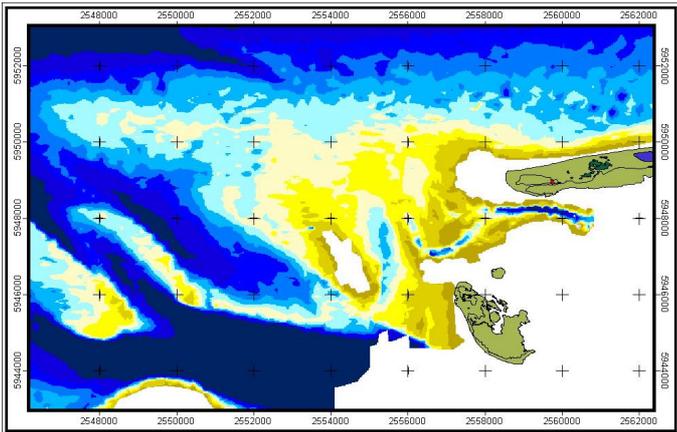
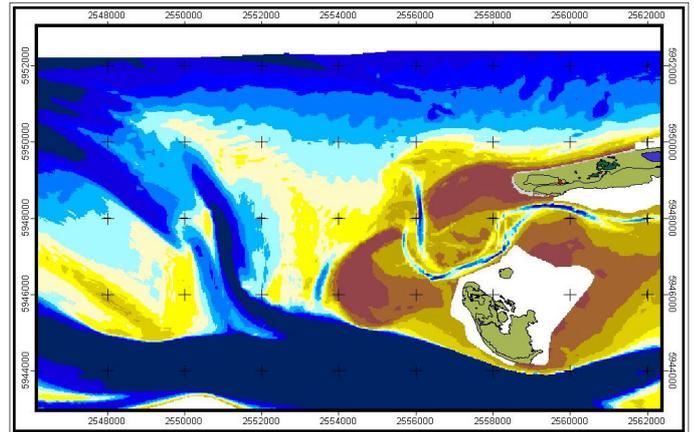




Niedersächsisches  
Landesamt für  
Ökologie



1951



2001

Florian Ladage

## Sonderuntersuchungen für Vorarbeiten zum Inselfchutz Ostfriesische Inseln

### Morphologische Entwicklung im Bereich Juist / Memmert

Abschlussbericht

**Herausgeber:**

Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (NLÖ)  
- Forschungsstelle Küste-  
2001

**Bezug:**

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

**NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE  
- FORSCHUNGSSTELLE KÜSTE -**

Florian Ladage

**Sonderuntersuchungen für Vorarbeiten zum  
Inselchutz Ostfriesische Inseln**

**Morphologische Entwicklung im Bereich Juist / Memmert**

Abschlussbericht

Norderney, im Dezember 2001

Leiter der  
Forschungsstelle Küste

Dezernatsleiter  
Geomorphologie  
des Küstengebietes

Dr. H. Kunz, Ltd. Dir. u. Prof.

Dr. H.-J. Stephan

# Sonderuntersuchungen für Vorarbeiten zum Inselschutz Ostfriesische Inseln Morphologische Entwicklung im Bereich Juist / Memmert Abschlussbericht

Florian Ladage

## Inhaltsverzeichnis:

|  | Seite     |
|--|-----------|
| <b>1. Veranlassung und Aufgabenstellung</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2. Gesamtentwicklung im Bereich Juist/Memmert (Literaturrückblick)</b>            | <b>3</b>  |
| 2.1 Vorgänge vor 1650  | 3         |
| 2.2 Vorgänge von 1650 bis 1930   | 3         |
| 2.3 Jüngere morphologische Veränderungen (seit 1930)                                 | 4         |
| 2.3.1 <i>Insel Juist</i>   | 4         |
| 2.3.2 <i>Juister Riff</i>  | 5         |
| 2.3.3 <i>Kachelotplate</i>   | 5         |
| 2.3.4 <i>Memmert</i>   | 6         |
| 2.3.5 <i>Juister Balje</i>   | 6         |
| 2.3.6 <i>Osterems</i>  | 7         |
| <b>3. Methodik</b>   | <b>8</b>  |
| 3.1 Vermessungen und Kartenmaterial  | 8         |
| 3.2 Datenverarbeitung  | 10        |
| 3.2.1 <i>Zeitliche Veränderung des Seekartennull</i>                                 | 10        |
| 3.2.2 <i>SKN-NN-Umrechnung</i>   | 11        |
| 3.2.3 <i>Erstellung digitaler Geländemodelle</i>                                     | 12        |
| 3.3 Fehlerbetrachtung  | 12        |
| 3.3.1 <i>Fehlerquellen bei Peilung und Beschickung</i>                               | 12        |
| 3.3.2 <i>Vergleichbarkeit unterschiedlicher Datenformate</i>                         | 15        |
| 3.3.3 <i>Vergleichbarkeit unterschiedlicher Datenformate bei Wattkarten</i>          | 18        |
| 3.4 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes   | 19        |
| <b>4. Morphologische Entwicklung im Untersuchungsgebiet (1951 – 1998)</b>            | <b>20</b> |
| 4.1 Juister Riff   | 20        |
| 4.1.1 <i>Gesamtbereich des Juister Riffs</i>   | 21        |
| 4.1.2 <i>Teilgebiete am Nordrand des Juister Riffs – Vorstrandbereich Juist West</i> | 23        |
| 4.1.3 <i>Trendberechnung für Vorstrandbereich Juist-West</i>                         | 26        |
| 4.1.4 <i>Verlagerung des Riffbogens</i>  | 28        |
| 4.1.5 <i>Schillplate</i>   | 29        |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 4.2       | Kachelotplate                               | 31        |
| 4.2.1     | <i>Flächenentwicklung der Kachelotplate</i> | 31        |
| 4.2.2     | <i>Übergang Kachelotplate-Memmert</i>       | 33        |
| 4.3       | Juister Balje mit Watteinzugsgebiet         | 35        |
| 4.3.1     | <i>Mündungsbereich der Juister Balje</i>    | 35        |
| 4.3.2     | <i>Einzugsgebiet der Juister Balje</i>      | 37        |
| 4.4       | Hommegat                                    | 41        |
| 4.5       | Brauerplatten                               | 43        |
| 4.6       | Osterems                                    | 45        |
| <b>5.</b> | <b>Zusammenfassung</b>                      | <b>47</b> |
| <b>6.</b> | <b>Literatur</b>                            | <b>50</b> |
| <b>7.</b> | <b>Anlagen</b>                              | <b>52</b> |

# 1. Veranlassung und Aufgabenstellung

Der westliche Strandbereich der Insel Juist liegt seit den 70er Jahren im Abbruch. Jährliche Dünenabbrüche von mehreren Metern, die Südverlagerung der Strandlinie sowie die Abnahme des Strandniveaus und die Vergrößerung der Vorstrandneigung sind die Folgen der negativen Sedimentbilanz. Die Dünenabbrüche konzentrieren sich auf das Gebiet zwischen dem Westende der Insel und dem Hammersee, wobei der Rückgang der Schutzdüne im Bereich des Billpolders besonders gravierend ist. Eine Beschleunigung des Abbruchgeschehens in den letzten zwei Jahren sowie fortschreitende Dünenabbrüche bei nur geringfügig erhöhten Wasserständen (Sommer 2000, Winter 2000/01) bestätigen die Notwendigkeit von Maßnahmen zum Schutz der gefährdeten Inselabschnitte. Um eine nachhaltige Sicherung der Insel gewährleisten zu können, ist die Abschätzung der zukünftigen morphologischen Entwicklung im Umfeld Juists von maßgebender Bedeutung für den Entwurf und die Beurteilung technischer Lösungsvarianten.

In den letzten Jahrzehnten haben sich im Gebiet westlich von Juist (Abb. 1) sowie im Bereich der Kachelotplate und Memmert auffällige Umgestaltungen der Topographie ergeben. Die Platen und Rinnen haben sich in ihrer Form und Lage vielfach erheblich verändert. Insbesondere die Verlagerung der Kachelotplate, die Vergrößerung der Schillplate und die Ausbildung einer tiefen Mündungsrinne der Juister Balje prägen das neue Erscheinungsbild am Westende Juists. Dadurch wird auch der Sedimenttransport nach Osten beeinflusst, so dass sich der Bereich, in dem die Platen anlanden, in den letzten Jahrzehnten deutlich nach Westen verschiebt. Es ist zu vermuten, dass ein kausaler Zusammenhang zwischen der negativen Sandbilanz im Westteil Juists und der morphologischen Entwicklung im Umfeld der Insel besteht.

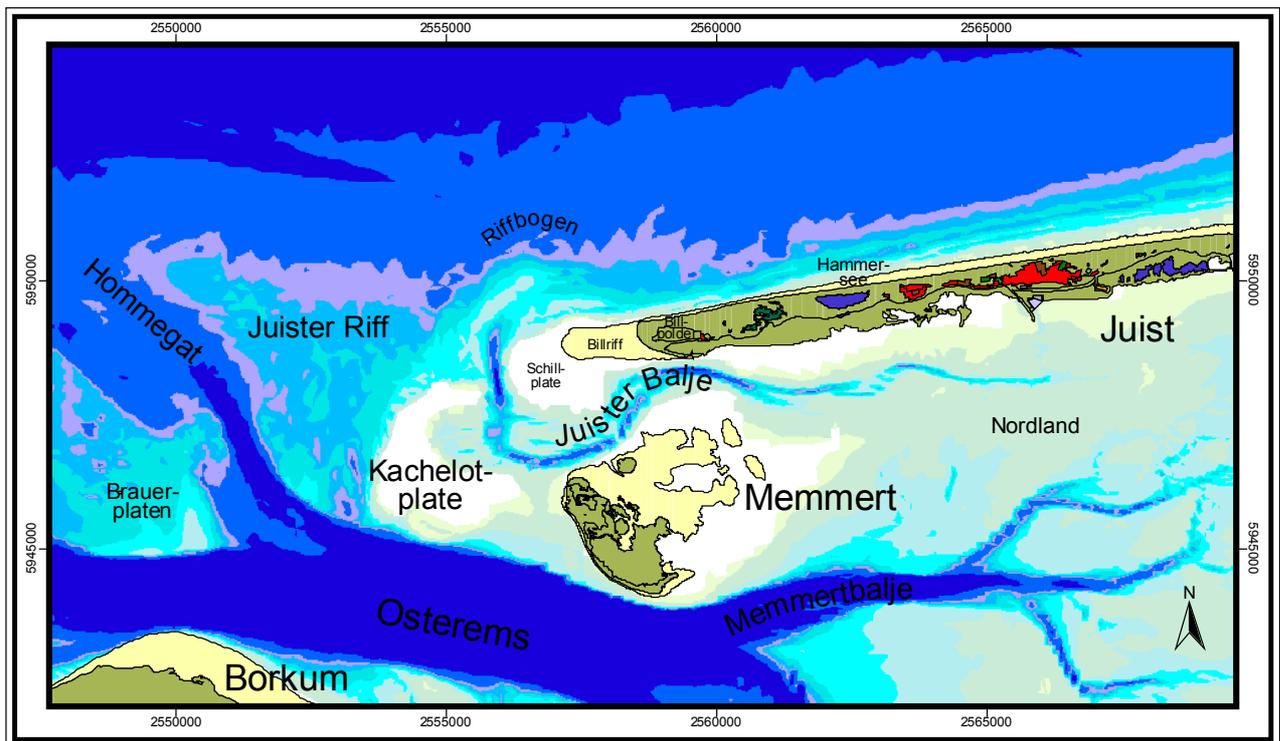


Abb. 1 Untersuchungsgebiet Juist / Memmert

Im Rahmen des Projektes „Sonderuntersuchungen für Vorarbeiten zum Inselschutz Ostfriesische Inseln“ wurden im Auftrag des NLWK Norden von der Forschungsstelle Küste (FSK) des Niedersächsischen Landesamt für Ökologie (NLO) Untersuchungen durchgeführt, die die großräumigen Vorgänge westlich der Insel Juist erklären sollen. Der vorliegende Abschlussbericht zum Teilprojekt Juist/Memmert gibt einführend anhand eines Literaturreviews die Gelegenheit, die momentanen Veränderungen im Gesamtkontext langfristiger Ereignisse zu betrachten. Eine

detailliertere Analyse erfolgt dann auf der Grundlage von Seekarten und Vermessungen der letzten Jahrzehnte. Die methodische Vorgehensweise von der Auswahl des Kartenmaterials bis zur Erstellung der digitalen Geländemodelle wird ausführlich erläutert. Dabei auftretende Probleme (Vergleichbarkeit der Karten, mögliche Fehlerquellen bei Datenerfassung und -verarbeitung) werden kritisch hinterfragt. Durch den Aufbau digitaler Geländemodelle aus dem vorhandenen Datenmaterial ist schließlich eine volumenbezogene Auswertung möglich. Aus den Zeitreihen der Flächen- und Volumenberechnungen werden für einzelne morphologische Einheiten Trends ermittelt und die Ergebnisse abschließend zu einer Prognose für die zukünftige Entwicklung im Untersuchungsgebiet zusammengeführt.

## 2. Gesamtentwicklung im Bereich Juist/Memmert (Literaturreückblick)

Anhand eines Literaturreückblicks werden die bisherigen Forschungsergebnisse von Untersuchungen, die sich mit morphologischen Gestaltungsvorgängen westlich von Juist und im Bereich um Memmert befassten, zusammenfassend dargestellt.

### 2.1 Vorgänge vor 1650

Die Informationen über die Morphologie im Bereich Juist und Memmert vor 1650 sind sehr dürftig. Anhand des Siedlungsgeschehens auf Juist und der Wiederentdeckung von Grundmauern der Kirche aus dem 14. Jahrhundert wies LEEGE (1935) eine Südverlagerung der Insel um ungefähr 600 m in rund 600 Jahren nach.

LANG (1955) stellte heraus, dass die Strandinsel Memmert ehemals im Westen von Juist lag, sich heutzutage jedoch südlich des Westendes befindet. Den Westteil von Juist bezeichnete er hinsichtlich der geographischen Länge als lagekonstant und gab die Ausdehnung der Insel in Ost-West-Richtung für 1530 mit ca. 7 km (heute rund 15 km) an.

Die Entwicklung der Insel Memmert und des Juister Riffs rekonstruierte STEPHAN (1990) anhand von alten Kartenbildern aus den Jahren 1585, 1623 und 1642. Ein wichtiges Merkmal des Zustandes bis 1650 war, dass Memmert eine feste Verbindung mit Juist besaß und sich von den Haaksdünen nach Süden und Südosten bis zum Rand der Osterems erstreckte. Die Juister Balje war zum damaligen Zeitpunkt noch nicht vorhanden. Das Juister Riff verlief als langgestreckter Sand von Juist nach Nordwest bzw. Nordnordwest, wobei erstmals 1642 eine Rinne zwischen Insel und Riff (später Haaksgat genannt) erwähnt wurde.

### 2.2 Vorgänge von 1650 bis 1930

Die morphologische Entwicklung der Insel Juist nach 1650 wird durch das Historische Kartenwerk der Forschungsstelle Küste in vier Zuständen (1650, 1750, 1860, 1960) erfasst (Anlage 1) und in einem zugehörigen Beiheft dargestellt (HOMEIER (1964)). Die wichtigsten Ergebnisse wurden von STEPHAN (1995) wie folgt zusammengefasst:

- Nach 1650 hält die Südverlagerung der Insel noch an und klingt erst in den letzten 100 Jahren ab.
- Die noch nach 1650 aufgespaltenen Dünenkomplexe wachsen zunächst nur zögernd zur Mitte der Insel. Die im Bereich des heutigen Hammersees gelegene Dünenlegde kann erst Ende des 19. Jahrhunderts mit unterstützenden Sandfanganlagen geschlossen werden.
- Der westliche Teil der Insel Juist liegt im Schutz eines Riffgebiets, das – morphologisch stark veränderlich – genügend Sand abgibt, um den Bestand der Insel gegen die Naturkräfte zu erhalten und zu stärken.
- Die Insel Juist dehnt sich nach Osten in den Bereich der ehemaligen Insel Buise aus. Die Ost-West-Ausdehnung verdoppelt sich in rund 400 Jahren auf etwa 15 km und klingt erst mit dem Bau der Norderneyer Schutzwerke (seit 1858) ab.
- Die mit der Ostausdehnung von Juist verbundene ostwärtige Verlagerung der topographischen Wattwasserscheide klingt ebenfalls ab und pendelt sich in eine Gleichgewichtslage ein.

Die großräumige Entwicklung im Umfeld der Insel Juist wurde von STEPHAN (1990) beschrieben. Er wies nach, dass die Trennung Memmerts von Juist nach 1800 erkennbar wurde und die entstehende Rinne als Juister Balje erstmals in einer Karte von 1878 namentlich Erwähnung fand.

Die Strandinsel Memmert lag zur gleichen Zeit nahezu südlich des Westendes von Juist, die Dünenbildung auf Memmert setzte höchstwahrscheinlich erst im Laufe des 19. Jahrhunderts ein. Anfang des 19. Jahrhunderts zeichnete sich bereits ab, dass das Juister Riff aus seiner vormals nordwest- bis nordnordwestlichen Ausrichtung in eine westliche umzuschwenken begann.

HOMEIER (1968) führte aus, dass die morphologischen Vorgänge auf der Insel Memmert bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts von Dünenabbruch im Westen und Dünenanwuchs im Osten geprägt waren. Die daraus resultierende Ostverlagerung der Insel wurde erst durch gezielte Dünenpflege seit 1908 abgeschwächt und hatte eine Flächenzunahme des Inselkerns zufolge.

## **2.3 Jüngere morphologische Veränderungen (seit 1930)**

Als jüngere morphologische Vorgänge im Bereich Juist und Memmert werden in der Literatur die Entwicklungen seit Anfang des 20. Jahrhunderts betrachtet. Insbesondere die regelmäßigen Strandvermessungen auf Memmert seit 1930 und die jährlichen Nivellements entlang festgelegter Profile auf der Insel Juist seit 1935 bilden die Grundlage für eingehende Untersuchungen über kurz- und mittelfristige Veränderungen. Zudem können ältere Karten, die sich auf ein variables Seekartennull (SKN = jährliches MSpTnw) beziehen, erst durch die Einführung regelmäßiger Pegelreihen seit etwa 1935 in einheitlichen Bezug zu Normal-Null (NN) gesetzt werden. Dadurch wird die Vergleichbarkeit von Karten aus unterschiedlichen Jahrgängen gewährleistet.

Regelmäßige, flächendeckende Peilungen des Untersuchungsgebietes bzw. detaillierte Seekarten stehen seit Anfang der 50er Jahre zur Verfügung und ermöglichen eine wesentlich genauere Betrachtung der Gestaltungsvorgänge als in den vorherigen Jahrhunderten. Daher sollen die jüngeren Veränderungen für einzelne morphologische Einheiten betrachtet werden. Die Ergebnisse der zahlreichen Veröffentlichungen über die Entwicklung des Untersuchungsgebietes im letzten Jahrhundert sind im Folgenden zusammengestellt.

### *2.3.1 Insel Juist*

Für den Zeitraum von 1933 bis 1981 untersuchten LUCK & STEPHAN (1983) die Strand- und Dünenentwicklung an der Nordseite der Insel Juist, indem sie aus den regelmäßigen Profilvermessungen den Verlauf der Tiefenlinien ermittelten. Als Ergebnisse bleiben festzuhalten:

- zunehmend negative Sandbilanz im Westteil Juists
- überwiegend ausgeglichene Verhältnisse in Ortsnähe
- positive Entwicklung im Osten der Insel.

Die aufgestellten Zeit-Weg-Pläne deuten auf eine Periodizität der Strandentwicklung hin, die aus der zeitlichen Abfolge der Platananlandungen resultiert. Die Bilanzierung der Sandvorräte für die gesamte Insel bleibt im betrachteten Zeitraum positiv. Für die weitere Zukunft vermuten LUCK & STEPHAN (1983) jedoch aufgrund der strukturellen Veränderungen westlich von Juist eine Beeinträchtigung des Sedimenthaushalts in allen Teilen der Insel.

Die Veränderung der Küstenlinie Juists wurde von STEPHAN (1995) durch die Auswertung von Profildaten weiter untersucht. Zur Beurteilung der Strand- und Dünenentwicklung nach 1982 ergänzte STEPHAN (1995) die vorhandenen Zeit-Weg-Pläne für den Vorstrandbereich Juists mit Werten bis 1993. Er kam zu ähnlichen Ergebnissen wie in den Untersuchungen bis 1982 und sah die Tendenzen einer negativen Strand- und Dünenentwicklung im Westen fortgesetzt, während

nach Osten hin ab Höhe des Hammersees eine ausgeglichene bis positive Bilanz vorhanden war. Er quantifizierte außerdem die zeitliche Entwicklung der Vorstrandneigung und wies eine generelle Aufsteilung, insbesondere im westlichen Bereich, nach. Im Zusammenhang mit der dort vorhandenen Südverlagerung der Strandlinie sprach er davon, „dass sich die Küstenlinie der Insel gegen den Uhrzeigersinn dreht.“

### *2.3.2 Juister Riff*

Die Lagestabilität der Inselstrände wird durch ein dynamisches Gleichgewicht aus Sedimentation und Erosion gewährleistet. Die hierfür notwendige Sandzufuhr erhalten die Strände an der Nordseite Juists durch Platananlandungen aus dem Juister Riff. WINDBERG (1931) beobachtete, dass sich 1650 die Anlandung der Sandbänke noch im Bereich des Hammersees vollzog. Seitdem habe sich der Ankunftspunkt der Sandbänke aus dem Juister Riff immer weiter nach Westen verschoben.

In ihrem Bericht über die „Verlagerung morphologischer Großformen nördlich der Osterems und deren Einfluss auf das Westende von Juist“ bestätigten LUCK & STEPHAN (1983) eine Westverschiebung des Anlandungsbereiches. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass sich die Veränderung des Anlandungsbereiches nicht nachteilig auf den Sandhaushalt auswirkt, solange die Sedimentzufuhr am Nordstrand von Juist stattfindet. Allerdings herrscht seit einigen Jahren am Westende von Juist eine strukturelle Sedimentunterversorgung, die im Laufe der 60er und 70er Jahre zu starken Abbrucherscheinungen im Strand- und Dünenbereich geführt hat. Zurückzuführen ist der Sedimentmangel darauf, dass sich die Sandanlandungen in jüngster Zeit in südliche Richtung verschoben haben. Die Anlandungsbereiche haben sich somit von Juist gelöst und die zutretenden Sande werden nun überwiegend in das Gebiet der Juister Balje, des Haaksgat und der Kachelotplate verfrachtet. Durch die Vergrößerung der Schillplate wurde eine Hörnbildung am Westende von Juist eingeleitet. Als Ursache für die auffälligen morphologischen Veränderungen nennen LUCK & STEPHAN (1983) großräumige, nicht umkehrbare Vorgänge, die vermutlich auf den langfristigen Anstieg des Meeresspiegels zurückzuführen sind. Zudem verwiesen sie darauf, dass die Gestaltungsvorgänge im Bereich des Juister Riffs von 1954 bis 1982 mit einer Verschiebung der nördlichen SKN-Linie um bis zu 500 m nach Süden einhergingen, und dass eine Streckung des Riffgebietes nach Westen erfolgte.

Innerhalb des Juister Riffs wurden oftmals auf Karten die Sandbänke Schillplate und Schapesand benannt. Ihre Lage ist jedoch nicht eindeutig festgelegt, da sie im Mündungsgebiet der Juister Balje ständigen Veränderungen unterworfen ist. Die Schillplate befand sich ursprünglich in direkter Nachbarschaft zum Billriff am Westende von Juist. Auf aktuellen Karten ist eine deutliche Südverlagerung der Schillplate erkennbar. Der Schapesand stellte ursprünglich den im nordwestlichen Teil des Juister Riffs gelegenen Platenbereich zwischen den Ebbstromrinnen der Juister Balje dar. Diese flachen Sedimentformationen haben sich in jüngster Zeit nach Nord-Osten verlagert und bilden den neugestalteten Riffbogen zwischen der Kachelotplate und dem Billriff.

### *2.3.3 Kachelotplate*

In Übereinstimmung mit der Verschiebung der Sandanlandungen aus dem Juister Riff hat sich auch die Gestalt der Kachelotplate verändert. Durch erhöhte Sedimentzufuhren hat die Fläche und das Volumen der Plate in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen.

Die Sandvorräte haben sich nach STEPHAN (1990) von 1958 bis 1986 im Bereich oberhalb von SKN mehr als verfünffacht (von 1,7 Mio. m<sup>3</sup> auf 11,1 Mio. m<sup>3</sup>). Ebenso vergrößerte sich die über SKN gelegene Fläche der Kachelotplate von 2,0 km<sup>2</sup> auf 7,2 km<sup>2</sup>. Dabei erfolgte sowohl eine Ausdehnung nach Westen und Norden als auch eine erhebliche Annäherung an Memmert im Osten. Aus dem Vergleich von Querprofilen der Jahre 1936 bis 1986 ermittelte STEPHAN (1990) eine Erhöhung der Kachelotplate um über 3 m und eine Auffüllung des zwischen Kachelotplate und Memmert gelegenen Abschnittes des Haaksgats um über 1 m. Seit etwa 1975 ist die Kachelotplate zudem hochwasserfrei.

Die Verschiebung der Kachelotplate nach Osten berechnete STEPHAN (1990) für den Untersuchungszeitraum von 1958 bis 1986 zu jährlich rund 20 m. Bei gleichbleibender Verlagerungsgeschwindigkeit der NN±0m-Linie vermutete STEPHAN (1990) eine Verbindung mit Memmert etwa im Jahr 2020. Die Ausbildung einer zusammenhängenden hochwasserfreien Fläche zwischen der Kachelotplate und Memmert wird hingegen noch weitere Jahre in Anspruch nehmen.

#### *2.3.4 Memmert*

Durch die 1908 beginnenden Dünenschutzarbeiten konnte die Ostverlagerung der Strandinsel Memmert reduziert und eine erhebliche Flächenzunahme des Inselkerns erreicht werden. HOMEIER (1968) ermittelte, dass sich die Fläche zwischen 1860 und 1908 von 11 ha auf 20 ha vergrößerte und dann bis 1966 auf 106 ha erheblich zunahm. Dabei trat der Gebietszuwachs im Norden, Osten und Südosten auf. Im Westen hingegen war ein langsamer Dünenrückgang zu verzeichnen, der von Regenerationsphasen durch Platanenlandungen aus der Kachelotplate unterbrochen wurde. Gleichzeitig breitete sich die Fläche des nassen Strandes nach Westen aus.

STEPHAN (1990) untersuchte zusätzlich das Abbruchgeschehen an der Westseite Memmerts anhand von Profilvermessungen und fand wie auch HOMEIER (1968) heraus, dass von 1930 bis 1986 starke Dünenrückgänge im Süden und Norden, sowie nur geringe Veränderungen im mittleren Bereich der Westseite auftraten.

Die zwischen Kachelotplate und Memmert gelegene Rinne ist in älteren Karten noch eindeutig als Haaksgat zu definieren. In neueren Karten hingegen wird aufgrund des Verlandungsprozesses dieser Name für den weiter nördlich verlaufenden Mündungsbereich der Juister Balje verwendet. Zwischen 1934 und 1966 verlagerte sich die Hauptachse des Haaksgats durch die morphologischen Veränderungen des Juister Riffs und der Kachelotplate um 1 bis 2 km nach Osten (HOMEIER (1968)). Der Prozess einer Ostverschiebung setzte sich danach unter Verflachung und Einengung des Querschnitts weiter fort (STEPHAN (1990)). Durch die zu erwartende Verbindung von Kachelotplate und Memmert ist die Bedeutung des Haaksgats als Rinne nahezu verschwunden. Sie konnte in jüngster Zeit auch nicht mehr nautisch, sondern nur noch terrestrisch, vermessen werden.

#### *2.3.5 Juister Balje*

In mehreren Untersuchungen der Forschungsstelle Küste wurde eine rückläufige Entwicklung der Juister Balje seit Mitte des 20. Jahrhunderts nachgewiesen (KURZAK (1953), KÖRITZ (1955), KOCH (1965), NIEMEYER (1994)). Es kam zu einer Verflachung der Balje im gesamten Verlauf und einer Verschiebung der Juister Wattwasserscheide nach Westen. Sie betrug zwischen 1860 und 1958 1,2 km (HOMEIER (1959)).

Nach STEPHAN (1990) verlagerte sich die Juister Balje zwischen 1958 und 1986 um weitere 1,2 km nach Westen, wobei sich der Flutspeicherraum des Juister Watts um 17 % reduzierte. Gleichzeitig verlagerte sich im Mündungsbereich der Balje der ehemals gestreckte Verlauf unter Ausbildung eines Bogens nach Süden und wich dadurch der Hörnbildung am Westende von Juist aus.

### 2.3.6 Osterems

Abweichend von den vorher betrachteten Gebieten sind die Veränderungen der Osterems bereits für das 19. Jahrhundert gut nachvollziehbar, da in diesem Bereich umfangreichere Vermessungsdaten vorliegen. Für das Gebiet der Osterems und des Voorentiefs untersuchte HOMEIER (1968) die Verlagerung der SKN-15 m-Linie als markante Begrenzung der tiefen Stromrinne. Er verglich Karten aus den Jahren 1833, 1859 und 1963 und wies eine Linksschwenkung der Stromachse um einen Drehpunkt südwestlich von Memmert nach. Gleichzeitig versandete das Hommegat zusehends, während sich das Voorentief und der Unterlauf der Memmertbalje vertieften. Die nach Westen gerichtete Verschiebung der tiefen Stromrinne (Flächenschwerpunkt) bezifferte HOMEIER auf 2,5 km zwischen 1833 und 1963.

LUCK & STEPHAN (1983) griffen die Untersuchung von HOMEIER auf und ergänzten seine Darstellung der Osterems mit einer Karte aus dem Jahre 1975. Sie versuchten außerdem die Ursache für die Schwenkung der Osterems aus einer nordwestlichen in eine westliche Richtung zu ergründen. Dabei fanden sie heraus, dass die Südverlagerung des Juister Riffs und die Drehung der Osterems gleichsinnig stattfanden, und dass der Schwenkungsprozess zudem stetig verlief. Aufgrund dieser Beobachtung vermuteten sie einen Zusammenhang zwischen der Verdrehung der Osterems und dem langfristigen Anstieg des Meeresspiegels. Durch Korrelation der Winkeländerung der Gewässerachse mit dem jeweiligen 10-jährigen Mittel des Thw am Pegel Borkum konnte diese Vermutung erhärtet werden. Ihre Schlussfolgerung lautete: „Die Zusammenhänge – langfristiger Anstieg des Meeresspiegels, Verlagerung des Riffbogens, Verschwenkung der Osterems – sind struktureller Art und somit im überörtlichen Geschehen begründet. Eine Umkehr dieser Entwicklung ist nicht zu erwarten.“

Die Verlagerungswerte der Osterems nach Norden entsprachen nach STEPHAN (1990) den Strandverlusten an der Südseite von Memmert. Die Verschiebung der SKN-10 m-Linie nach Norden wurde mit rund 2 bis 3 m/Jahr angegeben, was mit der Nordverlagerung der Tiefenlinien im Strand- und Vorstrandbereich im Einklang stand.

### 3. Methodik

#### 3.1 Vermessungen und Kartenmaterial

Zur Beurteilung der morphologischen Vorgänge im Bereich westlich von Juist stehen zahlreiche Vermessungen des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nordwest (WSD), des Kuratoriums für Küsteningenieurwesen (KFKI) und der Forschungsstelle Küste (FSK), Norderney, des Landesamtes für Ökologie zur Verfügung. Die entsprechenden Karten (Tabelle 1) wurde zu Beginn des Projektes einer eingehenden Überprüfung unterzogen, indem anhand der Originalvermessungen stichprobenartige Plausibilitätskontrollen durchgeführt wurden. Dabei konnten unrealistische Tiefendifferenzen in einigen Rinnen festgestellt und die fehlerhaften Punktpeilungen aus den Datensätzen entfernt werden. Dies betraf insbesondere die Vermessungen des BSH von 1951, 1972 und 1995.

Tabelle 1: Verwendetes Kartenmaterial

| Jahr   | Quelle | Datenart |       | Höhenbezug Originaldaten |     | Datenmenge im Unters.- gebiet | Raumbezogener Datensatz [Shape] | Digitales Geländemodell [Grid] |
|--------|--------|----------|-------|--------------------------|-----|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|        |        | Punkt    | Linie | NN                       | SKN |                               |                                 |                                |
| (1930) | FSK    |          | +     |                          | +   | (100%)                        | (1930_fsk.shp)                  |                                |
| 1950   | FSK    |          | +     |                          | +   | ~20%                          | 1950_fsk.shp                    |                                |
| 1951   | BSH    | +        |       |                          | +   | ~75%                          | 1951_bsh.shp                    | nwgrd1951_bsh                  |
| 1958   | FSK    |          | +     | +                        |     | ~70%                          | 1958_fsk.shp                    | nwgrd1958_fsk                  |
| 1958   | BSH    | +        |       |                          | +   | ~70%                          | clip1958-59_bsh.shp             | nwgrd1958_bsh                  |
| 1959   | BSH    | +        |       |                          | +   |                               |                                 |                                |
| 1963   | BSH    | +        |       |                          | +   | ~75%                          | clip1963-64_bsh.shp             | nwgrd1963_bsh                  |
| 1964   | BSH    | +        |       |                          | +   |                               |                                 |                                |
| 1969   | BSH    | +        |       |                          | +   | ~75%                          | clip1969-71_bsh.shp             | nwgrd1970_bsh                  |
| 1971   | BSH    | +        |       |                          | +   |                               |                                 |                                |
| 1972   | BSH    | +        |       |                          | +   | ~55%                          | 1972_bsh.shp                    | nwgrd1972_bsh                  |
| 1975   | BSH    | +        |       | +                        | +   | ~85%                          | 1975_bsh_kor.shp                | nwgrd1975_bsh                  |
| 1975   | KFKI   |          | +     | +                        |     | ~100%                         | 1975_kfki.shp                   | nwgrd1975_kfk                  |
| 1977   | BSH    | +        |       | +                        | +   | ~40%                          | 1977_bsh.shp                    |                                |
| 1980   | BSH    | +        |       |                          | +   | ~55%                          | 1980_bsh.shp                    | nwgrd1980_bsh                  |
| 1982   | BSH    | +        |       |                          | +   | ~80%                          | 1982_bsh.shp                    | nwgrd1982_bsh                  |
| 1983   | BSH    | +        |       | +                        | +   | ~30%                          | 1983_bsh.shp                    |                                |
| 1984   | BSH    | +        |       | +                        | +   | ~30%                          | 1984_bsh.shp                    |                                |
| 1985   | BSH    | +        |       | +                        | +   | ~85%                          | 1985_bsh.shp                    | nwgrd1985_bsh                  |
| 1986   | FSK    |          | +     | +                        |     | ~25%                          | 1986_fsk.shp                    | nwgrd1986_fsk                  |
| 1989   | BSH    | +        |       | +                        | +   | ~35%                          | 1989_bsh.shp                    |                                |
| 1990   | WSD    |          | +     | +                        |     | ~100%                         | 1990_wsd.shp                    | nwgrd1990_wsd                  |
| 1992   | BSH    | +        |       | +                        | +   | ~15%                          | 1992_bsh.shp                    |                                |
| 1995   | BSH    | +        |       | +                        | +   | ~85%                          | 1995_bsh.shp                    | nwgrd1995_bsh                  |
| 1998   | BSH    | +        |       | +                        | +   | ~80%                          | 1998_bsh.shp                    | nwgrd1998_bsh                  |
| 2000   | NLWK   | +        |       | +                        |     | ~20%                          | 2000_nlwk.shp                   | nwgrd2000_nlw                  |
| 2001   | FSK    | +        |       | +                        |     | ~50%                          | 2001_fsk.shp                    | nwgrd2001_ges                  |
|        | NLWK   | +        |       | +                        |     | ~20%                          | 2001_nlwk.shp                   |                                |
|        | BSH    | +        |       |                          | +   | ~75%                          | 2001_bsh.shp                    |                                |

Nach einer Qualitätskontrolle wurde die Wattkarte von 1930 (FSK) nicht weiter in die Untersuchung einbezogen: Die Isolinien stellen aufgrund der sehr groben Tiefenabstufung selbst größere morphologische Strukturen nicht dar. Bei der Kontrolle der BSH-Peildaten von 1975

wurde herausgefunden, dass im Bereich der Juister Balje und um Memmert bereits im Originalformat rekursive Datensätze vorliegen. Die Punktpeilungen wurden nach Fahrtennummern sortiert, wodurch die doppelten, lageverschobenen Datenreihen identifiziert werden konnten. Über den Abgleich mit den Tiefenangaben aus der KFKI-Karte von 1975 wurde dann der fehlerhafte Datensatz eliminiert. Mit dem entsprechend korrigierten Datensatz wurde aus der BSH-Peilung von 1975 eine neue Karte erstellt, die den Verlauf der Juister Balje wesentlich genauer abbildet. Auf die Verwendung von Luftbildern zur besseren Bestimmung der Bruchkanten und des Rinnenverlaufs konnte daher verzichtet werden.

Bei Peilungen des BSH ist das Gebiet um Juist häufig nicht vollständig, sondern in aufeinanderfolgenden Jahren gepeilt worden. Ursache dafür ist die Lage der BSH-Blattschnitte, deren Grenzen bis 1994 durch das für dieses Projekt gewählte Untersuchungsgebiet verliefen. Die Vermessung von 1963, die das Untersuchungsgebiet bisher nur unzureichend abdeckte, wurde daher durch Peilungen aus dem Frühjahr und Sommer 1964 ergänzt. Ebenso wurden die Daten von 1969 in den Randbereichen des Untersuchungsgebiets mit den zugehörigen Messungen aus dem Jahr 1971 aufgefüllt, nachdem die Übereinstimmung der Tiefenwerte im Überlappungsbereich eingehend geprüft worden war. Für 1958/59, 1980 und 1982 wurden weitere Peildaten des BSH zur Kartengrundlage hinzugefügt. Eine digitalisierte Karte der Kachelotplate, die 1986 an der Forschungsstelle erstellt worden war, wurde ebenfalls in die Betrachtung einbezogen. Dadurch konnte eine Verdichtung der Vermessungsdaten im Untersuchungsgebiet erreicht werden. Weiterhin sei darauf hingewiesen, dass durch die Zusammenarbeit von NLWK und FSK im Jahr 2001 nautische und terrestrische Vermessungsdaten gewonnen werden konnten, die den Untersuchungsraum Juist/Memmert auch außerhalb der BSH-Peilungen komplett abdecken.

Die Angabe in Spalte „Datenmenge“ (Tabelle 1) zeigt, dass bei einer Vielzahl der Vermessungen keine flächendeckenden Informationen für das gesamte Untersuchungsgebiet verfügbar sind. Häufig sind bei den vom BSH für die Schifffahrt erstellten Seekarten lediglich die Rinnenverläufe gepeilt worden, während die höhergelegenen Platenbereiche nicht erfasst wurden. Die Punktpeilungen des BSH zeigen mit Rasterabständen von etwa 200-250 m eine nahezu identische Datendichte. Die Tiefeninformationen in den Isolinienkarten sind hingegen uneinheitlich. Unterhalb von NN-6m haben die Tiefenlinien zumeist eine 2m-Abstufung, die sich zwischen NN-6m und NN-2m auf einen Meter reduziert.

Vermessungen, für die in der Spalte „Grid“ ein Dateiname angegeben ist, wurden im Rahmen der weiteren Auswertung in digitale Geländemodelle umgewandelt. Bei Karten, deren Tiefenangaben auf SKN bezogen sind, wurde vorher eine Umrechnung auf Normalnull durchgeführt. Die damit verbundene Problematik wird in Kap. 3.2 eingehend erläutert.

Um die qualitative Entwicklung der Morphologie westlich von Juist möglichst langfristig untersuchen zu können, wurden zusätzliche Karten aus der Zeit vor 1951 gesucht. Vergleichbare Vermessungen wie für die Seegate der anderen Ostfriesischen Inseln, die teilweise seit 1866 regelmäßig vermessen wurden, liegen für Juist jedoch nicht vor. Einige sehr grobe Seekarten aus den Jahren 1585 bis 1878, die bei STEPHAN (1990) dargestellt und erläutert sind, können die Situation kaum verdeutlichen. Das Historische Kartenwerk der Forschungsstelle Küste stellt die Situation der Insel Juist in vier Zuständen dar (1650, 1750, 1860 und 1960, siehe Anlage 1). Dabei beschränken sich die Karten allerdings auf die Entwicklung der Insel und geben keinen Aufschluss über die Vorgänge westlich des Billriffs. Die aus den älteren Karten abgeleiteten Entwicklungstendenzen zur Morphologie im Untersuchungsgebiet sind in Kap. 2 bereits erläutert worden.

### 3.2 Datenverarbeitung

Eine wesentliche Voraussetzung, um die Vergleichbarkeit der Vermessungen bei morphologischen Bilanzierungen zu gewährleisten, ist die Wahl eines einheitlichen Bezugshorizontes. Die Tiefenangaben bezogen auf Seekartennull (SKN) unterliegen im Allgemeinen zeitlichen und räumlichen Schwankungen, so dass ein Bezug auf Normalnull (NN) anzustreben ist. Für die Linienkarten des KFKI, der WSD und der FSK ist diese Voraussetzung erfüllt, während ein Teil der Vermessungsdaten des BSH nur auf SKN bezogen ist und daher eine Umrechnung des Bezugsniveaus notwendig wurde.

#### 3.2.1 Zeitliche Veränderung des Seekartennull

Die SKN-Werte errechnen sich für jeden Pegel aus dem MSpTnw der letzten 19 Jahre. Bei nautischen Vermessungen werden die Peilwerte mit den Wasserstandsdaten eines Bezugspegels beschickt und sind somit über das zum Zeitpunkt der Vermessung gültige SKN definiert. Anhand der Angaben in Tabelle 2 kann untersucht werden, ob sich Langzeitschwankungen der SKN-Werte auf die Vergleichbarkeit von Seekarten auswirken.

Tabelle 2: Langzeitschwankungen der SKN-Werte

| Jahr | Bezugspegel         | SKN [m PN] | SKN 1995 [m PN] | SKN-Differenz zu 1995 [cm] |
|------|---------------------|------------|-----------------|----------------------------|
| 1951 | Borkum-Südstrand    | 3,53       | 3,61            | <b>8</b>                   |
| 1958 | Borkum-Südstrand    | 3,58       | 3,61            | <b>3</b>                   |
| 1959 | Borkum-Südstrand    | 3,58       | 3,61            | <b>3</b>                   |
| 1963 | Borkum-Südstrand    | 3,56       | 3,61            | <b>5</b>                   |
| 1964 | Borkum-Südstrand    | 3,55       | 3,61            | <b>6</b>                   |
| 1969 | Borkum-Südstrand    | 3,57       | 3,61            | <b>4</b>                   |
| 1971 | Norderney           | 3,58       | 3,58            | <b>0</b>                   |
| 1972 | Borkum-Südstrand    | 3,59       | 3,61            | <b>2</b>                   |
| 1975 | Helgoland           | 3,28       | 3,32            | <b>4</b>                   |
|      | Borkum-Südstrand    | 3,58       | 3,61            | <b>3</b>                   |
| 1977 | Borkum-Südstrand    | 3,57       | 3,61            | <b>4</b>                   |
|      | Borkum Fischerbalje | 3,53       | 3,60            | <b>7</b>                   |
| 1980 | Helgoland           | 3,26       | 3,32            | <b>6</b>                   |
|      | Norderney Riffgat   | 3,53       | 3,58            | <b>5</b>                   |
|      | Borkum Fischerbalje | 3,54       | 3,60            | <b>6</b>                   |
| 1982 | Helgoland           | 3,24       | 3,32            | <b>8</b>                   |
|      | Norderney Riffgat   | 3,51       | 3,58            | <b>7</b>                   |
|      | Borkum Fischerbalje | 3,51       | 3,60            | <b>9</b>                   |
| 1983 | Borkum Fischerbalje | 3,51       | 3,60            | <b>9</b>                   |
| 1984 | Norderney Riffgat   | 3,51       | 3,58            | <b>7</b>                   |
| 1985 | Borkum Fischerbalje | 3,51       | 3,60            | <b>9</b>                   |
|      | Norderney Riffgat   | 3,51       | 3,58            | <b>7</b>                   |
| 1989 | Helgoland           | 3,27       | 3,32            | <b>5</b>                   |
|      | Norderney Riffgat   | 3,56       | 3,58            | <b>2</b>                   |
| 1992 | Norderney Riffgat   | 3,58       | 3,58            | <b>0</b>                   |
|      | Emshörn             | 3,49       | 3,49            | <b>0</b>                   |
| 1995 | Borkum Fischerbalje | 3,60       | 3,60            | <b>0</b>                   |
|      | Norderney Riffgat   | 3,58       | 3,58            | <b>0</b>                   |
|      | Memmert             | 3,39       | 3,39            | <b>0</b>                   |
| 1998 | Borkum Fischerbalje | 3,60       | 3,60            | <b>0</b>                   |
|      | Memmert             | 3,39       | 3,39            | <b>0</b>                   |

Aufgelistet sind die SKN-Werte der jeweiligen Bezugspegel, die bei den Seevermessungen des BSH zur Beschickung im Untersuchungsgebiet herangezogen wurden. Der Vergleich mit dem

SKN des Jahres 1995 ergibt eine maximale Schwankungsbreite von 9 cm in den 80er Jahren, wobei ab 1992 keine Veränderung des SKN-Horizontes mehr gemessen wurde.

Durch diese Differenzen entsteht ein systematischer Fehler bei der Tiefenbetrachtung zweier unterschiedlicher Jahrgänge. Die anfängliche Überlegung, diesen Fehler zu eliminieren und alle Vermessungen auf das SKN eines einheitlichen Jahres umzurechnen, wurde später verworfen, da die Zuordnung der verwendeten Beschickungspegel zu den einzelnen Datenpunkten nachträglich nicht mehr möglich ist. Zudem steht dieses Vorgehen in keinem Verhältnis zu der erzielbaren Genauigkeit bei Seevermessungen (siehe Kap. 3.3). Aus diesem Grund wurde auf eine Berücksichtigung der zeitlichen Schwankungsbreite des SKN ( $\pm 9$  cm) verzichtet. Der dadurch in Kauf genommene Fehler beträgt bei der Volumenauswertung im ungünstigsten Fall maximal 9%, wenn von der Betrachtung separater Tiefenhorizonte mit einer Mächtigkeit von einem Meter ausgegangen wird.

### *3.2.2 SKN-NN-Umrechnung*

Neben der langfristigen Veränderung des SKN-Niveaus ist auch eine räumliche Krümmung des SKN-Horizontes zu berücksichtigen. In Abhängigkeit von der Lage der Pegel kommt es zu erheblichen Unterschieden der jeweiligen SKN-Werte. Diese Differenz ist nicht nur beim Vergleich zweier Karten, sondern auch innerhalb einer Vermessung von Bedeutung. Besonders deutlich wird dieser Unterschied beispielsweise bei der Vermessung von 1975, bei der am Hochseepiegel Helgoland ein um 30 cm niedrigerer SKN-Wert registriert wurde als am Pegel Borkum-Südstrand (Tabelle 2). Bei der Umrechnung von SKN auf NN ist daher die Position des verwendeten Bezugspegels von großer Bedeutung. Außerdem wirken sich lokale Tidehubunterschiede zwischen zwei Bezugspegeln auf die Berechnung der SKN-NN-Differenz aus. Und auch vom Peilort zum Beschickungspegel treten Abweichungen in der Amplitude des Tidehubs auf, die einen Einfluß auf die Umrechnung von SKN auf NN haben.

Diese ortsabhängigen Effekte lassen sich in ihrer Gesamtheit mit Hilfe von Ringpolygonkarten berücksichtigen. Sie werden von der Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe herausgegeben (BAW 1996) und definieren für das Gebiet der deutschen Bucht Flächen gleicher NN-SKN-Differenz mit einer Abstufung von 1 dm (Abb. 2). Um auch den zeitlichen Aspekt der SKN-Veränderung zu berücksichtigen, müssten eigentlich für jedes Jahr andere Ringpolygonkarten verwendet werden. Da diese Karten jedoch erst seit 1985 vorliegen und die Veränderungen der Ringpolygone äußerst gering sind, konnte in guter Näherung die Ringpolygonkarte von 1995 verwendet werden. Der Fehler liegt dabei in der unter 3.2.1 genannten Größenordnung. Aus der Ringpolygonkarte von 1995 ergibt sich für den Bereich der Ostfriesischen Inseln ein Anstieg der SKN-NN-Differenz von 130 cm westlich von Borkum auf 180 cm östlich von Wangerooge. Für das Untersuchungsgebiet westlich von Juist schwankt die Differenz von SKN zu NN zwischen 120 und 150 cm.

Um eine einheitliche Kartengrundlage zu schaffen, wurden alle Vermessungsdaten ohne NN-Bezug mit der Ringpolygonkarte von 1995 verschnitten. Die Vermessungsdaten des BSH liegen - bei Lieferung im Format der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung - bereits seit 1990 nach obiger Methode auf NN umgerechnet vor. Teilweise waren die SKN-Tiefen auch in älteren BSH-Datensätzen bereits im Rahmen eines KFKI-Projektes (HÜTTEMEYER et al. (1999)) umgewandelt und mit Hilfe der Ringpolygonkarte auf NN bezogen worden.

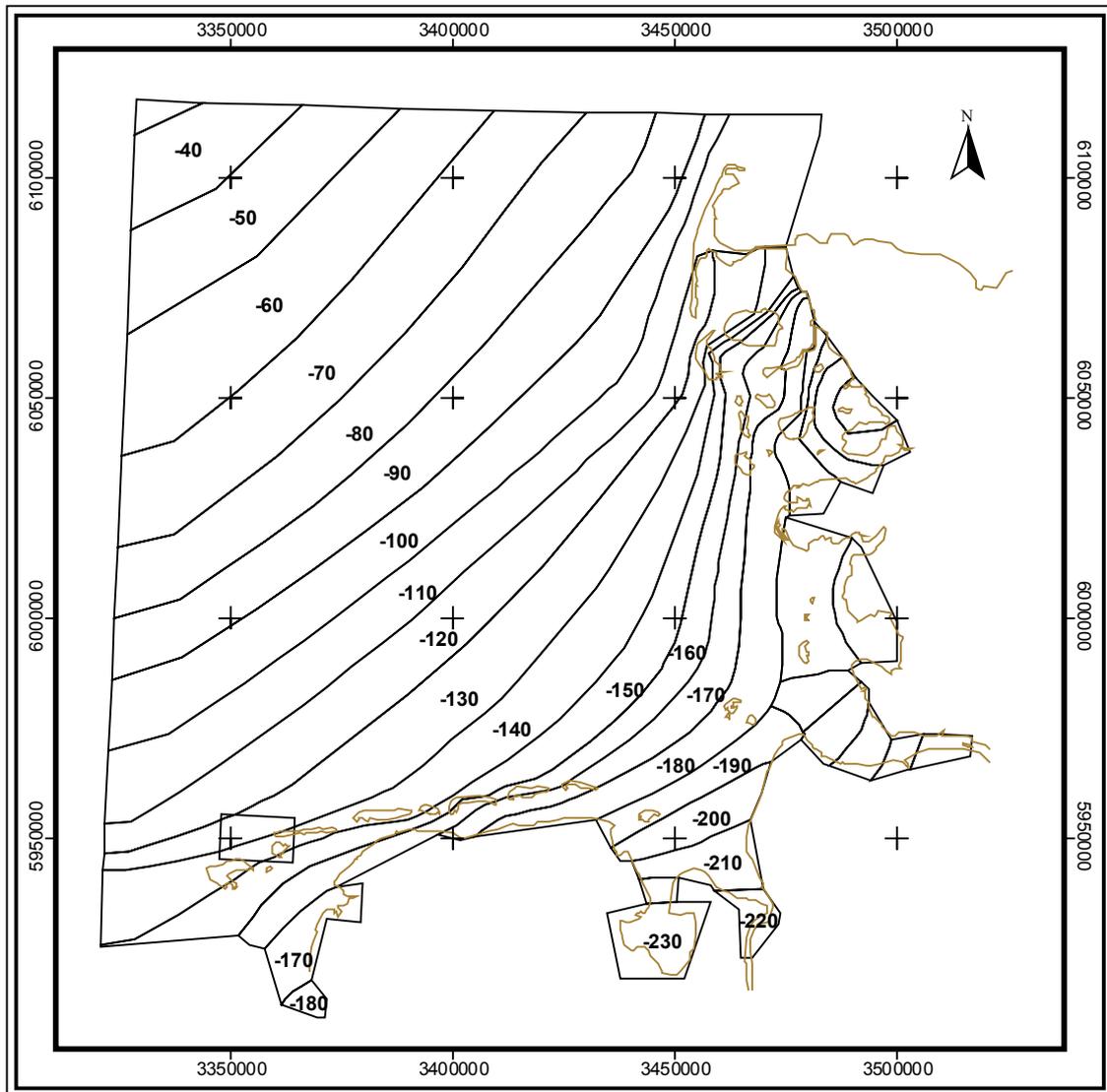


Abb. 2 Ringpolygonkarte des BAW mit NN-SKN-Differenzen von 1995

### 3.2.3 Erstellung digitaler Geländemodelle

Die überarbeiteten Vermessungsdaten wurden anschließend analog zu der Vorgehensweise beim Norderney-Projekt (MEYER & STEPHAN (2000)) aufbereitet. Die Punkt- bzw. Liniendaten wurden als Shape-Dateien in GIS ArcView eingelesen und mit Hilfe einer Dreiecksvermaschung in ein dreidimensionales Modell überführt. Dieses Dreiecksnetz (Triangulate Irregular Network TIN) wurde anschließend in ein gleichmäßiges Raster (Grid) mit einer Maschenweite von 25 m umgerechnet, um Differenzenrechnungen zwischen den Vermessungen durchführen zu können. Die auf der Grundlage der Grids erstellten morphologischen Karten sind in Anlage Anlage 3 abgebildet. Zusätzlich enthält die beiliegende CD eine Power-Point-Präsentation, die durch Überblendtechnik den zeitlichen Ablauf der Entwicklung veranschaulicht.

## 3.3 Fehlerbetrachtung

### 3.3.1 Fehlerquellen bei Peilung und Beschickung

Ausführliche Untersuchungen über mess- und verfahrenstechnische Fehler bei der Seevermessung wurden im Rahmen des KFKI-Forschungsvorhabens „Morphologische Gestaltungsvorgänge in der deutschen Bucht“ an der Forschungsstelle Küste durchgeführt

(HÜTTEMEYER et al. (1999), HÜTTEMEYER et al. (1998)). Potentielle Fehlerquellen bei der Peilung der Tiefen ergeben sich demnach durch folgende Einflüsse:

- verschiedene Verfahren der Positionsbestimmung (Umstellung von Doppelwinkelmessung auf elektronische Systeme; systematische Fehler der Messergebnisse sind unwahrscheinlich)
- Verwendung von Echoloten unterschiedlicher Frequenz (variierende Eindringtiefe nur in schlickigen Gebieten und in Suspensionsböden von Bedeutung; führt in Sandböden zu keiner nennenswert veränderten Tiefenmessung)
- Ungenauigkeiten bei der manuellen Verarbeitung der Lotrollen

Des Weiteren wurde bei HÜTTEMEYER et al. (1999) der Einfluss der Beschickung untersucht. Als mögliche Ursachen für abweichende Beschickungswerte werden dort genannt:

- Unterschiedliche Bezugspegel (Hochseepiegel, Küstenpegel)
- Einfluss von auf- bzw. ablandigen Winden, die zu nicht vorhersehbaren Differenzen bei den Wasserständen am Peilort und am Küstenpegel führen
- Abweichungen von den mittleren Eintrittszeiten des Hoch- und Niedrigwassers
- unterschiedliche Steig- und Falldauer der Tiden am Pegel und am Peilort

Endgültige Aussagen über die Größen der Fehler und eventuelle Korrekturen der Messwerte werden im Zwischenbericht (HÜTTEMEYER et al. (1998)) noch nicht gemacht. Im Abschlussbericht (HÜTTEMEYER et al. (1999)) wird jedoch ein systematischer Fehler herausgearbeitet. Durch den Vergleich von BSH-Daten aus den Jahren 1945 bis 1995 wird ein Plausibilitätssprung im Jahre 1986 nachgewiesen und mit dem Einsatz eines neuen Echolotes begründet. Dadurch sind Tiefenzunahmen um rund 40 cm zu beobachten. Aus umfangreichen statistischen Datenauswertungen ermitteln HÜTTEMEYER et al. (1999) einen Korrekturansatz für BSH-Daten, die nach 1986 aufgenommen wurden. Die Korrekturwerte beziehen sich jedoch auf das Küstenvorfeld (Geltungsbereich unterhalb von NN -10 m) und sind daher für die aktuellen Vorarbeiten zum Inselschutz nicht anwendbar. Auf eine Verwendung korrigierter BSH-Vermessungen wird deshalb bei den Vorarbeiten zum Inselschutz im Bereich Juist / Memmert verzichtet. Um die Datenkontinuität zu verbessern, könnten jedoch ähnliche statistische Auswertungen wie bei HÜTTEMEYER für flache Bereiche (NN -10 m bis NN  $\pm$ 0 m) der Ostfriesischen Küste vorgenommen werden. Ein adaptierter Korrekturansatz könnte die Aussagekraft der Untersuchungen für die folgenden Teilprojekte (Inseln Borkum und Langeoog) verbessern. Fraglich ist jedoch, ob eine derartige Aufbereitung der Originaldaten im Rahmen dieses Projektes umsetzbar ist.

Für das laufende Projekt wurde die Vergleichbarkeit von neueren Karten unterschiedlicher Quellen zunächst anhand von Peildaten des BSH und der Forschungsstelle Küste Norderney überprüft. Der Vorstrandbereich von Juist wurde 1997 und 1998 flächenhaft von beiden Institutionen vermessen, wobei die annähernd lagegleichen Peilfahrten gut geeignet sind, um Profilvergleiche durchführen und Unterschiede in der Beschickung der Tiefenwerte feststellen zu können. Abb. 3 zeigt die Lage der gewählten Profile im Messgebiet. In Abb. 4 ist beispielhaft die Topographie entlang des Profiles 6 für die nautischen Vermessungen dargestellt.

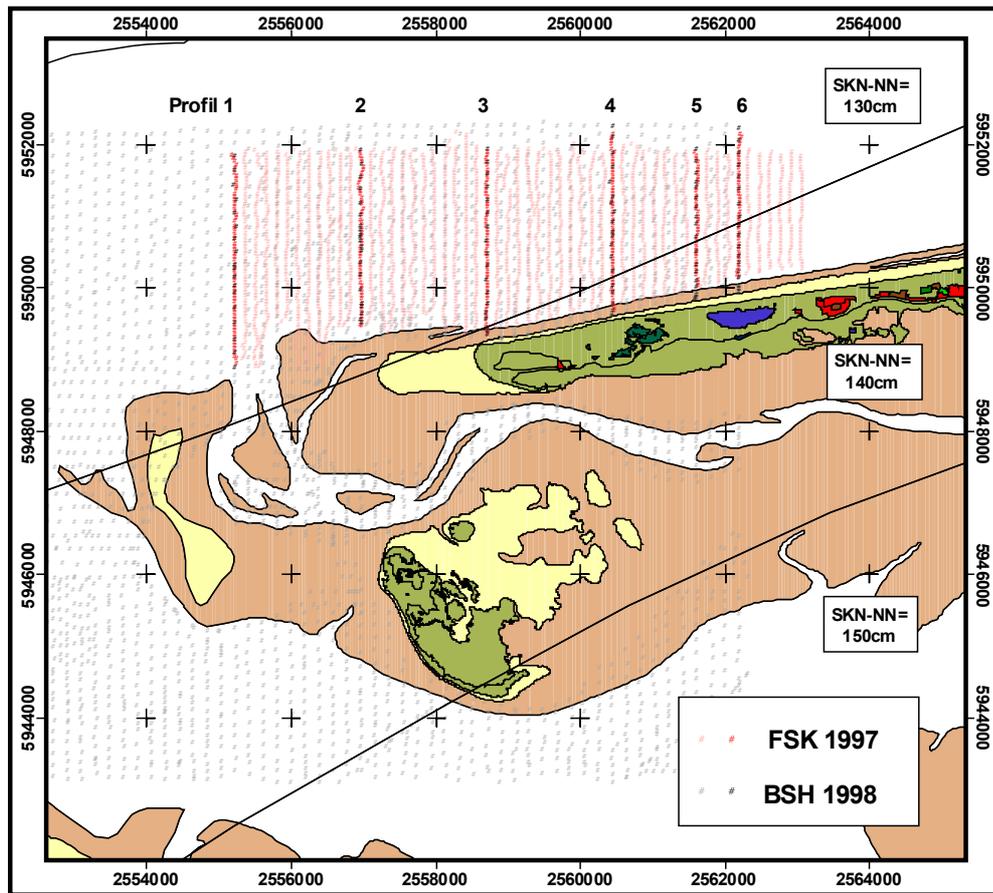


Abb. 3 Lage vergleichbarer Profile in unterschiedlichen Vermessungen

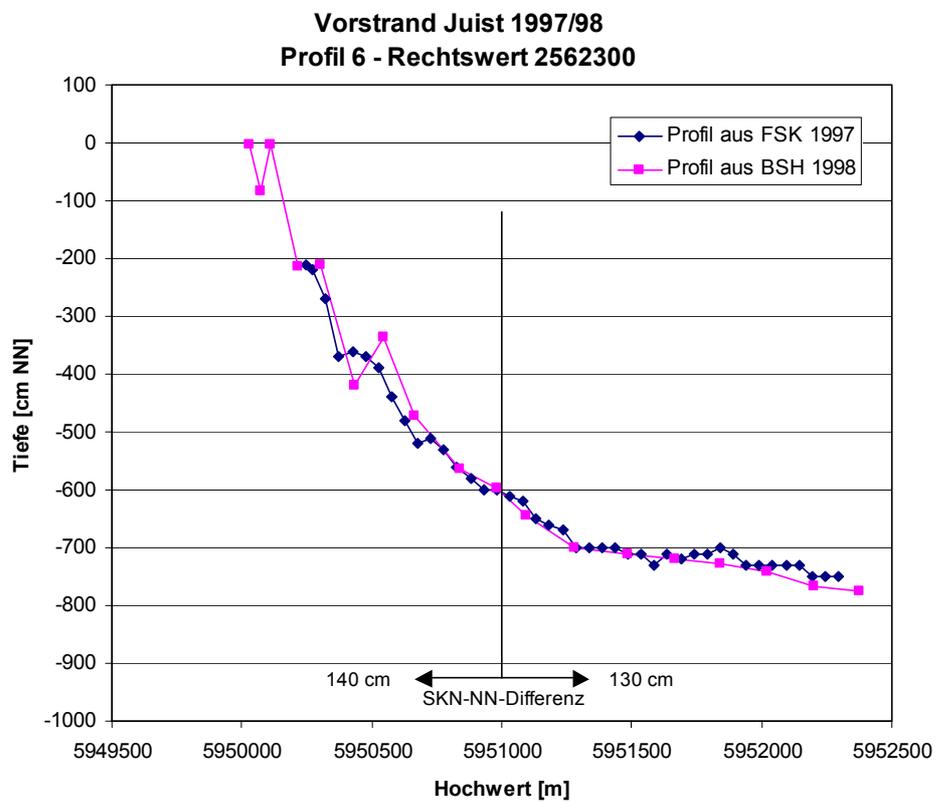


Abb. 4 Vergleich von Querprofilen aus FSK- und BSH-Vermessung

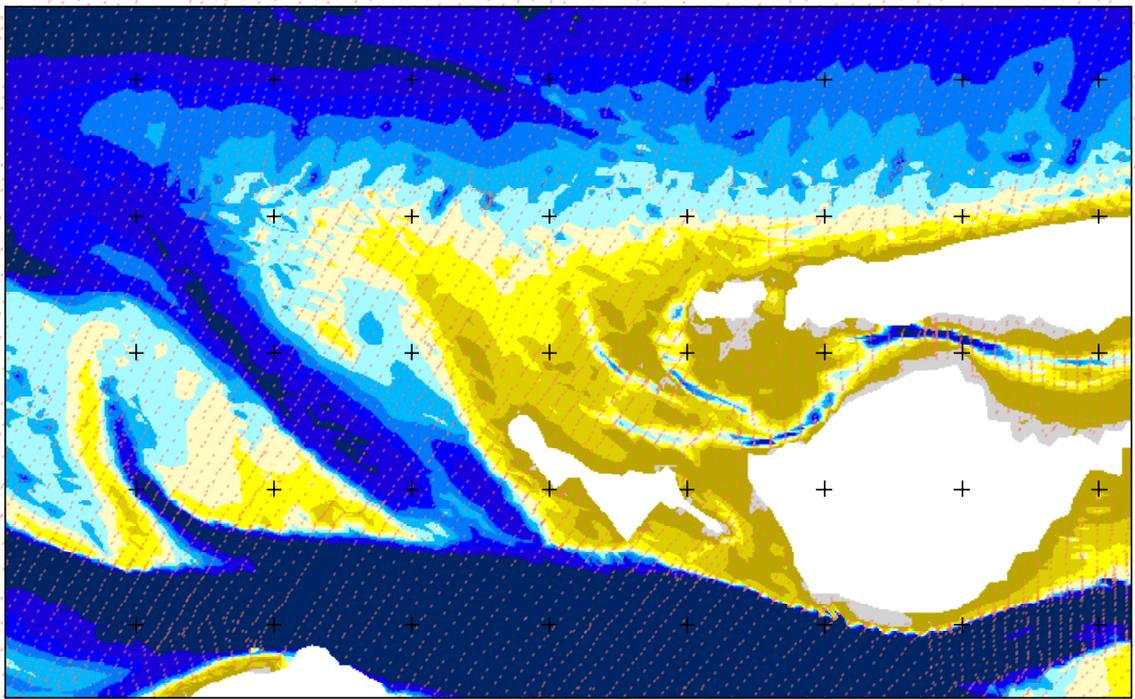
Die Querprofile zeigen eine gute Übereinstimmung in ihrem Verlauf. Trotz unterschiedlicher Quellen und variierender Beschickungsverfahren sind die Tiefenwerte annähernd identisch. Besonders hervorzuheben ist, dass die Grenze zwischen zwei Ringpolygonen (SKN-NN-Differenz 130 bzw. 140 cm) durch das östlichste Profil verläuft und die Berechnung der NN-Werte für die BSH-Daten direkt beeinflusst. Doch auch dieser systematische Unterschied wirkt sich nicht nachteilig auf die Übereinstimmung der Profiltiefen aus. Die Vergleichbarkeit von Peilungen aus unterschiedlichen Quellen ist demnach gegeben.

### *3.3.2 Vergleichbarkeit unterschiedlicher Datenformate*

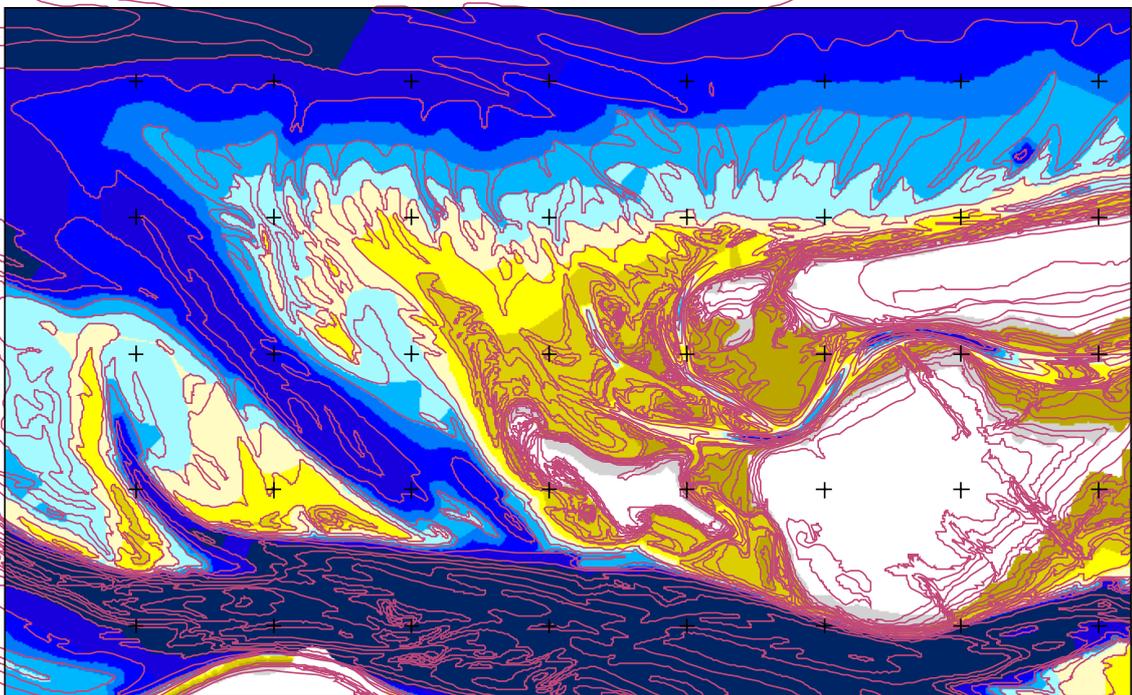
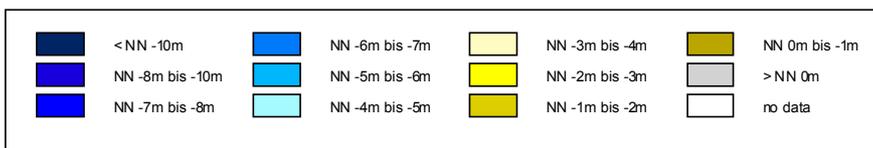
Neben möglichen Ungenauigkeiten, die auf die Originaldaten zurückzuführen sind, birgt die Bearbeitung der Vermessungsdaten unter GIS ArcView weitere Fehlerquellen. Diese Fehler resultieren aus der unterschiedlichen Umsetzung der Datenformate Punkt und Linie in Dreiecksnetze. Während durch die Punktdaten direkt explizite Knotenpunkte vorgegeben sind, werden die Isolinien abschnittsweise unterteilt und miteinander vermascht, um ein TIN zu generieren. Dabei wird häufig bei stark gewundenem Verlauf der Linien eine Dreieckselement aus drei Eckpunkten gleicher Tiefe zusammengesetzt und eine ebene Fläche interpoliert. Die eigentliche Tiefe in diesem Element wird dadurch über- oder unterschätzt.

Zur Abschätzung des Fehlers, der bei der Erstellung der digitalen Geländemodelle durch die Netzgenerierung auftritt, wurde ein Vergleich der Vermessungen des BSH und des KFKI von 1975 vorgenommen. Abb. 5 zeigt die Grid-Darstellung und die Originaldaten beider Vermessungen. Zunächst ist zu beobachten, dass die Karten qualitativ gut übereinstimmen, d.h. die morphologischen Grundformen besitzen für beide Vermessungen sehr ähnliche Ausprägungen. So ist beispielsweise die Hakenbildung am Westende des Juister Riffs in beiden Abbildungen nahezu identisch und auch die Form und Höhe der Brauerplatten sind vergleichbar. Unterschiede sind zu erkennen in der gleichmäßigeren Darstellung des Rinnenverlaufs der Juister Balje in der KFKI-Karte. Außerdem ist an der Nordseite des Juister Riffs bei dem auf Liniendaten beruhenden Grid ein glatterer Verlauf der Tiefenstufen festzustellen. Die BSH-Karte zeigt gerade in diesem Bereich eine stärkere punktuelle Variation.

Um die Unterschiede quantifizieren zu können, wurden für beide Vermessungen von 1975 Flächen- und Volumenberechnungen durchgeführt, die auf den dreidimensionalen Geländemodellen beruhen. Die Ergebnisse wurden zum einen für die Berechnung oberhalb fester Tiefenhorizonte betrachtet (Abb. 6), zum anderen für separate Tiefenschichten mit einer Mächtigkeit von einem Meter (Abb. 7). Abb. 6 zeigt, dass die aus Isolinien ermittelten Raum- und Flächeninhalte überwiegend geringer sind als die aus Punktdaten berechneten Werte. Dabei wurden in Tiefen unterhalb von NN-2m nur geringe Abweichungen festgestellt (Volumen bis max. 1,9%, Flächen bis max. 9,0%), die eine Gegenüberstellung von 3D-Modellen aus Linien- und Punktdaten durchaus rechtfertigt. Für flachere Bereiche hingegen ist die Vergleichbarkeit nicht gewährleistet, da sehr große Differenzen auftreten. Die Ursache liegt darin, dass die nautische BSH-Vermessung nur wenige Daten für Tiefen oberhalb von NN-2m liefert, während in der KFKI-Karte auch die Flachwasserbereiche abgedeckt werden. Insbesondere unterschiedliche Tiefendaten im Gebiet der Kachelotplate (siehe Abb. 5) verursachen die großen Differenzen.



1975 BSH



1975 KFKI

Abb. 5 Vergleich der GIS-Umwandlung bei Linien- und Punktdaten

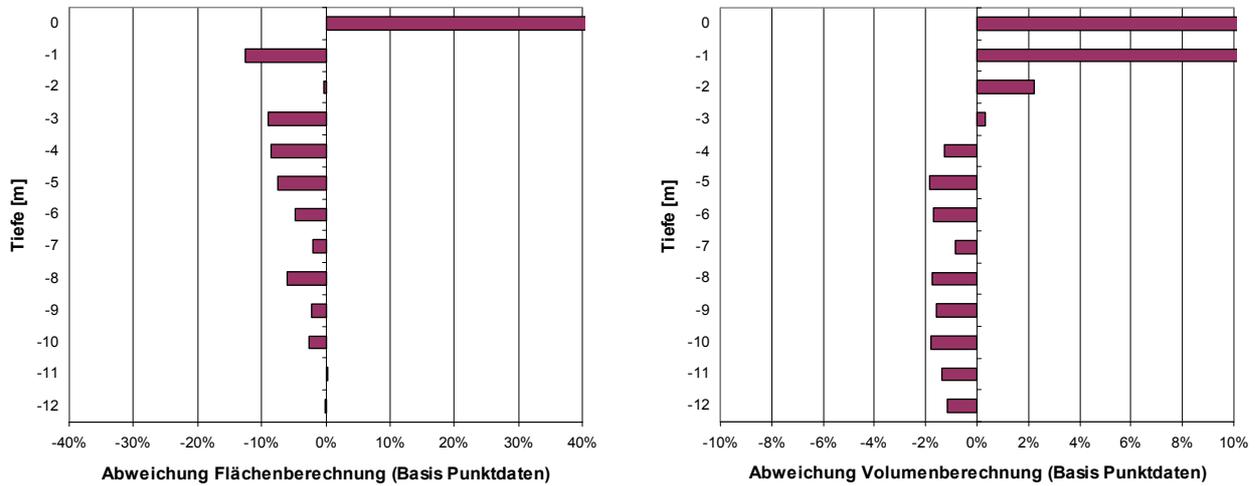


Abb. 6 Vergleich der Flächen- und Volumenberechnung von Linien- und Punktdaten

Bei der Betrachtung separater Tiefenschichten (Abb. 7) ist für die Volumenermittlung eine sehr gute Übereinstimmung der Ergebnisse mit einer maximalen Abweichung von 4,5% zu verzeichnen. Dabei ist das Volumen des aus Linien erzeugten TINs für fast alle Tiefenstufen kleiner als das auf Punktdaten beruhende. Die geringeren Rauminhalte bei der Betrachtung separater Tiefenschichten führen auf geringfügig größere prozentuale Differenzen als in Abb. 6. Doch auch hier ist mit einer durchschnittlichen Abweichung von 2,3% für alle Tiefenbereiche die Vergleichbarkeit sichergestellt. Bei den Flächenbilanzen sind deutlich größere Differenzen zu verzeichnen. Es wurden Abweichungen von bis zu 93% ermittelt. Die Unterschiede dürften im Wesentlichen in der Netzgenerierung von ArcView begründet sein, da durch den Rechenalgorithmus der geschwungene Verlauf von Tiefenlinien stark begradigt wird (Abb. 5). Hinzu kommt die Tatsache, dass die Isolinien nur für bestimmte Tiefen definiert sind und keine stufenlosen Tiefeninformationen liefern. Diese Konzentration auf feste Werte wirkt sich auf die Flächenermittlung zwischen zwei Tiefenhorizonten deutlicher aus als auf die Volumenberechnung und führt zu den großen Flächenunterschieden.

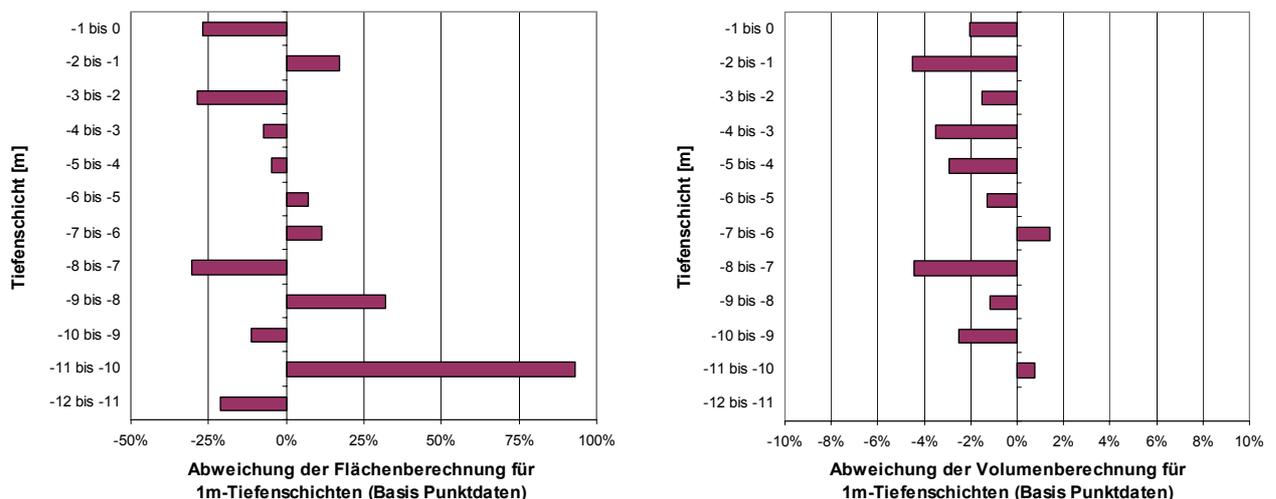


Abb. 7 Vergleich der Flächen- und Volumenberechnung von Linien- und Punktdaten für separate Tiefenschichten

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Vergleichbarkeit von Vermessungen mit unterschiedlichem Datenformat bei absoluten Flächen- und Volumenbilanzen für Tiefen unter NN-2m durchaus gegeben ist. Auch für die Volumenberechnung separater Tiefenschichten sind vergleichbare Ergebnisse zu erwarten, während bei der Flächenermittlungen zwischen zwei Tiefenhorizonten auf die Verwendung von Ergebnissen aus Liniendaten verzichtet werden sollte.

### 3.3.3 Vergleichbarkeit unterschiedlicher Datenformate bei Wattkarten

Die Ergebnisse der Fehlerbetrachtung in Kap. 3.3.2 führen zu der Schlussfolgerung, dass ein Vergleich von Karten mit unterschiedlichen Datenformaten für flache (Watt-)Bereiche wenig sinnvoll ist. Die unterschiedliche Umsetzung der Tiefeninformationen aus Linien und Punkten bei der Verarbeitung mit ArcView führt für Tiefen über NN-2m zu erheblichen Differenzen bei der Flächen- und Volumenberechnung (Abb. 6). Lediglich bei separater Volumenbetrachtung einzelner Tiefenschichten ist die Vergleichbarkeit der Vermessungen gewährleistet (Abb. 7).

Es ist jedoch bei der quantitativen Auswertung zwischen der Volumenberechnung ober- oder unterhalb bestimmter Tiefenhorizonte zu unterscheiden. Während die Analyse des Sedimenthaushalts für Riffe und Sande auf der Volumenermittlung *oberhalb* eines Tiefenhorizontes beruht, wird für die Wattuntersuchungen in erster Linie das Volumen der wasserdurchfluteten Rinnen von Interesse sein. Dazu wird der Flutraum *unterhalb* eines bestimmten Wasserspiegels errechnet. Für diese Flutraumberechnungen wurde eine erneute Fehlerbetrachtung durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung der Berechnungen für Punkt- und Liniendaten (Abb. 8). Die aus Isolinien berechneten Flächenwerte sind zwischen 0,7% und 12,5% kleiner als die Werte aus Punktdaten. Für Tiefenbereiche von NN±0m bis NN-10m beträgt die Abweichung im Mittel -6,3%. Die Volumenberechnung ergibt für Isolinien eine mittlere Abweichung von -4,3%. Die Ergebnisse schwanken zwischen -2,8% und -5,6% gegenüber den Punktdaten. Bei quantitativen Analysen des Flutspeicherraums ist demnach die Vergleichbarkeit von Linien- und Punktdaten unter Berücksichtigung der ermittelten Fehler gewährleistet.

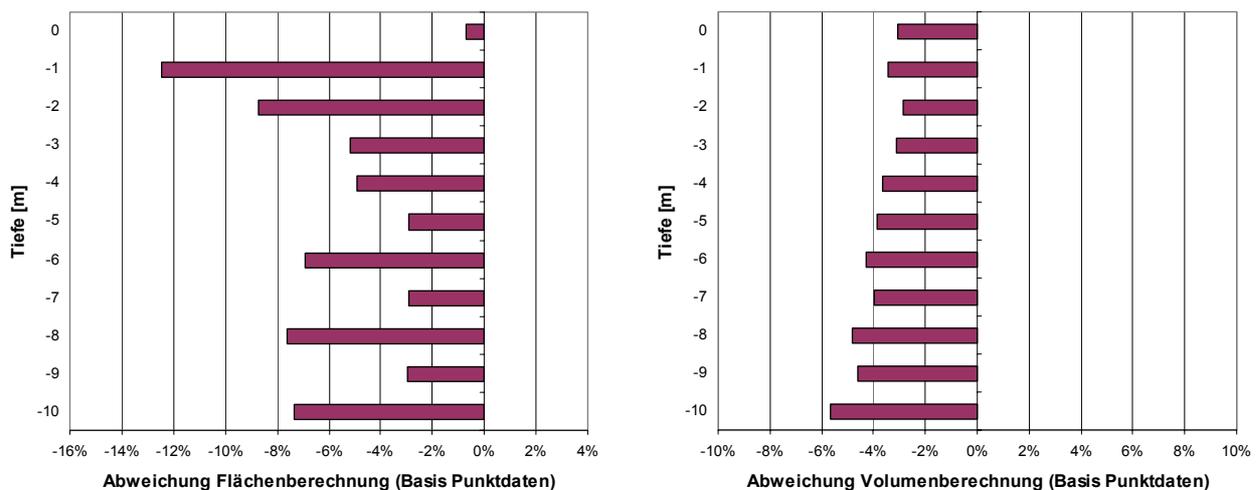


Abb. 8 Fehlerbetrachtung für Volumenberechnungen unterhalb bestimmter Tiefenhorizonte

Die unterschiedlichen Ergebnisse bei den Fehlerbetrachtungen ober- und unterhalb bestimmter Tiefenhorizonte rühren daher, dass bei der Definition des Rinnenvolumens der Einfluss von Kartenunterschieden in höhergelegenen Gebieten wegfällt. Durch Interpolation bei der Gestaltung von Isolinienkarten entstehen, insbesondere in flacheren Bereichen, große Differenzen zu den Punktdaten. Bei der Betrachtung des Sedimentvolumens oberhalb eines Tiefenhorizontes wirken sich diese Unterschiede dann direkt auf die Flächen- und Volumenberechnungen aus und ergeben, wie in Kap. 3.3.2 ermittelt, größere Abweichungen.

### 3.4 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes

Zur Beurteilung der morphologischen Entwicklung im Gebiet westlich von Juist wurde ein Untersuchungsrahmen definiert, der das Juister Riff großräumig umfasst (Abb. 9). Er erstreckt sich von den Brauerplatten im Westen über die Kachelotplate und Memmert nach Osten bis zum Hammersee auf Juist. Die Nord-Süd-Ausdehnung reicht von der Nordseite Borkums bis etwa zur NN-10m-Linie des Juister Riffs. Die Entwicklung in diesem Gebiet wird in Anlage 3 durch 16 Zustände von 1951 bis 2001 dargestellt und in Kap. 4 erläutert.

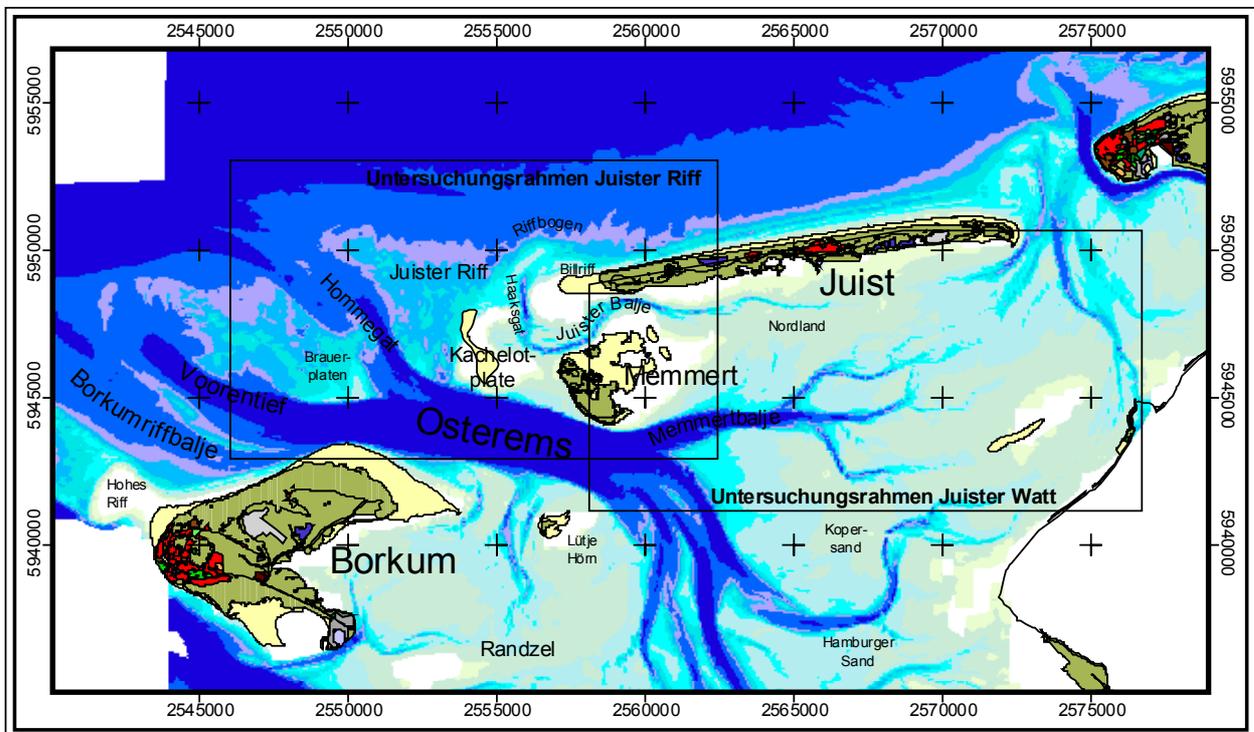


Abb. 9 Ausdehnung des Untersuchungsgebietes

Zusätzlich wurde ein Untersuchungsrahmen im Einzugsgebiet der Juister Balje definiert, um mögliche Veränderungen auf dem Nordland und im Juister Watt quantifizieren zu können. Die Ausdehnung nach Osten über das eigentliche Untersuchungsgebiet hinaus zeigt ursächliche Zusammenhänge zwischen der Entwicklung des Riffbogens und der Schillplate und den Veränderungen der Juister Balje mit ihrem Wateinzugsgebiet auf (Kap. 4.3).

Zur genaueren Betrachtung einzelner morphologischer Einheiten wurde das Untersuchungsgebiet in mehrere Teilbereiche aufgegliedert. Für die Berechnung der Sedimentbilanz im Juister Riff (Kap. 4.1) wurde zum einen ein 35 km<sup>2</sup> großes keilförmiges Gebiet definiert, das den nord-westlichen Teil des Riffs umfasst. Zum anderen wurde in 12 Teilgebieten am Nordrand des Juister Riffs und entlang des westlichen Inselstrandes der Sedimenthaushalt bilanziert. Die Auswertung von Querprofilen entsprechend den verlängerten Strandprofilen auf Juist ergänzt die Aussagekraft dieser Berechnungen. Untersuchungen über den Riffbogen und die Schillplate vervollständigen das Bild von der morphologischen Entwicklung des Juister Riffs. Die Veränderungen im Bereich der Kachelotplate (Kap.4.2) wurden separat untersucht und anhand von Flächenberechnungen ausgewertet. Dabei wurde auch die Umgestaltung des Querschnitts im Übergang von der Insel Memmert zur Kachelotplate analysiert. Die Riffe und Sande westlich des Juister Riffs bestehen aus den Teilbereichen Hommegat und Brauerplatten, deren Entwicklung in Kap. 4.4 und 4.5 thematisiert wird. Die tiefe Rinne der Osterems bzw. des Voorentiefs trennt das Umfeld der Insel Juist von dem der Insel Borkum ab und besitzt ebenfalls große Bedeutung für die morphologische Veränderung im Untersuchungsgebiet. Die langfristige Entwicklung dieses Teilgebiets wird in Kap. 4.6 herausgestellt.

## 4. Morphologische Entwicklung im Untersuchungsgebiet (1951 – 1998)

### 4.1 Juister Riff

Die Luftbilder in Anlage 2 und die Tiefenpläne in Anlage Anlage 3 stellen die Topographie im Gebiet westlich von Juist für verschiedene Jahrgänge dar. Einen qualitativen Überblick über die Entwicklung vermitteln die bei extremen Niedrigwasserständen aufgenommenen Luftbilder, die bis in das Jahr 1929 zurückreichen, während genauere Betrachtungen der Unterwassermorphologie anhand der Tiefenpläne möglich sind, die für den Zeitraum zwischen 1951 und 2001 erstellt wurden. Zusätzlich sind diese Grid-Tiefenpläne als Power-Point-Präsentation auf einer beigelegten CD abrufbar. Die Überblendtechnik veranschaulicht die zeitliche Entwicklung besonders gut und ermöglicht die Lokalisation von Erosions- und Sedimentationsgebieten durch Überlagerung der einzelnen Jahrgänge.

Auffälligste morphologische Großform im Untersuchungsgebiet ist das Juister Riff westlich der Insel Juist. Die Nordseite des Riffs ist annähernd West-Ost orientiert, während es im Südwesten vom Hommegat begrenzt wird. Dadurch ergibt sich eine kompakte Dreiecksform, die bis zum Anfang der 70er Jahre relativ stabil bleibt. Ab 1975 löst sich die nach Nordwesten spitz zulaufende Form des Riffs immer weiter auf. Es findet eine generelle Höhenabnahme statt bei gleichzeitiger Verringerung der Riffausdehnung. Die verbleibenden Flächen oberhalb von NN-4m ziehen sich stark nach Ost-südost zurück. Der ungünstigste Zustand wird 1995 erreicht. Zu diesem Zeitpunkt liegt nur noch ein geringer Teil des Riffs über NN-4m. Erhebliche Sedimentmengen sind durch Verlagerung in den Riffbogen und zur Kachelotplate verloren gegangen. Bis 2001 sind dann wieder Höhenzunahmen im Nordwesten des Riffs festzustellen.

Im nördlichen Teil des Riffs zeichnet sich seit 1982 die Entstehung eines Riffbogens ab, wie bei den Seegaten der übrigen Ostfriesischen Inseln. Erhebliche Sandmengen werden im Mündungsbereich der Juister Balje nach Norden verlagert. Die bislang vorherrschende Ost-West-Orientierung der Tiefenlinien an der Nordseite des Juister Riffs wird durch die Bildung des Riffbogens aufgelöst. Gleichzeitig verlagern sich westlich des Riffbogens die Tiefenlinien deutlich nach Süden. 1995 nimmt der Riffbogen mit Höhen von NN -3 m bis NN -1 m seine ausgeprägteste Form an. Der Sandtransport aus dem Gebiet des Juister Riffs und der Kachelotplate verläuft auf einer stark bogenförmigen Bahn zum Anlandungsbereich auf Höhe des Billriffs westlich von Juist. Nach 1995 ist die Entwicklung des Riffbogens wieder rückläufig. In der Topographie von 1998 erscheint der Riffbogen nicht mehr so ausgeprägt, Platen haben sich gelöst, nach Osten verlagert und eine Höhenzunahme im Bereich nördlich des Billriffs bewirkt. Der Riffbogen wird zudem von einer nach Norden gerichteten Rinne mit Tiefen unterhalb von NN-3m durchbrochen.

Die aktuelle Peilung des BSH von 2001 bestätigt die Fortsetzung der tendenziellen Entwicklung zwischen 1995 und 1998. Die Höhenzunahme im Juister Riff hält an, begleitet von einer deutlichen Ausdehnung der Rifffläche zwischen NN-4m und NN-2m. Innerhalb des Riffbogens findet eine Sedimentverlagerung nach Südosten statt, so dass sich die Platenwanderung auf einer kürzeren Bahn vollzieht. Gleichzeitig ist die Mündungsrinne der Juister Balje nicht mehr so ausgeprägt: Sie durchbricht den Riffbogen nur noch in Tiefen oberhalb NN-3m, wobei der Durchbruch nach Westen verschwenkt. Die Anlandung der Platen aus dem Riffbogen scheint sich im Jahr 2001 auch auf den Vorstrandbereich Juist-West auszuwirken. Die 1998 noch bis zu NN-5m tiefe, strandparallele Rinne füllt sich um ca. 1 m auf. Eine genauere Analyse der Vorstrandsituation wird in Kap. 4.1.2 mit Volumenberechnung und Profilvergleichen durchgeführt. Die Vergrößerung der Brauerplatten setzt sich nach 1998 ebenfalls fort: Sie gewinnen an Höhe und dehnen sich weiterhin aus. Aufgrund des Sedimentdrucks aus Westen hält auch die

Verschwenkung des Hommegats an: Die Rinne verlagert sich im nördlichen Teil weiter nach Osten und richtet sich verstärkt in Nord-Süd-Richtung aus. Durch diesen Prozess wird der nordwestliche Bereich des Juister Riffs schmaler, während im Bereich zwischen Hommegat und Kachelotplate zunehmend Sedimente abgelagert werden. Auffällig ist außerdem die Herausbildung einer Rinne (max. Tiefe: ~NN-6m) direkt westlich der Kachelotplate, die bei anhaltender Nordentwicklung Auslöser für eine zukünftige Aufgliederung des Juister Riffs sein könnte. Die Kachelotplate selber verändert ihre Form nur unwesentlich: Der nord-westliche Bereich verliert leicht an Höhe, während sich nördlich der Kachelotplate im Übergang zum Riffbogen zusätzliche Sedimentation abzeichnet. Dieser Bereich entspricht nach Lage und Gestalt dem ehemaligen Schapesand und wird auf neueren Karten auch so bezeichnet.

#### *4.1.1 Gesamtbereich des Juister Riffs*

Die Sedimentreserven des Juister Riffs sind ein wichtiger Faktor zur Sicherung des Sandhaushaltes der Insel Juist. Die genaue Diagnose von Form, Lage und Höhe des Juister Riffs ist Voraussetzung, um Ursachen und Zukunftsaussichten der Juister Strandentwicklung beurteilen zu können. Die auffälligen Gestaltsänderungen des Riffs in den letzten Jahrzehnten werden zunächst anhand seiner Lageverschiebung analysiert.

Dazu wurde für das TIN eines jeden Jahrgangs der nordwestlichste Punkt der NN-6m, NN-4m und NN-3m Linie definiert und die Entwicklung des Rechts- bzw. Hochwerts über die Zeit dargestellt (Anlage 4.1). Es ist für die 60er bis 80er Jahre eine Verlagerung nach Osten und nach Süden zu erkennen, die anschließend je nach Tiefenlinie mehr oder weniger stark rückläufig ist. Die sprunghafte Entwicklung der Kurven wird durch starke Zergliederung des Riffs und durch Platenbildung hervorgerufen. So führt beispielsweise die Ablösung von Platen am Südwestrand des Riffs im Bereich des Hommegats zu einer plötzlichen Verlagerung des äußersten NN-3m-Riffpunktes im Jahr 1995 nach Süden.

Zur Vereinheitlichung der Verlagerungswerte wurde daher eine andere Darstellungsweise gewählt. Bei genauer Betrachtung der Veränderung des Rechts- bzw. Hochwerts zeigt sich, dass das Verhältnis von Ost- zu Südverlagerung im Mittel etwa 2:1 beträgt. Der Rückzug des Juister Riffs verläuft somit näherungsweise entlang einer Westnordwest-Achse und lässt sich daher noch treffender durch die Projektion der äußersten Riffpunkte auf diese Achse beschreiben (Übersichtskarte und Diagramm rechts unten in Anlage 4.1). Es wurde ein Bezugspunkt am Rand des Untersuchungsgebiets gewählt und die projizierte Entfernung als Maß für die Verlagerung der äußersten Riffpunkte angesetzt. Zwischen 1951 und 1963 bleibt die Position des äußersten Riffpunktes für die NN-6m Linie nahezu unverändert. Die NN-4m Position hingegen verlagert sich deutlich nach Ost-südost, während der seeseitigste Riffpunkt mit NN-3m Tiefe um rund 2500 m nach WNW verschoben wird. Bis Mitte der 80er Jahre bzw. bis 1995 (für NN-3m) erfolgt dann eine einheitliche Rückentwicklung des Riffs. Die Größenordnung der Verschiebung in ost-südöstliche Richtung beträgt für den äußersten Punkt der NN-6m-Linie 2600 m, für NN-4m 2500 m und für NN-3m 3300 m. Seit Mitte der 80er bzw. Mitte der 90er Jahre dehnt sich das Riff dann wieder in entgegengesetzte Richtung aus. Diese umgekehrte Verlagerung nach WNW dauert bis 2001 an, wobei die Verschiebung der NN-3m (~2700m) und NN-4m-Punkte (~2200m) wesentlich größer ist als die Verschiebung des Riffs in NN-6m Tiefe (~700m). Es bleibt festzuhalten, dass das Juister Riff sich insgesamt in größeren Tiefen (<NN-4m) stärker nach OSO zurückbildet als im flachen Bereich. Eine zyklische Entwicklung, die gelegentlich als Beschreibung für die Platenbewegungen im Bereich der Ostfriesischen Inseln gegeben wird, ist zumindest für Tiefen unterhalb NN-4m nicht nachzuweisen. Da es sich insbesondere in größeren Tiefen um

eine gerichtete Entwicklung handelt, ist eine substantielle Wiederausdehnung des Juister Riffs in den nächsten Jahren aus diesen Zeit-Weg-Diagrammen nicht abzusehen.

Neben der Verlagerung wurde die zeitliche Entwicklung der Gesamtfläche bzw. des Gesamtvolumens für das Juister Riff untersucht. In Abb. 10 ist das keilförmige Gebiet dargestellt, für das diese Berechnungen durchgeführt wurden. Das Gebiet wird im Südosten von der Kachelotplate, am südwestlichen Rand vom Hommegat und im Norden ungefähr von der NN-10m-Tiefenlinie begrenzt. Die Auswertung basiert auf den digitalen Geländemodellen, die für alle vorliegenden Vermessungsjahrgänge von 1951 bis 2001 erzeugt wurden. Die Ergebnisse sind in Anlage 4.2.1 bis 4.2.3 dargestellt.

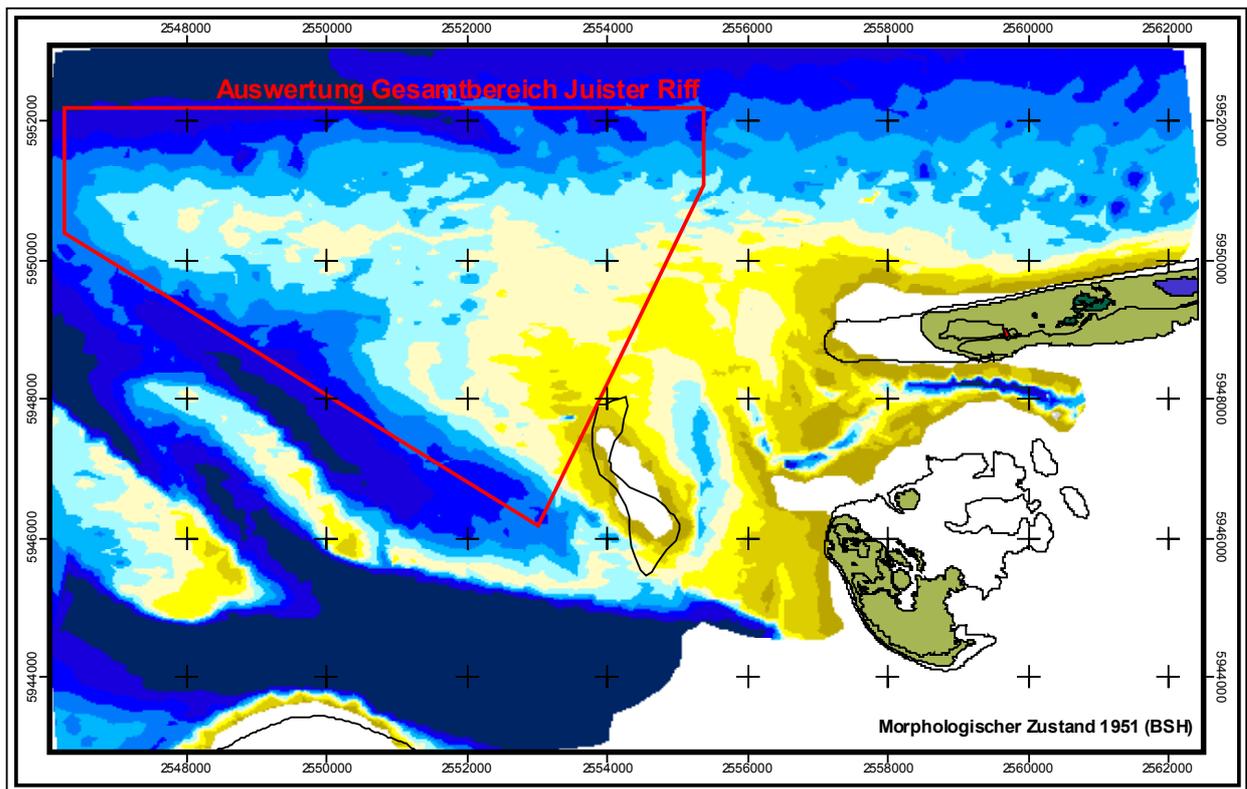


Abb. 10 Abgrenzung für Volumenauswertung (Gesamtbereich Juister Riff)

Aus der Entwicklung der Volumina gegenüber 1951 lassen sich Parallelen zur Riffverlagerung in Anlage 4.1 ziehen: Das Riffvolumen nimmt von 1951 bis 1963 geringfügig zu und sinkt in den Jahren danach wieder deutlich ab (1963-1995: -28 Mio. m<sup>3</sup> oberhalb NN-6m). Dabei ist der Volumenverlust in Tiefen unterhalb NN-5m besonders ausgeprägt, während in Tiefen zwischen NN-2m und NN-5m erst seit Beginn der 80er Jahre Volumenzunahmen auftreten (vgl. Anl. 4.2.1). 1995 tritt der ungünstigste Zustand mit dem geringsten Sedimentvolumen in allen Tiefenbereichen ein. Auch hier ist für die folgenden Jahre eine Umkehrung der Entwicklung zu verzeichnen mit deutlichem Volumengewinn im Juister Riff (1995-2001: +10,6 Mio. m<sup>3</sup> oberhalb NN-6m). Das Niveau der 60er Jahre wird jedoch bei weitem nicht wieder erreicht. Insgesamt beträgt der Sedimentverlust oberhalb von NN-6m zwischen 1951 und 2001 11,8 Mio. m<sup>3</sup>.

Aus der Flächenberechnung (Anlage 4.2.2) ist eine ähnliche Gesamtentwicklung zu erkennen: geringe Veränderungen bis 1963 (-0,8 km<sup>2</sup> für NN-6m), anschließend deutliche Flächenverluste in tieferen Bereichen (-8,6 km<sup>2</sup> für NN-4m bzw. -10,5 km<sup>2</sup> für NN-6m), ungünstigste Situation 1995 und erneute Flächenzunahme bis 2001 (um +4,5 km<sup>2</sup> für NN-4m bzw. um +4,2 km<sup>2</sup> für NN-6m). Besonders auffällig ist bei dieser Zeitreihe, die unterschiedliche Entwicklung der Rifffläche in Abhängigkeit von der Tiefe. Während für die Tiefenhorizonte NN-5m von 1951

bis 1995 ständig Flächenabnahmen zu verzeichnen sind, gewinnen die Flächen NN-4m bis in die 60er Jahre, teilweise sogar bis 1982 (NN-2m), an Ausdehnung. Bis 1995 reduziert sich die Rifffläche auch in diesen höhergelegenen Bereichen, ehe sie 2001 wieder annähernd das Niveau von 1951 erreicht (-0,3 km<sup>2</sup> für NN-2m und NN-3m, -1,4 km<sup>2</sup> für NN-4m). Insgesamt treten für die Tiefenhorizonte NN-5m bis NN-8m im Vergleich von 2001 zu 1951 die höchsten Flächenverluste auf (-5,6 bis -6,8 km<sup>2</sup>).

Um die Unterschiede in der Volumenentwicklung für die einzelnen Tiefenstufen noch deutlicher zu machen, wurden zusätzlich die Volumina für Schichten mit einer Mächtigkeit von 1 m berechnet. Die Ergebnisse für die separaten Tiefenhorizonte sind in Anlage 4.2.3 dargestellt. Besonders deutliche Volumenverluste sind im Zeitraum von 1963 bis 1995 für den Tiefenbereich zwischen NN-5m und -6m bzw. zwischen NN-6m und -7m zu erkennen. In den Tiefenabschnitten oberhalb von NN-4m hingegen sinkt das Volumen erst seit Mitte der 80er Jahre auf geringere Werte als 1951.

In früheren Arbeiten zur Morphologie der Juister Strände wurde oftmals eine Auswertung der Strand- und Vorstrandprofile hinsichtlich der Verschiebung von Tiefenlinien bzw. die Darstellung dieser Auswertung als Zeit-Weg-Diagramm vorgenommen. Im Hinblick auf die ausführliche Volumenanalyse, die im Rahmen dieses Projektes durchgeführt wurde, wird hier auf diesen Schritt verzichtet. Es wird als ebenso sinnvoll erachtet, die Ergebnisse der Volumenberechnung mit der Darstellung von Profilen und Tiefenplänen zu kombinieren. Die Volumenbetrachtung bietet zudem den Vorteil, dass sie morphologische Veränderungen sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung erfasst, während die Erstellung von Zeit-Weg-Diagrammen durch den Bezug der Verlagerungswerte auf eine bestimmte Tiefe innerhalb eines Profils immer die Gefahr birgt, nur einen Einzelfall aufgezeichnet zu haben. Insbesondere bei der Zergliederung des Vorstrandbereiches in zahlreiche Rinnen und Senken erlaubt die Volumenauswertung daher eine umfassendere Analyse.

Die Darstellung der Flächen- und Volumenberechnungen für das Juister Riff verdeutlicht die Notwendigkeit, die morphologische Entwicklung besonders auch in tieferen Bereichen zu betrachten. Die Zeitreihen für die Flächenentwicklung (Anlage 4.2.2) und die einzelnen Tiefenschichten (Anlage 4.2.3) zeigen einen deutlich unterschiedlichen Verlauf ober- und unterhalb NN-4m bzw. NN-5m. Diese Grenze trennt die gerichteten Erosionsprozesse im Tiefwasserbereich, die einen nachhaltigen Volumenverlust im Juister Riff verursachen, von den kurzfristigeren Veränderungen in flacheren Lagen. Bei den Trendberechnungen für den Vorstrandbereich Juist-West (siehe Kap. 4.1.3) wird diese Tatsache explizit berücksichtigt und eine nach Tiefenbereichen getrennte Volumenanalyse vorgenommen.

#### *4.1.2 Teilgebiete am Nordrand des Juister Riffs – Vorstrandbereich Juist West*

Die Auswirkungen der Umformungsprozesse im Juister Riff auf die Inselstrände sind durch die kleinräumige Betrachtung der morphologischen Entwicklung anhand von mehreren Teilgebieten untersucht worden. Die rechteckigen Teilgebiete mit Flächengrößen von 2,5 bis 7,0 km<sup>2</sup> erstrecken sich vom Nordrand des Juister Riffs über den Riffbogen bis zum Vorstrandbereich Juist-West (Abb. 11). Die zunächst auf 9 Teilgebiete bezogenen Berechnungen wurden im Laufe des Projektes um 3 weitere nach Osten bis zur Höhe des Juister Ortskerns ausgedehnt. Dadurch kann die Entwicklung in Gebieten mit negativer Sedimentbilanz mit den Vorgängen in Bereichen mit positivem Sandhaushalt verglichen werden. Im Westteil der Insel sind die Teilgebiete in Übereinstimmung mit den jährlich vermessenen Strandprofilen gewählt worden (zur Analyse der Profildaten siehe NLWK (2000)). Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass als Grundlage für die hier vorliegende Auswertung die Peildaten der nautischen Vermessungen verwendet wurden.

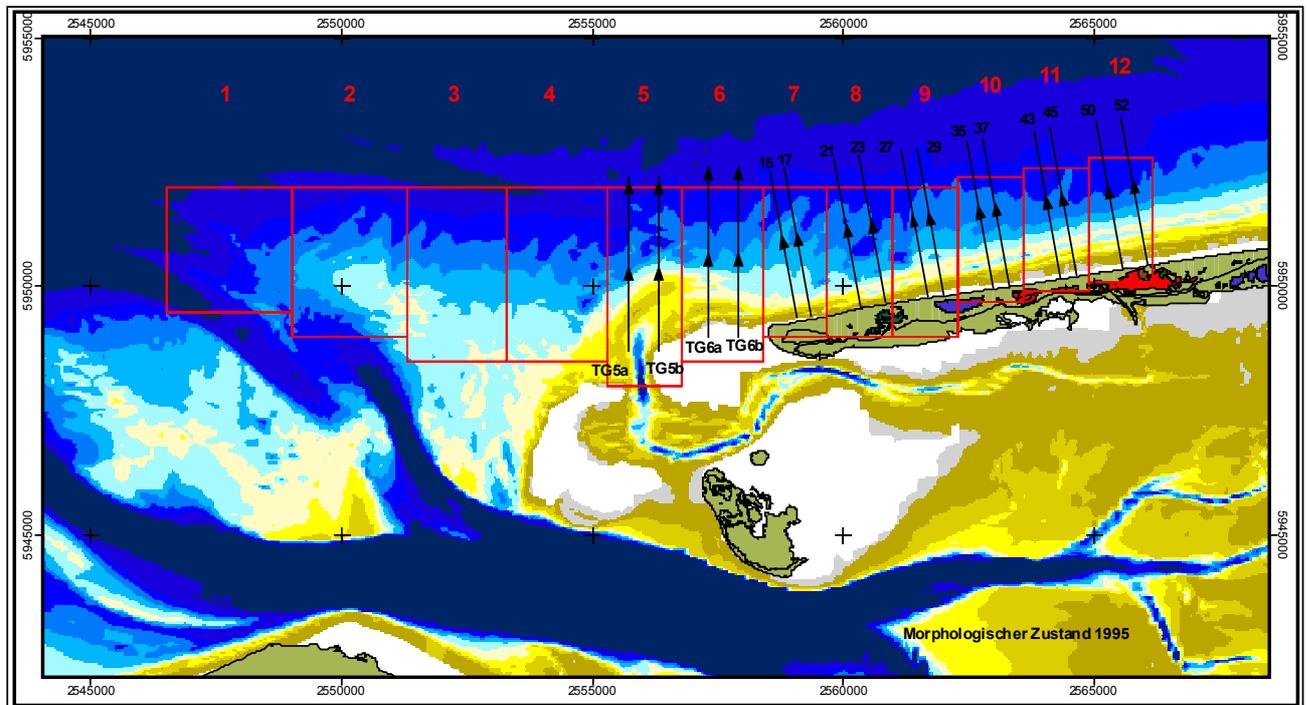


Abb. 11 Übersicht über die Lage der gewählten Teilgebiete und Profile im Juister Riff

Für die Volumenauswertung in den Teilgebieten standen die Vermessungen von 1951 bis 1998 zur Verfügung (Anlage 4.3), für die TG 6 bis 8 zusätzlich die Peilungen von 2000 und 2001. Um eine Vergleichbarkeit der Jahrgänge zu gewährleisten, ist die Abgrenzung einheitlicher Grundflächen notwendig, in denen für alle Zustände flächendeckend Messdaten vorhanden sind. Aus diesem Grunde erstrecken sich die TG 6 und 7 im Süden nicht sehr weit in den Bereich des Billriffs. Die Ergebnisse für die Entwicklung des Sedimenthaushalts sind in Anlage 4.3.1 dargestellt. Neben dem Sedimentvolumen für verschiedene Tiefenhorizonte ist die zeitliche Veränderung der mittleren Tiefe (Quotient aus Volumen und Grundfläche je Teilgebiet) abgebildet. Dieser Kennwert eignet sich gut zur groben Charakterisierung der morphologischen Veränderung und ermöglicht den Vergleich der Massenentwicklung auch für unterschiedlich große Teilgebietsflächen. Zusätzlich sind für die mittlere Tiefe Trendberechnungen durchgeführt worden, die die mittlere jährliche Tiefenveränderung für die Zeiträume 1951 bis 1998 bzw. 1963 bis 1998 angeben.

Der Kurvenverlauf für die Sedimentsumme aller Teilgebiete (Diagramm TG 1-12 in Anlage 4.3.1) zeigt große Ähnlichkeit mit der Volumenentwicklung für den in Kap. 4.1.1 gewählten Gesamtbereich des Juister Riffs (vgl. Abb. 10). Eine kurze Phase mit Volumenzunahme von 1951 bis 1963 wird gefolgt von stetigem Sedimentverlust bis 1995. Nach Erreichen dieses Minimums nimmt das Sedimentangebot im Juister Riff schließlich bis 1998 wieder zu. Für die einzelnen Teilgebiete ergeben sich dann jedoch sehr unterschiedliche Kurvenverläufe. In TG 1 im äußersten Nordwesten des Juister Riffs treten erwartungsgemäß die größten Volumenverluste auf, wobei bezeichnenderweise auch die Phase von 1951 bis 1963 eine negative Tendenz aufweist. Für TG 2 und 3 ähneln die Kurvenverläufe in etwa der charakteristischen Entwicklung des Gesamtbereiches TG 1-12. Der Massenverlust bzw. die Tiefenabnahme ist dabei in TG 3 sogar höher als in TG 2, was sich mit der entstehenden Einbuchtung an der Nordseite des Juister Riffs erklären lässt. Auch TG 4 ist von diesem Effekt betroffen, erfährt aber einen noch nachhaltigeren Volumenrückgang, da durch die Herausbildung des Riffbogens seit Mitte der 80er Jahre verstärkt Sedimente aus diesem Bereich abgezogen werden. Auch zwischen 1995 und 1998 ist in diesem Gebiet kaum Volumenzuwachs zu verzeichnen. Besonders auffällig ist in TG 4 die unterschiedliche Entwicklung für verschiedene Tiefenbereiche. Während das Volumen bis 1990

bereits um 8 Mio. m<sup>3</sup> insgesamt zurückgegangen ist, ist oberhalb von NN-4m bis zu diesem Zeitpunkt noch ein Volumengewinn gegenüber 1951 zu erkennen. Der Einfluss der Riffbogenbildung zeigt sich auch in TG 5 und 6, die sich in der Mitte des Riffbogens befinden, wo sich die Tiefenlinien nach 1985 deutlich in nördliche Richtung verlagern. Allerdings fällt die dadurch erwartete Volumenzunahme relativ gering aus und vollzieht sich für TG 5 bereits überwiegend in den Jahren vor der Ausbildung des Riffbogens. In TG 6 ist ein geringfügiges Anwachsen des Sedimentvolumens seit 1985 vor allem in den flacheren Bereichen erkennbar. Wie schon in TG 4 sind auch in TG 5 und 6 erhebliche Entwicklungsunterschiede je nach Tiefenstufe zu verzeichnen.

Die TG 7, 8 und 9 befinden sich im Vorstrandbereich Juists und erfahren ebenfalls seit 1963 anhaltende Volumenverluste. Diese negative Tendenz wird seit Einsetzen der Riffbogenbildung Ende der 80er Jahre zwar abgebremst, dennoch bleiben weitere Sedimentverluste, bedingt vor allem durch Erosion in tieferen Bereichen, nicht aus. Für TG 10 verringert sich der Volumenrückgang im Vorstrandbereich dann deutlich und die Tiefenabnahme fällt wesentlich geringer aus als in den weiter westlich gelegenen Teilgebieten. Allerdings verläuft die Entwicklung auch sehr viel uneinheitlicher. Für den Tiefenbereich oberhalb NN-5m ist auch in jüngeren Jahren noch eine ausgeglichene bis positive Tendenz zu erkennen, während die darunterliegenden Bereiche erheblichen Sedimentverlusten ausgesetzt sind. Auch hier bestätigt sich wieder die These der tendenziell unterschiedlichen Entwicklung in verschiedenen Tiefenbereichen. TG 11 zeichnet sich durch einen annähernd ausgeglichenen Sedimenthaushalt aus. Die mittlere Tiefe ändert sich zwischen 1951 und 1998 kaum. Aus der Trendberechnung ist der Wert von 1985 herausgenommen worden, da sich das erheblich größere Volumen dieses Jahres im Vergleich zu den umliegenden Jahrgängen morphologisch nicht erklären lässt. Die Volumenkurve zeigt weiterhin, dass einer positiven Veränderung des Volumens oberhalb NN-6m starke Verluste in tieferen Bereichen gegenüberstehen. TG 12 ist letztendlich von einer insgesamt positiven Sedimentbilanz geprägt.

Die Entwicklung in den 12 Teilgebieten ist zusammenfassend in Abb. 12 durch die berechneten Trendwerte für die mittlere Tiefenveränderung dargestellt.

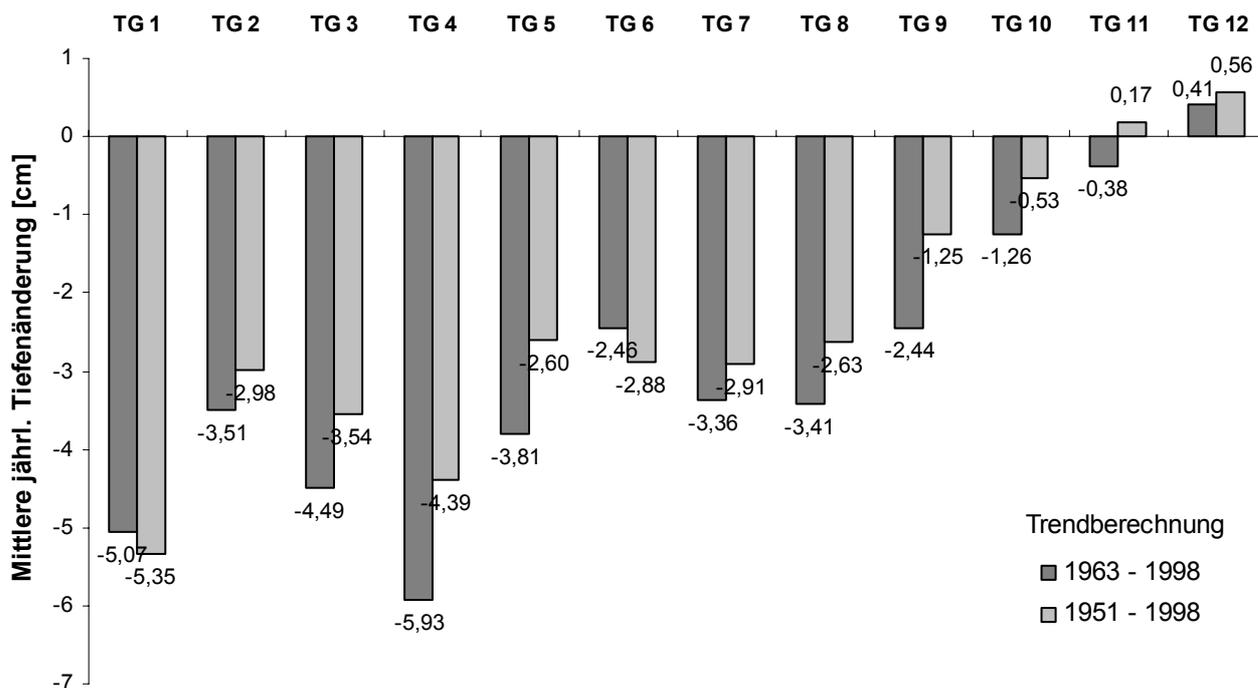


Abb. 12 Mittlere jährliche Tiefenänderung in den 12 Teilgebieten aus Abb. 11

Die Tatsache, dass eine überwiegend ausgeglichene Sedimentbilanz erst ab TG 11 erreicht wird, macht deutlich, wie wichtig es ist, bei der Beurteilung morphologischer Veränderungen auch den Tiefwasserbereich zu berücksichtigen, der für die Sedimentverluste eine große Bedeutung zu haben scheint. Die Betrachtung der Dünen- und Strandverhältnisse allein führt bei der Abschätzung der Entwicklung unter Umständen zu anderen Schlussfolgerungen. In früheren Untersuchungen (STEPHAN (1995), NLWK (2000)) ergibt sich aus der Analyse der Strandverhältnisse jedenfalls ein weiter westlich, im Bereich des Hammersees, gelegener Punkt mit ausgeglichener Sedimentbilanz.

Die Entwicklung am Nordrand des Juister Riffs wird auch durch die zusätzliche Auswertung von Querprofilen verdeutlicht (Anlage 4.3.2). Die vorliegenden Profile wurden innerhalb der Teilgebiete entsprechend den verlängerten Strandprofilen auf Juist gewählt und betreffen den tiefergelegenen Vorstrandbereich, der durch nautische Vermessung noch erfasst wurde (bis max. NN±0m). In jedem Profil sind fünf charakteristische Jahrgänge dargestellt; für die in den Teilgebieten 5 bis 9 befindlichen Profile konnten zusätzlich die Peildaten von 2000 und 2001 ausgelesen werden. Die Profildiagramme geben Aufschluss über die Ursachen, die zu den oben aufgezeigten Änderungen des Sedimentvolumens bzw. der mittleren Tiefen geführt haben. Durch die Überlagerung der Jahrgänge wird die Lokalisation der Verlustbereiche ermöglicht.

Es zeigt sich in fast allen Profilen eine Tiefenabnahme, die besonders deutlich wird, wenn man die Zustände von 1951 und 1998 in tieferen Bereichen (unterhalb NN-5m) vergleicht. Das Geländeniveau senkt sich in dieser Tiefe vielfach um mehr als einen Meter. Die Nord-Süd-Profile in den Teilgebieten 5 und 6 verlieren sogar noch beträchtlicher an Höhe (~2 m in den letzten 50 Jahren). Die Situation in flacheren Tiefenbereichen ist in den TG 5 und 6 von der Entstehung des Riffbogens beeinflusst und unterliegt dadurch in jüngerer Zeit starken Schwankungen. Im Vergleich zu 1951 kommt es in TG 5 oberhalb NN-3m zu deutlichen Höhengewinnen, der Bereich darunter verliert jedoch erheblich an Sediment. Dadurch verlagert sich die NN-5m-Linie beispielsweise trotz der Riffbogenbildung entlang der Profile in TG 5 um rund 750 m nach Süden, in TG 6 um ca. 900 m (von 1951 bis 2001). Die mehrheitlich beobachtete Tiefenzunahme schwächt sich für die weiteren Teilgebiete in östliche Richtung ab und tritt ab Profil 37 überwiegend unterhalb NN-6m auf. Bezeichnend ist jedoch, dass sogar für die im Teilgebiet 12 gelegenen Profile in großen Tiefen eine negative Tendenz zu erkennen ist.

#### *4.1.3 Trendberechnung für Vorstrandbereich Juist-West*

Die Planung von möglichen technischen Lösungsvarianten zur Eindämmung bzw. zum Ausgleich der negativen Sedimentbilanz am Westende Juists wirft zwangsläufig die Frage auf, wie groß die zu verhindernden Massenverluste in Zukunft sein werden. Um Größenordnungen hierfür abschätzen zu können, wurden die Volumen-Zeit-Kurven der vergangenen Jahrzehnte durch einen linearen Trend angenähert. Für die betroffenen Teilgebiete 7 bis 10 im westlichen Strandbereich der Insel Juist sind die Ergebnisse der Volumenbilanzierung in Anl. 4.4 dargestellt. Auch hier zeigt sich, ähnlich wie beim Gesamtbereich Juister Riff, dass die Entwicklung 1963 ein Maximum erreicht und anschließend überwiegend negativ ist. Die resultierenden Trendberechnungen sind daher für den Zeitraum 1963 bis 1998 durchgeführt worden (Tabelle 3). Da die Peilungen der Jahre 2000 und 2001 nur TG 7 und 8 komplett abdecken, kann eine Trendanalyse für alle TG lediglich bis 1998 vorgenommen werden.

Der Sedimentverlust in TG 7 und TG 8 beträgt im Mittel gut 100000 m<sup>3</sup> jährlich, während die Einbußen in TG 9 und 10 deutlich geringer ausfallen. Die Entwicklung in TG 10 ist darüber hinaus nicht so geradlinig wie in den übrigen Teilgebieten: Bis zum Jahr 1982 sind leichte

Volumengewinne zu verzeichnen, ehe die Sedimentmenge in den Folgejahren ebenfalls zurückgeht.

Tabelle 3: Trenduntersuchung des Volumenrückgangs in TG 7-10 (Zeitraum 1963-1998)

|   | <b>TG 7</b> | <b>TG 8</b> | <b>TG 9</b> | <b>TG 10</b> |
|---|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Länge der Küstenlinie [m]   | ~1300       | ~1300       | ~1300       | ~1300        |
| Mittlerer jährl. <b>Gesamtverlust</b> [m <sup>3</sup> ]             | -122800     | -113300     | -67300      | -34100       |
| Sedimentverlust [m <sup>3</sup> /m Küstenlinie]                     | -94,46      | -87,15      | -51,77      | -26,23       |
| Korrelationskoeffizient [-]   | 0,96        | 0,92        | 0,88        | 0,50         |
| Mittlerer jährl. <b>Volumenverlust &gt; NN-5m</b> [m <sup>3</sup> ] | -48400      | -34800      | -11100      | 5600         |
| Sedimentverlust [m <sup>3</sup> /m Küstenlinie]                     | -37,23      | -26,77      | -8,54       | 4,31         |
| Korrelationskoeffizient [-]   | 0,95        | 0,82        | 0,56        | 0,06         |
| Mittlerer jährl. <b>Volumenverlust &lt; NN-5m</b> [m <sup>3</sup> ] | -74400      | -78500      | -56200      | -39700       |
| Sedimentverlust [m <sup>3</sup> /m Küstenlinie]                     | -57,23      | -60,38      | -43,23      | -30,54       |
| Korrelationskoeffizient [-]   | 0,86        | 0,95        | 0,91        | 0,81         |

Die Tatsache, dass die ermittelte Sedimentbilanz auch in TG 9 und 10 negativ ausfällt, überrascht, wenn man den Vergleich mit bereits vorhandenen morphologischen Untersuchungen heranzieht (z.B. STEPHAN (1995)). Dort war der Sandhaushalt der Insel Juist östlich des Hammersees stets positiv beurteilt worden. Dieser scheinbare Widerspruch erklärt sich durch die unterschiedliche Datengrundlage, die bei den früheren Arbeiten vor allem aus Profilmessungen bestand und den Strandbereich oberhalb MThw umfasste. Die hier vorliegenden Berechnungen beruhen hingegen auf nautischen Vermessungsdaten mit einem Messbereich vom Tiefwasser bis maximal NN±0m. Daraus ergibt sich die Vermutung, dass ein Großteil der Massenverluste im tieferen Vorstrandbereich stattfinden könnte. Diese These wird durch die getrennte Berechnung des Sedimentvolumens ober- und unterhalb NN-5m bekräftigt (Tabelle 3, Zeile 5-10, sowie Anl. 4.4):

- Oberhalb NN-5m ergeben sich deutlich geringere Abbruchraten als unterhalb NN-5m
- Unterhalb NN-5m tritt Erosion in allen Teilgebieten auf, auch in TG 10 herrscht eine deutlich negative Sedimentbilanz
- Unterhalb NN-5m unterstreichen relativ hohe Korrelationskoeffizienten die stetigen Massenverluste im Tiefwasserbereich
- Der Sedimenthaushalt unterliegt oberhalb NN-5m größeren Schwankungen als in tieferen Bereichen (kleinere Korrelationskoeffizienten)
- Die variable Entwicklung in TG 10 resultiert aus großen Volumenschwankungen oberhalb NN-5m (Anl. 4.4 Mitte: positive Sedimentbilanz von 1951 bis 1969, dann uneinheitlicher Trend, ausgeglichene bis leicht negative Tendenz seit 1985), während das Volumen unterhalb NN-5m (Anl. 4.4 unten) seit Ende der 60er Jahre relativ gleichförmig abnimmt.

Aus der getrennten Betrachtung der Tiefenbereiche lässt sich insgesamt die Folgerung schließen, dass die Volumenentwicklung in tieferen, seewärtigen Gebieten vor Juist noch größere Verluste aufweist als die Strandprofile bisher vermuten ließen. Die erosiven Prozesse bleiben demnach nicht auf den strandnahen Bereich beschränkt, sondern betreffen ebenso die Morphologie weit außerhalb der Brandungszone. Dabei scheint sich eine negative Tendenz des Sedimentvolumens im Tiefwasser mit zeitlicher Verzögerung auch auf die Massenentwicklung des Strandes

auszuwirken. Insofern kann von einem Nacheilen der Entwicklung im strandnahen Bereich gegenüber den Veränderungen des Vorstrandes gesprochen werden.

Zum Vergleich mit den Modellrechnungen aus NLWK (2000), mit denen die Wehrhaftigkeit der Schützdünen bei Sturmflutereignissen bewertet wurde, sind die mittleren jährlichen Volumenverluste in Tabelle 3 ebenfalls auf die Teilgebietsbreite bezogen worden (Angaben in  $[m^3/m]$ ). Die Sedimentverluste der Dünen betragen laut Simulationsrechnung des NLWK für Profile, die in TG 7 bzw. TG 8 liegen, zwischen 86 und 166  $m^3/m$ . Diese Werte liegen etwas über der Größenordnung der jährlichen Massenverluste, die in Tabelle 3 für den Vorstrandbereich Juist-West angegeben sind (87 bzw. 94  $m^3/m$  für TG7 und 8). Es sei darauf hingewiesen, dass die hier verglichenen Volumina zum einen den Dünenabbruch (oberhalb NN+3m) betreffen, wie er sich aus Modellrechnungen für Profile bei Eintreten der Bemessungssturmflut ergibt (NLWK (2000)). Zum anderen handelt es sich in den vorliegenden Trenduntersuchungen um den mittleren jährlichen Volumenverlust, berechnet aus Zeitreihen der letzten 35 Jahre. Die Gegenüberstellung zeigt, wie ausgeprägt die Veränderungen des Vorstrandes in den letzten Jahrzehnten sind, wenn am Westende Juists im Unterwasserbereich *jährlich im Mittel* ebenso viel Sediment abtransportiert wird, wie einmalig bei einer Sturmflut am Dünenkörper verloren geht. Diese Erosion im Tiefwasser (unterhalb NN-5m) lässt auf grundlegende strukturelle Umformungen der Morphologie schließen, die sich in Zukunft auch auf die höhergelegenen Strandabschnitte auswirken wird. Eine weitere Südverlagerung der Küstenlinie in den Teilgebieten 7 und 8 (entspricht Profil 13 bis 23) ist somit wahrscheinlich. Da für TG 9 und 10 ebenfalls deutlich negative Tendenzen im tieferen Vorstrand auftreten, kann von einer allmählichen Ausweitung dieser Problematik nach Osten ausgegangen werden.

#### 4.1.4 Verlagerung des Riffbogens

Die Ausbildung des Riffbogens westlich von Juist wird hervorgerufen durch die Konzentration des Ebbstroms, der aus der Juister Balje kommend zwischen der Schillplate und der Kachelotplate (bzw. dem Schapesand) hindurchgeleitet wird. Dieser Prozess verlagert seit Mitte der 80er Jahre große Sedimentmengen auf räumlich begrenztem Gebiet nach Norden und bewirkt so auch eine Verschiebung der Tiefenlinien am Nordrand des Juister Riffs. Die Morphologie des Riffbogens (vgl. Anlage 3) entwickelt sich insofern entgegengesetzt zu der allgemein vorherrschenden Südverschiebung der Strände und Dünen im Westteil Juists.

Da die Riffbogenbildung von entscheidender Bedeutung für die Platananlandung und den Sedimenthaushalt am Westende Juists ist, wird die Frage untersucht, ob die Verlagerung der Tiefenlinien in den letzten Jahren Aufschluss über die weitere Entwicklungstendenz des Riffbogens geben kann. Zu diesem Zweck wurden Zeit-Weg-Pläne erstellt, die die Verschiebung der Tiefenlinien von NN-6m bis NN-2m entlang der Profile TG5a (RW <sup>25</sup>55,7) und TG5b (RW <sup>25</sup>56,3) darstellen (Anlage 4.5).

Für den Gesamtzeitraum von 1951 bis 2000 ist ein deutlicher Rückgang der Tiefenlinien zu verzeichnen. Die NN-6m-Linie verlagert sich in dieser Zeit um rund 1300 m, die NN-5m-Linie um rund 700 m nach Süden. Die Tiefenlinien liegen in jüngerer Zeit zudem näher beieinander, d.h. der ehemals sanft abfallende Nordhang des Juister Riffs bekommt eine steilere Neigung. Die Entstehung des Riffbogens seit 1985 ist in beiden Profilen erkennbar. Entgegen dem allgemeinen Trend einer Südverschiebung kommt es seit 1985 durch die Riffbogenbildung zu einer Verlagerung der Tiefenlinien nach Norden. Besonders ausgeprägt zeigt sich die Änderung der Verlagerungsrichtung im unteren Diagramm für den Tiefenbereich von NN-2m bis NN-5m. Da das Profil TG5b Ende der 90er Jahre in der Mündungsrinne der Juister Balje liegt, sind die

Werte für NN-2m in den Jahren 1998 und 2000 sehr weit nach Süden verschoben. 1990 (Profil TG5a) bzw. 1995 (Profil TG5b) erreicht der Riffbogen seine größte Ausdehnung nach Norden (für Tiefen zwischen NN-3m und -5m). Anschließend setzt eine Rückentwicklung des Riffbogens ein, was insbesondere im östlicheren Profil TG5b (Anlage 4.5 unten) deutlich wird. Dort verlagern sich zwischen 1995 und 2001 die Tiefenlinien NN-3m bis -5m wieder rund 200-300 m in südliche Richtung.

Die Tatsache, dass die NN-6m-Linie von der Herausbildung des Riffbogens nicht beeinflusst wird, bestätigt die These, dass es sich beim Riffbogen um eine zeitlich begrenzte morphologische Form handelt, die lediglich die Sedimentverteilung in flacheren Bereichen verändert. Die Riffbogenbildung wirkt der Südverlagerung des Juister Riffs insgesamt zwar entgegen, kann aber die Lageverschiebung seit den 50er Jahren nur temporär bzw. überhaupt nicht kompensieren. Für größere Tiefen bleibt im Bereich des Riffbogens über den gesamten Beobachtungszeitraum eine deutliche Tendenz zur Verschiebung nach Süden vorhanden, so dass auch mittel- bis langfristig keine Umkehrung der Verlagerungs- und Vertiefungstendenzen im Juister Riff zu erwarten ist.

#### 4.1.5 Schillplate

Innerhalb des Juister Riffs nimmt die Schillplate unmittelbar westlich der Insel Juist eine flächenmäßig bedeutende Position ein. Zusammen mit dem Schapesand und dem Billriff bildet sie einen flachen Bereich oberhalb NN-2m und bindet große Sedimentmengen. Der im Norden und Osten gelegene Teil der Schillplate wird im Allgemeinen als Billriff bezeichnet. Er liegt im direkten Übergang zum Weststrand Juists. Westlich der Schillplate wird der in früheren Jahren zwischen den Mündungsrinnen der Juister Balje gelegene flache Teil als Schapesand definiert. Er ist im Laufe der letzten 50 Jahre großen Formänderungen unterworfen und bis Anfang der 70er Jahre nicht eindeutig von der Schillplate abzugrenzen. Anfang der 90er Jahre geht der Schapesand, bedingt durch die Herausbildung einer tiefen Ebbstromrinne der Juister Balje, in die Form des Riffbogens über und bildet fortan das morphologische Verbindungsglied zwischen Kachelotplate und Riffbogen.

Die Flächenänderung der Schillplate wird durch Tabelle 4 und das Diagramm in Abb. 13 veranschaulicht. Es wurden die durch die NN-1m und NN-2m-Tiefenlinien eingeschlossenen Flächen ermittelt, die westlich des Rechtswerts <sup>25</sup>58,5 liegen. Die südliche und westliche Begrenzung bildet dabei die Juister Balje, so dass der Schapesand in dieser Definition nicht enthalten ist. Die Abgrenzung und Verlagerung der Schillplate wird auch aus Anl. 4.6 ersichtlich.

Tabelle 4 Fläche der Schillplate von 1951 bis 2001

| Jahr | Fläche der Schillplate [km <sup>2</sup> ] |         |
|------|---|---------|
|      | > NN-2m                                   | > NN-1m |
| 1951 | 3,97                                      | 2,14    |
| 1958 | 4,06                                      | 1,63    |
| 1963 | 6,30                                      | 2,93    |
| 1975 | 4,85                                      | 4,14    |
| 1982 | 4,63                                      | 3,75    |
| 1985 | 5,79                                      | 4,46    |
| 1990 | 6,20                                      | 4,36    |
| 1995 | 5,46                                      | 4,28    |
| 1998 | 5,80                                      | 4,58    |
| 2001 | 6,02                                      | 4,61    |

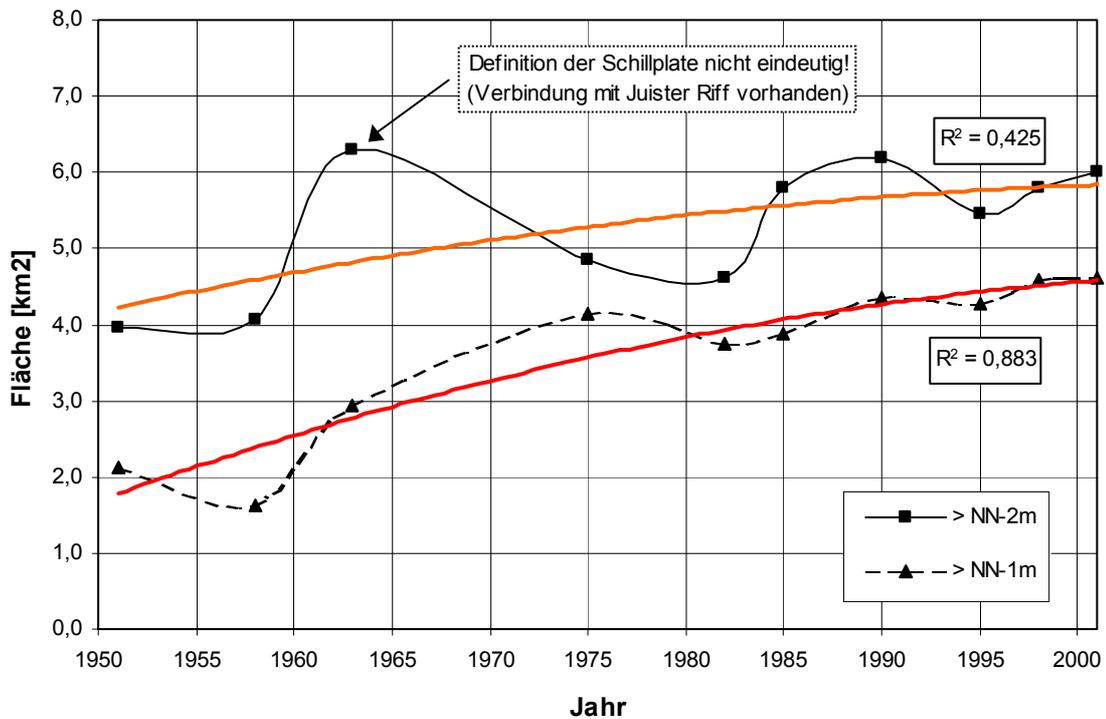


Abb. 13 Flächenänderung der Schillplate mit polynomischer Trendlinie

Bis zum Anfang der 70er Jahre kommt es durch das Fehlen einer eindeutigen tiefen Rinne zu recht unterschiedlichen Festlegungen der Platengröße (bei NN-2m). So ist der Übergang von der Schillplate zum Schapesand für den morphologischen Zustand von 1963 fließend und schwer zu definieren (siehe Grid-Tiefenplan in Anl. Anlage 3). Dennoch lässt sich eine eindeutige Entwicklung aus Abb. 13 erkennen: Die Ausdehnung der Schillplate nimmt in den letzten 50 Jahren erheblich zu. Sie vergrößert sich zwischen 1951 und 1990 um mehr als 50% oberhalb NN-2m; für die Fläche oberhalb NN-1m beträgt der Zuwachs sogar rund 100%. Bedeutendste Ursache hierfür ist der starke Sedimentdruck aus dem Juister Riff, der bis 1985 ein Anwachsen der Schillplate Richtung Westen bewirkt. In den Folgejahren wird die Gestalt und Größe der Schillplate dann überwiegend vom Verlauf der Juister Balje geprägt. Die Herausbildung einer einzelnen tiefen Rinne begrenzt das Wachstum nach Westen. Allerdings gewinnt das Gebiet der Schillplate durch die Verlagerung der Balje nach Süden geringfügig an Fläche und erfährt gleichzeitig eine leichte Vergrößerung durch Anlandungen aus dem neugebildeten Riffbogen. Als Resultat dieser Vorgänge schwächt sich der stetige Flächenzuwachs der Plate seit Mitte der 80er Jahre deutlich ab.

Für die zukünftige Entwicklung der Schillplate ist tendenziell eine annähernd gleichbleibende Ausdehnung zu erwarten. Die gravierenden Umformungsprozesse der Juister Balje, die die Gestaltung der Schillplate maßgeblich beeinflussten, sind weitgehend abgeschlossen, so dass mit wenig veränderten Grenzen im Westen und Süden zu rechnen ist. Die Nordseite der Schillplate wird durch Anlandungen aus dem Riffbogen beeinflusst. Da sie durch diesen Effekt in den letzten Jahren allerdings nur unerheblich nach Norden verlagert worden ist, ist auch in den nächsten Jahren keine zusätzliche Ausdehnung in nördliche Richtung abzusehen (vgl. Riffbogenentwicklung in Kap. 4.1.4).

## 4.2 Kachelotplate

Die Kachelotplate nimmt als höchste morphologische Formation innerhalb des Juister Riffs eine Sonderstellung ein und bestimmt dadurch in entscheidendem Maße den Sedimenttransport in östliche Richtung. Die Grid-Tiefenpläne in Anlage 3 zeigen, dass die Kachelotplate seit 1958 einen großen Flächenzuwachs nach Nordwesten und Norden in Richtung des Juister Riffs erfahren hat. In den 70er und 80er Jahren ändert sich die Form der Kachelotplate von einem nach Nordwesten gerichteten Sand zu der bis heute vorherrschenden nierenförmigen Gestalt. Dabei verlagern sich die Sedimente im nordwestlichen Teil der Plate seit Mitte der 70er Jahre nach Osten und Südosten. Über den Gesamtzeitraum verzeichnet die Kachelotplate erhebliche Flächen- und Höhengewinne, so dass im Jahr 2000 1,1 km<sup>2</sup> ihrer Fläche über MThw liegen.

### 4.2.1 Flächenentwicklung der Kachelotplate

Da die Kachelotplate mit nautischen Vermessungsmethoden nicht erfasst werden kann, stehen für einige Jahrgänge lediglich an den Randbereichen der Plate Tiefenangaben zur Verfügung. Mit den vorliegenden Daten ist daher eine volumenbezogene Auswertung auf der Grundlage digitaler Geländemodelle nicht möglich. Die Fläche der Kachelotplate lässt sich jedoch anhand der Tiefenlinien NN-1m und NN-2m aus Peildaten berechnen (Tabelle 5). Zusätzlich sind seit 1975 einige terrestrische Messungen durchgeführt worden, aus denen die Fläche der Plate oberhalb NN±0m und NN+1m ermittelt wurde. Um den Übergang von der Kachelotplate zur Insel Memmert zu begrenzen, wurde als maximale Ostausdehnung der GK-Rechtswert <sup>25</sup>56,8 gewählt. In Abb. 14 ist die Flächenentwicklung für alle vier Tiefenhorizonte dargestellt.

Tabelle 5 Fläche der Kachelotplate für verschiedene Tiefenhorizonte

| Jahr | Fläche der Kachelotplate [km <sup>2</sup> ] |         | Jahr | Fläche der Kachelotplate [km <sup>2</sup> ] |         |
|------|---|---------|------|---|---------|
|      | > NN-2m                                     | > NN-1m |      | > NN±0m                                     | > NN+1m |
| 1951 | 2,24  | 1,17    |      |   |         |
| 1958 | 2,93  | 1,55    |      |   |         |
| 1963 | 5,21  | 1,53    |      |   |         |
| 1969 | 6,83  | 2,82    |      |   |         |
| 1972 | 7,12  | 3,78    |      |   |         |
| 1975 | 8,32  | 4,06    | 1975 | 2,15  | 1,18    |
| 1982 | 8,64  | 5,46    |      |   |         |
| 1985 | 8,79  | 5,84    |      |   |         |
| 1986 | 8,82  | 5,38    | 1986 | 3,83  | 1,73    |
| 1995 | 7,42  | 5,92    |      |   |         |
|      |   |         | 1997 | 4,24  | 2,15    |
| 1998 | 7,50  | 6,04    |      |   |         |
|      |   |         | 2000 | 3,95  | 2,09    |
| 2001 | 6,97  | 5,73    |      |   |         |

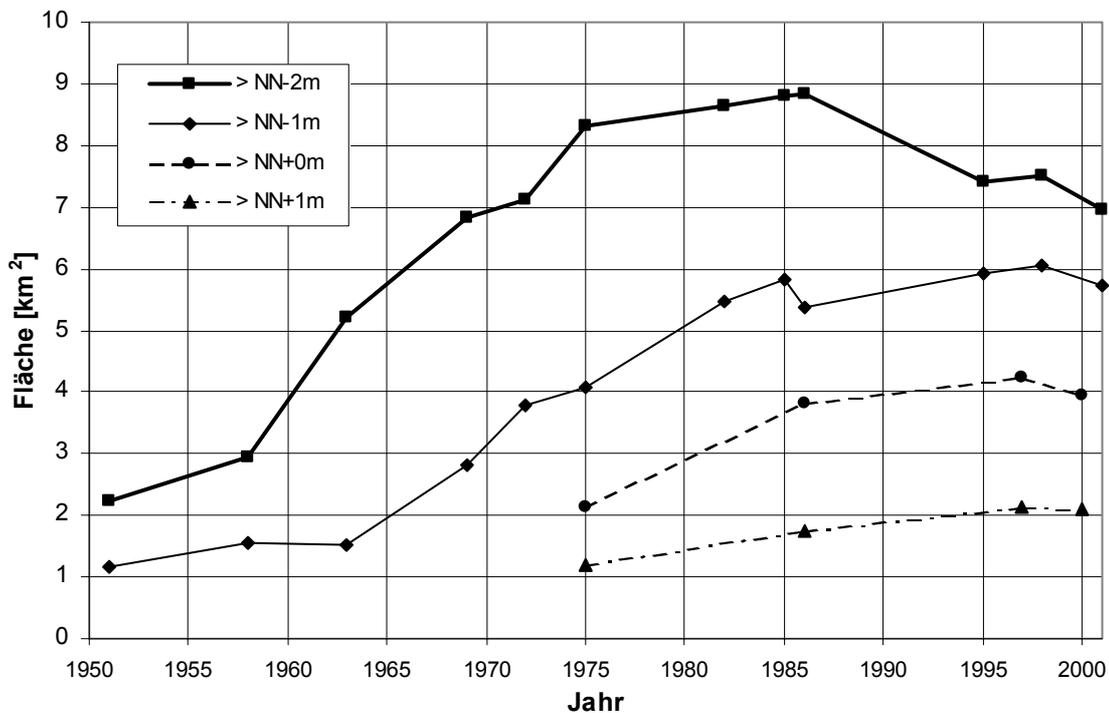


Abb. 14 Flächenentwicklung der Kachelotplate zwischen 1951 und 2000

Die Kachelotplate verzeichnet seit 1951 einen erheblichen Flächenzuwachs, der für NN-2m Mitte der 80er Jahre und für die übrigen höhergelegenen Horizonte 1997/98 sein Maximum erreicht. Der Platenbereich oberhalb NN-2m vergrößert sich bis 1986 um das vierfache im Vergleich zu 1951, die Ausdehnung der NN-1m-Fläche wächst sogar auf das fünffache an. Es findet ebenfalls eine Höhenzunahme statt, die sich in einem beinahe doppelt so großem Ausmaß der Gebiete oberhalb  $NN\pm 0m$  widerspiegelt (1975-1997). In jüngerer Zeit zeigt die Entwicklung eine rückläufige Tendenz mit deutlichen Flächenverlusten der Kachelotplate: Die Ausdehnung (bezogen auf NN-2m) verringert sich zwischen 1986 und 2001 von 8,8 km<sup>2</sup> auf 7,0 km<sup>2</sup>. Oberhalb NN-1m fallen die Flächenverluste wesentlich geringer aus und treten erst nach 1997 auf, sie betragen rund 0,3 km<sup>2</sup>. Die Tatsache, dass die Größenunterschiede der Flächen innerhalb der NN-2m und NN-1m-Linien in den letzten 15 Jahren geringer werden, zeigt eine Aufsteilung der Platenränder an, wie sie insbesondere seit 1995 an der Westkante der Kachelotplate erkennbar ist (vgl. Anlage 3). Diese Ergebnisse entsprechen der Beobachtung, dass die Kachelotplate im Laufe der letzten Jahre eine wesentlich kompaktere Form annimmt als es z.B. noch 1975 der Fall war.

Um beurteilen zu können, wo die Flächenänderungen der Kachelotplate erfolgen, ist in Anlage 5.1 der Verlauf der oben definierten Tiefenlinien für einige überlagerte Zustände dargestellt. Es sind drei Entwicklungsphasen zu erkennen:

1. die Ausdehnung der Kachelotplate nach Nordwesten von 1951 bis 1975 mit Herausbildung eines gestreckten länglichen Verlaufs
2. das Verschwenken der äußeren Platenbereiche nach Nordosten, so dass bis 1985 eine bogenförmige, in nördliche Richtung auslaufende Gestalt angenommen wird
3. nach 1985 die Verlagerung des nördlichen Teils der Kachelotplate nach Osten bzw. Südosten mit Komprimierung der Sedimentmassen auf ein sichel- bzw. nierenförmiges Gebilde

Diese Phasen decken sich mit der in Abb. 14 dargestellten Flächenentwicklung. Für die beiden ersten Phasen findet ein Anwachsen der Kachelotplate statt, die dritte Phase der Sedimentkonzentration bedeutet einen Flächenverlust in den Randgebieten und eine Größenstagnation

der höherliegenden Bereiche. Entscheidend für die weitere Verlagerung der Kachelotplate in den kommenden Jahren ist das Verhältnis zwischen dem Sedimentdruck aus dem Juister Riff und der Ebbstromwirkung der Juister Balje. Die Verschiebung der Sandmassen nach Osten findet zwar in den letzten Jahren durch die Juister Balje eine natürliche Barriere, jedoch wird die Entwicklung offensichtlich nur abgebremst, da im Wechselspiel dieser Kräfte weiterhin eine kontinuierliche Verlagerung der Rinne ostwärts vorhanden ist (vgl. Kap. 4.3.1). Der im nördlichen Teil der Kachelotplate neugestaltete Schapesand dringt unter der Einwirkung hohen Sedimentdrucks aus Westen weiterhin in östliche Richtung vor (vgl. auch Anlage 3). Die allgemeine Höhenabnahme im Juister Riff bietet der Nordwestseite der Kachelotplate in den 90er Jahren weniger Schutz vor dem einfallenden Seegang als noch in den Jahrzehnten zuvor. Daraus resultiert die fortschreitende Verschiebung der Kachelotplate nach Südosten, deren Ende auch in Zukunft nicht abzusehen ist. Eine Ablagerung der am nordwestlichen Rand der Kachelotplate erodierenden Sedimente könnte zu einer weiteren Auffüllung des Juister Riffs führen, wie sie seit 1995 bereits erfolgt ist.

Die Kurvenverläufe in Abb. 14 machen deutlich, dass höchstwahrscheinlich der Zenit der Platenausdehnung für alle Tiefenhorizonte spätestens 1998 erreicht ist und in den folgenden Jahren eine Flächenabnahme einsetzt. In Übereinstimmung mit den ermittelten Verlagerungstendenzen aus Anlage 5.1 und den topografischen Karten in Anlage 3 wird festgestellt, dass mittelfristig nicht mit einer Vergrößerung, sondern vielmehr mit einer Flächenverkleinerung der Kachelotplate gerechnet werden kann.

#### *4.2.2 Übergang Kachelotplate-Memmert*

Eine prägnante Entwicklung läuft von 1951 bis 1970 im Bereich zwischen der Kachelotplate und Memmert ab. Im Zustand von 1951 ist dort noch das Haaksgat als nach Norden ausgerichtete Rinne mit Tiefen unter NN -5 m vorhanden (s. Anlage 3). Durch die Verlagerung der Kachelotplate versandet dieser Bereich allerdings bis 1970 und es werden im Übergang zur Insel Memmert nur noch Tiefen bis maximal NN -3 m erreicht. Nach 1970 erhöht sich die Verbindung zwischen der Kachelotplate und Memmert kontinuierlich weiter, so dass ein zusammenhängender Platenbereich entsteht, der bei Niedrigwasser trocken fällt. Das Gebiet kann seitdem nur noch auf einer geringen Breite nautisch vermessen werden, im Jahr 2001 ist keine Peilungen zwischen der Kachelotplate und Memmert mehr möglich. Die jährlichen Strandnivellements an der Westseite der Insel Memmert liefern jedoch zusätzliche Daten zur Beurteilung der Veränderungen im ehemaligen Haaksgat. Anlage 5.2 zeigt neben einer Übersichtskarte mit den Strandprofilen die Ergebnisse der Vermessungen ausgewählter Jahrgänge für die Profile Nr. 55 bis 75. Insbesondere in den letzten Jahren sind dabei häufig Profilaufmaße bis auf die Kachelotplate vorgenommen worden.

Die Diagramme bestätigen die Beobachtungen von STEPHAN (1990), der für den Zeitraum von 1935 bis 1986 eine Auffüllung des Querschnitts um über 1 m ermittelte. Auch in den Folgejahren kommt es noch zu einer weiteren Höhenzunahme. So ist in Profil 55 zwischen 1985 und 1999 eine Erhöhung von rund 50 cm zu erkennen. Sogar in jüngster Zeit - von 1997 zu 1999 - ist weiterhin Sedimentation zu verzeichnen. Für Profil 57 und 59 zeigt der Vergleich der Jahre 1958 und 1997 einen relativ gleichmäßigen Höhengewinn von ca. 1 m. Eine 1985 noch vorhandene Rinne verfüllt sich in diesen Querschnitten zusehends und hat 1999 nur noch eine Tiefe von maximal 0,5 m. Die Verbindung Kachelotplate-Memmert hat sich in Profil 57 bis 1997 ungefähr auf Normalnull erhöht, Profil 59 liegt mit Ausnahme der Rinne sogar oberhalb NN. Profil 63 stellt das höchste Profil im Übergangsbereich Kachelotplate-Memmert dar. Die Rinnentiefe beträgt hier maximal NN-0,3m im Jahre 1999, während der restliche Teil des Profils

deutlich über NN liegt. Besonders auffällig ist der große Höhenzuwachs im Bereich der Kachelotplate, der sich seit 1976 auf gut 1,5 m beläuft. Die Profile 70 und 75 sind im wesentlichen beeinflusst von der Südverlagerung der Juister Balje, die sich in einer Abnahme der Profilhöhen nach 1985 bemerkbar macht.

Die Diskussion über ein Verschmelzen der Kachelotplate mit Memmert ist häufig Bestandteil früherer morphologischer Untersuchungen gewesen (vgl. Kap. 2.3.3). STEPHAN (1990) sagt eine Verbindung der NN±0m-Linie ungefähr für das Jahr 2020 voraus. Augenscheinlich entspricht die Entwicklung, wie Anlage 5.2 zeigt, in etwa dieser Vermutung. Die verbleibende Restrinne zwischen Insel und Plate ist bis 1999 auf eine Höhe von NN-0,3m sedimentiert (Profil 63). Eine fortschreitende Höhenzunahme ist ebenfalls erkennbar. Zahlenmäßig belegt wird diese Beobachtung durch Tabelle 6 und Abb. 15, in denen die Veränderung der maximalen Rinnentiefe in den Profilen 59 und 63 über die Zeit aufgetragen ist.

Tabelle 6 Maximale Rinnentiefe [mNN]

| Jahr              | Profil 59 | Profil 63 |
|-------------------|-----------|-----------|
| 1976              | 1,28      | -         |
| 1981              | 1,10      | 1,02      |
| 1985              | 0,85      | 0,73      |
| 1990              | 0,75      | 0,64      |
| 1995              | 0,55      | 0,52      |
| 1997              | 0,58      | 0,40      |
| 1999              | 0,50      | 0,31      |
| Veränd. [cm/Jahr] | +3,1      | +3,9      |
| Korr.-koeff.      | 0,95      | 0,97      |

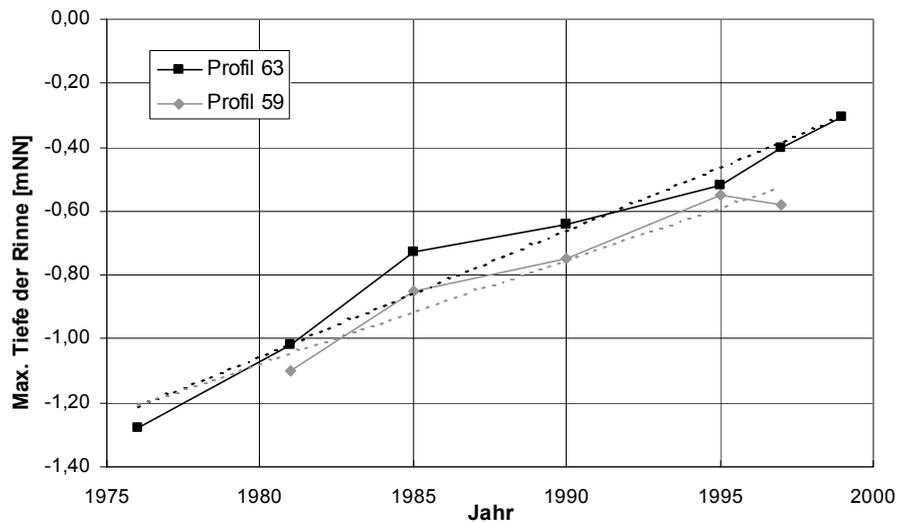


Abb. 15 Sedimentation zwischen Kachelotplate und Memmert

Die Verflachung der Rinne schreitet in den letzten zwei Jahrzehnten sehr gleichmäßig voran und ist auch in den 90er Jahren ungebremst. Die mittlere Höhenzunahme in den Querschnitten beträgt rund 3 bis 4 cm/Jahr. Bei weiterhin gleichbleibender Sedimentationsgeschwindigkeit ist mit einer Auffüllung der Rinne in Profil 63 bis auf NN-Höhe innerhalb von 8 Jahren zu rechnen. Für das südlichere Profil 59 wäre hierfür ein Zeitraum von 16 Jahren notwendig. Die von STEPHAN (1990) prognostizierte Vereinigung der NN±0m-Linie ist demnach nicht erst im Jahr 2020 zu erwarten, sondern setzt nach neuesten Berechnungen bereits gut zehn Jahre früher ein.

Im Zusammenhang mit der Untersuchung von Dünenabbrüchen auf der Insel Memmert macht STEPHAN (1990) folgende Beobachtung: „Der aus Nordwest kommende Seegang kann durch das Haaksgat nahezu ungestört auf Memmert zulaufen und dort Brandungsströme mit großem Stromarbeitsvermögen aus einer breitgefächerten Brandungszone erzeugen.“ Diese These stimmt bis 1985/86 durchaus mit den aktuellen Untersuchungen überein (vgl. Anlage 3), ab 1990 jedoch lassen die morphologischen Veränderungen der Kachelotplate und der Juister Balje eine Abnahme der Seegangbelastung auf den nordwestlichen Teil der Insel Memmert vermuten. Es kommt durch die Ausdehnung der Kachelotplate nach Norden und die Bildung des Juister Riffbogens zu einer Abschirmung des Seegangseinflusses. Diese Gegebenheit verringert die Erosionsvorgänge im Bereich westlich von Memmert und ist somit als eine weitere Ursache für die beschleunigte Auffüllung des Querschnittes zwischen Kachelotplate und Memmert anzusehen.

## 4.3 Juister Balje mit Watteinzugsgebiet

### 4.3.1 Mündungsbereich der Juister Balje

Die Gestaltungsvorgänge im Bereich des Juister Riffs und der Verlauf der Juister Balje beeinflussen sich gegenseitig. Zum einen bestimmt der Sedimentdruck aus dem Riff und der Kachelotplate die Verlagerung der Balje, zum anderen wird durch die Intensität der Tidenströme aus der Juister Balje die Umlagerung der Riffsande geprägt. Im Zustand von 1951 läuft die Mündungsrinne der Juister Balje mit dem nördlichen Ende des Haaksgats zusammen und entwässert breitgefächert über das Juister Riff (siehe Anlage 3). Durch Höhenzunahmen innerhalb des Riffs und die Versandung des Haaksgats bildet sich eine neue Rinnenstruktur mit drei Ebbstromarmen (1975). In den Folgejahren wächst der Sedimentdruck aus Westen durch die Verlagerung der Kachelotplate und bewirkt eine Umlenkung der Mündungsrinnen aus nordwestlicher Richtung nach Norden. Außerdem kommt es bis 1990 zu einer Bündelung des Ebbstroms aus der Juister Balje. Es bildet sich eine einzige nördlich orientierte Rinne heraus, die Tiefen von unter NN-10m erreicht und bis 2001 in ihrer Lage relativ stabil bleibt. Auf einigen Karten wird bis in die heutige Zeit die Bezeichnung Haaksgat für diese Rinne fortgeführt. Um Missverständnissen bei der Definition des Haaksgats vorzubeugen, soll die Rinne hier weiterhin als Mündung der Juister Balje benannt werden. Zwischen dem Westende Juists und der Nordseite Memmerts verlagert sich die Juister Balje in jüngster Zeit leicht nach Norden, während sie im weiteren Verlauf durch die Flächenzunahme der Schillplate einen ausgeprägteren Bogen nach Süden einschlägt. Die Mündungsrinne ist seit Anfang der 90er Jahre direkt nach Norden gerichtet und verlagert sich seitdem langsam, aber kontinuierlich nach Osten.

In jüngerer Zeit stellt die tiefe Rinne der Juister Balje eine eindeutige Begrenzung der Schillplate dar. Zudem beeinflusst sie wesentlich das Erscheinungsbild des Juister Riffbogens. Für die zukünftige Entwicklung in diesem Bereich ist die Verlagerung der Balje daher von großer Bedeutung. Anlage 6.1 zeigt drei Querprofile durch die direkt westlich der Schillplate verlaufende Mündungsrinne. Die Lage der Profile ist in Abb. 16 dargestellt. Bei den Profilen der sechs ausgewählten Zustände ist seit 1985 die Herausbildung einer einzelnen tiefen Rinne (in etwa bei RW <sup>25</sup>56) erkennbar. Besonders ausgeprägt ist der Querschnitt im Jahr 1995 mit einer Tiefe von nahezu NN-14m im Profil C. In den folgenden Jahren nimmt die Tiefe bzw. die Querschnittsbreite der Rinne wieder leicht ab. Eine kontinuierliche Verlagerung nach Osten ist ebenfalls erkennbar.

Dies geht auch aus Abb. 17 hervor, in der die östliche Begrenzung der Juister Balje innerhalb der Profile B und C für bestimmte Tiefen zeitabhängig aufgetragen ist. Profil A wurde für diese Auswertung vernachlässigt, da eine eindeutige Definition der Rinne nur für wenige Zustände möglich war. Die Diagramme zeigen eine deutlich nach Osten gerichtete Verlagerungstendenz, die zwar im Zeitraum von 1995 bis 1998 zwischenzeitlich nur schwach ausgeprägt ist, ansonsten aber relativ konstant verläuft. Die Mündungsrinne verschiebt sich insgesamt zwischen 1985 und 2001 entlang der NN-4m-Linie in beiden Profilen um rund 400 m nach Osten. Auch die NN-6m-Linie in Profil C weist Verlagerungswerte in dieser Größenordnung auf. Nur die NN-6m-Position im Jahr 1985 fällt aus diesem Rahmen heraus, da der Ebbstrom der Juister Balje sich zu diesem Zeitpunkt noch auf mehrere Rinnen verteilt (vgl. Profil B in Anl. 6.1). Geht man von einer Verlagerung der Rinne um ca. 400 m im Zeitraum von 1985 bis 2001 aus, ergibt sich eine mittlere Verschiebung von ungefähr 25 m pro Jahr. Dieser Trend ist offensichtlich ungebrochen, da in den drei Jahren zwischen 1998 und 2001 die Verschiebung der Tiefenlinien nach Osten mit gut 100 m sogar etwas über diesem Mittel liegt.

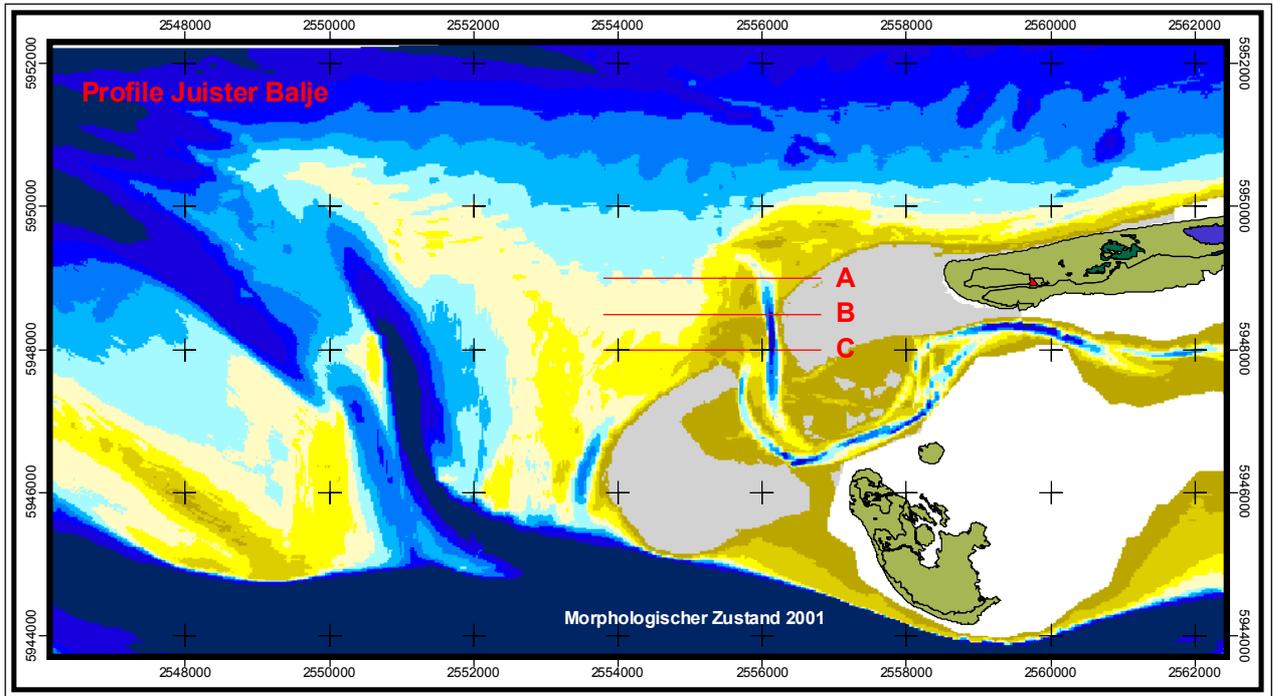


Abb. 16 Lage der gewählten Profile im Mündungsbereich der Juister Balje

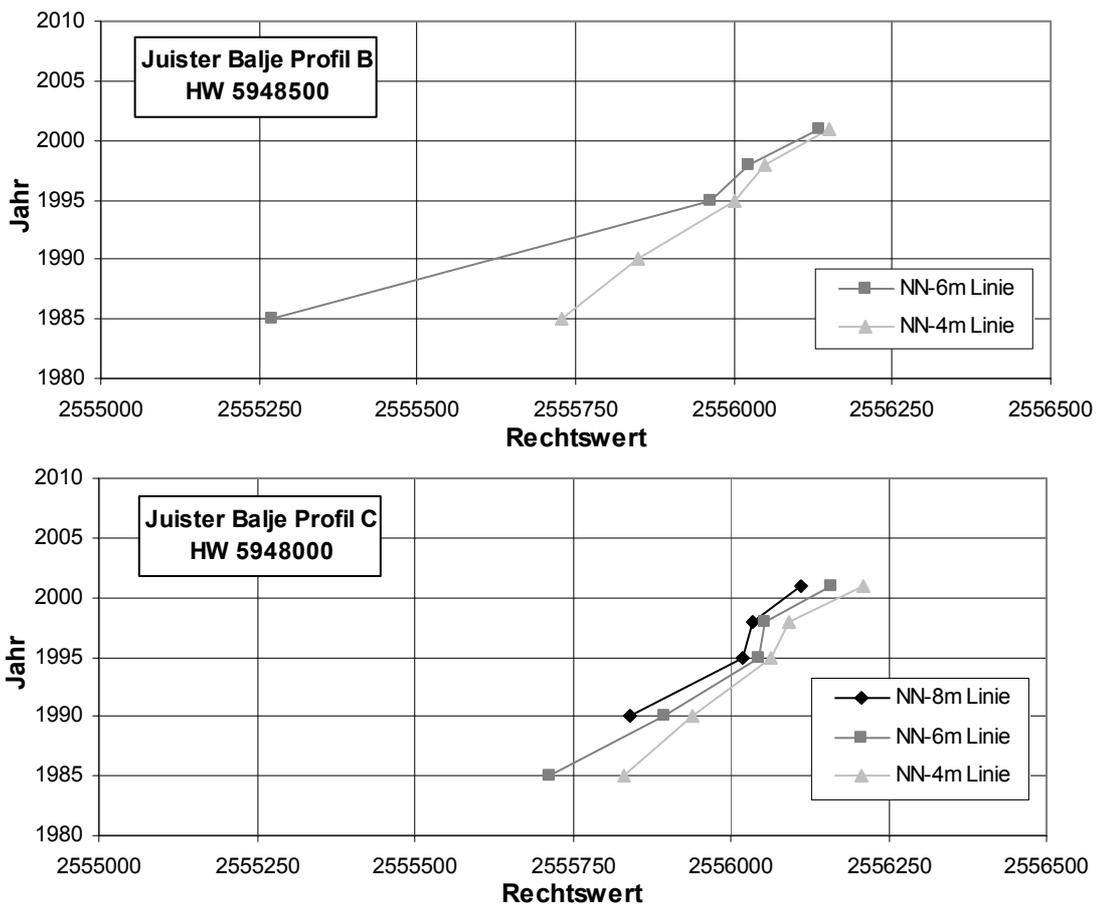


Abb. 17 Ostverlagerung der Mündungsrinne Juister Balje

Die Rinne der Juister Balje wird sich bei Fortsetzung dieses Trends auch in den kommenden Jahren weiter in Richtung Schillplate verschieben. Davon ist insbesondere auszugehen, solange die Kachelotplate und der neugebildete Schapesand in ihrer jetzigen Form bestehen bleiben und dadurch der aus Westen auf die Balje wirkende Sedimentdruck nicht geringer wird. Die Lage und Intensität der Juister Balje beeinflusst, wie bereits oben erwähnt, den Verlauf des Riffbogens.

Fraglich ist jedoch, ob die dargestellte Verschiebung der Rinne dementsprechend auch die Gestalt des Riffbogens ändern wird. Das Stromarbeitsvermögen der Juister Balje scheint jedoch nicht groß genug zu sein, um die Struktur des Riffbogens entscheidend zu prägen. Dies wird unter anderem dadurch deutlich, dass der Durchbruch der Mündungsrinne durch den Riffbogen zwischen 1995 und 2001 klar nach Westen verschwenkt (siehe Anlage 3) und der Ebbstrom aus der Balje offensichtlich nicht stark genug ist, um eine bedeutsame Umlenkung des Sedimenttransports auf eine nördlichere Bahn innerhalb des Riffbogens zu bewirken. Eine deutliche Verschiebung der Platananlandungsbereiche nach Osten, die eventuell auch den Sandhaushalt der Juister Strände positiv beeinflussen könnte, ist somit nicht zu erwarten, da die Größenordnung der Rinnenverlagerung zu gering ist. Um einen derartigen Effekt zu erreichen, wäre eine stärkere Umlenkung der Platenbewegung und eine Verschiebung des Anlandungsbereiches um gut 1000 m notwendig.

#### *4.3.2 Einzugsgebiet der Juister Balje*

Um mögliche Ursachen für die Gestaltungsvorgänge am Westende von Juist nachweisen zu können, werden die Verlagerungsprozesse der Juister Balje in den letzten 50 Jahren aufgezeigt. Als Auslöser für die Verschwenkung der Balje kommen beispielsweise Veränderungen in deren Wurzelbereich (Juister Watt, Nordland) in Frage (Abb. 18). Aus diesem Grund wurde das Wateinzugsgebiet der Juister Balje im Hinblick auf folgende Fragestellungen untersucht:

- Haben sich die Grenzen der (Teil-)Einzugsgebiete (für Juister Balje und Memmertbalje) im betrachteten Zeitraum verschoben?
- Lässt sich ein Zusammenhang herleiten zwischen der Entwicklung des Tidevolumens und der Lageveränderung im Mündungsbereich der Juister Balje?

Vergleichbare Fragestellungen wurden bereits zum Teil in früheren Untersuchungen für das Wateinzugsgebiet des Norderneyer Seegats behandelt (STEPHAN (1993), MEYER & STEPHAN (2000)). Dabei wurde auch die Entwicklung des Juister Watts in die Betrachtungen mit einbezogen. STEPHAN (1993) berechnet, dass das mittlere Wattniveau für den Einzugsbereich des Norderneyer Seegats, inklusive Juister Watt, zwischen 1958 und 1990 um rd. 27 cm sinkt. Er stellt fest, dass sich die Ausläufer der Juister Balje, bezogen auf die SKN-Linie, im Untersuchungszeitraum von 1935 bis 1990 um 1,7 km nach Westen verlagern. Entsprechend vergrößert sich der Einfluss des Kalfamergats im Juister Watt. Die Verkleinerung des Einzugsgebietes der Juister Balje geht mit starker Sedimentation in ihrem Rinnenbereich und mit einer Reduzierung des Flutspeicherraums einher.

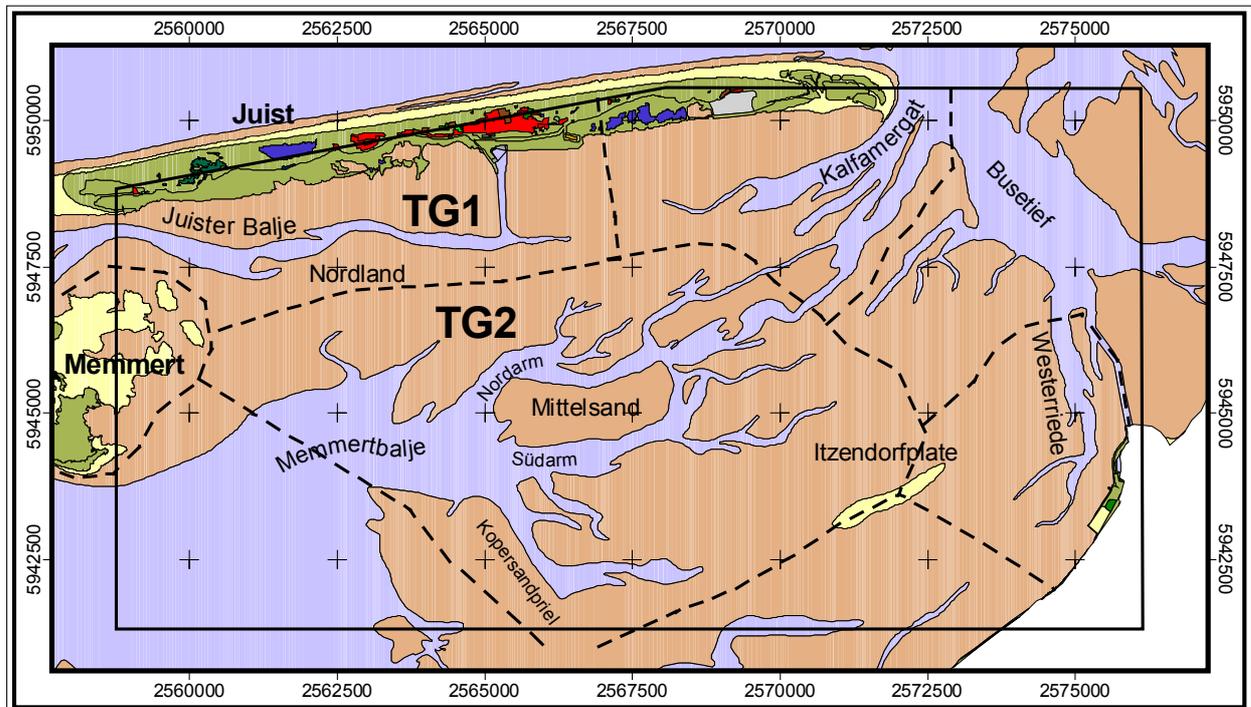


Abb. 18 Juister Watt mit Einzugsgebieten der Baljen

Im Wurzelbereich der Memmertbalje zeichnet sich nach STEPHAN (1993) im Untersuchungszeitraum eine unterschiedliche Entwicklung ab. Der Nordarm verliert zwischen 1935 und 1990 an Ausdehnung, während der Südarml sich ausweitet und in den Bereich der Itzendorfplate vordringt. Auch eine Vertiefung der Memmertbalje insgesamt wird festgestellt, die zu einer Erhöhung des Seegangseinflusses im Gebiet der Itzendorfplate führt. Die einsetzende Erosion der Itzendorfplate erhöht den Sedimenttransport in Richtung Westerriede und Busetief. STEPHAN (1993) erwähnt außerdem, dass sich die Ausläufer der Memmertbalje verstärkt in Richtung Kalfamergat orientieren, bei gleichzeitiger Rückbildung der Priele zum Busetief.

Auch im Teilprojekt Norderney der Vorarbeiten zu den Inselschutzkonzepten (siehe MEYER & STEPHAN (2000)) wird das Einzugsgebiet des Norderneyer Seegats untersucht, wobei Teile des Juister Watts ebenfalls Berücksichtigung finden. Herausgestellt wird, dass die Vertiefung des Kalfamergats direkt östlich der Insel Juist weiterhin besonders ausgeprägt ist. Die Berechnung einer mittleren Abnahme des Wattniveaus um rd. 21 cm für den Zeitraum von 1930 bis 1998 entspricht tendenziell den Ergebnissen von STEPHAN (1993).

Für die morphologische Entwicklung im Bereich Juist/Memmert sind lediglich die Einzugsgebiete von Juister Balje und Memmertbalje von Bedeutung. Daher konzentriert sich die vorliegende Untersuchung auf diese zwei Teilgebiete (TG1-Juister Balje und TG2-Memmertbalje, siehe Abb. 18). Aufgrund der schlechten Qualität der Karte von 1930/35 ist der Untersuchungszeitraum auf die Jahre ab 1958 begrenzt. Von den in Tabelle 1 aufgelisteten Karten und Vermessungen werden 7 Jahrgänge zur Untersuchung des Juister Watts verwendet: 1958, 1975, 1985, 1989, 1992, 1995, 1998. Die Vermessung des Juister Watts für das Jahr 2001 stand für die folgenden Berechnungen noch nicht zur Verfügung.

Aus den Messdaten wurden digitale Geländemodelle erstellt, die eine Unterteilung der Einzugsgebiete nach morphologischen Gesichtspunkten ermöglichen. Dabei wurde der größte gemeinsame Bereich zugrundegelegt, für den in allen Jahrgängen Tiefeninformationen vorhanden waren. Die Itzendorfplate beispielsweise wurde ausgespart, da sie nur sehr selten

vermessen werden konnte. Ebenso wurde das höhergelegene Rückseitenwatt Memmerts nicht in die Betrachtung miteinbezogen. Die gemeinsamen Grenzen der Einzugsgebiete konnten jedoch in ihrem Verlauf erfasst werden. Für jeden Jahrgang wurden anhand der TINs die Grenzen der Teilgebiete festgelegt und anschließend die Flächenveränderung über die Zeit aufgetragen (Tabelle 7 und Abb. 19, sowie Anl. 6.2). Durch die einheitliche Begrenzung der Geländemodelle auf die maximalen Vermessungsbereiche geben die Werte der Flächengrößen in Tabelle 7 nicht das wirkliche Einzugsgebiet an, sondern beziehen sich nur auf einen Teilbereich davon. Für eine Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Jahrgänge war dieses Vorgehen aber unerlässlich. Außerdem ist zu beachten, dass es sich bei dem betrachteten Wattgebiet nicht um ein geschlossenes System handelt, so dass neben einer Verlagerung der Wattwasserscheide zwischen der Juister und der Memmertbalje auch eine Grenzverschiebung nach Osten zum Einzugsgebiet des Kalfamergats und des Busetiefs auftreten kann.

Tabelle 7 Größe der Teileinzugsgebiete der Juister Balje

| Jahr | Fläche [km <sup>2</sup> ] |       | Differenz zu 1958 |       |
|------|---------------------------|-------|-------------------|-------|
|      | TG1                       | TG2   | TG1               | TG2   |
| 1958 | 10,41                     | 59,56 | 0,00%             | 0,00% |
| 1975 | 9,72                      | 60,12 | -6,63%            | 0,94% |
| 1985 | 8,09                      | 60,01 | -22,29%           | 0,76% |
| 1989 | 7,80                      | 60,12 | -25,07%           | 0,94% |
| 1992 | 8,04                      | 61,67 | -22,77%           | 3,54% |
| 1995 | 8,48                      | 60,69 | -18,54%           | 1,90% |
| 1998 | 8,43                      | 60,86 | -19,02%           | 2,18% |

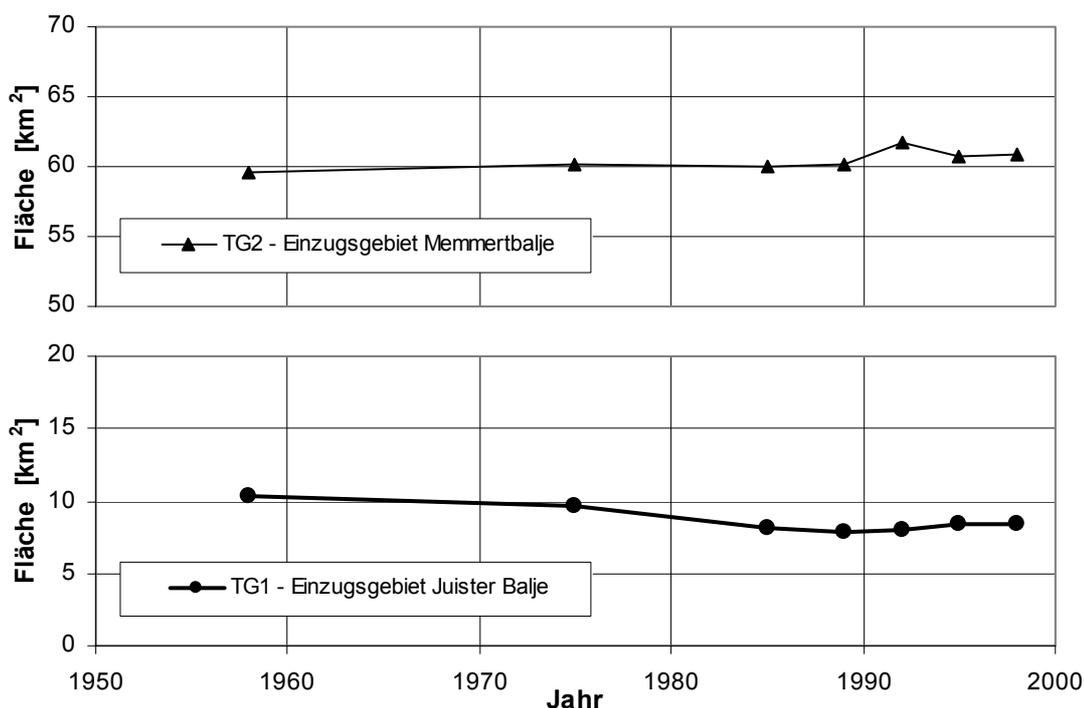


Abb. 19 Veränderung der Flächengrößen im Einzugsgebiet der Juister Balje

Die Ergebnisdarstellung in Abb. 19 zeigt, dass eine deutliche Verkleinerung des Einzugsgebietes der Juister Balje (TG1) um rund 20% zwischen 1958 und 1998 eingetreten ist. Die Flächenabnahme schreitet bis 1985 schnell voran, was sich in erster Linie durch die West-Verschiebung der Wattwasserscheide zum Kalfamergat ergibt. Anschließend pendelt sie sich um einen Mittelwert von rd. 8 km<sup>2</sup> ein. Gleichzeitig vergrößert sich das Einzugsgebiet der Memmertbalje (TG2) geringfügig um gut 1 km<sup>2</sup>, bzw. 2%. Der Zuwachs der Flächen, die in die

Memmertbalje entwässern, tritt überwiegend nach 1989 auf und beruht vornehmlich auf der Vergrößerung des Einzugsgebiets nach Nordosten in Richtung Kalfamergat.

Um Veränderungen der Strömungsverhältnisse innerhalb des Wattgebietes aufzeigen zu können, wurde für jeden Jahrgang das Wasservolumen berechnet, das in einer Halbtide durch die Querschnitte der entsprechenden Baljen geflossen ist (Tabelle 8). Basierend auf den zuvor ermittelten Flächen wurden für die beiden Teileinzugsgebiete die zwischen MThw und MTnw befindlichen Wassermassen bestimmt. Durch den Bezug auf das jährliche Mittel der Tidewasserstände (Pegel Norderney Riffgat) wurde auch der Meeresspiegelanstieg berücksichtigt.

Für die Einzugsgebiete der Juister Balje und der Memmertbalje zeigen sich recht unterschiedliche Entwicklungen (Abb. 20). Die Juister Balje erfährt von 1958 bis 1998 analog zu der reduzierten Einzugsfläche eine Abnahme des Tidevolumens um rund 14% (entspricht 2,6 Mio. m<sup>3</sup>). Die Verringerung der ausgetauschten Wassermassen ergibt sich dabei vor allem zwischen 1975 und 1985. Nach 1985 schwankt das Tidevolumen nur noch geringfügig, so dass tendenziell von gleichbleibenden Strömungsverhältnissen innerhalb der Juister Balje ausgegangen werden kann.

Tabelle 8 Halbtidevolumen für die Teileinzugsgebiete im Juister Watt

| Jahr | MThw<br>[mNN] | MTnw<br>[mNN] | TG1 - Juister Balje   |                       |                             | TG2 – Memmertbalje    |                       |                             |
|------|---------------|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|
|      |               |               | Vol. MThw<br>[Mio.m3] | Vol. MTnw<br>[Mio.m3] | Halbtidevolumen<br>[Mio.m3] | Vol. MThw<br>[Mio.m3] | Vol. MTnw<br>[Mio.m3] | Halbtidevolumen<br>[Mio.m3] |
|      |               |               | 1958                  | 1,13                  | -1,26                       | 26,38                 | 7,58                  | 18,80                       |
| 1975 | 1,17          | -1,24         | 23,57                 | 5,06                  | 18,50                       | 186,74                | 60,15                 | 126,59                      |
| 1985 | 1,11          | -1,30         | 19,66                 | 4,88                  | 14,78                       | 186,52                | 61,73                 | 124,80                      |
| 1989 | 1,18          | -1,16         | 20,12                 | 4,43                  | 15,69                       | 208,24                | 74,55                 | 133,69                      |
| 1992 | 1,15          | -1,25         | 19,69                 | 3,93                  | 15,76                       | 210,69                | 72,68                 | 138,02                      |
| 1995 | 1,21          | -1,26         | 17,70                 | 2,90                  | 14,80                       | 192,11                | 61,29                 | 130,83                      |
| 1998 | 1,26          | -1,19         | 19,64                 | 3,41                  | 16,23                       | 216,06                | 76,54                 | 139,52                      |

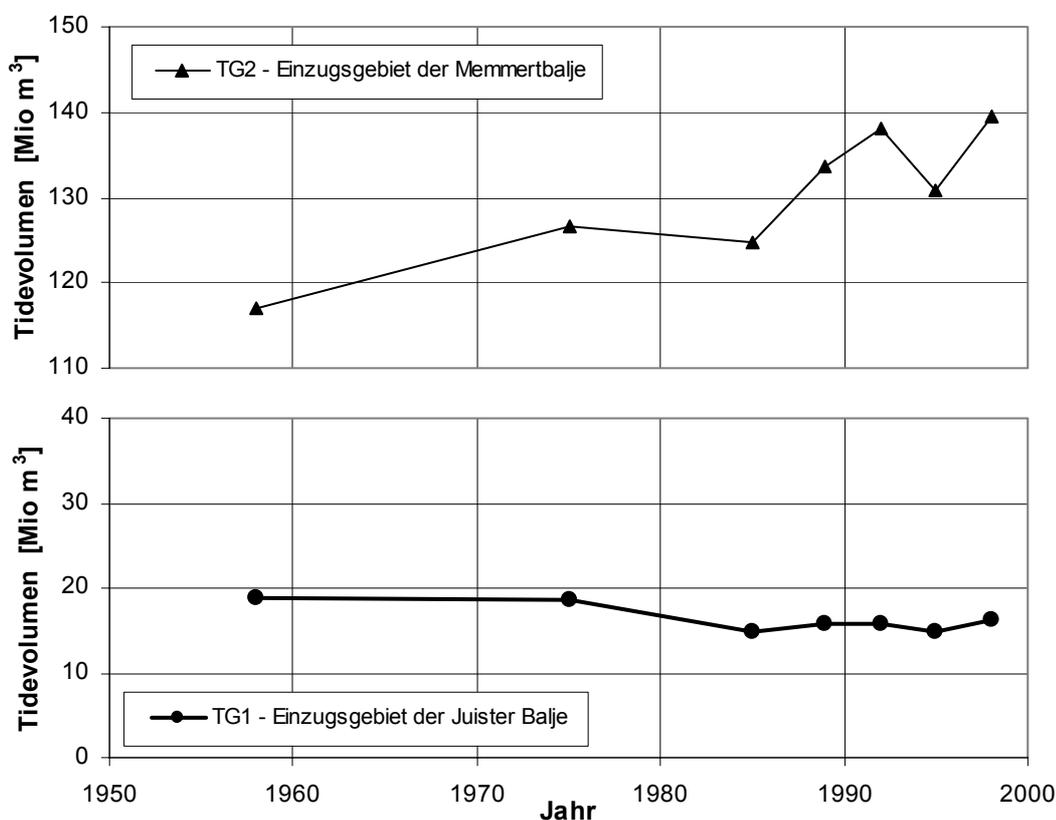


Abb. 20 Entwicklung des Tidevolumens im Juister Watt

Die Memmertbalje hingegen verzeichnet ein kräftiges Ansteigen ihres Tidevolumens um gut 19% (entspricht 22,6 Mio. m<sup>3</sup>) über den gesamten Untersuchungszeitraum. Insgesamt bleibt festzuhalten, dass die Entwässerung des Juister Watts in verstärktem Maße nach Süden über die Memmertbalje erfolgt, während die Juister Balje an Bedeutung verliert.

Die Auswirkungen der veränderten Tideströme werden bei Betrachtung des Differenzenplans für den Zeitraum 1958 bis 1998 in Anl. 6.3 deutlich. Besonders auffällig sind die starken Sedimentationserscheinungen über den gesamten Verlauf der Juister Balje, während die übrigen Wattflächen größtenteils erodieren. Die Ablagerung der Sedimente in der Balje und die Tatsache, dass das Stromarbeitsvermögen der Rinne abnimmt, bedingen sich dabei gegenseitig. Die Verlandungstendenz der Juister Balje wird durch den Differenzenplan jedenfalls deutlich hervorgehoben. Die abwechselnd rot und blau gefärbten Flächen im Bereich von Nord- und Südarms der Memmertbalje lassen auf eine leicht verlagerte Rinnenführung schließen. Im weiteren Verlauf ist eine Aufweitung und Vertiefung der Memmertbalje erkennbar, die offensichtlich aus der oben erwähnten Volumenzunahme resultiert. Anlage 6.3.1 bis 6.3.3 enthalten zusätzlich Differenzenpläne der Wattniveauperänderungen für alle übrigen aufeinanderfolgenden Jahrgänge.

#### 4.4 Hommegat

Das Hommegat im Südwesten des Juister Riffs ist nachweislich seit Mitte des 20. Jh. erheblichen Veränderungen unterworfen, die sich vor allem in einer Drehung der Rinnenachse widerspiegeln (siehe Anlage 3). In den 50er Jahren besitzt das Hommegat noch eine Ausrichtung nach WNW, die sich bis in die 80er Jahre erst nur geringfügig nach Nordwesten ändert. Seit 1990 jedoch erfolgt eine deutlichere Drehung im Uhrzeigersinn, so dass seit 1998 eine annähernd nördliche Orientierung erreicht wird. Dabei nimmt das Hommegat einen bogenförmigen Verlauf an und prägt somit das veränderte Erscheinungsbild des Juister Riffs und der Brauerplatten. Bemerkenswert ist, dass die Drehung des Hommegats entgegengesetzt zu der seit längerem beobachteten Verschwenkung der Osterems (HOMEIER 1968, LUCK & STEPHAN 1983) verläuft.

Eine auffällige Erscheinung im südlichen Bereich des Hommegats ist die auf älteren Karten (1951 bis 1972) vorhandene Barriere im Übergang der Flutstromrinne zur Osterems. Noch 1951 erstreckt sich diese West-Ost-orientierte Barre in Tiefen oberhalb von NN-4m von der Kachelotplate zu den Brauerplatten. 1963 wird der Ostteil der Barre in Tiefen unterhalb von NN-5m durchbrochen. In den folgenden Jahren verlagern sich die vormals barrierenartig angeordneten Sedimente nach Westen in Richtung der Brauerplatten. Zudem zeichnet sich seit 1970 die Bildung einer neuen Ebbstromrinne im Hommegat direkt westlich der Kachelotplate ab. Diese Rinne mit Tiefen bis NN-9m verändert sich bis 1985 wenig, verschwenkt anschließend aber stark nach Westen, was durch die Verlagerung der Kachelotplate nach Südosten begünstigt wird. Ab 1990 entsteht so eine Verbindung ( $\leq$ NN-8m) der umgeformten Ebbstromrinne mit der ehemaligen Flutstromrinne durch das Hommegat. Die neugebildete Rinne scheint sich zusehends zu stabilisieren, so dass bis 2001 eine deutliche Aufgliederung des Hommegats in eine kurvenförmig verlaufende Ebbstromrinne und eine westlich davon gelegene Flutstromrinne erreicht wird. Insbesondere hervorzuheben ist die Tatsache, dass sich die Anordnung der Ebb- und Flutstromrinnen seit 1951 umgekehrt hat.

Die Verschwenkung der Hommegat-Rinne ist anhand der NN-8m und NN-10m-Tiefenlinien einiger Jahrgänge auch in Anlage 7.1 dargestellt. Gut erkennbar ist das Verdriften der südlichen Ebbstromrinne, die sich erheblich nach Südwesten verlagert und bis 1998 komplett in die Rinne des Voorentiefs übergeht. Gleichzeitig bewegt sich die östliche Ebbstromrinne des Hommegats,

wie auch die zugehörige Flutstromrinne, weiter nach Osten. Das Auseinanderschieren dieser Rinnen ermöglicht ein erhebliches Anwachsen der Brauerplatten (vgl. Kap. 4.5). Um die großen morphologischen Veränderungen in diesem Bereich aufzeigen zu können, wurden sechs Profile durch die Rinnen des Hommegats, über die Brauerplatten bis in das Voorentief bzw. die Osterems gelegt (Anlage 7.2). Die Querschnitte zeigen erhebliche Tiefenzunahmen im Bereich des Voorentiefs (Profile 1 bis 3). Die Brauerplatten gewinnen an Höhe bzw. Ausdehnung, was besonders in den Profilen 3 und 4, die direkt durch den Mittelteil der Platen verlaufen, deutlich wird. In diesen Profilen ist zudem die Aufspaltung der Brauerplatten in früheren Jahren und die allmähliche Verlagerung der Ebbstromrinne nach Südwesten gut erkennbar. Die Querschnittsänderungen des Hommegats spiegeln sich im Wesentlichen in den Profilen 4 und 5 wider: 1951 wird der Ebbstrom noch durch eine breite, flache Rinne (max. NN-10m) geleitet, im Jahr 2001 durchfließt er einen sehr viel schmaleren, aber bis zu NN-15m tiefen Querschnitt.

Um die veränderten Strömungsverhältnisse im Hommegat quantitativ erfassen zu können, wurde eine Volumenanalyse durchgeführt, die den Bereich der Ebb- und Flutstromrinnen zwischen Rechtswert  $2544,5$  und  $2554$  sowie zwischen Hochwert  $5954$  und  $5950,5$  erfasst. Die Grenzen sind in Anlage 7.2 beispielhaft für die Zustände 1958/59 und 1998 eingezeichnet. Abb. 21 veranschaulicht die Ergebnisse für das berechnete Rinnenvolumen unterhalb NN-6m.

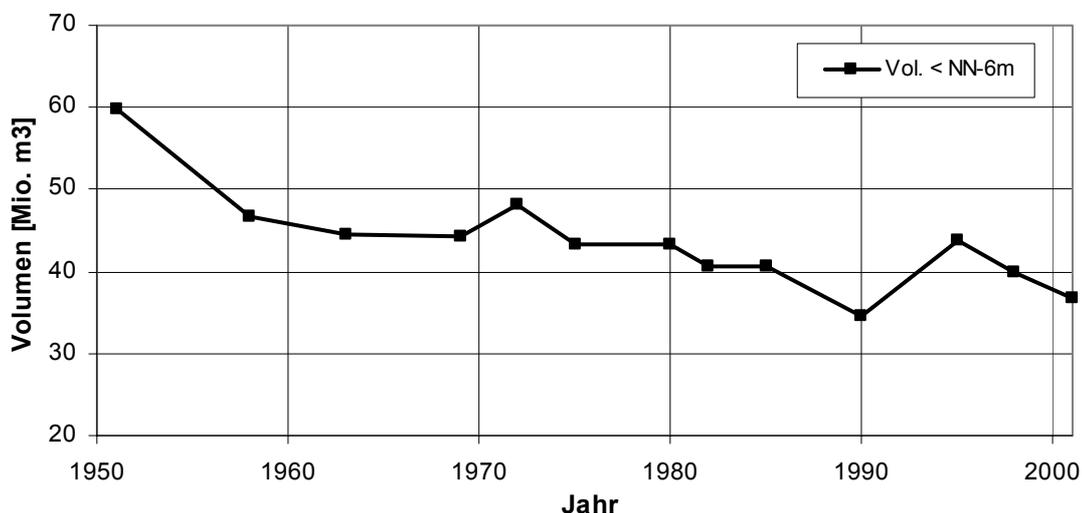


Abb. 21 Entwicklung des Rinnenvolumens im Hommegat

Das Volumen verringert sich demnach von knapp 60 Mio. m<sup>3</sup> im Jahr 1951 auf weniger als 37 Mio. m<sup>3</sup> 50 Jahre später. Die Entwicklung verläuft allerdings nicht linear, sondern vielmehr in Schüben entsprechend der morphologischen Vorgänge im Umfeld des Hommegats. So nimmt das Rinnenvolumen bereits zwischen 1951 und 1963 bis auf 44,6 Mio. m<sup>3</sup> ab, was sich mit den erheblichen Sediment- und Flächengewinnen im Juister Riff erklären lässt. Nach 1972 folgt durch die Rückentwicklung der westlichen Ebbstromrinne und die Ausdehnung der Brauerplatten eine weitere Abnahme des Volumens im Hommegat. Diese Phase dauert bis 1990 an, ehe die großen Sedimentverluste im benachbarten Juister Riff eine Ausweitung des Hommegats und damit eine Vergrößerung des Rinnenvolumens bis 1995 ermöglichen. Der Zeitraum von 1995 bis 2001 ist dann wieder geprägt von einer Abnahme des Volumens im Hommegat, da sowohl Juister Riff als auch Brauerplatten in dieser Zeit an Ausdehnung gewinnen. Insgesamt zeigt das Hommegat eine langfristig rückläufige Entwicklung auf. Trotz einiger Schwankungen durch die Veränderungen in den angrenzenden morphologischen Gebieten ist eine klare Tendenz zur Reduzierung des Rinnenvolumens erkennbar.

## 4.5 Brauerplatten

Die Brauerplatten werden im Norden und Osten von den Rinnen des Hommegats und im Süden und Westen von der Osterems bzw. dem Voorentief begrenzt. Wie bereits erwähnt steht die Entwicklung der Brauerplatten in engem Zusammenhang mit den morphologischen Veränderungen dieser Rinnen. Die Ebbstromrinne des Hommegats ist 1951 noch für die Aufspaltung der Brauerplatten verantwortlich. Sie setzen sich zu diesem Zeitpunkt im Wesentlichen aus zwei bis über NN-2m reichende Platen zusammen, die in nordwestliche Richtung gestreckt zwischen den Rinnen von Hommegat und Osterems liegen (s. Anlage 3). Seit 1963 verlagert sich die Ebbstromrinne des Hommegats jedoch kontinuierlich nach Westen und verliert dabei deutlich an Ausdehnung. Durch den veränderten Rinnenverlauf reduziert sich der Einfluss des Ebbstroms und eine fortschreitende Sedimentation im Bereich der Brauerplatten wird ermöglicht. Sie gewinnen in der Folgezeit erheblich an Höhe und Ausdehnung. Bis 1990 geht die Hommegat-Ebbstromrinne vollständig in den Lauf der Osterems über, so dass die Brauerplatten sich zu einer kompakten morphologischen Gestalt zusammenschließen können. Die entstandene Tropfenform mit Konzentration des Volumens im Südosten und flächenhafter Ausdehnung nach Nordwesten bleibt bis in die heutige Zeit erhalten. Es ist jedoch seit den 90er Jahren die Ablösung von Sedimenten im Nordosten der Platen zu beobachten. Die morphologische Entwicklung im Bereich der Brauerplatten und des Hommegats ist auch als Power-Point-Präsentation auf der beiliegenden CD verfügbar. Durch das Überblenden der Rasterkarten einzelner Jahrgänge lässt sich die Lage der Tiefenlinien besonders gut vergleichen.

Die quantitative Auswertung des Kartenmaterials für den Bereich der Brauerplatten wurde durch eine umfassende Flächen- und Volumenanalyse ermöglicht. Die Ergebnisse für den Zeitraum von 1951 bis 2001 sind in detaillierter Form in Anlage 8.1 abgebildet. Der eigentliche Platenbereich kann für das Sediment oberhalb NN-4m definiert werden. Die entsprechenden Kurven sind in Abb. 22 herausgestellt.

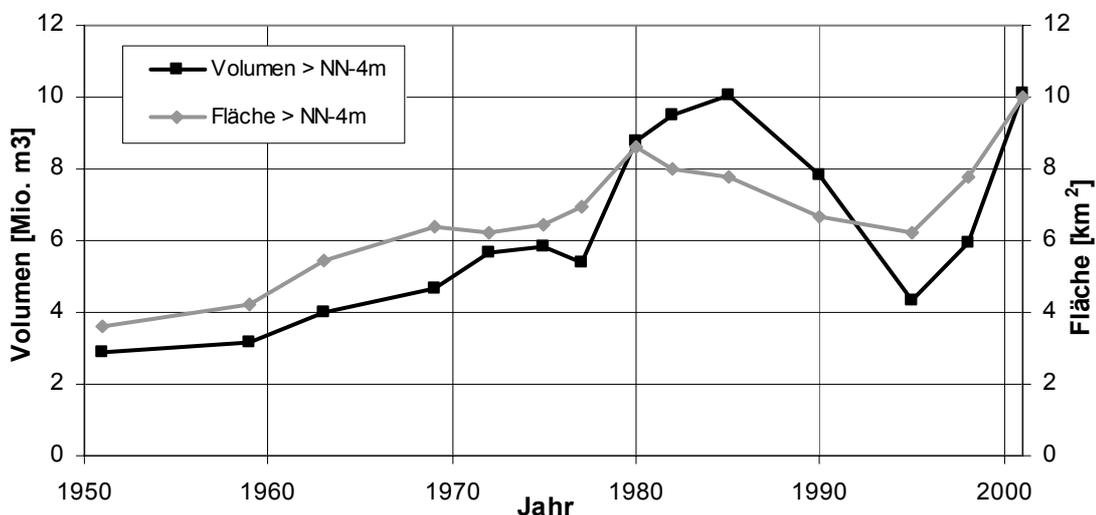


Abb. 22 Flächen- und Volumenentwicklung der Brauerplatten

Bereits von 1951 bis 1969, in der Phase, in der die Brauerplatten noch durch die Hommegatrinne geteilt sind, wächst das Gesamtvolumen oberhalb NN-4m von 2,9 auf 4,7 Mio. m<sup>3</sup> an. Die zugehörige Fläche vergrößert sich von 3,6 auf 6,4 km<sup>2</sup>. Bis 1977 ändern sich die Ausdehnung und das Volumen der Brauerplatten dann nur geringfügig, ehe sich der Einfluss der Ebbstromrinne durch die Verlagerung nach Westen verringert und die Brauerplatten zunehmend sedimentieren. In dieser Phase steigt das Volumen im Tiefenbereich oberhalb NN-4m bis 1985 auf 10,1 Mio. m<sup>3</sup> an. Dies entspricht einem Zuwachs von fast 250 % gegenüber 1951. Die Platenausdehnung erreicht ihr vorläufiges Maximum bereits 1980 mit 8,6 km<sup>2</sup>, was einem

Flächengewinn von 140 % entspricht. In den folgenden Jahren bis 1995 setzen Sedimentverluste ein, die ungefähr eine Rückentwicklung auf die Werte von 1969 ergeben. Diese Phase eines zwischenzeitlichen Volumenminimums Mitte der 90er Jahre deckt sich mit den Ergebnissen für das Rinnenvolumen des Hommegats in Abb. 21. Dort wurde für diesen Zustand ein begrenztes Maximum ermittelt. Nach 1995 treten im Bereich der Brauerplatten erneute Flächen- und Volumenzunahmen auf, die sich zwischen 1998 und 2001 noch verstärken. Mit einem Volumen von 10,1 Mio. m<sup>3</sup> erreicht der Sedimenthaushalt wieder die Werte aus den 80er Jahren. Die Fläche der Brauerplatten überschreitet sogar mit einer Ausdehnung von 10,0 km<sup>2</sup> den Zustand von 1980. Die großen Veränderungen in den letzten sechs Jahren hängen höchstwahrscheinlich mit dem Auseinanderschieren der Rinnen Hommegat und Osterems zusammen, zwischen denen sich verstärkt Sedimente ansammeln können. Über den Gesamtzeitraum von 50 Jahren vergrößert sich die Fläche der Brauerplatten oberhalb NN-4m um 6,4 km<sup>2</sup> (+177 %), das Sedimentangebot steigt um 7,2 Mio. m<sup>3</sup> (+250 %).

Nach der Analyse des Sedimenthaushalts stellt sich die Frage, inwieweit die Brauerplatten in der Vergangenheit einem Verlagerungsprozess unterworfen waren und wie sie sich zukünftig verschieben werden. Dazu wurde anhand eines jeden Jahrgangs der südlichste und östlichste Punkt der Brauerplatten in einer Tiefe von NN-3m und NN-4m definiert. Die entsprechenden Gauß-Krüger-Koordinaten wurden anschließend als Zeitreihen aufgetragen (Anlage 8.2). Für beide Verlagerungsrichtungen ist ein sehr dynamischer Kurvenverlauf zu verzeichnen, der durch die erheblichen morphologischen Umformungen im Umfeld der Brauerplatten verursacht wird. Zu beachten ist, dass für die Diagramme unterschiedliche Achsmaßstäbe gewählt werden mussten. Die Schwankungsbreite in Nord-Süd-Richtung beträgt beispielsweise gut 200 m, während die Rechtswerte um fast 3600 m variieren.

Die großen Differenzen bei der Definition des östlichsten Punktes der Brauerplatten kommen durch die Ausformung der bis in die 70er Jahre vorhandenen durchgehenden Barre im Hommegat zustande (vgl. Kap. 4.4). Nachdem die neue Ebbstromrinne des Hommegats vollständig ausgebildet ist (ca. 1975), ergibt sich ein annähernd linearer Verlauf der Verlagerungskurven in der oberen Abbildung von Anlage 8.2. Zwischen 1975 und 2001 bewegt sich der östlichste Punkt der Brauerplatten kontinuierlich um insgesamt ca. 1500 m nach Westen. Dies entspricht einer mittleren Verschiebung von rund 60 m/Jahr. Die Intensität dieses Prozesses hält auch in jüngster Zeit an, verursacht durch die kontinuierliche Verdrehung des Hommegats. Dabei ist jedoch zu beachten, dass für die Definition des östlichsten Punktes nur der Kernbereich der Brauerplatten berücksichtigt wurde. Die abgespaltenen Platenteile im Nordosten, die nach 1995 in die tiefe Rinne des Hommegats hineinwandern, wurden nicht als Bestandteil der Brauerplatten angesehen. Durch die Verschwenkung des Hommegats im Uhrzeigersinn können diese Sande jedoch relativ weit nach Osten vordringen. Die Platenwanderung wird auch durch die Ausformung einer neuen Ebbstromrinne im Südwesten des Hommegats begünstigt, die in den Zuständen von 1998 und 2001 gut erkennbar ist. Diese Rinne dringt in Richtung der Brauerplatten vor und verursacht zum einen die Abspaltung von Sediment aus dem Kerngebiet der Brauerplatten. Zum anderen sorgt die neue Ebbstromrinne für die weitere Verschiebung der Tiefenlinien nach Westen, wie sie aus Anlage 8.2 (oben) hervorgeht.

Die Verlagerung der Südgrenze der Brauerplatten (Anlage 8.2 unten) verläuft bis 1985 sehr uneinheitlich. Nachdem jedoch der Zusammenschluss der vorher aufgespaltenen Platenteile vollzogen ist und die nach Westen wandernde Ebbstromrinne sich komplett in die Osterems verlagert hat, ergibt sich seit 1985 ein näherungsweise linearer Kurvenverlauf. Die NN-3m bzw. NN-4m-Tiefenlinien im südlichen Bereich der Brauerplatten verschieben sich bis 2001 beide um ca. 210 m nach Süden, entsprechend 13,6 m pro Jahr. Die Kontinuität dieses Prozesses ist besonders auffällig und legt die Vermutung nahe, dass sich auch zukünftig die Südverlagerung

in ähnlichem Maße fortsetzt. Zusammenfassend ist festzustellen, dass die mittlere Verlagerung der Brauerplatten nach Westen viermal größer ist als die mittlere Verschiebung nach Süden.

#### 4.6 Osterems

Wie bereits in Kap. 2.3.6 erwähnt, erfährt die Osterems im Laufe der letzten Jahrhunderte eine Verschwenkung gegen den Uhrzeigersinn. Das Ergebnis der Untersuchungen von HOMEIER (1968) und LUCK & STEPHAN (1983) für die vier Zustände von 1833, 1859, 1963 und 1975 ist in Anlage 9.1 dargestellt. Als markante Begrenzung der tiefen Stromrinne wurde hier die SKN-15m-Linie gewählt. Diese Tiefe entspricht ungefähr NN-16,4m, da die SKN-NN-Differenz im Bereich der Osterems zwischen -130 und -150 cm liegt. Eine entsprechende aktualisierte Auswertung für diesen Tiefenbereich der Osterems wurde mit den Jahrgängen 1975, 1985, 1995 und 1998 durchgeführt. Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurde die gleiche Darstellungsweise wie in den früheren Arbeiten gewählt. Die Neuberechnung der auf NN bezogenen Tiefenlinie von 1975 zeigt dabei eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen von LUCK & STEPHAN (1983).

Die erheblichen Lageveränderungen der Osterems im Laufe des 19. Jh. schwächen sich nach 1963 ab, was bereits im Differenzenplan 1963-1975 der Anlage 9.1 deutlich wird. Dennoch ist eine Drehung gegen den Uhrzeigersinn erkennbar, so dass die Rinne der Osterems sich weiterhin dem Norden Borkums bzw. dem Süden Memmerts nähert. Darüber hinaus findet eine Ausdehnung der tiefen Rinne nach Westen in den Bereich des Voorentiefs statt. Diese Tendenz bleibt auch nach 1975 vorhanden, erkennbar an den dunkel markierten Flächen in Anlage 9.2. Auffällig ist, dass sich nach 1975 die Aufteilung der Osterems im östlichen Teil zusehends auflöst. Die Memmertbalje und der südlich davon gelegene Abschnitt der Osterems verbinden sich bis 1995 zu einer gemeinsamen tiefen Rinne. Dieser Effekt zeugt vom stärker werdenden Stromarbeitsvermögen der Memmertbalje, die ihren Einfluss im Juister Watt - insbesondere nach 1985 - erheblich vergrößert (vgl. Kap. 4.3.2). Eine weitere Annäherung der Osterems-Rinne an die Südseite der Insel Memmert nach 1975 ist aus den Darstellungen in Anlage 9.2 nicht zu erkennen. Hingegen ist eine weitere Südverlagerung der Osterems im Querschnitt zwischen Brauerplatten und Nordteil der Insel Borkum auch in dem Zeitraum von 1975 bis 1998 auszumachen. Um den Verschwenkungsprozess der Osterems quantitativ abschätzen zu können, ist für zwei Profile im Bereich Brauerplatten und Memmert die Lage der NN-4m und NN-10m-Tiefenlinien näher untersucht worden (Abb. 23).

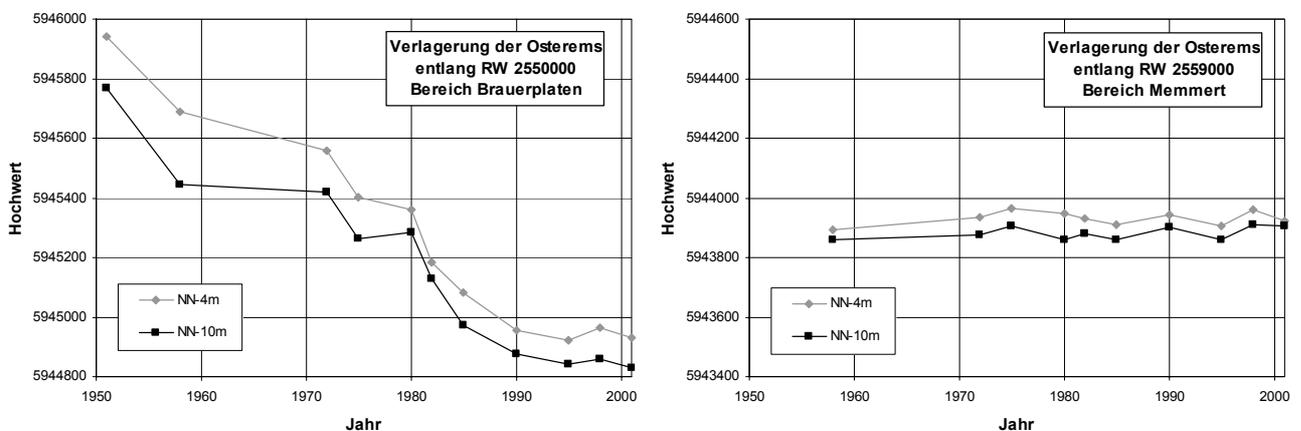


Abb. 23 Verlagerung der Osterems-Rinne im Westen (links) und Osten (rechts)

Es zeigt sich, dass die beobachtete Südverschiebung der Rinne auf Höhe der Brauerplatten von 1951 bis 1990 sehr schnell voranschreitet. Insgesamt beträgt die Verlagerung in diesem Zeitraum

rund 900 m (entspricht im Mittel  $\sim 23$  m/Jahr). In der Folgezeit bis 2001 ist hingegen nur noch eine geringe Verlagerungsgeschwindigkeit festzustellen ( $\sim 4$  m/Jahr).

Die Begrenzung der Osterems im Bereich Memmert ist im rechten Diagramm der Abb. 23 dargestellt, zur besseren Vergleichbarkeit im gleichen Maßstab wie die Werte im linken Diagramm. Die direkte Gegenüberstellung zeigt deutlich die Unterschiede in der Größenordnung der Verlagerung. Während im Übergang Brauerplatten-Osterems erhebliche Veränderungen von 1951 bis 2001 erkennbar waren, nähert sich die Osterems-Rinne seit 1958 nur sehr geringfügig der Südseite Memmerts. Für die NN-10m-Linie ist lediglich eine Nord-Verschiebung von 47 m zu verzeichnen. Dies entspricht einer mittleren jährlichen Verlagerung von 1,1 m. Zu berücksichtigen ist, dass sich der Drehpunkt für die Verschwenkung der Osterems südwestlich der Insel Memmert befindet. Dadurch ergeben sich für die Tiefenlinien im Bereich Memmert von vornherein kleinere Verlagerungswerte als im Querschnitt Brauerplatten-Borkum. Für den östlichen Teil der Osterems lässt sich aufgrund der geringen Verschiebungen keine eindeutige Entwicklungstendenz ableiten. Für den westlichen Teil der Osterems ist aber eine deutliche Abnahme der Verlagerungsgeschwindigkeit seit Anfang der 90er Jahre zu erkennen. Genauere Aussagen über die zukünftige Entwicklung der Osterems werden unter Einbeziehung des Bereiches Borkum nach Abschluss des nächsten Teilprojektes der Inselforschungsuntersuchungen erwartet.

## 5. Zusammenfassung

Die Ostfriesischen Inseln unterliegen im Laufe der letzten Jahrhunderte ständigen Veränderungen. Eine bedeutende Rolle für den Bestandserhalt der Inseln kommt dabei dem küstenparallelen Sedimenttransport zu, der überwiegend von West nach Ost gerichtet ist. Die Sandversorgung an den Westenden der Inseln wird durch das dynamische Gleichgewicht der Platenbewegungen in den jeweiligen Riffbögen gesichert. Im Zusammenhang mit dem Meeresspiegelanstieg ist vielfach nicht nur eine Südverlagerung der Tiefenlinien und Aufsteilung der Inselstrände zu beobachten, sondern auch eine morphologische Umgestaltung im Bereich der Seegaten und Riffbögen. Im Westen der Insel Juist kommt es infolge dieser Prozesse seit einigen Jahrzehnten zu einer Verschiebung des Platananlandungsbereiches in westliche Richtung. Es werden verstärkt Sedimente im Gebiet des Billriffs abgelagert, was zur Bildung eines hornförmigen Platensystems westlich von Juist führt. Der nördlich des Billpolders gelegene Strandbereich der Insel leidet dagegen an einer Sedimentunterversorgung, so dass dieser Inselabschnitt als langfristig von Erosion bedroht anzusehen ist.

Um ein umfassendes Schutzkonzept für den Westen der Insel Juist aufstellen zu können, wird die dargestellte Problematik im Rahmen des Projektes „Vorarbeiten zum Inselchutz Ostfriesische Inseln“ unter Einbeziehung der großräumigen Entwicklung im westlichen Inselumfeld untersucht. Im vorliegenden Abschlussbericht für Juist/Memmert wird die Beurteilung der morphologischen Gestaltungsvorgänge vorwiegend auf der Grundlage von Vermessungsdaten der Jahre 1951 bis 2001 durchgeführt. Qualitative und quantitative Erkenntnisse über die großräumigen Umgestaltungen der letzten 50 Jahre werden durch die Erstellung und Auswertung digitaler Geländemodelle (DGM) gewonnen. Daraus ermittelte Trends für einzelne morphologische Prozesse im Bereich Juist/Memmert erlauben Schlussfolgerungen über kausale Zusammenhänge und die Ableitung von möglichen Entwicklungstendenzen. Die Kartengrundlage für die durchgeführten Untersuchungen besteht mehrheitlich aus Peilungen des BSH. Bei der Verwendung dieser Daten für morphologische Analysen sind die in Kap. 3.3.1 erwähnten Fehlerquellen zu berücksichtigen. Sie ergeben sich aufgrund von technischen Veränderungen und beim Bezug der Lotungsergebnisse auf Pegelwerte (Beschickungsproblematik). Durch die Vereinheitlichung der Messsysteme auf den Standard D-GPS (Lage- und Höhenbestimmung über Satellitenpositionierung) ist zukünftig eine größere Genauigkeit und bessere Vergleichbarkeit der Tiefenmessungen zu erwarten.

Für die morphologische Entwicklung ist zusammenfassend festzustellen, dass das Juister Riff aufgrund der Südverschiebung der Tiefenlinien und der Veränderung des Hommegats von 1963 bis 1995 bedeutenden erosiven Prozessen ausgesetzt ist. Das Sedimentangebot im Juister Riff reduziert sich von 45,6 auf 17,6 Mio. m<sup>3</sup> oberhalb NN-6m bei gleichzeitiger Flächenabnahme von 23,8 auf 13,4 km<sup>2</sup>. Die Ausdehnung des Riffs nach Nordwesten verringert sich in diesem Zeitraum um bis zu 3000 m. Nach 1995 folgt eine Phase, die von Volumen- und Flächenzuwachs gekennzeichnet ist (+10,6 Mio. m<sup>3</sup> bzw. +4,2 km<sup>2</sup> NN-6m).

Für eine detailliertere Volumenanalyse am Nordrand des Juister Riffs und im Vorstrandbereich Juist-West wurden mehrere Teilgebiete entsprechend den regelmäßig vermessenen Strandprofilen gewählt. Dabei wurde auch die Morphologie des Tiefwasserbereiches bis ca. NN-10m berücksichtigt. Durch verstärkte Erosion im tieferen Vorstrandbereich kommt es bis östlich des Hammersees zu einer Abnahme der mittleren Tiefe je Teilgebiet. Die Sedimentverluste im tiefergelegenen Vorstrandbereich sind dabei größer als im strandnahen Bereich. Trendberechnungen im Vorstrandbereich Juist-West, die für Tiefenlagen ober- und unterhalb NN-5m durchgeführt wurden, weisen in größeren Tiefen eine deutlich ungünstigere morphologische Entwicklung nach. Durch die resultierende Aufsteilung des Vorstrandes ist ein

zeitverzögertes Auftreten der erosiven Prozesse auch an Stränden zu erwarten, bei denen bisher mit Profilauswertungen noch keine negative Tendenz im Strand- und Dünenbereich festgestellt wurde. Eine überwiegend ausgeglichene Sedimentbilanz für die gemeinsame Betrachtung des Strand- und Vorstrandbereiches ergibt sich nach den vorliegenden Berechnungen ungefähr erst auf Höhe des Strandes zwischen Loog und Ortskern. Bei der kleinräumigen Betrachtung des Sedimenthaushalts zeigt sich, dass eine Differenzierung der Entwicklung nach Tiefenbereichen daher notwendig ist.

Durch die Tiefenzunahme im Küstenvorfeld und die Umformungen innerhalb des Juister Riffs formiert sich seit 1982 ein ausgeprägter Riffbogen, der die Platenbewegung in östliche Richtung beeinflusst. Die morphologischen Veränderungen beschränken sich jedoch auf den Bereich oberhalb NN-5m, während in größeren Tiefen nördlich des Riffbogens weiterhin eine Südverschiebung der Tiefenlinien vorhanden ist. Die Verlagerung der Sedimente innerhalb des Riffbogens nach Südosten zwischen 1995 und 2001 könnte ein Hinweis darauf sein, dass der Weg der Platen sich zukünftig auf einer immer weiter südlich liegenden Bahn vollziehen wird. Der Platanlandungsbereich des Riffbogens wird infolgedessen höchstwahrscheinlich auf das Billriff beschränkt bleiben und die Strandsituation im Westen Juist keine Verbesserung erfahren.

Die direkt westlich der Insel Juist gelegene Schillplate erfährt im Zeitraum von 1951 bis 2001 durch das Sedimentangebot aus dem Juister Riff und die Sandzufuhr aus dem Riffbogen eine Flächenverdoppelung oberhalb NN-1m. Seit Mitte der 80er Jahre schwächt sich das Flächenwachstum jedoch ab, da der Verlauf der Juister Balje die Erweiterung der Schillplate begrenzt. Für die kommenden Jahre ist voraussichtlich keine gravierende Flächenänderung zu erwarten.

Das Einzugsgebiet und das Tidevolumen der Juister Balje weisen in den Jahren von 1958 bis 1998 eine rückläufige Tendenz auf. Im Juister Watt findet verstärkt eine Entwässerung über die Memmertbalje statt. Das Tidevolumen der Juister Balje reduziert sich um insgesamt 14%. Der Mündungsbereich der Juister Balje verändert sich bis 1975 dahingehend, dass die breitgefächerte Entwässerung über das Juister Riff auf einzelne Rinnen konzentriert wird. Bis 1990 findet eine weitere Bündelung des Ebbstroms aus der Juister Balje statt, die zu der Bildung einer einzelnen nördlich orientierten Rinne mit Tiefen unter NN -10 m führt. Auch die Entstehung des Riffbogens wird durch diesen Prozess begünstigt. Die Mündungsrinne der Juister Balje erfährt von 1985 bis 2001 nur noch eine mittlere Verlagerung nach Osten um 25 m/Jahr. Dabei verschwenkt der Durchbruch der Balje im Riffbogen zwischen 1995 und 2001 deutlich nach Westen. Der Einfluss der Juister Balje auf die Gestaltungsvorgänge des Juister Riffs und insbesondere des Riffbogens scheint sich aufgrund des abnehmenden Stromarbeitsvermögens im Laufe der Jahre zu verringern.

Die Kachelotplate dehnt sich zwischen 1951 und 2001 um das vier- bis fünffache aus. Die Plate entwickelt sich von einem nach Nordwest gestreckten, länglichen Sand zu einer kompakten, sichelförmigen Gestalt und verlagert sich erheblich nach Südosten. Das Flächenwachstum der Kachelotplate nimmt, ähnlich wie bei der Schillplate, seit 1985 (bezogen auf NN-2m-Linie) bzw. seit 1997 (bezogen auf Tiefen NN-2m) wieder ab. Da die Möglichkeiten zur Erweiterung der Kachelotplate durch die morphologischen Grenzen der Juister Balje, der Insel Memmert und der tiefen Rinne der Osterems relativ eingeschränkt sind, ist eine weitere Flächenreduzierung der Kachelotplate wahrscheinlich. Solange zusätzliche Sedimentzufuhr aus dem Juister Riff gewährleistet ist, wird sich jedoch die Höhe (und evtl. auch das Volumen) der Kachelotplate vermutlich über einen gewissen Zeitraum noch vergrößern oder zumindest konstant bleiben. Im Übergangsbereich Kachelotplate-Memmert, wo noch 1958 eine nach Norden ausgerichtete Rinne mit Tiefen unter NN -5 m vorhanden war, kommt es in den letzten Jahren zu einer kontinuierlichen Querschnittserhöhung. Die verbliebene Restrinne zwischen Insel und Plate füllt

sich in den letzten Jahrzehnten gleichmäßig um 3 bis 4 cm/Jahr auf, so dass voraussichtlich auch in den nächsten Jahren mit einem weiteren stetigen Zusammenwachsen von Kachelotplate und Memmert zu rechnen ist.

Im Bereich des Hommegats ist eine Drehung der Rinnenachse im Uhrzeigersinn zu beobachten. Die in den 50er Jahren nach WNW ausgerichtete Rinne schwenkt bis 1980 langsam nach NW, um dann bis 2001 eine annähernd nördliche Orientierung einzunehmen. Dabei verändert sich auch die Anordnung der Ebb- und Flutstromrinnen. Während 1951 die Ebbstromrinne noch westlich der Flutstromrinne verläuft, kehrt sich die Lage der Rinnen bis 2001 um. Eine vormals im südlichen Bereich des Hommegats gelegene Barre mit Höhen bis zu NN -2 m löst sich aufgrund dieser Vorgänge bis 1975 auf. Die Bedeutung des Hommegats als Hauptebbstromrinne der Osterems nimmt im Gesamtzeitraum deutlich zugunsten des Voorentiefs ab, was durch die Reduzierung des Rinnenvolumens von 60 auf 37 Mio. m<sup>3</sup> in den letzten 50 Jahren belegt wird.

Die Brauerplatten werden noch bis 1975 von einer Ebbstromrinne des Hommegats aufgespalten, die bis 1990 in den Lauf der Osterems übergeht. Die Platen schließen sich dadurch allmählich zu einer kompakteren Form zusammen und gewinnen gleichzeitig an Ausdehnung und Höhe. Die Fläche der Brauerplatten oberhalb NN-4m vergrößert sich von 3,6 auf 10,0 km<sup>2</sup> (1951-2001), während das Sedimentvolumen von 2,9 auf 10,1 Mio. m<sup>3</sup> steigt. Da die Massenentwicklung insbesondere in den letzten zwei Jahrzehnten sehr unstetig verläuft, ist keine eindeutige Tendenz abzusehen. Die Verlagerung der Brauerplatten an ihren Süd- und Ostgrenzen verläuft jedoch relativ kontinuierlich: nach Süden mit ~14 m/Jahr und nach Westen mit ~60 m jährlich.

Die Osterems erfährt bereits seit Mitte des 19. Jh. eine Verdrehung gegen den Uhrzeigersinn, die eine Annäherung der tiefen Rinne an die Südseite der Insel Memmert und an die Nordseite Borkums bewirkt. Dieser Prozess schwächt sich im Laufe des 20. Jh. allerdings ab. In den letzten 50 Jahren ist im Bereich Memmert nur eine sehr geringe Verlagerung der Tiefenlinien festzustellen. Auf Höhe der Brauerplatten ist von 1951 bis 1990 zwar noch eine deutliche Südverschiebung der Rinne zu verzeichnen, die Verlagerungsgeschwindigkeit verringert sich nach 1990 jedoch deutlich.

Die Auswertung der großräumigen morphologischen Vorgänge westlich der Insel Juist ergibt folgende Erkenntnis: Die Kombination aus der Südverschiebung der Tiefenlinien und dem küstenparallelen Sedimenttransport im westlichen Umfeld der Insel Juist führt nachweislich zu einer großräumigen Sedimentverlagerung in südöstliche Richtung. Das Sedimentangebot des Juister Riffs wird anscheinend von der Entwicklung der Rinnen Hommegat und Haaksgat geprägt. Nach der Versandung des Bereiches zwischen Kachelotplate und Memmert kommt es durch Sedimentverlagerung nach Südosten zu einer Vergrößerung der Kachelotplate und der Schillplate. Die Sedimentation in diesem Bereich wird maßgeblich vom Stromarbeitsvermögen der Juister Balje beeinflusst und führt im Zusammenspiel mit der Konzentration der Juister Balje auf eine nach Norden gerichtete Rinne zu der Herausbildung eines ausgeprägten Riffbogens. Die Umlenkung der Platen im Bereich des Riffbogens wird aller Voraussicht nach keine Verbesserung der Strandverhältnisse im Westen Juists ergeben, da sich der Platenanlandungsbereich aufgrund der generellen Südverschiebung der Tiefenlinien auch zukünftig vermutlich nicht ausreichend nach Osten verlagern wird. Im Hinblick auf den Anstieg des Meeresspiegels und die damit verbundene Tiefenzunahme im Vorstrandbereich müssen diese Vorgänge voraussichtlich als gerichtete und unumkehrbare Prozesse angesehen werden. Es ist vorsorglich von einer **Fortsetzung der ungünstigen morphologischen Verhältnisse westlich von Juist** auszugehen, so dass der Vorstrand- und Dünenbereich im Westen Juists auch langfristig von Erosion bedroht und daher eine weitere genaue Beobachtung der Veränderungen im Bereich Juist-West unerlässlich sein wird.

## 6. Literatur

- BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (BAW) (1996): Archivierung von KUEstenpeilDATen auf dem Zentralrechner der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) bei der BAW in Karlsruhe. 2.Auflage
- HOMEIER, H. (1959): Untersuchungen der Veränderungen des Juister Wattes zur Frage eines Durchbruches der Memmert Balje zum Buse Tief. - Jber. Forschungsstelle Norderney 1958, 10: 12-25 u. 9 Anlagen
- HOMEIER, H. (1964): Beiheft zu: Niedersächsische Küste, Historische Karte 1:50000, Nr. 5 der Niedersächsischen Wasserwirtschaftsverwaltung. - Forschungsstelle für Insel- und Küstenschutz Norderney
- HOMEIER, H. (1968): Die Strandentwicklung der Insel Memmert. - Jber. Forschungsstelle Insel- und Küstenschutz Norderney 1966, 18: 9-36 u. 14 Anlagen
- HÜTTEMEYER, P., A. KOOPMANN, H. KUNZ & M. PUSCHMANN (1998): KFKI Forschungsvorhaben „Morphologische Gestaltungsvorgänge im Küstenvorfeld der Deutschen Bucht“, Zwischenbericht 1997. - Dienstber. Forschungsstelle Küste Norderney 6/1998: 22 S., 10 Abb., 6 Anl.
- HÜTTEMEYER, P., A. KOOPMANN, H. KUNZ & M. PUSCHMANN (1999): Datendokumentation und Untersuchungen zur Verwendung von Seevermessungen des DHI/BSH für morphologische Fragestellungen. - KFKI Forschungsvorhaben „Morphologische Gestaltungsvorgänge im Küstenvorfeld der Deutschen Bucht“ (03KIS308), Abschlussbericht 1999, Dienstber. Forschungsstelle Küste Norderney 18/1999: 105 S., 58 Abb.
- KOCH, M. (1965): Untersuchungen zur hydrographischen und morphologischen Bedeutung der Memmertbalje für das westliche Einzugsgebiet des Norderneyer Seegats. - Jber. Forschungsstelle Norderney 1964, 16: 117-141 u. 6 Anl.
- KÖRITZ, D. (1955): Quantitative Untersuchungen der Wasservertriftung über das Juister Watt. - Jber. Forschungsstelle Norderney 1954, 6: 39-50 u. 15 Anl.
- KURZAK, G. (1953): Die historische Entwicklung des Juister Watts (nach Ausarbeitung von Dr. Lang). - Jber. Forschungsstelle Norderney 1950, 2: 285 S. (unveröffentlicht)
- LANG, A.W. (1955): Das Juister Watt. - Schriften der wirtschaftswissenschaftlichen Gesellschaft zum Studium Niedersachsens, Bd. 57
- LEEGE, O. (1935): Werdendes Land in der Nordsee. - Schriften des deutschen Naturkundevereins, 2
- LUCK, G. & H.-J. STEPHAN (1983): Verlagerung morphologischer Großformen nördlich der Osterems und deren Einfluß auf das Westende von Juist. - Jber. Forschungsstelle Küste Norderney 1982, H. 34: 11-29
- MEYER, C. & H.-J. STEPHAN (2000): Sonderuntersuchungen für Vorarbeiten zum Inselfchutz Ostfriesische Inseln - Morphologische Entwicklung im Einzugsgebiet des Norderneyer Seegats. - Dienstber. Forschungsstelle Küste Norderney 4/2000: 26 S. u. 22 Anl.

- NIEMEYER, H.D. (1994): Long-term morphodynamical development of the East Frisian Islands and coast. - Proc. 24th ICCE, Kobe/Japan, ASCE, New York
- NLWK (2000): Vorarbeiten zu Schutzkonzepten für die Ostfriesischen Inseln - Wehrhaftigkeit der Schutzdünen im Westteil der Insel Juist. - Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft und Küstenschutz, Betriebstelle Norden
- STEPHAN, H.-J. (1990): Untersuchungen zur großräumigen morphologischen Entwicklung im Bereich Memmert / Juister Riff. - Jber. Forschungsstelle Küste Norderney, H. 39: 121-149
- STEPHAN, H.-J. (1993): Morphologie des Norderneyer Seegats und des zugehörigen Einzugsgebietes seit 1935. - Dienstber. Forschungsstelle Küste Norderney: 18 S. u. 23 Anl.
- STEPHAN, H.-J. (1995): Morphologische Entwicklung im Bereich der Insel Juist. - Ber. Forschungsstelle Küste Norderney, H. 40: 101-118
- WINDBERG, F. (1931): Die Dünen von Juist. - Ann. Hydrol. Berlin, LIX. Jg., H. II

## 7. Anlagen

### Anlage 1 Historisches Kartenwerk der Forschungsstelle Küste

- 1.1 Zustand von 1650
- 1.2 Zustand von 1750
- 1.3 Zustand von 1860
- 1.4 Zustand von 1960

### Anlage 2 Luftbilder Juist West

- 2.1 Aufnahmen von 1929 und 1937
- 2.2 Aufnahmen von 1957 und 1975
- 2.3 Aufnahmen von 1980 und 1990
- 2.4 Aufnahmen von 1995 und 1998
- 2.5 Aufnahmen von 1999 und 2001

### Anlage 3 Topographie im Untersuchungsgebiet

- 3.1 Tiefenpläne von 1951 bis 1975
- 3.2 Tiefenpläne von 1980 bis 2001

### Anlage 4 Juister Riff

- 4.1 Verlagerung des nordwestlichsten Punktes
- 4.2 Sedimentbilanz im Gesamtbereich Juister Riff
  - 4.2.1 Volumenentwicklung von 1951 bis 2001
  - 4.2.2 Flächenentwicklung von 1951 bis 2001
  - 4.2.3 Volumenentwicklung von 1951 bis 2001 für separate Tiefenhorizonte
- 4.3 Auswertung für 12 Teilgebiete am Nordrand des Juister Riffs und im westlichen Vorstrandbereich Juists
  - 4.3.1 Sedimentbilanz (Mittlere Tiefe + Volumen)
  - 4.3.2 Profile
- 4.4 Trendberechnung für Vorstrandbereich Juist-West
- 4.5 Verlagerung des Riffbogens
- 4.6 Schillplate

### Anlage 5 Kachelotplate

- 5.1 Verlagerung der Kachelotplate
- 5.2 Strandprofile Memmert im Übergang zur Kachelotplate (Profil-Nr. 55-75)

### Anlage 6 Juister Balje und Watteinzugsgebiet

- 6.1 Querprofile Juister Balje
- 6.2 Morphologie und Teileinzugsgebietsgrenzen im Juister Watt
- 6.3 Veränderung des Wattniveaus (Differenzenpläne)

### Anlage 7 Hommegat

- 7.1 NN-10m Tiefenlinie
- 7.2 Querprofile durch Hommegat und Brauerplatten

### Anlage 8 Brauerplatten

- 8.1 Sedimentbilanz für die Brauerplatten
  - 8.1.1 Volumenentwicklung von 1951 bis 2001
  - 8.1.2 Flächenentwicklung von 1951 bis 2001
  - 8.1.3 Volumenentwicklung von 1951 bis 2001 für separate Tiefenhorizonte

## 8.2 Verlagerung der Süd- und Ostgrenze der Brauerplatten

### Anlage 9 Osterems

9.1 Verlagerung der SKN-15m Tiefenlinie 1833-1975 (nach LUCK & STEPHAN 1983)

9.2 Verlagerung der NN-16,4m(≈SKN-15m) Tiefenlinie 1975-1998

CD mit Daten und Präsentationen