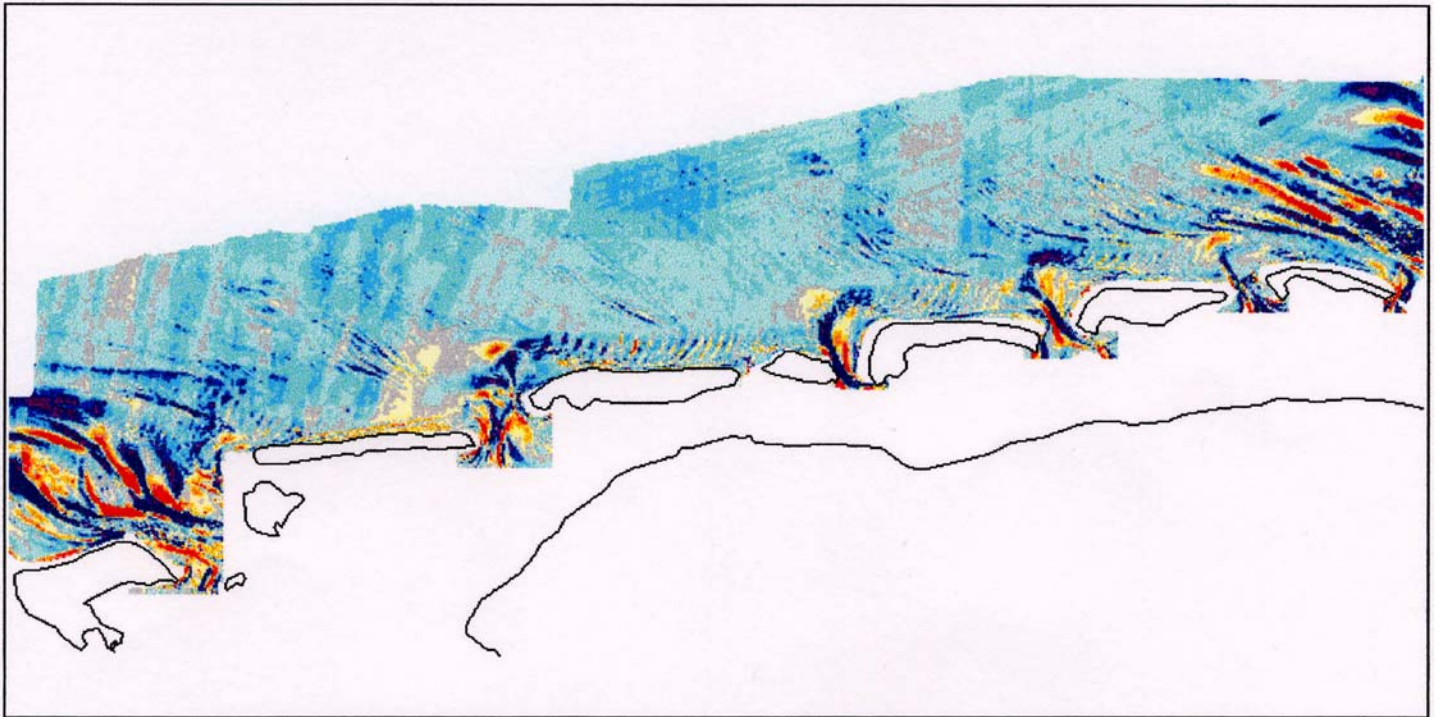




Niedersächsisches
Landesamt für
Ökologie



Peter Hüttemeyer, Annegret Koopmann, Hans Kunz, Maike Puschmann

**KFKI Forschungsvorhaben
Morphologische Gestaltungsvorgänge im Küstenvorfeld
der Deutschen Bucht**

**Datendokumentation und Untersuchungen
zur Verwendung von Seevermessungen des
DHI/BSH für morphologische Fragestellungen
Abschlussbericht 1999 (03KIS308)**

Herausgeber:

Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (NLÖ)
- Forschungsstelle Küste-
1999

Bezug:

NLÖ - Forschungsstelle Küste
An der Mühle 5, 26548 Norderney
Tel.: 04932-916-0
Fax: 04932-1394
e-mail: info.crs @ t-online.de

**BUNDESMINISTERIUM
FÜR BILDUNG, WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND TECHNOLOGIE
-Meerestechnik und Küsteningenieurwesen-**

**FORSCHUNGSVORHABEN
MORPHOLOGISCHE GESTALTUNGSVORGÄNGE IM KÜSTENVORFELD
DER DEUTSCHEN BUCHT**

Abschlussbericht

von

P. Hüttemeyer, A. Koopmann, H. Kunz & M. Puschmann

**NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE
-Forschungsstelle Küste-**

**Abschlussbericht zum KFKI-Forschungsvorhaben
„Morphologische Gestaltungsvorgänge im Küstenvorfeld der Deutschen Bucht“ (FKZ 03KIS308)**

April 2001

Hüttemeyer, P., A. Koopmann, H. Kunz & M. Puschmann (1999): KFKI Forschungsvorhaben „Morphologische Gestaltungsvorgänge im Küstenvorfeld der Deutschen Bucht“ (03KIS308), Abschlussbericht 1999, Datendokumentation und Untersuchungen zur Verwendung von Seevermessungen des DHI/BSH für morphologische Fragestellungen			
Dienstber. Forschungsstelle Küste 18/1999	unveröfftl.	105 S., 58 Abb.	Norderney

KFKI Forschungsvorhaben „Morphologische Gestaltungsvorgänge im Küstenvorfeld der Deutschen Bucht“ (03KIS308), Abschlussbericht 1999

Datendokumentation und Untersuchungen zur Verwendung von Seevermessungen des DHI/BSH für morphologische Fragestellungen

Peter Hüttemeyer, Annegret Koopmann, Hans Kunz und Maike Puschmann

Inhalt

Abbildungsverzeichnis
Tabellenverzeichnis
Verzeichnis der Anlagen
Abkürzungsverzeichnis

KURZFASSUNG, ABSTRACT	9
1. ZIELSETZUNG, VORBEMERKUNG	10
2. DATENGRUNDLAGEN UND VERARBEITUNG	11
2.1 Dokumentation der zur Verfügung stehenden Vermessungen	11
Daten vor 1945	11
Daten nach 1945	12
Zur Datenauswahl	12
1945 bis 1973	12
1974 bis 1997	12
Dokumentation: Blattschnitte, Übersichtskarten, Vermessungsaufgaben	15
2.2 Dokumentation der verwendeten Vermessungstechniken	15
Verfahren der Positionsbestimmung	16
Vermessungsschiffe und eingesetzte Echolote	16
2.3 Datenerhebung: Verarbeitung der Lotergebinisse bis zur Arbeitskarte	18
Tiefenbestimmung am Echolotstreifen	18
Beschickungsverfahren	20
2.4 Datenverarbeitung und Berechnung digitaler Geländemodelle	21
Digitalisierung (Arbeitskarten 1950 bis 1973)	21
Import des digitalen Datensatzes (seit 1974)	21
Berücksichtigung der zeitlichen SKN Veränderung	21
SKN/NN Umrechnung	21
Umrechnung auf den 3. Streifen im Gauß-Krüger-Koordinatensystem	22
Einteilung in Arbeitsgebiete	24
Erstellung digitaler Geländemodelle (DGM)	24

3. ABBILDUNG DES SEEGRUNDES DURCH SEEVERMESSUNGSDATEN	26
3.1 Beispiele für Vermessungsungenauigkeiten	26
3.1.1 Vermessungen im Juister Küstenvorfeld	26
Messfahrten zu unterschiedlichen Tidephasen (Beispiel Juist 1995)	27
Profile	27
Tiefendifferenzen und Sedimentbilanz	34
3.1.2 Vermessungen im Norderneyer und Langeooger Küstenvorfeld.....	34
Tiefendifferenzen und Sedimentbilanz	34
3.1.3 Vermessungen im südlichen Sylter Küstenvorfeld	38
Beschickungsungenauigkeiten.....	38
Methodischer Hinweis zu den Abbildungen.....	41
3.1.4 Vermessungen im Bereich Amrum Bank.....	44
Beschickungsungenauigkeiten.....	44
3.1.5 Vermessung im Spiekerooger Küstenvorfeld.....	44
Einfluss von Seegang und Fahrtrichtung	44
3.1.6 Gegenüberstellung der KFKI-Karte (1975) und zugrundeliegende Vermessungen am Beispiel Blatt 2208, Norderney	45
3.2 Folgerungen und offene Fragen aufgrund festgestellter Ungenauigkeiten	47
4. UNTERSUCHUNGEN ZUR GENAUIGKEIT DES BESCHICKUNGSVERFAHRENS	49
4.1 Veränderung der Beschickungsgrundlagen.....	49
Zeitliche Veränderungen des SKN und MSpThb und deren Einfluss auf Vermessungsergebnisse	49
Veränderung der Wasserstanderrechnungskarten.....	51
Vergleich ursprünglicher Beschickungswerte mit neu berechneten Werten	52
4.2 Vergleich von Beschickungswerten verschiedener Pegel.....	54
Einfluss des Windes und der Mond- und Tidephase auf die Beschickung.....	61
4.3 Berücksichtigung verschiedener Tidephasen während der Vermessungen	61
4.4 Beschickungswerte und gemessener Wasserstand an Hochseepegeln	63
Hochseepegel Lister Tief.....	68
4.5 Folgerungen aus den Untersuchungen zum Beschickungsverfahren	70
5. STATISTISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUR VERGLEICHBARKEIT VERSCHIEDENER VERMESSUNGSTECHNIKEN	71
5.1 Genauigkeit verschiedener Messverfahren	71
5.2 Statistische Auswertungen zur Vergleichbarkeit verschiedener Vermessungstechniken	72
5.2.1 Veranlassung und Zielsetzung der statistischen Untersuchungen.....	72
5.2.2 Methodisches Vorgehen	75
5.2.3 Ergebnisse der statistischen Untersuchung.....	78
Auswirkungen der Umstellung der Echolotgeräte auf der KOMET im Jahre 1986	78
Auswirkungen der Ablösung der SÜDEROOG durch die KOMET im Jahre 1972	83
Ergänzende Untersuchungen zu weiteren Schiffs- und Gerätewechseln	84
6. RÜCKSCHLÜSSE AUF FEHLERABSCHÄTZUNG UND DIE EIGNUNG FÜR MORPHOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN	85
6.1 Ansätze zur Fehlerabschätzung der Seevermessungen	85
zu 1. Fehlergrößen mit Streuung um den wahren Wert.....	85
zu 2. Fehlergrößen mit Wirkung in eine Richtung.....	86

Anwendbarkeit für quantitative Untersuchungen	87
6.2 Eignung der Daten für morphologische Untersuchungen	87
6.2.1 Bilanzierungen mit Berücksichtigung der Korrektur 1986	87
Juister Küstenvorfeld	87
Sylter Küstenvorfeld	89
Massenbilanzen aller Arbeitsgebiete (1974/75/76 - 1994/95/96/97)	93
6.2.2 Folgerungen aus den durchgeführten Bilanzierungen	94
6.3 Methodische Erkenntnisse: Datenerhebung	95
6.4 Methodische Erkenntnisse: Datenverarbeitung	96
6.5 Ausblick	97
7. ZUSAMMENFASSUNG	99
DANKSAGUNG	101
SCHRIFTTUM	102

Hinweis auf die Anlagebände A und B:

Der **Anlageband A** enthält eine Sammlung von Plots: Beispiele für Blattschnitte (A1), Bestand Arbeitskarten und Beispiele (A2, A3), Übersicht zu Seevermessungen und Angaben 1929 bis 1997 (A4, A5), Vermessungen und Bezugspegel 1990 bis 1997 (A6), Datenblätter (A7), SKN-Werte (A8), Wasserstandserrechnungskarten (A9). Diese Datendokumentation liegt nicht digital archiviert vor.

Der **Anlageband B** enthält eine Dokumentation von Auswertungen. Er stellt weitere Beispiele zur Verfügung zu den im Abschlussbericht zusammengefassten Ergebnissen. Der Anlageband B ist auf der CD-Fassung des Abschlussberichts mit enthalten.

Abbildungsverzeichnis

Kapitel 2 Datengrundlagen und Verarbeitung

- Abb. 2.1 Beispiel einer Arbeitskarte, N02, 1959, Seegebiet vor Juist
- Abb. 2.2 Übersichtskarte: Peilungen des BSH, Vermessungsjahr 1997
- Abb. 2.3 Ausschnitt aus einer Lotrolle (BSH 32/67) mit Erläuterungen zu Positionsangaben, Zeitangaben, Beschickungswert, Anhakerei des oberen Drittels etc.
- Abb. 2.4 Prinzipskizze zum Beschickungsverfahren
- Abb. 2.5 Datenformat der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung
- Abb. 2.6 Prinzipskizze zur Umrechnung auf das SKN 1995 und auf NN-Bezug
- Abb. 2.7 Ringpolygonkarte des Abstandes NN/SKN 1995 (BAW 1996)
- Abb. 2.8 Übersicht der Arbeitsgebiete
- Abb. 2.9 Datenfluss von den Rohdaten über digitale Geländemodelle bis zu den verschiedenen Auswertungen

Kapitel 3 Abbildung des Seegrundes durch Seevermessungsdaten

- Abb. 3.1 Tiefenabstufung im Juister Küstenvorfeld (Vermessung 1975 und 1995)
- Abb. 3.2 Übersicht der Lotungsfahrten im Juister Küstenvorfeld (1975 und 1995)
- Abb. 3.3 Datum der Vermessungen, Windrichtung und Windstärke (a) sowie Tidephasen während der Vermessung (b) im Juister Küstenvorfeld 1995
- Abb. 3.4 Nord-Süd-Profil im Juister Küstenvorfeld
- Abb. 3.5 Ost-West-Profil im Juister Küstenvorfeld
- Abb. 3.6 Tiefendifferenzen im Juister Küstenvorfeld zwischen 1995 und 1975
- Abb. 3.7 Tiefendifferenzen im Norderneyer und Baltrum/Langeooger Küstenvorfeld zwischen 1995 und 1975
- Abb. 3.8 Differenz zwischen Beschickungswerten der Pegel Helgoland und Norderney.
- Abb. 3.9 Unterschiedliche zur Beschickung verwendete Pegel 1995
- Abb. 3.10 Lotungsfahrten im Langeooger Küstenvorfeld 1995
- Abb. 3.11 Lotungsfahrten im Norderneyer und Langeooger Küstenvorfeld 1975
- Abb. 3.12 Mittlere Höhenveränderungen im Norderneyer Küstenvorfeld 1995 - 1950
- Abb. 3.13 Tiefendifferenzen, Fahrtenmuster und Beschickungspegel 1997 - 1971 im südlichen Sylter Küstenvorfeld
- Abb. 3.14 West-Ost-Profil im südlichen Sylter Küstenvorfeld
- Abb. 3.15 Mittlere Höhenveränderungen im südlichen Sylter Küstenvorfeld 1997 - 1952
- Abb. 3.16 Mittlere Tiefendifferenzen gegenüber 1997 im südlichen Sylter Küstenvorfeld (65,74 km²)
- Abb. 3.17 Tiefendifferenzen im Bereich der Amrum Bank zwischen 1991 und 1970.
- Abb. 3.18 Ausschnitt aus dem Spiekerooger Küstenvorfeld. Vermessung 1995 mit berechneten Tiefenlinien
- Abb. 3.19 Ausschnitt aus der KFKI-Karte 1975 mit den zugrundeliegenden Vermessungsfahrten 1975 des DHI/BSH

Kapitel 4 Untersuchungen zur Genauigkeit des Beschickungsverfahrens

- Abb. 4.1 Veränderungen des SKN und MSpThb für ausgewählte Pegel und Einflüsse veränderter Parameter auf Beschickungswerte seit 1939
- Abb. 4.2 Änderung der Beschickungswerte (-III, Pegelablesung 3,9 m) nach Berücksichtigung der SKN Veränderung
- Abb. 4.3 Stichprobenhafter Vergleich von aktuellen Beschickungsgrundlagen und Beschickungswerten mit 1967 bzw. 1958 verwendeten Daten (LT Mellumplate, Borkum Südstrand)

- Abb. 4.4 Pegelvergleich zwischen Wangerooge Nord und Mellumplate LT an zwei Tagen 1995
- Abb. 4.5 Beschickungswerte und Differenzen der Pegel Norderney, Borkum und Helgoland für einen Punkt im Juister Küstenvorfeld am 11.05.1992
- Abb. 4.6 Differenz der Beschickungswerte der Pegel Messpfahl Westerland, Helgoland, Hörnum Hafen und List Hafen für einen Punkt im Sylter Küstenvorfeld im Mai, Juli und August 1993
- Abb. 4.7 Differenz der Beschickungswerte der Pegel Norderney, Borkum und Helgoland für die Vermessung des Juister Küstenvorfeldes 1975
- Abb. 4.8 Differenz der Beschickungswerte des Pegels Messpfahl Westerland und Helgoland in Abhängigkeit von der Windrichtung, Windstärke sowie Tide- und Mondphase im Mai, Juli und August 1993 für einen Punkt im Sylter Küstenvorfeld (RW 3451830 HW 6082130)
- Abb. 4.9 Häufigkeiten von Tidephasen während verschiedener Vermessungen im Küstenvorfeld von Sylt (1981, 1991, 1994, 1997)
- Abb. 4.10 Übersichtskarte: Lage der Hochsee- und Küstenpegel
- Abb. 4.11 Häufigkeiten der Differenzen von Beschickungswerten des Pegels Helgoland zu den Wasserständen an den Hochseepegeln
- Abb. 4.12 Differenz der Beschickungswerte des Pegels Helgoland und des Hochseepegels Amrum Bank in Abhängigkeit von der Windstärke und Windrichtung sowie der Tide- und Mondphase im März und Oktober 1993
- Abb. 4.13 Häufigkeiten der Differenzen von Beschickungswerten der Pegel Lister Hafen und MP Westerland zu den Wasserständen am Hochseepegel Lister Tief
- Abb. 4.14 Differenz der Beschickungswerte des Pegels Westerland zu den Wasserständen am Hochseepegel Lister Tief in Abhängigkeit von Windrichtung und Windstärke

Kapitel 5 Statistische Untersuchungen zur Vergleichbarkeit verschiedener Vermessungstechniken

- Abb. 5.1 Mittlere Tiefendifferenzen gegenüber der jeweils jüngsten Vermessung (1995/96/97) in verschiedenen Teilgebieten
- Abb. 5.2 Zusammenhang zwischen Tiefenentwicklung (mittlere Tiefendifferenzen gegenüber 1995) und eingesetzten Schiffen und Echoloten, Teilgebiete Ostfriesische Inseln
- Abb. 5.3 Übersicht der berücksichtigten Gebiete bei der Untersuchung zur Vergleichbarkeit der Vermessungsergebnisse von verschiedenen Schiffen und Echoloten (4484 km²)
- Abb. 5.4 Prinzipskizze zur Vorgehensweise der statistischen Untersuchungen zum systematischen Einfluss verschiedener Lotungssysteme
- Abb. 5.5 Tiefendifferenzen vor, während und nach der Umstellung der Lotungsgeräte auf der KOMET 1986 in Abhängigkeit von der Wassertiefe
- Abb. 5.6 Mittlere Tiefenveränderungen in verschiedenen Arbeitsgebieten vor, während und nach der Umstellung der Lotungsgeräte auf der KOMET 1986
- Abb. 5.7 Abhängigkeit der auftretenden Tiefendifferenzen von der Zeitspanne während der Umstellung der Lotungsgeräte auf der Kommet 1986
- Abb. 5.8 Tiefenabhängigkeit des messtechnisch bedingten Sprunges und ermittelter Korrekturansatz für Teilgebiete und das Gesamtgebiet
- Abb. 5.9 Mittlere Geschwindigkeit der Tiefenveränderungen in verschiedenen Arbeitsgebieten

Kapitel 6 Rückschlüsse auf Fehlerabschätzung und die Eignung für morphologische Untersuchungen

- Abb. 6.1 Mittlere Tiefendifferenzen in verschiedenen Tiefenzonen gegenüber 1995, Küstenvorfeld Juist; 62,20 km², korrigierte Daten
- Abb. 6.2 Mittlere Tiefendifferenzen in verschiedenen Tiefenzonen gegenüber 1995, Küstenvorfeld Juist; 145,01 km², korrigierte Daten
- Abb. 6.3 Tiefendifferenzen im Sylter Küstenvorfeld 1997- 1974 (korrigierte Daten) im 100 m Raster und küstenparalleler Zonierung
- Abb. 6.4 Mittlere Tiefendifferenzen in verschiedenen Tiefenzonen gegenüber 1995, Küstenvorfeld Hörnum, 125,13 km², korrigierte Daten
- Abb. 6.5 Mittlere Tiefendifferenzen in verschiedenen Tiefenzonen gegenüber 1997, Küstenvorfeld Lister Tief, 43,28 km², korrigierte Daten
- Abb. 6.6 Mittlere Tiefendifferenzen in verschiedenen Tiefenzonen gegenüber 1995, Küstenvorfeld Sylt Nord, 63,94 km², korrigierte Daten
- Abb. 6.7 Mittlere Tiefendifferenzen in verschiedenen Tiefenzonen gegenüber 1995, Küstenvorfeld Sylt Süd, 65,74 km², korrigierte Daten

Tabellenverzeichnis

Kapitel 2 Datengrundlagen und Verarbeitung

- Tab. 2.1 Übersicht und Auswahl der Arbeitskarten im BSH 1945 bis 1974
Tab. 2.2 Übersicht der seit 1945 in der Seevermessung vom DHI/BSH eingesetzten Ortungssysteme
Tab. 2.3 Übersicht über die vom BSH/DHI für die Seevermessung eingesetzten Schiffe und die jeweils verwendeten Echolote.

Kapitel 3 Abbildung des Seegrundes durch Seevermessungsdaten

- Tab. 3.1: Abschätzung der Lageungenauigkeit von Tiefenlinien aufgrund eines Beschickungsfehlers von ± 40 cm

Kapitel 4 Untersuchungen zur Genauigkeit des Beschickungsverfahrens

- Tab. 4.1 Kenngrößen des Vergleiches von Beschickungswerten verschiedener Bezugspegel
Tab. 4.2 Ergebnisse der vergleichweisen Beschickung von Vermessungen auf verschiedene Pegel, Spannweite und mittlere Abweichungen der Beschickungswerte
Tab. 4.3 Lage der Hochseepegel
Tab. 4.4 Vergleich der Eintrittszeiten von Tidenhub, Hoch- und Niedrigwasser der WEK mit tatsächlichen Werten an den Hochseepegeln (Tidenr. 100 bis 700,1993)
Tab. 4.5 Kennwerte der Abweichungen zwischen gemessenen Wasserständen an Hochseepegeln und Beschickungswerten für verschiedene Bezugspegel

Kapitel 5 Statistische Untersuchungen zur Vergleichbarkeit verschiedener Vermessungstechniken

- Tab. 5.1 Tiefendifferenzen von Vermessungen der KOMET vor, während und nach der Umstellung der Echolotgeräte von ATLAS DESO 10 auf FAHRENHOLTZ-Echolote im Jahre 1986
Tab. 5.2 Tiefendifferenzen von Vermessungen der SÜDEROOG mit Vermessungen der KOMET
Tab. 5.3 Zusammenfassung der Erkenntnisse, Beobachtungen und ungeklärten Fragen zu messtechnisch bedingten Einflüssen auf die Seevermessungen des DHI/BSH

Kapitel 6 Rückschlüsse auf Fehlerabschätzung und die Eignung für morphologische Untersuchungen

- Tab. 6.1 Abschätzung der Vertrauensbereiche für den Beschickungsfehler für die Orte der Hochseepegel für verschiedene Flächengrößen.
Tab. 6.2 Massenbilanzen gegenüber 1995, Juister Küstenvorfeld, 62,6 km² bzw. 145,0 km², Angabe in mio m³
Tab. 6.3 Massenbilanzen für verschiedene Tiefenstufen im Sylter Küstenvorfeld, Lister Tief und Hörnum Tief, 1997 - 1974
Tab. 6.4 Massenbilanzen gegenüber 1997, Sylter Küstenvorfeld, Lister Tief, Hörnum Tief
Tab. 6.5: Massenbilanzen aller Arbeitsgebiete (1974/75/76 - 1995/96/97)

Anlageband A

Datendokumentation

- A1 Seit 1945 verwendete Blattschnitte (2 Seiten)
- A2 Bestand an Arbeitskarten im BSH (36 Seiten)
- A3 Übersicht und Auswahl der Arbeitskarten im BSH von 1945 bis 1974, Tab. 2.1 (1 Seite)
- A4 Digital vorliegende Seevermessungen des DHI/BSH, Übersichtskarten der Jahre 1929 bis 1997 (50 Seiten)
- A5 Angaben zu den Vermessungsaufgaben von 1929 bis 1997 (14 Seiten)
- A6 Vermessungen des BSH von 1990 bis 1997 und dabei verwendete Bezugspegel (8 Seiten, DIN A3)
- A7 Datenbank: sämtliche Datenblätter mit Angaben aus den digitalisierten Arbeitskarten (154 Seiten)
- A8 SKN-Werte (in cm) der vom BSH zur Beschickung verwendeten Pegel und SKN-Werte 1995 (9 Seiten)
- A9 Wasserstanderrechnungskarten der Pegel Borkum, Hörnum und Wittdün von 1950 bis 1972 (3 Seiten)

Anlageband B

Dokumentation der Auswertungen

- B1 Stichprobenhafter Vergleich von aktuellen Beschickungsgrundlagen (WEK, MSpThb, SKN) und Beschickungswerten für die Pegel LT Mellumplate, Borkum Südstrand, Helgoland und List (3 Seiten)
- B2 Differenzen der Beschickungswerte verschiedener Bezugspegel (4 Seiten)
- B3 Vergleichsweise Beschickung von Vermessungen auf verschiedene Pegel (5 Seiten)
- B4 Differenz der Beschickungswerte verschiedener Pegel in Abhängigkeit von der Windrichtung, Windstärke sowie Mond- und Tidephase (3 Seiten)
- B5 Häufigkeiten von Tidephasen während verschiedener Vermessungen im Küstenvorfeld (2 Seiten)
- B6 Differenz der Beschickungswerte des Pegels Helgoland zu den Hochseepegeln Amrum Bank, Lister Tief und Piep in Abhängigkeit von der Windstärke, Windrichtung sowie Mond- und Tidephase (4 Seiten)
- B7 Differenz der Beschickungswerte Messpfahl Westerland und Lister Hafen zum Hochseepegel Lister Tief in Abhängigkeit von der Windstärke, Windrichtung sowie Mond- und Tidephase (3 Seiten)
- B8 Tiefendifferenzenkarten verschiedener Arbeitsgebiete (1995/96/97 bis 1974/75, 11 Seiten)
- B9 Tiefendifferenzenkarten verschiedener Arbeitsgebiete (1995/96/97 bis 1974/75), Daten von 1974/75 korrigiert: $\text{Tiefe}_{\text{kor}} = 34 \text{ cm} + 0,006 * - (\text{Tiefe cm})$ (11 Seiten)
- B10 Profile in verschiedenen Arbeitsgebieten, unkorrigierte Daten (1951 bis 1997, 14 Seiten)
- B11 Mittlere Höhenveränderungen in verschiedenen Teilgebieten, unkorrigierte Daten (13 Seiten)
- B12 Mittlere Höhenveränderungen in verschiedenen Teilgebieten (bis 1986 korrigierte Daten: $\text{Tiefe}_{\text{kor}} = 34 \text{ cm} + 0,006 * - (\text{Tiefe cm})$ (12 Seiten)
- B13 Mittlere Tiefendifferenzen gegenüber 1995/96/97 in verschiedenen Teilgebieten (bis 1986 korrigierte Daten: $\text{Tiefe}_{\text{kor}} = 34 \text{ cm} + 0,006 * - (\text{Tiefe cm})$ (9 Seiten)
- B14 Verteilungen der Differenzen zwischen den Wasserständen an Hochseepegeln und Beschickungswerten verschiedener Küstenpegel (1 Seite)

Abkürzungsverzeichnis

ALR	Amt für ländliche Räume, Husum
ALW	Amt für Land- und Wasserwirtschaft, Husum, seit 1998 ALR
BAW	Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg
BFG	Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
GIS	Geographisches Informationssystem
DGM	Digitales Geländemodell
DHI	Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg, seit 1990 BSH
FSK	Forschungsstelle Küste, Norderney
KFKI	Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen, Kiel
kHz	Kilo Hertz
LT	Leuchtturm, Pegel LT Mellumplate
MP	Messpfahl, Pegel MP Westerland
MSpThb	mittlerer Springtidenhub
MSpTnw	mittleres Springtideniedrigwasser
NLÖ	Niedersächsisches Landesamt für Ökologie
NN	Normal Null
PN	Pegelnul
SKN	Seekartennul, entspricht dem 19-jährigen Mittel des MSptnw
TIN	Triangular Irregular Network
WEK	Wasserstanderrechnungskarte
WSÄ	Wasser- und Schifffahrtsämter
WSV	Wasser- und Schifffahrtsverwaltung

Morphologische Gestaltungsvorgänge im Küstenvorfeld der Deutschen Bucht

Kurzfassung

Viele Küstenbereiche der Deutschen Bucht weisen Erosionstendenzen auf. Für deren ursächliche Deutung ist es wichtig, dass man die morphologischen Veränderungen im Küstenvorfeld kennt. Das Verständnis dieser langfristigen und großräumigen Vorgänge ist eine wesentliche Grundlage für das Küsteningenieurwesen. Ziel dieses vom BMBF geförderten KFKI-Forschungsvorhabens ist es, die morphologischen Entwicklungen des Watt- und Inselsockels der Deutschen Bucht zu untersuchen. An dem Projekt waren die Forschungsstelle Küste des NLÖ, Norderney (FSK), das Amt für ländliche Räume (ALR) Husum und das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg (BSH) beteiligt. Das Vorhaben wurde von einer KFKI-Projektgruppe begleitet und vom Forschungszentrum Jülich, Warnemünde (BEO) betreut. Die Untersuchungen erfolgten auf Grundlage der Seevermessungen des DHI/BSH für die Jahre 1945 bis 1997. Ein wesentlicher, zeitaufwendiger Teil der Arbeit befasste sich mit der digitalen Aufbereitung, mit Plausibilitätskontrollen und der Erstellung einer speziellen Datenbank als vereinheitlichte Arbeitsgrundlage. Die Analyse der Tiefendifferenzen ergab Plausibilitätsfragen für Einzelwerte sowie für Profile und Flächen, denen mit aufwendigen, GIS-gestützten Sonderuntersuchungen nachgegangen wurde. Die dabei erzielten Ergebnisse lassen erkennen, dass die verwendeten Seevermessungsdaten nur mit Vorbehalt für die Beantwortung morphologischer Fragestellungen verwendbar sind. Dies muß jeweils zeit- und ortsbezogen erkannt werden, um es dann angemessen berücksichtigen zu können. Durch umfangreiche statistische Untersuchungen konnten systematische Einflüsse, insbesondere messtechnischer Art, auf die Daten herausgearbeitet und ein Teil der dadurch bedingten Verfälschungen gemindert werden. Dennoch verbleiben erhebliche Unsicherheiten, die Zweifel an den bislang ermittelten morphologischen Veränderungen begründen. Die Ergebnisse dieses Projektes gaben Anlass für eine internationale Diskussion mit Nordsee-Anrainern. Dabei zeigte sich eine qualitative Bestätigung der hier ermittelten Tendenzen zu Vertiefungen und Aufsteilungen, die man unter dem Begriff „Coastal Steepening“ zusammenfasst. Es besteht Übereinstimmung darüber, dass die begonnenen Untersuchungen zur Genauigkeit vorliegender Seevermessungsdaten und zu deren Eignung für morphologische Untersuchungen fortgesetzt werden müssen, um die verbliebenen Zweifel an der Aussagekraft der Ergebnisse auszuräumen. Dies ist beabsichtigt. Bis dahin können die in diesem Bericht für das Küstenvorfeld der Deutschen Bucht mitgeteilten Tiefen- bzw. Volumen-Änderungen im wesentlichen nur als qualitative Hinweise auf morphologische Veränderungen und zugehörige Gestaltungsvorgänge gewertet werden.

Morphological developments in the shoreface of the German Bight

Abstract

Many coastal areas of the German Bight experience erosion. An explanation can be achieved by investigating the morphological changes of the shoreface areas. The knowledge of these processes in large scales of time and space is essential for an effective and sound coastal engineering work. Hence, it has been the target of this project-funded by BMBF and joined by BEO/Forschungszentrum Jülich – to investigate the morphological changes of the German North Sea coast into depths of twenty meter. Partners were the “Forschungsstelle Küste“ (Coastal Research Station), the “Amt für ländliche Räume Husum“ (Agency for rural areas), the “Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie“, Hamburg (Federal Maritime and Hydrographic Agency); the project has been advised by an expert group of the KFKI. An important and time consuming part of the work focused on data processing, plausibility controlling and construction of a special bank for the parametrised data. The analysis of changes in depth and volumes led to incredible results. It had been proven, that some of the detected inaccuracies can be explained by systematic deviations caused by the technical equipment. This made correction possible; but the data still contain uncertainties which cause doubts with respect to the reliability of the calculated morphological changes. Nevertheless, the results generated a discussion amongst North-Sea anrainer concerning the phenomenon of “coastal steepening“. There is an agreement, that this tendency is likely and that the investigations should be promoted.

1. Zielsetzung, Vorbemerkung

Zielsetzung des KFKI-Forschungsvorhabens „Morphologische Gestaltungsvorgänge im Küstenvorfeld der Deutschen Bucht“ (FKZ 03KIS308) ist es, die längerfristige Entwicklung der Watt- und Inselsockel in der Deutschen Bucht von der niederländischen bis zur dänischen Grenze zu ermitteln, grundlegend zu untersuchen, verallgemeinerbare und übertragbare Ergebnisse zu erzielen und darüber mögliche Auswirkungen auf den Insel- und Küstenschutz aufzuzeigen. Veranlaßt wurden die Untersuchungen insbesondere dadurch, dass Profilauswertungen von Tiefenvermessungen für küstennahe Teilgebiete bis etwa 20 Meter Wassertiefe eine Tendenz zur Aufteilung auswiesen und dies als Indikator für zukünftig verstärkte Erosionen der Küstenlinie zu werten ist. An dem Forschungsvorhaben sind das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), die Forschungsstelle Küste des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie, Norderney (FSK) und das Amt für ländliche Räume (ALR) in Husum beteiligt. Das Projekt erstreckt sich auf die Zeit vom Mai 1996 bis Sept. 1999; während dieser Zeit begleitete eine KFKI-Projektgruppe die Untersuchungen, in die auch der Projektträger eingebunden war.

Als Grundlage für die Untersuchungen dienen Vermessungsdaten des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) bzw. des Deutschen Hydrographischen Institutes (DHI) als dessen Vorgänger. Diese Seevermessungen werden in erster Linie für die Sicherheit der Schifffahrt durchgeführt und für die Erstellung von Seekarten verwendet. Für die Zielsetzungen dieses Projektes ist es erforderlich, eine möglichst lange vor dem Bezugsjahr 1996 liegende Zeitspanne auszuwerten, so dass auch die nur in „Arbeitskarten“ dokumentierte Zeit zwischen 1945 und 1973 hinzuzunehmen war. Auf der Grundlage Seevermessungen aus den zurückliegenden 50 Jahre sollten Erosions- und Sedimentationsräume erfasst, quantifiziert sowie die morphologischen Gestaltungsvorgänge dargestellt, beurteilt und möglichst auch hinsichtlich ihrer zukünftigen Entwicklung prognostiziert werden. Bei Antragstellung wurde nach dem Stand des Wissens berücksichtigt, dass ein großer Aufwand nötig ist, um die umfangreichen Vermessungsdaten in überprüfter und für die morphologischen Untersuchungen aufbereiteter Struktur verfügbar zu haben. Berücksichtigt wurde zudem, dass die Vermessungsdaten technisch und methodisch bedingte Ungenauigkeiten aufweisen, die zeitaufwendige, speziell zu entwickelnde Auswerteverfahren erfordern würden. Nicht vorhersehbar war hingegen, dass die speziellen Verifikations-Untersuchungen zu dem Ergebnis führen würden, dass die Vermessungsdaten große zeitliche und räumliche Inhomogenitäten aufweisen, die für die morphologischen Untersuchungen nicht tolerierbar sind. Daher war deren Ursache zu erforschen und nach Möglichkeiten für eine zielgerichtete Modifikation zu suchen. Diese Aufgabe erforderte umfangreiche grundlegende Untersuchungen, die teils überhaupt nicht eingeplant waren, wie beispielsweise die detaillierte Analyse der angewandten Vermessungstechniken und der unterschiedlichen Beschickungsverfahren. Zudem ist festzuhalten, dass die Darstellung der somit gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich der Bedeutung der Unsicherheiten von Seevermessungsergebnissen für morphologische Untersuchungen von grundsätzlichem Nutzen ist und auch für das KFKI-Projekt „Auswertung der Ergebnisse von Wiederholungsmessungen“ eine aktuelle Bedeutung hat. Die Untersuchungen zur Verifikation der Vermessungsdaten und zur grundsätzlichen Beantwortung der Frage nach deren Eignung für die Bearbeitung morphologischer Problemstellungen, rückte somit in den Mittelpunkt dieses Projektes.

Die wichtigsten Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen sind Erkenntnisse zur Fehlerspanne des Beschickungsverfahrens und zum systematischen Einfluss verschiedener Vermessungstechniken. Mit statistischen Verfahren konnte eine Ursache für scheinbare Tiefenzunahmen in verschiedenen angewandten Echoloten gefunden werden. Weiter wurden die Grenzen der Aussagekraft von Seevermessungen für quantitative Untersuchungen von Tiefenänderungen oder Massenbilanzierungen aufgezeigt. Es sind große Fortschritte erreicht worden. Diese ermöglichten eine deutsche Beteiligung an einer europäischen Studie zum Problem des „Coastal Steepening“ (Lastrup et al., 1999), konnten auf der internationalen Coast GIS-Konferenz vorgestellt werden (Hüttemeyer, 1999), wurden zum Vortrag von der International Conference on Coastal Engineering (ICCE 2000) angenommen (Kunz et al., 1999). Das Ziel morphologische Veränderungen auszuweisen wurde als Teil der Plausibilitätsanalysen fortlaufend mit verfolgt. Die hier mitgeteilten Ergebnisse zu Tiefenveränderungen sind nur in kritischer Rückkopplung zur verwendeten Datengrundlage zu werten und zu nutzen.

2. Datengrundlagen und Verarbeitung

2.1 Dokumentation der zur Verfügung stehenden Vermessungen

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden zunächst Seevermessungsdaten aus dem Küstenvorfeld der Deutschen Bucht gesichtet auf Plausibilität geprüft und hinsichtlich ihrer Eignung für die morphologischen Untersuchungen ausgewertet. Ziel dieses Arbeitsschrittes war es, alle verfügbaren aussagekräftigen Vermessungsdaten in eine Datenbank zu übernehmen.

Seit dem letzten Jahrhundert waren verschiedene Dienststellen für Seevermessungen zuständig und es haben sich Umfang, Technik, Genauigkeit und Dokumentation der durchgeführten Vermessungen verändert. So wurden beispielsweise Anfang des Jahrhunderts insbesondere die Zufahrten zu den Häfen an Jade und Weser schwerpunktmäßig vermessen, während seit den Siebziger Jahren das gesamte Küstenvorfeld in einem 3 bis 5-jährigen Rhythmus gepeilt wurde. Damit ergibt sich für verschiedene Zeiträume sowohl eine unterschiedliche Qualität als auch eine unterschiedliche räumliche Verfügbarkeit von Seevermessungsdaten.

Daten vor 1945

Vor 1945 war u. a. das Reichsoberkommando der Marine in Berlin für die Seevermessungen zuständig. Nach dem 2. Weltkrieg wechselte die Zuständigkeit zum Deutschen Hydrographischen Institut (DHI). Im Archiv der BSH (vormals DHI) sind jedoch keine Daten für die Vermessungen vor 1945, beispielsweise in Form von Arbeitskarten, mehr vorhanden. Möglicherweise wurden diese Karten bei Kriegsende verbrannt.

Weiter waren verschiedene Vorgänger der heutigen Wasser- und Schifffahrtsämter (WSÄ) sowie der Hafenämter (beispielsweise Tonnen- und Bakenämter) für die Vermessung - insbesondere von Hafenzufahrten - zuständig. So finden sich in den Archiven der WSÄ Bremerhaven und Wilhelmshaven Arbeitskarten der nahezu seit etwa Mitte des Neunzehnten Jahrhunderts jährlich durchgeführten Vermessungen des Weser- bzw. Jedefahrwassers. Entsprechende Vermessungen, die sich auf das in diesem Vorhaben zu untersuchende Küstenvorfeld erstrecken, liegen für die Zeit vor 1945 nicht vor.

Bei den folgenden Dienststellen wurde ohne positives Ergebnis nach verwertbaren Arbeitskarten aus dem Küstenvorfeld vor 1945 nachgefragt: WSÄ Emden, Aurich und Tönning, Staatsarchiv in Oldenburg und Bundesarchiv (Militärarchiv) in Freiburg.

Für die Zeit vor 1945 konnten lediglich einzelne Arbeitskarten, insbesondere von Seegaten und der Jade sowie der Wesermündung, beschafft und ausgewertet werden. Aufgrund der mit Handlot durchgeführten Vermessungen muss jedoch von einer unbestimmbaren Genauigkeit und somit sehr eingeschränkter Vergleichbarkeit mit heutigen Messmethoden ausgegangen werden, so dass ihr Wert für das Forschungsvorhaben als gering zu bewerten ist.

Aus dem Zeitraum vor 1945 existieren weiterhin diverse Seekarten für Bereiche der Deutschen Bucht. Für quantitative Untersuchungen sind diese Karten wegen der wenigen Inhalte (häufig nur einzelne Tiefenlinien) und der geringen Qualität kaum geeignet. Daher wurde auf eine Untersuchung dieser Karten verzichtet.

Daten nach 1945

Die umfangreichsten Vermessungen im Küstenvorfeld wurden vom DHI durchgeführt. Für die Peilung der Fahrrinnen waren die verschiedenen WSÄ zuständig. Vermessungen von Wattflächen sowie detaillierte Sonderuntersuchungen im Küstenvorfeld wurden von verschiedenen Landesbehörden vorgenommen. Die unterschiedlichen Dienststellen werden in den sogenannten „Synoptischen Vermessungskampagnen“ gemeinsam unter der Leitung der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) und des KFKI tätig. Entsprechend den regelmässigen Abständen dieser Kampagnen liegen diese Vermessungen für das Küstenvorfeld etwa alle 3 bis 5 Jahre vor.

Zur Datenauswahl

Da die Vermessungs- und Beschickungsverfahren in verschiedenen Ämtern unterschiedlich und die Ergebnisse daher nur schwer vergleichbar sind (vgl. Kap. 2.3), wurde nach einer ersten Sichtung der Unterlagen von der ursprünglichen Absicht, Vermessungsdaten von mehreren Ämtern zu verwenden, wieder Abstand genommen. Die Untersuchungen in diesem Forschungsvorhaben beschränken sich daher, bis auf wenige Ausnahmen, auf Vermessungen des BSH/DHI. Die bereits im Datensatz des BSH/DHI enthaltenen und im Rahmen dieses Forschungsvorhabens untersuchten Unstimmigkeiten bestätigen, dass die Beschränkung auf Daten der einen Dienststelle sinnvoll ist. Sollten Daten verschiedener Dienststellen gemeinsam ausgewertet werden, ist aus den oben genannten Gründen ein Nachweis der Vergleichbarkeit der Daten unumgänglich.

1945 bis 1973

In der Zeitspanne 1945 bis 1973 war das DHI, Hamburg für die flächenhafte Seevermessung des Untersuchungsgebiets zuständig. Entsprechend sind im BSH/DHI die meisten Daten (in Form von Arbeitskarten dieser Dienststelle - Beispielkarte s. Abb. 2.1) archiviert. Es wurden alle beim BSH vorliegenden Arbeitskarten von 1945 bis 1973 gesichtet und die geeigneten Karten zur Digitalisierung ausgewählt. Der Bestand an Arbeitskarten im Archiv des BSH ist in Anlage A2 im Einzelnen dokumentiert.

Für die Projektzwecke wurden von 483 vorhandenen Arbeitskarten 175 Karten als geeignet zur Auswertung ausgewählt und digitalisiert. Die Kriterien bei der Auswahl der auszuwertenden Arbeitskarten waren die möglichst großräumige Peilung eines zusammenhängenden Gebietes, und es sollte für jedes Gebiet mindestens eine Vermessung pro Jahrzehnt vorliegen. Nicht berücksichtigt wurden insbesondere die kleinräumigen Vermessungen und im Bereich von Flussmündungen ein Teil der jährlich wiederholten Vermessungen.

Im BSH sind zu einem Großteil der Arbeitskarten auch die Lotungsunterlagen archiviert. Sie bestehen aus den Lotrollen und den Lotungsbüchern. Anhand dieser Unterlagen konnten im Rahmen von Genauigkeitsuntersuchungen für einzelne Vermessungen das Datum und die Zeit ermittelt und die Beschickung rekonstruiert werden. Weiter wurden Hinweise zur Arbeitsweise, beispielsweise den Geräteeinstellungen und Eichungen, entnommen (s. Kap. 4).

1974 bis 1997

Die Seevermessungen seit 1974 (BSH/DHI) wurden vom BSH überwiegend in digitaler Form jahrgangsweise zur Verfügung gestellt. Die digitalen Daten werden als ASCII-Daten im Format der WSV vorgehalten (Abb. 2.5). Sie enthalten neben den reinen Lage- und Tiefeninformationen zudem Angaben zum Vermessungsdatum, Vermessungsschiff, Verfahren der Positionsbestimmung und dem eingesetzten Echolot. Neben der Tiefenangabe bezogen auf Seekartennull (SKN) ist eine Tiefenangabe auf Normal Null (NN) vorhanden. Die

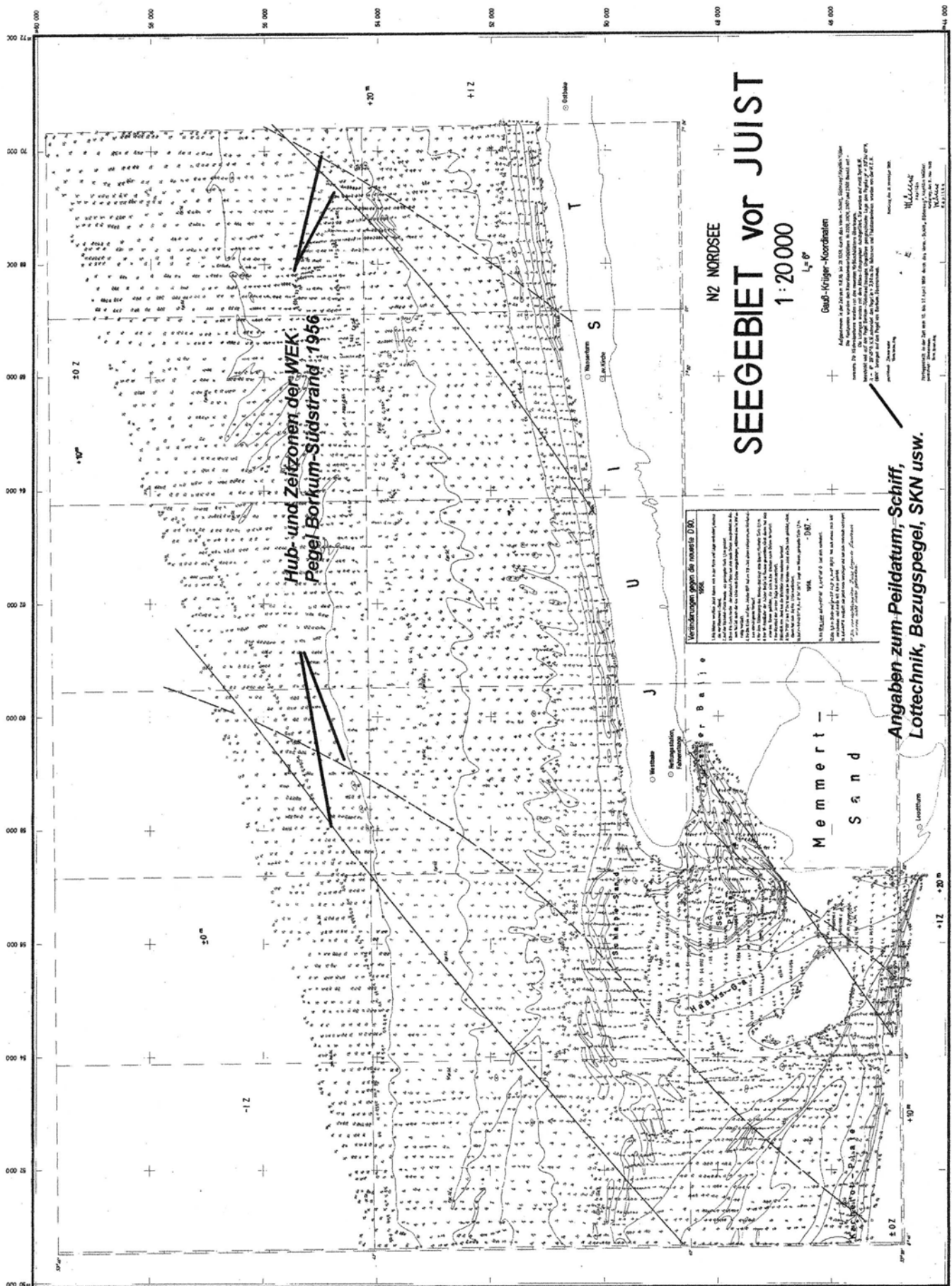


Abb. 2.1: Beispiele einer Arbeitskarte, N02, 1959, Seegebiet vor Juist

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19	N20	N21	N22	N23	N24	N25	N26	N27	N28	N29	N30	N31	N32	N33	N34	N35	N36	N42a
1945									1																												
1946									1																												
1947														1	1			1										1						2			
1948	2		1							1					2		2	1		2	1	1															
1949									1							1				1	1		1	1	1	2		1									
1950	1			1	1		1	1			3	1	1						1	3								1	2								
1951		1	3		2	1								2	1					1				1	1	1		1				1					
1952									1									1				1	1	1	1	1		1	1	1		1	6				
1953			3							2	1			1			1	1							1		1	1		1							
1954	1														1	1		1	1					1	1									1			
1955				1	2		1	3						2	1			1	1	1	2	1						1						1			
1956	1			1	1	1			1	2					1			1	1				1					1							2		
1957	1		1			1									1	1					1			1	1	2											
1958	1	1	1				1								1		1					2	1							1	1			5			
1959	1		2						1	2					1			1		1				1				1									
1960	1			1	1	1		1	1	1						1		2										1	1	1							
1961			1						1			1		1	1			1		1		1		1		1		1			1						
1962	2								1									1			1	1		1		1			1	1	1						
1963	1		1				1	2								1		2	1					1	2					1	1		1				
1964	1	1	1	1			1		1	1				1	1	1	1			1		3				1		1									
1965	2				1	1	1			1					1		1	2						1				1		1				2			
1966	1							1				1	1	1	1	1	1	1	1	1		1					1	2	2		1	1					
1967	1						1	1	1					1	2	1	3	2	1		1	1	1	1	1		2			1	1	1					
1968	1		3				1		2	1				2	1	1			2	2	1	1	1			2			1	2				2			
1969	2						2		2	1	2	1			1					3						2	2	1		2							
1970														1	1	1	2		1	5		3	3	1		6	1			1		1	1	1	1		
1971	1	1	1	1						1					1	1	3	1	1	2		5	1								1		2		2	1	
1972	2		1					3				1					1		1	3	1		2				4	1	1								
1973	1				1	1	1				1						1	1	1	3		4	4			1	3	2			1		1		1	1	1
1974	1							1						1			6	1	1	2	1	2			1		4				1	1	1		1	1	1
Anzahl	25	4	19	6	9	6	11	13	15	13	7	5	2	15	19	11	23	23	14	32	11	27	17	14	13	30	12	16	10	11	7	5	24	3	6	4	1
Gebiet	Ostfr. Inseln							Jade				CUX			Elbe			Dithmarschen					Eiderst. - Föhr						Sylt			HEL		Tiefwasserweg			

Tab. 2.1: Übersicht und Auswahl der Arbeitskarten im BSH 1945 bis 1974



digitalisierte Arbeitskarten



Wattgebiete (135 Karten)
nicht berücksichtigt

483 Karten insgesamt

159 Karten sind digitalisiert
+ 16 Karten 1974 bis 1982

Stand: 06.99

Daten nach 1990 enthalten zusätzlich Angaben zum verwendeten Bezugspegel und die genaue Uhrzeit der Peilung. Somit war es für die Zert nach 1974 nur in geringem Umfang erforderlich bisher nicht in digitaler Form vorliegende Arbeitskarten im Rahmen dieses Projektes zu digitalisieren.

Dokumentation: Blattsnitte, Übersichtskarten, Vermessungsaufgaben

Neben den reinen Tiefeninformationen der Seevermessungen war es wegen verschiedener Unplausibilitäten unumgänglich eine Reihe von Zusatzinformationen zu den Vermessungen zu beschaffen und in Datenbanken zu erfassen und zu dokumentieren. Im Anlagenband A sind die erstellten Dokumentationen ausführlich dargestellt; die Inhalte werden hier knapp erläutert:

Anlage A1

Die Vermessungsaufgaben wurden vom DHI und werden vom BSH blattschnittweise wahrgenommen. Seit 1945 wurden die Vermessungsaufgaben auf Grundlage von drei verschiedenen Blattsnitten durchgeführt (A1.1 bis A1.3).

Anlage A2

Auflistung sämtlicher Arbeitskarten im Archiv des BSH von 1948 bis 1974 (Arbeitsgebiete N01 bis N36, sowie N41 und N43 und Sonderaufgaben).

Anlage A3

Übersicht und Auswahl der Arbeitskarten im BSH 1945 bis 1974 (entspricht Tab. 2.1).

Anlage A4

Diese Anlage dokumentiert nach Jahrgängen getrennt sämtliche digital zur Verfügung stehenden Vermessungen mit Angaben der gepeilten Blattsnitte (Beispiel: Abb. 2.2, BSH Vermessungen 1997).

Anlage A5

In Tabellenform sind die wichtigsten Angaben zu den einzelnen Vermessungen von 1929 bis 1997 dargestellt. Dies sind Jahr, Blattnummer und Name, Maßstab, Bezugspegel, SKN, Verfahren der Positionsbestimmung, Lotungsverfahren, Jahrgang der Wasserstand-errechnungskarte, Lotungszeitraum, Prüfungsdatum, eingesetztes Schiff. Die Angaben wurden im wesentlichen den Arbeitskarten entnommen.

Anlage A6

Übersichtskarten der Vermessungen und der verwendeten Bezugspegel 1990 bis 1997 (8 Karten), ein Ausschnitt ist in Abb. 3.9 dargestellt.

Anlage A7

Datenbank sämtlicher Angaben aus den digitalisierten Arbeitskarten (154 Datenblätter). Die Angaben wurden dem Textfeld der Arbeitskarten entnommen (s. Abb. 2.1).

Anlage A8

SKN-Werte der vom BSH zur Beschickung verwendeten Pegel und jeweiliges SKN von 1995.

Anlage A9

Wasserstanderrechnungskarten der Pegel Borkum, Hörnum und Wittdün für die Zeit von 1952 bis 1972

2.2 Dokumentation der verwendeten Vermessungstechniken

Seit 1945 wurde die im BSH/DHI eingesetzte Vermessungstechnik immer wieder den technischen Entwicklungen angepasst. Da die Genauigkeit der Technik von Bedeutung ist und weil ein systematischer Einfluss der Vermessungstechnik auf die Vermessungsergebnisse untersucht und festgestellt wurde, werden im Folgenden die wichtigsten Angaben zu den verwendeten Systemen knapp zusammengefasst.

Verfahren der Positionsbestimmung

Die Genauigkeit der verwendeten Navigationssysteme (Tab. 2.2) wurde im Laufe der letzten Jahrzehnte ständig verbessert. Während bei der Doppelwinkelmessung je nach Abstand von der Küste eine Abweichung von mehreren 10er Metern möglich war, vgl. FREIESLEBEN (1944), wird die Genauigkeit der elektronischen Systeme mit besser als 5 Metern angegeben.

Tab. 2.2: Übersicht der seit 1945 in der Seevermessung vom DHI/BSH eingesetzten Ortungssysteme

Zeitraum	Verfahren
1945 – 1968	Doppelwinkelmessung
1960 – 1982	Decca
1967 – 1985	Hi-Fix
1982 – 1997	Syledis
seit 1995	DGPS

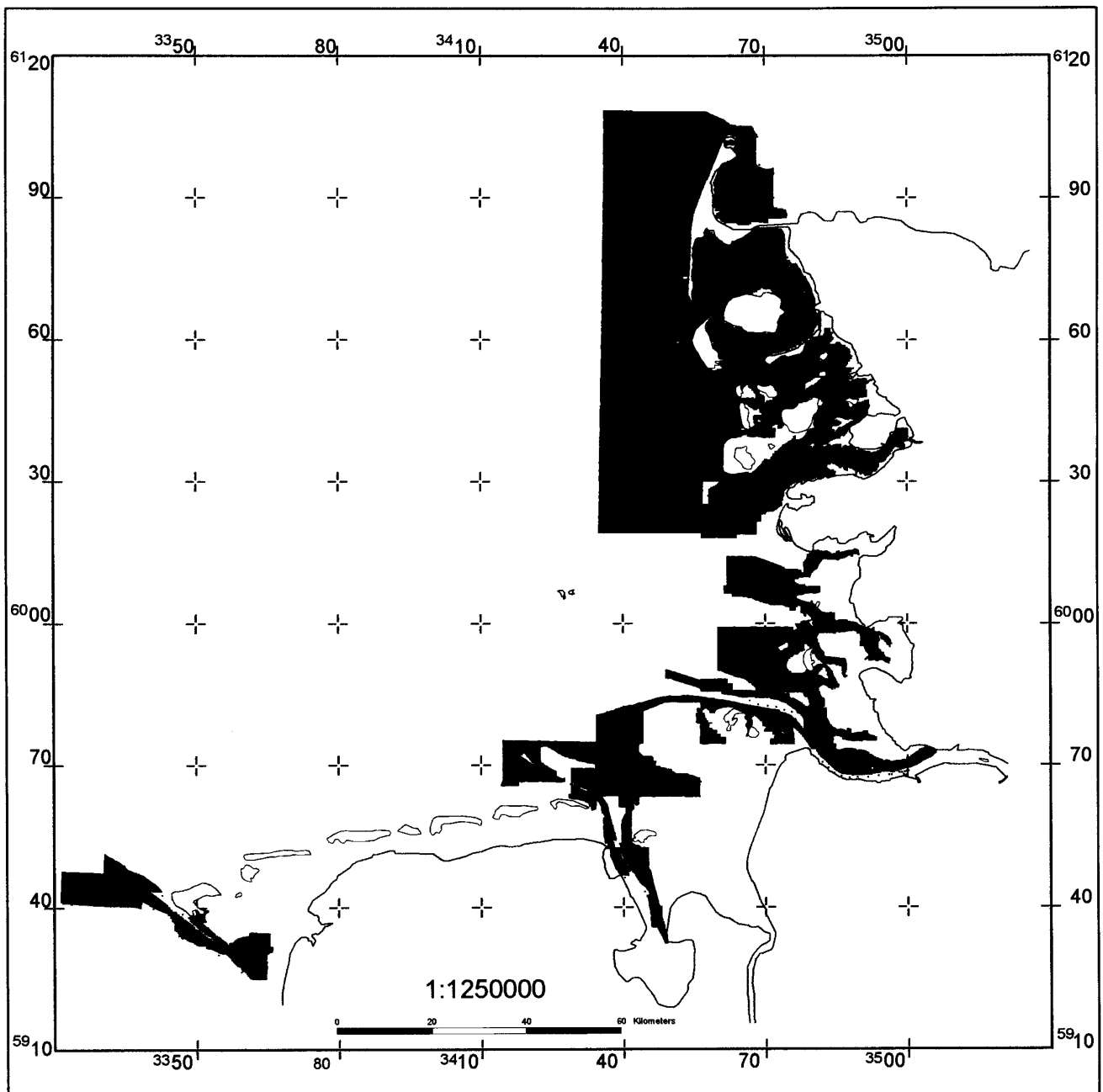
Die verbesserte Genauigkeit der Positionsbestimmung hat auf das Ergebnis großräumiger morphologischer Untersuchungen im Küstenvorfeld nur einen geringen Einfluss, weil eine systematische Verschiebung der Tiefen nicht durch die Verwendung unterschiedlicher Verfahren der Positionsbestimmung hervorgerufen wird. Im vergleichsweise ebenen und wenig gegliederten Untersuchungsgebiet kann die Genauigkeit der Positionsbestimmung als unerheblich für die hier untersuchte Fragestellung angesehen werden. Im Bereich von Fahrrinnen und Steilkanten kann die Genauigkeit der Ortung jedoch eine erhebliche Rolle spielen.

Vermessungsschiffe und eingesetzte Echolote

Seit 1945 standen verschiedene Vermessungsschiffe mit unterschiedlichen Echolotgeräten im Dienst des BSH/DHI. Die Lotungseinrichtungen wurden wiederholt dem Stand der Technik angepasst (Tab. 2.3). Die ersten verwendeten Echolote (seit etwa 1937) waren Rotlicht-Echographen, die nur - ähnlich den Handloten - eine punktförmige Erfassung des Meeresbodens erlaubten. Das Vertrauen in diese Technik war nicht sehr groß; Handlotungen wurden neben den Echolotungen bis Mitte der Fünfziger Jahre durchgeführt. LUCHT (1973, 1. Teil) spricht hier von einer Grenze der Vergleichsfähigkeit der Peilpläne.

Etwa 1949 wurden erstmals kontinuierlich registrierende Echographen verwendet. Im Wesentlichen kamen beim DHI in den Fünfziger Jahren ELAC Echolote zum Einsatz. Diese wurden ursprünglich mit 30 kHz betrieben. Etwa in den Sechziger Jahren wurde ein zweiter Schwinger eingebaut. Ab diesem Zeitpunkt, der nicht mehr genau zu bestimmen ist, wurde in der Regel mit 210 kHz gemessen. Die 210 kHz Echolotschriebe haben im Gegensatz zu den 30 kHz Schrieben eine sehr scharfe Nulllinie.

Etwa 1969 wurden ATLAS DESO 10, später ATLAS DESO 20 Geräte eingeführt. Beide betrieb man mit 30 und 210 kHz. Ausgewertet wurde in der Regel die 210 kHz-Registrierung. Ab 1986 wurden FAHRENHOLTZ-Echolote eingesetzt. Im Gegensatz zu den ATLAS DESO 10 Geräten mit ihrer analogen Signalverarbeitung arbeiten die FAHRENHOLTZ-Geräte mit einer automatischen Signalverstärkung, sowie getrennten Sende- und Empfangsschwingern und sie halten eine präzisere Anpassung an die Wasserschallgeschwindigkeiten. Die Vergleichbarkeit von Vermessungen der verschiedenen Lotungssysteme wird in Kapitel 5 untersucht. Soweit eine Rekonstruktion möglich war, zeigt die Tab. 2.3 eine Übersicht zu den vom BSH/DHI eingesetzten Schiffen und deren technischen Ausstattung.



Liste der Arbeitskarten:

K0914	K1516	K1916	K2212
K0916	K1518	K1918	K2214
K1014	K1614	K2014	K2304
K1114	K1616	K2016	K2404
K1314	K1716	K2018	K2406
K1414	K1816	K2112	
K1416	K1818	K2114	
K1514	K1914	K2118	

Peilungen des BSH

Vermessungsjahr 1997

Werte in SKN und NN
Koordinaten: Gauss-Krüger
Bezugsmeridian: 3. Streifen

Abb. 2.2: Übersichtskarte: Peilungen des BSH, Vermessungsjahr 1997

Tab. 2.3: Übersicht über die vom BSH/DHI für die Seevermessung eingesetzten Schiffe und die jeweils verwendeten Echolote.

Schiff	Zahl der Boote	Einsatzzeitraum	Zeitraum der vorliegenden Vermessungen	eingesetzte Echolote/Lotungsverfahren	Anzahl der vorliegenden Vermessungsaufgaben
GAUSS			16.07.51 - 22.09.55	Handlotungen ATLAS	12
HOOGE	1	1949 - 1969	24.07.49 - 10.07.67	Handlotungen ELAC Beiboot: ATLAS	31
RUDEN	1	1951 - 1968	29.03.51 - 22.08.68	Handlotungen ELAC Beiboot: ATLAS	31
RUNGHOLT			12.05.54 - 01.11.55	Handlotungen ATLAS ?	6
SÜDEROOG	2	bis 1990	17.04.57- 10.08.90	bis 1969: ELAC etwa 1969: ATLAS DESO 10 Anfang 80er: ATLAS DESO 20 (Boote)	93
WEGA I			23.10.50	1950: Handlot	1
WEGA	2	seit 10.90	06.03.92 - 12.08.97	FAHRENHOLTZ	12
ATAIR I			23.10.50 - 25.05.73	1950: Handlot später: ATLAS	10
ATAIR	2	seit 8.87	06.05.95 - 20.07.95	FAHRENHOLTZ	12
KOMET	6	8.69 - 12.98	11.03.70 - 13.08.97	bis Ende 1985: ATLAS DESO 10 seit Anfang 1986: FAHRENHOLTZ	501

2.3 Datenerhebung: Verarbeitung der Lotergebnisse bis zur Arbeitskarte

Als Zwischenergebnis der Seevermessung stehen dem BSH/DHI nach der Vermessung die Lotstreifen zur Verfügung. Aus diesen Schrieben müssen die gemessenen Tiefen bestimmt und um den Beschickungswert reduziert werden; die Schiffsposition, die mit anderen Systemen ermittelt wurde, ist mit Hilfe der ebenfalls registrierten Uhrzeit anzufügen.

Tiefenbestimmung am Echolotstreifen

Moderne Echolotsysteme registrieren das Echolotsignal und die ermittelte Position digital. Beim BSH/DHI wurden in den Achtziger Jahren hierzu Versuche durchgeführt (vgl. Jahresbericht DHI 1983, 1984). Zugunsten der Genauigkeit und Vergleichbarkeit der Daten wurde jedoch auf eine automatische Registrierung der Tiefen verzichtet und die arbeitsintensive Digitalisierung von der Lotrolle fortgeführt.

Seit etwa Mitte der Fünfziger Jahre ist das Bearbeitungsverfahren der Lotrollen beim BSH/DHI im Wesentlichen gleich geblieben. Lediglich einige Arbeitsschritte wurden automatisiert. Der wichtigste Schritt ist neben der Beschickung das sog. „Anhaken des oberen Drittels“ in den Lotrollen. Von Hand werden dabei durch Seegang entstandene Spitzen im Schreiberstreifen gekappt und die Tiefenlage des Meeresboden im Echolotstreifen festgelegt. Die durch das „Anhaken“ festgelegten Tiefenwerte werden anschließend von der Lotrolle digitalisiert. Aufgrund des seit Jahrzehnten angewendeten Verfahrens sind für diesen Arbeitsschritt vergleichbare Ergebnisse gesichert (Abb. 2.3, Auszug aus einer Lotrolle). Im Gegensatz dazu werden von den übrigen in der Seevermessung tätigen Dienststellen die Tiefen digital erfasst.

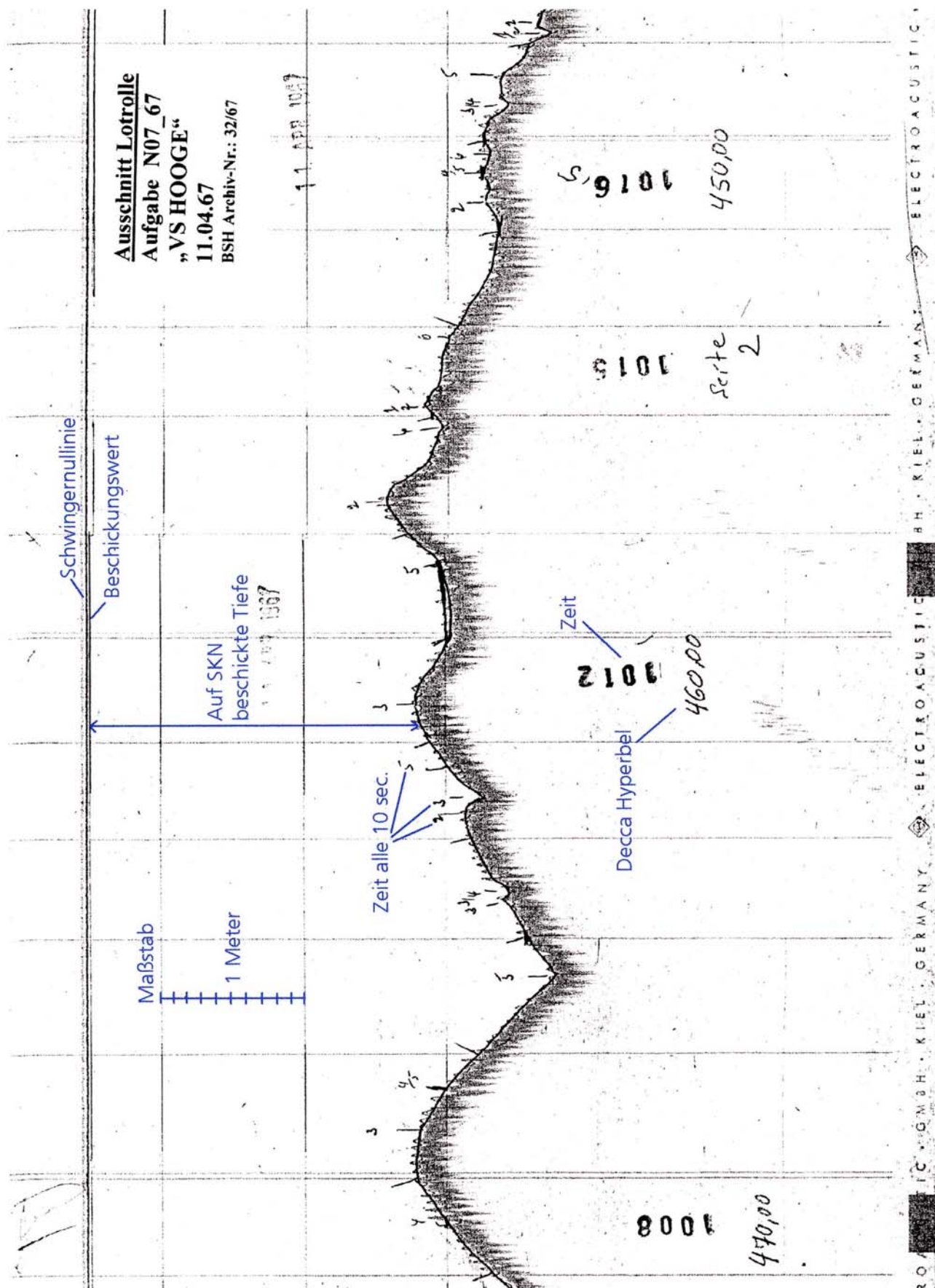


Abb. 2.3: Ausschnitt aus einer Lotrolle (BSH 32/67) mit Erläuterungen zu Positionsangaben, Zeitangaben, Beschickungswert, Anhakerei des oberen Drittels etc.

Beschickungsverfahren

Die Lotungsergebnisse müssen nach Ablesung von der Lotrolle beschickt werden, d.h. die gemessenen Werte werden auf das jeweilige Kartennull reduziert (PIJAROWSKI 1984). Die Lotungen des BSH/DHI werden auf SKN (entspricht dem jeweiligen mittleren Springtide Niedrigwasser) beschickt. Dabei werden mit Hilfe einer Wasserstanderrechnungskarte (vgl. Abb. 2.1 und Anlage A9) für Zonen gleicher Zeitdifferenz für den Hochwassereintritt und Hubzonen mit gleicher Differenz zum mittleren Springtidenhub Beschickungswerte ermittelt. Diese Zonen gehen in die Beschickungsformel ein (s. auch Berechnungsbeispiel in Abb. 2.4) (RHODE 1989):

$$RA = ((TR + 0,1 * RZ)/TR) * (CD - TGR)$$

RA : Beschickungswert

RZ : Hubzone

TGR : Pegelablesung entsprechend der Zeitzone

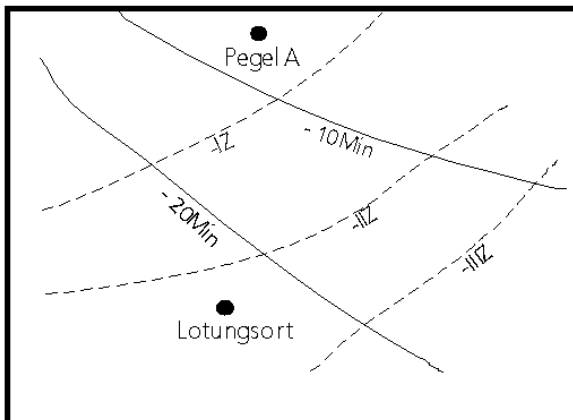
TR : Springtidenhub am Pegelort

CD : Kartennull

Der Beschickungswert RA wird auf Dezimeter gerundet und zu den geloteten Tiefen addiert.

Die Berechnung der beschickten Tiefen erfolgte bis in die Siebziger Jahre von Hand in den Lotungsbüchern; Mitte der Siebziger Jahre wurde der sog. Halbautomat eingeführt. Der berechnete Beschickungswert wurde als Linie in den Echolotstreifen eingezeichnet und die beschickte Tiefe konnte so direkt am Echolotstreifen ermittelt werden. Die Bearbeitung erfolgte an Bord des jeweiligen Vermessungsschiffes.

Wasserstanderrechnungskarte (WEK)
(Pegel A, Jahr XX)



Pegelkurve, Pegel A

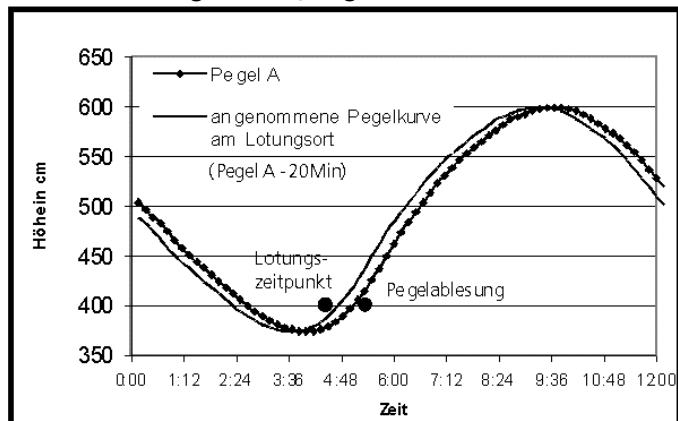


Abb. 2.4: Prinzipskizze zum Beschickungsverfahren

Angaben aus WEK:

Zeitzone: -20 Min

Hubzone (RZ): -II Z

Pegelangaben:

SKN (CD): 3,50 m

MSpThb (TR): 3,00 m

Pegelablesung (TGR): 4,00 m

Gepeilte Tiefe: -10,0 m

Berechnung des Beschickungswertes (RA):

$RA = ((TR + 0,1 * RZ) / TR) * (CD - TGR)$ (RHODE 1989)

$RA = ((3m + 0,1 * (-2)) / 3m) * (3,5m - 4m)$

$RA = -0,47m$; bzw. gerundet: $RA = -0,5m$

Tiefe/SKN = gepeilte Tiefe - RA

Tiefe/SKN = -10m - (-0,47m) = -9,53m; bzw. gerundet = -9,50m

Seit etwa Mitte der Achtziger Jahre erfolgt die Beschickung nicht mehr manuell sondern digital. Dafür wird das BSH-eigene Programm N1BEKO (Referat für Seevermessung und Geodäsie, N1) verwendet. Eingabedaten für die Beschickung sind die Pegelwerte des Vermessungszeitraumes, die WEK des jeweiligen Pegels, Angaben zu den Pegeln (SKN, MSpThb) sowie Ort, Datum und Uhrzeit der zu beschickenden Lotung. Die Beschickungswerte werden digital in Zentimeter errechnet und dann an die digitalen Tiefen gehängt. Die Abrundung der Tiefen auf Dezimeter erfolgt zum Schluss.

2.4 Datenverarbeitung und Berechnung digitaler Geländemodelle

Digitalisierung (Arbeitskarten 1950 bis 1973)

Die für Projektzwecke ausgewählten Arbeitskarten des BSH/DHI wurden, wenn es die Qualität der Arbeitskarte zuließ, gescannt und am Bildschirm mit dem Programm CARIS digitalisiert. Die übrigen Karten wurden am Digitalisierbrett bearbeitet. In den Arbeitskarten ist in der Regel das Gauß-Krüger Koordinatensystem angegeben, das übernommen wurde. Die Daten wurden als ASCII-Daten ausgegeben, konvertiert und in die Projektdatenbank aufgenommen

In einer Reihe von Arbeitskarten sind zusätzlich zu den Tiefenpunkten die Hub- und Zeitzone der verwendeten WEK eingezeichnet. Diese Linien wurden ebenfalls digitalisiert, um mögliche Anpassungen der WEK im Laufe der Jahre zu dokumentieren und untersuchen zu können (Kap. 4.1). Die Arbeitskarten enthalten in der Regel neben den auf SKN beschickten Vermessungsergebnissen (in dm) Angaben zum Vermessungs- und Navigationsverfahren, Bezugspegel usw. (s. Abb. 2.1). Diese Angaben wurden vollständig in die Datenbank aufgenommen und sind in Anlage A7 vollständig wiedergegeben.

Import des digitalen Datensatzes (seit 1974)

Vermessungsdaten seit 1974 konnten vom BSH/DHI in digitaler Form im Format der WSV zur Verfügung gestellt werden (Abb. 2.5). Diese Daten sind nach Vermessungsjahren getrennt in Dateien zusammengefasst. Es ist zwischen Datensätzen mit Messwerten (Koordinaten, Tiefe in SKN, Tiefe in NN, Uhrzeit) und Datensatzheadern mit Angaben zur Messfahrt (Datum, Beginn der Lotung, Schiff, Lotungsgerät..) zu unterscheiden. Für Projektzwecke wurde zusätzlich für jeden Datensatz eine fortlaufende Nummer sowie eine Kennnummer für die Messfahrt vergeben. Die Datensätze mit Koordinaten und Tiefenangaben und die Datensatzheader wurden getrennt gespeichert. Aufgrund der eingeführten Fahrtennummern ist es möglich, für jeden Tiefenwert die Headerinformation wie Bezugspegel, Datum, Schiff usw. abzurufen.

Berücksichtigung der zeitlichen SKN Veränderung

Alle Seevermessungen sind auf das zum Zeitpunkt der Vermessung aktuelle SKN des jeweiligen Bezugspegels bezogen. Die SKN Werte unterliegen in der Regel in den letzten 50 Jahren einer Schwankung von maximal 10 cm (vgl. Abb. 4.1). Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden alle Vermessungen auf das SKN des Jahres 1995 umgerechnet und anschließend der NN Bezug hergestellt. Zur Umrechnung auf das SKN 1995 wurde für jede Vermessungsangabe die Differenz zwischen dem SKN-Wert des jeweiligen Bezugspegels und dem SKN-Wert von 1995 desselben Pegels ermittelt (Anlage A8) und damit eine einheitlich auf das SKN des Jahres 1995 bezogene Tiefe berechnet (vgl. Prinzipskizze Abb. 2.6).

SKN/NN Umrechnung

Für morphologische Analysen, Berechnungen und Bilanzierungen ist ein einheitliches Bezugsniveau erforderlich. Um nicht mit einer gewölbten Oberfläche wie dem SKN arbeiten

Auszug aus der Datei REW_1990 (REW: Rechtwinklig-Ebene Koordinaten, Gauß-Krüger Koordinaten)

1. Datensatz: Headerinformation

H 19003131203061207 SYa GKf1 210DHI 13 0770P

2. Datensatz: Messdaten mit Koordinaten und Tiefen

R 344551400 593140400 -1520 -1750 120306P

R 344545400 593139100 -1440 -1670 120320P

R 344538900 593139400 -1520 -1750 120337P

usw.

Erläuterung der Headerinformationen

H	Datensatzart = Header
1	Datensatznummer der aktuellen Zeile
900313	Datum (yymmdd) der Messfahrt bis zur nächsten Headerinformation, hier der 13.03.1990
120306	Uhrzeit (hhmmss) des ersten Tiefenwertes, hier 12:03:06 Uhr
1207	Arbeitskartennummer der Seevermessung, hier der Jadebusen
SY	Referenz (Navigationsverfahren), hier Syledis ab 1985
a	Genauigkeit der Positionsbestimmung, hier kleiner als 5 Meter
GK	Koordinatensystem der Lage, hier Gauß-Krüger (Bessel)
f1	Lotungsgerät, hier Fahrenholtz
210	Ausgewertete Frequenz, hier 210 kHz
DHI	Dienststelle, hier Deutsches Hydrographisches Institut (ab Mitte 1990 BSH)
13	Schiff/Bootskennung, hier VS „Komet“ Boot K3
0770P	Bezugspegel, hier Wilhelmshaven

Erläuterung der Messdatensätze

R	Datensatzart = gemessene Tiefe
344551400	Rechtswert
593140400	Hochwert
-1520	Tiefenwert auf SKN bezogen, hier Tiefe im Wasser 15,2 Meter
-1750	Tiefenwert auf NN bezogen, hier Tiefe im Wasser 17,5 Meter
120306	Uhrzeit (hhmmss) der Lotung, hier 12:03:06 Uhr, ab 1990
P	Kontrollwert der einzelnen Lotung, P= Position einer Lotung vom Echogramm digitalisiert

Abb. 2.5: Datenformat der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV)

zu müssen und Vergleiche mit Topographischen Kartenwerken zuzulassen, wurden alle Vermessungen vom Bezugshorizont SKN auf NN umgerechnet. Dazu wurden die digitalisierten Arbeitskarten mit einer Ringpolygonkarte (BAW 1996), die den Bezug NN - SKN für das Jahr 1995 darstellt, verschnitten und dann die Tiefenwerte mit SKN Bezug auf NN Bezug umgerechnet (vgl. Prinzipskizze Abb. 2.6).

Die Verwendung einer Ringpolygonkarte (s. Abb. 2.7) für alle Vermessungsjahrgänge setzt die Annahme voraus, dass sich die Krümmung der SKN Oberfläche nicht wesentlich innerhalb der letzten Jahrzehnte verändert hat. Über die Qualität der Ringpolygonkarte, wie genau sie also den Zusammenhang zwischen SKN und NN beschreibt, kann an dieser Stelle nichts ausgesagt werden. Jedoch ist die Bedeutung der vermuteten Unstimmigkeiten gering, solange nicht absolute Tiefen betrachtet werden, sondern Tiefendifferenzen zwischen verschiedenen Vermessungen, da mögliche Ungenauigkeiten in allen Vergleichsdaten enthalten sind und bei der Differenzenberechnung wegfallen.

Umrechnung auf den 3. Streifen im Gauß-Krüger-Koordinatensystem

Alle Positionsangaben liegen bereits in den Rohdaten im Gauß-Krüger Koordinatensystem vor. Um eine einheitliche Datenbasis zu gewährleisten, wurden Koordinaten, die im zweiten Koordinatenstreifen (Bezugsmeridian 6°) vorlagen, in den dritten Koordinatenstreifen (Bezugsmeridian 9°) transformiert. Sämtliche im Forschungsvorhaben untersuchten Daten beziehen sich auf das Gauß-Krüger Koordinatensystem im Dritten Streifen.

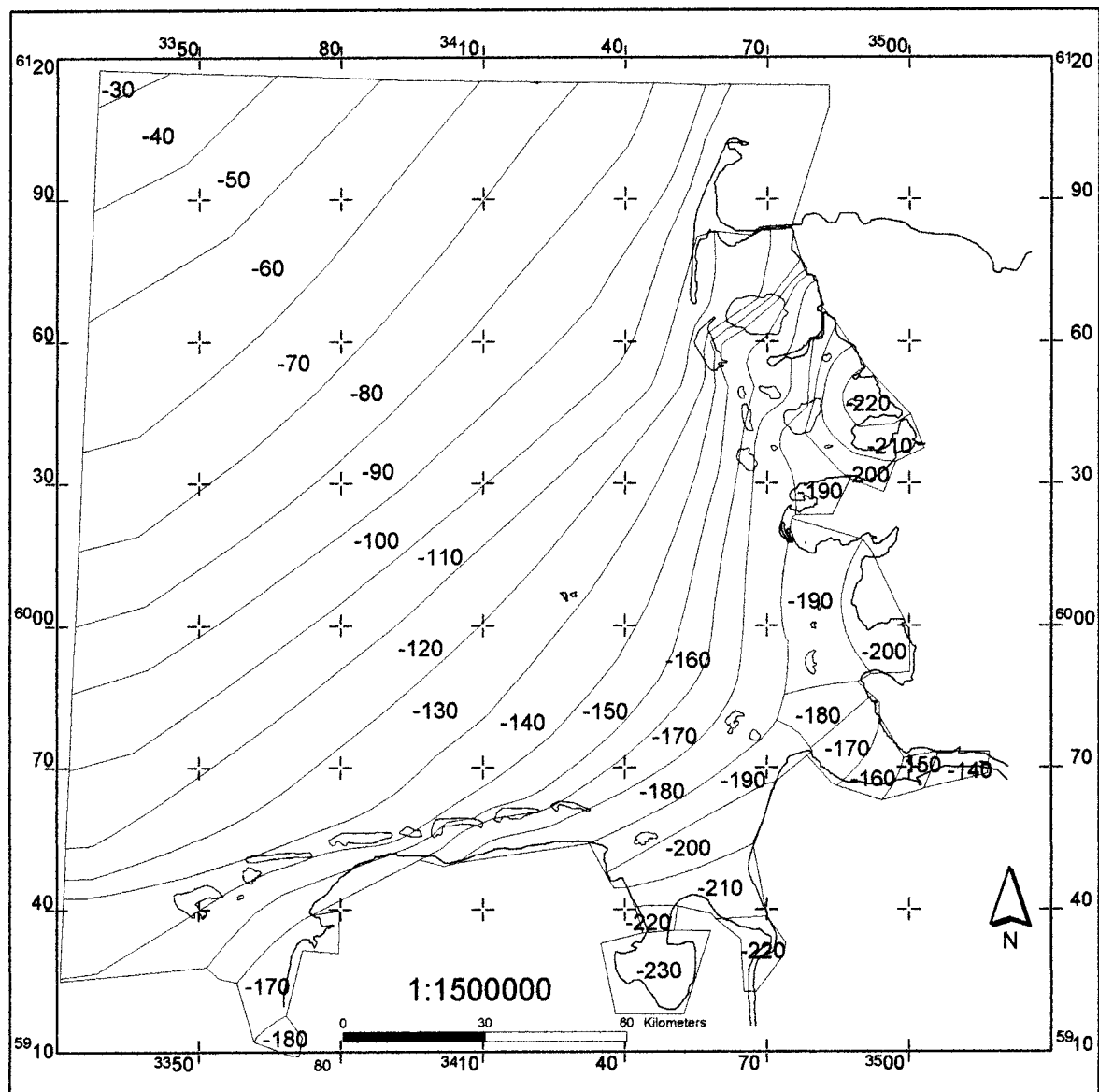
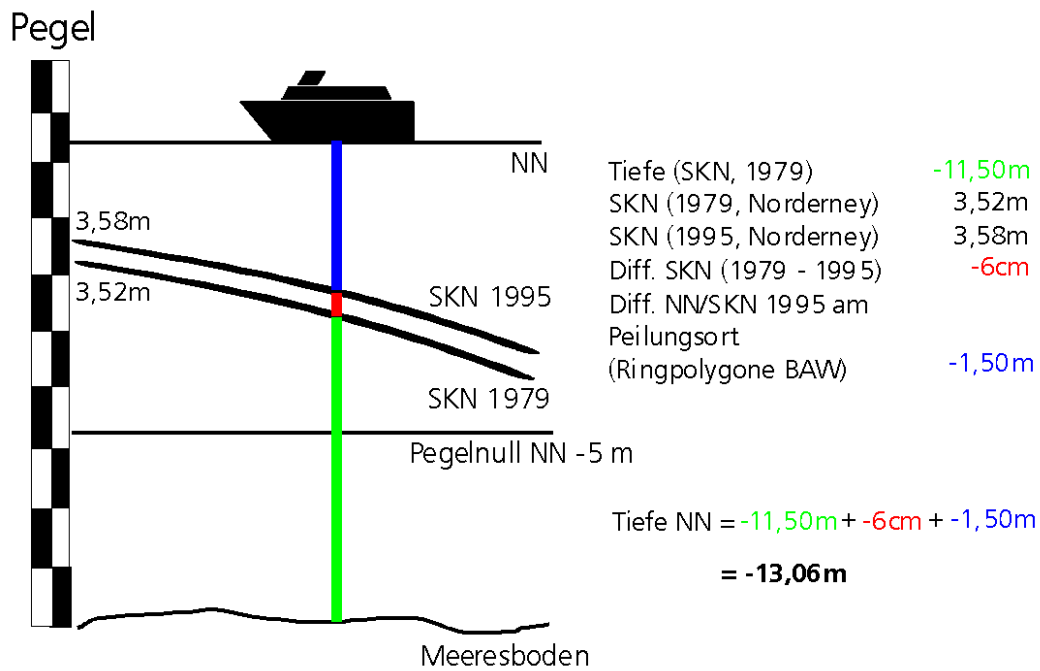


Abb. 2.7: Ringpolygonkarte des Abstandes NN/SKN 1995 (BAW 1996)

Einteilung in Arbeitsgebiete

Aufgrund der Größe des Untersuchungsgebietes war es notwendig, das Untersuchungsgebiet in kleinere Einheiten zu unterteilen. Die gesamte Küste der Deutschen Bucht seewärts der Inseln bzw. Watten wurde in etwa 15 bis 25 km breite streifenförmige Arbeitsgebiete unterteilt (Abb. 2.8). Die dargestellten Arbeitsgebiete enden etwas binnenwärts der Seegatquerschnitte; Wattflächen und ihre Rinnensysteme sind lediglich im Bereich der offenen Watten (Wurster Küste und Dithmarschen) Bestandteil der Arbeitsgebiete. Die seewärtige Grenze richtet sich nach der Verfügbarkeit von Vermessungen. Bei der Abgrenzung der Arbeitsgebiete ließ sich eine Zerschneidung morphologischer Einheiten nicht immer vermeiden. Eine Untersuchung, Darstellung und Bilanzierung beliebig abgegrenzter Gebiete ist auch über mehrere Arbeitsgebiete möglich.

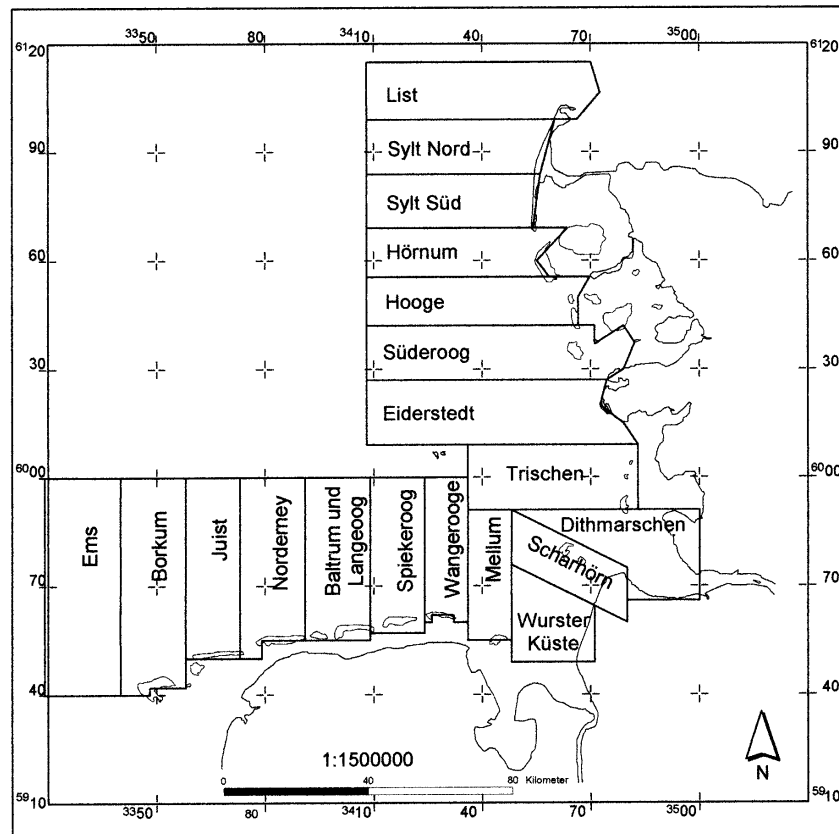


Abb. 2.8: Übersicht der Arbeitsgebiete

Erstellung digitaler Geländemodelle (DGM)

Aus den Vermessungsdaten wurden - getrennt nach Arbeitsgebieten - jahrgangsweise DGM's berechnet. Verschiedene Methoden der DGM-Erstellung - wie Rasterung mit unterschiedlichen Maschenweiten, Berechnung der Höhen mit unterschiedlichen Gewichtungen, z. B. Inverse Distanz, Kriging, verschiedene Suchradien oder Triangulation usw. - wurden miteinander verglichen und führten zu vergleichbaren Ergebnissen. Die Methode der DGM-Erstellung ist im vergleichsweise schwach gegliederten Küstenvorfeld nur von geringer Bedeutung. In Wattgebieten mit Rinnenstrukturen beispielsweise hat die Methode der DGM Erstellung dagegen eine erhebliche Bedeutung.

Als Methode der DGM-Berechnung wurde schließlich die Triangulation gewählt, da dieses Verfahren besonders gut geeignet ist, unregelmäßig verteilte Punkte, wie z. B. bei der Seevermessung, zur DGM-Berechnung zu nutzen und weil sie Extremwerte nicht durch Glättung verschwinden läßt. Die DGM-Erstellung erfolgt mit dem Programmpaket TIN vom GIS Arc/Info der Firma ESRI (Environmental System Research Institute, Redlands, Kalifornien).

Nach der jahrgangsweisen DGM-Erstellung werden die Tiefeninformationen aller Jahrgänge in ein Raster mit einer Rasterweite von 100 * 100 Metern übertragen, wobei die Rasterweite deutlich kleiner gewählt wurde als der übliche Abstand der Tiefenpunkte (≥ 200 m). Das entstandene Raster bildet den Ausgangspunkt für alle weiteren Untersuchungen. Der Datenfluss innerhalb des Forschungsvorhabens von der Arbeitskarte über Transformationen zur Datenbank, DGM Berechnung und verschiedenen Auswertungen ist in Abb. 2.9 dargestellt.

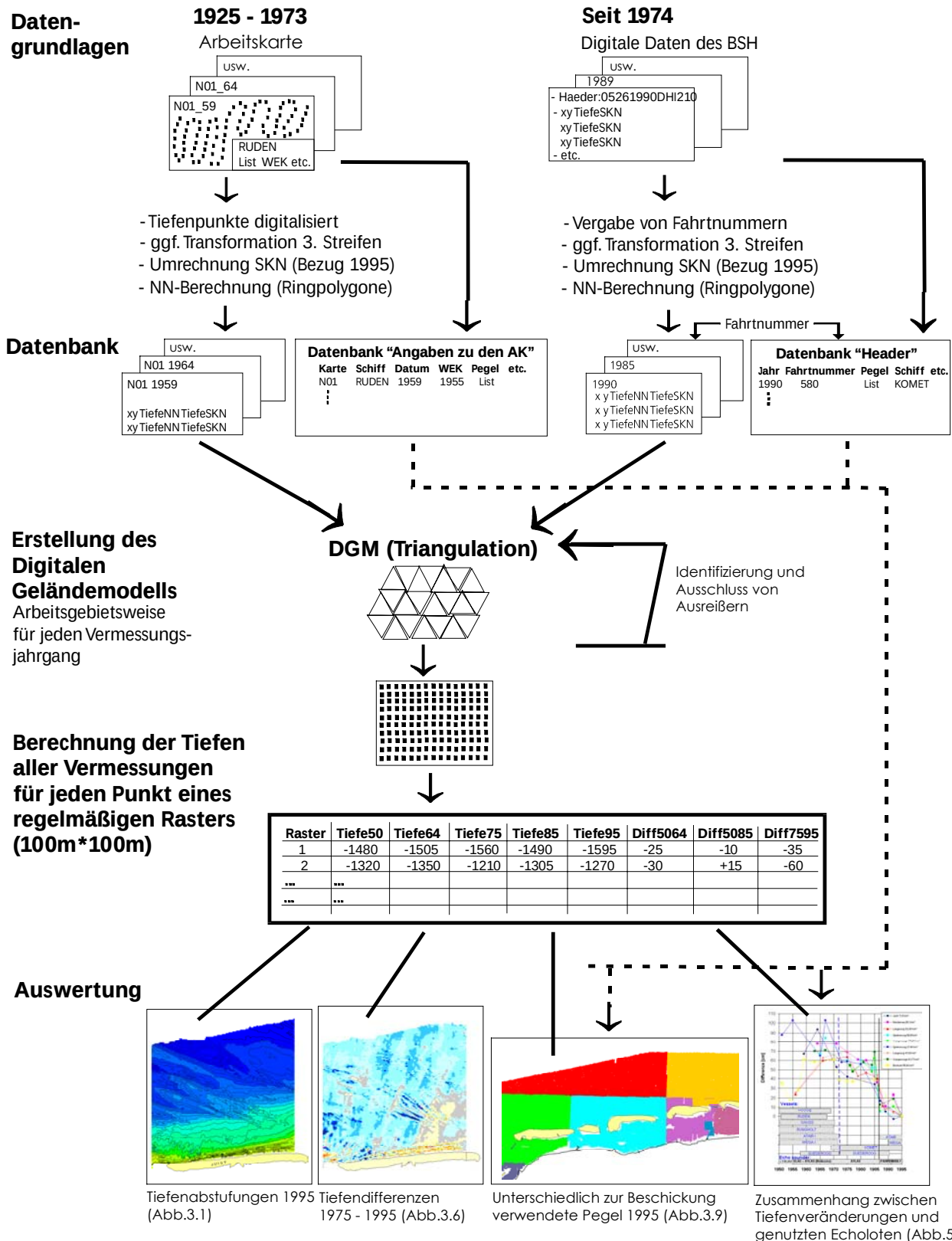


Abb. 2.9: Datenfluss: von den Rohdaten über die digitalen Geländemodelle bis zu verschiedenen Auswertungen

3. Abbildung des Seegrundes durch Seevermessungsdaten

Im Folgenden werden anhand von Beispielen Auffälligkeiten in den Seevermessungsdaten dargestellt, diskutiert, mögliche Ursachen ermittelt und die Folgen für morphologische Untersuchungen aufgezeigt. Bei den dargestellten Ungenauigkeiten handelt es sich um Beispiele, die sich in ähnlicher Form in allen vorliegenden Vermessungen feststellen lassen.

3.1 Beispiele für Vermessungsungenauigkeiten

3.1.1 Vermessungen im Juister Küstenvorfeld

Die Abb. 3.1 zeigt eine Gegenüberstellung der Vermessungsergebnisse von 1975 und 1995 im Juister Küstenvorfeld. Dargestellt sind mit dem GIS berechnete Tiefenlinien (von Hand gezeichnete wären im Wesentlichen identisch). Deutlich wird die morphologische Gliederung des Küstenvorfeldes, wie sie typisch für das Küstenvorfeld der Ostfriesischen Inseln ist. Im Tiefenbereich bis etwa -5 m NN sind strandparallele Platen zu verzeichnen, im Tiefenbereich -5 m bis -8 m NN befinden sich SW bis NO gerichtete Sägezahnriffe. Im Tiefenbereich ab -15 m NN sind die Ausläufer der mehrere Kilometer langen Zungenriffe zu erkennen. Seewärts schließt sich der vergleichsweise ebene und schwach gegliederte Meeresboden an. Ein visueller Vergleich der dargestellten Vermessungen von 1975 und 1995 zeigt eine Reihe von Formveränderungen zwischen 1975 und 1995. Beispielsweise hat sich die Form und Lage der -20 m NN-Linie stark verändert. Neben dem Verschwinden einer „Ausbeulung“ etwa nördlich der Mitte von Juist ist stellenweise eine südliche Verlagerung der -20 m NN-Tiefenlinie um etwa 0,5 km bis 1,0 km zu beobachten. Ebenfalls sind eine Südwärtsverlagerung und Formveränderung der Tiefenlinien zwischen -5 m und -10 m NN zu beobachten.

Abb. 3.2 zeigt die der Abb. 3.1 zugrunde liegenden Vermessungsdaten. Farblich dargestellt sind Vermessungen eines Schiffes an einem Tag sowie die Tiefenlinien aus der Abb. 3.1. Die dargestellte Überlagerung mit den Vermessungsfahrten zeigt eine Reihe von Sprüngen beim Übergang zwischen verschiedenen Messfahrten: ein Hinweis auf eine ungenaue Beschickung. Ebenso kann die Formveränderung der -20 m NN-Linie auf eine abweichende Beschickung einer Messfahrt im Jahr 1975 zurückgeführt werden.

Die Lagegenauigkeit einer Tiefenlinie wird bestimmt durch Beschickungsungenauigkeiten und die mittlere Hangneigung am Meeresboden. Mit welchen Lageungenauigkeiten bei einzelnen Tiefenlinien aufgrund von Beschickungsungenauigkeiten von ± 40 cm zu rechnen ist, ist in Tab. 3.1 beispielhaft dargestellt.

Tab. 3.1: Abschätzung der Lageungenauigkeit von Tiefenlinien aufgrund eines Beschickungsfehlers von ± 40 cm Hinweis: Beschickungsgenauigkeit vgl. Kap. 4.2, Pegel Helgoland. Die angegebenen Hangneigungen entsprechen denen im Juister Küstenvorfeld.

Tiefenbereich	mittlere Hangneigung	entspricht einer Lageungenauigkeit von Tiefenlinien
0 - -5 m NN	1:50 - 1:200	± 20 - 80 m
-5 - -15 m NN	1:100 - 1:500	± 40 - 200 m
< -15 m NN	1:200 - 1:1.000	± 80 - 400 m

Aus Abb. 3.2 wird deutlich, dass durch die unterschiedlichen Richtungen der Messfahrten (1975: SSW bis NNO; 1995: N bis S) und die ungenaue Beschickung unterschiedlich ausgerichtete Muster der Tiefenlinien entstehen, die nicht als morphologische Formen fehlinterpretiert werden dürfen.

Messfahrten zu unterschiedlichen Tidephasen (Beispiel Juist 1995)

In Abb. 3.3 ist die Vermessung 1995 nach Datum (Bild a) bzw. nach der Tidephase (Bild b) während der Peilung dargestellt. Es zeigt sich, dass eine Reihe von Sprüngen am Übergang von Messfahrten durch unterschiedliche Peiltage (mit vermutlich unterschiedlichen Wasserständen und meteorologischen Bedingungen) zum Zeitpunkt der Peilung erklärt werden können. Am auffälligsten ist in diesem Zusammenhang bei dem dargestellten Beispiel die Peilung vom 08.05.95 mit der benachbarten Fahrt vom 20.05.95. In den Übergangsbereichen tritt ein Sprung von über 50 cm auf. Welche der beiden betroffenen Messfahrten oder ob beide fehlerhaft beschickt wurden, ist nicht festzustellen. Eine Korrektur durch eine gezielte Anpassung der Tiefenlinien ist daher nur „optischer Natur“, ohne dass eine Verbesserung der Aussagekraft für quantitative Untersuchungen erreicht wird.

Die Messfahrt am 08.05.95 wurde etwa 2 h nach Hochwasser gepeilt während bei den benachbarten Messfahrten etwa 2 bis 4 h vor Hochwasser gepeilt wurde (Abb. 3.3, Bild b). Es lassen sich weitere Beispiele für Sprünge im Übergangsbereich zweier Messfahrten mit unterschiedlichen Tidezeiten finden. Es sind jedoch auch Sprünge im Übergangsbereich von Messfahrten zu beobachten, die zur gleichen Tidezeit gepeilt wurden. Es ist also nur ein lockerer Zusammenhang der Beschickungsungenauigkeiten mit verschiedenen Tidephasen festzustellen. Auch bei benachbarten Vermessungen, die um Hochwasser am selben Tag gepeilt wurden, können erhebliche Sprünge auftreten.

Auffällig ist weiter die Beschickung der zwei östlichsten Messfahrten am 20.05.95 (Markierung in Abb. 3.3). Die Messfahrten fanden gleichzeitig um Hochwasser statt. Begonnen wurden beide Vermessungsfahrten im Westen. Im Verlaufe der Messfahrten wurden zunehmende Tiefen in östlicher Richtung registriert, wie insbesondere der Verlauf der -10 m NN-Tiefenlinie zeigt. Da bei beiden Vermessungen dieses Phänomen mit dem Einsetzen des ablaufenden Wasser auftritt, kann von einem Beschickungsfehler ausgegangen werden. Der Nachweis solcher Beschickungsungenauigkeiten im Verlauf einer Messfahrt ist in der Regel nicht möglich, da selten eine benachbarte Messfahrt zur gleichen Zeit vorliegt. Mit dem Vorkommen solcher Ungenauigkeiten und daraus entstehenden „scheinbaren morphologischen Formen“ muss aber in jeder Vermessung gerechnet werden.

Profile

Nord-Süd Profil

In Abb. 3.4 ist ein Nord-Süd Profil sämtlicher im Juister Küstenvorfeld vorliegender Vermessungsjahrgänge dargestellt. Unter Berücksichtigung einer Schwankungsbreite durch Beschickungsungenauigkeiten von ± 20 cm bis 40 cm ist eine nahezu durch sämtliche Vermessungen belegte Tiefenzunahme in allen Abschnitten des Profils zu beobachten. Lediglich die Vermessungen der Jahre 1964 und 1959 fügen sich nicht in diesen Trend ein. Die „scheinbare“ Tiefenzunahme zwischen 1971 und 1995 beträgt im gesamten Profil etwa einen knappen Meter.

West-Ost Profil

Im West-Ost Profil in Abb. 3.5 sind ebenfalls alle vorliegenden Vermessungen im Juister Küstenvorfeld berücksichtigt. Die West-Ost Profile schneiden die Messfahrten in der Regel rechtwinklig. Aufgrund der häufigen Sprünge zwischen den Messfahrten zeigen die Profile einen stark gezackten Verlauf. Soweit einzelne Spitzen in den Profilen einem Wechsel zwischen Messfahrten zugeordnet werden konnten, sind sie in den Profilen (erst ab 1974 ist eine Unterscheidung von Messfahrten möglich, vgl. Kap. 2) markiert. Eine eindeutige Unterscheidung zwischen Messfehler und tatsächlich existierenden Formen ist jedoch nicht

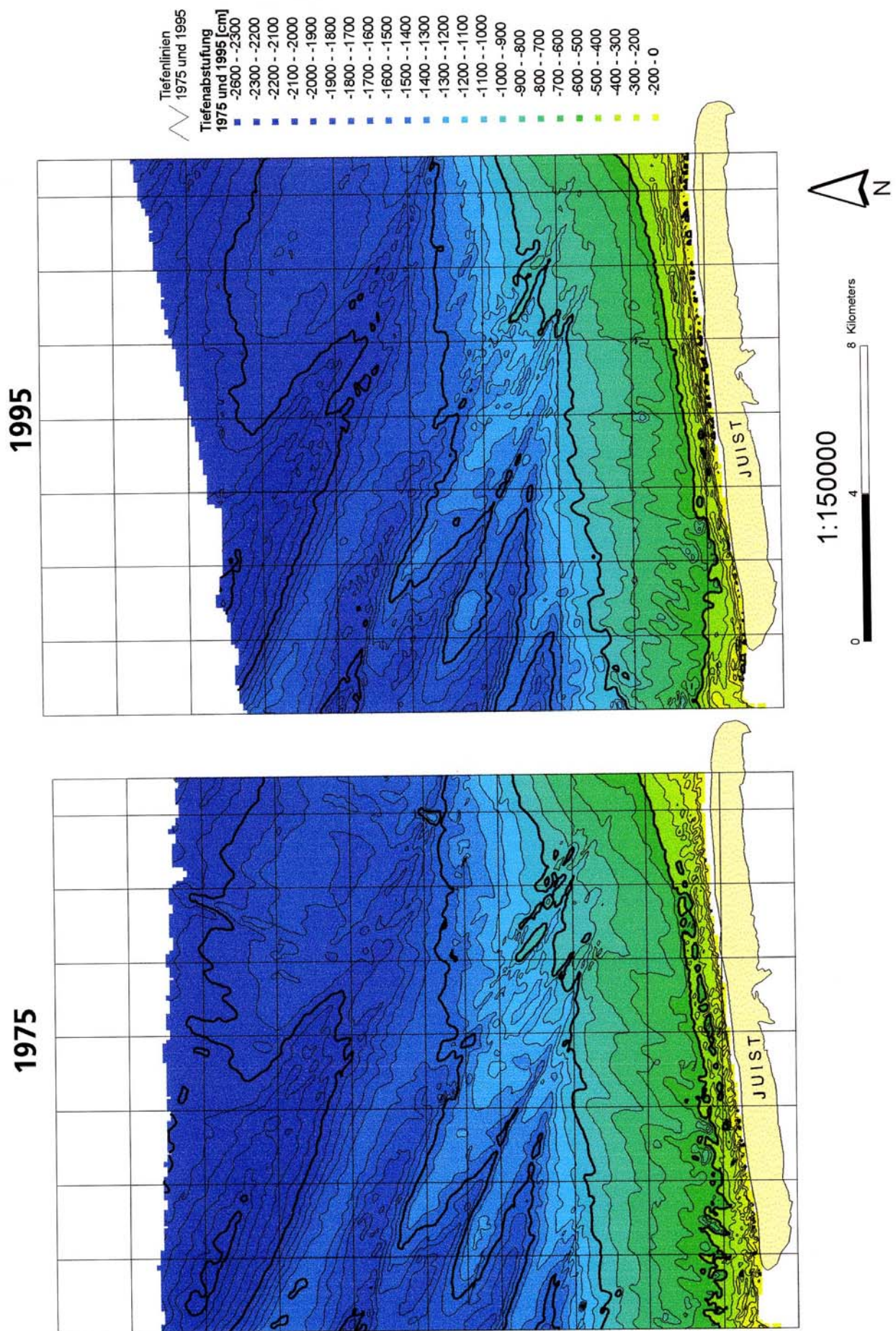


Abb. 3.1: Tiefenabstufung im Juister Küstenvorfeld (Vermessung 1975 und 1995)

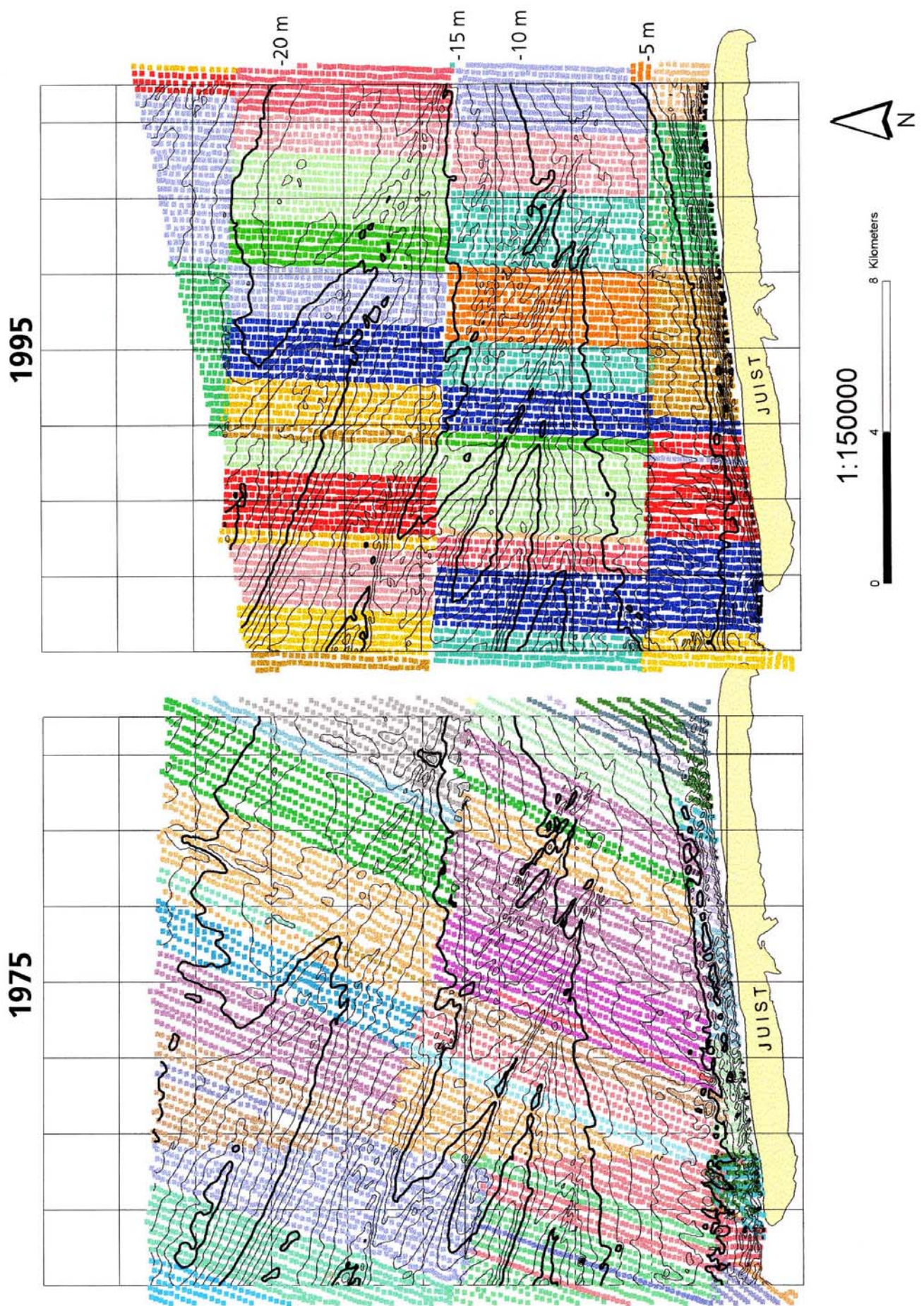


Abb. 3.2: Übersicht der Lotungsfahrten im Juister Küstenvorfeld (Vermessung 1975 und 1995)

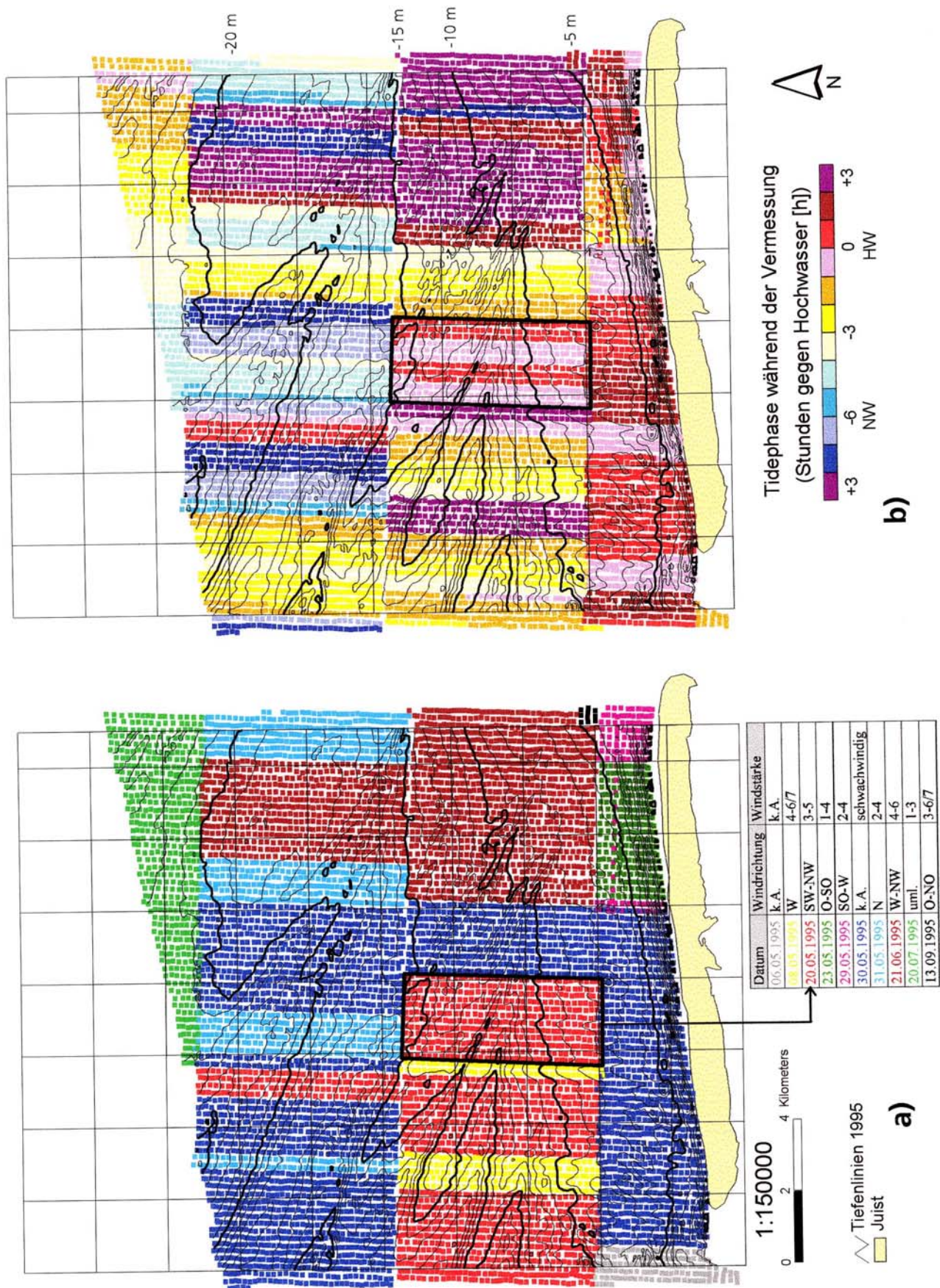


Abb. 3.3: Datum der Vermessungen, Windrichtung und Windstärke (a) sowie Tidephasen während der Vermessung (b) im Juister Küstenvorfeld 1995

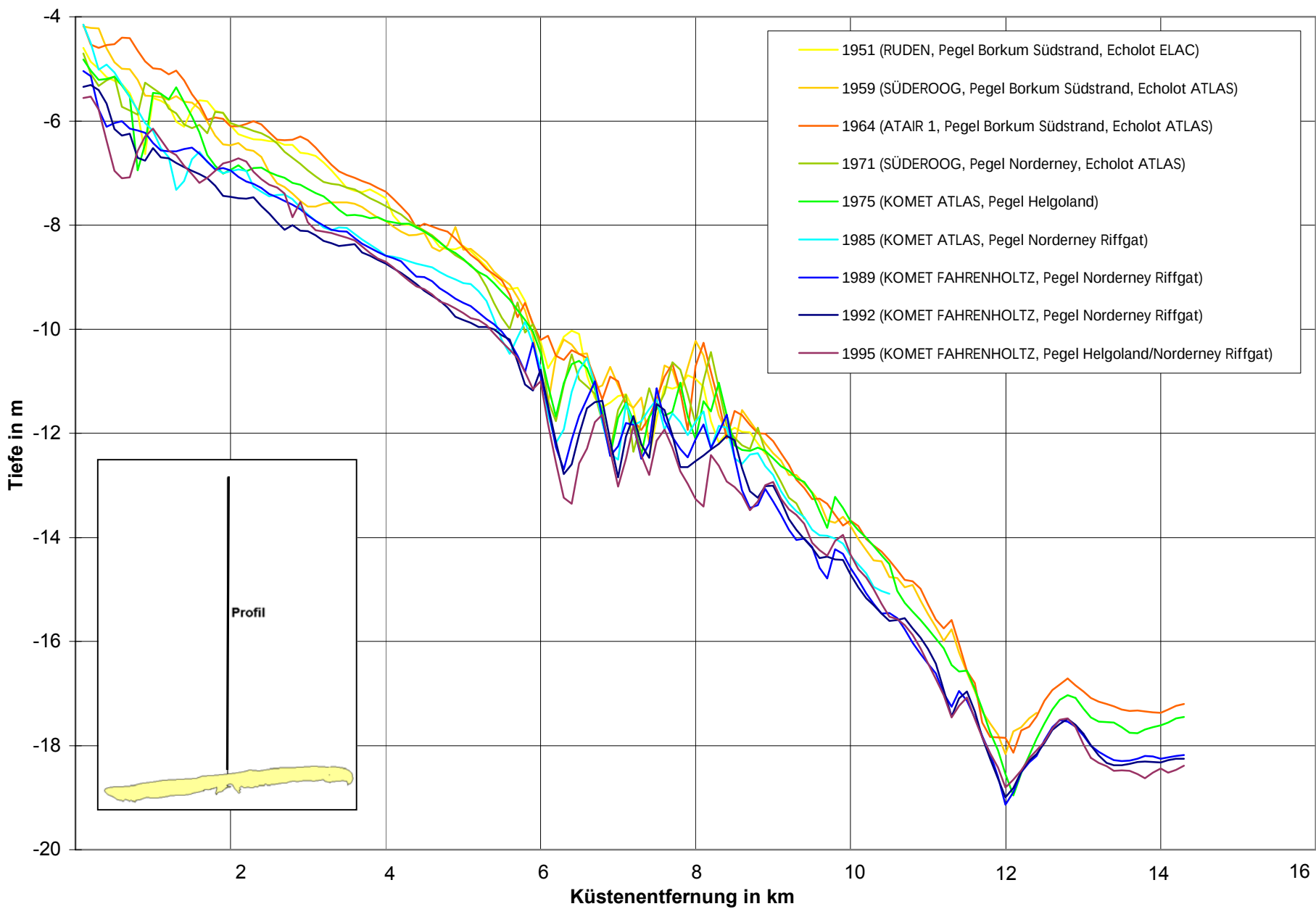


Abb. 3.4: Nord-Süd-Profil im Juister Küstenvorfeld

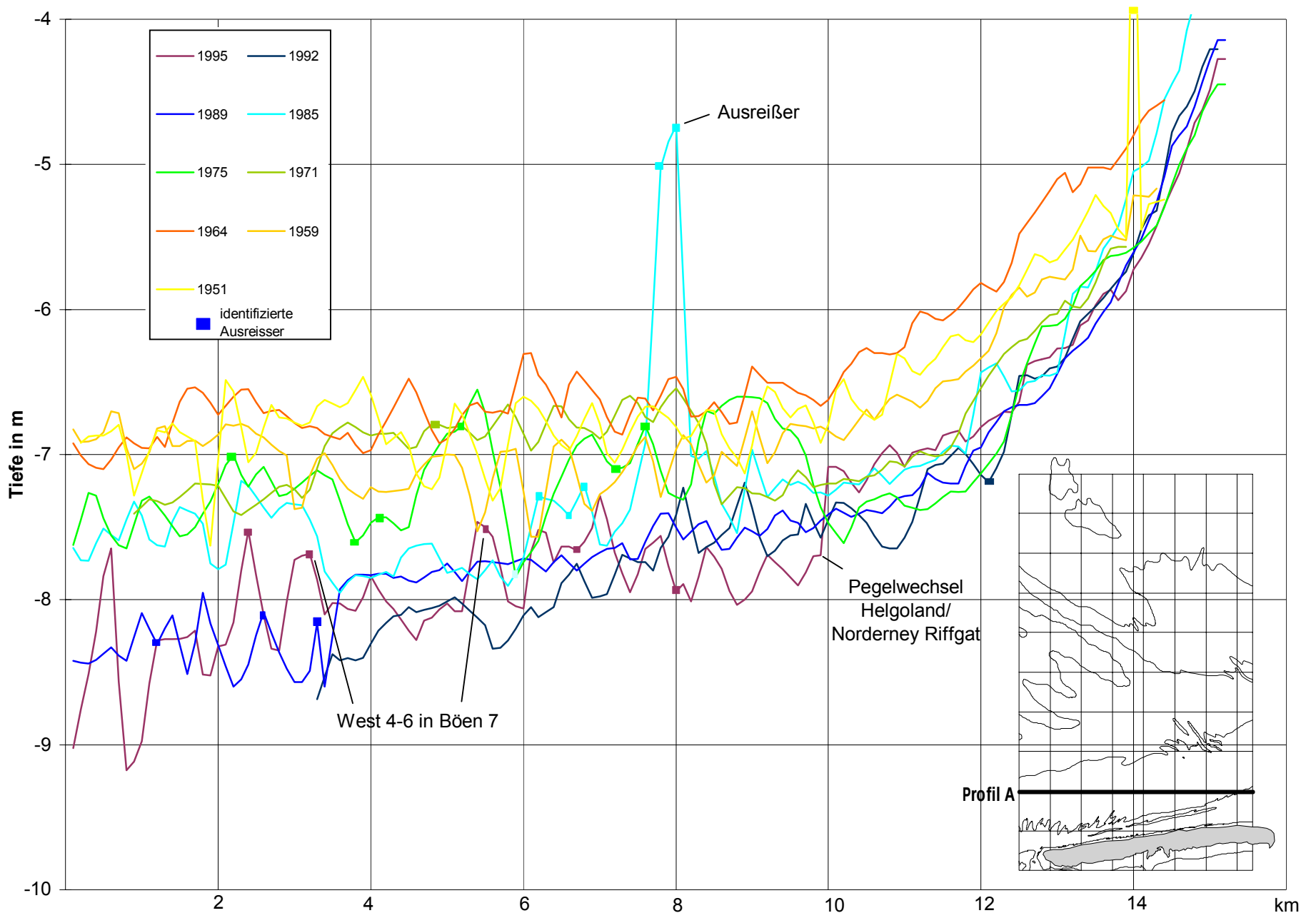


Abb. 3.5: Ost-West-Profil im Juister Küstenvorfeld

△ Tiefenlinien 1995
Differenz 1995 - 1975 in cm

- < -375
- -375 - -325
- -325 - -275
- -275 - -225
- -225 - -175
- -175 - -125
- -125 - -75
- -75 - -25
- -25 - 25
- 25 - 75
- 75 - 125
- 125 - 175
- 175 - 225
- 225 - 275
- 275 - 325
- > 325

Küstenvorfeld Juist 1995 - 1975

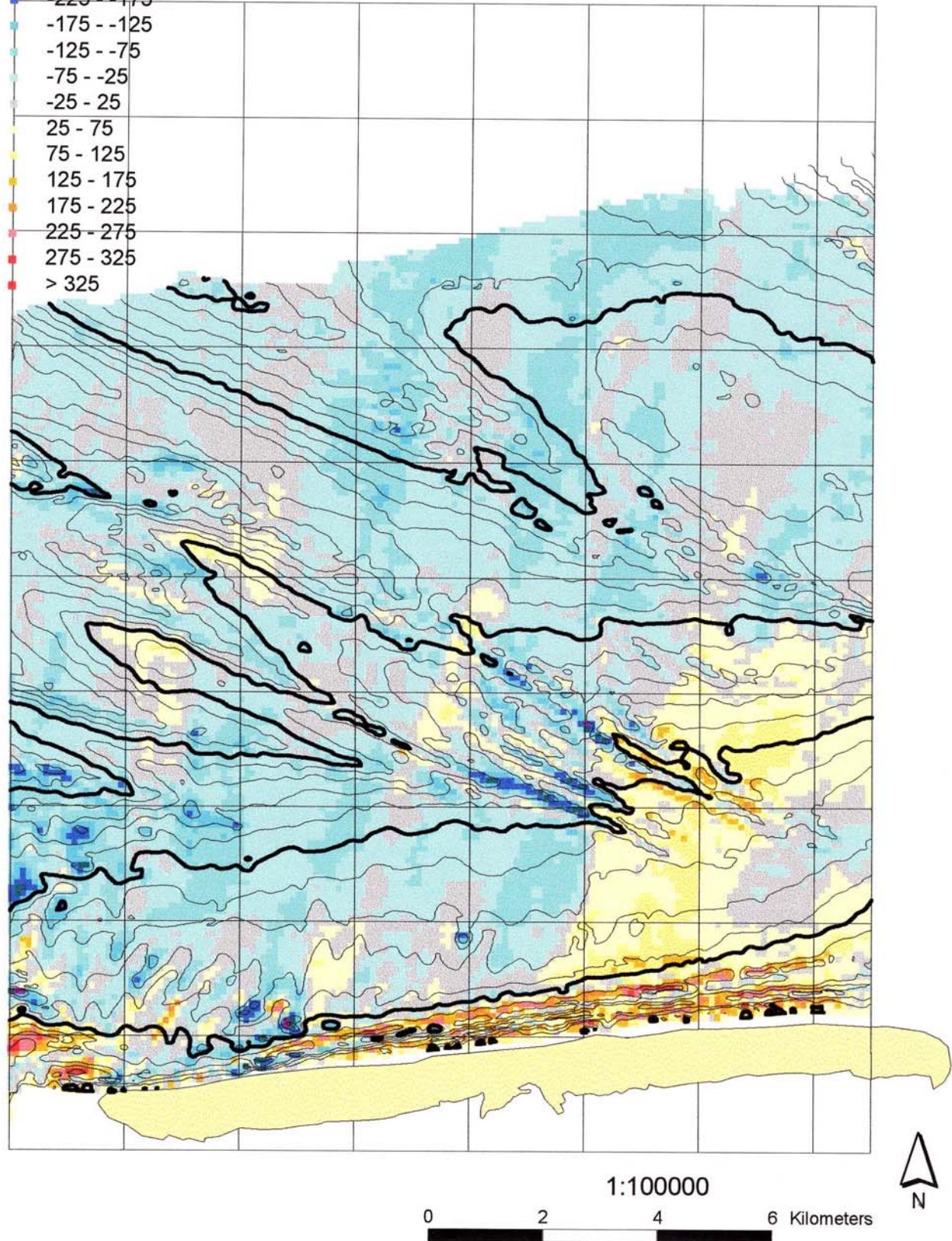


Abb. 3.6: Tiefendifferenzen im Juister Küstenvorfeld zwischen 1995 und 1975

möglich. Neben dem gezackten Verlauf der Profile ist wieder eine starke Tiefenzunahme im gesamten Profil zu verzeichnen. Auch in dieser Darstellung weichen die Vermessungen von 1964 und 1959 von den übrigen Vermessungen ab.

Tiefendifferenzen und Sedimentbilanz

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde neben der üblichen, aber hier nur begrenzt aussagekräftigen Darstellung in Profilen, die flächenhafte Darstellung von Tiefenveränderungen genutzt. In Abb. 3.6 sind die Tiefendifferenzen der Vermessungen 1995 - 1975 dargestellt. Wie bereits eine detaillierte Betrachtung der einzelnen Vermessungen zeigte, muss mit erheblichen Ungenauigkeiten in der Beschickung gerechnet werden. In der flächenhaften Darstellung von Tiefendifferenzen treten diese Ungenauigkeiten noch deutlicher in Form von Streifen hervor. Eindeutig wird die Richtung der Messfahrten durch Streifungen wiedergegeben (vgl. Abb. 3.2).

Einzelne Messfahrten fallen durch eine um fast einen Meter voneinander abweichende Beschickung auf (vgl. Messfahrten 1975 im südöstlichen Küstenvorfeld). Eine sorgfältige Durchsicht der Vermessungsunterlagen von 1975 brachte keine Erklärung für diese fehlerhafte Beschickung. Vermutlich spielen Ablese- oder Einstellfehler eine Rolle. Dieses Beispiel zeigt - neben dem Umfang und der Größe der auftretenden Fehler - auch die höhere Aussagekraft einer flächenhaften Darstellung für die Zielsetzung dieses Projektes gegenüber „klassischen“ Profildarstellungen oder Weg-Zeit-Plänen von Tiefenlinien.

Neben der erheblichen Datenungenauigkeit ist auch in der Differenzen-Auswertung eine Tiefenzunahme im gesamten Arbeitsgebiet festzustellen. Im Mittel beträgt die Tiefenzunahme im Juister Küstenvorfeld zwischen 1975 und 1995 etwa 70 cm. Bei einer untersuchten Fläche von 208,9 km² ergäbe sich ein Sedimentverlust von fast 150 Mio m³ innerhalb von 20 Jahren für das Juister Küstenvorfeld. Auffällig sind das nahezu vollständige Fehlen von Akkumulationsgebieten bis in Tiefen von über 20 m. Seewärts ist keine Grenze der Tiefenzunahmen festzustellen. Bilanzierungen mit weiteren Vermessungen im Juister Küstenvorfeld sowie Bilanzierungen aus anderen Arbeitsgebieten ergaben ein vergleichbares Bild. Diese Ergebnisse erscheinen nicht plausibel und erzwingen Verifikations-Untersuchungen.

3.1.2 Vermessungen im Norderneyer und Langeooger Küstenvorfeld

Tiefendifferenzen und Sedimentbilanz

Die am Beispiel des Juister Küstenvorfeldes dargestellten Vermessungsungenauigkeiten und Tiefenzunahmen lassen sich auch in anderen Vermessungen finden. In Abb. 3.7 sind die Tiefendifferenzen 1995 - 1975 für das Norderneyer und Langeooger Küstenvorfeld dargestellt. Auch hier tritt deutlich eine Streifung durch Beschickungsungenauigkeiten hervor. Die Vermessung 1995 wurde auf verschiedene Küstenpegel und im küstenfernen Bereich auf den Pegel Helgoland (vgl. Abb. 3.9 und 3.11) beschickt. Die Wechsel der Bezugspegel sind in der Differenzenkarte deutlich zu erkennen, insbesondere der Wechsel auf den Bezugspegel Helgoland (Abb. 3.7, Fläche 1). Die Streifung im nördlichen Bereich zeigt große Ungenauigkeiten bei der Beschickung auf den Pegel Helgoland an. Die Ungenauigkeiten erreichen in diesem Beispiel eine Größenordnung von ca. ± 50 cm (Abschätzung aus Abb. 3.8 aufgrund der gewählten Klasseneinteilung). Eine zuverlässige Ermittlung der Tiefenveränderung in diesem vermutlich morphologisch ruhigen Bereich ist dadurch kaum noch möglich.

Nördlich der Insel Langeoog fällt ein mehrere Quadratkilometer umfassender Bereich durch abweichende Tiefendifferenzen auf (Abb. 3.7, Fläche 2). Es handelt sich um die Ergebnisse einer fehlerhaften Vermessung von 1995 (Abb. 3.10).

Differenzen 1995 - 1975

- 1** Beschickung auf den Pegel Helgoland (Streifenmuster)
- 2** Einzelne Messfahrten sind deutlich zu erkennen
- 3** Pegelwechsel Helgoland /Küstenpegel

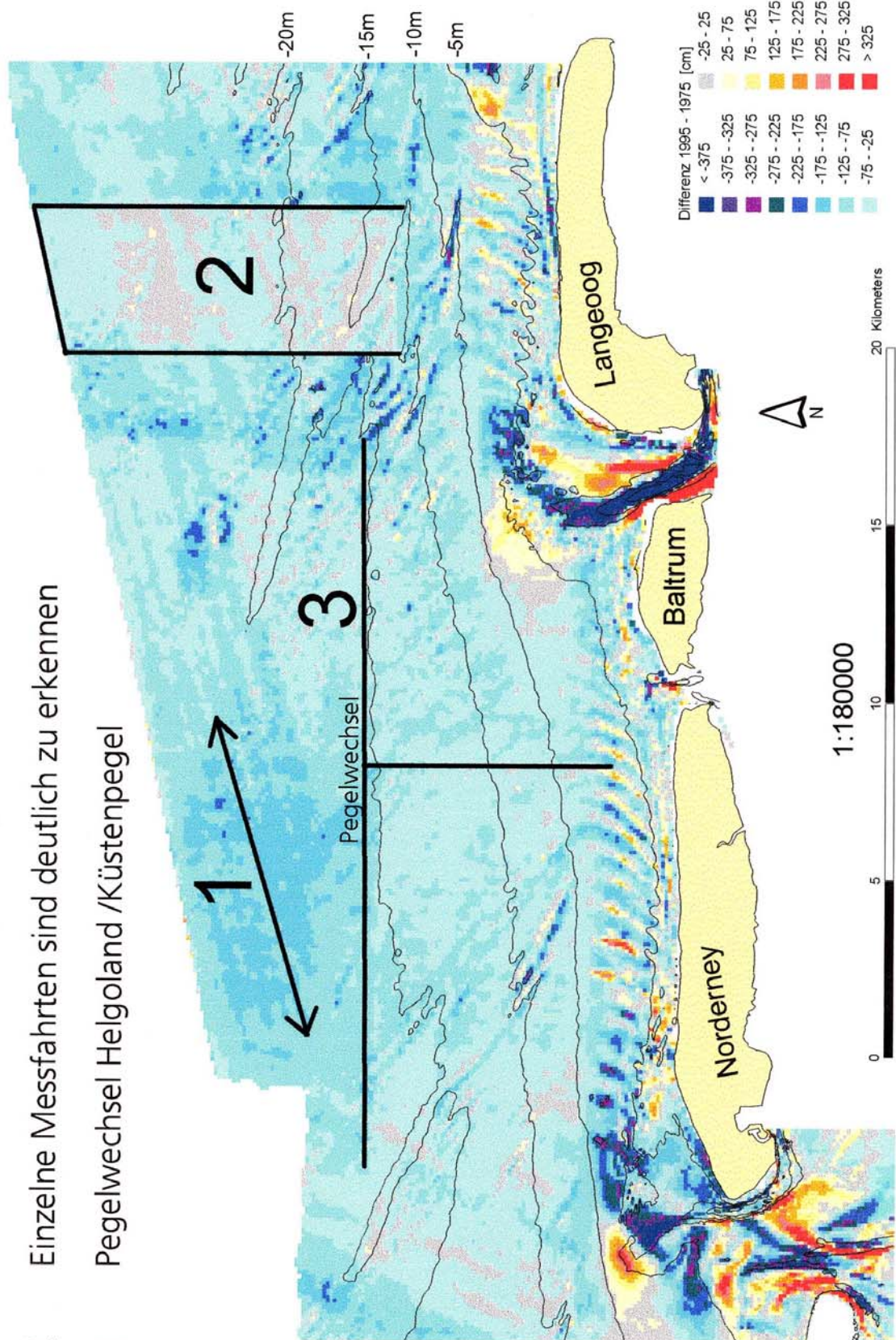


Abb. 3.7: Tiefendifferenzen im Norderneyer und Baltrum/Langeooger Küstenvorfeld zwischen 1995 und 1975.

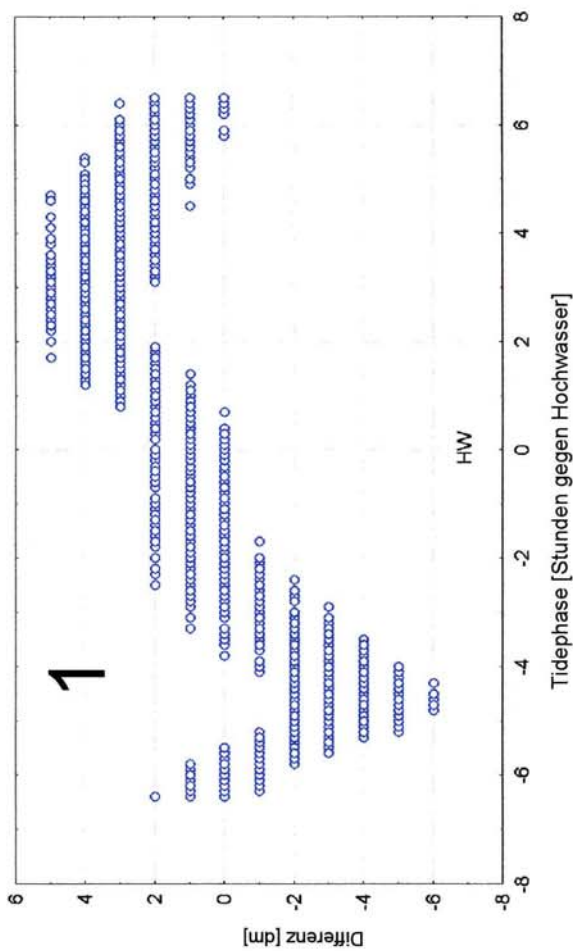


Abb. 3.8: Differenz zwischen Beschickungswerten der Pegel Helgoland und Norderney

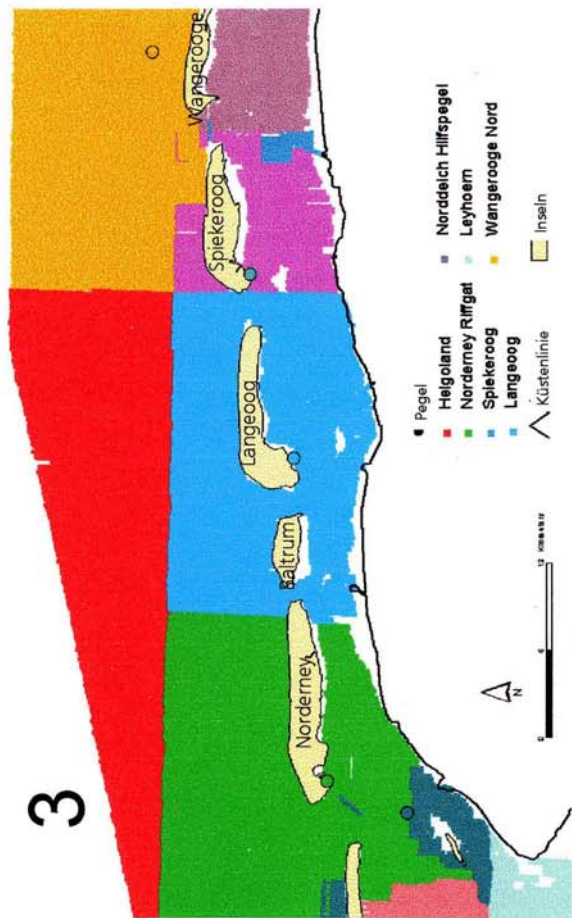


Abb. 3.9: Unterschiedliche zur Beschickung verwendete Pegel 1995



Abb. 3.10: Lotungsfahrten im Langeooger Küstenvorfeld 1995

Im Vorstrandbereich der Inseln Norderney und Langeoog (Abb. 3.7) sind die Muster der sich verlagernden Sägezahnriffe zu beobachten. Im Bereich des Norderneyer Seegats und der Accumer Ee treten deutlich die sich verlagernden Rinnensysteme hervor. Aufgrund der stärkeren Hangneigungen und stärkeren Sedimentdynamik ist in diesen Bereichen das Muster der Messfahrten nicht zu erkennen.

Auch in dem Gebiet seewärts der Inseln Norderney und Langeoog (Abb. 3.7) ist eine flächenhafte Tiefenzunahme ohne nennenswerte Akkumulationsgebiete zu verzeichnen. Im Mittel sind auch hier Tiefenzunahmen von etwa 70 cm innerhalb von 20 Jahren (1995 - 1975) zu verzeichnen. Bei einer untersuchten Fläche von 526,2 km² entspräche dies einem Sedimentverlust von über 360 Mio m³.

In Abb. 3.12 sind für einen 95,47 km² großen Ausschnitt aus dem Norderneyer Küstenvorfeld die Tiefenveränderungen aller vorliegenden Vermessungen gegenüber der Vermessung 1995 für verschiedene Tiefenstufen dargestellt. Abgesehen von einzelnen Ausreißern und den Vermessungen 1992 und 1950 kann aufgrund von 7 Vermessungen eine kontinuierliche Tiefenzunahme im gesamten Norderneyer Küstenvorfeld festgestellt werden. Seewärts ist auch in diesem Gebiet keine Grenze der Tiefenzunahmen bis in -24 m Wassertiefe zu verzeichnen. Im Zeitraum 1960 bis 1995 werden Tiefenzunahmen von über 75 cm in Wassertiefen von -10 m bis -24 m angezeigt. Diese Größenordnung der Tiefenzunahmen ist jedoch unrealistisch. Die diesem Beispiel zugrundeliegenden Vermessungen bedürfen einer Überprüfung hinsichtlich ihrer Genauigkeit und Vergleichbarkeit. Im Wesentlichen entspricht das dargestellte Beispiel aus dem Norderneyer Küstenvorfeld dem Trend in den übrigen Arbeitsgebieten und bestätigt die Notwendigkeit von Verifikationsuntersuchungen.

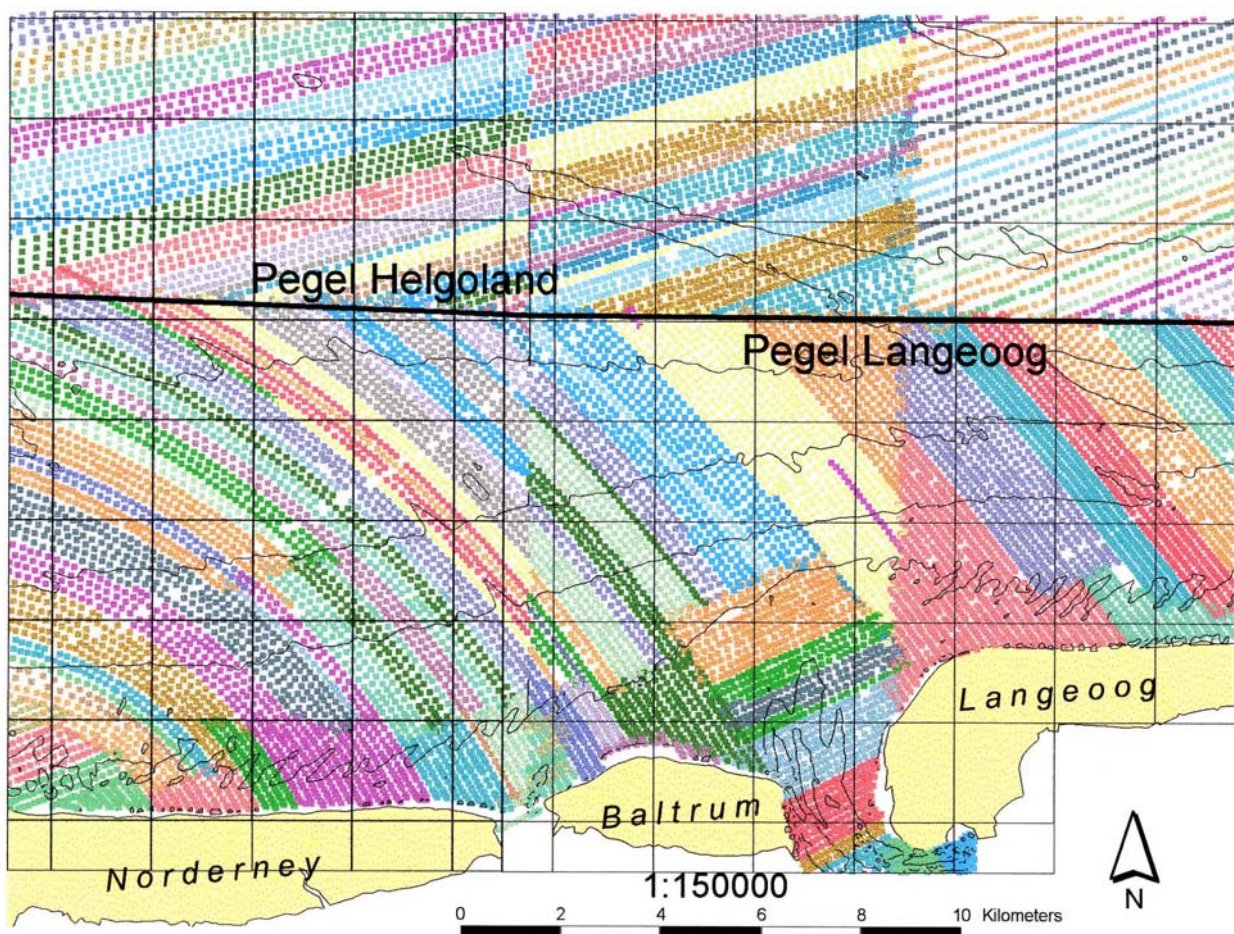


Abb. 3.11: Lotungsfahrten im Norderneyer und Langeooger Küstenvorfeld 1975

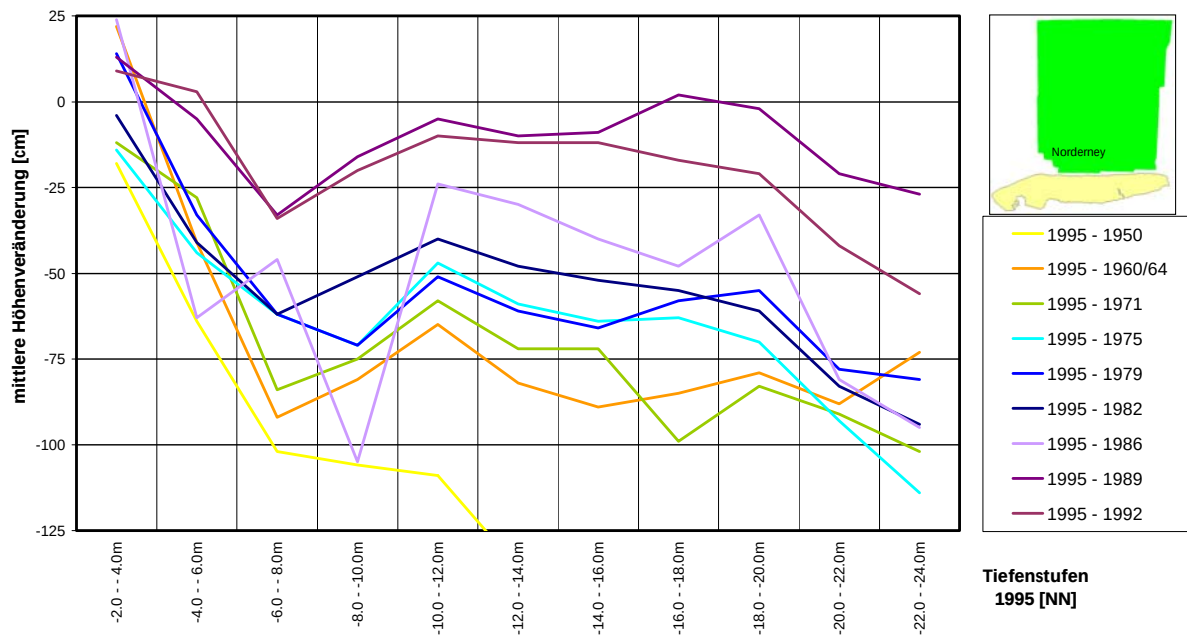


Abb. 3.12: Mittlere Höhenveränderungen im Norderneyer Küstenvorfeld 1995 – 1950

3.1.3 Vermessungen im südlichen Sylter Küstenvorfeld

Beschickungsungenauigkeiten

Abb. 3.13 zeigt Tiefendifferenzen zwischen den Vermessungen 1997 und 1991 (oberstes Bild) sowie die Muster der zugrundeliegenden Messfahrten (1991: Mitte, 1997: unten). Die Vermessung 1997 wurde auf den Pegel Messpfahl Westerland beschickt; 1991 wurden die Pegel Hörnum und Helgoland verwendet. Der Übergang zwischen den beiden Bezugspegeln zeichnet sich deutlich in der Differenzenkarte ab. Während für das seewärtige Gebiet mit dem Bezugspegel Helgoland mittlere Tiefenveränderungen von +18 cm festgestellt werden, ergibt sich für das nähere Küstenvorfeld mit dem Bezugspegel Hörnum eine mittlere Tiefenzunahme von -12 cm. Beide Werte sagen jedoch wenig über tatsächliche Tiefenveränderungen aus, sondern müssen als Beschickungsungenauigkeiten gesehen werden.

Die scheinbare Veränderung der fett hervorgehobenen -15 m NN-Linie (Abb. 3.13) zwischen 1991 und 1997 zeigt den Einfluss der ungenauen Beschickung. Begünstigt wird das Hervortreten von Vermessungsungenauigkeiten durch ein wenig strukturiertes und vergleichsweise ebenes Küstenvorfeld. Bei einer Beschickungsungenauigkeit von ± 40 cm und Hangneigungen zwischen 1:1.000 und 1:5.000 muss mit einer Lageungenauigkeit einer Tiefenlinie von 400 bis 2.000 m gerechnet werden. Sinnvolle Aussagen durch Tiefenlinienvergleiche sind unter diesen Bedingungen kaum möglich.

Ein ähnlich unbefriedigendes Ergebnis liefert das in Abb. 3.14 dargestellte Profil aus dem südlichen Sylter Küstenvorfeld. Es zeigt zunächst ein relativ starkes Gefälle, bis in etwa 1 km Küstenentfernung eine Tiefe von -11 m NN erreicht wird und der Meeresboden nur noch ein sehr geringes Gefälle (kleiner als 1:1.000) aufweist. Der Meeresboden ist vergleichsweise wenig strukturiert. Insgesamt standen für das dargestellte Profil 13 Vergleichsvermessungen von 1952 bis 1997 zur Verfügung. Während im unmittelbaren Küstenvorfeld (bis ca. 1 km) wenig Veränderungen festzustellen sind (kleinen Maßstab beachten!), sind im küstenfernen

Ungenauigkeiten der Vermessungsdaten am Beispiel Sylt-Süd

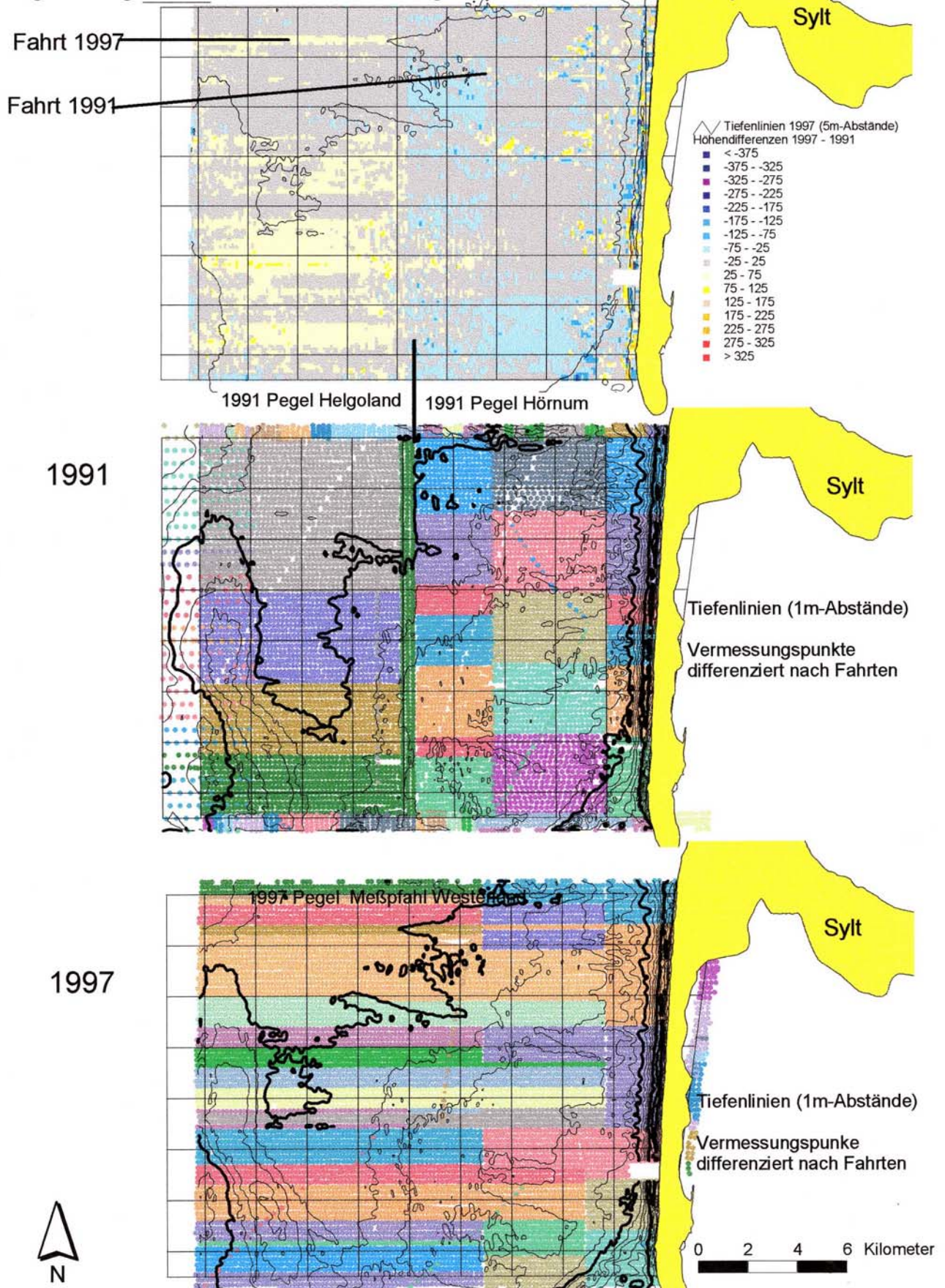


Abb. 3.13: Tiefendifferenzen, Fahrtenmuster und Beschickungspegel (1997,1991) im südl. Sylter Küstenvorfeld

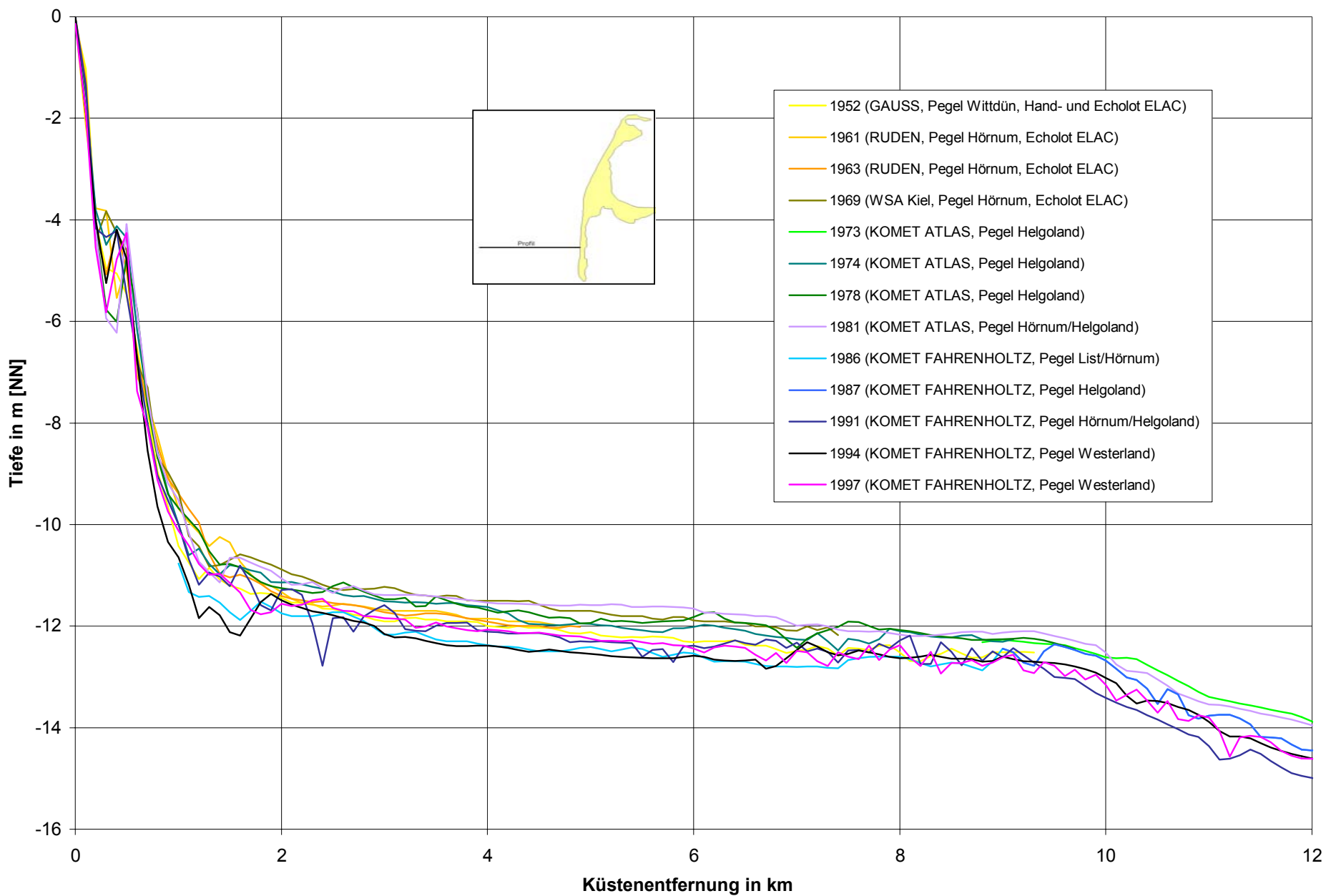


Abb. 3.14: West-Ost Profil im südlichen Sylter Küstenvorfeld

Profil Tiefenveränderungen von etwa 1 Meter festzustellen. Vermessungen aus den 50er und frühen 60er Jahren zeigen etwa eine mittlere Tiefenlage, während Ende der 60er und in den 70er Jahren im Schnitt wenige Dezimeter geringere Tiefen gemessen wurden. Ab Mitte der 80er Jahre werden wiederum zunehmende Tiefen registriert.

Eine Ausnahme bildet die Vermessung aus dem Jahr 1981. Hier wurden die mit Abstand geringsten Tiefen ermittelt. Auffälligerweise zeigt die Vermessung von 1981 im gesamten Sylter Küstenvorfeld vergleichsweise sehr geringe Tiefen an. Überprüfungen der Vermessungsunterlagen ergaben jedoch keinerlei Anhaltspunkte für die Ursache der unplausiblen Tiefenwerte. Die Vermessung von 1981 vor Sylt ist aufgrund der Unplausibilitäten nur eingeschränkt für quantitative morphologische Untersuchungen zu nutzen.

Es lassen sich in den Seevermessungen noch eine Reihe weiterer unplausibler Vermessungen finden (z.B. 1964 vor Juist, vgl. Abb. 3.4 und Anlage B10). Mit dem Abweichen einzelner Vermessungsjahrgänge muss demnach bei jeder Auswertung gerechnet werden. Auf eine umfassende Identifizierung fehlerhafter Vermessungsjahrgänge wurde zugunsten der Untersuchung der in allen Gebieten zu verzeichnenden Tiefenzunahme verzichtet.

In Abb. 3.15 sind mittlere Höhenveränderungen gegenüber der Vermessung 1997 im Arbeitsgebiet Sylt-Süd dargestellt. Im Gegensatz zu den Profilen, die sich in der Regel auf wenige Messungen entlang der Profillinie stützen, beruht diese Darstellung auf dem Mittelwert einer größeren Fläche. Damit wird eine größere Sicherheit gegenüber einzelnen fehlerhaften Tiefenwerten erreicht. Auch in dieser Darstellung ist eine durch mehrere Vermessungen gestützte Tiefenzunahme innerhalb der letzten Jahrzehnte festzustellen. Die Tiefenzunahme beträgt etwa 60 cm zwischen 1974 und 1997. Auffällig sind jedoch die drei Vermessungsjahrgänge 1952, 1969 und 1981. Sie fügen sich nicht in diesen Trend ein.

Das Beispiel aus dem Sylter Küstenvorfeld verdeutlicht die Probleme, die sich aus den Vermessungsungenauigkeiten für quantitative Analysen ergeben. Vor Sylt scheint die Beschickung der Lotungen besonders problematisch zu sein; es treten dort noch größere Unregelmäßigkeiten als in anderen Gebieten auf. Angesichts der dargestellten Datenungenauigkeiten und einer im Gegensatz dazu vermutlich nur geringen Sedimentdynamik in küstenferneren Bereichen ist es im Sylter Küstenvorfeld besonders fraglich, ob es mit den BSH/DHI-Vermessungen möglich ist, Aussagen mit hinreichender Verlässlichkeit zu Tiefen- und Formveränderungen zu gewinnen.

Methodischer Hinweis zu den Abbildungen

In Abb. 3.15 sind für das Sylter Küstenvorfeld die mittleren Höhenveränderungen der einzelnen Vermessungsjahrgänge gegenüber 1997 dargestellt. Den Abbildungen liegen „Mittelwerte für Teilflächen entsprechend der ausgewiesenen Tiefenstufen“ zugrunde, die durch geraden miteinander verbunden sind. Nahezu sämtliche Linienzüge verlaufen im negativen Bereich, d. h. gegenüber dem Bezugsjahr 1997 ist Erosion zu verzeichnen (negatives Vorzeichen = geringere Tiefe im Vermessungsjahr als im Bezugsjahr 1997 = Erosion). Aus Gründen der Datendokumentation wurden für sämtliche Arbeitsgebiete diese mittleren Höhenveränderungen berechnet (Anhang B11 mit „unkorrigierten“ und B12 mit „korrigierten“ Daten).

Für das Gesamtgebiet „Sylter Küstenvorfeld“ ist dazu in Abb. 3.16 die zeitliche Entwicklung (seit 1952) der mittleren Tiefendifferenzen gegenüber 1997 dargestellt. Nahezu sämtliche mittleren Tiefendifferenzen sind positiv, d. h. es wurden in nahezu allen Vermessungsjahren

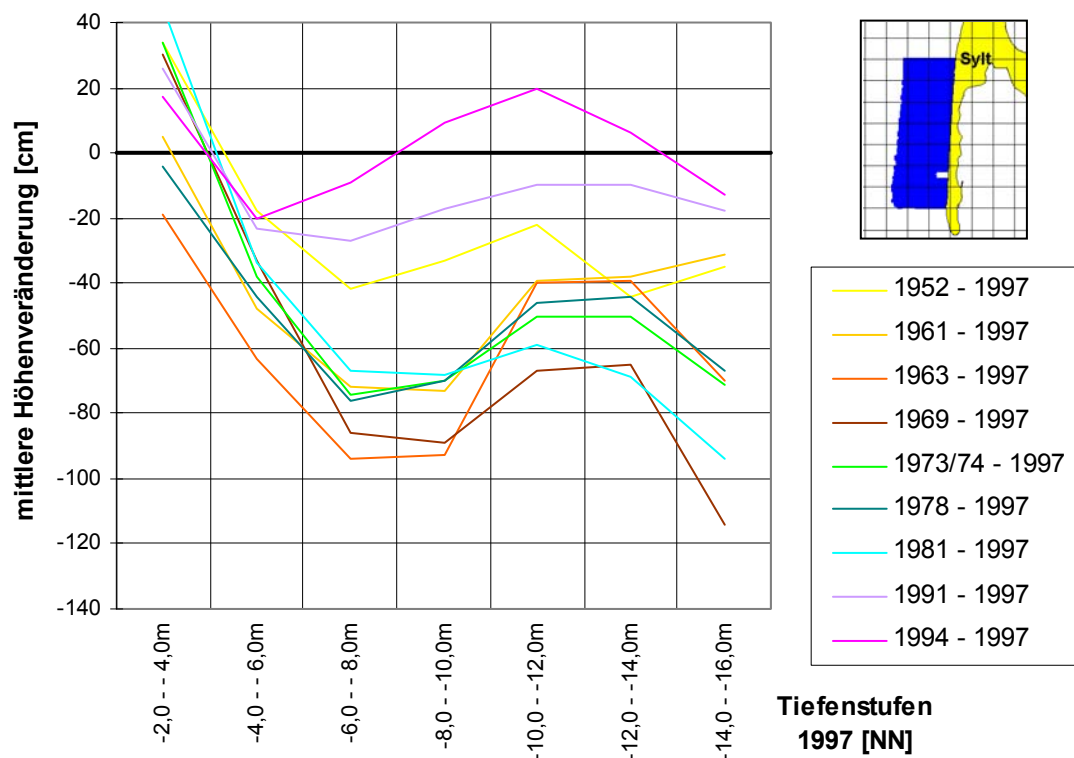


Abb. 3.15: Mittlere Höhenveränderungen im südlichen Sylter Küstenvorfeld 1997 – 1952

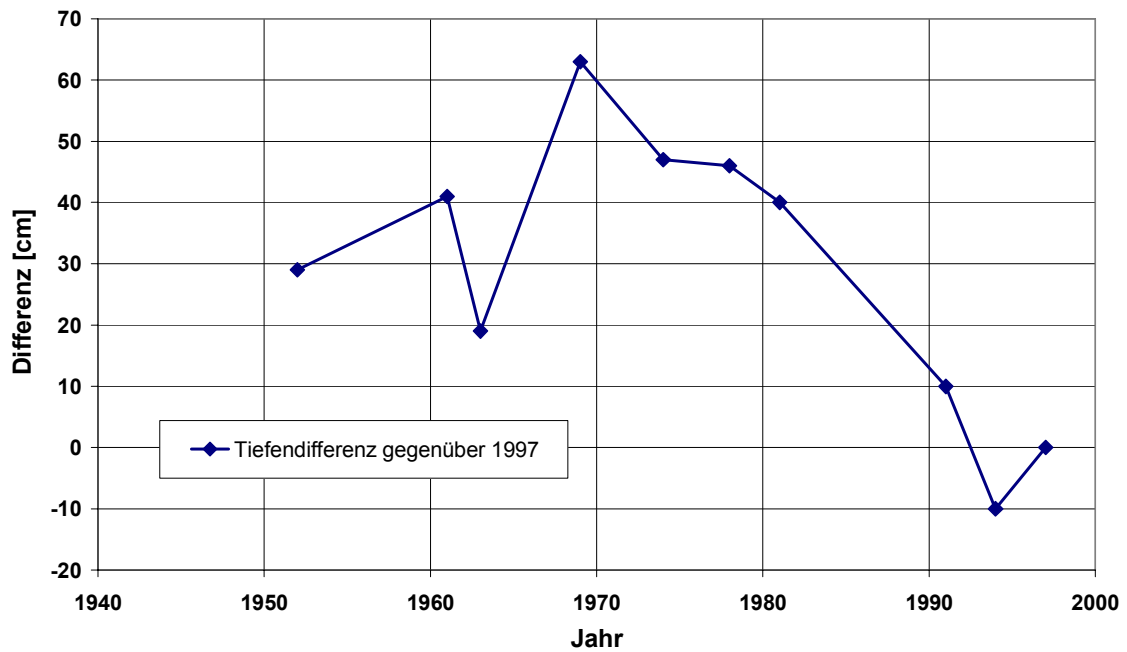


Abb. 3.16: Mittlere Tiefendifferenzen gegenüber 1997 im südlichen Sylter Küstenvorfeld (65,74 km²)

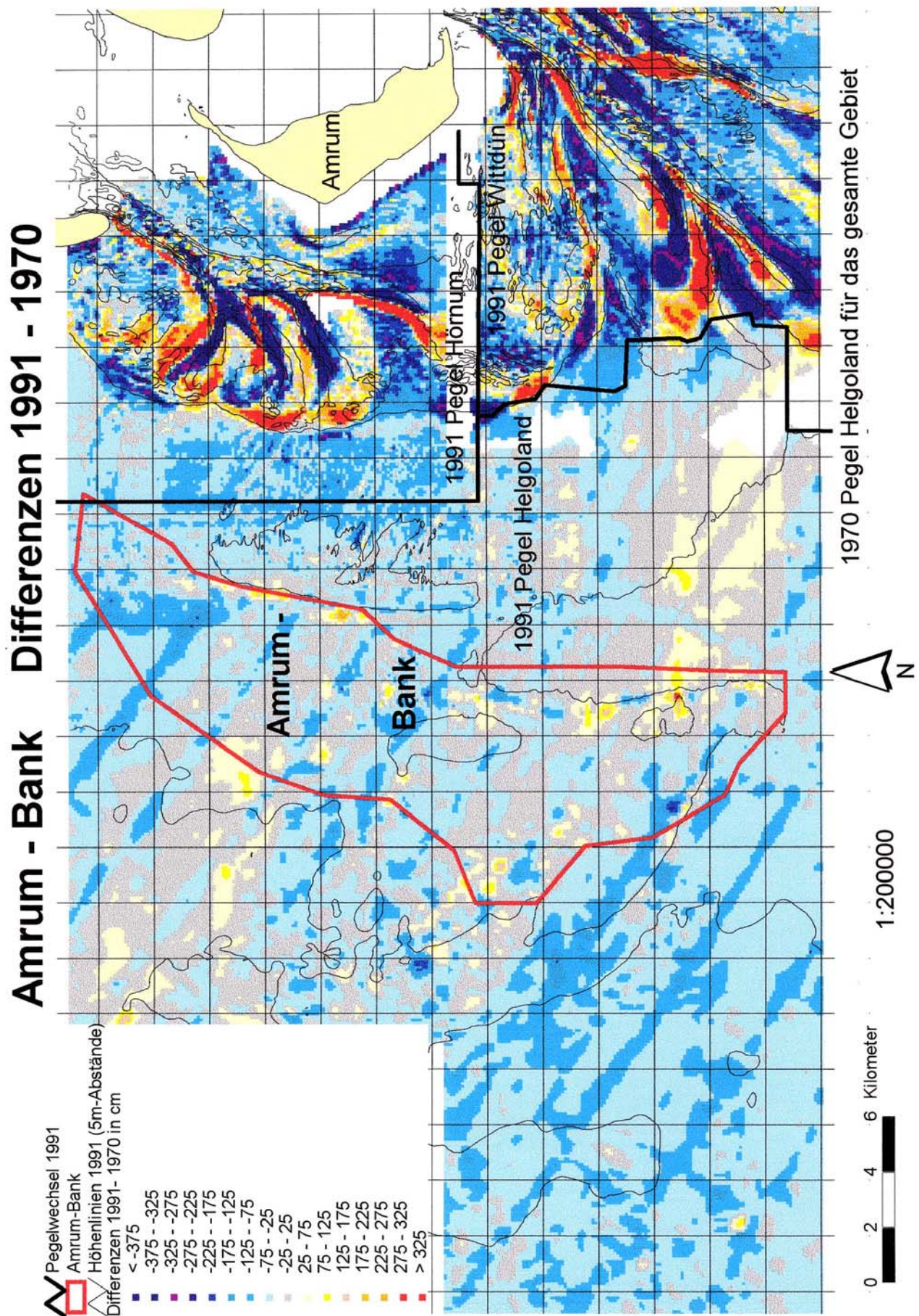


Abb. 3.17: Tiefdifferenzen im Bereich der Amrum Bank zwischen 1991 und 1970

gegenüber 1997 geringere Tiefen registriert (positives Vorzeichen = größere Tiefe im Bezugsjahr 1997 als im jeweiligen Vermessungsjahr = Erosion). Zur Datendokumentation wurden für sämtliche Arbeitsgebiete diese mittleren Tiefendifferenzen berechnet und als Geradenzug dargestellt (Anhang B13).

Beide Darstellungsarten wurden im Rahmen der Untersuchungen verwendet und haben ihre jeweilige Bedeutung für die erzielten Ergebnisse.

3.1.4 Vermessungen im Bereich Amrum Bank

Beschickungsungenauigkeiten

Ein weiteres Beispiel für Ungenauigkeiten in den Vermessungsdaten zeigt den seewärtigen Bereich vor Amrum im Bereich der Amrum Bank (Abb. 3.17). Es sind die Tiefendifferenzen zwischen den Vermessungen von 1970 und 1991 dargestellt. Die Vermessung 1970 wurde auf den Pegel Helgoland beschickt, 1991 wurden verschiedene Küstenpegel verwendet. Deutlich zeichnet sich der Einfluss der in NW-SO-Richtung durchgeführten Messfahrten von 1970 ab. Weiter zeigen Bruchkanten die Wechsel der Beschickungspegel der Vermessung 1991 an und weisen auf die Probleme beim Vergleich von Vermessungen mit verschiedenen Bezugspegeln hin.

Aufgrund der besonderen geologischen und hydrodynamischen Situation im Bereich der Amrum Bank wäre zu erwarten, dass sich die Strukturen der Amrum Bank in der Differenzkarte widerspiegeln. Dies ist jedoch nicht eindeutig der Fall. In erster Linie zeichnen sich Vermessungsungenauigkeiten ab. Trotz aller Unsicherheiten wurde für das dargestellte Gebiet eine Bilanzierung durchgeführt. Es ergibt sich eine mittlere Tiefenzunahme von 44 cm in 21 Jahren. Bezogen auf ein Gebiet von 181,8 km² ergibt dies einen rechnerischen Sedimentverlust von 80,0 Mio m³ für dieses Untersuchungsgebiet. Erneut sind kaum Akkumulationsgebiete festzustellen und seewärtig ist keine Grenze der Tiefenzunahmen zu verzeichnen.

3.1.5 Vermessung im Spiekerooger Küstenvorfeld

Einfluss von Seegang und Fahrtrichtung

Das durch den Einfluss der fehlerhaften Beschickung scheinbare Formen am Meeresboden entstehen, veranschaulicht das folgende Beispiel. Abb. 3.18 zeigt einen Ausschnitt aus dem östlichen Spiekerooger Küstenvorfeld.

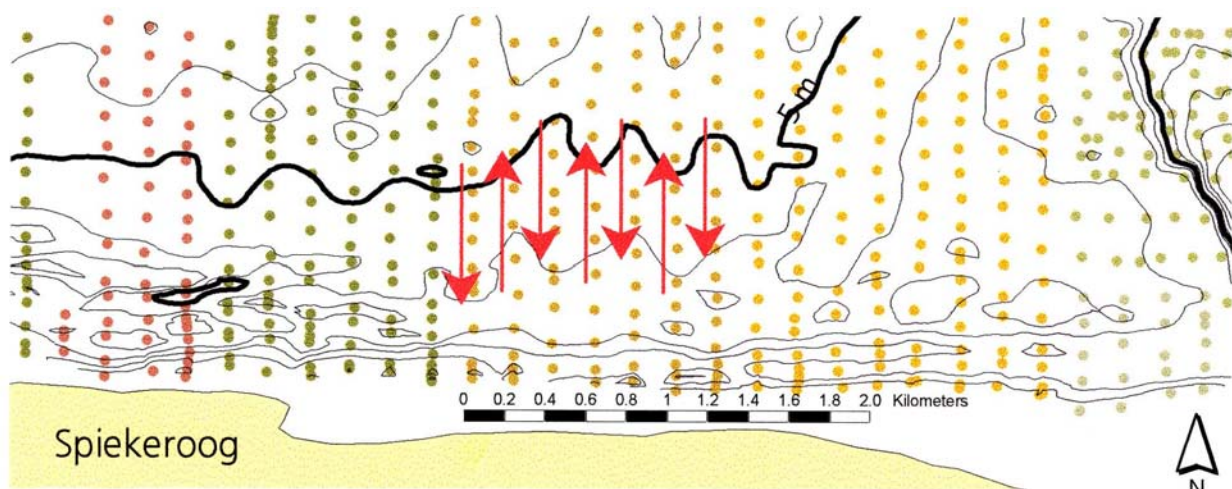


Abb. 3.18: Ausschnitt aus dem Spiekerooger Küstenvorfeld. Vermessung 1995 mit berechneten Tiefenlinien. Der Einfluss der Fahrtrichtung (mit bzw. gegen den Seegang) tritt hervor und lässt scheinbare Formen entstehen.

Auffällig ist der Verlauf der NN -5 m -Linie, bevor sie sich im Bereich der Accumer Ee nach Norden verschiebt. Die NN -5 m -Tiefenlinie zeigt regelmäßige Formen an, wie sie in diesem Bereich aufgrund der häufig vorkommenden Sägezahnriffe auch erwartet werden. Die Vermessung fand am 03.10.95 bei schwachen südlichen Winden (3 Beaufort) statt. Die eingezeichnete Fahrtrichtung der Vermessungsboote zeigt einen deutlichen Zusammenhang zwischen Fahrtrichtung und den entstehenden Formen. Fahrten in Richtung Strand (mit dem Seegang) zeigen um wenige Dezimeter größere Tiefen als Fahrten in entgegengesetzter Richtung. Als Folge entsteht die beschriebene regelmäßige Ausbeulung der Tiefenlinie. Mit Sicherheit handelt es sich bei diesen „Ausbeulungen“ um Messfehler und nicht um möglicherweise existierende Sägezahnriffe.

3.1.6 Gegenüberstellung der KFKI-Karte (1975) und zugrundeliegende Vermessungen am Beispiel Blatt 2208, Norderney

Das KFKI-Kartenwerk von 1975 basiert im Küstenvorfeld im Wesentlichen auf Vermessungen des BSH/DHI. Die Tiefenlinien der Karte stimmen weitgehend mit in diesem Forschungsvorhaben berechneten Tiefenlinien überein. Kleinere Abweichungen ergaben sich in einigen Bereichen in der absoluten Höhenlage der Daten. Möglicherweise wurde ein anderer Ansatz zur Umrechnung von SKN auf NN Bezug gewählt. Daten mit unterschiedlichen Umrechnungsmethoden von SKN in NN sind jedoch nicht direkt vergleichbar.

In Abb. 3.19 sind die digitalisierten Tiefenlinien der KFKI-Karte (Blatt 2208) dargestellt. Zusätzlich wurden die Tiefenpunkte der zugrundeliegenden BSH-Vermessungen dargestellt. Die Gegenüberstellung der Tiefenlinien mit den zugrundeliegenden Messungen erlaubt Plausibilitätskontrollen. Es können einige der scheinbar existierenden Formen am Meeresboden als Messungenauigkeiten identifiziert werden.

Auffällig in der KFKI-Karte sind NW bis SO orientierte Strukturen im zentralen Norderneyer Küstenvorfeld. Im westlichen Teil des Ausschnittes treten Formen in dieser Ausrichtung nicht mehr auf. Offensichtlich besteht zwischen der Richtung der Messfahrten (im dargestellten Beispiel Hi-Fix Hyperbeln bzw. SW bis NO verlaufende Geraden, wie dies mit dem hier eingesetzten Lotungssystem der DECCA-Kette möglich war) und den aufgrund von Beschickungsungenauigkeiten entstehenden Schwankungen ein Zusammenhang. Die in diesen Bereichen (in rot herausgehoben) durch die Tiefenlinien der KFKI-Karte dargestellten Feinstrukturen sind größtenteils auf messtechnisch bedingte Ungenauigkeiten zurückzuführen.

Ebenso lässt sich eine sehr schmale Rinne von der Wichter Ee entlang der Hi-Fix Hyperbel mit einer einzigen fehlerhaft beschickten Messfahrt erklären. Die Messfahrten folgen dem Verlauf einer Hyperbel. Die Bestimmung des Schiffsortes erfolgt durch Bestimmung des Schnittpunktes zweier rechtwinklig zueinander laufender Hyperbelscharen. Im gezeigten Beispiel wurde vermutlich eine falsche Hyperbel angenommen. Dies führte schließlich zu der starken Ausbuchtung der Tiefenlinie.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden die KFKI-Karten nicht verwendet, weil sie im zu untersuchenden Küstenvorfeld im Wesentlichen die in den BSH/DHI-Vermessungsdaten enthaltenen Informationen wiedergeben und weil die Auswertungen ausschließlich auf Einzelwerte (nicht auf Tiefenlinien) gestützt wurden (siehe Abb. 2.9).

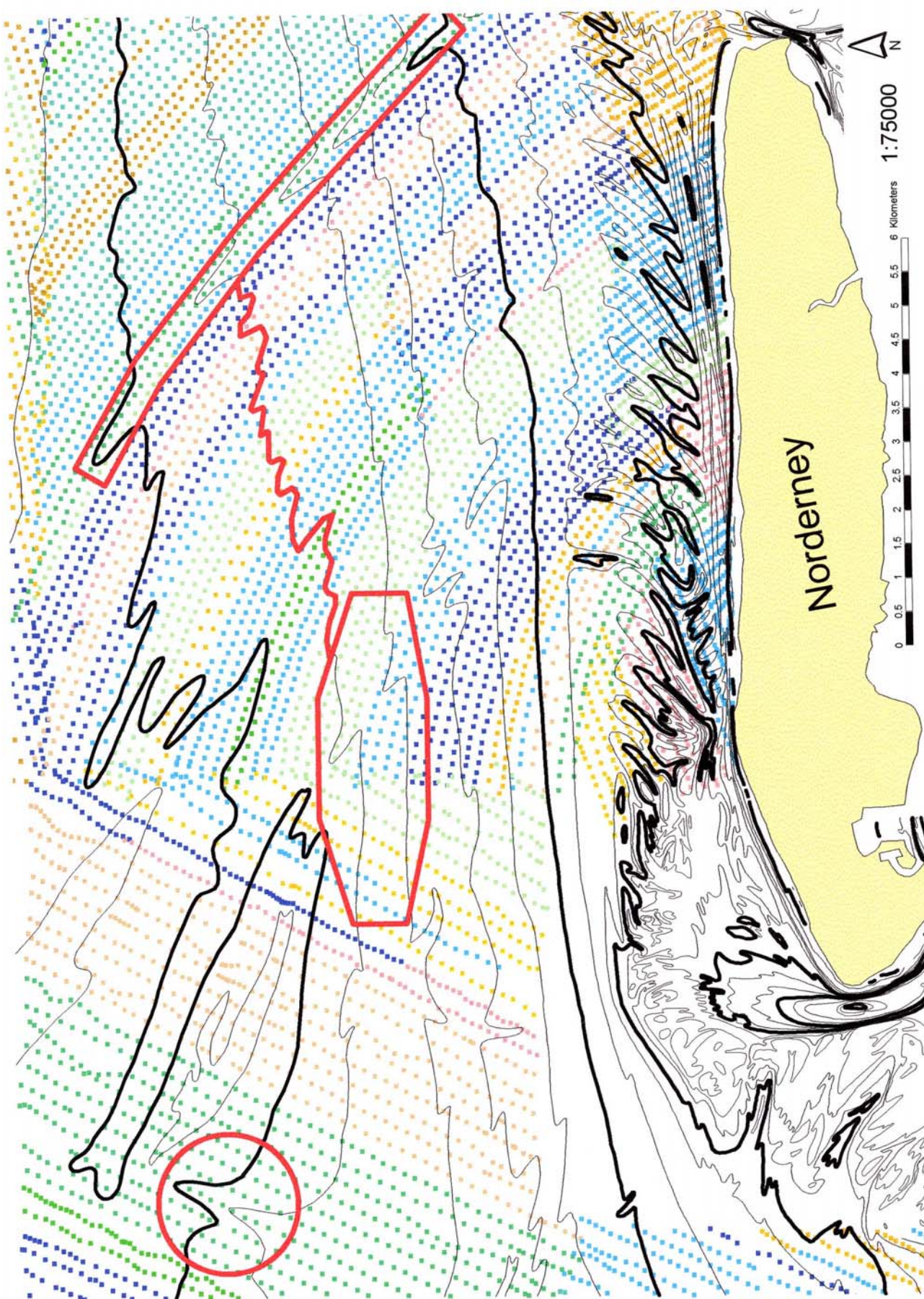


Abb. 3.19: Ausschnitt aus der KFKI-Karte 1975 mit den zugrundeliegenden Vermessungsfahrten 1975 des BSH/DHI

3.2 Folgerungen und offene Fragen aufgrund festgestellter Ungenauigkeiten

Im Vorhergehenden wurden verschiedene Beispiele für Ungenauigkeiten in den Seevermessungen dargestellt. Die Ungenauigkeiten lassen sich in allen Vermessungen in ähnlicher Ausprägung und Größenordnung feststellen. Aufgrund der sich ergebenden Muster und Zusammenhänge zu den Messfahrten können diese Ungenauigkeiten im Wesentlichen auf das Beschickungsverfahren zurückgeführt werden. Die Größenordnung der Ungenauigkeiten beträgt etwa bis zu $\pm 0,5$ m, vereinzelt treten auch größere Abweichungen auf. Vermessungen aus den Fünfziger Jahren und vor Nordfriesland sowie auf den Pegel Helgoland beschickte Lotungen weisen durchweg die größten Ungenauigkeiten auf. Damit stellen sich Fragen nach den genauen Ursachen der Beschickungsungenauigkeiten, einer möglichen nachträglichen Korrektur der Beschickungen, sowie die Frage, ob für die Zielsetzungen dieses Forschungsvorhabens eine hinreichende Vergleichbarkeit der Vermessungen gegeben ist, wenn für die Beschickung unterschiedliche Bezugspegel verwendet wurden.

Für Plausibilitäts-Untersuchungen wurden - trotz der ermittelten Ungenauigkeiten - Sedimentbilanzen berechnet. Es konnte in allen Arbeitsgebieten im Tiefenbereich zwischen -2 m NN und etwa -20 m NN ein ähnlicher Trend von erheblichen Tiefenzunahmen festgestellt werden. Die Tiefenzunahmen betragen zwischen 20 bis 70 cm innerhalb von 20 Jahren. Der Trend wird vor den Ostfriesischen Inseln als ausgeprägter ausgewiesen, als vor der Schleswig-Holsteinischen Küste. Tiefenzunahmen werden durch die überwiegende Zahl der vorliegenden Vermessungsjahrgänge seit den Fünfziger Jahren angezeigt; einzelne Vermessungsjahrgänge weichen jedoch davon ab und erscheinen als Ausreißer.

Die festgestellten Tiefenzunahmen sind in ihrer Größe und räumlichen Verteilung nicht plausibel und stehen im Widerspruch zu gesichert erscheinenden Kenntnissen der Morphodynamik im Küstenvorfeld. So konnte bis zur seewärtigen Vermessungsgrenze kein Ende der Tiefenzunahmen festgestellt werden. Wider Erwarten wurden insbesondere in Tiefen größer als -15 m NN tendentiell die größten Tiefenzunahmen ermittelt. Es konnten keine größeren Akkumulationsgebiete festgestellt werden. Auch im Bereich zwischen Jade und Eider, in dem Akkumulationen zu erwarten wären, wurden leicht negative Sedimentbilanzen für den Zeitraum der Siebziger bis Neunziger Jahre ermittelt.

Die sich aus den Tiefenzunahmen ergebende Sedimentbilanz für das gesamte Untersuchungsgebiet weist eine unerklärbar große Menge an Sediment auf, das aus dem Küstenvorfeld herausgetragen worden sein müsste. Ein Eintrag dieses Sedimentes in die Wattgebiete ist aufgrund der Größe des Volumens nicht möglich. Die Sedimentmenge hätte eine Erhöhung der Watten um mehrere Dezimeter innerhalb von wenigen Jahrzehnten bewirkt, müssen, was nicht der Fall ist (NIEMEYER et al. 1995). Hinweise für eine Sedimentation in der offenen Nordsee oder in angrenzenden Gebieten sind in der Literatur nicht zu finden; das KFKI-Forschungsvorhaben „Materialinventur“ (FIGGE & ZEILER 1998) stützt die Bedenken. Zudem ist unklar welche Kräfte einen seewärtsgerichteten Sedimenttransport in der ermittelten Größenordnung bewirken könnten.

Es war daher notwendig, die vorliegenden Vermessungsdaten weitergehend zu überprüfen. Die Beschickungsungenauigkeiten waren näher zu untersuchen, um zu klären, ob und ggf. in welcher Weise die Ungenauigkeiten korrigierbar sind. Weiterhin sollte der Frage nachgegangen werden, welche Vermessungstechniken jeweils eingesetzt und welche

Nachbearbeitungen der Lotungsdaten vorgenommen wurden und ob darüber ein Zusammenhang mit den Tiefenzunahmen ausweisbar ist.

Voraussetzung für das Erreichen des Projektzieles ist, dass für die Berechnung der Volumendifferenzen hinreichend verlässliche Vermessungsdaten zur Verfügung stehen. Dabei ist auch die weitergehende Frage zu beantworten, ob die vorliegenden Seevermessungen überhaupt für quantitative morphologische Untersuchungen geeignet sind. Im Mittelpunkt steht dabei neben den durch die Beschickung verursachten Ungenauigkeiten die Frage nach den Ursachen der ermittelten unplausiblen Tiefenzunahmen. Die Klärung dieser Frage ist eine unerlässliche Voraussetzung für alle nachfolgenden quantitativen morphologischen Untersuchungen.

Aus diesem Grund wurde mit dem KFKI (Projektgruppe, Beratergruppe, Kuratorium) sowie dem Projektträger (BEO) abgesprochen, die morphologischen Untersuchungsteile des Forschungsvorhabens zugunsten der Weiterführung der Untersuchungen zur Frage der Belastbarkeit der Datengrundlage zurückzustellen (FSK 1999).

4. Untersuchungen zur Genauigkeit des Beschickungsverfahrens

Die aus den aufgeführten Gründen durchgeführten Untersuchungen werden im Folgenden dokumentiert. Eine Reihe von möglichen Ursachen für Fehler konnten ausgeschlossen werden, teilweise wurden Fehlerspannen ermittelt und verallgemeinerbare Rückschlüsse über die Aussagekraft der Vermessungen gezogen. Die umfangreichen Untersuchungen zur Beschickungsgenauigkeit werden im Rahmen des Textbandes nur exemplarisch dargestellt. Die vollständigen Ergebnisse sind im Anlagenband B dokumentiert.

4.1 Veränderung der Beschickungsgrundlagen

Zeitliche Veränderungen des SKN und MSpThb und deren Einfluss auf Vermessungsergebnisse

Beim Beschickungsverfahren des BSH/DHI werden die Parameter SKN (MSpTnw) und MSpThb genutzt (vgl. Kap. 2). Beide Parameter werden aus 19-jährigen Mitteln der Pegelaufzeichnungen jährlich neu errechnet und sind daher ständigen Änderungen unterworfen. Im Folgenden werden die Änderungen des MSpTnw und MSpThb exemplarisch an verschiedenen Pegeln untersucht und deren Auswirkung auf die Beschickungswerte und damit auf die Vermessungsergebnisse dargestellt und diskutiert.

Für insgesamt sieben Pegel (Borkum Fischerbalje, Norderney, Helgoland, Husum, Hörnum, Westerland und List) wurden vom BSH die Zahlenwerte für die beiden Beschickungsparameter MSpTnw und MSpThb von 1941 bis 1999 zusammengestellt; diese liegen der Abb. 4.1 zugrunde. Es ist festzustellen, dass die Veränderungen des MSpTnw an nahezu allen Pegeln eine starke Parallelität aufweisen. Die Schwankungen liegen seit den Vierziger Jahren etwa innerhalb von 10 cm. Ein genereller Trend des MSpTnw ist im untersuchten Zeitraum nicht festzustellen. In den Achtziger Jahren ist nach einem Anstieg von einigen Zentimetern wieder ein Fallen des MSpTnw um wenige Zentimeter an fast allen Pegeln zu beobachten. Lediglich der Pegel Husum zeigt von dieser Entwicklung abweichende Werte. Hier scheinen lokale Einflüsse eine Rolle zu spielen.

Etwas anders stellt sich die Veränderung des MSpThb an den untersuchten Pegeln dar. Neben leichten Schwankungen ist eine kontinuierliche Vergrößerung des MSpThb an allen Pegeln zu verzeichnen. Die Vergrößerung des MSpThb seit 1941 liegt in einer Größenordnung zwischen 10 cm (Pegel List) und 30 cm (Pegel Husum).

Die Beschickungsparameter MSpTnw und MSpThb werden bei der Berechnung von Beschickungswerten (RA) berücksichtigt (Kap. 2.3). Um die Auswirkungen der veränderten Größe der Parameter auf die Vermessungen zu ermitteln, wurden Beschickungswerte für verschiedene Hubzonen bei unterschiedlichen Wasserständen errechnet. Beispielhaft sind für eine Hubzone (-III Z) und eine Pegelablesung (PN +3,90 m) berechnete Beschickungswerte in Abb. 4.1 dargestellt.

Es wird deutlich, dass die Beschickungswerte die Veränderung des SKN/MSpTnw nachzeichnen. Allgemein gilt, dass eine SKN-Erhöhung bei dem angewandten Beschickungsverfahren zu einer größeren Tiefe führt und umgekehrt. Da sich das MSpTnw jedoch nicht in eine Richtung verändert, sondern in einer Größenordnung von weniger als 10 cm schwankt, kann eine Beeinflussung der Messdaten in eine bestimmte Richtung innerhalb des Zeitraumes von 1940 bis 1997 ausgeschlossen werden. Der Einfluss des veränderten MSpThb auf die Beschickungswerte ist vergleichsweise gering. Je nach Hubzone bewirkt ein veränderter MSpThb eine Veränderung der Beschickungswerte um maximal wenige Zentimeter (Abb. 2.4).

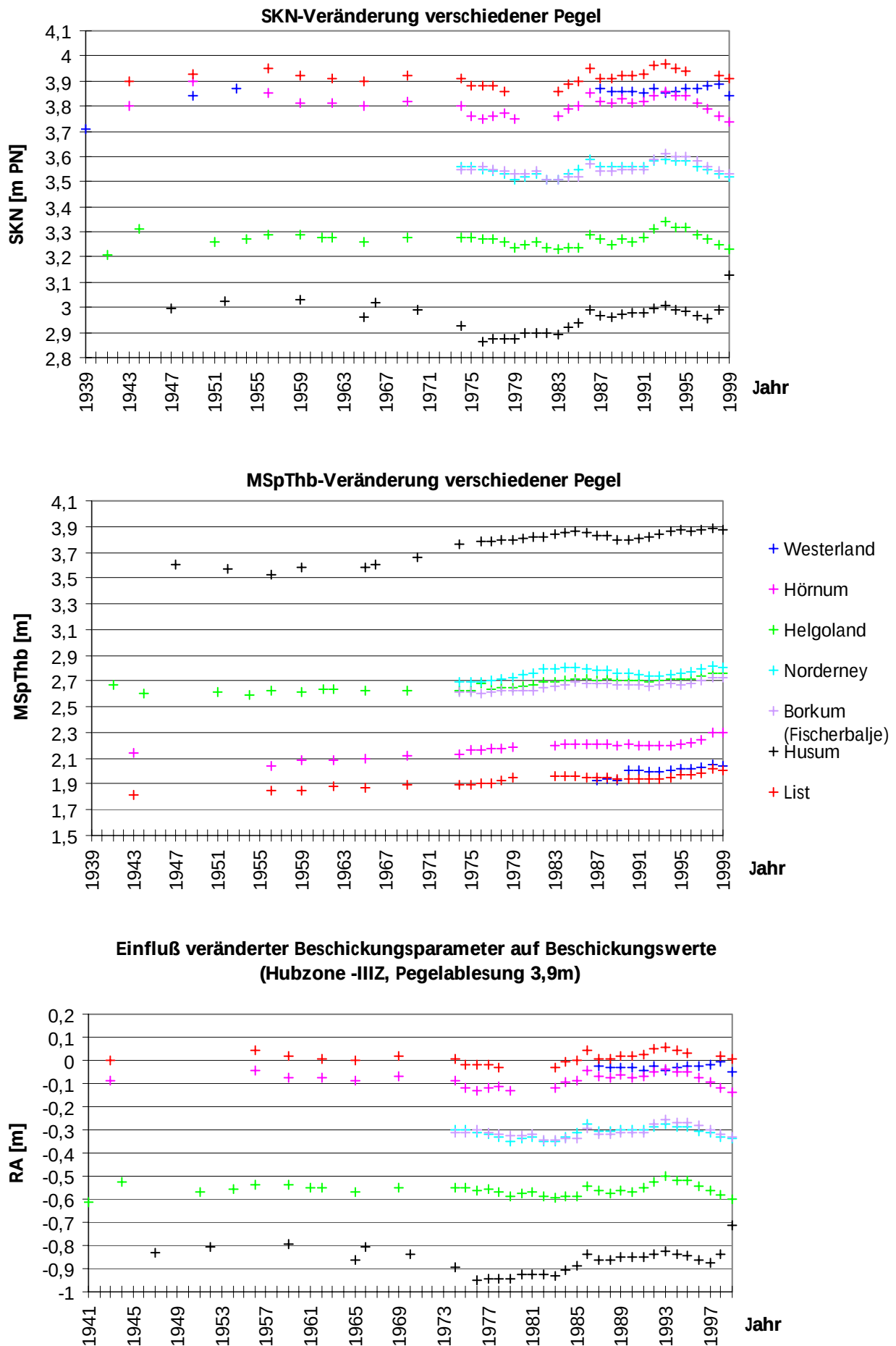


Abb. 4.1: Veränderungen des SKN und MSpThb für ausgewählte Pegel und Einflüsse der veränderten Parameter auf Beschickungswerte seit 1939

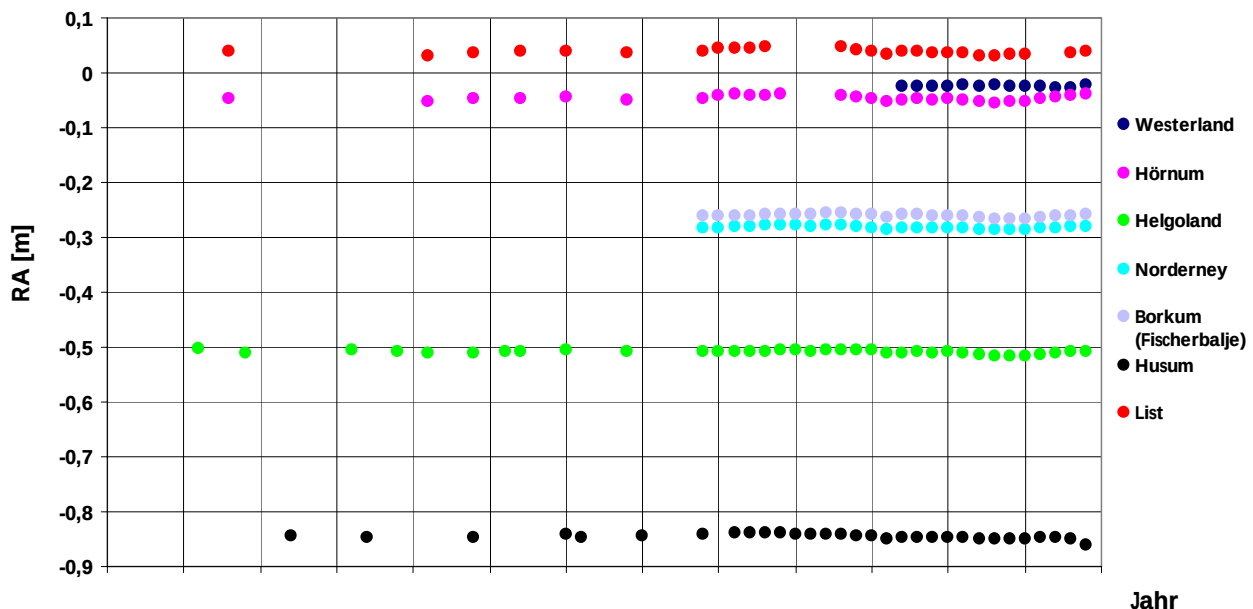


Abb. 4.2: Änderung der Beschickungswerte (Hubzone -III, Pegelablesung 3,9m) nach Berücksichtigung der SKN-Veränderung

Der Einfluss der zeitlichen Veränderung des SKN wurde im Rahmen dieser Arbeit durch die Umrechnung aller Vermessungen auf das SKN des Jahres 1995 als Bezugshorizont ausgeschlossen (vgl. Kap. 2.4). In Abb. 4.2 sind die um die SKN-Veränderung berichtigten Beschickungswerte des Beispiels aus Abb. 4.1 dargestellt. Die Beschickungswerte sind nahezu konstant. Sie variieren lediglich um wenige Zentimeter. Die Schwankungen ergeben sich aus der Veränderung des MSpThb. Je nach Zeitzone der WEK ist der Einfluss des MSpThb größer (hohe Zeitzonen) oder kleiner (niedrige Zeitzonen). Das gewählte Beispiel aus der Zeitzone -III weist bereits einen vergleichsweise großen Einfluss des MSpThb auf.

Aufgrund der dargestellten Zusammenhänge und des vereinheitlichten SKN-Bezugs ist auszuschließen, dass die zeitlichen Veränderungen des MSpTnw bzw. MSpThb zu einer systematischen Veränderung der Vermessungsergebnisse führen. Die Einflüsse wurden in der vorliegenden Arbeit entweder durch Umrechnung ausgeschlossen (MSpTnw) oder haben nur noch einen sehr geringen Einfluss auf den Beschickungswert (MSpThb) und können vernachlässigt werden. Zudem bestätigt das Ergebnis den gewählten Ansatz zur Berechnung des SKN auf ein einheitliches Bezugsjahr (Vgl. Abb 4.2).

Veränderung der Wasserstanderrechnungskarten

Im Rahmen der Digitalisierung der Arbeitskarten wurden, soweit eingezeichnet, die Hub- und Zeitzonen der zur Beschickung verwendeten WEK's miterfasst. Ein Vergleich von WEK's aus verschiedenen Jahrzehnten zeigt jedoch nur wenig veränderte Geometrien der Hub- und Zeitzonen (Anlage A9). Die größten Veränderungen erfolgten in den Ästuaren bzw. Rückseitenwatten, während sich im Küstenvorfeld nur geringe Veränderungen ergaben. Eine Veränderung einer Zeit- oder Hubzone über mehrere Kilometer hat ohnehin nur einen geringen Einfluss auf die Beschickungswerte. Veränderungen der WEK's können damit als Ursache für die festgestellten Tiefenzunahmen ausgeschlossen werden.

Die WEK's beschreiben durch Hub- und Zeitzonen die räumliche Verteilung mittlerer Tideverläufe. Der Frage, ob eine Änderung der Tideverläufe im Küstenvorfeld während der letzten Jahrzehnte stattgefunden hat und dabei einen möglicherweise systematischen Einfluss auf Beschickungswerte bzw. Vermessungsergebnisse ausübt, braucht in dieser Arbeit nicht nachgegangen werden, da das verwendete Beschickungsverfahren und die messtechnischen

Variablen einen wesentlich größeren Einfluss auf das Vermessungsergebnis ausüben, als von einer Veränderung der Tideverläufe bewirkt werden kann.

Vergleich ursprünglicher Beschickungswerte mit neu berechneten Werten

Um auszuschließen, dass eine Änderung des Beschickungsverfahrens zu einer systematischen Veränderung der Vermessungsergebnisse führt, wurden die Beschickungen einiger älterer Vermessungen nachträglich neu durchgeführt und die ursprünglichen Beschickungsergebnisse mit den neu berechneten verglichen.

Weiter wurde in der Literatur nach Hinweisen gesucht, seit wann das Beschickungsverfahren in der heutigen Art und Weise angewendet wird bzw. ob im Laufe der Zeit andere Verfahren eingesetzt wurden. Nach den zur Verfügung stehenden Unterlagen wurde das Beschickungsverfahren mindestens seit 1944 (DHI, 1946) in gleicher Weise angewendet. Seit Mitte der Achtziger Jahre wird das Verfahren nicht mehr analog bzw. mit dem Halbautomaten durchgeführt, sondern mit dem Rechner und dem Programm N1BEKO (BSH, Referat Seevermessung und Geodäsie N1, vgl. Kap. 2.3).

Um sicherzustellen, dass durch eine etwaige geänderte Rundung der Beschickungswerte o.ä. keine systematische Veränderung der Beschickungswerte entstanden ist, wurden für einige Vermessungen stichprobenartig Beschickungswerte vergleichsweise neu berechnet und mit den in den Lotungsunterlagen vermerkten Beschickungswerten verglichen. In diesem Vergleich wird ebenfalls der geringe Einfluss der veränderten Beschickungsgrundlagen (WEK, SKN, MSpThb) deutlich, da die berechneten Vergleichswerte im Gegensatz zu den originären Beschickungswerten auf aktuellen Grundlagen (SKN, MSpThb und WEK) beruhen.

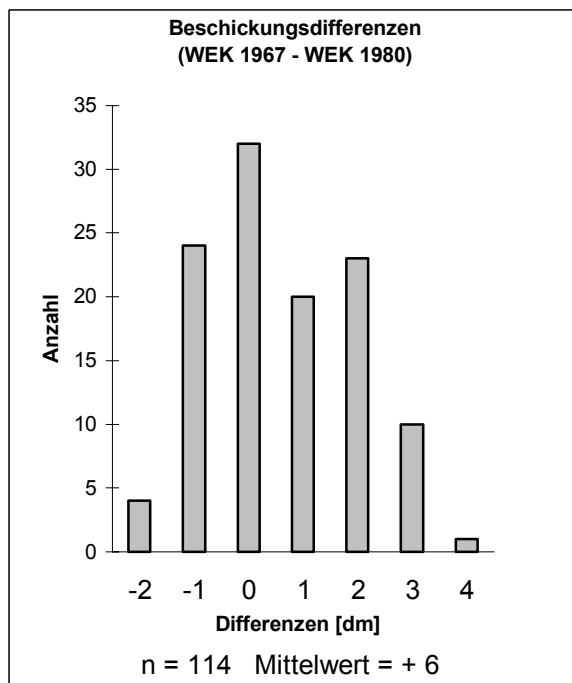
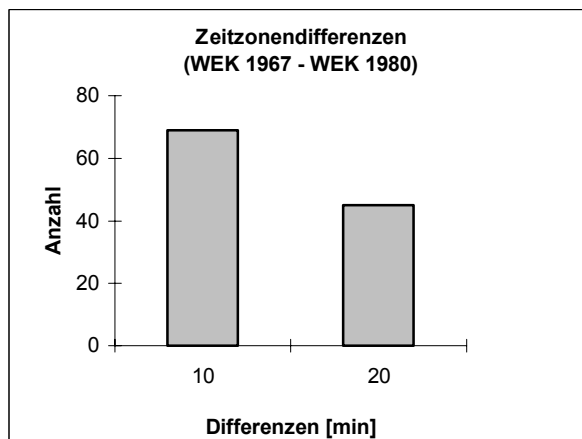
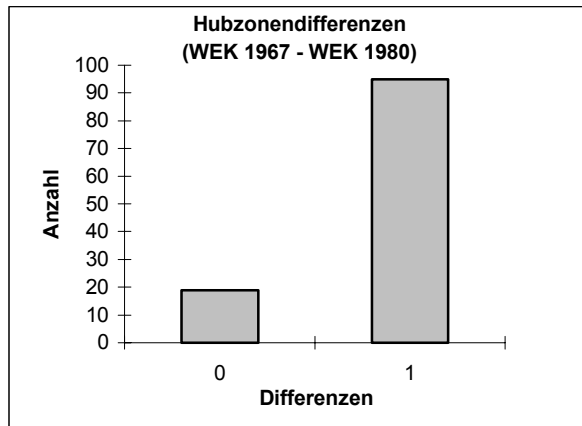
Es wurden die Lotungsunterlagen von 5 Vermessungen aus den Jahren 1958, 1964, 1967 und 1981 stichprobenartig ausgewertet. Die Ergebnisse der ursprünglichen und auf aktuellen Werten beruhenden Beschickung wurden gegenübergestellt (Abb. 4.3 und Anlage B1).

Die Auswertung ergibt folgendes Bild:

- Die sich durch Aktualisierung der WEK's ergebenden Veränderungen der Hub- und Zeitzone sind sehr gering, da die WEK's im Küstenvorfeld nahezu unverändert geblieben sind.
- Auf aktuellen Parametern (MSpThb, SKN) und WEK's beruhende Beschickungswerte entsprechen weitgehend den ursprünglich zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeitskarte berechneten Werten: 34% der verglichenen Werte sind identisch, 77% weichen maximal 1 dm vom ursprünglichen Wert ab.
- Entsprechend weichen berechnete Mittelwerte bei den überprüften Vermessungen nur geringfügig (-0,5 dm bis +1 dm) von den Vergleichswerten ab. Einzelne größere Abweichungen fallen kaum ins Gewicht.
- Die festgestellten Unterschiede in den Beschickungswerten beruhen in erster Linie auf der Änderung der SKN-Werte um wenige Zentimeter und Rundungsfehler.
- Für zwei der untersuchten Vermessungen (N07, 1967, Abb. 4.3 und N0107, 1981, Anlage B 1.3) wurde vom DHI für die Beschickung anstelle des MSpThb der MThb verwendet. Der ohnehin geringe Einfluss des Thb auf die Beschickungsformel wurde jedoch durch eine angepasste WEK weitgehend kompensiert. Die Vergleichbarkeit dieser Vermessungen ist also gewährleistet.

Anhand der fünf überprüften Vermessungen konnte gezeigt werden, dass zumindest seit 1958 das Beschickungsverfahren in gleicher Weise angewandt wird und eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse in diesem Punkt gegeben ist. Eine systematische Beeinflussung der Messergebnisse aufgrund eines geänderten Beschickungsverfahrens oder der Beschickungs-

Aufgabe N07, Seegebiet vor Wangerooge, 1967
Beschickungsgrundlagen 1967 und 1980

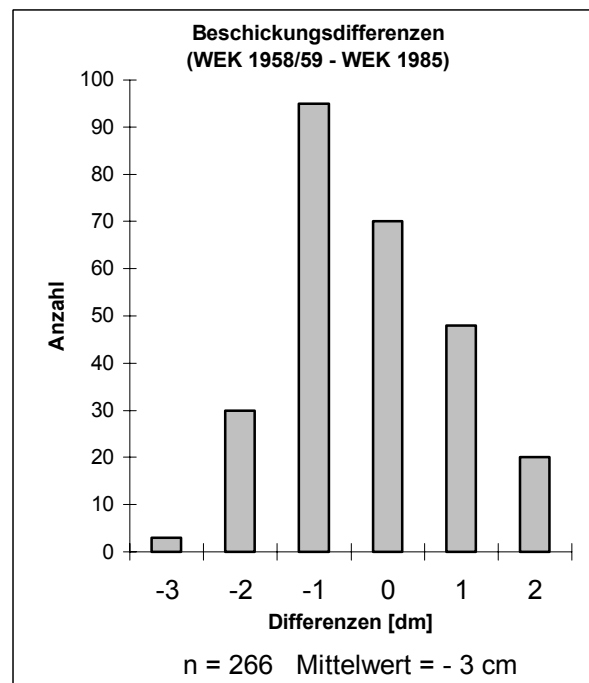
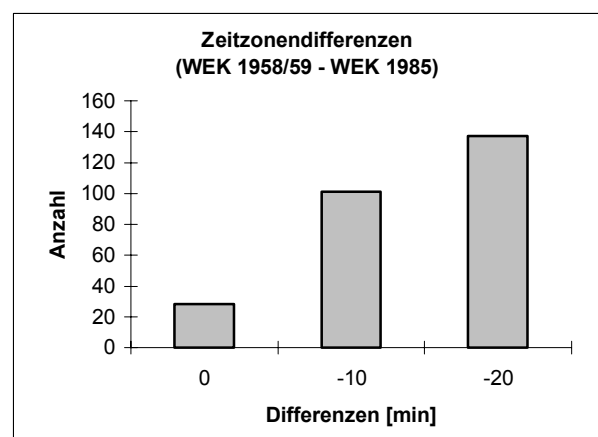
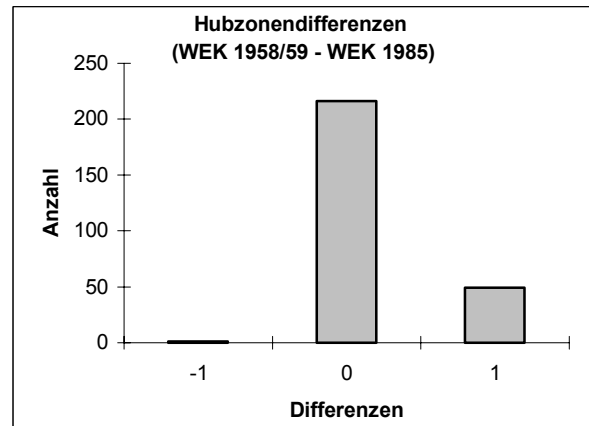


Pegel LT Mellumplate

SKN

1967 327 cm 293 cm MThb !
1980 320 cm 343 cm MSpThb

Aufgabe N02; Seegebiet vor Juist, 1958
Beschickungsgrundlagen 1958/59 und 1985



Pegel Borkum Südstrand

SKN

1958 358 cm ?
1985 360 cm 258 cm MSpThb

Abb. 4.3: Stichprobenhafter Vergleich von aktuellen Beschickungsgrundlagen und Beschickungswerten mit 1967 bzw. 1958 verwendeten Daten (LT Mellumplate, Borkum Südstrand)

parameter konnten bei den beispielhaft untersuchten Vermessungen nicht festgestellt werden. Der Einfluss veränderter Beschickungsparameter kann in Einzelfällen (Einzelwerte) jedoch zu Abweichungen von mehreren Dezimetern führen.

4.2 Vergleich von Beschickungswerten verschiedener Pegel

Bei der Differenzbildung werden immer wieder Seevermessungen einander zugeordnet, welche auf unterschiedliche Pegel beschickt wurden. Unklar ist, ob die Beschickungswerte vergleichbar sind. Es ist daher zu fragen, wie groß die auftretenden Ungenauigkeiten sind bzw. ob eine systematische Veränderung der ermittelten Tiefen durch die Verwendung unterschiedlicher Bezugspegel stattfindet.

Abb. 4.4 zeigt am Beispiel des 11.06.95 und 03.10.95 eine Gegenüberstellung von Pegelkurven und Beschickungswertdifferenzen (Ort der Beschickung ist „Wangerooge Nord“) zweier benachbarter Pegel (Wangerooge Nord, Mellumplate LT). Sie weist aus, dass Wasserstandsdifferenzen zwischen Pegeln durch das Beschickungsverfahren zum Teil ausgeglichen werden; es werden jedoch Abweichungen von über 20 cm erreicht. Die größten Abweichungen sowohl der Wasserstände an den Pegeln als auch der Beschickungswerte treten während stark ansteigender bzw. fallender Wasserstände auf. *Vor der Installation des Pegels Wangerooge-Nord (erstmalig 1976 zur Beschickung verwendet) wurden Vermessungen im Bereich der Jademündung auf den Pegel Mellumplate LT beschickt. Mit Abweichungen von mindestens ± 20 cm in den Vermessungen muss also gerechnet werden.*

Im Küstenvorfeld der Ostfriesischen Inseln wurde Mitte der Siebziger Jahre vorzugsweise der Pegel Helgoland zur Beschickung verwendet, während man sich sonst üblicherweise auf Küstenpegel bezog. In Abb. 4.5 sind für einen Ort im Juister Küstenvorfeld am Beispiel des 11.05.92 Beschickungswerte und Beschickungswertdifferenzen der Küstenpegel Norderney und Borkum den Beschickungswerten des Pegels Helgoland gegenübergestellt.

Die Beschickungswerte des Pegels Helgoland weichen in diesem Beispiel um bis zu 50 cm von den Beschickungswerten des Pegels Norderney ab. Während bei Hoch- bzw. Niedrigwasser eine relativ gute Übereinstimmung der Beschickungswerte zu beobachten ist, treten in der Tidephase mit stark steigenden bzw. fallenden Wasserständen die größten Differenzen auf. Die Differenzen zwischen den Küstenpegeln Norderney und Borkum fallen im dargestellten Beispiel deutlich geringer aus. *Auffällig ist jedoch, dass der Beschickungswert Borkum im Schnitt in dem betrachteten Zeitraum etwa 15 cm geringere Werte aufweist. Dies würde zu systematischen Tiefenveränderungen führen und die Vergleichbarkeit der auf diese Pegel beschickten Vermessungen einschränken.* Dies wurde daher an umfangreicheren Datensätzen überprüft.

Es wurden Beschickungswerte verschiedener Pegel untersucht, um die Fehlerspanne und damit die Grenzen der Vergleichbarkeit aufzuzeigen; weiterhin wurden die Einflüsse des Beschickungsverfahrens auf das Vermessungsergebnis analysiert.

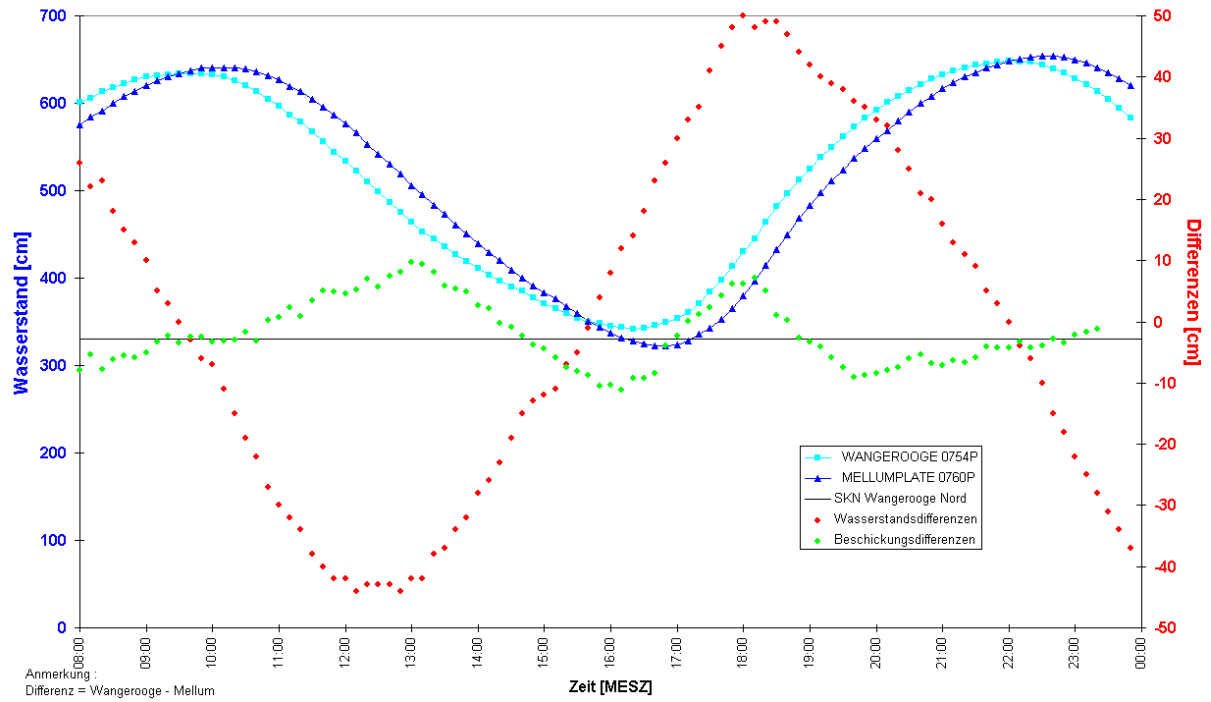
Beschickungswerte folgender Pegel wurden miteinander verglichen:

1. Borkum, Norderney, Helgoland
2. Wangerooge Nord und Mellumplate LT
3. List Hafen, Hörnum Hafen, Messpfahl Westerland und Helgoland.

Zunächst wurden Beschickungswerte verschiedener Pegel über längere Zeiträume für jeweils einen Ort berechnet und miteinander verglichen (Abb. 4.6 und Anlage B2). Anschließend

Tidekurven und Beschickungswerte der Pegel WANGEROOGE NORD und MELLUMPLATE LEUCHTTURM

11.06.1995



03.10.1995

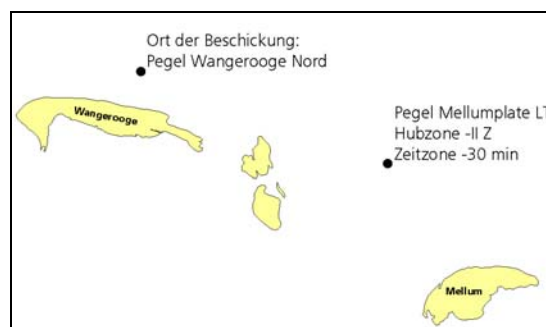
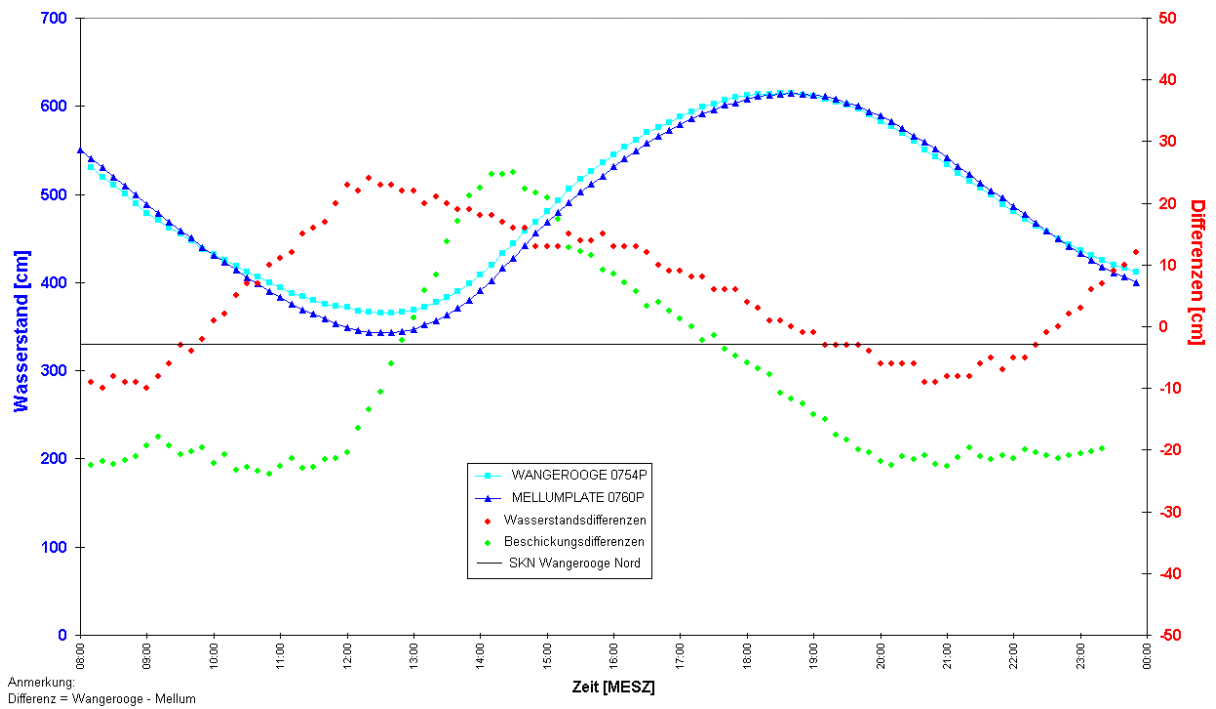
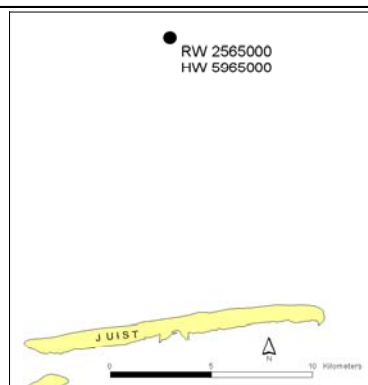
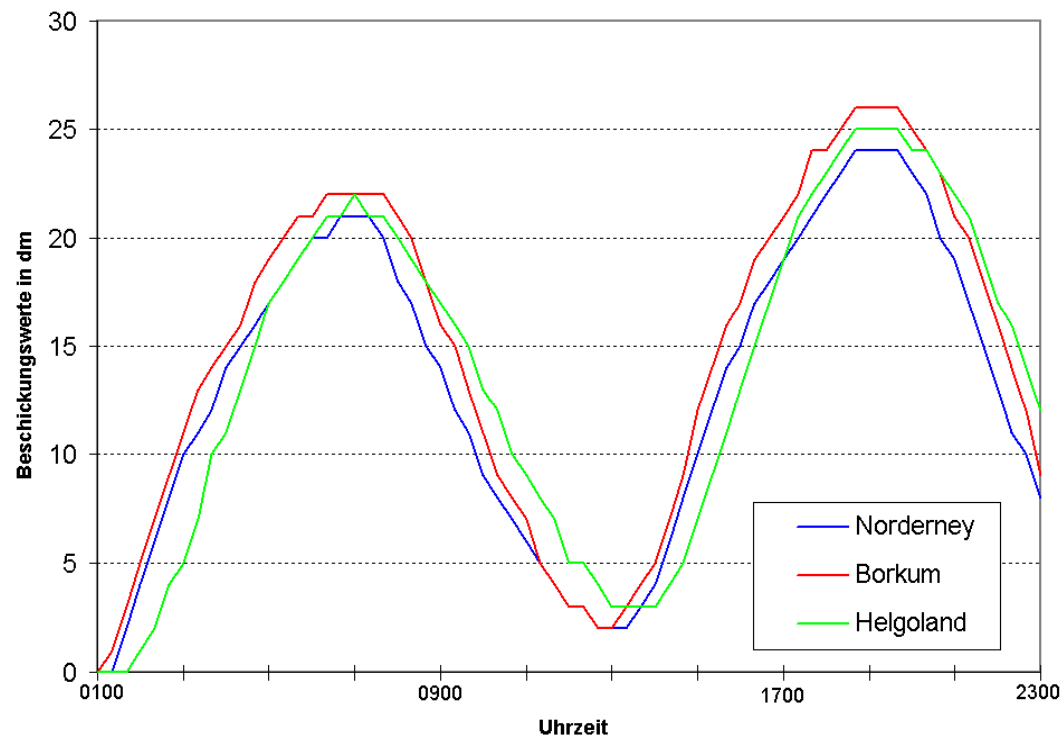
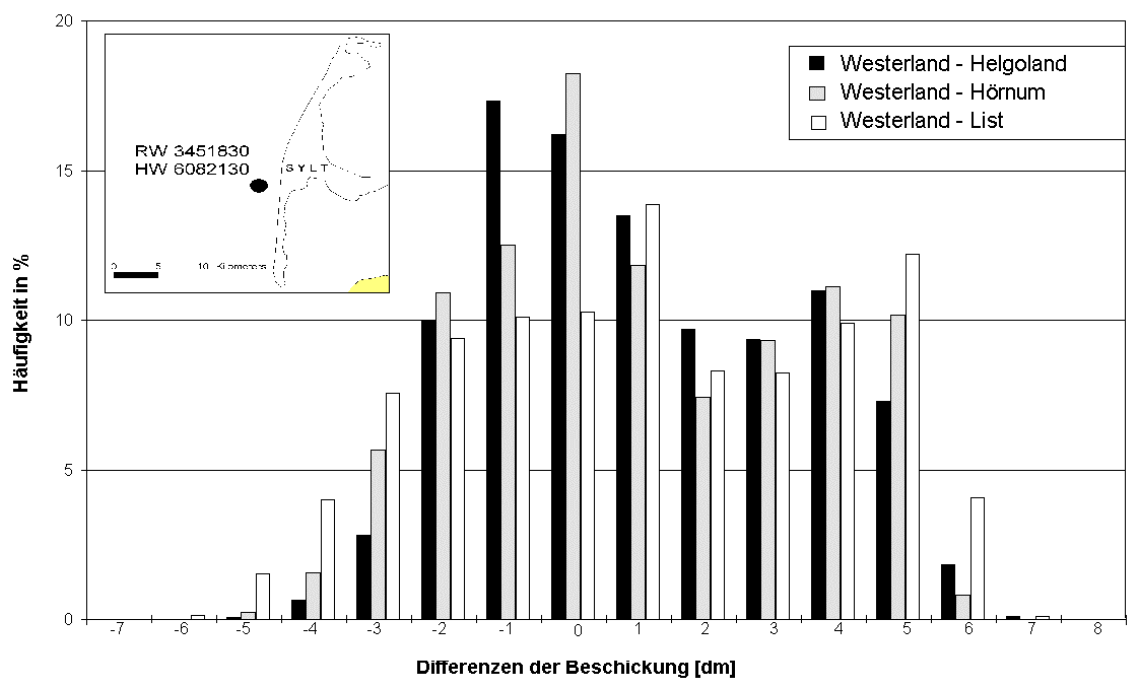
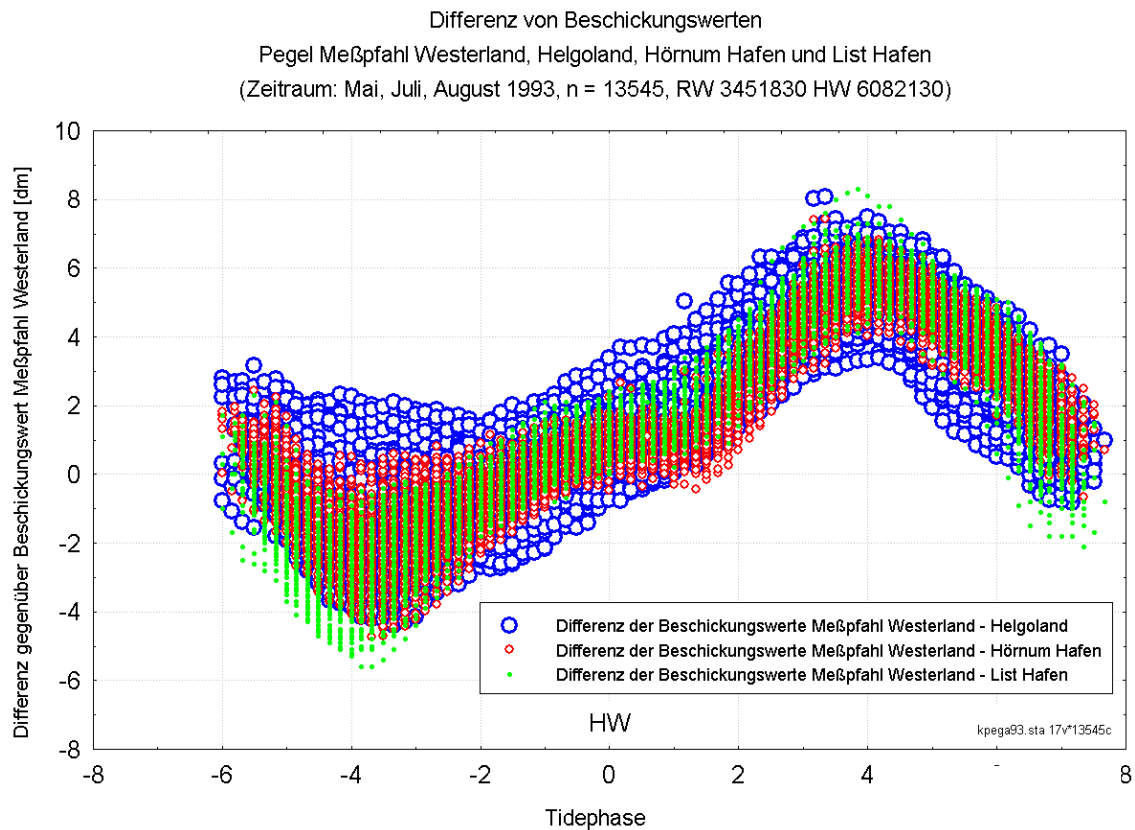


Abb. 4.4: Pegelvergleich zwischen Wangerooge Nord und Mellumplate LT an zwei Tagen 1995



	WEK 1986 Norderney	WEK 1985 Borkum	WEK 1978 Helgoland
Hubzone	-III Z	II Z	-II Z
Zeitzone	-10min	+10min	-40min

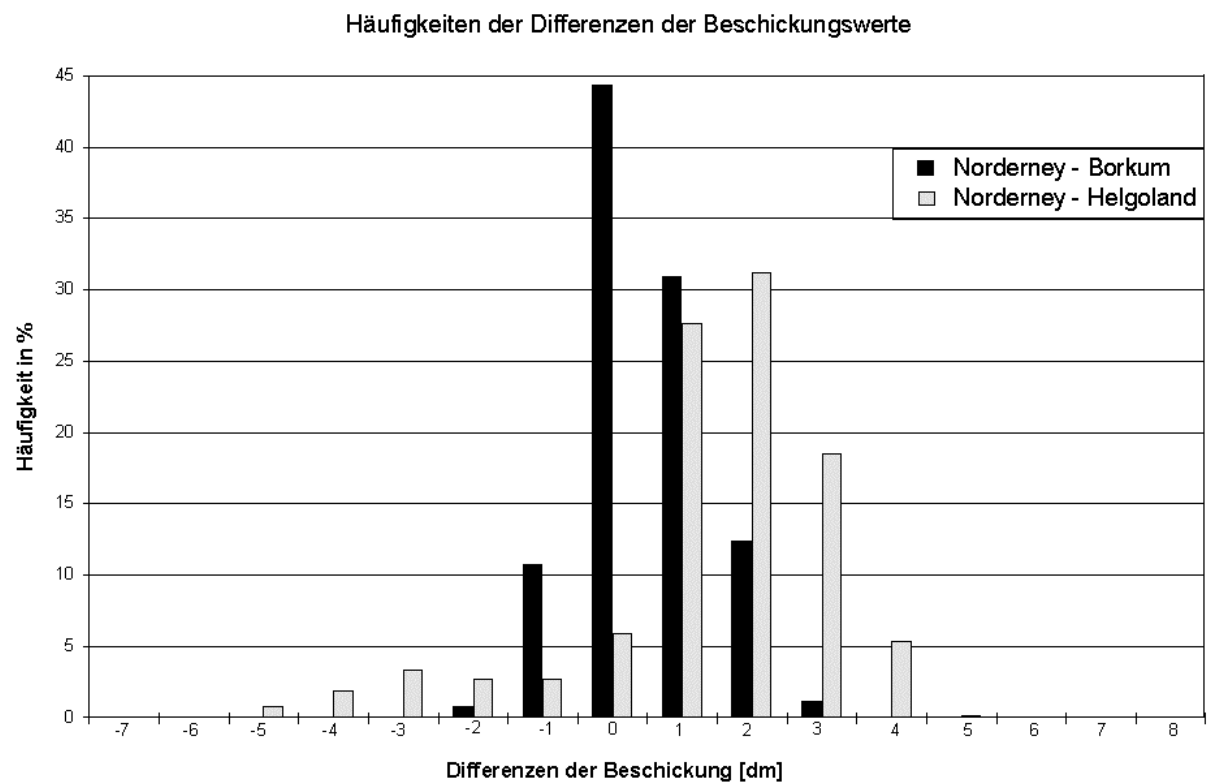
Abb. 4.5: Beschickungswerte und Differenzen der Pegel Norderney, Borkum und Helgoland für einen Punkt im Juister Küstenvorfeld am 11.05.1992



	WEK 1994 Westerland	WEK 1996 Helgoland	WEK 1997 Hörnum	WEK 1980 List
Hubzone	-IIZ	-VIIZ	-IIZ	OZ
Zeitzone	+10min	+50min	-60min	-110min

	n	Min [dm]	Max [dm]	Intervall	Mittel [dm]	Stabw
Westerland/Helgoland	13545	-4	+8	12	1,6	2,3
Westerland/Hörnum	13545	-5	+7	12	1,5	2,5
Westerland/List	13545	-6	+8	14	1,6	2,9

Abb. 4.6: Differenz der Beschickungswerte der Pegel Messpfahl Westerland, Helgoland, Hörnum Hafen und List Hafen im Sylter Küstenvorfeld im Mai, Juli und August 1993



	n	Min [dm]	Max [dm]	Intervall	Mittel [dm]
Norderney/Borkum	6537	-2	+3	5	0,46
Norderney/Helgoland	6537	-5	+5	10	1,37

Abb. 4.7: Differenz der Beschickungswerte der Pegel Norderney, Borkum und Helgoland für die Vermessung des Juister Küstenvorfeldes 1975

wurden tatsächlich durchgeführte Vermessungen nachträglich auf verschiedene Pegel beschickt und die aufgetretenen Differenzen ausgewertet (Abb. 4.7 und Anlage B3).

Tab. 4.1: Kenngrößen des Vergleiches von Beschickungswerten verschiedener Bezugspegel

1. Pegel	2. Pegel	Zeitraum	n (Punkt A) (Punkt B)	Min [cm]	Max [cm]	Mittel [cm]	Stabw.	Intervall ^{90%} (1,6std) [cm]
Norderney	Borkum	14 Tage aus 1975, 1992, 1995	2764 2764	-20 -20	40 40	8,5 14,3	8,4 10,0	±13 ±16
Norderney	Helgoland	14 Tage aus 1975, 1992, 1995	2764 2764	-50 -60	40 50	8,8 9,0	18,0 24,9	±29 ±40
Wangerooge Nord	Mellum- plate LT	5 Tage aus 1995	778	-30	30	2,6	11,0	±18
Messpfahl Westerland	Helgoland	5.93, 6.93, 8.93	13545	-40	80	16,0	23,0	±37
Messpfahl Westerland	Hörnum	5.93, 6.93, 8.93	13545	-50	70	15,0	25,0	±40
Messpfahl Westerland	List	5.93, 6.93, 8.93	13545	-60	80	16,0	29,0	±46

Sämtliche durchgeführten Pegelvergleiche ergeben ein ähnliches Bild. *Es kann daher von der prinzipiellen Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Pegel ausgegangen werden.* Die Pegelvergleiche ergaben folgendes Ergebnis (vgl. vollständige Dokumentation in Anlage B2):

- Beim Vergleich der Beschickungswerte verschiedener Bezugspegel treten teilweise erhebliche Abweichungen (bis zu 80 cm) auf.
- Die größten Abweichungen treten etwa 3 Stunden vor und 3 Stunden nach Niedrigwasser auf. Sie weichen in charakteristischer Weise vom Vergleichspegel ab: regelmäßig werden bei auflaufend Wasser z.B. zu kleine Werte berechnet, bei ablaufend Wasser zu große (oder umgekehrt).
- Während Hoch- bzw. Niedrigwasser sind die Abweichungen durchweg relativ klein. In diesen Zeiten sind Abweichungen über 30 cm die Ausnahme.
- Soweit Beschickungswerte für verschiedene Punkte im Küstenvorfeld berechnet wurden, zeigte sich nur ein geringer Einfluss der unterschiedlichen Hub- und Zeitzonen. Die Untersuchungen sind also nicht nur für den exemplarisch untersuchten Standort gültig, sondern die Ergebnisse sind auf jeden Ort innerhalb einer WEK übertragbar.
- Besonders große Abweichungen konnten bei den Pegeln Helgoland (Vermessungen vor Juist und Sylt) und Lister Hafen (Sylt) für die jeweiligen Untersuchungsgebiete im Küstenvorfeld festgestellt werden. Es können Beschickungswertdifferenzen bei auf- und ablaufendem Wasser von bis zu 14 dm auftreten.
- Bei der Berechnung von Mittelwerten über alle Tidephasen ergaben sich durch die Verwendung unterschiedlicher Bezugspegel - trotz der erheblichen Fehlerspanne der Einzelwerte - vergleichsweise sehr geringe Abweichungen der Mittelwerte. In der Regel weichen die Mittelwerte um weniger als 10 cm voneinander ab. Eine Ausnahme bildet der Messpfahl Westerland mit etwa 15 cm Abweichung gegenüber den Vergleichspegeln.
- Die festgestellten Beschickungsdifferenzen sind annähernd normalverteilt. Damit kann ein Vertrauensintervall für die Beschickungsgenauigkeit auf verschiedene Pegel angegeben werden (Tab. 4.1). Mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% beträgt das Vertrauensintervall das $\pm 1,6$ -fache der Standardabweichung. Für die durchgeführten Vergleiche von Küstenpegeln konnten Vertrauensintervalle von etwa ± 15 cm festgestellt werden. Eine Ausnahme bildet der Messpfahl Westerland mit etwa ± 40 cm. Vergleiche von auf

Küstenpegel beschickten Vermessungen mit Vermessungen die auf den Pegel Helgoland beschickt wurden, ergaben Vertrauensintervalle von ± 30 cm und ± 40 cm, je nach Untersuchungsgebiet und Vergleichspegel. Die Annahme der Normalverteilung wurde nicht in jedem Fall bestätigt. Einige der Differenzen streuen stärker als die Normalverteilung, die Normalverteilung ist in diesen Fällen eine zu günstige Annahme, die ein zu kleines Vertrauensintervall ergibt.

Die Untersuchung hat gezeigt, dass auf verschiedene Pegel beschickte Lotungen prinzipiell miteinander vergleichbar sind. Aufgrund der großen Fehlerspannen sollten jedoch nur hinreichend umfangreiche Vermessungen miteinander verglichen werden, um eine hinreichend große Stichprobe zu erhalten und so den Fehlereinfluss zu minimieren.

Die bisher dargestellten Untersuchungen wurden mit umfangreichen Datensätzen mehrerer Tage für jeweils einen Ort im Küstenvorfeld durchgeführt. Um die festgestellten Zusammenhänge an tatsächlich durchgeführten Vermessungen zu überprüfen, wurden die folgenden Vermessungen auf verschiedene Pegel beschickt (Abb. 4.7, Anlage B3):

1. Seegebiet vor Juist der Jahre 1995, 1992, 1975 (Abb. 4.7)
2. nördliches Seegebiet vor Sylt 1981
3. Seegebiet vor Wangerooge 1995

Tab. 4.2: Ergebnisse der vergleichweisen Beschickung von Vermessungen auf verschiedene Pegel, Spannweite und mittlere Abweichungen der Beschickungswerte

Vermessungsaufgabe	Jahr	n	verglichene Pegel*	Min [dm]	Max [dm]	Intervall [dm]	Mittel [dm]	Dokumentation
Seegebiet vor Wangerooge	1975	6537	NEY/BOR	-2	+3	5	0,46	Abb. 4.7 B3.5
	1975	6537	NEY/HEL	-5	+5	10	1,37	Abb. 4.7 B3.5
	1992	5926	NEY/BOR	-1	+3	4	0,65	B3.4
	1992	5926	NEY/HEL	-5	+4	9	0,26	B3.4
	1995	7573	NEY/BOR	-2	+4	6	1,32	B3.3
	1995	7573	NEY/HEL	-5	+4	9	1,26	B3.3
Seegebiet vor Wangerooge	1995	5423	WAN/MEL	-3	+2	5	-0,60	B3.2
Nörtl. Seegebiet vor Sylt	1981	2049	LIST/HEL	-2	+5	7	1,05	B3.1

*NEY Norderney Riffgat, BOR Borkum Fischerbalje, HEL Helgoland, WAN Wangerooge Nord, Mel Mellumplate LT, LIST List/Sylt

Die versuchsweise Beschickung verschiedener Vermessungen auf unterschiedliche Bezugspegel bestätigte die zuvor festgestellten Sachverhalte (Tab. 4.2). Trotz zum Teil erheblicher Abweichungen (bis zu 50 cm) zwischen den Einzelwerten weichen auf verschiedene Pegel beschickte Vermessungen im Mittel nur um deutlich geringere Beträge (maximal 15 cm) ab. *Damit sind zwar erhebliche Einflüsse bei der Berechnung von Massenbilanzen zu erwarten, aber die festgestellten Tiefenzunahmen sind in einer Größenordnung, die durch Pegelwechsel allein nicht erklärt werden können.*

Auffällig ist, dass bei den vier mit dem Pegel Helgoland vergleichsweise durchgeführten Beschickungen sich kleinere Beschickungswerte ergaben als sie sich bei Bezug auf den jeweiligen Küstenpegel ermittelten. Dies führt zumindest bei den untersuchten Beispielen Norderney und List zu größeren Tiefen durch die Beschickung auf den Pegel Helgoland als durch die Beschickung auf die Küstenpegel. Dass dieses Beispiel nicht auf andere Küstenpegel oder andere Vermessungen übertragen werden kann, zeigen die große Streuung der Werte (0,26 - 1,37 dm) und die Ergebnisse für die Beispiele Borkum und Helgoland. In den untersuchten Beispielen werden je nach Vermessung größere oder kleinere Tiefen durch die Beschickung auf den Pegel Helgoland ermittelt (vgl. Tab. 4.2, jeweils NEY/HEL und NEY/BOR).

Einfluss des Windes und der Mond- und Tidephase auf die Beschickung

Welche Einflüsse zusätzlich zur Tidephase auf die Beschickung wirken, wird in Abb. 4.8 dargestellt. Die Abbildungen zeigen einen Teil der Werte (Differenz „Messpfahl Westerland“ und „Helgoland“) aus Abb. 4.6, jedoch in Abhängigkeit von Mondphase, Windstärke und Windrichtung.

In Abb. 4.8 (oben) wird deutlich, dass insbesondere auf- und ablandige Winde, im dargestellten Beispiel vor Sylt Ost- bzw. Westwinde, für die größten Beschickungsdifferenzen zwischen den Pegeln Westerland und Helgoland verantwortlich sind. So werden vorzugsweise bei westlichen Windrichtungen höhere Beschickungswerte mit dem Messpfahl Westerland ermittelt, als mit dem Pegel Helgoland. Im Gegensatz dazu werden bei östlichen Windrichtungen mit dem Messpfahl Westerland bevorzugt niedrigere Beschickungswerte berechnet. Der Zusammenhang zwischen Windrichtung und Beschickungsungenauigkeit ist jedoch nicht so stark wie der der Tidephase. Während beim Vergleich von Küstenpegel und Pegel Helgoland der Einfluss der Windrichtung auf die Beschickungsungenauigkeiten erkennbar ist (Abb. 4.8, oben), lässt sich beim Vergleich der Beschickungswerte zweier Küstenpegel dieser Zusammenhang nicht erkennen (Anlage B4.1 oben u. Mitte).

Ebenfalls sind kaum Zusammenhänge zwischen Beschickungswertdifferenzen und Windstärke zu erkennen (Anlage B4.2 oben u. Mitte). Lediglich der Pegelvergleich Messpfahl Westerland und Helgoland zeigt bei stärkeren Winden bevorzugt höhere Werte (Abb. 4.8 Mitte, siehe auch B4.2 unten). Dazu ist anzuerkennen, dass größere Windstärken vorzugsweise bei Westwindlagen auftreten.

Ob bevorzugt zu hohe bzw. zu niedrige Beschickungswerte bei bestimmten Mondphasen ermittelt werden, ist nicht eindeutig nachzuweisen (Abb. 4.8 unten, Anlage B4.3). Zu berücksichtigen ist, dass das untersuchte Datenkollektiv von 3 Monaten zu klein ist, um einen von den Einflüssen der Wetterlagen bereinigten Verlauf der Beschickungswerte für Nipp- bzw. Springtiden zu ermitteln.

4.3 Berücksichtigung verschiedener Tidephasen während der Vermessungen

Der Vergleich von Beschickungswerten verschiedener Pegel und der Vergleich mit Hochseepiegeln zeigen, dass die Tidephase einen großen Einfluss auf die Beschickung hat. Während Hoch- bzw. Niedrigwasser treten vergleichsweise kleine, 3 Stunden vor bzw. nach Hochwasser treten besonders große Differenzen auf (Kap. 4.2). Dementsprechend sind Vermessungen nur dann direkt miteinander vergleichbar, wenn sie in etwa zu gleichen Tidezeiten gepeilt wurden. Ein systematischer Einfluss der Tidephasen ist auszuschließen, wenn sämtliche Tidephasen bei den Vergleichspeilungen in etwa gleich häufig vertreten sind.

Es wurde untersucht, ob die abweichenden Vermessungsergebnisse möglicherweise durch Peilung während unterschiedlicher Tidephasen erklärt werden können. Für das Küstenvorfeld von Juist (1958, 1964, 1975, 1992, 1995), Wangerooge (1967, 1992, 1995), Eiderstedt (1991, 1993, 1996) und Sylt (1981, 1991, 1994, 1997 - siehe Beispiel Abb. 4.9) wurden die Tidephasen der Vermessungen ermittelt und miteinander verglichen (siehe Anlage B5)

Es zeigt sich, dass in etwa über alle Tidephasen gleichmäßig verteilt gepeilt wurde (Eiderstedt, Wangerooge, Juist außer 1975). In Untersuchungen zeigten die Vermessungen 1959 und 1964 vor Juist von den übrigen Vermessungen abweichende Ergebnisse. Als Ursache für das

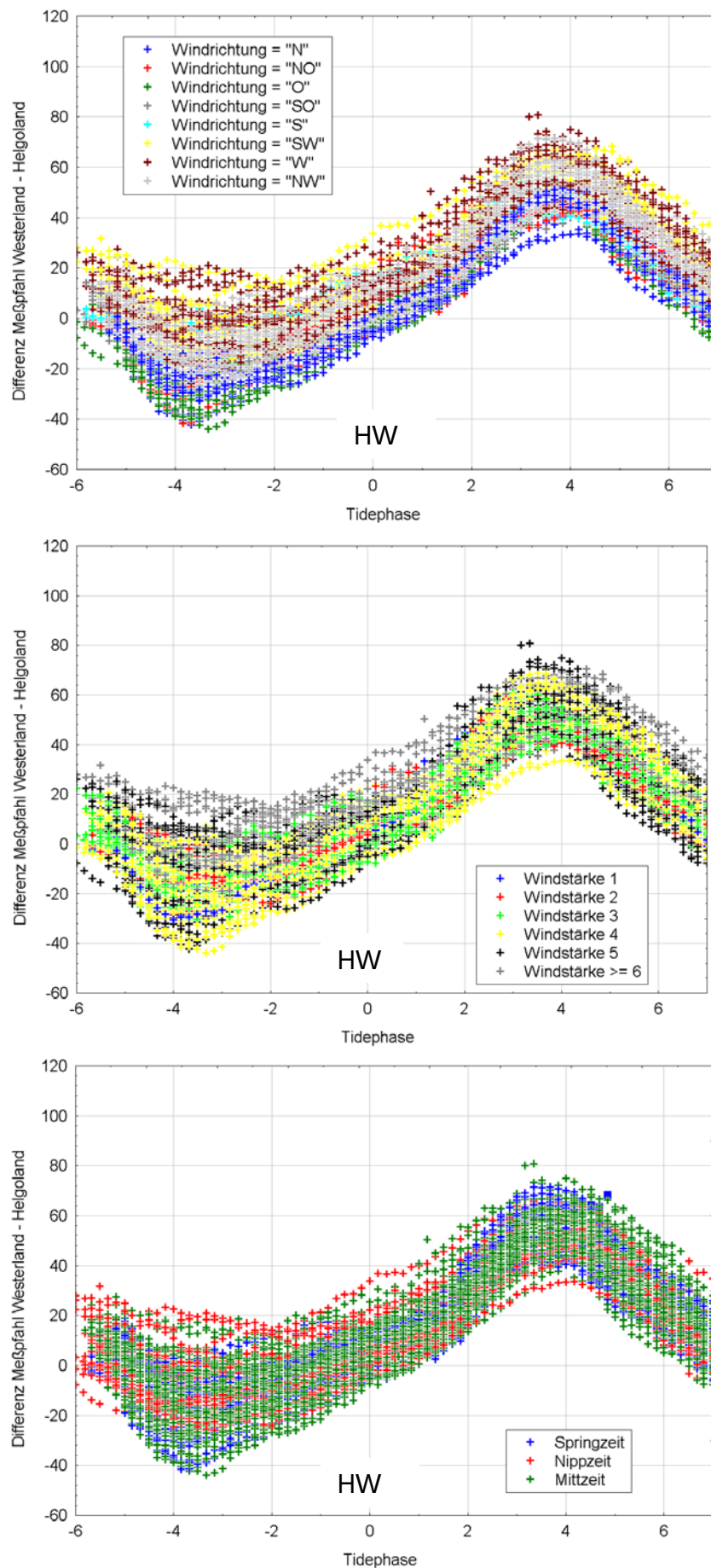


Abb. 4.8: Differenz der Beschickungswerte des Pegels Messpfahl Westerland und Helgoland in Abhängigkeit von der Windrichtung, Windstärke sowie Tide- und Mondphase im Mai, Juli und August 1993 für einen Punkt im Sylter Küstenvorfeld (RW 3451830 HW 6082130)

SYLTTER KÜSTENVORFELD

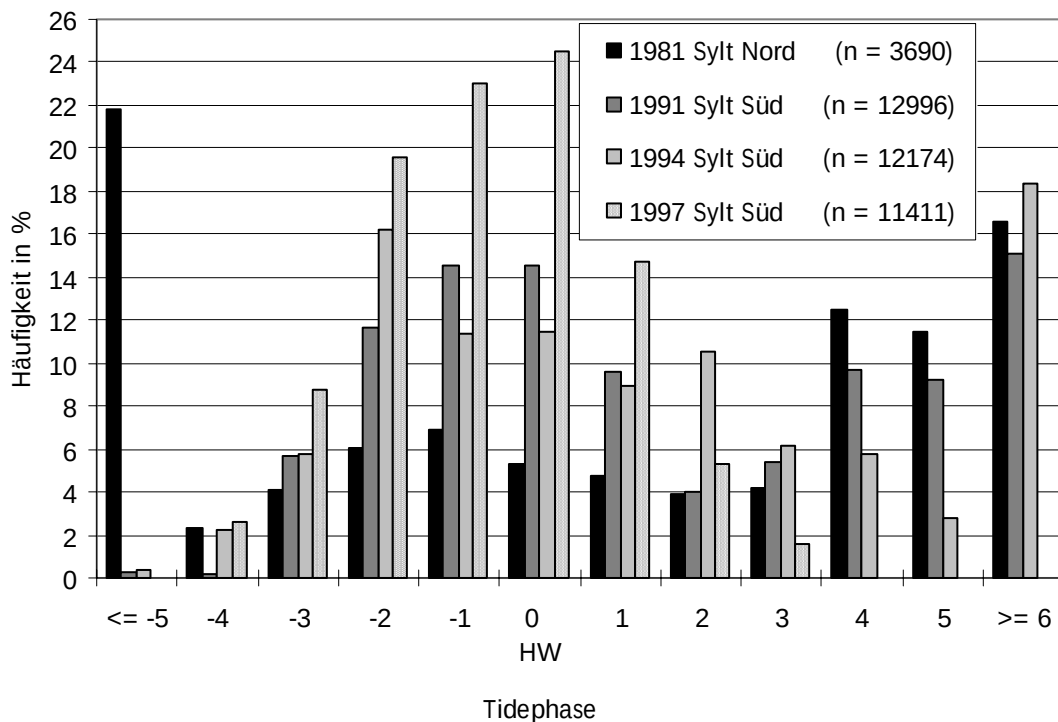


Abb. 4.9: Häufigkeiten von Tidephasen während verschiedener Vermessungen im Küstenvorfeld von Sylt (1981, 1991, 1994, 1997)

Abweichen der Vermessungen kann die Peilung zu ungünstig verteilten Tidezeiten ausgeschlossen werden, weil alle Tidephasen in etwa gleichmäßig berücksichtigt wurden. Im Gegensatz dazu wurde 1975 vor Juist insbesondere während Niedrigwasser gepeilt. Diese Vermessung zeigt jedoch keine von den anderen Vermessungen auffällig abweichende Werte.

Die Häufigkeiten von Tidephasen der Vermessungen 1981 vor Sylt weichen von den übrigen Jahren ab (Abb. 4.9). 1981 wurde größtenteils während ablaufendem Wasser und Niedrigwasser gepeilt, während in den übrigen Jahren (1991, 1994, 1997) vorzugsweise die Messungen in den Zeiten um Hochwasser erfolgten. Dies kann eine mögliche Erklärung für das auffällige Abweichen der Vermessung von 1981 sein.

Die Überprüfung der Tidephasen ausgewählter Vermessungen zeigt, dass in etwa gleichmäßig über alle Tidephasen gepeilt wurde. Die Untersuchung von Ausnahmefällen zeigten, dass Vermessungen die während abweichender Tidephasen gepeilt wurden, nicht zwangsläufig zu auffälligen Abweichungen von den übrigen Vermessungen führen müssen. *Als ursächliche Erklärung für die „scheinbaren Tiefenzunahmen“ kann die ungleichmäßige Verteilung von Peilungen auf die verschiedenen Tidephasen ausgeschlossen werden.*

4.4 Beschickungswerte und gemessener Wasserstand an Hochseepegeln

Üblicherweise werden Vermessungen im Küstenvorfeld auf Küstenpegel oder den Pegel Helgoland beschickt, da dauerhaft betriebene Pegel im Küstenvorfeld nicht existieren. Im Frühjahr 1993 wurden vom damaligen ALW Husum Hochseepegel vor der Schleswig-Holsteinischen Küste betrieben (Abb. 4.10). Diese Pegelmessungen konnten zu einem Vergleich von Beschickungswerten und tatsächlichem Wasserstand genutzt werden.

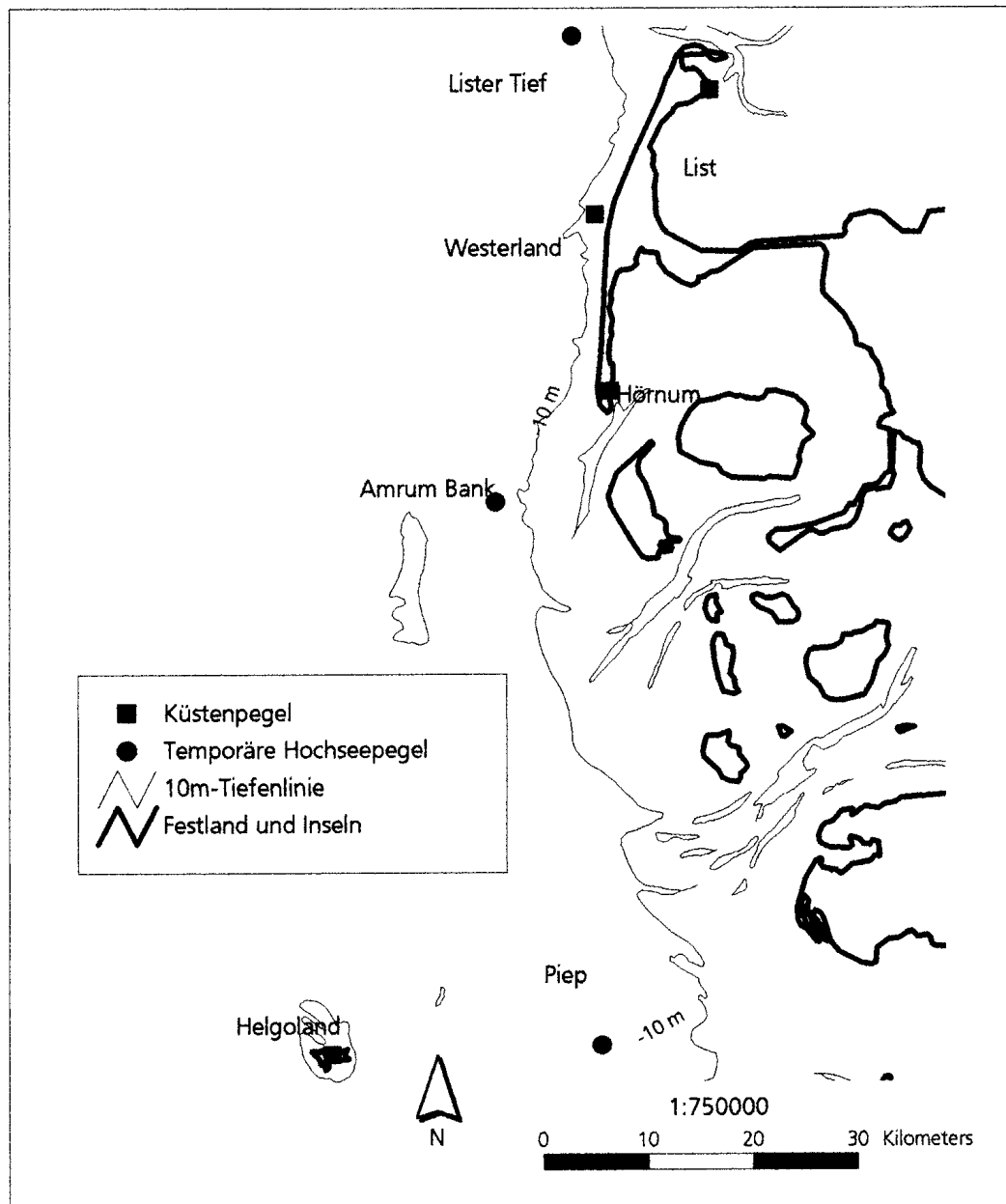


Abb. 4.10: Übersichtskarte: Lage der Hochsee- und Küstenpegel

Tab. 4.3: Lage der Hochseepegel

Hochseepegel	Rechtswert/ Hochwert	Entfernung Helgoland	WEK Helgoland Hub- und Zeitzone	WEK List Hafen Hub- und Zeitzone	WEK Westerland Hub- und Zeitzone
Piep	3453940/ 6007500	26 km	+20 Min/+III Z	-	-
Amrum Bank	3443770/ 6059410	55 km	+50 Min/-VI Z	-	-
Lister Tief	3451098/ 6103800	100 km	+130 Min/-IX Z	-70 Min/-IZ	+50 Min/-III Z

Die Hochseepegel liegen innerhalb der Wasserstanderrechnungskarte des Helgoländer Pegels und zweier Küstenpegel (Tab. 4.3). Damit konnten für die Orte der Hochseepegel Beschickungswerte berechnet und mit den gemessenen Wasserständen verglichen werden. Weiter konnten die in den WEK's angegebenen mittleren Hochwassereintrittszeiten und Springtidenhübe mit tatsächlich auftretenden Werten verglichen und die Spannweite der Abweichungen von den mittleren Verhältnissen aufgezeigt werden.

Die Gegenüberstellung der Eintrittszeiten von Hoch- und Niedrigwasser an den Hochseepiegeln mit den Angaben der WEK (Tab. 4.4) zeigt sehr große Abweichungen von den mittleren Verhältnissen, welche in den WEK's zugrundegelegt werden. Die Abweichungen von der angenommenen mittleren Hochwassereintrittszeit betragen häufig über 60 Minuten, im Extremfall sogar über zwei Stunden (Amrum Bank/Helgoland). Je nach der Steig- bzw. Fallgeschwindigkeit können so Beschickungsfehler von mehr als 3 dm auftreten. Die ausschließliche Berücksichtigung der mittleren Verhältnisse in den Beschickungsgrundlagen bildet die wirklichen Verhältnisse also nur ungenügend ab.

Tab. 4.4: Vergleich der Eintrittszeiten von Tidenhub, Hoch- und Niedrigwasser der WEK mit tatsächlichen Werten an den Hochseepiegeln (Tidennr. 100 - 700, 1993)

Hochsee- pegel	WEK	Angaben der WEK		Eintrittszeit Niedrigwasser gegenüber Helgoland [min]			Eintrittszeit Hochwasser gegenüber Helgoland [min]			Abweichung des (Spring-) Tidenhubes gegen Helgoland [cm]		
		Hubzone	Zeitzone	Min	Max	Mittel	Min	Max	Mittel	Min	Max	Mittel
Lister Tief	Helgoland	-IX Z	+130 Min	-59	136	68	-26	201	72	-113	-5	-66
Amrum Bank	Helgoland	-VI Z	+50 Min	-11	70	42	-25	179	34	-47	-1	-32
Piep	Helgoland	+III Z	+20 Min	-23	50	10	-11	46	15	23	43	34
Lister Tief	Wester- land	-III Z	+50 Min	-68	27	-3	-63	108	3	-25	35	-8
Lister Tief	List Hafen	-I Z	- 70 Min	-130	-28	-58	-143	41	-90	-26	54	-8

Weiterhin wurden Wasserstände der Hochseepiegel mit Beschickungswerten verglichen. Der Vergleich ist problematisch, da die Hochseepiegel nicht auf einen Bezugshorizont (NN) eingemessen wurden. Für die Untersuchungen wurden die Höhenwerte und SKN näherungsweise bestimmt. *Entsprechend sollten weniger die absoluten Differenzwerte als die Streuung (Häufigkeitsverteilung) der Werte beachtet werden.*

Die Streuung der Differenzen zwischen den Wasserständen die an den Hochseepiegeln gemessen wurden mit den Beschickungswerten des Pegels Helgoland zeigen sehr große Abweichungen zwischen dem berechneten und dem gemessenen Wasserstand (Abb. 4.11, Abb. 4.12 und Anlage B6). Die Spannweite der in Tab. 4.5 ausgewiesenen Differenzen erreicht Werte bis zu 138 cm bei dem 100 km von Helgoland entfernten Pegel Lister Tief. Der von Helgoland nur 26 km entfernte Hochseepiegel Piep zeigt aber immerhin noch eine Spannweite von 79 cm. Die größten Abweichungen für den Standort des Pegels Piep sind während auflaufendem Wasser zu beobachten. Bei ablaufendem Wasser zeigt sich dagegen eine relativ gute Übereinstimmung der Werte.

Erhebliche Abweichungen zwischen dem Beschickungswert des Pegels Helgoland und dem gemessenen Wasserstand lassen sich auch für die Pegel Lister Tief und Amrum Bank feststellen. Innerhalb einer Tide treten Differenzen von über 50 cm auf. Es zeigt sich, dass während einiger Tiden größere Differenzen auftreten, während an anderen Tagen eine vergleichsweise gute Übereinstimmung zu verzeichnen ist. Insbesondere bei östlichen Windrichtungen (Anlage B6.2) können große Abweichungen auftreten. Insgesamt zeigt sich, dass bei Windstärken von 4 bis 5 Beaufort größere Abweichungen der Wasserstände zu verzeichnen sind als bei ruhigeren Wetterlagen (Anlage B6.1). Der Einfluss von Spring- oder Nipptiden auf Beschickungsungenauigkeiten tritt gegenüber dem Einfluss des Windes zurück (Anlage B6.3).

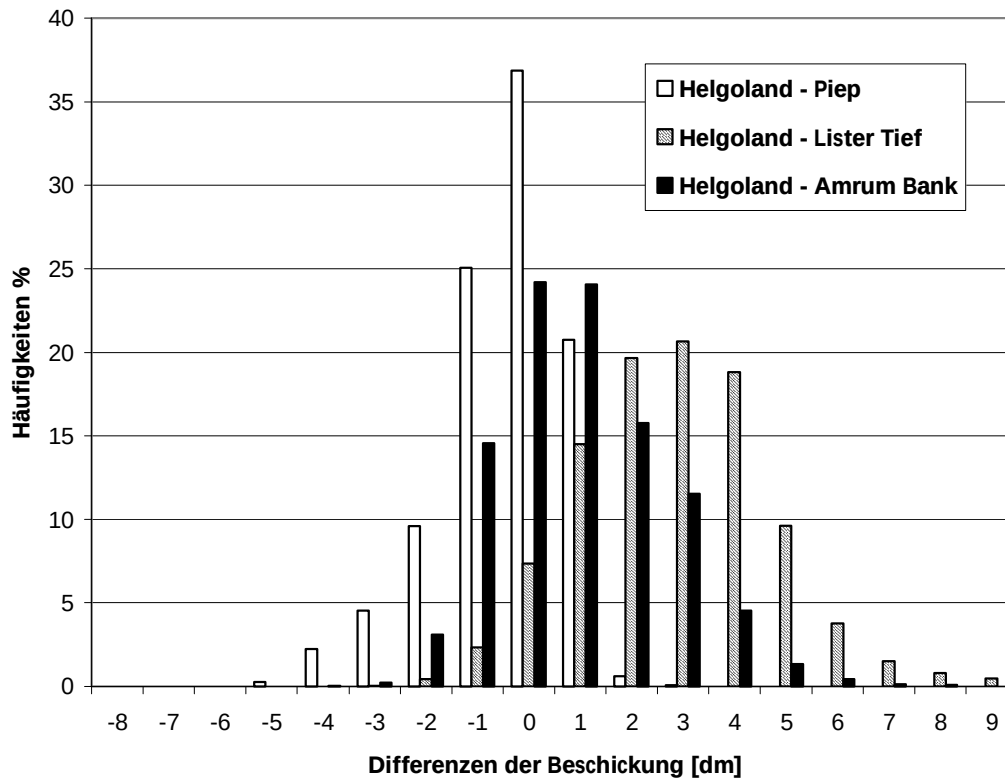


Abb. 4.11: Häufigkeiten der Differenzen von Beschickungswerten des Pegels Helgoland zu den Wasserständen an den Hochseepiegeln

Die festgestellten Differenzen zwischen dem gemessenen und dem durch das Beschickungsverfahren mit dem Pegel Helgoland ermittelten Wasserstand sind für längere Zeiträume mit verschiedenen Wetterlagen in etwa normalverteilt (vgl. B14). Dadurch ist die Abschätzung eines Vertrauensintervalls für die Genauigkeit der Beschickung am Ort der Hochseepiegel möglich. So kann für die Beschickung mit dem Pegel Helgoland ein Vertrauensintervall von etwa ± 20 cm bis ± 30 cm angenommen werden. Für die untersuchten Küstenpegel kann eine Beschickungsgenauigkeit für die Orte der Hochseepiegel innerhalb eines Intervalls von etwa ± 10 cm bis ± 20 cm festgestellt werden. Eine Ausnahme ist die Beschickung durch den Messpfahl Westerland mit einem Intervall von ± 30 cm (vgl. Tab. 4.5).

Tab. 4.5: Kennwerte der Abweichungen zwischen gemessenen Wasserständen an Hochseepiegeln und Beschickungswerten für verschiedene Bezugspegel

Hochsee-pegel	Beschickungs-pegel	Zeitraum	n	Min [cm]	Max [cm]	Mittel [cm]*	Stabw [cm]	Intervall _{90%} (1,6*Stabw) [cm]
Lister Tief	MP Westerland	3.93	4472	-16,5	72,8	21,2	18,1	± 29
Lister Tief	Lister Hafen	3.93	4472	4,4	41,8	20,2	7,0	± 11
Lister Tief	Helgoland	3.93 + 10.93	9080	-35,7	102,3	23,1	18,4	± 29
Amrum Bank	Helgoland	3.93 + 10.93	9080	-43,0	74,7	4,8	15,9	± 25
Piep	Helgoland	3.93 + 10.93	9080	-55,7	23,4	-9,6	11,9	± 19
Wangerooge Nord**	Mellumplate LT	5 Tage aus 1995	778	-30	30	26	11,0	$\pm 18^{***}$

*Der Mittelwert (avg) der Differenzen ist nur begrenzt aussagekräftig, da das SKN der Hochseepiegel abgeschätzt werden musste. Die Standardabweichung (std) und das daraus ermittelte Intervall hingegen sind von großer Bedeutung.

**Der Pegel Wangerooge Nord ist ein regulärer Pegel im Küstenvorfeld. Für den Ort des Pegels konnten jedoch, ähnlich wie bei den Hochseepiegeln, Beschickungswerte des Pegels Mellumplate LT ermittelt werden.

***Die Differenzen zwischen gemessenen und berechneten Wasserständen sind nicht normalverteilt, sondern sind wesentlich breiter gestreut (Anhang B14). Das ermittelte Intervall ist damit als Mindestgröße zu verstehen, da die tatsächliche Verteilung der Differenzen als ungünstiger angesehen werden muss.

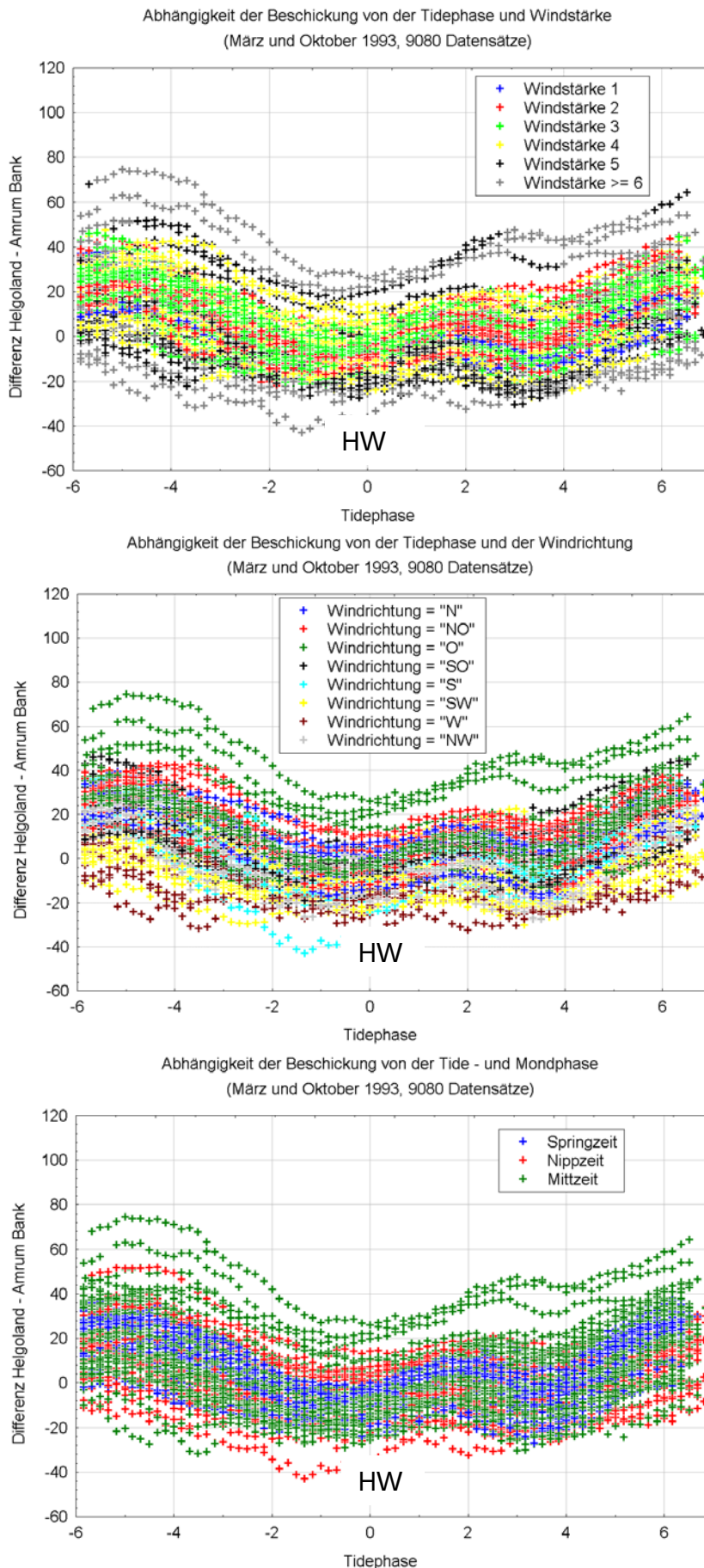


Abb. 4.12: Differenz der Beschickungswerte des Pegels Helgoland zu den Wasserständen des Hochseepiegels Amrum Bank in Abhängigkeit von der Windstärke und Windrichtung sowie der Tide- und Mondphase im März und Oktober 1993

Die großen auftretenden Differenzen zwischen gemessenen Wasserständen und Beschickungswerten des Pegels Helgoland wurden bereits bei der DGM-Bearbeitung der Vermessungen festgestellt (vgl. Kap. 2, Anlage B8) und durch den Hochseepiegelvergleich bestätigt. Es ist davon auszugehen, dass dieses Ergebnis prinzipiell auf andere Teile der Deutschen Bucht übertragen werden kann. Aufgrund des Fehlens weiterer Pegel im Küstenvorfeld ist diese Vermutung jedoch nicht zu belegen.

Hochseepiegel Lister Tief

Es konnten für den Ort des Hochseepiegels Lister Tief Beschickungswerte der Pegel MP Westerland und Lister Hafen ermittelt und mit gemessenen Wasserständen verglichen werden. Der Vergleich berechneter Wasserstände mit gemessenen Wasserständen zeigt Abweichungen in einer Spannweite von über 80 cm bzw. über 40 cm (Abb. 4.13, 4.14 und Anlage B7). Je nach Tidephase werden zu große oder zu kleine Werte angenommen. Bei Hoch- bzw. Niedrigwasser treten die kleinsten Abweichungen auf. Die Beschickung mit dem Pegel Lister Hafen liefert deutlich bessere Ergebnisse für den Ort des Hochseepiegels als der Messpfahl Westerland.

Weiter wird deutlich, dass die Wetterlage einen Einfluss auf die Größe der auftretenden Differenzen ausübt. Bei Winden senkrecht zur Küste treten besonders große bzw. besonders kleine Abweichungen auf (Abb. 4.14 und Anlage B7.2). Die Einflüsse der Windstärke und der Mondphase treten gegenüber dem Einfluss der Windrichtung zurück (Anl. B7.1 und B7.3). Zu beachten ist, dass für den vergleichsweise kurzen ausgewerteten Zeitraum das jeweilige Wetter während Nipp- und Springtide einen großen Einfluss ausübt.

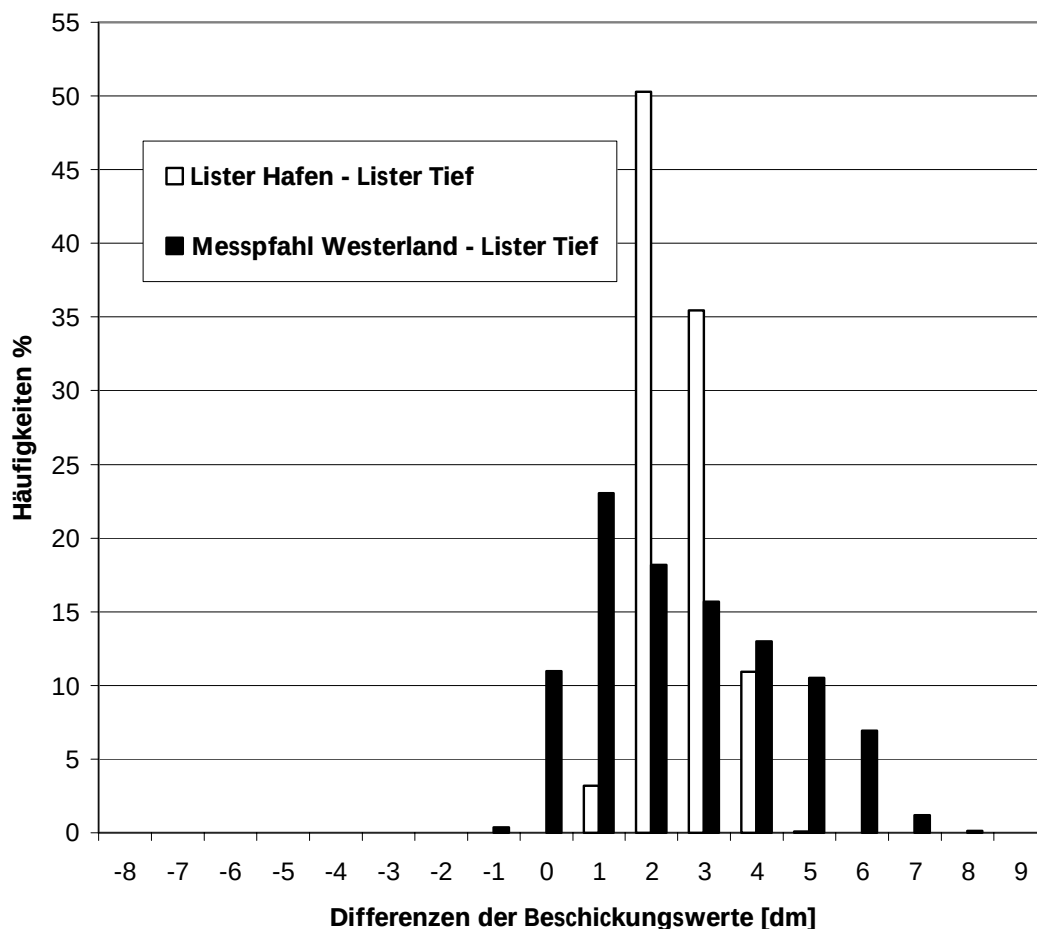
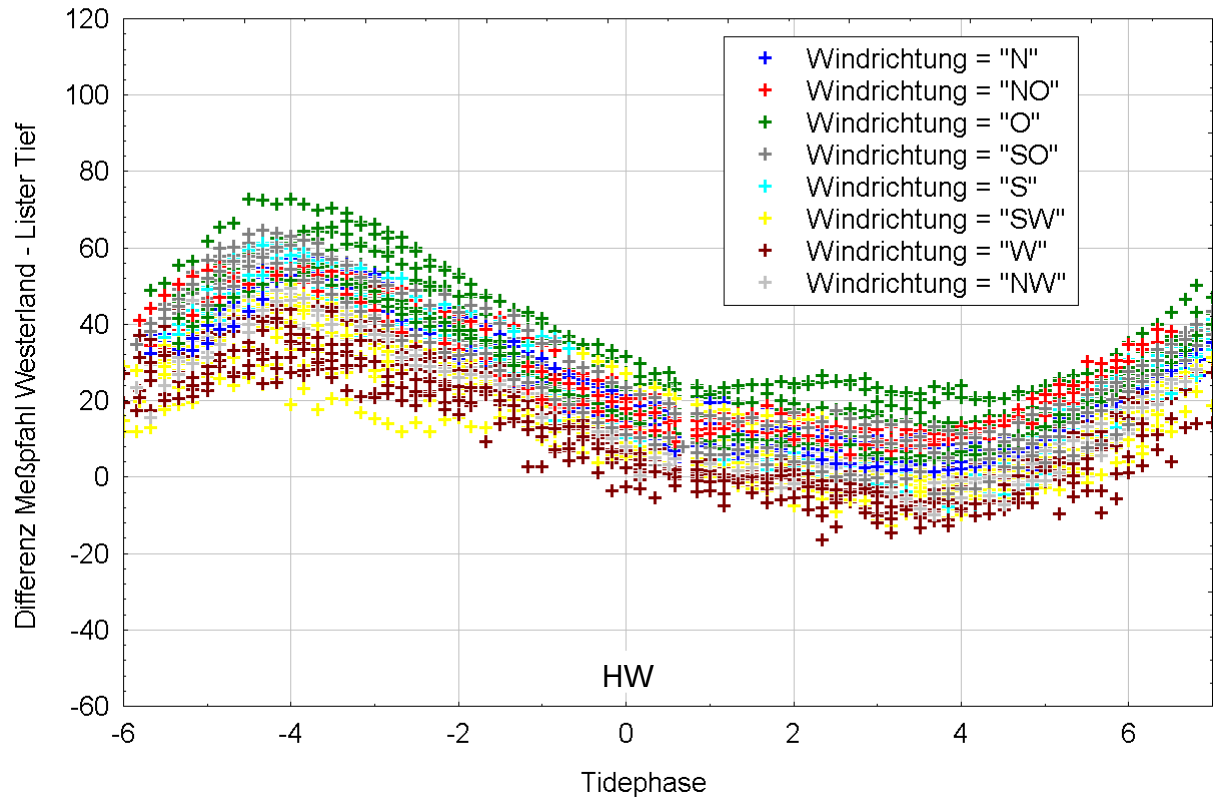


Abb. 4.13: Häufigkeiten der Differenzen von Beschickungswerten der Pegel Lister Hafen und MP Westerland zu den Wasserständen am Hochseepiegel Lister Tief

Abhängigkeit der Beschickung von der Tidephase und der Windrichtung
(März 1993, 4472 Datensätze)



Abhängigkeit der Beschickung von der Tidephase und der Windstärke
(März 1993, 4472 Datensätze)

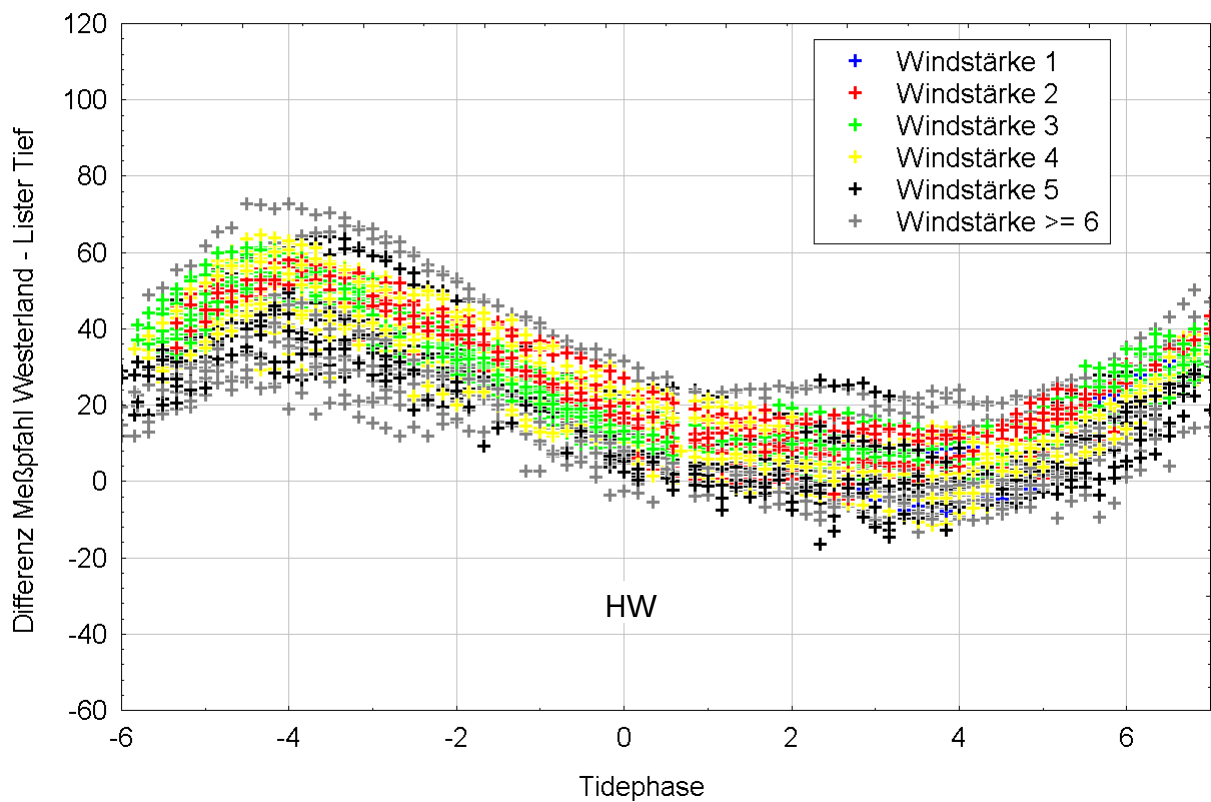


Abb. 4.14: Differenz der Beschickungswerte des MP Westerland zu den Wasserständen am Hochseepegel Lister Tief in Abhängigkeit von Windrichtung und Windstärke

4.5 Folgerungen aus den Untersuchungen zum Beschickungsverfahren

Im Vordergrund der Untersuchungen zum Beschickungsverfahren stand die Beantwortung der Frage, ob durch die Verwendung verschiedener Bezugspegel, durch Änderungen des Beschickungsverfahrens oder der eingeflossenen Parameter (SKN, MSpThb, WEK) systematische Einflüsse auf die Vermessungen ausgeübt werden, die verantwortlich sind für die berechneten - in ihrer Größe und Verteilung nicht plausiblen - Tiefenzunahmen. Die Untersuchungen zeigen die mit der Beschickung verbundenen großen Streuungen und erklären diese ursächlich. *Es konnte nachgewiesen werden, dass diese Einflüsse auf die Vermessung unterdrückt werden können, wenn man Mittelwerte eines hinreichend umfangreichen Datenkollektivs verwendet (s. Kap. 5.2). Somit konnte weitgehend ein Zusammenhang zwischen dem Beschickungsverfahren und den Vermessungen ausgeschlossen werden, der herangezogen werden könnte, um die nicht plausiblen Tiefenzunahmen zu erklären.*

Als Ungenauigkeiten des Beschickungsverfahrens, die direkt in die Vermessungsergebnisse einfließen, konnten aufgezeigt werden:

- Zwischen den tatsächlichen Wasserständen und den durch das Beschickungsverfahren berechneten Werten treten erhebliche Abweichungen auf. Es wurden Abweichungen bis zu 100 cm festgestellt. Fehler bei der Ermittlung des Wasserstandes fließen direkt in die Vermessungsergebnisse ein. Festgestellte Ungenauigkeiten in den Seevermessungen konnten bestätigt und auf das Beschickungsverfahren zurückgeführt werden.
- Für die Orte der Hochseepegel ergaben sich Vertrauensintervalle für die Beschickungswerte von Küstenpegeln von ± 20 cm; für die Beschickung auf den Pegel Helgoland wurde ein Vertrauensintervall von ± 20 cm bis 30 cm ermittelt.
- Mit zunehmender Entfernung zum Bezugspegel vergrößern sich die Differenzen der Beschickungswerte. Insbesondere auf den Pegel Helgoland bezogene Beschickungswerte zeigen starke Abweichungen zu den tatsächlichen Wasserständen. Der Pegel Helgoland eignet sich nach dem Vergleich mit den Hochseepegeln nur sehr eingeschränkt, den Wasserstand im bis zu 100 km entfernten Sylter Küstenvorfeld mit hinreichender Genauigkeit zu berechnen. Ebenfalls problematisch ist die Beschickung auf den Messpfahl Westerland für den Ort des Hochseepegels Lister Tief. Es wurde ein Vertrauensintervall von ± 30 cm ermittelt.
- Für die Verwendung unterschiedlicher Bezugspegel ergaben sich im Mittel um 5 cm bis 15 cm abweichende Vermessungsergebnisse. Diese Werte variieren von Vermessung zu Vermessung, feste Korrekturfaktoren für bestimmte Pegelvergleiche können dementsprechend nicht benannt werden.
- Die Beschickung durch Küstenpegel gibt den Wasserstand im Küstenvorfeld ebenfalls nur ungenau wieder. Offensichtlich führen Wetterlagen mit senkrecht zur Küste wehenden Winden zu Wasserständen im Küstenvorfeld, die besonders schlecht durch Küstenpegel wiedergegeben werden.
- Bestimmte Einflüsse wie Tidezeit, Windrichtung und Windstärke führen zu abweichenden Vermessungsergebnissen. Jedoch ist der Zusammenhang zwischen den Einflussgrößen und den festgestellten Abweichungen nicht straff genug, um Korrekturfaktoren einführen zu können, mit denen verbesserte Ergebnisse zu erreichen wären.
- Das ungenaue Beschickungsverfahren beeinflusst alle quantitativen morphologischen Untersuchungen in erheblichem Maße. Der Einfluss der fehlerhaften Beschickung ist zu verkleinern, indem die Bilanzierungen für große Flächen erfolgen und man Tiefen-Differenzwerte verwendet.

5. Statistische Untersuchungen zur Vergleichbarkeit verschiedener Vermessungstechniken

5.1 Genauigkeit verschiedener Messverfahren

Seevermessungen in der Nordsee wurden seit Beginn dieses Jahrhunderts mit immer wieder dem Stand der Technik angepassten Lotungsverfahren durchgeführt. Die Entwicklung ging vom Handlot zum modernen Echolot mit Seegangskompensation.

Ebenso wurden die Verfahren der Positionsbestimmung immer wieder den technischen Möglichkeiten angepasst. Von der Kreuzpeilung bis zur GPS-Positionsbestimmung wurde die Genauigkeit ständig verbessert. Die Verwendung verschiedener Echolotverfahren kann zu systematischen Veränderungen der gemessenen Tiefen führen. Verbesserungen der Positionsbestimmungen brauchen hier nicht behandelt zu werden, weil ein systematischer Einfluss anzuschließen ist.

Im Folgenden werden einige Literaturhinweise und im Rahmen dieses Projektes gewonnene Erkenntnisse zusammengefasst, die sich mit der Genauigkeit verschiedener Verfahren der Tiefenmessung befassen und einen Einblick in die zu erreichenden Genauigkeiten geben.

Bis etwa 1937 wurde ausschließlich mit dem Handlot gearbeitet. Der Zeitpunkt des Wechsels ist für einzelne Reviere nicht mehr nachvollziehbar. LUCHT (1973) warnt vor einem unkritischen Umgang mit den Daten vor Einführung des Echolotes. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens ist nur ein kleiner Teil der Vermessungen mit Handlot durchgeführt worden. Im Wesentlichen stützt sich das Forschungsvorhaben auf Vermessungen mit verschiedenen Echoloten. Nach LUCHT (1973) markiert der Wechsel vom Handlot zum Echolot eine Grenze hinsichtlich der Vergleichbarkeit von Seekarten und Peilplänen. Nach der Einführung des Echolotes muß demnach mit einer etwa 25 cm höheren Sohlentiefe gerechnet werden. Diese Feststellung trifft jedoch in erster Linie für Gebiete mit schlickigen Untergründen zu. Das im Forschungsvorhaben untersuchte Küstenvorfeld besteht überwiegend aus sandigen Sedimenten, bei denen die Festlegung der Sohle, ob mit Handlot oder Echolot, relativ unproblematisch ist.

Ab etwa 1937 wurde das sogenannte Rotlicht-Echolot eingeführt, mit dem nur Einzeltiefen registriert werden. Die Ablesegenauigkeit lag anfänglich bei ± 25 cm und wurde später auf ± 10 cm verbessert. MEISWINKEL (1983) spricht von einer Genauigkeit von ± 10 cm bei 33 kHz Schwingern sowie ± 5 cm für 210 kHz Schwinger.

Erst mit der Einführung des Echographen 1948/49 konnten Wassertiefen fortlaufend registriert werden. Auf Schwierigkeiten bei der Sohlfestlegung bei schlickigen Untergründen wurden u.a. durch Änderungen der Frequenzen der Echolote reagiert.

LUCHT (1973) spricht verschiedene Fehlerquellen wie die Alterung der Geräte, Veränderungen der Justierung, falsche Annahmen des Salzgehaltes und der Temperatur, veränderte Tauchtiefen der Fahrzeuge, verschiedene Geschwindigkeiten gegen bzw. mit der Strömung, den Seegang usw. an. Alle Vermessungen werden mehr oder weniger die genannten Fehler enthalten, jedoch ist nicht mit einer systematischen Beeinflussung der Vermessungen in eine Richtung aufgrund dieser Faktoren zu rechnen.

Systematische Veränderungen der Tiefen sind bei dem Wechsel von „Einzeltiefenmessungen“ zur „Anhakerei auf der Lotrolle“ und beim Wechsel zur „automatischen Registrierung“ zu

erwarten. Die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens untersuchten Daten sind neben einigen Handlotungen überwiegend Echolotmessungen, die auf einem Lotstreifen registriert wurden. Der Seegang wurde durch die sog. „Anhakerei des oberen Drittels“ (vgl. Kap. 2) ausgeglichen. Nach Versuchen in den Achtziger Jahren, vgl. Jahresberichte DHI (1983, 1984) wurde beim BSH/DHI auf die automatische Registrierung der Tiefen verzichtet und weiter sehr arbeitsintensiv von der Lotrolle Tiefen digitalisiert, vgl. BSH (1994), ANDREE & GEERKE (1992). Damit bleibt die Vergleichbarkeit der Daten - zumindest bei der Nachbearbeitung - gewährleistet.

Im Gegensatz zum BSH/DHI werden bei Vermessungen anderer Dienststellen die Tiefen mittlerweile digital registriert. Es ist nicht auszuschließen, eher sogar zu erwarten, dass dies einen systematischen Einfluss auf die gemessenen Tiefen hat. Unter anderem aus diesem Grund wurde für dieses Forschungsvorhaben auf die Auswertung von Vermessungen anderer Dienststellen verzichtet (Kap. 2). Der vermutete systematische Einfluss der beiden Verfahren ist in MEISWINKEL (1983) für eine gleichmäßige Sohlstruktur beschrieben worden: der Unterschied zwischen Digitalwerten und einer Analogaufzeichnung wird mit +7 cm angegeben. Aufgrund eines Vergleiches von digital erfassten Werten der Forschungsstelle Küste mit Vermessungen des BSH im Juister Küstenvorfeld - einem morphologisch unruhigen Bereich - muss ein noch größerer derartiger Einfluss vermutet werden. Diese Untersuchungen werden fortgesetzt.

Zur Frage des systematischen Einflusses verschiedener Echolote wurden verschiedene Literaturstellen auf mögliche Fehlerursachen, wie verschiedene Öffnungswinkel, Ablesungenauigkeiten, Streuung und Filterung des Signals, gesichtet z. B. MEISWINKEL (1983), HONEYWELL ELAC (o. J.), NAVITRONIC (o. J.), ANDREE et al. (1992), BEHRENS (1980), BFG (1980). Es wurden keine Hinweise oder Angaben gefunden, dass die mit Echoloten verschiedener Hersteller gemessenen Tiefen möglicherweise voneinander abweichen.

5.2 Statistische Auswertungen zur Vergleichbarkeit verschiedener Vermessungstechniken

5.2.1 Veranlassung und Zielsetzung der statistischen Untersuchungen

Aufgrund der Ungenauigkeit des Beschickungsverfahrens besteht eine große Unsicherheit bei der Berechnung von Tiefenveränderungen. Dies wurde in den vorangegangenen Kapiteln bereits dargestellt. Alle mit den BSH/DHI-Daten durchgeführten Untersuchungen werden durch den Beschickungsfehler beeinträchtigt. Da das Beschickungsverfahren und die Beschickungsgrundlagen vom BSH/DHI seit Jahrzehnten nahezu identisch angewandt werden, ist dieser Fehler in allen Vermessungsjahrgängen in vergleichbarer Weise enthalten.

Um den Einfluss der fehlerhaften Beschickung zu minimieren, wurden für größere Flächen (28 km² bis 176 km²) mittlere Tiefendifferenzen - bezogen auf die jeweils verfügbare neueste Vermessung - berechnet (Abb. 5.1). Es zeigen sich insbesondere um 1986 auffällig hohe Tiefenzunahmen. Aufgrund der umfangreichen Datengrundlage des Forschungsvorhabens konnten vergleichbare Tiefenzunahmen in mehreren Teilgebieten im Küstenvorfeld belegt werden. Die festgestellten Tiefenzunahmen um das Jahr 1986 betragen zwischen 10 cm und 50 cm. Auffälligerweise wurden in dem entsprechenden Zeitraum die Echolote auf dem in erster Linie eingesetzten Vermessungsschiff, der KOMET, ausgewechselt (Abb 5.2, vgl. Tab. 2.3). Aufgrund dieses zeitlichen Zusammentreffens ist zu vermuten, dass es sich hier um eine messtechnisch bedingte Tiefenzunahme handelt. Diese Vermutung wurde eingehend überprüft, weil sie die nicht plausible Tiefenzunahme größtenteils erklären würde. Dies hätte einen erheblichen Einfluss auf alle quantitativen Auswertungen, die sich auf die hier

untersuchten Seevermessungen des BSH/DHI stützen, und wäre von grundlegender Bedeutung.

Weitere auffällige Entwicklungen in Abb. 5.1 und Abb. 5.2 sind die Tiefenzunahme seit Mitte der Sechziger Jahre in allen Arbeitsgebieten und eine Verstärkung dieses Trends Anfang der Siebziger Jahre. In den Fünfziger Jahren ist eine gegenläufige Entwicklung in nahezu allen Arbeitsgebieten zu beobachten. Welche der Tiefenveränderungen auf messtechnische Ursachen zurückgeführt werden können soll im Folgenden untersucht werden.

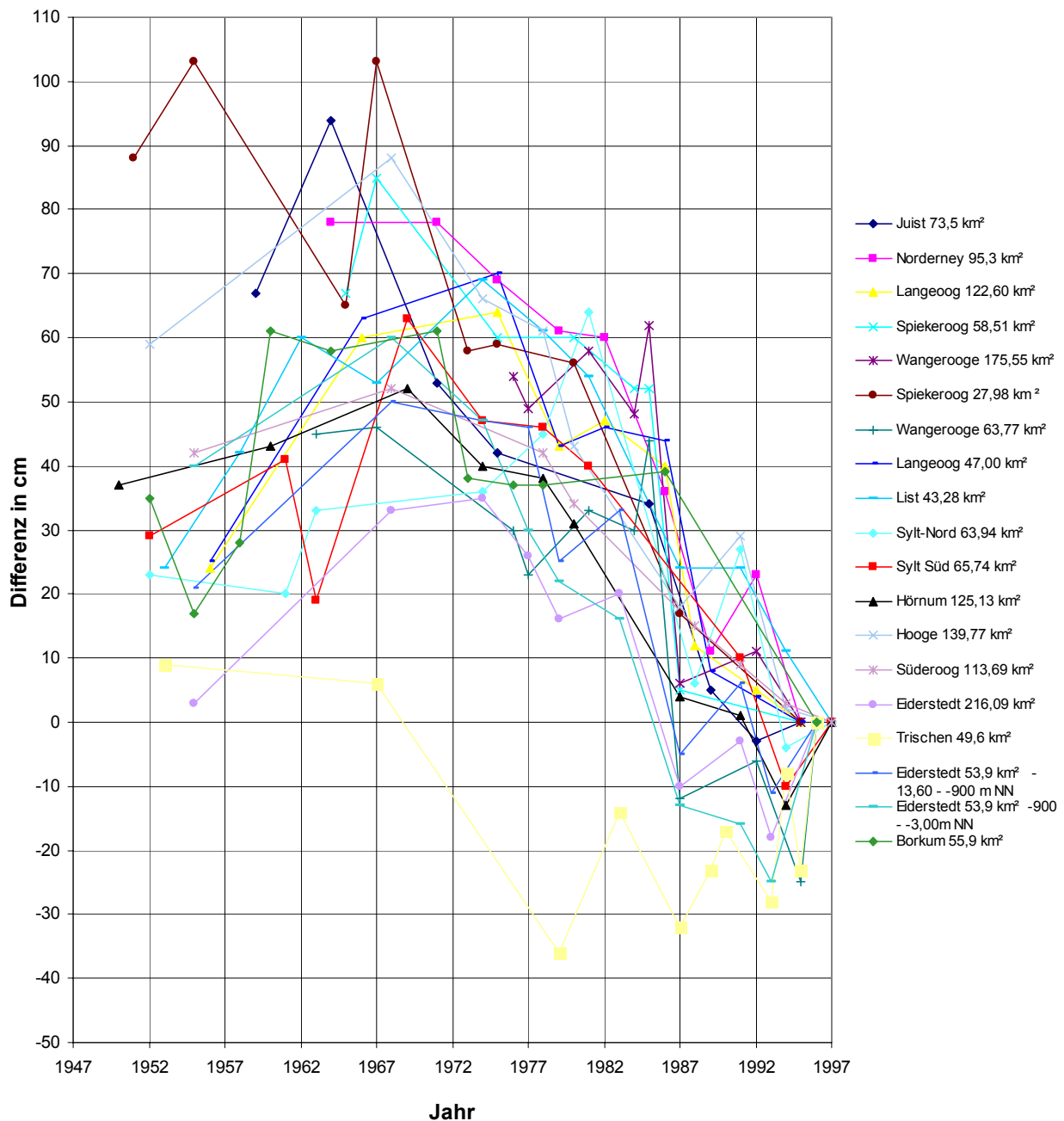


Abb. 5.1: Mittlere Tiefendifferenzen gegenüber der jeweils jüngsten Vermessung (1995/96/97) in verschiedenen Teilgebieten

Die Identifizierung und Quantifizierung möglicher Inhomogenitäten wird durch die Überlagerung mit dem Beschickungsfehler und durch tatsächlich stattfindende morphologische Veränderungen erschwert. Die Untersuchung des Einflusses weiterer Geräteumstellungen und die Quantifizierung der messtechnisch bedingten Tiefenveränderungen erzwang deshalb einen umfangreichen statistischen Vergleich der Vermessungen.

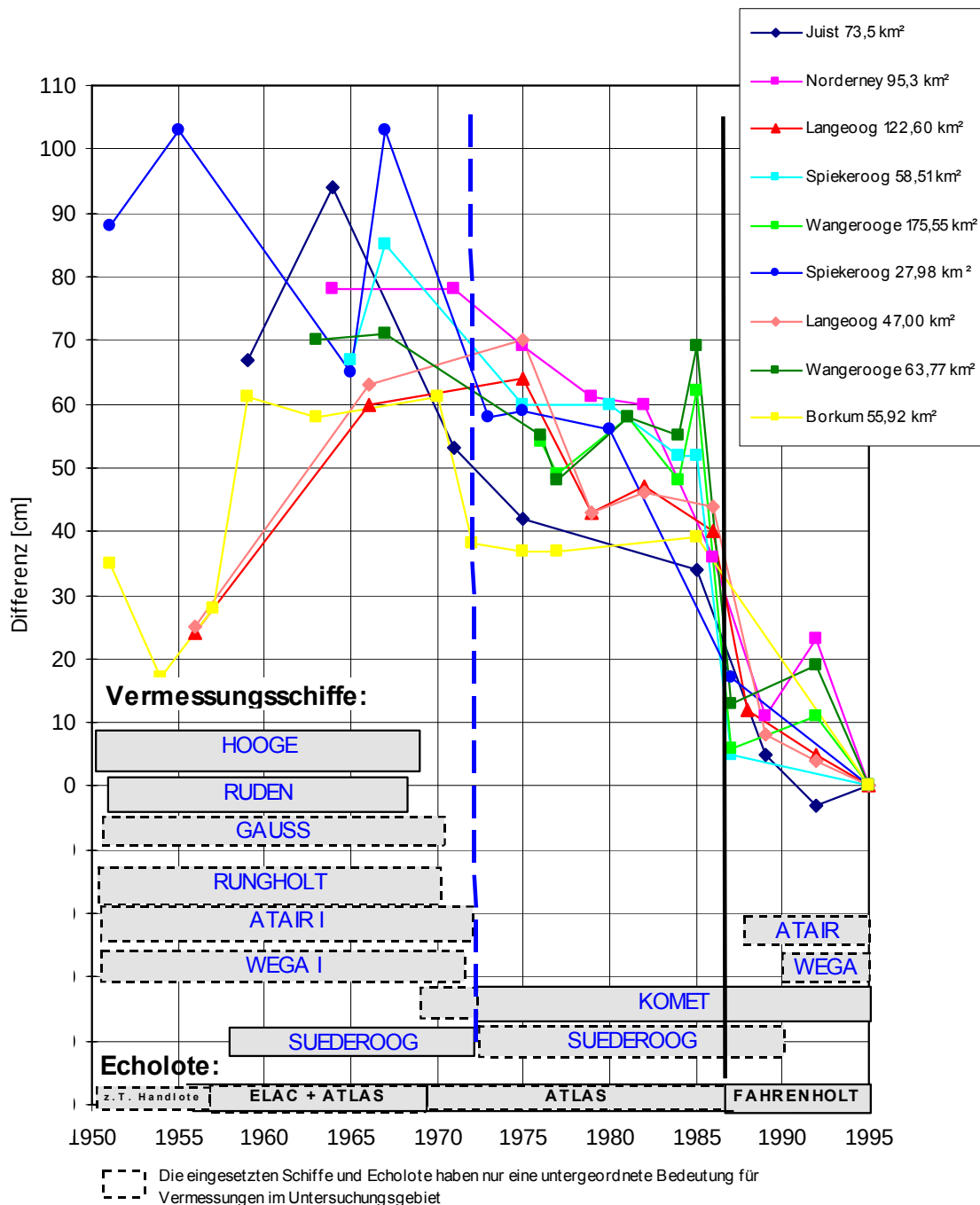


Abb. 5.2: Zusammenhang zwischen Tiefenentwicklung (mittlere Tiefendifferenzen gegenüber 1995) und eingesetzten Schiffen und Echoloten, Teilgebiete Ostfriesische Inseln

Das Ziel dieser statistischen Untersuchungen war nicht die Bearbeitung einer morphologischen Fragestellung. Es war vielmehr ausschließlich zu überprüfen, ob die Voraussetzung einer homogenen Datengrundlage für die morphologischen Analysen zu gewährleisten ist (Konsistenz und damit Vergleichbarkeit der vorliegenden Datensätze). Sind die Datensätze unterschiedlicher Herkunft konsistent, dann müssen diese unabhängig von den verwendeten Lotungsgeräten ähnliche statistische Vergleichswerte aufweisen. Dementsprechend sind die Ziele der hierfür durchgeführten statistischen Untersuchungen:

- Der Nachweis und die Quantifizierung der vermuteten messtechnisch bedingten Tiefenzunahme 1986.
- Die Prüfung, ob in allen Arbeitsgebieten der Sprung 1986 in der gleichen Größe auftritt.
- Die Prüfung, ob eine messtechnisch bedingte Tiefenzunahme abhängig von der Wassertiefe ist.

- Der Nachweis, dass weitere messtechnisch bedingte Tiefenveränderungen quantifiziert oder ausgeschlossen werden können.
- Der Vergleich der statistischen Kenngrößen für ältere Vermessungen mit den heutigen Messtechniken, um ggf. Ungenauigkeitsbereiche für die älteren Vermessungstechniken zu ermitteln.

5.2.2 Methodisches Vorgehen

Die Untersuchung erfordert die Zusammenstellung eines möglichst umfangreichen Datensatzes, um lokale Besonderheiten auszuschließen. Da die Identifizierung und Quantifizierung von systematischen Fehlern der Vermessungen letztlich der Schlüssel ist, um Tiefendifferenzen und Volumendifferenzen realistisch zu berechnen, kommt dieser Untersuchung eine entscheidende Bedeutung zu. Daher wurde sie möglichst breit angelegt. Alle zum Zeitpunkt der Untersuchung bereits digitalisierten Arbeitskarten (165 von insgesamt 175) wurden in die Untersuchung aufgenommen.

Die bisherigen Auswertungen haben gezeigt, dass sowohl großräumige Gebiete, z.B. komplette Arbeitsgebiete (ca. 100 km² bis 150 km²), als auch kleinere Teilbereiche (2 km² bis 30 km²) häufig einen ähnlichen Trend in der Tiefenentwicklung aufzeigen (vgl. Abb. 5.1, 5.4). Die Vorteile möglichst großer Bilanzgebiete sind der relativ geringe Einfluss zufälliger Fehler und die komplette Erfassung morphologischer Einheiten. Oftmals stehen jedoch nur wenige Vergleichsvermessungen zur Auswertung großer zusammenhängender Gebiete zur Verfügung. Der Vorteil kleinerer Gebiete hingegen ist die häufig größere Anzahl der auszuwertenden Vermessungsjahrgänge; Nachteil ist der größere Einfluss der „zufälligen Fehler“. Die größere Anzahl von Vermessungsjahrgängen erleichtert die Identifizierung von abweichenden Jahrgängen, jedoch spielen lokale Besonderheiten, wie die Verlagerung von Rinnen oder morphologischer Strukturen, in kleinen Bilanzgebieten eine größere Rolle. *Als günstig für die statistische Auswertung hat sich die Berechnung auf Basis von 4 km² großen Rasterfeldern erwiesen. Eine Rasterfläche von 4 km² umfasst etwa 80 bis 100 einzelne Tiefenmessungen aus 2 bis 6 verschiedenen Messfahrten.*

Durchgeführte Bilanzierungen zeigen eine regionale Differenzierung von festgestellten Tiefenzunahmen. So unterscheiden sich z.B. die mittleren Tiefenzunahmen im Küstenvorfeld der Ostfriesischen Inseln von denen im Nordfriesischen und Dithmarscher Küstenvorfeld, vgl. HÜTTEMEYER et al. (1997). Um den Einfluss lokaler Besonderheiten zu minimieren, umfasst die statistische Untersuchung die genannten Teilräume. Die einer starken Dynamik unterworfenen morphologischen Einheiten (z. B. Ebbdeltas, Rinnen) und größere Gebiete (Mündungen der Ästuarie) wurden in der Untersuchung nicht berücksichtigt, da die große Eigendynamik einen möglichen systematischen Fehler zu stark überlagert. Bereiche an Rinnen, Seegaten, Ebbdeltas, Sandentnahme- und Verklappungsstellen sowie der unmittelbare Vorstrandbereich wurden daher bei der Berechnung ausgeschlossen (Abb. 5.3). Insgesamt umfasst das ausgewertete Gebiet 4.484 km² (1.121 Rasterflächen mit 4 km²).

Für alle Rasterflächen wurde für jeden vorliegenden Vermessungsjahrgang die mittlere Tiefe, die Standardabweichung der Tiefen, sowie die größte und kleinste auftretende Tiefe ermittelt. Jedem der pro Rasterfläche entstandenen Datensätze wurde eine Angabe für das verwendete Schiff und das Lotungsverfahren bzw. Gerät hinzugefügt. Insgesamt konnten 6.646 Datensätze für die 4 km² großen Rasterflächen nach dem beschriebenen Verfahren erstellt werden (Tabelle A in Abb. 5.4).

Um die Vergleichbarkeit der Vermessungen verschiedener Schiffe bzw. Schiffsausrüstungen zu prüfen, wurde mit dem oben beschriebenen Datensatz ein Tiefendifferenzen-Datensatz

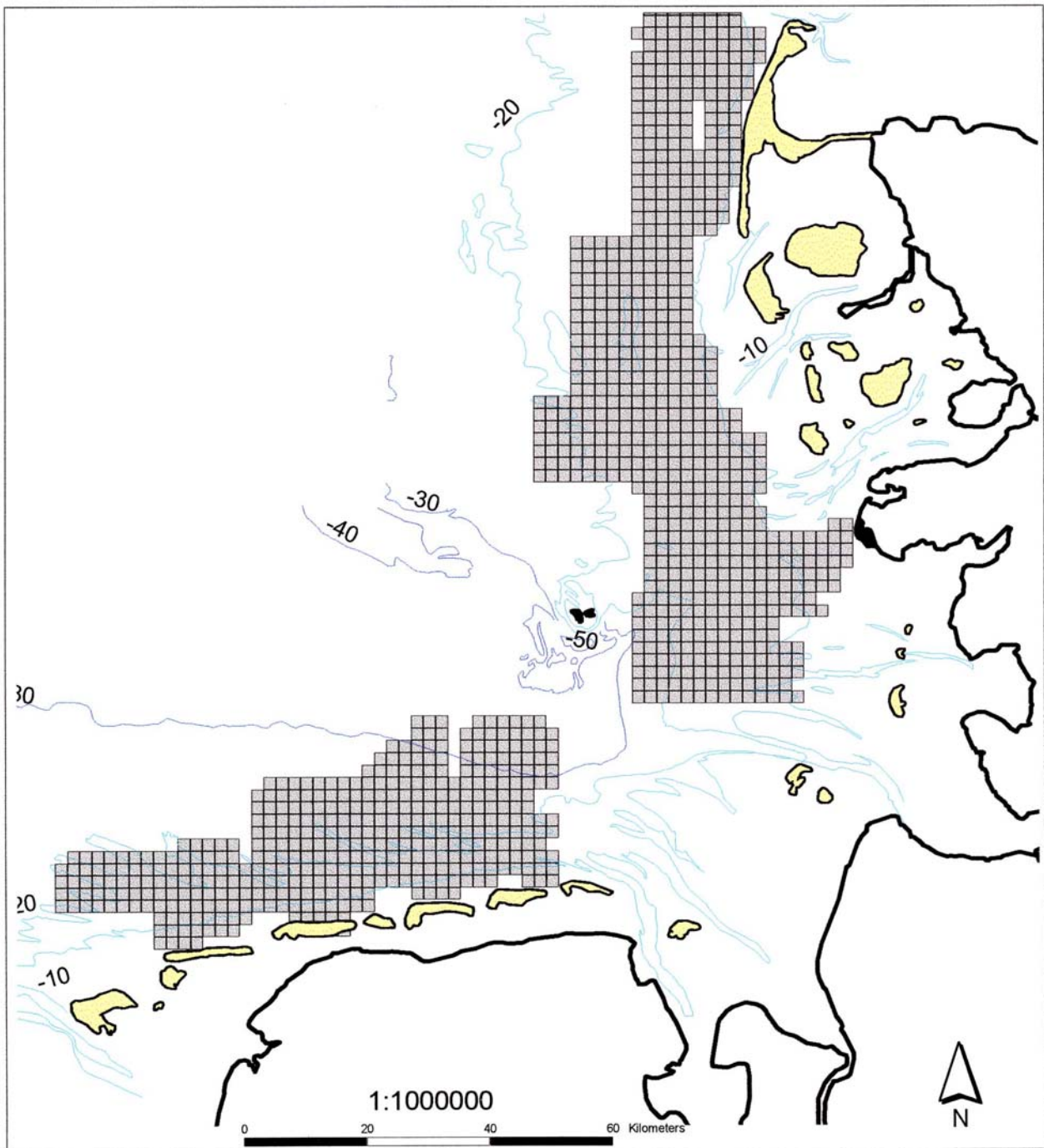
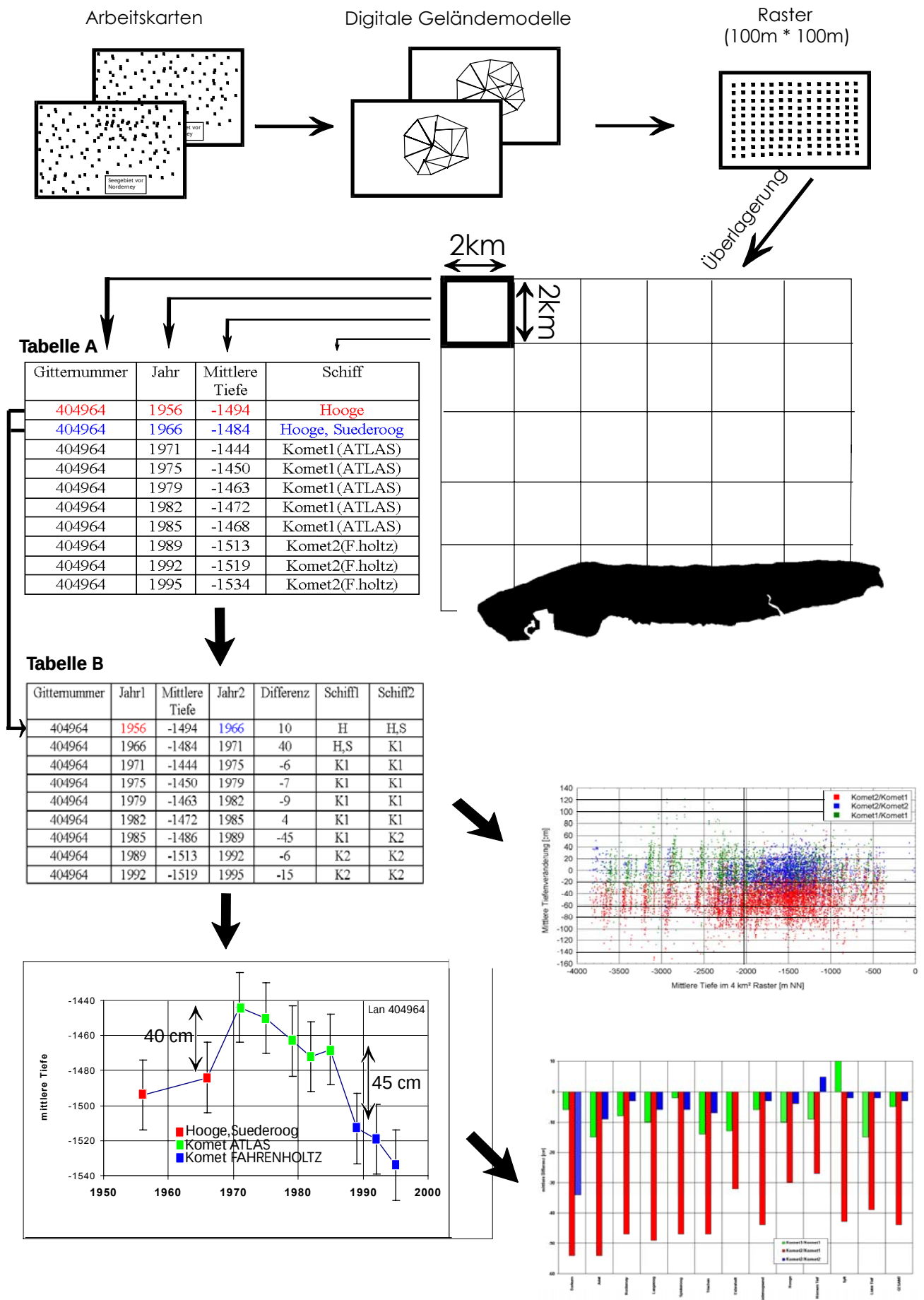


Abb. 5.3: Übersicht der berücksichtigten Gebiete bei der Untersuchung zur Vergleichbarkeit der Vermessungsergebnisse von verschiedenen Schiffen und Echoloten (4484 km²). Seegaten, Sandentnahmestellen, Verklappungsgebiete und Rinnensysteme wurden ausgeschlossen.

berechnet. In diesem Datensatz sind die Tiefendifferenzen zwischen den verschiedenen Jahrgängen zusammengefasst. Der Datensatz enthält, getrennt nach Rasterfeldern, die Differenz der mittleren Tiefe zwischen allen ausgewerteten Vermessungen sowie die jeweils eingesetzten Schiffe (Tabelle B in Abb. 5.4). So entstehen z.B. für ein Rasterfeld in dem 5 Vermessungen vorliegen 10 neue Datensätze (4+3+2+1) mit Tiefendifferenzen zwischen den einzelnen Vermessungen. Der so entstandene Datensatz umfasst 20.034 Rasterflächen-Datensätze und erlaubt die statistische Auswertung von Tiefenveränderungen getrennt nach eingesetzten Schiffen bzw. die gesonderte statistische Betrachtung von Tiefendifferenzen die durch unterschiedliche Schiffe bzw. Messtechniken gewonnen wurden.



5.2.3 Ergebnisse der statistischen Untersuchung

Auswirkungen der Umstellung der Echolotgeräte auf der KOMET im Jahre 1986

Im Jahre 1986 wurden die Echolotgeräte auf dem „VS Komet“ von ATLAS Deso10 auf FAHRENHOLTZ-Geräte umgestellt (s. o.). Die Auswirkungen dieser Umstellung werden im Folgenden untersucht. Es werden mittlere Tiefendifferenzen von Vermessungen durch das „VS Komet“ aus dem Zeitraum 1970 bis 1985 (vor der Umstellung) bzw. aus 1986 bis 1995 (nach der Umstellung) mit Tiefendifferenzen verglichen, die sich auf einen Zeitraum erstrecken, der das Jahr 1986 (Geräteumstellung) einschließt. Insgesamt konnten für 5.565 Rasterflächen (4 km²) mittlere Tiefen aus den Vermessungen des „VS Komet“ errechnet werden. Damit ergaben sich 13.253 Tiefendifferenzen-Werte.

Tab. 5.1: Tiefendifferenzen von Vermessungen der KOMET vor, während und nach der Umstellung der Echolotgeräte von ATLAS DESO 10 auf FAHRENHOLTZ-Echolote im Jahre 1986

Um- stellung der Mess- geräte	Echolote „VS KOMET“ 1. Vergleichsmessung / 2. Vergleichsmessung (ältere Vermessung.)	Zahl der Fälle [n]	Mittelwert [cm]	Standard- abweichung [cm]	mittlere Zeitspanne [a]
vor	ATLAS Deso10 / ATLAS Deso10	3152	-5	27	5,5
während	FAHRENHOLTZ / ATLAS Deso10	7139	-44	24	14,5
nach	FAHRENHOLTZ / FAHRENHOLTZ	2962	-3	21	5,2

Im Idealfall würden Tiefendifferenzen vor, während und nach der Umstellung von Messgeräten ähnliche Mittelwerte zeigen. Wie in Tab. 5.1 dargestellt, weichen Tiefendifferenzen aus dem Zeitraum der Echolotumstellung erheblich von den Vergleichswerten ab (Abb 5.5). Während Tiefendifferenzen berechnet aus Tiefenmessungen mit jeweils einem identischen Echolot geringe Werte aufweisen (-5 cm bzw. -3 cm), entstehen im Zeitraum der Geräteumstellung erheblich größere Tiefendifferenzen (im Mittel -44 cm).

Die große Zahl der untersuchten Fälle, die in etwa übereinstimmenden Standardabweichungen der Werte und die Ähnlichkeit der Vergleichswerte vor bzw. nach der Umstellung unterstreicht die Aussagekraft des Ergebnisses. Weiter zeigt die nach Arbeitsgebieten differenzierte Zusammenstellung der berechneten Mittelwerte (Abb. 5.6) neben der guten Übereinstimmung des Ergebnisses die Übertragbarkeit auf Vermessungen in allen Gebieten. *Es kann also ein einheitlicher Korrekturfaktor für den Gerätewechsel im Jahre 1986 für alle Vermessungsgebiete angenommen werden.*

Die als Vergleichsgröße ermittelten 44 cm Tiefenzunahme durch eine Geräteumstellung auf dem „VS KOMET“ im Jahre 1986 wurde aus Tiefendifferenzen-Werten ermittelt, deren durchschnittliche Zeitspanne deutlich über den Zeitspannen der Vergleichsgrößen liegt (14,5 Jahre gegenüber 5,2 bzw. 5,5 Jahre). Eine Gegenüberstellung der durchschnittlichen Zeitspannen mit den berechneten Tiefendifferenzen zeigt eine Abhängigkeit der beiden Größen. Große Zeitspannen weisen höhere Tiefendifferenzen auf als kleinere, d. h. dass eine langsame Tiefenzunahme für das Untersuchungsgebiet vermutet werden kann. Diese muß bei der Abschätzung der messtechnisch bedingten Tiefenzunahme berücksichtigt werden. Die Geschwindigkeit der Tiefenzunahmen beträgt für den untersuchten Datensatz im Mittel 0,9 cm pro Jahr für die Vermessungen des „VS Komet“ (Abb. 5.7). *Entsprechend wurden alle berechneten Tiefendifferenzen in dem Datensatz um 0,9 cm pro Jahr Zeitdifferenz zwischen den Vermessungen verkleinert.*

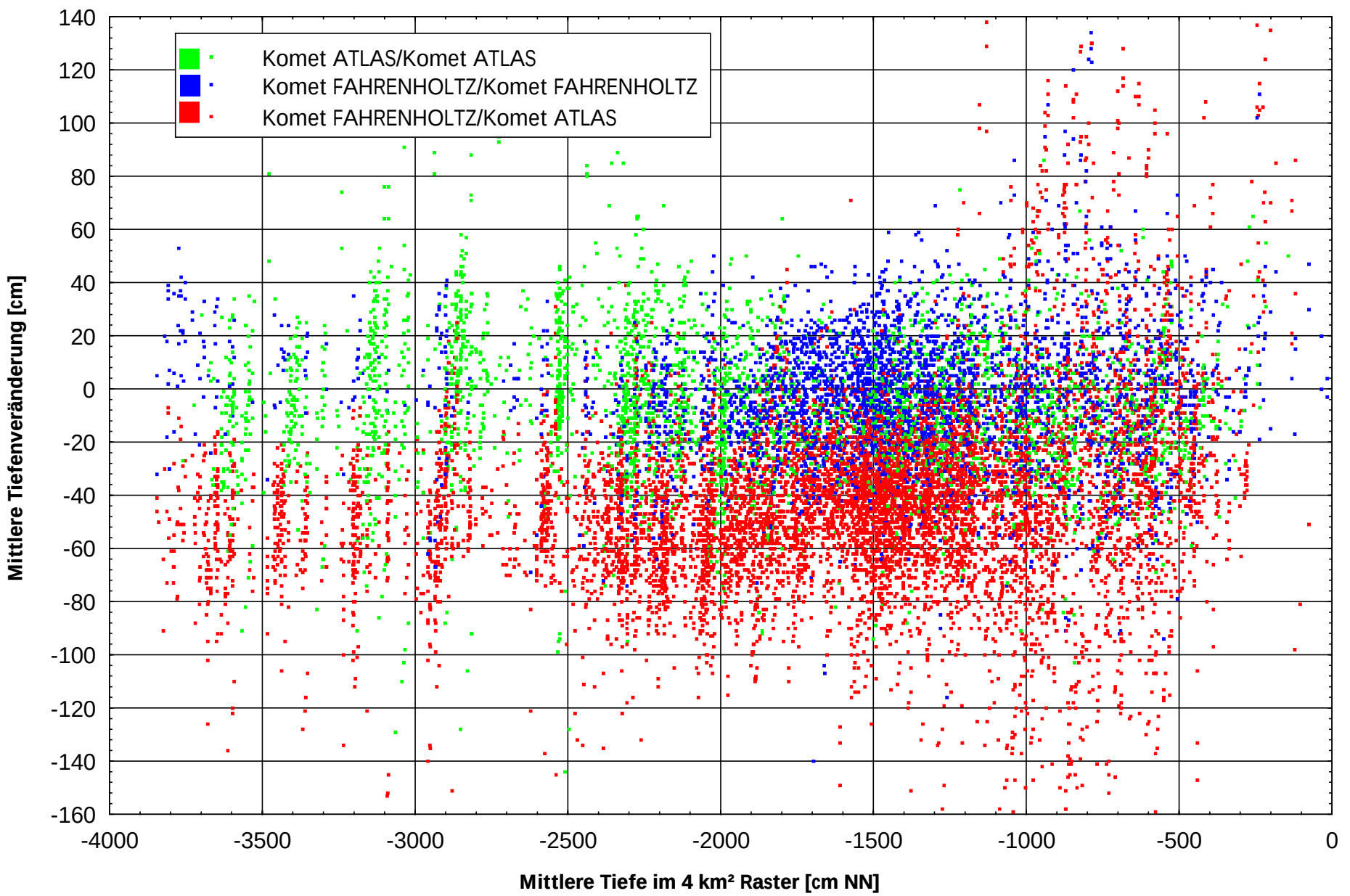


Abb. 5.5: Tiefendifferenzen vor, während und nach der Umstellung der Lotungsgeräte auf der Komet 1986 in Abhängigkeit von der Wassertiefe

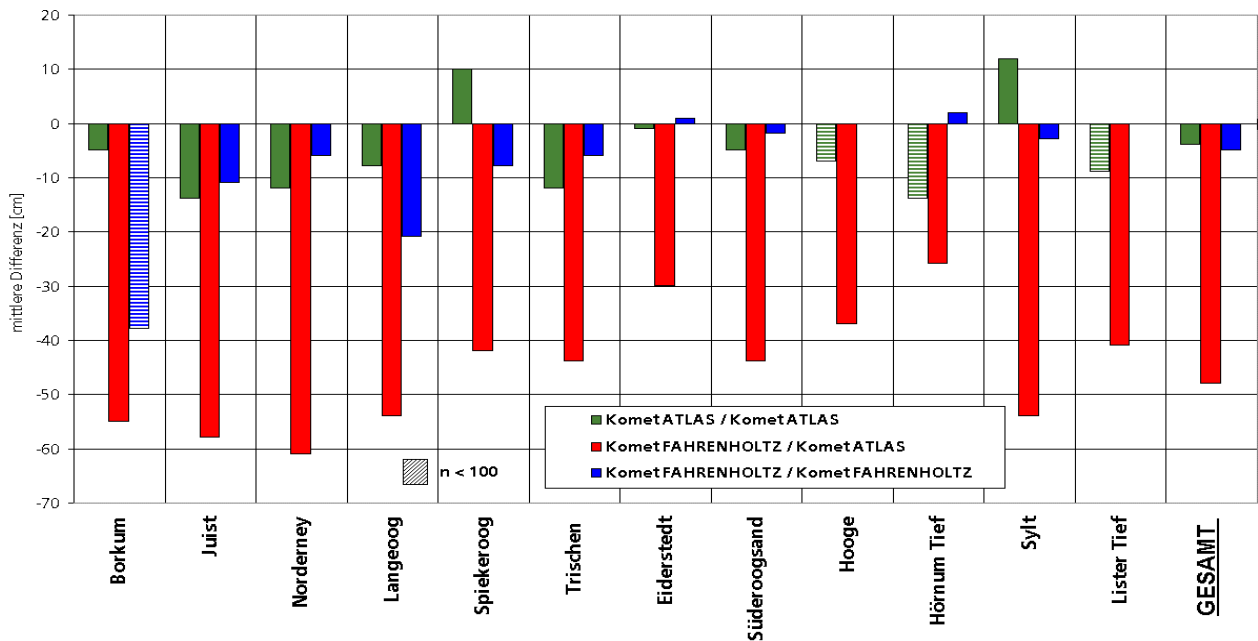


Abb. 5.6: Mittlere Tiefenveränderungen in verschiedenen Arbeitsgebieten vor, während und nach der Umstellung der Lotungsgeräte auf der KOMET 1986

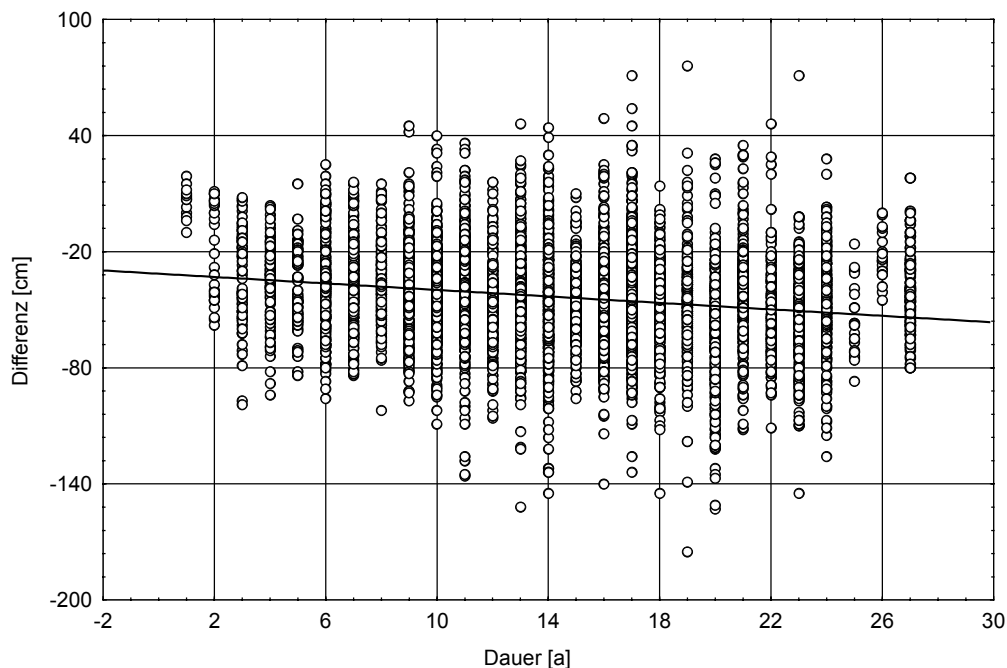


Abb. 5.7: Abhängigkeit der auftretenden Tiefendifferenzen von der untersuchten Zeitspanne für die Umstellung der Lotungsgeräte auf der Komet 1986.

Anschließend wurden für verschiedene Tiefenstufen (1 m Klassenweite) mittlere Tiefendifferenzen berechnet. Aus den mittleren Differenzen pro Tiefenstufe und den Tiefen wurde eine Regressionsgerade ermittelt. Demnach kann der messtechnisch bedingte Sprung (F) 1986 als Funktion der Tiefe beschrieben werden:

$$F_{(\text{Tiefe})} = 34 \text{ cm} + 0,006 * (\text{Tiefe in cm})$$

Neben der Regressionsgeraden für den gesamten Datensatz wurden getrennt für vier verschiedene Großräume (Juist bis Langeoog, Spiekeroog, Eiderstedt und Sylt) Regressionsgeraden ermittelt (Abb. 5.8). Die Zusammenfassung mehrerer Arbeitsgebiete zu Großräumen war notwendig um eine genügende Zahl von Fällen für die Differenzierung in Tiefenstufen zu gewährleisten. Der Vergleich der Regressionsgeraden für die verschiedenen Teilräume zeigt nur leicht voneinander abweichende Ergebnisse.

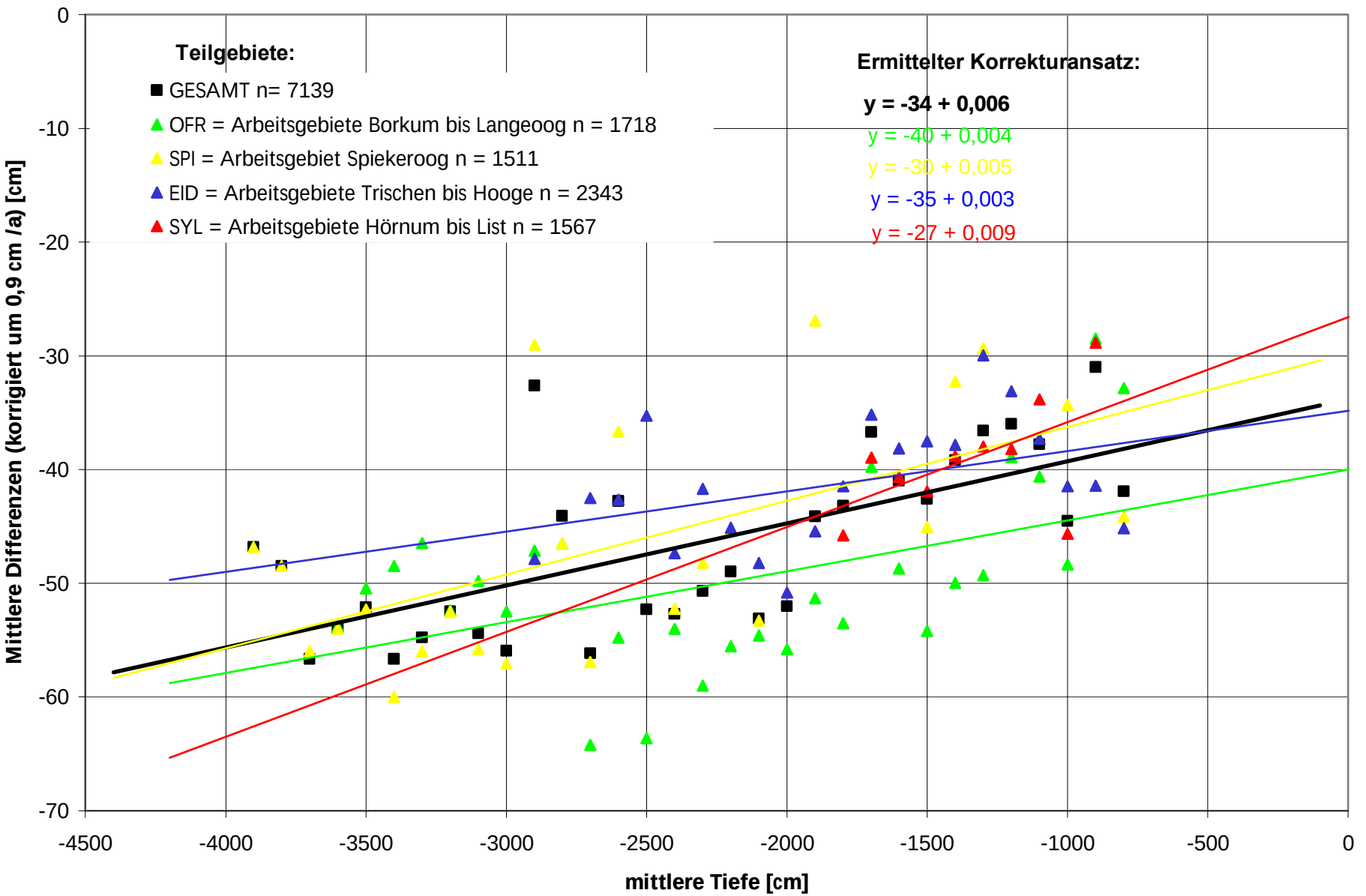


Abb. 5.8: Tiefenabhängigkeit des messtechnisch bedingten Sprunges und ermittelter Korrekturansatz für Teilgebiete und das Gesamtgebiet. Gerätewechsel Komert 1986, Umstellung von ATLAS auf FAHRENHOLTZ Echolote

Die genaue Ursache der statistisch nachgewiesenen, messtechnisch bedingten Tiefenzunahme 1986 konnte nicht eindeutig geklärt werden. Es ist zu vermuten, dass der Öffnungswinkel, die Verarbeitung, Verstärkung und Filterung des Signals im Lotungsgerät eine Rolle spielen. Für die durchzuführenden morphologischen Untersuchungen ist es nicht erforderlich, Ursachenforschung zu betreiben. Entscheidend ist, dass der „Tiefensprung“ erkannt und quantifiziert werden konnte, wodurch eine Korrektur der betroffenen Vermessungsdaten möglich wird.

In Abb. 5.9 sind die mittleren Geschwindigkeiten der Tiefenveränderungen in den verschiedenen Arbeitsgebieten und im Gesamtgebiet dargestellt, wie sie sich aus dem Datensatz für die 4 km² Rasterflächen (mit den o. a. Korrekturen) aus den Vermessungen der Komet ergeben. Die Geschwindigkeiten der Tiefenveränderungen wurden aus der mittleren Tiefenveränderung und der jeweils zugeordneten mittleren Zeitspanne berechnet und zwar jeweils für die Zeiten vor, während und nach der Geräteumstellung. So ergeben sich drei verschiedene Werte für jedes Arbeitsgebiet.

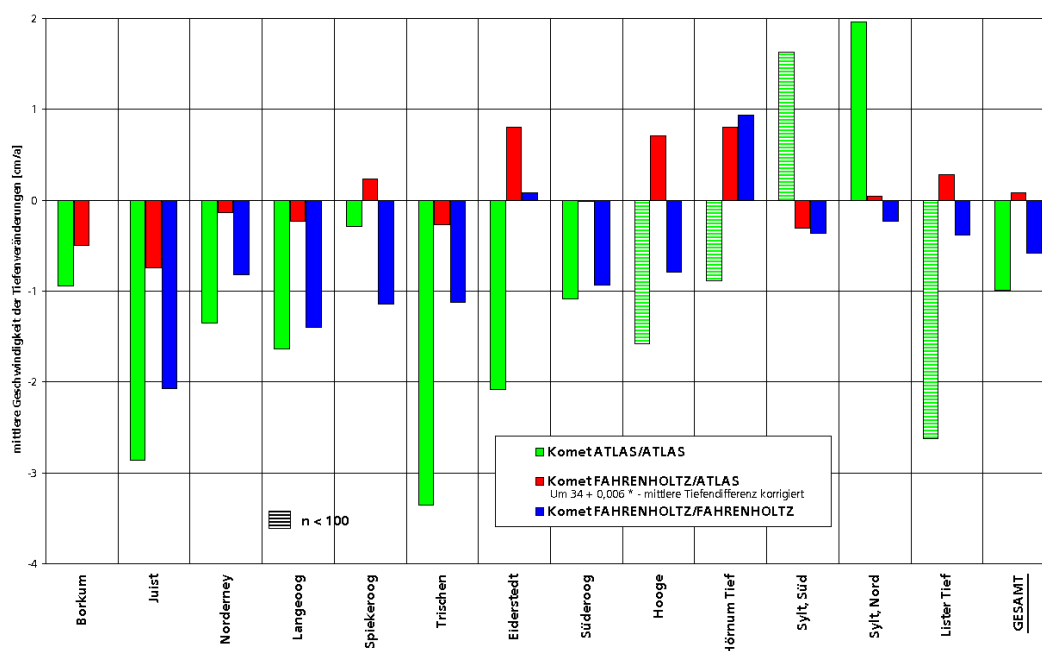


Abb. 5.9: Mittlere Geschwindigkeit der Tiefenveränderungen in verschiedenen Arbeitsgebieten. Berechnungsgrundlage sind Tiefendifferenzen aus Vermessungen der Komet, insgesamt konnten Vermessungen in insgesamt 13.252 4 km² Flächen ausgewertet werden.

Das Ergebnis kann wie folgt beschrieben werden: Es sind Tiefenzunahmen insbesondere im Küstenvorfeld Borkum bis Langeoog zu verzeichnen (etwa 1 cm/a bis 3 cm/a), während im Nordfriesischen Küstenvorfeld deutlich kleinere Tiefenzunahmen (etwa 1cm/a, Süderoog, Hooge) oder uneinheitliche Entwicklungen seit den Siebziger Jahren (z. B. Sylt Nord, Hörnum) ausgewiesen sind.

Die Ergebnisse beruhen allein auf den Vermessungen der Komet und wurden getrennt für die jeweils verwendeten Echolote berechnet. Die relativ gute Übereinstimmung der Werte im Ostfriesischen Küstenvorfeld, insbesondere vor und nach der Geräteumstellung, unterstreicht die erzielte Verbesserung des Ergebnisses. Die uneinheitlichen Werte im Schleswig Holsteinischen Küstenvorfeld können z.T. durch die Verlagerung von Rinnen (Trischen) und durch die problematische Beschickung (Küstenvorfeld Sylt) erklärt werden. In den meisten Teilgebieten weichen hier jedoch die für den „Gerätewechsel 1986“ berechneten Tiefendifferenzen (rot) von den übrigen Werten so ab, als ob der Einfluss des Gerätewechsels durch o.g. Korrektur-Formel überschätzt würde.

Trotzdem kann das erzielte Ergebnis als erster Anhaltspunkt für eine großräumig differenzierte Tiefenveränderung im Küstenvorfeld der Deutschen Bucht gewertet werden. Die Wertung bedarf jedoch der Absicherung durch eine genauere Analyse, auch hinsichtlich der räumlichen Verteilung der in die Berechnungen eingeflossenen Vermessungen.

Auswirkungen der Ablösung der SÜDEROOG durch die KOMET im Jahre 1972

Die SÜDEROOG wurde etwa 1957 in Dienst und 1990 außer Betrieb genommen. Bis zur Indienststellung der KOMET im Jahre 1970 wurde der Großteil der Vermessungen mit der SÜDEROOG durchgeführt. Nach 1972 sind nur noch vereinzelte Vermessungsaufgaben im Küstenvorfeld durch die SÜDEROOG wahrgenommen worden. Stattdessen wurde die SÜDEROOG im Wesentlichen für Wattvermessungen eingesetzt, die hier nicht untersucht werden.

Insgesamt wurden drei Änderungen an den Echoloten der SÜDEROOG vorgenommen. Ursprünglich waren Echolote der Firma ELAC installiert. Diese arbeiteten mit 30 kHz. Ende der Fünfziger Jahre wurden die ELAC Echolote auf 210 kHz umgestellt. Etwa 1970 wurden die Echolote der SÜDEROOG durch ATLAS DESO10 Geräte und Anfang der Achtziger Jahre durch ATLAS Deso 20 Geräte ersetzt (vgl. Tab. 2.3).

Für die statistische Untersuchung der Vermessungen der SÜDEROOG standen nur wenig Vergleichsvermessungen zur Verfügung. Mit der geringen Anzahl allein ist keine sinnvolle statistische Untersuchung zur Homogenität der Vermessungen der SÜDEROOG möglich. Daher wurden die Vermessungen der SÜDEROOG mit den Vermessungen der KOMET verglichen. So konnten 1202 Tiefendifferenzen errechnet werden. *Bei der Auswertung wurde die zuvor ermittelte „34 cm + 0,006 * (- Tiefe cm)“ messtechnische Tiefenzunahme durch die Echolotumstellung auf der KOMET bereits berücksichtigt.*

Ein systematischer Einfluss des Wechsels der Echolotfrequenz auf der SÜDEROOG Ende der Fünfziger Jahre konnte nicht nachgewiesen werden. Bei den weiteren Untersuchungen wurde deshalb nur noch zwischen den Echoloten von ELAC (1957 bis 1969) und ATLAS (1970 bis 1990) unterschieden. Die ermittelten Kennwerte sind in Tab. 5.2 dargestellt. *Demnach kann für den Übergang der Vermessungen von der SÜDEROOG (ATLAS) zur KOMET (1970 bis 1972) eine messtechnisch bedingte Tiefenzu- oder abnahme ausgeschlossen werden (+4 cm, n=895).*

Tab. 5.2: Tiefendifferenzen von Vermessungen der SÜDEROOG mit Vermessungen der KOMET

1. Vergleichsmessung/ 2.Vergleichsmessung (ältere Verm.)	Zahl der Fälle [n]	Mittelwert [cm]	Standard- abweichung [cm]	mittlere Zeitspanne [a]	Mittelwert korrigiert** [cm]
Komet* / Süderoog (ELAC)	182	-39	36	27	-17
Komet* / Süderoog (ATLAS)	895	-5	29	12	+4
Süderoog (ATLAS) / Süderoog (ATLAS)	91	-22	31	13	-4
Süderoog (ATLAS) / Süderoog (ELAC)	34	-19	32	16	-6

* Die Vermessungen der KOMET wurden um den ermittelten Wert „34cm + 0,006 + (- Tiefe cm)“ korrigiert.

** die mittlere Tiefenzunahme für diesen Datensatz beträgt 0,8 cm pro Jahr, der Mittelwert der Differenzen wurde entsprechend der mittleren Zeitspanne korrigiert, um den natürlichen Änderungen Rechnung zu tragen

Dagegen kann für die Umstellung der Echolotgeräte auf der SÜDEROOG 1969 eine messtechnisch bedingte Tiefenzunahme angenommen werden. Nach der Korrektur um eine für diesen Datensatz ermittelte Tiefenzunahme von 0,8 cm pro Jahr (vgl. vorangegangene

Untersuchungen zur KOMET) wurde eine messtechnisch bedingte Tiefenzunahme von 17 cm ermittelt. Im Gegensatz zu den statistischen Untersuchungen der Geräteumstellung auf der KOMET stehen für die SÜDEROOG vergleichsweise wenig Vermessungen (SÜDEROOG n=182, KOMET n=7139) sowie kaum Vergleichsmessungen zur Absicherung des Ergebnisses zur Verfügung (SÜDEROOG: n=91 bzw. n=34; KOMET: n=3152 bzw. n=2962). Entsprechend sind die Ergebnisse dieser Untersuchung mit einer größeren Unsicherheit behaftet und eine sinnvolle Untersuchung einer Tiefenabhängigkeit des Korrekturfaktors ist angesichts der geringen Zahl der Fälle nicht möglich.

Ergänzende Untersuchungen zu weiteren Schiffs- und Gerätewechseln

Die Untersuchungen (Abb. 5.1) geben Anlass zu der Vermutung, dass nicht alle vom BSH/DHI eingesetzten Geräte und Schiffe vergleichbare Ergebnisse liefern. Es wurde versucht, anhand des erstellten Datensatzes Einflüsse weiterer Schiffs- und Gerätewechsel nachzuweisen oder auszuschließen. Im Einzelnen wurde der Einfluss der verschiedenen eingesetzten Schiffe und der Handlotungen am erstellten Datensatz untersucht. Weiter wurde geprüft, ob die Vermessungsdaten bestimmter Schiffe, verschiedener Echolotverfahren, unterschiedlicher Zeiträume zu erkennbaren Veränderungen führen (z. B. größere Streuung, „Sprünge“ etc.).

Trotz der umfangreichen Datengrundlage, die nahezu alle verfügbaren Vermessungen berücksichtigt und des aufwendigen Verfahrens zu Erstellung des Datensatzes konnten aufgrund einer zu geringen Anzahl von jeweils vorliegenden Vermessungen in keinem der untersuchten Punkte eindeutige Ergebnisse erzielt werden (vgl. Tab. 2.3). Die Untersuchungen des statistischen Datensatzes mussten zum Ende der Projektlaufzeit abgebrochen werden. Möglicherweise können weitere Untersuchungen des Datensatzes einige der o.g. Punkte belegen. Bei welchen Vermessungen noch Zweifel an der Genauigkeit bestehen ist in Tab. 5.3 zusammengestellt, die mit den vorgestellten Untersuchungen ermittelten Differenzen sind mit aufgenommen.

Tab. 5.3: Zusammenfassung der Erkenntnisse, Beobachtungen und ungeklärten Fragen zu messtechnisch bedingten Einflüssen auf die Seevermessungen des DHI/BSH

Vermessungsschiffe Echolote, Zeitraum	Auffälligkeiten der Vermessungen	Nachweis, Probleme, Wissensstand,
Handlotungen bis 1954	- im Vergleich zu den Sechziger Jahren zu große Tiefen	- geringe Anzahl, Peilungen häufig nur in unmittelbarer Küstennähe - häufig Kombination von Hand- und Echolotungen
Fünfziger und Sechziger Jahre, Vielzahl verschiedener Schiffe und Geräte	- sehr große Sprünge zwischen den einzelnen Vermessungen, breite Streuung der Ergebnisse im Vergleich zu Vermessungen nach 1970 - häufig von den übrigen Vermessungen abweichende Vermessungsjahrgänge	- eine Vielzahl verschiedener eingesetzter Schiffe und Echolote und nur wenige Vermessungen mit identischer Technik erschweren bzw. verhindern zuverlässige statistische Untersuchungen, - es sind jedoch noch weitere statistische Untersuchungen möglich
Indienststellung SÜDEROOG Umstellung der Echolote von Elac auf Atlas etwa 1969	teilweise größere Tiefenzunahmen	- etwa 17 cm messtechnisch bedingte Tiefenzunahme 1969, statistische Unsicherheit wegen geringer Anzahl von Vermessungen - der Korrekturfaktor hat nur eine geringe Bedeutung, da nur wenige Vermessungsaufgaben vor 1969 ausschließlich von der Süderoog durchgeführt wurden
Indienststellung KOMET , Ablösung der SÜDEROOG 1970-72	teilweise große Unterschiede/Sprünge zw. den einzelnen Vermessungen im Vergleich zu den Vermessungen nach 1970	- statistische Untersuchung bestätigt die Vergleichbarkeit der Vermessungen - Ergebnis statistisch gesichert
Umstellung der Lotgeräte auf der KOMET von Atlas auf Fahrenholtz Anfang 1986	-1986: Wechsel der Echolote und Tiefenzunahmen zwischen 10 und 40 cm - vergleichsweise geringe Tiefenveränderungen zwischen den einzelnen Vermessungen seit Indienststellung der KOMET 1970 (Ausnahme 1986)	- sehr große Anzahl von Vermessungen - messtechnische Tiefenzunahme von 34 cm + 0,006*(-Tiefe cm) - Ergebnis statistisch gesichert, jedoch unplausible Ergebnisse bei der Anwendung des Korrekturfaktors

6. Rückschlüsse auf Fehlerabschätzung und die Eignung für morphologische Untersuchungen

Die im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführte Analyse der verwendeten BSH/DHI Seevermessungsdaten führte zu Erkenntnissen über deren Eignung für morphologische Untersuchungen, einschließlich einer Verbesserung und Erweiterung von methodischen Ansätzen für die mit diesen Daten zu gewinnenden Aussagen. Diese Erkenntnisse sind übertragbar und zu verallgemeinern.

6.1 Ansätze zur Fehlerabschätzung der Seevermessungen

Es stellt sich die Frage, mit welcher Fehlerspanne bei quantitativen Untersuchungen mit Seevermessungen des BSH gerechnet werden muss. Die Fehlerspanne dient zur Orientierung, ob je nach Fragestellung sinnvolle Aussagen aus den Daten gezogen werden können oder ob mögliche morphologische Veränderungen innerhalb der Genauigkeitsgrenzen liegen.

Eine Abschätzung der Fehlerspanne muss mehrere Einflüsse berücksichtigen. Die Fehler lassen sich nach den Einflüssen in zwei Gruppen einteilen:

1. Fehlergrößen mit Streuung um den wahren Wert.
2. Fehlergrößen mit Wirkung in nur eine Richtung

zu 1. Fehlergrößen mit Streuung um den wahren Wert

Die Fehler dieser Gruppe entstehen in allen Phasen der Datenerhebung und Verarbeitung. Dazu zählen z.B. Seegangseinfluss, Echolotungenauigkeiten, Ableseungenauigkeiten usw. sowie die festgestellten Beschickungsungenauigkeiten. Da die Werte um den „wahren“ Wert streuen kann durch eine statistische Auswertung mit einer möglichst große Anzahl von Einzelmessungen ihr Einfluss verkleinert werden. In der Regel wird bereits bei der Verwendung weniger Einzelmessungen der Einfluss von Seegang oder Ableseungenauigkeiten auf das Ergebnis gering, bzw. spielt gegenüber den Beschickungsungenauigkeiten nur eine untergeordnete Rolle und kann daher bei der Abschätzung der Fehlerspanne für umfangreichere Vermessungen vernachlässigt werden. Damit sind die entscheidenden Fehlergrößen mit Streuung um den wahren Wert die Beschickungsungenauigkeiten; diese werden im Folgenden näher betrachtet.

Die Genauigkeit des Beschickungsverfahrens wurde für die Orte von drei Hochseepegeln untersucht und für zwei Küstenpegel dargestellt (Kap. 4.4); und es konnten Vertrauensintervalle für die Beschickungswerte unter der Annahme der Normalverteilung ermittelt werden (Tab. 4.5). Diese Vertrauensintervalle gelten für Einzelwerte.

Durch den folgenden Zusammenhang können auch Vertrauensintervalle für Stichproben ermittelt werden. Die Standardabweichung einer Stichprobe (Standardfehler) aus einer normalverteilten Grundgesamtheit beträgt nur das $1/\sqrt{n}$ -fache der Standardabweichung der Grundgesamtheit (BAHRENBURG et al. 1990). Daraus kann wiederum das Vertrauensintervall für den Mittelwert einer Stichprobe errechnet werden.

Die dieser Arbeit zugrundeliegenden Seevermessungen des BSH weisen in der Regel einen regelmäßigen Abstand von etwa 200 m auf. Somit liegen pro Quadratkilometer etwa 25 Einzelwerte vor. Diese Einzelwerte sind jedoch nicht als unabhängig voneinander gezogene Stichprobenwerte zu verstehen, da sie in zeitlich enger Folge voneinander entstehen: etwa alle 20 - 30 Sekunden wird ein Messwert während der Vermessungen ermittelt. Damit können die Werte einer Messfahrt mittlerer Länge nur als 1 Stichprobenwert gewertet werden. Für eine 1 km² große Fläche kann von 1 bis 2 verschiedenen Messfahrten ausgegangen werden.

Da die Fahrten in der Regel in mehrere Kilometer langen Bahnen durchgeführt werden, nimmt die Zahl der Messfahrten nicht proportional zur Fläche zu (vgl. Abb. 3.2, 3.10, 3.11 und 3.13). Bei vier km² ist beispielsweise mit 1 bis 4, bei 10 km² großen Flächen mit 2 bis 6 verschiedenen Fahrten zu rechnen. Bei 100 km² sind 10 bis 20 verschiedene Messfahrten eine realistische Einschätzung. Damit ergibt sich auch für größere Flächen ein sehr geringer Stichprobenumfang.

Es konnten statistische Kenngrößen für die Beschickung im Bereich der drei Hochseepegel vor Schleswig-Holstein (s. Abb. 4.10) ermittelt werden. Die Standardabweichung der Beschickungsungenauigkeiten wird für die folgende Abschätzung (in Anlehnung an die Werte aus Tab. 4.5) mit 11 cm bzw. 18 cm eingeführt.

Tab. 6.1: Abschätzung der Vertrauensbereiche des Beschickungsfehlers für die Orte der Hochseepegel für verschiedene Flächengrößen. Der Standardfehler der Stichprobe ist $s/\sqrt{n}$ (s Standardabweichung der Grundgesamtheit)

Flächen- größe [km ²]	Stichproben- umfang (abgeschätzt aus A)	$s/\sqrt{n}$ s = 11 (s aus Tab. 4.5, n aus B)	s = 11 cm Intervall _{90%} (1,6 Stabw) [cm]	$s/\sqrt{n}$ s = 18 (s aus Tab. 4.5, n aus B)	s = 18 cm Intervall _{90%} (1,6 Stabw) [cm]
A	B	C	1,6 * C	D	1,6 * D
0.5	1	11,0	±18	18,0	±29
1	1-2	7,8 - 11,0	±13 - 18	12,7 - 18,0	±20 - 29
2	1- 3	6,4 - 11,0	±10 - 18	10,4 - 18,0	±17 - 29
4	1-4	5,5 - 11,0	±7 - 18	9,0 - 18,0	±14 - 29
10	2-6	4,5 - 7,8	±7 - 13	7,4 - 12,7	±12 - 20
25	4 - 8	3,9 - 5,5	±6 - 9	6,4 - 9,0	±10 - 14
50	6 - 12	3,2 - 4,5	±5 - 7	5,2 - 7,4	±8 - 12
100	10 - 20	2,5 - 3,5	±4 - 6	4,0 - 5,7	±6 - 9

Die Tabelle 6.1 gibt die erhebliche, aber mit zunehmender Flächengröße kleiner werdende abgeschätzte Fehlerspanne der Beschickung wieder. Es muss darauf hingewiesen werden, dass die Abschätzung nur für die Orte der Hochseepegel gültig ist, da nur hier die Normalverteilung bewiesen werden konnte und somit die errechnete Standardabweichung zutreffend ist. Für die Orte der Pegel Wangerooge Nord und MP Westerland konnte eine Normalverteilung der Beschickungswerte nicht festgestellt werden (Anhang B14). In beiden Fällen ist daher mit einer breiteren Streuung der Werte zu rechnen. Die Annahme der Normalverteilung ist in diesen Fällen eine zu günstige Annahme, die nur als Näherung zu sehen ist. Die abgeschätzten Fehlerspannen sind folglich als Mindestgrößen zu verstehen.

zu 2. Fehlergrößen mit Wirkung in eine Richtung

Die Fehler in dieser Gruppe wirken nur in eine Richtung und werden daher nicht durch größere Stichproben ausgeglichen. Die größten Einflüsse werden durch die Verwendung unterschiedlicher Lotungstechniken (diese Einflüsse konnten zum Teil quantifiziert und korrigiert werden, vgl. Tab. 5.3) und durch die Verwendung unterschiedlicher Bezugspegel bei den Vergleichsvermessungen (Kap. 4.2) ausgeübt.

In Einzelfällen ist zudem mit Ablesefehlern, Einstellfehlern, Fehlern in der Datenverarbeitung usw. zu rechnen. Dies kann ganze Vermessung unbrauchbar machen (bspw. Sylt 1981, vgl. Kap. 3.1.3). Da die Ursachen der Fehler nicht bekannt sind, sind die Vermessungen i. d. R. weder zu berichtigen noch die Fehlergröße zu quantifizieren.

Die Fehlergröße mit Wirkung in einer Richtung ist nicht allgemein zu ermitteln. Sie ist u.a. abhängig von den jeweils verwendeten Bezugspegeln und der mittleren Abweichung ihrer

Beschickungswerte für den Zeitraum der Vermessung. Für die Abweichungen der verschiedenen Beschickungspegel lassen sich keine konstanten Größen angeben. Die Abweichungen sind zeitlich und räumlich stark variabel. Für jeden Vermessungszeitraum müssen demnach andere Werte angenommen bzw. ermittelt werden. Im Rahmen dieser Arbeit konnten exemplarisch Werte (Mittel) zwischen 2 cm und 16 cm (Tab. 4.1, Anhang B3) ermittelt werden.

Anwendbarkeit für quantitative Untersuchungen

Als Mindestfehler ist hier der nach dem in Kap. 5.2 mitgeteilten Ansatz ermittelte und aus zwei Faktoren bestimmte Unsicherheitsbereich anzunehmen und kann zur Bewertung der Aussagekraft zumindest hinzugezogen werden. Der Ansatz ist jedoch nicht vollständig und muss ggf. noch um weitere Einflüsse erweitert werden. Da es nicht gelungen ist, systematische Einflüsse der Vermessungstechniken in den Fünfziger und Sechziger Jahren eindeutig zu quantifizieren und dadurch eine Korrektur zu ermöglichen, kann die nach oben beschriebenen Verfahren ermittelte Fehlerspanne nur für die Vermessungen der Komet (seit 1970) und eingeschränkt der Süderoog angenommen werden (Kap. 5.2.3). Festzustellen ist, dass für den verwendeten Datensatz keine zufriedenstellende Abschätzung der Genauigkeit der Seevermessungen gelungen ist. Belastbare quantitative Aussagen setzen jedoch eine hinreichende Kenntnis der Fehlerspanne voraus.

6.2 Eignung der Daten für morphologische Untersuchungen

Die Erwartungen an die Genauigkeit und Aussagekraft der Seevermessungen, wie sie dem Antrag des Forschungsvorhabens zugrunde liegen, wurden nicht erfüllt und führten zu einer Reihe von Schwierigkeiten bei der Bearbeitung der Fragestellung und machten umfangreiche Erhebungen von Zusatzinformationen zu den Vermessungen notwendig.

Im Rahmen dieses Berichtes werden festgestellte Ungenauigkeiten und Unstimmigkeiten dargestellt und dokumentiert. Die Eignung der Daten für die angestrebten morphologischen Untersuchungen muss in Frage gestellt werden. Im Folgenden wird beispielhaft an zwei Gebieten dargestellt, welche Ergebnisse man bei Berücksichtigung der gem. Kap. 5.2.3 nachgewiesenen messtechnisch bedingten Tiefenzunahme 1986 („Korrektur 1986“) erhält.

6.2.1 Bilanzierungen mit Berücksichtigung der Korrektur 1986

Juister Küstenvorfeld

Für das Juister Küstenvorfeld sind Tiefendifferenzen mit dem korrigierten Datensatz ermittelt worden. So konnten für ein Gebiet mit einer Fläche von rd. 145 km² mit fünf Vergleichsvermessungen sowie für eine Fläche von rd. 63 km² mit neun Vergleichsvermessungen die Massenbilanzen berechnet werden. Die Tiefenveränderungen gegenüber 1995 für die jeweiligen Gesamtgebiete und für verschiedene Tiefenzonen sind in Abb. 6.1 und Abb. 6.2 dargestellt. Die Tiefenveränderungen gegenüber 1995 zeigen für die beiden Gebiete einen ähnlichen Trend. Insgesamt ist eine durch mehrere Vermessungen belegte Tiefenzunahme von Mitte der Sechziger Jahre bis Mitte der Achtziger (Abb. 6.1) zu verzeichnen. Dies entspricht dem bereits in Abb. 5.1 und 5.2 dargestellten generellen Trend der Differenzwerte (vgl. Tab 5.3): große Werte in den Fünfziger Jahren, geringere Werte in den Sechzigern und seit den Siebziger Jahren Zunahmen. Somit bleibt auch nach Korrektur der messtechnisch bedingten Tiefenzunahme im Jahr 1986 die Charakteristik der Differenz-Kurven im Wesentlichen erhalten; jedoch können nach 1970 (Indienststellung der Komet) nur noch geringe Tiefenveränderungen festgestellt werden. *Es bestehen erhebliche Zweifel an der Vergleichbarkeit der Vermessungen für die Zeit vor 1970. Vermessungen in den Fünfziger und Sechziger Jahren weichen deutlich von den jüngeren Vermessungen ab. Seit den Siebziger*

Jahren sind mit den korrigierten Werten deutlich geringere Tiefenänderungen gegenüber 1995 zu beobachten; die bisher festgestellte Tiefenzunahme in der Größenordnung von mehreren Dezimetern seit 1975 (vgl. Kap. 3.1) kann damit größtenteils auf messtechnische Ursachen zurückgeführt werden. Zu beachten ist, dass mit den korrigierten Daten sich für die Tiefenänderungen jeweils nur noch Beträge unter 20 cm ergeben, die somit in der Größenordnung der nicht sicher auszuschließenden Messfehler liegen.

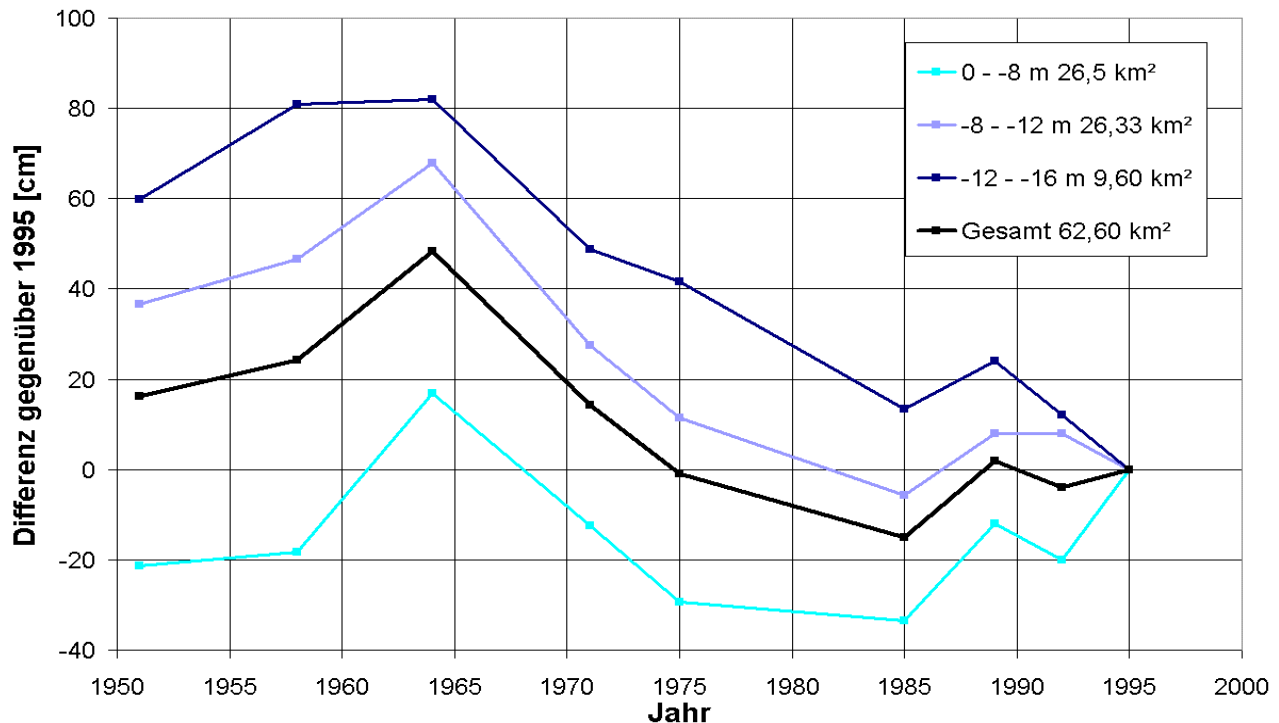


Abb. 6.1: Mittlere Tiefendifferenzen in verschiedenen Tiefenzonen gegenüber 1995, Küstenvorfeld Juist; 62,20 km², korrigierte Daten

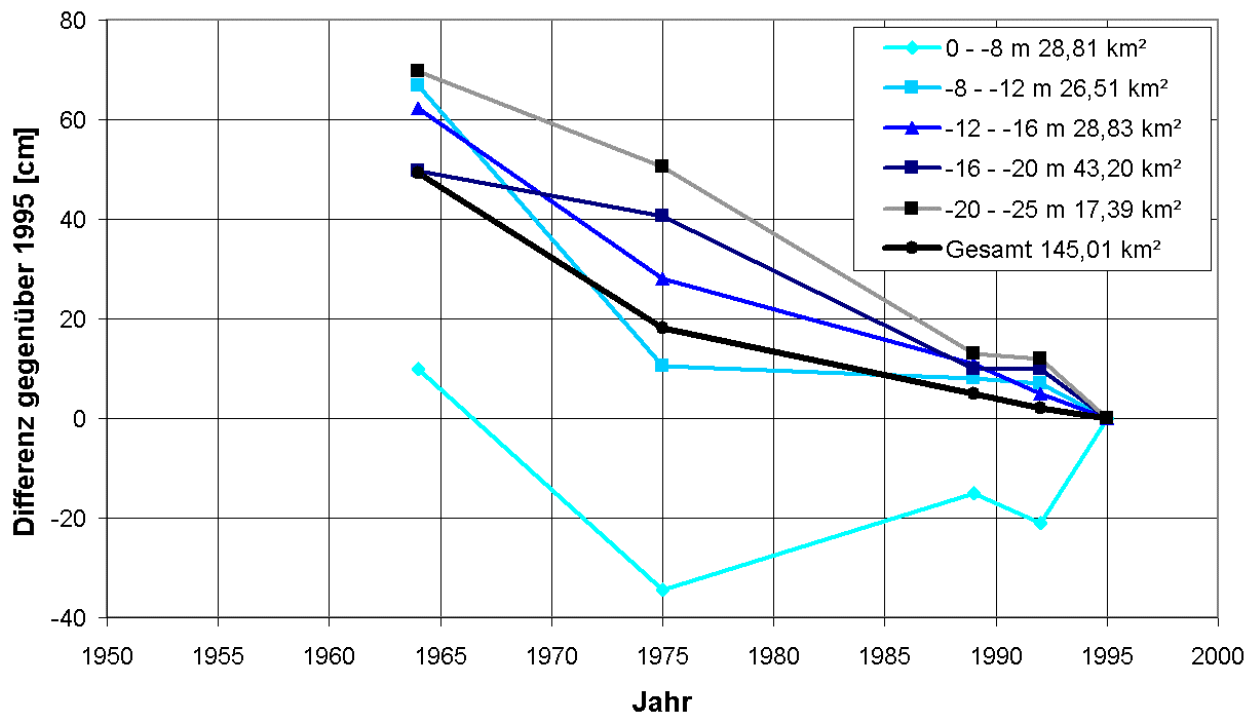


Abb. 6.2: Mittlere Tiefendifferenzen in verschiedenen Tiefenzonen gegenüber 1995, Küstenvorfeld Juist; 145,01 km², korrigierte Daten

Auffällig ist jedoch die unterschiedliche Entwicklung in den einzelnen Tiefenstufen: insgesamt wird die generelle Entwicklung in allen Tiefenstufen nachgezeichnet, jedoch werden die größten Tiefenzunahmen in den tieferen Bereichen verzeichnet; im Bereich bis -8 m NN dagegen werden z.T. positive Trends ausgewiesen. Dieses Resultat ist möglicherweise auf den gewählten Ansatz zur Korrektur des Sprunges 1986 zurückzuführen; könnte aber auch durch abweichende Gestaltänderungen des küstennahen Flachbereichs begründet sein.

Massenbilanzen wie sie in Tab. 6.2 für den Datensatz der beiden Gebiete dargestellt sind, führen zwangsläufig zu dem gleichen Ergebnis wie die betrachteten Tiefendifferenzen. Zur Veranschaulichung der Fehlergröße wurde das einer anzunehmenden Ungenauigkeit (10 bis 20 cm) entsprechende Sedimentvolumen mit aufgeführt. Die Angaben machen deutlich, dass belastbare Aussagen aus dieser Aufstellung aus den o.g. Gründen nur mit Vorbehalt abzuleiten sind.

Tab. 6.2: Massenbilanzen gegenüber 1995, Juister Küstenvorfeld, 62,6 km² bzw. 145,0 km², Angabe in mio m³

Fläche [km ²]	1995- 1951 [mio m ³]	1995- 1958 [mio m ³]	1995- 1964 [mio m ³]	1995- 1971 [mio m ³]	1995- 1975 [mio m ³]	1995- 1985 [mio m ³]	1995- 1989 [mio m ³]	1995- 1992 [mio m ³]	Volumen des geschätzten Unsicherheits- bereiches: ±10 cm bis 20 cm*
62,6	-10,0	-15,0	-30,1	-8,7	+0,6	+9,4	-1,3	+2,5	±6,3- 12,6
145,01	-	-	-71,1	-	-26,1	-	-7,3	-2,9	±14,5 - 29,0

* Der Unsicherheitsbereich ist nicht exakt zu ermitteln, er wurde geschätzt. 10 cm bis 20 cm sind nach den bisherigen Untersuchungen eine realistische Schätzung, es soll verdeutlicht werden wie sich Unsicherheitsbereich und Massenbilanz zueinander verhalten.

Sylter Küstenvorfeld

Analog zu den Untersuchungen im Juister Küstenvorfeld wurden auch im Sylter Küstenvorfeld Bilanzierungen durchgeführt. In Abb. 6.3 sind die Tiefendifferenzen des korrigierten Datensatzes zwischen 1997 und 1974 für die Arbeitsgebiete List, Sylt Nord, Sylt Süd und Hörnum (s. Abb. 2.8) dargestellt. Weite Teile des Küstenvorfeldes weisen nach der Korrektur der Daten nur noch Tiefenveränderungen von weniger als ±25 cm (Darstellung in Abb. 6.3 links: grau) auf. Damit sind die erheblichen Tiefenzunahmen seit 1974, wie sie auch im Sylter Küstenvorfeld zu verzeichnen waren (Anlage B8), auf messtechnische Ursachen zurückzuführen.

Für verschiedene küstenparallele Zonen (Abb. 6.3 rechts) wurden mittlere Höhenveränderungen berechnet und Massenbilanzen erstellt (Tab. 6.3). Insgesamt sind nur sehr geringe Änderungen (-1 cm bis -13 cm) festzustellen. Diese Änderungen liegen innerhalb der Fehlerspanne der Vermessungen (vgl. Abb. 4.6, 4.8, Tab 4.2).

Eine Ausnahme zu den Tiefenzunahmen bildet der schmale Vorstrandbereich (Zone bis -8 m) mit +25 cm und einer Sedimentbilanz von +5,1 mio m³. Als Erklärungen für die positiven Bilanzen kommen zwei Faktoren in Frage: die Strandaufspülungen in diesem Bereich oder ein fehlerhaft berechneter Korrekturfaktor. Das Ergebnis (Tiefenzunahmen in tieferen Zonen, abnehmende Tiefen in flachen Zonen) deutet möglicherweise darauf hin, dass flache Zonen durch den ermittelten Ansatz um einen zu starken Betrag und tiefe Zonen um einen zu geringen Betrag korrigiert werden.

In Abb. 6.4 bis 6.7 sind die nach der Korrektur der Daten ermittelten Tiefendifferenzen gegenüber 1997 für die untersuchten Arbeitsgebiete (Hörnum, List, Sylt Nord, Sylt Süd) dargestellt. Es lässt sich für die vier Gebiete feststellen, dass seit den Siebziger Jahren das

Küstenvorfeld Sylt 1997 - 1974 (korrigierte Daten)

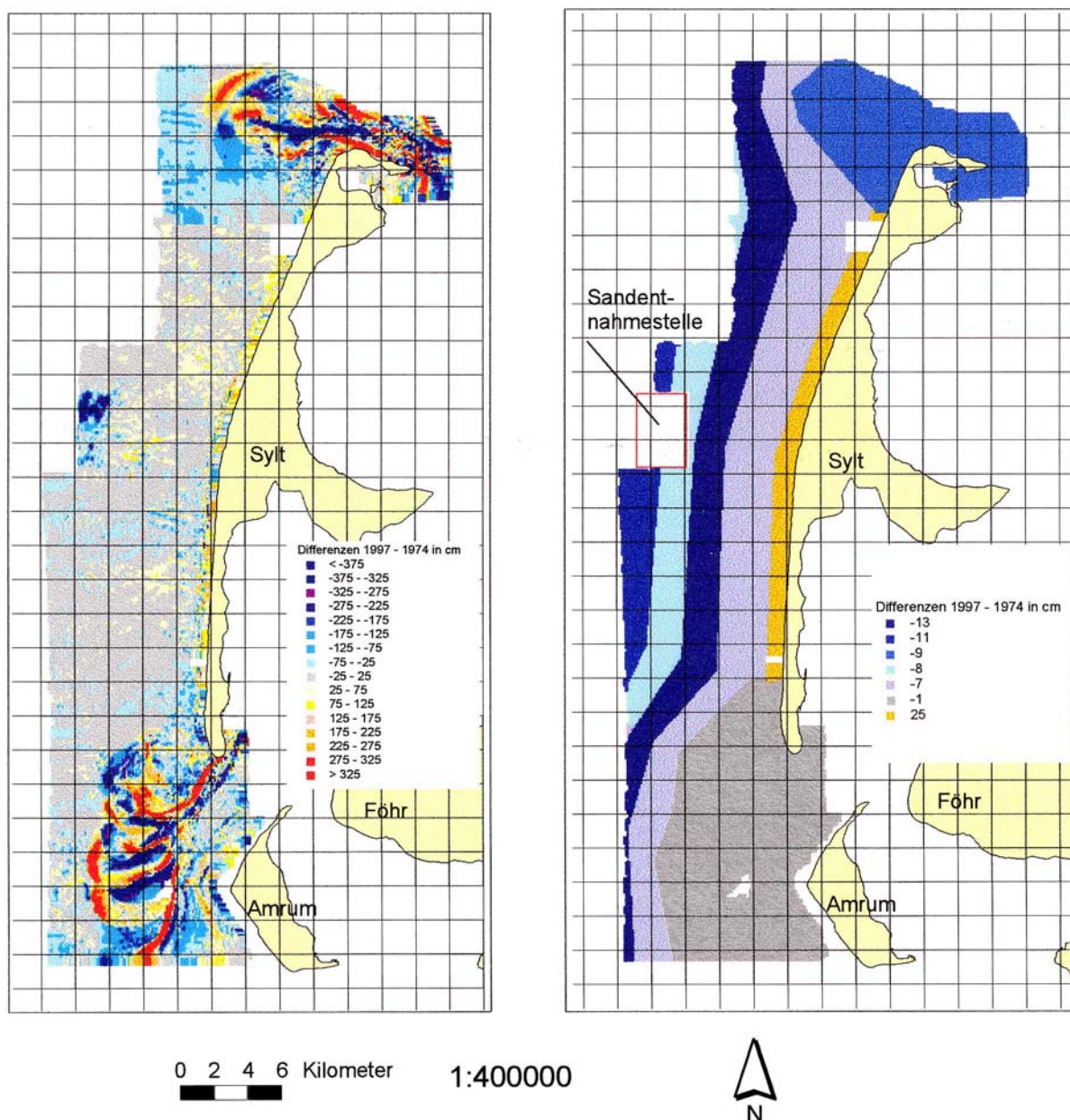


Abb. 6.3: Tiefendifferenzen im Sylter Küstenvorfeld 1997-1974 (korrigierte Daten) im 100 m Raster und küstenparalleler Zonierung

Tab. 6.3: Massenbilanzen für verschiedene Tiefenstufen im Sylter Küstenvorfeld, Lister Tief und Hörnum Tief, 1997 - 1974

Zone	Differenz [cm]	Fläche [km ²]	Sedimentbilanz [mio m ³]
Lister Tief	-9	61.81	-5,6
Hörnum Tief	-1	117.13	-1,2
Zone bis ca. -8m	+25	20.47	+5,1
Zone bis ca. -11m	-7	44.71	-3,1
Zone bis ca. -13m	-13	97.28	-12,7
Zone bis ca. -15m	-13	90.4	-11,8
Zone bis ca. -17m*	-8	41.14	-3,3
Zone bis ca. -20m*	-11	22.83	-2,5
Gesamt	-7	495.77	-35,1

*Ohne Sandentnahmestelle

jeweilige Gesamtgebiet (schwarz) nur kleine Veränderungen aufweist und dass in den Fünzfziger Jahren den drei Sylter Gebieten vergleichsweise große Tiefen gemessen wurden.

Eine Betrachtung der einzelnen Tiefenzonen in den Arbeitsgebieten lässt keinen generellen Trend erkennen. Es ist vielmehr zu vermuten, dass hier allein Schwankungen durch die Beschickung verzeichnet sind. Im Gegensatz zu den Gesamtgebieten (43,3 km² bis 125,13 km²) umfassen die einzelnen Tiefenzonen nur Flächen von 0,04 km² bis 25 km². Entsprechend stärker macht sich der Einfluss der ungenauen Beschickung durch stärkere Schwankungen bemerkbar (z.B. Abb. 6.6, Sylt Nord, Zone -15 m bis -17 m, mit 0,04 km²). Eine klare Trennung tatsächlicher Tiefenveränderungen von den durch die Beschickung verursachten Fehlern ist nicht möglich.

Im Gebiet Sylt Nord wurden seit 1983 regelmäßig Sandauffüllungen vorgenommen. Im Tiefenbereich bis -8 m ist eine mittlere Höhenzunahme zwischen 1981 und 1988 von etwa 30 cm zu verzeichnen. Bei der Fläche von 5,56 km² entspricht dies einem Volumen von 1,7 mio m³. Diese kausale Verknüpfung erscheint plausibel, ist aber angesichts der Beschickungsungenauigkeiten wenig belastbar.

Entsprechend den o.g. Zusammenhängen sind Massenbilanzen wie in Tab. 6.4 wenig aussagekräftig; sie werden hier nur zur Dokumentation mit aufgeführt.

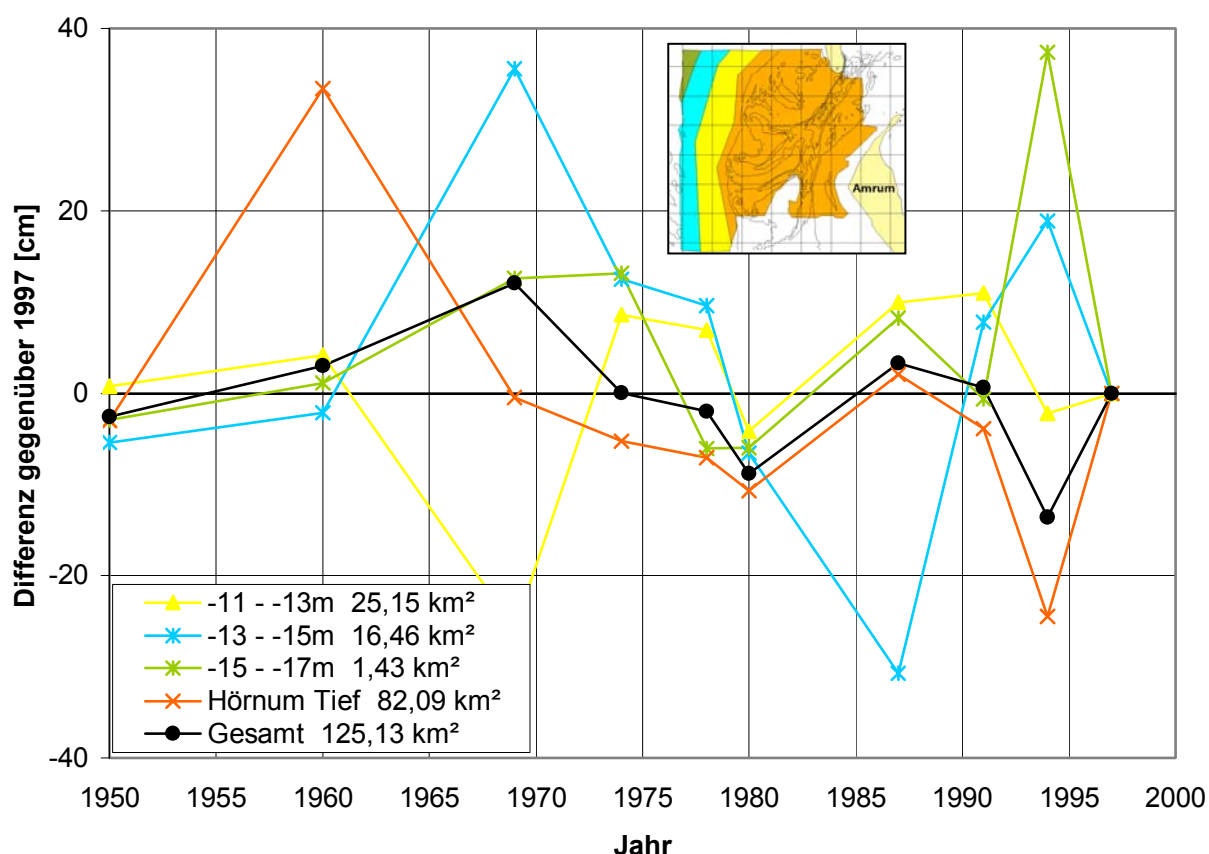


Abb. 6.4: Mittlere Tiefendifferenzen in verschiedenen Tiefenzonen gegenüber 1995, Küstenvorfeld Hörnum, 125,13 km², korrigierte Daten

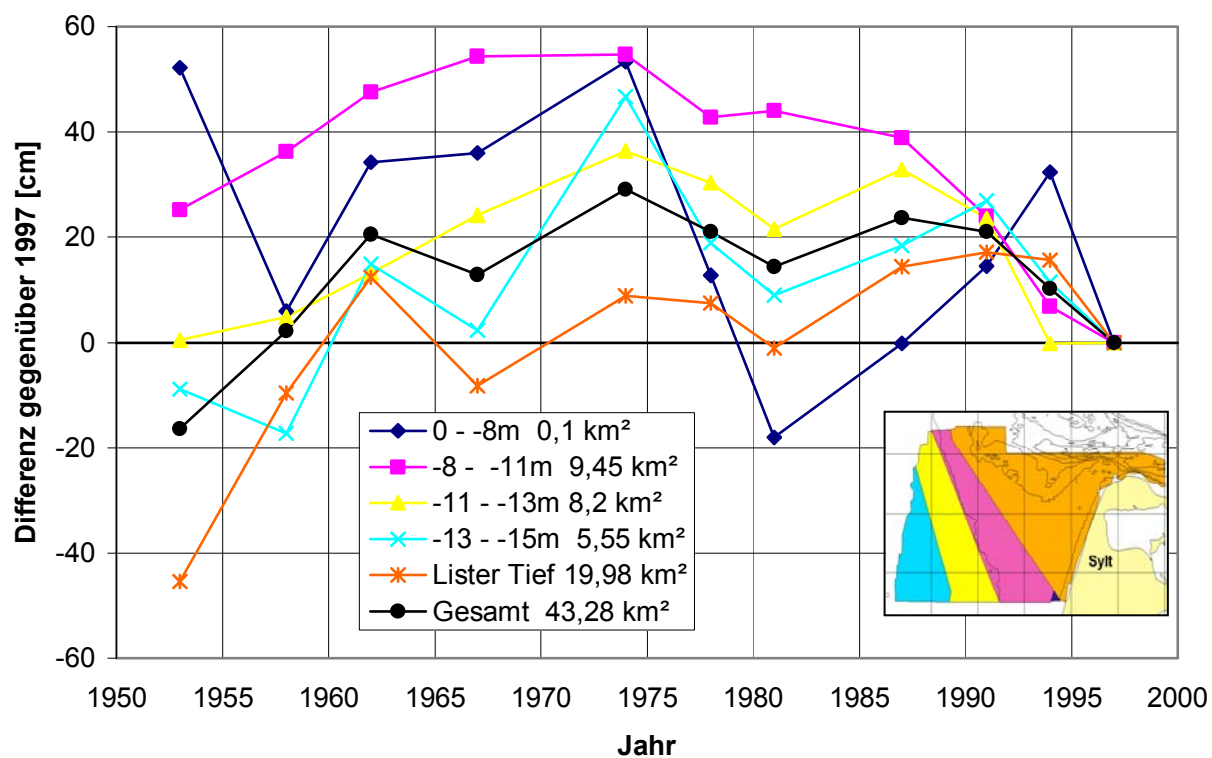


Abb. 6.5: Mittlere Tiefendifferenzen in verschiedenen Tiefenzonen gegenüber 1997, Küstenvorfeld List, 43,28 km², korrigierte Daten

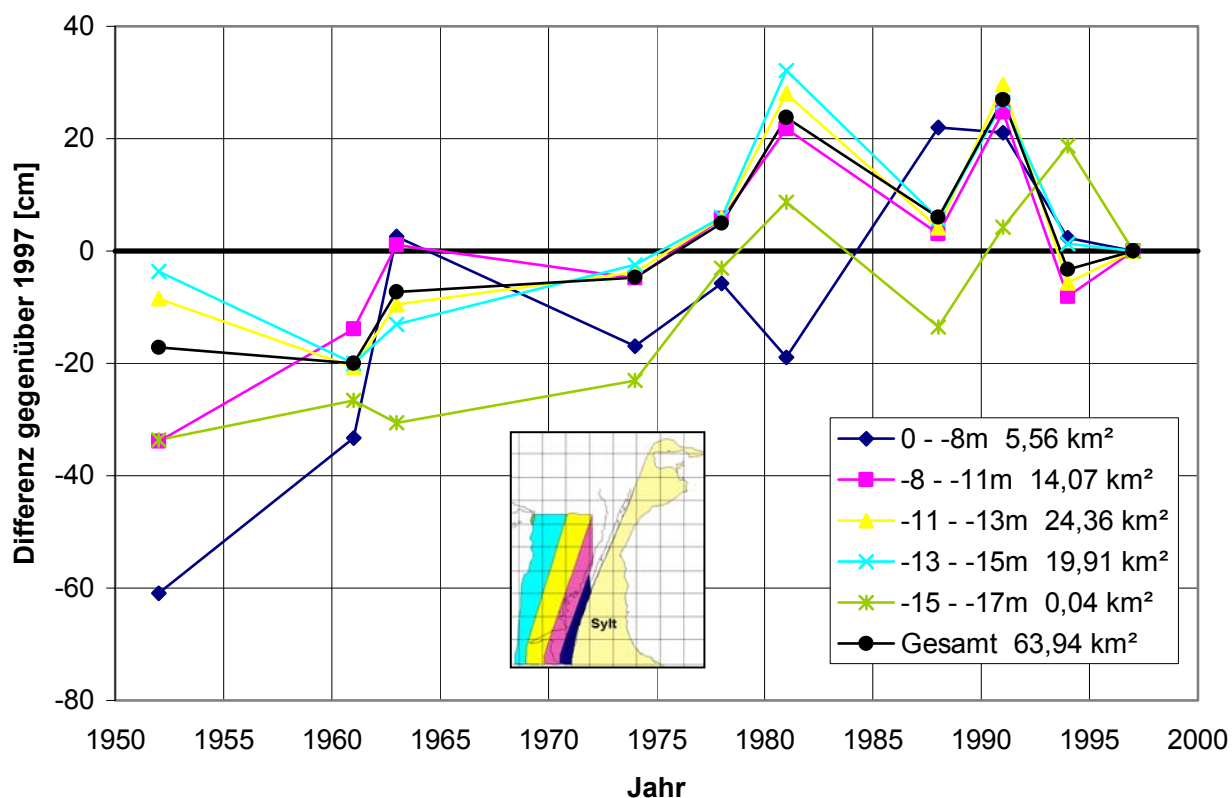


Abb. 6.6: Mittlere Tiefendifferenzen in verschiedenen Tiefenzonen gegenüber 1995, Küstenvorfeld Sylt Nord, 63,94 km², korrigierte Daten

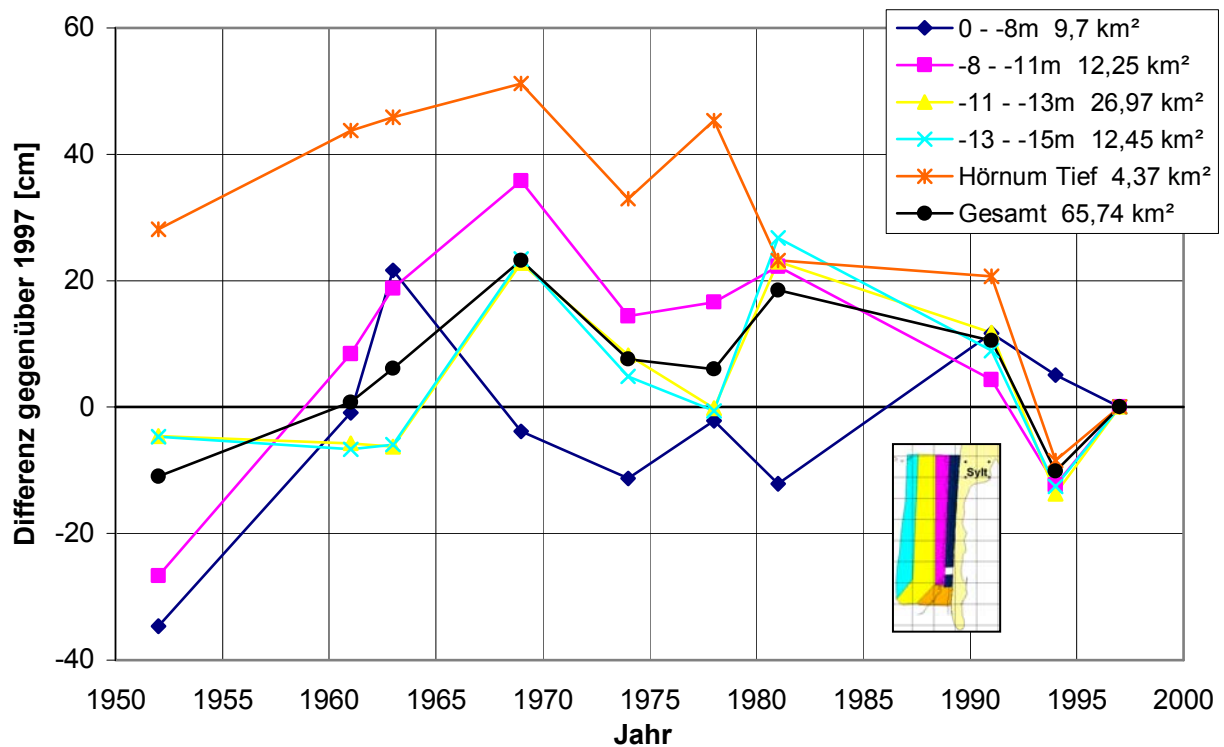


Abb. 6.7: Mittlere Tiefendifferenzen in verschiedenen Tiefenzonen gegenüber 1995, Küstenvorfeld Sylt Süd, 65,74 km², korrigierte Daten

Tab. 6.4: Massenbilanzen gegenüber 1997, Sylter Küstenvorfeld, List, Hörnum

	Fläche [km²]	1997- 1950/52 [mio m³]	1997- 1953 [mio m³]	1997- 1958/60 [mio m³]	1997- 1961/62 [mio m³]	1997- 1963 [mio m³]	1997- 1967/69 [mio m³]	1997- 1974 [mio m³]	1997- 1978 [mio m³]	1997- 1980/81 [mio m³]	1997- 1987/88 [mio m³]	1997- 1991 [mio m³]	1997- 1994 [mio m³]	Volumen des geschätzten Unsicherheits- bereiches: +/-10 bis 20 cm
List	43.28	-	7.11	-0.95	-8.87	-	-5.56	-12.57	-9.09	-6.21	-10.26	-9.09	-4.41	4,33 - 8,66
Sylt Nord	63.94	10.96	-	-	12.82	4.65	-	3.05	-3.13	-15.22	-3.84	-17.20	2.11	6,4 - 12,79
Sylt Süd	65.74	7.18	-	-	-0.49	-4.00	-15.24	-4.99	-3.93	-12.13	-	-6.90	6.64	6,57 - 13,15
Hörnum	125.13	3.24	-	-3,81	-	-	-15.14	-0.03	2.48	11,04	-4.13	-0.75	17.02	12,51 - 25,03

Massenbilanzen aller Arbeitsgebiete (1974/75/76 - 1994/95/96/97)

Aus Gründen der Dokumentation werden in Tabelle 6.5 die Sedimentbilanzen aller Arbeitsgebiete für die letzten zwanzig Jahre dargestellt. Der ermittelte Korrekturwert für 1986 von 34 cm + 0,006 *-(Tiefe cm) wurde berücksichtigt. Insgesamt sind die festgestellten Tiefenveränderungen kaum größer als der anzunehmende Meßfehler.

Auffällig ist jedoch ein regional leicht unterschiedlicher Trend. Das Ergebnis bestätigt, unter Vorbehalt der Datenqualität, den bereits beobachteten, regional differierenden Trend im Küstenvorfeld der Deutschen Bucht für den Zeitraum 1974 - 1997:

- Ostfriesische Inseln: Geringe Tiefenzunahmen zwischen 0 cm und 30 cm (Ausnahme: Wangerooge im Einfluss der Jade Mündung).
- Mellum bis Eiderstedt: Geringe Tiefenveränderungen mit leicht positiver Tendenz zwischen 2 cm und 25 cm.
- Süderoog bis List: Geringfügige Veränderungen, mit leichtem Trend der Tiefenzunahme.

Tab. 6.5: Massenbilanzen aller Arbeitsgebiete (1974/75/76 - 1995/96/97)

Arbeitsgebiet	Fläche [km²]	maximale Tiefe (ca.) [m NN]	Sediment- bilanz [mio m³]	mittlere Tiefenverän- derung [cm] 1975 - 1995 *	Bemerkung
Westerems	148,2	-28	-17,8	-12	1975 - 1995
Borkum	296,6	-24	-89,0	-30	1975 - 1995
Juist	210,6	-26	-42,1	-20	1975 - 1995
Norderney	207,6	-28	±0	±0	1975 - 1995
Langeoog, Baltrum	270,7	-28	-21,7	-8	1975 - 1995
Spiekeroog	218,2	-34	-19,6	-9	1975 - 1995
Wangerooge	320,5	-37	+93,0	+29	1976 - 1996 Baggerarbeiten im Fahrwasser
Mellum	320,6	-28	+22,4	+7	1976 - 1993 Baggerarbeiten im Fahrwasser
Wurster Küste	347,3	-24	+83,4	+24	1976 - 1993 Wattflächen unvollständig
Scharhörn	212,2	-28	+40,3	+19	1976 - 1996 Wattflächen unvollständig
Dithmarschen	299,7	-33	+74,9	+25	1979 - 1996
Trischen	689,1	-34	+13,8	+2	1979 - 1996
Eiderstedt	475,8	-26	+104,7	+22	1979 - 1996
Süderoog	486,5	-28	-24,3	-5	1974 - 1997
Hooge	246,1	-24	-36,9	-15	1974 - 1997
Hörnum	172,5	-32	-1,7	-1	1974 - 1997
Sylt Süd	139,1	-16	-13,9	-10	1974 - 1997
Sylt Nord	121,3	-17	+6,1	+5	1974 - 1997 Sandentnahmen bei Berechnung ausgeschlossen
List	108,0	-38	-13,0	-12	1974 - 1997
Gesamt	5290	-	+158,6	+0,3	

*Die Vermessungen in den Siebziger Jahren wurden um den ermittelten Korrekturfaktor von 34 cm + 0,006 * (Tiefe cm) korrigiert.

6.2.2 Folgerungen aus den durchgeführten Bilanzierungen

Die im vorangegangenen, beispielhaft dargestellten quantitativen Auswertungen der Seevermessungen zeigen, dass einige der gewünschten Aussagen nicht aus den Seevermessungen zu gewinnen bzw. nur unter starken Einschränkungen zu treffen sind:

- Vermessungen aus den Fünfziger Jahren erscheinen aufgrund der festgestellten Abweichungen überwiegend als nicht für quantitative Auswertungen morphologischer Veränderungen geeignet.
- Vermessungen aus den Sechziger Jahren zeigen in der Regel auffällig geringere Tiefen als die späteren Vermessungen; der Vergleich ist problematisch.
- Der zuverlässigste Datensatz beginnt mit der Indienststellung der KOMET im Jahre 1970. Dementsprechend sollten sich Untersuchungen diesem Zeitraum verstärkt zuwenden. Nach der Korrektur der messtechnisch bedingten Tiefenzunahme 1986 können nur noch geringfügige, großräumige Tiefenveränderungen nach 1970 festgestellt werden. Diese liegen häufig innerhalb einer zu erwartenden Fehlerspanne der Vermessungen.
- Durch den ermittelten Korrekturansatz werden zwar plausiblere Ergebnisse erreicht. Vermutlich berücksichtigt dieser Korrekturansatz die Tiefenabhängigkeit in zu geringem Maße.

- Die Beschickungsungenauigkeiten werden durch den ermittelten Korrekturwert nicht berührt. Wegen der Größe der Beschickungsungenauigkeiten sind belastbare Aussagen zu den ermittelten Tiefenveränderungen (im Dezimeterbereich) derzeit schwerlich aus den Seevermessungen des BSH zu ermitteln. Lokale Tiefenveränderungen lassen sich verlässlich ermitteln, wenn die Veränderungen erheblich größer sind, wie dies beispielsweise in tiefen Rinnen und Ebbdeltas der Fall ist.
- Für morphologische Untersuchungen im Küstenvorfeld sind häufig kleinräumigere Aussagen zu Tiefenveränderungen gewünscht. Entsprechend der größeren Fehlerspanne bei kleinräumigen Bilanzierungen entsteht der dargestellte Konflikt aufgrund des Zusammenhangs zwischen der Fehlerspanne einerseits und der Flächengröße der Bilanzierungsgebiete andererseits.
- Dies gilt auch für die in verschiedenen lokalen Untersuchungen festgestellten Tiefenzunahmen und Aufsteilungen im Küstenvorfeld. Ein Teil der mit Seevermessungen des BSH/DHI ermittelten Tiefenzunahmen ist nach den hier vorgestellten Untersuchungen auf messtechnische Ursachen zurückzuführen. Die Geschwindigkeit der Profilaufsteilungen und Vertiefungen ist somit geringer, als sie bislang erwartet wurde.

6.3 Methodische Erkenntnisse: Datenerhebung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde eine auf die Ziele dieses Vorhabens speziell ausgerichtete, umfangreiche Datenbank für BSH/DHI-Seevermessungen angelegt. Alle verfügbaren zusätzlich benötigten Angaben zu den Vermessungen wurden in einer Metadatenbank gespeichert. Wie die dargestellten Untersuchungen zur Vergleichbarkeit verschiedener Vermessungsdaten belegen, ist eine saubere Dokumentation der Vermessungstechnik, der Datenverarbeitung einschließlich der Beschickung und eine Archivierung der kompletten Vermessungsunterlagen eine unverzichtbare Voraussetzung für die verlässliche Auswertung der Daten. Im Interesse der angestrebten Genauigkeit der quantitativen Untersuchung von Seevermessungen wurde weitestgehend auf Daten zurückgegriffen, mit denen diesen Bedingungen zu erfüllen war.

Auf die Hinzunahme von Daten aus verschiedenen Dienststellen wurde daher begründet verzichtet. Eine Auswertung solcher Daten erforderte eine Prüfung aller Phasen der Datenerhebung hinsichtlich ihrer Vergleichbarkeit. Als besonders kritische Aspekte wurden erkannt:

- Der Abstand der Vermessungspunkte: die Vermessungen des BSH/DHI haben einen Abstand von etwa 200 m aufgrund der analogen Verarbeitung der Lotrollen. Eine andere Punktdichte kann je nach Struktur der Sohle zu abweichenden Ergebnissen führen.
- Die Tidezeit der Peilungen: während das BSH/DHI in den meisten Gebieten während sämtlicher Tidephasen peilt, werden insbesondere küstennahe Vermessungen anderer Dienststellen nur bei Hochwasser durchgeführt.
- Die verwendeten Echolote: wie gezeigt wurde, beeinflussen unterschiedliche Echolote in systematischer Weise die Vermessungsergebnisse.
- Die Art der Registrierung der Signale: die analoge Verarbeitung der Echolotstreifen führt zu anderen Ergebnissen als bei digital erfassten Daten. Im Einzelnen unterscheiden sich die beiden Methoden in der Behandlung von Vermessungsspitzen, dem Abstand der Vermessungspunkte (i. d. R. wird bei digitaler Datenerfassung ein sehr kleiner Abstand der Punkte gewählt) und der Art der Seegangskompensation.
- Die Art der Beschickung: sie übt einen entscheidenden Einfluss auf die Genauigkeit der Vermessungen aus. Die Verwendung lokaler Beschickungspegel gegenüber dem Beschickungsverfahren des BSH vorzuziehen. Ein Vergleich von Vermessungen mit unterschiedlichen Beschickungen ist problematisch. Die Änderung des Beschickungs-

verfahrens und die künftige GPS-gestützte Höhenbestimmung können ebenfalls systematische Einflüsse auf die Vermessungen ergeben; auch dies ist zu berücksichtigen, wenn unterschiedlich beschickte Vermessungen zusammen ausgewertet werden.

Die mit den BSH/DHI-Seevermessungsdaten durchgeführten Analysen zum Einfluss der Datenerhebung auf die Genauigkeit und Vergleichbarkeit der Seevermessungen belegt umfassend, dass eine lückenlose Dokumentation der zugrundeliegenden Messwerterfassung und Verarbeitung unverzichtbare Voraussetzung für die verlässliche Darstellung und Analyse von Tiefenveränderungen im Küstenvorfeld ist. Anmerkung: Dies gilt für Wattgebiete in analoger Weise, wodurch auch dort die Möglichkeiten morphologischer Langzeituntersuchungen auf der Grundlage von Vermessungen begrenzt sind.

6.4 Methodische Erkenntnisse: Datenverarbeitung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden ausschließlich Seevermessungen in Form von Tiefenpunkten verwendet, die in Rasterform übertragen und auf dieser Grundlage ausgewertet wurden.

Im Gegensatz zu Tiefenwerten in Punktform (Daten der Seevermessung) sind Tiefenlinienkarten bereits das Ergebnis einer quantitativen Auswertung. Während sich für Punktdaten die Informationen wie Datum, Tidephase, Peilschiff, Beschickungsverfahren, ggf. Umrechnungsverfahren SKN/NN, unmittelbar zuordnen lassen, ist dies bei Kartenwerken nicht der Fall. Häufig lässt sich sogar die exakte Herkunft und Entstehungsweise einer bestimmten Tiefenangabe nicht mehr ermitteln.

Weiter stellt der Übergang von der Punktekarte zur üblicherweise verwendeten Tiefenlinienkarte bereits eine Aggregation der Ausgangsdaten dar, mit der morphologische Strukturen dargestellt werden, indem man die Punktdaten der Seevermessung mit vorhandenen Kenntnissen und sonstigen Vermessungsunterlagen (z. B. Luftbilder für die Darstellung küstennaher Bereiche) verknüpft. Sie lassen nicht mehr erkennen, welche statistisch abgesicherte Verlässlichkeit und Auflösung die zugrundeliegenden Daten aufweisen. Tiefenlinienkarten können somit zu Untersuchungen verleiten, die die durch räumliche Auflösung und Genauigkeit der originären Tiefenpunkte vorgegebenen Unsicherheiten nicht angemessen berücksichtigen. Dies führte dann zu Rückschlüssen, die zwar plausibel erscheinen, nicht aber belastbar sind. Eine analoge Aussage trifft auf Messprofile und darauf gestützte Weg-Zeit-Pläne zu, falls die Vermessungsdaten nicht über ortsnahe Höhenbezüge (z. B. Hilfspiegel, Landmarken) abgesichert wurden.

Mit Geographischen Informationssystemen (GIS) können Einzelwerte der Seevermessungen in großem Umfang bearbeitet werden. So wurde das GIS im Rahmen dieses Vorhabens beispielsweise für flächenhafte Darstellungen der Tiefenveränderungen (Abb. 3.6, 3.7, 3.13) und berechneter mittlerer Tiefenveränderungen (Abb. 3.12, 3.15, Anlage B10) bevorzugt angewendet. Die Verknüpfung der Vermessungen mit Metadaten und die flächenhafte Darstellung mit anderen Informationen (Abb. 3.2, 3.3, 3.9, 3.13, 3.18) ergaben ebenfalls eine Reihe neuer Erkenntnisse.

Grundsätzlich empfiehlt es sich, für die hier verfolgten quantitativen Auswertungen von Seevermessungen möglichst umfangreiche Flächen zu bilanzieren, um einen hinreichend großen Stichprobenumfang zu erhalten. Aufgrund der Fehlerabschätzung (Kap. 6.1) und den durchgeführten Bilanzierungen (Anhang B11) kann davon ausgegangen werden, dass mit den Daten des BSH/DHI erst bei Flächen größer als 10-20 km² die Streuungen so weit

verringert werden können, dass akzeptable Ergebnisse erzielt werden; die in Kap. 6.2 vorgestellten Ergebnisse deuten sogar auf noch größere Mindest-Bilanzflächen hin.

Es ist vergleichsweise einfach, mit einem GIS oder einem sonstigem Geländemodell Massenbilanzen zu errechnen oder Höhenveränderungen darzustellen. Die Anwendung von Glättungsalgorithmen zur Gewinnung der Eingangsdaten für morphologische Untersuchungen können über eine nicht hinreichende Datenqualität hinwegtäuschen und verleiten dazu, plausible aber nicht belastbare Ergebnisse zu liefern. Gerade quantitative Untersuchungen, wie die Berechnung von Höhenveränderungen (Massenbilanzierungen), bedürfen einer Abschätzung der Genauigkeit der zugrundeliegenden Daten. Dazu sind hier Ansätze zur Abschätzung der Fehlerspanne vorgestellt worden.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden verschiedene Methoden zur Auswertung der Seevermessungen und Darstellung von Tiefenveränderungen angewandt. Ein in der Streuung der Daten „versteckter“ messtechnisch bedingter Sprung konnte erst durch umfangreiche Untersuchungen identifiziert werden, nachdem eine Auswertungsmethode erarbeitet wurde, die in der Lage ist, die durch den enormen Beschickungsfehler überlagerte Tiefenveränderung von 30 cm bis 40 cm erfassen zu können. Als sensibelste und anschaulichste Methode hat sich dabei die Darstellung von Tiefenveränderungen größerer Flächen gegenüber einem Bezugsjahr erwiesen (Abb. 5.1, 5.2, 6.4 bis 6.7).

Grundsätzlich besteht bei Untersuchungen mit den Daten der Seevermessung ein Konflikt zwischen der Kleinräumigkeit gewünschter Aussagen einerseits und der aus Gründen der Genauigkeit notwendigen Zusammenfassung größerer Flächen andererseits. Dieser Konflikt wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens herausgearbeitet. Die Ergebnisse stellen die Zuverlässigkeit der aus den Seevermessungsdaten bislang gewonnen Aussagen in Frage.

6.5 Ausblick

Die Projektlaufzeit endete im September 1999, nachdem es nicht möglich war, eine in Aussicht gestellte Verlängerung zu erreichen (FSK 1999). Zugunsten der Berichterstellung und Dokumentation der durchgeführten Untersuchungen mussten daher verschiedene laufende Arbeiten abgebrochen werden oder waren nicht mehr bis zu einem befriedigenden Ergebnis voranzutreiben. Dies betrifft insbesondere die statistische Auswertung der Auswirkungen verschiedener Messverfahren (Kap. 5.). Möglicherweise können nachfolgende Untersuchungen das bisher erzielte Ergebnis weiter verbessern.

Die bisher durchgeführten Massenbilanzen wurden einer als realistisch abgeschätzten Fehlerspanne des Beschickungsverfahrens gegenübergestellt (Kap. 6). Die Ermittlung der tatsächlichen Fehlerspannen, gesondert für jede Vermessung und Bezugspegel, würden die bisher erzielten Zwischenergebnisse zu den Zusammenhängen zwischen Messfehler und Massenbilanzen noch weiter erhärten. Ob damit eine belastbare Ermittlung der Fehlerspanne des untersuchten Beschickungsverfahrens gelingen wird, muß aufgrund des Fehlens von Hochseepegeln bezweifelt werden.

Die mit den beschriebenen Vorbehalten durchgeführten Untersuchungen zu Tiefenveränderungen haben im Küstenvorfeld der Ostfriesischen Inseln langsame großräumige Tiefenzunahmen (1-3 cm/Jahr) und im Küstenvorfeld der Nordfriesischen Inseln vergleichsweise geringe großräumige Veränderungen ergeben. Diese Beobachtungen bedürfen einer weiteren Betrachtung und Prüfung. Insbesondere ist zu prüfen, inwieweit sich

die Trends in verschiedenen Tiefen ähnlich verhalten. Ob diese Aussagen angesichts der Fehlerspanne des Beschickungsverfahrens belastbar sind, bedarf der weiteren Klärung.

Inzwischen kann die Höhenbestimmung des Messschiffes (Schwingers) sehr genau über das Global Positioning System (GPS) erfolgen. Mit DGPS-Höhenbestimmung (Differential-GPS) durchgeführte Vermessungen erlauben daher eine deutlich verbesserte Darstellung der Morphologie des Küstenvorfeldes. Für Aussagen zu langfristigen Änderungen muß allerdings zunächst weiterhin auf Vermessungen aus den vergangenen Jahrzehnten zurückgegriffen werden. Dafür sollte die jetzt über DGPS gegebenen Möglichkeiten genutzt werden, über vergleichende Messungen und Auswertungen (alte/neue Methode) die hier begonnenen Untersuchungen zur Frage der Genauigkeit der vorliegenden Seevermessungen und darin ggf. noch enthaltenen systematischen Fehlern fortzusetzen. Zugleich wäre dadurch zu prüfen und ggf. auszuschließen, dass der Übergang auf neue Verfahren mit systematischen Abweichungen verbunden ist, die zu einer Inhomogenität der Daten und damit zu Erschwernissen bei der Verwendung für Untersuchungen morphologischer Fragestellungen führen würden.

Die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens erarbeitete Datengrundlage ermöglicht weitergehende statistische Analysen. Damit sollte versucht werden, die Möglichkeiten und Grenzen der Verwendbarkeit der Daten für die Untersuchung morphologischer Fragestellungen voranzutreiben.

7. Zusammenfassung

Ziel des KFKI-Forschungsvorhabens „Morphologische Gestaltungsvorgänge im Küstenvorfeld der Deutschen Bucht“ (FKZ03KIS308) ist es, die längerfristige morphologische Entwicklung des Watt- und Inselsockels in der Deutschen Bucht zu untersuchen und mögliche Auswirkungen auf den Insel- und Küstenschutz aufzuzeigen. Veranlassung für dieses Forschungsvorhaben waren die beobachteten Küstenrückgänge und belegten Erosionen in Strand- und Vorstrandbereichen. Hinzu kamen die in verschiedenen lokalen Untersuchungen auf der Grundlage von Vermessungsdaten festgestellten Tiefenzunahmen und Aufsteilungen im weiteren Küstenvorfeld. An dem Forschungsvorhaben waren die Forschungsstelle Küste des NLO (FSK), Norderney, das Amt für ländliche Räume (ALR), Husum, und das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), Hamburg, beteiligt.

Die Untersuchungen basieren auf den für die Schifffahrt vom BSH/DHI durchgeführten Seevermessungen. Es wurde eine umfangreiche Datenbank für diese Seevermessungen erstellt, wozu ein älterer Teil der Vermessungen zunächst im Rahmen des Forschungsvorhabens digitalisiert werden musste. Sämtliche Vermessungen sind auf Normal Null (NN) als Bezugshorizont und auf den dritten Streifen des Gauß-Krüger-Koordinatensystems umgerechnet. Alle auf den digitalisierten Arbeitskarten enthaltenen Informationen sind in die Datenbank eingegangen und es wurden allen Vermessungen, soweit verfügbar, Metadaten wie Datum, Zeit, eingesetztes Echolot, Schiff, Bezugspegel zugeordnet.

Auf Grundlage der Datenbank für die Seevermessungen wurden, getrennt nach definierten Arbeitsgebieten und nach Jahrgängen, digitale Geländemodelle erstellt, darüber die Daten auf Plausibilität geprüft und nachfolgend in ein Raster (100 x 100 m) transferiert. Auf dieser speziellen Datengrundlage erfolgten dann die morphologischen Auswertungen, wie flächenhafte Darstellung von Tiefenveränderungen und Massenbilanzen.

Die Auswertungen zeigten für das gesamte Küstenvorfeld der Deutschen Bucht (erfasst von -2 m NN bis etwa -20 m NN) flächenhafte Tiefenzunahmen mit Beträgen von 20 bis 70 cm innerhalb der letzten 20 Jahre. Die Größe der Tiefenzunahme, deren Zunahme mit der Wassertiefe sowie das Fehlen großflächiger Sedimentationsräume widersprechen dem bisherigen generellen Verständnis der Gestaltungsvorgänge im Küstenvorfeld der Deutschen Bucht; sie ergeben zudem Massenverluste, die in dieser Größenordnung nicht plausibel erscheinen.

Es wurden Ungenauigkeiten in der „Beschickung“ von über 50 cm nachgewiesen, die bei der Darstellung in Differenzkarten zu einer Streifung entlang einzelner Messrouten führen. Nicht plausible morphologische Formen am Meeresboden konnten zum Teil durch Beschickungsungenauigkeiten erklärt werden. Diese Ergebnisse gaben Anlass, die Genauigkeit des Beschickungsverfahrens eingehend zu untersuchen.

Die festgestellten nicht plausiblen Tiefenzunahmen, die Größe der nachgewiesenen Ungenauigkeiten in der Beschickung und die nicht erwiesene Homogenität der Daten stellen die Eignung der BSH/DHI-Seevermessungen für morphologische Untersuchungen und damit für das Erreichen des Projektzieles grundsätzlich in Frage. Aus diesem Grund wurden umfangreiche Prüfungen zur Datengenauigkeit sowie zu möglichen systematischen Einflüssen auf die Vermessungen notwendig. Die morphologischen Fragestellungen mussten somit zugunsten einer Überprüfung der Datengrundlage zurückgestellt werden und wurden, in Abstimmung mit dem KFKI und dem Projektträger, zunächst nachrangig bearbeitet.

Das Beschickungsverfahren des BSH/DHI wurde hinsichtlich der zu erwartenden Fehlerspanne, der Auswirkungen verschiedener Einflüsse, der Vergleichbarkeit von Bezugspegeln sowie hinsichtlich möglicher systematischer Einflüsse durch geänderte Beschickungsparameter untersucht. Dabei wurde festgestellt: Die Aktualisierung der Beschickungsparameter (SKN, MSpThb, WEK) für das Verfahren (das Beschickungsverfahren wurde mindestens seit 1944 nahezu unverändert in der heutigen Form angewendet) hat keinen nennenswerten Einfluss auf die ermittelten Tiefen.

Der Vergleich der Beschickungswerte verschiedener Bezugspegel für einen vorgegebenen Standort (s. Kap. 2.3) wies aus, dass es zu erheblichen Abweichungen kommen kann (bis zu 80 cm). Die größten Abweichungen treten erwartungsgemäß zu Zeiten schneller Wasserstandsänderungen (etwa 3 Stunden vor und 3 Stunden nach Tideniedrigwasser) auf; bei Hoch- bzw. Niedrigwasser sind die Abweichungen hingegen durchweg relativ klein. Der Vergleich von Vermessungen eines Gebietes, das über verschiedene Pegel beschickt wurde, zeigte für die Mittelwerte der Tiefen durchweg Abweichung von weniger als einem Dezimeter. Damit konnte nachgewiesen werden, dass auf verschiedene Pegel beschickte Lotungen prinzipiell miteinander vergleichbar sind. Aufgrund der großen Streuungen der Beschickungswerte können jedoch nur hinreichend umfangreiche Vermessungen (Mittelwerte für ausreichend große Flächen) miteinander verglichen werden.

Um zu prüfen, wie genau der tatsächliche Wasserstand im Küstenvorfeld durch das Beschickungsverfahren ermittelt werden kann, wurden Wasserstände an drei Hochseepegeln mit den Beschickungswerten verschiedener Küstenpegel verglichen. Es zeigte sich, dass die Eintrittszeiten des Hoch- und Niedrigwassers an den Hochseepegeln z.T. erheblich von den in den Wasserstand-Errechnungs-Karten (WEK) festgehaltenen mittleren Verhältnissen abweichen. Zwischen den gemessenen Wasserständen und den durch das Beschickungsverfahren ermittelten Werten treten erhebliche Abweichungen auf. Diese Fehler bei der Ermittlung des Wasserstandes gehen direkt in die Vermessungsergebnisse ein. Sie verdeutlichen das Erfordernis, jeweils so große Datenmengen zu verwenden, dass die Streuung hinreichend unterdrückt wird. Mit den Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass kein ursächlicher Zusammenhang zwischen den großen Tiefenzunahmen und dem Beschickungsverfahren besteht.

Eine Erklärung für die festgestellten nicht plausiblen großen Tiefenzunahmen wurde durch eine statistische Untersuchung zur Frage der Vergleichbarkeit verschiedener Vermessungen bzw. Vermessungstechniken gefunden. Seit etwa 1972 wurde vom DHI/BSH nahezu ausschließlich das Vermessungsschiff „Komet“ für die Vermessungen im Küstenvorfeld eingesetzt. Anfang 1986 tauschte man die ATLAS Echolote des Vermessungsschiffes Komet gegen FAHRENHOLTZ Echolote aus. Mit den statistischen Untersuchungen konnte eine Tiefenzunahme aufgrund der Umstellung der Echolotgeräte in der Größe von 30 cm bis 40 cm nachgewiesen werden. Die ermittelten großen Tiefenzunahmen seit 1970 waren damit weitgehend auf messtechnische Ursachen zurückzuführen. Spezielle Untersuchungen ergaben einen Korrekturansatz, der die Zeitdifferenz zwischen den jeweils verglichenen Messungen berücksichtigt und der zudem einen Zusatzterm für die festgestellte Tiefenabhängigkeit enthält (siehe Kap. 5.2).

Darüberhinaus ist eine messtechnisch bedingte Tiefenzunahme von knapp 20 cm durch die Echolotumrüstung von ELAC- auf ATLAS-Geräte auf dem Vermessungsschiff "Süderoog" (1969) zu vermuten. Es gelang jedoch nicht, diese signifikant nachzuweisen.

Die Ergebnisse für die Vermessungen der Fünfziger und Sechziger Jahre weisen eine deutlich stärkere Streuung auf als diejenigen für die jüngeren Vermessungen. Weiterhin zeigen die zeitlichen Veränderungen der Tiefendifferenzen zum Teil einen entgegengesetzten Trend. Daher ist bei Vergleichen mit DHI-Tiefendaten, wenn diese Messungen aus der Zeit vor etwa 1970 einschließen, besondere Vorsicht geboten.

Abschätzungen ergaben, dass die Ungenauigkeiten des Beschickungsverfahrens durchweg eine ähnliche Größenordnung haben, wie die zu erwartenden großräumigen Tiefenveränderungen. Daher sind belastbare Aussagen zu flächenhaften Trends von Tiefenveränderungen mit den vorliegenden Seevermessungen des BSH/DHI - auch nach Berücksichtigung des „Korrekturfaktors“ und einer Berechnung von Mittelwerten für hinreichend große Gebiete – nicht oder nur mit eingeschränkter Aussagekraft zu ermitteln.

Auf der Grundlage der validierten und verifizierten Tiefendaten wurden für große Bereiche des Küstenvorfeldes der Deutschen Bucht die zeitlichen und räumlichen Veränderungen von Tiefen bzw. Massen berechnet und unter Beachtung der begründeten Vorbehalte einer ersten morphologischen Auswertung unterzogen. Für das durch die Vermessungen des BSH/DHI erfasste Küstenvorfeld, bis hin zur NN-20 Meter-Linie, konnte mit diesen Untersuchungen aufgezeigt werden, dass die Geschwindigkeit der zu vermutenden Aufsteilung oder Vertiefung wahrscheinlich geringer ist, als sie bislang erwartet werden konnte. Dies bedeutet aber nicht, dass die morphologischen Gestaltungsvorgänge im Küstenvorfeld der Deutschen Bucht keine die Stabilität der Küsten bedrohenden Veränderungen aufweisen, sondern lediglich, dass die befürchteten Veränderungen voraussichtlich langsamer ablaufen als bislang erwartet. Diese Einschätzung wird bestätigt durch eine vergleichende internationale Auswertung, in die auch Ergebnisse dieses Vorhabens eingeflossen sind (LAUSTRUP et al. 1999).

Eine Fortschreibung und Ergänzung der vorgestellten Untersuchungen auf der Grundlage der BSH/DHI-Seevermessungen wird angeregt. Dabei sollte vorrangiges Ziel sein, dass zunächst der Frage weiter nachgegangen wird, inwieweit die im Rahmen dieses Vorhabens für morphologische Untersuchungen aufgearbeiteten Daten noch abgesichert und korrigiert werden können. In die Untersuchungen sollten erste Ergebnisse von DGPS-gestützten Vermessungen als Vergleichsdaten zur Absicherung der heutigen Gestalt des Küstenvorfeldes einbezogen werden.

Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens sollten zum Anlass genommen werden, beispielsweise vom KFKI, bei den deutschen Küstenverwaltungen eine Überprüfung der laufenden nautischen Vermessungen im Hinblick auf Verbesserungsmöglichkeiten anzuregen. Im Mittelpunkt sollte dabei die Frage stehen, wie eine effiziente Erhebung von Peildaten erreicht werden kann, die besser den Ansprüchen genügen, die sich aus den morphologischen Zielsetzungen ergeben.

Danksagung

Das Projekt (FKZ 03KIS308) wurde vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) vom Mai 1996 bis Sept. 1999 gefördert, vom Forschungszentrum Jülich, BEO als Projektträger betreut und vom Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI) begutachtet und fachlich begleitet.

Für die Projektarbeit konnten aus den bereitgestellten Mitteln zeitlich befristet eingestellt werden: Dipl.Geogr. Peter Hüttemeyer (Wiss. Angestellter), Mag. Geogr./Angl. Maike Puschmann (Techn. Angest.) beim NLO-Forschungsstelle Küste (FSK), Norderney; Dipl. Geogr. Anne Koopmann (Techn. Angest.) beim Amt für ländliche Räume (ALW) Husum; Techn. Ivonne Tigges (Techn. Angest.) beim Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), Hamburg. An der Datenaufarbeitung haben zudem zahlreiche Praktikanten mitgewirkt.

Der KFKI-Projektgruppe gehörten als Mitglieder an: Dr. H. Kunz (zeitweilig: Dipl.-Ing. G. Ragutzki)-FSK, Norderney (Projektleitung); Dr. W. Ellmer & Dr. K. Figge/Dr. M. Zeiler (KFKI-FV „Materialinventur an der Deutschen Nordseeküste“) - BSH, Hamburg; Dipl.-Ing. D. Schaller – ALW Husum; Dr. G. Gönnert (zeitweilig: Prof. W. Siefert) – Strom und Hafen, Hamburg; Dr. J. Hofstede – MfLRLE u. T/S.-H., Kiel sowie der KFKI-Forschungsleiter Küste (Dipl.-Ing. P. Petersen, Kiel) und das Forschungszentrum Jülich/BEO, Warnemünde (Dr. Blum).

Das Projekt stellte an alle Mitwirkenden besondere Ansprüche, zum einen weil die Datengrundlage unerwartete Probleme bereitete, aber auch, weil Schwerpunkte der geplanten Arbeiten mehrfach verändert werden mußten und der Erfolg des Projektes zeitweilig ernsthaft gefährdet schien. Es ist den Verfassern ein Bedürfnis, allen Förderern, Beratern und Mitarbeitenden herzlich für die aktive Begleitung dieses Projektes zu danken.

Schrifttum

ANDREE, P. & J. GEERKE (1992): Stand und Entwicklungstendenzen der Mess- und Auswertverfahren in der Hydrographie. In: Zeitschrift für Vermessungswesen, H. 8/9, S. 520-527.

BAHRENBURG, G., GIESE, E. & J. NIPPER (1990): Statistische Methoden in der Geographie. Band 1, Univariate und bivariate Statistik, Stuttgart.

BAW (1996): KUEDAT, Archivierung von KUEstenpeilDATen auf dem Zentralrechner der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) bei der BAW in Karlsruhe, Karlsruhe.

BEHRENS, J. (1980): Echolot-Vergleichsmessungen am 16., 17. und 18. September 1980 in Brunsbüttel. Untersuchung von Echolot-Systemen verschiedener Hersteller hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit für den Einsatz in küstennahen Gewässern.

BERGER, A., W. ELLMER & H. GENTZ (1993): Seevermessung und Seekarten. In: EHLERS, P., G. DUENSING & G. HEISE: Schifffahrt und Meer. 125 Jahre maritime Dienste in Deutschland (Hrsg.). S.281 - 290.

BFG (1980): Jahresbericht 1980. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.

BSH (1994): Jahresbericht 1994. Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg.

BRAUN, G., J.- P. ECKOLD & A. SUDAU (1996): Zur Höhenlage des Pegelnullpunktes am Beispiel der Küstenpegel. In: Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 40, H. 6, S.252 - 257.

DHI (1946): Handbuch für die Vermessungen des Deutschen Hydrographischen Instituts, 1. Band, 2. Teil. Nachdruck der Ausgabe 1944. Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg.

DHI (1983): Jahresbericht 1983. Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg.

DHI (1984): Jahresbericht 1984. Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg.

FIGGE, K. & M. ZEILER (1998): KFKI-Forschungsvorhaben „Materialinventur an der deutschen Nordseeküste“, Abschlussbericht 1998, Förderungsnummer: FKZ 03 KIS 306. Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, M23 Geologie/Geophysik, Hamburg.

FREIESLEBEN, H.- C. (1944): Wo liegt der Schiffsort bei drei Peilungen? In: Mitteilungen des Chefs des Hydrographischen Dienstes. Oberkommando der Kriegsmarine. Seekriegsleitung, Amtsgruppe Nautik (Hrsg.), Berlin.

FSK [FORSCHUNGSSTELLE KÜSTE] (1999): Zwischenbericht 1998 zum Vorhaben KIS308 „Morphologische Gestaltungsvorgänge im Küstenvorfeld der Deutschen Bucht“, Dienstbericht Forschungsstelle Küste, unveröffentlicht, Norderney.

GÖHREN, H. (1968): Über die Genauigkeit der küstennahen Seevermessung nach dem Echolotverfahren. In: Hamburger Küstenforschung, H. 2, S67-100.

HONEYWELL ELAC (o.J.): Echolotfibel. Handbuch.

HORN, W. (1945): Das Seekartennull. In: Mitteilungen des Chefs des Hydrographischen Dienstes. Oberkommando der Kriegsmarine. Seekriegsleitung, Amtsgruppe Nautik (Hrsg.), Berlin.

HOTTENDORF, T. (1996): Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben „Optimierung der Beschickung im Küstenbereich der Deutschen Bucht“, Förderkennzeichen MTK 0566. Institut für Kartographie, Universität Hannover.

HOTTENDORF, T. (1997): Beschickung und Bezugshorizonte an der deutschen Nordseeküste. In: Beitr. 12. Hydrographentag, Abschnitt 6. Hamburg.

HÜTTEMEYER, P. & H. KUNZ (1997): KFKI Forschungsvorhaben „Morphologische Gestaltungsvorgänge im Küstenvorfeld der Deutschen Bucht, Zwischenbericht 1996, MTK 0594. Dienstbericht Forschungsstelle Küste 8/1997, unveröffentlicht, Norderney.

HÜTTEMEYER, P., Koopmann, A., Kunz, H. & Puschmann, M. (1997): KFKI Forschungsvorhaben „Morphologische Gestaltungsvorgänge im Küstenvorfeld der Deutschen Bucht, Zwischenbericht 1997, Förderkennzeichen MTK 0594. Dienstbericht Forschungsstelle Küste 6/1998, unveröffentlicht, Norderney.

HÜTTEMEYER, P. (1999): A GIS Application for the study of the morphodynamics in the shoreface area of the German Bight. Methods and problems. Proceedings of the CoastGIS'99, Brest.

KUNZ, H., P. HÜTTEMEYER, A. KOOPMANN & M. PUSCHMANN: Long-term morphological changes in the foreshore areas of the German North Sea coast, für Vortrag bei der ICCE'200, Sydney, Australien angenommenes abstract (von Autoren zurückgezogen).

KURATORIUM FÜR FORSCHUNG IM KÜSTENINGENIEURSWESEN Hrsg. (1975): Küstenkarte 1:25.000. Blatt 2208 K Norderney. Kiel

LASSEN, H. (1989): Örtliche und zeitliche Variationen des Meeresspiegels in der südöstlichen Nordsee. In: Die Küste, H. 50, S. 65 - 96.

LASSEN, H. (1995): Interpretation von Wasserstandsänderungen in der Deutschen Bucht auf der Basis der Ergebnisse eines KFKI-Projektes. In: Die Küste, H. 57, S. 121 - 134.

LASSEN, H. & W. SIEFERT (1996): Tideablauf und Meeresspiegel im Bereich der südöstlichen Nordsee-Amphedromien. In: Die Küste, H. 58, S. 109 - 160.

LAUSTRUP, C., P. HÜTTEMEYER, H. KUNZ, H.T. MADSEN, R. SOULSBY, J.-M. STAM & T. VERWAEST (1999): Profile steepening- A report prepared for the North Sea Coastal Management Group.

LUCHT, F. (1973): Die Beschickung von Lotungen im Küstengebiet der Deutschen Bucht und im Wattenmeer. Wasser- und Schifffahrtsdirektion Hamburg in Unterstützung der DFG. H.1-H.6.

1. Teil: Vergleichende Untersuchungen der angewendeten Beschickungsverfahren in den Küstengewässern der Deutschen Bucht.
2. Teil: Beschickung der Lotungen im Mündungsgebiet der Ems
3. Teil: Beschickung der Lotungen in den Mündungsgebieten der Jade und Weser
4. Teil: Beschickung der Lotungen im Mündungsgebiet der Elbe
5. Teil: Beschickung der Lotungen im Wattenmeer vor der schleswig-holsteinischen Westküste
6. Teil: Vorschlag für die Einführung eines neuen Beschickungsverfahrens in den Küstengewässern der Deutschen Bucht und im Wattenmeer

MEISWINKEL, H.-G. (1983): Zur Genauigkeit der Tiefenmessung mit Echoloten. Bundesanstalt für Gewässerkunde -BfG- 0102, Koblenz.

NAVITRONIC (o. J.): Handbuch

NIEMEYER, H.D., R. GOLDENBOGEN, E. SCHROEDER & H. KUNZ (1995): Untersuchungen zur Morphodynamik des Wattenmeeres im Forschungsvorhaben WADE. Die Küste, H. 57: 65-94.

PIJAROWSKI, D. (1984): Einführung in die Hydrographie -Vortragsdokumentation- Hamburg 24. bis 25. 05. 1984. Deutscher Verein für Vermessungswesen (DVV) e.V. Arbeitskreis 4 (Hrsg.)

ROHDE, H.-P. (1989): Beschickung von Lotungen. In: DHyG Information. Stade 1989, Nr.15, S. 3-8.

SCHILLER, U. (1998): Praktikumsarbeit für das KFKI Forschungsvorhaben Morphologische Gestaltungsvorgänge im Küstenvorfeld der Deutschen Bucht, 46 S. (unveröffentl.).

SCHLEIDER, W. (1995): Hydrographie an der Küste. In: Der Vermessungsingenieur- Zeitschrift des Verbandes Deutscher Vermessungsingenieure 5/1995. S. 243 - 246.

TIGGES, I., P. HÜTTEMEYER, A. KOOPMANN & M. PUSCHMANN (1999): Digitalisierte Seevermessungsdaten des BSH/DHI 1947 bis 1974, Dokumentation (unveröffentl.).

WETZEL, G. & F. LUCHT (1971): Vergleichende Untersuchung der angewendeten Beschickungsverfahren in den Küstengewässern der Deutschen Bucht und im Wattenmeer. Aus: DFG Forschungsbericht: Sandbewegung im Küstenraum, Zwischenbericht 1971. S.34 - 44.