

# Bathymetrikartierung mit einem Low-Cost-Echolot

Inwieweit eignen sich die mit einem Low-Cost-Echolot erhobenen Bathymetriedaten für die Erstellung einer maßstabsgetreuen und kartographisch hochwertigen Bathymetrikarte zur orientierenden Nutzung im Tauchsport?



## Untersuchungsgebiet

Das kartierte Riff an der Südküste Madeiras im Nordatlantik umfasst ca. 14 ha bei einer Tiefenspanne von 1 bis 33 m. Das Gebiet ist geprägt durch vulkanisches Hartschubstrat, Lavaformationen, Steilabbrüche und sechs etablierte Tauchplätze, darunter der markante **Lavafinger** als zentrales Orientierungsmerkmal.

## Datenerhebung & Qualitätskontrolle

### Vom Rohsignal zum bereinigten Datensatz:

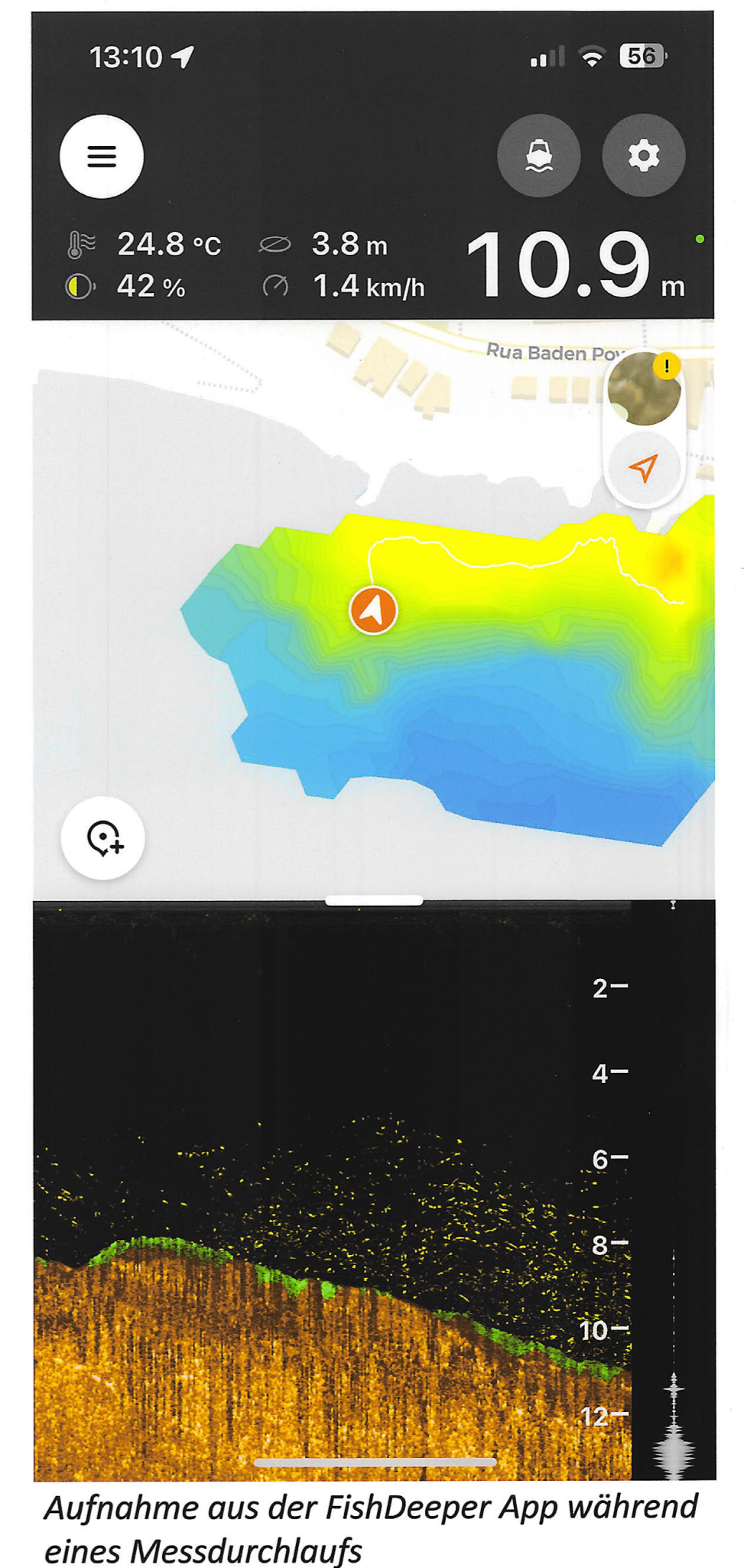
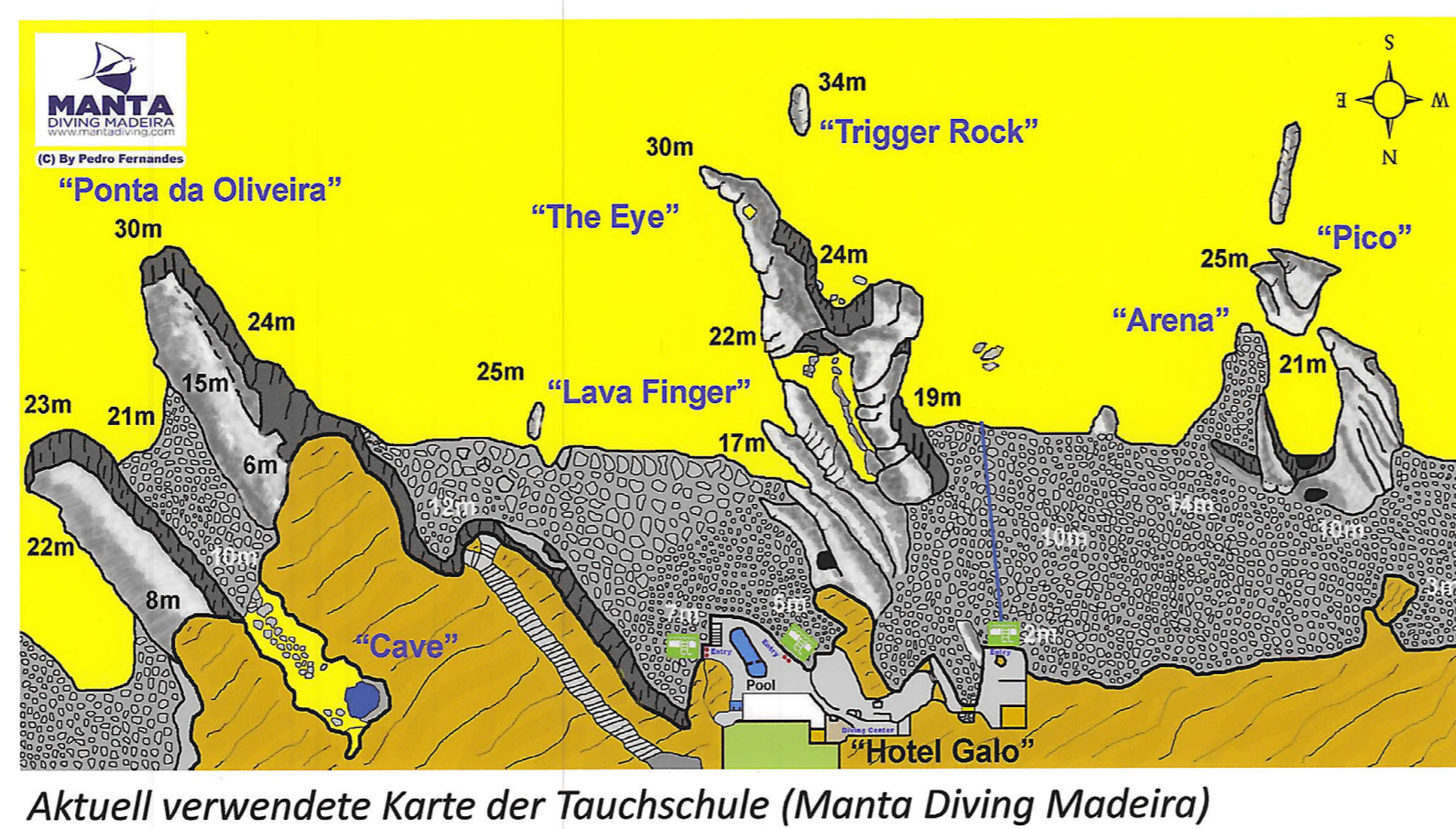
In 9 Messdurchläufen (September/Oktober 2025) wurden die Tiefenwerte vom **Stand-Up-Paddleboard (SUP)** aus erhoben. Die GPS-Positionierung erfolgte über ein Apple iPhone 14 (Genauigkeit  $\pm 3-5$  m).

Aus **403.205 Rohpunkten** verblieben nach zweistufiger Qualitätskontrolle **34.582 gültige Messpunkte**:

- **GPS-Filterung:** Entfernung koordinatenloser Zeilen (91 % des Rohdatensatzes durch die systembedingte Geräteeigenschaft)
- **Ausreißerdetektion:** Z-Score, Tukey-IQR und lokale räumliche Spitzenwertdetektion (637 Ausreißer, 1,76 %)
- **Tidenanalyse:** Schätzung der relativen Tidenhöhe über räumlich übereinstimmende Messpunktpaare
- **Küstenpuffer:** Entfernung von Fehlpositionen auf der Landfläche; Integration von 126 Küstenpunkten mit Tiefe 0 m

## Motivation

Das Hausriff der Tauchbasis *Manta Diving Madeira* wird täglich betaut, besitzt jedoch keine **maßstabsgetreue bathymetrische Karte**. Professionelle Vermessungsschiffe sind im flachen Küstenabschnitt nicht einsetzbar und die Lage im **Naturschutzgebiet Reserva Natural Parcial do Garajau** schließt motorisierten Bootsverkehr zusätzlich weitgehend aus. Das kostengünstige Consumer-Echolot **Deeper PRO+ 2** (ca. 200 €) wurde als praktikable Alternative erprobt.

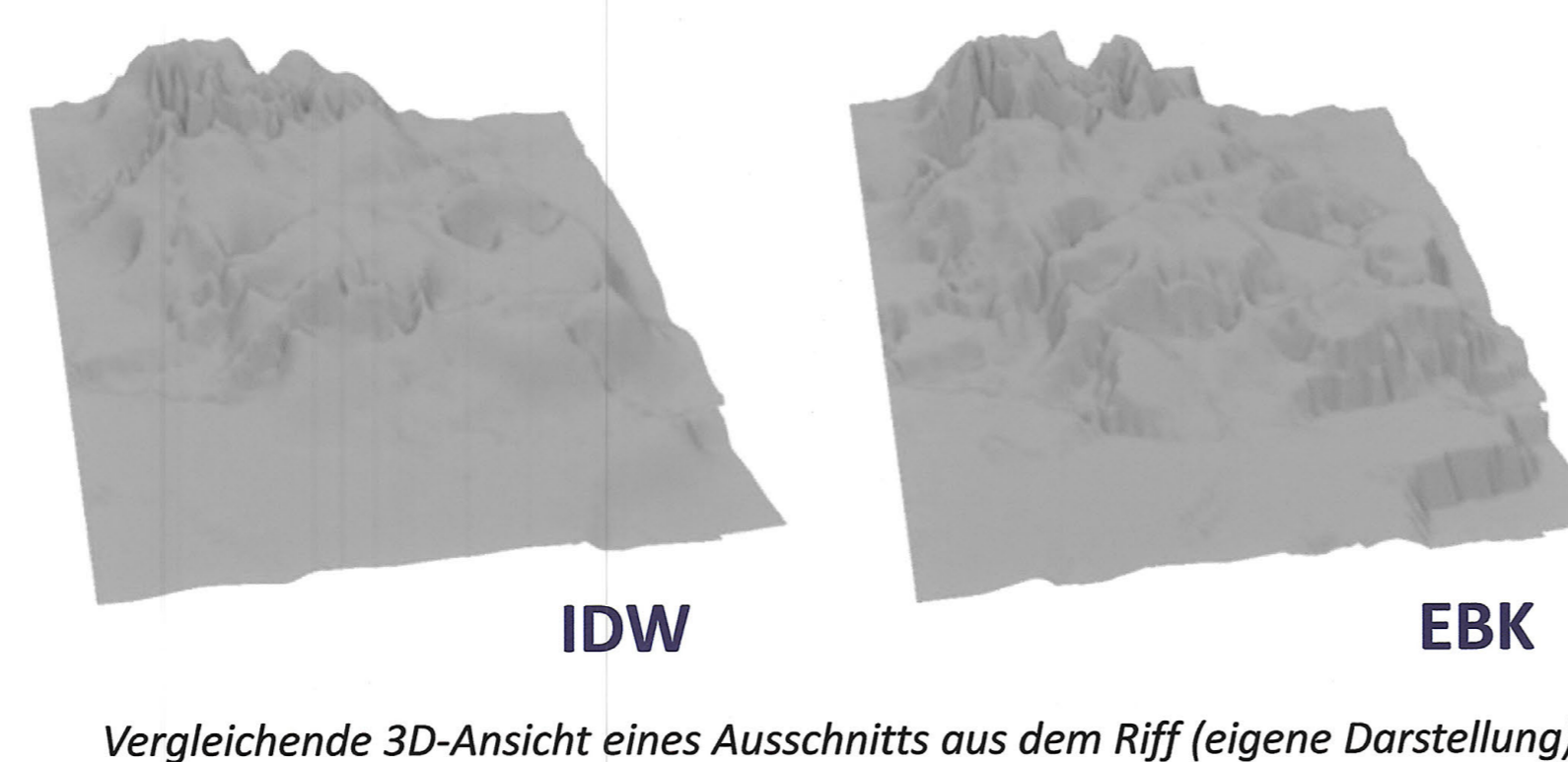
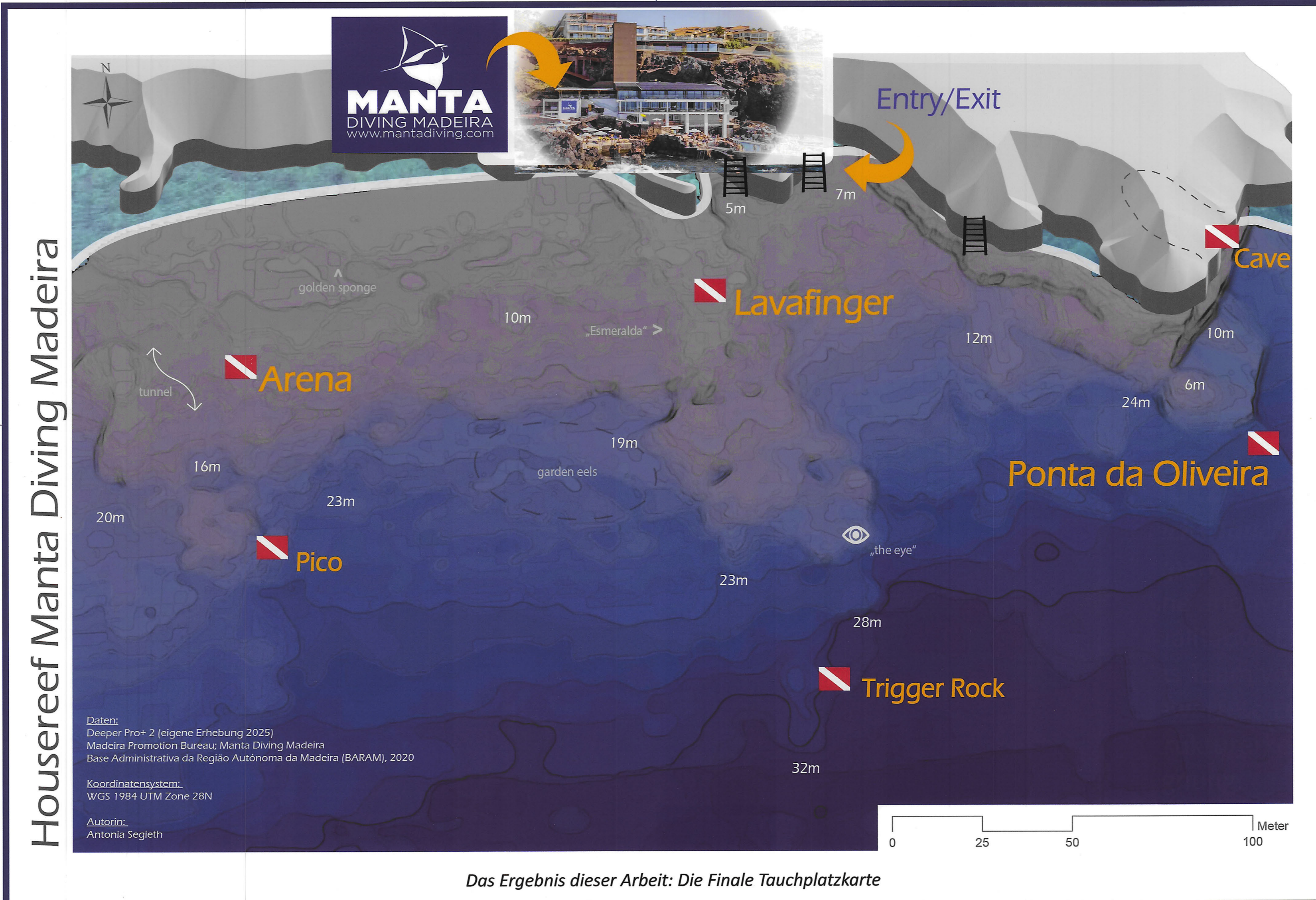


## Interpolationsvergleich

Vier räumliche Interpolationsverfahren wurden mittels **Leave-One-Out-Kreuzvalidierung (LOOCV)** verglichen.

- Empirical Bayesian Kriging (EBK)
- Ordinary Kriging (OK)
- Radiale Basisfunktionen – Multiquadric
- Inverse Distanzwichtung (IDW)

Die **RMSE-Spanne beträgt nur 0,069 m**, weswegen alle Methoden grundsätzlich geeignet sind. Entscheidend war am Ende jedoch nicht der RMSE sondern die **morphologische Plausibilität**. IDW erzeugte am **Lavafinger** geometrisch regelmäßige **Bull's-Eye-Artefakte**, die mit keiner bekannten vulkanischen Morphologie vereinbar sind. EBK als einzige Methode rekonstruierte die Riffstrukturen nahezu genau und liefert zusätzlich eine räumlich differenzierte **Vorhersageunsicherheit**.



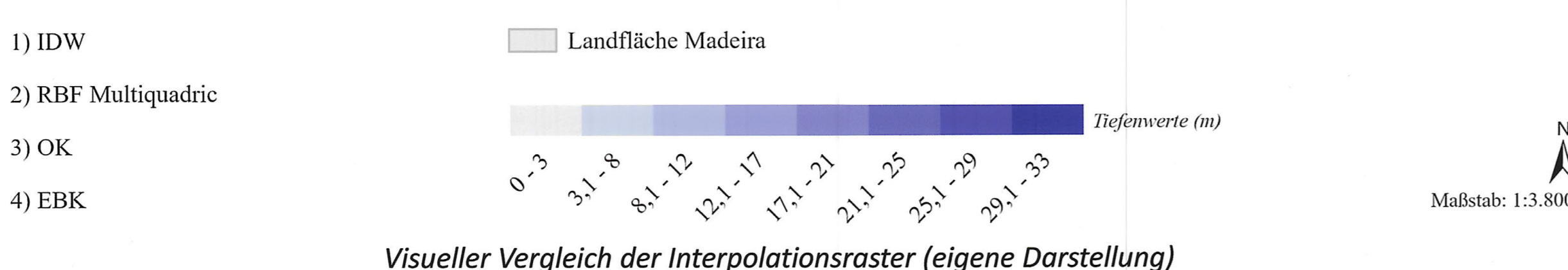
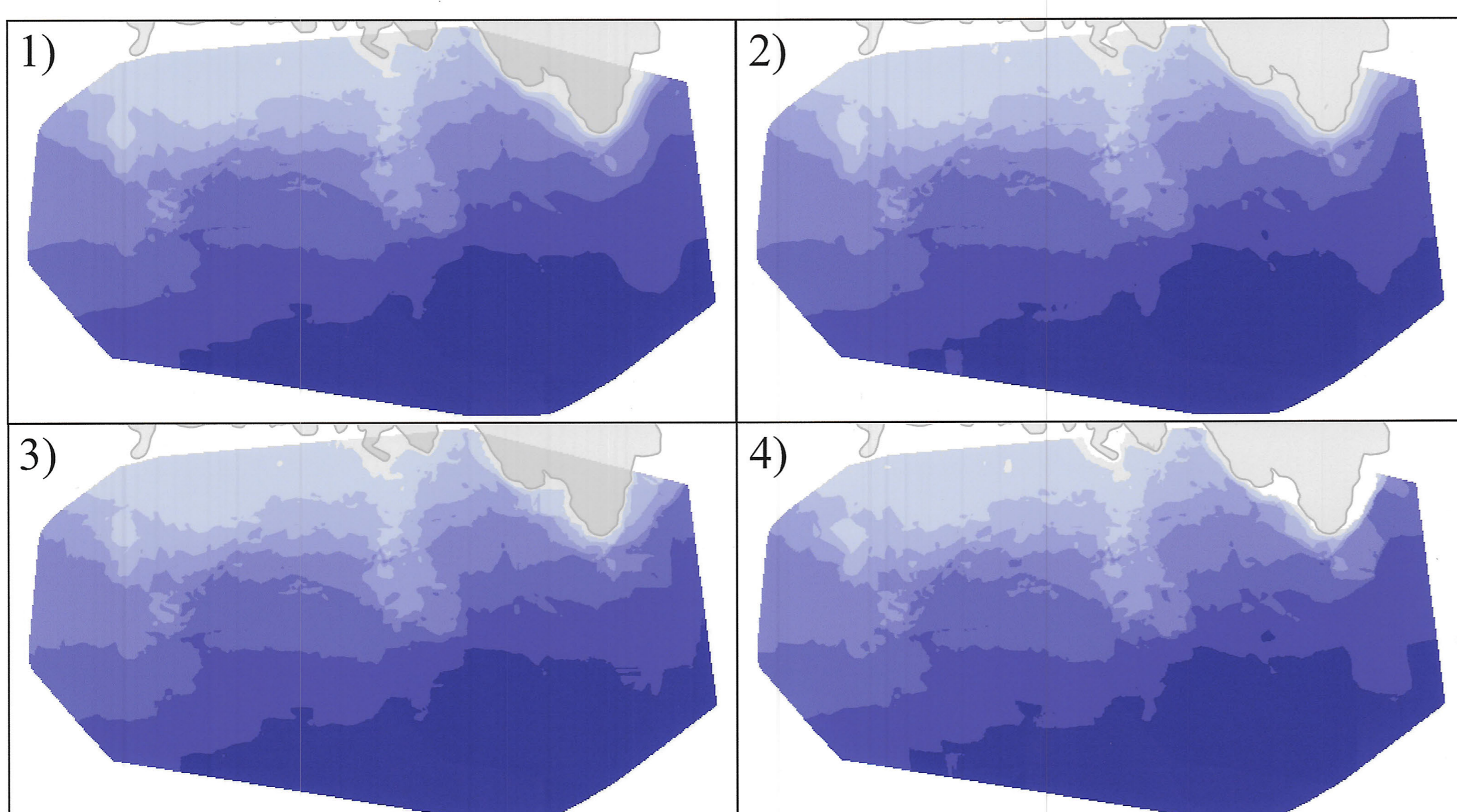
### Stärken der Karte:

- **Lesbarkeit und Farbgebung** durchgehend positiv bewertet
  - Räumliche Distanzdarstellung zwischen Tauchplätzen als klarer Mehrwert gegenüber Handskizzen
  - **Lavafinger** als markanteste Struktur gut erkennbar
- Verbesserungspotenzial:**
- **Sandflächen** nicht darstellbar (physikalische Grenze des SBES)
  - **Ponta da Oliveira** zu wenig detailliert (Folge geringer Punktdichte)
  - Höhlen, Tunnel und Überhänge grundsätzlich nicht erfassbar mit einem senkrecht messenden Echolot

## Nutzerevaluation

### Sechs Tauchlehrer:innen als Expert\*innen:

Eine anonyme Onlinebefragung (n = 6, qualitative Expertenbefragung) durch das Team von *Manta Diving Madeira* bewertete Lesbarkeit, Strukturerkennung und praktische Eignung.



## Fazit

Der **Deeper PRO+ 2** liefert unter ruhigen Seebedingungen wissenschaftlich verwertbare Bathymetriedaten für die Übersichtskartierung flacher Küstengebiete. Der entwickelte, vollständig dokumentierte **GIS-Workflow** ist reproduzierbar und auf vergleichbare Gewässer übertragbar.

