

Historische bis rezente Küstenveränderungen im Raum Fischland-Darß-Zingst-Hiddensee anhand von Karten, Luft- und Satellitenbildern

Von LARS TIEPOLT und WALTER SCHUMACHER

Zusammenfassung

Die Ergebnisse zum Küstenverhalten und zur geomorphologischen Charakteristik der Küstenzone Fischland-Darß-Zingst-Hiddensee beruhen auf der Auswertung aller verfügbaren Kartenwerke von 1692 bis 1988 sowie der Luftbildserien von 1937 bis 1992.

Alle Quellen wurden nach eingehender Prüfung in einem Geoinformationssystem (GIS) ausgewertet, so dass für den Untersuchungsraum mehr als 25 000 Mess- und Rechenwerte verschiedener Zeitabschnitte vorliegen.

Das Verhalten der Uferlinie und der unteren Kliffkante ist in Raum-Zeit-Diagrammen dokumentiert und für Küstenabschnitte mit unterschiedlicher Wellenbelastung zusammengefasst worden. Aus der geomorphologischen Analyse resultieren Aussagen zur Küstendynamik und zum Sedimenttransport.

Die Synthese der Daten weist auf einen Zusammenhang zwischen Akkumulation/Abrasion und Veränderung des mittleren Windfeldes hin. Es wird gezeigt, dass der Rückgang der unteren Kliffkante maßgeblich von Extremereignissen und der der Uferlinie hauptsächlich durch die mittleren Wind- und Wellenbedingungen kontrolliert wird.

Summary

Analysis results on the geomorphological characteristics and coastal dynamics of the coastal area „Fischland-Darss-Zingst-Hiddensee“ at the Baltic are presented. They are based on the interpretation of all available historical maps since 1692 as well as on aerial photographs from between 1937 and 1992. More than 25,000 data points for various periods have been obtained and entered into a geo-information system (GIS) for further analysis.

The changes both of the water line and the lower cliff edge are illustrated in space-time-graphs for various coastal areas with a distinct difference in wave energy input. The geomorphological investigations lead to conclusions on coastal dynamics.

The synthesis of all data shows a linkage between sediment transport processes (accumulation/erosion) and changes of the mean wind field. The results give evidence that the retreat of the lower cliff edge is controlled by extreme events (e.g. storms) whereas changes of the water line are goverend by mean wind and wave conditions.

Inhalt

1. Einleitung	22
2. Datenquellen und ihre Bearbeitung	23
3. Ergebnisse	25
3.1 Bewertung der Datenvorlagen hinsichtlich ihrer Aussagefähigkeit für Küstenveränderungen	25
3.2 Historisches Küstenverhalten im Untersuchungsgebiet	28
3.3 Geomorphologische Charakteristik	33
3.3.1 Geomorphologische Charakteristik der Küstenzone von Dierhagen bis Darßer Ort	35

3.3.2 Geomorphologische Charakteristik der Küstenzone von Darßer Ort bis Bock	36
3.3.3 Geomorphologische Charakteristik der Küstenzone der Insel Hiddensee	36
3.4 Aero-, hydro- und morphodynamische Wechselwirkungen	36
4. Danksagung	45
5. Schriftenverzeichnis	45

1. Einleitung

Allein 70 % der Außenküste von Mecklenburg-Vorpommern befinden sich mit einem durchschnittlichen Wert von 34 m/100 Jahre im Rückgang (aus: Generalplan Küsten- und Hochwasserschutz Mecklenburg-Vorpommern). Jedoch ist es nicht dieser Mittelwert, sondern dessen extreme Schwankungen in Raum und Zeit, die der praktischen Sicherung der Küste als dicht besiedelte Kulturlandschaft Probleme bereitet. Die Feststellung von Küstenveränderungen besitzt dementsprechend eine lange wissenschaftliche Tradition. Sie reicht von wissenschaftlichen Bearbeitungen großer Gebiete bis zu punktuellen Beobachtungen, Feststellungen und Messungen (u. a. GEINITZ, 1903; ZANDER, 1934; KOLP, 1955; REINHARD, 1956; GURWELL, 1985; JANKE u. LAMPE, 1993). Neben vorhandenen Aufmessungen, historischen Quellen und angelegten Messstrecken bildeten insbesondere die Auswertung historischer Kartenwerke die wissenschaftliche Datenbasis. Die Auswertung dieser Kartenwerke erfolgte bisher in mühsamer Handarbeit.

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) geförderten Forschungsthema „Klimaänderung und Boddenlandschaft (KLIBO) war es im Teilprojekt „Historische bis rezente Küstenveränderungen im Raum Fischland-Darß-Zingst-Hiddensee anhand von Karten, Luft- und Satellitenbildern“ (Az: 01LK9316/0) möglich, die Küstenveränderungen in Raum Fischland-Darß-Zingst-Hiddensee einer modernen computergestützten Bearbeitung zu unterziehen. Alle verfügbaren Kartenwerke, Luft- und Satellitenbilder wurden in einem Geoinformationssystem (GIS) mit der Raster-GIS-Software ERDAS Imagine und der Vektor-GIS-Software Arc/Info verarbeitet und hinsichtlich ihrer Nutzbarkeit zur Feststellung von Küstenveränderungen überprüft.

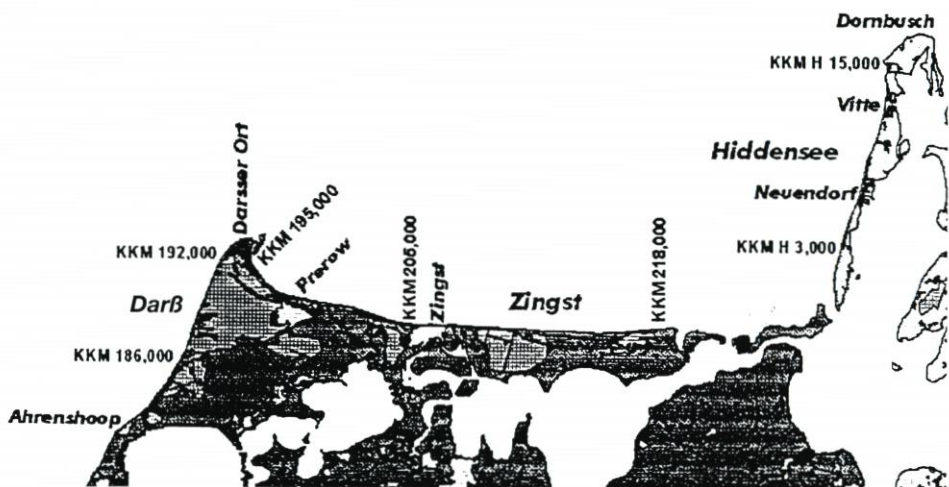


Abb. 1: Untersuchungsgebiet Darß-Zingst-Hiddensee mit Küstenkilometrierung

Aus den nutzbaren Daten wurden Raum-Zeit-Diagramme des Küstenverhaltens abgeleitet. Küstenbegehungen und die Auswertung von Luftbildern ergaben Informationen zur geomorphologischen Charakteristik der Strand- und Schorrebereiche des Untersuchungsgebietes.

Ein wesentlicher Aspekt der Untersuchungen bildete der Forschungsansatz, die festgestellten Küstenveränderungen mit der Änderung meteorologischer Parameter zu korrelieren, um eine Ursache-Wirkungsbeziehung herzustellen. Hierzu konnten Daten aus der Bearbeitung meteorologischer Parameter, insbesondere von Windmessreihen des Gebietes einbezogen werden, die im Teilprojekt „Untersuchungen der Häufigkeiten der Starkwindereignisse in Zingst und extremen Pegelständen an der mecklenburgisch-vorpommerschen Ostseeküste“ erstellt wurden. Die Berücksichtigung der Küstenrückgangswerte infolge des Sturmhochwasserereignisses vom 4./5. November 1995 erlaubt den Vergleich der Wirksamkeit kurzfristiger Extremereignisse (Stunden, Tage) gegenüber dem langfristigen Küstenverhalten (101–102 Jahre).

2. Datenquellen und ihre Bearbeitung

Zur Klärung der Fragestellung wurden differenzierte Datengrundlagen unterschiedlicher Zeitpunkte, Herkunft und Inhalte herangezogen. Den Ausgangspunkt bildete das Matrikelkartenwerk der Schwedischen Landesvermessung von 1692–1696 in Pommern. Dieses Kartenwerk stellt das erste zuverlässige Zustandsbild der Küstenzone des Untersuchungsgebietes dar.

Von diesem Zeitschnitt ausgehend wurden weitere historische und moderne topographische Karten, Luftbilder seit 1937 sowie Satellitenbilder beschafft, wobei im Folgenden nur eine Übersicht gegeben werden soll:

Karten, Luft- u. Satellitenbilder	Zeitschnitt (Ausgabejahr)
• Schwedische Matrikelkarten	1692–1696
• Doubberck'sche Forstkarten	1827–1831
• Preußische Urmesstischblätter (Maßstab 1:25 000)	1834–1836
• Preußische Messtischblätter (Maßstab 1:25 000)	1884–1886
• Deutsche Luftbildkarte (Maßstab 1:25 000)	1937
• Luftbilder der Alliiertenbefliegung	1942–1944
• Luftbilder der sowjetischen Befliegung	1953
• Luftbildserie Jahrgang	1956
• Topographische Karte AS (Maßstab 1:10 000)	1957 (1957–1961)
• Luftbildserie Jahrgang	1960
• Luftbildserie Jahrgang	1966
• Luftbildserie Jahrgang	1971
• Luftbildserie Jahrgang	1976
• Topographische Karte AV (Maßstab 1:100 000)	1977
• Luftbildserie Jahrgang	1983
• Topographische Karte AV (Maßstab 1:10 000)	1983 (1991)
• Topographische Karte AS (Maßstab 1:10 000)	1983 (1991)
• Satellitenbildszenen KFA 1000 (Russland))	1986
• Satellitenbildszenen KFA 1000 (Russland)	1987

• Satellitenbild Landsat TM (USA)	1989
• Satellitenbild Landsat TM (USA)	1991
• Radar-Satellitenbild ERS-1	1991
• Küstenbildplan 1:10 000 KRASSOVSKI	1992
• Luftbilddaten (ifp Frankfurt/Main))	1994
• Topographische Arbeitskarte	1995 (vorauss. 1997)

Zunächst wurden die Karten und analogen Luftbilder einer manuellen, allgemeinen Analyse unterzogen, um die Gemeinsamkeiten und Unterschiede in Darstellung, Inhalt, kartographische Grundlage etc. festzustellen.

Die allgemeinen Hauptprobleme bei der Kartenbearbeitung für den Großteil der Vorlagen lassen sich wie folgt beschreiben:

- kein geodätisches Bezugssystem auf den historischen Karten bis zum Ende des 19. Jhd.
- geringe Anzahl zu lokalisierender Fixpunkte auf den historischen Karten bis 1884 und den Original-Luftbildern im Bereich Wald, landwirtschaftliche Nutzflächen und Küstensaum
- unbekannter bzw. nicht exakt ermittelbarer Maßstab der schwedischen Matrikelkarten (1692–96) und der Doubberck'schen Forstkarten (1827)
- Veränderung der Vorlagen infolge von Umwelteinflüssen und „Restaurierungen“
- unterschiedliche Maßstäbe, Bezugssysteme, Darstellungsweisen der jeweiligen Quellen
- historische Aufnahme- und Zeichengeräte sowie Bearbeitungsfehler bedingen Darstellungsfehler der einzelnen Vorlagen, die auch mit modernen Methoden der GeoInformationssysteme nicht korrigierbar sind
- Bearbeitung erfolgt fast ausschließlich mittels Kopien, Reproduktionen und Nachdrucken
- Luftbilder liegen größtenteils als Rohdaten vor, wobei keine spezielle Luftbildbearbeitungssoftware vorhanden war
- Verarbeitung einer Vielzahl kleinflächiger, separater Einzelaufnahmen erschwert Fixpunktbestimmung

Danach wurden die o.a. Datenquellen in einem Geoinformationssystem (GIS) auf Workstation-Basis (Sun sparc 10) mit der Raster-GIS Software ERDAS Imagine (USA) und der Vektor-GIS Software Arc/Info untersucht und analysiert, um ihre Aussagefähigkeit für küstendynamische Prozesse zu überprüfen. Dabei erwies sich als zusätzliches Hauptproblem, dass die Kartenwerke auf zwei, nicht kompatiblen Projektionen basieren. Zum einen ist es die Transverse-Mercator-Projektion mit einem Bessel-Ellipsoid und 3 Grad breiten Meridianstreifen (u.a. Preußisches Meßtischblatt 1885, Luftbildkarte 1937, Topographische Karte AV 1977, 1983) und zum anderen ist es die Transverse-Mercator-Projektion mit einem KRASSOVSKI-Ellipsoid und 6 Grad breiten Meridianstreifen (z. B. Topographische Karte AS 1960, 1988, Küstenbildplan 1994).

Aus den o. g. Gründen wurde nach eingehender Überprüfung entschieden, die Topographische Karte AV, Stand 1983 (Ausgabe 1991), mit einem Bessel-Ellipsoid (3 Grad) als Grundlage für alle weiteren Betrachtungen zu nutzen. Dieses Kartenwerk bildete zum Bearbeitungsbeginn 1993 neben der Ausgabe AS (KRASSOVSKI-Ellipsoid) die aktuellste Kartengrundlage.

Über Fixpunktanalyse wurden Luftbilder und Karten ohne Koordinatennetz sowie Karten im KRASSOVSKI-System auf diese Grundlage georeferenziert. Die dabei erzielten Ergebnisse, insbesondere für historische Karten, waren für die ausgewählten Fixpunkte von hoher Genauigkeit. Dadurch konnten die Lagefehler der alten Kartenwerke festgestellt und

quantifiziert werden und ihre Einarbeitung in das GIS wurde möglich. Obwohl die Geocodierung der Luftbilder neueren Datums (seit 1953) mit geringeren Abweichungen durchgeführt werden konnte, war ihre Einarbeitung in das GIS zur Feststellung kurzfristiger Küstenveränderungen nicht sinnvoll (TIEPOLT, 1995 und 1997; TIEPOLT u. SCHUMACHER, 1998).

Die Art und Weise der Verarbeitung der Daten wird hier nur kurz aufgeführt:

1. Scannen und Geocodieren aller Karten und Luftbilder
2. Digitalisierung der Ufer- und Kliffkanten- bzw. Dünenfußlinie
3. Erarbeitung einer Küstenkilometrierung im 100-m-Abstand
4. Verschneidung der Karten und Luftbilder untereinander und mit den anderen Kartensystemen
5. Ermittlung der Küstenveränderungen über Streckenmessung der Abstände der Küstenlinien
6. Tabellarische und graphische Darstellung der Ergebnisse (Microsoft Excel)
7. Zusammenfassung der Messdaten mittels unterschiedlicher mathematisch-statistischer Methoden und ihre tabellarische und grafische Darstellung (Microsoft Excel)

3. Ergebnisse

3.1 Bewertung der Datenvorlagen hinsichtlich ihrer Aussagefähigkeit für Küstenveränderungen

Trotz der aufgeführten, allgemeinen Problemübersicht ist vor der folgenden, eingehenden Fehlerbetrachtung eindeutig festzustellen, dass die vorliegenden Karten, Luft- und Satellitenbilder das detaillierteste, mögliche Zustandsbild des Untersuchungsgebietes liefern.

Mit diesen Vorlagen und mittels des oben beschriebenen und verwendeten Geoinformationssystems ist es möglich, alle Karten einer eingehenden Genauigkeitsanalyse zu unterziehen und sie erstmals ohne manuelle Bearbeiter-, Zeichen- und Messfehler auszuwerten. Neben dem optischen Vergleich bietet das Geoinformationssystem bzw. die verwendete lineare konforme Transformation die Möglichkeit, die Abweichungen für die Fixpunkte abzulesen und bei Bedarf zu korrigieren.

Zur Quantifizierung küstendynamischer Prozesse im Untersuchungsgebiet seit 1692 wurden letztendlich nachstehende Kartenwerke ausgewählt, die flächendeckend für folgende Zeitschnitte repräsentativ sind:

• 1692–1696 Schwedische Matrikelkarten

Die Schwedischen Matrikelkarten sind die erste zuverlässige Datenquelle für die Bearbeitung bzw. Feststellung der ablaufenden küstendynamischen Prozesse. Diese Karten repräsentieren das erste auf Vermessung beruhende Zustandsbild der nordwestpommerschen Boddenlandschaft.

Die Schwedischen Matrikelkarten wurden bereits von einer Vielzahl von Wissenschaftlern unterschiedlicher Arbeitsgebiete untersucht, wobei alle zunächst vor dem Problem der Einpassung dieses Kartenwerkes in moderne Kartensysteme standen. Ursache für diese Schwierigkeiten ist der nicht exakt ermittelbare Maßstab der jeweiligen Einzelkarten. Einige Bearbeiter seien hier mit ihren Maßstabsergebnissen stellvertretend aufgeführt:

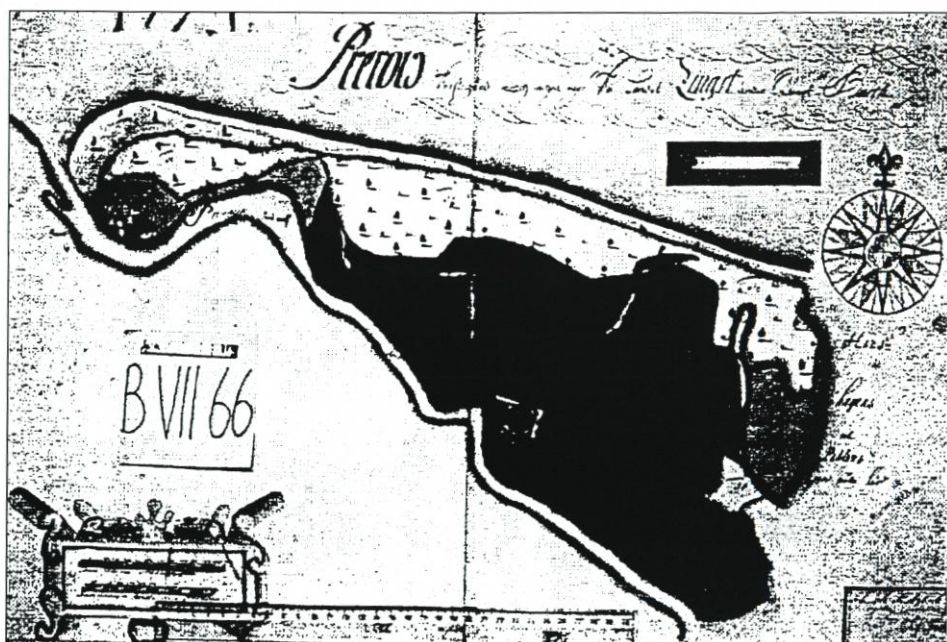


Abb. 2: Matrikelkarte (Blatt Prerow) der Schwedischen Landesaufnahme von 1692–1696

a) HAGENOW (1840)	Maßstab 1 : 6500
b) ETHE (1874)	Maßstab 1 : 8000
c) OTTO (1913)	Maßstab 1 : 8003
d) DROLSHAGEN (1920)	Maßstab 1 : 8000
e) CURSCHMANN (1950)	Maßstab 1 : 8333,3
f) RUBOW (1960)	Maßstab 1 : 8122
g) FUKAREK (1961)	Maßstab 1 : 8181

Die Maßstabsproblematik wurde ausführlich in der Dissertationsschrift „Landerschließung, Landnutzung und Landerhaltung in der nordwestpommerschen Boddenlandschaft seit 1692“ des Verfassers (TIEPOLT, 1993) behandelt, so dass hier nur das Ergebnis dargestellt werden soll.

Der in dieser Arbeit ermittelte Maßstab betrug 1 : 8187 bei einer Lagegenauigkeit für 14 ausgewählte Fixpunkte von kleiner 20 m (Wert mit der größten Abweichung, unter Berücksichtigung des Topographischen Kartenfehlers von 4,5 m).

Bei der Verwendung der Schwedische Matrikelkarte ist des Weiteren zu beachten, dass die Karte eine Steuerkarte ist, d.h. steuerrelevante Gebiete (Häuser, Ackerflächen) sind detailgetreu dargestellt. Demgegenüber sind die für das Projekt interessanten Flächen im Küstenbereich mit weniger Sorgfalt vermessen und dargestellt worden (Messpunktabstand 80–120 m). Außerdem barg das einfache Messverfahren der Triangulation, d.h. der Winkel- und Streckenmessung mittels Bussole und Messkette, weitere Ungenauigkeiten in sich. Gerade in den interessanten Gebieten des Westdarß bzw. Darßer Waldes gab es für die schwedischen Landvermesser keine Anhalts- bzw. Fixpunkte, so dass diese Karte in sich Verzerrungen birgt, die auch mit den modernen Möglichkeiten des Geoinformationssystems nur schwer korrigierbar sind.

Bis auf die Hertesburg konnten leider keine weiteren Fixpunkte für das Untersuchungsgebiet zweifelsfrei (über 300 Jahre) ermittelt werden, so dass sich die Einarbeitung in das GIS sehr problematisch erwies. So mußten diese Karten vor allem unter Zuhilfenahme von geologischen, geomorphologischen und landeskulturellen Aspekten geocodiert werden, was zu einer erheblichen Vergrößerung des Aufwandes bei gleichzeitiger Abnahme der Genauigkeit führte. Aus diesem Grund konnten bisher nur die Gebiete des Westdarß, der Prerower Bucht bis nördlich der Hertesburg ausgewertet werden. Trotz mehrfacher Versuche mit modernster Rechentechnik ist es bisher nicht gelungen, die Karten des Ost-Zingst, besonders im Gebiet der Sundischen Wiese mit einer hinreichenden Genauigkeit in moderne Kartensysteme einzupassen.

• 1834–1836 Preußische Urmesstischblätter

Die Preußischen Urmesstischblätter entstanden im Ergebnis der Angliederung Pommerns an Preußen (1815). Ihre Darstellung zeichnet ein gutes Übersichtsbild über den Zustand der nordwestpommerschen Boddenlandschaft in den Jahren 1834–1836. Auch ihre Abbildung im später weiter gebräuchlichen Messtischblattformat bei einem Maßstab von 1:25 000 erweist sich als vorteilhaft für die Bearbeitung. Leider sind diese Karten, von eingesetzten Offizieren der preußischen Armee vermessen, in sich bzw. besonders an den Kartenrändern und damit am Anschluss zu den benachbarten Karten mit einer relativ hohen Ungenauigkeit (um 30 m) versehen, so dass auch ihre Einarbeitung in das GIS größere Schwierigkeiten in sich birgt.

Trotzdem konnten die Karten für einen Großteil des Untersuchungsgebietes ausgewertet und dargestellt werden.

• 1884–1886 Preußische Messtischblätter

Die Preußischen Messtischblätter stellen das erste, auch nach heutigen vermessungstechnischen Anforderungen, zuverlässige Ausgangsmaterial dar. Hinzu kommt der positive Umstand, dass die Urkarten der Preußischen Messtischblätter bis in die 30iger Jahre dieses Jahrhunderts berichtigt worden sind, wobei sich diese Berichtigung lediglich auf die Veränderungen in der Infrastruktur und Blattschnittgrundlagen bezog. Dabei wurden bei der Berichtigung größtenteils die dargestellten Ufer- und Kliffkantenbereiche unverändert übernommen.

• 1937 Deutsche Luftbildkarte

Die Deutsche Luftbildkarte ist für die Untersuchungen der küstendynamischen Prozesse besonders wertvoll, da hier die Vorteile des Luftbildes mit den Vorteilen einer Karte (Entzerrung, Gitternetz, einheitlicher Maßstab) verbunden wurden. Als problematisch erweist sich hier jedoch die präzise Festlegung der Ufer- bzw. Kliffkante durch die Überstrahlung der submarinen Strukturen am Wasser-Strand-Wechsel, durch die kamera- und flughöhenabhängige Aufnahme mit ihren Verzerrungen, sowie die ungenaue Kliffkantenbestimmung durch Bewuchs, besonders an Küstenwaldrändern bzw. durch dominante Dünen im Strandbereich. Für die Bearbeitung dieser und folgender Luftbilder war es erforderlich, mehrmals eingehende Strandbegehungen durchzuführen, um den Aufbau der Strände genau zu dokumentieren, um damit die notwendigen Rückschlüsse auf die im Luftbild dargestellten Formen durchführen zu können. Über eine mehrfach wiederholte, korrigierte Georeferenzierung liegen die Lagefehler unter 4 m.

• 1983 (1991) Topographische Karte AV 10

Wie bereits mehrfach erwähnt, wurde dieses Kartenwerk als Grundlage für die Projektbearbeitung gewählt. Dafür gab es mehrere Gründe:

- Kartengrundlage ist die Transverse-Mercator Projektion, Bessel-Ellipsoid mit 3 Grad breiten Meridianstreifen
- die Karte war zu Beginn der Projektbearbeitung das aktuellste Gesamtkartenwerk für das Untersuchungsgebiet (Ausnahme: Top AS 1988 aber mit KRASSOVSKI-Ellipsoid)
- diese Karte ließ sich am einfachsten mit der Mehrzahl der historischen und topographischen Karten sowie der Deutschen Luftbildkarte vergleichen
- sie lag in mehreren Neuauflagen vor, wobei die Ufer- bzw. Kliffkanten (zuletzt 1991) den Zustand von 1983 repräsentierten

Für die topographischen Karten ist festzustellen, dass eine Geocodierung über die Verwendung der Kreuzungspunkte des GAUSS-KRÜGER-Koordinatennetzes so lange durchgeführt wurde, bis der Lagefehler dieser Fixpunkte unter 1,5 m lag.

Zusammenfassend ist zu bemerken, dass die Verarbeitung von historischen Karten sowie Luft- und Satellitenbildern mit Hilfe moderner Geoinformationssysteme ein wichtiges und geeignetes Mittel zur Untersuchung von küstendynamischen Prozessen ist, wobei in jedem Fall eine detaillierte Fehlerbetrachtung einschließlich einer Toleranzangabe durchzuführen ist. Dabei ist zu beachten, dass sich ein zunächst großer Darstellungsfehler bei historischen Karten und die daraus resultierende, scheinbar zu hohe Toleranzabweichung aufgrund der großen, zeitlichen Abstände und damit der stärkeren Küstenveränderungen relativieren.

So muss abschließend betont werden, dass die Verarbeitung historischer Karten und älterer Luftbilder neben den bekannten Bearbeitungsfeldern innerhalb der regionalen Geographie, der historischen Forschung, der Chronikerstellung und landeskultureller Entwicklungsanalysen (Flächenentwicklungen, Siedlungs- und Bevölkerungsstruktur, Wegenetz, natürliche und künstliche Vorfluter) sowie weiterer, historisch relevanter Forschungen auch ein wichtiges Hilfsmittel bei der Untersuchung langfristiger, küstendynamischer Prozesse sein kann und muss.

3.2 Historisches Küstenverhalten im Untersuchungsgebiet

Trotz aller Probleme der einzelnen Datenquellen (vgl. Kap. 3.1) können bei sorgfältiger wissenschaftlicher Analyse aussagekräftige Raum-Zeit-Diagramme des Küstenverhaltens abgeleitet werden. Diese Diagramme basieren auf ca. 25 000 Mess- und Rechenwerten, die aus diesem Projekt für das gesamte Untersuchungsgebiet ermittelt wurden.

Das Küstenverhalten der Uferlinie des Westdarßes zwischen Küstenkilometer 186,000 und 192,000 wird in Abb. 3 widergespiegelt. Die Raum-Zeit-Variation der Uferlinie dieses Küstenabschnittes ist relativ unkompliziert. Für alle dargestellten Zeitschnitte zwischen 1692 und 1983 sowie jeden gemessenen Küstenpunkt (Abstand 100 m) kann ein allgemeines Rückgangsverhalten nachgewiesen werden, welches jedoch in Raum und Zeit indifferent ist. Der durchschnittliche Rückgang der Uferlinie dieser Küstenstrecke hat mit 1,69 m/Jahr sein Maximum im Zeitraum 1692–1835 und nimmt bis zu seinem Minimum im Zeitschnitt 1885 bis 1937 ab (vgl. Abb. 4). In den letzten 50 Jahren dieses Jahrhunderts ist der Rückgang der Uferlinie wieder im Ansteigen begriffen.

Das Rückgangsverhalten zwischen 1692 und 1835 erscheint räumlich relativ einheitlich. Jedoch wird eine generelle Abnahme von SW nach NE deutlich (vgl. Abb. 3). Im Zeitraum 1835 bis 1885 ist das Bild stark differenziert. Es existieren mehrere Maxima und Minima, der

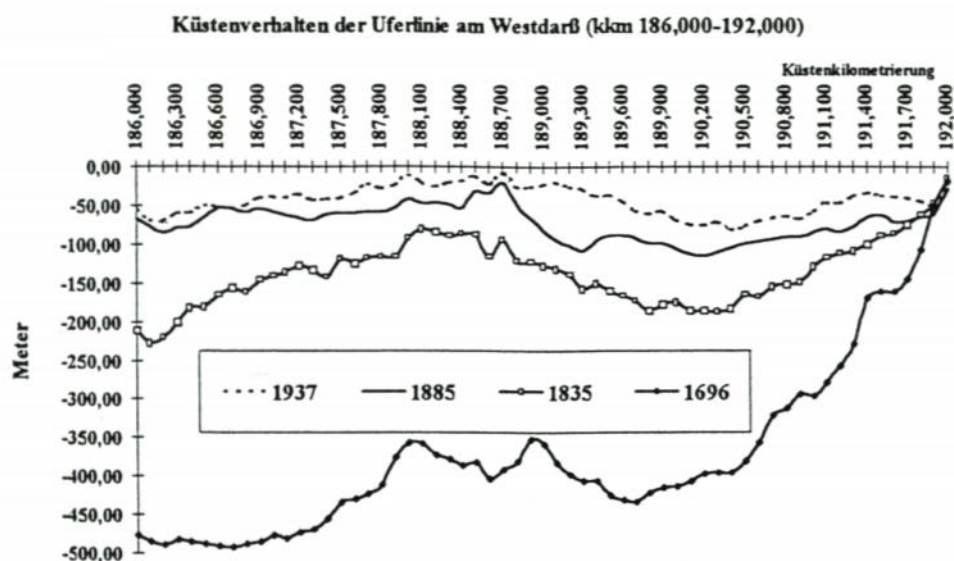


Abb. 3: Küstenverhalten der Uferlinie am Westdarß seit 1692 zwischen Kkm 186,000 und 192,000

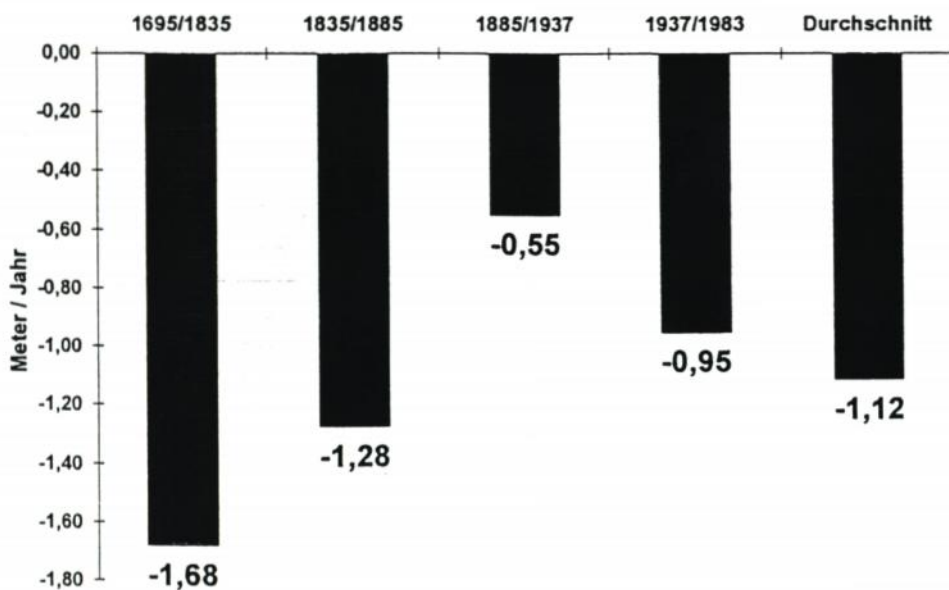


Abb. 4: Durchschnittliches jährliches Küstenverhalten der Uferlinie am Westdarß (Kkm 186,000-192,000)

generelle SW-NE-Trend bleibt aber auch hier erhalten. In den Zeitschnitten 1885–1937 und 1937–1983 ist die räumliche Variation ebenfalls stark. Ein SW-NE-Trend besteht nicht mehr.

Das Verhalten der unteren Kliffkante (Dünenfuß) entspricht in den betrachteten Zeiträumen grundsätzlich dem der Uferlinie (vgl. Abb. 5). Einer der wenigen Unterschiede besteht darin, dass im Zeitabschnitt 1885–1937 der Dünenfuß am Westdarß im Durchschnitt wesentlich schneller zurückweicht als die Uferlinie (vgl. Abb. 3).

An die abrasive Küstenstrecke des Westdarßes schließt ab Küstenkilometer 192,000 die Hakenbildung des Darßer Ortes an. Das Akkumulationsverhalten (vgl. Abb. 6) weist starke Zuwachsraten von 1885–1937 auf. In den Zeiträumen 1695–1835, 1835–1885 und 1937–1983 sind geringe Zuwachsraten zu verzeichnen.

Die sich anschließende Prerowbucht zwischen Küstenkilometer 195,000–198,200 weist ebenfalls akkumulative Bedingungen auf, die durch ein ständiges Vorrücken der Uferlinie (vgl. Abb. 7) gekennzeichnet sind. Auffällig ist, dass von 1835 bis 1937 hohe Anlandungsraten von ca. 5–6 m/Jahr auftreten, während für die anderen Zeiträume eine seewärtige Verlagerung von ca. 2 m/Jahr gemessen werden konnte.

Zwischen den Küstenkilometern 198,000–199,000 erfolgt der Umschlag zwischen Abrasion und Akkumulation. Die anschließende Küstenstrecke vom Zingst ist zumindest bis zum Küstenkilometer 217,000 durch abrasive Bedingungen gekennzeichnet. Der Rückgang der Uferlinie unterliegt dabei starken räumlichen und zeitlichen Schwankungen, wobei er im Westen (ca. 0,5 m/Jahr) stärker als im Osten (ca. 0,3 m/Jahr) ist (vgl. Abb. 8). Die akkumulativen Verhältnisse vor der Ortslage Zingst (Kkm 209,000–212,000) seit 1937 sind auf Küstenschutzmaßnahmen zurückzuführen. Diese Maßnahmen sind auch Ursache für das Verhalten der Kliffkante, die seit 1937 stabil gehalten wurde. Der durchschnittliche jährliche Uferlinienrückgang von 0,39 m/Jahr ist gegenüber dem Westdarß relativ niedrig (vgl. Abb. 9). Der höchste durchschnittliche Rückschnitt / Jahr von 0,53 m fällt in den Zeitraum von 1835–1885.

Die anschließenden Küstenstrecken am Bock und Gellen sind nicht untersucht worden, da zum einen keine Daten vorhanden waren bzw. vorliegendes Datenmaterial aufgrund feh-

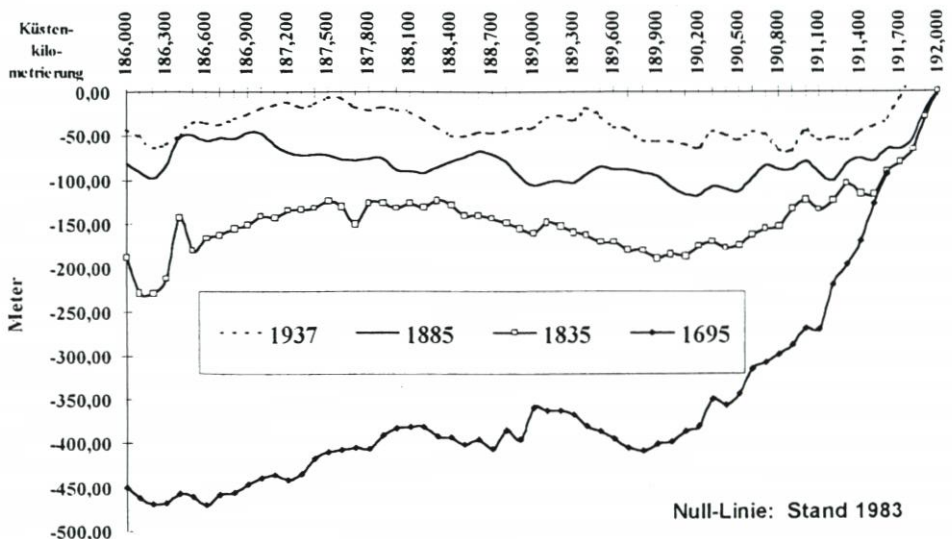


Abb. 5: Küstenverhalten der Kliffkante am Westdarß seit 1692 zwischen Kkm 186,000 und 192,000

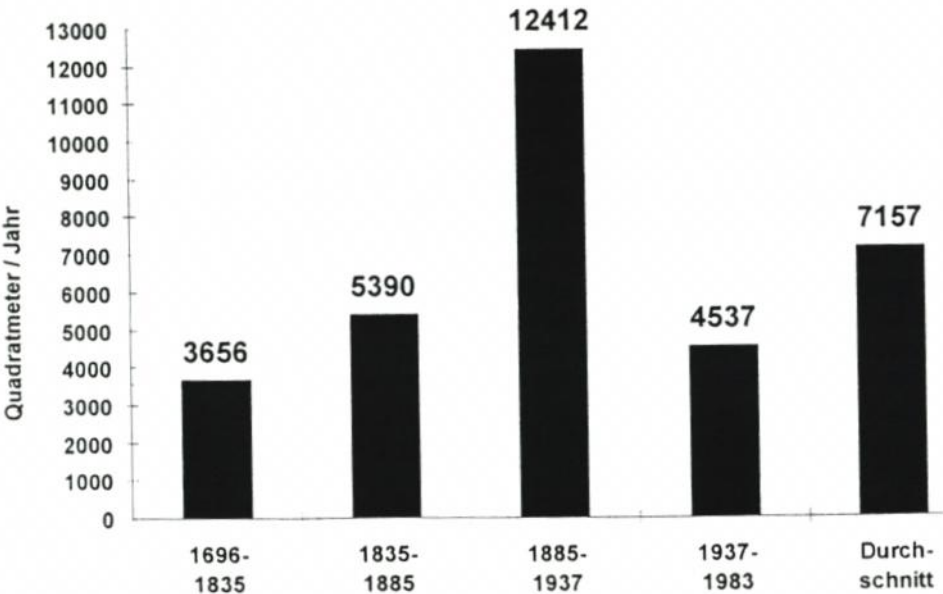


Abb. 6: Flächenveränderungen am Darßer Ort (Kkm 192,000-195,000)

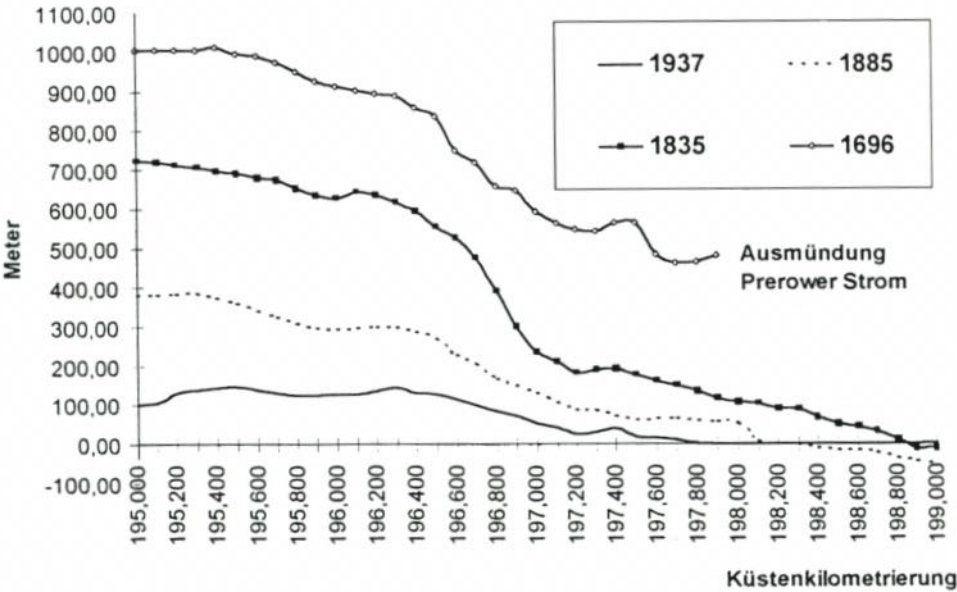


Abb. 7: Küstenverhalten der Uferlinie in der Prerower Bucht (Kkm 195,000-199,000)

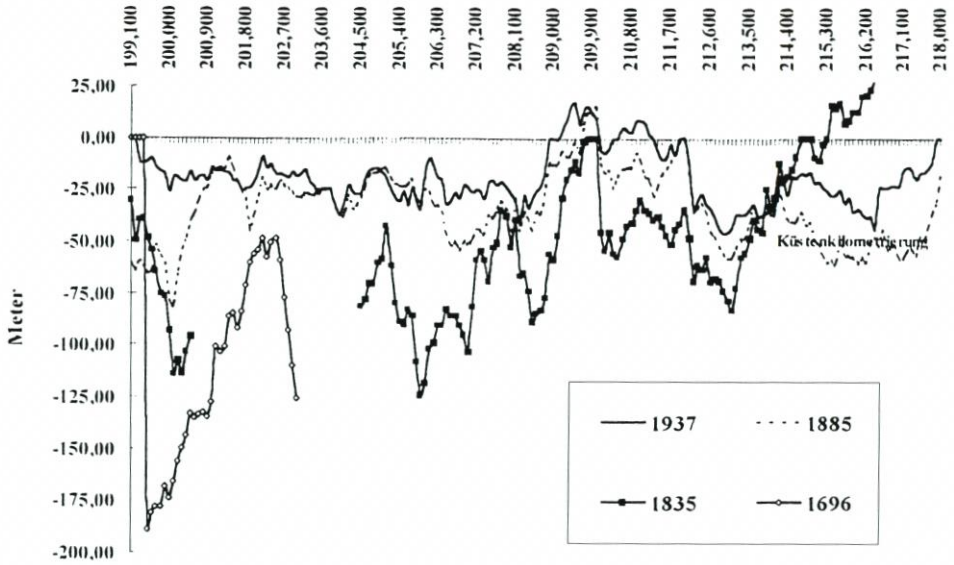


Abb. 8: Küstenverhalten der Uferlinie am Zingst zwischen Kkm 199,000 und 218,000

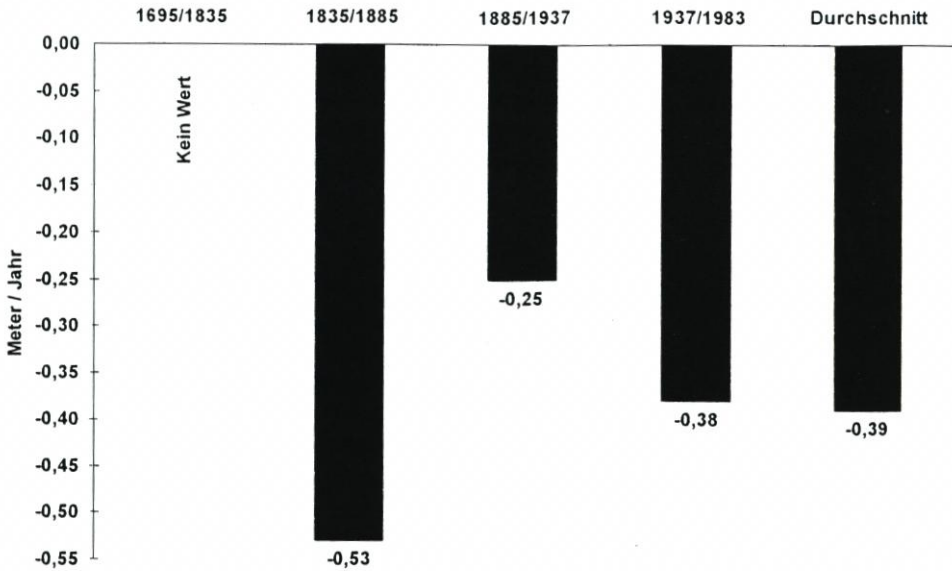


Abb. 9: Durchschnittliches jährliches Küstenverhalten der Uferlinie Prerowbucht (Kkm 195,000–199,000) zwischen benachbarten Zeitschnitten

lender Fixpunkte nicht für das GIS aufbereitet werden konnte. Beide Küstenstrecken werden jedoch durch akkumulative Bedingungen gekennzeichnet (REINHARD, 1953 u. 1956).

Die Nord-Süd verlaufende Uferzone von Hiddensee weist ein räumlich sehr stark differenziertes Verhalten seit 1885 (vgl. Abb. 10) auf, so dass verallgemeinernde Aussagen schwierig sind. Die fehlenden Zeitschnitte von 1692 und 1835 beruhen zum einen auf der Nichtverfügbarkeit der Schwedischen Matrikelkarte von Hiddensee (1692) und der zu großen Fehlerbehaftung des Preußischen Urmesstischblattes (1835) nach der Einarbeitung in das GIS. Beide Karten kamen nur ausschnittsweise für die Flächenbetrachtungen am Bessin zur Anwendung.

In der Abb. 11 wurden drei charakteristische Abschnitte (Kkm H3,200–6,300; Kkm 6,400–8,400; Kkm 8,500–12,800) zusammengefasst. Dabei ist zu erkennen, dass im nördlichen Abschnitt ein durchschnittlicher jährlicher Rückgang der Uferlinie von 0,31 m besteht. Demgegenüber sind im mittleren Teil kaum Veränderungen nachweisbar. Im südlichen Teil erhöht sich die Abrasion auf 0,8 m/Jahr.

Den östlichen Abschluss des untersuchten Gebietes bilden die Haken Alt- und Neubessin, die im gesamten Zeitraum seit 1692 Akkumulation unterschiedlicher Intensität aufweisen. Der Flächenzuwachs der Haken ist für den Zeitraum von 1692–1885 mit jährlich 2000 Quadratmetern ausgewiesen (vgl. Abb. 12). Dieser Flächenzuwachs vervielfacht sich im 20. Jhd. auf 7–8000 Quadratmeter/Jahr.

3.3 Geomorphologische Charakteristik

Der Untersuchungsraum Fischland-Darß-Zingst-Hiddensee ist das westlichste Glied der mecklenburgisch-vorpommerschen Boddenausgleichsküste und wird zum überwiegenden Teil durch Flachküstenabschnitte geprägt. Langgestreckte flache Sandstrände, gesäumt von Dünergürteln bilden das charakteristische Element der Außenküste. Pleistozäne Steil-

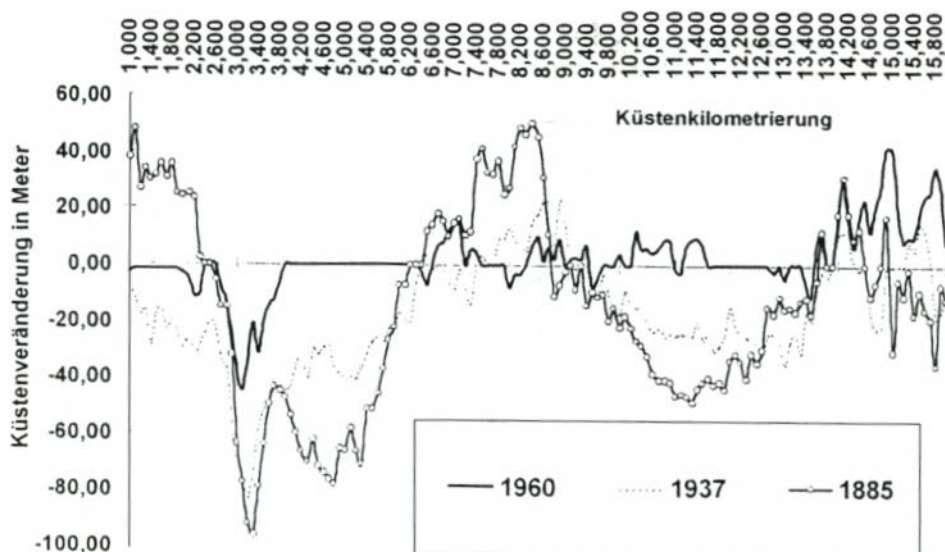


Abb. 10: Küstenveränderungen der Uferlinie von Hiddensee seit 1885

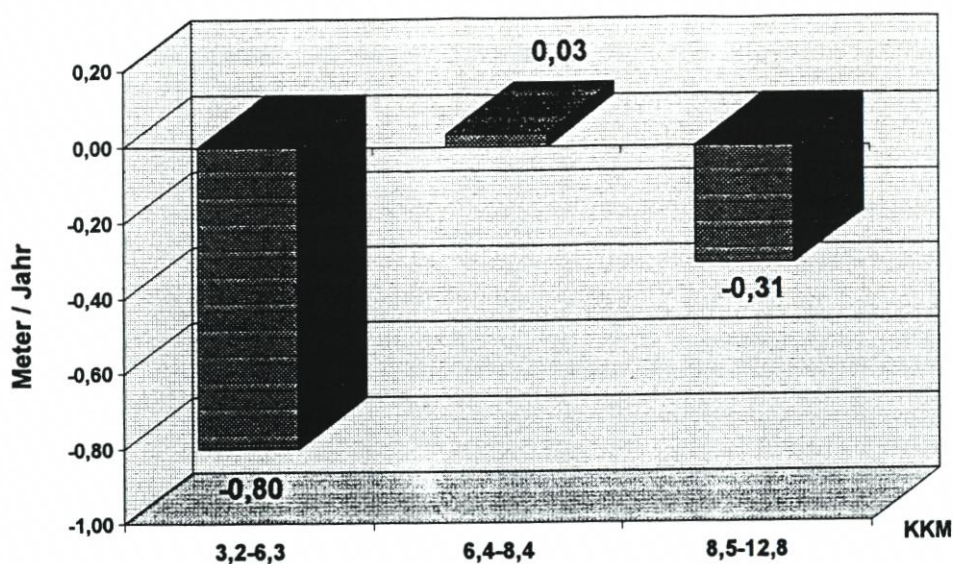


Abb. 11: Jährliche Küstenveränderungen der Uferlinie von Hiddensee von 1937–1983

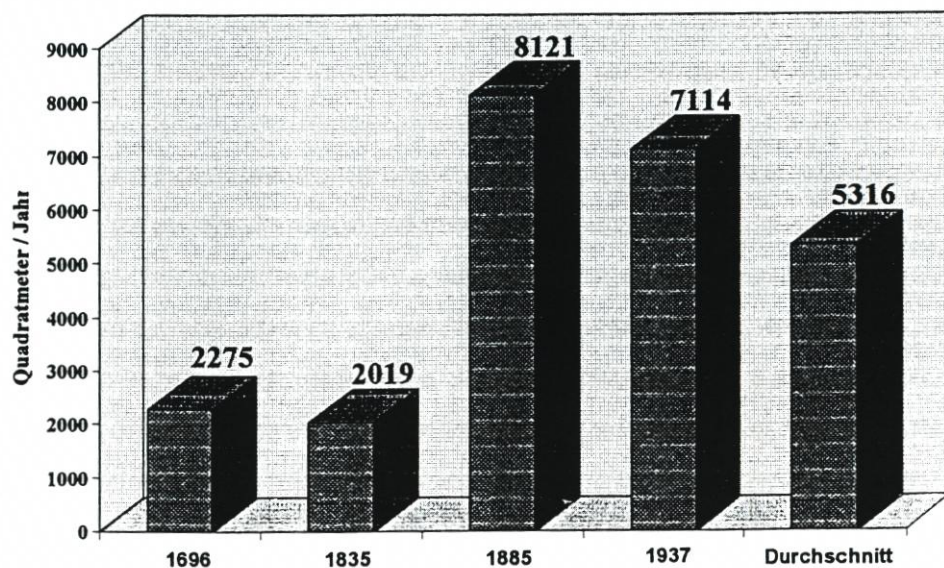


Abb. 12: Flächenveränderungen am Bessin (Hiddensee)

uferstrecken sind nur in geringer Ausdehnung am Fischland bei Dierhagen sowie von Wustrow bis Ahrenshoop und mit dem Dornbusch im Norden der Insel Hiddensee zu finden (vgl. Abb. 1). Vom Küstenverlauf kann das Untersuchungsgebiet in 3 Hauptabschnitte gegliedert werden:

1. Die SSW-NNE verlaufende Küstenzone von Dierhagen bis Darßer Ort
2. Die W-O verlaufende Küstenzone vom Darßer Ort bis zum Bock
3. Die N-S verlaufende Küstenzone der Insel Hiddensee

Die Betrachtung der geomorphologischen Verhältnisse dieser drei Küstenabschnitte erlaubt erste Aussagen zur Küstendynamik und zum Küstenverhalten. Dabei sind insbesondere die küstennahen Sandriffe als Indikatoren der Kausalkette: Klima-Wellenaufbau-Sandbewegung-Morphologie zu werten. Für den Raum Fischland-Darß-Zingst-Bock wurden die vorhandenen Luftbildserien bezüglich der Sandrifftopographie untersucht (KRAUSE, 1996).

3.3.1 Geomorphologische Charakteristik der Küstenzone von Dierhagen bis Darßer Ort

Von Dierhagen bis Wustrow ist die Flachküste durch einen relativ breiten und gering geneigten Sandstrand gekennzeichnet. Von Süd nach Nord nimmt die Strandbreite von ca. 60 m auf ca. 40 m ab, um dann im Bereich der Steilküste des Fischlandes auf eine mittlere Breite von 5 m zurückzuweichen. Der schmale Geröllstrand bietet dem Fischlandkliff wenig Schutz, so dass das Kliff schon bei geringer Welleneinwirkung angeschnitten wird. Dementsprechend sind die Rückgangsraten mit durchschnittlich 0,8 Meter/Jahr relativ hoch.

Nördlich des Fischlandkliffs nimmt die Strandbreite kontinuierlich in Richtung Darßer Ort ab (Ahrenshoop ca. 30 m, Rehberge ca. 20 m, Esper Ort ca. 10 m). Mit dem Übergang in das Akkumulationsgebiet Darßer Ort nimmt die Strandbreite wieder zu.

In allen Luftbildserien von 1937–1992 herrschen im Küstenvorfeld von Dierhagen bis Esper Ort bogenförmige Sandriffstrukturen vor (vgl. Abb. 17). Grundsätzlich ist eine dachziegelartige Anordnung der Sandriffe von Süd nach Nord zu verzeichnen. Von einem südlichen Ansatzpunkt am Strand laufen die einzelnen Sandriffe nach mehreren Kilometern aus. Eine derartige Sandriffkonfiguration verweist auf einen vorherrschenden Küstenlängstransport in nördliche Richtung, was gut mit den dominanten West- bis Südwestwinden korreliert. Kleinere SW-verlaufende Querstrukturen sind vermutlich Relikte N-S-gerichteter Transportbedingungen bei Windeinwirkungen aus nördlichen Richtungen.

Die bogenförmige Ausbildung zahlreicher Riffsegmente spricht für eine starke Ausprägung küstennormaler Transportprozesse in diesem Küstenabschnitt (vgl. KRAUSE, 1996). Aus morphodynamischer Sicht ist die Küstenstrecke als abrasiver Durchfrachungsraum mit einem Nettosedimenttransport in nördliche Richtung zu betrachten (vgl. Abb. 19).

Der Hauptteil des nach Norden transportierten Sedimentes kommt am Darßer Ort zur Ablagerung. Das Wachstum, die Dynamik und die geomorphologischen Formen der Landspitze Darßer Ort sind eingehend bei KOLP (1978) beschrieben. Strandverbreiterung sowie subaerische und submarine Aufbauformen (Strandwälle, Dünen, Querrippeln und Schaar) belegen den akkumulativen Charakter dieses Gebietes. Die Sedimentzufuhr erfolgt über zwei küstenparallele Sandriffe, die etwa im Bereich Esper Ort ansetzen (vgl. Abb. 17). Diese Sandriffe zeigen einen geradlinigen Verlauf und weisen damit auf ein Überwiegen der küstenlateralen Transportkomponente ab Esper Ort hin. Die Sandriffe enden auf der NO-Spitze der Darßer Schaar.

Ein kleineres Sandriffsystem setzt dann erst wieder im Bereich der Bernsteininsel ein. Sein N-S-Verlauf ist Hinweis auf einen südwärts gerichteten Sedimentversatz.

3.3.2 Geomorphologische Charakteristik der Küstenzone von Darßer Ort bis Bock

Der „Nordstrand“ von Prerow ist durch einen sehr breiten und flach geneigten Strand gekennzeichnet. Die Strandbreite nimmt von ca. 120 m in Richtung Zingst auf unter 50 m ab und beträgt zwischen Zingst und Pramort ca. 20–30 m. Vor dem Nordstrand von Prerow sind in der Regel 2–3 Sandriffe ausgebildet, wobei die inneren Sandriffe bogenförmigen und das äußere Sandriff geradlinigen Verlauf besitzen. Vom Freesenbruch bis zum Bock existieren zwei Sandriffe. Das äußere Sandriff verläuft geradlinig und weist eine dachziegelartige Anordnung von West nach Ost auf. Der Riffaufbau von Prerow bis zum Bock spricht für ein Überwiegen der küstenparallelen Transportprozesse, wobei vom Zingst bis zum Bock die W-O-Richtung und vom Freesenbruch bis Prerow die O-W-Richtung dominiert. Die Ablagerung des verfrachteten Materiales erfolgt zwischen Gellen und Bock sowie am Nothafen Darßer Ort. Stärkere küstennormale Transportkomponenten sind nach der Riffkonfiguration am Nothafen, im Bereich des Freesenbruches und am Ostende des Bock (vgl. Abb. 19) zu erwarten.

3.3.3 Geomorphologische Charakteristik der Küstenzone der Insel Hiddensee

Der Sandstrand der Flachküste der Insel Hiddensee besitzt relativ einheitliche Strandbreiten von 20–40 Metern. Minimale Strandbreiten sind lokal am Küstenknick beim „Harten Ort“, südlich der Ortschaft Vitte, südlich Hassenort und zwischen Küstenkilometer H 3,000 und H 4,000 zu finden. Dies sind anscheinend die Bereiche mit wechselnden Transportverhältnissen sowie küstennormal ausgeprägten Transporttendenzen (vgl. Abb. 20). Vom Harten Ort bis zur Südspitze des Gellen kann ein fast durchgängiges, äußeres Sandriff beobachtet werden (vgl. Abb. 18). Dieses Riff verläuft geradlinig und weist auf die Dominanz küstenparalleler Transportvorgänge vor Hiddensee hin. Die dominante Transportrichtung ist Nord-Süd und kommt in den Akkumulationsverhältnissen am Gellen zum Ausdruck. Lediglich zwischen Vitte und Hucke ist aus der Sandriffkonfiguration ein Transport in Nordrichtung abzuleiten. Am Steilufer des Dornbusch herrschen Transportverhältnisse in Ostrichtung vor. Das hier abgetragene Material kommt in der Libbenbucht zur Ablagerung und dient zum Aufbau der Hakenbildungen am Bessin (vgl. Abb. 12).

3.4 Aero-, hydro- und morphodynamische Wechselwirkungen

Im Folgenden sollen die festgestellten Küstenveränderungen verallgemeinernd betrachtet werden, um daraus Aussagen zu den aero-, hydro- und morphodynamische Wechselwirkungen abzuleiten. Der Darßer Weststrand ist weitgehend unbeeinflusst von Küstenschutzmaßnahmen und deshalb für Verallgemeinerungen prädestiniert.

Schematisiert man sein Küstenverhalten wie in der Abb. 13, so werden z.B. für die Zeiträume 1885–1937 und 1937–1983 völlig unterschiedliche dynamische Verhaltensweisen

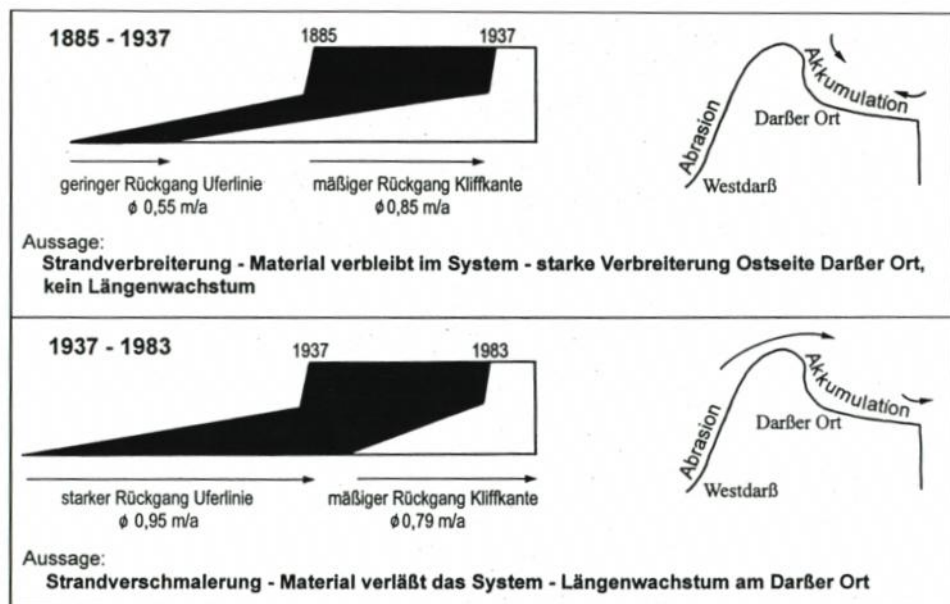


Abb. 13: Schematisches Küstenverhalten am Westdarß in den Zeitschnitten 1885–1937 und 1937–1983

deutlich. Im Zeitraum 1885–1937 ist ein schnelles Zurückweichen der unteren Kliffkante zu verzeichnen. Gleichzeitig ist der Uferlinienrückgang gering, was zu positiven Strandverhältnissen (Strandverbreiterung) führt.

Demgegenüber kommt es im Zeitraum 1937–1983 durch vermehrte Strandzehrung bei gleichzeitiger Verminderung des Kliffabtrages zu einer Strandverschmälerung.

Daraus ist zu schlussfolgern, dass im erstgenannten Zeitabschnitt eine große Menge Material im Sedimenthaushalt des Darßer Weststrandes verbleibt, während im letztgenannten Zeitraum Sedimentmaterial das betrachtete Bilanzsystem verlässt.

Die morphologische Charakteristik des betrachteten Küstenabschnittes besteht gegenüber anderen Sandstränden in einem relativ schmalen und flachen Strand (vgl. Kapitel 3.3.1), dessen Dünenkliffstrecke ohne größere Wasserspiegelanhebungen schon bei stärkerem, auflandigem Wellenaufwurf unter Abbruch steht. Die Küstenkonfiguration zeigt einen SSW bis NNE gerichteten Küstenverlauf, der hinter dem Sandsporn des Darßer Ortes abrupt eine W-E-Richtung einnimmt. Aus der Literatur ist bekannt (KOLP, 1978), dass starke W- bis SW-Winde einen transportkompetenten Brandungsstrom in nordöstliche Richtung, zum Darßer Ort hin, erzeugen. Dieser sedimentbeladene Brandungsstrom läuft an der Spitze des Darßer Ortes seewärts aus, wodurch aufgrund der abnehmenden Transportkraft Sedimentakkumulation einsetzt (vgl. Abb. 19).

Das so abgelagerte Sedimentmaterial ist damit weitgehend dem Küstenhaushalt des Weststrandes entzogen. Bei Vorherrschen dieser Windrichtungen sollte ein negativer Materialhaushalt oder anders gesprochen ein starker Kliff- und Strandrückgang an der Darßer Westküste die Folge sein. Da aber die angesprochenen W- bis SW-Winde häufig niedrigere Wasserstände an der südlichen Ostseeküste verursachen, wird ihr Einfluss verstärkt auf den Abbau bzw. Rückgang der Uferlinie konzentriert sein, so dass sich ein stärkerer Uferlinien- als Kliffrückgang ergibt.

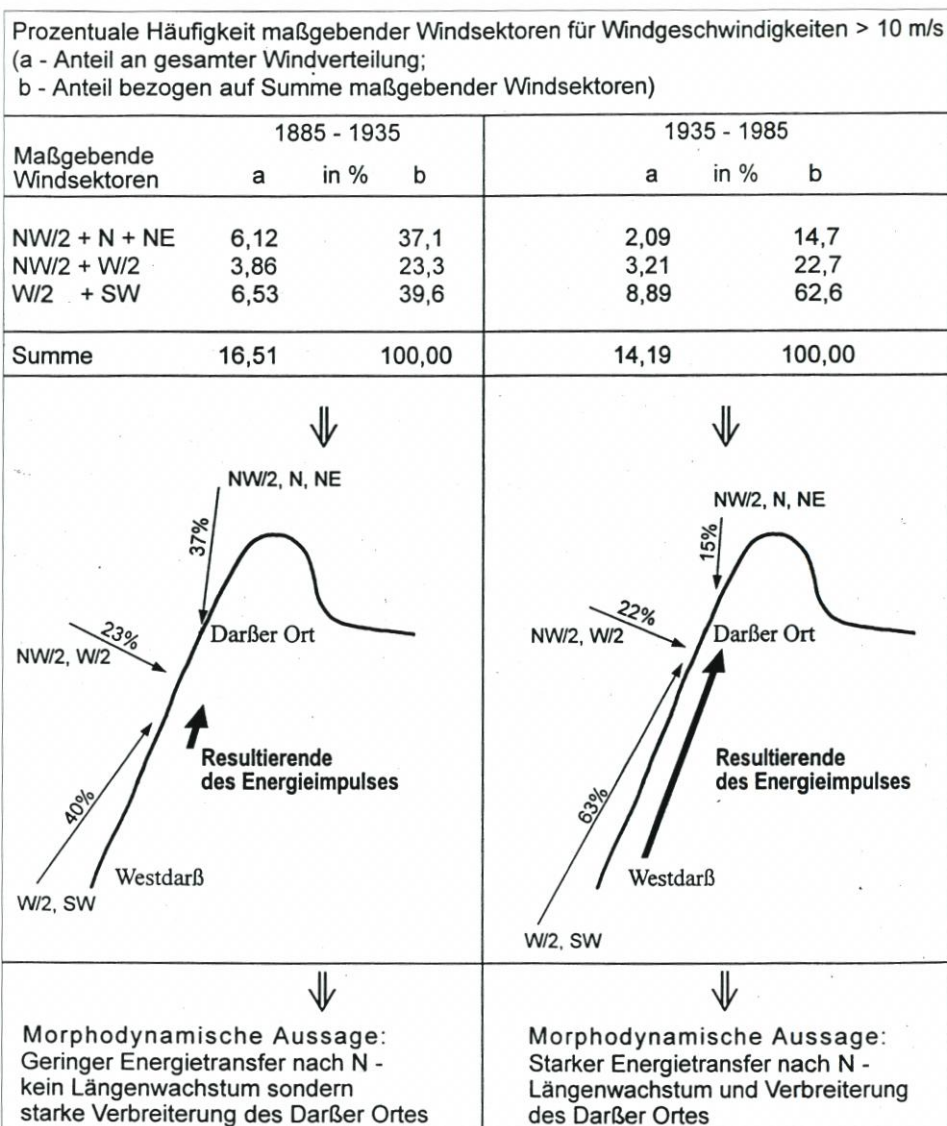


Abb. 14: Das Küstenverhalten am Westdarß in Beziehung zur durchschnittlichen Windcharakteristik

Starkwinde aus nördlicher bis nordöstlicher Richtung erzeugen demgegenüber einen SW-gerichteten Brandungslängsstrom, der das im betrachteten Küstenabschnitt abgetragene Sediment entsprechend nach SW verfrachtet. Auflandige, nördliche Winde bewirken an der südlichen Ostseeküste erhöhte Wasserstände, so dass die Dünenkliffstrecke unter diesen Bedingungen häufiger dem Wellenangriff ausgesetzt sein wird und somit höhere Kliffrückgänge normal sind. Gleichzeitig erhält das Bilanzsystem der Darßer Westküste eine erhöhte Menge Sedimentmaterial, das zur Strandstabilisierung bzw. -verbreiterung beiträgt. Unter letztgenannten Windbedingungen wird weiterhin die Schaar des Darßer Ortes abradiert (vgl.

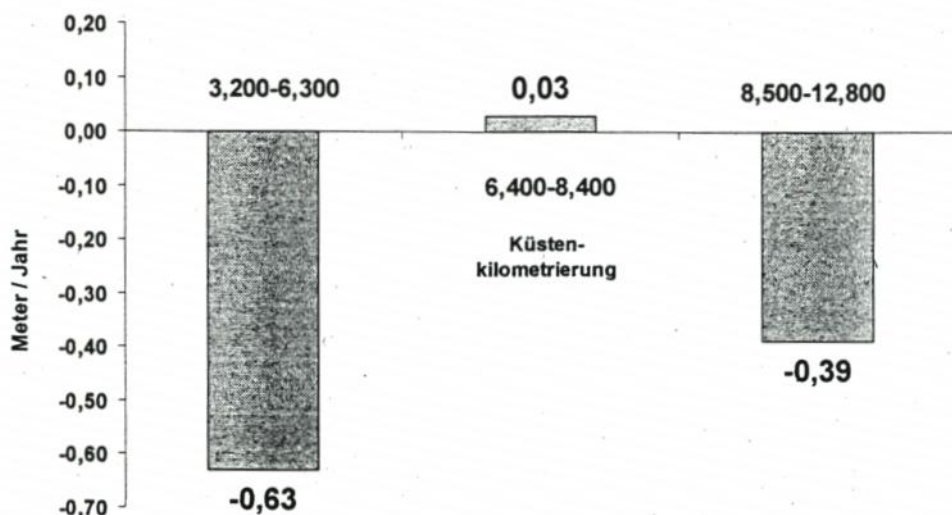


Abb. 15: Küstenverhalten der Kliffkante von Hiddensee zwischen 1885 und 1937

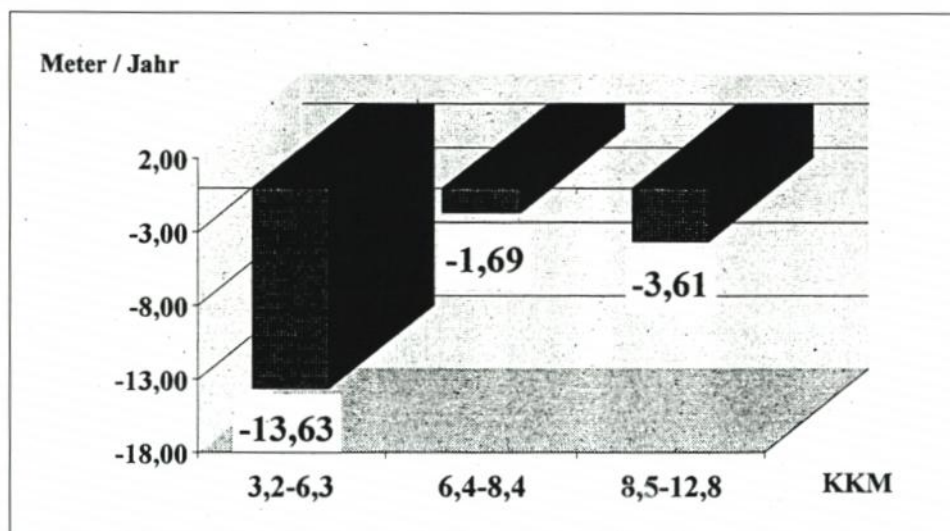


Abb. 16: Durchschnittliche Veränderungen der seeseitigen Dünenunterkante (SDUK) von Hiddensee zwischen November 1994 und 1995 (nach der Sturmflut)

KOLP, 1978) und das Material verstärkt in südliche Richtungen (zum Westdarß und zur Prerow-Bucht, vgl. Abb. 21) transportiert. Hieraus resultiert eine starke Verbreiterung der Landspitze Darßer Ort, was den enorm hohen Wert des Flächenzuwachses im Zeitschnitt 1885–1937 bedingt. Von 1695 bis 1835 ist die Flächenzunahme im Wesentlichen durch ein nach NE gerichtetes Längenwachstum geprägt. Die Zeiträume von 1835–1885 und 1937–1983 zeigen morphodynamisch sowohl Streckung als auch Verbreiterung für die Landspitze Darßer Ort.

Die Ursache für die beschriebene küstendynamische Konstellation am Darß dürfte in

Umstellungen der lokalen Windfelder, induziert durch großräumige Schwankungen der atmosphärischen Zirkulation, zu suchen sein. In parallel laufenden Projektuntersuchungen des Meteorologischen Institutes der Universität Leipzig (TETZLAFF u. BECKMANN, 1994) wurden für das Untersuchungsgebiet Windmesswerte der Stationen Wustrow und Warnemünde analysiert und homogenisiert. Durch diese Arbeiten liegt eine geschlossene Windmessreihe von 1885 bis 1995 vor. Somit können die beschriebenen küstendynamischen Verhaltensmuster zumindest für die jüngeren Zeitschnitte (seit 1885) mit dem Verhalten der lokalen Windfelder dieses Zeitraumes korreliert werden. Hierzu wurden die zahlreichen Winddaten sehr stark komprimiert (Abb. 14). Berücksichtigung fanden nur Windstärken > 10 m/s und die für das Küstengeschehen an der Darßer Westküste zuständigen Windrichtungen. Die Windrichtungen wurden in 3 Gruppen zusammengefaßt:

Gruppe 1:	NW/2 + W/2	(315°–270°)
Gruppe 2:	NW/2 + N + NE	(315°–67,5°)
Gruppe 3:	W/2 + SW	(270°–212,5°)

Die Gruppe 1 repräsentiert morphodynamisch die Kräftegruppe, die weitgehend einen senkrechten Energieimpuls auf die Küste liefert. Dagegen kennzeichnet Gruppe 2 die Kräfte, die SW-gerichtete und Gruppe 3 die Kräfte, die NE-gerichtete Energieimpulse auf die Küste auslösen dürften. In der Summe der ausgewählten, maßgeblichen Windrichtungen bestehen zwischen den beiden Vergleichszeiträumen keine gravierenden Differenzen. Interessanter ist die prozentuale Aufgliederung in den 3 Gruppen. Für 1890–1935 kann im Durchschnitt eine ausgeglichene Wind- und damit Kräftebilanz zwischen SW- und NE-gerichteten Kraftvektoren ausgewiesen werden. Diese Ausgeglichenheit verschiebt sich im Zeitraum 1940–1985 eindeutig zugunsten des NE-gerichteten Windfeldes. Die NE-gerichtete Komponente der berücksichtigten Messwerte erreicht in diesem Zeitraum durchschnittlich das 4-fache des SW-gerichteten Kräfteinflusses. Die NW/2 + N + NE-Komponente verdreifacht sich 1940–1985 gegenüber 1885–1935. Die ufernormal auftretende Kräftegruppe (NW/2 + W/2) hat für beide Zeitschnitte ähnliche Werte.

Ausgehend von diesem Windverhalten ist zu erwarten, dass im Zeitraum 1890–1935 die Ausgeglichenheit der gegensätzlichen Kräftegruppen ein verstärktes Hin- und Herzirkulieren des Sedimentmaterials innerhalb des Systems Darßer Westküste bedingt. Der stärkere

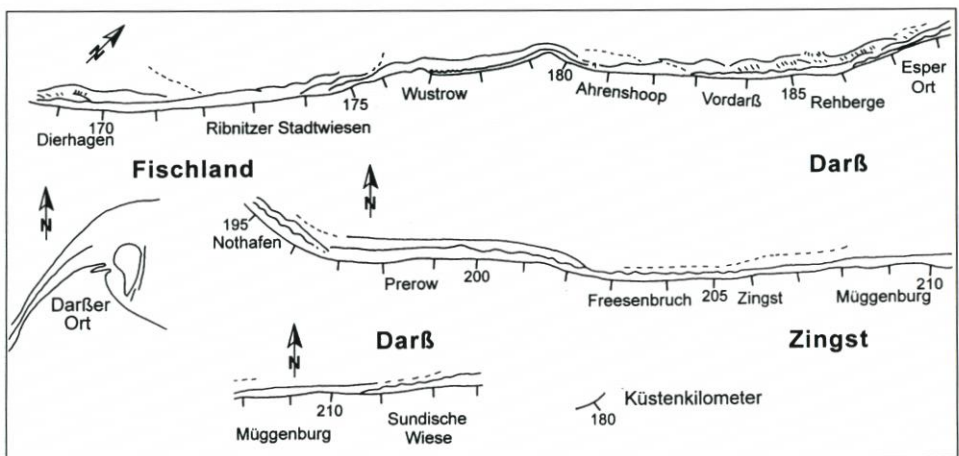


Abb. 17: Sandriffkonfiguration zwischen Dierhagen und Sundische Wiese nach dem Küstenbildplan von 1992

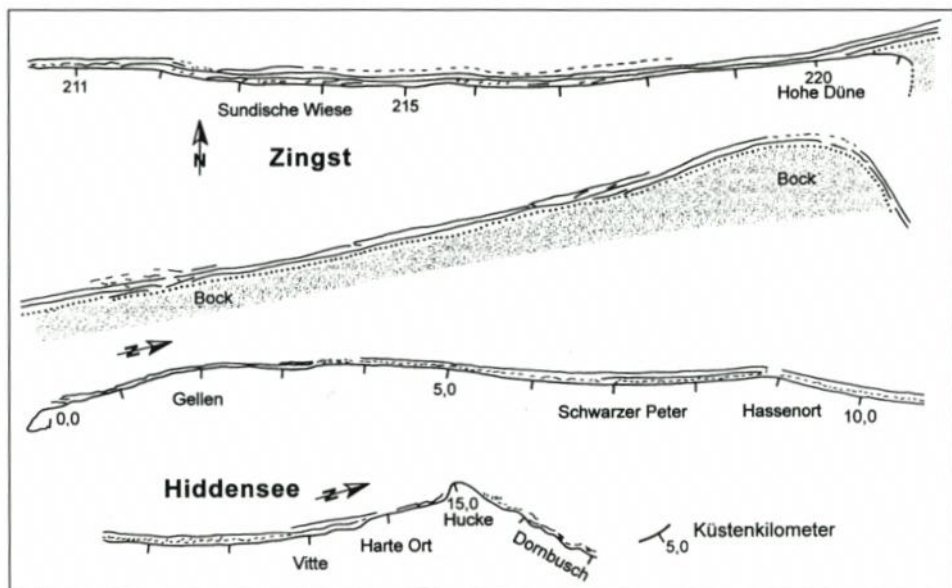


Abb. 18: Sandriffkonfiguration zwischen Sundische Wiese und Hücke nach dem Küstenbildplan von 1992

Einfluss hochwasserfördernder Windrichtungen produziert einen gewissen Kliffrückgang, der die positive „Strandbilanz“ weiter unterstützt. Insgesamt bleiben beide Werte (Kliff- und Uferlinienrückgang) jedoch gering. Eine derartige Situation sollte eine geringe Flächenzunahme am Darßer Ort erzeugen. Das Gegenteil ist jedoch der Fall. Die Flächenzunahme ist infolge der ostwärtigen Verbreiterung der Landspitze zwischen 1885 und 1937 im Maximum. Dieser scheinbare Widerspruch kann durch nähere Betrachtung der Morphodynamik aufgelöst werden. Der 1885 weit nach NE vorspringende Haken (vgl. Abb. 21), gewinnt bis 1937 Landanschluss, indem sich ein von der Landspitze südwärts und ein vom Prerower Nord-

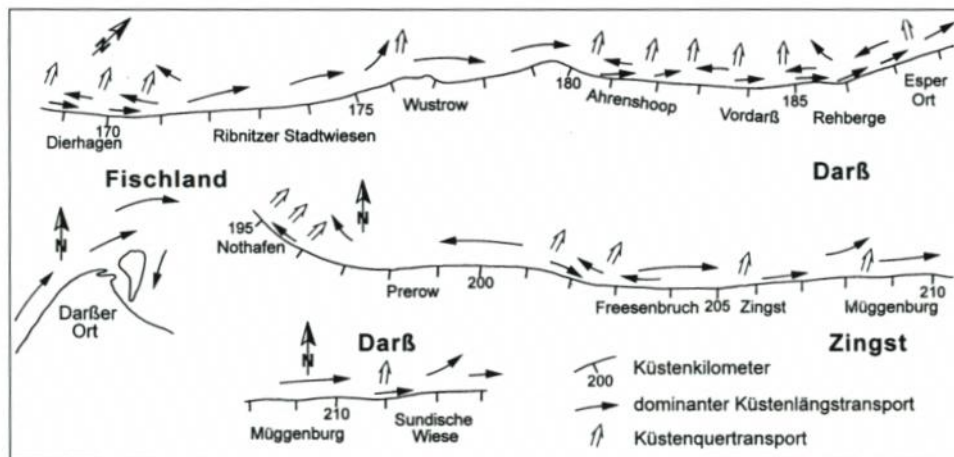


Abb. 19: Hauptrichtungen des Sedimenttransfers zwischen Dierhagen und Sundische Wiese

strand nordwärts wachsender Haken vereinigen und eine größere Lagune (den sogenannten Otto-See) abschließen. Für diesen Prozess können nur nördliche Winde verantwortlich gemacht werden. Die starke Verbreiterung 1885–1937 korreliert also mit dem deutlichen Hervortreten nördlicher Starkwinde. Weiterhin sind für diesen Zeitraum das Auftreten von sechs schweren Sturmhochwassern hervorzuheben (vgl. BAERENS u. HUPFER, 1994). Unter diesen Bedingungen ist gleichzeitig eine stärkere Sedimentzufuhr vom Zingster Abtragungsstrand zum Prerower Akkumulationsgebiet zu erwarten. Von 1937 bis 1983 dominieren Starkwinde aus südlichen Richtungen. Der erhöhte Materialtransport an der Darßer Westküste in nördliche Richtung dient dem Aufbau der submarinen Schaar des Darßer Ortes, was zum Auftauchen der Bernsteininsel in den 50er Jahren führt (vgl. KOLP, 1978). Hierdurch wird zunächst eine Streckung des Hakens nach NE erreicht. Die Zustandsbilder des Darßer Ortes zeigen, dass in den Folgejahren eine südwärtige Verlängerung der Bernsteininsel und schließlich ihr Landanschluss zu einer geringen ostwärtigen Verbreiterung der Landspitze führten. Bemerkenswert ist, dass der Übergang von Streckung zu Verbreiterung in einen Zeitraum mit drei schweren Sturmhochwassern fällt.

Mit den geschilderten Windverhältnissen und ihren hypothetischen Wirkungen ist der Kreis Aero-, Hydro-, Morpho- und Sedimentdynamik weitgehend geschlossen. Die erzielten Korrelationen sowie Raum-Zeit-Prozess- und Wirkungsübereinstimmungen geben den erfolgten Analysen und Interpretationen Sicherheit. Schon geringe prozentuale Schwankungen der Windrichtungen führen anscheinend zu deutlichen Veränderungen im Küstenverhalten. Kehrt man diese Beziehung um, so sollte man die historisch festgestellten Veränderungen des Küstenverhaltens auch auf entsprechende Schwankungen der Windrichtungen zurückführen können. So gesehen ist der Zeitraum von 1695–1835 als dominanter Abschnitt südlicher Starkwinde zu werten, denn er beinhaltet die höchsten Rückgangsbeträge an der Darßer Westküste sowie die stärkste Streckungsphase der Landspitze Darßer Ort. Schwere Sturmhochwasser infolge von Starkwinden aus nördlicher Richtung dürften in diesem Zeitraum nur untergeordnete Bedeutung besitzen, denn das Breitenwachstum der Landspitze ist äußerst gering. Die Ursachen für das Küstenverhalten von 1835–1885 sind etwas schwieriger zu beurteilen. Die hohen Uferlinienrückgänge am Westdarß sprechen für das Überwiegen südlicher Starkwinde. Das stärkere Zurückweichen der Kliffkante (1,31 m/Jahr) gegenüber der Uferlinie (1,28 m/Jahr) spricht aber auch für einen starken Einfluss von Hochwassern und damit nördlicher Starkwinde. Das Akkumulationsverhalten am Darßer Ort (Vgl. Abb. 21) weist 1885 unter Einbeziehung der Insel eine deutliche Streckung nach Nordost auf, gleichzeitig wird jedoch eine ostwärtige Verbreiterung der Landspitze und südwärtige Verlängerung des Nordostsporns deutlich. Letzteres ist am ehesten mit dem Küstenverhalten zwischen 1937 und 1983 vergleichbar. Es kann vermutet werden, dass zunächst eine stärkere Phase südlicher Starkwinde für den stärkeren Uferlinienabbau verantwortlich ist. Anschließend erfolgte eine Überprägung während einer stärker nördlich geprägten Phase. Hierfür spricht die Zunahme der Sturmhochwassertätigkeit seit den 60er Jahren des vergangenen Jahrhunderts. Die Sturmflut von 1864 führte im Untersuchungsgebiet zum Durchbruch durch die Insel Hiddensee und die Sturmflut von 1872 wird als stärkstes Extremereignis an der südlichen Ostseeküste geführt.

Hinsichtlich der Sturmhochwasser sollte damit der Zeitraum des ausklingenden 19. und des beginnenden 20. Jahrhunderts eine sturmflutaktivere Phase als der Zeitraum des 18. und des beginnenden 19. Jahrhunderts darstellen. SCHUMACHER (1991) kommt über die Zusammenstellung historischer Sturmfluten zu dem Ergebnis, dass das 14., 17. und 20. Jahrhundert als sturmflutintensivere Zeiträume ausgewiesen werden können und diese an klimatische Umstellungen mit einem Abstand von 250 bis 300 Jahren gebunden sind. Anhand geologi-

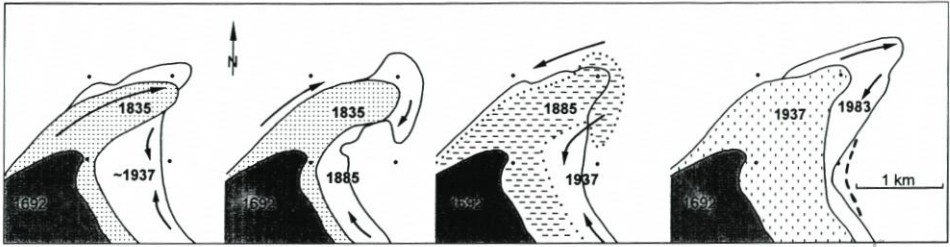


Abb. 21: Morphologische Entwicklung des Darßer Ortes von 1692 bis 1983 (Pfeile zeigen die jeweiligen Haupttransportrichtungen des Sedimentmaterials an)

Neuendorf und die Kkm 8,5–12,8 sind die Flachküste von Neuendorf bis Vitte. Die jährlichen Küstenveränderungen zwischen 1937 und 1983 laufen in diesen drei Bereichen sowohl für die untere Kliffkante als auch die Uferlinie konform. Beide morphologische Linien weichen im südlichen Bereich am stärksten zurück. Die gemessenen Werte von $-0,8$ m/Jahr (Uferlinie) und $-0,63$ m/Jahr (Untere Kliffkante) liegen etwa in dem Niveau der für diesen Zeitraum an der Darßer Westküste gemessenen Rückgangswerte. Allerdings ist auf Hiddensee der Uferlinienrückgang geringfügig höher als der der unteren Kliffkante. Auch im Nordteil der Hiddenseer Flachküste (Kkm 8,5–12,8) ist Küstenrückgang festzustellen. Jedoch ist dieser wesentlich geringer und vor allem sind in diesem Küstenabschnitt die Kliffrückgänge höher als die Uferlinienrückgänge. Der mittlere Teil (Kkm 6,4–8,4) zwischen diesen beiden Abrasionsbereichen zeigt mit gleichen Werten für Kliffkante und Uferlinie geringfügige Akkumulationstendenzen. Letzteres kann jedoch nicht mit Sicherheit behauptet werden, da der gemessene Wert im Fehlerbereich der Datenquellen bzw. der Datenbearbeitung (vgl. Kap. 3) liegt.

Somit ergibt sich ein deutlich unterschiedliches Verhalten der betrachteten Küstenabschnitte. Dieses unterschiedliche Raumverhalten sollte zum größten Teil morphodynamisch bedingt sein. Beim genauen Betrachten des Küstenverlaufes der Insel Hiddensee fällt auf, dass sich die N-S-erstreckende Außenküste in drei mehr oder weniger angedeutete Buchtfigurationen auflösen lässt, deren Erstreckung annähernd den ausgegliederten Küstenabschnitten entspricht. Weiterhin sind sowohl für den Küstenbereich bei Vitte aber insbesondere für den Küstenabschnitt Neuendorf–Schwarzer Peter intensivste Küstenschutzmaßnahmen zu konstatieren. Das Küstenverhalten zwischen Kkm 6,4 und 8,4 ist damit weitgehend anthropogen beeinflusst.

Bemerkenswert ist, dass die küstendynamischen Veränderungen, resultierend aus dem Extremereignis des Sturmhochwassers vom 3./4. 11. 1995 für die betrachteten Küstensegmente qualitativ und halbquantitativ annähernd zum Bild des langfristigen Küstenrückgangs kongruent sind (Abb. 15, 16). Hieraus können zunächst zwei wichtige Schlussfolgerungen gezogen werden:

1. Die unterschiedliche Reaktion der betrachteten Küstensegmente muss mit morphodynamisch und/oder anthropogen bedingten Gegebenheiten gekoppelt werden.
2. Das deckungsgleiche Küstenverhalten, ermittelt zum einen aus einem Karten-Luftbildvergleich für einen längeren Zeitraum (1937–1983) und zum anderen aus präzisen Nivellements für das o.g. Extremereignis, belegt die Zulässigkeit und die Zuverlässigkeit der angewandten Untersuchungsstrategie.

Eine oft in der Fachwelt diskutierte Frage ist:

Sind es die hydrodynamischen Maximal- bzw. Extremereignisse, die den Hauptteil der

morpho- und sedimentdynamischen Veränderungen an der Küste bewirken oder hat die Summe der langfristigen mittleren Ereignisse den entscheidenden Anteil?

Auch hierzu vermag das untersuchte Beispiel Erkenntnisse zu liefern. Es kann jedoch nur die Küstenstrecke zwischen Kkm 3,2 und 6,3 betrachtet werden, da innerhalb der anderen beiden Abschnitte anthropogene Effekte zu verzeichnen sind, die sich nicht ohne weiteres herausfiltern lassen. Zwischen Kkm 3,2–6,3 ist die untere Kliffkante von 1937 bis 1983 um 0,63 m/Jahr zurückgewichen. Dies bedeutet einen absoluten Kliffverlust von 29 Metern. Der mit Sicherheit auf das Sturmhochwasser vom 3./4. 11. 1995 zurückzuführende Kliffverlust der entsprechenden Küstenstrecke beträgt durchschnittlich 13,63 Meter. Das sind ca. 47 % des Gesamtabtrages innerhalb des betrachteten Zeitschnittes von 46 Jahren. Bedenkt man nun, dass mit dem Sturmhochwasser vom 4. 1. 1954 (vgl. KOLP, 1955) ein dem Hochwasser vom 3./4.11.1995 ebenbürtiges Extremereignis in den Betrachtungszeitraum fällt sowie weitere schwere Sturmfluten ($> 1,5$ m, für Pegel Warnemünde von 1937–1990 insgesamt +3, vgl. BAERENS u. HUPFER, 1994) auftraten, könnte der entscheidende Einfluss für den Rückgang der unteren Kliffkante in diesem Bereich in der Einwirkung von Extremereignissen gesehen werden.

Die Durchsicht der Profile des Dünenkatasters zeigt weiterhin, dass der hochwasserbedingte Kliffückschnitt in fast allen Fällen zu einer positiven Strandbilanz bzw. zu einer deutlichen Strandverbreiterung führte. Außerdem wird deutlich erkennbar, dass dort, wo schmale und unterernährte Sandstrände mit einer geringen Höhe des unteren Kliff-Fußes über NN existieren, der Rückschnitt besonders große Werte annimmt. Insofern kommt den langfristigen, mittleren Bedingungen eine enorme Bedeutung für das Küstenverhalten zu. Sie schaffen die Voraussetzungen für die lokale Wirksamkeit der Extremereignisse.

4. Danksagung

Die Untersuchungen wurden vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF), Projektträger DLR, im Rahmen des Verbundvorhaben „Klimawirkung und Boddenlandschaft“ gefördert.

Wir danken außerdem dem Staatlichen Amt für Umwelt und Natur Rostock, Abteilung Küste, für die Bereitstellung von Luftbildmaterial und Daten aus dem Dünenkataster.

5. Schriftenverzeichnis

- BAERENS, C. u. HUPFER, P.: Zur Häufigkeit von Extremwasserständen an der deutschen Ostseeküste, Teil 1: Sturmhochwasser. Spezialarbeiten aus der Arbeitsgruppe Klimaforschung des Meteorologischen Instituts der Humboldt-Universität Berlin, Nr. 8, Berlin, 1994, 22 S..
- CURSCHMANN, F.: Matrikelkarten von Vorpommern: 1692–1698, Karten und Texte 1. Teil. – Rostock: Carl Hinckel Verlag, 1950.
- DROLSHAGEN, C.: Die schwedische Landesaufnahme und Hufenmatrikel von Vorpommern als ältestes deutsches Kataster, I. Teil. – Beiheft zum 17./38. Jahresbericht der Geographischen Gesellschaft Greifswald. – Greifswald, 1920.
- DROLSHAGEN, C.: Die schwedische Landesaufnahme und Hufenmatrikel von Vorpommern als ältestes deutsches Kataster, II. Teil. – Beiheft zum 40./41. Jahresbericht der Geographischen Gesellschaft Greifswald. – Greifswald, 1923.
- FUKAREK, F.: Die Vegetation des Darß und ihre Geschichte. – Jena: Fischer Verlag, 1961.
- GEINITZ, E.: Die Landverluste an der mecklenburgischen Küste. – Mitt. Meckl. Geol. L.A. Rostock, 11, Rostock, 1903.

- GURWELL, B. R.: Komplexe Bearbeitung der Steiluferproblematik und erste Ergebnisse vom Hohen Ufer des Fischlandes. – Wiss. Z. d. Univ. Greifswald, Math.-Nat. R., XXXIV, Heft 4, Greifswald, 1985.
- JANKE, W. u. LAMPE, R.: Bericht zur holozänen Küstenentwicklung sowie zur subrezent und rezenten Küstendynamik der Halbinsel Fischland-Darß-Zingst. – unveröff. Bericht, 14 S., Greifswald 1993.
- KOLP, O.: Sturmflutgefährdung der deutschen Ostseeküste zwischen Trave und Swine. – Stralsund, 1955, 170 S..
- KOLP, O.: Das Wachstum der Landspitze Darßer Ort. – PGM 122: S. 103–111, Gotha, Leipzig, 1978.
- OTTO, TH.: Der Darß und Zingst, ein Beitrag zur Entwicklung der vorpommerschen Küste. – in: XIII. Jahresbericht der Geographischen Gesellschaft zu Greifswald Matrikelkarten von Vorpommern 1692–1698 nach der schwedischen Landesaufnahme. – Leipzig: Verlag Enzyklopädie, 1960, 23 S..
- REINHARD, H.: Der Bock. Entwicklung einer Sandbank zur neuen Ostsee-Insel. – Erg. Heft Nr. 251 zu Peterm. Mit., Gotha, 1953.
- REINHARD, H.: Küstenveränderungen und Küstenschutz der Insel Hiddensee. – Verl.d.Wiss. Berlin, 1956.
- SCHUMACHER, W.: Hinweis auf eine Klimarhythmik im Holozän Mittel- und Nordeuropas. – Schriften Naturwiss. Verein Schleswig-Holstein, Bd. 60, Kiel, 1990, S. 110.
- TETZLAFF, G. u. BECKMANN, B.: Untersuchungen von Häufigkeiten der Sturmwindereignisse in Zingst und extremen Pegelständen der Mecklenburg-Vorpommerschen Ostseeküste. – Jahresbericht 1995, Teil A: Meteorologische und morphodynamische Projekte, 19 S..
- TIEPOLT, L.: Landerschließung, Landnutzung und Landerhaltung in der nordwestpommerschen Boddenlandschaft seit 1692. – Universität Rostock, Dissertationsschrift, 1993, 150 S..
- TIEPOLT, L. u. SCHUMACHER, W.: Bearbeitung von Karten, Luft- und Satellitenbildern zur Untersuchung küstendynamischer Prozesse in der nordwestpommerschen Boddenlandschaft mit Hilfe von Geoinformationssystemen. – in: Fernerkundung der Ostseeküste: Boddenlandschaften in Mecklenburg-Vorpommern, 1998, ISBN 3-931498-30-1.
- ZANDER, R.: Die recenten Änderungen der Mecklenburgischen Küste. Beih. z. d. Mitt. d. Geogr. Ges. zu Rostock, 1, 78 S., Rostock, 1934.