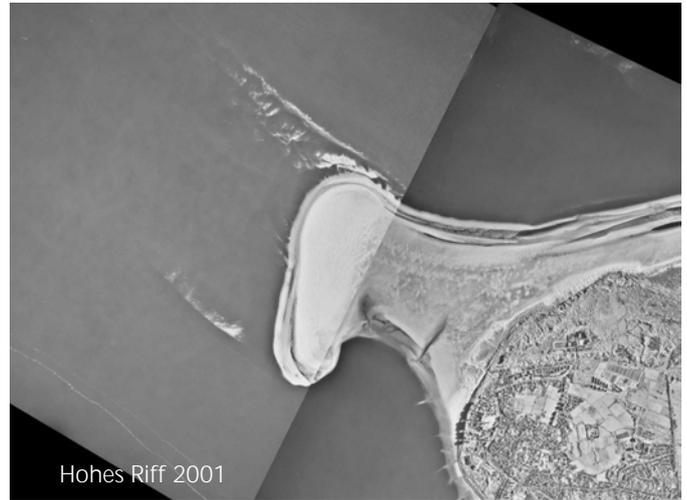




Niedersächsisches
Landesamt für
Ökologie



Hohes Riff 1969



Hohes Riff 2001

Florian Ladage

Vorarbeiten zu Schutzkonzepten für die Ostfriesischen Inseln

Morphologische Entwicklung
im Bereich der Insel Borkum

Herausgeber:

Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (NLÖ)
- Forschungsstelle Küste-
2003

Bezug:

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

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

Florian Ladage

**Vorarbeiten zu Schutzkonzepten für die Ostfriesischen Inseln
Morphologische Entwicklung im Bereich der Insel Borkum**

Norderney, im Januar 2003

Leiter der
Forschungsstelle Küste

M. Striegnitz

Dezernatsleiter
Geomorphologie
des Küstengebietes

Dr. H.-J. Stephan

Vorarbeiten zu Schutzkonzepten für die Ostfriesischen Inseln

Morphologische Entwicklung im Bereich der Insel Borkum

Florian Ladage

Inhaltsverzeichnis:

| | Seite |
|--|-----------|
| 1. Einleitung | 1 |
| 2. Rückblick auf die Entwicklung der Insel Borkum | 2 |
| 2.1 Historische Inselentwicklung | 2 |
| 2.2 Jüngere Inselentwicklung und Wissensstand bisheriger Untersuchungen..... | 3 |
| 3. Arbeitsunterlagen und Methodik..... | 5 |
| 4. Morphologische Entwicklung im Strandbereich Borkums | 7 |
| 4.1 Nordwest- und Nordstrand | 7 |
| 4.2 Oststrand | 8 |
| 4.3 Zeitlicher Ablauf der Strandentwicklung..... | 9 |
| 4.4 Trendberechnungen und Abschätzung der zukünftigen Strandentwicklung..... | 10 |
| 5. Großräumige morphologische Entwicklung..... | 12 |
| 5.1 Vorstrandbereich vor dem Nordwest- bis Oststrand Borkums | 12 |
| 5.2 Hohes Riff, Westerriff und Osterriff | 15 |
| 5.3 Borkumriffbalje, Voorentief und Osterems | 16 |
| 6. Zusammenfassung | 20 |
| 7. Literatur | 21 |
| 8. Anlagen | 22 |

1. Einleitung

Erhebliche Dünenabbrüche am Nordweststrand der Insel Borkum gaben Anfang der 90er Jahre Anlass für die Befürchtung, dass sich bei Fortschreiten der Erosionen mittelfristig eine Gefährdung der Schutzdünenbereiche im Norden der Insel ergeben könnte (siehe Anlage 1). Besondere Bedeutung kommt der Sicherung dieser Dünenabschnitte zu, da sie im Sturmflutfall den Zutritt von Salzwasser in die Süßwasserlinse verhindern und dadurch die zukünftige Trinkwasserversorgung der Insel gewährleisten. Intensive Untersuchungen Mitte der 90er Jahre (KUNZ et al. 1995, ABELS & RAGUTZKI 1996) führten die aufgezeigten Strand- und Dünenrückgänge auf großräumige morphologische Veränderungen nördlich von Borkum zurück. Diese Veränderungen stehen im Zusammenhang mit komplexen Verlagerungsprozessen der Osterems, des Hommegats und der Brauerplatten, die auch Auswirkungen auf das Juister Riff und somit auf die Sandversorgung des Westendes von Juist haben. Da derartigen strukturellen Umgestaltungen mit massiven Bauwerken nicht langfristig entgegengewirkt werden kann, wurde im Falle einer verschärften Gefährdungslage für den Nordstrand der Insel Borkum der kurzfristige Einsatz von Strandaufspülungen empfohlen. Eine entsprechend kritische Verschlechterung der Strandsituation ist bis heute nicht eingetreten, so dass bislang keine Notwendigkeit zum Eingriff in das natürliche Geschehen bestand. Jedoch treten im nördlichen Vorfeld Borkums weiterhin großräumige Veränderungen der Riffe und Rinnen auf, so dass die Frage, ob eine Sicherung der Inselstrände und Schutzdünen langfristig gewährleistet ist, große Aktualität besitzt.

Für den vorliegenden Bericht führte die Forschungsstelle Küste (FSK) des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie (NLÖ) im Rahmen der „Vorarbeiten zu Schutzkonzepten für die Ostfriesischen Inseln“ im Auftrag des NLWK Norden Untersuchungen über die aktuelle morphologische Entwicklung Borkums durch. Auf der Grundlage früherer Arbeiten wurde zunächst die Situation am Nordwest-, Nord- und Oststrand Borkums analysiert. Die Zeit-Weg-Pläne für die Strandprofile wurden aktualisiert und die Prognose für zukünftige Entwicklungstendenzen der Strandabschnitte anhand von aktuellen Trendberechnungen überprüft und angepasst. Die großräumigen Gestaltungsvorgänge zwischen Borkum und Juist (siehe hierzu auch LADAGE 2001), insbesondere die Dynamik der Rinnensysteme, wurden im Hinblick auf rezente Strandveränderungen ursächlich dargestellt. Hierfür standen Seevermessungsdaten aus den Jahren 1950 bis 2001 in digitaler Form zur Verfügung, die eine quantitative Abschätzung der Flächen- und Volumenveränderungen einzelner morphologischer Einheiten ermöglichten. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse wurden abschließend zusammengefasst und zu einer aktuellen Prognose für die zukünftige Entwicklung erweitert.

2. Rückblick auf die Entwicklung der Insel Borkum

2.1 Historische Inselentwicklung

Die Insel Borkum nimmt als westlichste der Ostfriesischen Inseln eine morphologische Sonderstellung ein: Ihre Lage ist im Vergleich zur Aneinanderkettung der übrigen Ostfriesischen Inseln erheblich nach Süden verschoben. Zudem befindet sich Borkum zwar am Rand eines größeren Wattkomplexes, dem Randzel, erhält seine formgebenden Impulse jedoch durch die Tatsache, dass es in der Emsmündung liegend von den tiefen Rinnen der Wester- und Osterems umschlossen wird. Diese Rinnen dienen nicht nur zur Entwässerung der Wattflächen, sondern werden auch vom Oberwasserabfluss aus dem Emsästuar und der Speicherwirkung des Dollart beeinflusst. Ursprünglich hängt die Gestalt der Emsmündung im Wesentlichen mit der Entstehung des Dollarts zusammen, der durch seinen großen Flutspeicherraum für die erreichten Wassertiefen verantwortlich ist (SCHUBERT 1970). Heutzutage fungiert die Osterems weniger als Mündungsarm der Ems, sondern ist zusehends für den Wasseraustausch mit den östlich der Ems gelegenen Watten verantwortlich. Die beständigen Veränderungen der Stromrinnen wirken sich naturgemäß auch auf Erosions- und Sedimentationsvorgänge und damit auch direkt und indirekt auf die Sandversorgung der Insel Borkum und umgebende Bereiche aus.

Die Entwicklung Borkums kann durch die bereits im 12. und 13. Jahrhundert erlangte Bedeutung der Insel für die Kreuzzüge zurückverfolgt werden. Jedoch sind genauere Aussagen zu Lage und Aussehen nicht möglich, da die Segelanweisungen, in der die Insel Borkum immer wieder als geschützter Ankerplatz genannt wird, zu ungenau sind (LANG 1958). Eine erste handschriftliche Erwähnung Borkums ist für das Jahr 1462 nachzuweisen. Auf einer gedruckten Seekarte erscheint Borkum erst 1527. Von 1541 existiert eine Seitenansicht der Insel: Sie zeigt drei kleine Eilande, die durch dünenfreie Gebiete voneinander getrennt sind. Als wichtiger Orientierungspunkt für die Seeschiffahrt wird der Kirchturm genannt, der auf dem mittleren Teil liegt. Im Jahr 1576 findet das Borkumer Riff mit einer angegebenen Länge von 9-10 km seine erste Erwähnung. In einer weiteren Segelanweisung ist die Bemerkung enthalten, dass die mittleren Bereiche der Westerems Tiefen von 28-30 m einnehmen, wohingegen an den randlichen Bereichen nur 14 m festgestellt werden konnten. Die intensive Quellenauswertung durch LANG (1958) bestärkt die Vermutung, dass der westliche Teil Borkums wahrscheinlich schon im 16. Jahrhundert breiter war als die Westköpfe der anderen ostfriesischen Inseln.

Die morphologische Entwicklung Borkums wird durch das Historische Kartenwerk 1:50.000, Nr. 1, der Forschungsstelle Küste umfassend dargestellt. Die vier Teilkarten zeigen die Zustände von 1650, 1750, 1860 und 1960 (Anlage 2). Der Kartenausschnitt beinhaltet die Insel Borkum mit dem Hohen Riff und dem Randzel sowie der Wester- und Osterems. Eine Erläuterung des Kartenwerks ist im zugehörigen Beiheft (HOMEIER 1979) enthalten. Bei einer ersten großräumigen Betrachtung der Entwicklung ist die immense Flächenvergrößerung der Insel seit 1650 auffällig. Die Fläche, die von der MThw-Linie eingeschlossen wird, hat um rund 50 % zugenommen (Tabelle 1). Ein wesentlicher Grund für die Flächenvergrößerung ist der Zusammenschluss der beiden Dünenketten, aus denen Borkum vormals bestand. Spätere Flächenzunahmen sind vor allem auf Eindeichungen im südlichen Teil der Insel zurückzuführen.

Tabelle 1 Entwicklung der Fläche Borkums oberhalb der MThw-Linie, nach KUNZ & STEPHAN (1995):

| Jahr | Fläche [km ²] | Differenz [km ²] | Differenz [%] |
|------|---------------------------|------------------------------|---------------|
| 1650 | 19,1 | | |
| 1750 | 21,7 | +2,6 | +13,6 |
| 1860 | 25,5 | +3,8 | +17,5 |
| 1975 | 31,0 | +5,5 | +21,6 |
| 1994 | 30,1 | -0,9 | -2,9 |

Über den morphologischen Zustand Borkums von 1650 ist bekannt, dass eine Zweiteilung der Insel in das West- und Ostland vorlag. Eine Verbindung der beiden Teile bestand über das Große Gat, das MThw-frei war. Der bebaute Teil der Insel lag auf dem Westland ungefähr 1,5 km vom westlichen Dünenrand entfernt. Dieser Abstand hatte sich bis 1869 auf rund 0,9 km verringert. Ein Abbruch der Westdünen um 600 m in rd. 220 Jahren schien LANG (1958) vergleichsweise gering zu sein, so dass er Borkum als relativ lagestabil bezeichnete. Für das Ende des 17. Jahrhunderts lässt sich am Weststrand der Insel ein Strandmaximum nachweisen (HOMEIER & LUCK 1977), das sich im Laufe der Zeit in zwei Teile aufspaltete. Die Strandmaxima wanderten jeweils nach Norden und Süden: Das nördliche Strandoptimum lag bereits 1750 im Bereich des Großen Gat. Damit einher ging ein Anwachsen der Dünen. Insgesamt wurde mit der Verlagerung eine Entwicklung eingeleitet, während der es zu einer Ausdehnung des Oststrandes nach Osten mit gleichzeitiger Dünenverstärkung kam. Die Brauerplatten erfuhren zwischen 1650 und 1750 eine starke Nordwestverlagerung bei gleichzeitig abnehmender Fläche. Zudem löste sich die Hubertplate vom Hubertsand ab, so dass nun das Hubertgat voll ausgebildet war.

Bis zum Jahre 1860 verstärkten sich die oben bereits beschriebenen Entwicklungstendenzen: Während die Dünen des Weststrandes sich im Abbruch befanden, waren im Nordwestteil und am westlichen Südstrand Anwüchse festzustellen. BACKHAUS (1958) weist auch auf einen Dünenanwuchs an der Ostseite des Ostlandes hin und quantifiziert diesen mit 550 m. Das Große Gat, das noch 1650 eine Breite von 1720 m aufwies, wurde bis 1860 zunehmend schmaler und erfuhr zugleich eine Namensänderung, es wurde nun Glop genannt. Die bereits eingeleitete Stromspaltung der Westerems schritt weiter fort. Als Möwensteert wurden nun einzelne bis dahin als Randzelsteert bekannte Platen zwischen Randzelgat und Alter Ems bezeichnet, die bis über Tnw aufragten. Die Osterems weist seit dem Beginn des 19. Jahrhunderts eine Linksschwenkung auf. Dadurch gewinnt das Voorentief an Bedeutung, das sich zwischen dem Nordrand Borkums und den Brauerplatten vertieft. Die Hauptebbstromrinne ist zu dieser Zeit aber noch das Hommegat, das sich zwischen den Brauerplatten und der Kachelotplate befindet.

Ende des 19. Jahrhunderts wurden auf Borkum erste Küstenschutzmaßnahmen eingeleitet, um den Dünenabbruch im Bereich des Weststrandes zu vermindern. 1869 wurde mit dem Bau von Buhnen und fünf Jahre später mit dem Deckwerksbau begonnen. Insgesamt wurden 32 Buhnen und 4,7 km Deckwerke als Schutz für den Westkopf Borkums errichtet. Durch den 1936 östlich des Weststrandes erbauten Hindenburgdamm und den Hinterwall wurde der Bereich Glop befestigt und eine dauerhafte Verbindung der West- und Ostlanddünen hergestellt. Durch diese Inselchutzwerke ist die morphologische Entwicklung der Insel Borkum wesentlich beeinflusst worden.

2.2 Jüngere Inselentwicklung und Wissensstand bisheriger Untersuchungen

In den 60er Jahren des 20. Jh. litt der Südwesten von Borkum unter erheblichen Strandverlusten, die zu umfangreichen Untersuchungen über das Naturgeschehen im Umfeld der Insel führten (HOMEIER 1971, LUCK 1971). Die Untersuchungen wurden auf den Bereich des Nordstrandes erweitert, als dieser während der Sturmtiden-Kette vom Herbst 1973 und insbesondere durch die Sturmtiden vom Januar 1976 stark in Mitleidenschaft gezogen wurde (HOMEIER & LUCK 1977). Dieser Strandbereich unterlag bereits seit längerem einem Schrumpfungsprozess, der sich bis in die Randlege der angrenzenden Randdünen fortsetzte. Allerdings war am Weststrand Borkums auch eine positive Entwicklung mit deutlichem Strandanwuchs erkennbar (vgl. Anlage 2: Historische Karten der FSK, Zustand 1960 gegenüber 1860). Nach HOMEIER & LUCK (1977) war dies der erneute Beginn eines Zyklus, wie er sich schon einmal ab 1650 vollzogen hatte. Sie stellten die These einer zyklischen Strandentwicklung auf, die durch abwechselnde Phasen des Abbruchs und Anwuchses, d.h. positive bzw. negative Sandbilanzen gekennzeichnet ist.

Während des Anwuchses kommt es zur Ausbildung von Strandmaxima, die zeitlich von Dünenneubildungen bzw. der Verbesserung der Dünensituation begleitet werden. Das Strandmaximum teilt sich auf und wandert nach Norden und Süden mit einer Geschwindigkeit von rund 100 m in 4 Jahren. Nach dem Durchzug des Strandmaximums stellt sich wieder der vormalige Zustand ein, der somit als Normalzustand charakterisiert werden kann. Festzustellen ist, dass sich die Strandminima mit gleicher Geschwindigkeit verlagern, wie zuvor die Strandmaxima. HOMEIER & LUCK (1977) betonten, dass die damit verbundenen Strandverluste nicht als Inselabbrüche aus einem Normalzustand anzusehen sind, sondern als Normalisierung nach vorübergehend optimalen Strandverhältnissen.

1995 führte die Forschungsstelle Küste (FSK) des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie (NLÖ) auf Wunsch der Bezirksregierung Weser-Ems (BRWE) und in Absprache mit dem damaligen Staatlichen Amt für Insel- und Küstenschutz (StAIK), Norden, intensive Untersuchungen zu den Dünenabbrüchen am Nordweststrand der Insel Borkum aus (KUNZ et al. 1995, ABELS & RAGUTZKI 1996, KUNZ et al. 1996). Dabei wurden die Strand- und Dünenverluste vor den Olde- und Kobbedünen auf großräumige und langfristige Gestaltungsvorgänge im Bereich der Osterems und des Borkumriffs zurückgeführt. Auf die Erkenntnisse der morphologischen Untersuchungen wird in Kap. 4 und 5 noch detailliert eingegangen. Im Hinblick auf mögliche Küstenschutzmaßnahmen im Nordteil der Insel Borkum wurden die von der FSK in den Jahren 1995/96 erarbeiteten Ergebnisse u.a. zu folgenden Kernaussagen zusammengefasst (KUNZ et al. 1996, S. 15):

- „Die Abbrüche im Nordteil der Insel Borkum werden sich auch in den kommenden Jahrzehnten fortsetzen. Eine zuverlässige langfristige Vorhersage des Abbruchgeschehens ist derzeit nicht möglich.
- Die bisherigen Strandrückgänge werden sich voraussichtlich langfristig abschwächen; es wird als wahrscheinlich angesehen, dass sich der nördliche Teil Borkums in einen Zustand umformt, der dann wesentlich stabiler sein wird.
- Für einen Schutz des Nordteils der Insel Borkum gegen Abbruch sind massive Bauwerke (z.B. Bühnen, Leitwerke, Dünendeckwerke) keine Lösung, die derzeit ernsthaft in Betracht gezogen werden sollte; es wird ausdrücklich davon abgeraten, derartige Küstenschutzvarianten in absehbarer Zeit auszuarbeiten oder in Bewertungen mit einzubeziehen.
- Sollten Maßnahmen zum Schutz des Nordteils von Borkum gegen Abbruch ausgeführt werden müssen, dann stände dafür mit der künstlichen Sandauffüllung im Spülverfahren (Vorstrand-, Strand-, Randdünen-Auffüllung) eine geeignete Methode zur Verfügung, die sofort eingesetzt werden kann.
- Die Schutzdünen im untersuchten Nordteil der Insel Borkum (Oldedünen bis Oldemanns Oldedünen) sind in ihrem gegenwärtigen Zustand im Hinblick auf die Ansprüche des Küstenschutzes ausreichend wehrhaft. Den Erfordernissen des Küstenschutzes kann bis auf weiteres mit inselseitigen Dünenverstärkungen genügt werden. Hinweis: Es bleibt abzuwarten, ob sich dem entgegenstehende Gesichtspunkte aus Ansprüchen der Trinkwassergewinnung ergeben werden.
- Die grundlegenden Untersuchungen des NLÖ-Forschungsstelle Küste zu den hydrodynamischen und morphologischen Prozessen des Dünen-Strand-Vorstrand-Rinnen-Systems im Norden bis Osten der Insel Borkum sind vorrangig fortzuführen, um die Grundlagenkenntnisse so zu erweitern, dass verbesserte Vorhersagen zukünftiger Strandrückgänge möglich werden und diesen gegebenenfalls zuzuordnende „sanfte“ Eingriffe (künstliche Sandauffüllungen ggf. in Verbindung mit Baggerungen zur Beeinflussung der Rinnen-Dynamik) zur Steuerung oder Beherrschung des Geschehens bewertet werden können.“

3. Arbeitsunterlagen und Methodik

Aufbauend auf den Mitte der 90er Jahre durchgeführten Arbeiten sollen die morphologischen Untersuchungen in ähnlicher Form weitergeführt werden. Die Situation der Strände Borkums kann auf der Grundlage von Profildaten (oberhalb ~NN-1,0m) beurteilt werden, die seit Beginn der 60er Jahre kontinuierlich aufgenommen wurden (Quelle für Strandprofile: FSK und NLWK). Zur Lage der Profile siehe Anlage 1. Die nach Nordosten gerichteten Profile 29 bis 53 sind erst seit Beginn der 80er Jahre regelmäßig vermessen worden. Aus den Strandprofilen wurden Zeit-Weg-Pläne erstellt, die den Verlauf der Tiefenlinien des trockenen und nassen Strandes bezogen auf die Stamm-Standlinie angeben (Anlage 5 unten).

Um den Einfluss der Unterwassertopographie auf die Strandentwicklung analysieren zu können, sind ebenfalls in Anlage 5 (obere Diagramme) die Zeit-Weg-Pläne im Vorstrandbereich (NN-2m bis NN-6m) entlang der verlängerten Profillinien berechnet worden. Östlich von Profil 12, wo tiefe Rinnen (Borkumriffbalje, Strandbalje, Voorentief, Osterems) in Strandnähe vorzufinden sind, wurden die Kurven für NN-8m und NN-10m ergänzt. Die Zeit-Weg-Diagramme des Vorstrandbereiches beruhen auf Peilungen aus den Jahren 1950 bis 2001 (Tabelle 2).

Tabelle 2 Vermessungsgrundlagen

| Karte Nr. | Jahr | Quelle | Höhenbezug | | Vermessene Fläche [km ²] |
|--------------|-------------|--------|------------|-----|--|
| | | | NN | SKN | |
| 1 | 1950 | BSH | + | + | 118 |
| | 1951 | BSH | + | + | 104 |
| 2 | 1958 | BSH | + | + | 30 |
| | 1959 | BSH | + | + | 162 |
| 3 | 1963 | BSH | + | + | 194 |
| | 1964 | BSH | + | + | 12 |
| 4 | 1968 | BSH | + | + | 27 |
| | 1969 | BSH | + | + | 205 |
| 5 | 1975 | BSH | + | + | 230 |
| | 1976 | BSH | + | + | 26 |
| 6 | 1980 | BSH | + | + | 218 |
| 7 | 1982 | BSH | + | + | 157 |
| | 1983 | BSH | + | + | 108 |
| 8 | 1984 | BSH | + | + | 102 |
| | 1985 | BSH | + | + | 214 |
| 9 | 1989 | BSH | + | + | 26 |
| | 1989 | WSD | + | | 17 |
| | 1990 | WSD | + | | 180 |
| | 1991 | WSD | + | | 41 |
| 10 | 1995 | BSH | + | + | 218 |
| 11 | 1998 | BSH | + | + | 213 |
| 12 | 2001 | BSH | + | + | 105 |
| | 2000/01 | FSK | + | | 8 (terr.) |
| | 2000/01 | RWS | + | | 81 |
| | 2001 | WSD | + | | 42 |

Hinweis: alle Vermessungen liegen als Punktdaten vor!

Die Seevermessungsdaten wurden in ein Geographisches Informationssystem (GIS) übernommen und mit Hilfe der Software ArcView (Erweiterung 3D Analyst) durch Dreiecksvermaschung der Peilpunkte in ein digitales Geländemodell (DGM) umgerechnet. Die DGMs ermöglichten sowohl ein vereinfachtes Auslesen der Abstandswerte für die Zeit-Weg-Pläne als auch eine

volumenbezogene Analyse großräumiger morphologischer Veränderungen. Trotz der unterschiedlichen Auswertemethoden für die Erstellung der Zeit-Weg-Diagramme stimmen die aktuellen Ergebnisse sehr gut mit den bisher direkt aus Topographischen Karten abgeleiteten Werten überein (vgl. KUNZ & STEPHAN 1995, KUNZ et al. 1995).

Die großräumige morphologische Situation nördlich von Borkum ist in Anlage 3 anhand von Tiefenplänen der letzten 50 Jahre ersichtlich, die aus den DGMs berechnet wurden. Teilweise standen dabei auch terrestrische Vermessungsdaten aus dem Bereich des Hohen Riffs zur Verfügung; überwiegend beruhen die Karten aber auf nautischen Messungen des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), die ggf. durch Echolotpeilungen der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nordwest (WSDNW) sowie des Rijkswaterstaats (RWS), Niederlande, vervollständigt wurden. Für die Erstellung der DGMs wurden sich ergänzende Peilungen auch aus unterschiedlichen Jahren miteinander verschnitten, solange es sich um angrenzende Vermessungsaufgaben handelte und ein maximaler Zeitabstand von einem Jahr bestand. Für die weitere zeitabhängige Auswertung wurde als maßgebender Jahrgang das Vermessungsjahr angegeben, in dem die morphologisch bedeutenderen Gebiete gepeilt worden waren. Um die morphologischen Umgestaltungen innerhalb des Untersuchungsgebiets unmittelbar aufzeigen zu können, sind in Anlage 7 Differenzenpläne dargestellt, für die in einem Raster von 25 m Tiefenunterschiede ausgewählter Zustände berechnet wurden. Erosionsflächen (Tiefenzunahme) sind dort rot und Sedimentationsflächen (Tiefenabnahme) blau gekennzeichnet sind. Zur qualitativen Beurteilung der Veränderungen in höherliegenden (Platen-)Bereichen stellen die jährlichen Riffbogenbefliegungen ein sinnvolles Hilfsmittel dar. In Anlage 4 sind die entsprechenden Luftbilder seit 1969 für das Hohe Riff zusammengestellt.

Gegenüber der bisherigen Datenverarbeitung für das Teilprojekt Juist (LADAGE 2001) ist zu beachten, dass für die aktuelle digitale Auswertung nur Punktdaten verwendet wurden und somit ein methodischer Fehler durch die gemeinsame Nutzung von Punktmessungen und Linienkarten entfällt. Hinsichtlich der Fehlerbetrachtung ist jedoch zu erwähnen, dass eine kleinräumige Analyse mit den DGMs nur bedingt möglich ist und dabei die ursprüngliche Datendichte (Abstand der Peilfahrten beim BSH ca. 200 m) berücksichtigt werden muss. Für eine großräumige Betrachtung sind die nautischen Vermessungsdaten jedoch von gutem Nutzen. Die Qualität und Vergleichbarkeit insbesondere der Seevermessungsdaten ist durch den Einsatz von GPS-gestützten Messsystemen in den letzten Jahren deutlich angestiegen. War bisher mit pegelbezogener Beschickung eine Höhengenaugigkeit von mehreren Dezimetern erreichbar, so verbessert sich dieser Wert durch die Verwendung von D-GPS auf wenige Zentimeter. Im Sinne einer möglichst vergleichbaren und exakten Aufnahme der Morphologie wäre daher der Einsatz einheitlicher Vermessungstechniken bei kooperierenden Institutionen wünschenswert. Bisher jedoch ist eine Umstellung der Gerätschaften beim BSH noch fraglich, da für die Vermessungsaufgaben in der Seeschifffahrt eine geringere Höhengenaugigkeit ausreichend ist.

4. Morphologische Entwicklung im Strandbereich Borkums

4.1 Nordwest- und Nordstrand

Für die vom Land überwachten Strandbereiche des Nordwest-, des Nord- und des Oststrandes bis zum Fluthaken Hoge Hörn sind aus den jährlichen Profildaten Zeit-Weg-Diagramme berechnet worden (Anlage 5). Die Ergebnisse bis 1995 entsprechen den Untersuchungen von KUNZ & STEPHAN (1995) bzw. KUNZ et al. (1995). Das Hauptaugenmerk soll hier deshalb auf der neueren Entwicklung der letzten Jahre liegen.

Der Bereich **Hindenburgdamm** (Profile 1 bis 10) am Nordweststrand ist bis Mitte der 70er Jahre durch eine kontinuierliche Strandabnahme und das Vordringen der Tiefenlinien inselwärts geprägt. Infolge von Platanenlandungen und der Ausbildung der Weststrandplate schließt sich ab 1980 eine Phase mit positiver Sandbilanz an, die zur Auffüllung der Strand- und Vorstrandbereiche führt. Bereits KUNZ & STEPHAN (1995) stellten heraus: „Nach vorheriger Strandabnahme wies der Bereich des gesamten Hindenburgdammes zunächst ab etwa Mitte der 70er Jahre eine positive Entwicklung des Strandes und des flachen Vorstrandbereiches auf. ... Der dem Hindenburgdamm vorgelagerte Strand weist Breiten von 100 m bis 150 m mit einer seewärts gerichteten (positiven) Verlagerungs-Tendenz auf. Damit sind positive Voraussetzungen für eine Erhaltung der Randdünen gegeben.“ Diese günstige Entwicklung mit seewärts gerichtetem Vordringen der Tiefenlinien hält auch nach 1995 bis heute an. Da sich das Anwachsen höherer Bereiche in seewärtige Richtung langsamer vollzieht, driften die NN+1m und die NN+2m-Linie auseinander, was zu einer erheblichen Verbreiterung des trockenen Strandes führt: von unter 50 m Mitte der 70er Jahre auf rund 200 m im Jahr 2001. Diese Tendenz ist bis in die heutige Zeit ungebrochen. Dabei verlagert sich jedoch auch die NN+2m-Linie langsam, aber stetig seewärts (vgl. insbesondere Prf. 1 und 10).

Der Strandbereich vor den **Oldedünen** (Profile 12 bis 16) zeichnet sich nach leichten bzw. mittleren Rückgängen bis Anfang der 80er Jahre in jüngerer Zeit durch eine überwiegende Lagestabilität aus. Durch das Herandrängen von Sandplatten aus dem Bereich des Weststrandes ist seit 1995 eine deutlich positive Entwicklung über die gesamte Strandbreite erkennbar. Die bereits bei KUNZ & STEPHAN (1995) vermutete „leicht positive Tendenz“ (für Profil 14) verstärkt sich im Laufe der letzten Jahre noch und weitet sich auch auf den östlichen Strandbereich vor den Oldedünen (Profil 16) aus. Ein Indiz für die positive Entwicklung der letzten Jahre ist beispielsweise auch die deutlich seewärtige Verlagerung der NN+2m-Linie um über 30 m zwischen 1994 und 2001.

Für den Bereich der **Kobbedünen** (Profile 19 und 21) sind seit Beginn der Profilmessungen kontinuierliche Strand- und Dünenrückgänge zu verzeichnen gewesen. Durch Auswertung der Daten bis 1994 für Profil 19 kommen KUNZ & STEPHAN (1995) zu folgender Aussage: „Vor den Kobbedünen hält die Strandverlust-Tendenz an. Die Rückgänge der Randdünen betragen im langjährigen Mittel in etwa 10 bis 15 m/Jahr...“ Diese Aussage muss nach den Entwicklungen der letzten Jahre leicht modifiziert werden. Die aktualisierten Zeit-Weg-Diagramme zeigen, dass sich nach 1994 – insbesondere im Profil 19 – der langfristig negative Trend mit inselwärtiger Verschiebung der Tiefenlinien abschwächt. Im Profil 19 ist die NN+2m-Linie seit 1994 annähernd lagestabil, die tieferen Strandbereiche (NN+1m bis NN-1m) zeigen sogar eine leicht positive Tendenz. Auch für Profil 21 ist im Zeitraum von 1997 bis 1999 ein Abklingen des negativen Trends zu verzeichnen, was eine seewärtige Verlagerung der Tiefenlinien und eine Erhöhung des trockenen Strandes nach sich zieht.

Diese Entwicklung scheint sich teilweise auf den **Nordstrand** (Profil 23 und 25) östlich der Kobbedünen auszudehnen. Dort kommt es in Profil 23 seit 1998/99 für den nassen Strand ($\leq \text{NN}+1\text{m}$) zu einer Verringerung des bisherigen Strandrückgangs von rund 10 m jährlich. Bis 2001 verlagern sich die Tiefenlinien in einer Größenordnung von rund 15 m seewärts. Da diese positiven Veränderungen sich aber bisher nur über einen Zeitraum von drei Jahren erstrecken, ist nicht abzusehen, ob es zu einer dauerhaften Erholung dieses Strandabschnittes kommen wird. Für Profil 25 bleibt die deutlich negative Entwicklungstendenz auch in den letzten Jahren erhalten. Zwischen 1995 und 2001 stellt sich sogar ein verstärkter Strandverlust von ca. 100 m ein. Inwieweit eine Abschwächung dieses negativen Trends für die kommenden Jahre auch an der Nordspitze Borkums zu erwarten ist, wird im Folgenden anhand der großräumigen Veränderungen noch näher untersucht (siehe Kap. 5.3). Es bleibt festzuhalten, dass für den Strandabschnitt vor den Kobbedünen (Profil 19 und 21) seit Mitte der 90er Jahre eine Abschwächung der negativen Entwicklung zu erkennen ist, während es im östlich angrenzenden Teil des Nordstrandes – insbesondere in Profil 25 – weiterhin zu starker Ausräumung des Strandes mit Rückverlagerung der Tiefenlinien kommt.

4.2 Oststrand

Der Oststrand Borkums (Profile 29 bis 53) zeichnet sich durch einen mehrere hundert Meter breiten, nach Nordosten reichenden trockenen Strandbereich aus. Die Dünenkanten der Oldemanns Olde Dünen und Sternklippdünen liegen weit entfernt von der MThw-Linie. Das östlichste Profil 53 befindet sich im Gebiet der Fluthakenbildung, wo starke morphologische Schwankungen und flache Strandbereiche ohne Dünenbildung vorzufinden sind. Die Profile 29 bis 53 sind erst seit 1984 in das jährliche Messprogramm aufgenommen worden und zeigen eine sehr uneinheitliche Entwicklung.

Für Profil 29 ist zunächst bis Anfang der 90er Jahre eine überwiegend ausgeglichene Lage der Tiefenlinien festzustellen. In den letzten zehn Jahren kommt es dann im Bereich des nassen Strandes zu Höhenabnahmen, so dass sich die $\text{NN}+1\text{m}$ -Linie der Insel um 175 m nähert. Im trockenen Strandgebiet hingegen sind Sandakkumulation zu verzeichnen, die eine Verschiebung der $\text{NN}+2\text{m}$ -Linie um gut 100 m nordostwärts zur Folge hat. Durch diese gegenläufige Verlagerung kommt es zu einer erheblichen Aufsteilung des Strandprofils 29. Im Profil 37 ist bis Mitte der 90er Jahre eine Phase mit inselwärtiger Verlagerung des Strandes zu erkennen, der sich eine überwiegend ausgeglichene Strandentwicklung in den letzten fünf Jahren anschließt. Die Breite des trockenen Strandes bleibt dabei mit knapp 200 m relativ konstant. Östlich der Sternklippdünen (Profil 45) stellt sich um 1990 eine Trendänderung ein: Die erhebliche Strandverschiebung nach Nordosten (gut 200 m zwischen 1984 und 1990) klingt ab und es folgt eine Phase mit ausgeglichener bis leicht negativer Sandbilanz (ca. 60 m inselwärtige Verlagerung der Tiefenlinien). Die Sedimentzufuhr in den trockenen Strandbereich ist jedoch weiterhin gegeben, so dass ab 1991 Höhen oberhalb $\text{NN}+2\text{m}$ erreicht werden. In diesem sehr flachen Strandgebiet liegt der Abstand der $\text{NN}+2\text{m}$ - von der $\text{NN}+1\text{m}$ -Linie bei annähernd 400 m. Im Gebiet des Fluthakens Hoge Hörn (Profil 53) ist in jüngster Zeit eine deutlich positive Sandbilanz zu verzeichnen. Nach ausgeglichenen Verhältnissen zwischen 1984 und 1990 weitet sich der Bereich des nassen Strandes bis 2001 um rund 400 m nach Nordosten aus. Dieser Trend scheint in den letzten fünf Jahren etwas schwächer zu werden.

Insgesamt ist den Profilen am Oststrand ein sehr uneinheitlicher Verlauf gemein. Phasen mit positiver und negativer Strandentwicklung wechseln sich häufiger ab als am Nordweststrand und unterliegen einer kürzeren zeitlichen Abfolge.

4.3 Zeitlicher Ablauf der Strandentwicklung

Wie im vorangegangenen Kapitel erläutert hat sich seit 1995, insbesondere im Strandbereich vor den Olde- und Kobbedünen (Profile 14 bis 23) der negative Trend abgeschwächt. Auffällig dabei ist, dass die Trendänderungen in der Strandentwicklung zeitlich versetzt von West nach Ost auftreten. Die Platananlandungen im Strandbereich vollziehen sich scheinbar in einer Wellenbewegung, bei der sich ausgehend von der Weststrandplate die Sedimente entlang des Nordweststrands nach Nordosten ausbreiten. Diese Beobachtung ähnelt der von HOMEIER (1971), der anhand des Historischen Kartenwerks die Verlagerung eines Strandmaximums seit 1650 vom Hohen Riff kommend nach Nordosten bzw. Südosten nachwies. Zudem vermutete er für den Zustand von 1960 den Beginn eines neuen Zeitraumes mit positiver Strandentwicklung, da sich eine erneute Platananlandung am Weststrand abzeichnete. Die Sandgewinne aus dieser Platananlandung sorgten zunächst in den 80er Jahren in Profil 1 für eine positive Sedimentbilanz und bewirkten in den folgenden Jahren auch in den nordöstlicher gelegenen Profilen eine seewärtige Verlagerung der Strände. Um den zeitlichen Verlauf der Strandentwicklung für die vorliegenden Profildaten genauer zu untersuchen, sind in Tabelle 3 die Zeitpunkte für das Auftreten der Strandminima aus den Zeit-Weg-Diagrammen in Anlage 5 zusammengestellt.

Tabelle 3: Eintrittszeiten der Strandminima am Nordweststrand von Borkum

| Profil | NN+2m | NN+1m | NN±0m | NN-1m |
|--------|-----------------------------------|-------|-------|-------|
| 1 | 1976 | 1976 | 1974 | 1972 |
| 7 | 1978 | 1976 | 1976 | 1974 |
| 10 | 1981 | 1976 | 1982 | 1982 |
| 12 | 1983 | 1981 | 1983 | 1982 |
| 14 | 1983 | 1975 | 1992 | 1983 |
| 16 | 1993 | 1984 | 1994 | 1982 |
| 19 | 1994 | 1993 | 1995 | 1993 |
| 21 | 1999 | 1998 | 1998 | 1997 |
| 23 | - | 1998 | 1999 | 1998 |
| ab 25 | noch kein Strandminimum erreicht! | | | |

↓ Strandlänge ~3500 m

| |
|--|
| Mittl. Verlagerungsgeschwindigkeit von Profil 1 bis 21 |
| ~140 bis 160 m/Jahr |

Die teilweise großen zeitlichen Schwankungen innerhalb eines Profils erklären sich durch länger andauernde Phasen mit ausgeglichenen Strandverhältnissen, bei denen Ausreißerwerte zu unterschiedlichen Zeitpunkten einen großen Einfluss ausübten (vgl. Profil 14 und 16). Doch auch in diesen Profilen belegt eine anschließende Phase mit deutlichem Zuwachs, dass es sich um den Durchzug eines Strandminimums handelt. Insgesamt ergibt sich für die lokalen morphologischen Prozesse am Nordweststrand der Insel Borkum ein sehr regelmäßiger Ablauf, bei dem sich die Verlagerung der Erosionsphase (Strandminimum) in den letzten drei Jahrzehnten mit einer mittleren Geschwindigkeit von rund 140 bis 160 m/Jahr vollzogen hat. Analog zu der Entwicklung vor dem Hindenburgdamm, wo sich nach Durchzug des Strandminimums in den 70er Jahren eine anhaltend positive Tendenz zeigt, ist somit auch in den weiter östlich gelegenen Profilen vor den Olde- und Kobbedünen zukünftig der Übergang zu einer positiven Sedimentbilanz zu erwarten. Ob sich diese Erkenntnis auch auf den Bereich des Nord- und Oststrandes übertragen lässt, ist fraglich, da dort ein wesentlich größerer Einfluss der vorgelagerten Rinnen vorhanden ist (vgl. Kap. 5.1). Ferner ist bisher nicht erkennbar, wie lange der Zeitraum für den Durchzug eines Strandmaximums sein wird. Im Bereich vor dem Hindenburgdamm ist bisher kein Nachlassen der Sandanlagerungen zu beobachten. Bei einer Strandentwicklung, die von zeitlich schwankenden Transportmengen aus Platananlandungen bestimmt

wird, könnte jedoch in einigen Jahrzehnten mit dem Erreichen eines Strandmaximums zu rechnen sein, falls die Sedimentzufuhr aus dem Hohen Riff geringer werden sollte.

Der Vergleich mit den Ergebnissen von HOMEIER (1971), der das Fortschreiten der Strandmaxima und -minima anhand der Historischen Karten auf 100 m in 4 Jahren bezifferte (d.h. 25 m/Jahr), zeigt einen deutlichen Unterschied. Ursache für die sechsmal größere Verlagerungsgeschwindigkeit der neuen Strandminima könnte eine geringere Größe der angelandeten Plate aus dem Hohen Riff sein. Auch die Überlagerung großräumiger morphologischer Prozesse (Veränderung des Voorentiefs, der Borkumriffbalje und der Strandbalje) hat höchstwahrscheinlich einen Einfluss auf die Geschwindigkeit des Sedimenttransports in Strandnähe.

4.4 Trendberechnungen und Abschätzung der zukünftigen Strandentwicklung

Die Zeit-Weg-Diagramme des Strandbereiches in Anlage 5 sind durch Trendfunktionen angenähert worden, um aktuelle Entwicklungstendenzen aufzuzeigen und zukünftige Verlagerungen abschätzen zu können. In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Trendberechnungen zusammenfassend dargestellt. Die Zeit-Weg-Kurven sind dabei nicht für alle Strandabschnitte durch lineare Regression approximiert worden. Vielmehr wurden in den Bereichen, die in den letzten Jahren durch den Übergang zu einem Strandminimum geprägt waren (Profile 14 bis 21), Fitpolynome 2. Grades verwendet. Hiermit wurde der alternierenden Entwicklung am Nordweststrand Rechnung getragen. Die Korrelationskoeffizienten, die ein Maß für die Übereinstimmung der Trendfunktion mit den Messpunkten liefern, erreichen dadurch erheblich höhere Werte. Es ist jedoch zu beachten, dass ein Fitpolynom nur dort eine gute Näherung ergeben kann, wo der Durchzug eines Strandminimums unmittelbar erkennbar ist. Für das westlichere Strandgebiet (Profil 1 bis 12) dagegen ist möglicherweise kein weiteres Steigen der Zuwachsraten in Zukunft zu erwarten, so dass hier die Verwendung von linearen Trendfunktionen angebracht erscheint. Auch für den Bereich des Nord- und Oststrandes, wo eine Veränderung der Strandentwicklung bisher nicht erkennbar ist, wurde zur Berechnung aktueller Trendwerte eine lineare Extrapolation durchgeführt.

Die Werte für die aktuelle Zu- oder Abnahme der Verlagerung spiegeln die in Kap. 4.1 und 4.2 beschriebenen Beobachtungen wider. Durch die Verwendung von Polynomen als Ausgleichsfunktionen ergeben sich für die Profile 14 und 16 größere Zuwachsraten bzw. für die Profile 19 und 21 geringere Strandverluste als bei der Verwendung von Ausgleichsgeraden. Die bessere Anpassung, insbesondere an jüngste Entwicklungstendenzen, rechtfertigt den Einsatz unterschiedlicher Fitfunktionen. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Trendberechnungen auf den momentan aus den verfügbaren Profildaten erkennbaren morphologischen Tendenzen beruhen. Durch unvorhersehbare großräumige Verlagerungen besteht auch in naher Zukunft die Möglichkeit von Trendänderungen - insbesondere im Bereich des morphologisch stark veränderlichen Nord- und Oststrandes.

Aus den erweiterten Zeit-Weg-Diagrammen und den neuen Trendwerten wurden aktuelle Tendenzen für die Strandentwicklung im Nordwesten und Nordosten Borkums abgeleitet. Die abschnittsweise Beurteilung der Strände in Tabelle 4 wird auch durch Anlage 6 veranschaulicht, in der zusätzlich der Verlauf der Strandlinien von 1984 und 2001 gegenübergestellt ist. Die Strandabschnitte vor dem Hindenburgdamm und den Oldedünen weisen stabile bis positive Entwicklungstendenzen auf. Die ungünstige Situation des Strandes vor den Kobbedünen hat sich seit 1995 etwas abgeschwächt, ist aber immer noch als tendenziell negativ zu beurteilen. Die am Nordstrand gelegenen Profile 23 und 25 weisen mit Strandrückgängen in der Größenordnung von ca. 10 m/Jahr immer noch stark negative Veränderungen auf.

Tabelle 4: Abschnittsweise Trendberechnung (mit untersch. Fitfunktionen) für den Nordweststrand von Borkum

| Bereich | Profil | Tiefenlinie | Trendgerade 1980/84-2001 | | Fitpolynom 1960/62-2001 | | Tendenz |
|----------------|--------|-------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------|
| | | | Korr.-koeff. [-] | Mittl. Zu-/Abnahme [m/Jahr] | Korr.-koeff. [-] | Aktuelle Zu-/Abnahme [m/Jahr] | |
| Hindenburgdamm | 1 | NN+1m | 0,74 | 10,78 | | | positiv |
| | | NN+2m | 0,60 | 3,89 | | | |
| | 7 | NN+1m | 0,86 | 10,49 | | | |
| | | NN+2m | 0,06 | 1,48 | | | |
| | 10 | NN+1m | 0,87 | 7,92 | | | |
| | | NN+2m | 0,61 | 2,01 | | | |
| Oldedünen | 12 | NN+1m | 0,86 | 6,31 | | | ausgeglichen |
| | | NN+2m | 0,69 | 2,42 | | | |
| | 14 | NN+1m | 0,59 | 2,71 | 0,63 | 6,23 | |
| | | NN+2m | 0,51 | 1,65 | 0,77 | 4,64 | |
| | 16 | NN+1m | 0,26 | 1,49 | 0,62 | 4,61 | |
| | | NN+2m | 0,00 | 0,09 | 0,80 | 2,62 | |
| Kobbedünen | 19 | NN+1m | 0,66 | -3,37 | 0,87 | -1,51 | negativ |
| | | NN+2m | 0,79 | -4,19 | 0,88 | -3,22 | |
| | 21 | NN+1m | 0,90 | -6,78 | 0,96 | -4,53 | |
| | | NN+2m | 0,93 | -6,24 | 0,95 | -4,88 | |
| Nordstrand | 23 | NN+1m | 0,93 | -9,91 | | | stark negativ |
| | | NN+2m | 0,81 | -8,61 | | | |
| | 25 | NN+1m | 0,85 | -10,24 | | | |
| | | NN+2m | 0,71 | -8,23 | | | |
| Oststrand | 29 | NN+1m | 0,68 | -9,49 | | | negativ |
| | | NN+2m | 0,00 | 0,24 | | | |
| | 37 | NN+1m | 0,55 | -5,18 | | | positiv |
| | | NN+2m | 0,58 | -7,44 | | | |
| | 45 | NN+1m | 0,34 | 7,16 | | | |
| | | NN+2m | 0,88 | 6,83 | | | |
| 53 | NN+1m | 0,76 | 26,76 | | | | |
| | NN+2m | - | - | | | | |

Verlagerung: + seewärts, - inselwärts

Aufschlussreich ist ein Vergleich mit dem Szenario von KUNZ et al. (1996) bzw. ABELS et al. (1997), das auf den Profildaten bis 1994 beruht. Sie kommen bei der Abschätzung der zukünftigen Entwicklung des Strandlinienverlaufs zu folgendem Ergebnis (S.9):

- „der Bereich vor dem Hindenburgdamm bleibt weitgehend stabil (von gewissen Schwankungen in beide Richtungen abgesehen);
- der Bereich vor den Oldedünen ist von leichten bis mittleren Verlusten gekennzeichnet;
- im Bereich vor den Kobbedünen treten erhebliche Dünenverluste auf.“

Tendenziell bestätigt sich vor dem Hindenburgdamm und den Kobbedünen die vermutete Entwicklung, wobei die Strand- und Dünenrückgänge im Bereich Kobbedünen etwas kleiner geworden sind. Vor den Oldedünen hingegen muss die Einschätzung aufgrund der Veränderungen in den letzten Jahren modifiziert werden: Hier ist anhand der aktuellen Auswertung tendenziell mit einer zumindest ausgeglichenen Strandbilanz zu rechnen. Auf der Grundlage der vorliegenden Daten kann daher für die Strandentwicklung des Nordweststrandes davon ausgegangen werden, dass die Intensität der Stranderosion seit 1995 geringfügig abgenommen hat.

5. Großräumige morphologische Entwicklung

Morphologische Umgestaltungen an Stränden und Dünen der Ostfriesischen Inseln lassen sich oftmals auf großräumige Veränderungen vor und zwischen den Inseln zurückführen. Ändert sich die Lage oder der Querschnitt der tiefen Rinnen (Seegaten), die die Inseln umschließen, so kann dies gravierende Auswirkungen auf den Sedimenttransport und die Sandversorgung der Strände haben. Auch der Bestand der Insel Borkum hängt in entscheidendem Maße vom Verlauf der Wester- und Osterems ab. Die Strömungsrichtung und –stärke dieser tiefen Rinnen beeinflusst Form und Position der vorgelagerten Platen und steuert somit die regelmäßige Sandzufuhr aus Westen. Zudem kann die Verlagerung tiefer Rinnen in der Nähe einer Insel unmittelbar zu Erosionen im Strand- und Vorstrandbereich führen. Die Veränderungen der im Norden Borkums gelegenen Rinnen und Riffe sowie des Flut-Ebbstromsystems Voorentief/Osterems finden bereits in den morphologischen Untersuchungen von ABELS et al. (1997) besondere Beachtung. Sie analysieren die Entwicklung auf der Grundlage von Seekarten aus den Jahren 1833 bis 1994 und kommen zusammenfassend zu folgenden Feststellungen (S. 101f):

„Der in Teilbereichen der Olde- und Kobbedünen zu verzeichnende Rückgang des Vorstrandes und Strandes sowie die Dünenabbrüche lassen sich eindeutig auf großräumige Gestaltungsvorgänge zurückführen. Als wesentliche Vorgänge sind in den untersuchten Rinnensystemen dabei herauszustellen:

- ⇒ Das Voorentief entwickelt sich zur Hauptebbstromrinne der Osterems; die zugeordnete Flutstromrinne Borkumriffbalje dringt erheblich in südöstliche Richtung vor. Gleichzeitig bildet sich das früher dominierende Flut-/ Ebbstromsystem Osterems [Hommevat] stetig zurück.
- ⇒ Die Verlagerung der Riffanlandungszone (Strandriffe) aus dem Bereich des Osterriffs in den Bereich des Westerriffs bzw. Hohen Riffs steht in Zusammenhang mit der Ausdehnung von Voorentief und Borkumriffbalje, die zu erheblichen Vertiefungen im Bereich des Osterriffs führte.
- ⇒ Die Strandbaljenentwicklung vor den Olde- und Kobbedünen unterliegt im Laufe des untersuchten Zeitabschnitts einer Entwicklung mit unterschiedlichen Vorstoß- und Rückentwicklungsphasen.
- ⇒ Die Neubildung eines Flut-/ Ebbstromsystems im Bereich des bereits früher vorhandenen Seegats Hommevat (ab 1973) östlich neben den bereits bestehenden Ebbstromrinnen Voorentief und Osterems könnte auf zyklische Entwicklungen hinweisen.

Die beschriebenen morphologischen Gestaltungsvorgänge sind insgesamt strukturell angelegte Veränderungen, die Einfluss auf die Strandentwicklung im Nordwesten der Insel Borkum nehmen.“

Diese Erkenntnisse dienen als Grundlage für die aktuellen Untersuchungen der großräumigen Veränderungen im Umfeld Borkums. Insbesondere die Strandbaljenentwicklung vor dem Nordweststrand Borkums (Kap. 5.1) und die Ausdehnung des Flut-/Ebbstromsystems Borkumriffbalje/Voorentief (Kap. 5.3) sind von besonderem Interesse für die Beurteilung von mittel- bis langfristigen Veränderungstendenzen. Um den Einfluss der großräumigen morphologischen Gestaltungsvorgänge auf die Strandentwicklung Borkums beurteilen zu können, sind aus den in Tabelle 2 aufgeführten Vermessungen digitale Geländemodelle berechnet worden. Die entsprechenden Tiefenkarten der Jahrgänge 1951 bis 2001 sind in Anlage 3 dargestellt.

5.1 Vorstrandbereich vor dem Nordwest- bis Oststrand Borkums

Wie für den Bereich des trockenen und nassen Strandes sind auch für die Veränderungen im Vorstrandbereich (NN-2m) Zeit-Weg-Diagramme erstellt worden (Anlage 5 oben). Die

entsprechenden Werte der verlängerten Strandprofile wurden aus den DGMs ausgelesen. Es zeigen sich für die Strandabschnitte Hindenburgdamm und Oldedünen vergleichbare Entwicklungen, die zum einen von der Lage der Borkumriffbalje und der Strandbalje bestimmt werden. Zum anderen wirken sich auch im Vorstrandbereich die Platanenlandungen aus dem Hohen Riff auf die Lage der Tiefenlinien aus. Weiter östlich (ab Profil 19 vor den Kobbedünen) beeinflussen in erster Linie die tiefen Rinnen des Voorentiefs und der Osterems das Geschehen im Vorstrandbereich.

Vor dem Hindenburgdamm ist in Profil 1 und 7 bis Anfang der 90er Jahre eine überwiegend gegenläufige Entwicklung des Vorstrandbereichs ober- und unterhalb NN-4m zu verzeichnen: Die Tiefenlinien NN-2m bis NN-4m verlagern sich seewärts und entsprechen damit der Tendenz des trockenen Strandes, während die Tiefenlinien NN-5m und NN-6m sich inselwärts verschieben. Nach 1995 zeichnet sich jedoch auch in größeren Tiefen eine einheitlich positive Sandbilanz mit nordwestlicher Verlagerung des Vorstrandbereichs ab. Für Profil 10 ergibt sich eine ähnliche Entwicklung, wobei es aufgrund des größeren Einflusses der Strandbalje bereits 1990 zur ungünstigsten Lage der NN-6m-Linie kommt. Bis 2001 folgt dann ein stabiler Verlauf der Tiefenlinien unterhalb NN-4m und weitere seewärtige Ausdehnung oberhalb NN-4m. Besonders hervorzuheben ist, dass es im Vorstrandbereich aller Profile vor dem Hindenburgdamm zu erheblichen Aufsteilungen kommt, die durch das Vordringen der Strandbalje in den 80er Jahren und die entgegengesetzte Ausdehnung des Vorstrandes oberhalb NN-4m verursacht werden.

In Profil 12 vor den Oldedünen ist bis 1975 ein inselwärtiges Vordringen aller Tiefenlinien zu beobachten. Die NN-6m-Linie verlagert sich zwischen 1969 und 1975 sprunghaft um rund 500 m näher an den Strand heran, während sich die Bereiche zwischen NN-5m und NN-2m um 100-200 m rückverlagern. 1982 erreicht die Strandbalje ihren geringsten Abstand zur Insel und verlagert sich in der Folgezeit bis 2001 wieder seewärts. Der Vorstrandbereich NN-5m dehnt sich bereits seit Anfang der 70er Jahre um gut 200 m nach Nordwesten aus. In Profil 12 ist gut zu erkennen, dass sich Sandanlagerungen im Strandbereich (vgl. Anlage 5.4 unten) offensichtlich auch in größeren Tiefen auswirken.

Für Profil 14 ist ein anderer Achsmaßstab gewählt worden, um auch den Einfluss des Voorentiefs darstellen zu können. Besonders auffällig ist die Vertiefung der Strandbalje, die Anfang der 80er Jahre eine erhebliche Annäherung der NN-8m-Linie an den Strand bewirkt. Bis zu diesem Zeitpunkt ist auch eine leichte inselwärtige Verschiebung der NN-2m bis NN-6m-Linien zu verzeichnen. Seit 1985 kommt es dann wieder zu einer langsamen Verlagerung des Vorstrandbereichs (NN-2m bis NN-8m) nach Nordwesten, so dass 2001 annähernd die gleiche Lage wie Anfang der 50er Jahre erreicht wird. Durch die Südverlagerung des Voorentiefs drängt die NN-10m-Linie bis 1982 um über 1000 m an den Inselsockel heran. Seit 1982 stabilisiert sich dann die Lage des Voorentiefs innerhalb des Profils 14 und verändert sich bis in die heutige Zeit kaum. Profil 16 zeigt ähnliche Entwicklungstendenzen wie das benachbarte Profil 14, nur die Rinnenverlagerung des Voorentiefs weist einen wesentlich uneinheitlicheren Verlauf auf. Die dichteste Lage des Voorentiefs zur Insel wird erst Anfang der 90er Jahre erreicht.

Für den Bereich vor den Oldedünen stellten KUNZ & STEPHAN (1995) im Bezug auf Profil 14 Folgendes fest: „Für längerfristige Vorhersagen der Strand- und Randdünen-Verhältnisse ist die derzeit nicht eindeutig beurteilbare Entwicklung des zugeordneten Vorstrandbereiches von entscheidender Bedeutung. Aus der untersuchten Strandentwicklung seit Mitte des 17. Jahrhunderts lassen sich Gründe ableiten, die für eine längerfristige Stabilität des o.a. Oldedünen-Bereiches sprechen.“ Die jüngste Entwicklung der Strandbalje zwischen Profil 12 und 16 festigt die These, dass sich der Vorstrandbereich vor den Oldedünen weiterhin stabilisieren wird. Die Strandbalje ist seit Mitte der 90er Jahre nicht weiter an den Inselsockel herangedrängt

und hat damit eine Regenerierung der Strände unterstützt. Bemerkenswert ist, dass sich vor den Oldedünen bereits Mitte der 80er Jahre eine Stabilisierung der Strandverhältnisse abzeichnet, obwohl es gleichzeitig noch zur inselwärtigen Verlagerung der Strandbalje und des Voorentiefs kommt. Dadurch ergibt sich eine erhebliche Aufsteilung des Vorstrandereiches. Die seewärtige Verlagerung der höheren Tiefenlinien wird scheinbar durch die Sandzufuhr aus den von Westen anlandenden Platen bewirkt. Es handelt sich vermutlich um zwei teilweise entgegengesetzte morphologische Prozesse, die sich überlagern und wechselseitig beeinflussen. Das Zusammenspiel dieser Entwicklungen bewirkt in den letzten Jahren eine stabile Lage der Strandbalje und eine zunehmende Anlandung von Platen im höheren Strandbereich, so dass sich insgesamt eine überwiegend ausgeglichene bis positive Sandbilanz vor den Oldedünen ergibt.

In den Profilen 19 und 21 vor den Kobbedünen erreicht die NN-10m-Linie des Voorentiefs Mitte der 80er Jahre ihr weitestes Vordringen inselwärts. Anschließend zeigt sich eine relativ stabile Lage der Voorentiefrinne. Im höheren Vorstrandbereich (NN-2m bis NN-6m) kommt es bis 1995 bzw. 1998 zu erheblichen Verlusten von 200-400 m. In jüngster Zeit ist jedoch eine leichte Abschwächung der inselwärtigen Verlagerung zu verzeichnen. Innerhalb des Profils 23 im Übergang zum Nordstrand nähert sich das Voorentief bis 1995 dem Inselsockel und zeigt danach eine relativ gleichbleibende Lage. Der Vorstrandbereich zwischen NN-2m und NN-8m erfährt seit 1951 erhebliche Verluste von 400-500 m, die auch in den letzten Jahren anhalten. Insgesamt betrachtet lässt sich für die Entwicklungen vor den Kobbedünen eine auffällige Übereinstimmung der Veränderungen im Strand- und Vorstrandbereich herstellen. Es scheint ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Verschlechterung der Strandverhältnisse und der Vertiefung/Verlagerung des Voorentiefs zu bestehen. In einer früheren Untersuchung folgerten KUNZ & STEPHAN (1995) im Zusammenhang mit der Entwicklung in Profil 19: „Aufsteilungen des Vorstrandes und inselgerichtete Verlagerungen bereits sehr steiler Vorstrandprofile weisen die Naturvorgänge als großräumig verursacht und langfristig angelegt (strukturell) aus. Die Insel-Verluste stehen im Zusammenhang mit einer Verlagerung des Riffbogens westlich Juist/ Memmert sowie der Verschwenkung der Osterems. Diese von der Forschungsstelle grundlegend dargestellten Vorgänge (vgl. Jahresbericht 1982) dauern unverändert an. Eine Abschwächung der festgestellten strukturellen Veränderungen ist zur Zeit nicht erkennbar.“ Im Vorgriff auf Kap. 5.3 kann diese Erkenntnis auch aufgrund der neusten Auswertungen bestätigt werden. Die tendenzielle Entwicklung seit Mitte der 90er Jahre zeigt zwar leichte Veränderungen gegenüber dem vorangegangenen Zeitraum, ist jedoch in ihrer Ausprägung nicht so stark, dass eine Abschwächung struktureller Veränderungen nachgewiesen werden kann. Vor den Kobbedünen wird wahrscheinlich auch in Zukunft die Rinnenverlagerung des Voorentiefs einen anhaltend negativen Einfluss ausüben. Dieser morphologische Prozeß würde vermutlich auch gegenüber eventuell einsetzenden Sandanlandungen aus Westen überwiegen, die voraussichtlich nur eine kurzzeitige Verbesserung der Strandverhältnisse in höhergelegenen Bereichen bewirken könnten. Insofern ist die Entwicklungstendenz des Strandabschnittes vor den Kobbedünen auch unter Einbeziehung großräumiger morphologischer Aspekte als negativ einzuschätzen.

Der Vorstrandbereich vor dem Nord- und Oststrand wird im Wesentlichen beeinflusst von der Lage der Osterems. Der große Querschnitt der Rinne bewirkt einen sehr synchronen Verlauf der Tiefenlinien. An der Nordspitze Borkums ist durch Südverlagerung der Osterems ein kontinuierliches Vordringen der Tiefenlinien inselwärts zu erkennen (Profil 25: ~10 m/Jahr, Profil 29: ~6 m/Jahr). Bislang ist noch kein Ende dieser Entwicklung abzusehen. In Profil 37 und 45 hingegen ist bis in die 80er Jahre eine Nordostverschiebung der Tiefenlinien um mehrere hundert Meter zu verzeichnen. Danach überwiegt eine stabile Lage des Vorstrandbereichs (vgl. insbesondere Profil 45). Im Bereich Hoge Hörn (Profil 53) bewirkt die Drehung der Osterems eine bis heute anhaltende seewärtige Verschiebung des Vorstrandbereichs um ~5 m/Jahr. Diese Tendenz ist auch in größeren Tiefen (NN-6m bis NN-10m) vorhanden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass am Nord- und Oststrand die Entwicklungen für den Strand- und Vorstrandbereich überwiegend analog und tiefenunabhängig verlaufen. Für den Nordweststrand hingegen ist eine gegenseitige Beeinflussung und Überlagerung großräumiger morphologischer Prozesse in größeren Tiefen (Ausdehnung des Voorentiefs, Verlagerung der Osterems) mit lokalen morphologischen Prozessen (Platananlandungen, Sedimenttransport in Strandnähe) zu erkennen.

5.2 Hohes Riff, Westerriff und Osterriff

In den Riffbögen der Ostfriesischen Inseln kommen die durch küstennahe Strömungen bewegten Sandmengen zu einer temporären Akkumulation, bevor sie weiter nach Osten gelangen. Im Fall von Borkum ist insbesondere das Hohe Riff, vor dem Weststrand der Insel gelegen, für den von West nach Ost gerichteten Sedimenttransport entscheidend. Auch für die Küstenschutzplanung hat das Hohe Riff große Bedeutung, da seine Ausprägung die verfügbaren Sandmassen an den Stränden Borkums in zeitlicher und mengenmäßiger Hinsicht beeinflusst. Für die morphologischen Veränderungen des Hohen Riffs werden vorrangig Vorgänge im Bereich des Riffbogens Westerems verantwortlich gemacht. Nach SAMU (1982) ist es wahrscheinlich, dass die Sandmassen, die das Hohe Riff versorgen, von der Hubertplate stammen. Bis in die 70er Jahre war das Hohe Riff in zwei fischförmige Platen gegliedert, die sich in ihrer Längsausdehnung von Nordwesten nach Südosten erstreckten. Durch Ostverlagerung der Platen kam es bis 1990 zum Zusammenschluss mit dem Westerriff. Es bildete sich eine einzelne kompakte, pilzförmige Plate, die sich immer weiter an den Weststrand anlagerte und deutlich an Höhe gewann.

Die mit der Verlagerung im Hohen Riff/Westerriff einhergehenden quantitativen Veränderungen sind in Abb. 1 und Tabelle 5 dargestellt. Die betrachtete Fläche bezieht den Bereich der Weststrandplate bis Profil 1 mit ein. Die größte Ausdehnung bezogen auf NN-5m erreichte das Hohe Riff bereits 1962; für NN-4m und NN-3m war die maximale Fläche erst Anfang der 80er Jahre zu verzeichnen. Bis Ende der 90er Jahre kam es dann aufgrund der Südostverlagerung zu erheblichen Flächenverlusten (mehr als 5 km² oberhalb NN-5m), die besonders stark nach dem vollständigen Verschmelzen von Hohem Riff und Westerriff (ab ca. 1990) aufgetreten sind. Seit 1998 hingegen hat die Fläche des Hohen Riffs durch Ausdehnung nach Norden und Osten wieder deutlich zugenommen, wobei der Zuwachs in größeren Tiefen stärker war als im flacheren Riffbereich. Die Verluste aus den 80er und 90er Jahren konnten durch die jüngste Akkumulationsphase bisher jedoch nur zu einem geringen Teil kompensiert werden. Die Auswertung der terrestrischen Vermessungen von 1990 und 2001 (Tabelle 5) zeigt eine deutliche Volumenzunahme um 37 % in nur elf Jahren, während die Fläche oberhalb NN annähernd konstant bleibt. Dies verdeutlicht die flächenhafte Erhöhung des Hohen Riffs durch Umschichtung von Sedimentmassen in höhere Platenbereiche.

Aus den Luftbildern in Anlage 4 geht hervor, dass die Südostverlagerung des Hohen Riffs auch in den 90er Jahren noch anhält. Dabei scheint sich der pilzförmige Platenkomplex nicht gleichmäßig nach Norden und Süden aufzuteilen, sondern überwiegend in Richtung Südstrand zu verlagern. Diese Beobachtung könnte die Vermutung stützen, dass auch das Sedimentvolumen, das für den Küstenlängstransport nach Osten zur Verfügung stehen wird, in absehbarer Zeit geringer werden könnte. Entscheidend dafür dürfte jedoch auch der Umfang der Sedimentzufuhren aus dem Riffbogen Westerems in das Hohe Riff sein, der überwiegend in größeren Tiefenschichten stattfindet. Die Flächenentwicklung des Hohen Riffs (Abb. 1) zeigt speziell in jüngster Zeit kurzfristige Trendänderungen. Eine anhaltende Verringerung der Riffgröße, die auf eine generelle Abnahme der Sedimentzufuhr schließen ließe, ist dabei aus den vorliegenden Daten nicht abzusehen.

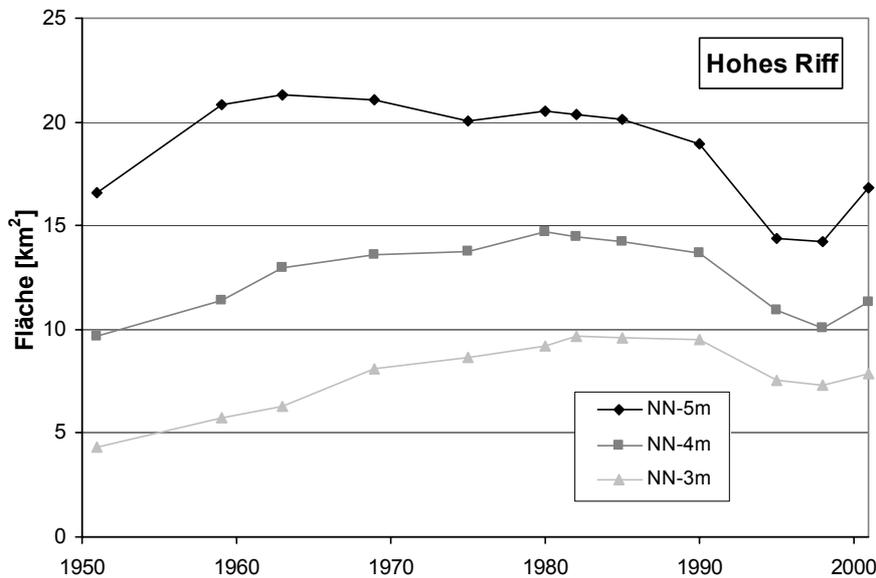


Abb. 1 Flächenentwicklung des Hohen Riffs im Sublittoral

Tabelle 5: Veränderungen des Hohen Riffs im Bereich der Weststrandplate

| Jahr | Volumen \geq NN \pm 0m | Fläche \geq NN \pm 0m |
|------|----------------------------|---------------------------|
| 1990 | 5,1 Mio. m ³ | 4,5 km ² |
| 2001 | 7,0 Mio. m ³ | 4,6 km ² |

Die Differenzpläne in Anlage 7 unterstreichen anschaulich die großräumigen Entwicklungsprozesse nordwestlich Borkums und unterstützen die Ergebnisse der quantitativen Auswertungen. Flächenhafte Sedimentation (blaue Färbung) wird vor allem im Bereich Hohes Riff und Westerriff erkennbar. Im Zeitraum nach 1975 findet die Höhenzunahme dort insbesondere an der Ostseite des Hohen Riffs statt. Diese Verlagerung zieht auch eine Zunahme der Sedimentversorgung vor dem Nordweststrand nach sich (ausgeprägter blauer Streifen im Vorstrandbereich zwischen Weststrandplate und Olde Dünen). Auch das Osterriff gewinnt in den letzten fünf Jahrzehnten an Höhe. Die Sedimentation beschränkt sich zwar auf ein relativ schmales Gebiet, findet aber kontinuierlich statt und bewirkt ein Anwachsen des Riffkamms auf über NN-3m im aktuellsten Zustand. Ein direkter Einfluss dieser Veränderungen auf die Sandversorgung der Strände Borkums ist jedoch anscheinend nicht vorhanden, da in den Zeit-Weg-Diagrammen für den Strand- und Vorstrandbereich keine Platanlandungen zu erkennen sind, die direkt aus dem Osterriff stammen könnten. Position und Tiefe der vorgelagerten Strandbalje sind vermutlich für diese Gegebenheit verantwortlich zu machen. Allerdings könnte das Osterriff durch seine geschlossene Höhenzunahme verstärkt Wellenenergie abgepuffert und dadurch die Sedimentzuwächse vor dem Nordweststrand begünstigt haben.

5.3 Borkumriffbalje, Voorentief und Osterems

In den Untersuchungen von ABELS & RAGUTZKI (1996) wird die morphologische Entwicklung des Nordteils von Borkum von 1833 bis 1994 auf der Grundlage von Seekarten beschrieben, die in einem zeitlichen Abstand von 15 bis 20 Jahren vorliegen. Eine besondere Beachtung wird dabei dem Rinnensystem Osterems im Zusammenspiel mit den Veränderungen der Baljen und Riffe geschenkt. Die Rinnenentwicklung zwischen 1833-1994 lässt sich demnach folgendermaßen skizzieren: Bis 1930 erfolgte der größte Teil des Wasseraustausches nördlich von Borkum über das Tidesystem Hommegat. Bereits ab 1833 zeichnete sich jedoch der stärkere Einfluss des Tidesystems Voorentief/Borkumriffbalje ab: Während sich das Voorentief kontinuierlich in

nordwestliche Richtung ausdehnte, verlagerte sich die bisherige Hauptebbstromrinne des Hommegats nach Süden und bildete sich bis in die heutige Zeit komplett zurück. Um 1930 standen sich die zwei Flut-Ebbstromsysteme Voorentief/Borkumriffbalje und das Hommegat annähernd gleich stark gegenüber. Dieses Verhältnis veränderte sich bis 1954 weiter zugunsten des Voorentiefs. Die Flutstromrinne Borkumriffbalje erweiterte sich – korrespondierend zu der Entwicklung des Voorentiefs – ebenfalls beständig. Der Wasseraustausch im Bereich der Osterems vollzieht sich in der heutigen Zeit vorwiegend über die Ebbstromrinne Voorentief und die dazugehörige Flutstromrinne Borkumriffbalje. ABELS & RAGUTZKI (1996) konnten in ihren Auswertungen nachweisen, dass die Flächenentwicklungen von Borkumriffbalje-Voorentief und dem System Hommegat in quantitativer Hinsicht übereinstimmen: Während Phasen der Flächenabnahmen im Flut-Ebbstromsystem Hommegat vorherrschen, kommt es korrespondierend im System Borkumriffbalje-Voorentief zu Flächenzunahmen mit annähernd gleichen absoluten Beträgen (und andersherum).

Von Bedeutung für die jüngere morphologische Entwicklung des Hommegats ist, dass sich Ende des 20. Jahrhunderts direkt neben der Kachelotplate wieder eine neue, zunächst nur schwach ausgeprägte Ebbstromrinne bildet. Auf diese Veränderungen wurde in Verbindung mit dem Anwachsen der Brauerplatten schon im Teilprojekt Juist (LADAGE 2001) eingegangen. Eine ausführliche Analyse der aktuellen Umgestaltungen ermöglichen nun Flächen- und Volumenberechnungen für die Rinnensysteme nördlich von Borkum, die auf der Grundlage von DGMs aus den letzten 50 Jahre durchgeführt wurde. Die geographischen Grenzen zur Definition der Rinnen sind in Anlehnung an die Untersuchungen von 1996 festgelegt worden und aus Tabelle 6 bzw. Anlage 8 ersichtlich.

| | Abgrenzung |
|--------------------------------|---|
| Flutstromrinne Borkumriffbalje | südöstlich RW ²⁵ 38, HW ⁵⁹ 48 |
| Ebbstromrinne Voorentief | westlich RW ²⁵ 50 |
| Flutstromrinne Hommegat | südöstlich RW ²⁵ 43, HW ⁵⁹ 50 |
| Ebbstromrinne Hommegat | nördlich HW ⁵⁹ 45 |

Tabelle 6 Abgrenzung der Flut- und Ebbstromrinnen nördlich von Borkum (siehe auch Anlage 8)

Zu beachten ist, dass innerhalb des Hommegats eine eindeutige Trennung in Flut- und Ebbstromrinne nicht immer möglich ist. Neben dem Auftreten einer neuen Ebbstromrinne ab 1969 ist außerdem bis 1985 eine zentrale Rinne im Hommegat vorhanden, die durch unterschiedlich stark ausgeprägte Barren zwischen den Brauerplatten und dem Juister Riff bzw. der Kachelotplate abgetrennt ist. Diese zentrale Rinne ist in den Berechnungen jeweils zur Hälfte der Flut- und Ebbstromrinne zugerechnet worden. Dadurch wird größenordnungsmäßig auch ein Vergleich mit der morphologischen Situation ab 1990 gewährleistet, in der das Hommegat nur noch aus einer einzelnen Ebbstromrinne besteht.

In den Ergebnisdiagrammen für die Rinnenentwicklung (Abb. 2) ist insbesondere der Parameter „Rinnenvolumen“ hervorzuheben, der als Menge des unterhalb der angegebenen Tiefe befindlichen Wassers verstanden werden kann und eine größere Aussagekraft besitzt als der Parameter „Fläche“. Dies zeigt beispielsweise der direkte Vergleich der absoluten Größe von Borkumriffbalje und Voorentief: Während das Voorentief in jüngster Zeit eine etwa 50% größere Fläche einnimmt als die Borkumriffbalje (bezogen auf NN-8m), wird die absolute Bedeutung der Ebbstromrinne Voorentief erst durch das mehr als sechs Mal so große Rinnenvolumen deutlich. Beide Darstellungsweisen jedoch bestätigen tendenziell die bereits oben erwähnte Ausweitung des Rinnensystems Voorentief-Borkumriffbalje; Fläche und Volumen beider Rinnen wachsen zwischen 1951 und 2001 für fast alle betrachteten Tiefenhorizonte auf mehr als das Doppelte an.

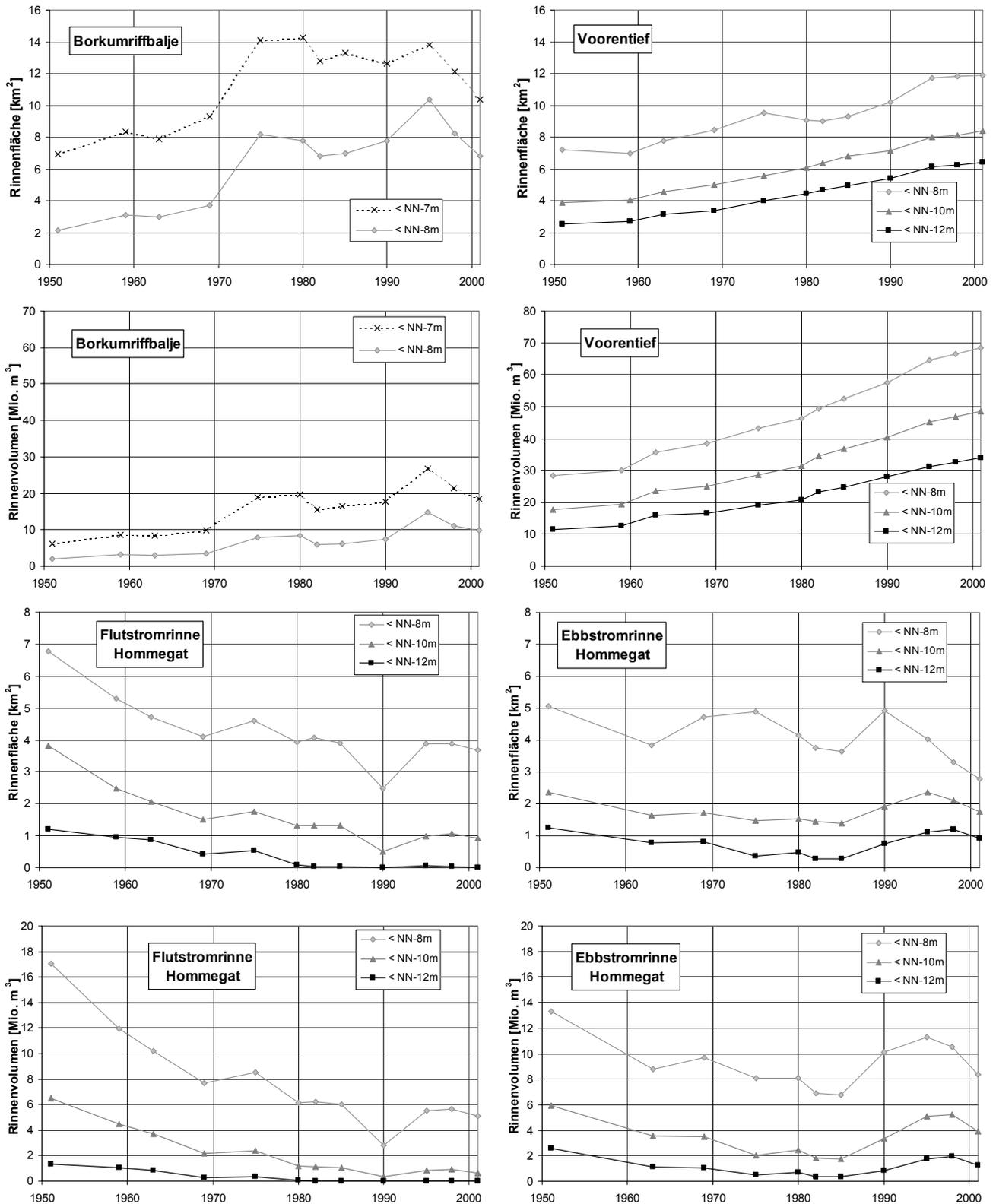


Abb. 2 Flächen- und Volumenentwicklung der Ebb-/Flutstromrinnen Borkumriffbalje, Voorentief und Hommegat

Dabei findet die Entwicklung des Voorentiefs sehr kontinuierlich statt, während die Borkumriffbalje – vermutlich durch die Veränderungen des Westerriffs verursacht – eine weniger gleichmäßige Zunahme erkennen lässt. Nach 1975 erfährt die Borkumriffbalje nur noch einen geringfügigen Zuwachs an Fläche und Volumen und seit 1995 ist die Entwicklung sogar rückläufig. Die sich abschwächende Ausweitungstendenz der Borkumriffbalje könnte möglicherweise auch positive Auswirkungen auf den Sedimenttransport an den Nordweststrand Borkums haben. Für das Voorentief ist ein Ende der expandierenden Entwicklung anhand der Diagramme in Abb. 2 bisher nicht abzusehen. Bei der Verdrehung und gleichzeitigen Stärkung

des Voorentiefs handelt es sich scheinbar um einen sehr langfristigen und großräumigen Prozess, der die morphologischen Vorgänge nördlich von Borkum auch in Zukunft prägen wird.

Analog zur Ausweitung von Borkumriffbalje und Voorentief kommt es im Rinnensystem Hommegat zu einer entsprechenden Rückentwicklung: Von 1950 bis 1990 reduziert sich die Fläche der Flutstromrinne auf weniger als die Hälfte; das Rinnenvolumen sinkt sogar auf unter ein Drittel ab. Die Rückentwicklung der Ebbstromrinne im Hommegat vollzieht sich bis 1985 und tritt in der Volumenentwicklung wesentlich ausgeprägter hervor als in der flächenhaften Betrachtung. Zwischen 1950 und 1985 ist ein Rückgang des Rinnenvolumens um 50% (NN-8m) und mehr (übrige Tiefenhorizonte) zu beobachten. Diese Rückgangsphasen decken sich mit der entsprechenden Ausweitung im Rinnensystem Borkumriffbalje/Voorentief. Entscheidend für die Entwicklung in den 90er Jahren ist, dass die ehemalige Ebbstromrinne Hommegat nach 1985 komplett im Voorentief aufgeht, während die neugestaltete Ebbstromrinne direkt neben der Kachelotplate immer deutlicher hervortritt (vgl. Anlage 3.4ff). Eine vormals vorhandene Barre erodiert vollständig, so dass eine unmittelbare Verbindung mit der zentralen Rinne des Hommegats frei wird. Dadurch kommt es Mitte der 90er Jahre zu einem leichten Bedeutungsgewinn für das Rinnensystem Hommegat, der sich insbesondere in der Ausdehnung der Ebbstromrinne zeigt. Rinnenfläche und -volumen erreichen jedoch nicht das Niveau von 1950 und fallen zwischen 1995 und 2001 auch wieder geringfügig ab.

Qualitativ nachvollziehbar ist die Veränderung der Rinnensysteme Voorentief und Hommegat auch in den Differenzplänen (Anlage 7). Vor allem die stetig nach Nordwesten fortschreitenden Vertiefungstendenzen des Voorentiefs werden deutlich. Speziell in den Differenzplänen seit 1995 (Anlage 7.4) zeigt sich, dass die durch den Ebbstrom gelösten Sedimente im Randbereich der Rinne, d.h. auf dem Osterriff, den Brauerplatten und ihrem nordwestlichen Verbindungsbogen, abgelagert werden. Die hohe Dynamik im Bereich des Hommegats wird ebenfalls sichtbar: In den Differenzplänen ab 1985 lassen die dicht nebeneinander liegenden dunkelroten und tiefblauen Flächen auf die kontinuierliche Verdrehung der Ebbstromrinne im Hommegat schließen.

Insgesamt ist die Entwicklung des Hommegats in den letzten zwei Jahrzehnten sehr dynamisch, so dass auch kurzfristig mit Veränderungen in der Lage der Rinnen und der Größe des Stromarbeitsvermögens gerechnet werden muss. Allerdings fällt dem Rinnensystem Borkumriffbalje/Voorentief höchstwahrscheinlich auch in Zukunft die größere Bedeutung bei der Entwässerung der Wattgebiete zu. Unter diesen morphologischen Randbedingungen ist auch die anhaltende Veränderung der Osterems zu sehen. Die verstärkte Orientierung der Rinnenströme nach Westen führt in den letzten Jahrzehnten dazu, dass sich die Verschwenkung der Osterems gegen den Uhrzeigersinn fortsetzt. Dadurch treten an der Nordspitze Borkums Erosionen auf, während es im Bereich des Oststrandes und der Hoge Hörn zu Sandakkumulation kommt. Die entsprechenden Beobachtungen für den Strand- und Vorstrandbereich in Kap. 4.2 und 5.1 fügen sich somit gut in die Beurteilung der großräumigen Entwicklung ein.

6. Zusammenfassung

Den Schutzdünen im nördlichen Teil der Insel Borkum kommt aufgrund des dort gelegenen Trinkwassereinzugsgebietes eine besondere Bedeutung zu. Anhaltende Verlagerungen von Riffen und Rinnen im Vorstrandbereich nördlich Borkums machten eine Überprüfung der Auswirkungen auf die Sandversorgung der Inselstrände und -dünen notwendig. Der vorliegende Untersuchungsbericht zur aktuellen morphologischen Entwicklung im Umfeld der Insel Borkum befasst sich daher sowohl mit der Situation in unmittelbarer Strandnähe als auch mit den großräumigen Umgestaltungen zwischen Hohem Riff und Osterems. Dazu wurden Profilmessungen der Strände und Peildaten aus dem Küstenvorfeld für den Zeitraum 1950 bis 2001 ausgewertet.

Die bereits in früheren Untersuchungen aufgezeigten langfristigen Entwicklungstendenzen (vgl. KUNZ et al. 1995 und ABELS & RAGUTZKI 1996) bleiben in den letzten Jahren weitgehend erhalten. Das Flut-Ebbstromsystem Borkumriffbalje/Voorentief gewinnt weiter an Bedeutung, was sich in einer Verdoppelung des Rinnenvolumens über die letzten 50 Jahre widerspiegelt. Damit einhergehend hält die Verschwenkung der Osterems gegen den Uhrzeigersinn an, so dass der Nordstrand Borkums weiterhin im Abbruch begriffen ist. Am Nordweststrand Borkums zeigt sich ein etwas differenzierteres Bild: Die erheblichen Verlagerungen des Hohen Riffs in Richtung Weststrandplate führen zum Aufbau eines neuen Strandmaximums, das ab Mitte der 70er Jahre vor dem Hindenburgdamm zu einer positiven Sandbilanz führt. Auch in den Abschnitten Oldedünen und Kobbedünen am Nordweststrand sind im Verlauf der 80er und 90er Jahre Sedimentgewinne und eine seewärtige Verlagerung der Strände zu verzeichnen. Die Entwicklungstendenzen im Strandbereich vor den Oldedünen und vor dem Westteil der Kobbedünen unterliegen damit im Vergleich zur Untersuchung von 1995 positiven Veränderungen. Eine Ausweitung des Strandmaximums in den östlichen Bereich vor den Kobbedünen ist vermutlich in Zukunft ebenfalls zu erwarten, falls der momentan dominierende Einfluss der Sedimentversorgung aus westlicher Richtung gegenüber den negativen Einwirkungen der Rinnenverlagerung im Vorstrandbereich erhalten bleibt. Die typische Vorstrandsituation am Nordweststrand mit inselnaher Lage der Borkumriffbalje und der vom Voorentief ausgehenden Strandbalje hat aber auch in den letzten Jahren weiterhin Bestand. Insofern scheint es sich bei den Vorgängen am Nordweststrand um die Überlagerung zweier morphologisch entgegengesetzter Prozesse zu handeln, die das Sandangebot an den Inselstränden auch in den kommenden Jahren beeinflussen werden. Die veränderliche Geschwindigkeit und Größe des Sedimenttransports und die hohe Dynamik der Rinnenverlagerung bewirken dabei eine ständige Gewichtsverschiebung zwischen diesen beiden Prozessen und machen eine weitere intensive Beobachtung der Entwicklung am Nordweststrand unbedingt erforderlich.

7. Literatur

- ABELS, U., H. KUNZ, G. RAGUTZKI & H.-J. STEPHAN (1997): Schutz des Nordteils der Insel Borkum. - Ber. Forschungsstelle Küste Norderney, 41: 85-106
- ABELS, U. & G. RAGUTZKI (1996): Schutz des Nordteils der Insel Borkum - Generelle Untersuchung. Teil 2: Großräumige und langfristige morphologische Gestaltungsvorgänge im Bereich Osterems/Borkumriff. - Dienstber. Forschungsstelle Küste Norderney 4/1996
- BACKHAUS, H. (1958): Die Entwicklung der ostfriesischen Inseln in geschichtlicher, geomorphologischer, hydrodynamischer und seebautechnischer Hinsicht. - Ein Beitrag zur Frage der Sandwanderung in der südlichen deutschen Nordsee. - Dissertation an der Technischen Hochschule Berlin
- HOMEIER, H. (1971): Untersuchung der Strandentwicklung Borkums unter besonderer Berücksichtigung der jüngsten Strandabbrüche im Bereich der Süddünen. - Jber. Forschungsstelle Insel- und Küstenschutz Norderney, 1969, 21: 7-22, 4 Tab., 26 Anl.
- HOMEIER, H. (1979): Beiheft zu: Niedersächsische Küste, Historische Karte 1:50.000 Nr.1. - Historisches Kartenwerk 1:50.000 der Niedersächsischen Wasserwirtschaftsverwaltung. Forschungsstelle für Insel- und Küstenschutz.
- HOMEIER, H. & G. LUCK (1977): Untersuchungen zur Nordstrandentwicklung von Borkum als Grundlage für den Inselchutz. - Jber. Forschungsstelle Insel- und Küstenschutz Norderney, 1976, 28: 83-100, 13 Anl.
- KUNZ, H., G. RAGUTZKI & H.-J. STEPHAN (1995): Schutz des Nordteils der Insel Borkum - Generelle Untersuchung. Teil 1: Angaben zur morphologischen Entwicklung am Nordweststrand und zu den Szenarien. - Dienstber. Forschungsstelle Küste Norderney, 13/1995
- KUNZ, H., G. RAGUTZKI & H.-J. STEPHAN (1996): Schutz des Nordteils der Insel Borkum - Generelle Untersuchung. Teil 3: Zusammenfassende Darstellung der morphologischen Gestaltungsvorgänge und Diskussion von Sicherungsvarianten. - Dienstber. Forschungsstelle Küste Norderney 5/1996
- KUNZ, H. & H.-J. STEPHAN (1995): Dünenabbrüche am Nordweststrand der Insel Borkum. - Ber. Forschungsstelle Küste Norderney, 40: 119-144
- LADAGE, F. (2001): Sonderuntersuchungen für Vorarbeiten zum Inselchutz Ostfriesische Inseln - Morphologische Entwicklung im Bereich Juist/Memmert. - Dienstber. Forschungsstelle Küste Norderney 10/2001: 53 S. u. Anlageband
- LANG, A.-W. (1958): Gestaltungswandel des Emsmündungstrichters. - Schriften der Wirtschaftswissenschaftlichen Gesellschaft zum Studium Niedersachsens e.V., Band 58
- LUCK, G. (1971): Fortführung des Inselchutzes am Südweststrand Borkums. - Jber. Forschungsstelle Insel- und Küstenschutz Norderney, 1969, 21: 23-36, 4 Tab., 26 Anl.
- SAMU, G. (1982): Zur Morphogenese des Seegebietes vor Borkum und des Südweststrandes der Insel. - Die Küste, H. 37
- SCHUBERT, K. (1970): Ems und Jade. - Die Küste, H.19

8. Anlagen

Anlage 1 Übersicht Untersuchungsgebiet Borkum

Anlage 2 Historisches Kartenwerk der Forschungsstelle Küste

2.1 Zustand von 1650

2.2 Zustand von 1750

2.3 Zustand von 1860

2.4 Zustand von 1960

Anlage 3 Topographie im Untersuchungsgebiet

3.1 Tiefenpläne von 1951 und 1959

3.2 Tiefenpläne von 1963 und 1969

3.3 Tiefenpläne von 1975 und 1980

3.4 Tiefenpläne von 1982 und 1985

3.5 Tiefenpläne von 1990 und 1995

3.6 Tiefenpläne von 1998 und 2001

Anlage 4 Luftbilder Riffbogenbefliegung Borkum

4.1 Aufnahmen von 1969 und 1973

4.2 Aufnahmen von 1983 und 1985

4.3 Aufnahmen von 1990 und 1995

4.4 Aufnahmen von 1998 und 2001

Anlage 5 Zeit-Weg-Pläne für Profile 1 bis 53 (Vorstrand- und Strandbereich)

Anlage 6 Verlauf der Strandlinie und Entwicklungstendenzen am Nordweststrand Borkums

Anlage 7 Differenzenpläne des großräumigen Untersuchungsgebietes

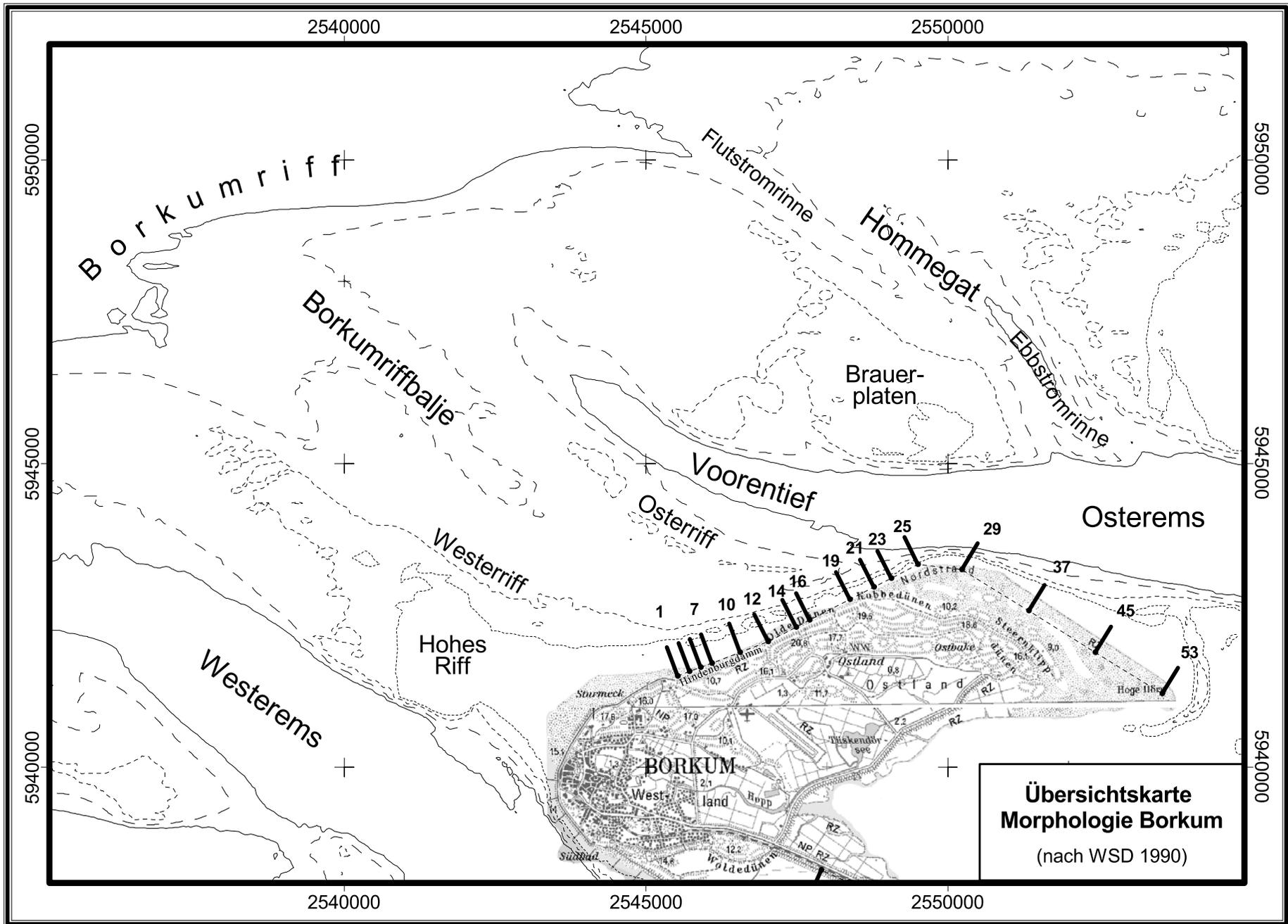
7.1 Differenzenplan 1951 - 1975 und 1975 - 2001

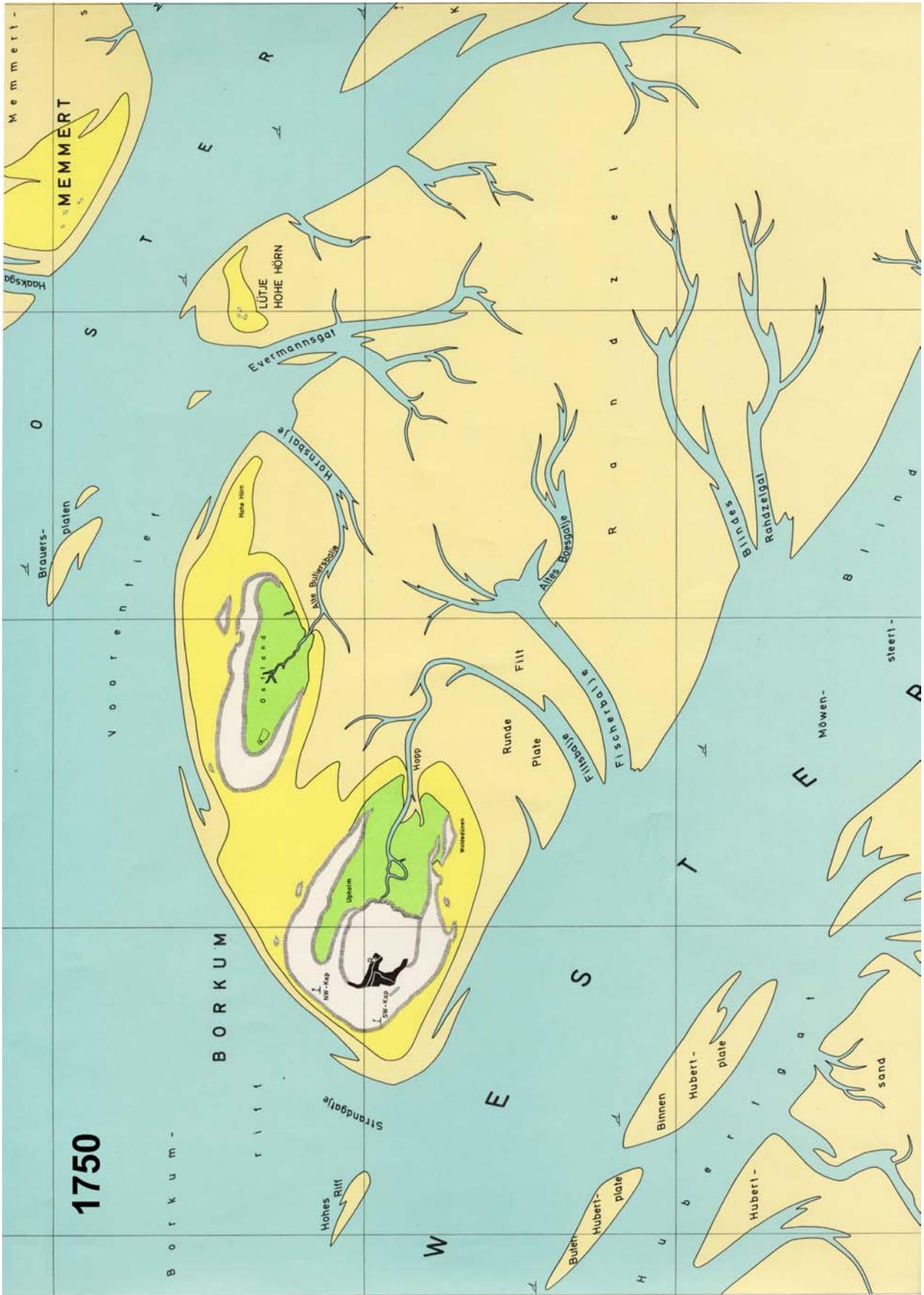
7.2 Differenzenplan 1975 - 1980 und 1980 - 1985

7.3 Differenzenplan 1985 - 1990 und 1990 - 1995

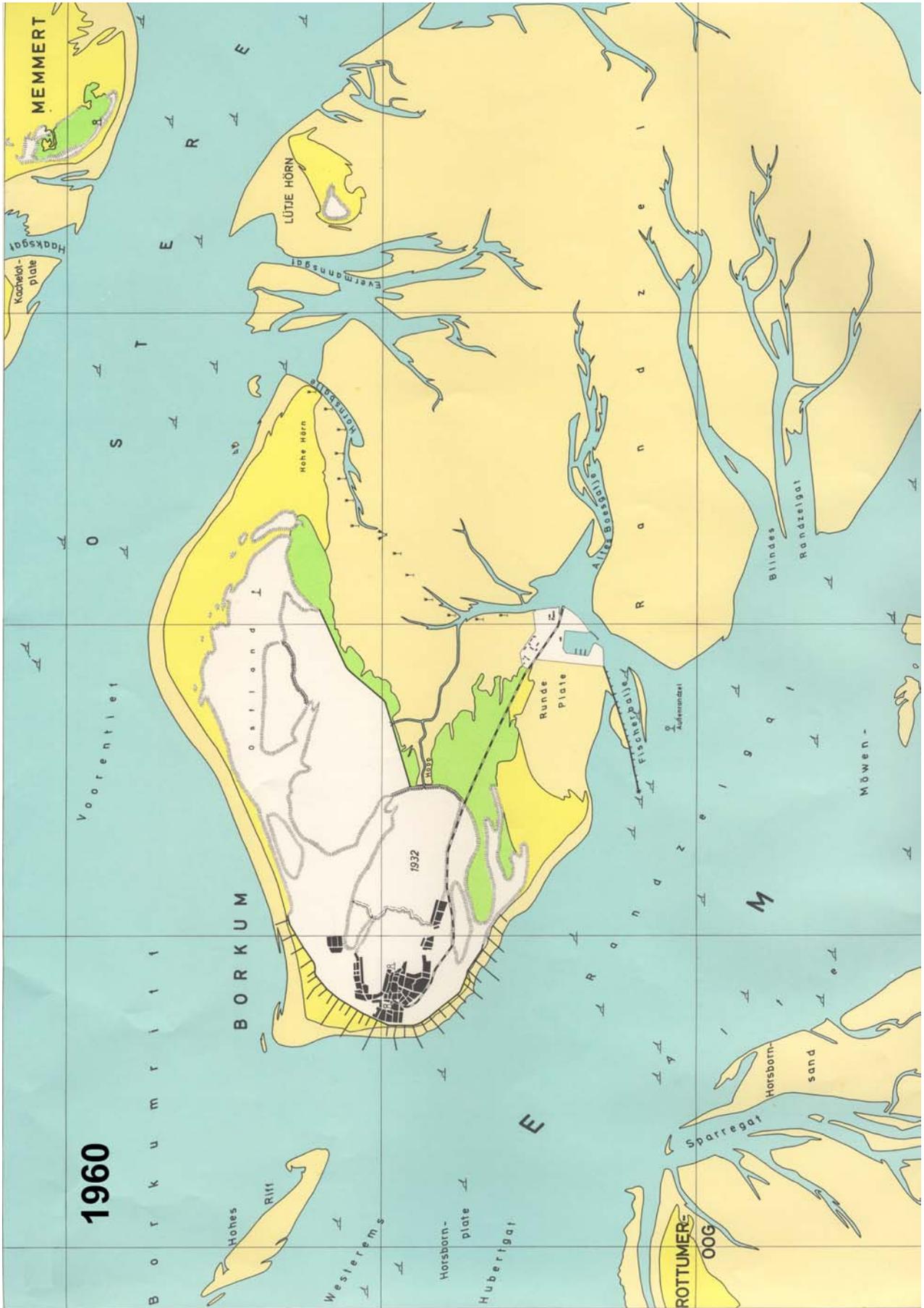
7.4 Differenzenplan 1995 - 1998 und 1998 - 2001

Anlage 8 Abgrenzung der Rinnensysteme für die Volumen- und Flächenberechnung von Borkumriffbalje, Voorentief und Hommegat





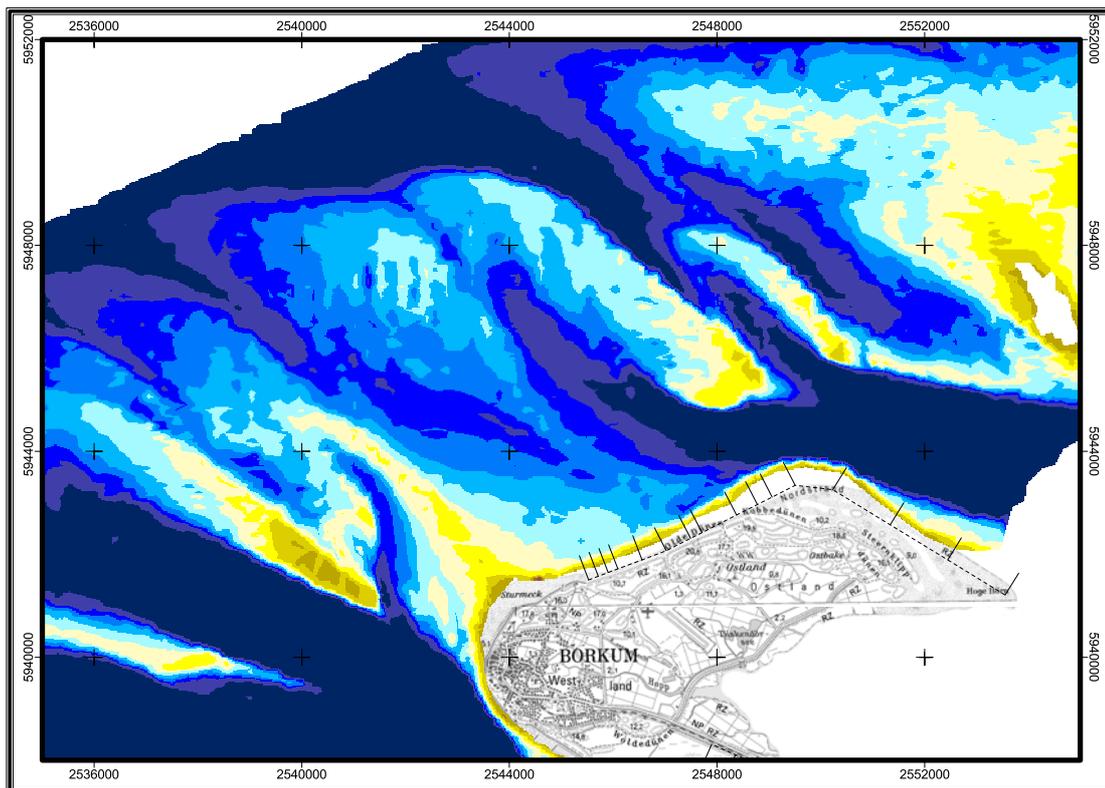
Niedersächsische Küste, Historische Karte 1:50.000 der Nds. Wasserwirtschaftsverwaltung, Blatt 1, 1974



Niedersächsische Küste, Historische Karte 1:50.000 der Nds. Wasserwirtschaftsverwaltung, Blatt 1, 1974

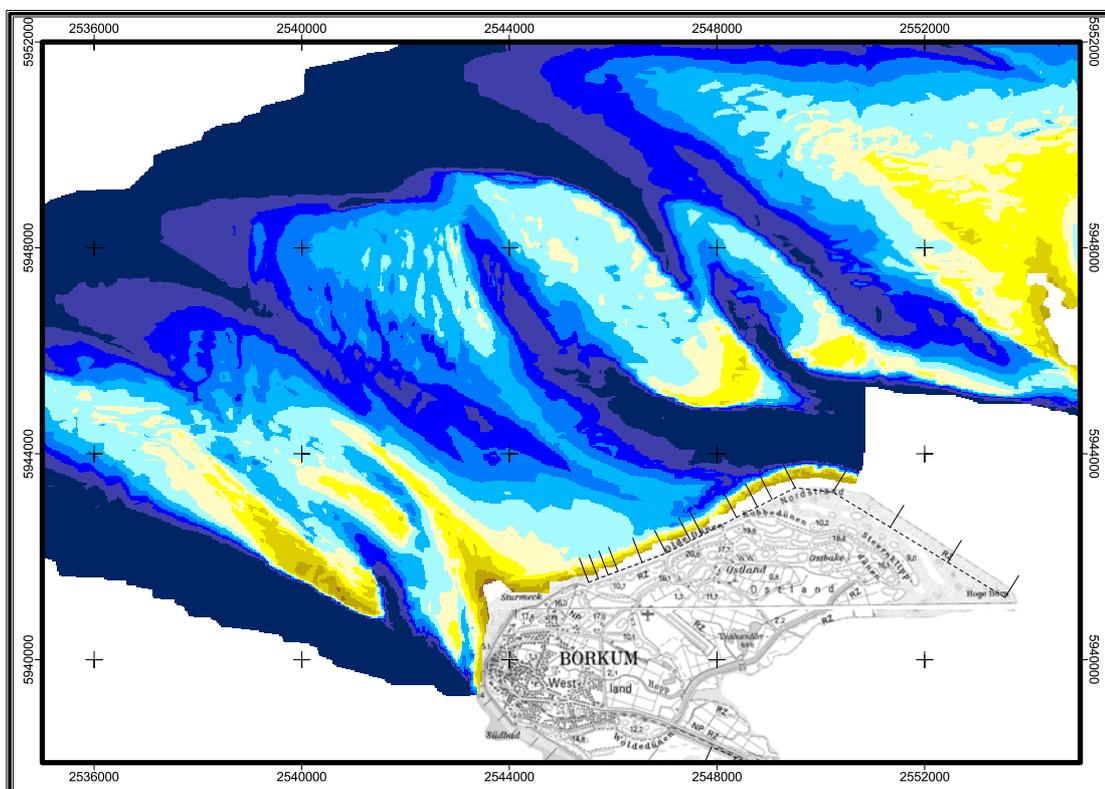
Borkum Tiefenpläne

1951



Quelle: DHI/BSH

1959

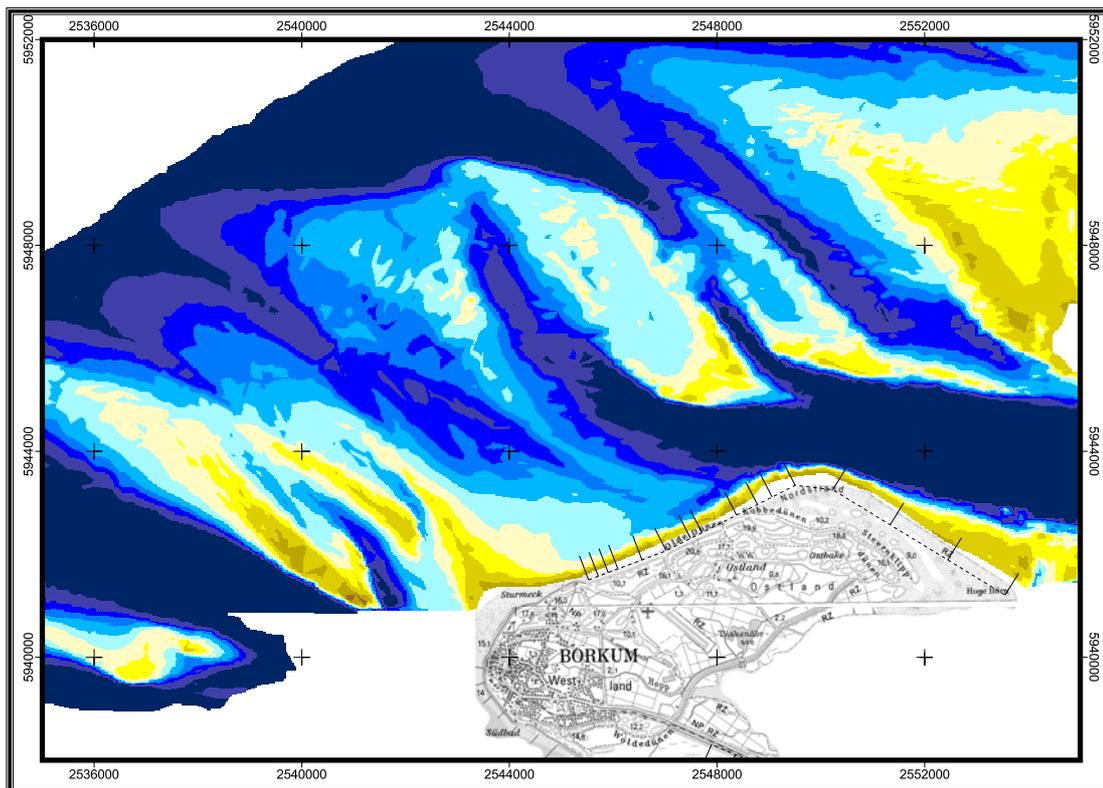


Quelle: DHI/BSH



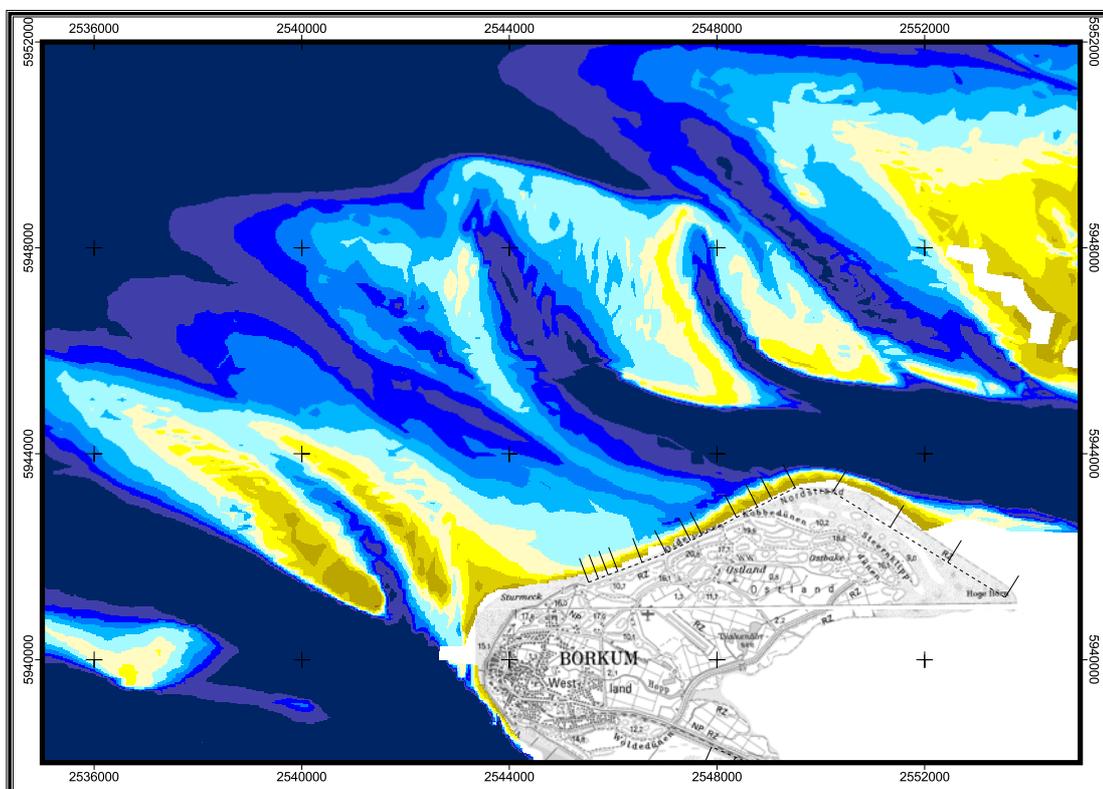
Borkum Tiefenpläne

1963



Quelle: DHI/BSH

1969

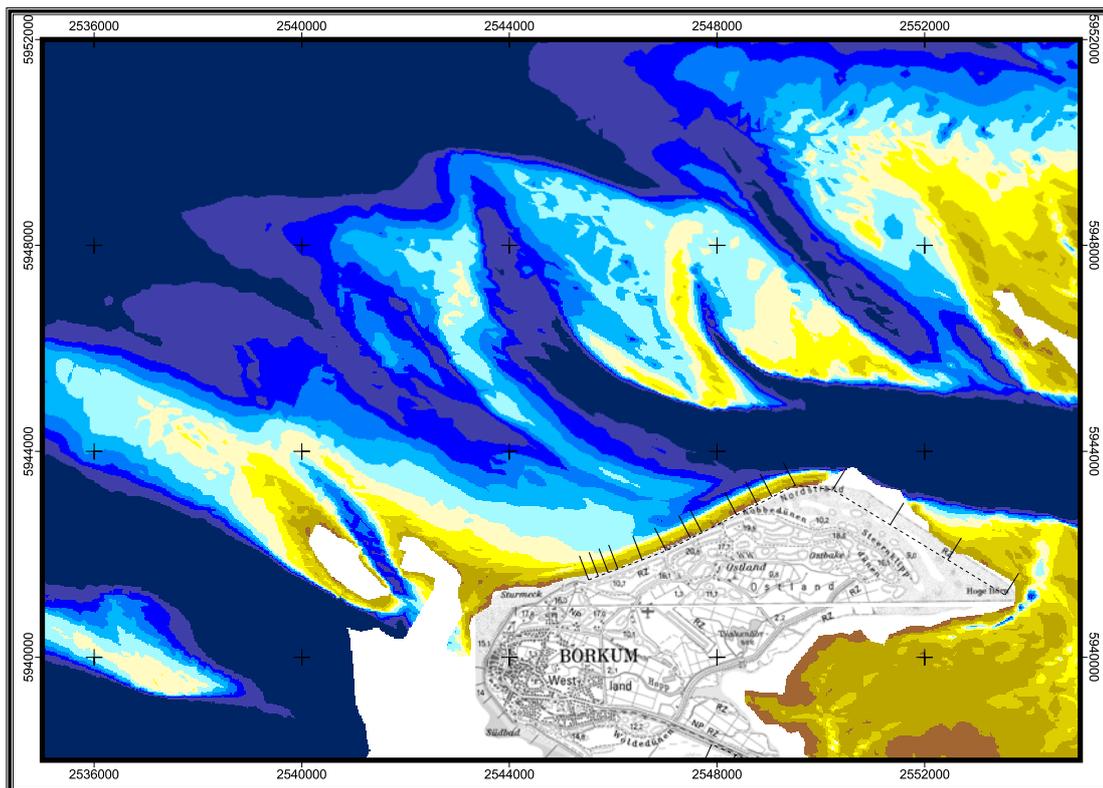


Quelle: DHI/BSH



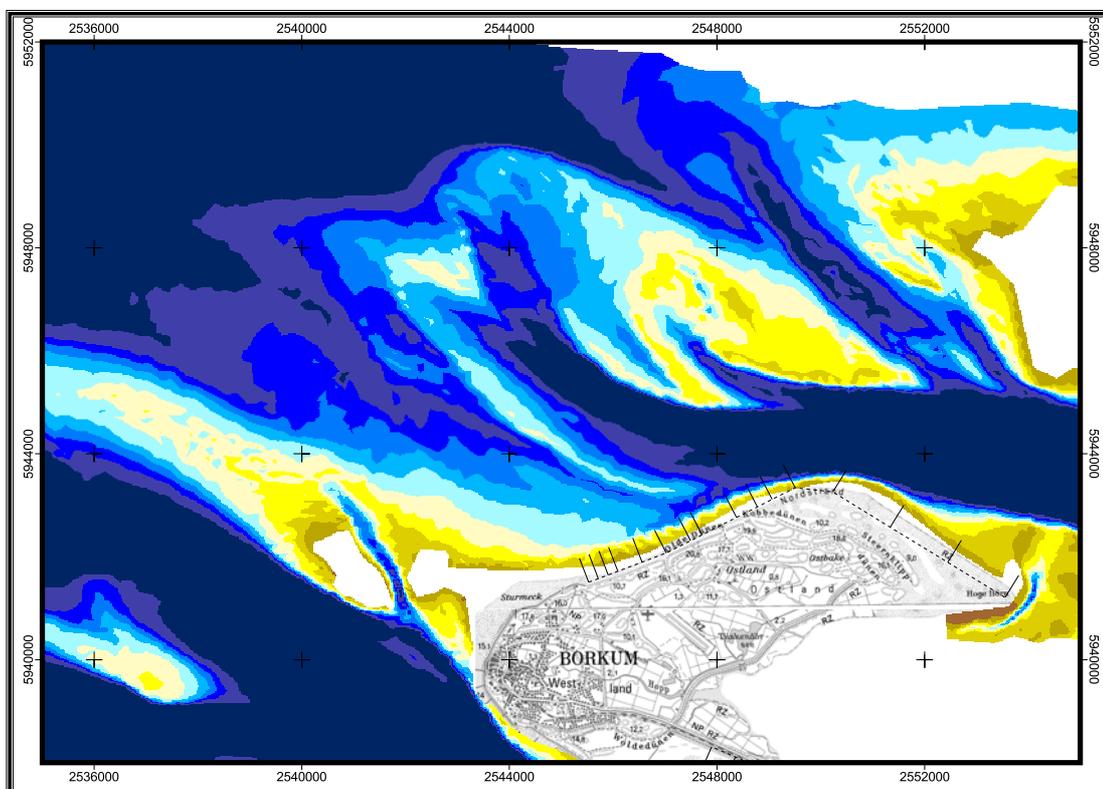
Borkum Tiefenpläne

1975



Quelle: BSH

1980

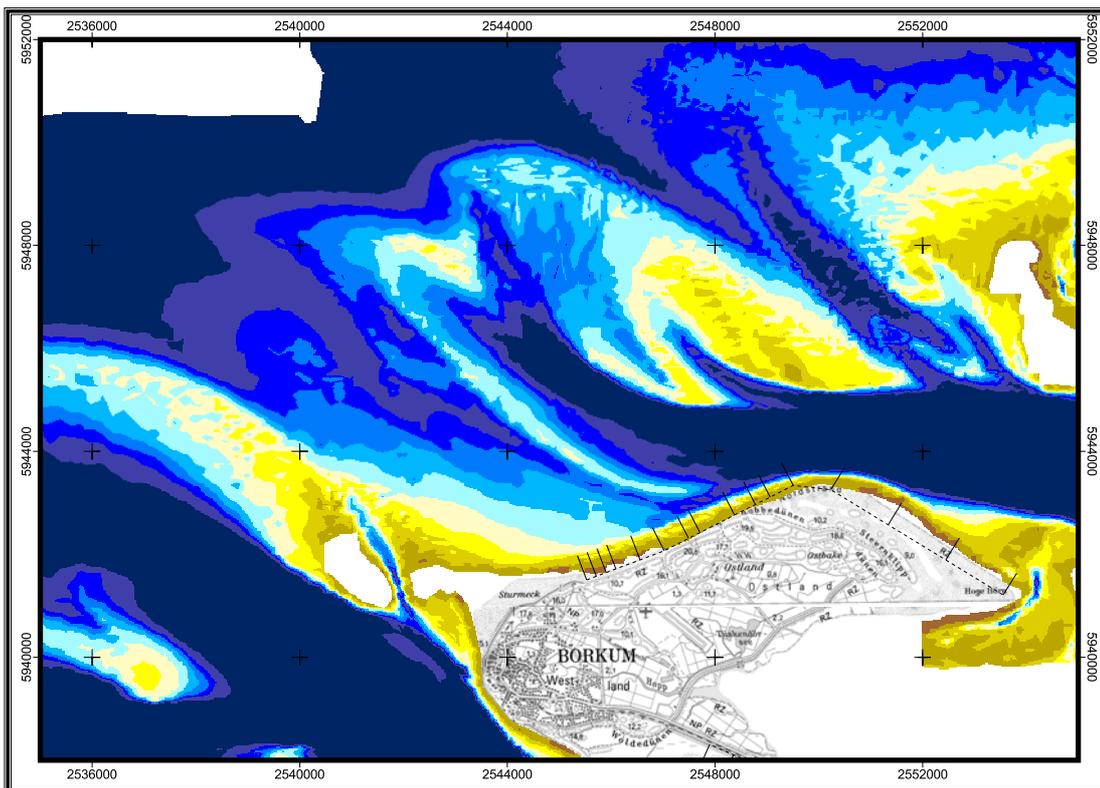


Quelle: BSH



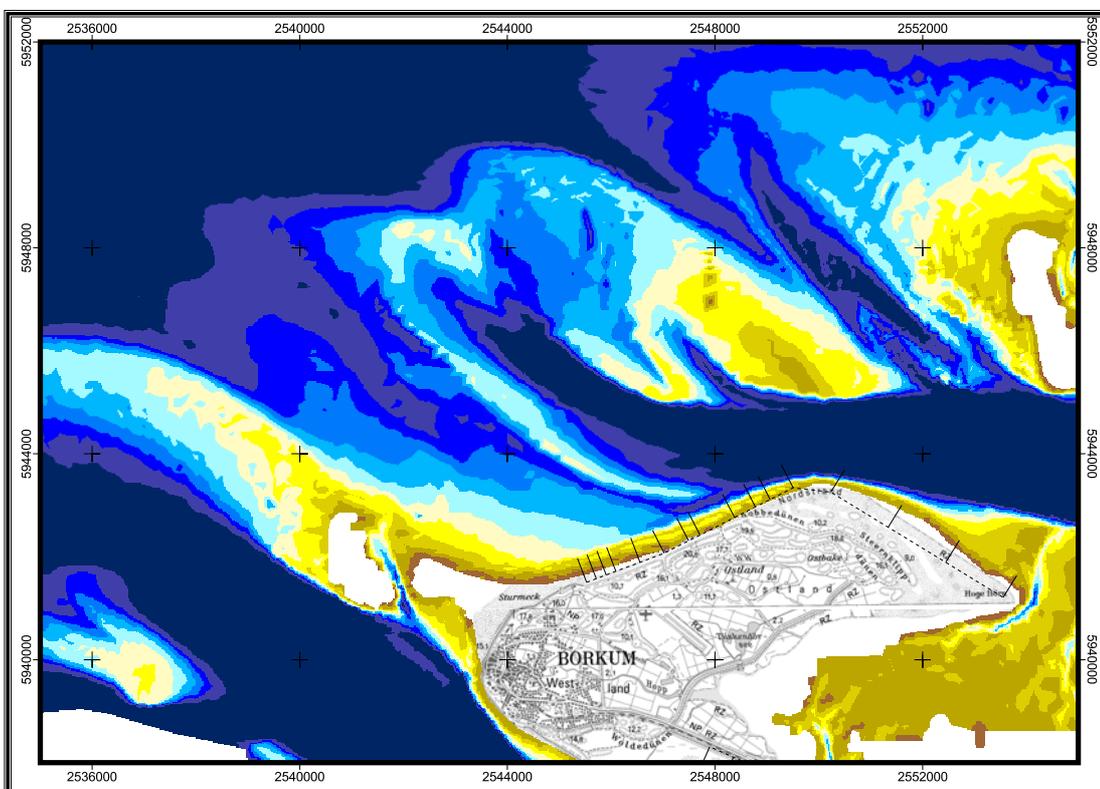
Borkum Tiefenpläne

1982



Quelle: BSH

1985

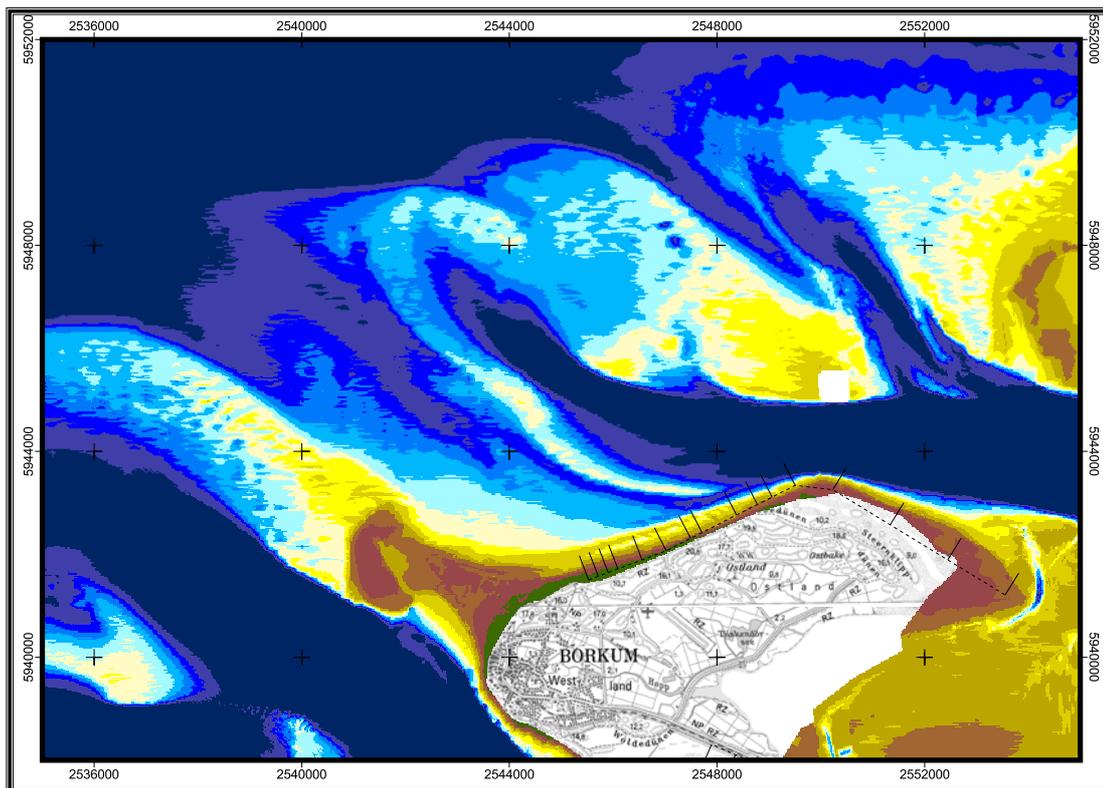


Quelle: BSH



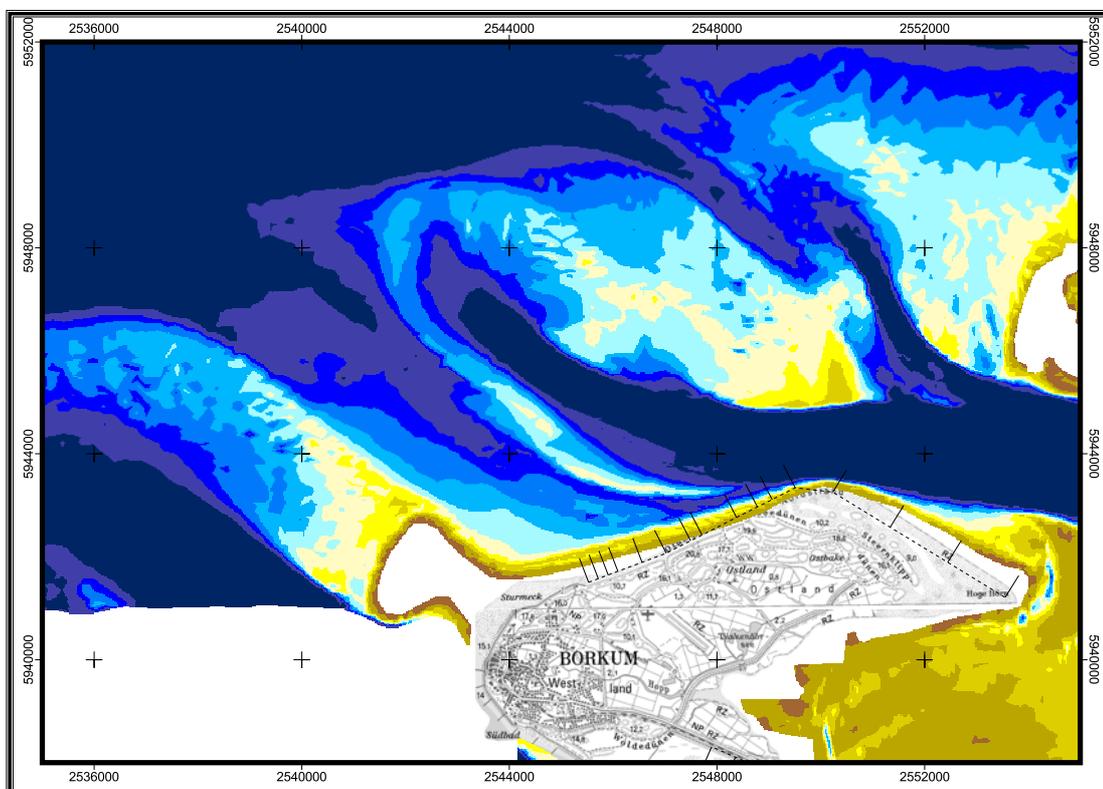
Borkum Tiefenpläne

1990



Quelle: WSD Nordwest und BSH

1995

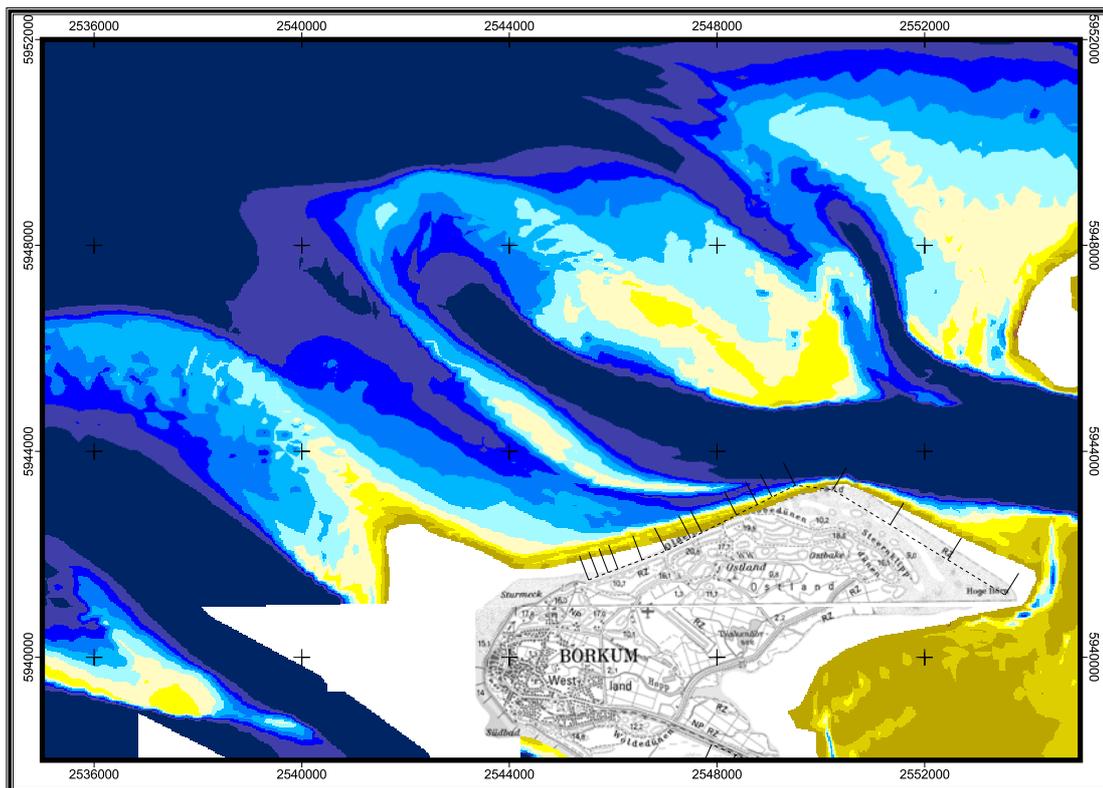


Quelle: BSH



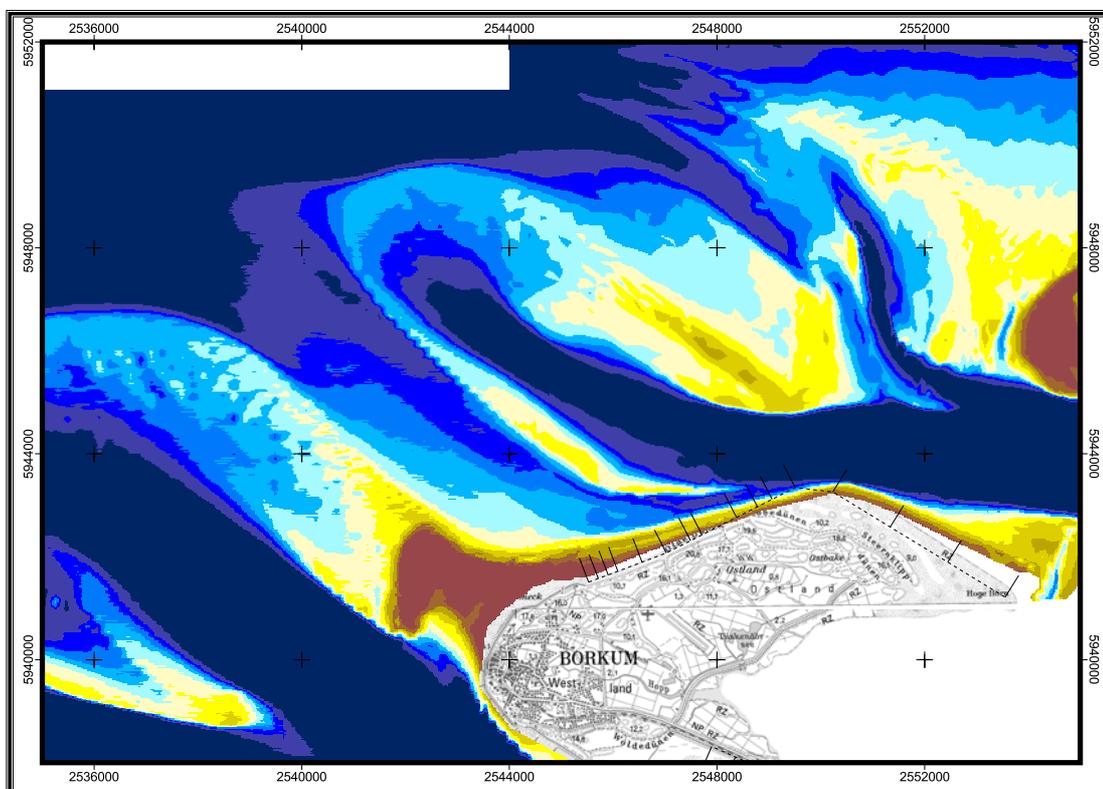
Borkum Tiefenpläne

1998



Quelle: BSH

2001



Quelle: BSH, FSK, NLWK, RWS und WSD



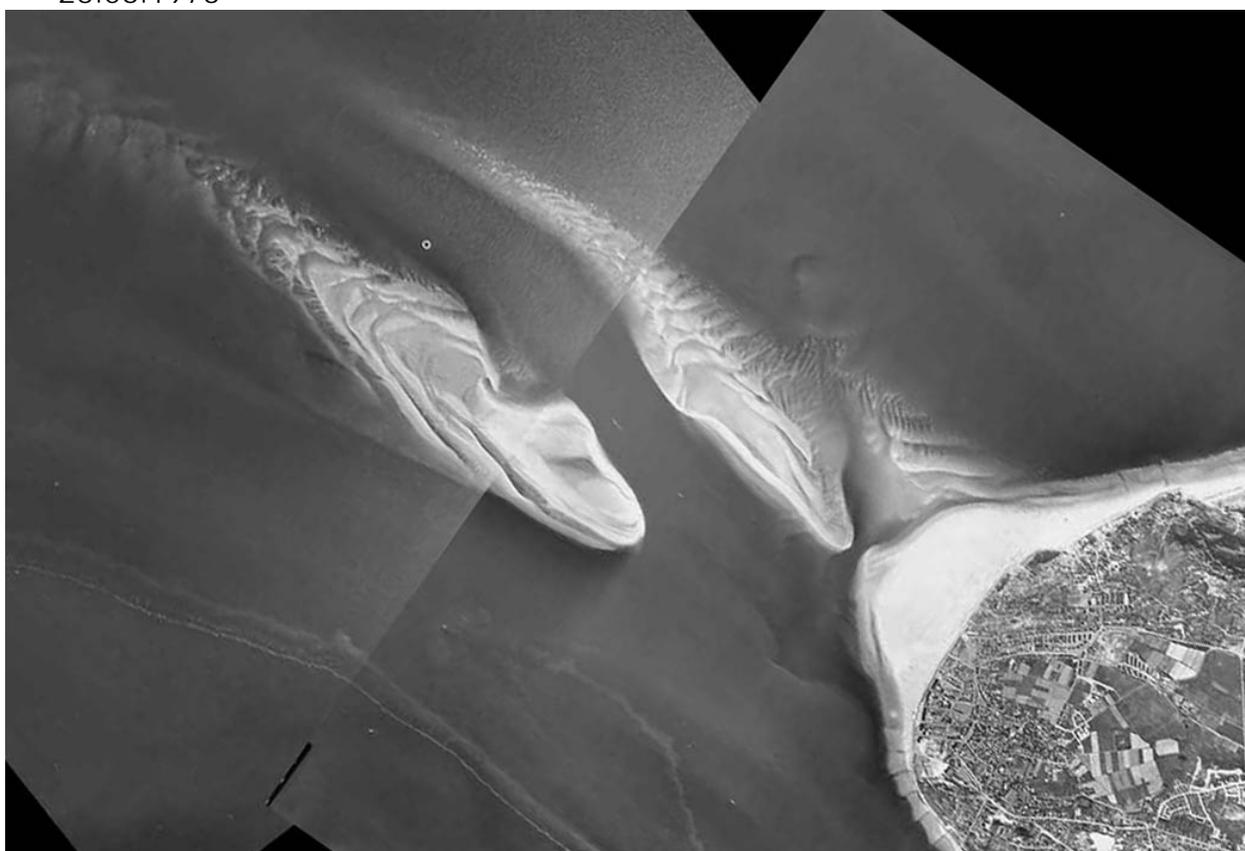
Luftbilder Hohes Riff/Weststrandplate

24.05.1969



Vermessungs- und Ingenieurbüro Rüpke, Hamburg

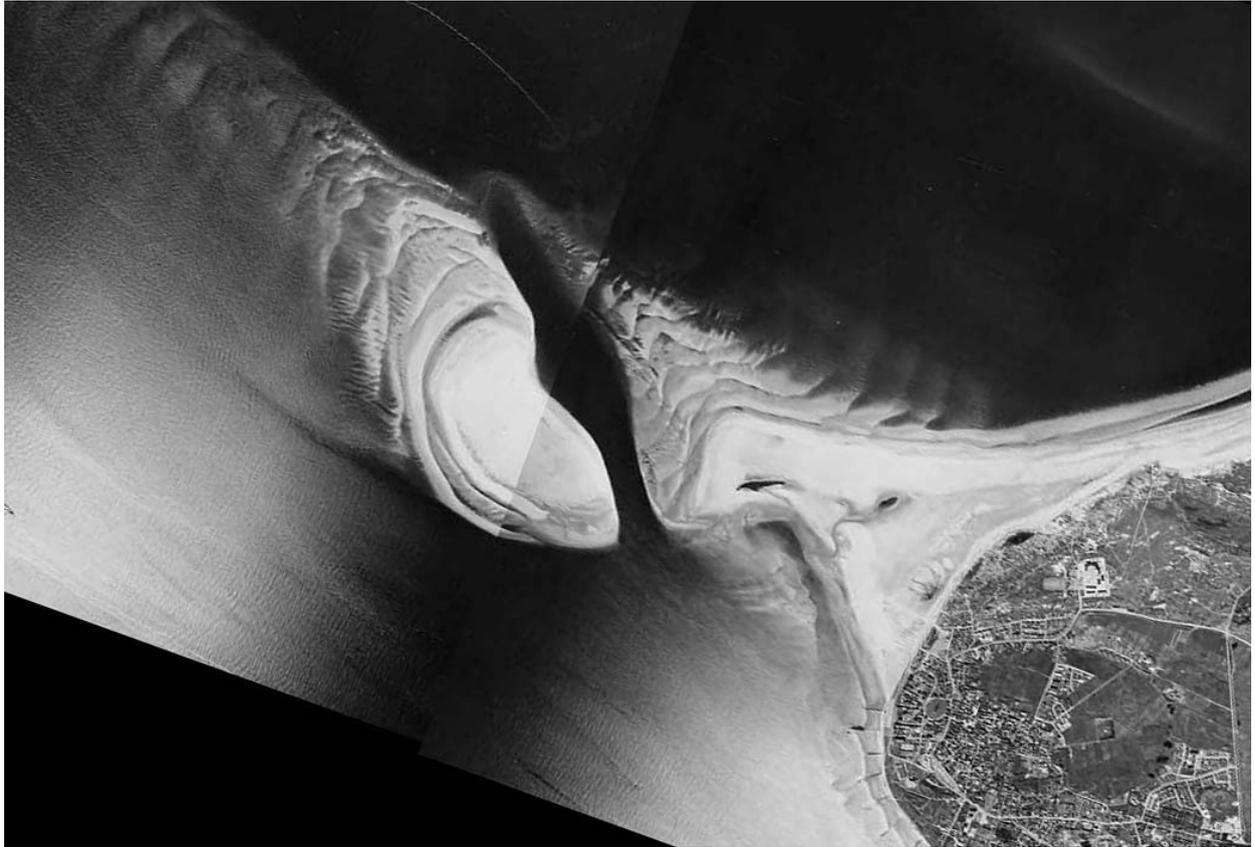
23.06.1973



Vermessungs- und Ingenieurbüro Rüpke, Hamburg

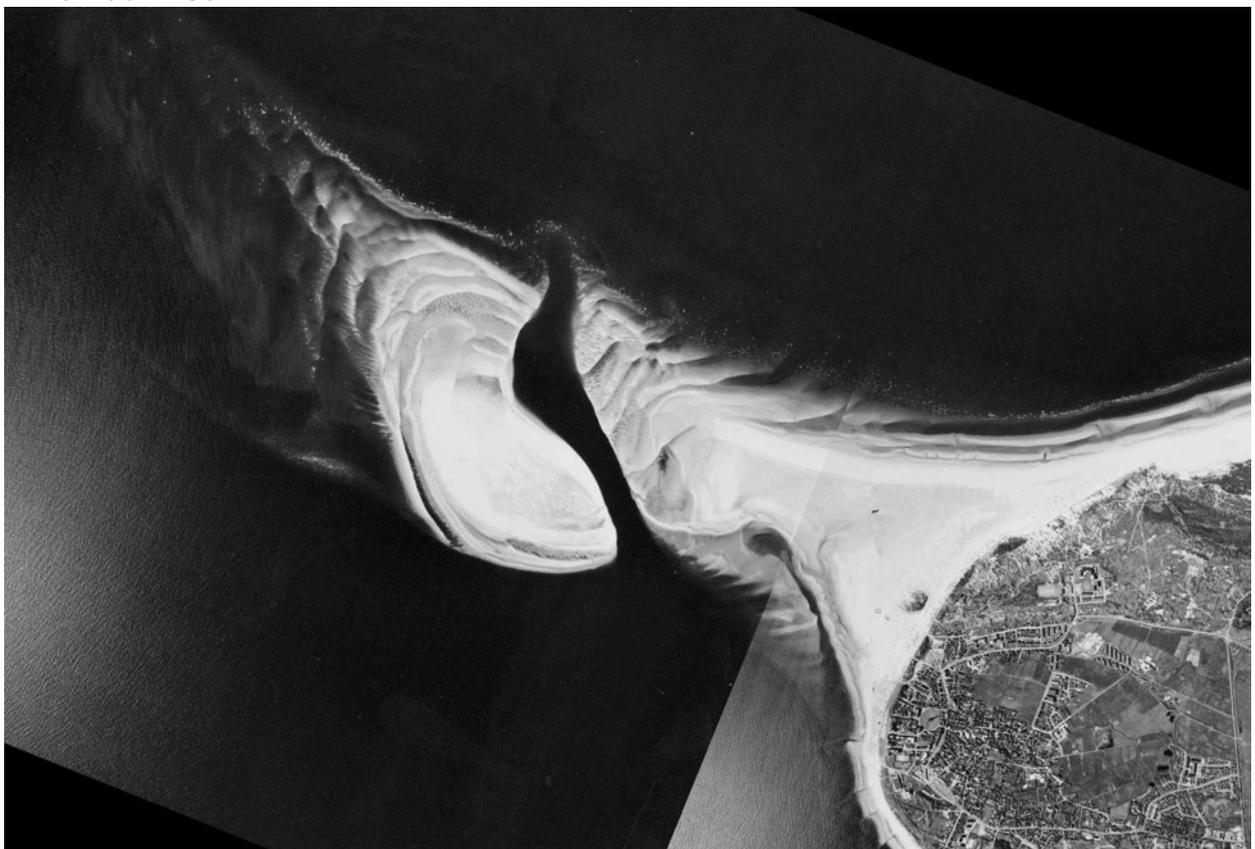
Luftbilder Hohes Riff/Weststrandplate

07.06.1983



Vermessungs- und Ingenieurbüro Rüpke, Hamburg

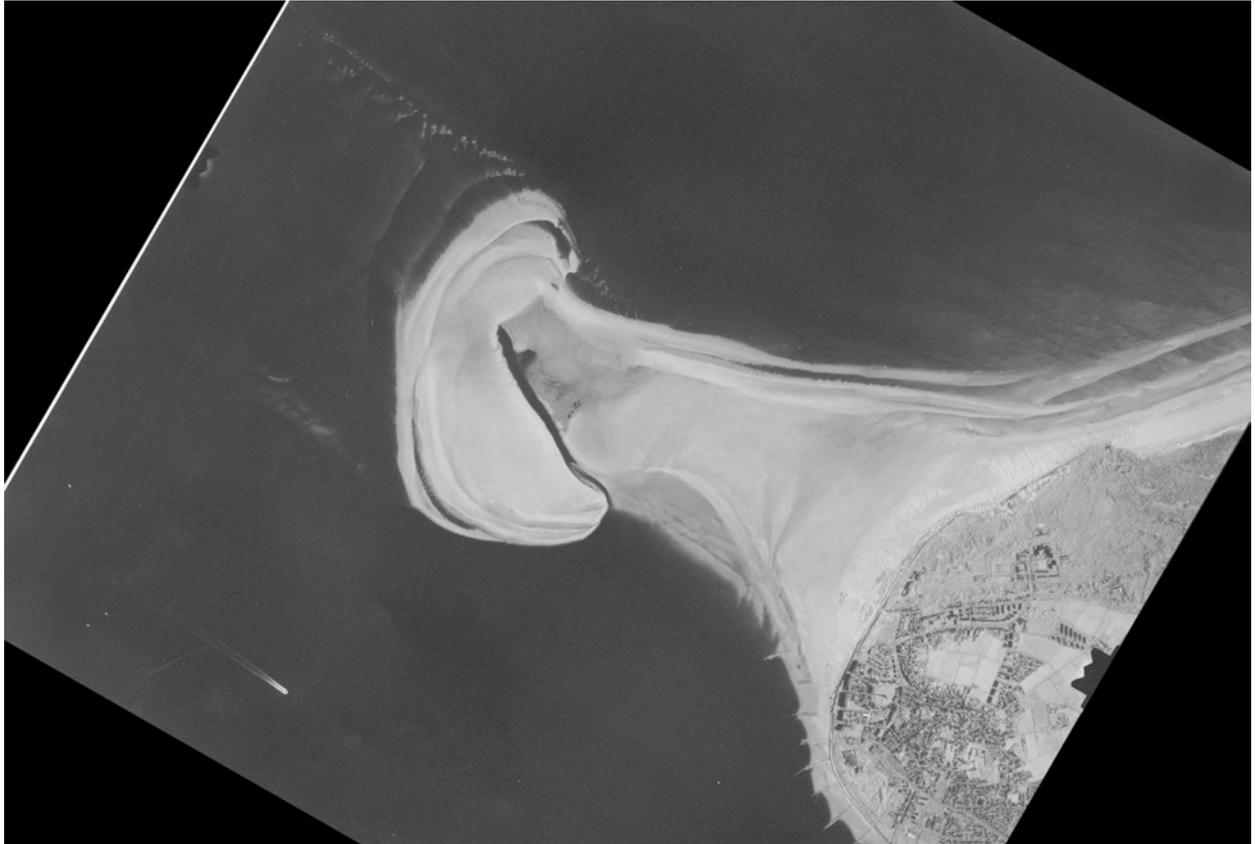
01.06.1985



Vermessungs- und Ingenieurbüro Rüpke, Hamburg

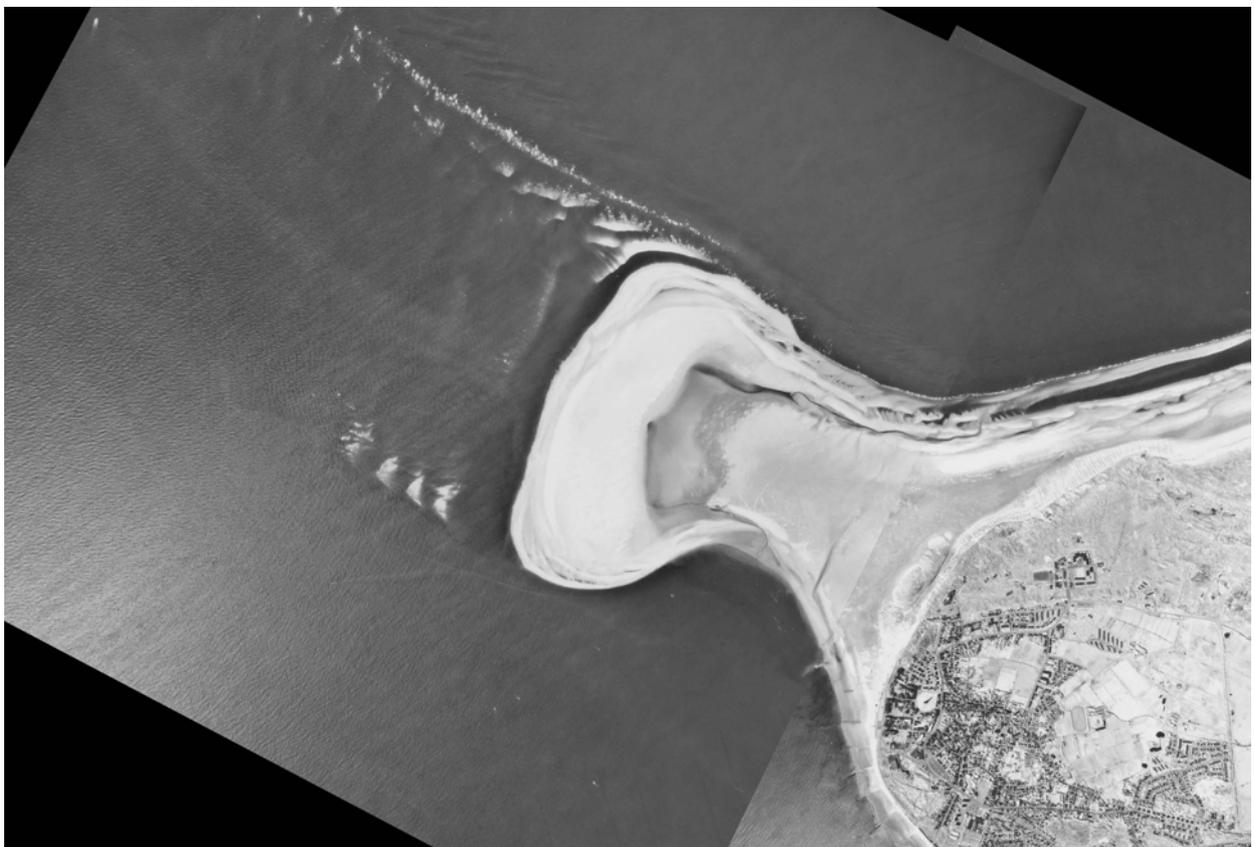
Luftbilder Hohes Riff/Weststrandplate

27.07.1990



Gesellschaft für technische Photogrammetrie mbH Stade

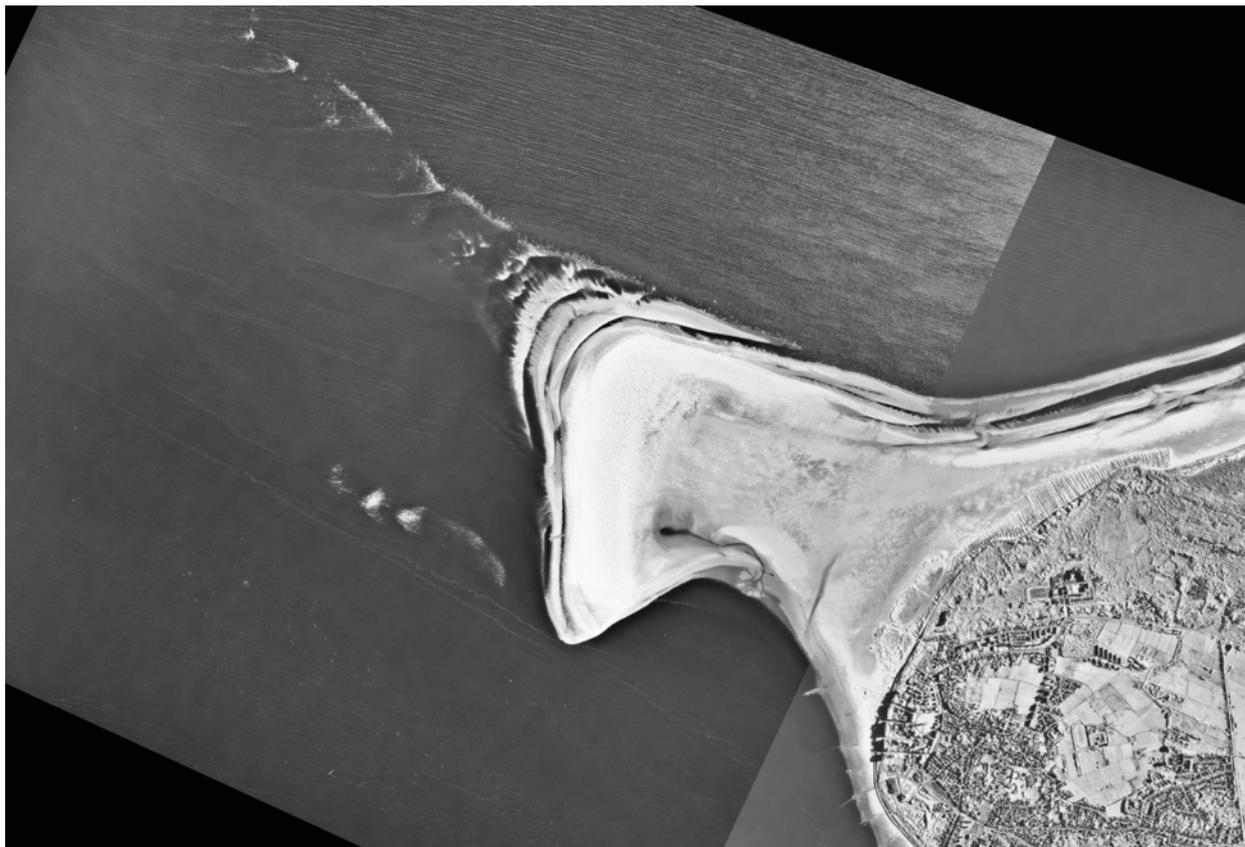
10.07.1995



Weser Bildmessflug GmbH Bremerhaven

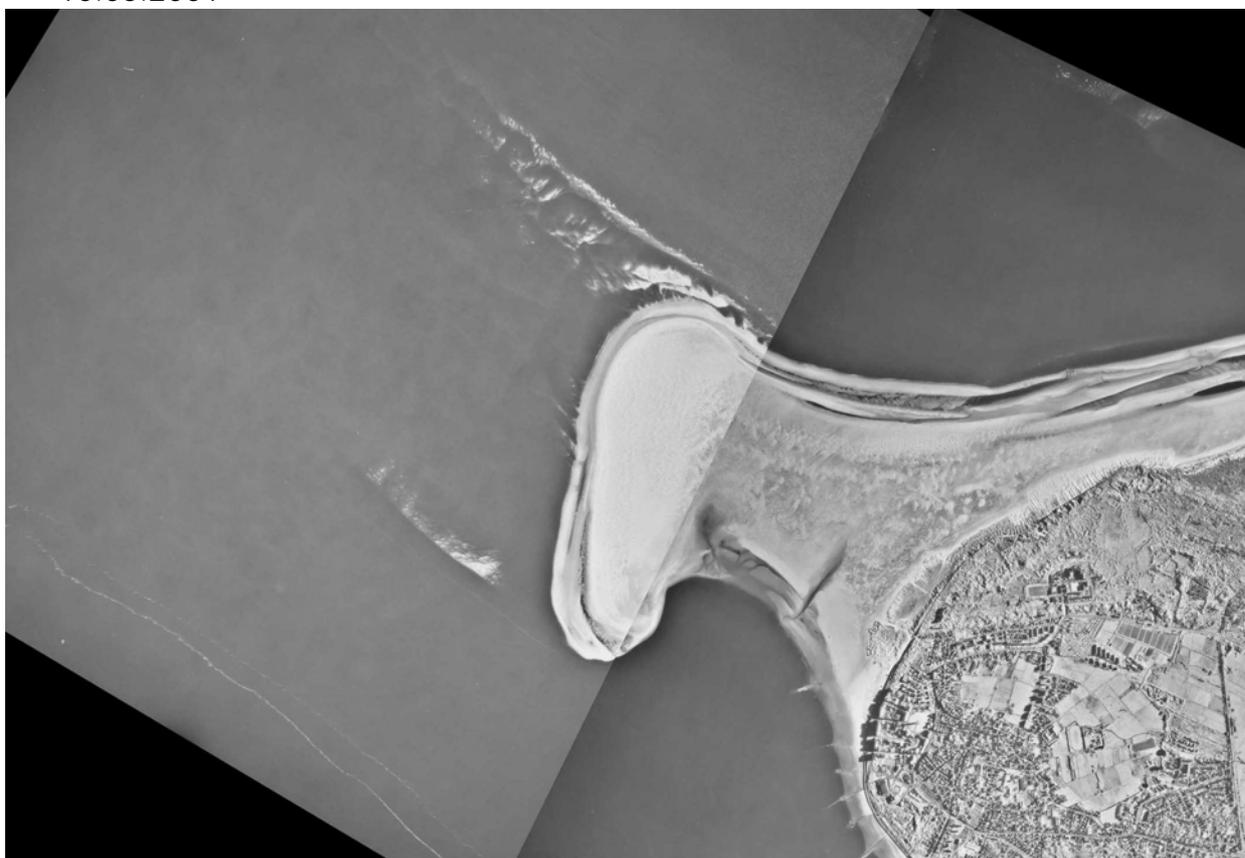
Luftbilder Hohes Riff/Weststrandplate

14.05.1998



Weser Bildmessflug GmbH Bremerhaven

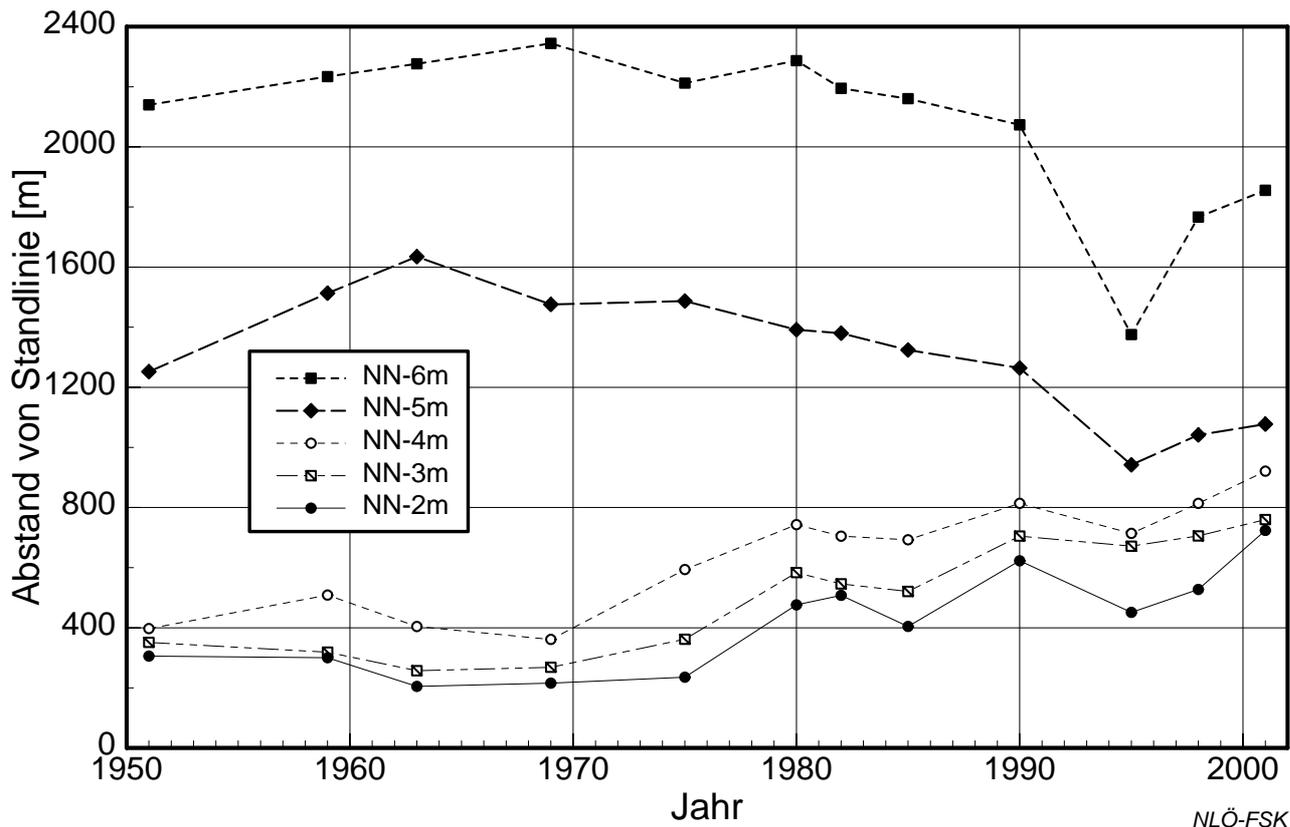
10.05.2001



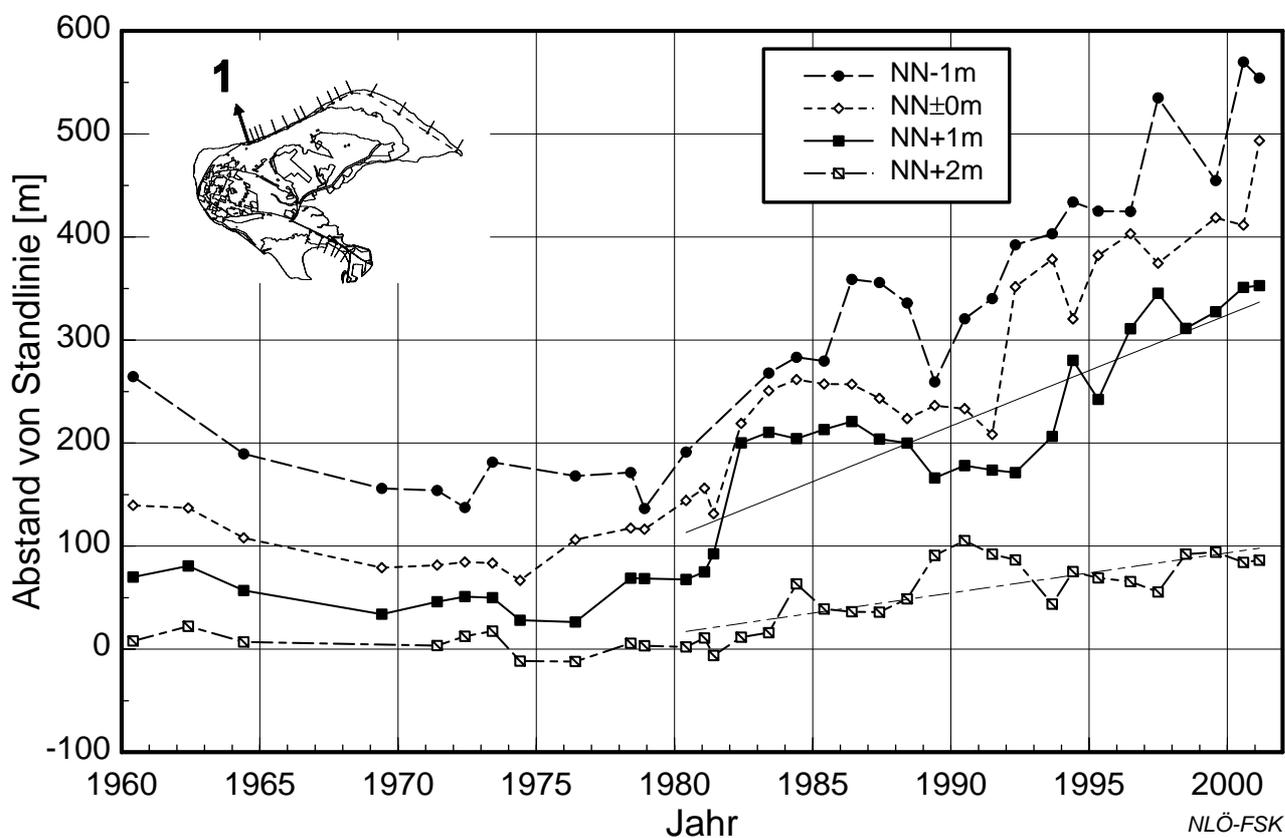
Weser Bildmessflug GmbH Bremerhaven

Borkum Zeit-Weg-Pläne Profil 1

Vorstrand

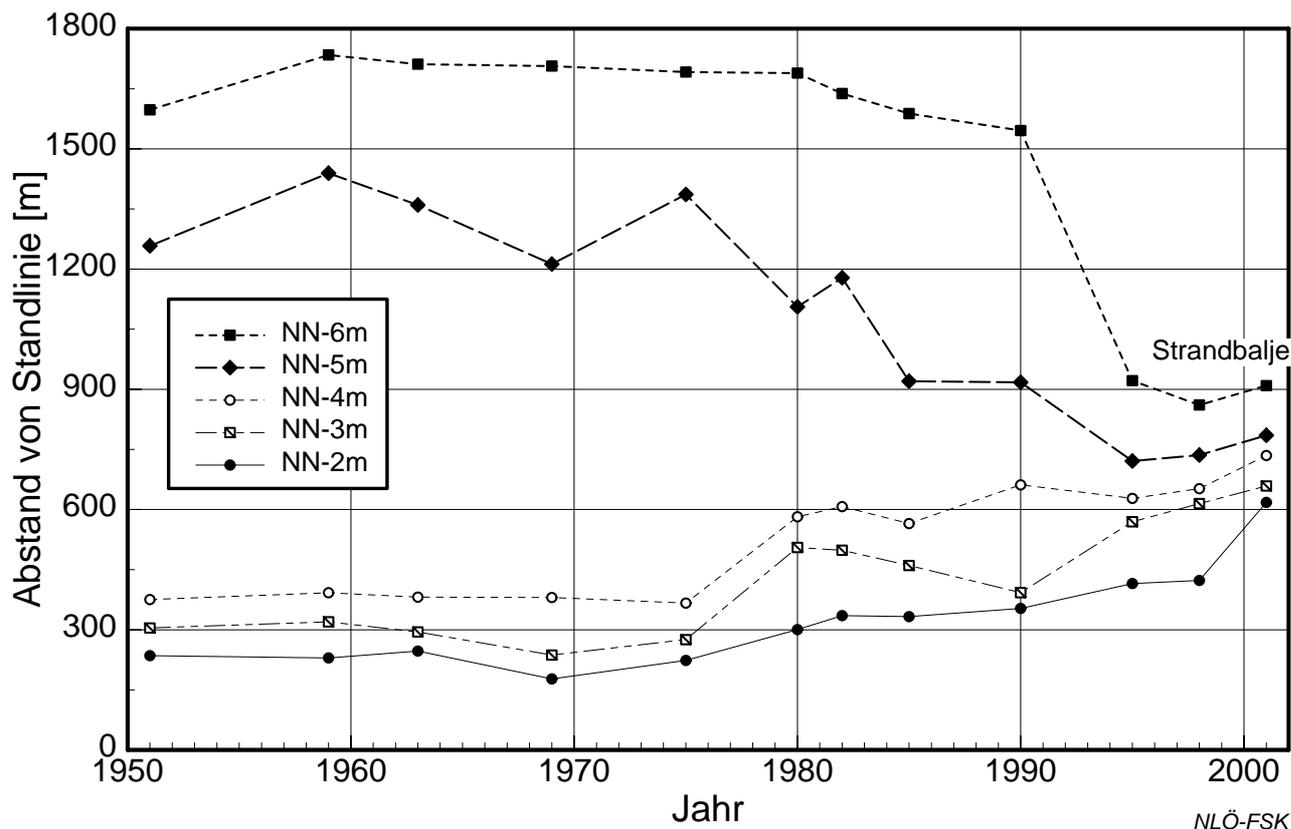


Strandbereich

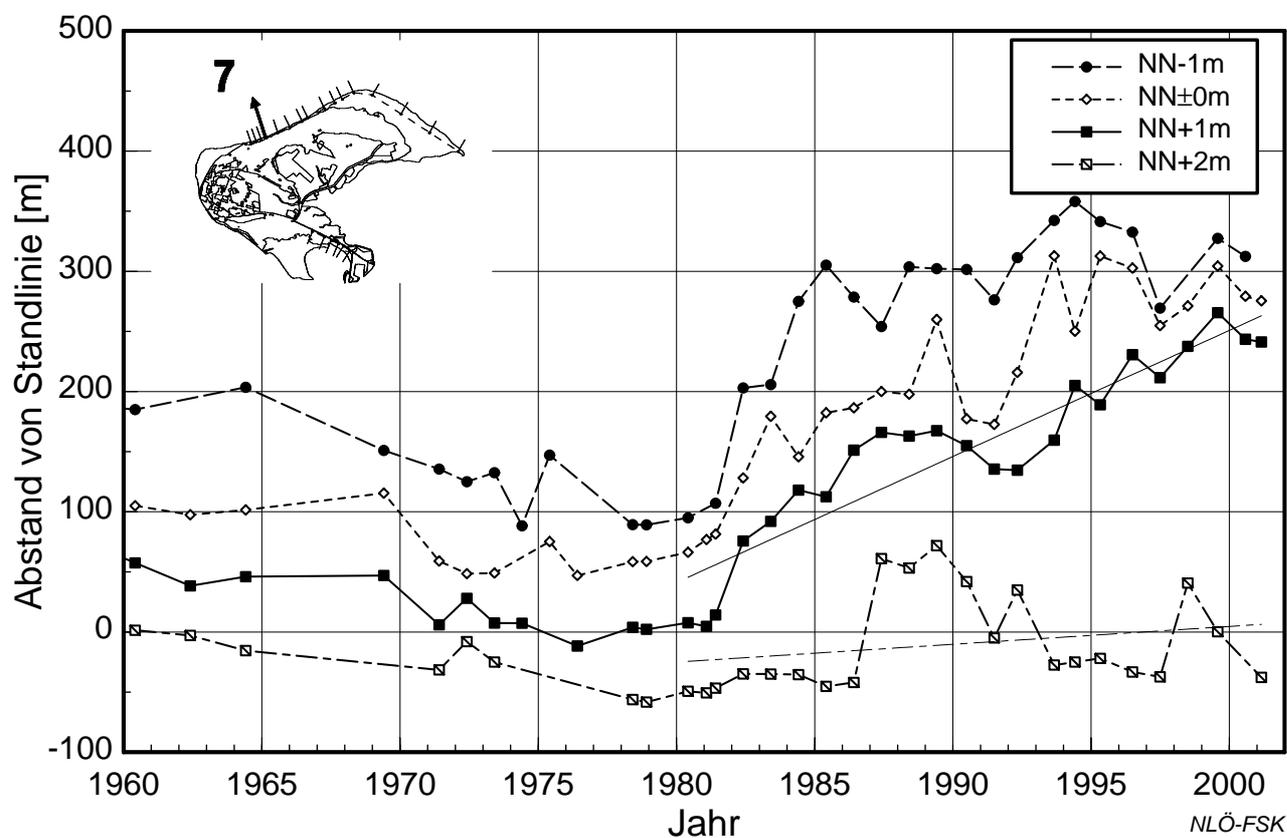


Borkum Zeit-Weg-Pläne Profil 7

Vorstrand

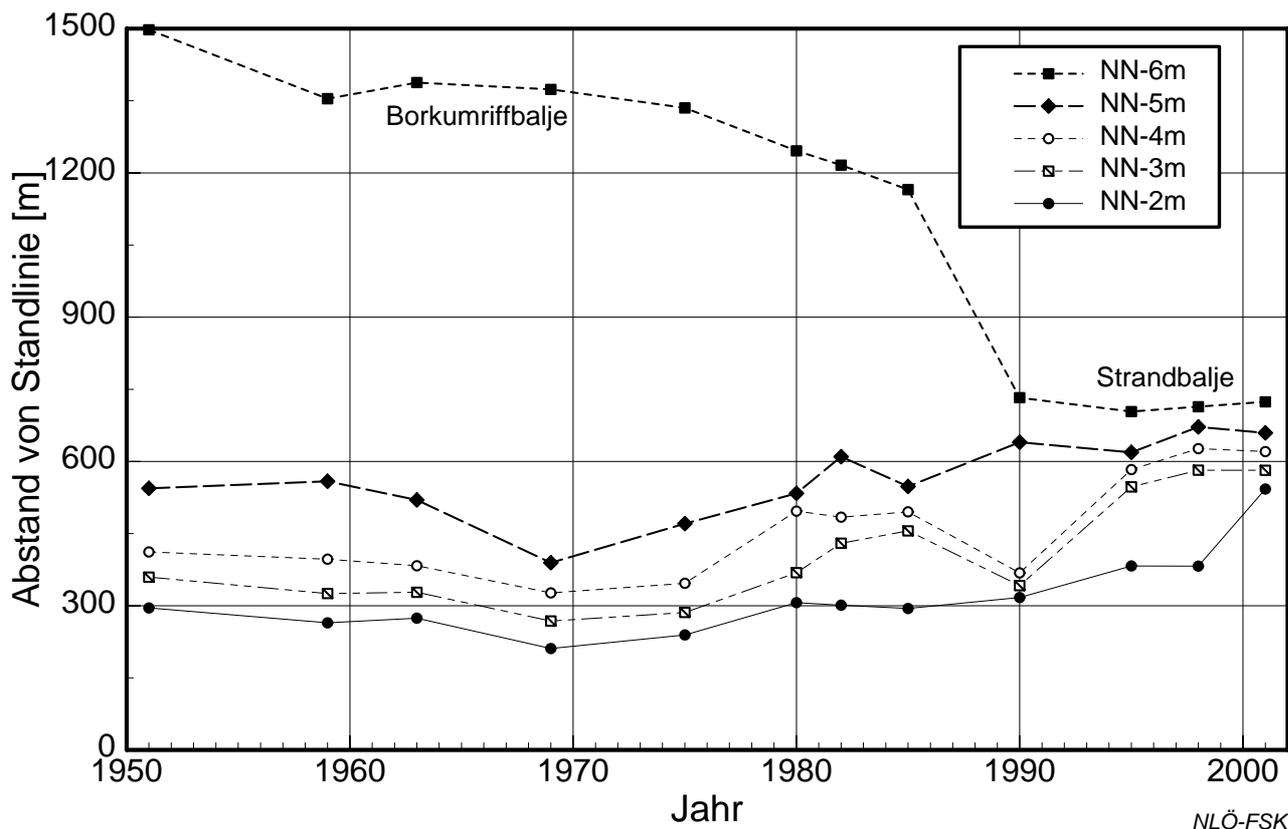


Strandbereich

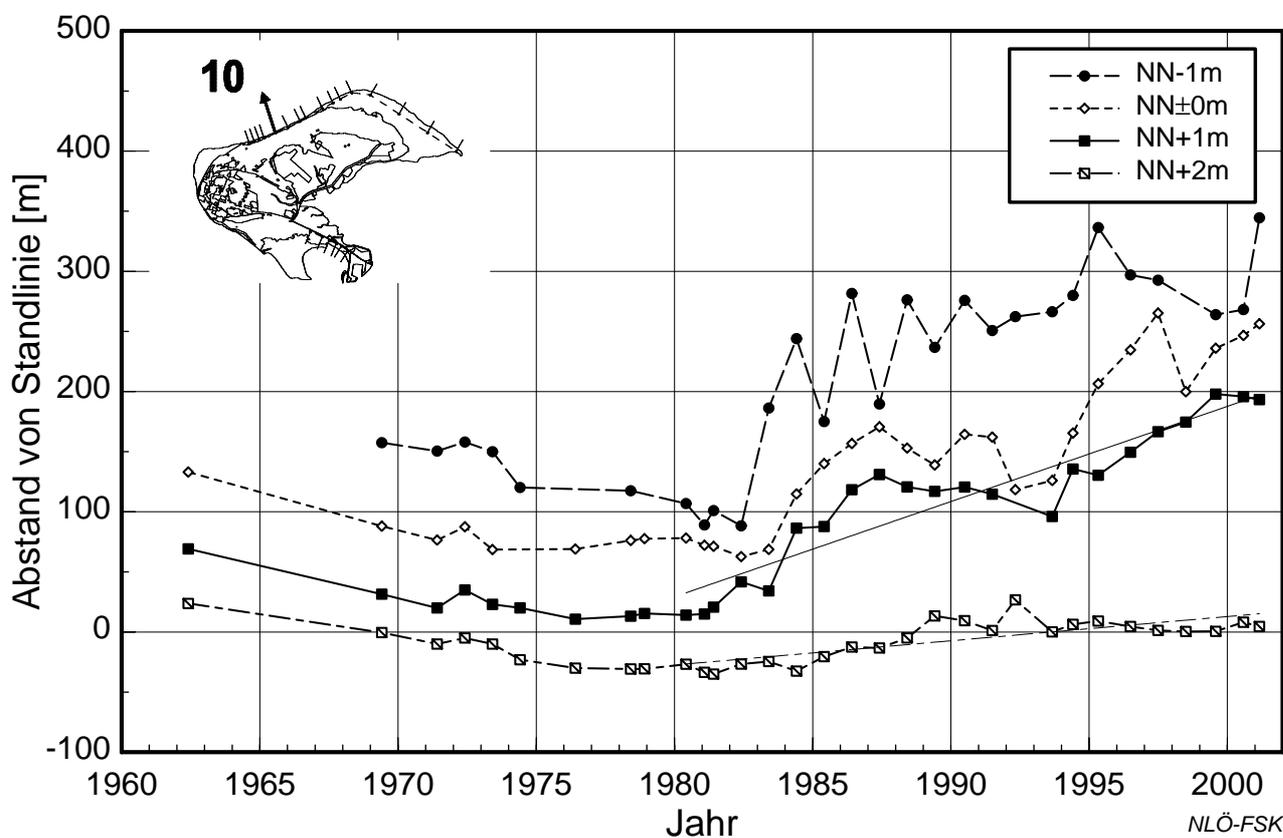


Borkum Zeit-Weg-Pläne Profil 10

Vorstrand

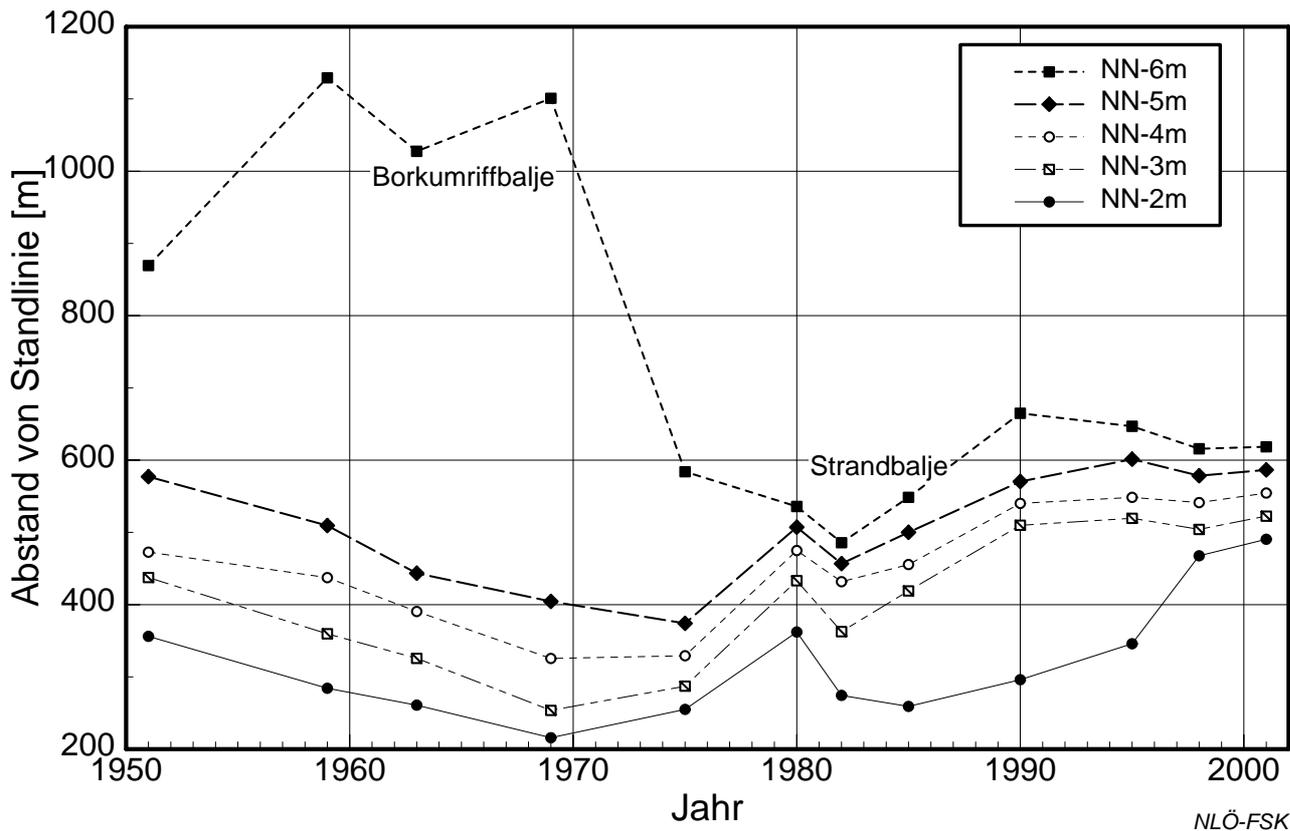


Strandbereich

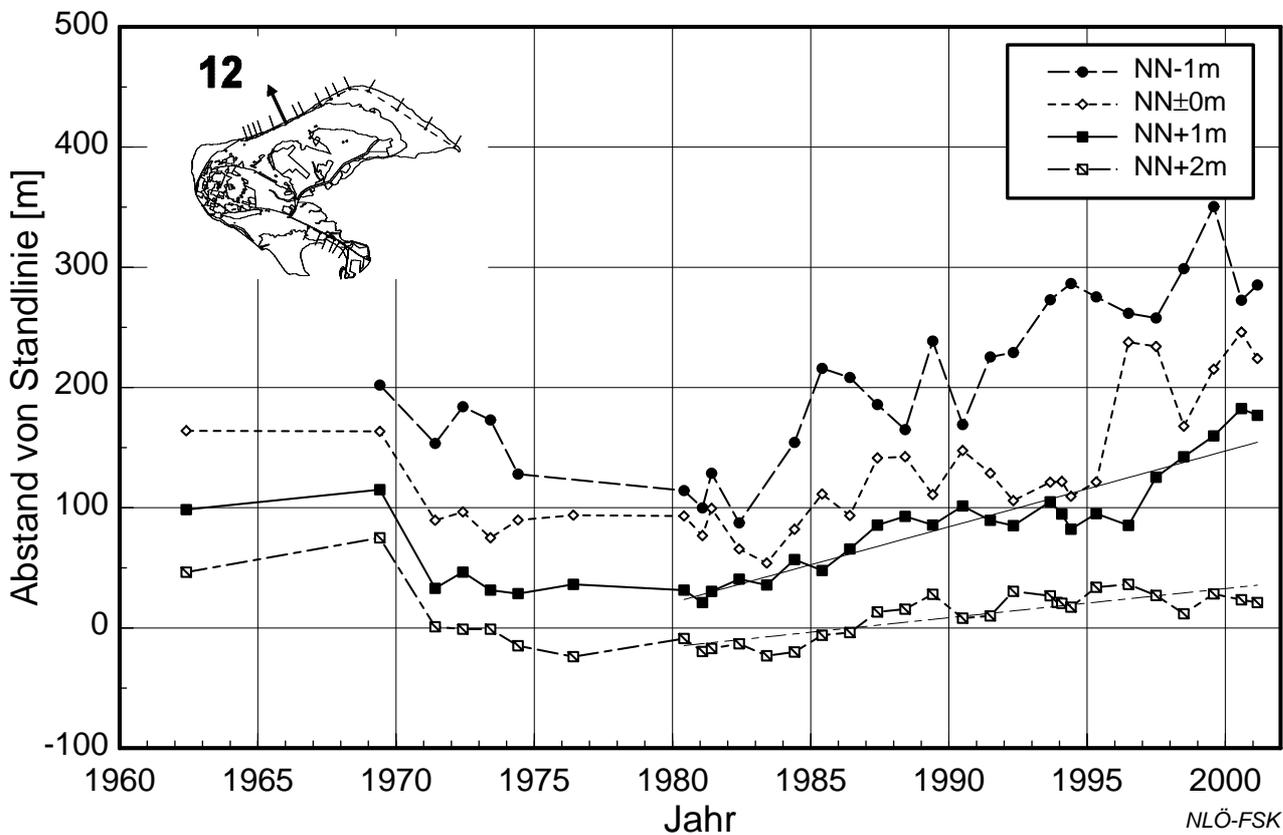


Borkum Zeit-Weg-Pläne Profil 12

Vorstrand

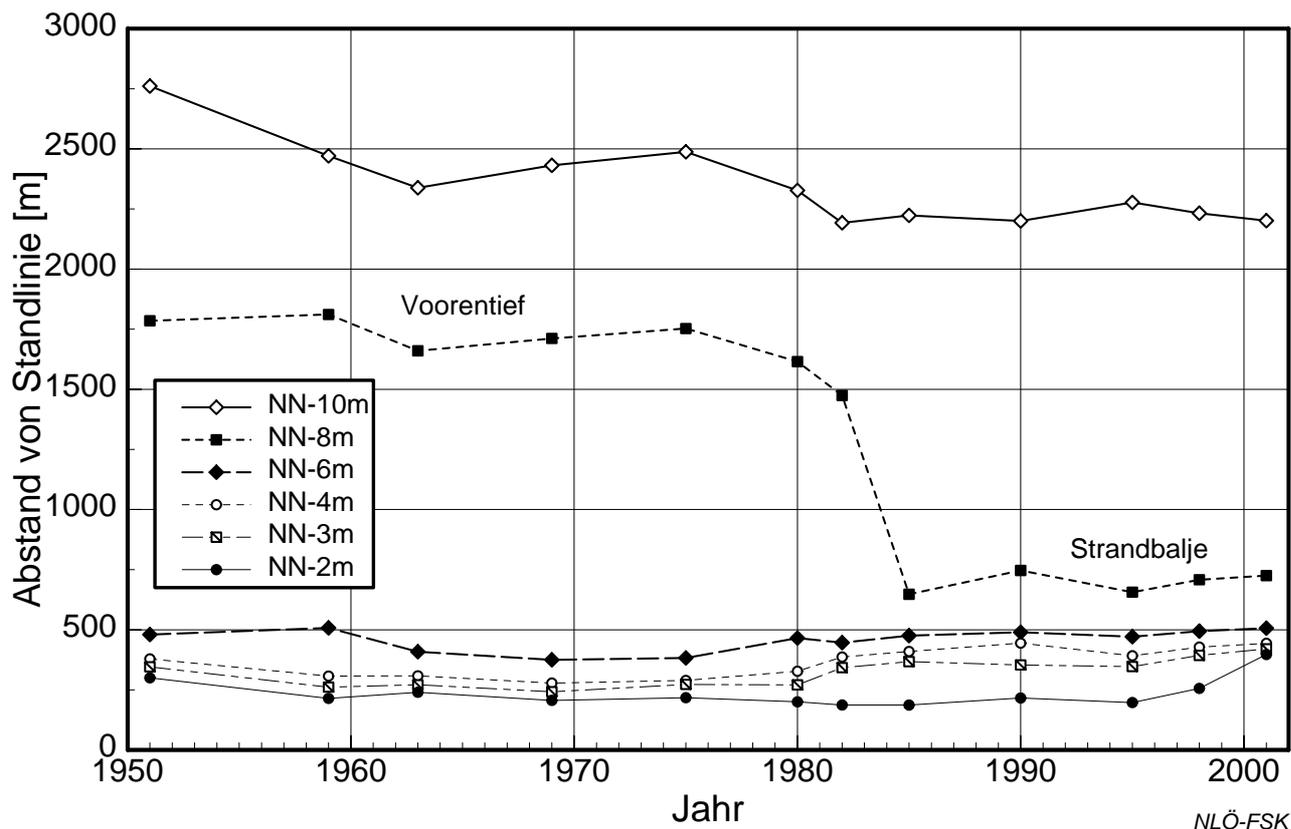


Strandbereich

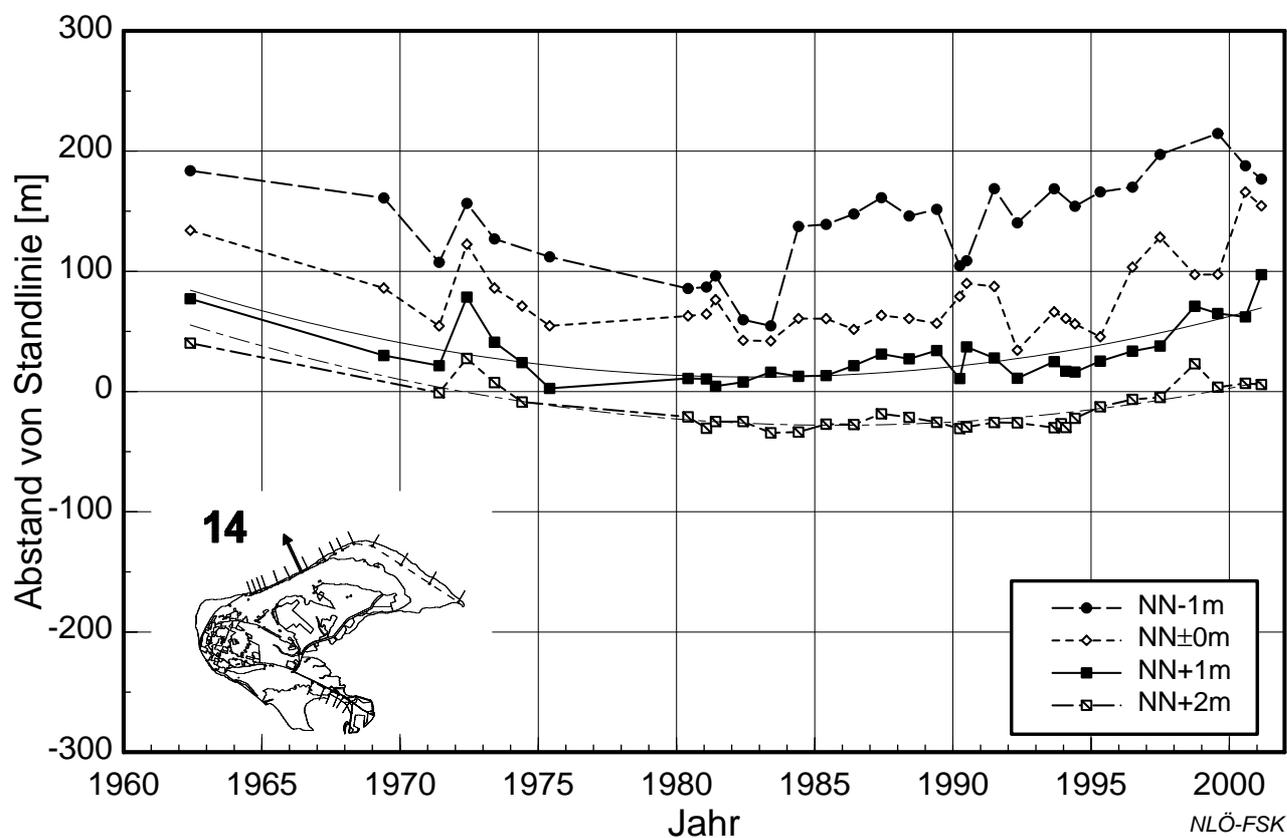


Borkum Zeit-Weg-Pläne Profil 14

Vorstrand

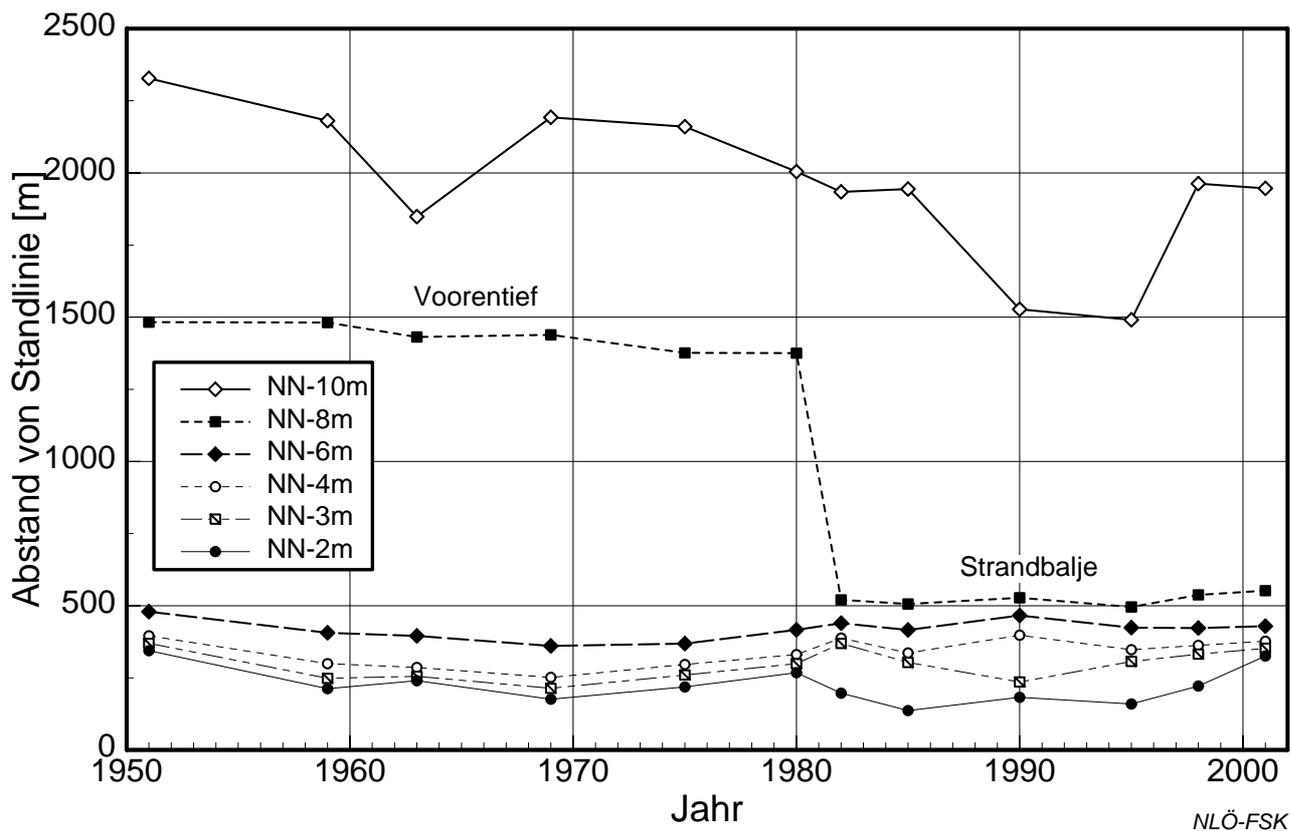


Strandbereich

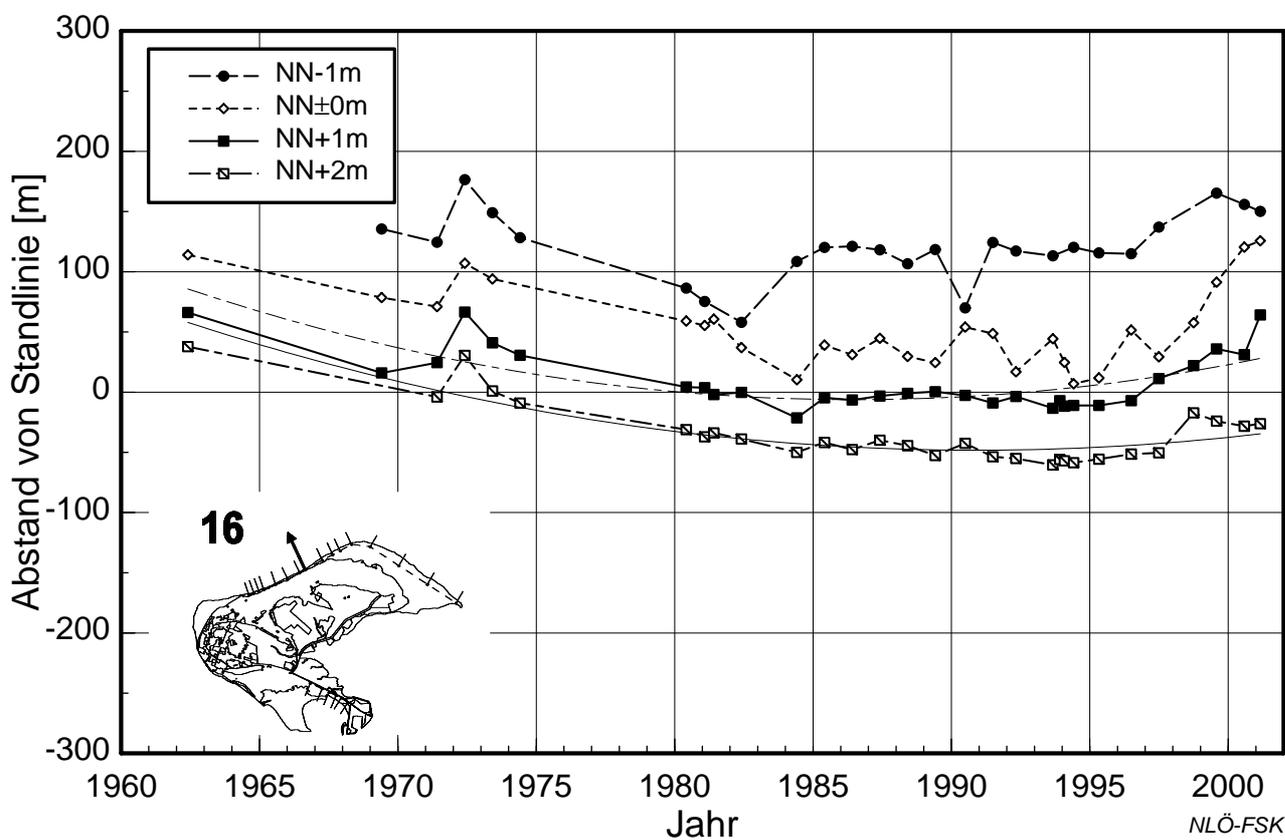


Borkum Zeit-Weg-Pläne Profil 16

Vorstrand

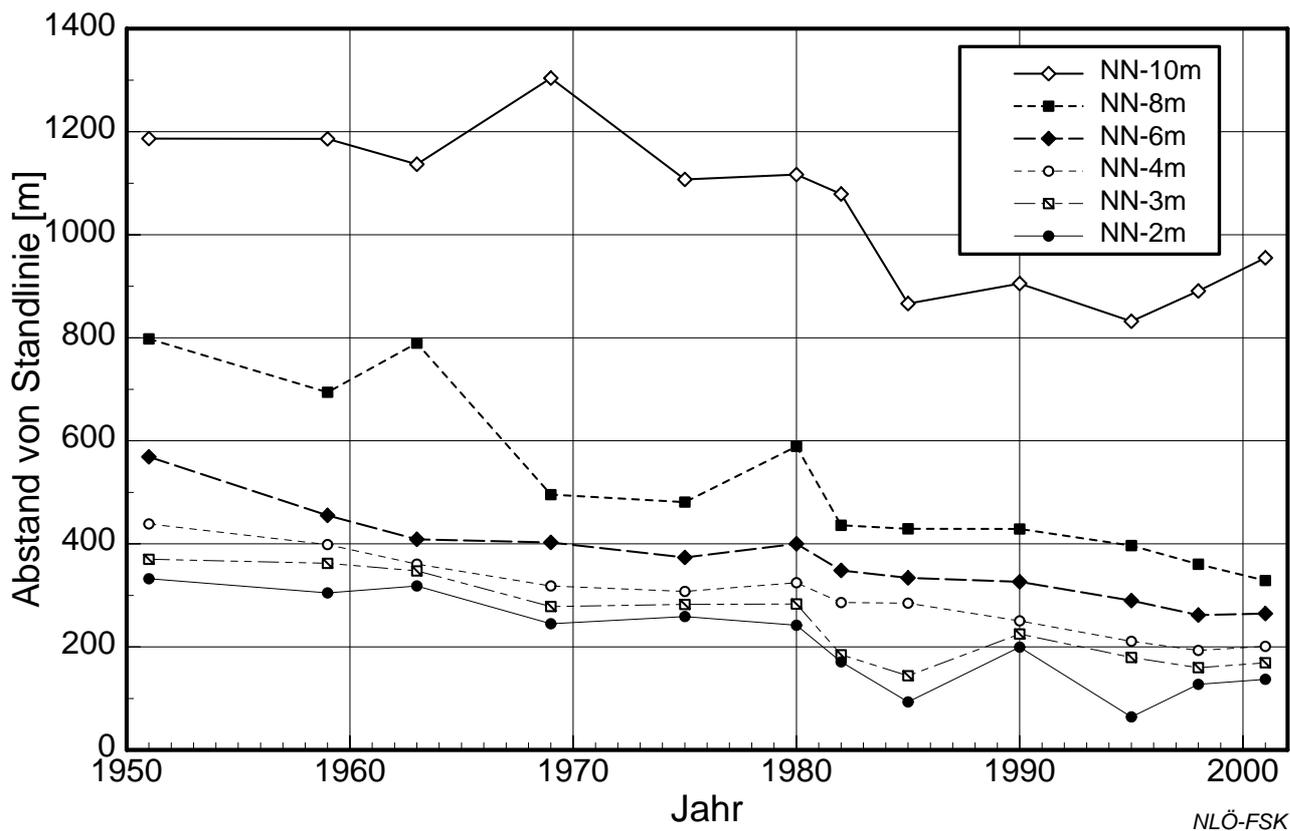


Strandbereich

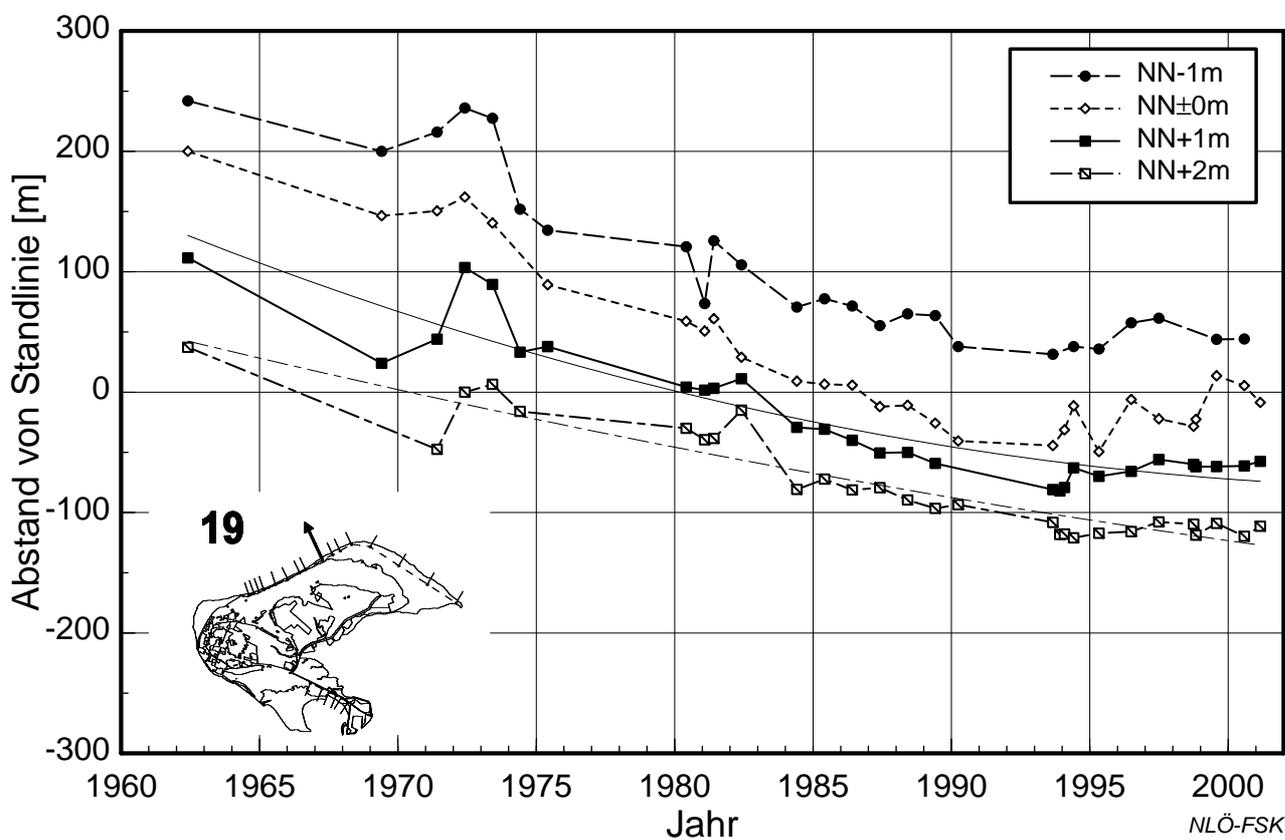


Borkum Zeit-Weg-Pläne Profil 19

Vorstrand

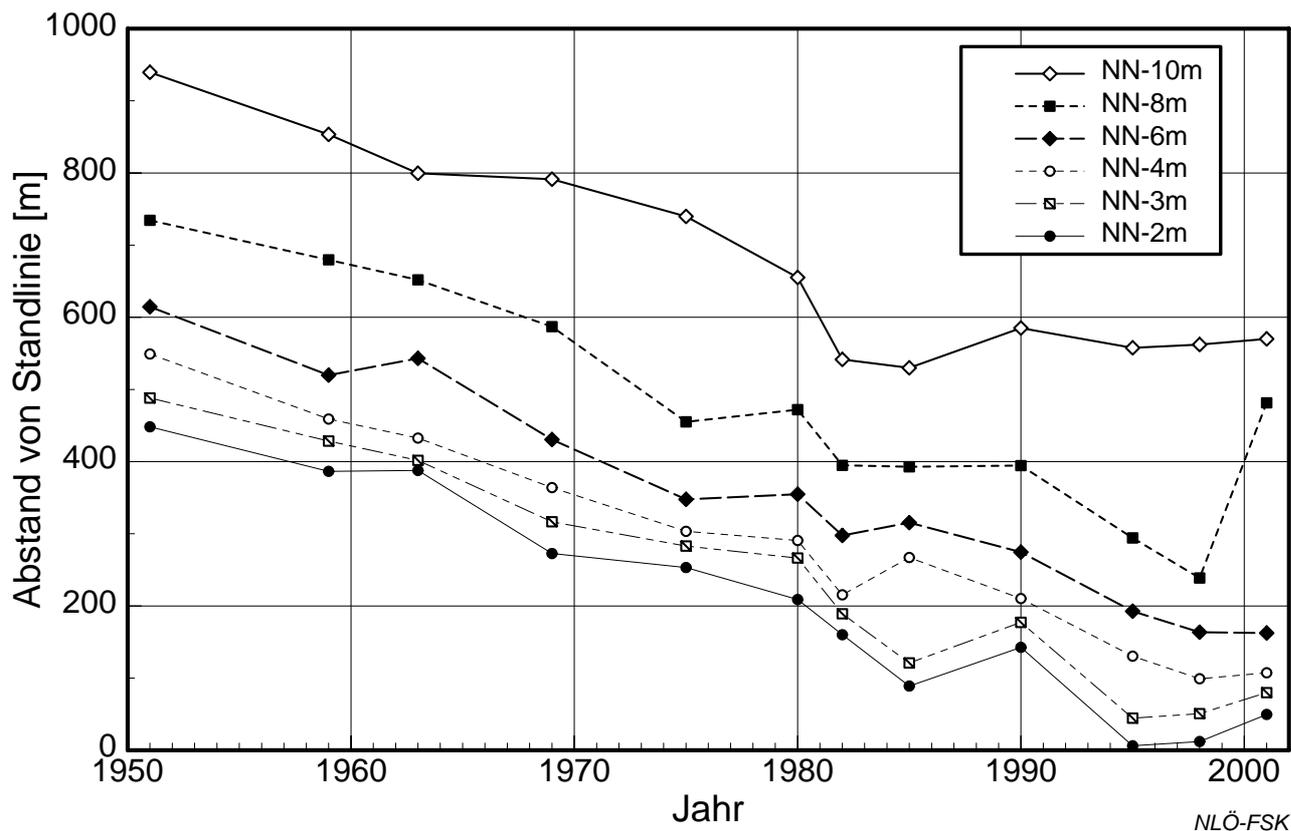


Strandbereich

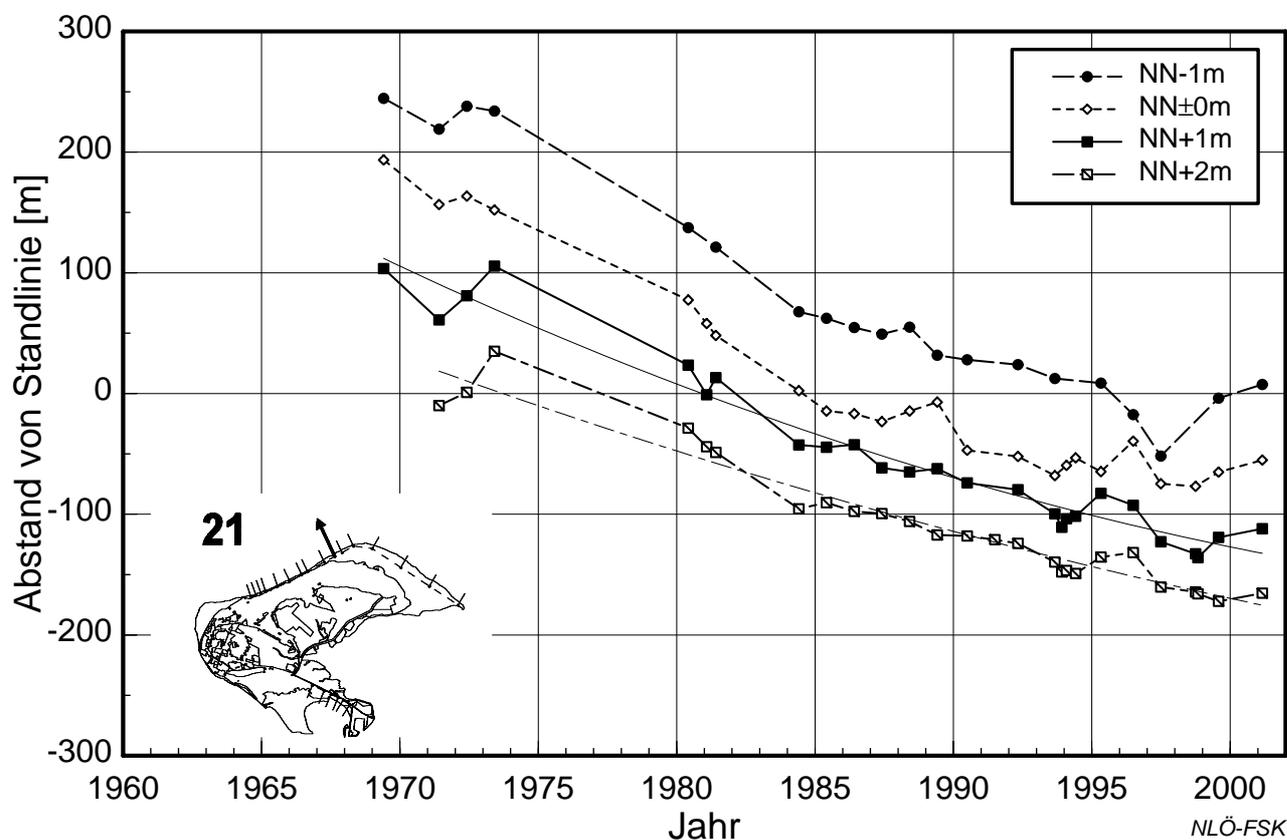


Borkum Zeit-Weg-Pläne Profil 21

Vorstrand

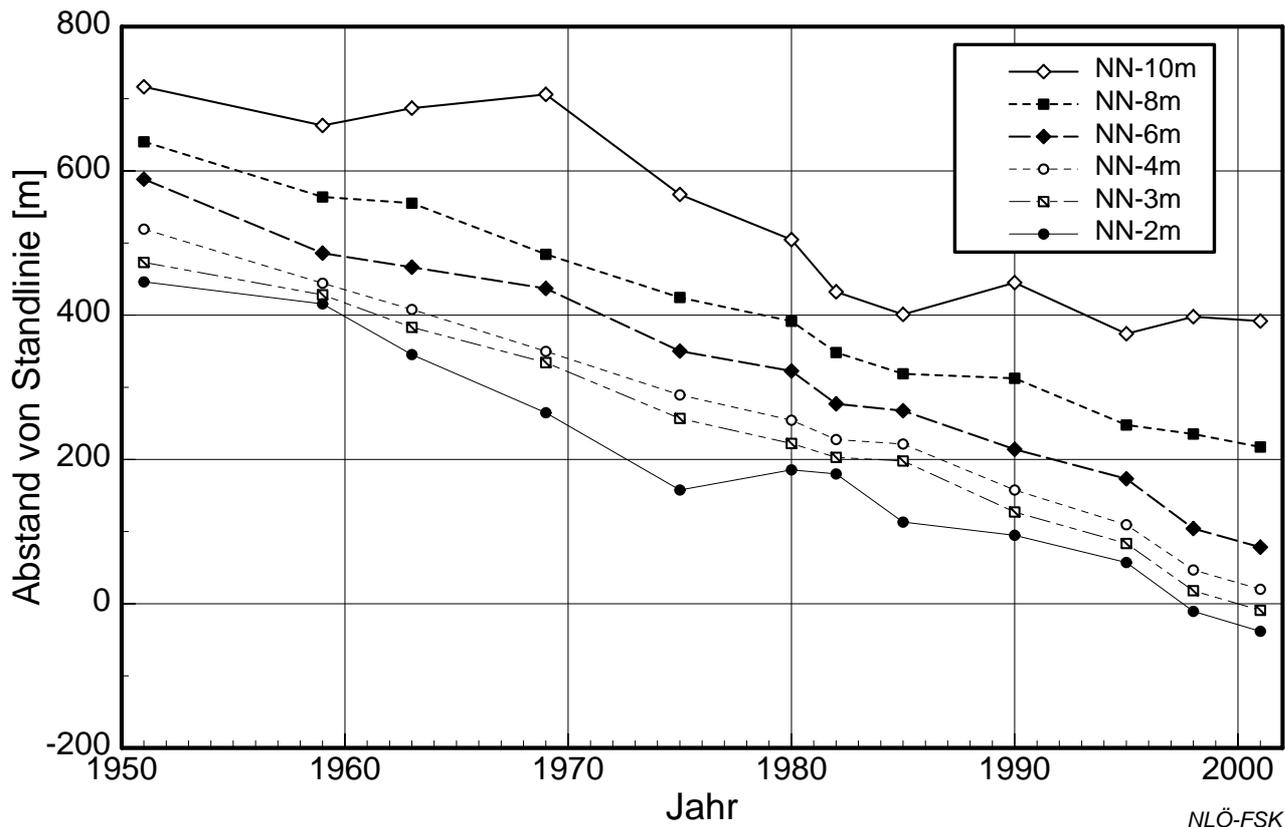


Strandbereich

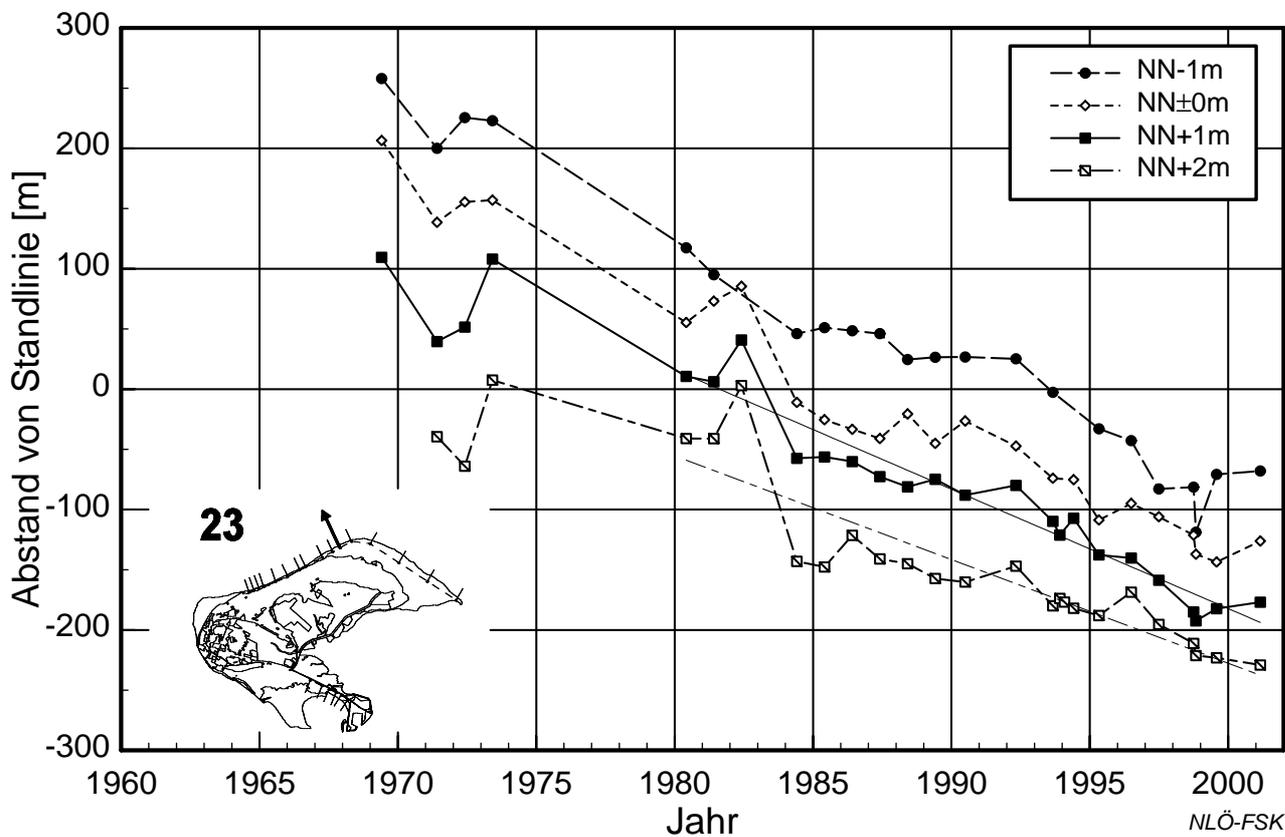


Borkum Zeit-Weg-Pläne Profil 23

Vorstrand

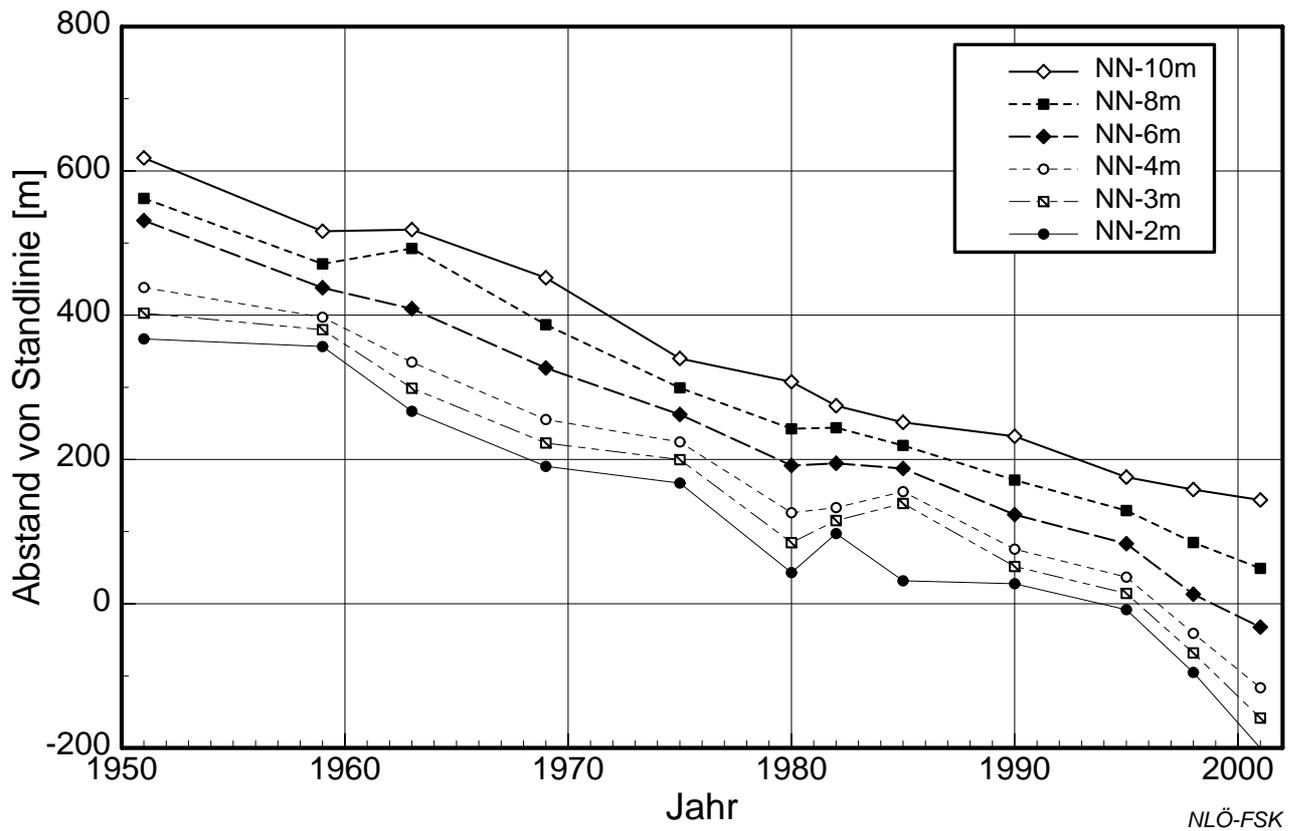


Strandbereich

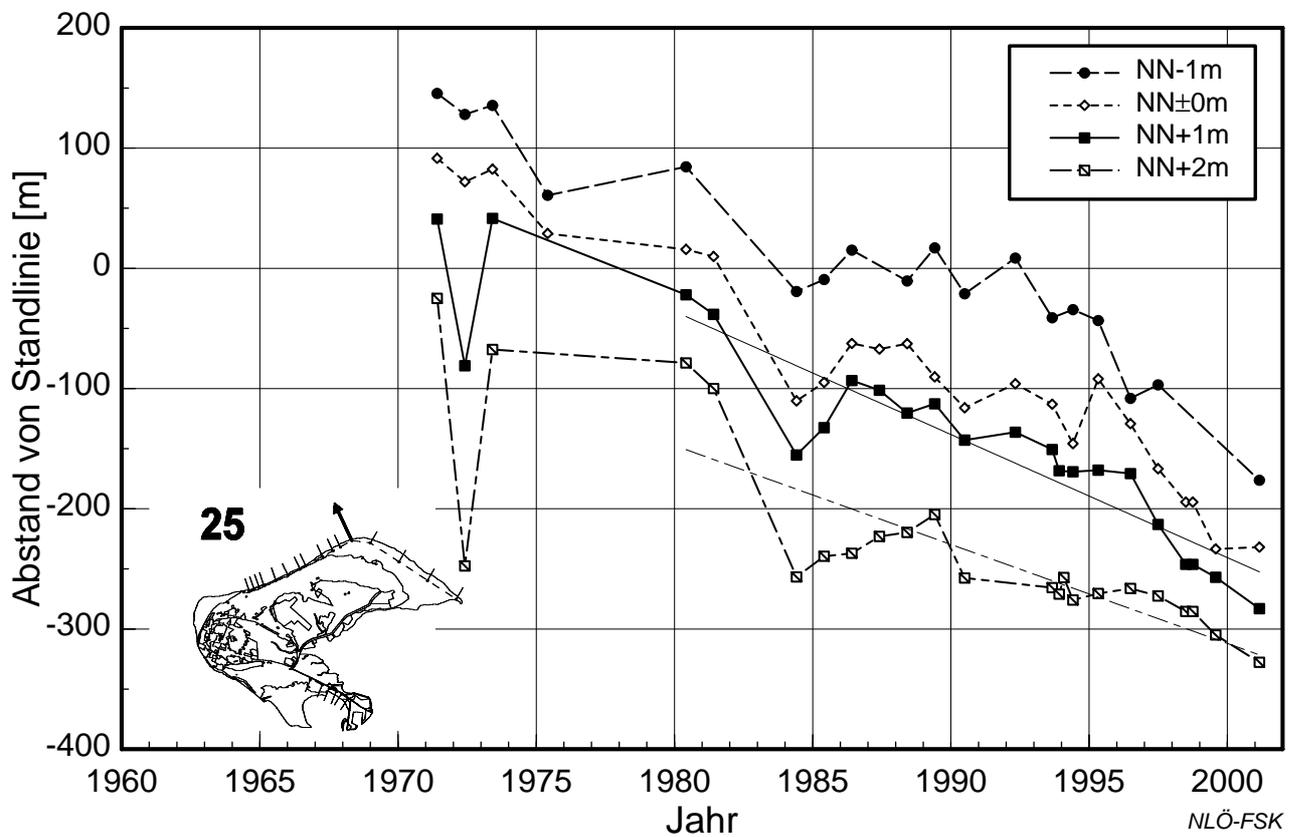


Borkum Zeit-Weg-Pläne Profil 25

Vorstrand

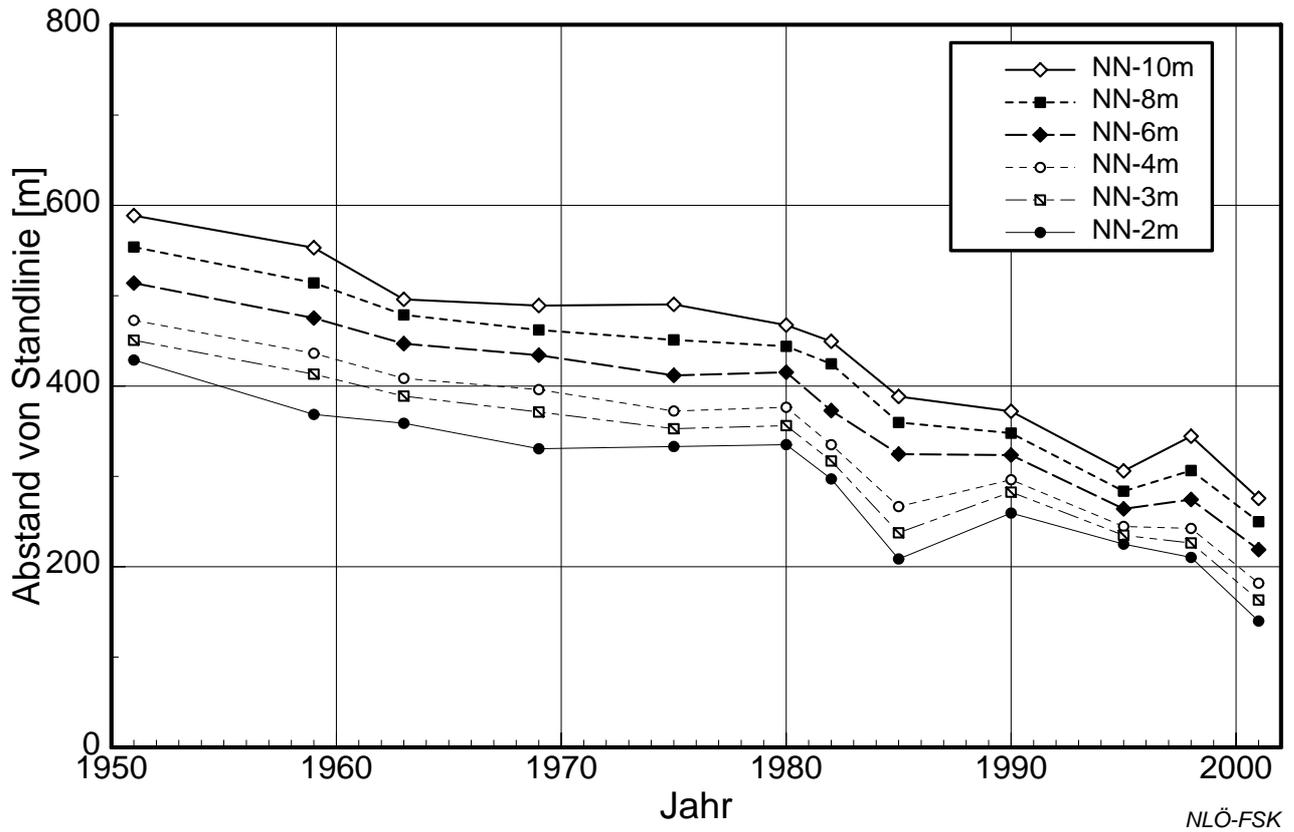


Strandbereich

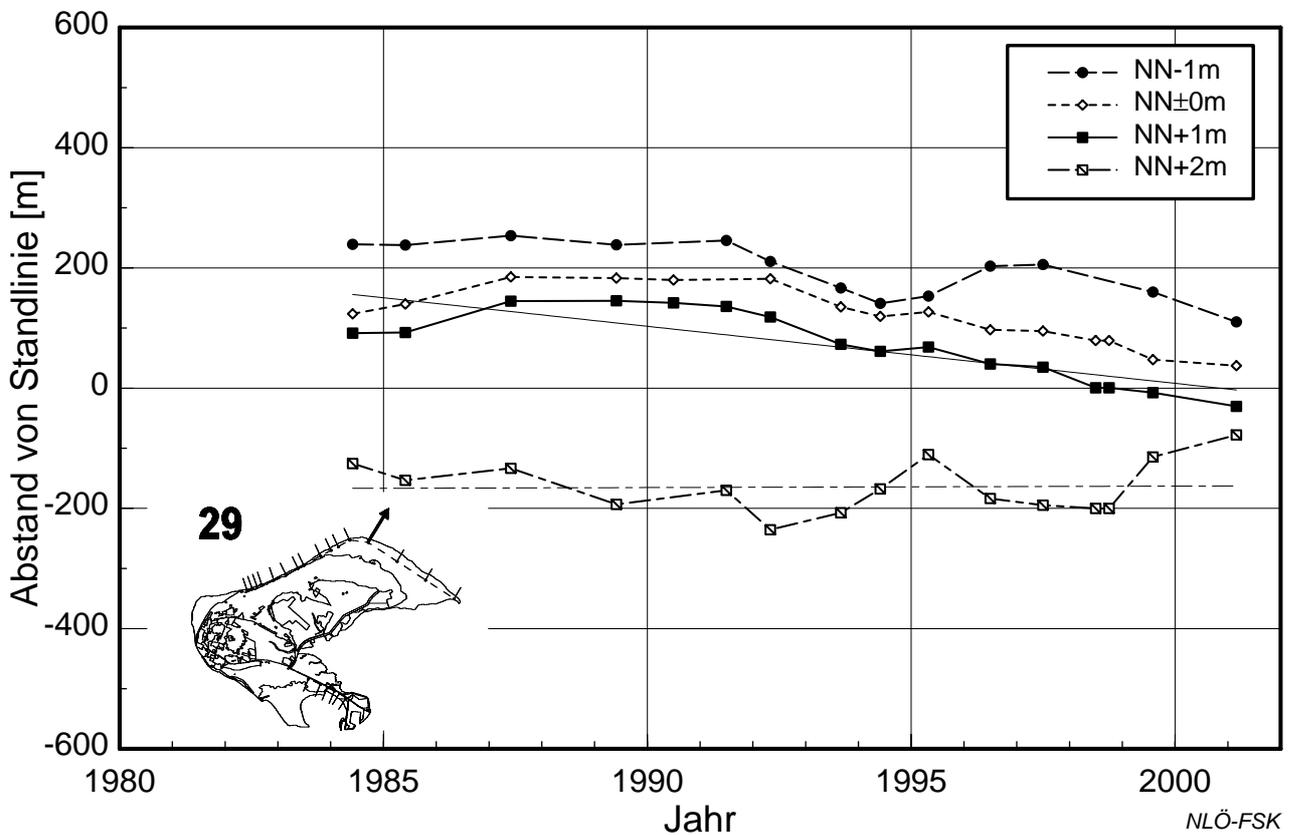


Borkum Zeit-Weg-Pläne Profil 29

Vorstrand

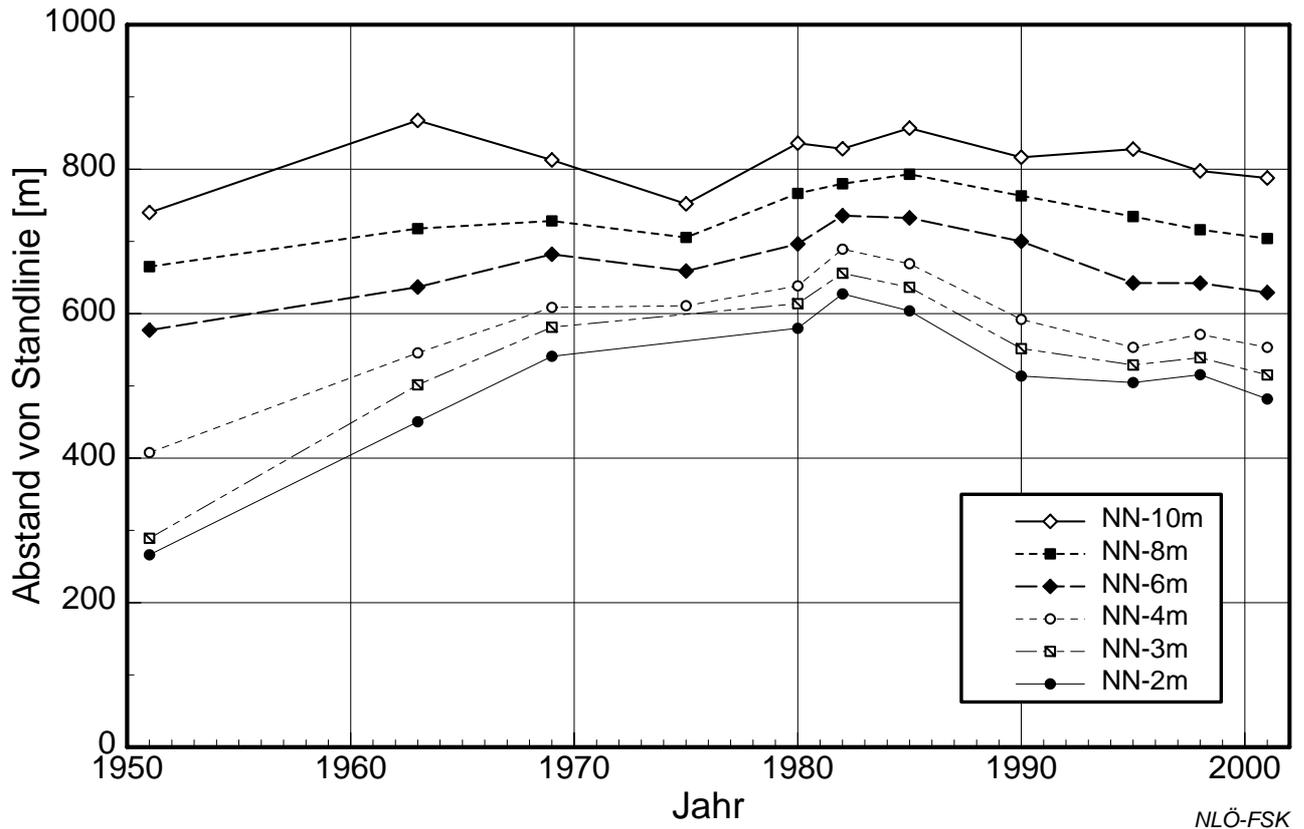


Strandbereich

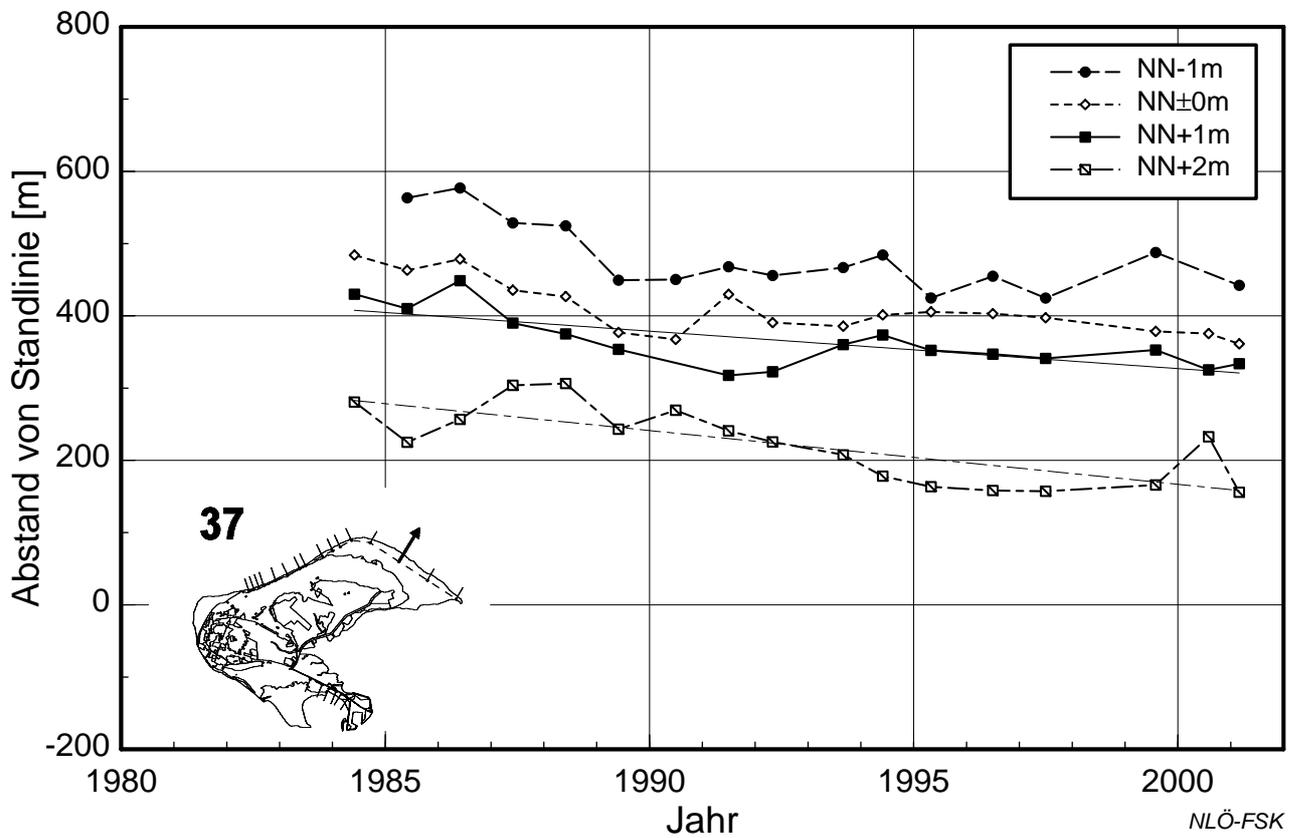


Borkum Zeit-Weg-Pläne Profil 37

Vorstrand

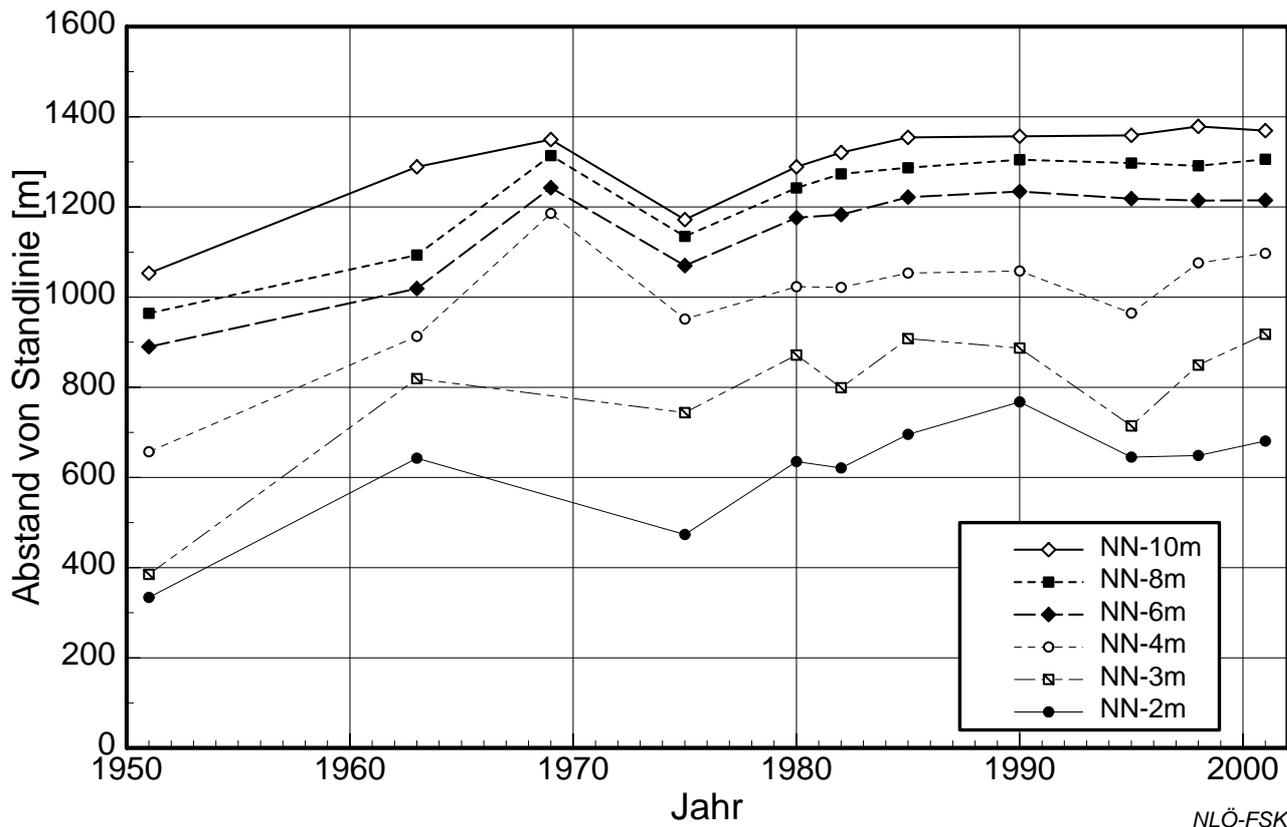


Strandbereich

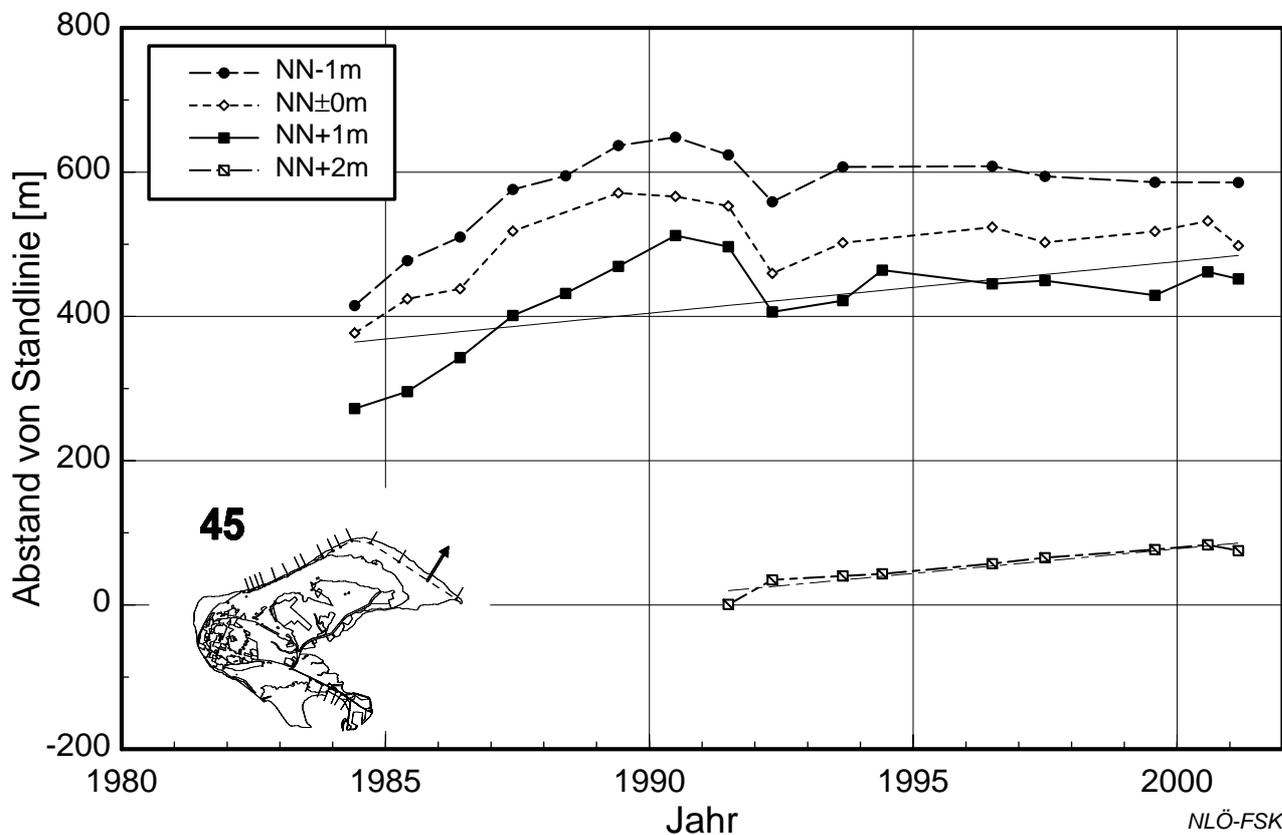


Borkum Zeit-Weg-Pläne Profil 45

Vorstrand

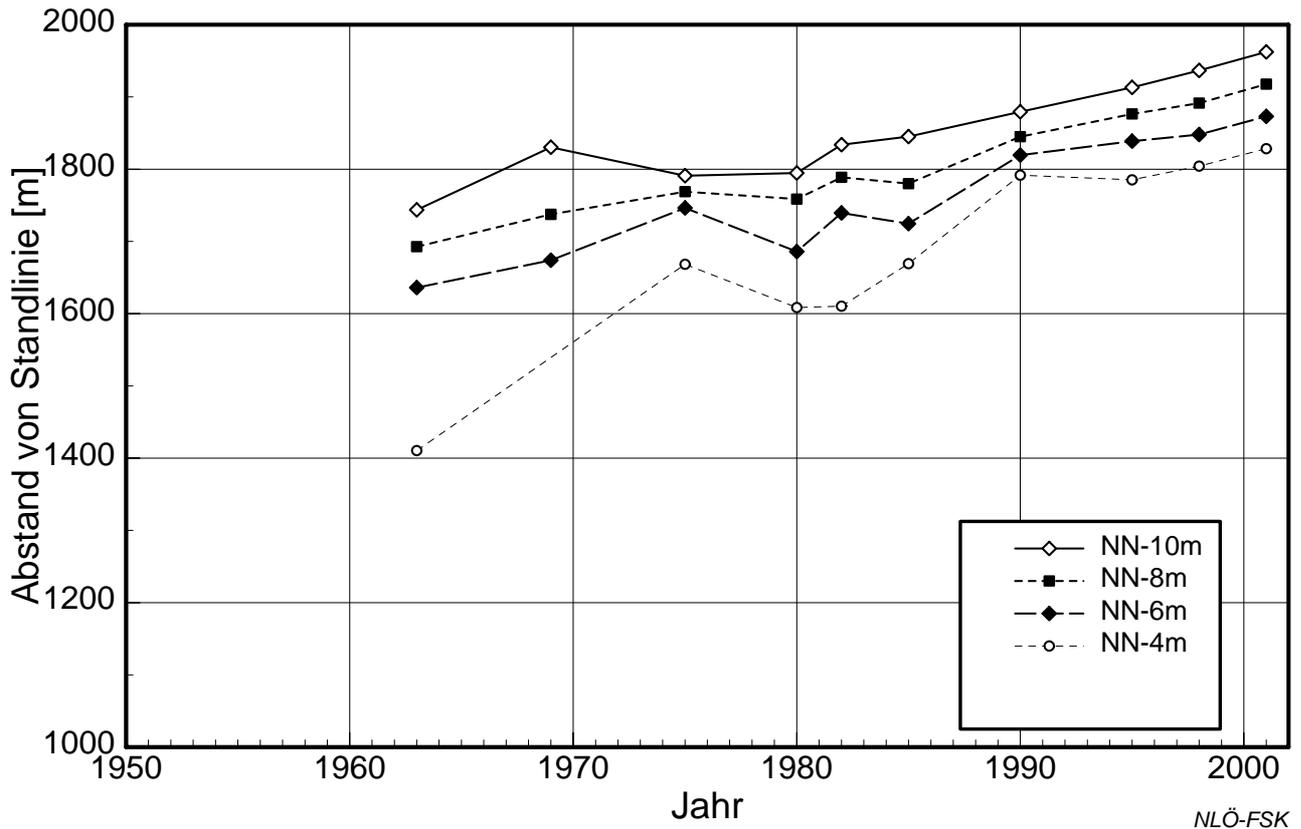


Strandbereich

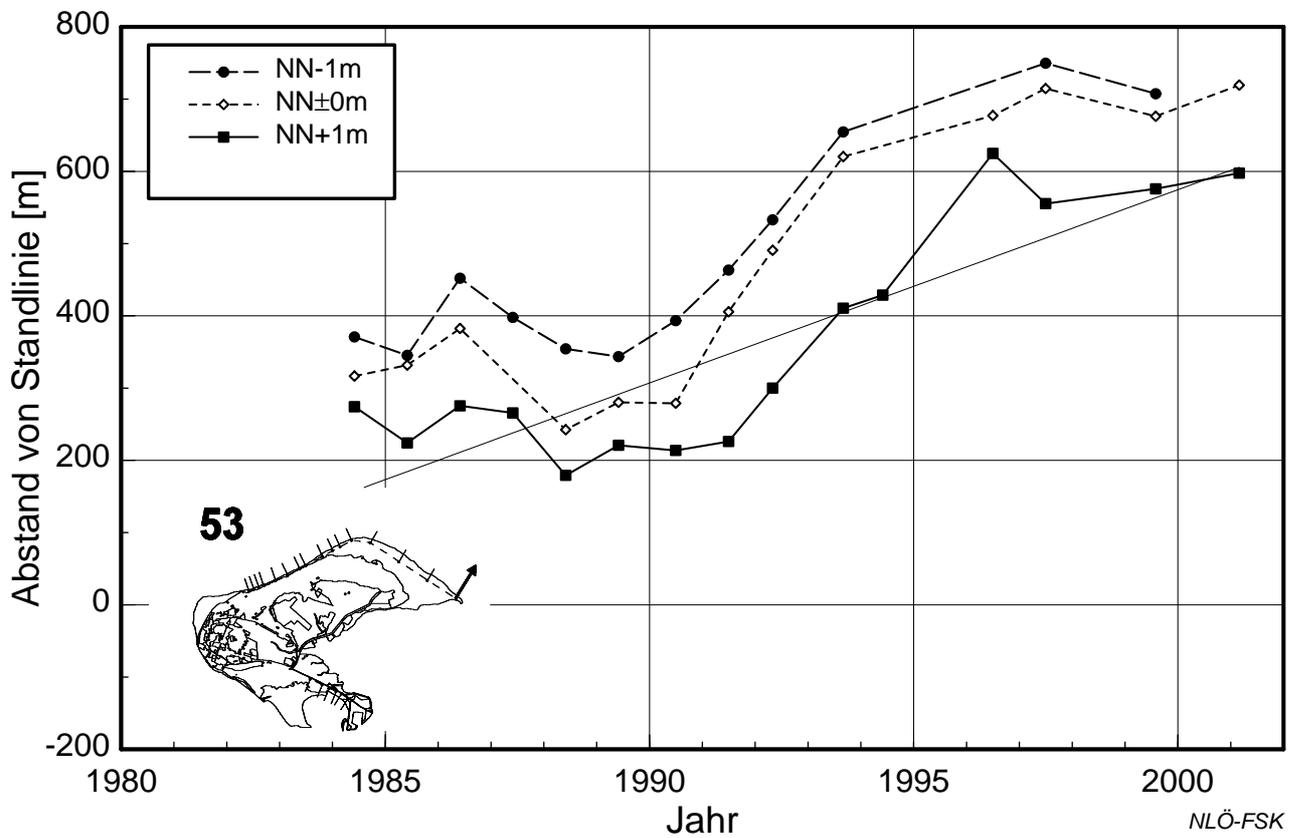


Borkum Zeit-Weg-Pläne Profil 53

Vorstrand

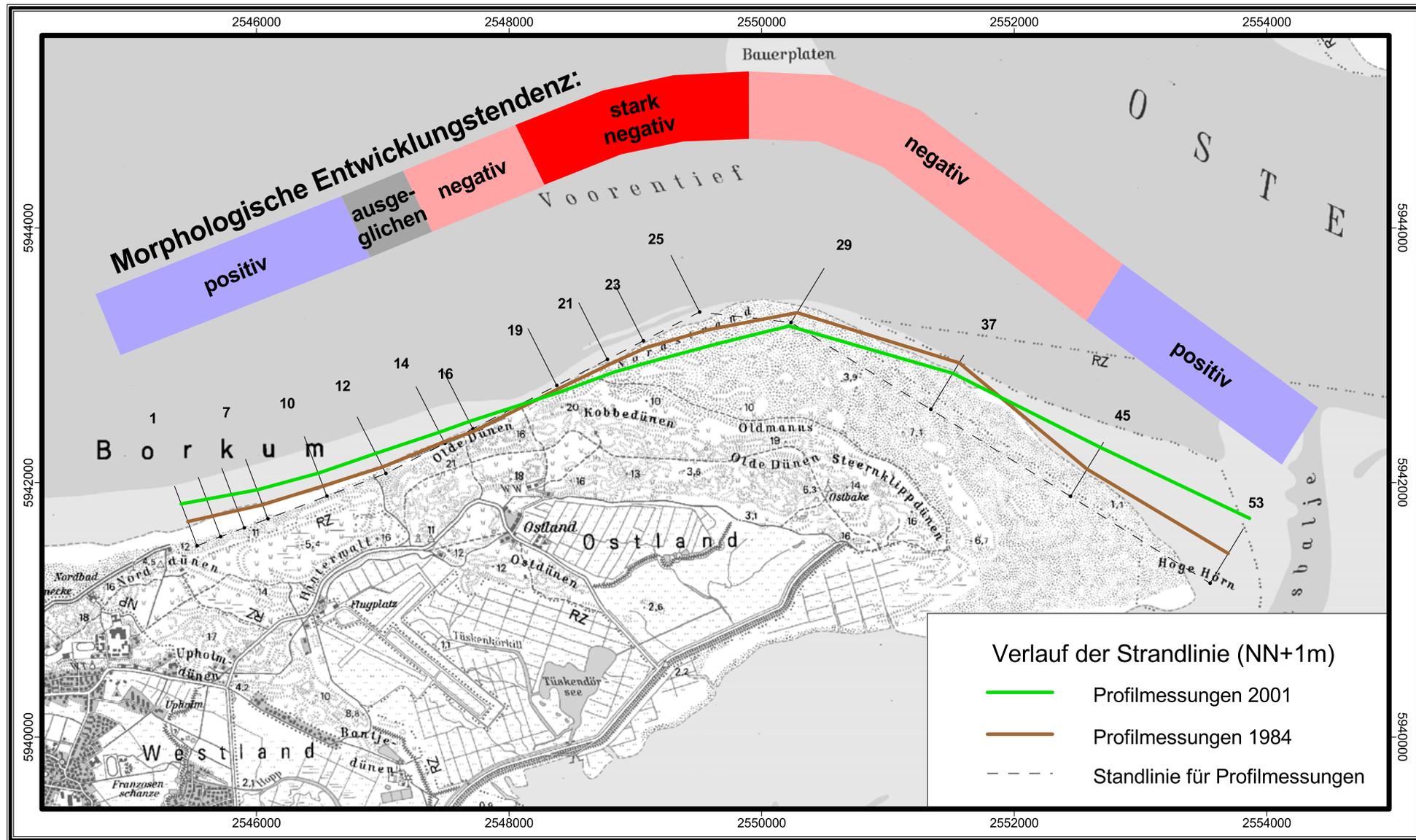


Strandbereich

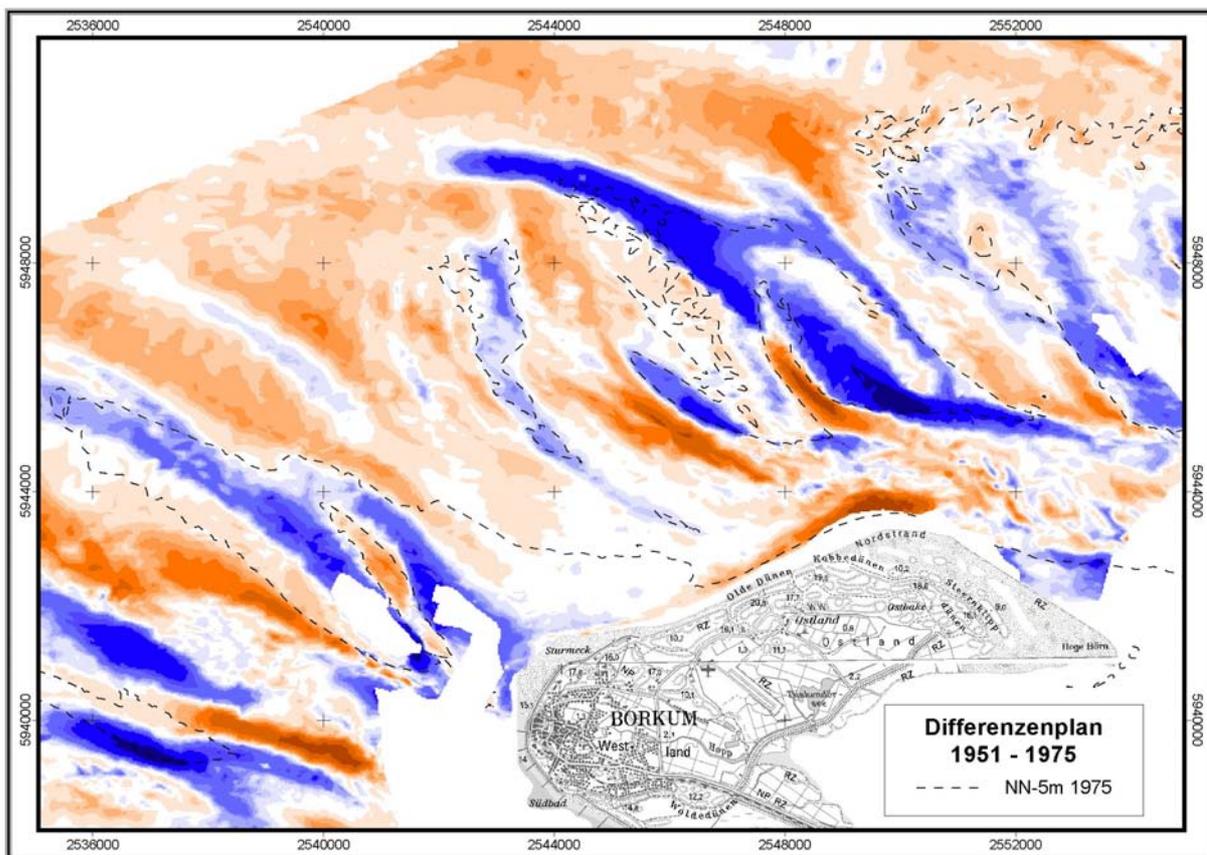


Strandlinienverlauf am Nordweststrand Borkums

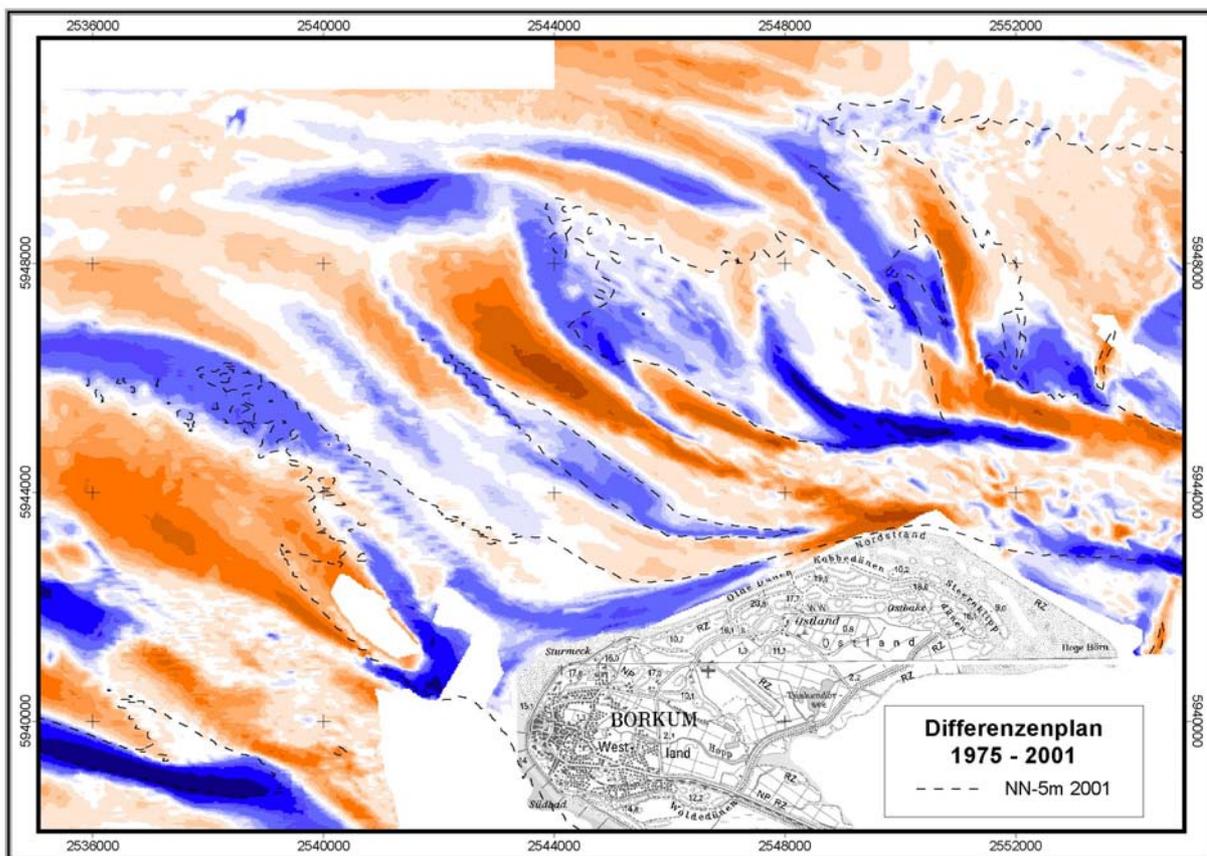
Entwicklungstendenz anhand von Trendberechnungen aus Zeit-Weg-Diagrammen



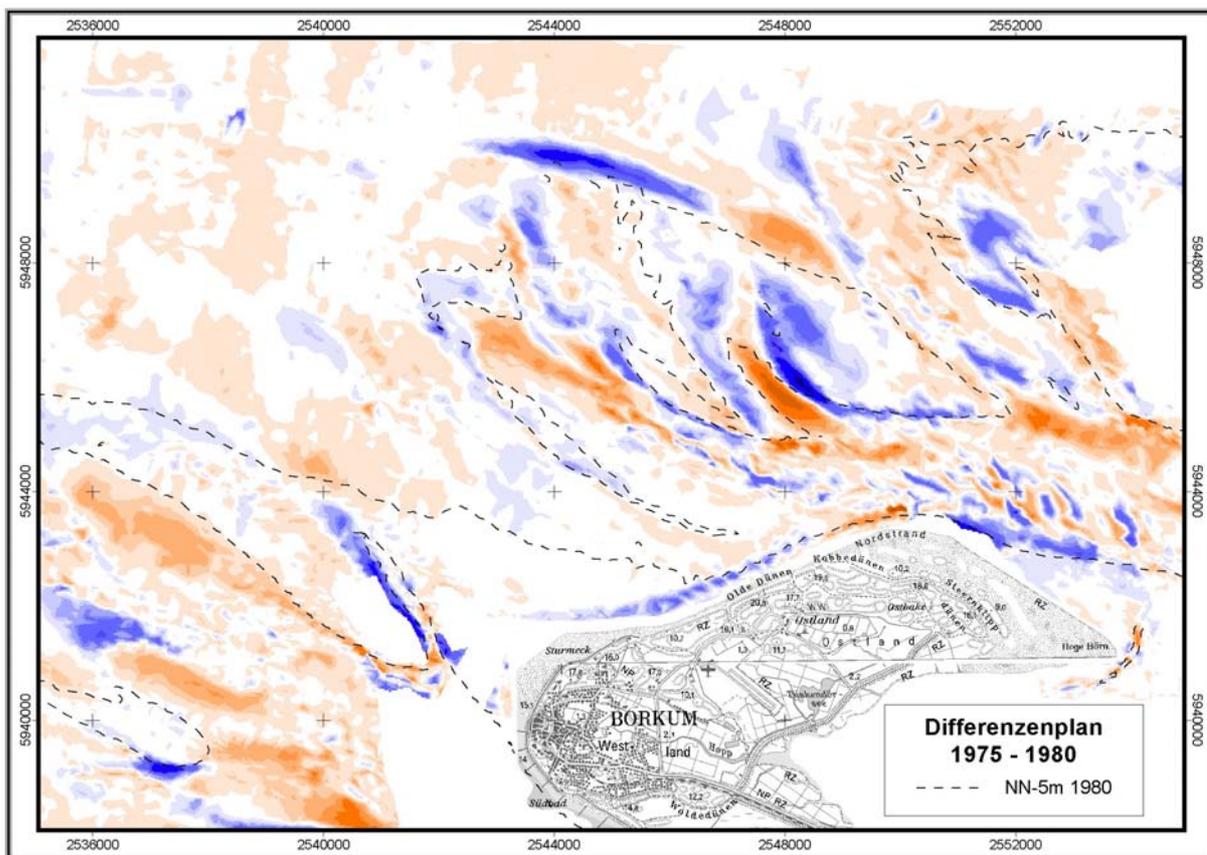
Borkum Differenzenpläne



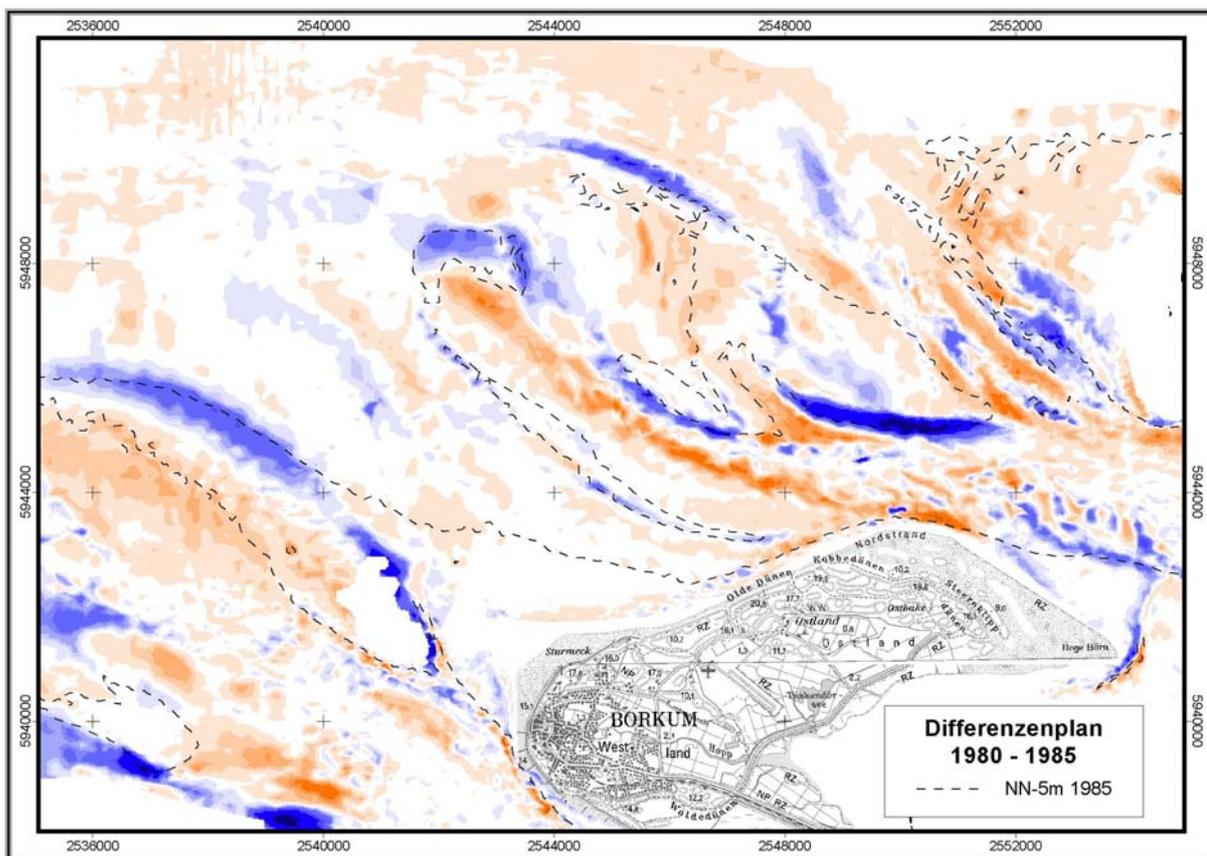
| | | | | | | | | | |
|--|----------------|--|----------------|--|---------------|--|--------------|--|--------------|
| | < -900 cm | | -400 - -300 cm | | -150 - -50 cm | | 150 - 200 cm | | 400 - 500 cm |
| | -900 - -600 cm | | -300 - -250 cm | | -50 - 50 cm | | 200 - 250 cm | | 500 - 600 cm |
| | -600 - -500 cm | | -250 - -200 cm | | 50 - 100 cm | | 250 - 300 cm | | 600 - 900 cm |
| | -500 - -400 cm | | -200 - -150 cm | | 100 - 150 cm | | 300 - 400 cm | | > 900 cm |



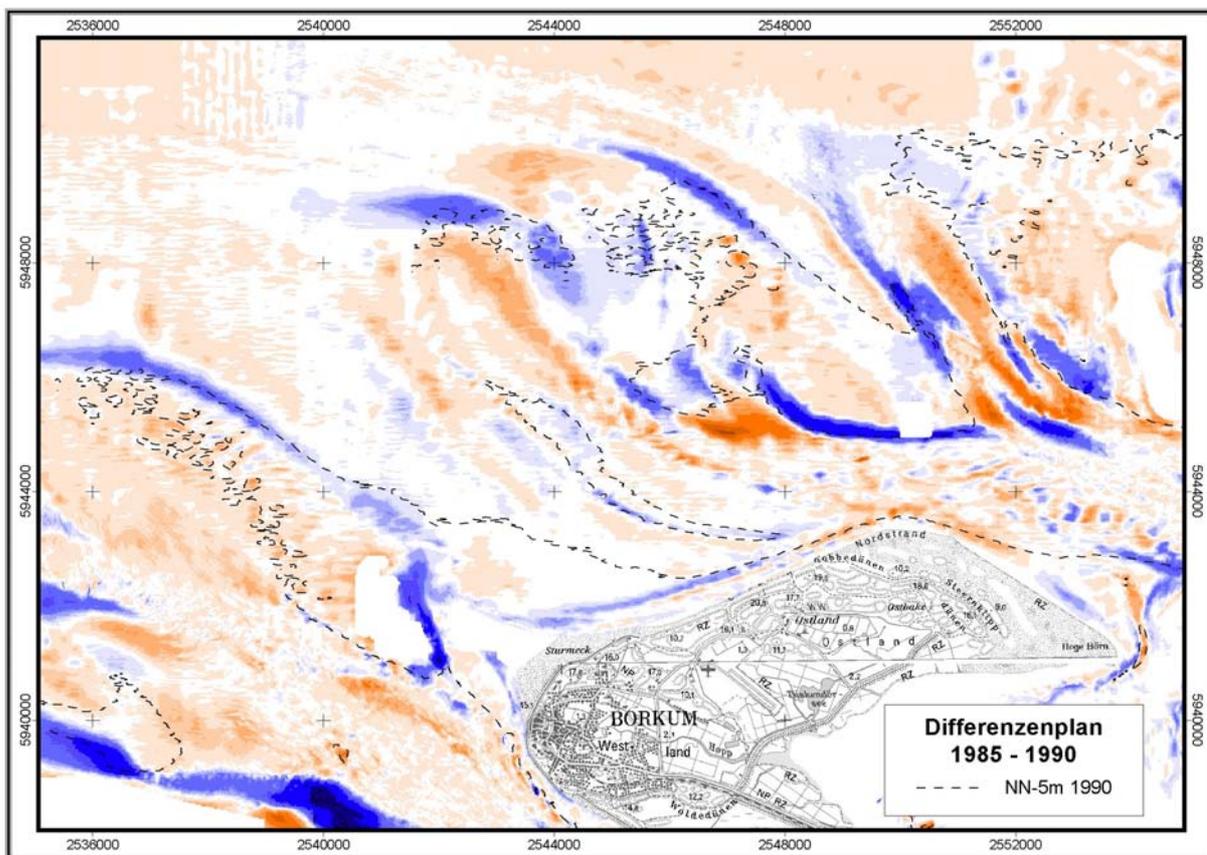
Borkum Differenzenpläne



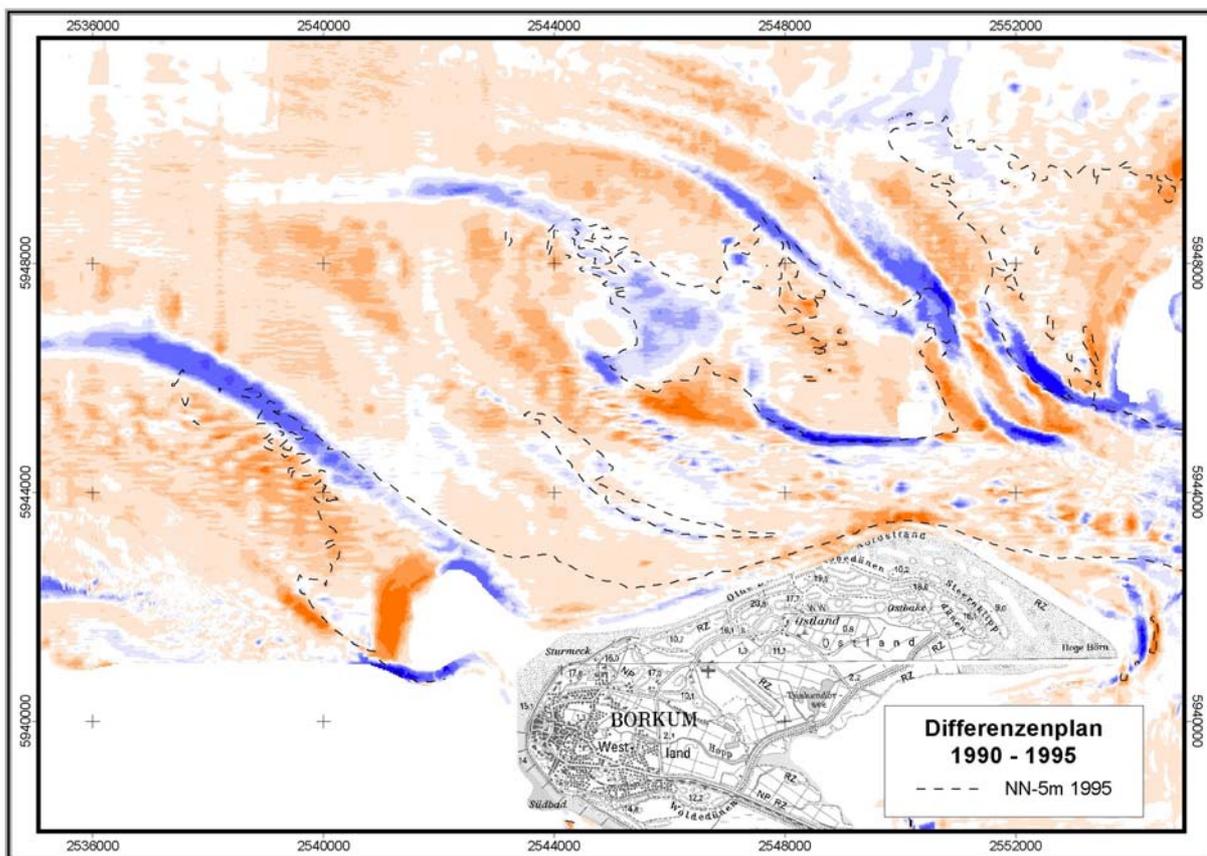
| | | | | |
|----------------|----------------|---------------|--------------|--------------|
| < -900 cm | -400 - -300 cm | -150 - -50 cm | 150 - 200 cm | 400 - 500 cm |
| -900 - -600 cm | -300 - -250 cm | -50 - 50 cm | 200 - 250 cm | 500 - 600 cm |
| -600 - -500 cm | -250 - -200 cm | 50 - 100 cm | 250 - 300 cm | 600 - 900 cm |
| -500 - -400 cm | -200 - -150 cm | 100 - 150 cm | 300 - 400 cm | > 900 cm |



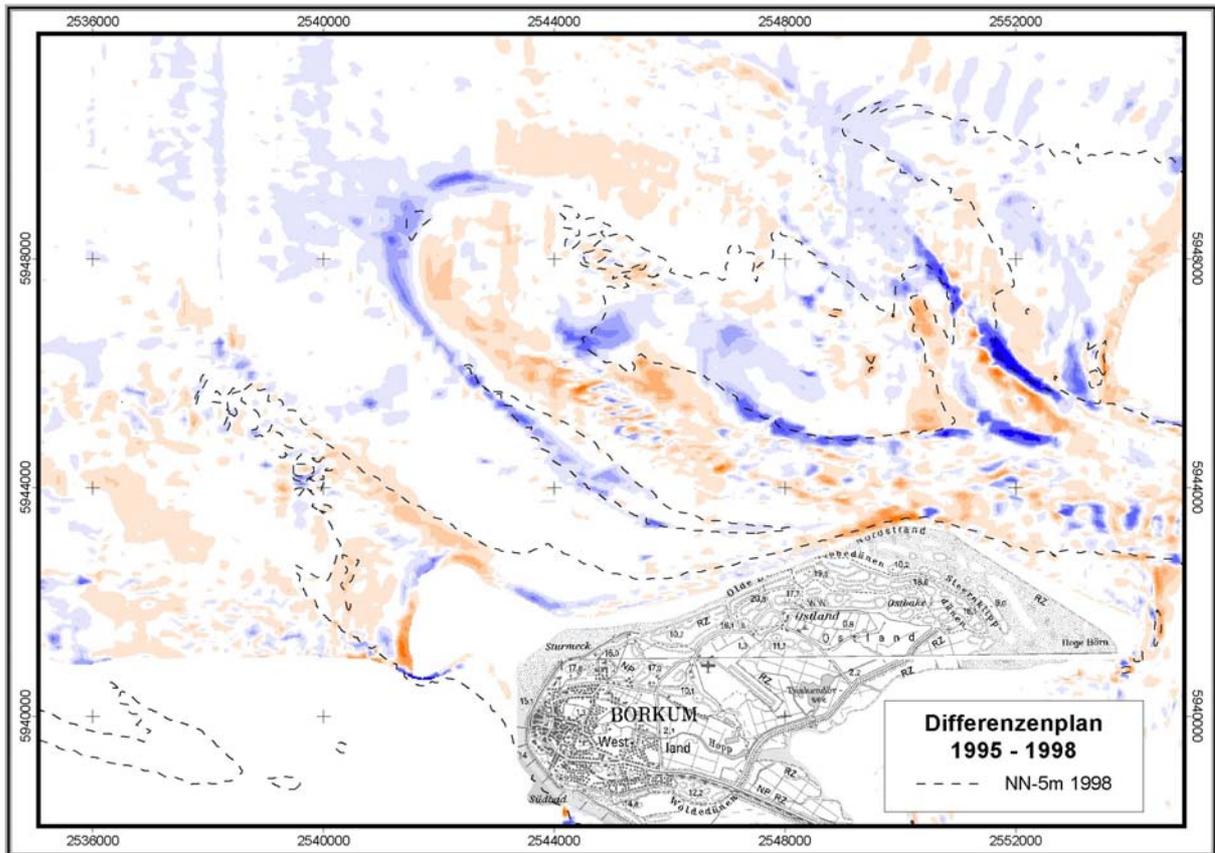
Borkum Differenzenpläne



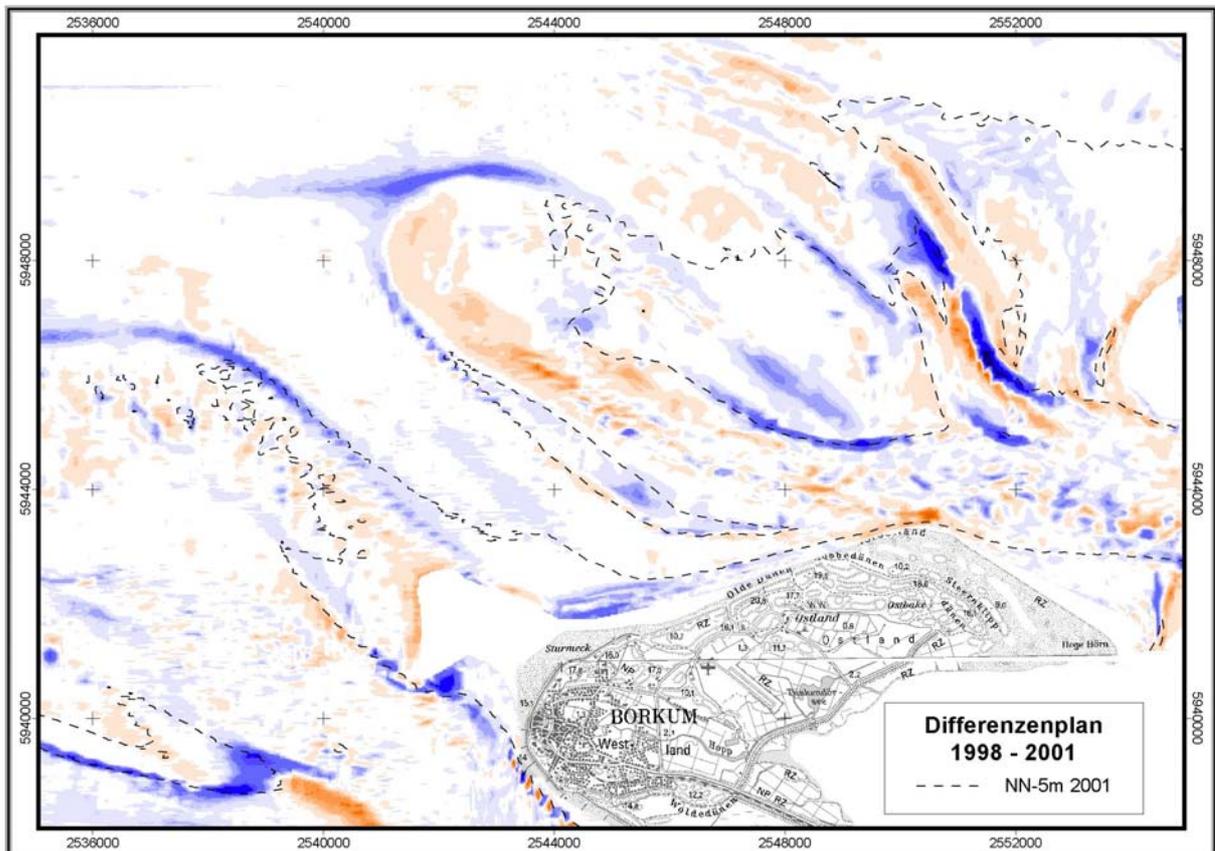
| | | | | |
|----------------|----------------|---------------|--------------|--------------|
| < -900 cm | -400 - -300 cm | -150 - -50 cm | 150 - 200 cm | 400 - 500 cm |
| -900 - -600 cm | -300 - -250 cm | -50 - 50 cm | 200 - 250 cm | 500 - 600 cm |
| -600 - -500 cm | -250 - -200 cm | 50 - 100 cm | 250 - 300 cm | 600 - 900 cm |
| -500 - -400 cm | -200 - -150 cm | 100 - 150 cm | 300 - 400 cm | > 900 cm |



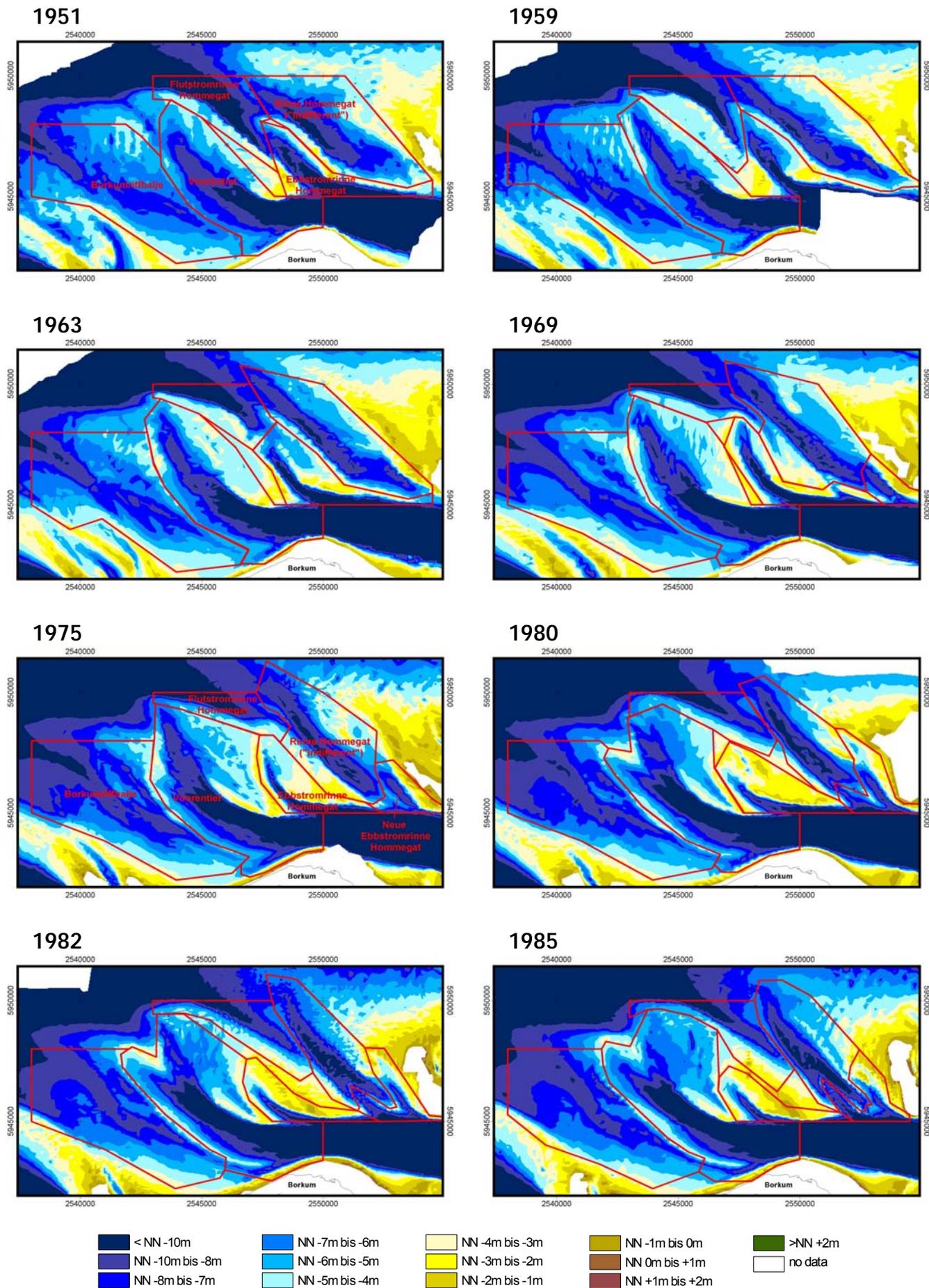
Borkum Differenzenpläne



| | | | | |
|--|--|---|---|--|
|  < -900 cm |  -400 - -300 cm |  -150 - -50 cm |  150 - 200 cm |  400 - 500 cm |
|  -900 - -600 cm |  -300 - -250 cm |  -50 - 50 cm |  200 - 250 cm |  500 - 600 cm |
|  -600 - -500 cm |  -250 - -200 cm |  50 - 100 cm |  250 - 300 cm |  600 - 900 cm |
|  -500 - -400 cm |  -200 - -150 cm |  100 - 150 cm |  300 - 400 cm |  > 900 cm |



Rinnensysteme Borkumriffbalje/Voorentief und Hommegat Abgrenzung der Rinnen für Volumen- und Flächenberechnung



Rinnensysteme Borkumriffbalje/Voorentief und Hommegat Abgrenzung der Rinnen für Volumen- und Flächenberechnung

