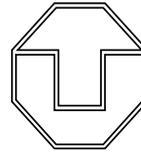


# Höhenänderungen im Küstenbereich der Ostsee

A. Richter, R. Dietrich, J. Wendt

Institut für Planetare Geodäsie



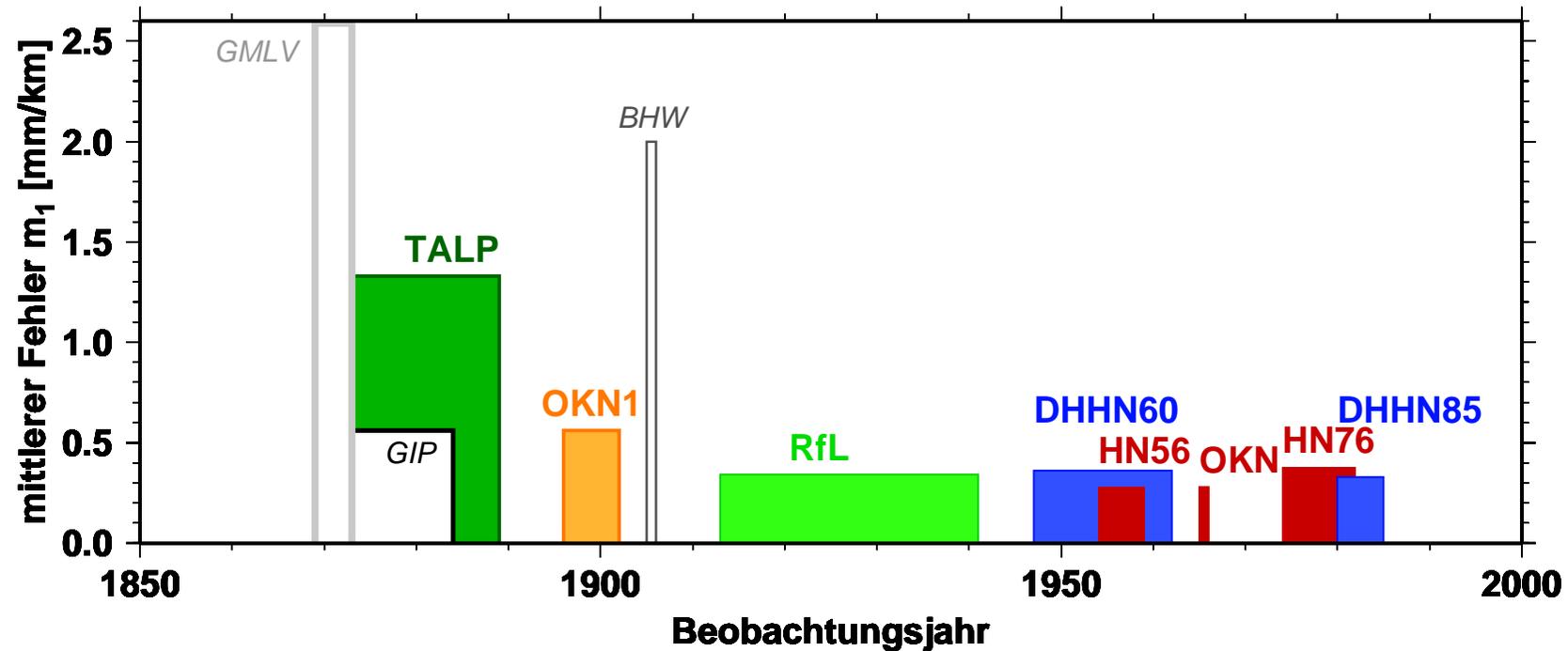
**9. KFKI Seminar  
Bremerhaven, 3. November 2004**

Förderkennzeichen: 03KIS022  
Projektlaufzeit: 05/2001 – 04/2004

## *Höhenänderungen im Küstenbereich der Ostsee*

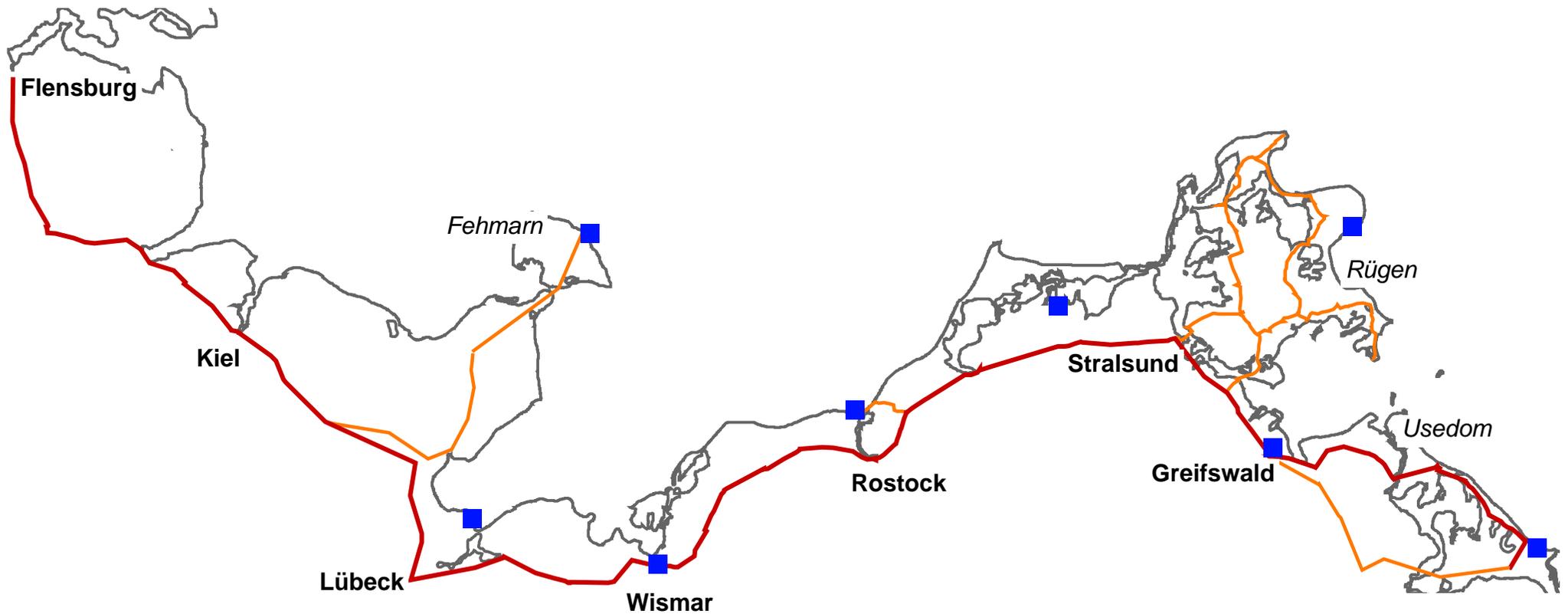
- Ziele:**
- Erfassung, Separierung und Interpretation von relativen Höhenänderungen an der Ostseeküste
  - Beitrag zur Verifizierung naturwissenschaftlich-technischer Grundlagen für Festlegung von Bemessungswasserständen
- Aufgaben:**
- Erschließung und Aufbereitung (historischer) Nivellementsdaten
  - Bestimmung und Separierung relativer Höhenänderungen aus Nivellements
  - Bewertung und Genauigkeitsanalyse
  - Gemeinsame Interpretation mit Ergebnissen von Pegelreihen
  - Einbettung in größere räumliche und zeitliche Skalen

# Überblick Nivellementsepochen



<b>GMLV</b>	1869–1873	Großherzoglich Mecklenburgische Landesvermessung
<b>TALP</b>	1869–1889	Trigonometrische Abteilung der Landesaufnahme Preußens
<b>GIP</b>	1869–1884	Gradmessungsnivellements des Geodätischen Instituts Potsdam
<b>OKN1</b>	1896–1901	Ostseeküstennivellement (TALP)
<b>BHW</b>	1906	Büro für Hauptnivellements und Wasserstandsbeobachtungen
<b>RfLA</b>	1913–1941	Trigonometrische Abteilung des Reichsamtes für Landesaufnahme
<b>HN56</b>	1954–1959	Staatliches Nivellementsnetz der DDR
<b>DHHN 60</b>	1947–1962	Nivellementnetz 60
<b>OKN2</b>	1966	Ostseeküstennivellement (DDR)
<b>HN76</b>	1974–1982	Staatliches Nivellementsnetz der DDR
<b>DHHN 85</b>	1980–1985	Deutsches Haupthöhennetz 85

# Verlauf Nivellementslinien



— Hauptlinie Zirchow-Flensburg    — Nebenlinie    ■ Pegelstation

- Hauptuntersuchungsobjekt: küstennahe Nivellementsline Flensburg (W) – Zirchow (E)
- Nebenlinien für:
  - Bestimmung Nord-Süd-Gradienten
  - Anschluss an Pegelmessungen

## Inhomogenität des Datenmaterials

Epoche	Beobachtungs- verfahren	Berücksichtigung Korrekturen		Festlegungen der Höhensysteme		
	Mess- genauigkeit ( $m_1$ )	Konvergenz Niveaulflächen	Schwere- anomalien	Meter	Höhensystem Höhensystem	Bezugs- pegel
<b>GMLV</b>	2.59 mm/km	nein	nein	legaler	–	Wismar, Amst.
<b>TALP</b>	1.33 mm/km	nein	nein	legaler	–	Neuf., Amst.
<b>GIP</b>	0.56 mm/km	nein	nein	legaler	–	Amsterdam
<b>OKN1</b>	0.58 mm/km	ja	nein	intern.	normalorth.	Amsterdam
<b>RfLA</b>	0.34 mm/km	ja	nein	intern.	normalorth.	Amsterdam
<b>HN56</b>	0.28 mm/km	ja	ja	intern.	Normalhöhen	Kronstadt
<b>DHHN60</b>	0.36 mm/km	ja	ja	intern.	normalorth.	Amsterdam
<b>HN76</b>	0.38 mm/km	ja	ja	intern.	Normalhöhen	Kronstadt
<b>DHHN85</b>	0.33 mm/km	ja	ja	intern.	normalorth.	Amsterdam

# Aufbau Datenbank

## Methodik

Grundlage Auswertung: gemessene (unkorrigierte) Höhenunterschiede  
Messelemente-Dateien (epochen- / linienweise)  
Punktinformations-Dateien (linienweise)

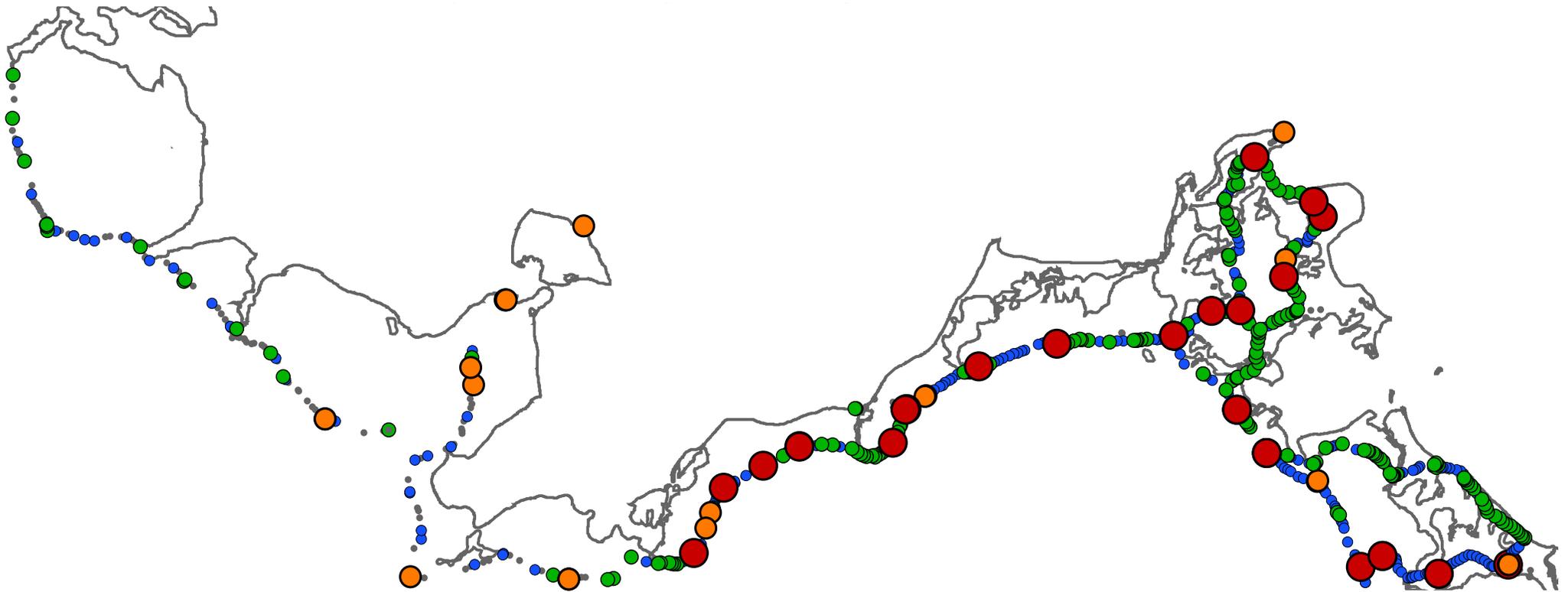
## Arbeitsschritte

Ergänzung, Systematisierung, Auswahl Datengrundlage  
Digitale Erfassung Originaldaten, Plausibilitätskontrolle  
Datenstrukturierung, -homogenisierung, Identifizierung homologer Punkte  
ggf. Übergang Punkthöhen → Höhenunterschiede

## Umfang Datenbasis

Anzahl Messpunkte:	1940
Anzahl Messepochen:	6
Zeitraum:	1869 – 1992
Anzahl Linien:	5
Linienlänge:	1383 km

## Anzahl Messepochen identischer Punkte



• 2 Epochen

• 3 Epochen

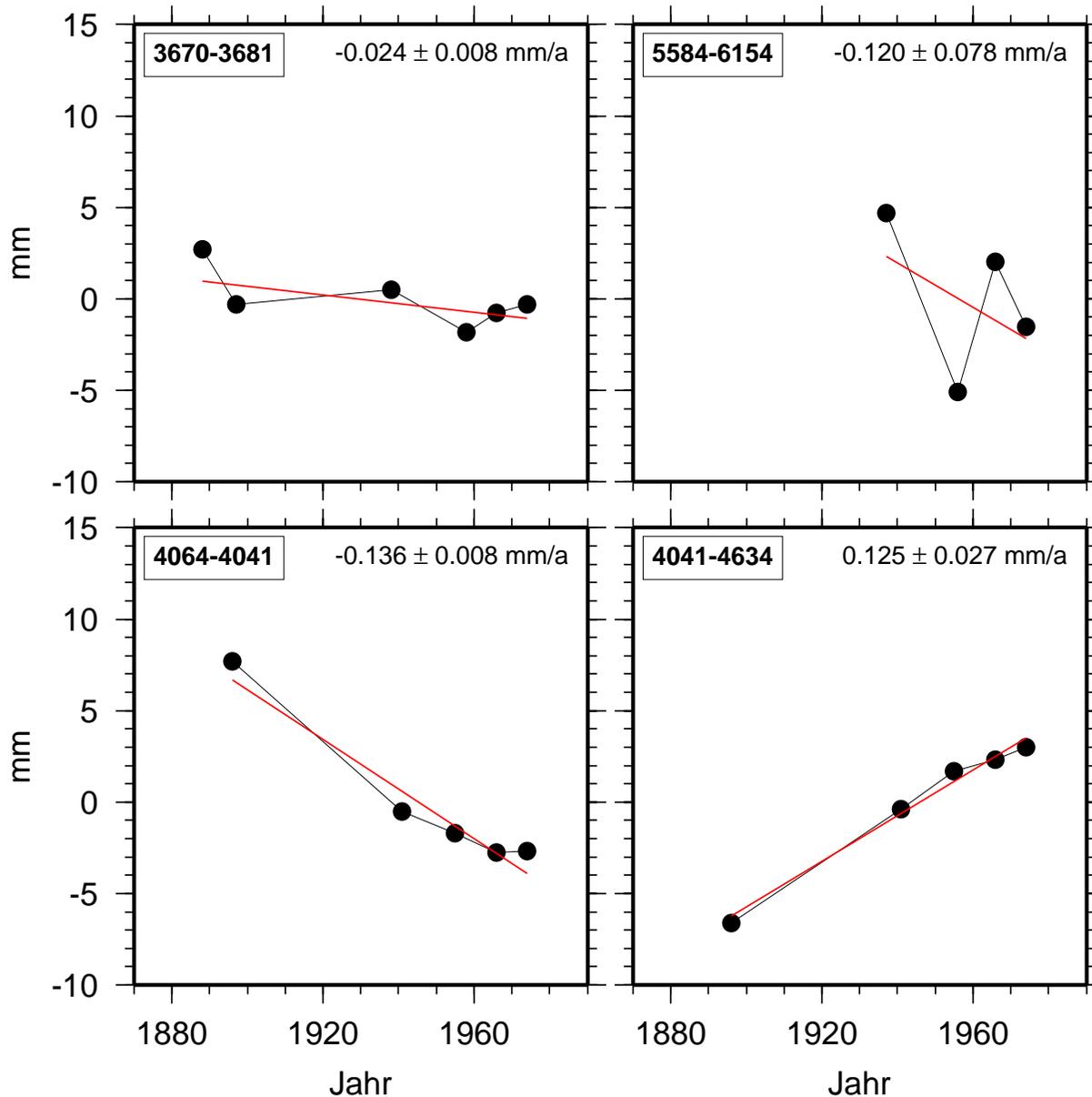
• 4 Epochen

• 5 Epochen

• 6 Epochen

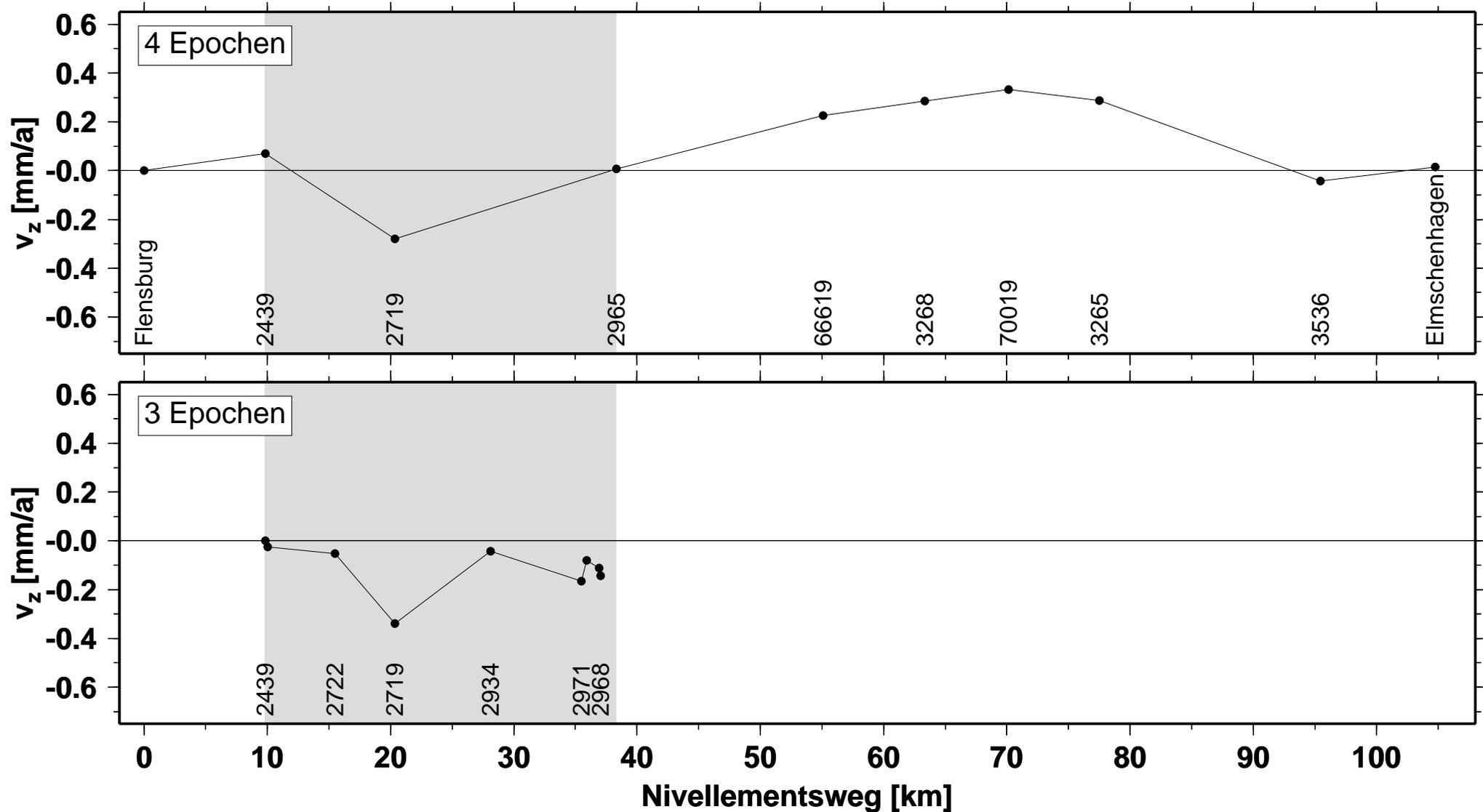
- Anzahl Messepochen für wiederholt eingemessene Festpunkte
- Deutliche Inhomogenitäten Datengrundlage
- Geringe Dichte in Schleswig-Holstein infolge veränderter Linienführung

# Auswertung – Relative Höhenunterschiede und zeitliche Änderung



- Höhenunterschiede zwischen benachbarten Messpunkten betrachtet
- Analyse der zeitlichen Änderung der Höhenunterschiede
- Bestimmung von relativen Höhenänderungsraten als linearen Trend

# Auswertung – Relative Höhenänderungsraten und räumliche Variationen



## Detektion Eigenbewegungen / lokale Senkungen

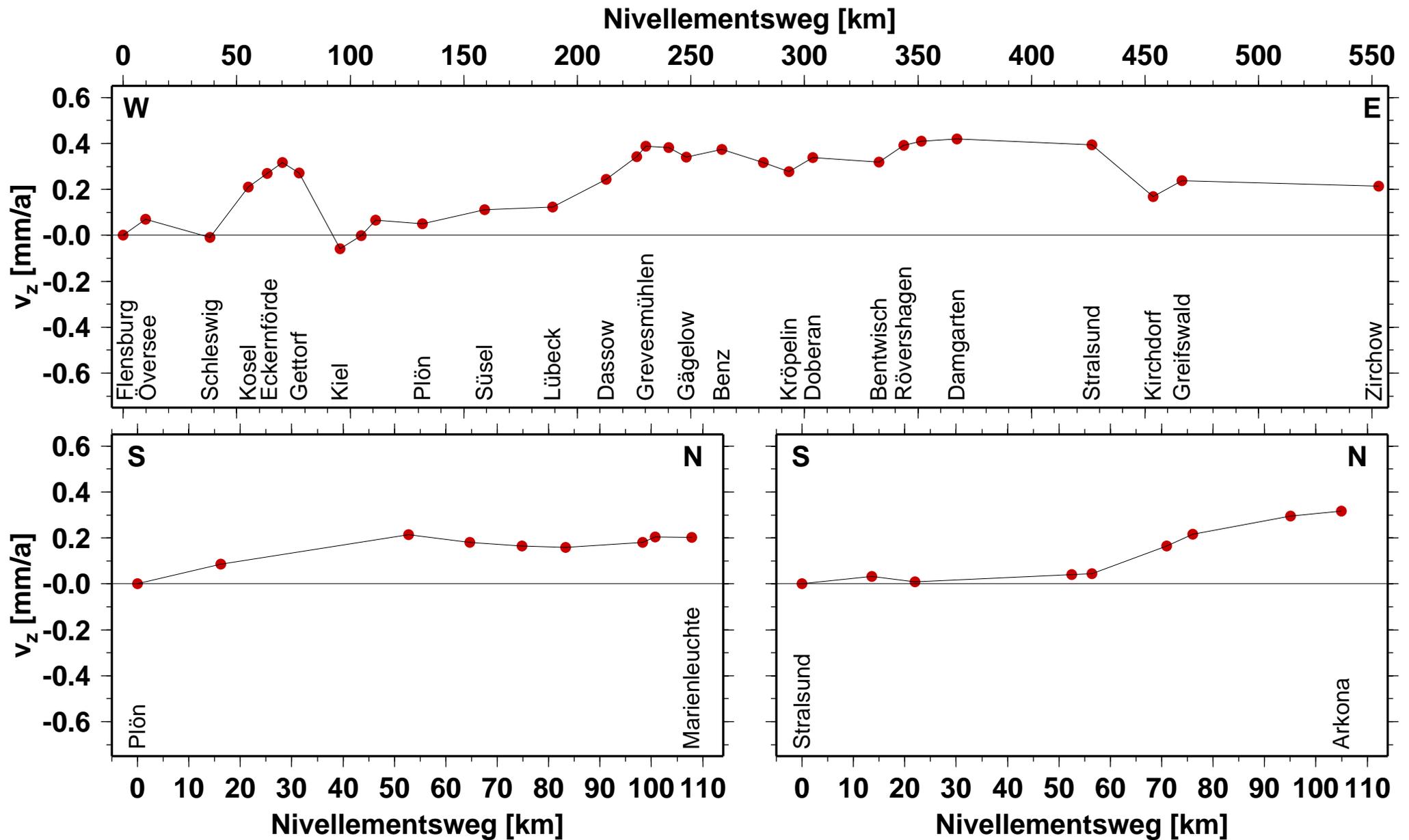


● Eigenbewegung (sinkender Einzelpunkt)

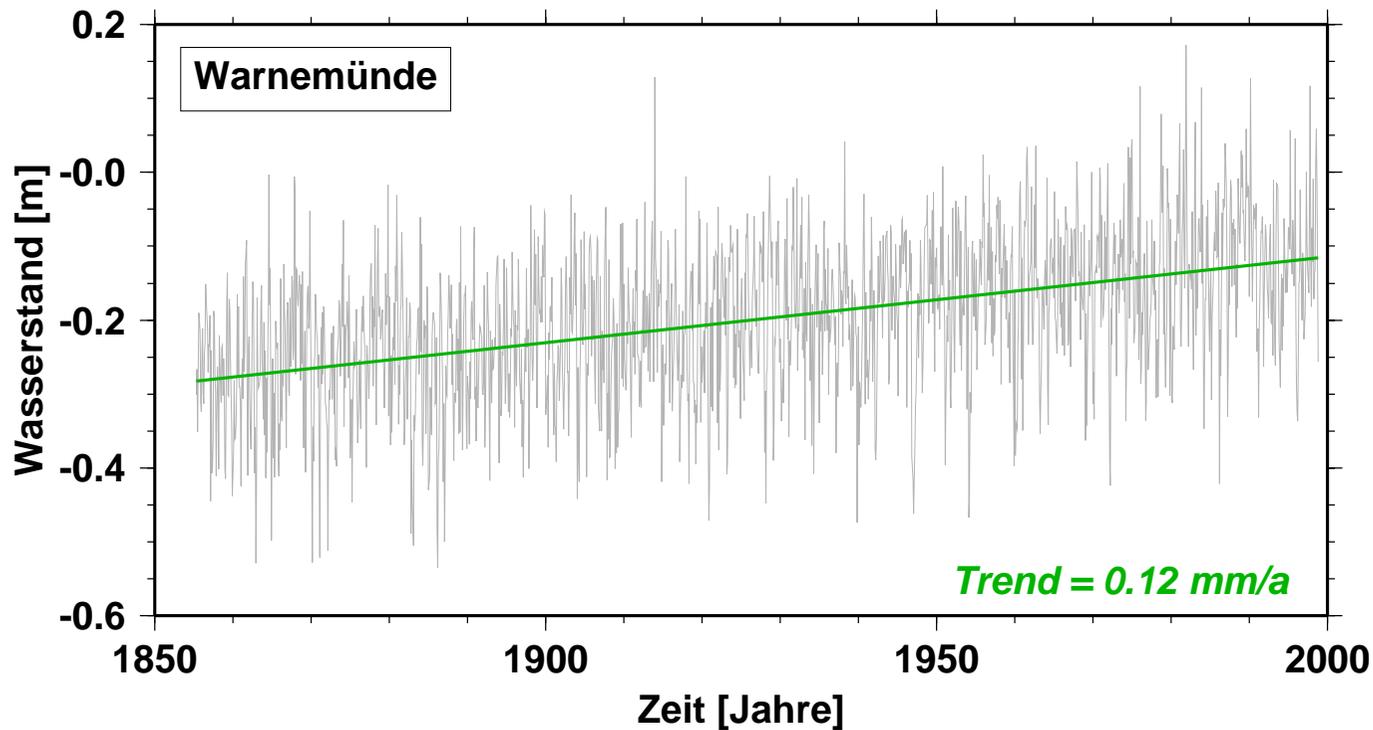
● lokale Senkung

- Absinken einzelner Festpunkte (kompakter Punktgruppen) gegenüber Umgebung → Senkung des Vermarkungsträgers (lokales Senkungsgebiet)
- ⇒ Nicht repräsentativ für Krustenbewegung → Ausschluss von weiterer Untersuchung
- Hohe Konzentration sinkender Punkte im Osten Folge inhomogener Datendichte

# Ergebnisse Auswertung Nivellements – Trendprofile



# Langzeitpegelreihen: Aufbereitung und Analyse

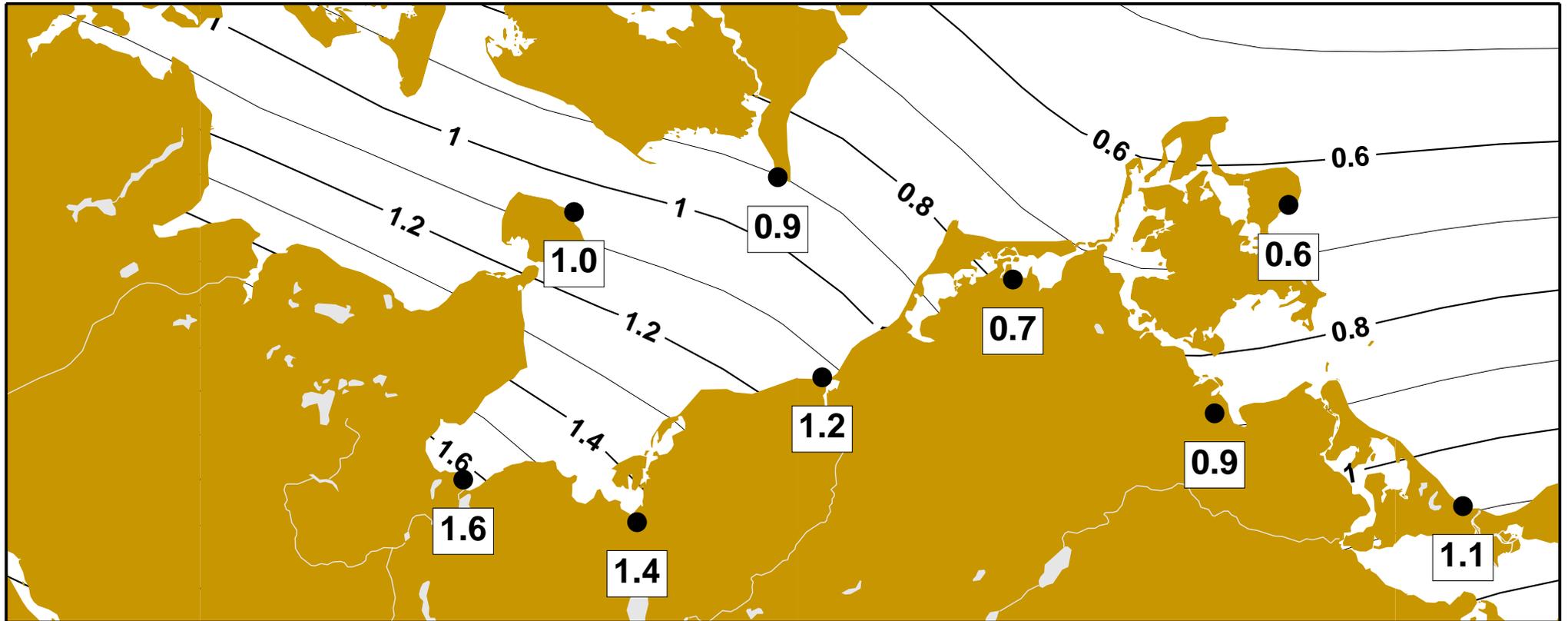


Wismar  
Warnemünde  
Barth  
Saßnitz  
Greifswald  
Swinoujście  
Kolobrzeg  
Marienleuchte  
Travemünde

- Pegelmessungen an der südlichen Ostseeküste seit 1811
- Monatsmittel der Wasserstände (z.T. aus historischen Originalaufzeichnungen)
- Rekonstruktion Pegelnullpunktslage auf Grundlage Pegelkontrollnivelements
- Reduktion Wasserstände auf einheitlichen Höhenbezug

⇒ Homogene Langzeitpegelreihen ⇒ Ableitung säkularer Niveauverschiebungen Meeresspiegel–Küste

## Langzeitpegelreihen: Relativer Meeresspiegelanstieg



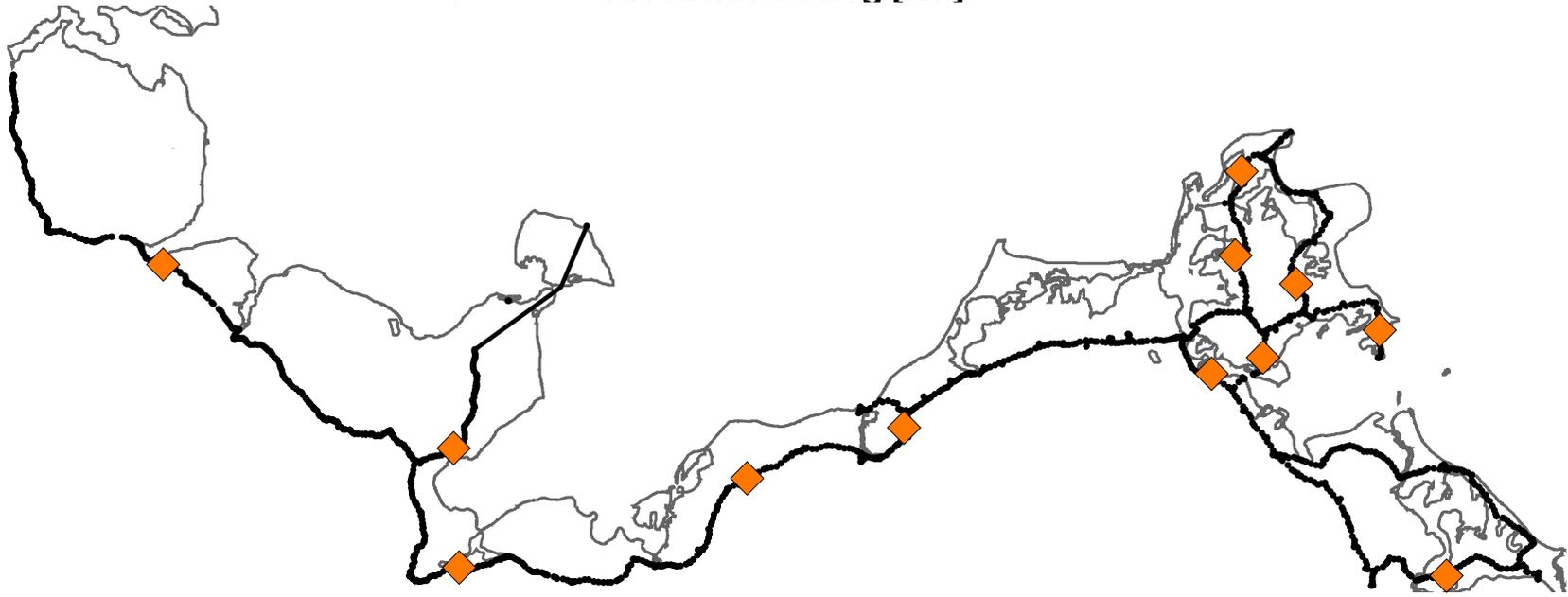
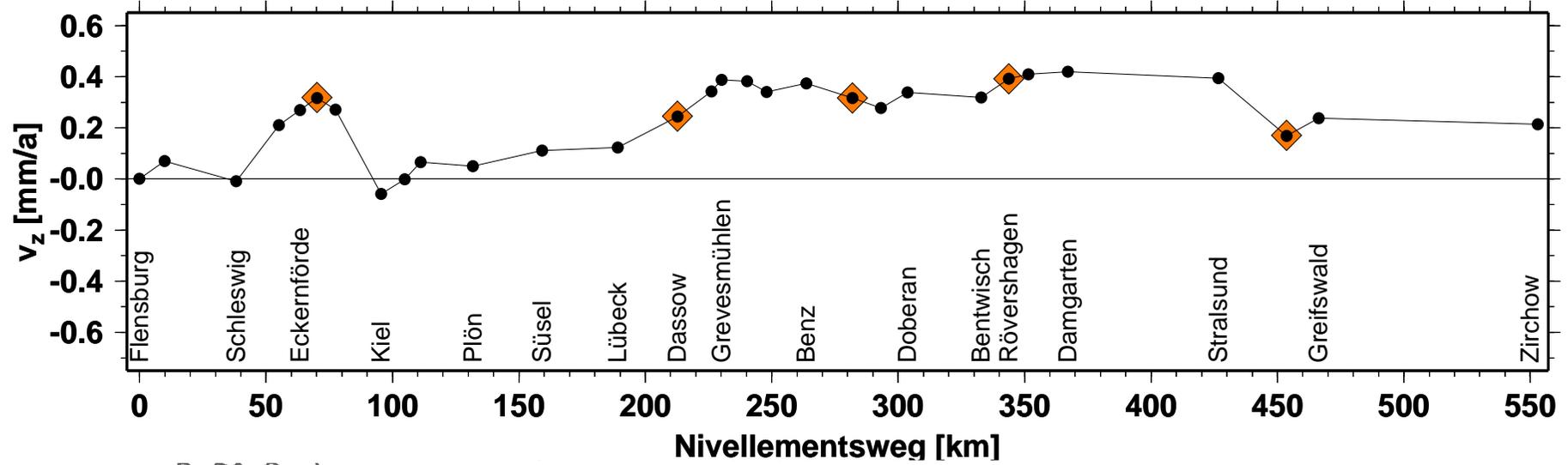
- Räumliche Variation des säkularen relativen Meeresspiegelanstiegs in der südlichen Ostsee, ermittelt aus homogenen Pegelreihen  
Einheit: mm/a

## Bewertung der Ergebnisse: Vergleich Nivellement – Pegel

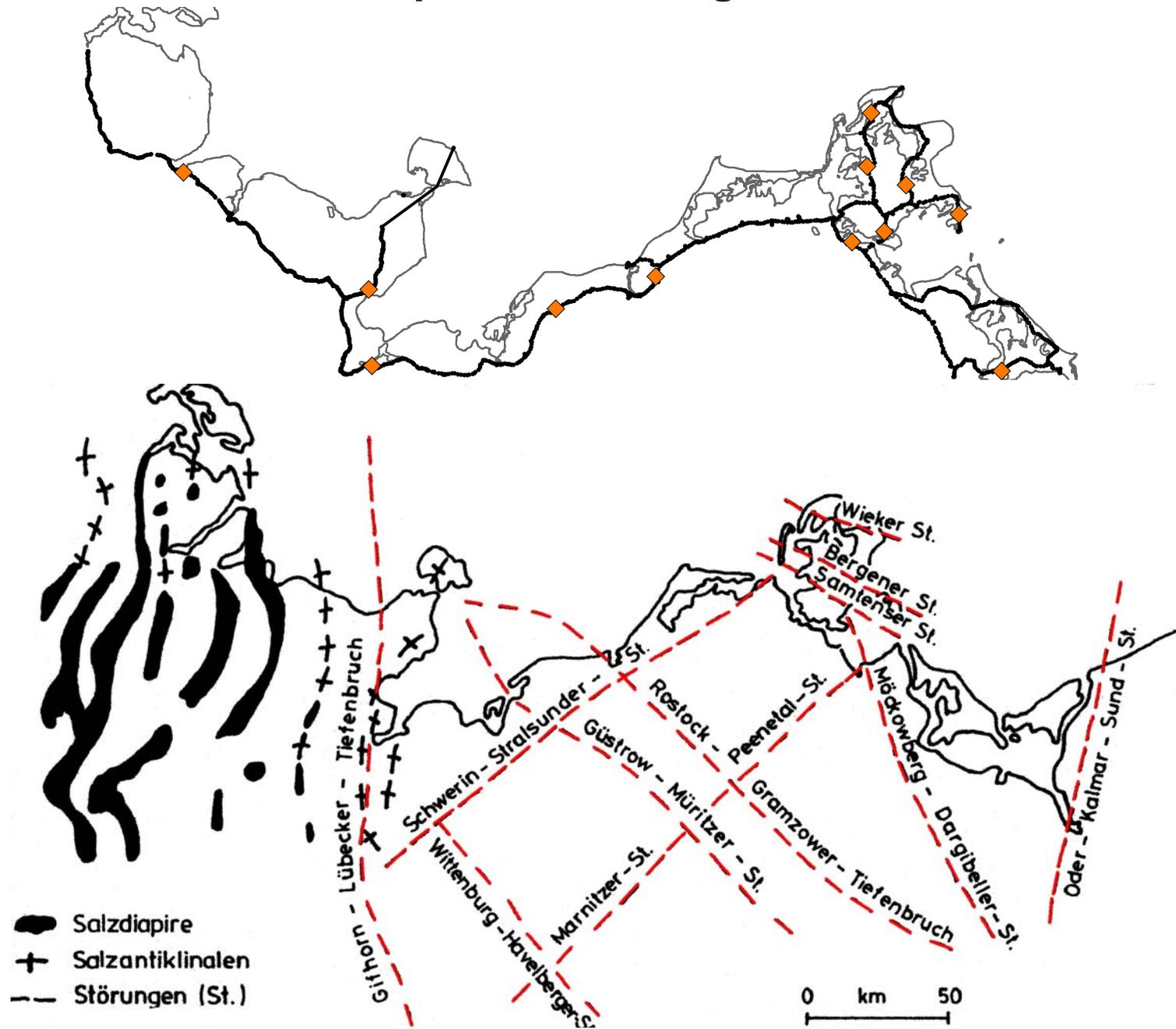
zwischen Pegelstationen		Änderungsrate [mm/a]: relativer Meeresspiegel (Pegel)	Höhenunterschiede (Nivellement)	Differenz Pegel – Nivellement
Wismar	Warnemünde	+ 0.25	+ 0.02	0.2
Warnemünde	Greifswald	+ 0.30	– 0.15	0.5
Greifswald	Saßnitz	+ 0.22	+ 0.24	0.0

- Verifizierung und Genauigkeitsabschätzung der Nivellementsergebnisse
- Nivellements und Pegel konsistent innerhalb  $\approx 0.5$  mm/a auf  $> 100$  km
- Höhere Genauigkeit über kürzere Entfernungen zu erwarten

# Interpretation – Räumliches Muster relativer Höhenänderungen



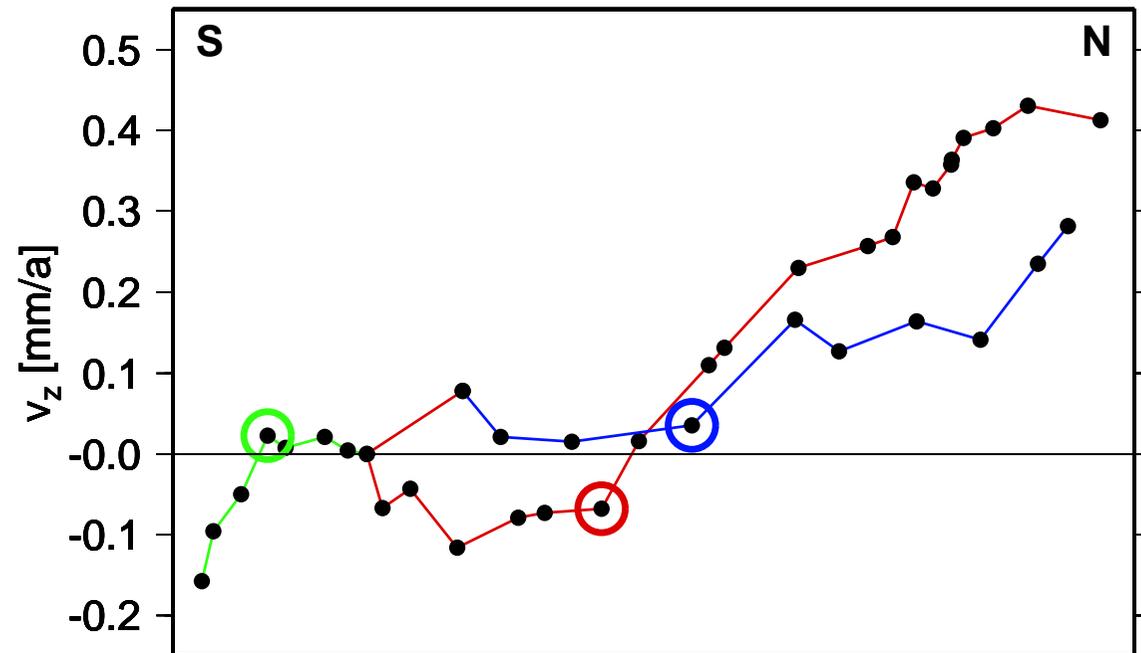
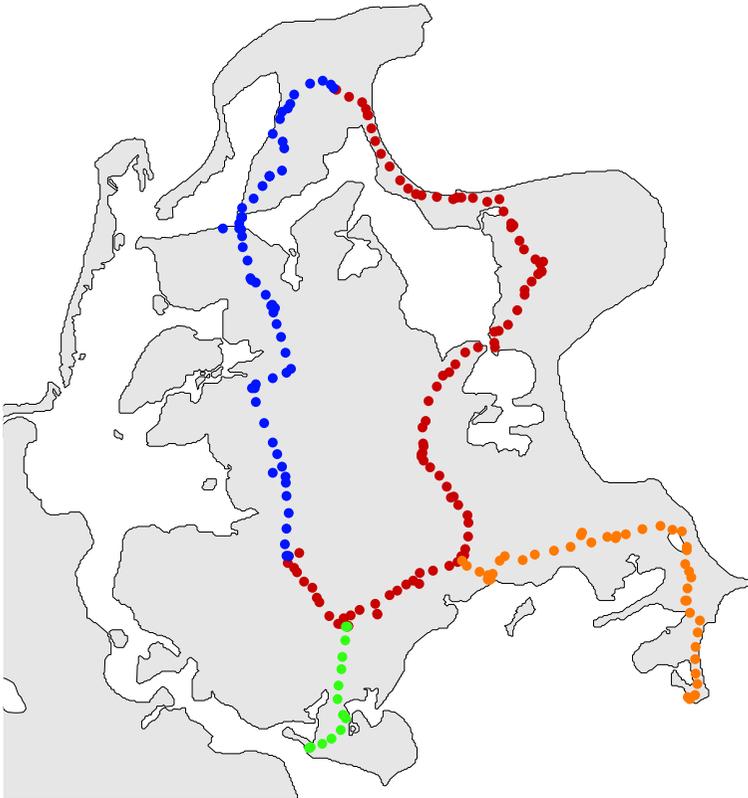
# Interpretation – Vergleich mit tektonischer Situation



# Interpretation – Detailstudie Rügen

## Motivation:

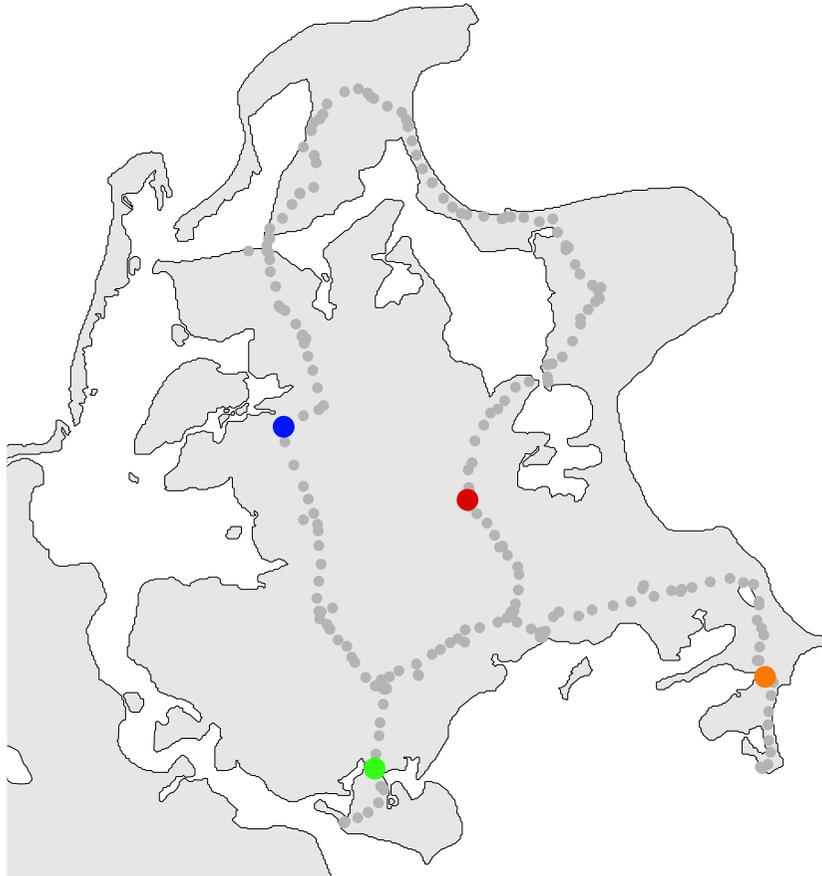
- Detektion engräumiger Höhenänderungen auf Rügen
- Gute Datengrundlage: 6 Epochen, hohe Liniendichte
- Aufgrund N–S-Ausrichtung signifikante Signale zu erwarten



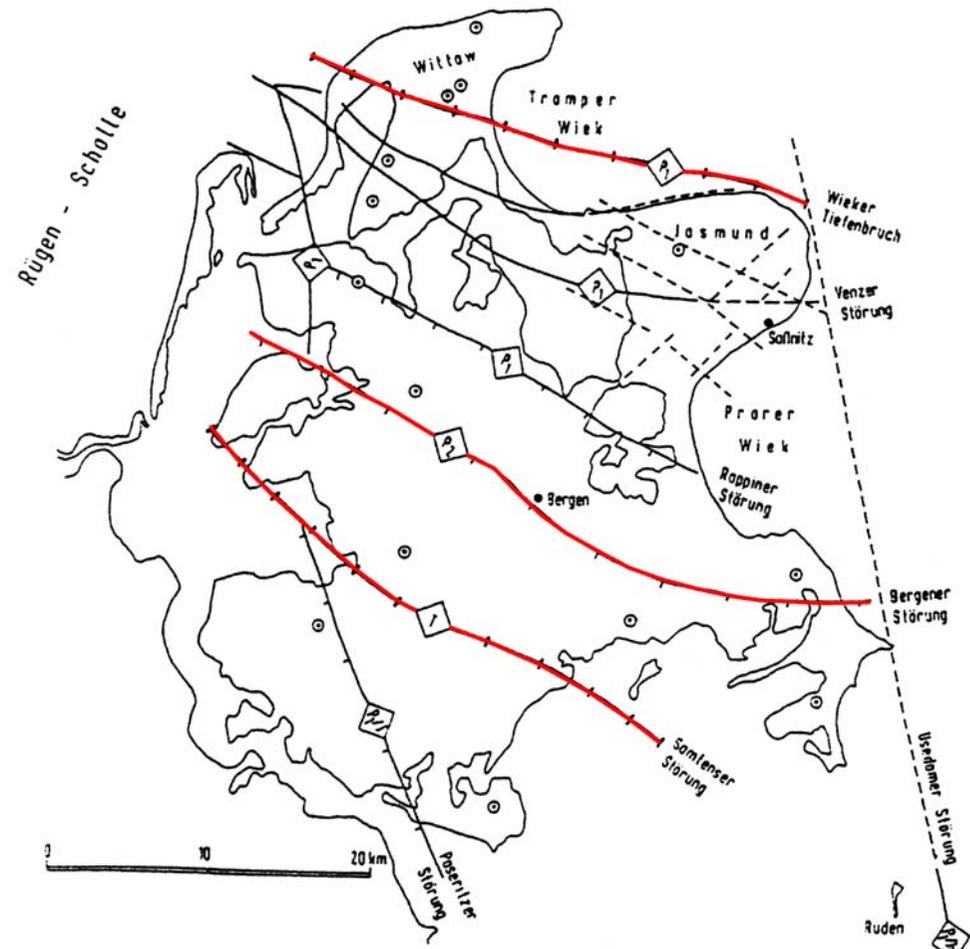
Untersuchte Nivellementslinien auf Rügen.

**Ergebnisse:** Nord-Süd-Profile relativer Höhenänderungsraten, Detektion auffälliger Wechsel im Hebungsverhalten.

# Interpretation – Detailstudie Rügen



Lokalisierung der detektierten Trendwechsel.



Tektonische Situation (nach Münzberger et al., 1993).

- **Lage der Trendwechsel koinzidiert mit Verlauf der Bergener Störung!**
- **Lokales Absinken der Halbinsel Zudar, sowie Südspitzen der Halbinseln Wittow und Bug**  
⇒ **Beschleunigter relativer Meeresspiegelanstieg an diesen Küstenabschnitten!**

## Zusammenfassung

- Wiederholte Nivellements sowie Langzeitpegelbeobachtungen genutzt, um rezente relative Höhenänderungen im Küstenbereich der Ostsee abzuleiten
- Messdaten von 6 historischen und aktuellen Nivellements erstmals in einer gemeinsamen Datenbank zusammengeführt und einheitlich ausgewertet
- Potential der für Ostseeküste vorliegenden Präzisionsnivellements ausgeschöpft
- Ergebnisse für relative Höhenänderungen aus Nivellements und Pegelreihen innerhalb  $\approx 0.5 \text{ mm/a}$  konsistent für Entfernungen  $> 100 \text{ km}$
- Relative Höhenänderungsraten entlang der Ostseeküste übersteigen  $1 \text{ mm/a}$  nicht
- Weiträumiges Bild der Höhenänderungen im südlichen Ostseeraum gekennzeichnet durch dominanten N–S-Gradienten, Übereinstimmung mit Muster der postglazialen Landhebung Fennoskandiens
- Engräumige Variationen in Höhenänderungsraten stimmen mit tektonischen Strukturen überein
- Lokal beschleunigtes Absinken begrenzter Küstenabschnitte nachgewiesen

# Ausblick

- Bisherige Ergebnisse: lediglich **relative** Höhenänderungen
- Bedarf: **absolute**, d.h. auf globales geozentrisches Bezugssystem bezogene Änderungsraten
- Bestimmung absoluter Krustenhebung erlaubt Quantifizierung absoluter Meeresspiegeländerungen
- Geeignetes Verfahren hierzu: permanente GPS-Beobachtungen

