

# Die Vermessung des Mittelmeeres im Mittelalter – der »Compasso de Navegare« als Datenbasis zur Ableitung von Portolankarten

## Surveying of the Mediterranean in the Middle Ages – the »Compasso de Navegare« as a Database for Deriving Portolan Maps

Peter Mesenburg

### Zusammenfassung

Nach heutigem Kenntnisstand werden Portolankarten etwa seit dem Ende des 13. Jahrhunderts n. Chr. für einen Zeitraum von rund 400 Jahren überliefert. Sie sind die wohl bemerkenswertesten Produkte der spätmittelalterlichen Kartographie und beschreiben augenscheinlich mit hoher Präzision vorwiegend die Häfen und die Küstenlinien des Mittelmeerraumes. Die Genauigkeit der Darstellung zeugt davon, dass diese Karten offensichtlich auch zum praktischen Gebrauch als Seekarten entworfen wurden, und sie lässt vermuten, dass die Portolankarten – wie moderne Karten – auf der Grundlage vermessungstechnischer Aufnahmen entstanden sind.

Als Datenquelle zur Ableitung der Karten kommen dabei möglicherweise Portolan- bzw. Seehandbücher in Betracht. Eine erste zusammenhängende Beschreibung der Seewege im Mittelmeer enthält der »Compasso de Navegare« aus dem Jahr 1296. Im Rahmen dieses Beitrags sollen Struktur und Genauigkeit der überlieferten Daten untersucht werden und auch Möglichkeiten zu ihrer grafischen Umsetzung mit dem Ziel, möglichst realitätsnahe Seekarten abzuleiten. Dabei erfolgt die Verebnung formal in Analogie zu traditionellen Verfahren der Landesvermessung. Durch Kartierung mittels Zirkelschlag (Mesenburg 2021) wird zunächst ein Festpunktfeld konstruiert, in das anschließend einzelne Küstenbereiche in Form von Vektorzügen eingepasst werden. Es zeigt sich, dass die gewählte Methode mit hoher Wahrscheinlichkeit auch bei der ursprünglichen Herstellung der Portolankarten angewendet wurde.

**Schlüsselwörter:** Vermessung, Mittelmeer, Mittelalter, Festpunktnetz, kartographische Abbildung, Seekarten, Portolankarten, Genauigkeitsanalyse, Kartierung per Zirkelschlag, Kreisschnittmethode, Compasso de Navegare

### Summary

According to current knowledge, portolan charts have been handed down since around the end of the 13th century AD for a period of around 400 years. They are probably the most remarkable products of late medieval cartography and apparently describe the harbours and coastlines of the Mediterranean region with great precision. The accuracy of the depiction shows that these maps were obviously also designed for practical

use as nautical charts and suggests that the portolan charts – like modern maps – were created on the basis of surveying surveys.

The data source for the derivation of the maps may have been portolan or sea manuals. The »Compasso de Navegare« from 1296 contains the first coherent description of the sea routes in the Mediterranean. This article will examine the structure and accuracy of the surviving data as well as possibilities for their graphic realisation with the aim of deriving nautical charts that are as close to reality as possible. The mapping is done formally in analogy to traditional methods of land surveying. By mapping using a compass stroke (Mesenburg 2021), a fixed point field is first constructed, into which individual coastal areas are then fitted in the form of vector lines. It turns out that the chosen method was most likely also used in the original production of the portolan charts.

**Keywords:** Surveying, Mediterranean, Middle Ages, fixed point network, cartographic mapping, nautical charts, portolan charts, accuracy analysis, mapping by compass, circular section method, Compasso de Navegare

### 1 Einleitung

Die Darstellung der Erdoberfläche in Karten erfolgt seit jeher mit dem Ziel, den Lebensraum der Menschen überschaubar zu machen. Aus Gründen der Zweckmäßigkeit werden dabei meist ebene Grundrissbilder der realen Umwelt entworfen, die in maßstäblich verkleinerter Form Lagebezüge der unmittelbaren Umgebung verdeutlichen. Gleichzeitig vermitteln sie aber auch Erkenntnisse über die Struktur größerer Gebiete. In diesem Sinne sind Karten Modelle der realen Umwelt. Sie sind mehr oder weniger gute Annäherungen an die Wirklichkeit, wobei ihr Inhalt geometrisch gebunden ist. Das setzt voraus, dass der eigentlichen Kartierung immer eine vermessungstechnische Aufnahme des Karteninhaltes vorausgehen muss. Dies gilt in besonderer Weise auch für Portolankarten, die im Gegensatz zu anderen bekannten Karten des Mittelalters mit offensichtlicher und erstaunlicher Genauigkeit die Küstenlinien der Mittelmeerregion beschreiben.

Nachdem gezeigt werden konnte (Mesenburg 2021), dass auch größere Gebiete der Erdoberfläche durch ein sehr einfaches Verfahren (Kartierung mittels Zirkelschlag/Kreisschnittmethode) ausschließlich auf der Grundlage von Streckenmessungen mit relativ hoher Genauigkeit kartiert werden können, soll im Rahmen dieses Beitrages nachgewiesen werden, dass dies auch bereits mit entsprechenden Daten aus der Zeit der Entstehung der Portolan-karten möglich war.

Im Mittelpunkt der Untersuchung steht dabei die geodätisch-kartographische Auswertung des »Compasso de Navigare«, eines Segelhandbuches aus der Mitte des 13. Jahrhunderts. Von diesem ist eine Abschrift aus dem Jahr 1296 erhalten, die in der Staatsbibliothek zu Berlin aufbewahrt wird<sup>1</sup>.

## 2 Der »Compasso de Navigare« als Datenquelle

Der »Compasso de Navigare« ist ein Segelhandbuch, das etwa in den Jahren 1250 bis 1260 verfasst wurde. Erhalten ist eine Abschrift aus dem Jahr 1296 (Abb. 1), die in der Staatsbibliothek zu Berlin aufbewahrt wird (MS Hamilton 396). Sie besteht aus 107 beidseitig beschriebenen Pergamentfolien im Format 21 cm × 14 cm und enthält in gotischer Kleinschrift etwa 1300 ortsbeschreibende Angaben zur geometrischen Lage von Küstenpunkten der Mittelmeerregion. Eine erste Transkription und Bearbeitung des Textes erfolgte durch B. R. Motzo in italienischer Sprache (Motzo 1947). Im Jahr 1996 hat Christian Weitemeyer (Weitemeyer 1996) den »Compasso de Navigare« ins Deutsche übersetzt und veröffentlicht. Eine weitere Veröffentlichung in italienischer Sprache folgte durch Alessandra Debanne (Debanne 2011). Die Daten der nachfolgenden Untersuchung wurden im Wesentlichen der deutschen Übersetzung des Compasso von Christian Weitemeyer entnommen, der als erfahrener Segler in seiner Übersetzung die im »Compasso de Navigare« enthaltenen Richtungsangaben in heute gebräuchliche Werte transferiert hat.

So lautet zum Beispiel die Übersetzung des Textabschnittes in Abb. 1 nach Christian Weitemeyer: »**Hochseekurse von Capo de Pali** (Cap Palos): Von Capo de Pali nach Gibaramel (Cap Bougaroni) 450 Meilen nach 0 + 1/16 NO (87°). Vom genannten Cap nach Xafone (Azefoun) – 300 Meilen nach 0 + 1/16 SO (93°), und ihr werdet euch nach etwa 10 Meilen auf hohem Meer befinden. Vom genannten Capo de Pali nach Gizera (Algier) 260 Meilen nach OSO.«

Von den im Compasso enthaltenen ortsbeschreibenden Angaben beziehen sich etwa 300 Datensätze auf Verbindungen, die über das offene Meer führen (Hochseestrecken = pelei). Als Grundlage für die Kartierung des gesamten Mittelmeerraumes sind sie von besonderer Bedeutung. Darüber hinaus enthält das Buch etwa 1000 Angaben zum Verlauf der Küsten- und Inseldarstellung. Die Küstenbeschreibung erfolgt im Uhrzeigersinn, wobei jeweils die re-

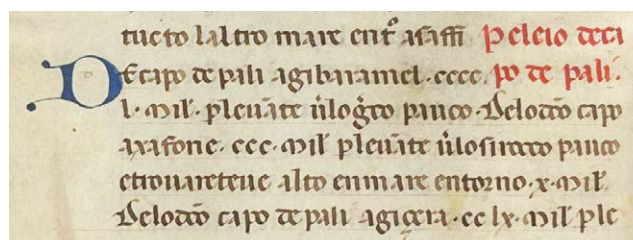


Abb. 1: »Compasso de Navigare« (Ausschnitt Seite 62v)

(Grundlage Compasso de Navigare, Codex Hamilton 396, Staatsbibliothek zu Berlin)

lative Lage benachbarter Punkte definiert wird. Sie beginnt mit dem Cap San Vincenzo (Portugal) und endet in Saffi (Marokko).

Die geometrische Beziehung zwischen den aufgenommenen Punkten wird durch Kurse beschrieben, d. h. durch die Angabe der Distanz und durch die jeweilige Richtung benachbarter Punkte. Dies sind in der Regel Häfen, aber auch besondere Landmarken wie z. B. Kaps, Inseln, Flussmündungen oder Ähnliches. Als Maß der Entfernung wird im Compasso nach Weitemeyer die (»kleine italienische«) Meile verwendet (1 ml = 1,23 km), der Richtungsangabe liegen acht Hauptwinde zugrunde (Nord = Transmontana). Die Halbierung der Hauptwindrichtungen führt zu 16 Richtungsangaben, die jeweils um 22,5° differieren. In grafischer Darstellung entsprechen sie einem Rumbensystem<sup>2</sup>, dem besonderen Merkmal von Portolan-karten. Die Richtungs-differenzen von 22,5° werden wiederum jeweils in acht Teile unterteilt, sodass sich für den Vollkreis von 360° insgesamt 128 verschiedene Richtungsangaben mit einer Auflösung von 2,8° ergeben.

Wie die Erfahrung lehrt, ist allen Messungsergebnissen eine gewisse Unsicherheit zuzuschreiben. Dies bedeutet, dass alle Messwerte mit Fehlern behaftet sind, wobei es üblich ist, zwischen groben Fehlern (z. B. durch Abschreiben) und systematischen bzw. zufälligen Abweichungen zu unterscheiden. Um einen Überblick über die Genauigkeit der im Compasso überlieferten Messwerte zu erhalten, wurden zunächst über einen Vergleich mit aktuellen Werten (Entfernung, geografisch Nord) für ausgewählte Strecken und Richtungen Standardabweichungen (MAD) berechnet. Dabei ergaben sich folgende Werte:

### Hochseestrecken:

Anzahl der Strecken:	296 (280)
Summe aller Strecken:	98.081 km
größte Strecke:	1038 km
mittlere Strecke:	331,4 km
Standardabweichung (Strecken):	$S_S = \pm 36$ km
Standardabweichung (Richtungen)	$S_R = \pm 10^\circ$

1 [https://digital.staatsbibliothek-berlin.de/werkansicht?PPN=PPN167210646X&PHYSID=PHYS\\_0001](https://digital.staatsbibliothek-berlin.de/werkansicht?PPN=PPN167210646X&PHYSID=PHYS_0001)

2 Für die Liniennetze der Portolan-karten ist in der einschlägigen Literatur auch der Begriff Rumb bzw. Rumbensystem gebräuchlich. Obwohl mit dem englischen Begriff »rumb line« eine Loxodrome bezeichnet wird, wurde er auch als Bezeichnung für das Liniensystem der Portolan-karten beibehalten.



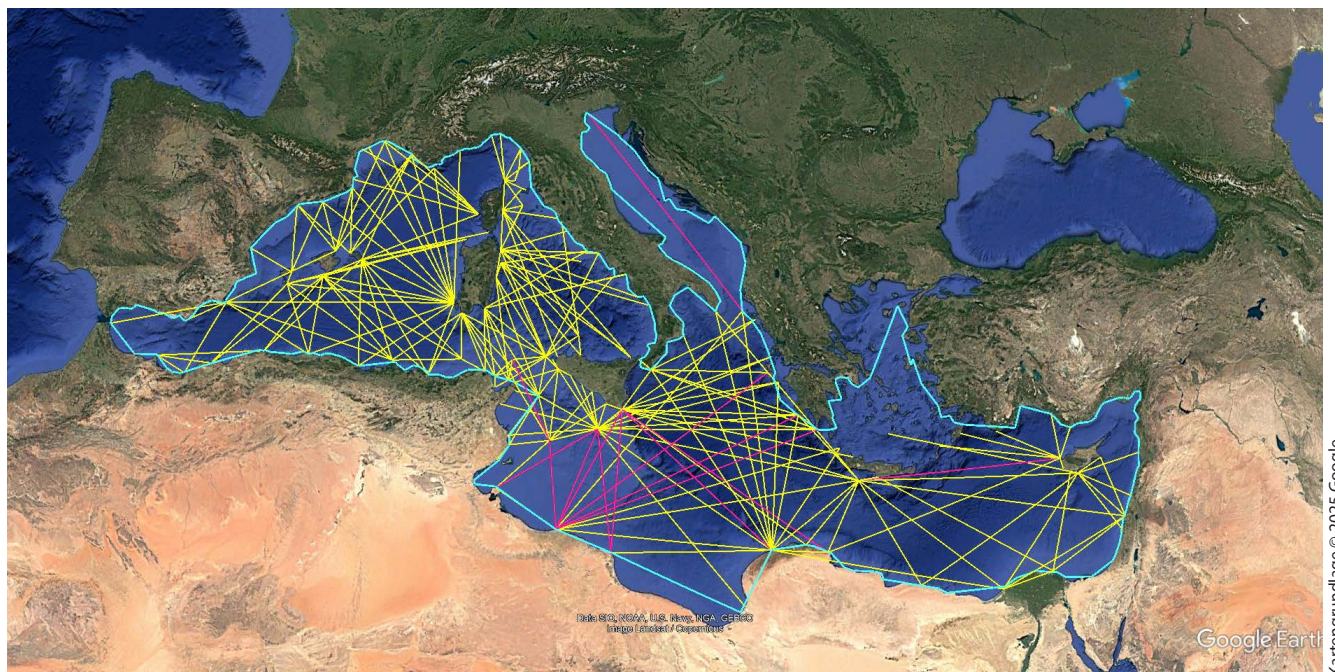


Abb. 2: Übersicht über die ausgewerteten Kurse des »Compasso de Navegare«. Die Hochseestrecken werden in Gelb und Violett dargestellt. Die im Uhrzeigersinn definierten Strecken der Küstenbeschreibung sind blau dargestellt.

#### Küstenstrecken:

Anzahl der Strecken:	343
Summe aller Strecken:	13.012 km
größte Strecke:	484 km
mittlere Strecke:	38,9 km
Standardabweichung (Strecken):	$S_S = \pm 7 \text{ km}$
Standardabweichung (Richtungen)	$S_R = \pm 22^\circ$

Der »Compasso de Navegare« zählt wohl mit zu den ältesten heute bekannten Zahlenprotokollen der vermessungstechnischen Aufnahmen des Mittelmeeres. Die Auswertung der Beobachtungen ergibt unter anderem konkrete Hinweise auf die Genauigkeit der seinerzeit praktizierten Strecken- und Richtungsmessungen. Dabei fällt auf, dass die Ermittlung der Küstenstrecken wesentlich genauer erfolgte als die der Hochseestrecken. Das mag daran liegen, dass die kürzeren Küstenstrecken auch in den vergangenen Zeiten wohl wesentlich häufiger befahren wurden und somit zur Bestimmung und zur Niederschrift einer endgültigen Entfernung mehr Vergleichsstrecken aus unterschiedlichen Quellen zur Verfügung standen. Insgesamt 16 Hochseestrecken, deren Abweichungen vom heutigen Sollwert größer sind als das Dreifache der Standardabweichung (108 km, siehe Abb. 2), wurden als grob fehlerhaft eingestuft und bei der weiteren Auswertung der Daten nicht berücksichtigt.

Wesentlich unsicherer als die Streckenmessungen erfolgte die Bestimmung der Richtungen. Sie deutet darauf hin, dass zum Zeitpunkt der Aufnahme offensichtlich noch keine einschlägigen Instrumente (Kompass) zur Verfügung standen. Die Richtungen konnten seinerzeit vorwiegend anhand des Sonnenstandes bzw. des Sternhimmels nur relativ grob geschätzt werden. Hinzu kommt, dass in der Regel eine direkte Sichtverbindung zwischen Stand-

punkt und Zielpunkt auch bei den Küstenstrecken nicht vorhanden war, sodass die im Compasso notierten Richtungen nur als Mittelwert unterschiedlicher Beobachtungen anzusehen sind.

Wenn es also darum geht, ausgedehnte Gebiete der Erdoberfläche zu kartieren, dann scheinen Streckenmessungen am ehesten geeignet, eine hinreichend genaue Karte zu erstellen. Eine Übersicht über die der weiteren Auswertung zugrunde liegenden Strecken enthält Abb. 2. In ihr sind die Hochseestrecken gelb und die Küstenstrecken blau dargestellt. Die violett dargestellten Hochseestrecken wurden als grob fehlerhaft eingestuft. Es fällt auf, dass die Stadt Tripolis von fehlerhaften Streckenbeobachtungen besonders stark betroffen ist.

### 3 Auswertung der Hochseestrecken

Aus heutiger Sicht scheinen die überlieferten Messungsergebnisse nur in sehr beschränktem Maße zu einer hinreichend genauen Beschreibung der Erdoberfläche geeignet zu sein und es stellt sich die Frage, ob sie zur Ableitung einer Karte überhaupt geeignet sind. Insbesondere die Hochseekurse (Strecken und Richtungen) vermitteln nicht den Eindruck, als seien sie zur systematischen Kartierung der Mittelmeerregion beobachtet worden (siehe Abb. 3). Sie beschreiben eher die seit alters befahrenen Schifffahrtswege. Dennoch eröffnet erst die besondere Berücksichtigung der Hochseestrecken einen neuen Weg, aus den Daten des Compasso eine plausible Karte zu generieren.

In einer Voruntersuchung zur möglichen Kartierung des Mittelmeergebietes konnte gezeigt werden (Mesenburg 2021), dass es durchaus möglich ist, bei Vorgabe langer

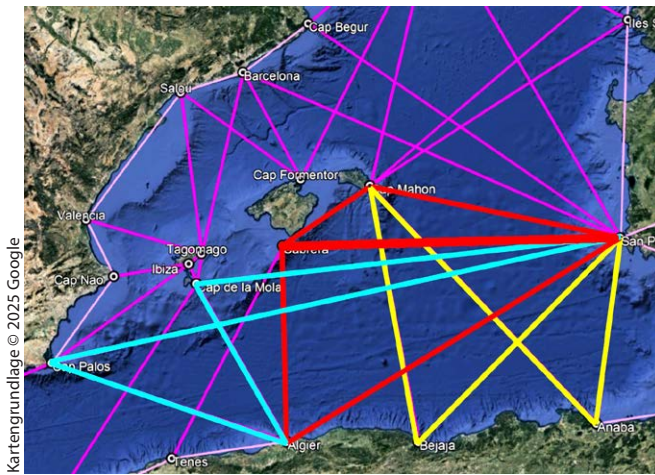


Abb. 3: Prinzip der grafischen Konstruktion eines Dreiecksnetzes mittels Zirkelschlag im westlichen Mittelmeer (Kreisschnittmethode/Zirkelschlag) – Basis: San Pietro/Cabrera – Konstruktion Algier und Cap Mahon in Rot – weitere Punktkonstruktionen in Gelb und Blau)

Strecken mit Hilfe der Kreisschnittmethode (Zirkelschlag) relativ exakte Kartenstützpunkte manuell zu konstruieren ( $S \sim \pm 12$  km). Durch die geometrische Verknüpfung aus gewählter Strecken zu Dreiecken bleiben die Nachbarschaftsbeziehungen der angemessenen Punkte weitgehend erhalten. Insofern ist zu vermuten, dass auch die gegenseitigen Lagebeziehungen der auf der gekrümmten Erdoberfläche ermittelten Messwerte in einer ebenen Abbildungsfläche in verkleinertem Maßstab näherungsweise erhalten bleiben. Wie in der Voruntersuchung wird daher auch in dieser Untersuchung in einem ersten Schritt die gesamte Region auf der Grundlage der überlieferten Hochseestrecken in Dreiecke zerlegt. Die Eckpunkte der Dreiecke bilden dann ein Stütz- bzw. Festpunktfeld für die nachfolgende Verdichtung der Küstendarstellung.

## 4 Konstruktion des Festpunktfeldes

Die konkrete Konstruktion führt aufgrund der Datenvorgabe zu einer zunächst etwas unübersichtlichen Punktverteilung der Dreieckspunkte (siehe Abb. 3 und Abb. 5, linke Seite). Es ist dies ein **Stützpunktfeld**, das sich aber ohne Weiteres durch entsprechende Punktauswahl in ein übersichtliches Dreiecksnetz überführen lässt (siehe Abb. 4 und Abb. 6, linke Seite). Die Küstenpunkte dieses Netzes werden anschließend als Passpunkte zur Kartierung der Küstenstruktur verwendet.

Ausgangspunkt der grafischen Konstruktion eines Dreiecksnetzes mittels Zirkelschlag ist die Festlegung einer Basis. Hierfür kommen prinzipiell alle Hochseestrecken in Frage, wobei allerdings wegen der unvermeidbaren manuellen Zeichengenauigkeit längeren Strecken der Vorzug gegeben werden sollte. Im konkreten Beispiel wurde als Basis die Strecke zwischen San Pietro (Insel südwestlich von Sardinien) und Cabrera (Insel südlich von Mallorca) ausgewählt. Beide Inseln waren seinerzeit offensichtlich häufig angefahrene Hafenstützpunkte (Abb. 3). Die Entfernung zwischen beiden Häfen beträgt 461 km, der Richtungswinkel liegt bei  $272^\circ$ .

Auf der Grundlage dieser Basis können zwei weitere Punkte (und damit zwei Dreiecke – in Rot) durch direkte Kartierung der dem Compasso entnommenen Strecken kartiert werden. Zur Lagebestimmung der Dreiecke ist jeweils mindestens die Richtungsangabe einer Seite notwendig, die ebenfalls dem Compasso entnommen werden kann. Die neu bestimmten Punkte erlauben die grafische Konstruktion von weiteren Dreieckspunkten, die letztendlich den gesamten Mittelmeerraum abdecken (Abb. 5, linke Seite).

Die konkrete Umsetzung der geschilderten Vorgehensweise erfolgte durch manuelle Kartierung der Dreieckspunkte mit Zirkel, Lineal und Transversalmaßstab auf weißem Karton. Im Maßstab 1:6 Mio. wurden insgesamt 38 Punkte kartiert, die als Grundlage des geplanten grafischen Festpunktfeldes betrachtet werden können. Mit

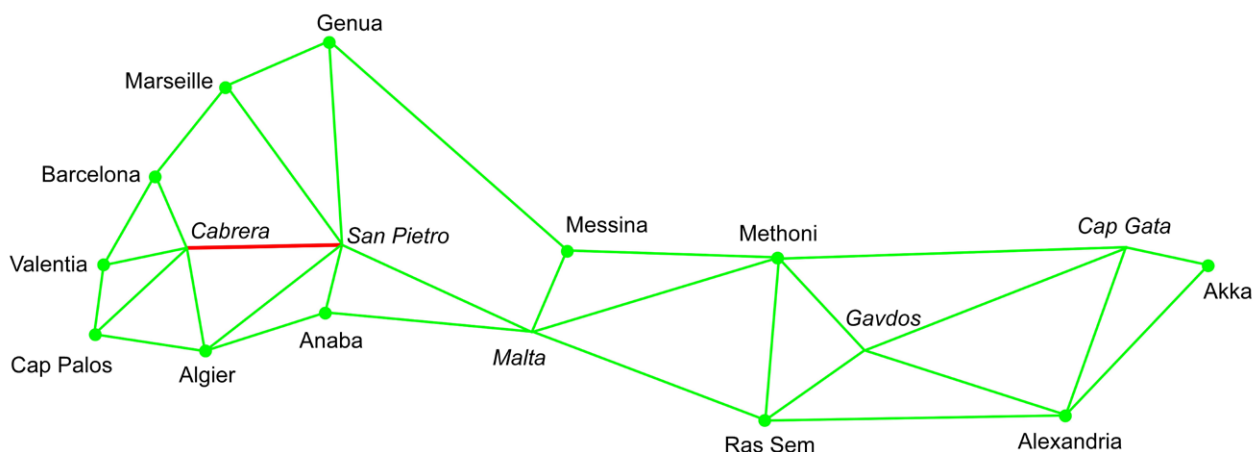


Abb. 4: Grafisches Festpunktfeld als Dreiecksnetz zur sektionsweisen grafischen Einpassung der Küstenaufnahme. Die Sektionsabschnitte sind durch Punkte gekennzeichnet. Die Basis des Dreiecksnetzes (San Pietro/Cabrera) ist rot dargestellt.



Blick auf die anschließende (möglichst verzerrungsfreie) Kartierung der generalisierten Küstenstrukturen wurde das Stützpunktfeld der 38 Punkte auf 12 Punkte reduziert. Damit wurde ein Festpunktfeld geschaffen, das in Form eines Dreiecksnetzes auch die Punkte enthält, die als Standpunkte des Vektorzuges die Rekonstruktion der Küstenstrukturen durch sektionsweise grafische Einpassung in das Festpunktfeld ermöglichen sollen (Abb. 4).

Die manuell erstellte Kartierung wurde anschließend gescannt und konnte damit als digitale Grundlage einer nachfolgenden Genauigkeitsuntersuchung dienen. Dabei besteht die Möglichkeit, die manuelle Kartierung sowohl mit einer aktuellen und auch mit einer historischen Kartendarstellung zu vergleichen.

## 5 Genauigkeitsanalyse mit MapAnalyst

Sofern von einem Gebiet aktuelle oder auch historische Karten gleichen Inhalts existieren, lässt sich die Genauigkeit von manuellen Kartierungen bzw. ihre Übereinstimmung mit einer historischen Vorlage relativ einfach mit dem Programm »MapAnalyst«<sup>3</sup> bestimmen. Es ist dies ein Programm, das von Bernhard Jenny und Adrian Weber entworfen und in den vergangenen Jahren von Bernhard Jenny weiterentwickelt wurde und das seit vielen Jahren als OpenSource-Software zu Verfügung steht. Für die Untersuchung der Genauigkeit des manuell konstruierten Punktfeldes wurde die Version 1.3.34 eingesetzt.

3 <http://mapanalyst.org/download.html>

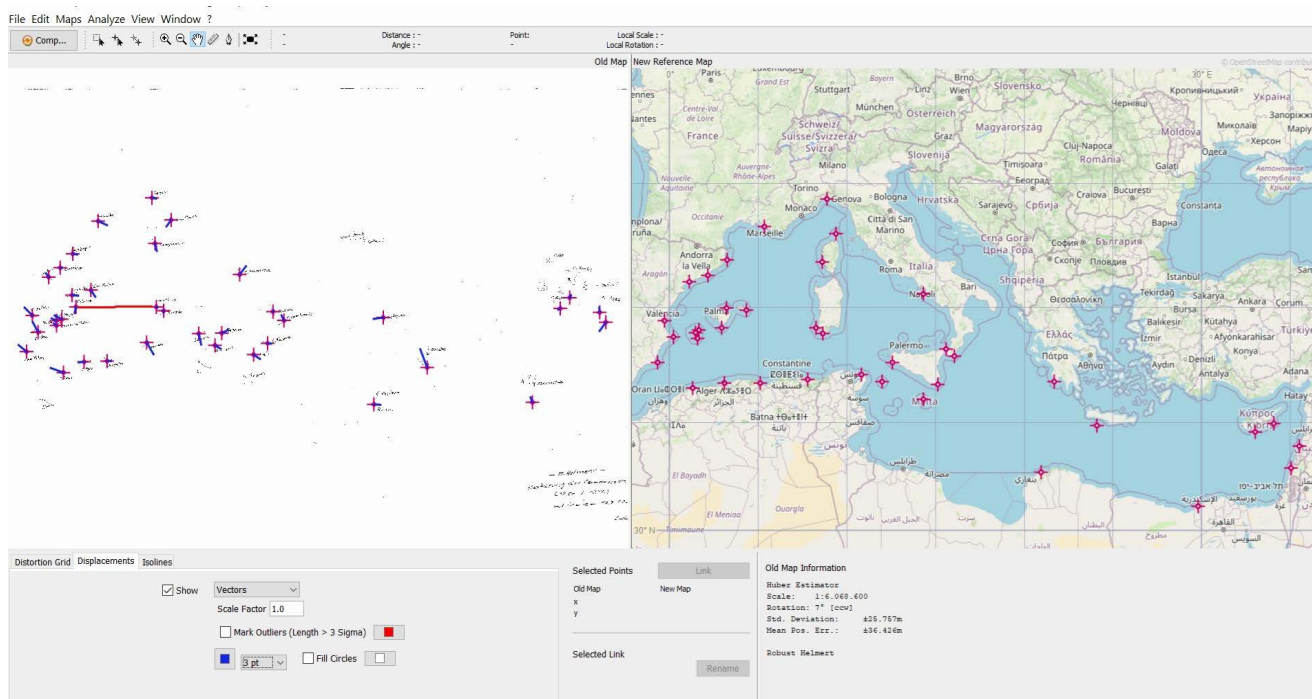


Abb. 5: Screenshot von »MapAnalyst« mit manueller Kartierung (Stützpunktfeld, 38 Punkte mit Fehlervektoren in Blau, Konstruktionsbasis in Rot) auf der linken Seite, OSM Karte auf der rechten Seite – ausgewählte Punktpaare erscheinen als Kreuzsignatur auf dem Bildschirm.

### 5.1 Vergleich des manuell kartierten Stützpunktfeldes mit der aktuellen Situation (OSM-Karte)

Die Kartenanalyse mit »MapAnalyst« beginnt mit dem Einlesen der gescannten Kartierung. Als Referenzkarte wird bei dem Genauigkeitsvergleich mit einer aktuellen Karte die OpenStreetMap (OSM), eine frei nutzbare Weltkarte automatisch angezeigt. Der Benutzer bestimmt sodann korrespondierende Punkte in den beiden auf dem Bildschirm angezeigten Karten und platziert dort Punktpaare (Abb. 5). Anschließend werden die Transformationsparameter für die geplante Genauigkeitsuntersuchung (hier: 4-Parameter-Transformation, robuste Schätzung nach Huber) gewählt. Die nachfolgende ausgleichende Koordinatentransformation ermöglicht die Ableitung des Maßstabes der Kartierung, der Standardabweichung der Dreieckspunkte, des Drehwinkels zwischen den verglichenen Koordinatensystemen und auch die Visualisierung der einzelnen Fehlervektoren.

Als Ergebnis der Untersuchung ergaben sich folgende Werte:

Maßstab: 1:6,1 Mio.

Standardabweichung:  $S = \pm 25,8 \text{ km}$

Drehwinkel:  $\alpha = -7,3^\circ$

Die Lage der kartierten Punkte und die Größe der Fehlervektoren ergeben sich aus Abb. 5.

Es wurde bereits erwähnt, dass unter anderem im Bereich der Stadt Tripolis vermehrt grob fehlerhafte Hochseestrecken ( $S > 108 \text{ km}$ ) überliefert sind, die bei der Konstruktion

tion des Festpunktfeldes nicht berücksichtigt wurden. Dies beeinträchtigt naturgemäß die grafisch konstruktive Verbindung der Festpunkte im westlichen und im östlichen Bereich des Mittelmeeres, die aufgrund der Datenlage nur eingeschränkt realisiert werden konnte.

Betrachtet man in diesem Zusammenhang auch die Genauigkeit bzw. die Ungenauigkeit der überlieferten Hochseestrecken ( $S_s = \pm 36$  km), so ist die erzielte Genauigkeit der manuellen Kartierung ( $S = \pm 25,8$  km), die ausschließlich mit Werten des Compasso realisiert wurde, verblüffend genau. Obwohl die überlieferten Einzelstrecken relativ ungenau sind, bleiben nach der geometrischen Verknüpfung der Strecken zu Dreiecksflächen die Nachbarschaftsbeziehungen der Dreieckspunkte offensichtlich weitgehend erhalten. Es zeigt sich, dass die vorgeschlagene Methode zur Konstruktion eines kartographischen Stützpunktfeldes selbst für einen relativ großen Teil der Erdoberfläche mit einer Ost-West-Ausdehnung von 3300 km und einer Nord-Süd-Ausdehnung von 1500 km durchaus geeignet zu sein scheint.

Die Lage der Basis der Dreieckskonstruktionen bestimmt – wie bereits 2021 nachgewiesen werden konnte – die Orientierung der manuell konstruierten Dreieckspunkte. Der hier ermittelte Drehwinkel von  $-7,3^\circ$  entspricht damit nicht der Orientierung der Basis ( $-2^\circ$ ), sondern repräsentiert die Lage des konstruierten Punktfeldes und entspricht damit in erster Näherung auch der Orientierung der Portolankarten, die nach bisherigen Untersuchungen meist etwa um  $10^\circ$  gegen den Uhrzeigersinn gedreht erscheinen.

## 5.2 Vergleich des grafischen Festpunktfeldes mit einer Portolankarte

Soll die Genauigkeit der manuellen Kartierung in Bezug auf eine historische Vorlage geprüft werden, so kann als Referenzkarte eine beliebige historische Karte (hier: Portolankarte des Petrus Roselli aus dem Jahr 1449) in das Programm MapAnalyst geladen werden (Abb. 6). Die weiteren Schritte erfolgen analog zur beschriebenen Genauigkeitsuntersuchung mit Bezug auf die aktuelle Situation (OSM-Karte).

Als Ergebnis der Genauigkeitsuntersuchung des manuell kartierten Festpunktfeldes mit Bezug auf den westlichen Teilbereich der Portolankarte des Petrus Roselli aus dem Jahr 1449 ergaben sich folgende Werte:

Maßstab: 1:5,2 Mio.  
Standardabweichung:  $S = \pm 18,7$  km  
Drehwinkel:  $\alpha = -1,7^\circ$

Als Bezugsmaßstab resultiert offensichtlich der Maßstab der Portolankarte des Petrus Roselli aus dem Jahr 1449 und der ermittelte Drehwinkel zeigt, dass das manuell kartierte Festpunktfeld nur um einen geringen Betrag von der Orientierung der Portolankarte abweicht. Die auch in diesem Fall erstaunlich geringe Standardabweichung des mit der Portolankarte verknüpften westlichen Teilbereichs des Festpunktfeldes von  $S = \pm 18,7$  km war Anlass zu weiteren Genauigkeitsanalysen mit dem Programm MapAnalyst, in die auch die Roselli-Karte einbezogen wurde. Eine Zusammenstellung aller Ergebnisse enthält Tab. 1.

Es wird ersichtlich, dass die Portolankarte des Petrus Roselli mit einer Standardabweichung von  $S = \pm 30,1$  km

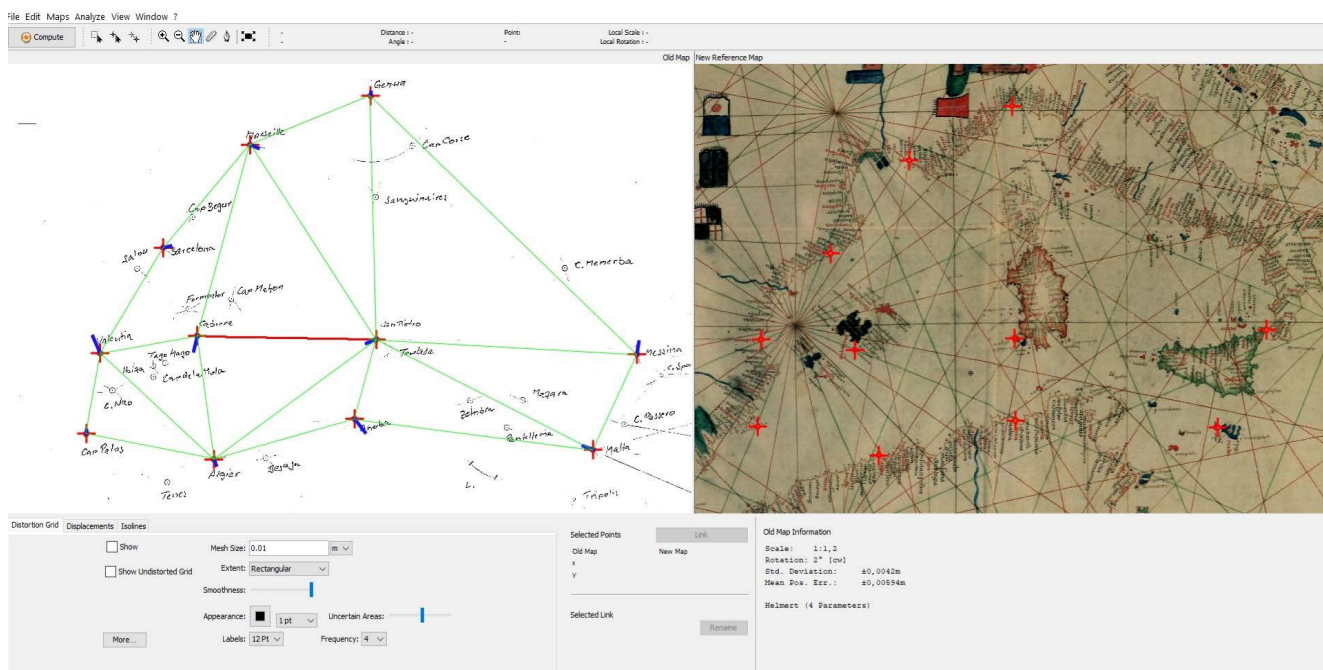


Abb. 6: Screenshot von »MapAnalyst« mit manueller Kartierung (Festpunktfeld als Dreiecksnetz), 11 Punkte mit Fehlervektoren in Blau, Basis San Pietro/Cabrera in Rot auf der linken Seite und westlicher Teilbereich der Portolankarte des Petrus Roselli, 1449 auf der rechten Seite – ausgewählte Punktpaare erscheinen als Kreuzsignatur auf dem Bildschirm.

Tab. 1: Übersicht über die Genauigkeitsuntersuchungen mit MapAnalyst (OSM = OpenStreetMap = aktuelle Situation)

Zu untersuchende Karte	Bezugskarte	Anzahl Punkte	Maßstab 1 : m	$\alpha$ [°]	S [km]	Bemerkung
Roselli 1449	OSM	78	1 : 5,1 Mio.	−9,4	30,1	–
Manuelle Kartierung Stützpunkte	OSM	38	1 : 6,1 Mio.	−7,3	25,8	Abb. 4
Manuelle Kartierung Festpunkte	OSM	16	1 : 6 Mio.	−8	27,1	–
Manuelle Kartierung Festpunkte (West)	Roselli 1449	11	1 : 5,2 Mio.	−1,7	18,7	Abb. 5

für damalige Karten erstaunlich genau ist. Wie alle anderen Portolankarten ist sie offensichtlich auf der Grundlage einer vermessungstechnischen Aufnahme entstanden und die hier beschriebene Auswertung der im »Compasso de Navegare« überlieferten Daten erlaubt nunmehr, auch den Weg zu ihrer Entstehung zu beschreiben.

Grundlage der weiteren Genauigkeitsuntersuchungen ist ein Stützpunktfeld von 38 Punkten ( $S = \pm 25,8$  km), das durch ein sehr einfaches Verfahren (Kartierung mittels Zirkelschlag) als ebene Abbildung der auf der gekrümmten Erdoberfläche ermittelten Hochseestrecken konstruiert werden konnte. Durch entsprechende Punktauswahl lässt sich dieses Stützpunktfeld in ein übersichtliches Dreiecksnetz überführen, dessen 16 Punkte anschließend als Festpunktfeld ( $S = \pm 27,1$  km) zur Kartierung der Küstenstruktur verwendet werden kann.

Vergleicht man das Festpunktfeld mit der Portolankarte ( $S = \pm 18,7$  km), dann wird deutlich, dass sich die aktuelle Orientierung des Festpunktfeldes ( $-7,3^\circ$ ) und die Orientierung des Festpunktfeldes zum westlichen Teil der Portolankarte ( $-1,7^\circ$ ) zur aktuellen Orientierung der Portolankarte ( $-9,4^\circ$ ) sehr gut ergänzen. Die geringere Standardabweichung zwischen dem westlichen Teil der Festpunktkartierung und der Portolankarte ( $S = \pm 18,7$  km) ist sowohl auf das kleinere Auswertungsgebiet und auch auf die Nichtberücksichtigung der schon erwähnten ein-

geschränkten Verbindung zwischen dem westlichen und dem östlichen Teil des Mittelmeeres zurückzuführen. Sie entspricht, übertragen auf die Fahrzeit eines Segelschiffes im Mittelalter bei regulären Verhältnissen (ca. 3,5 Kn/h) in etwa einer Fahrzeit von 3 Stunden.

## 6 Konstruktion der Küstenlinien

In gleicher Weise wie die Hochseedaten werden auch die Daten zur Küstendarstellung durch Kurse beschrieben. Eine Auswahl der überlieferten Werte beschreibt die geometrische Verbindung zwischen benachbarten Häfen (Ortsvektoren) und erlaubt eine erste, stark generalisierte Beschreibung der Mittelmeerküste. Die Verknüpfung dieser Punkte erfolgt über die Berechnung eines Vektorzuges, der im Rahmen dieser Untersuchung die räumliche Ausdehnung eines großen Teils des Mittelmeeres erfasst (siehe Abb. 2, blaue Linie). Durch insgesamt 344 Punkte wurde ein in sich zurücklaufender (geschlossener) Zug berechnet.

Die Abweichungen am Ende des Zuges betrugen in Nord-Süd-Richtung  $\Delta H = -193$  km und in Ost-West-Richtung  $\Delta R = -101$  km. Diese Abweichungen sind einerseits bedingt durch fehlerbehaftete Messwerte ( $S_S = \pm 7$  km,  $S_R = \pm 22^\circ$ ), andererseits ist aber auch eine verzerrungsfreie



Abb. 7: Kartierung der 344 Standpunkte des Vektorzuges. Die aus Hochseestrecken konstruierten Küstenfestpunkte (Sektionspunkte) wurden durch blaue Signaturen gekennzeichnet.





Abb. 8: Grafischer Vergleich der Auswertung des Vektorzuges der Küstenstruktur mit einer aktuellen Karte in Mercatorabbildung. Die aus Hochseestrecken konstruierten Festpunkte (Sektionspunkte) wurden durch blaue Punkte gekennzeichnet.

Verebnung der auf der Erdoberfläche ermittelten Daten nicht möglich, da sie theoretisch ohne Berücksichtigung der Erdkrümmung nicht zu einer geschlossenen Darstellung des Mittelmeeres führen kann. Eine grafische Darstellung der kartierten Punktfolge enthält Abb. 7. Die zuvor durch Auswertung der Hochseestrecken konstruierten Festpunkte wurden durch blaue Signaturen gekennzeichnet.

Die geradlinige Verbindung benachbarter Küstenpunkte beschreibt die Küstenstruktur des Mittelmeeres in wesentlichen Bereichen. Vergleicht man sie mit einer aktuellen Karte (Abb. 8), so zeigt sich, dass die Umrisse des Mittelmeeres insbesondere im östlichen Bereich der Darstellung sehr stark von den realen Gegebenheiten abweichen.

Bei näherer Betrachtung zeigt sich aber auch, dass einzelne Bereiche der Küstenstruktur durchaus gut mit der aktuellen Küstenlinie übereinstimmen. Insofern liegt es nahe, die Küstenstruktur der Vektoraufnahme in einzelne Segmente aufzuteilen. Diese sind auch als Teilstücke der Vektoraufnahme bezüglich ihrer geometrischen Lage unabhängig voneinander und lassen sich ohne Weiteres manuell mit Zirkel, Lineal und Maßstab kartieren.

Im konkreten Fall wurden jeweils die Teile der Küstenaufnahme gesondert kartiert, die die Küstenstruktur zwischen benachbarten Festpunkten (Sektionspunkte in Abb. 7 und Abb. 8) beschreiben. Nach der Kartierung wurden die Küstenteilstücke auf grafischem Wege in das bereits vorweg konstruierte und weitgehend spannungsfreie Festpunktfeld der Hochseekurse eingepasst.

Die so geschaffene Verbindung zwischen dem Festpunktnetz der Hochseekurse und der vektoriellen Beschreibung der Küstenstruktur führt zu einer weitgehend verzerrungsarmen Gesamtdarstellung des Mittelmeerraumes, die im Mittelalter durch Portolankarten dokumentiert wurde.

Vergleicht man das Festpunktnetz (grün) und die darauf eingepassten Küstenstrukturen (blau) mit der Küstendarstellung in der Portolankarte des Petrus Roselli aus dem Jahr 1449 (Abb. 9), so ergeben sich durchaus erstaunliche Übereinstimmungen, die darauf schließen lassen, dass das beschriebene Verfahren mit hoher Wahrscheinlichkeit der Entstehung aller Portolankarten zugrunde liegen dürfte.

Die in Blau dargestellten Küstenabschnitte beschreiben im Wesentlichen den Küstenverlauf in der Portolankarte und auch die relativen Ausdehnungsverhältnisse des Mittelmeeres werden realitätsnah wiedergegeben. Es fällt auf, dass ausgerechnet die Darstellung Italiens, einem Zentrum der Portolankartenherstellung, nicht besonders gelungen erscheint. Hier wird insbesondere die Ost-West-Ausdehnung des Stiefels wesentlich zu breit dargestellt, was vermutlich auf Fehler bzw. Ungenauigkeiten der Datengrundlage zurückzuführen ist.

Zur Qualität der Daten, die im Rahmen dieser Untersuchung ausschließlich dem »Compasso de Navigare« entnommen wurden, ist generell zu sagen, dass sie offensichtlich dem Stand der damaligen Möglichkeiten der Datengewinnung entsprechen. Der Datensatz enthält auch grobe Ungenauigkeiten und falsche Angaben, die möglicherweise darauf zurückzuführen sind, dass es sich bei der Datenquelle um eine Abschrift der Originaldaten handelt. Hinzu kommt, dass die zahlreichen angegebenen Kurse bei Weitem nicht ausreichen, um alle realisierten Details einer Portolankarte (hier der Karte des Petrus Roselli) wiederzugeben. Das bedeutet, dass zum Entwurf und zur Gestaltung einer Portolankarte weitere Daten und ggf. auch Skizzen erforderlich sind. Diese sind im Compasso aber nicht enthalten.



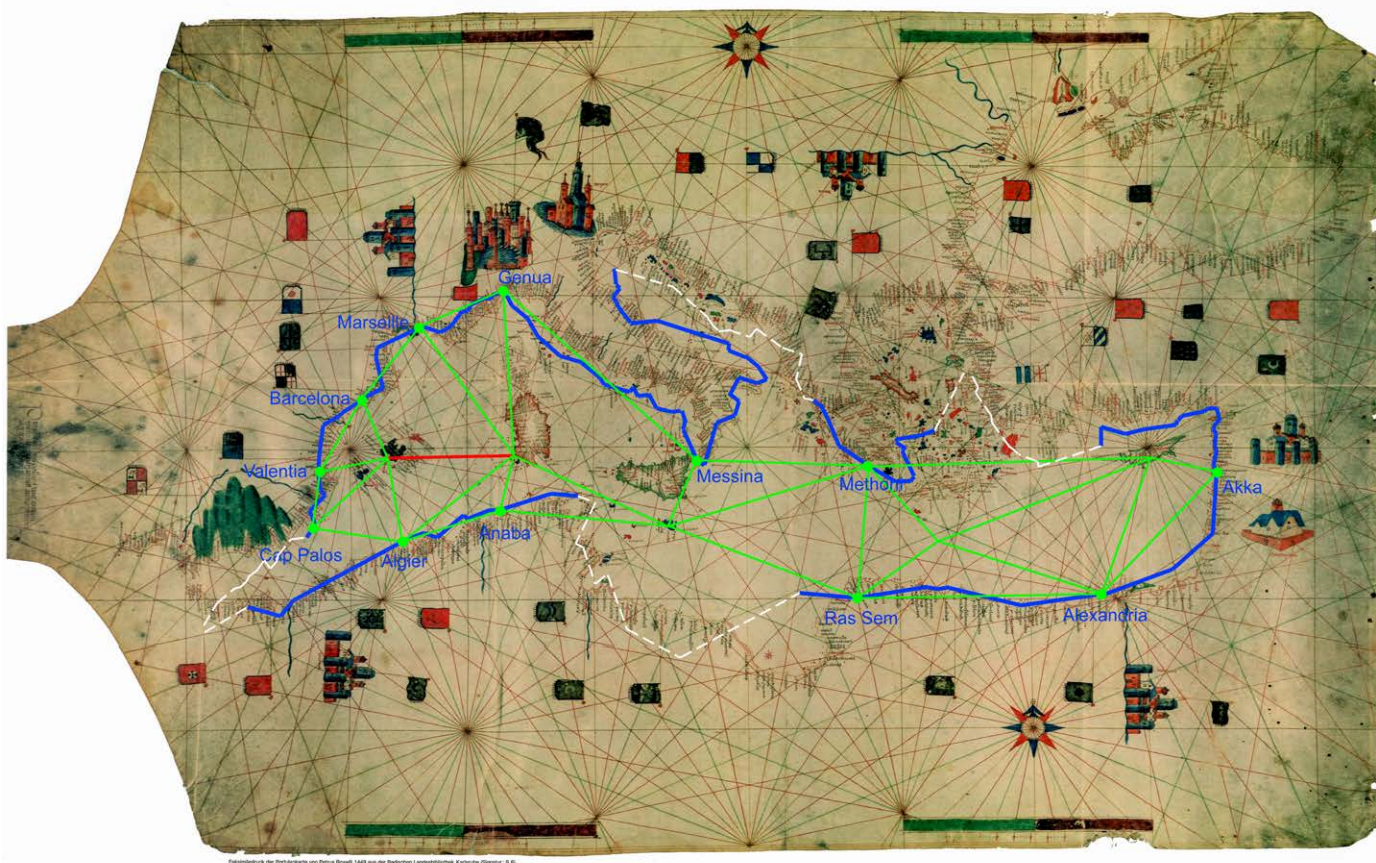


Abb. 9: Portolankarte des Petrus Roselli (1449) mit Festpunktnetz aus Hochseestrecken (grün) und aus Vektordaten von rekonstruierten und in das Festpunktnetz eingepassten Küstenfragmenten (blau). Die weiße Linie (gestrichelt) beschreibt in Verbindung mit den blauen Küstenfragmenten den (eingepassten) Vektorzug der Küstenaufnahme.

## 7 Zusammenfassung

Im Gegensatz zu anderen Karten des Mittelalters beschreiben Portolankarten mit nachgewiesener, erstaunlicher Genauigkeit die Küstenlinien der Mittelmeerregion. Voraussetzung für diese realitätsnahe und maßstabsgerechte Darstellung ist eine vermessungstechnische Aufnahme des Karteninhaltes, die der eigentlichen Kartierung vorangegangen sein muss. Da geografische Längen- oder Breitenangaben bzw. Hinweise auf ein Netz geografischer Koordinatenlinien in den Portolankarten nicht enthalten sind, liegt die Vermutung nahe, dass zur Kartierung des Karteninhaltes ausschließlich terrestrische Daten verwendet wurden, wie sie zum Beispiel im »Compasso de Navegare« überliefert sind. Ziel der Untersuchung war zu prüfen, ob eine maßstabsgerechte Kartierung der Küstenstrukturen des Mittelmeerraumes auf der Grundlage der Compasso-Daten möglich ist und ob diese mit den Strukturen einer Portolankarte (hier: Portolankarte des Petrus Roselli aus dem Jahr 1449 n. Chr.) übereinstimmen. Zur Rekonstruktion der Küstenlinien wird dabei ein Verfahren praktisch umgesetzt, das bislang im Rahmen von Genauigkeitsanalysen alter Karten meines Wissens noch nicht gewählt wurde.

Von den im Compasso enthaltenen ortsbeschreibenden Angaben beziehen sich etwa 300 Datensätze auf Verbindungen, die über das offene Meer führen (Hochseestrecken), ca. 1000 Angaben beschreiben den Verlauf der Küsten und Inseln. Die geometrische Beziehung zwischen den aufgenommenen Punkten wird durch Kurse beschrieben, d.h. durch die Angabe der Distanz und durch die jeweilige (Nord-)Richtung benachbarter Punkte. Die Untersuchung der Genauigkeit der überlieferten Daten erfolgt im Rahmen einer Stichprobenauswertung über einen direkten Vergleich mit aktuellen Werten und ermöglicht eine erste Abschätzung der Genauigkeit der im Mittelalter praktizierten Strecken- und Richtungsmessungen. Diese liegt für Streckenmessungen bei  $\pm 36$  km für Hochseestrecken bzw.  $\pm 7$  km für Küstenstrecken, als Genauigkeit der Richtungsbeobachtung resultieren für Hochseestrecken  $\pm 10^\circ$  bzw.  $\pm 22^\circ$  für Küstenstrecken.

Die Kartierung des Karteninhaltes auf der Grundlage der im »Compasso de Navegare« überlieferten Daten erfolgt in drei Schritten:

1. Mit dem Ziel, die geometrische Struktur des gesamten Mittelmeergebietes möglichst spannungsfrei darzustellen, wird zunächst durch manuelle Kartierung mittels Zirkelschlag im Maßstab 1:6 Mio. ein Dreiecksnetz

- konstruiert. Grundlage der Kartierung sind die überlieferten Hochseestrecken, die ohne weitere Reduktionen direkt verebnet werden. Die so gewonnenen Dreieckspunkte können als Festpunkte (Trigonometrische Punkte/TP) der zu erstellenden Karte angesehen werden.
2. Die Kartierung der Küstenlinie erfolgt auf der Grundlage der Daten zur Küstenbeschreibung ebenfalls im Maßstab 1 : 6 Mio. Aufgrund der vorgegebenen Vektorstruktur der Kursdaten lassen sich durch die geradlinige Verbindung benachbarter Punkte erste, stark generalisierte Teilstücke der Küste darstellen. Lage und Ausdehnung der Teilstücke werden durch die an der Küste liegenden Festpunkte vorgegeben.
  3. Die Teilstücke der Küste werden anschließend grafisch in das zuvor konstruierte Festpunktfeld eingepasst.

Die so geschaffene Verbindung zwischen dem Festpunktnetz der Hochseekurse und der vektoriellen Beschreibung der Küstenstruktur führt zu einer weitgehend verzerrungsarmen Gesamtdarstellung des Mittelmeerraumes. Besonders hervorzuheben ist dabei die korrekte Ausdehnung des Mittelmeeres auch in Ost-West-Richtung, die in vielen (auf ptolemäischen Daten beruhenden) Karten des Mittelalters falsch, d. h. zu lang dargestellt wird.

Das hier praktisch umgesetzte Verfahren zur Kartierung der Küstenlinien ist kein neues Verfahren im eigentlichen Sinne. Es beschreibt lediglich den Weg, der traditionell auch bei der Erstellung moderner Kartenwerke in der Vergangenheit gewählt wurde. Während im Rahmen der traditionellen Landesvermessung als Grundlage der eigentlichen topographischen Aufnahme zunächst ein Festpunktfeld durch Triangulation geschaffen wurde – die Lagebestimmung eines Punktes basiert hierbei nach Festlegung einer sehr genauen Basis auf der Beobachtung der Dreieckswinkel – erfolgte in dieser Untersuchung die Ableitung eines Festpunktfeldes auf grafischem Wege durch Trilateration, d. h. durch eine Dreiecksbestimmung, bei der die Längen der Dreiecksseiten die bestimmenden Elemente der Festpunktstrukturen sind.

Es zeigt sich, dass die Methode der Trilateration – zumindest für Karten kleiner Maßstabsbereiche – selbst bei Verarbeitung weniger genauer Messwerte durchaus zu bemerkenswert guten Ergebnissen führen kann. Die hier beschriebene Vorgehensweise führt zwar nicht zu einer winkeltreuen Abbildung i. e. S., aber immerhin zu einer Abbildung, die einer winkeltreuen Zylinderabbildung (OSM) sehr ähnlich ist. Insofern waren Portolankarten auch als Navigationsgrundlage für Seefahrer bestens geeignet.

## Schlussbemerkung

Ein besonderes Markenzeichen der Seekarten und hier insbesondere auch der Portolankarten sind charakteristische Liniennetze (Rumben), die durch die regelmäßige Teilung (16 Teile) eines meist in der Mitte der Darstellungsfläche zentrierten Kreises entstanden sind. In den Kartenoriginalen sind ausschließlich Kreismittelpunkt und 16 Peripheriepunkte durch Nadelstiche gekennzeichnet. Die geradlinige und systematische Verbindung aller Kreisperipheriepunkte führt zu einer Linienstruktur (Rumbensystem), die das äußere Erscheinungsbild der Karten nachhaltig prägt.

Dieses offensichtlich sehr sorgfältig konstruierte Liniensystem entspricht in Form und Funktion einem stationären Winkeltransporteur und kann – in Verbindung mit den ebenfalls in Portolankarten enthaltenen grafischen Maßstabsleisten – sowohl für die (auch ergänzende) Kartierung des Karteninhaltes wie auch für die Ermittlung konkreter Kursangaben auf See genutzt werden. Insofern sind die Liniennetze integrale und multifunktionale Bestandteile dieser besonderen, aus dem späten Mittelalter überlieferten Seekarten.

## Literatur

- Debanne, A. (2011): *Lo Compasso de navigare* – Edizione del codice Hamilton 396 con commento linguistico e glossario. P.I.E. Peter Lang, Bruxelles.
- Mesenburg, P. (2021): Portolankarten – Aufnahme und Abbildung. In: KN – Journal of Cartography and Geographic Information, Heft 3, Springer Verlag, 195–206. DOI: 10.1007/s42489-021-00081-4.
- Motzo, B. R. (1947): *Il Compasso da Navigare*, opera Italiana della metà del secolo XIII. Cagliari.
- Weitemeyer, C. (1996): *Compasso de Navegare* – Erstes Seehandbuch Mittelmeer aus dem 13. Jahrhundert. Aus der altitalienischen in die deutsche Sprache übertragen und mit einer Einführung versehen. Betzel Verlag, Nienburg.

## Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Peter Mesenburg  
Billrothstraße 30, 45147 Essen  
peter@mesenburg.de

Dieser Beitrag ist auch digital verfügbar unter [www.geodaesie.info](http://www.geodaesie.info).