

Die Lösung des Längengradproblems durch James Cook als Navigator, Astrogeodät und Kartograph im Jahre 1776 – eine Genauigkeitsbetrachtung zur geographischen Ortsbestimmung der Südseeinseln und ihrer kartographischen Darstellungen (1765–1777)

The Solving of the Problem of Measuring Longitude by James Cook as Navigator, Astronomic Geometer and Mapper in 1776 – an Analysis of Precision of Geographical Positioning of Islands of the South Seas and their Cartographic Presentations

Arno Berger

1775 hat der autodidaktische Uhrmacher John Harrison mit seiner ersten Chronometer-Taschenuhr H4 als „Timekeeper“ nach 50 Entwicklungsjahren das Längenproblem gelöst. Über zwei Jahrhunderte lang führten bis dahin ungenaue Messmethoden oft zu vernichtenden Verlusten an Menschen und Material. Auf seiner über dreijährigen 2. Weltreise in die Südsee erbrachte James Cook mit der K1 (Nachbau der H4 von L. Kendall) erstmalig den Beweis, dass die Forderung der Koordinatengenauigkeit des „Longitude Act“ des Britischen Parlaments von $\lambda = \pm 0,5^\circ$ mit der K1-Chronometermessung ohne Weiteres erreicht werden kann. War dies nun Zufall oder den außerordentlichen Navigationsfähigkeiten von J. Cook sowie dem wissenschaftlichen Durchbruch von J. Harrison und anderen Entwicklern zu verdanken?

In einer kartometrischen Untersuchung in J. Cooks Karte von 1776 und deren geographischen Koordinaten von Inseln der Südsee werden zunächst die Lageabweichungen dieser Orte durch Vergleich mit Google-Earth-Werten bestimmt. Eine anschließende fehlertheoretische Betrachtung soll erstmalig eine Standardabweichung a posteriori der Messungen zur Ortsbestimmung liefern. Liegt dazu der Wert für die ermittelte Standardabweichung SD für Lageabweichungen in λ in einem plausiblen Genauigkeitsbereich, so ist damit offensichtlich, dass die hohe Navigationsfähigkeit und Ortsbestimmung von J. Cook sowie die hohe Ganggenauigkeit der ersten mechanischen Taschenuhr H4 von J. Harrison zur Lösung des Längenproblems entscheidend beigetragen haben.

Die von Johann Werner 1514, Peter Apian 1533, insbesondere von Tobias Mayer 1755/62, Leonhard Euler 1755, Carsten Niebuhr 1762, Nevil Maskelyne 1767 und anderen entwickelte Mondtdistanzmethode zur

Bestimmung der geographischen Länge konnte bislang keine hohe Koordinatengenauigkeit vorweisen, war aber wesentlich preiswerter in ihrer Durchführung.

Schließlich werden die Darstellungen von drei Seekarten aus den Jahren 1773, 1776 und 1779 gewürdigt, die J. Cook während seiner drei Weltreisen in die Südsee kartographiert hat.

Schlüsselwörter: Historische Seekarten, James Cook, John Harrison, Chronometer H4, Längen-Preis, astronomische Messinstrumente, Genauigkeit der Längengradbestimmung, Standardpunktabweichung

In 1775, the self-taught watchmaker John Harrison solved the problem of precisely measuring longitude with his so called "Timekeeper" H4=K1 (Chronometer) after a developmental period of 50 years. Inaccurate and imprecise navigational methods had often led to devastating losses of lives and materials, over the previous two centuries. On a three-year expedition, his second such enterprise in the South Pacific, J. Cook evidenced that achieving the standards established in the "Longitude Act" of the British Parliament – demanding navigational precision of $\lambda = \pm 0.5^\circ$ – was possible with the aid of Harrison's K1. Was this purely coincidental or indeed due to Cook's extraordinary navigational competence with the help of innovations by Harrison and others? In a cartometric analysis of his map from 1776, one can determine the deviation of Cook's geographical coordinates of the South Pacific islands from those provided by Google Earth. Subsequent critical inspection should yield the mean error a posteriori in its absolute location measurements. If at that the value of the calculated standard deviation SD for position deviations of λ lies within a commensurate precision range, then it is obvious that the Cook's exceptional navigational competence and coordinate determination facilitated by the gear precision of the first mechanical pocket watch, Harrison's H4=K1, played a decisive role in solving the problem of measuring longitude. The lunar distance methods of Johann Werner 1514, Peter Apian 1533, particularly Tobias Mayer 1755/62, Leonhard Euler 1755, Carsten Niebuhr 1762, Nevil Maskelyne 1767 and of others were not able to offer such precision, but were considerably less expensive. Conclusively, James Cook's cartographic representations of the South Pacific on his three world expeditions from 1773, 1776 and 1779 will be ever valued.

Keywords: Historical charts, James Cook, Longitude act, John Harrison, Timekeeper H4, astronomical measuring instruments, cartometric analysis, standard position deviation.

1 HINTERGRUND

Die Bestimmung des Längengrades zur Navigation und Ortsbestimmung auf hoher See war im 17. und 18. Jahrhundert weitestgehend unbefriedigend gelöst. Hingegen konnte die geographische Breite aufgrund einer einzigen Peilungsmessung bereits annähernd gut bestimmt werden.

Der Verlust zahlreicher Schiffe mit wertvoller Ladung und vor allem die hohe Mortalitätsrate tausender Marinesoldaten und Offiziere wegen Mangelkrankung, Unfall oder Schiffsbruch führte schließlich dazu, dass das Britische Parlament im Jahre 1714 den „Longitude Act“ verabschiedete. Dieser beinhaltete ein Preisgeld von 20.000 Pfund für eine Methode zur Bestimmung der geographischen Länge, die eine Abweichung von höchstens einem halben Grad zuließ. Die wissenschaftliche Herausforderung zur Lösung des sogenannten Längenproblems konnte erst nach rund 60 Jahren mit hohem technischen sowie kostenintensivem Aufwand und unter einem Interessenkampf zwischen den rivalisierenden Mitstreitern erfolgreich bewältigt werden.

Im Folgenden wird an vier Kartenbeispielen aus den Jahren 1722, 1773, 1776 und 1779 eine Genauigkeitsuntersuchung durchgeführt, die Aufschluss über die Punktabweichung der geographischen Ortskoordinaten von Inseln in Übersee im Vergleich zu heutigen Werten

geben soll. Dabei wird am Beispiel einer neuen Methode, die J. Cook bei seiner zweiten Reise in die Südsee angewandt hat, untersucht, ob die erzielten Auswerteergebnisse auch in einem fehlertheoretisch plausiblen Zusammenhang stehen.

Im Fokus aller Untersuchungen steht zudem die Würdigung der wissenschaftlichen Leistungen von J. Cook, J. Harrison und Tobias Mayer, die im Wesentlichen als Autodidakten auf den Gebieten der Kartographie, der Tophologie, der Uhrentechnologie und der Astrogeodäsie tätig waren.

Die herausragenden Fähigkeiten in der Seevermessung und der Kartographie werden schließlich an drei Karten von J. Cook hervorgehoben.

2 AUSWIRKUNGEN DES LÄNGENGRADPROBLEMS IM 18. JAHRHUNDERT AN BORD VON SCHIFFEN

Das Beispiel der Karte „A chart of the southern part of South America“ verdeutlicht das Drama bei der „Irrfahrt“ des Kapitäns George Anson mit seiner „Centurion“ im März 1741 auf dem Seeweg von

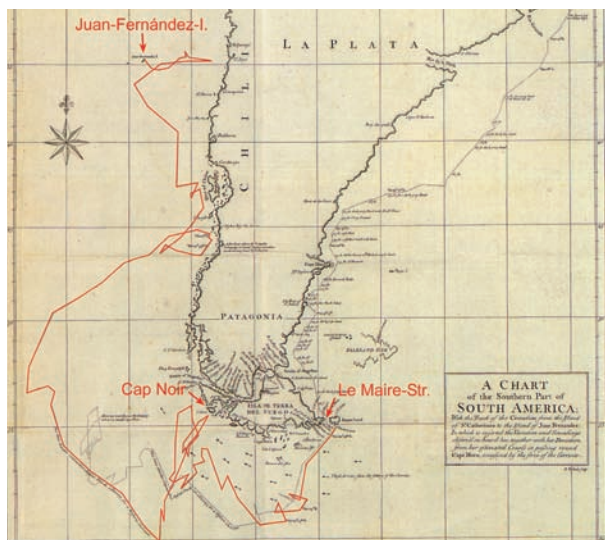


Abb. 1 | Hervorhebung (rote Linie und Beschriftung) der „Irrfahrten“ des Kapitän George Anson mit seiner Centurion 1741 von Kap Horn zur Insel Juan Fernandez im Kartenausschnitt von Südamerika. (<http://nla.gov.au/nla.map-nk3382-13>)



Abb. 2 | /Schneider 2006, Seite 100 und 101/ Ausschnitt der „Charte d'Afrique“ aus dem Jahre 1722 von Guillaume Delisle mit Kennzeichnung der untersuchten Orte bzw. Inseln (in Gelb)



Abb. 3 | Sextant (Radius von 15 Zoll) von Jesse Ramsden 1772 in London hergestellt und von Kapitän J. Cook auf seiner 2. und 3. Weltreise eingesetzt /Sobel & Andrewes 1999/.

	geographische Länge		Längendifferenz
	Delisle		heute
Name in Delisle´s Karte	[Dezimalgrad]	[Dezimalgrad]	[Dezimalgrad]
Isle de l' Amirante	55,81	53,18	+2,63
Isle de Cosmoledo	50,06	47,61	+2,44
Isle de Comore, Nangasia (Njazidja)	44,83	43,28	+1,55
Baye d' Anton - Gil (Madagaskar)	50,40	49,69	+0,71
Baye St. Augustin (Toliara, Madagaskar)	44,47	43,63	+0,84
Isle de Jean de Nove	42,33	42,77	-0,44
Basses de India	40,42	39,69	+0,73
Basses des Garayos	60,63	59,61	+0,98
Isle Maurice	57,55	57,34	+0,21
Isle Bourbon (Réunion)	55,24	55,55	-0,31
Isle de Rodrigue	60,73	63,10	-2,37
Isle de la Galega (Agalega-Inseln)	56,00	56,36	-0,36

Tab. 1 | Genauigkeitsbetrachtung zur geographischen Länge von Inseln des Indischen Ozeans der Karte von Guillaume Delisle aus dem Jahre 1722 (Abb. 2)

der Le-Maire-Straße bei Kap Horn nach Juan Fernandez (heute Isla Robinson Crusoe). Der Zickzackkurs ist in der Abb. 1 durch eine rote Linie gekennzeichnet.

Diese Insel konnte damals wegen der ungenauen Längengradbestimmung offensichtlich nicht auf einem Direktissimakurs erreicht werden. Zudem war an Bord Skorbut ausgebrochen, und die tägliche Todesrate vor Ankunft im Juni 1741 lag bei bis zu 10 Mann. Insgesamt überlebten knapp 284 von 521 Männern die Schifffahrt!

Ferner waren die Ursachen des Verlustes von einigen Schiffen von Ansons Flotte vor Kap Horn meist starke Stürme und Meeresströmungen. Aber vor allem führte die ungenaue Bestimmung der geographischen Länge – wie dieses Beispiel zeigt – zu Abweichungen vom direkten Kurs von bis zu 250 Meilen.

Das ungelöste Längenproblem, die dadurch zahlreich gesunkenen Schiffe und die Tatsache, dass es keine wirksame vorbeugende Maßnahme gegen die Krankheit Skorbut gab, führte zur damaligen Zeit zu erheblichen wirtschaftlichen Verlusten bei der britischen Regierung.

Die Kaperung einzelner spanischer Galeonen mit wertvoller Ladung konnte diesen Verlust dauerhaft nicht schmälern. Weitere 35 Jahre mussten verstreichen, bis Kapitän J. Cook auf seiner zweiten Reise um die Welt von 1772 bis 1775 das Längenproblem mittels neuester geodätischer und nautischer Instrumente und Messmethoden sowie das Skorbutproblem durch einen speziellen Ernährungsplan nachweislich lösen konnte.

3 NAVIGATIONSMETHODEN UND KARTENGENAUIGKEIT IM 17. JAHRHUNDERT

Die Methode zur Positionsbestimmung erfolgte i.d.R. mittels Logge, Sanduhr und Kompass. Es handelte sich dabei um eine sog. Koppelnavigation durch Ermittlung aneinander gehängter Entfernungen und Richtungen, die nach der Messung ins Logbuch eingetragen wurden. Die Entfernungsbestimmung ging auf eine Geschwindig-

keitsbestimmung mithilfe des „Gissens“ zurück /Betts 2009/ /Sobel & Andrewes 1999/. Doch war diese Methode bei Meeresströmungen, Sturm, schlechtem Wetter (Nebel) usw. sehr anfällig.

Am Beispiel der bemerkenswerten, geographischen Karte „Charte d' Afrique“ von Guillaume Delisle wird zunächst in einer kartometrischen Analyse die im 16. Jahrhundert und später erreichte Lagegenauigkeit der Inselwelt des Indischen Ozeans ermittelt (Abb. 2). Damit soll eine vergleichende Betrachtung der Genauigkeit der Längengradbestimmung zur Lagegenauigkeit der Südseeinseln gegeben werden.

Die Untersuchungen in Delisles Karte beziehen sich u. a. auf die Seychellen, Mosambik sowie Mauritius und zeigen die Ergebnisse der Entdeckungen und Aufnahme durch Seevermessung auf. Das Datenmaterial in Delisles Karte aus dem Jahre 1722 stammt von Seefahrern ab dem 17. Jahrhundert /Schneider 2006/. Der Längenunterschied von Ferro zu Greenwich ist mit 17,67° West berücksichtigt.

Von Interesse sind die Längengraddifferenzen durch Vergleich mit heutigen Koordinaten in Tab. 1: Bei den 12 $\Delta\lambda$ -Werten führt der absolute Durchschnittswert von 1,13 Grad zu einer Entfernungsdifferenz von ca. 120 km bei einer mittleren Breite φ von ca. 15°.

Erstaunlich gering sind die Abweichungen bei vier Inseln, bei denen $\Delta\lambda$ kleiner als 0,5° ist. Der Umstand, dass diese nahe an Afrika gelegen sind, dass sie früh entdeckt und wie z. B. Mauritius und La Réunion oft angefahren wurden, spielt hierbei sicherlich eine große Rolle. Die quantitativen Ergebnisse zeigen, dass für eine sichere Navigation auf hoher See die damaligen Längengradbestimmungen offenkundig viel zu ungenau waren.

4 NAVIGATION ZU COOKS ZEITEN (1758 BIS 1779)

Die Positionsbestimmung an Bord von Cooks Schiffen erfolgte generell mittels Sextant, Chronometer, Astronomischen Jahrbuchs „Nautical Almanac 1770“ und evtl. mit dem Peilkompass.

Zwei Methoden wurden zu dieser Zeit präferiert:

- Die Mondstanzmethode (Abstand des Mondes zu Referenzsternen) /Hamel 2012/ und
- die Uhrenmethode mittels „Timekeeper“ (Chronometer).

Mit diesen neuartigen Messverfahren waren der Astronom und Kartograph T. Mayer aus Marbach am Neckar und der gelernte Tischler und Uhrmacher J. Harrison aus Lincolnshire verbunden. Darüber hinaus sind hier auch die bedeutenden Wissenschaftler wie z. B. J. D. Cassini, Isaac Newton, Edmund Halley, James Bradley, Leonhard Euler, William Wales, John Arnold, Nevil Mascelyne, Larcum Kendall, Thomas Mudge, Carsten Niebuhr usw. zu nennen. Sie haben entscheidende Pionierarbeit bis zur höchsten Anwendungsreife geleistet. J. Cook als Kapitän der Royal Navy ist als neutraler Anwender dieser o. g. zwei Verfahren zu sehen, die ab 1772 (Beginn der zweiten Reise in die Südsee) beide erstmalig unabhängig voneinander zum Einsatz kamen /Cook 2005/.

Auf dieser Reise wurden auf seinem Schiff „Resolution“ vier Sextanten eingesetzt. Es waren neuartige Instrumente zur Messung von Vertikalwinkeln, z. B. zwischen der Sonne oder einem anderen Fixstern und dem Horizont i. d. R. zum Zeitpunkt ihrer Kulmination, also zum Schiffsmittag. Die Sonne steht dann exakt im Süden.

Neben zwei Sextanten in reinem Holzframe benutzte J. Cook die technisch verbesserten Instrumente der Firma Peter und John jun. Dolland sowie von Jesse Ramsden von 1772 aus London (Abb. 3). Diese Neuentwicklungen bestanden aus Messing, Glas sowie Holz und erlaubten auf ihrer 120-Grad-Skala eine Ablesung auf eine Bogenminute. Ein Nonius oder eine Mikrometerschraube erhöhten später die Ablesegenauigkeit. Die neuen Instrumente hatten einen Radius von 15 Zoll und waren als Spiegelsextant mit einem Doppelvisier und einer Teleskopablesevorrichtung ausgestattet. Die Sextanten wurden für die Positionsermittlung, also für die Bestimmung der geographischen Breite φ und geographischen Länge λ , als die zentralen Messinstrumente eingesetzt /Graff 1944/.

Daneben benutzte Cook für die Uhrenmethode die erste mechanische Taschenuhr H4 von J. Harrison, die in seiner 50-jährigen Entwicklung zur höchsten Reife gelangt war. Die H4, mit der J. Harrison einen Großteil des „Längenpreises“ gewann, war verglichen mit seinen drei früheren Standuhren H1, H2 und H3 beachtlich klein; ihr Durchmesser betrug lediglich ca. 13 cm. Sie wurde 1759 vollendet und bei zwei Fahrten auf See, 1761/62 nach Jamaika und 1764 nach Barbados, erprobt.

Bei seinen Uhren entwickelte Harrison innovative Techniken, wie z. B. das Bimetallpendel, das Temperaturschwankungen ausglich, sowie die Bestückung mit Brillanten und die Grashopperhemmung, die beide die Reibung und Abnutzung der Hemmung verringerten.

Abb. 4 zeigt das Original der H4 aus dem Jahre 1759. Die K1, die von Larcum Kendall im Jahre 1770 fertiggestellt wurde, ist eine exakte Kopie der H4. Einem ersten Dauertest wurde diese K1 dann auf Kapitän Cooks zweiter Reise zum Südpazifik 1772–1775 unterzogen.

Auf der Fahrt von Plymouth in die Südsee an Bord von Cooks Resolution ließ sich die Standortbestimmung des Schiffes nach Messung des entsprechenden Vertikalwinkels φ mittels folgender Gleichungen bestimmen:

Die geographische Breite ergibt sich aus

$$\varphi = 90^\circ - \varphi. \quad (1)$$

Der chronometrischen Längenbestimmung liegt folgende Gleichung zugrunde:

$$\lambda = t_1 - t_2 - t_3 - t_4 \quad (2)$$

mit

- t_1 = Zeit des Chronometers K1 am Abfahrtsort,
- t_2 = Zeit auf Greenwich Mean Time (GMT) korrigiert,
- t_3 = Zeit am Bestimmungsort des Timekeepers K1 zum Zeitpunkt des höchsten Sonnenstandes mittels Sonnenpeilung (Genauigkeit von ca. $\pm 1'$ mit dem Sextant /Langer 2009/) und
- t_4 = Gangfehlerberücksichtigung von ca. + 0,1 sec./Tag.

Anschließend werden die Zeitwerte in Winkelwerte umgerechnet.

Im Vergleich dazu benötigt die Längenbestimmung über Mondstanz nach T. Mayer mindestens drei Messungen mit dem Sextanten und anschließend 13 Rechenreduktionen /Lüning 2010/. Allein die höhere Anzahl der Messfehler a priori und eine eventuelle Ungenauigkeit der Werte in den Mondtafeln dürften gegenüber der Chronometermethode zwangsläufig zu einem ungenaueren Bestimmungsergebnis für λ führen.

Dennoch hat sich die Mondstanzmethode noch ca. 160 Jahre lang nach J. Cooks Tod bewährt und konnte zumindest immer als ein



Abb. 4 | Schiffsuhr H4 als erste mechanische Taschenuhr der Welt von John Harrison mit Vorder- sowie Rückseite und ihrer dekorativen Platine von 1759 /Sobel & Andrewes 1999/

unabhängiges Mess- und Rechenverfahren zur Schiffsuhrenmessung angewandt werden.

5 DIE WELTREISEN VON J. COOK IN DIE SÜDSEE UND SEINE KARTOGRAPHISCHEN LEISTUNGEN

J. Cooks überragendes Talent als Kartograph offenbarte sich ab 1758 bei der Erkundung und Vermessung des Sankt-Lorenz-Stromes, der neufundländischen Gewässer und anderer Teile der Ostküste Kanadas während des Siebenjährigen Krieges (1756–1763). Seine präzisen Karten verhalfen den britischen Truppen im September 1759 zum entscheidenden Sieg über die Franzosen bei Québec. Cooks Ruf als hervorragender Schiffsführer und Kartograph führte für den ehrgeizigen, jungen Leutnant schließlich zur Berufung für die berühmten Pazifikreisen /Wikipedia 2014/.

Auf seiner ersten Südseereise (1768–1771) entdeckte er 1769 u. a. Neuseeland, welches er richtigerweise als Doppelinsel auswies. J. Cook kartierte die Küste Neuseelands meistens vom Schiff aus. Die Erfassung vom Lande insbesondere von hohen Bergen wurde eher selten von ihm vorgenommen.

Seine Leistungen waren umso bemerkenswerter, als sein Schiff „Endeavour“ mehrfach wegen schlechten Wetters aufs offene Meer hinausgetrieben wurde. Die dünnen punktierten Zickzack-Navigationskurslinien vor der Küste in Rot der Abb. 5 verdeutlichen diesen Einfluss. Die Cooksche Kartendarstellung – ebenfalls in Rot – zeigt in dieser Abbildung die starke Verschwenkung der beiden Inseln, die geodätisch regelgerecht erst zu Beginn des 19. Jahrhunderts mit Methoden der Landesvermessung aufgrund von Netzen der Festpunktfelder genau erfasst werden konnten. Bei der Kartierung von Teilen der Küste war Cook daher z. T. auch auf Schätzungen von Richtungen und Entfernungen angewiesen. Deshalb liegen die Abweichungen zwischen der Google-Earth-Darstellung als Satellitenbild und Cooks Küstenkartierung nach erfolgter visueller Einpassung in Ost-West-Richtung bei max. 90 km. Die relativ ungenaue Längengradbestimmung basierte eben noch nicht auf der Zeitmessung mittels Chronometer!

Auf Cooks zweiter Reise entstand eine weitere herausragende Karte: „A Chart of the Southern Hemisphere“ (Abb. 6 & 7) /Schüring et al. 2009/ und /Ausstellungskatalog 2009/. Diese Seekarte der südlichen Hemisphäre von 1776 enthält neben seinen eigenen Entdeckungsrouten auch zahlreiche andere Reiserouten aus der Zeit von 1595



Abb. 5 | Ausschnitt von „A Map of the Coast of New Zealand“ von 1773, die Kapitän J. Cook nach seiner ersten Entdeckungsreise in die Südsee 1768–1771 kartographiert hatte. Overlay der Darstellung des Google-Earth-Satellitenbildes zum visuellen Vergleich. Gleichsam ist der Routenverlauf der HM Bark Endeavour zur Umsegelung der beiden Inseln ersichtlich /Atlantica 2008/.

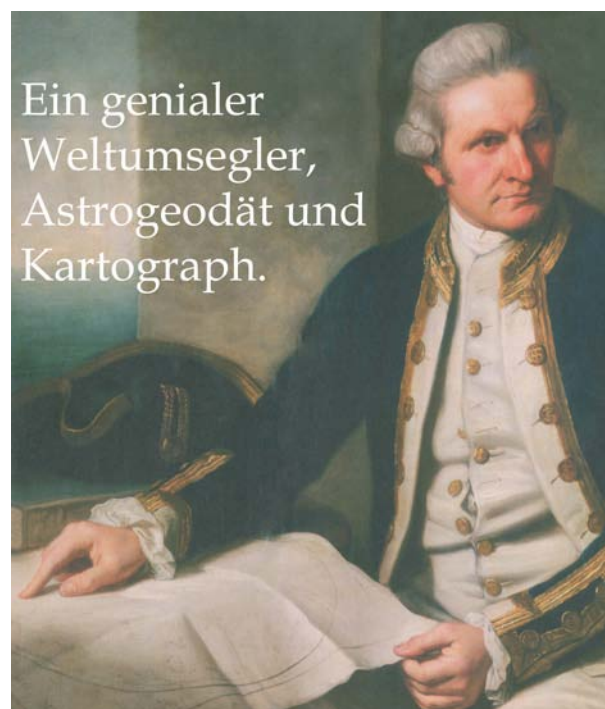


Abb. 6 | Gemälde von Nathaniel Dance von 1775/76, das Kapitän J. Cook nach seiner zweiten Weltreise (1772–1775) mit seinem Kartenentwurf der „Seekarte der südlichen Hemisphäre“ (Abb. 7) zeigt /Schüring 2009/.

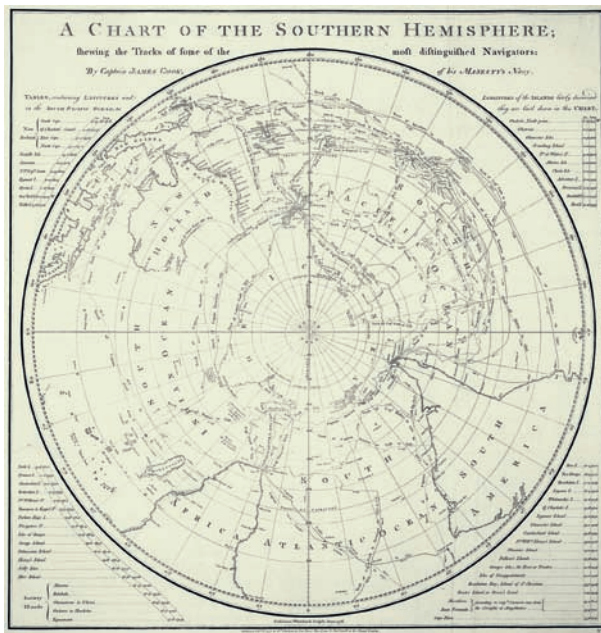


Abb. 7 | „Seekarte der südlichen Hemisphäre“ (A Chart of the Southern Hemisphere) von 1776 von Kapitän J. Cook mit zahlreichen Entdeckungsrouten eigener und anderer Kapitäne und Seefahrer von 1595 bis 1769 /Ausstellungskatalog 2009/.

bis 1769 berühmter Seefahrer und Kapitäne. Hier sind insbesondere die bedeutsamen Namen wie Mendana, Quiros, Le Maire, Scouter, Tasman, Roggewein, Byron, Carteret, Wallis, Bougainville und de Surville zu nennen.

Diese einfarbige Karte hat einen ungefähren Maßstab von 1:43 Millionen bei einem Durchmesser des Kartenspiegels von 59 cm. Die Netzabbildung ist eine konforme (stereographische), azimutale Abbildung in normaler Lage. Sie zeigt die Kartielergebnisse Cooks neuester Seevermessung in erstaunlich hoher Präzision.

Hervorzuheben ist die listenförmige Anordnung von 60 Ortskoordinaten der pazifischen Inselwelt in den vier Randflächen neben dem kreisrunden Kartenspiegel. Die dort aufgeführten geographischen Koordinaten stammen aktuell von Cooks erster und zweiter Weltreise und von den o. g. Seefahrern. Sie wurden auf der Grundlage der Mondstanzmethode mittels Sextant und Mondtabellen des Astronomischen Almanachs (ausschließlich bei der ersten Reise) und/oder nach der Uhrenmethode mit dem Timekeeper H4 = K1 und Sextant bestimmt. Diese Werte werden im nächsten Kapitel einer kartometrischen Genauigkeitsuntersuchung unterzogen.

An einem weiteren Beispiel der „Charte der Insel Otaheite“ (Tahiti) im Maßstab 1:250.000 werden die herausragenden wissenschaftlichen Leistungen Cooks auf dem Gebiet der Vermessung und Kartographie besonders deutlich. Da J. Cook auf dieser Insel insgesamt dreimal für längere Zeit (1769, 1773 und 1777) weilte und er dort 1769 u. a. den Venustransit auf dem von ihm im Norden der Insel errichteten Observatorium beobachtete, konnte er umfangreiche See- und Landvermessungen durchführen /Forster 1958/.

Allein durch den visuellen Vergleich der Küstenverläufe und Flussmündungen wird erkennbar, dass die absoluten Lageabweichungen im Mittel von 3,5 km (Maximum: 6 km) eine erstaunlich hohe Genauigkeit aufweisen (siehe die grüne Linie in Abb. 8, die der Google-Earth-Dar-

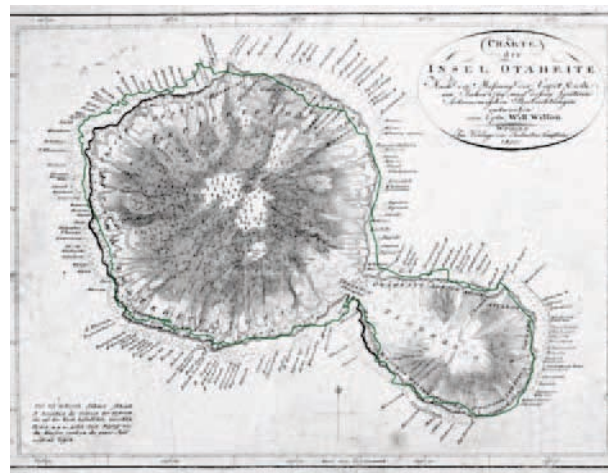


Abb. 8 | „Charte der Insel Otaheite“ (Originalmaßstab 1:250.000), die auf der Grundlage der Vermessung und Kartographie von Kapitän J. Cook auf seinen drei Weltreisen bis 1779 entstanden ist. Entwurf von Kapitän William Wilson 1800 herausgegeben. Die grüne Linie zeigt den heutigen Küstenverlauf aus Google-Earth /www.bundeskunsthalle.de/.

stellung entspricht). Der Fortschritt, der u. a. durch die Chronometermessung für die Längengradbestimmung erreicht wurde, ist bei dieser kartographischen Darstellung besonders gut zu erkennen. De facto handelt es sich um eine chorographische Landkarte mit einer sehr detaillierten Objektartenfülle: Umfangreiches Namensgut, anschauliche orohydrographische Wiedergabe, typisierte „Streusiedlungs“- und Vegetationsdarstellung und kaum generalisierte Küstenlinien, Riff- und Inselverläufe. Insgesamt ist es für die damaligen Verhältnisse eine aus kartographischer Sicht bemerkenswerte Kartendarstellung!

6 GENAUIGKEIT DER GEOGRAPHISCHEN LÄNGENGRAD-KOORDINATEN DER SEEFAHRER DES 18. JAHRHUNDERTS

Die Ergebnisse der Längen- und Breitengradbestimmung wurden in Tab. 2 anhand von 60 Orten (zumeist Inseln), deren geographische Koordinaten aus dem Kartenrand der o. g. Seekarte der Abb. 7 entnommen wurden, einer kartometrischen Genauigkeitsuntersuchung unterzogen, indem sie mit den geographischen Koordinaten der Werte des geodätischen Referenzsystems WGS84 aus Google-Earth verglichen wurden. Die Längengraddifferenzen sind in der vorletzten Spalte der Tab. 2 in km aufgeführt. Die letzte Spalte enthält zudem den Betrag des Richtungsvektors.

Die Auswertung dieser Tabelle lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Die untere Gruppe mit 20 Ortsangaben von Seefahrern zeigt die Aufnahme der Inselwelt in den Jahren von 1765–1769. Die mittlere Entfernungsdifferenz liegt bei ca. 93 km.
- Die obere Gruppe enthält die 10 Werte von J. Cooks erster Weltreise nach Neuseeland und in die Südsee im Jahre 1769. Die Längengradbestimmung erfolgte hier wie oben mittels der Mondstanzmethode u. a. nach T. Mayer als starke Konkurrenz zur umstrittenen Zeitmessung mit Schiffschronometern. Die mittlere Entfernungsdifferenz beträgt hier immerhin rund 44 km.

Name in Cook's Karte	Heutiger Name	Entdecker/Datum	Breite Cook [Dezimalgrad]	Breite WGS84 [Dezimalgrad]	Länge Cook [Dezimalgrad]	Länge WGS84 [Dezimalgrad]	Entfernungs- differenz Cook - WGS84 [km / Grad]	Richtungs- grad [km / Grad]
New Zealand, South Cape	Neuseeland, South Cape	1. Reise Cook's 1769	-47,317	-47,290	167,133	167,538	31,0	84,5
New Zealand, East Cape	Neuseeland, East Cape	1. Reise Cook's 1769	-37,708	-37,690	179,000	178,590	40,4	271,9
Bird I.	Reitoru	1. Reise Cook's 1769	-17,800	-17,859	-143,583	-143,075	54,2	96,7
Bow I.	Hao, Tuamotu-Archipel	1. Reise Cook's 1769	-18,383	-18,235	-141,200	-140,884	37,2	63,3
Two Groups	Marokau, Îles Deux Groupes, Tuamotu-Archipel	1. Reise Cook's 1769	-18,050	-18,065	-142,783	-142,265	54,7	91,6
Lagoon I.	Vahiahi, Tuamotu-Archipel	1. Reise Cook's 1769	-18,773	-18,773	-139,467	-138,822	68,4	89,1
Cherica	Rututu	1. Reise Cook's 1769 (Passage)	-22,450	-22,477	-150,783	-151,341	57,3	265,9
Chari Isle	Anaa, Tuamotu-Archipel	1. Reise Cook's 1769 (Passage)	-17,383	-17,401	-145,900	-145,502	43,4	94,1
Society Islands, Tapoamaru	Maao Iti	1. Reise Cook's 1769 (Passage), Wallis 1767	-17,467	-17,559	-150,650	-150,629	21,4	174,2
New Zealand, North Cape	Neuseeland, North Cape	1. Reise Cook's 1769, de Surville 1769, Tasman 1642	-34,367	-34,393	173,333	173,014	29,8	263,8
Cape Horn	Kap Horn	1. und 2. Reise Cook's 1769 bzw. Dez. 1774 (Passage), Drake 1578, Le Maire und Scouter 1616	-55,967	-55,979	-67,272	-67,272	31,2	93,5
Maltesa Isle	Mehetia, Meitia	1. und 2. Reise Cook's 1769 bzw. Aug. 1773 (Passage)	-17,800	-17,876	-148,167	-148,067	13,5	128,5
Oahete, North point	Tahiti	1. und 2. Reise Cook's 1769 bzw. Aug. 1773 und Apr. 1774, Wallis 1767	-17,488	-17,501	-149,963	-149,497	9,2	98,4
Doubtful I.	Tekokota	1. und 2. Reise Cook's 1769 bzw. Jun. 1773 (Passage)	-17,337	-17,377	-142,283	-141,506	30,0	273,5
New Zealand, O. Charlott's Sound	Neuseeland, Queen Charlotte Sund	1. und 2. Reise Cook's 1769 bzw. Mai 1773, Tasman 1642	-41,100	-41,105	-174,425	-174,309	8,8	273,4
Poe. of Wales's Is.	Tikehau, Tuamotu-Archipel	2. Reise Cook's Apr. 1774 (ca. 1 Grad-Distanz-Passage, vermutlich von Cook korrigiert), Byron 1765	-15,008	-15,008	-148,100	-148,173	7,6	272,4
Picairn's Islands	Pitcairn Islands Group	2. Reise Cook's Apr. 1774 (ca. 0,5 Grad-Distanz-Passage, 3° Lambda-Fehler), Carteret 1767, Quirós 1606	-25,033	-25,069	-133,350	-130,106	327,5	91,4
Georges Isles, the East, or Tookea	Takarua	2. Reise Cook's Apr. 1774 (Passage)	-14,467	-14,452	-144,933	-144,967	4,3	297,3
Palliser's Islands	Palliser-Inseln	2. Reise Cook's Apr. 1774 (Passage), Roggewein 1722	-15,600	-15,600	-146,500	-146,500	0,0	0,0
Resolution Bay, Island of St. Christina	Tahuaia	2. Reise Cook's Apr. 1774, Mendana 1595	-9,925	-9,946	-139,139	-139,097	5,4	117,4
Annatam	Anatomi Island	2. Reise Cook's Aug. 1774 (ca. 0,5 Grad-Distanz-Passage)	-20,050	-20,192	170,083	169,822	32,5	240,6
N.P. Esp. Santo	Espiritu Santo, Vanuatu	2. Reise Cook's Aug. 1774 (Umfahrung), Bougainville 1768	-14,650	-14,644	166,833	166,616	22,8	271,6
Adventure I.	Motungua, Tuamotu-Archipel	2. Reise Cook's Jul. 1773 (Passage)	-17,067	-17,104	-144,500	-144,370	14,7	107,7
Furieux's I.	Marutea	2. Reise Cook's Jul. 1773 (Passage)	-17,083	-17,031	-143,267	-143,161	13,5	64,1
Turtle I.	Waioa	2. Reise Cook's Jul. 1774 (Landversuch)	-19,800	-19,818	-178,033	-178,242	21,9	265,3
Poe. William's Is.	Susui Island	2. Reise Cook's Jul. 1774 (ca. 2,5 Grad-Distanz-Passage, vermutlich von Cook korrigiert), Tasman 1643	-17,317	-17,221	-179,233	-178,946	10,9	59,0
Resolution I.	Tauere, Te Pitua, Tuamotu-Archipel	2. Reise Cook's Jun. 1773 (Passage)	-19,017	-19,054	-169,617	-169,855	26,0	261,5
Savage Island	Niue	2. Reise Cook's Jun. 1774	-18,067	-18,060	-163,167	-163,154	2,3	35,5
Palmerston Island	Palmerston Insel	2. Reise Cook's Jun. 1774	-16,767	-16,811	-154,133	-153,952	19,7	105,1
Hew Island	Mauri	2. Reise Cook's Jun. 1774 (Passage)	-16,417	-16,445	-152,133	-152,258	13,6	256,6
Society Islands, Meurus	Bora Bora	2. Reise Cook's Jun. 1774 (Passage)	-16,450	-16,500	-151,833	-151,736	11,7	119,7
Society Islands, Bolabola	Anamooka	2. Reise Cook's Jun. 1774 (Passage)	-20,250	-20,313	-174,517	-174,526	7,0	183,6
Rotterdam I.	Raitea	2. Reise Cook's Jun. 1774 (Passage)	-16,758	-16,748	-151,992	-151,429	19,5	114,4
Society Islands, Ohamancno in Uiletea	Huahine Nui	2. Reise Cook's Mai 1774	-16,733	-16,745	-151,117	-151,007	13,3	108,9
Society Islands, Owhaire in Huahine	Osterinsel	2. Reise Cook's Mär. 1774, Roggewein 1721	-27,092	-27,121	-109,772	-109,367	41,4	94,2
Easter Island, or Davis's Land	Ata Island, Tonga	2. Reise Cook's Okt. 1773 (Umfahrung)	-22,433	-22,334	-175,963	-176,207	25,7	295,7
Pysant I.	Norfolk Island	2. Reise Cook's Okt. 1773	-29,042	-29,032	168,267	167,958	48,0	321,1
Norfolk Isle	Tongatapu Island, Tonga	2. Reise Cook's Okt. 1773	-21,183	-21,172	-175,000	-175,201	19,3	271,0
Amsterdam I.	Hervey Island, Manuae, Cook-Inseln	2. Reise Cook's Sep. 1773 (Passage)	-19,300	-19,270	-158,900	-158,942	5,6	308,5
Hervey's Island								
D. of York I.	Atafu	Byron 1765	-8,683	-8,558	-173,050	-172,486	183,3	274,1
Isles of Danger	Pukapuka, Cook Islands	Byron 1765	-10,850	-10,887	-166,717	-165,854	94,6	92,7
Isles of Disappointment	Napuka, Îles du Désappointement	Byron 1765	-14,172	-14,172	-141,100	-141,232	14,4	268,1
Byron I.	Nikunau, Gilbertinsel	Byron 1765	-1,300	-1,381	176,833	176,453	41,6	260,0
Egmont I.	Nendo, Santa-Cruz-Inseln	Carteret 1767	-11,000	-10,756	164,083	165,917	205,0	82,3
Gloucester Isles	Höhénétu, Îles du Duc de Gloucester	Carteret 1767	-20,600	-19,869	-146,133	-144,959	146,3	56,5
Oznaburg Island	Temalang, Tuamotu-Archipel	Carteret 1767	-22,000	-21,681	-141,567	-140,627	103,3	69,9
Wallis I.	Wallis und Futuna	Wallis 1767	-13,300	-13,291	-177,000	-176,200	86,5	90,0
Boscawen & Kuppel Is.	Tahiti, Niutoputapu	Wallis 1767	-15,883	-15,904	-175,217	-173,750	155,9	91,1
Solly Isles	Solly Island, Manuae, Cook-Inseln	Wallis 1767	-16,467	-16,542	-155,533	-154,683	91,6	95,2
Whitsunday I.	Piraki, Tuamotu-Archipel	Wallis 1767	-19,433	-19,395	-137,933	-138,675	77,9	272,9
O. Charlott's I.	Nukutavake	Wallis 1767	-19,300	-19,281	-138,067	-138,784	75,1	270,4
Egmont I.	Varatea, Tuamotu-Archipel	Wallis 1767	-19,333	-19,347	-138,500	-139,225	75,7	269,7
Gloucester Island	Paraoa	Wallis 1767	-19,183	-19,142	-140,100	-140,678	62,1	272,9
Cumberland Island	Marangi	Wallis 1767	-19,300	-19,201	-140,567	-141,245	22,2	324,9
Poe. Wilm. Henry's Island	Nengonengo, Tuamotu-Archipel	Wallis 1767	-19,000	-19,152	-141,100	-141,809	79,0	290,4
Forom Hope I.	Aofu, Horn-Inseln	Bougainville 1768	-14,300	-14,340	-176,700	-178,015	144,7	266,2
Navigator's Is.	Tau	Bougainville 1768	-14,100	-14,233	-169,417	-169,464	15,4	196,4
Masafuero	Isla Más Aluera, Alexander-Selkirk-Insel	de Surville 1769, Carteret 1767, Byron 1765	-33,750	-33,760	-80,367	-80,790	39,1	267,0
Juan Fernando	Robinson-Crusoe-Insel	de Surville 1769, Carteret 1767, Le Maire und Scouter 1616	-33,750	-33,646	-77,367	-76,845	137,3	274,6

Tab. 2 | Genauigkeit der geographischen Längengradkoordinaten der Seefahrer des 18. Jahrhunderts. Entnahme der Koordinaten aus den angegebenen Ortsangaben der Listen in Cooks Seekarte (Abb. 7)

■ Die dritte Gruppe der 30 Werte von J. Cooks zweiter Weltreise (Bestimmung von 1772–1775) ist u. a. durch reine Chronometermessung zustande gekommen und weist jetzt nur noch eine mittlere Entfernungsdifferenz von rund 17 km auf, wobei hier bereits 10 Werte eine Positionsgenauigkeit von unter 6 Seemeilen haben (im Mittel sind es 6,1 km). Die Standardabweichung SD beträgt bei 24 Werten (ohne die fünf schlechtesten Werte $\geq 30,0$ km) lediglich 5,8 Seemeilen.

Der Wert von Pitcairns Islands Group ist wegen der 0,5°-Passage und auf Grund eines groben 3°- λ -Fehlers nach Krusenstern als Ausreißer einzustufen und ist deshalb in keine Auswertung einbezogen worden /Krusenstern 1819/.

7 FAZIT

Die hohe Genauigkeit der Längengradbestimmung mittels Harrisons „Timekeeper“ in Cooks Seekarten ist bis zum Ende des 18. Jahrhunderts als Sensation zu bezeichnen, weil sie z. T. unter extremen Bedingungen, wie z. B. unruhiger See, d. h. kein fester Standpunkt, schlechten Sichtverhältnissen, Kimmtiefe, Refraktionseinflüssen und sonstigen Mess- und Instrumentenfehlern erreicht wurde.

Ab 1772 machten die Sextanten (z. B. von P. und J. Dolland u. a.) mit einer Ablesegenauigkeit von $\pm 1'$ für die Sonnen- bzw. Gestirnspeilung und vor allem das erste mechanische Taschenchronometer H4 bzw. K1 als Weltneuheit mit einer erstaunlichen Ganggenauigkeit von 0,1 Sekunden/Tag diese geringen Längenabweichungen möglich.

Die aus den Beobachtungsfehlern a priori berechnete Standardabweichung für λ a posteriori nach dem Varianzfortpflanzungsgesetz solcher Zeit- und Peilungsmessungen, die vorzugsweise bei Ankerung in ruhiger See sowie in Inselnähe mehrfach durchgeführt sein mussten, liegt bei $s = 1'$, was in einer mittleren Breite $\varphi = -30^\circ$ des befahrenen Gebietes einer Entfernung von lediglich nur einer Seemeile entspricht. Der hohe Genauigkeitsbereich dieser Beobachtungs- und Bestimmungsgrößen bestätigt die Güte und Qualität der in der vorletzten Spalte der Tab. 2 ermittelten Entfernungsdifferenzen der λ -Werte. Die hierbei für den Vergleich herangezogenen geographischen Koordinaten entsprechender Orte in Google-Earth müssen nicht immer als wahre identische Punkte der Positionen aufzufassen sein, an denen J. Cook tatsächlich seine Ortsbestimmungen durchgeführt hatte, weil in rund 240 Jahren in der Südsee orohydrographisch und topographisch vieles passiert sein kann. Diese naturbedingten Lageveränderungen dürften aber größtenteils unter 500 m liegen.

63 Jahre nach der Deklaration des „Longitude Act“ war es schließlich dem Pionier J. Cook gelungen, dank seiner außerordentlich großen Navigationsfähigkeiten und mithilfe einer neuen Messmethode eine wesentliche genauere Längengradbestimmung als bisher durchzuführen.

Es konnte mit der vorliegenden kartometrischen Untersuchung nachgewiesen werden, dass die erstaunlich geringen Lageabweichungen von max. 6 Seemeilen und darunter in einem fehlertheoretisch plausiblen Genauigkeitsbereich liegen. Die erstmalig angewandte Chronometermethode mit dem von J. Harrison entwickelten „Timekeeper“ H4 und mit den technisch verbesserten Sextanten machte diesen wissenschaftlichen Durchbruch möglich.

J. Harrison wurde schließlich ein Großteil des Preisgeldes des „Longitude Act“ von 1714 dank der Unterstützung von König Georg III. als Belohnung für die herausragenden wissenschaftlichen Leistungen zur Lösung des Längengradproblems ausgezahlt. Aber auch T. Mayers Witwe

wurden 3000 £ ausgehändigt. Jesse Ramsden erhielt 615 £, Leonard Euler 300 £ (für die mathematischen Arbeiten zur Seenavigation) und J. Cooks Witwe bekam eine stattliche Pension von 200 £ jährlich.

Die späte Anerkennung für J. Harrisons H4-Entwicklung, der die Bedingungen des „Longitude Act“ vielfach um die Hälfte der kleinsten geforderten Abweichung von einem halben Grad (entspricht ca. 17 km bei $\varphi = 20^\circ$) unterschritten hatte, ist begründet in der Tatsache, dass er als gelernter Tischler – er war also ein Mann der lower class – zusammen mit seinen wenigen Förderern lange gegen einige politische Strömungen der Admiralität, der „Board of Longitude“ (Kommission) und des Britischen Parlaments ankämpfen musste und dabei so manche Erniedrigung erlitten hatte.

LITERATUR

Atlantica (2008): Die Welt der Karten. Historische und moderne Kartographie im Dialog. Bertelsmann, Gütersloh.

Ausstellungskatalog (2009): J. Cook und die Entdeckung der Südsee. Mit Beiträgen verschiedener Verfasser. Hirmer, München.

Betts, J. (2009): Harrison – Eine Uhr zur Bestimmung des Längengrads. Delius Klasing, Bielefeld.

Cook, J. (2005): Entdeckungsfahrten im Pazifik. Die Logbücher der Reisen 1768–1779. Edition Erdmann, Lenningen.

Forster, G. (1988): Entdeckungsreise nach Tahiti und in die Südsee 1772–1775. Edition Erdmann, K. Thienemanns, Stuttgart.

Hamel, J. (2012): Tobias Mayer und die Astronomie. Begleitband zur Ausstellung: Tobias Mayer 1723–1762, Mathematiker, Kartograph und Astronom der Aufklärungszeit. Kooperation mit der Württembergischen Landesbibliothek Stuttgart. Schriftenreihe des Tobias-Mayer-Vereins e. V. Marbach, 35, Hrsg. Armin Hüttermann, Marbach.

Graff, K. (1944): Grundriß der geographischen Ortsbestimmung aus astronomischen Beobachtungen. 3. Auflage. Walter de Gruyter, Berlin.

Lüning, F. (2010): Längengrad. Kritische Betrachtung eines Bestsellers. Beiträge zur Astronomiegeschichte, 10 (Acta Historica Astronomiae, 37). Wiss. Harri Deutsch, Frankfurt a. M.

Krusenstern, Baron von A. J. (1819): Beiträge zur Hydrographie der grössern Ozeane als Erläuterungen zu einer Charte des ganzen Erdkreises nach Mercators Projektion. P. G. Kummer, Leipzig.

Langer, N. (2009): Orts- und Zeitmessung: von J. Cook bis heute. Vortrag im Forum der Bundeskunsthalle Bonn im Nov. 2009 in Kooperation mit der Alexander von Humboldt-Stiftung.

Schneider, U. (2006): Die Macht der Karten. Eine Geschichte der Kartographie vom Mittelalter bis heute. Primus, Darmstadt.

Schüring, J. et al. (2009): J. Cook und die Entdeckung der Südsee. Sonderheft zur Ausstellung in der Bundeskunsthalle der Bundesrepublik Deutschland vom 28.8.2009 bis 28.2.2010 in Bonn. epoc, Spectrum der Wissenschaft.

Sobel, D.; Andrewes, W. J. H. (1999): Längengrad. Die illustrierte Ausgabe. Die wahre Geschichte eines einsamen Genies, welches das größte wissenschaftliche Problem seiner Zeit löste. Berlin Verlag, Berlin.

Wikipedia (2014): James Cook. http://de.wikipedia.org/wiki/James_Cook.

Prof. Dr.-Ing. i. R. Arno Berger

Königstr. 93 | 53115 Bonn
arno.berger@netcologne.de

