

# Einsatz von Mehrfrequenz- und Multibeam- Echolotsystemen für die Seegrundaufnahme des Bodensee-Rheindeltas

**Erwin Heine**

Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation



**Universität für  
Bodenkultur Wien**



vermessungsbüro  
bischofberger+partner



**MAYR&SATTLER**

Ingenieurbüro für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft



# Inhalt

- **Hydrographische Vermessung an der BOKU**
- **Motivation / Geschichte der Bodenseevermessung**
- **Durchführung / Ergebnisse**
- **Resumé**

Motivation für die F/E-Tätigkeiten an der BOKU auf dem Gebiet der hydrographischen Vermessung war das Inkrafttreten der EU-Wasserrahmenrichtlinien (WRR)

- 2003 Implementierung der WRR in nationales Recht
- Schutz und Verbesserung aquatischer Ökosysteme
- 2015 Erreichung eines „guten Zustandes“ für alle Gewässer
- Sicherung des guten Zustandes der Gewässer
- Minderung der Auswirkungen von Überschwemmungen und Dürren

# (BOKU -) Forschungsk Kooperation

## Vermessung – Hydrologie - Wasserbau



## **Entwicklung eines Positionierungs-Echolot-Messsystems für alpine Fließgewässer und Seen**

-Baukastensystem

(Einsatz für unterschiedliche wasserbauliche Fragestellungen)

-Mobile, vom Bootstyp unabhängige Ausführung

## Besondere Herausforderungen bei alpinen Flüssen

- Topographie

→ Ortung: RTK-GPS

nur auf Teilabschnitten

zielfolgendes Servotachymeter

alleinig sind nicht effizient

- Schwallstrecken

→ Rollbewegung

- geringe Wassertiefe

begrenzte Messbootgröße

geringe Flussbreite

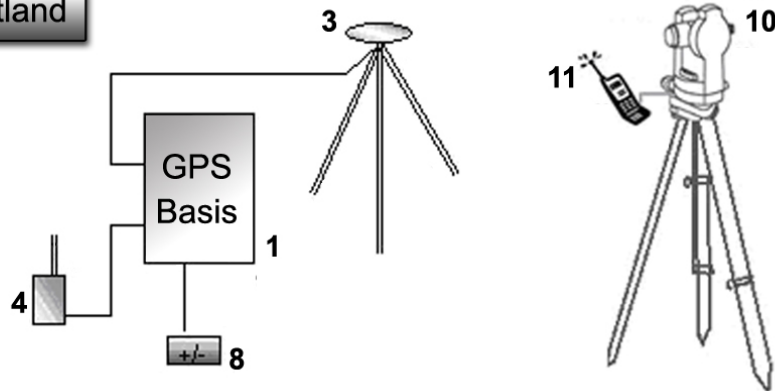
→ permanente Kurswechsel

Hindernisse (Blockwurf)

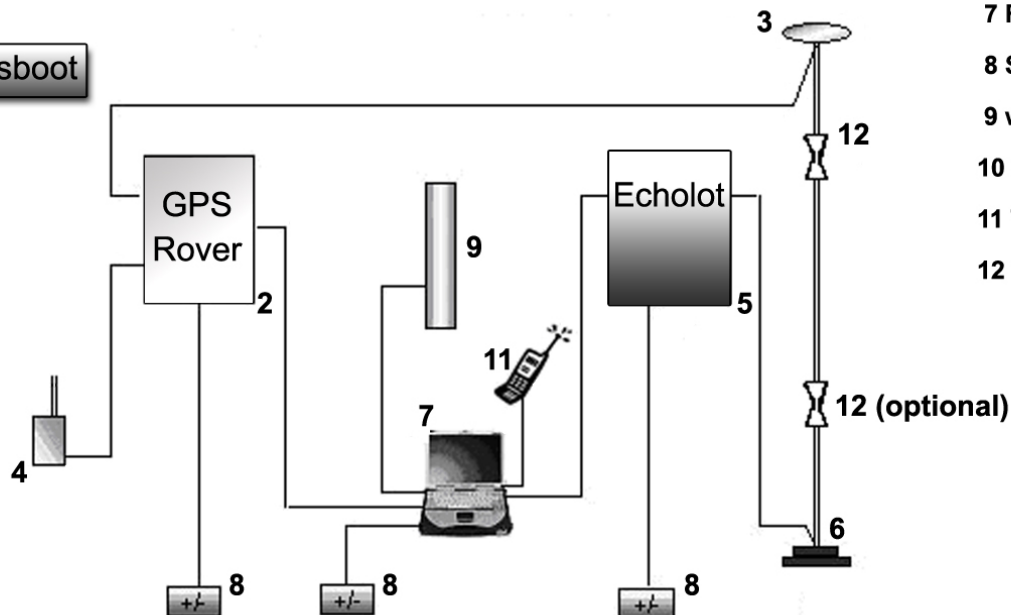


# Peilsystem - Schema

**Festland**



**Messboot**



- 1 GPS Basisstation
- 2 GPS Rover
- 3 GPS Antennen
- 4 GPS Telemetrie
- 5 Echolot
- 6 Echolotschwinger
- 7 Feldtaugliches Notebook
- 8 Stormversorgung
- 9 weitere Sensoren (v, Q, S, G,..)
- 10 zielverfolgender Servotachymeter (TPS)
- 11 TPS Telemetrie
- 12 TPS 360°-Prisma

# Anwendungsbeispiel: Schwallstreckenvermessung

## Projekt 06/2005: Mur-Punktigamerbrücke





## HafenCity Universität Hamburg

2006 Start der Kooperation auf dem Gebiet der  
Forschung und Lehre  
„HCU-Master Program in Hydrography“

2007 Hydrographisches Summercamp am  
Hemmelsdorfersee an der Ostsee:  
Schwerpunkte:

- Fächerlotmessung und -auswertung
- Sub-Bottom-Profiling



# 2007 / 2008

## Seegrundaufnahme Rheinmündung-Bodensee



# Institutionen

---

## AUFTRAGGEBER

**Internationale Rheinregulierung**

**Bauleitung Lustenau**

Rheinbauleiter Dipl.-Ing. Martin Weiß

## AUFTRAGNEHMER

**Bischofberger & Partner**

A-6700 Bludenz

Dipl.-Ing. Norbert Bolter

Dipl.-Ing. Brigitte Schösser

**Mayr & Sattler OEG**

A-1180 Wien

Dipl.-Ing. Dr. Peter Mayr

## WISSENSCHAFTLICHE BERATUNG

**Institut für Seenforschung LUBW**

D-88081 Langenargen

Dr. Martin Wessels

**Universität für Bodenkultur**

**Institut für Vermessung**

A-1190 Wien

Ass.Prof. DI Dr. Erwin Heine

**HafenCity Universität Hamburg**

Department Geomatik

D-22297 Hamburg

Prof. Dr.-Ing. Volker Böder

# Historische Daten Rheinmündung-Bodensee

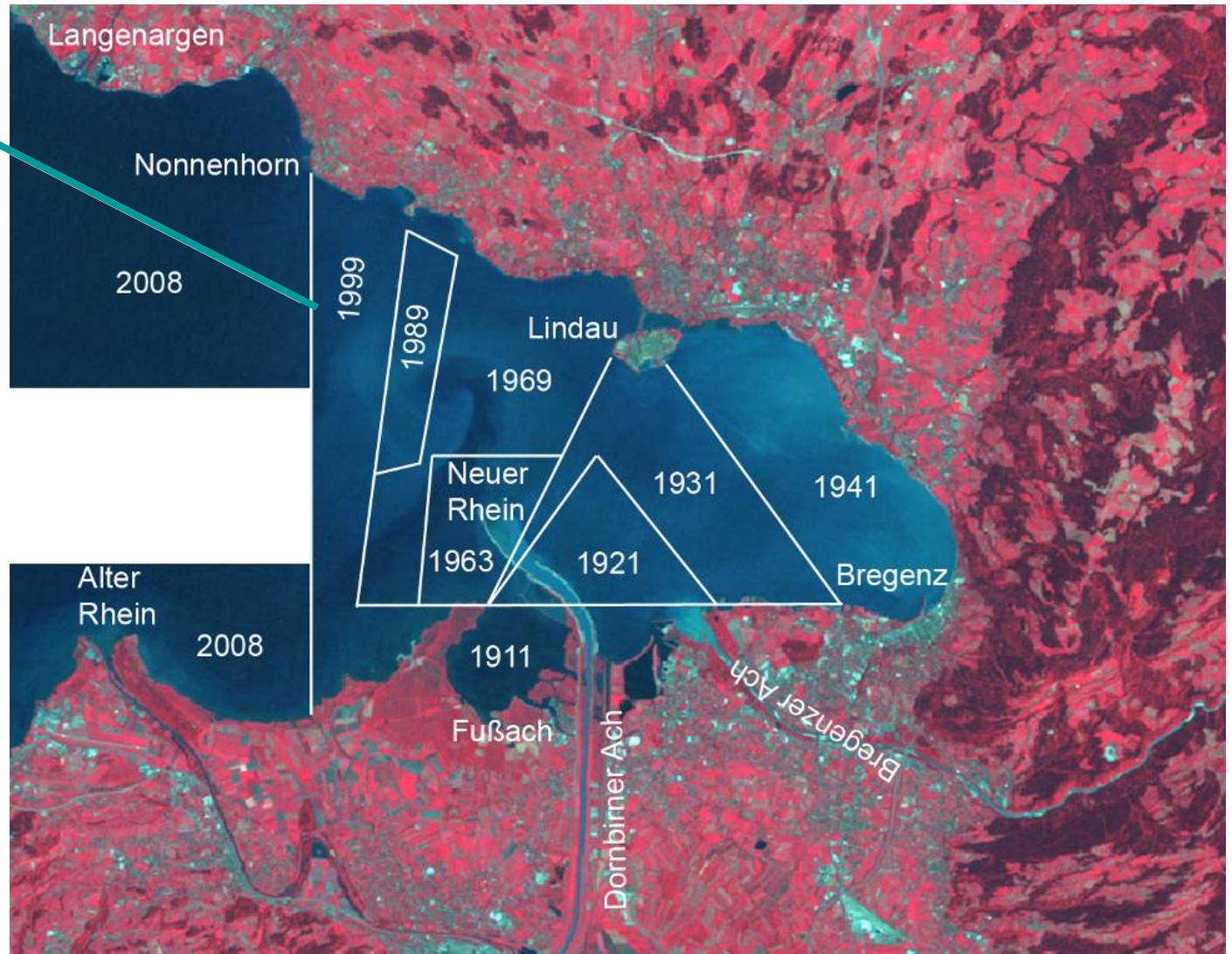
- 1892 Staatsvertrag Österreich – Schweiz: Regulierung des Alpenrheins
- 1900 Verlegung der Rheinmündung 12km nach Osten
- seit 1911 Seegrundvermessung im 9 – 11 jährigen Turnus
- 1972 Beginn des Baus der Rheinvorstreckung

# Aufgabe und Zielsetzung der Seegrundvermessung 2008

1. Erreichung des ursprünglichen Ziels - durch die Vorstreckung die Verlandung zwischen Fußacher und Bregenzer Bucht zu reduzieren – zu dokumentieren
2. Auswirkung der Vorstreckung auf die Verlandungsentwicklung im See
3. Bestimmung Differenzvolumina zwischen DGM 2008 und DGM-1999/1990 unter Einbeziehung von Sedimentkerndaten
4. Ablagerungen Richtung NW erfassen
5. Verifizierung der DGM-basierten Volumenermittlung über den Feststoffeintrag der Zubringer (Schweizer Landeshydrologie)
6. Fächerlotmessung im Mündungsbereich für Vergleichszwecke

# Aufnahmegebietserweiterung seit 1911

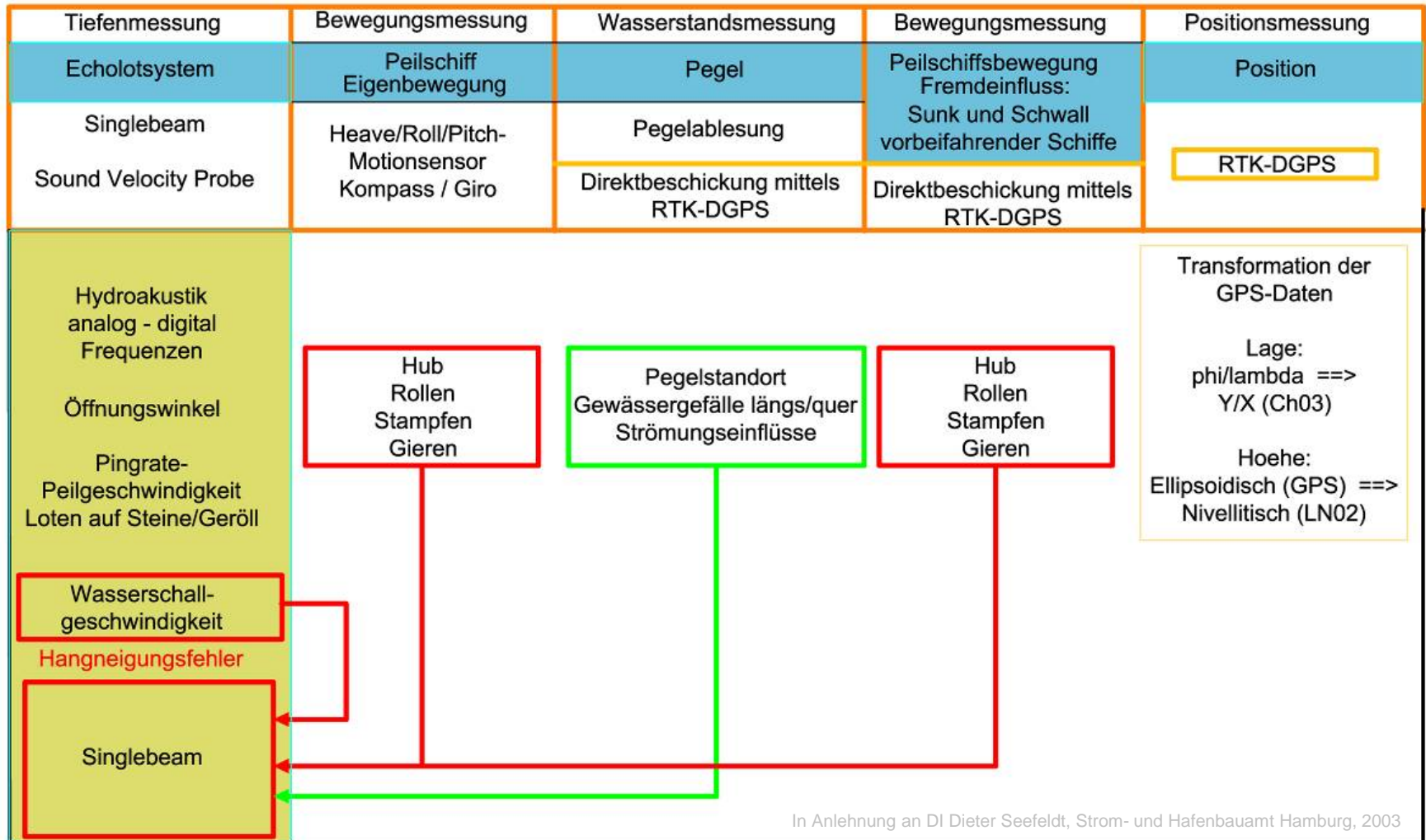
Friedrichs-  
hafen



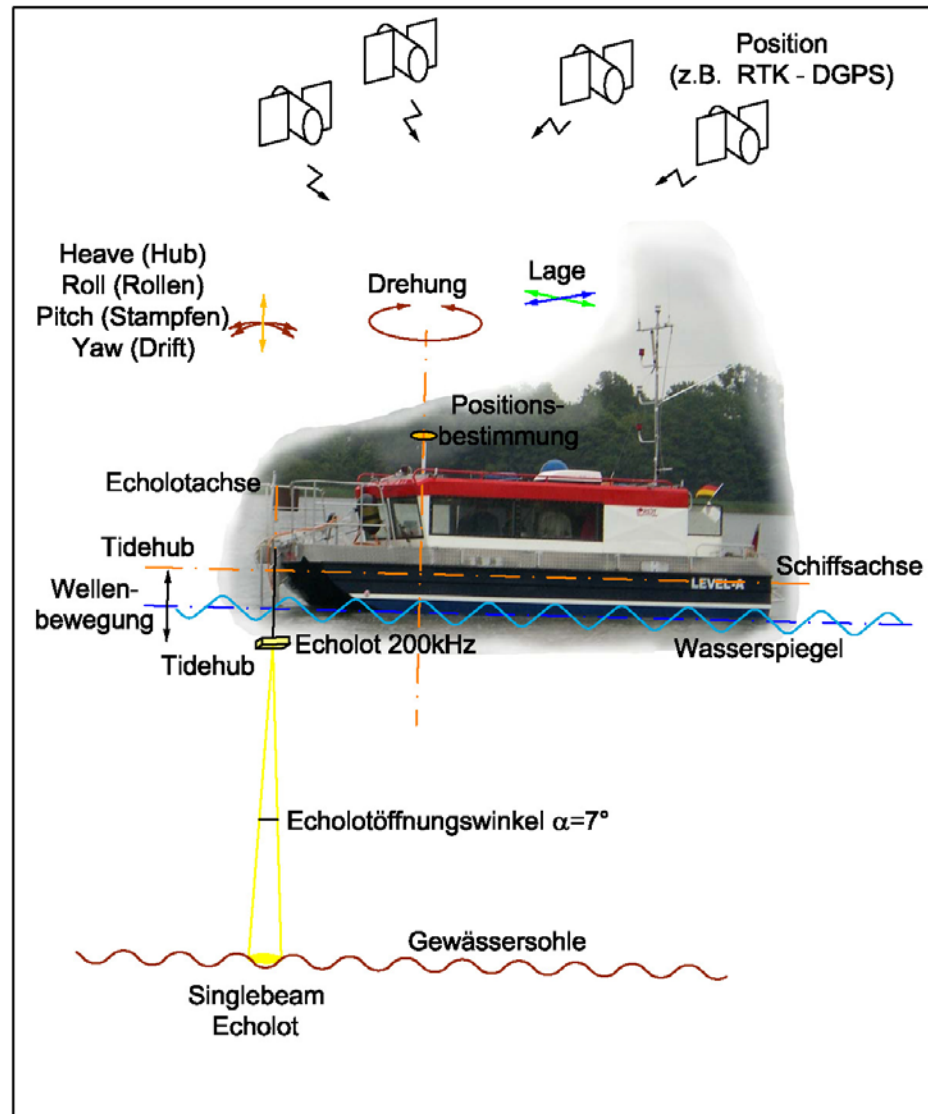
# Methodisch-technischen Neuerungen der Vermessung 2008

1. Direkte Lage- und Höhenreferenzierung über  
**RTK-DGPS-Positionierung**
2. Kompensation der Schiffsbewegung durch  
**Motion-Sensoren**
3. Messung der tatsächlichen Schallgeschwindigkeit mit  
**Velocimeter**
4. **Fächerlotmessungen** im Mündungsdelta
5. **Anpassung der 1999-DGM** durch Sedimentkerndaten

# Hydrographisches Messsystem – Zusammenspiel der Komponenten



# Peilschiffkomponenten



In Anlehnung an DI Dieter Seefeldt, Strom- und Hafenbauamt Hamburg, 2003



# Instrumentarium der Single Beam Echolotung

- Echolot-System: Kongsberg EA 400 / 2 Sende- und Empfangseinheiten
- Schwinger: 38 / 200 kHz Kombischwinger, Typ 38/200 D
- Öffnungswinkel: 7° zirkular für 200 kHz
- 13 x 21° für 38 kHz
- Messbereich: bis ca. 1900 / 450 m
- 15 kHz-Schwinger, Typ 15-17
- Öffnungswinkel: 17°; zirkular
- Messbereich: bis ca. 7000 m
- 200 kHz Sidescan-Schwinger, Typ 0.5/50-SS
- Öffnungswinkel: 0,5 x 50°
- Messbereich: bis ca. 300 m
- Bewegungssensor : Kongsberg Seatex MRU D Bewegungssensor
- Schallgeschwindigkeitssensor: Valeport Monitor SVP
- mit Temperatur- und Drucksensor
- Positionierung: RTK-GPS-Ausrüstung mit GSM-Funkverbindung
- am Boot: GPS-Rover Leica GG1230
- an Land: GPS-Basisstation Trimble 4000SSi  
/Antenne 4000ST/SSE L1/L2 geodetic

# Messboot mit aufgebauten Echolotsensoren



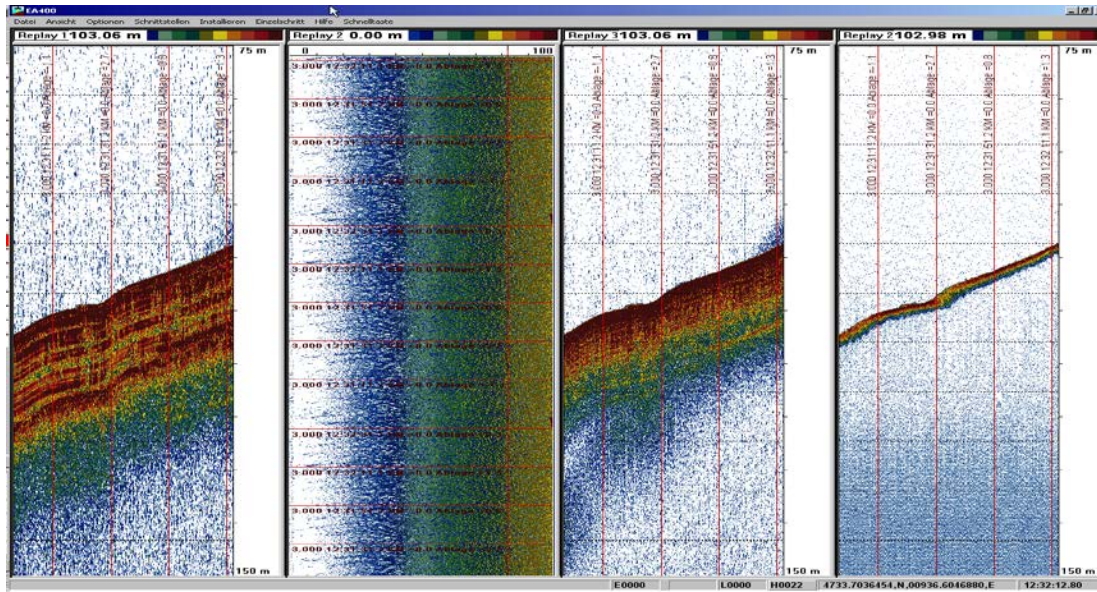
Boot mit Schiffsführer  
gechartert vom  
**NIAH** – Northern Institute of  
Advanced Hydrographics GmbH



Schwingerarm mit Trägerplatte:

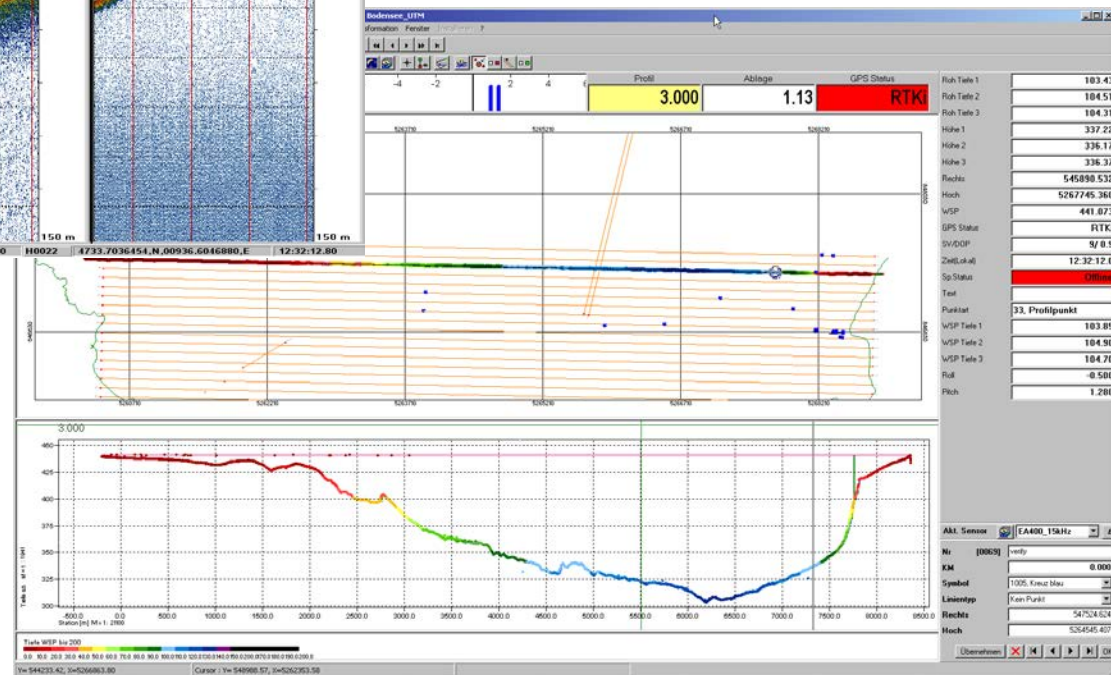
- 200 kHz Sidescan-Schwinger
- 38 /200 kHz Kombischwinger
- 15 kHz-Schwinger

# Software der Single Beam Echolotung 1



Kongsberg Profil 2000

Kongsberg EA400



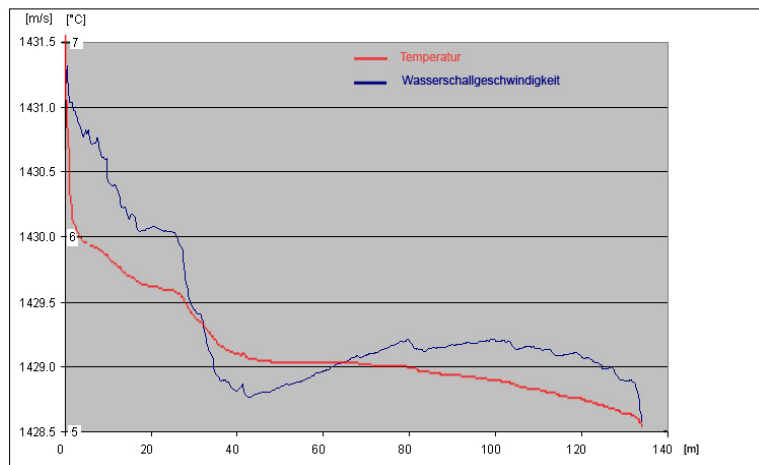
# Positionierung

- Eigene Basisstation in Fussach (max. 10km Distanz)
- Korrekturdatenübertragung per GSM

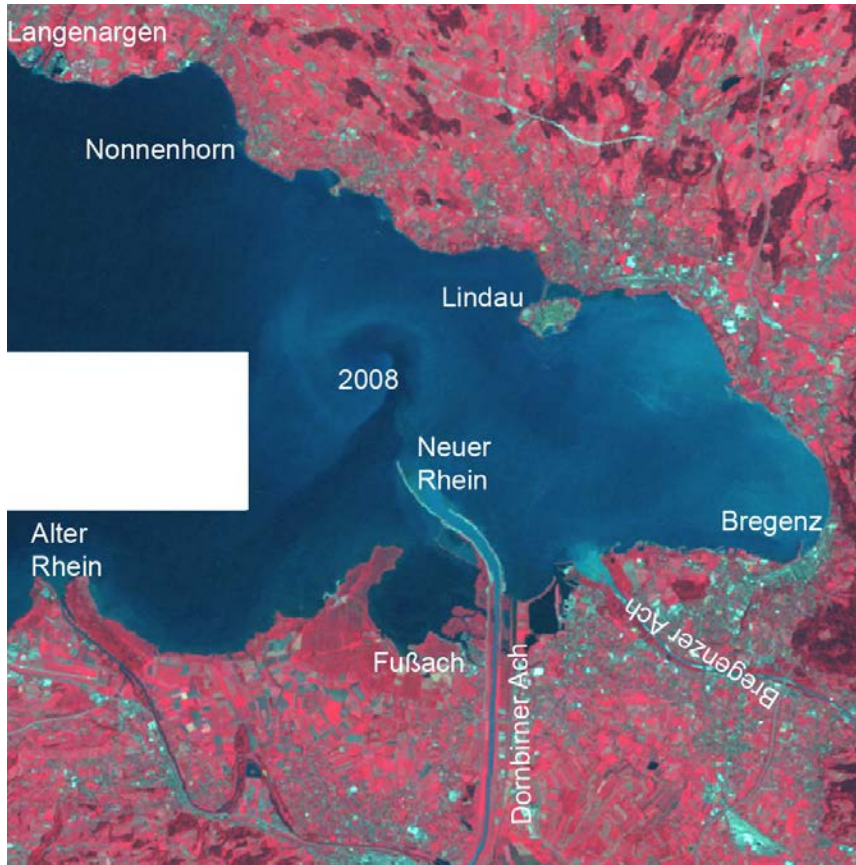


# Arbeiten an Bord

- Echolotsteuerung und Schallgeschwindigkeitsmessung
- Vorauswertung der Daten des letzten Halbtages
  - Überprüfung der Daten auf Vollständigkeit
  - Ausreißerelimination und Grobfilterung

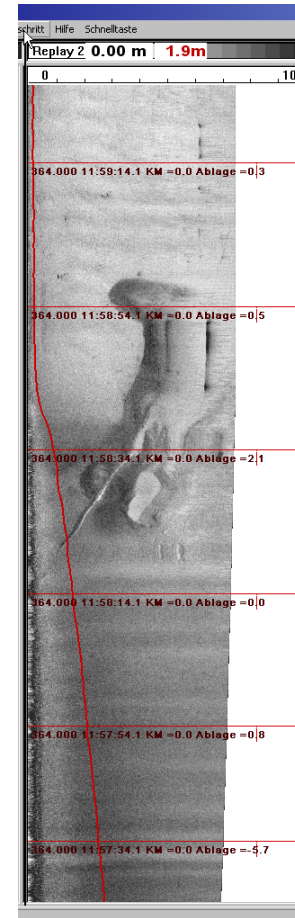
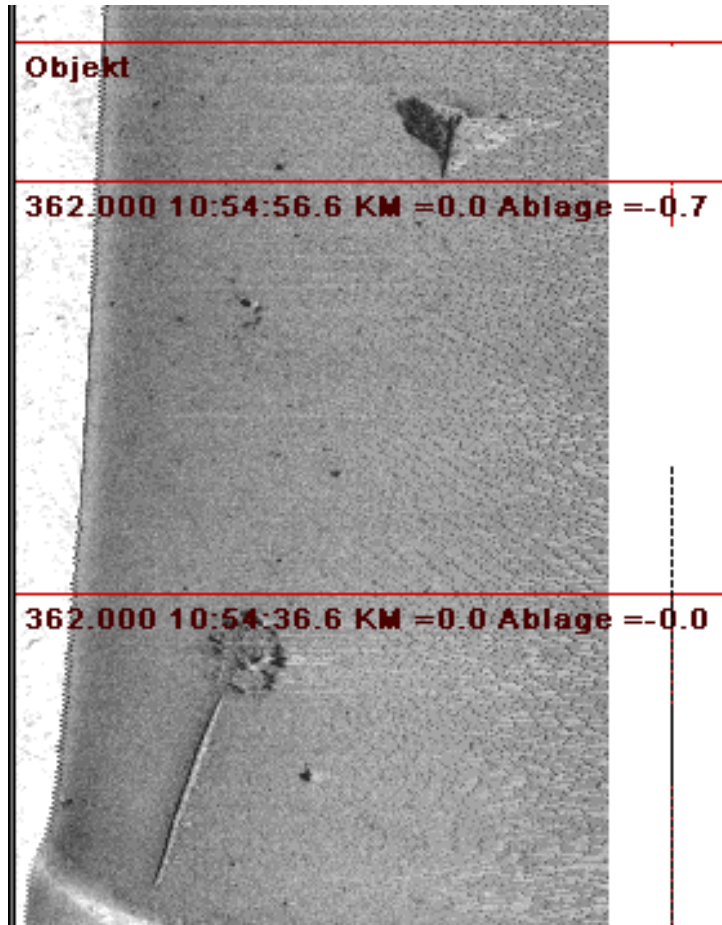


# Eckdaten der Single-Beam-Echolot Vermessung



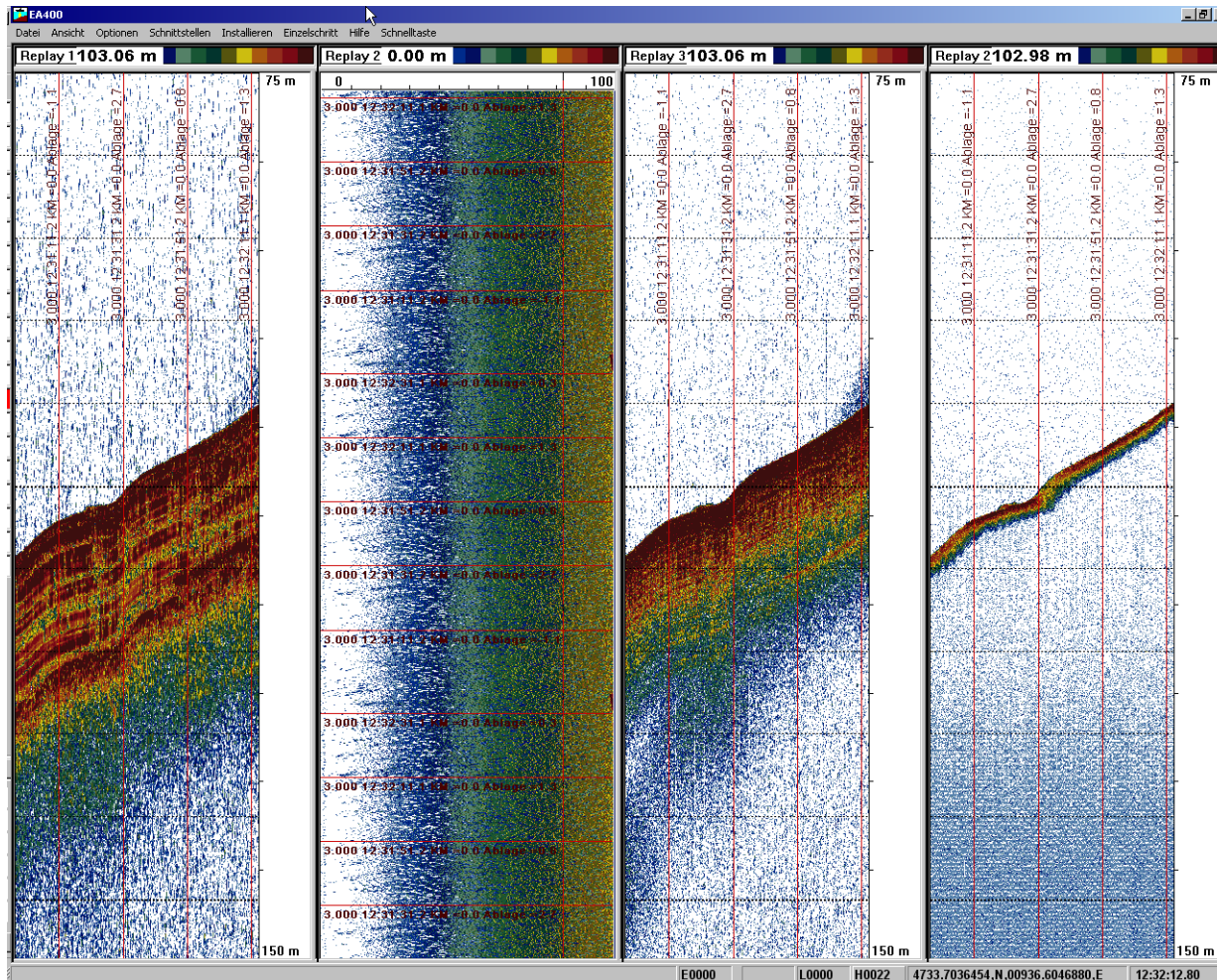
- 100 km<sup>2</sup> vermessene Gesamtfläche
- Messtiefen bis zu 250 m
- 1.000 km Mehrfrequenz Single Beam Echolotung
- 25m bis 100m Profilabstände
- Sidescan-Aufnahme des Seegrundes
- Aussenarbeiten:
  - März – April 2008

# Seebodenstrukturen im Sidescanbild



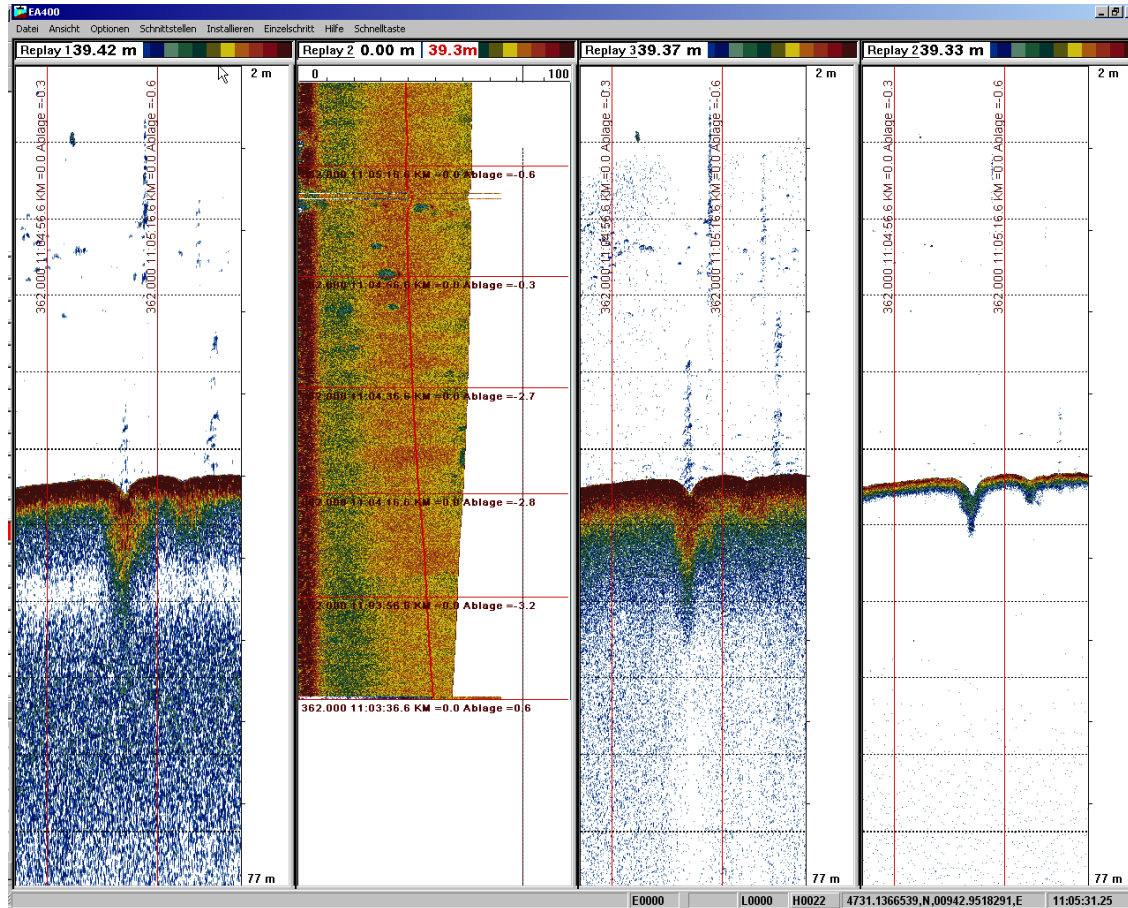
Kongsberg SSM Sidescan Mosaiking

# Schichtaufbau im Hangbereich auf 100m

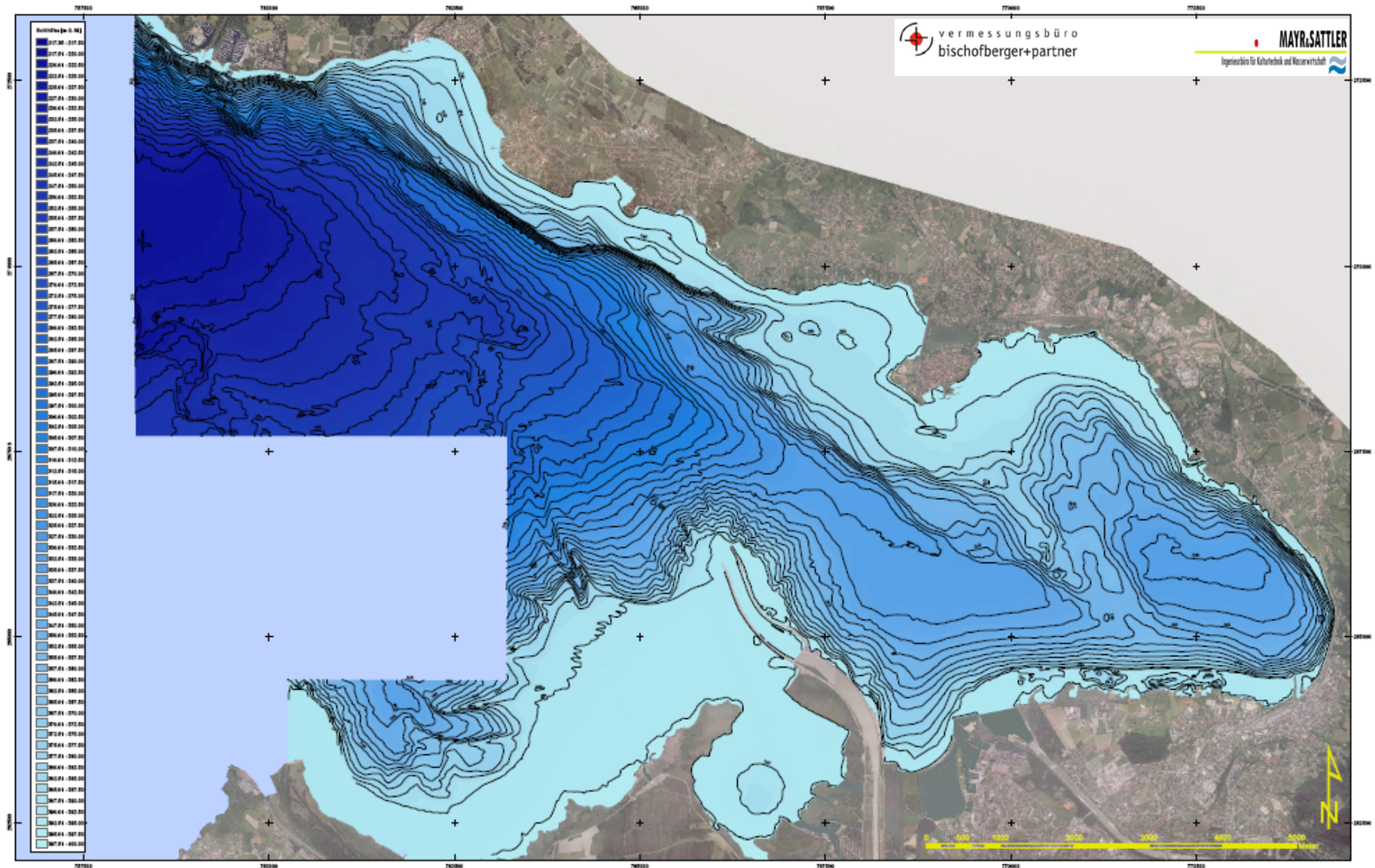




# Gasaustrittsöffnungen auf 40 m



# Ergebnis: 2008 DGM aus SB

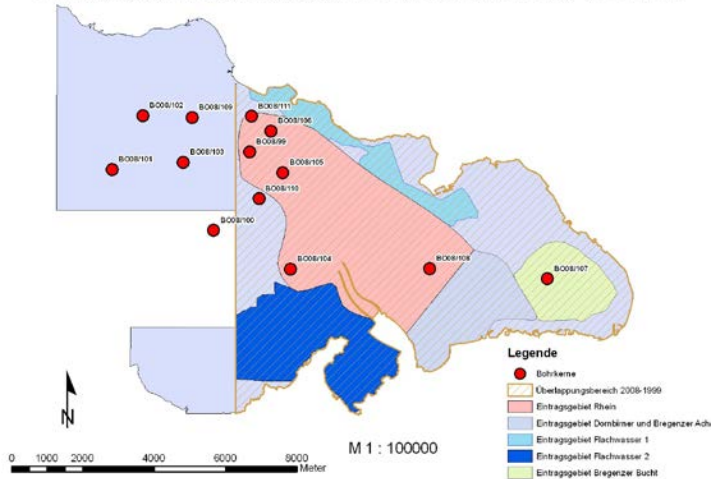


## Messdatenaufbereitung 1999

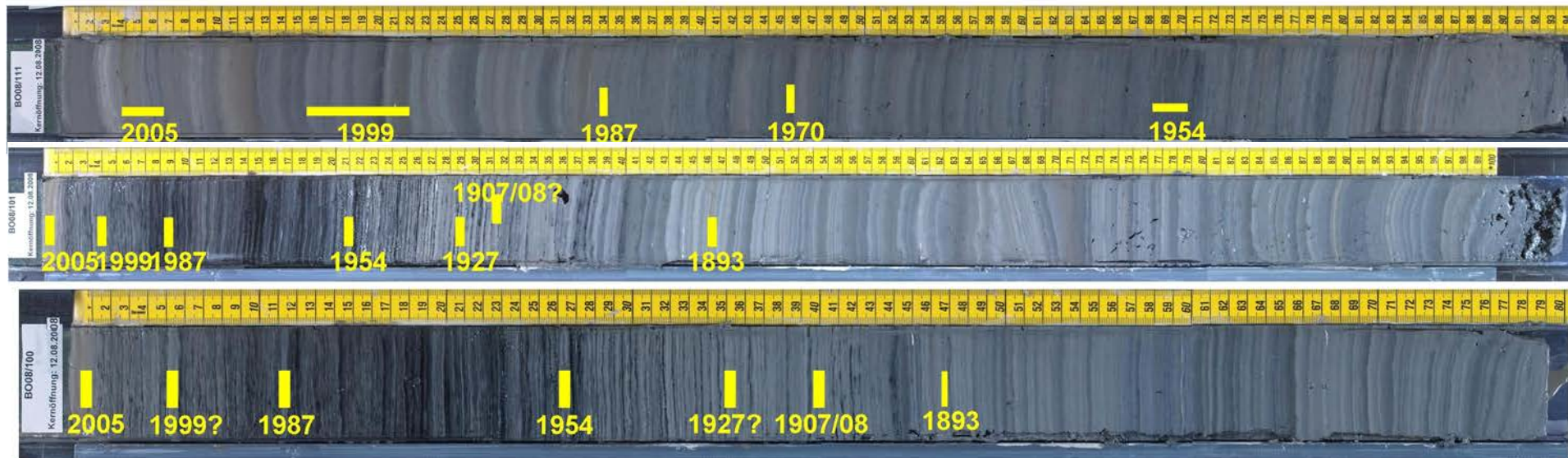
- Daten Frühjahr und Herbst 1999 übernommen - je ein Digitales Geländemodell generiert – Modelle miteinander verschnitten – Kubaturen ermittelt
- die Bregenzer Bucht wurde 1999 nicht gemessen  
→ Messungen IGKB 1990 zum Vergleich herangezogen
- Verschnitt DGM Frühjahr 1999 mit DGM 2008  
→ nicht plausible Abweichungen zwischen den Sohlhöhen

# Anpassung der 1999-DGM durch Sedimentkerndaten

Eintragsgebiete und Bohrkern Bodenseevermessung 1999-2008

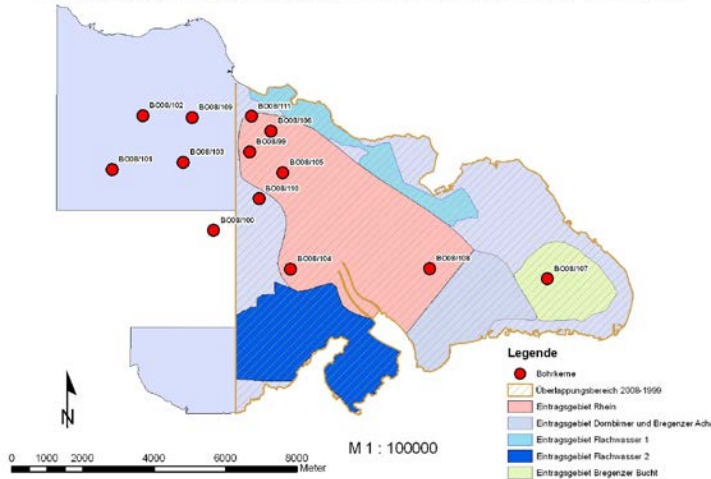


- Ablagerungen seit 1999 anhand der Sedimentkerne quantifiziert (ISF)



# Anpassung der 1999-DGM durch Sedimentkerndaten

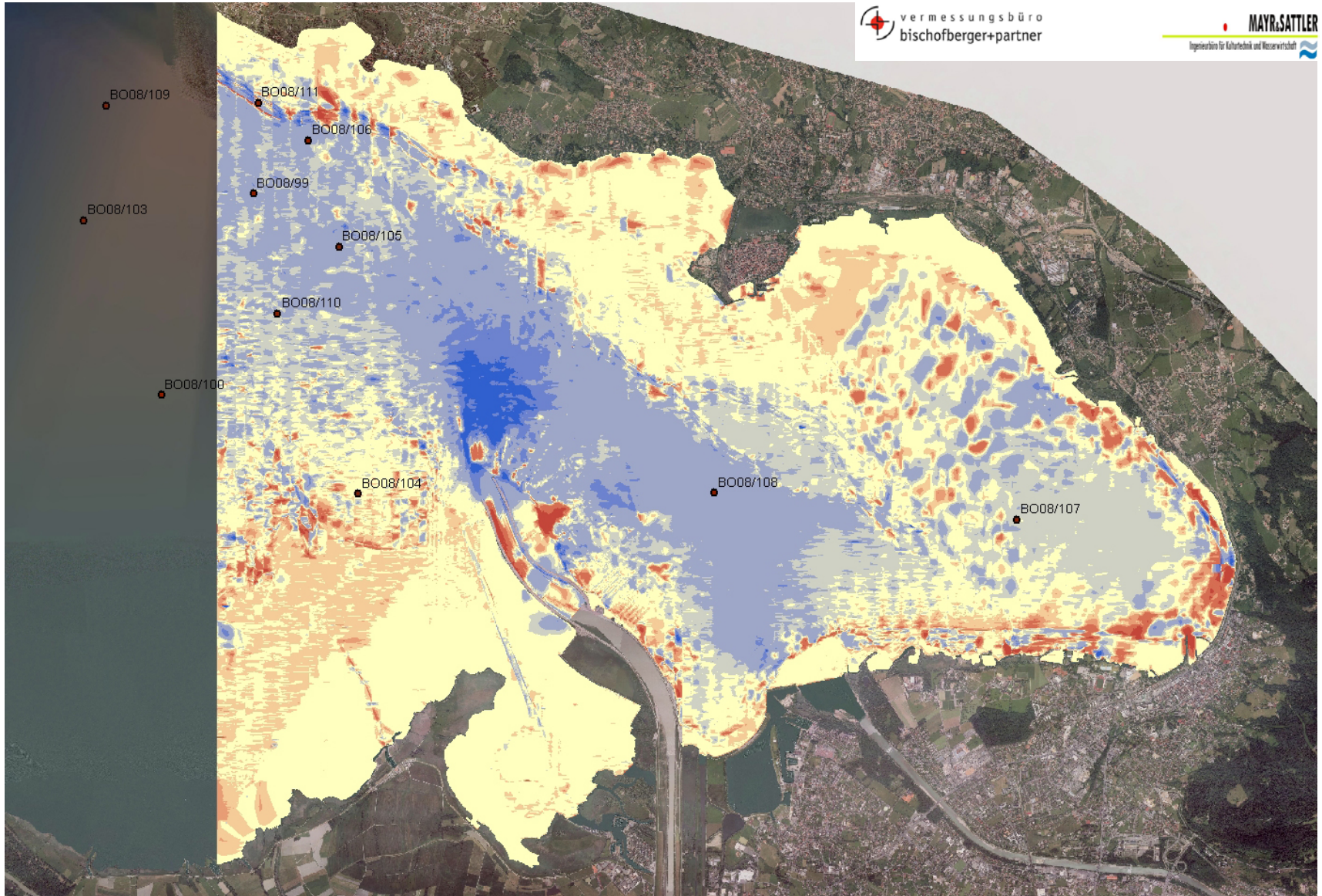
Eintragsgebiete und Bohrkern Bodenseevermessung 1999-2008



- Ablagerungen seit 1999 anhand der Sedimentkerne quantifiziert (ISF)
- Zuordnung der DGM-Niveaus 1999
- Anhebung des DGM 1999

| Statistische Auswertung des 20x20m Suchbereichs aus TIN_Raster (0,5x0,5m) |                |                   |                                |                |                   |                                | Differenz<br>2008-1999     | 1999_un-<br>ten | Abweich-<br>ungen                | Wasser-<br>tiefe | [Abw./WT] |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------|--------------------------------|----------------|-------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------|----------------------------------|------------------|-----------|
| Kern-ID                                                                   | Raster 1999    |                   |                                | Raster 2008    |                   |                                | MW 2008-<br>MW 1999<br>[m] | [m]             | Diff.-<br>1999_un-<br>ten<br>[m] | [m]              |           |
|                                                                           | Bereich<br>[m] | Mittelwert<br>[m] | Standard-<br>abweichung<br>[m] | Bereich<br>[m] | Mittelwert<br>[m] | Standard-<br>abweichung<br>[m] |                            |                 |                                  |                  |           |
| BO08/99                                                                   | 1.240          | 266.496           | 0.285                          | 0.769          | 267.690           | 0.156                          | 1.194                      | 0.295           | 0.899                            | 128              | 0.70%     |
| BO08/106                                                                  | 1.934          | 299.953           | 0.424                          | 1.666          | 301.850           | 0.367                          | 1.897                      | 0.310           | 1.587                            | 94               | 1.69%     |
| BO08/108                                                                  | 0.078          | 333.868           | 0.022                          | 0.058          | 335.313           | 0.015                          | 1.445                      | 0.680           | 0.765                            | 60               | 1.27%     |
| BO08/110                                                                  | 0.307          | 282.851           | 0.080                          | 0.194          | 284.163           | 0.028                          | 1.312                      | 0.360           | 0.952                            | 110              | 0.87%     |

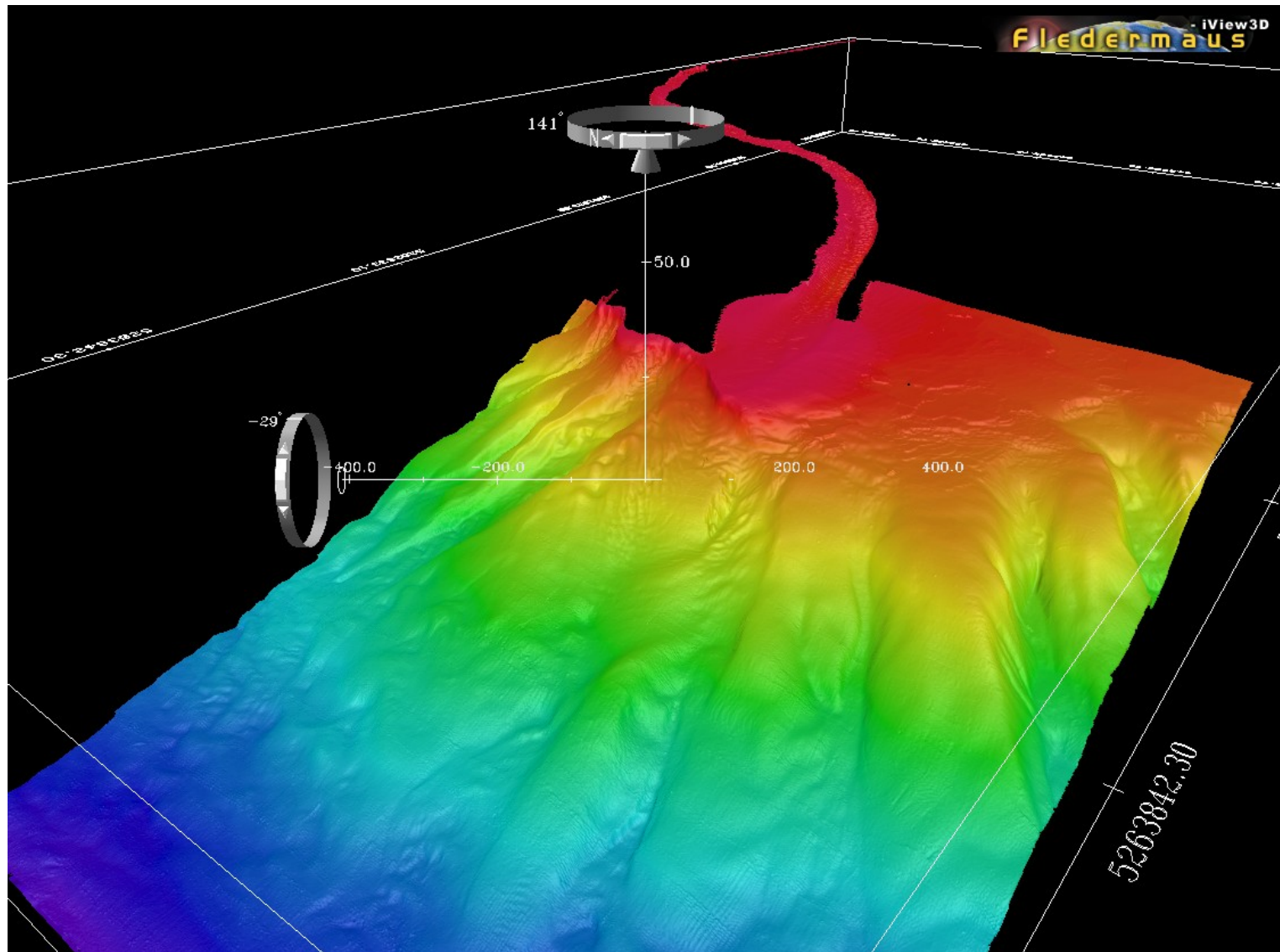
# Differenzen-DGM 2008 – 1999 aus SB



# DGM-basierte Volumenermittlung vs. Feststoffeintrag der Zubringer (Schweizer Landeshydrologie)

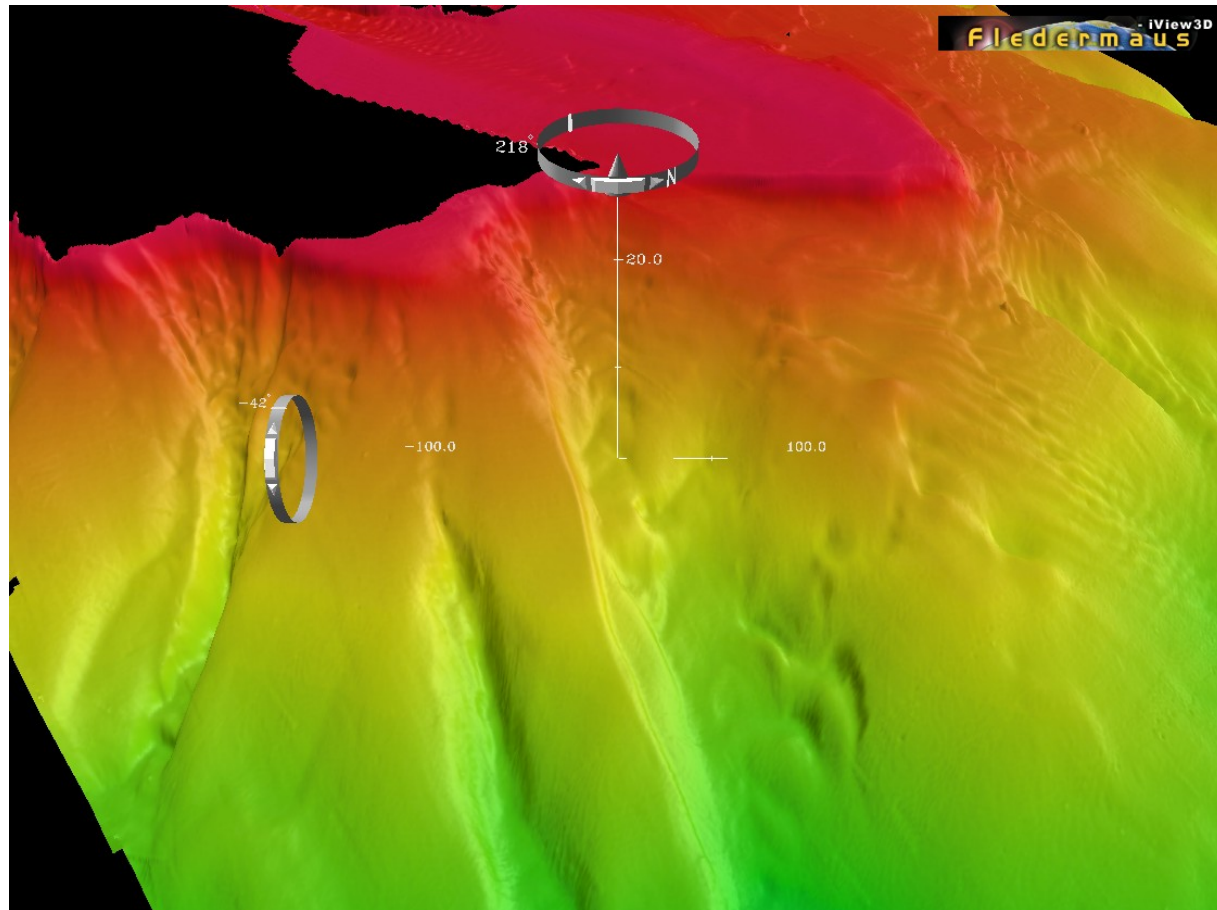
| Zeitintervall                                                                                           | 1911-<br>1921 | 1921-<br>1931 | 1931-<br>1941 | 1941-<br>1951 | 1951-<br>1961 | 1961-<br>1969 | 1969-<br>1979 | 1979-<br>1989 | 1989-<br>1999                       | 1999-<br>2008                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|
| Daten aus Seegrundaufnahmen                                                                             |               |               |               |               |               |               |               |               |                                     |                                           |
| Volumen aus Seegrundaufnahme<br>[Mio. m <sup>3</sup> ]                                                  |               |               | 35.10         | 15.80         | 36.80         | 27.60         | 36.30         | 22.30         | Rhein:<br>21.1<br>Breg.<br>Ach: 2.8 | Rhein:<br>12.939<br>B. + D. Ach:<br>2.303 |
| Baggerungen [Mio. m <sup>3</sup> ]                                                                      |               |               | 1.974         | 1.158         | 1.100         | 0.343         | 0.805         | 1.545         | 0.750                               | 1.123                                     |
| Gesamtvolumen [Mio. m <sup>3</sup> ]                                                                    |               |               | <b>35.10</b>  | <b>15.80</b>  | <b>36.80</b>  | <b>27.60</b>  | <b>36.30</b>  | <b>22.30</b>  | <b>23.90</b>                        | <b>16.37</b>                              |
| Gesamtvolumen [Mio. m <sup>3</sup> /Jahr]                                                               |               |               | <b>3.51</b>   | <b>1.58</b>   | <b>3.68</b>   | <b>3.45</b>   | <b>3.63</b>   | <b>2.23</b>   | <b>2.39</b>                         | <b>1.82</b>                               |
| Hydrologische Daten und Schwebstoffmessdaten der Messstelle Diepoldsau                                  |               |               |               |               |               |               |               |               |                                     |                                           |
| <b>Mittlerer Sedimenteintrag Rhein,<br/>Bregenzer und Dornbirner Ache<br/>[Mio. m<sup>3</sup>/Jahr]</b> | <b>2.572</b>  | <b>3.566</b>  | <b>3.428</b>  | <b>1.883</b>  | <b>3.787</b>  | <b>3.113</b>  | <b>2.861</b>  | <b>2.389</b>  | <b>2.050</b>                        | <b>1.781</b>                              |
| Tage mit Abfluss                                                                                        |               |               |               |               |               |               |               |               | 1986-<br>1998:                      |                                           |
| Q= 400-700m <sup>3</sup> /s                                                                             |               | 525           | 535           | 354           | 515           | 405           | 371           | 553           | 537                                 | 379                                       |
| Q> 700m <sup>3</sup> /s                                                                                 |               | 95            | 141           | 46            | 79            | 53            | 61            | 99            | 59                                  | 38                                        |
| Mittlere Jahreswasserfracht<br>[10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> /Jahr]                                   |               |               | 7.32          | 6.52          | 7.25          | 7.26          | 7.09          | 7.87          | 7.20                                | 7.12                                      |

# Fächerlotmessung des Rheindeltas

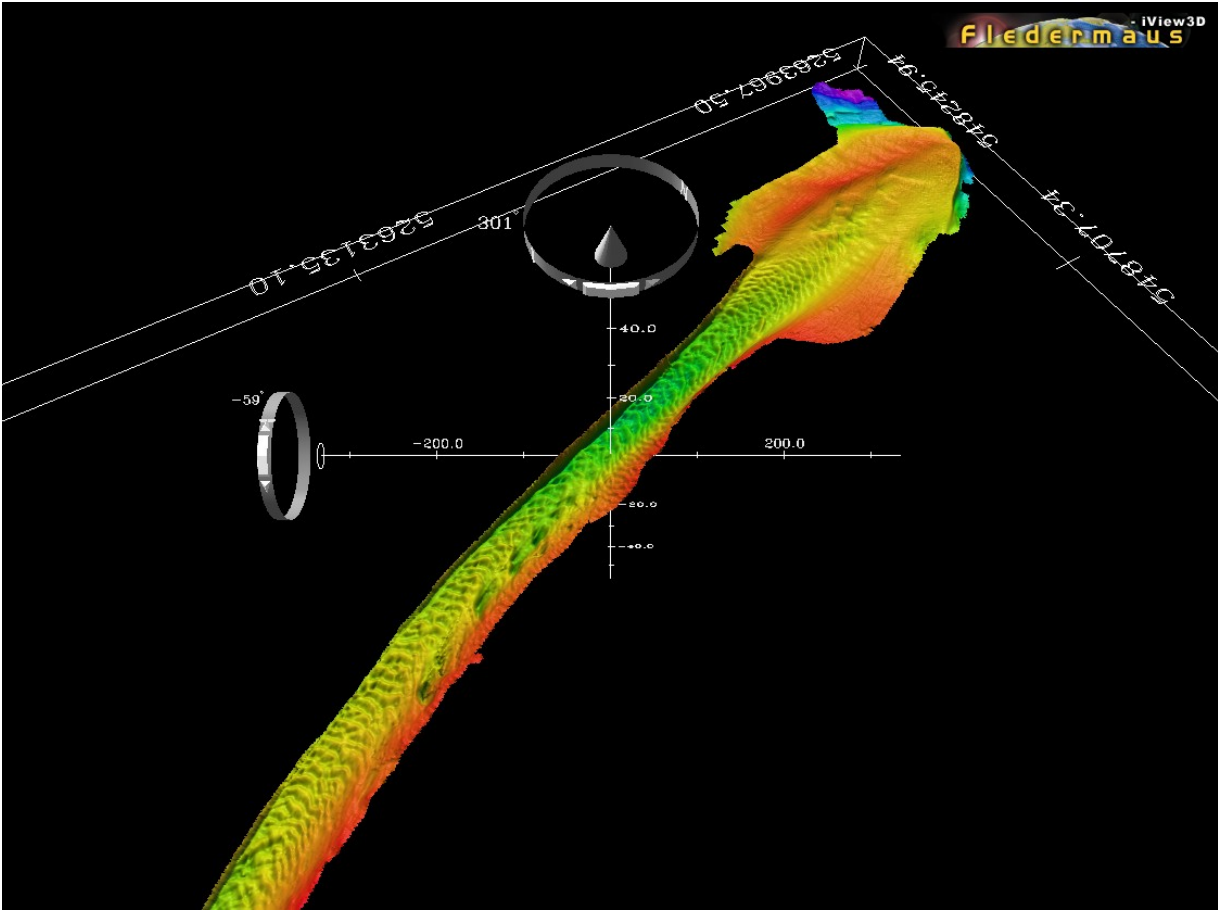




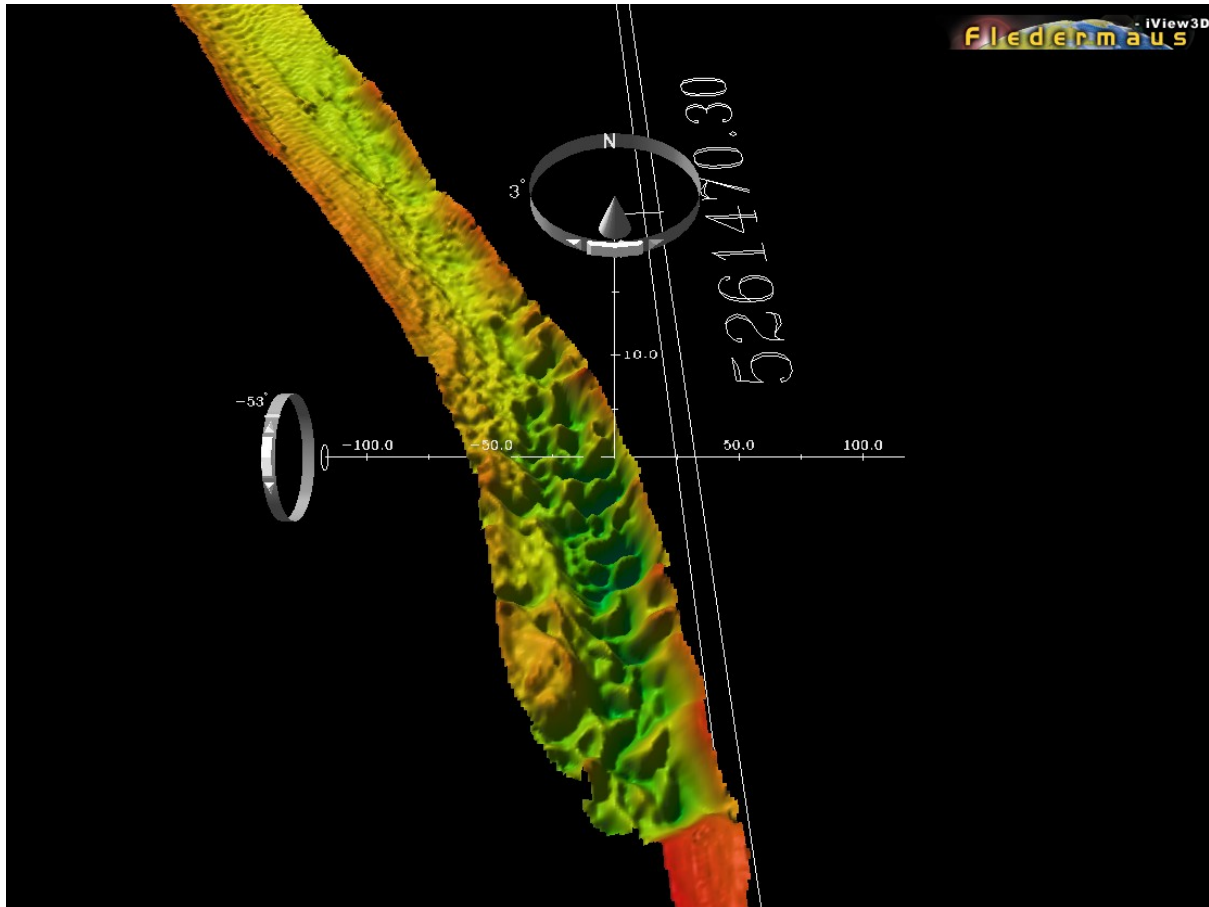
# Rheindelta\_Detail



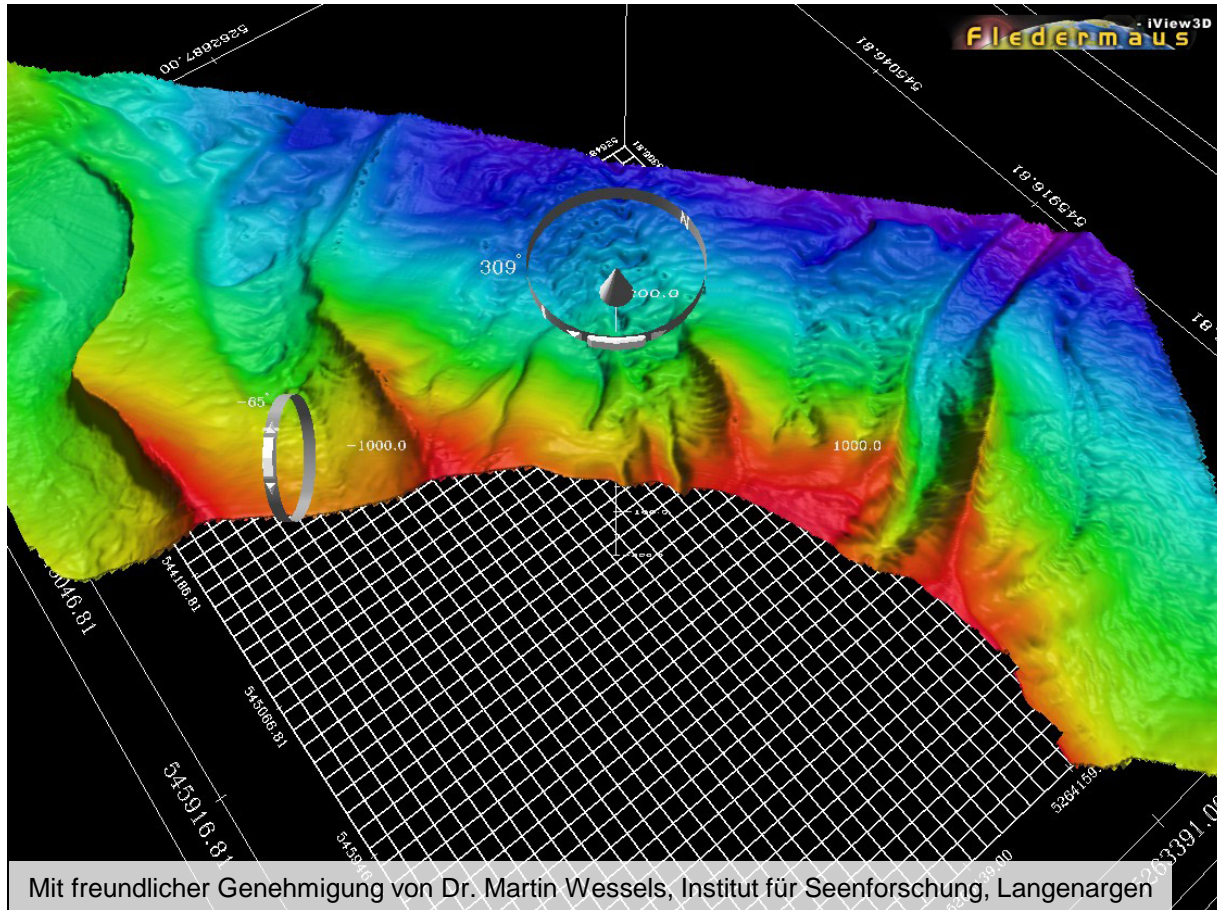
# Rhein km 93



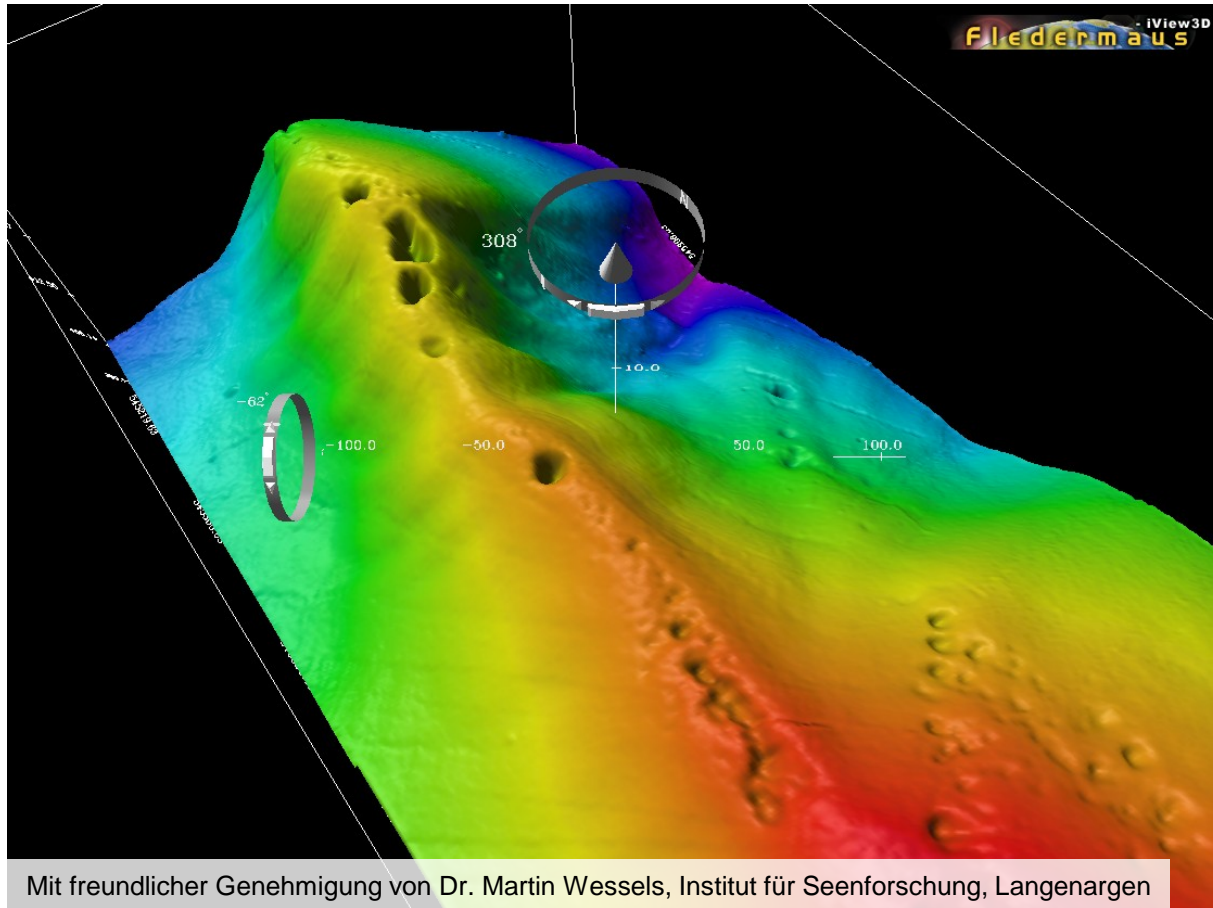
# Rhein\_Schotterentnahmestelle



# Wetterwinkel



# Wetterwinkel - Gasaustrittsöffnungen



# Resumé - Qualitätssicherung

---

- Mehrfrequenz-Single-Beam-Messung
  - Vor-Ort-Kalibrierung (Barcheck)
    - Prüfkörper (Metallplatte) bis auf 10m stufenweise absenken
  - Direkte Schallgeschwindigkeitsmessung entlang von Tiefenprofilen
    - Schallsonden
  - Kontrollprofilfahrten zu unterschiedlichen Zeitpunkten (Querprofile)
  - 2 unabhängige Messsysteme:
    - Fächerlotmessung
    - Singlebeam-Profilmessung
  - Redundanz in den Messwerten („*Stochern im Trüben*“)
    - Überdeckung
    - Modellverbiegung / „Refraktion“

# Resumé – Qualitätssicherung (2)

... und noch vieles mehr gebe es zu beachten

Bewußtseinsbildung bei Verantwortlichen und Durchführenden

durch

1. Universitäre Ausbildung
2. post graduate Weiterbildung



Kontakt:  
Dr. Erwin Heine