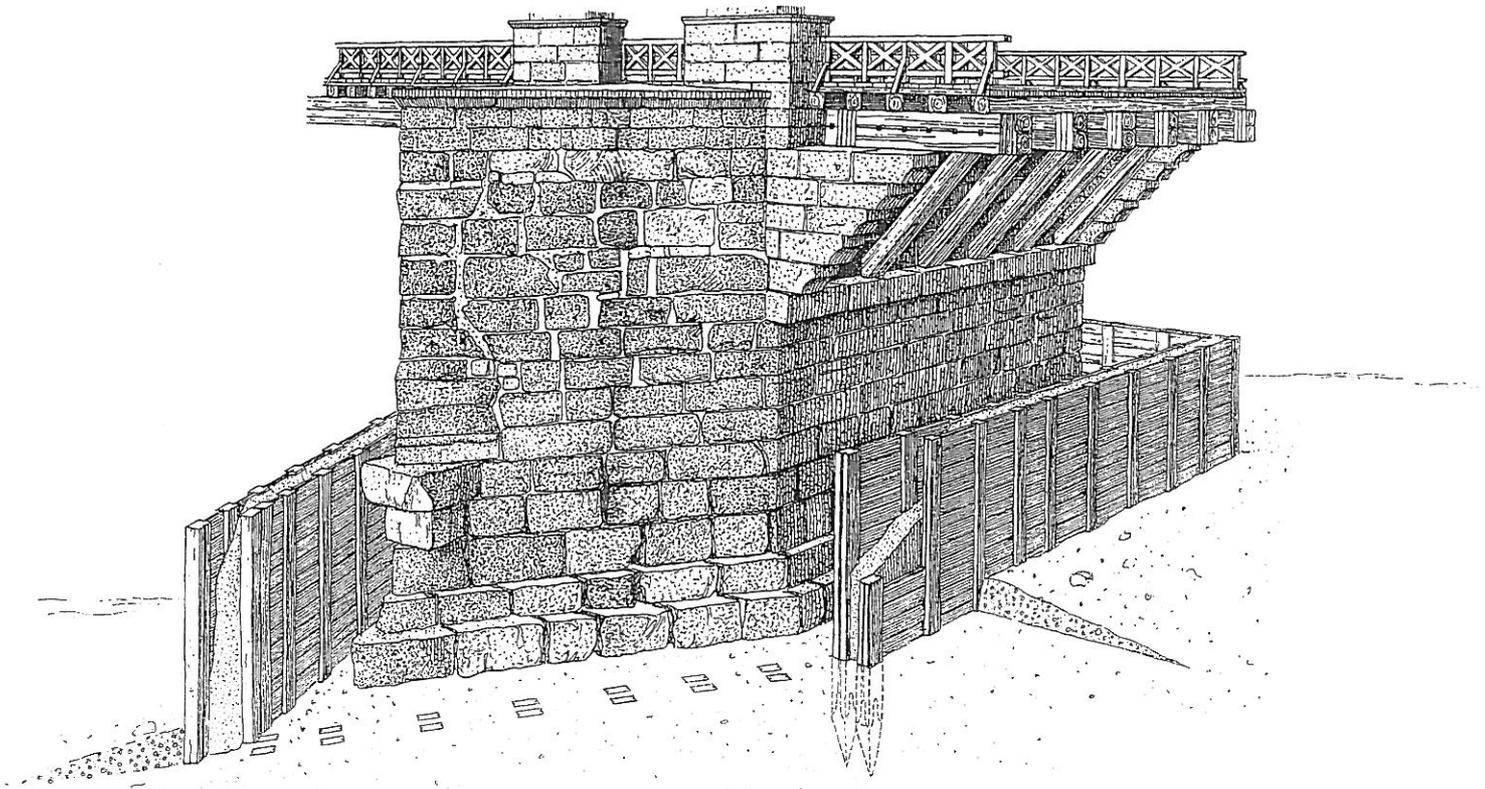
Abb. 1: Hypothetische Rekonstruktion einer Spundwand nach Vitruvs erster Methode, wie sie in Cosa verwendet worden ist

In seinen »Zehn Büchern über Architektur« liefert uns Marcus Vitruvius Pollio wertvolle Nachrichten darüber, wie römische Ingenieure und Bauleute Unterwasserbauten errichteten¹. Obwohl er sich speziell auf die Anlegung von Häfen bezieht, ist sein Text für jede Art von Bauarbeiten unter Wasser, seien es Brückenfundamente, Fluß- und Seeuferbefestigungen oder Hafenkais und Molen oder sogar Wasserbecken (*piscinae*, Fischzuchtbecken) von Bedeutung. In Buch V Kap. 12 beschreibt er drei Methoden zur Konstruktion von Bauten im Meer. Bei der ersten handelt es sich um die Errichtung einer gefluteten hölzernen Einfriedigung zur Aufnahme hydraulischen, d.h. unter Wasser aushärtenden Gußwerks aus Steinbrocken und Kalkmörtel, die von hölzernen Bindern und Stütz-



0 50 1 2 3 4

Abb. 2: Doppelwandige Spundwand am Ufer des Nemi-Sees.



pfosten zusammengehalten wird, bis die Mischung abgebunden hat. Die zweite Methode wird in Fällen angewandt, in denen die Meeresbedingungen eine Arbeit unter Wasser nicht erlauben. Blöcke aus Gußwerk werden außerhalb des Wassers hergestellt, können sich an der Luft setzen und werden erst nach völligem Abbinden ins Meer hinabgelassen. Als drittes Verfahren beschreibt Vitruv, wie man eine wasserdichte Spundwand herstellt, die dann ausgepumpt wird, so daß man ein Bauwerk unterhalb der Wasserlinie im Trockenen errichten kann.

Archäologische Beobachtungen bestätigen die Richtigkeit der vitruvischen Darstellung der ersten und dritten Methode, jedoch gab es bislang keine Nachweise für die Verwendung vorgefertigter Gußwerkblöcke, wie sie für die zweite beschrieben werden. Beispiele für die erste Methode existieren in Cosa (Abb. 1), Antium (heute Anzio),

Portus bei Ostia, Caesarea, Side (Süd-Türkei) und vielen anderen Hafenorten und Plätzen mit *piscinae* rings ums Mittelmeer und in Italien besonders längs der Küsten der Toskana, Latiums und Kampaniens. Beispiele für die Anwendung des dritten Verfahrens gibt es am Ufer des Nemi-Sees (Abb. 2), längs der Tiber-Ufer, an den Fundamenten der Römerbrücke von Trier

(Abb. 3) und vielleicht entlang der Hafentmole von Marseille.

Im Jahre 1990 wurde im Bereich des herodianischen Hafens von Caesarea (Israel) ein faszinierender Typus eines Senkkastens oder Caissons gefunden². Unter der Leitung Prof. Avner Rabans von der Universität Haifa wurden die Reste einer Reihe hölzerner For-

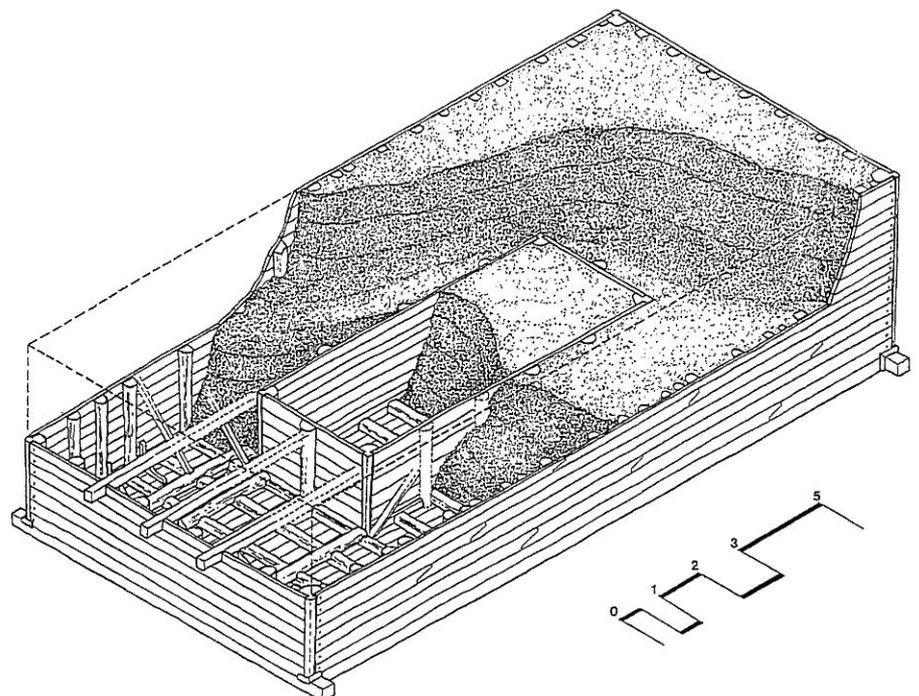


Abb. 3 (oben): Doppelwandige Spundwand um den Brückenpfeiler von Trier.

Abb. 4 (rechts): Caisson oder Senkkasten, verwendet in Areal K in Caesarea.

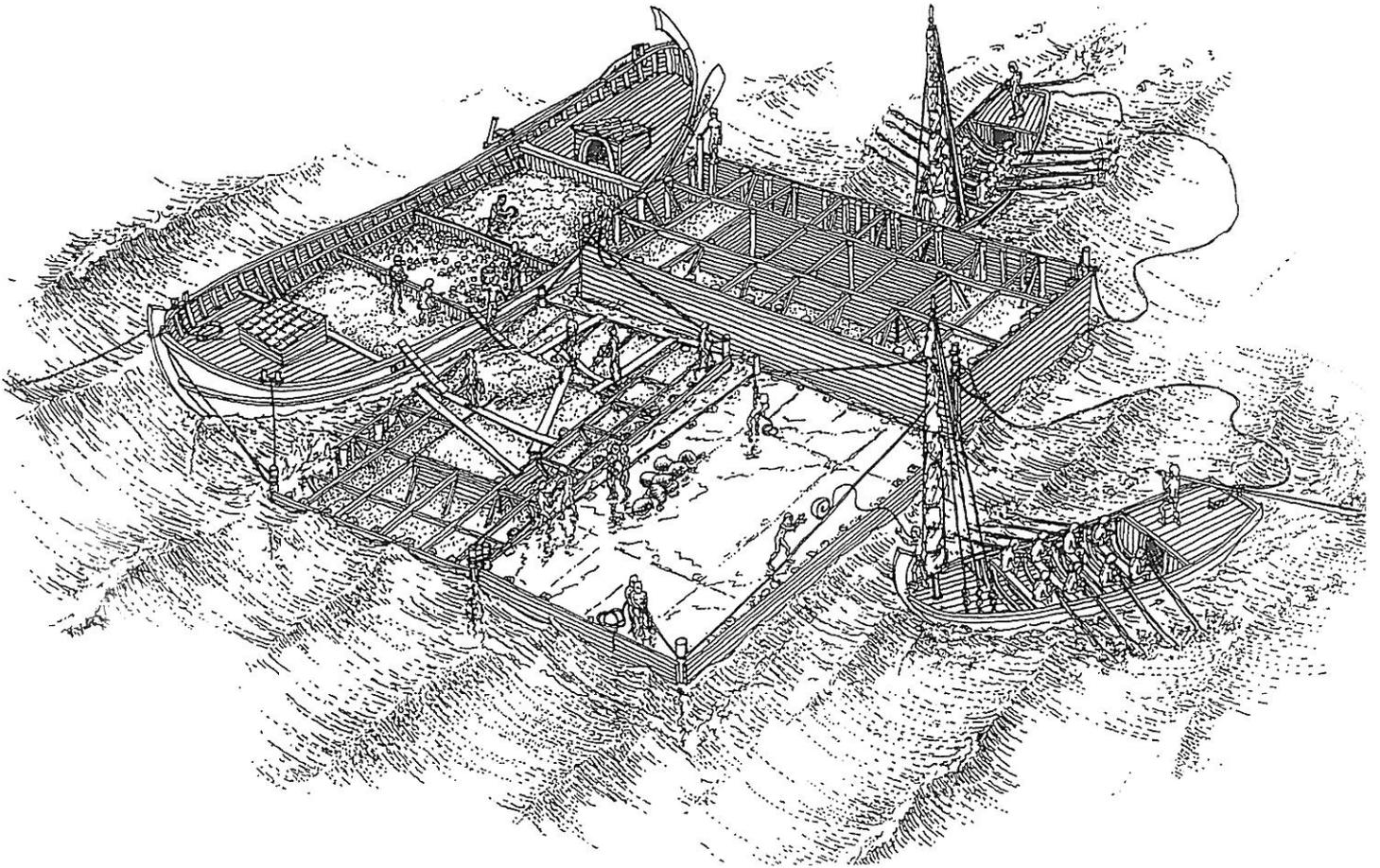


Abb. 5: Hypothetische Rekonstruktion von Senkkästen während der Absenkung im Areal K in Caesarea.

men, die 14 x 7 m im Grundriß und 4 m in der Höhe maßen, ausgegraben (Abb. 4). Es handelte sich um sorgfältig gebaute, wasserdichte, schwimmfähige Kästen, die auf dem Meeresufer hergestellt und dann übers Wasser zur Stelle des geplanten Nordendes der südlichen Hauptmole geschleppt worden waren. Nach dem Erreichen ihrer endgültigen Position wurden sie mit einer Mischung aus hydraulischem und nicht-hydraulischem Gußwerk gefüllt und in einer Linie so versenkt (Abb. 5), daß sie die Fundamente der Mole, der Seemauer und der Lagerhäuser bildeten.

Diese Caissons waren unter Anwendung von Schiffbautechniken errichtet worden; sie waren im Grunde nichts anderes als rechteckige Kähne oder Prähme, die nur eine »Einweg«-Aufgabe hatten. An ihren Schmalseiten mit Nut und Feder verbundene

Planken bildeten eine wasserdichte Einfriedigung. Bodenwrangen wurden in Rahmenbalken eingelassen, die auch Stützpfeiler für die Seitenwände aufnahmen (Abb. 6). Wand- und Bodenplanken wurden mittels Holznägeln an den Seitenstützpfeilern und

Bodenwrangen befestigt und diese in den Rahmenbalken eingezapft. Zusätzlich wurde die Verbindung durch Kniestücke versteift (Abb. 7). Innere Schrägstützen sorgten für weitere Verstärkung, wenn der Kasten mit hydraulischen Massen beladen wurde, da er sich auf den

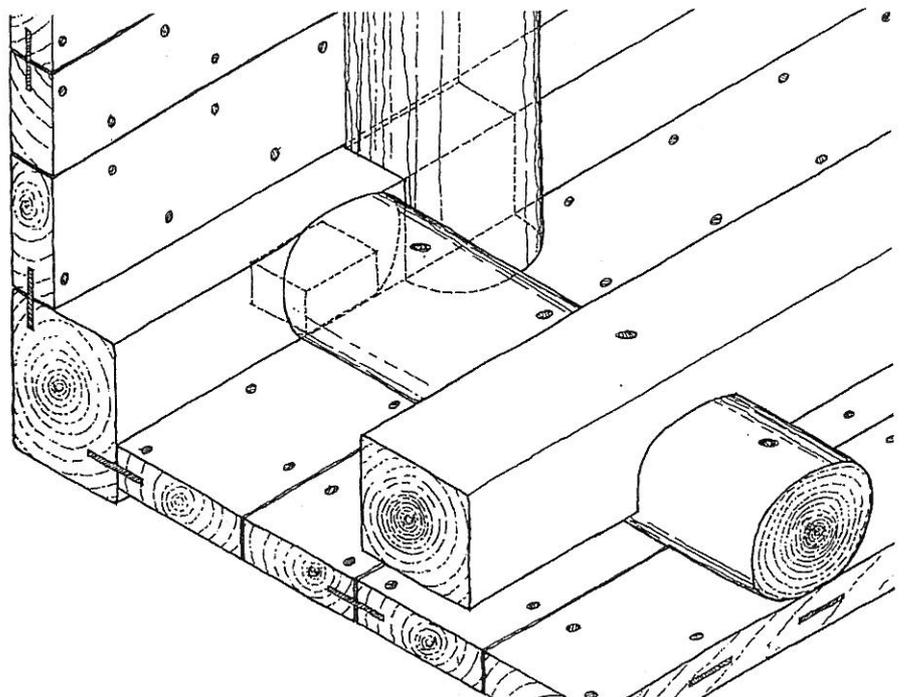


Abb. 6: Caisson des Typs K. Verbindung der Seiten- und Bodenplanken und des Balkenrahmens.

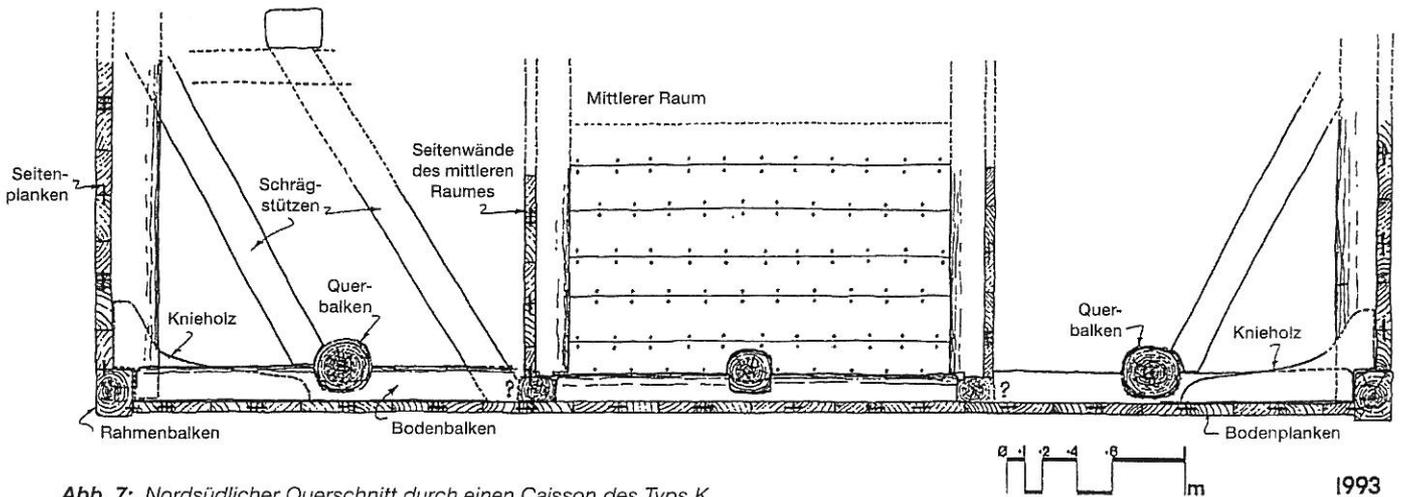


Abb. 7: Nordsüdlicher Querschnitt durch einen Caisson des Typs K.

Meeresboden mit einer Teilladung absenkte und das Gußwerk zusammenhielt, während es abband.

Diese Konstruktionen hatten offensichtlich den Zweck, trockene Bedingungen für die Einbringung und das Setzen der Gußwerkmassen (hydraulischer wie nicht-hydraulischer) sicherzustellen, die Herodes' Ingenieure in diesem Teil des Hafens verwendeten. Zur Zeit ihrer Entdeckung hielt man diese Methode für einmalig. Vitruv berichtet nicht von ihr, und das einzige Vergleichsbeispiel war ein Caisson, der bei der Erbauung eines Anlegers im römischen Hafen von Laurons (Süd-Frankreich) verwendet worden ist (s. u.). Allerdings könnte Prokops Beschreibung der Errichtung des justinianischen Hafens von Konstantinopel mittels sehr großer *kibotoi* (griech. Kasten, Kisten) durchaus auf ähnliche

schwimmende Caissons hinweisen³.

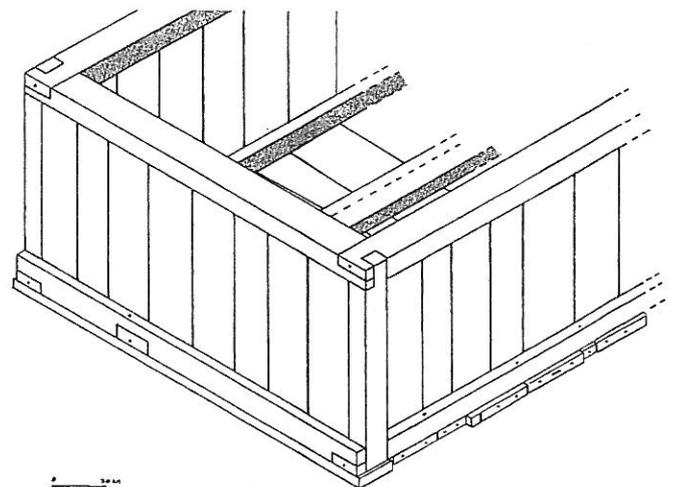
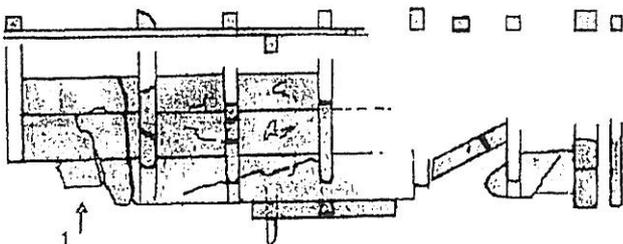
Im Jahre 1997 scheinen Franck Goddios Taucher einen vergleichbaren Caisson-Typus im Hafen von Alexandria entdeckt zu haben⁴. Die Holzkästen waren hier ursprünglich ca. 10-15 m lang, 5-8 m breit und 1-3 m hoch. Wasserdicht und mit einem Fußboden versehen, wurden sie zur Herstellung nicht-hydraulischer Gußwerkblöcke verwendet, die dann als Teile der Fundamente für die Hafen-Esplanade dienten. Diese Caissons bestanden aus 3-4 cm dicken, an ihren Kanten mit Nut und Feder verbundenen, mit Rahmen- und Querbalken ausgesteiften Bohlen und scheinen auch mit einem äußeren Stützwerk versehen gewesen zu sein (Abb. 8). Bedauerlicherweise stehen bislang nur sehr wenige Informationen über diese bedeutenden Konstruk-

tionen zur Verfügung, die durch Radio-Carbon-Untersuchungen um 250 v. Chr. datiert werden.

Am Nordufer des östlichen Bachlaufs im bereits erwähnten römischen Hafen von Laurons sind die Reste eines hölzernen Caissons von 22,9 m Länge und 2,2 m Breite gefunden worden⁵. Diese rechteckige Konstruktion hatte einen Boden aus breiten Planken, die an einem Balkenrahmen von unten her befestigt waren (Abb. 9). Die obere Fläche dieses Rahmens wies tiefe Rillen auf, in denen ursprünglich senkrechte Bretter fußen, die die Seitenwände bildeten. Senkrechte Eckpfosten waren ebenfalls in die Bodenwrangen und den Balkenrahmen eingelassen. Im Gegensatz zu den Caissons von Alexandria und Caesarea scheint die hier angewandte Konstruktionsart keine Verbindung zum Schiffbau

Abb. 8 (unten): Wasserdichter Caisson, gefunden im Hafen von Alexandria.

Abb. 9 (rechts): Hypothetische Rekonstruktion des West-Endes des im Hafen von Laurons gefundenen Caissons.



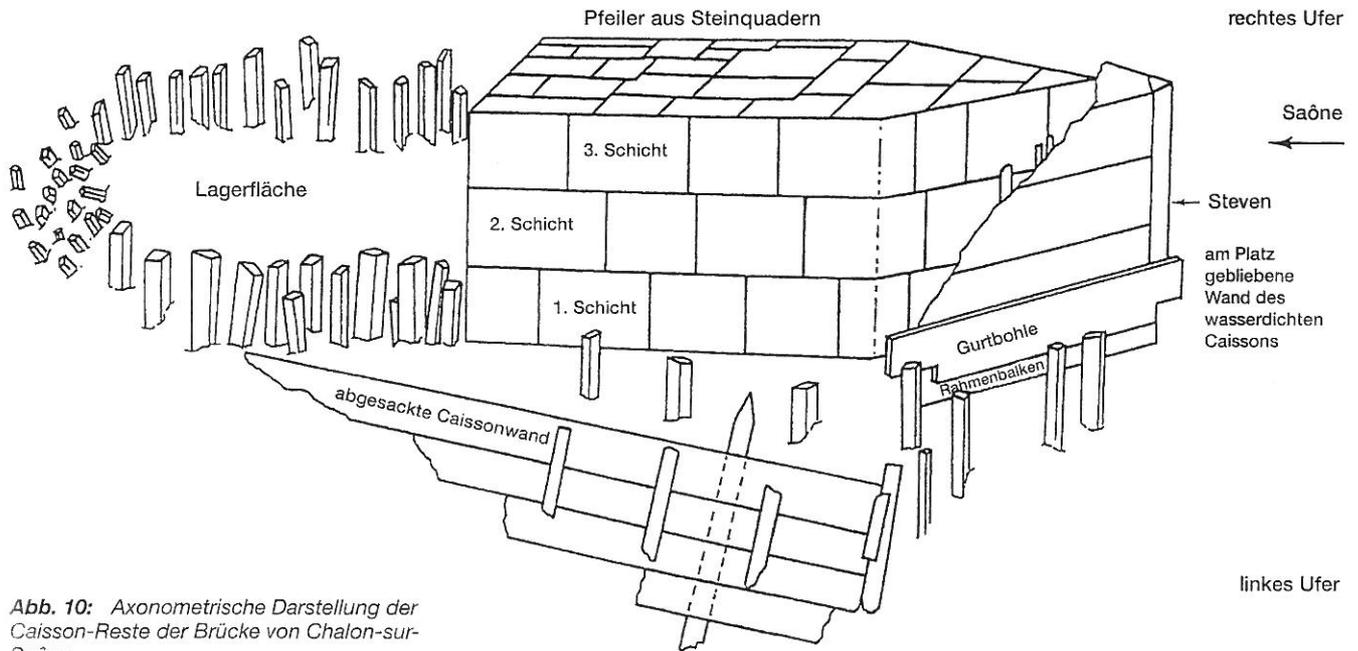


Abb. 10: Axonometrische Darstellung der Caisson-Reste der Brücke von Chalon-sur-Saône.

aufzuweisen. Die Einzelheiten der Verbindungen entsprachen denen, die man an Land verwendet, jedoch war der Kasten wasserdicht und schwimmfähig. Er war am Ufer hergestellt, dann mit Seilen an seinen Platz geschleppt und schließlich mit Schotter und Mörtel gefüllt versenkt worden, um die Mole zu bilden. Reste der Seile wurden mit den hölzernen Bauteilen unter der Anlage gefunden.

Arbeiten, die Louis Bonnamour zwischen 1994 und 1998 an den Fundamentresten der römischen Brücke von Chalon-sur-Saône durchführte, förderten eine ungewöhnliche Verschalung rings um die steinernen Brückenpfeiler zutage, die in den Anfang des 3. Jahrhunderts n.Chr. datieren (Abb. 10)⁶. Im Gegensatz zu der von Vitruv beschriebenen Spundwand und dem archäologischen Befund an den Brückenfundamenten von Trier sind die Pfeiler der Brücke von Chalon innerhalb wasserdichter, mit einem Boden versehener Caissons errichtet worden. Diese waren in Schiffbautechnik hergestellt, und die Bretter waren mit Nut-und-Feder-Verbindungen an Bodenrahmen befestigt (Abb. 11). Eine raffinierte Gestaltung dieser Bodenrahmen bewirkte eine dichte Verbindung zwischen den Seiten

und dem Boden (Abb. 12). Dieser bestand aus zwei Lagen eichener Planken. Die untere Lage enthielt 8 cm dicke Eichenbretter, die mit versetzt angeordneten, 60 bis 120 cm von einander entfernten Nuten und Federn verbunden waren und den Plankengängen eines Bootes entsprechen. Eine mittlere Planke hat T-förmigen Querschnitt, ist dicker – wobei die Stärke zum Bug hin noch betont wird – und erscheint wie ein Kiel. Die zweite Lage anstelle der Bodenwrangen oder als abgeflachter Rahmen, um eine ebene Fläche für die Aufnahme des steinernen Pfeilers zu bieten. Kniehölzer unterstützten die an sich schon gut gearbeitete Verbindung zwischen den Seitenwänden und den Bodenhölzern sowie den Eckpfosten.

Zur Abdichtung der Fugen zwischen den Plankengängen wurden Pflanzenfasern verwendet, und zwischen den beiden Plankenlagen des Bodens wurde aus pflanzlichem Harz gewonnenes Pech aufgetragen.

Der Caisson oder »Brückenpfeiler-Prahm« war mindestens 12 m lang und 6 m breit und wurde am Flußufer hergestellt; dies geht eindeutig daraus hervor, daß die Befestigung

der unteren Bodenplanken am Balkenrahmen von der Unterseite her bewerkstelligt worden ist. Der Standplatz des Brückenpfeilers wurde vorbereitet durch Auspfählung und durch Aufhöhung und Ebnung des ganzen Bereichs, um einen sicheren, festen und ebenen Baugrund zu erreichen. Der Caisson wurde dann zu Wasser gelassen und mit einer vollständigen Schicht Sandsteinblöcke beladen, die die unterste Steinlage des Pfeilers bilden sollte. Die Blöcke waren annähernd 60 cm dick, und ihr Gewicht dürfte den Caisson sehr schnell auf die vorbereitete Ebene im Flußbett, 2 m unter der Wasseroberfläche, abgesenkt haben. Dabei wurde dieser durch Pfähle, die an seinen Außenflächen in den Grund gerammt wurden, in der vorgesehenen Position gehalten. Da der Caisson stets mit seinen Wänden aus dem Wasser ragte, brauchte er nicht ausgepumpt zu werden. Die Brückenbauer konnten im Trockenen arbeiten und den Pfeiler aufführen, bis er den Wasserspiegel überragte und der Caisson überflüssig wurde. Er wurde aber nicht entfernt, sondern man ließ ihn sich im Laufe der Zeit in seine Einzelteile auflösen.

Warum wurde diese Methode den gebräuchlicheren Verfahren, wie

Abb. 11: Seitenansicht von der Pfeilerstirn des Caissons von Chalon-sur-Saône.

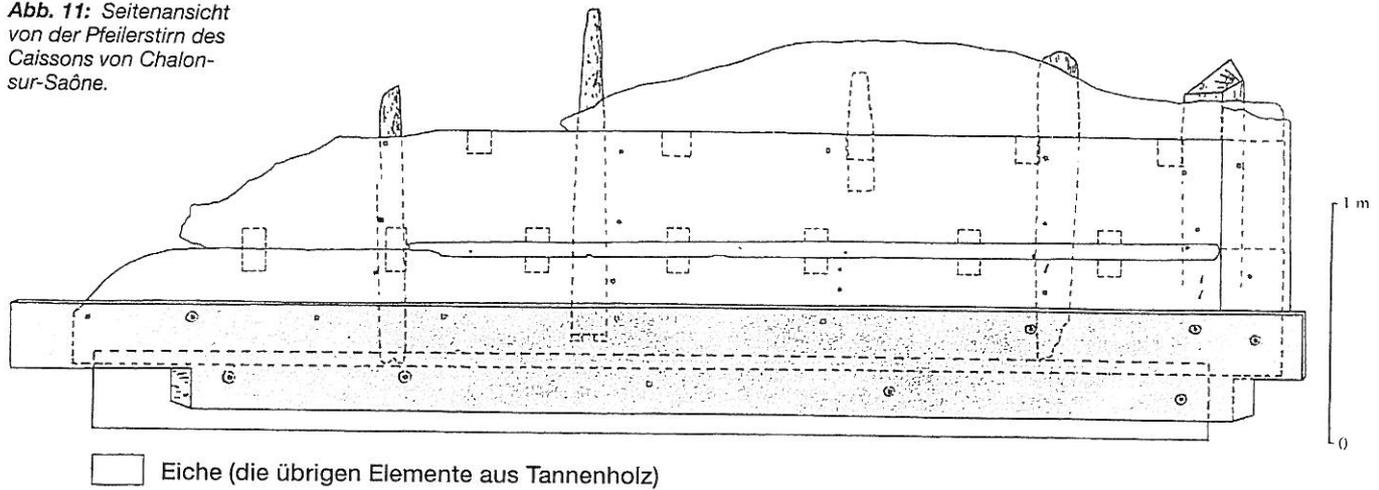
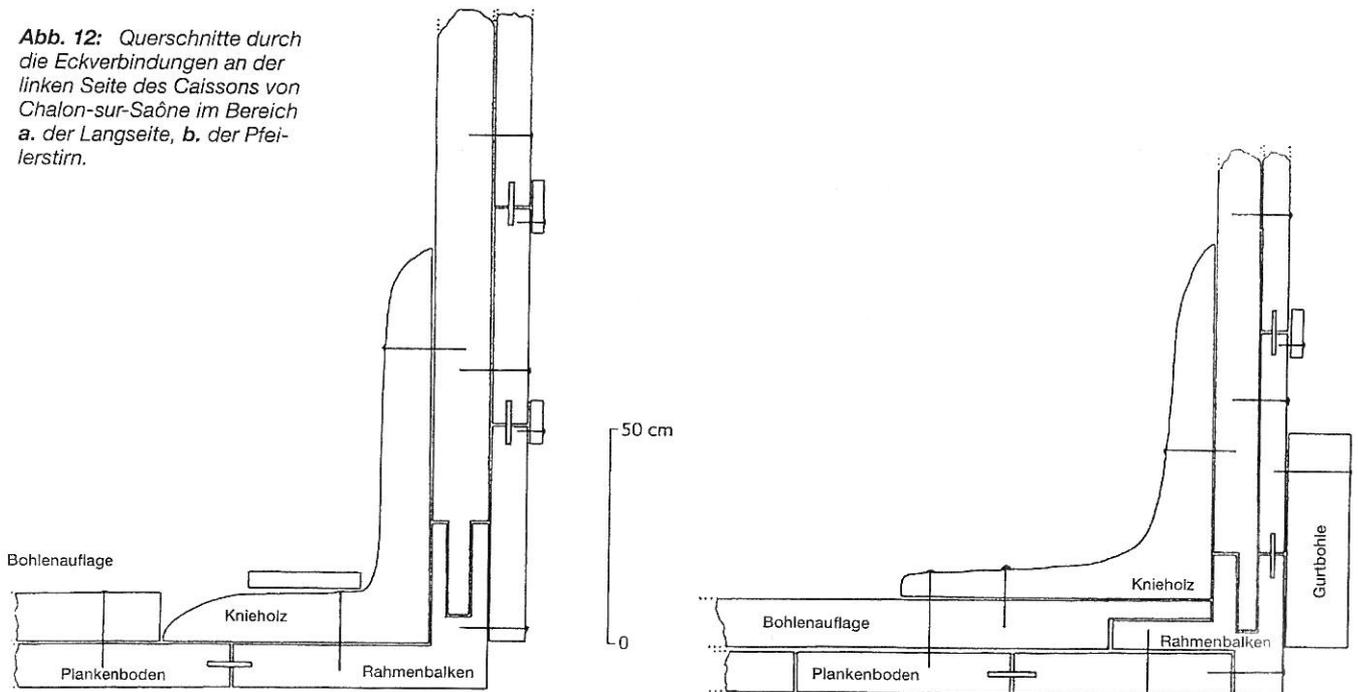


Abb. 12: Querschnitte durch die Eckverbindungen an der linken Seite des Caissons von Chalon-sur-Saône im Bereich a. der Langseite, b. der Pfeilerstirn.



sie Vitruv beschreibt, vorgezogen? Also der Errichtung einer Spundwand aus in den See- oder Flußgrund getriebenen, mit Pfosten und Bindern verstärkten Bohlen, in deren wassergefülltes Innere Gußwerk geschüttet werden konnte? Oder der doppelwandigen, mit Lehm wasserdicht gemachten und leergepumpten Spundwand? Es liegt auf der Hand, daß diese Methode nur herangezogen wurde, wenn es notwendig war, im Trockenen arbeiten zu können. Die Alternative, nämlich die Errichtung einer wasserdichten Spundwand, könnte unter gewissen Umständen, wie bei tiefem oder rauhem Gewäs-

ser, schwierig, ja unmöglich sein. Zum Beispiel wäre es praktisch ausgeschlossen gewesen, eine 3 bis 4 m hohen Spundwand im Bereich des äußeren Wellenbrechers bei Caesarea zu errichten, und wahrscheinlich war die Situation in Konstantinopel ähnlich. Eine Spundwand konnte es nicht unbedingt mit Tiefen von über 2 m aufnehmen und benötigte relativ ruhiges Wasser. Es waren dafür auch Bodenschichten nötig, in die man Pfosten hineintreiben konnte, und selbst wenn diese mit Eisenkappen versehen wurden, war das nicht immer möglich. Ein anderer Grund für die Verwendung wasser-

dichter Schwimmcaissons könnte ganz einfach der sein, daß man sie zu bauen verstand, Spundwände aber nicht.

Das ausschlaggebende Kriterium für die Verwendung schwimmender Caissons mit Böden (im Gegensatz zu dem in Caesarea benutzten alternativen Caisson-Typus G⁷) besteht darin, daß der Grund des Meeres oder Flusses so vorbereitet werden kann, daß eine ebene, feste Plattform entsteht, auf der man die einzelnen Einheiten absetzen kann. In Caesarea hat man zunächst eine Schotterschicht verlegt und von Tauchern ebnen lassen, bevor Cais-

sons des Typus K darauf versenkt worden sind. In Chalon-sur-Saône war ein umfangreiches Einrammen von Pfählen und Hinterfüllen nötig, ehe eine hinlänglich ebene Plattform geschaffen war.

Vitruv hat diese Schwimmcaissons nicht erwähnt, sei es daß sie nicht allgemein in Gebrauch waren, sei es, daß er sie einfach nicht kannte. Wenn es notwendig war, Molen oder Wellenbrecher in tiefem oder rauhem Gewässer zu bauen, war es ein üblicheres Verfahren, große Steinblöcke von Kähnen aus zu versenken, um eine grobe Anschüttung zu gewinnen, auf die man dann Gußwerk-Plattformen gießen konnte, wie Plinius der Jüngere bei Centum Cellae (Civitavecchia) beobachtet hat⁸. Eine Variante der Methode der schwimmenden Caissons bestand im Einsatz von Schiffsrümpfen, wie er in Kaiser Claudius' Hafen von Portus bei Ostia angewandt und vom älteren Plinius beschrieben worden ist⁸.

Zusammenfassung

Einer der faszinierenden Aspekte der Errichtung des Hafens des Herodes in Caesarea Maritima in Israel ist die Verwendung von Kalkmörtelgußwerk, das in wasserdichten Caissons unterhalb der Wasserlinie hergestellt wurde. Diese rechteckigen »Einweg-Prähme« wurden auf dieselbe Art erbaut wie seetüchtige Schiffe. Ihre ungewöhnliche Konstruktion, die Vitruv nicht erwähnt, hatte zur Zeit ihrer Auffindung im Areal K des Hafens Anfang der 1990er Jahre keine bekannte Parallele. Spätere Entdeckungen in Alexandria und Chalon-sur-Saône zeigen jedoch, daß diese Methode nicht einmalig war. Der Artikel beschreibt in Kürze die bekannten Beispiele antiker, mittels Schiffbautechniken errichteter wasserdichter Caissons und geht den möglichen Gründen dafür nach, warum sie anstelle der gebräuchlicheren Spundwände angewandt worden sind.

Anmerkungen

- 1 Vitruv, ed. C. Fensterbusch (Darmstadt 1981) 248 ff.
- 2 C. Brandon, Cements, Concrete and Settling Barges at Sebastos: Comparison with other Roman Harbour Examples and the Descriptions of Vitruvius, in: A. Raban – K. Holum (Hrsgg.), Caesarea Maritima, A Retrospective after two Millennia (Leiden 1996) 25 ff.; ders., The Concrete-Filled Barges of King Herod's Harbor at Sebastos, in: St. Swiny – R. Hohlfelder – H. Swiny (Hrsgg.), Res Maritimae, Cyprus and the Eastern Mediterranean from Prehistory to Late Antiquity. Proceed. of the 2nd Internat. Symposium »Cities on the Sea«, Nicosia 1994 (Atlanta, Ga., 1997) 45 ff.; ders., Techniques d'architecture navale dans la construction des caissons en bois du port du roi Hérode à Césarée, in: Cahiers d'archéologie subaquatique 13, 1997, 13 ff.; ders., Wooden Caissons for Hydraulic Concrete at the Harbour of Caesarea, in: M. Lazarov – Chr. Angelova (Hrsgg.), Thracia Pontica VI 1 (Centre of Underwater Archaeology, Sozopol, Bulgaria); ders., Pozzolana, lime and single-mission barges (area K), in: K.G. Holum – A. Raban – J. Patrich (Hrsgg.), Caesarea Papers II. Journal of Roman Archaeology Suppl. Series 35, (1999) 169 ff.
- 3 Prokop, Bauten (ed. O. Veh – W. Pülhorn, München 1977) 1,11,18-20; J.W. Humphrey – J. Oleson – A.N. Sherwood, Greek and Roman Technology. A Sourcebook (London 1998) 477 Nr. 10.96. (Für die Deutung der *kibotoi* als Schwimmcaissons spricht, daß auch die Arche Noah in der Bibel (Genesis 6,14) als *kibotos* bezeichnet wird, Anm. d. Red.).
- 4 F. Goddio – A. Bernand u. a., Alexandria. The Submerged Royal Quarters (London 1998) 33 ff.
- 5 S. Ximénès – M. Moerman, Le quai de la crique et du port romain des Laurons (Martigues). Cahiers d'Archéologie Subaquatique 7, 1989, 179 ff.
- 6 L. Bonnamour, Les ponts romains de Chalon-sur-Saône. Gallia 57, 2000, 273 ff.
- 7 J. P. Oleson, Area G: Northwest Tip of Northern Breakwater and Adjacent Tower. in: A. Raban, The Harbours of Caesarea Maritima, Results of the Caesarea Ancient Harbour Excavation Project, 1980-1985 Bd. 1 The Site and the Excavations. BAR Internat. Series 491 (1989) 127 ff.
- 8 Plinius der Jüngere, Briefe VI 31,15-17.
- 9 Plinius, Naturalis Historia XXXVI 70.

Abbildungsnachweis

Abb. 2: G. Ucelli, Le navi di Nemi (2. Aufl., Rom 1950) 121.

Abb. 3: H. Cüppers, Die Trierer Römerbrücken (Trierer Grabungen u. Forschungen V, Mainz 1969) 152.

Abb. 8: Goddio a.O. (s. Anm. 4).

Abb. 9: Ximénès – Moerman a.O. (s. Anm. 5).

Abb. 10-12: Bonnamour a.O. (s. Anm. 6).

Alle anderen Abb.: Verf.

Anschrift des Verfassers

Christopher Brandon
Pringle Brandon Architects
10 Bonhill Street
EC2A 4QJ London
England

Übersetzung aus dem Englischen

Christoph Börker