

Hydrographische Inhalte auf Stabkarten

Stabkarten zur Navigation im Seegebiet der Marshallinseln/Mikronesien im Pazifik

Ein Beitrag von INGO HENNINGS

Insulaner der Marshallinseln/Mikronesien im Pazifik benutzten Gitterwerksignaturen auf Stabkarten als Orientierungshilfe zur Navigation. Exemplarisch werden zwei Stabkarten (*Medos*) mit Gitterwerksignaturen von charakteristischen Dünungswellen gezeigt. Knotenlinien oder *okar* werden durch Interferenzen von Dünungswellenablenkungen von Atollen und Inseln erzeugt. Durch die Approximation eines Atolls oder einer Insel in Form eines Wellenbrechers werden Interferenzmuster mathematisch durch die Theorie der Beugung/Diffraktion erklärt. Diese Charakteristiken von Wasserwellen können im 19. Jahrhundert als eine der ersten historischen Untersuchungsobjekte der Hydrographie betrachtet werden.

Autor

Dr. Ingo Hennings ist Wissenschaftler am Geomar Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung in Kiel.

ihennings@geomar.de

Danksagung

Heide Lienert-Emmerlich vom Kieler Stadt- und Schiffahrtsmuseum danke ich für Hinweise und Dokumente zu den Kieler Stabkarten. Bei Anna-Maria Brandstetter von der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz bedanke ich mich für die Dokumente zum Ankauf der Rittscher-Objekte in Mainz.

Marshallinseln | Stabkarte | Navigation | Diffraktion | Interferenz

1 Einleitung

Heutzutage wird davon ausgegangen, dass die Insulaner im Pazifik vor dem Kontakt mit den Europäern kein Navigationsinstrument im heutigen Sinne benutzt haben (Finney 1998). Die traditionelle Grundlage zur Navigation auf den Marshallinseln/Mikronesien war ein Gitterwerk aus Stäben. Diese sogenannten Stabkarten wurden bei Fahrten zwischen den Atollen und Inseln nicht mit an Bord genommen; sie dienten ausschließlich als Gedächtnisstützen und als Lehrkarten (*mattang*). Aus mündlichen Überlieferungen stellte sich heraus, dass bestimmte Signaturen auf Stabkarten einen Bezug zur Hydrographie und Ozeanographie aufweisen. Die wissenschaftstheoretische Betrachtung von Hydrographie wird in einem Artikel von Schiller (2015) hinterfragt und diskutiert. Demnach gehören nach Schiller (2015) unter anderem auch Charakteristiken von Wasserwellen zu den Untersuchungsobjekten der Hydrographie.

Signaturen auf Stabkarten werden als Interferenzmuster von Dünungswellen gedeutet. Die Interferenz durch Beugung/Diffraktion auf praktisch allen Wellenlängenskalen λ von $-15 \text{ m} \leq \log_{10} \lambda \leq 25 \text{ m}$ können durch Anwendung hydrodynamischer Modelle an einem Doppelspalt erzeugt werden (Grössing 2000).

Zum besseren Verständnis der traditionellen Navigation in Ozeanien ist die Verknüpfung mit der Ethnologie unerlässlich (Hennings 2015; 2017). Die Symbiose von Hydrographie und Ethnologie wird beispielhaft anhand der Weltumsegelung der »Gazelle« von 1874 bis 1876 deutlich (Hübner 2008). Das Segelschiff »Gazelle«, als Vollschiff getakelt, war ein Kriegsschiff mit zusätzlichem Dampfmaschinenantrieb. Kommandant der »Gazelle« war Georg Emil Gustav Freiherr von Schleinitz (1834 bis 1910). Aufgrund hydrographischer Vermessungen von Bord der »Gazelle« wurden wesentliche Verbesserungen der damaligen Seekarten vorgenommen. Die »Gazelle« besuchte im Jahre 1875 die Inselgruppe von Neubritannien im Bismarck-

Archipel von Melanesien des Pazifischen Ozeans. Schleinitz konnte von dort eine große und bedeutende ethnographische Sammlung zusammentragen, die dem damaligen Berliner Königlichen Museum übergeben wurde. Nach der Rückkehr der »Gazelle«, im Jahre 1876, wurde Schleinitz in den Vorstand des Hydrographischen Amtes der Admiralität berufen und Mitglied des Generaldirektoriums der Vermessungen im preußischen Staat.

Wie dieses Beispiel zeigt, sind in der Vergangenheit schon kombinierte, weltweite Expeditionen zur Hydrographie und Ethnologie durchgeführt worden. Bis heute erweist sich die Zusammenarbeit von Hydrographen und Ethnologen für die Erforschung von einheimischem Wissen bezüglich Navigationstechniken als unbedingt erforderlich. In dieser Untersuchung werden speziell die hydrographischen Inhalte von Stabkarten der Marshallinseln in Mikronesien dargestellt. Die Stabkarten der Mikronesier werden im *Lexikon der Geowissenschaften* (2003) als erste Spezial-Seekarten angesehen. Weis (2016) diskutiert sogar die Anwendbarkeit der Navigation der Polynesier in der heutigen Berufsschiffahrt.

In den Jahren zwischen 1879 und 1882 gelangten erste Stabkarten nach Europa und Deutschland (Schück 1902). Sogar Bittgesuche und Wunschlisten, sogenannte Desiderata, wurden von den Museen und Kultusministerien der deutschen Länder an die Kaiserliche Marine gerichtet, um ganz bestimmte Ethnografika zu suchen und zu bekommen. Ein Beispiel ist die Denkschrift über Desiderata des Königlichen Ethnographischen Museums zu Dresden von ca. 1883. Dort heißt es im Kapitel über Mikronesien: »Auch eine Copie der Strickkarte – gemeint ist eine Stabkarte – welcher sich der König der Marshall Inseln zu seinen Inselfahrten bedient, ist eventuell zu acquiriren« (Hübner 2008).

Stabkarten sind bisher nur von den Marshallinseln bekannt. Die Beobachtungen der Mikronesier von Wellenmustern in der Nähe von Atollen und Inseln in Verbindung mit Refraktion und Diffrakti-

on sind nach dem Zweiten Weltkrieg beispielsweise von Arthur (1951) untersucht und beschrieben worden. Nach Bekanntwerden von Ergebnissen der Wellen- bzw. Seegangsvorhersage für die alliierte Invasion während des Zweiten Weltkrieges auf die italienische Insel Sizilien im Mittelmeer ab dem 10. Juli 1943 begannen Untersuchungen zu diesem Thema insbesondere im Jahre 1944. Weitere Hintergründe und Literaturangaben über die Navigation mit Stabkarten auf den Marshallinseln sind beispielsweise in Hennings (1999) zu finden. Insbesondere neue Sichtweisen bezüglich indigener Navigationstradition werden von Hennings (2015) aufgezeigt.

In Kapitel 2 werden Interferenzmuster von zwei ausgewählten Stabkarten beschrieben. Die Theorie der Wellenbeugung/Diffraktion an einer Insel oder einem Atoll, approximiert durch einen vereinfachten Wellenbrecher, wird in Kapitel 3 präsentiert. Abschließend folgen in Kapitel 4 die Diskussion der Ergebnisse und der Ausblick.

2 Interferenzmuster auf Stabkarten

Es werden Signaturen von zwei Stabkarten beschrieben, die anhand der Gitterwerke mit Verbindungsstäben, als Interferenzmuster von Dünungswellen gedeutet werden, welche an Atollen oder Inseln gebeugt/diffraktiert werden.

Die Stabkarte aus dem Völkerkundemuseum in Leiden/Niederlande gehört zu einer der ersten, die nach Europa und ca. 1882 nach Leiden gekommen ist. Sie wurde auf Ailinglapalap (siehe Abb. 1) hergestellt. Die Stabkarte der Kieler Südseesammlung gehört zu einer ganzen Serie von Stabkarten-Modellen, die auf den Marshallinseln auftragsmäßig angefertigt und durch Rittscher an viele Museen in Europa, unter anderem auch nach Mainz, verkauft oder verschenkt wurden (Brandstetter 2015). Die Kieler Stabkarte wurde 1903 auf Jaluit angefertigt, wie auch die aus Mainz.

Einen Überblick der geographischen Lage der Marshallinseln in Mikronesien im Pazifischen Ozean mit den Namen der Atolle und Inseln der westlichen Ralik-Kette und östlichen Ratak-Kette ist in Abb. 1 gezeigt.

2.1 Stabkarte (Medo) des Museums für Völkerkunde in Leiden

Die Stabkarte in Abb. 2 zeigt die Atolle und Inseln der südlichen Ralik-Kette. Über die Deutung dieser Stabkarte schreibt Schück (1884, S. 241–242) Folgendes:

»Eine dieser, bis jetzt in Europa anscheinend nur in Leyden und Hamburg vorhandenen Karten, ist durch Herrn Schiffskapitän T. Rohlf's, der vor einigen Monaten von den Marshallinseln nach Europa zurückkehrte, dem Leydener Museum geschenkt worden – Dieser Medo (...) ist auf Ailinglapalap (d. h. sehr grosses Land, die Oda oder Elmore Gruppe) wahrscheinlich i. J. 1880, durch Vermittlung des dortigen europäischen Agenten der Firma Hensheim & Co. gekauft; in Jaluit frag Kap. Rohlf's den sogenannten König der Marshall

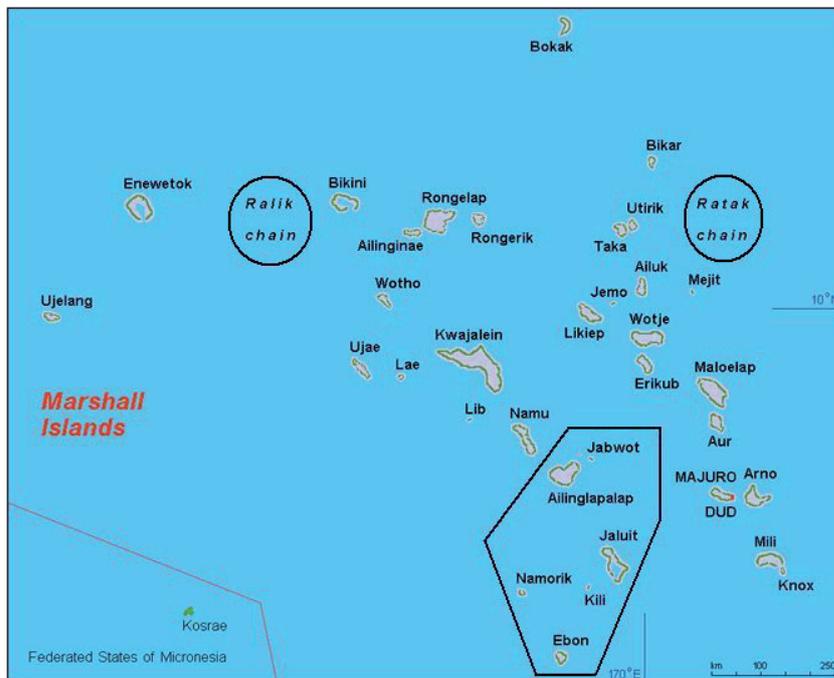


Abb. 1: Übersichtskarte der Marshallinseln in Mikronesien im Pazifischen Ozean mit den Namen der Atolle und Inseln der westlichen Ralik-Kette und östlichen Ratak-Kette. DUD (roter Punkt auf Majuro in der Ratak-Kette) ist die Abkürzung von Delap-Uliga-Derrit, einem großen Bevölkerungszentrum auf Majuro. Das schwarz umrahmte südliche Seegebiet der Ralik-Kette wird in den Stabkarten der Abb. 2 und Abb. 3 dargestellt

Inseln: Kaboa, nach der Bedeutung des Instrumentes und erfuhr: »er stelle (ebenso wie die anderen, deren Bedeutung bis jetzt bestimmt ist) einen Teil der Marshall Gruppe dar und zwar hat man ihn so zu legen, dass die längste Seite nach rechts, die entgegengesetzte Spitze nach links liegt. Der von Kap. Witt beobachtete Insulaner und die Verfertiger der Godeffroyschen

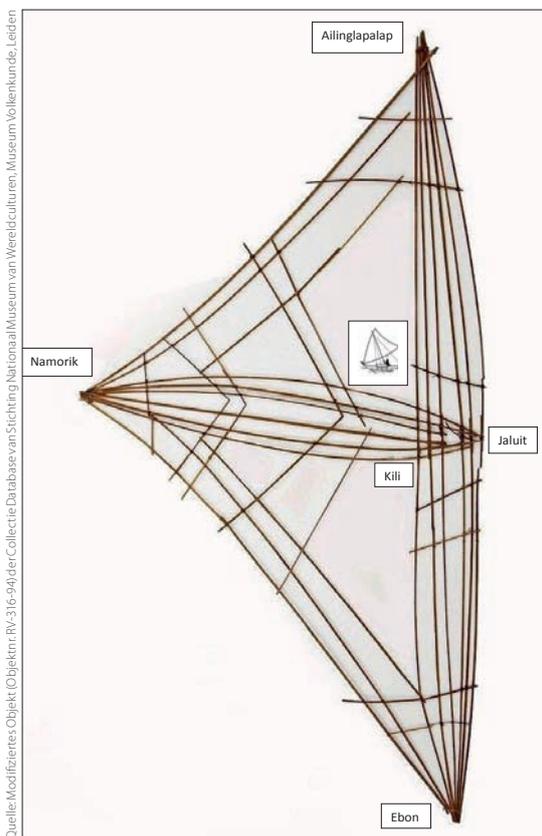


Abb. 2: Modifizierte Einzel- oder Spezialkarte, Medo genannt, des südlichen Teils der westlichen Ralik-Gruppe der Marshallinseln im Pazifischen Ozean. Das dargestellte Outrigger-Segelkanu ist auf der Reise von Jaluit über Kili nach Namorik und folgt der als okar bezeichneten Knotenlinie, die durch Interferenzmuster der diffraktierten Dünungswellen durch Jaluit und Kili entstehen. Die Stabkarte mit den Maßen der Länge von 149 cm und der Breite von 78,5 cm ist im Museum für Völkerkunde in Leiden/Niederlande zu besichtigen

Medo's verwandten Muscheln, der Berichterstatter an Konsul Hensheim Steinchen zur Bezeichnung der Inseln, der Verfertiger des Leydener Medo Knoten aus Kokosfaserschnur; d. h. jeder benutzte was ihm zur Hand war. Kaboa erklärte den Leydener Medo als die Verbindung zwischen Jaluit, Kili, Namurik, Ebon und Ailinglaplap angehend; – der p. p. König erklärte aber auch nur die Dinge nach denen er gefragt wurde und da Kapt. Rohlfs nur die nahe rechtwinklig gebogenen Stäbe auffällig fand, die übrigen als willkürlich gewählten Rahmen betrachtete, so gab Kaboa nur die Bedeutung jener dahin an, dass ihre Spitze die Richtung darstelle, nach welcher das Hinterende des Canoe's zeigen soll, um es auf der betreffenden Reise in gehöriger Richtung zum Seegang zu halten: d. h. da der Seegang (die Wellen) meistens von Ost kommt, die Fahrt von Jaluit über Kili nach Namurik aber nur unternommen wird, wenn der N.O. monsun beständig weht, so steuert man, nachdem die in der S.W. ecke des Seeriffs liegende Passage verlassen ist, derart, dass der Seegang, recht auf das Hinterende des Fahrzeuges zukommt, bzw. das Fahrzeug gerade hinter den voraus sichtbaren Wellenkämmen oder Wellenrücken hinsegelt und man wird von der Südspitze Jaluits aus, Kili, von dort Namurik erreichen; auf Kili wird übernachtet und Vorrath von Cocosnüssen gesammelt; von Namurik fährt man nach Ebon, von dort nach Jaluit zurück; während der Jahreszeit des S.O. Windes (Westmonsuns, in unserem Sommer) fahren die Jaluitmänner über Kili erst nach Ebon und von dort nach Namurik und zurück nach Jaluit. Nach Ailinglaplap führt der Weg zunächst durch die Nordpassage des Seeriffs von Jaluit, dann beim Winde weiter. – Nach meiner Ansicht giebt die Fortsetzung der nahe rechtwinklig geknickten Stäbe über die Verbindungen von Namurik mit Ailinglaplap und mit Ebon, auch die ungefähre Richtung an, in welcher das Canoe zum Seegange gehalten werden muss: die langen Stäbe werden durch die Art und Weise des Segelns der Insulaner erklärt. Obengenannter Kapt. Witt (dessen Notizbuch mir durch Güte von Herrn J. D. E. Schmeltz, jetzt Con-

servator des Rijks Ethnograph. Museum zu Leyden, geliehen wurde, um hydrographische und andere die Seefahrt betreffende Notizen allgemein zugänglich zu machen) wies bereits darauf hin und Kapt. Rohlfs bestätigt es, dass die Insulaner stets mit mehreren Canoes eine Seereise unternehmen und sich derart ausbreiten, um immer in Sehweite von einander zu sein; die Möglichkeit für eine oder andere Abtheilung, die gesuchte Insel zu bemerken ist daher um so grösser, je grösser die Anzahl der Boote ist. Die langen Stäbe bedeuten also die ausgebreitete Canoe-Flotte, wegen der grösseren Festigkeit des Ganzen hat man sie bei Jaluit nur nach einer Richtung hin vereinigt. Die Querstäbe und deren Entfernung von einander scheinen mir die Zeitdauer der Reise und die Zeit anzugeben, die vom in Sicht-Bekommen einer Insel bis zum Anlangen dasselbst vergehen kann; die früheren Berichterstatter haben uns nämlich bereits gelehrt, dass die Insulaner die Zeit in Monate (von je 30 Tagen), und den Tag nach der Höhe der Sonne und der Sterne in bestimmte Abschnitte theilen.«

2.2 Stabkarte (Medo) der Kieler Südseesammlung

Die Kieler Südseesammlung, die 2014 von der Christian-Albrechts-Universität (CAU) zu Kiel als Dauerleihgabe in den Bestand des Kieler Stadt- und Schifffahrtsmuseums übergegangen ist, besitzt zwei Stabkarten. Beide Stabkarten wurden dem Museum für Völkerkunde der CAU 1952 von Adolf Rittscher geschenkt (Hennings 2017).

Die L-förmige Stabkarte der Kieler Südseesammlung, gezeigt in Abb. 3, ist ein Gitterwerk mit Verbindungsstäben, die als Dünungsmerkmale gedeutet werden können, und umfasst die südlich gelegenen Atolle und Inseln sowohl der Ralik- als auch der Ratak-Kette der Marshallinseln. Adolf Rittscher hat diese Stabkarte im Jahr 1903 von einem lokalen Händler auf Jaluit erworben, also 23 Jahre später als die auf Ailinglaplap im Jahre 1880 durch Rohlfs gekaufte Stabkarte.

Ebenso wie die Kieler Südseesammlung erhielt auch die Johannes-Gutenberg-Universität Mainz Stabkarten und Erläuterungen von Rittscher. Auf Jaluit hat sich Rittscher durch einen Gefolgsmann des Königs Kabua (Kaboa) über die Stabkarten belehren lassen (Brandstetter 2017). Die Bezeichnungen der Korallen bzw. Atolle und Inseln in Abb. 3 sind mit der ungefähren geographischen Lage der Atolle und Inseln zueinander konsistent, wenn Jabor an der Südost-Passage und die Südspitze der Insel Jaluit als zwei Orte des Gesamtatolls Jaluit (Djalut) gedeutet werden. Die Positionen der benannten Korallenstücke in der Stabkarte sind nicht identisch mit der geographischen Position der Atolle und Inseln in aktuellen nautischen Seekarten oder der in Abb. 1 gezeigten Übersichtskarte.

Obwohl sich das Aussehen der beiden Stabkarten aus Abb. 2 und Abb. 3 unterscheidet, stimmen die Lage der Atolle und Inseln zueinander und die Bezeichnungen überein. Auch die *okar*-Linie (Linie von Knotenpunkten) ist in beiden Stabkarten wie-

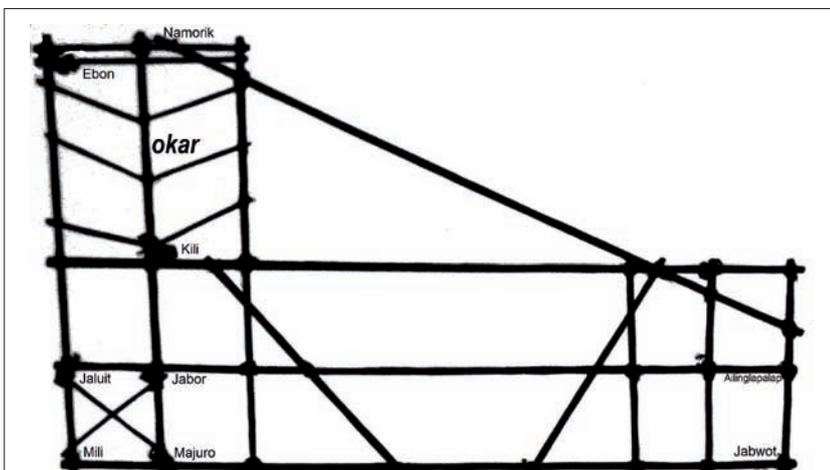


Abb. 3: L-förmige Stabkarte (Medo) der Kieler Südseesammlung; Länge: 44 cm, Breite: 29 cm (Bild des Autors vom 28.09.2014); an einigen Stellen mit Korallenstücken versehen, die Inseln oder Atolle andeuten. Die Namen sowie die Bezeichnung *okar* sind nachträglich, aufgrund der Erläuterungen von Rittscher zu den Stabkarten in Mainz aus der gleichen Serie, vom Autor hinzugefügt worden (Brandstetter 2017).

derzufinden. Die jeweils drei in einem Winkel von 135° angebrachten Stäbe, links und rechts von der *okar*-Linie, in der oberen linken Hälfte der Stabkarte, können als gebeugte Dünungswellenkämme interpretiert werden. Die kurzen Stäbe schneiden sich in der Mitte auf einem Stab zwischen zwei befestigten Korallen, die als Atolle oder Inseln zu deuten sind. Der Navigator des Auslegerbootes hat somit der angedeuteten *okar*-Linie zu folgen, um vom östlichen Atoll Jaluit bzw. Jabor über die Insel Kili zum westlichen Atoll Namorik zu segeln.

3 Theoretische Beschreibung der Beugung/Diffraktion

In Abb. 4 sind die experimentell erzeugten Beugungs-/Diffraktionsmuster von Wasserwellen im Zentimeter-Wellenlängenbereich an einem Doppelspalt, gekennzeichnet durch die Buchstaben A und B, gezeigt (Grössing 2000). Die Verbindungsstäbe in den Abb. 2 und 3, die als gebeugte/diffraktierte Dünungswellenkämme interpretiert werden, kreuzen sich auf dem Verbindungsstab (*okar*-Linie) von Jaluit/Kili nach Namorik. Folglich können sie als Interferenzmuster, hervorgerufen durch ein Atoll oder eine Insel, gedeutet werden, nach denen die Insulaner auf den Marshallinseln unter anderem navigierten.

Zur mathematischen Überprüfung wird in erster Näherung die Insel oder das Atoll durch einen freistehenden Wellenbrecher approximiert, ähnlich dem Doppelspalt mit seinen Erregungspunkten A und B. Das Interferenzbild der Abb. 5 zeigt die schematische Ausbreitung zweier Wellen direkt hinter einem Wellenbrecher, angeregt von zwei benachbarten Erregungspunkten bei A und B. Die dünnen durchgezogenen Linien stellen Wellen mit einem Abstand von einer Wellenlänge dar. Die gestrichelten dünnen Linien bezeichnen halbe Wellenlängen. Die dick durchgezogenen Linien zeigen die Orte stärkster Schwingung, während an den dick gestrichelten Linien keine Bewegung herrscht; diese Kurven beschreiben Hyperbeln. Die Schwingung der einzelnen Wasserteilchen erfolgt senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung der Welle, die als Transversalwellen definiert sind.

Bei der folgenden theoretischen Beschreibung der Diffraktion werden freistehende Wellenbrecher wie zwei halbumendliche Wellenbrecher behandelt, bei denen sich der Diffraktionskoeffizient k_d , definiert durch (Shore Protection Manual 1984):

$$k_d = \frac{H_d(r, \Theta)}{H_i} = F(r, \Theta) \quad (1)$$

wobei $H_d(r, \Theta)$ die Wellenhöhe an einem beliebigen Punkt hinter dem Wellenbrecher als Funktion des Abstandes r und des Winkels Θ in Polarkoordinaten, H_i die Wellenhöhe der ankommenden Welle und $F(r, \Theta)$ die Lösungsfunktion nach Sommerfeld (1896) bedeuten und aus den Teildiffraktionskoeffizienten wie folgt allgemein berechnen lässt:

$$k_d = (k_{d_{\text{links}}}^2 + k_{d_{\text{rechts}}}^2 + 2 \cdot k_{d_{\text{links}}} \cdot k_{d_{\text{rechts}}} \cdot \cos(\Delta\varphi))^{1/2} \quad (2)$$



Abb. 4: Beugungs-/Diffraktionsmuster von Wasserwellen im Zentimeter-Wellenlängenbereich an einem Doppelspalt, gekennzeichnet durch die Buchstaben A und B (modifiziert nach Grössing 2000)

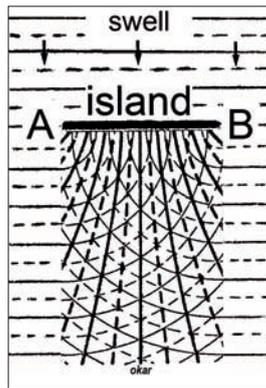


Abb. 5: Schematische Darstellung des Interferenzbildes von Wellen direkt hinter einem Wellenbrecher, der eine Insel oder ein Atoll andeuten soll. Es ergeben sich zwei Wellensysteme, die von zwei benachbarten Erregungspunkten bei A und B erzeugt werden: dünne durchgezogene Linien stellen Wellen mit einem Abstand von einer Wellenlänge dar, gestrichelte dünne Linien bezeichnen halbe Wellenlängen, dick ausgezogene Linien stellen Orte stärkster Schwingung (*okar*) dar, während an den dick gestrichelten Linien Ruhe bzw. keine Schwingungsauslenkung herrscht. Die Trajektorie der einlaufenden Dünung (*swell*) hat einen Winkel von 90° zum Wellenbrecher bzw. zur Insel (*island*) oder zum Atoll. Die Wellenkämme der einlaufenden Dünung sind parallel zum Wellenbrecher orientiert

wobei $k_{d_{\text{links}}}$ und $k_{d_{\text{rechts}}}$ die Teildiffraktionskoeffizienten am linken und am rechten Ende des Wellenbrechers sowie $\Delta\varphi$ die Phasendifferenz zwischen der linken und rechten Diffraktionswelle bedeuten.

Für den Sonderfall $k_{d_{\text{links}}} = k_{d_{\text{rechts}}}$ und $\Delta\varphi = 0$ ergibt Gleichung (2), unter Verwendung von Gleichung (1):

$$k_d = 2 \cdot |F(r, \Theta)| \quad (3)$$

was die gemachten Vereinfachungen zu Beginn des Kapitels mathematisch beschreibt und in Abb. 5 schematisch dargestellt ist.

Unter den Annahmen und Bedingungen von Sommerfeld (1896; 1947) kann die mathematisch exakte Lösungsfunktion in Polarkoordinaten $F(r, \Theta)$ folgendermaßen formuliert werden:

$$F(r, \Theta) = F_1(r, \Theta) + F_2(r, \Theta) = \psi(\sigma) \cdot e^{-ikr \cos(\Theta - \Theta_0)} + \psi(\sigma') \cdot e^{-ikr \cos(\Theta + \Theta_0)} \quad (4)$$

mit den Definitionen

$$\psi(\sigma) = \frac{1+i}{2} \int_{-\infty}^{\sigma} e^{-1/2 i \pi t^2} dt \quad (5)$$

$$\psi(\sigma') = \frac{1+i}{2} \int_{-\infty}^{\sigma'} e^{-1/2 i \pi t^2} dt \quad (6)$$

$$\sigma = 2 \cdot \left(\frac{k \cdot r}{\pi}\right)^{1/2} \sin \frac{1}{2}(\Theta - \Theta_0) \quad (7)$$

$$\sigma' = -2 \cdot \left(\frac{k \cdot r}{\pi}\right)^{1/2} \sin \frac{1}{2}(\Theta + \Theta_0) \quad (8)$$

Literatur

- Arthur, Robert S. (1951): The effect of islands on surface waves; Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography, Vol. 6, Nr. 1, S. 1–26
- Brandstetter, Anna-Maria (2015): Objekt des Monats – März 2015, Einkaufen en gros, Verkaufen en détail – Zwei Stabkarten von den Marshallinseln; Institut für Ethnologie und Afrikastudien, Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, www.sammlungen.uni-mainz.de/809.php
- Brandstetter, Anna-Maria (2017): Erläuterung zu den Stabkarten der Inseln der Ralik-Gruppe der Marshallinseln; Institut für Ethnologie und Afrikastudien, Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, Sammlungsarchiv
- Finney, Ben (1998): Nautical cartography and traditional navigation in oceania; in: David Woodward; G. Malcolm Lewis: The History of Cartography, Volume Two, Book 3, University of Chicago Press, S. 443–492
- Grössing, Gerhard (2000): Wasser als Vor-Bild zur Naturforschung; in: Tagungsband Wasser, Band 9 der Schriftenreihe »Forum« der Kunst- und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland, Bonn; Wienand, S. 69–81
- Hennings, Ingo (1999): Imaging of oceanic surface features on radar satellite scenes already indicated on Microneasian stick charts; Historisch-meereskundliches Jahrbuch, Nr. 6, S. 7–18
- Hennings, Ingo (2015): New perspectives on indigenous navigation tradition; Hydrographische Nachrichten, Nr. 100 (02/2015), S. 54–58
- Hennings, Ingo (2017): Die Stabkarten der Kieler Südeesseammlung; eingereicht in Christiana Albertina, Forschungen und Berichte aus der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
- Hübner, Horst (2008): Kolonialverwaltung, Überseehandel und wissenschaftliche Forschung. Das Beispiel der ehemaligen Deutschen Schutzgebiete im Stillen Ozean; Web-Site-Verlag, Ebersdorf, 266 S.
- Lamb, Horace (1945): Hydrodynamics; Dover, New York, 738 S.
- Lexikon der Geowissenschaften (2003): Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 5 Bände und 1 Registrierband, 2840 S.
- Schiller, Lars (2015): What exactly is hydrography?; Hydrographische Nachrichten, Nr. 100 (2/2015), S. 59–62
- Schück, Albert (1884): Die Entwicklung unseres Bekanntwerdens mit den astronomischen, geographischen und nautischen Kenntnissen der Karolineninsulaner, nebst Erklärung der Medo's oder Segelkarten der Marshallinsulaner, im westlichen grossen Nord-Ozean; Tijdschrift van het Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap, Amsterdam, Vol. I, Nr. 2, S. 226–251
- ...

wobei $F_1(r, \Theta)$ die einfallende Welle mit der zugehörigen Diffraktionswelle, $F_2(r, \Theta)$ die reflektierte Welle mit der entsprechenden Diffraktionswelle, i die imaginäre Einheit, k die Wellenzahl, Θ_0 die Laufrichtung der einfallenden Welle und t die Zeit bedeuten.

Die Gleichungen (5) und (6) können auch wie folgt umgeschrieben werden:

$$\psi(\sigma) = \frac{1+i}{2} \left(\frac{1-i}{2} + \tilde{F}(\sigma) \right) \quad (9)$$

$$\psi(\sigma') = \frac{1+i}{2} \left(\frac{1-i}{2} + \tilde{F}(\sigma') \right) \quad (10)$$

wobei

$$\tilde{F}(\sigma) = \int_0^{\sigma} e^{-\frac{1}{2}i\pi t^2} dt \quad (11)$$

bzw.

$$\tilde{F}(\sigma') = \int_0^{\sigma'} e^{-\frac{1}{2}i\pi t^2} dt \quad (12)$$

komplexe Fresnelsche Integrale darstellen. Die numerische Lösung von $\tilde{F}(\sigma)$ und $\tilde{F}(\sigma')$ erfolgt in einer Reihenentwicklung (Sommerfeld 1950).

Die Auslenkung der Wasseroberfläche ζ , die aus der Laplaceschen Differentialgleichung mit entsprechenden Randbedingungen gefunden werden kann, ergibt sich allgemein zu (Lamb 1945):

$$\zeta(r, \theta) = \frac{i \cdot A \cdot \omega}{g} \cdot e^{i\omega t} \cdot \cosh(k \cdot d) \cdot F(r, \theta) \quad (13)$$

wobei A die Wellenamplitude, ω die Kreisfrequenz der ungestörten Welle, g die Erdbeschleunigung und d die Wassertiefe bedeuten.

Die Gleichung (13) zeigt, dass der Parameter $F(r, \theta)$ die Amplitude und die Phase der diffraktierten Welle bestimmt.

Diffraktionsdiagramme, die Linien gleicher Diffraktionskoeffizienten für monochromatische Wellen darstellen, sind beispielsweise im *Shore Protection Manual* (1984) für verschiedene Wellenlaufrichtungen angegeben. Bei einem Winkel der einlaufenden Welle von $\theta_0 = 90^\circ$, d. h. die Wellenkämme verlaufen parallel zum Wellenbrecher, ergibt sich beispielsweise bei der Position $r =$ sechs Wellenlängen entfernt und genau senkrecht $\theta = 90^\circ$ hinter dem Wellenbrecher (Abb. 2-33 im *Shore Protection Manual*) und nach Gleichung (3) für den Diffraktionskoeffizienten $k_d = 2 \cdot 0,55 = 1,1$. Mit einer Höhe der einlaufenden Welle von $H_i = 3,0$ m ($A = 1,5$ m) ergibt sich nach Gleichungen (1) bis (3) für die Wellenhöhe hinter dem Wellenbrecher $H_d(r, \theta) = 1,10 \cdot 3,0$ m = 3,3 m. Die Auslenkung der Wasseroberfläche an dieser Position ist folglich $\zeta = H_d(r, \theta)/2 = 1,65$ m, was eine erste quantitative Näherung für Gleichung (13) ist. Beide diffraktierten Wellen überlagern sich positiv, d. h. es kommt, weil der Diffraktionskoeffizient k_d größer als 1 ist, zu konstruktiven Interferenzen der beiden diffraktierten Wellen.

Vergleichbar ist diese Diffraktionskoeffizientenlinie oder *okar*-Linie mit der dick ausgezogenen Linie konstanter Phasendifferenz genau in der Mitte senkrecht zwischen A und B in Abb. 5. Die Abb. 2-33 im *Shore Protection Manual* (1984) veranschaulicht, dass sich an anderen Positionen hinter dem Wellenbrecher noch größere Diffraktionskoeffizienten ergeben, was somit auch zu noch erheblich höheren Auslenkungen der Wasseroberfläche führt. Das hier betrachtete Beispiel hat seine Gültigkeit nur für den oben beschriebenen Sonderfall und die hier gemachten Annahmen und Bedingungen. Weiterhin ist das natürliche Wellenspektrum mit seinen verschiedenen Perioden oder Frequenzen sehr variabel, d. h. jede Wellenfrequenz wird in Übereinstimmung mit ihrer lokalen Wellenlänge diffraktiert. Hinzu kommen in der Natur nichtlineare Effekte, wie Wellenbrechung und Wellen-Wellen-Wechselwirkung. Der freistehende Wellenbrecher ist ebenfalls nur eine erste Approximation für eine Insel oder ein Atoll. Oft wird eine Überlagerung von Reflexion, Refraktion und Diffraktion von Wellensystemen beobachtet, was eine theoretische Beschreibung verkompliziert.

4 Diskussion der Ergebnisse und Ausblick

Es ist bemerkenswert, dass die Insulaner auf den Marshallinseln aus ihrer »Augenhöhe« unterschiedliche Rauigkeitssignaturen der Ozeanoberfläche, die durch Beugung/Diffraktion an einem Atoll oder einer Insel entstehen, beobachten und interpretieren konnten und somit für ihre Navigation zu nutzen wussten. Die Signaturen in den beschriebenen zwei Stabkarten sind durch Wellen-Beugung/Diffraktion theoretisch zu erklären. Somit gehören Stabkartensignaturen mit zu den ersten bekannten hydrographischen Erkenntnissen.

Die Kenntnis der Marshallinsulaner bezog sich damals alleine auf die geographische Lage der verschiedenen Atolle und Inseln in Beziehung zueinander. Sie konnten die Lage der Atolle und Inseln nur visuell bezeichnen, wie beispielsweise: wenn hier Jaluit liegt, dann befindet sich Ebon dort. Die geographische Breite und Länge der Atolle und Inseln waren den Insulanern nicht bekannt. Die Navigationsperiode der Marshallinsulaner lag zwischen den Monaten Juni/Juli bis September/Oktober, weil dann relativ geringe Windgeschwindigkeiten vorherrschten. Die Rauigkeitsmodulation der Meeresoberfläche war unter diesen Bedingungen am deutlichsten sichtbar, da das Hintergrundsignal durch einen relativ geringen Seegang des Ozeans geprägt war. Synoptische Aufnahmen der Ozeanoberfläche vom Satelliten zeigen Meeresoberflächensignaturen vergleichbar denen von Stabkarten (Hennings 2015; 2017). Diese Beobachtung steht somit in Übereinstimmung mit der Abbildung von Rauigkeitsmodulationen der Meeresoberfläche vom

Satelliten aus im Mikrowellenbereich und sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums (Hennings 1999; 2015). Die größte Rauigkeitsmodulation der Meeresoberfläche wurde bei Windgeschwindigkeiten zwischen 3 m s^{-1} und 6 m s^{-1} und bei (Gezeiten-) Strömungen von $\geq 0,5 \text{ m s}^{-1}$ gemessen.

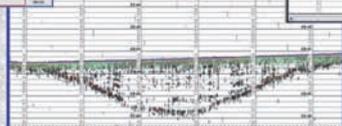
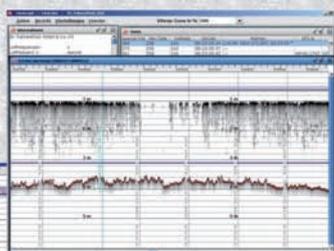
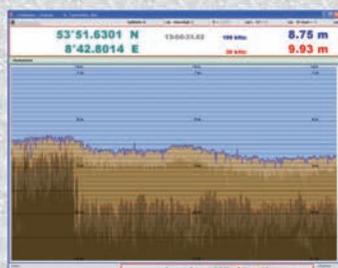
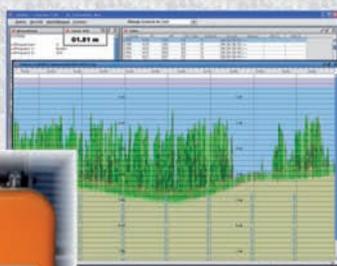
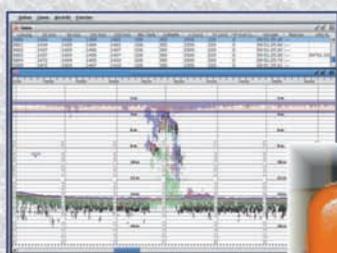
Stabkarten sind ein Alleinstellungsmerkmal bezüglich Fertigung und Nutzung auf den Marshallinseln des Pazifischen Ozeans. Vergleichbar wäre ein solches Alleinstellungsmerkmal mit dem sogenannten Steingeld *fai* (*fei*, *rai* oder *fäi*), das es nur auf Yap (Karolinen) in Ozeanien gibt. Die Steinscheiben aus Aragonit stammen von der etwa 400 km entfernten Insel Babeldaop (Palau), von wo aus sie über den Ozean nach Yap transportiert wurden. Die Stabkarten und das Steingeld sind bis heute eine Besonderheit von besonderem kulturellem und geschichtlichem Interesse, was die Insulaner selbst erkannt haben und heute wieder von ihnen belebt wird.

Zukünftig würde sich eine inter- und transdisziplinäre Forschung über die Problematik und Konsequenz des Meeresspiegelanstiegs und Veränderungen des Wellenklimas im Seegebiet

der Marshallinseln des Pazifischen Ozeans als sinnvoll erweisen, da diese flachen Koralleninseln als erste die Folgen des Klimawandels bereits spüren. Die Messung des Wasserstandes gehört zur klassischen Hydrographie. Durch die Bedrohung des Meeresspiegelanstiegs hat insbesondere das Meeressgebiet der Marshallinseln eine besondere gesellschaftliche Bedeutung als maritimer Kulturraum mit seinen einzigartigen Navigationstechniken. Vor dem Hintergrund der Initiative »Wissenschaftsjahr 2016*17 – Meere und Ozeane« des Bundesministeriums für Bildung und Forschung in Deutschland wäre ein solches Projekt besonders von Interesse. Einige Museen für Völkerkunde in Deutschland, aber auch weltweit, haben den Klimawandel schon längst aufgegriffen und thematisiert (Hennings 2015). Da die Kieler Südseesammlung unter einer kolonial- und marinegeschichtlichen Fragestellung erforscht werden soll, können dazu auch Beiträge aus hydrographischer und ozeanographischer Perspektive geliefert werden. Stabkarten wären dann als gemeinsame Untersuchungsobjekte der Hydrographie, Ozeanographie und Ethnologie zu betrachten. [↕](#)

- ...
 Schück, Albert (1902): Die Stabkarten der Marshall-Insulaner; Kommissionsverlag von H.O. Persiehl, Hamburg, 48 S.
 Shore Protection Manual (1984): Coastal Engineering Research Center (CERC), Department of the Army, Waterways Experiment Stations, Corps of Engineers, Vol. 1, 647 S., Vol. 2, 647 S.
 Sommerfeld, Arnold (1896): Mathematische Theorie der Diffraction; Mathematische Annalen, Vol. 47, S. 317–374
 Sommerfeld, Arnold (1947): Vorlesungen über Theoretische Physik, Band VI, Partielle Differentialgleichungen der Physik; Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.G., Leipzig, 346 S.
 Sommerfeld, Arnold (1950): Vorlesungen über Theoretische Physik, Band IV, Optik; Dieterich'sche Verlagsbuchhandlung Inh. W. Klemm, Wiesbaden, 405 S.
 Weis, Marc (2016): Navigation der Polynesier – in der Berufsschiffahrt anwendbar; Schiff & Hafen, Vol. 58, Nr. 10, S. 60–63

Hydrographic Echo Sounders



**Dr. Fahrentholz
GmbH & Co. KG**

Grasweg 4-6
D-24118 Kiel, Germany
Phone ++49 431 542049

www.fahrentholz.de
fz@fahrentholz.de

Geschäftsführer: Dr. Julia Fahrentholz-Starrost
Gesellschafter: A. Fahrentholz-Thomsen, Dr. Fahrentholz-Wilkening, Dr. Fahrentholz-Starrost