

JOCHEN JÖRG

Die letzte Reise des Mahdia-Schiffes

Eine nautische Bewertung

Der Fundort des Mahdia-Schiffes in den Küstengewässern vor Cap Afrique – und damit fernab von seinem Reiseweg – wirft die bisher nicht hinreichend beantwortete Frage auf, wie eine derart große Deviation des Schiffes von der üblichen Standardroute für den Handelsverkehr vom Piraeus nach den Häfen Westitaliens hat eintreten können (Abb. 1).

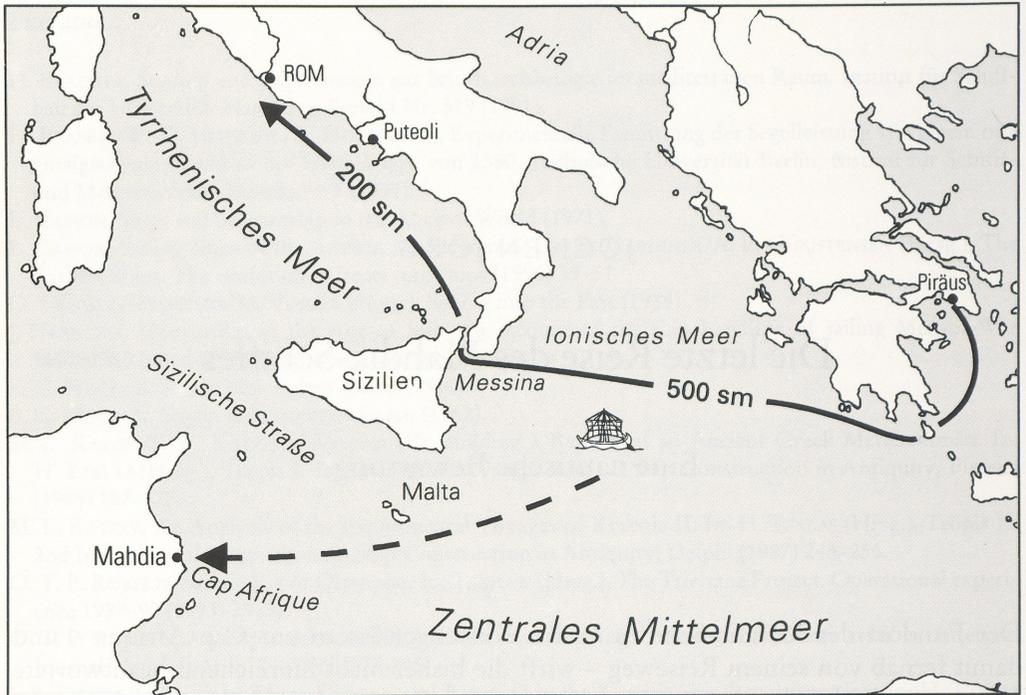
Der erste Eindruck bei Betrachtung der im Zentralen Mittelmeer vorherrschenden meteorologischen und hydrographischen Verhältnisse – losgelöst von einer Einbeziehung der spezifischen nautischen Kriterien des Schiffes und seiner Ladung – bietet in der Tat keine plausible Antwort. Im Gegenteil: die so unerklärlich weit vom eigentlichen Reiseweg abgelegene Position des Untergangsortes scheint dazu angetan, Zweifel an Herkunft¹ und/oder Bestimmungsort des Seetransportes an sich zu wecken².

Bei näherer Betrachtung aber – unter sorgfältiger Berücksichtigung der für den Reiseverlauf ansetzbaren Wetter- und Strömungsverhältnisse – und realistischer Nachstellung der nautischen Maßnahmen, welche die in eine extreme Wetterlage versetzte Schiffsführung zur Sicherung des problematischen Schwerguttransportes ergriffen haben mag³, zeichnet sich eine in sich schlüssige Hypothese ab, zu deren Entwicklung und besserem Verständnis vorab einige Phänomene aus Geophysik und Nautik zu beleuchten sind.

¹ Herkunft und Ziel des Kunsttransportes erscheinen anhand anderweitiger, vorwiegend kunsthistorischer Indizien hinreichend belegt und sind im übrigen nicht Gegenstand dieser Betrachtung.

² Die bislang nicht geschlossene Erklärungslücke hat bezeichnenderweise zu einer von der vorherrschenden Meinung abweichenden Hypothese geführt, welche den Kunsttransport des Mahdia-Schiffes vor der nordafrikanischen Küste ausmacht – auf dem Weg von Thapsos nach Sabratha –, ein Konstrukt, dessen Argumentationskette einer nautischen Überprüfung nicht standhält (H. WARNECKE, Welchen Kurs nahm das Schiff von Mahdia? *Orbis Terrarum* 1, 1995, 122 ff.).

³ Marmorsäulen stellen eine schwer zu sichernde Gewichtsladung (spez. Gew. 2,7) dar, welche bei niedrigem Stauschwerpunkt im Schiff eine unerwünscht hohe Stabilität mit der Konsequenz eines schlechten Seeverhaltens verursacht.



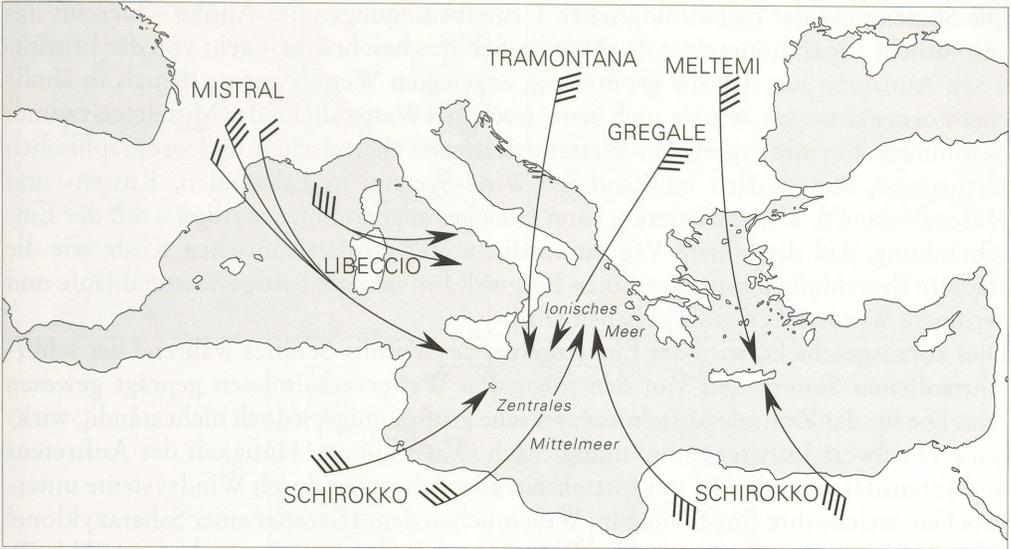
1 Übliche Route von Athen nach Mittelitalien (durchgezogene Linie) und vermutlicher Weg des Mahdia-Schiffes (durchbrochene Linie).

Die Wetterverhältnisse im Zentralen Mittelmeer

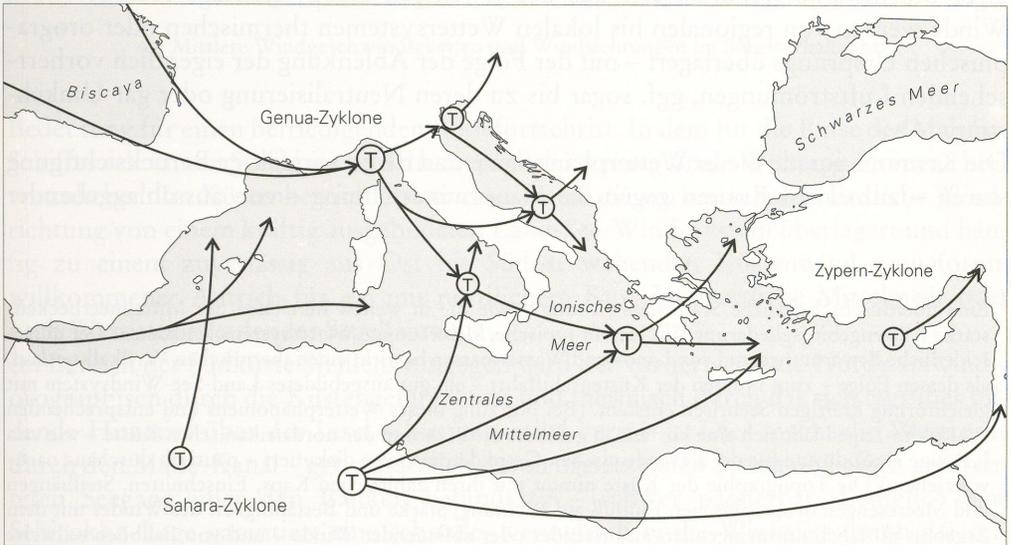
Der mengenrelevante Seetransport um die Zeitenwende wurde im wesentlichen unter Segelantrieb abgewickelt⁴, von Fahrzeugen zwar beträchtlicher Größe, jedoch nur begrenzter Seetüchtigkeit und Kreuzeigenschaften⁵. Der guten Kenntnis der üblicherweise im Fahrtgebiet herrschenden Windverhältnisse und deren optimaler Anwendung bei der Führung eines Segelfahrzeuges kam damit zentrale Bedeutung zu: Richtung und Stärke der Windeinwirkung entschieden über Routenwahl und die zu steuernden Kurse, die aufgeworfene Windsee und Dünung prägten das Seeverhalten des Schiffes und damit die Taktik seiner Führung in schwerem Wetter – Angelpunkt für Erfolg oder Scheitern antiker Seefahrt unter Segel.

⁴ Ein hypothetischer Hilfs- oder gar Hauptantrieb mittels Riemen ist für ein voluminöses Frachtschiff im Hochsee-Einsatz technisch auszuschließen – es sei denn für den kurzfristigen Einsatz auf glattem Wasser und nur gegen geringen Windwiderstand.

⁵ Mangels zeitnäheren Materials zur Frachtschiffahrt der Antike sei hier der Vergleich mit der Hansekogge und der Nao "Santa Maria" (nach Hidalgo) herangezogen, deren Rumpfform und Takelage dem Typ des Mahdia-Schiffes am ehesten nahekommen. Die Erforschung ihrer See-Eigenschaften im Testtank und Windkanal wie auch die Testfahrten ihrer authentischen Nachbauten belegten unzulängliche Kreuzeigenschaften mit einer Höhe von maximal 70° zum wahren Wind und Abdriftwinkeln von 10–20°. U. BAYKOWSKI, Die Kieler Hansekogge (1991).



2 Die für das Mahdia-Schiff relevanten Winde im Mittelmeerraum.



3 Die Hauptzugbahnen mediterraner Tiefdrucksysteme.

Die Skizzierung der meteorologischen Grundbedingungen der Antike – hier auf das vermutliche Operationsgebiet des Mahdia-Schiffes beschränkt – geht von der begründeten Annahme aus, daß die großräumig angelegten Wettersysteme damals in ähnlicher Form existierten, wie sie auch heute noch den Wetterablauf des Mittelmeerraumes bestimmen. Für die regionalen Wetterphänomene thermischen und orographischen Ursprungs⁶, wie sie sich im Land-See-Wind-System, in Fallwinden, Küsten- und Düseneffekten u. a. manifestieren, kann Gleiches angenommen werden – mit der Einschränkung, daß die höhere Vegetationsdichte der nordafrikanischen Küste wie die stärkere Bewaldung der mediterranen Bergwelt für weniger heftige Wetterabläufe und geringere Windstärken gesorgt haben wird.

Dies vorausgeschickt, wird das Einsatzgebiet des Mahdia-Schiffes während der schiffahrtsoffenen Sommerzeit von den folgenden Wetterverhältnissen geprägt gewesen sein: Die für das Zentrale Mittelmeer typische großräumige, jedoch nicht ständig wirksame Nordwest-Luftströmung⁷ nimmt nach Osten hin an Häufigkeit des Auftretens und Intensität ab und wird mit fortschreitender Jahreszeit durch Windsysteme unterbrochen, welche ihre Entstehung im Wesentlichen dem Hitzetief einer Saharazyklone⁸ oder Kaltluftausbrüchen⁹ aus dem Rhone- und Balkanbereich verdanken (Abb. 2). Während sich aus erstgenannten Wetterlagen Schirokko mit stürmischen Winden aus dem 2. und 3. Quadranten entwickeln kann, liefern die Kaltluftausbrüche unter der Bezeichnung Gregale und Tramontana nördliche bis nordöstliche Winde von mehrtägiger Sturmstärke (Abb. 2). Die aus der jeweiligen Großwetterlage resultierenden Winde werden von regionalen bis lokalen Wettersystemen thermischen oder orographischen Ursprungs überlagert – mit der Folge der Ablenkung der eigentlich vorherrschenden Luftströmungen, ggf. sogar bis zu deren Neutralisierung oder gar Umkehrung.

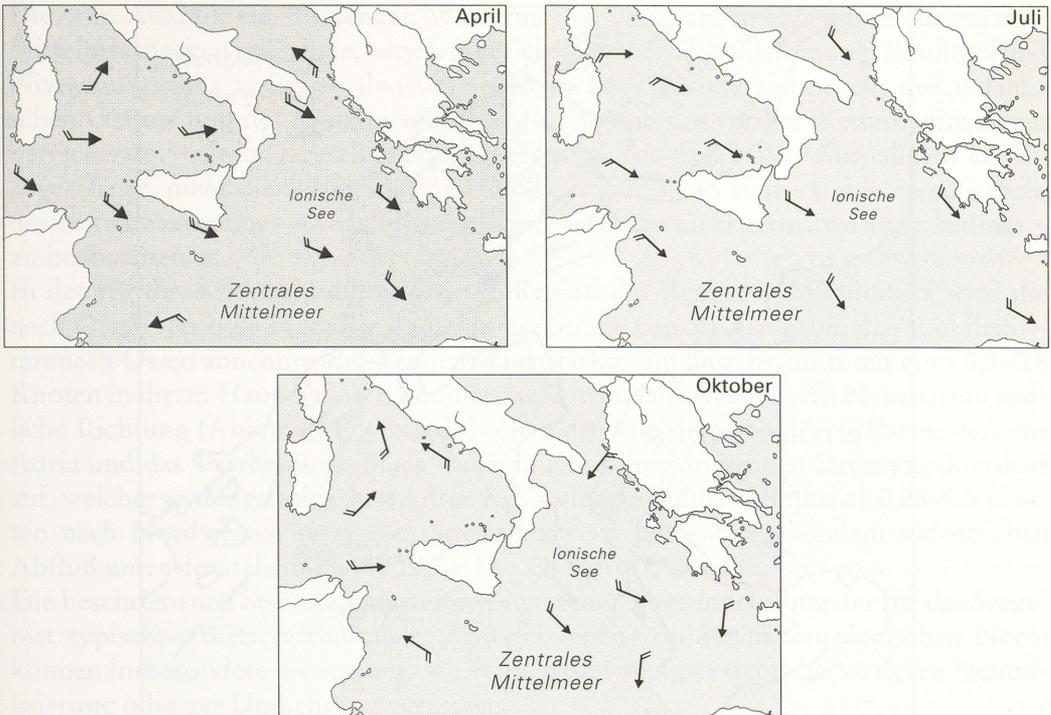
Die Kenntnis gerade dieser Wetterphänomene und deren sorgfältige Berücksichtigung waren – zumal auf Routen gegen die Hauptwindrichtung – von ausschlaggebender

⁶ Eine überdurchschnittliche Sonneneinwirkung sowie die in weiten Bereichen des Mittelmeerbeckens starke Küstengebirgsgliederung läßt hierfür typische, kleinräumige Wettersysteme entstehen. Der unterschiedliche Erwärmungsgrad von Land- und Wassermassen bewirkt einen thermischen Vertikalkreislauf, als dessen Folge – zum Nutzen der Küstenschifffahrt – ein gut ausgebildetes Land-See-Windsystem mit gleichförmig kräftigen Seebrisen entsteht. (Bei Nutzung dieses Wetterphänomens und entsprechenden Schirokko-Lagen läßt sich eine küstennah geführte Schifffahrt an der nordafrikanischen Küste – wie von J. Rouge als Südroute für die alexandrinischen Getreidetransporte diskutiert – nautisch durchaus nachvollziehen.) Die Topographie der Küste nimmt mit ihren zahlreichen Kaps, Einschnitten, Steilhängen und Meerengen orographischen Einfluß auf Richtung, Stärke und Beständigkeit des Windes mit dem Ergebnis plötzlich umspringender, aufbrisender oder abflauernder Winde – und von Fallböen teilweise extremer Stärken – mit den entsprechenden Risiken für die Küstenschifffahrt.

⁷ Die typische Sommerwetterlage des westlichen Mittelmeeres ist die Mistrallage, die mit ihren mitunter auch im Sommer extrem auffrischenden Nordwestwinden bis ins Zentrale Mittelmeer einwirkt.

⁸ Die mit fortschreitender Jahreszeit und Sonneneinwirkung über den Wüstengebieten Nordafrikas entstehenden und nach Norden bis Osten abwandernden Hitzetiefs entfachen trocken-heiße Starkwinde aus dem 2. und 3. Quadranten, welche unter dem meteorologischen Sammelnamen Schirokko die Mistrallage unterbrechen und mit Sturmstärke bis in das adriatische Meer vordringen können.

⁹ Von Norden einströmende Polarluft, orographisch gebündelt durch das Rhonetal oder die Ungarnsenke über das Balkanmassiv gelenkt, führt zu den wettertypischen Kaltlufteinbrüchen in den Mittelmeerraum, aus welchen sich kräftige Tiefdrucksysteme mit Starkwinden größter Heftigkeit und erheblicher Dauer bilden mit einem Wirkungsradius bis zur nordafrikanischen Küste. Hierzu zählt insbesondere der stürmische Mistral des Winterhalbjahres, welcher jedoch für diese Betrachtung nicht relevant ist.

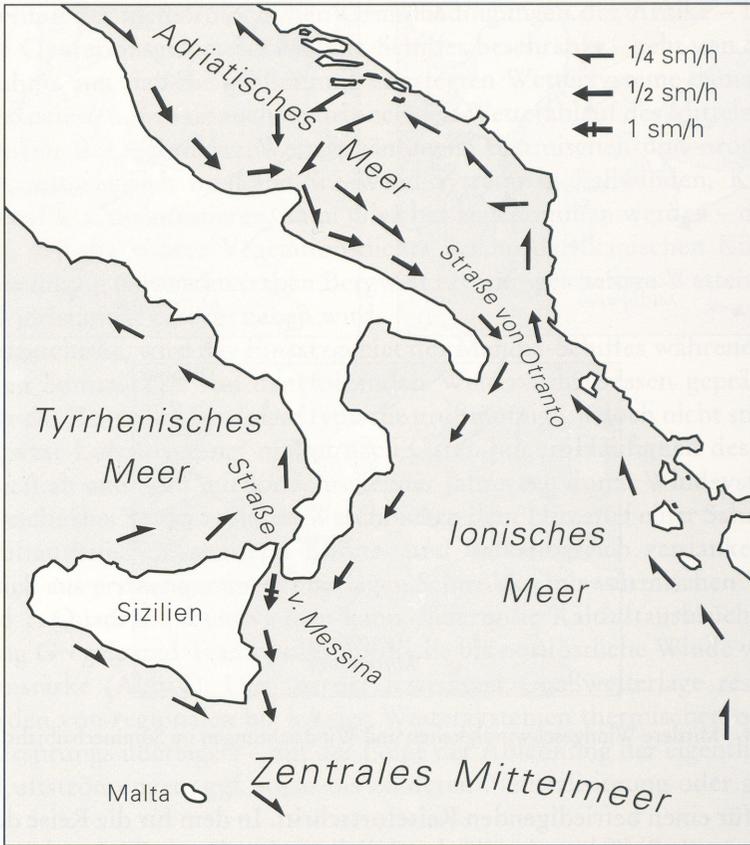


4 Mittlere Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen im Sommerhalbjahr.

Bedeutung für einen befriedigenden Reisefortschritt. In dem für die Reise des Mahdia-Schiffes relevanten Seegebiet sind diesbezüglich zwei regionale Wetterphänomene hervorzuheben: Im Küstenbereich Osttunesiens wird die vorherrschend nördliche Windrichtung von einem kräftig ausgebildeten Land-See-Wind-System überlagert und häufig zu einem zuverlässig aus Ost bis Südost wehenden Küstenwind umgeformt, willkommener Antrieb für ein mit nördlichem Kurs ins westliche Mittelmeer oder nach Westitalien laufendes Segelfahrzeug.

Im Bereich der Südküste Siziliens hingegen wird der vorherrschende Nordwestwind – orographisch durch die Küstengebirgskette und thermisch durch das sich tagsüber bildende Hitzetief über der Insel – küstenparallel verstärkt. Dies macht die Westroute durch den Malta-Kanal – ggf. zusätzlich durch ostsetzenden Strom und einen gefürchteten Seegang über den Bänken behindert¹⁰ – schwer passierbar. Lediglich eine Schirokko-Lage garantiert eine schnelle, wenngleich rauhe Westreise durch die solchenfalls von gegenläufigem Strom aufgewühlte Straße von Sizilien. Das vorgestellte Bild der großräumigen wie regionalen Windsysteme macht den begrenzten Entscheidungsspielraum für die Routenwahl eines Segelfahrzeuges deutlich – neben weiteren Einflüssen, die den Handlungsrahmen eines Segelschiffkapitäns zusätzlich einengen.

¹⁰ Der stark gegliederte Meeresgrund der Straße von Sizilien mit ihren zahlreichen Bänken und Gräben unterschiedlichster Wassertiefe kann in diesem – von überdurchschnittlicher Starkwindhäufigkeit und Strömung geprägten Seegebiet – einen schweren Seegang auslösen.



5 Oberflächenströmungen des Sommerhalbjahres im Adriatischen, Ionischen und Tyrrhenischen Meer.

Mediterrane Meeresströmungen

In Anbetracht der bescheidenen Reisegeschwindigkeiten und Kreuzeigenschaften antiker Frachtschiffe war die Berücksichtigung der Oberflächenströmung für die Routenwahl und Reisenavigation von entsprechender Wichtigkeit. So war das Aufkreuzen gegen den Strom von 1–2 Knoten selbst bei optimaler Brise bereits ein erfolgloses Unternehmen¹¹, und in den Flautenlagen des zur Sommerzeit eher windarmen Mittelmeeres war ein Segelfahrzeug außerhalb von Ankergründen hilflos dem Verdriften ausgesetzt¹².

¹¹ Da ein vorlicher Wind dem aufkreuzenden Schiff neben dem dynamischen Widerstand der Windseen auch auf stromlosem Wasser einen windangefachten Strom der obersten Wasserschichten entgegenschickt, ist neben der Windabdrift stets auch mit Stromabdrift zu rechnen, woraus sich eine Gesamtabdrift von 15–20° ergeben kann, ein Wert, welcher bei einem angenommenen Am-Wind-Kurs von maximal 70° keinen Luvgewinn zuläßt.

¹² Das Zentrale Mittelmeer ist überwiegend durch felsige, häufig steil abfallende Küstenlinien geprägt, was ein Anker außerhalb von speziell hierfür geeigneten Buchten und Häfen aufgrund zu großer Wassertiefen oder ungeeigneter Bodenbeschaffenheit unmöglich macht.

Die vom Atlantik einströmenden Wassermassen verursachen eine durch das gesamte Mittelmeerbecken reichende, ostwärts gerichtete Oberflächenströmung, Resultat eines Niveauequals zwischen den unterschiedlichen Wasserstandspegeln des Atlantischen Ozeans und des Mittelmeerbeckens¹³. Die unter normalen Wetterbedingungen herrschende Strömungsgeschwindigkeit erreicht, von regionalen Ausnahmen einmal abgesehen¹⁴, nicht die Stärke und Beständigkeit, wie sie in vielen Gebieten außerhalb des Mittelmeerraumes – vorzugsweise durch stärkere Gezeiteneinwirkung bedingt – zu beobachten ist.

In der für diese Betrachtung relevanten Region des Zentralen Mittelmeers wird die nach Osten setzende Hauptströmung in der Straße von Sizilien gebündelt und fließt – mit nach Osten abnehmender Tendenz und Stärke – im Durchschnitt mit etwa 0,5–0,8 Knoten in ihrem Hauptast nach Südosten und in einem schwächeren Nebenast in südliche Richtung (Abb. 8)¹⁵. Die Nebenbecken des Mittelmeers – hier insbesondere die Adria und das Tyrrhenische Meer – weisen einen linksdrehenden Strömungskreislauf auf, welcher an der griechischen Adria-Küste einen mit durchschnittlich 0,25–0,5 Knoten nach Nordwesten setzenden Strom ausweist mit entsprechendem südöstlichen Abfluß unter der italienisch-sizilianischen Ostküste (Abb. 5).

Die beschriebenen Strömungssysteme gelten unter Zugrundelegung der für das Seegebiet typischen Wetterverhältnisse; Abweichungen von der meteorologischen Norm können insbesondere die regional wirksamen Strömungssysteme bis zu deren Neutralisierung oder gar Umkehrung verzerren.

Die Straße von Messina

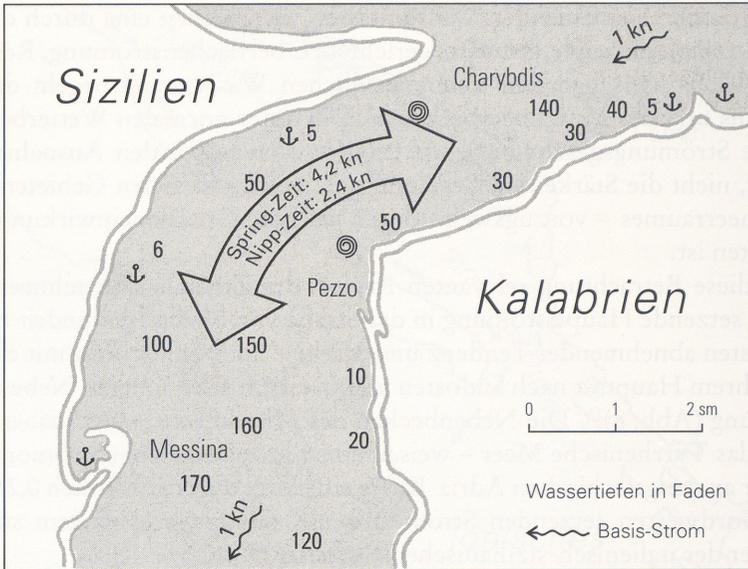
Der Seeweg von der Ägäis nach Westitalien führt durch die Straße von Messina, deren Passage für ein nur vom Wind angetriebenes Frachtschiff antiker Unvollkommenheit ein nautisches Nadelöhr darstellt. Die Topographie der Region kann – in Verbindung mit ungünstigen Wetterbedingungen und Tidenströmen – die Passage eines nach Norden steuernden Schiffes erschweren, u. U. sogar unmöglich machen (Abb. 6).

Die von hohen Bergen gesäumte Seestraße bildet eine Wetterscheide mit unstenen, häufig vorlichen und von Fallböen und Abdeckungen beeinflussten Winden, welche im Zusammenwirken mit den für mediterrane Verhältnisse extremen Gezeitenströmen groben Seegang aufwerfen können. In den häufig auftretenden Windstillen ist ein drif-

¹³ Dies resultiert aus einem Verdunstungsüberschuß des Mittelmeeres gegenüber dem Atlantischen Becken mit der Folge einer höheren Wasserdichte und eines niedrigeren Wasserstands in dem relativ abgeschlossenen Nebenmeer. Damit dringt das leichtere Atlantikwasser in einer umfassenden Oberflächenströmung ins Mittelmeer vor und findet in einem durch die Topographie des Mittelmeerbodens erzwungenen Vertikalkreislauf seinen Abfluß in einer gegenläufigen, in den Atlantik zurückführenden Tiefenströmung spezifisch schwereren Mittelmeerwassers.

¹⁴ Die Straße von Messina weist zur Springzeit einen Gezeitenstrom von mehr als 4 Knoten auf, zu welchem sich eine mit 1 Knoten nach Süden setzende Basisströmung addiert und damit das stärkste Stromfeld des Mittelmeerraums bildet (von der lokalen Besonderheit der Euripos-Enge von Euböa abgesehen).

¹⁵ Es handelt sich um die – aus Beobachtungen des Bundesamtes für Seeschiffahrt und Hydrographie und anderer europäischer Institute – herausgefilterten Durchschnittswerte. In lokal begrenzten Bereichen wie etwa der Skerki-Bank im Nordteil der Straße von Sizilien können bei atypischen Wetterlagen – etwa stürmischer Mistral – Stromstärken von 3–4 Knoten beobachtet werden.



6 Strömungsverhältnisse in der Straße von Messina.

tendes Segelfahrzeug auf dem tiefen Wasser der Meeresstraße – mangels angemessener Ankermöglichkeiten – steuerlos den starken Gezeitenströmen und Stromwirbeln ausgesetzt¹⁶.

Der periodisch einsetzende Gregale oder Tramontana mit seinen über Tage einwirkenden Sturmwinden aus Nordost oder Nord kann die in der Region schon ohnehin mit ca. 1 Knoten nach Süden setzende Basisströmung unschwer verdoppeln und ein Segelfahrzeug binnen kurzer Frist von der angesteuerten Passage weg bis zur Südspitze Siziliens verschlagen (Abb. 8).

Die Kenntnis und Nutzung des Systems mediterraner Meeresströmungen dürfte zum Rüstzeug des erfahrenen Schiffsführers gehört haben.

Seeverhalten des Mahdia-Schiffes

Bei der Suche nach plausiblen Antworten zur letzten Reise des Mahdia-Schiffes ist dessen Seeverhalten unter Einwirkung der vermutlich angetroffenen Wetterbedingungen abzuschätzen, dies unter Zugrundelegung der Daten zu Schiff und Ladung, wie sie sich aus dem Fund selbst ableiten und dem Rekonstruktionsmodell nach O. Höckmann zu entnehmen sind. Die hiernach als angenähert bekannt vorauszusetzenden Rumpfdimensionen sowie die vergleichsweise genaue Kenntnis der Ladung nach Volumen und

¹⁶ Die Stromwirbel von Skylla und Charybdis haben seit 1783, dem Jahr eines schweren Seebebens – vermutlich durch eine Nivellierung der schroffen Bodenbeschaffenheit der Straße – an Bedeutung verloren. Immerhin wird in den heutigen Segelhandbüchern kleinen Fahrzeugen empfohlen, die Wirbelzonen zu meiden und den Taglio, eine bei Tidenwechsel auftretende Springwelle, gebührend zu beachten.

Gewicht incl. deren Verteilung im Schiff lassen verwendbare Rückschlüsse über die Art des Seeverhaltens zu:

Die Anfangsstabilität¹⁷ ist aufgrund der gedrungenen Bauform, des hohen Völligkeitsgrades und des niedrigen Längen/Breitenverhältnisses und des tiefliegenden Gewichtschwerpunktes der einlagig¹⁸ und längsschiff im Unterraum¹⁹ gestauten Säulenladung derart hoch, daß das Schiff als 'steif' einzuordnen ist, ein Zustand, der zwar hohe Kenteisicherheit mit großem Segeltragevermögen garantiert, allerdings zulasten einer unerwünscht kurzen Rollperiode des Schiffes²⁰. Diese heftigen Rollbewegungen führen zu einer überproportionalen Belastung für Schiffsverbände²¹ und der nur begrenzt seefest laschbaren Säulenladung²².

Besondere Beachtung ist der Gefahr eintretender Resonanz zwischen der Rollzeit des Schiffes und der Wellenperiode des einwirkenden Seegangs zu widmen: Bei Eintreten deckungsgleicher Schwingungszeiten kann sich das Rollen eines Schiffes bis zur Verdopplung der Schwingungsamplituden 'aufschaukeln' – mit ggf. katastrophalen Folgen für Schiff und Ladung. Diesem Phänomen kann allerdings durch geeignete Maßnahmen begegnet werden: Da für den Eintritt des Resonanzfalls die sog. Begegnungsperiode²³ des Schiffes mit dem herrschenden Wellensystem ausschlaggebend ist, diese wiederum von Kurs und Fahrt des Schiffes mitbestimmt wird, konnte ein erfahrener Kapitän zu allen Zeiten durch Änderung von Kurs und/oder Geschwindigkeit das Seeverhalten seines Schiffes positiv beeinflussen – im Sinne einer Dämpfung allzu heftiger

¹⁷ Die zwar nur rudimentär gesicherten Daten zu Schiff, Ladung und deren Verteilung im Laderaum lassen dennoch eine genügend genaue Schätzung einer Anfangsstabilität mit hohem Megazentrum zu. Entsprechende Modellrechnungen belegen den Zustand eines steifen Schiffes.

¹⁸ Aus einer Mengenberechnung der Säulenladung zwecks Ermittlung ihres Platzbedarfs im Laderaum und ihrer vorgefundenen Position ist ablesbar, daß die Säulen längsschiff ausgerichtet und überwiegend bis insgesamt in Bodenlage gestaut waren, ggf. mit einer einzigen Säulenreihe zwecks besserer Fixierung in sog. Sattelage.

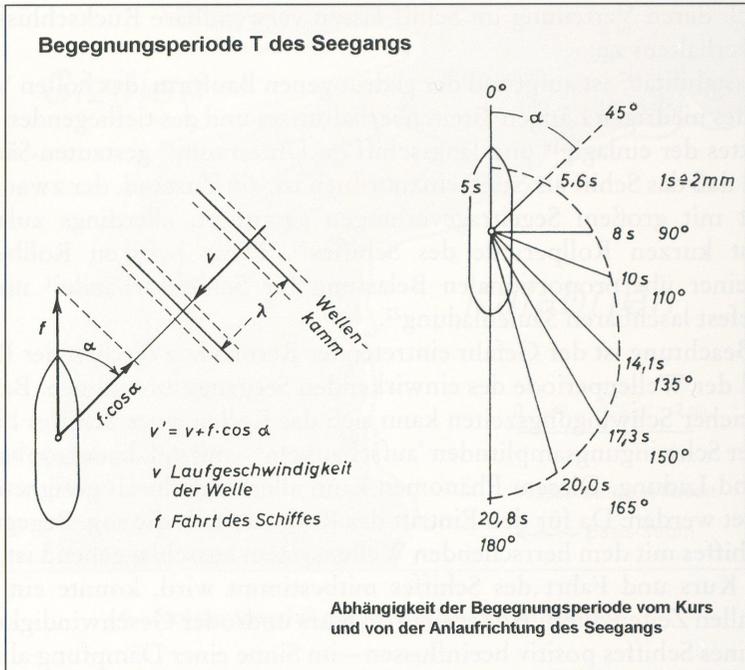
¹⁹ Eine Stauung der Säulenladung an Deck ist auszuschließen, da sie in elementarem Widerspruch zu den Gesetzen der Schiffsfestigkeit und Stabilität steht. Das Beispiel des Obeliskentransports als Decksladung – wie der des Caligula – belegt hier lediglich die seinerzeit schon gute Kenntnis und Anwendung dieser Gesetze bei der Durchführung von Spezialaufgaben der Seeschiffahrt mit einem für diesen Zweck besonders konstruierten, beladenen und/oder beballasteten Fahrzeug.

²⁰ Da die Rollperiode eines Schiffes – die in Sekunden gemessene Zeit einer vollen Schwingung um seine Längsachse – in einem definierten Verhältnis zu seiner Anfangsstabilität steht ($T\varphi \sim 2i \cdot \sqrt{MoG}$), die megazentrische Höhe als Parameter der Anfangsstabilität wiederum maßgeblich von der Schiffsbreite bestimmt wird ($MoG \sim (fB : T\varphi)^2$), ist aus der annähernd bekannten Breite des Mahdia-Schiffes und in Anbetracht seines niedrigen Stauschwerpunktes auf eine deutlich unter dem Breitenwert in Metern liegende Rollzeit von 6–8 Sekunden zu schließen, also auf ein steifes Schiff.

²¹ Die querschiffs einwirkende Massenbeschleunigung des rollenden Schiffes stellt die Hauptbelastung für die Ladung und ihre Laschung dar. Auf eine längsschiff gestaute Ladung zylindrischer Säulen – aufgrund von Form und Gewicht ohnehin schon schwer fixierbar – wirken bei den kurzen Rollperioden eines steifen Schiffes extreme Beschleunigungskräfte. Selbst ein minimaler Bewegungsspielraum zwischen den einzelnen Säulenreihen kann sich zu einem Momentum von rammbockartiger Wirkung auf die inneren Schiffsverbände summieren.

²² Die Säulen werden in aller Regel durch schwere Holzkeile am Rollen in Querschiffsrichtung gehindert und zu den Schiffsseiten mit einer Kantholzkonstruktion abgestützt worden sein. Flexibles Füllmaterial zwischen den Säulen, wie an anderer Stelle vermutet, dürfte mit Rücksicht auf die hohen Beschleunigungskräfte nicht zum Einsatz gekommen sein.

²³ Die Begegnungsperiode ist eine variable und damit beeinflussbare Größe unter den das Rollverhalten eines Schiffes bestimmenden Schwingungskräften.



7 Das Resonanzphänomen.

Roll- und Stampfbewegungen und unter tunlicher Vermeidung des Resonanzfalls (Abb. 7).

Die Abwehrmaßnahmen mögen auf der letzten Reise des Mahdia-Schiffes tatsächlich notwendig geworden sein: Die anhand der Stabilitätskriterien abschätzbare Rollzeit des Schiffes steht in annäherndem Gleichklang mit der Rollperiode des unter Einfluß eines stürmischen Gregale in der Ionischen See herrschenden Seegangs²⁴.

Zu erwähnen bleibt eine vermutlich reduzierte Steuerfähigkeit des Schiffes aufgrund seiner schlechten Austrimmung²⁵: Die anhand der Säulenlage in situ und der Rekonstruktion ihrer Lage zum Rumpf erkennbare Ladungsverteilung weist auf eine erhebliche Buglastigkeit hin – auslösendes Moment für ein überproportionales Gieren des Schiffes schon bei niedriger Seegangsstärke²⁶.

²⁴ Die Seegangsperiode auf den Wassertiefen der zentralen Ionischen See beträgt bei ausgereiftem Sturm und ausreichend großer Anfachstrecke sowie Einwirkdauer laut langjähriger Beobachtung im Mittel 6–8 Sekunden. Sie ist vor Ort mit einfachen Mitteln meßbar.

²⁵ Ein hecklastiger Trimm – i. e. die Tiefertauchung des Achterschiffes unter die jeweilige Schwimmwasserlinie – erhöht die Steuerfähigkeit, während der buglastige Trimm sie reduziert.

²⁶ Unter Gieren ist das Pendeln des in Fahrt befindlichen Schiffes um seinen Generalkurs zu verstehen, unter Einwirkung von Buglastigkeit und/oder achterlicher See zunehmend schwer unterdrückbar.

Segeleigenschaften und Sturmtaktik

Trotz der unzulänglichen Zeitzeugnisse über Segelfrachtschiffe der Antike und spärlicher Daten zum Mahdia-Schiff kann bei Einschätzung der den Reiseablauf so wesentlich beeinflussenden Segeleigenschaften soviel als gesichert gelten: Die Kreuzeigenschaften des 'völlig' gebauten Frachtschiffes waren derart begrenzt, daß ein belangvoller Reisefortschritt gegen vorliche Winde – zumal bei grobem Seegang oder gegenlaufendem Strom – nicht zu erzielen war. Bei widrigen Winden – sei es nun wegen vorlicher Richtung oder beträchtlicher Stärke – wurde nach Möglichkeit einer der in der Region nur spärlich vorhandenen Schutzhäfen oder Ankerplätze aufgesucht, um günstigere Wetterverhältnisse abzuwarten²⁷. Gelang dies – vermutlich häufig genug²⁸ – nicht, so mußte ein Sturm notwendigerweise auf See abgewettert werden – bei Anwendung der unter den herrschenden Bedingungen erfolgversprechendsten Methode. Dabei dürfte die Taktik des sog. Beidrehens auf hoher See – wie auf hierfür geeigneten Segelfahrzeugen der Moderne praktizierbar, d. h. ein unter kleinstem Tuch und Vortrieb schonend gegen die vorliche See gerichtetes Ansteuern zwecks Verbesserung des Seeverhaltens und Minimierung der Abdrift – bei dem Mahdia-Schiff lediglich ein steuerloses Quer-zur-See-Treiben bewirkt haben. Eine Lage, in welcher ein steifes Schiff durch heftige Rollschwingungen, ggf. gar in Resonanz mit dem herrschenden Seegang, extremen Belastungen ausgesetzt wird – mit der möglichen Folge verrutschender Ladung, Wassereintrichs wegen nachgebender Schiffsverbände oder eingeschlagener Lukenabdeckungen.

Die üblicherweise angewandte Sturmtaktik wird die des sog. Lenzens²⁹ gewesen sein, ein dem Anrennen der Sturmseen – unter Aufrechterhaltung der Steuerfähigkeit³⁰ – ausweichendes Ablaufen vor Wind und See: Das unter nackten Masten oder dem – zur Erhöhung seiner Steuerfähigkeit gesetzten – Vorsegel³¹ laufende Schiff verbessert damit maßgeblich sein Seeverhalten, u. a. durch Dämpfung der Rollschwingungen und Vermeidung von etwaiger Resonanz, und erhält sich im übrigen einen, wenngleich nur begrenzten Einfluß auf die Wahl des Vorm-Wind-Kurses³².

²⁷ In Anbetracht der geringen Reisegeschwindigkeit und mangelnder Kreuzeigenschaften war die Hafendichte und deren Anlage bei weitem nicht ausreichend, um einem schutzsuchenden Schiff einen jederzeit erreichbaren Schutzhafen zu bieten.

²⁸ Das Anlaufen in Luv gelegener Schutzhäfen mußte wohl häufig an den mangelnden Kreuzeigenschaften scheitern, während Leeküsten in der Regel keinen Schutz boten und die Gefahr einer Strandung erhöhten. Daher suchte ein seetüchtiges Schiff, sofern genügend Driftraum zur Verfügung stand, eher den freien Seeraum.

²⁹ Das antike Frachtsegelschiff dürfte aufgrund von Konstruktionsmerkmalen wie gutem Reserveauftrieb im Achterschiffbereich und weit vorn ansetzendem Vorsegelantrieb in schwerem Wetter vorzugsweise, wenn nicht ausschließlich, zum Lenzen geeignet gewesen sein.

³⁰ Steuerfähigkeit setzt ein ausreichendes Anströmen des Ruderblattes voraus, bei einem vor achterlicher See gierenden Schiff mit mindestens 3–4 Knoten Fahrtstrom zu veranschlagen.

³¹ Das weit vor dem Drehpunkt des Schiffes angreifende Vortriebsmoment des Artemon-Segels kann die Vor-Wind-Steuerfähigkeit entscheidend verbessern. Seine Existenz in den Takelrissen auch späterer Jahrhunderte unterstreicht seine Bedeutung für die Sturmtaktik des Lenzens. Die Nutzenanwendung dieses Aspektes mag das Gieren des vermutlich schlecht auf dem Ruder liegenden Mahdia-Schiffes gedämpft haben – allerdings zu Lasten einer verstärkten Südversetzung.

³² Je nach Ausprägung der achterlichen See kann ein lenzendes Schiff bis zu 30° von seinem Vor-Wind-Kurs abweichen, ohne unbedingt der Gefahr des Querschlagens ausgesetzt zu sein.

Die hierbei auftretenden Drift-Geschwindigkeiten können unter Sturmbedingungen – je nach Windangriffsfläche und dem vom Beladungszustand abhängigen Tiefgang – bereits bei beigedrehtem Schiff unschwer 2–3 Knoten erreichen, während für das lenzende Schiff – selbst unter einer Segelfläche, welche lediglich der Sicherung guter Steuerfähigkeit dient – sehr wohl eine Geschwindigkeit von 4–6 Knoten über Grund angenommen werden kann³³: Eine Versetzung, welche sich binnen Tagen zu weiträumigen Abweichungen vom eigentlichen Reiseweg summiert!

Die mediterrane Handelsschiffahrt der Antike wußte sich – in ihrer ständigen Auseinandersetzung mit einer omnipotenten Natur – zweifellos all dieser geophysikalischen und nautischen Gesetzmäßigkeiten, gleich ob wissenschaftlich durchschaut oder empirisch-tradiert übernommen, bei Ausübung ihres Handwerks zu bedienen. Versetzt man sich nun unter dieser Prämisse und in Anwendung des vorab skizzierten Rüstzeugs in die Lage des Mahdia-Schiffes mit der entsprechenden Aufgabenstellung, einen Schwertransport vom Piraeus nach Westitalien abzuwickeln, lassen sich verschiedene Szenarien mit nautisch fundiertem Anspruch auf Wirklichkeitsnähe entfalten. Auf das wetterstatistisch wahrscheinlichste Szenario soll im folgenden näher eingegangen werden.

Die letzte Fahrt – das Szenario

Das vom Piraeus nach einem westitalienischen Hafen bestimmte Segelfrachtschiff befindet sich nach Passieren der Südspitzen der Peloponnes auf seinem Weg ins Ionische Meer. Schon auf moderaten Seegang reagiert das steife Schiff mit den charakteristisch heftigen Rollbewegungen³⁴, welche auf einen niedrigen Schwerpunkt seiner Gewichtladung hinweisen: In der Tat bildet eine große Partie Marmorsäulen in Bodelage den Hauptbestandteil dieses Transportes. Die durch ungünstigen Trimm verursachte Buglastigkeit läßt das Schiff unruhig um seinen Generalkurs gieren.

Um das Zwischenziel der Reise – die Straße von Messina – unter den Bedingungen vorherrschend nördlicher Winde und häufiger Flauten zu erreichen, ist die Entscheidung zu treffen zwischen der weit nach Norden ausholenden Küstenroute oder dem direkten, das Ionische Meer auf kürzestem Wege kreuzenden Seeweg.

Die Wahl hängt üblicherweise von der Wetterlage sowie der Größe und Seetüchtigkeit des Schiffes ab: Die erheblich längere Küstenroute folgt, auf ihrer ganzen Ausdehnung von mitlaufendem Strom begünstigt, der Ionischen Inselkette nach Norden, um nach Querung der Straße von Otranto unter der Kalabrischen Küste die Passage zwischen Sizilien und dem Italischen Festland anzusteuern. Küstenschiffen geringer Größe und Seetüchtigkeit bieten die Fluchthäfen und Ankerplätze des Ionischen Archipels willkommenen Schutz auf dem beschwerlichen Nordkurs³⁵.

³³ Der in der westlichen Ionischen See laufende Südstrom dürfte unter Windeinwirkung auf 1,5–2,0 Knoten verstärkt sein, was sich mit einer angenommenen Fahrt durchs Wasser von weiteren 3–4 Knoten zu einer beachtlichen Versetzung von 5–6 Seemeilen/Std. addiert.

³⁴ Es bedarf keiner großen Schwingungsanstöße, um die Rollperiode eines Schiffes sichtbar werden zu lassen.

³⁵ Ein nach Norden steuerndes Schiff trifft in dieser Region bei typischer Sommerwetterlage überwiegend auf vorliche Nordwestwinde.

Der direkte Seeweg hingegen, mit Westkurs durch die Ionische See zur Straße von Messina führend und von hochseetüchtigen Fahrzeugen u. a. aufgrund der wesentlich kürzeren Distanz sicherlich favorisiert, birgt dagegen einiges an Wetterrisiken: Entgegen dem topographisch ersten Eindruck eines relativ geschützten Randmeeres kann die Ionische See sowohl Durchzugsgebiet spätsommerlicher Saharazyklonen als auch zyklogenetischer Ausgangspunkt von Tiefdruckzellen mit stürmischen Winden aus Süd bis Ost sein. Einem voll seetüchtigen Schiff kann dies eine sehr rauhe aber schnelle Überfahrt bescheren. Zum anderen liegt das Seegebiet bekanntlich im Einflußbereich des Gregale und Tramontana mit seinen nördlichen Sturmwinden, welche ein Schiff außerhalb der Reichweite sicherer Häfen oder Ankergründe der Gefahr großer Südversetzung ausliefert.

Ob nun die Küstenroute oder den direkten Seeweg wählend – letzteres dürfte in Anbetracht des solide gebauten Schiffes logischer gewesen sein –, das Mahdia-Schiff sah sich irgendwo in der Ionischen See und außerhalb von Landschutz einem stürmischen Gregale (Tramontana) ausgesetzt, welcher schnell eine für das Seegebiet typische, steile See aufbaut. Der Versuch, den raumen Kurs des nun heftig in der Quersee arbeitenden Schiffes zunächst beizuhalten, um ggf. einen Schutzhafen an der Ostküste Siziliens zu erreichen, muß nach der zwingenden Kürzung und/oder Bergung der Segel aufgegeben werden³⁶.

Das nun beigedrehte Schiff treibt, trotz aller Versuche, seinen Bug ggf. auch mittels Einsatz eines Treibankers auf der See zu halten³⁷, der Lateralverteilung seiner Windgriffsfläche gehorchend, unter Verlust seiner Steuerfähigkeit mehr oder weniger breitseits in der gefürchtet kurzen und steilen See des Ionischen Meeres.

Das Rollen des aufgrund seiner schweren Marmorladung steifen Schiffes erweist sich als derart heftig, daß Schiffsverbände und Takelage sowie die exponierte Steuerungsanlage gefährdet sind; die schweren Säulen drohen ihre Laschung zu sprengen und überzugehen, das Rollen des Schiffes gerät in Resonanz mit der breitseits anrollenden See, welche, durch die extrem vergrößerten Rollwinkel begünstigt, über Deck und Luken zu brechen beginnt. Aus dieser kritischen Lage – möglicherweise bereits nahe der Straße von Messina und doch unerreichbar fern – führt als einzig noch wirksame Maßnahme das Lenzen vor Wind und See.

Nachdem das Schiff unter kleinster Segelfläche (Artemon) vor den Wind gebracht ist, reduziert sich – trotz unverändert starken Seegangs – das heftige Rollen des Schiffes und insbesondere die Gefahr von Resonanz zwischen Schiff und See (Abb. 7). Sorgsam vor dem stürmischen Gregale steuernd³⁸, läuft das Mahdia-Schiff vor Wind und See mit nunmehr erträglichem Seeverhalten und in relativer Sicherheit in südwestliche Richtung ab.

³⁶ Der Zeitpunkt des Reffens dürfte – je nach Wellenbild – bei Überschreitung von 6 Windstärken, der des Segelbergens bei 8 Beaufort gelegen haben. Das Gieren des Schiffes mag zu einem frühzeitigen Beidrehen beigetragen haben.

³⁷ Der Einsatz eines Treibankers ist nur auf weitaus kleineren Schiffen erfolgversprechend anwendbar, um den Bug auf der See zu halten. Seine Verwendung als Steuerhilfe und zur Reduzierung übermäßiger Fahrt vor dem Wind dürfte hilfreich gewesen sein.

³⁸ Die latente Gefahr des Querschlagens beim Lenzen erfordert ein sorgfältiges Steuern unter ständiger Beobachtung der achterlichen See; der gesteuerte Kurs vor dem Gregale kann zwischen Südwest und Westsüdwest gelegen haben.

Die von der Windstärke diktierte und im übrigen für die Aufrechterhaltung guter Steuerfähigkeit zwingend erforderliche Geschwindigkeit durchs Wasser verbindet sich mit der sturmverstärkten Strömung zu einer auf 4–6 Knoten einzuschätzenden Gesamtgeschwindigkeit über Grund – mit der Konsequenz einer zwar von den Wetterverhältnissen aufgezwungenen, aber dennoch von der Schiffsführung mitbeeinflussten Versetzung nach Südwesten. Das vor dem Sturm lenzende Schiff findet sich vermutlich binnen zweier Tage in dem Seegebiet östlich von Malta wieder³⁹.

In dieser neuen Lage – weitab von dem eigentlichen Zwischenziel, der Straße von Messina stehend – entschließt sich die Schiffsführung, nur auf den ersten Blick überraschend, zu einer weiträumigen Routenänderung: Da der Versuch einer Rückgewinnung des verlorenen Luvraumes bis zur geographischen Breite der Straße von Messina – gegen den auswehenden Gregale oder das zu erwartende Aufkommen der üblichen Nordwestwinde – das Schiff bestenfalls zu den Ionischen Inseln zurückversetzen würde, gegen widrigen Strom kreuzend und in der Gefahr, ggf. von dem nächsten Kaltluftausbruch erneut nach Süden abgedrängt zu werden, macht der Kapitän die Not zur Tugend und entschließt sich, unter Beibehaltung des südwestlichen Kurses, für die meteorologisch sinnvollere⁴⁰, wenngleich etwa 350 Seemeilen längere Reise via Osttunesien⁴¹ zu seinem westitalienischen Zielhafen (Abb. 8).

Der Kurs des Mahdia-Schiffes ist nun auf die Region Cap Afrique abgesetzt, markanter und bei nördlichen Starkwinden Schutz bietender Ansteuerungspunkt der osttunesischen Küste. Erst einmal unter Land, erhofft man sich guten Reisefortschritt durch die Ausnutzung der östlichen Thermikwinde der Küstenregion oder einer Schirokko-Lage, um dann, vom Golf von Tunis ausgehend, den Zielhafen mit dem raumen Wind der in diesem Seegebiet dominierenden NW-Windströmung anzusteuern. Bis zum Inblickkommen von Cap Afrique nimmt die Reise ihren kontrollierten Fortgang⁴².

Hier aber, wenige Seemeilen nordöstlich des Caps und noch auf tiefem Wasser, findet das Schiff, vermutlich bereits durch die Einwirkung des abgewetterten Gregale bis zur Grenze seiner Schwimmfähigkeit geschwächt, sein unglückliches Ende – unter Umständen, welche die letzte Widerstandskraft des angeschlagenen Schiffes zunichte gemacht haben müssen⁴³. Nach Lage und Position von Schiff und Ladung am Fundort ist zu vermuten, daß das Mahdia-Schiff infolge eines nicht mehr unter Kontrolle zu

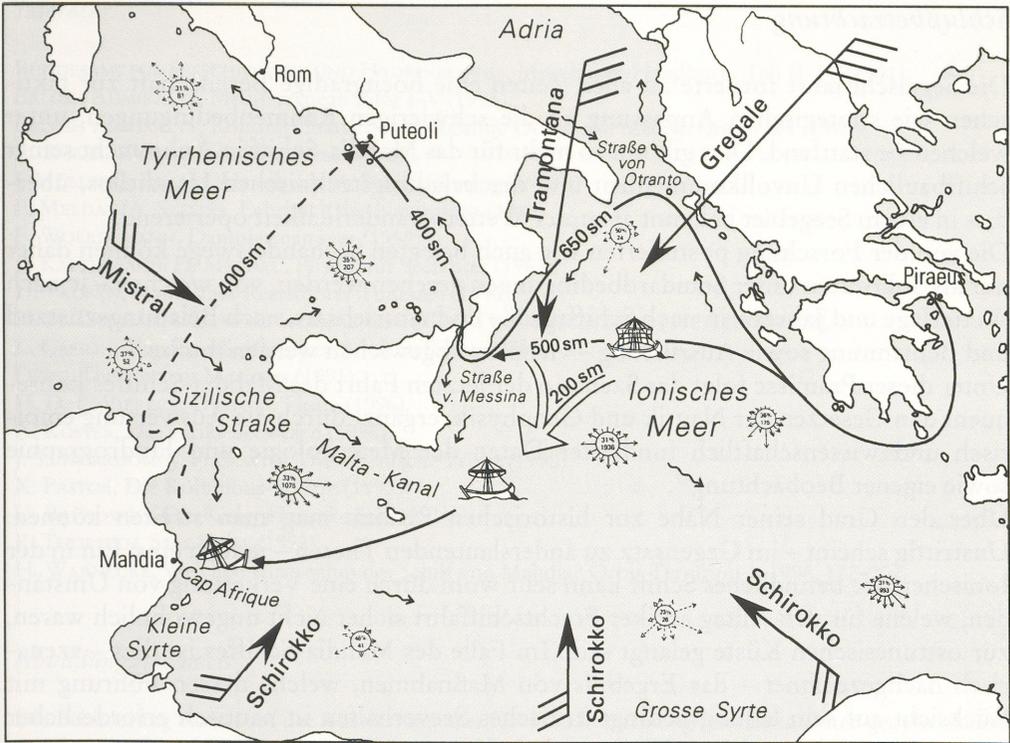
³⁹ Ein Anlaufen von Malta als Schutz- und Nothafen, wenngleich nautisch durchaus denkbar, mag wohl mangels Notwendigkeit oder aufgrund widriger Umstände unterblieben sein.

⁴⁰ Diese als meteorologische oder Wetternavigation bezeichnete Maßnahme wird in der Segelschiffahrt unter Inkaufnahme erheblicher Deviation zur Ausnutzung günstigerer Windverhältnisse angewandt, die heutige Motorschiffahrt bedient sich der – inzwischen satellitengestützten – Wetternavigation zum Nutzen einer material- und treibstoffschonenden Routenführung.

⁴¹ Sofern der Transport zu bereits fortgeschrittener Jahreszeit stattfand, mag der Schiffsführung der Entschluß für die Routenänderung durch das Wissen um die hierfür im Hochsommer zunehmend günstigeren Windbedingungen erleichtert worden sein: die großräumige NW-Wind-Lage wird regelmäßig vom Schirokko unterbrochen, was einem nordgehenden Schiff im Wechsel mit dem nun maximal entwickelten Land-See-Wind-System gute Fahrt bei einem unter Land nur mäßig entwickelten Seegang verspricht.

⁴² Ein steuerloses Verdriften hätte das Schiff bei den herrschenden Wind- und Strömungsverhältnissen in Richtung der Libyschen Küste versetzt.

⁴³ Die von Roll-, Stampf- und Tauchschwingungen eines im Seegang arbeitenden Schiffes ausgelösten, unzähligen Lastwechsel führen – bei genügend langer und starker Einwirkung – zu Materialermüdung und ggf. zu Ermüdungsbrüchen zu einem Zeitpunkt längst abgeklungener Belastungsmaxima.



8 Das Szenario der letzten Fahrt.

bringenden Wassereinbruchs⁴⁴ auf ebenem Kiel⁴⁵ gesunken ist. Sei es durch leckgesprungene Nähte des 'weich' gewordenen Rumpfes in einem neuerlich aufgekommenen Sturm, sei es durch plötzliches Leckschlagen aufgrund übergehender Ladung⁴⁶ oder über die Flutung eingeschlagener Ladeluken: die genaue Ursache wird mangels weiterer aussagefähiger Hinweise im Dunkeln bleiben, während der äußere Anstoß zu dieser letzten Prüfung des Schiffes vor Cap Afrique unschwer nachzuvollziehen ist: Das Seegebiet vor Cap Afrique kann auf seinen vorgelagerten Bänken unter Sturmeinwirkung – ob nun von einem Mistralausläufer, einem Schirokko oder einem lokalen Gewittersturm ausgehend – einen Seegang entwickeln, der bereits einem intakten Schiff zum Problem, dem angeschlagenen Schiff aber zum Verhängnis werden kann.

⁴⁴ Selbst der etwaige Einsatz mehrerer intakter Lenzpumpen – etwa nach dem Rekonstruktionsmodell von O. Höckmann – vermag keinen ernsthaften Wassereinbruch zu stoppen: bereits einige offene Nähte etwa im Kielbereich können die Schwimmfähigkeit des Schiffes aufgehoben haben.

⁴⁵ Das Sinken in aufrechter Lage unterstreicht die hohe Anfangsstabilität des Schiffes: Nur ein tief liegender Gewichtsschwerpunkt von Schiff und Ladung vermag – gegen die destabilisierende Wirkung des während des Sinkvorgangs eindringenden Wassers – eine aufrechte Lage des abtauchenden Rumpfes zu gewährleisten.

⁴⁶ Die kontrovers diskutierte Beschädigung der Beiladung mag hierin ihre naheliegende Erklärung finden.

Schlußbetrachtung

Die Segelschiffahrt forderte zu allen Zeiten eine hochgradige Bereitschaft zur taktischen wie strategischen Anpassung an die schwierigen Rahmenbedingungen, unter welchen sie stattfand. Dies gilt um so mehr für das Mahdia-Schiff in Anbetracht seiner schiffbaulichen Unvollkommenheit und der beladungstechnischen Handicaps, überdies in einem Seegebiet bekannt abrupter Wetterveränderlichkeit operierend.

Die von der Forschung postulierten wie auch belegten Seehandelswege können daher nur als Sollrouten unter Standardbedingungen gesehen werden, von welchen – je nach Wetterlage und Jahreszeit, nach Schiffsgröße und Antriebsart, nach Beladungszustand und Besatzung sowie Ausrüstung – vielfältig abgewichen werden mußte.

Unter dieser Prämisse folgt das Szenario der letzten Fahrt des Mahdia-Schiffes konsequent den Gesetzen der Nautik und Geophysik, ergänzt durch die Auswertung empirisch und wissenschaftlich fundierter Daten der Meteorologie und Hydrographie sowie eigener Beobachtung⁴⁷.

Über den Grad seiner Nähe zur historischen Realität mag man streiten können. Unstrittig scheint – im Gegensatz zu anderslautenden Thesen – jedoch eins: Ein in der Ionischen See befindliches Schiff kann sehr wohl durch eine Verkettung von Umständen, welche für den Alltag antiker Frachtschiffahrt sicher nicht ungewöhnlich waren, zur osttunesischen Küste gelangt sein. Im Falle des Mahdia-Schiffes ist dies – szenarisch nachgezeichnet – das Ergebnis von Maßnahmen, welche dessen Führung mit Rücksicht auf sein ladungsbedingt kritisches Seeverhalten in nautisch erforderlicher Anpassung an die widrigen Wetterverhältnisse ergriffen haben wird: Als eine Vorwärtsstrategie zur Gewährleistung einer sicheren Reisefortsetzung auf veränderter Route.

Zwingende Voraussetzung hierfür war eine trotz Sturmteinwirkung aufrechterhaltene oder wiederhergestellte Manövrierfähigkeit⁴⁸, denn für ein steuer- und antriebslos der Wettereinwirkung ausgesetztes Schiff gibt es in der Tat keine plausible Erklärung für ein Verdriften dieser Richtung und Distanz. Jedoch besteht für die einseitige Annahme eines hilflosen Driftens weder ein nautisch schlüssiger noch ein historisch belegter Grund.

Die Erklärungslücke in der Diskussion um die letzte Reise des Mahdia-Schiffes und seinem rätselhaften Untergangsort dürfte damit geschlossen sein, zumal die Kernaussage des vorgestellten Szenarios als Grundlage dieser Hypothese auch dann Bestand behält, wenn man veränderte Daten zu Schiff, Wetter und Ladung unterstellt: Auch Szenarien unter weniger naheliegenden Rahmenbedingungen – etwa eingeschränkte Manövrierfähigkeit, Schirokko-Wetterlage oder ein anderer Beladungszustand – können das Mahdia-Schiff gleichermaßen nach Cap Afrique geführt haben. Hierauf detailliert einzugehen, würde diesen Rahmen allerdings sprengen und im übrigen nichts für diese Betrachtung Wesentliches hinzufügen.

⁴⁷ Der Verfasser hatte als Handelsschiff-Kapitän und Seesegler über Jahrzehnte insbesondere im Mittelmeer Gelegenheit zu umfangreicher 'Feldforschung'.

⁴⁸ Ohne ersichtlichen Grund oder gar Beleg geht die Forschung bisher von einem Zustand hilflosem Verdriftens aus; H. Warnecke baut gar unter dieser einseitigen Prämisse seine Thapsos-Sabratha-These auf.

Literatur

- BUNDESAMT FÜR SEESCHIFFFAHRT UND HYDROGRAPHIE, Mittelmeer-Handbuch, Teil II–IV (1991).
BRITISH ADMIRALTY, Mediterranean Pilot I–V (1995).
BRITISH ADMIRALTY, Routing Charts North Atlantic Ocean and Mediterranean Sea (1995).
K. SAILER, Wetterpraxis Mittelmeer (1989).
J. MÜLLER/J. KRAUSS, Handbuch für Schiffsführung (1968).
P. MELDAU/A. STEPPES, Lehrbuch der Navigation (1963).
F. WOERDEMANN, Dampfermanöver (1958).
P. KALTENBACH/H. MELDAU, Physik für Seefahrer (1963).
D. TAUERN, Nautischer Reiseführer Tunesien (1990).
H. M. DENHAM, Die Adria/Ionische Inseln/Das Tyrrhenische Meer (1977/1979/1969).
L. CASSON, Ships and Seafaring in Ancient Times (1994).
DERS., The Ancient Mariners (1991).
H. D. L. VIERECK, Die röm. Flotte (1996).
A. KÖSTER, Das antike Seewesen (1996).
J. S. MORRISON/J. F. COATES, Die athenische Triere (1990).
X. PASTOR, Die Kolumbus-Schiffe (1993).
U. BAYKOWSKI, Die Kieler Hansekogge (1991).
R. THORSETH, Saga Siglar (1992).
H. WARNECKE, Welchen Kurs nahm das Schiff von Mahdia? Orbis Terrarum 1, 1995, 122–202.

Abbildungsnachweis

Die Bebilderung basiert auf der Auswertung aller für diese Betrachtung relevanten Daten geophysikalisch gesicherten Ursprungs (s. Literatur) und ist vom Verfasser erstellt.