

Über den Einfluß baulicher Veränderungen in der Elbe auf die Morphologie im Gebiet Hahnöfer Nebelbe / Mühlenberger Loch

Von ULLA MARNITZ

Zusammenfassung

Es wird untersucht, inwiefern sich bauliche Veränderungen auf die Morphologie der Hahnöfer Nebelbe und des Mühlenberger Loches im Zeitraum 1950-90 ausgewirkt haben. Schwerpunktmäßig wird die Hahnöfer Nebelbe behandelt, da ihre morphologische Charakteristik bisher weitgehend unbekannt ist. Die morphologischen Untersuchungen wurden auf der Grundlage der „Morphologischen Analysen Nordseeküste“ (MORAN, SIEFERT 1987) durchgeführt. Diese Methode wurde in Anlehnung an SIEFERT u. LASSEN (1987) für den Seitenarm eines Tideflusses modifiziert.

Große Baumaßnahmen haben in ihrer Gesamtheit zu einer Änderung der morphologischen Entwicklung geführt, die bis heute nachwirkt. Im Zeitraum vor den großen Baumaßnahmen (1950-63) kam das Untersuchungsgebiet dem Gleichgewichtszustand am nächsten. Im Zeitraum der großen Baumaßnahmen (1964-77) änderte sich die morphologische Charakteristik. Die Absperrung der Alten Süderelbe und der Bau des Neßleiddammes verringerten die Durchströmung des Untersuchungsgebietes und führten außer in der westlichen Hahnöfer Nebelbe zu starker Sedimentation. Die Fahrwasservertiefungen bewirkten eine Strömungskonzentration in der Hauptelbe, und bei weiträumigen Aufspülungen wurde Material direkt in das Untersuchungsgebiet eingebracht, so daß sich die Sedimentationsraten stark erhöhten. Gleichzeitig wurde in der Hahnöfer Nebelbe der Durchflußquerschnitt durch die Aufspülungen verringert und mit der Vertiefung des Fahrwassers die Erosionsbasis der Nebenrinnen tiefergelegt, so daß rückschreitende Erosion in der westlichen Hahnöfer Nebelbe und in der äußeren Außeneste stattfindet. Nach Abschluß der großen Baumaßnahmen (1979-90) nähert sich das Untersuchungsgebiet wieder einem Gleichgewichtszustand an, ist aber weiter davon entfernt als vorher.

Die morphologischen Parameter a_0 und $a_{0,9}$ sind über den Gesamtzeitraum mit $a_0 \leq 0,5$ und $a_{0,9} \leq 1$ Jahr sehr niedrig, was auf einen kurzfristigen Wechsel der äußeren Einflüsse durch Baumaßnahmen schließen läßt. Die mittlere Umsatzhöhe \bar{h}_v hat fortschreitend abgenommen, was auf eine Verringerung der Morphodynamik hinweist, die sich in der Sedimentationstendenz äußert. Die Gesamtbilanz der Hahnöfer Nebelbe und des Mühlenberger Loches weist im Zeitraum 1950-90 einen Sedimentationsüberschuß von rd. 13 Mio. m³ aus. Da z. Zt. kein Gleichgewichtszustand besteht, muß weiterhin mit Sedimentation gerechnet werden. Nur in der westlichen Hahnöfer Nebelbe und in der äußeren Außeneste dürfte sich die rückschreitende Erosion fortsetzen.

Summary

It is explored how constructional changes are influencing the morphology of the Hahnöfer Nebelbe and the Mühlenberger Loch during the period of 1950-90. The Hahnöfer Nebelbe is mainly treated because its morphological characteristic has been for the most part unknown until now. The morphological studies are based on the „Morphologische Analysen Nordseeküste“ (MORAN, SIEFERT 1987). This method has been modified for an arm of a tidal river according to SIEFERT and LASSEN (1987).

Important constructions in total have caused a change of the morphological development which is continuing until today. During the period before the important constructions were made (1950-63) the studied area was nearly in a state of equilibrium. During the period of the important constructions (1964-77) the morphological characteristic was changing. The damming off the Alte Süderelbe and the construction of the Neßleiddamm were decreasing the flow through in the

studied area and are causing very much sedimentation except in the western Hahnöfer Nebelbe. The deepening of the navigation channel have been concentrating the current in the main Elbe and when material was directly filled in the studied area the rates of sedimentation were much increasing. At the same time the fills were reducing the cross-section of flow in the Hahnöfer Nebelbe and the erosion level was deepened by the deepening of the navigation channel so that retrogressive erosion has been taking place in the western Hahnöfer Nebelbe and the outer Außeneste. After the important constructions were completed (1979-90) the studied area is approaching a state of equilibrium again but it departs from it more than before.

The morphological parameters a_0 and $a_{0,9}$ are very low with $a_0 \leq 0,5$ and $a_{0,9} \leq 1$ year during the whole period which suggests a short-dated change of the external influences by constructions. The mean turnover height \bar{h}_u is continuously decreasing. This indicates a decreasing morphodynamics which is shown in the tendency of sedimentation. The total material balance of the Hahnöfer Nebelbe and the Mühlenberger Loch shows a sedimentation surplus of 13 million cubic metres during the period of 1950-90. Since there is no state of equilibrium at the moment further sedimentation must be expected. The retrogressive erosion should continue only in the western Hahnöfer Nebelbe and the outer Außeneste.

Inhalt

1. Problemstellung	96
2. Die Hahnöfer Nebelbe und das Mühlenberger Loch	97
3. Methodisches Vorgehen	99
3.1 Die MORAN-Funktion	99
3.2 Datengrundlage	100
3.3 Anwendung auf die Hahnöfer Nebelbe und das Mühlenberger Loch	102
4. Ergebnisse der morphologischen Analysen	102
4.1 Kontinuierliche Entwicklung der Umsatz- und Bilanzhöhen in dem Zeitraum von 1950 bis 1990 für $a = 1$ Jahr und für $a = 2$ Jahre	103
4.2 Sedimentations- und Erosionsbereiche in der Hahnöfer Nebelbe und im Mühlenberger Loch im Zeitraum von 1950 bis 1990	108
4.3 Morphologische Analysen für die Hahnöfer Nebelbe und das westliche Mühlenberger Loch unter Anwendung der MORAN-Funktion (Feld 1-4)	109
5. Diskussion der Ergebnisse	117
6. Schlußbetrachtung	119
7. Parameterverzeichnis	119
8. Schriftenverzeichnis	120

1. Problemstellung

Die Hahnöfer Nebelbe und das Mühlenberger Loch haben im Zuge der Diskussion über die Fahrrinnenanpassung der Unterelbe und die Wiederöffnung der Alten Süderelbe in den letzten Jahren immer wieder die Aufmerksamkeit auch der Öffentlichkeit auf sich gezogen. Die geplante Fahrrinnenanpassung würde zum einen die Attraktivität des Standortes Hamburger Hafen aus wirtschaftlicher Sicht erhalten, zum anderen möglicherweise ökologische, morphologische und hydrologische Veränderungen in der Hauptelbe selbst und in ihren Seitenbereichen, z. B. den Nebelben, nach sich ziehen. Bei der geplanten Wiederöffnung der Alten Süderelbe handelt es sich dagegen um eine Ausgleichsmaßnahme.

In den letzten Jahren ist im Mühlenberger Loch und in der Hahnöfer Nebelbe eine verstärkte Sedimentation beobachtet worden. Es muß damit gerechnet werden, daß das Watt

des Mühlenberger Lochs bis auf Vorlandhöhe anwächst und das Mühlenberger Loch verlandet. Außerdem stehen die Schlicksedimente des Mühlenberger Lochs im Verdacht, an der Verschlickung der Hafenbecken beteiligt zu sein und den Sauerstoffgehalt der Elbe bei Hamburg zu beeinflussen (NEHLS, GREISER u. HARMS, 1993).

Insofern sind die morphologischen Verhältnisse und Entwicklungen in diesem Gebiet sowohl in ökologischer als auch in ökonomischer Hinsicht von Interesse. Diese gegenwärtigen morphologischen Gegebenheiten und zukünftigen Entwicklungen müssen in Abhängigkeit von den zahlreichen gravierenden Baumaßnahmen und als deren Ergebnis betrachtet werden.

Es erscheint daher sinnvoll, erstens den derzeitigen Zustand des Untersuchungsgebietes und zweitens die Auswirkungen bereits erfolgter Baumaßnahmen zu ermitteln. Das Mühlenberger Loch wurde bereits in den Arbeiten von SIEFERT (1984) und FELSHART (1987) unter morphologischen Gesichtspunkten eingehend behandelt, während die morphologischen Verhältnisse in der Hahnöfer Nebelbe weitgehend unbekannt sind. Daher soll die morphologische Charakteristik der Hahnöfer Nebelbe, ausgedrückt in Umsatz und Bilanz, und der Einfluß baulicher Veränderungen auf die Morphologie in diesem Bereich herausgearbeitet werden. Zur Bewältigung dieser Aufgabe bot sich ein Vorgehen auf der Grundlage der „Morphologischen Analysen Nordseeküste“ (MORAN) an.

2. Die Hahnöfer Nebelbe und das Mühlenberger Loch

Die Hahnöfer Nebelbe ist etwa 8 km lang. Im Norden wird sie durch die ehemaligen Strominseln Hanskalsand, Neßsand und Schweinsand, die durch mehrfache Aufspülungen zum langgestreckten „Neßsand“ verbunden worden sind, vom Hauptstrom der Elbe als Nebelbe abgegrenzt (Abb. 1). Im Süden teilt wiederum die Insel Hahnöfer Sand die seit 1974 abgedämmte Borsteler Binnenelbe von der Hahnöfer Nebelbe ab. Von Westen nach Osten wird die Hahnöfer Nebelbe insgesamt kontinuierlich flacher.

Das Mühlenberger Loch schließt sich im Osten an die Hahnöfer Nebelbe an. Es handelt sich um ein Süßwasserwattgebiet, das im Norden durch das Fahrwasser begrenzt wird. Es ist etwa 3,5 km lang und bis zu 2,5 km breit. Es wird von der im Süden einmündenden Außeneste, die unterhalten werden muß, gequert. Im Südosten mündete bis 1962 die Alte Süderelbe, die nach der verheerenden Sturmflut abgesperrt wurde. Östlich der Außeneste ist das Mühlenberger Loch in einem ca. 700 bis zu 1200 m breiten Bereich über Kartennull (KN = NN -1,40 m) aufgeschlickt. Westlich der Außeneste ist dieser Bereich bis zu 400 m breit. Im Nordosten wird das Mühlenberger Loch durch den Neßleitdamm vom Fahrwasser abgedämmt.

Vor Beginn der Ausbaumaßnahmen im 19. Jh. war das Untersuchungsgebiet der westliche Teil des Hamburger Stromspaltungsgebietes. Ein nördlicher Flußarm, die „Elbe“, und ein südlicher, die „Alte Süder Elbe“, umflossen mehrere Inseln. Die heutige Hahnöfer Nebelbe war damals der westliche Teil der Alten Süderelbe und diente als Fahrwasser. Im Bereich des Mühlenberger Loches war noch keine Erweiterung erkennbar (SIEFERT, 1984, S. 3ff.).

Die Anforderungen der Schifffahrt machten Flußregulierungen und -vertiefungen notwendig. Weil das Gebiet zwischen Blankenese und Schulau durch Überbreite zur Versandung neigte, wurde die Elbe zusätzlich durch Niedrigwasserleitdämme in ein Haupt- und ein Nebenfahrwasser geteilt (KRAUSE, 1955, S. 54). Damit wurde die Alte Süderelbe zum Nebenfahrwasser und verkümmerte. 1939 entstand das Mühlenberger Loch, als das Gebiet vor

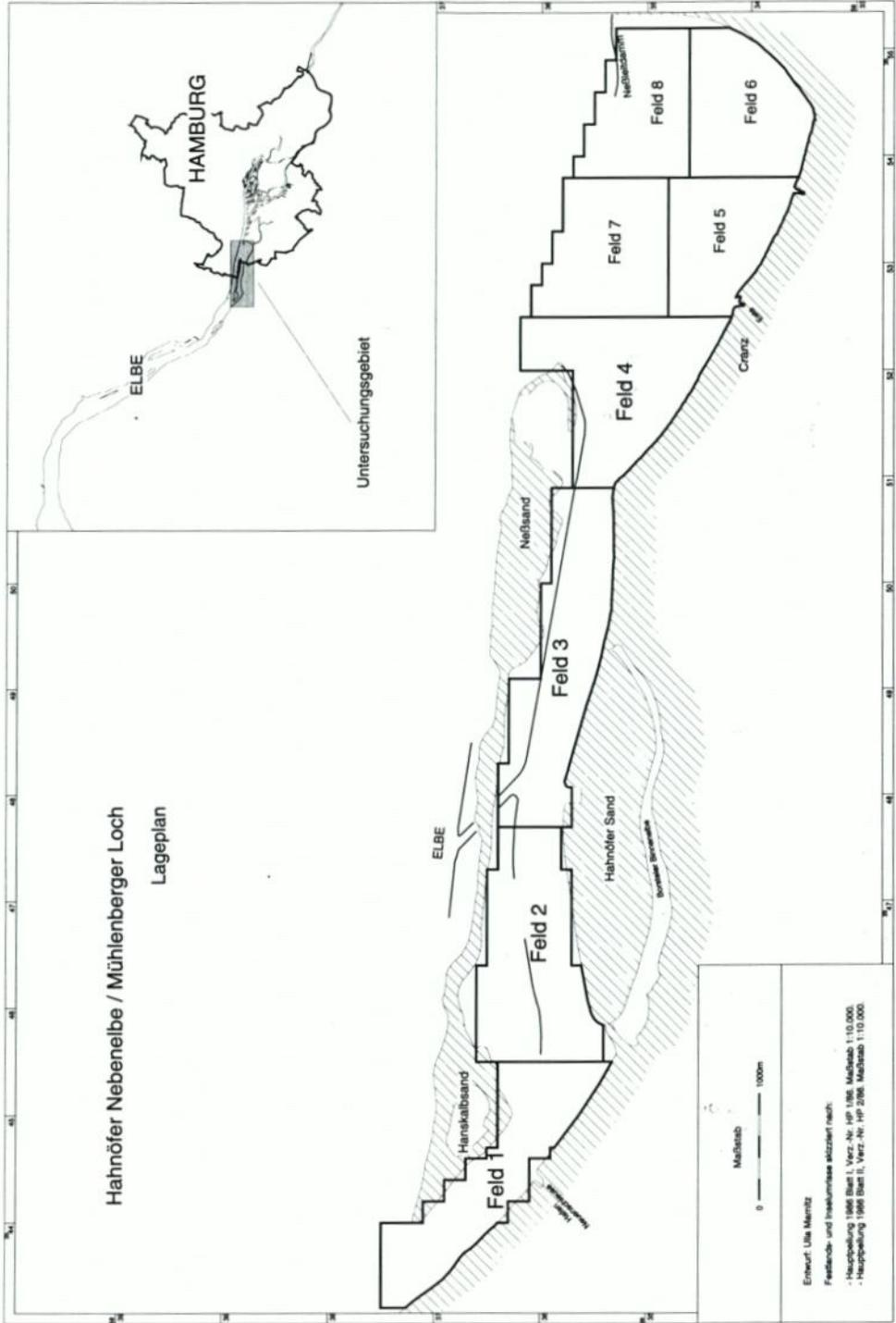


Abb. 1

dem Becken für Wasserflugzeuge bei MBB auf Finkenwerder als Start- und Landefläche großflächig tiefer gebaggert wurde.

Folgende Baumaßnahmen wurden im Bereich der Hahnöfer Nebelbe und des Mühlenberger Loches im Untersuchungszeitraum durchgeführt (nach SIEFERT, 1984, S. 6f. u. WASSER- UND SCHIFFFAHRTSDIREKTION NORD, 1993):

- | | |
|---------|---|
| 1946-65 | Ausbaggerung von Wracks aus dem Mühlenberger Loch |
| 1957-61 | Ausbau des Fahrwassers der Unterelbe auf 11 m KN:
1957 Baggerstrecke Wedel |
| 1959 | erstes Estesperwerk (rd. 1,2 km oberhalb der Mündung) |
| 1962 | nach der verheerenden Sturmflut im Februar 1962 Absperrung der Alten Süderelbe im Zuge des Deichneubaus |
| 1964-66 | Bau des neuen Hauptdeiches vor Cranz; im westlichen Mühlenberger Loch vor Cranz 300 000 m ³ Sand entnommen |
| 1964-69 | Ausbau des Fahrwassers der Unterelbe auf 12 m KN:
1967-68 Baggerstrecke Wedel;
Verbindungen Hanskalbsand-Neßsand und Neßsand-Schweinsand aufgespült |
| 1967 | zweites Estesperwerk (an der Mündung) |
| 1969-70 | Bau des Neßleitdamms |
| 1972-75 | Aufspülungen im ehemaligen Neßhafen: rd. 1,5 Mio. m ³ Mischboden in den Hafen und das Mühlenberger Loch |
| 1972-77 | Aufspülung der „Sichel“ am Ostende des heutigen Neßsandes |
| 1973 | 1,2 Mio. m ³ für den Deich auf Hahnöfer Sand aus der Hahnöfer Nebelbe entnommen |
| 1974 | Absperrung der Borsteler Binnenelbe bei Eindeichung des Hahnöfer Sandes |
| 1974-78 | Ausbau des Fahrwassers der Unterelbe auf 13,5 m KN:
1974-78 Spülfeld Hanskalbsand
1976-78 Baggerabschnitt 8
1977-78 Aufspülung Neßsand mit Querschnittseinengung |
| 1976 | 80 000 m ³ Schlack in das Mühlenberger Loch eingebracht |
| 1980 | Ufer der Hahnöfer Nebelbe ca. 20 m breit vorgespült |

Außerdem wurden Ausbau- und Unterhaltungsbaggerungen in der Außeneste vorgenommen und für verschiedene Bauzwecke Baggerlöcher ausgehoben, die z. T. wieder verfüllt wurden. Bis 1977 wurde in verschiedenen Jahren in der Hahnöfer Nebelbe im Rahmen der Fahrrinnenunterhaltung verklappt (insgesamt etwa 1,2 Mio. m³).

3. Methodisches Vorgehen

3.1 Die MORAN-Funktion

Die Entstehungsgeschichte des Projektes „Morphologische Analysen Nordseeküste“ (MORAN) und ihre Zielsetzung ist bei SIEFERT (1987) und bei HOFSTEDÉ (1991) beschrieben worden. Um Bilanzen und Umsätze zu quantifizieren, wird das betrachtete Gebiet in Anlehnung an das Gauß-Krüger-System in Teilflächen von 1 ha gerastert. Für jede Teilfläche wird ein mittlerer Tiefenwert bestimmt. Eine sog. „Kleine Einheit“ setzt sich aus 100

Teilflächen zusammen, ist also 1 km² groß. Über den Vergleich von zwei Kartenaufnahmen wird ein Tiefenänderungsplan erstellt, so daß man für eine Kleine Einheit 100 Tiefendifferenzen erhält. Diese werden summiert und dann durch ihre Anzahl geteilt. Man erhält als Wert die gemittelte Tiefenänderung einer Kleinen Einheit. Auf diese Weise wird jede Kartenaufnahme mit jeder Kartenaufnahme verglichen und jeweils ein Mittelwert der Tiefenänderung berechnet. Summiert man die Werte der Teilflächen, erhält man die gemittelte Bilanzhöhe h_u der Kleinen Einheit. Summiert man die Beträge der Teilflächen, erhält man die gemittelte Umsatzhöhe h_u einer Kleinen Einheit, und zwar als Nettowert über den Vergleichszeitraum a , so daß der tatsächliche stets größer als der erfaßbare Umsatz ist. Es ist also allenfalls ein Mindestumsatz als Kenngröße quantifizierbar.

Die im MORAN-Projekt entwickelte Methode geht davon aus, daß „die stochastischen Veränderungen in der Natur zu quasi periodischen und aperiodischen Veränderungen der Topographie [führen]“ (SIEFERT, 1987, S. 7). Der Gewässergrund eines definierten Gebietes befindet sich in ständiger Auf- und Abbewegung und Umgestaltung, sofern Strömung und/oder Seegang auf ihn einwirken, ohne daß zwangsläufig Materialgewinne oder -verluste die Folge sind. Andersherum ausgedrückt kann ein bestimmtes Gebiet eine Materialbilanz von null haben, und dennoch können dort beträchtliche Sedimentmassen umgesetzt werden. Ein Gebiet befindet sich im Gleichgewicht, wenn die Materialbilanz null ist. Wenn sich ein Gebiet im Gleichgewicht befindet, ist das Gebiet auch durch einen bestimmten mittleren Umsatz charakterisiert. Die Höhe der Umsatzwerte wird bei wachsendem Vergleichszeitraum langsamer ansteigen, bis die Umsatzwerte nicht mehr wachsen. „Es muß also mathematisch ein Übergang vom Ursprung zu einer horizontalen Asymptote formuliert werden, um die Entwicklung der Umsatzhöhen Kleiner Einheiten als Funktionen der Dauer eines Vergleichszeitraumes zu erfassen“ (SIEFERT, 1987, S. 11). Als Ansatz wurde eine Sättigungsfunktion (1) herangezogen:

$$(1) \quad h_u(a) = \bar{h}_u \cdot (1 - e^{-a/a_0})$$

Differenziert man diese Funktion an der Stelle $a = 0$, ergibt sich:

$$(2) \quad h_u'(a = 0) = \bar{h}_u / a_0$$

Diese Funktion (2) besagt, „daß bereits nach einem Zeitraum a_0 die Umsatzhöhe \bar{h}_u erreicht wäre, wenn der Umsatz linear mit der Länge des Betrachtungszeitraumes zunähme“ (SIEFERT, 1987, S. 11). In der MORAN-Funktion (1) steht a_0 für den Zeitraum, in dem \bar{h}_u bei gleichsinniger linearer Veränderung der Topographie erreicht würde. Die asymptotische Umsatzhöhe \bar{h}_u ist ein (theoretisch erst für sehr große a erreichbarer) mittlerer Höchstwert für h_u , der eine Aussage über die maximalen mittleren Höhenänderungen, die in einem Gebiet auftreten, erlaubt (HOFSTEDE, 1989, S. 200f.). Abb. 2 veranschaulicht den Verlauf der MORAN-Funktion und die „morphologischen Parameter“. Der Umsatz h_u wird als Funktion von a verstanden. Dabei ist a nicht die fortlaufende Zeit, sondern der Zeitraum zwischen zwei Kartenaufnahmen. Da die Kurve sich der Asymptote \bar{h}_u sehr langsam nähert, wurde zusätzlich der Parameter $a_{0,9}$ eingeführt, der den Zeitraum bezeichnet, in dem \bar{h}_u zu 90 % erreicht ist.

3.2 Datengrundlage

Zur Erstellung der Tiefenänderungspläne wurden die Peilungskarten des Wasser- und Schiffsamt Hamburg zwischen 1950 und 1990 herangezogen. Sie liegen in dem Zeit-

Sättigungsfunktion mit horizontaler Asymptote

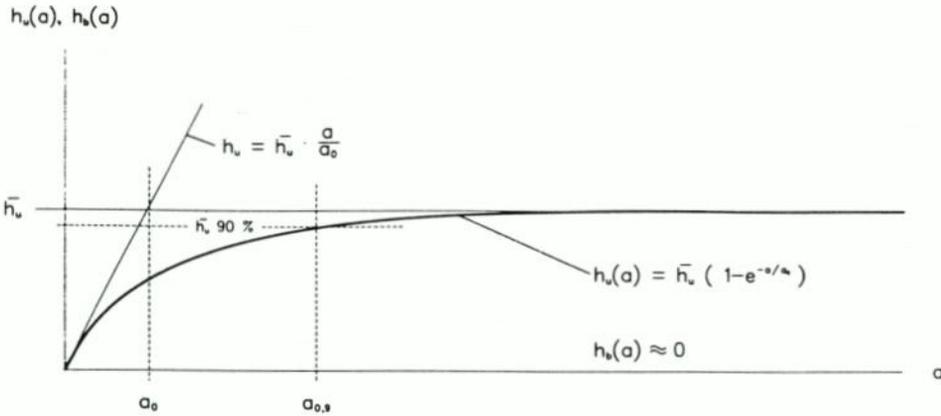
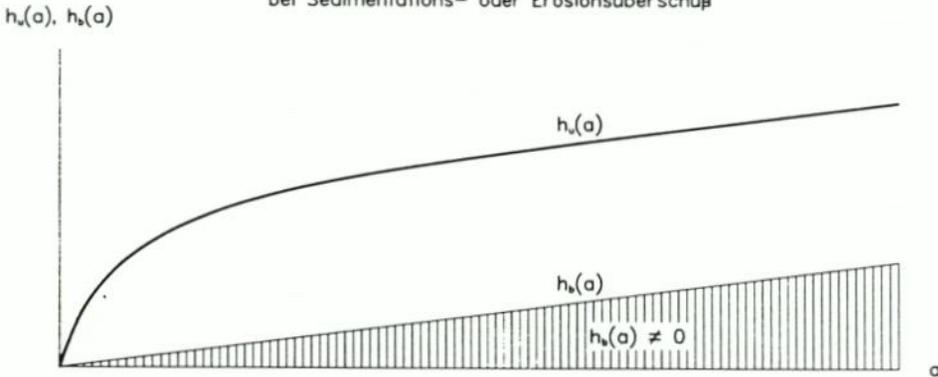
Sättigungsfunktion mit geneigter Asymptote
bei Sedimentations- oder Erosionsüberschub

Abb. 2. Sättigungsfunktion mit ausgeglichener ($h_b \approx 0$, oben) und nicht ausgeglichener ($h_b \neq 0$, unten) Bilanz nach SIEFERT (1987, S. 12) und SIEFERT u. LASSEN (1987, S. 62)

raum von 1950 bis 1990 für fast jedes Jahr vor. Die Peilungen werden in Haupt- (Maßstab 1:10 000) und Sonderpeilungen (Maßstäbe 1:6000, 1:5000 und 1:2000) unterschieden. Zur Berechnung der Tiefenänderungspläne wurden, sofern die Auswahl bestand, die Sonderpeilungen wegen ihrer größeren Genauigkeit vorgezogen. 38 Kartenjahrgänge konnten für die morphologischen Analysen verwendet werden, so daß 703 Tiefenänderungspläne berechnet werden konnten. Nach DAMMSCHNEIDER (1983, S. 6) ist bei der Lagegenauigkeit mit einer Fehlerquote von maximal 3 bis 5 m zu rechnen. Der Fehler bei den Tiefenmessungen liegt bei ± 1 dm. Bei den frühen Jahrgängen muß mit einer größeren Ungenauigkeit gerechnet werden. Die Qualität der Karten ist zudem abhängig vom jeweiligen Bearbeiter. Da bei der Berechnung der mittleren Umsatz- und Bilanzhöhe jeweils über Felder, die hier wegen der topographischen Verhältnisse anstelle der Kleinen Einheiten verwendet wurden, mit mehr als 100 Teilflächen gemittelt wurde, ist die Qualität des Datenmaterials für die gestellte Aufgabe als gut einzustufen.

3.3 Anwendung auf die Hahnöfer Nebelbe und das Mühlenberger Loch

Die MORAN-Methode wurde ursprünglich für das Küstenvorfeld der deutschen Nordseeküste entwickelt. In dieser Untersuchung geht es darum, diese Methode auf den Seitenarm eines Flusses anzuwenden, der zudem durch verschiedene bauliche Veränderungen „aus dem Gleichgewicht“ gebracht wurde. Es ist jedoch eine der Voraussetzungen für die Anwendbarkeit der MORAN-Funktion, daß sich das untersuchte Gebiet im Gleichgewicht befindet, also $\bar{h}_v = \text{const.}$ und $h_b = 0$ ist (SIEFERT, 1987, S. 12). Da bereits Beobachtungen gezeigt hatten, daß in der Hahnöfer Nebelbe und im Mühlenberger Loch Sedimentationstendenz herrscht, war anzunehmen, daß weder die Bilanz ausgeglichen noch \bar{h}_v konstant sein würde.

SIEFERT u. LASSEN (1987) haben die Methode für Wattgebiete mit säkularem Anstieg modifiziert, indem sie die Steigung der Asymptote berechneten und die Umsatzhöhen um diesen Wert korrigierten (Abb. 2). Obwohl in bezug auf die Hahnöfer Nebelbe nicht von einem säkularen Anstieg im Sinne von SIEFERT u. LASSEN (1987) gesprochen werden kann, läßt sich dieser Ansatz auf die Hahnöfer Nebelbe übertragen. Der Hauptunterschied besteht darin, daß es sich in der Hahnöfer Nebelbe nicht um langfristige Tendenzen, sondern um durch Baumaßnahmen kurzfristig hervorgerufene Störungen handelt, die eine ausgeglichene Bilanz verhindern.

Da es sich bei der Hahnöfer Nebelbe um einen langgestreckten künstlichen Flußarm handelt, ist es nicht möglich, das Gebiet in die Kleinen Einheiten, wie sie im Küstenvorfeld verwendet wurden, einzuteilen. Das Gebiet ist in Anlehnung an das Gauß-Krüger-System in die 1 ha großen Teilflächen gerastert und in vier Felder unterteilt worden (Abb. 1):

- Feld 1: die westliche Hahnöfer Nebelbe (Anzahl der Teilflächen: 187)
- Feld 2: die zentrale Hahnöfer Nebelbe (Anzahl der Teilflächen: 202)
- Feld 3: die östliche Hahnöfer Nebelbe (Anzahl der Teilflächen: 225)
- Feld 4: das westliche Mühlenberger Loch (Anzahl der Teilflächen: 240)

In vielen Peilungskarten sind nicht alle Bereiche der Nebelbe erfaßt worden, wovon besonders die Seitenbereiche betroffen sind. Deshalb konnten in den Feldern nicht immer alle Teilflächen mit einem Wert im Tiefenänderungsplan besetzt werden. Im Zweifelsfall wurde, angesichts der Menge der Tiefenänderungspläne, ein unzureichend mit Werten besetzter Plan nicht in die Auswertung einbezogen.

4. Ergebnisse der morphologischen Analysen

Um möglichst detaillierte Informationen aus dem umfangreichen Datenmaterial über das Untersuchungsgebiet zu gewinnen, wurden drei verschiedene Methoden der Datenaufbereitung verwendet, die jeweils verschiedene Aspekte der morphologischen Entwicklung herausstellen.

Zunächst soll ein Überblick über die Entwicklung der Felder im Zeitraum von 1950 bis 1990 und die unterschiedlichen Größenordnungen der Umsätze gegeben werden. Dafür eignet sich ein fortlaufender chronologischer Vergleich einzelner Jahre (1950-51, 1951-52 ...), so daß ein Verlauf erkennbar wird. Dies hat den Vorteil, daß bestimmte Ereignisse (z. B. Baumaßnahmen) durch die hohe zeitliche Auflösung sehr genau zugeordnet werden können. Der Nachteil besteht darin, daß einzelne Kartenvergleiche möglicherweise überbewertet werden, und sich eventuelle Fehler übermäßig niederschlagen.

Die zweite Methode beschränkt sich auf die kartographische Darstellung der Bilanzhöhen, die auf der Grundlage des Tiefenänderungsplanes mit dem Vergleichszeitraum 1950-90 erstellt wurden. Damit soll neben dem zeitlichen ein räumlicher Überblick gegeben werden. Dies hat den Vorteil, daß durch den längeren Vergleichszeitraum Fehler und Störungen relativiert werden. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß Sedimentations- und Erosionsgebiete in einen räumlichen Bezug gebracht werden können, da auch innerhalb der Felder eine differenzierte Darstellung möglich ist. Bei dieser Vorgehensweise können jeweils nur zwei Zustände miteinander verglichen werden. Daraus können kaum Entwicklungen abgeleitet und keine Hinweise auf die tatsächlich umgelagerten Materialmassen (Umsätze) gewonnen werden. Der Karte werden die Massenbilanzen über den Gesamtvergleichszeitraum 1950-90 beigelegt, die eine Quantifizierung von Sedimentation und Erosion in diesem Vergleichszeitraum ermöglichen. An dieser Stelle wird das Mühlenberger Loch in die Darstellung einbezogen.

Um zu möglichst weitreichenden Aussagen über die tatsächlich bewegten Materialmassen zu gelangen, wird drittens die MORAN-Methode angewendet. Diese weist gegenüber den anderen Verfahren den Vorteil auf, daß auf breiter Datengrundlage Aussagen über bestimmte morphologische Parameter getroffen werden können, die die Morphodynamik eines Gebietes beschreiben. Dabei fallen einzelne Fehler nicht so sehr ins Gewicht. Es ist möglich, anhand dieser Methode sog. „Mindestumsätze“ zu quantifizieren (Abschnitt 3.1). Zusätzlich können Aussagen darüber gemacht werden, ob sich das Gebiet in einem Gleichgewichtszustand befindet oder nicht. Dabei ist es wichtig, zu beachten, daß hier „Gleichgewichtszustand“ eine ausgeglichene Bilanz und die Annäherung der Umsatzhöhen an einen asymptotischen Grenzwert h_u bedeutet. Unter „Beruhigung“ soll dagegen ein Absinken dieses asymptotischen Grenzwertes (also Verringerung der Dynamik in einem Gebiet infolge von Eingriffen) verstanden werden, keinesfalls die Annäherung an den Gleichgewichtszustand! So kann beispielsweise ein Feld in einem Vergleichszeitraum verglichen mit dem vorhergehendem Zeitraum höhere Umsatzhöhen aufweisen, weil es aus dem Gleichgewicht geraten ist, und dennoch einer Beruhigung unterlegen sein.

Bei allen drei Methoden, am wenigsten bei der ersten, ist es äußerst kompliziert, auftretende Veränderungen der Morphodynamik bestimmten Baumaßnahmen zuzuordnen. Das gilt insbesondere für diejenigen Baumaßnahmen, die sich nicht nur lokal, sondern auch regional ausgewirkt haben, zumal sich einige Eingriffe zeitlich überlagern und längere Zeit nachwirken können. So wird z. B. die Absperrung der Alten Süderelbe noch Auswirkungen auf die Morphologie im Untersuchungsgebiet gehabt haben, als bereits der 12-m-Ausbau des Fahrwassers mit den damit verbundenen Aufspülungen stattfand. Es kann daher höchstens der Versuch unternommen werden, aufgrund der Lage der Felder und durch Vergleich der Felder untereinander, eine räumliche Differenzierung der Einflüsse der einzelnen Baumaßnahmen vorzunehmen und die wahrscheinlich ursächlichen Baumaßnahmen zu benennen.

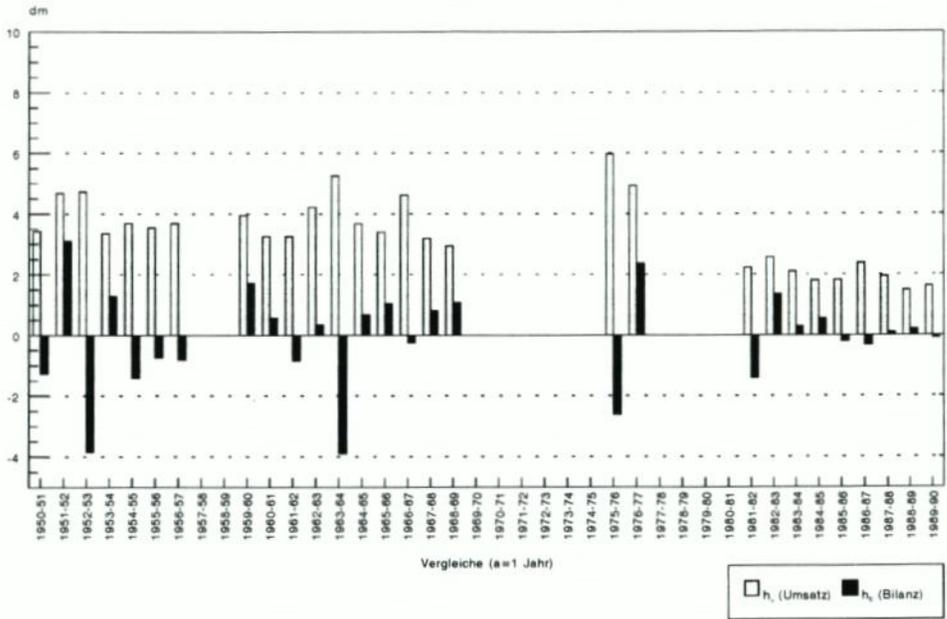
4.1 Kontinuierliche Entwicklung der Umsatz- und Bilanzhöhen in dem Zeitraum von 1950 bis 1990 für a = 1 Jahr und für a = 2 Jahre

Um die fortlaufende Entwicklung der Umsätze und Bilanzen seit 1950 nachzuzeichnen, sind jeweils Umsätze und Bilanzen für den Zeitraum von einem Jahr berechnet und in chronologischer Reihenfolge angeordnet worden. Dies ist die feinste Einteilung, die möglich und

Hahnöfer Nebelbe, Feld 4

Umsatz- und Bilanzhöhen

Vergleiche mit a=1



Hahnöfer Nebelbe, Feld 4

Umsatz- und Bilanzhöhen

Vergleiche mit a=2

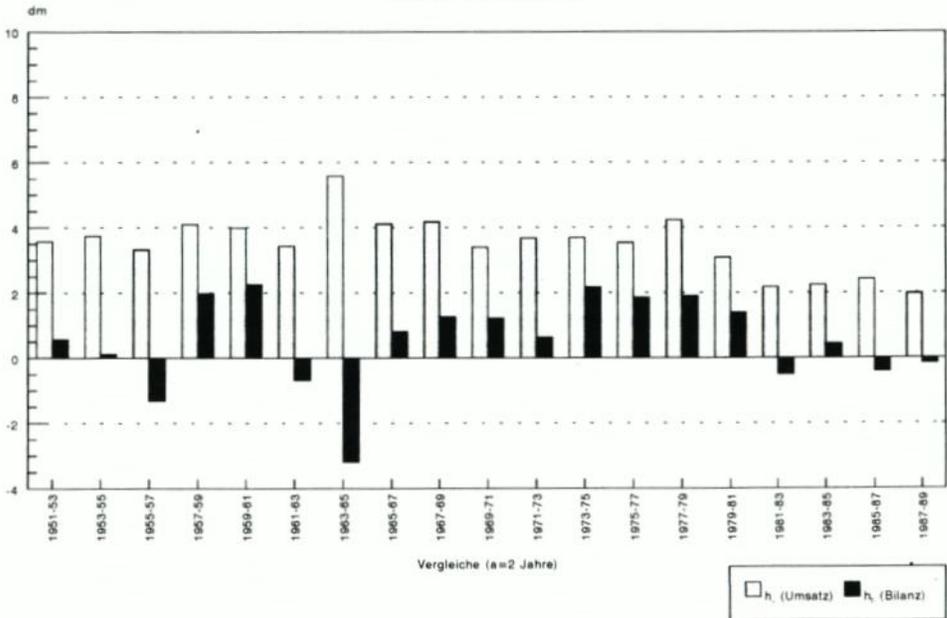
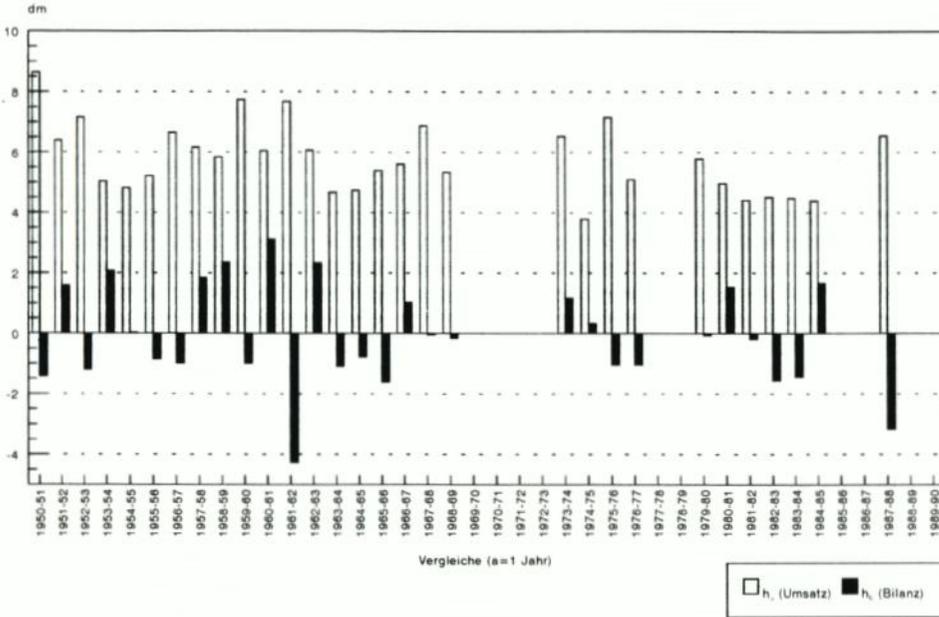


Abb. 3. Hahnöfer Nebelbe Feld 4, Umsatzhöhen h_u und Bilanzhöhen h_b jeweils berechnet für Kartenvergleiche mit den Vergleichszeiträumen $a = 1$ Jahr und $a = 2$ Jahre

Hahnöfer Nebeneibe, Feld 1
Umsatz- und Bilanzhöhen
Vergleiche mit a=1



Hahnöfer Nebeneibe, Feld 1
Umsatz- und Bilanzhöhen
Vergleiche mit a=2

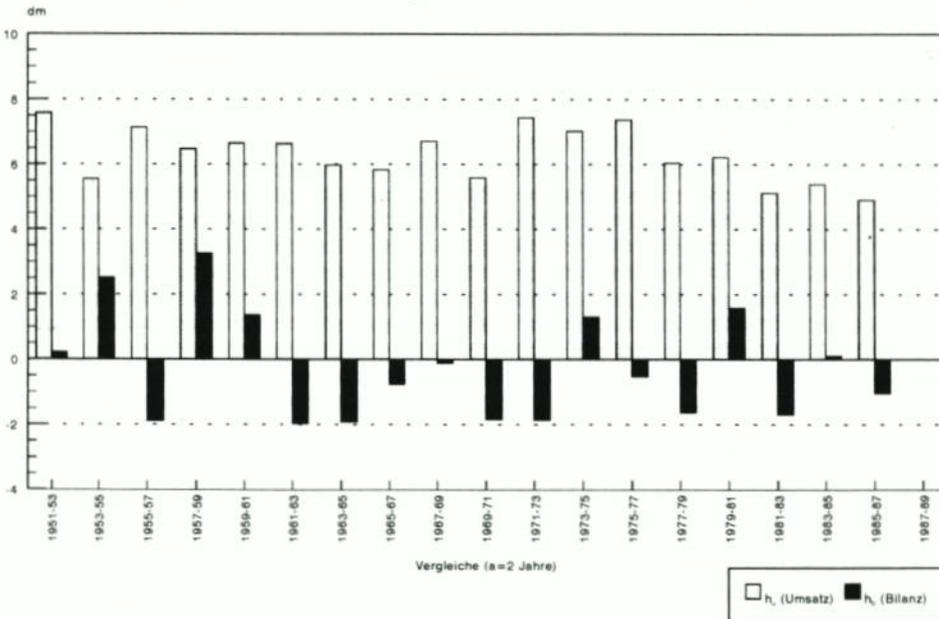


Abb. 4. Hahnöfer Nebeneibe Feld 1, Umsatzhöhen h_u und Bilanzhöhen h_b jeweils berechnet für Kartenvergleiche mit den Vergleichszeiträumen a = 1 Jahr und a = 2 Jahre

sinnvoll ist. Sie gibt die fortschreitende Entwicklung dieses Gebietes mit allen Einschnitten sehr genau wieder.

Da besonders in den 70er Jahren nicht für jedes Jahr Peilungskarten vorliegen, wird der zeitliche Verlauf zusätzlich für aufeinanderfolgende Kartenvergleiche mit dem Vergleichszeitraum $a = 2$ Jahre dargestellt. Diese gröbere Einteilung hat zusätzlich den Vorteil, daß die Extremwerte etwas abgemildert werden, und es zu einer etwas generalisierten und damit übersichtlicheren Darstellung kommt. Exemplarisch werden die „Außenfelder“ Feld 1 und Feld 4 betrachtet. Die Felder 2 und Feld 3 nehmen eine Mittelstellung ein.

Die Entwicklung in Feld 4 wird in Abb. 3 dargestellt. Die Umsatzhöhen h_u im Feld 4 liegen bis zum Vergleichszeitraum 1977–79 für $a = 2$ Jahre recht stabil bei 4 dm oder etwas darunter. Seit 1979 gehen sie um fast 50 % auf etwa 2 dm zurück. Im gesamten Betrachtungszeitraum überwiegt die Sedimentation. Dies gilt insbesondere für den Zeitraum von Mitte der 60er bis Ende der 70er Jahre. Dieses Feld ist demnach in diesem Zeitraum aus dem Gleichgewicht geraten. Der Umsatzspitzenwert 1963–64 mit hohem Erosionsanteil ist in einer Materialentnahme für den Hauptdeich vor Cranz von 300 000 m³ begründet. Seit 1979 tritt wieder eine Beruhigung in diesem Gebiet ein, und danach treten Sedimentation und Erosion mit etwa gleichen Beträgen wechselnd nebeneinander auf, was darauf hindeutet, daß eine Annäherung an den Gleichgewichtszustand stattfindet. Durch die geschlossene Darstellung für $a = 2$ Jahre in Abb. 3 lassen sich für das Feld 4 auch die Auswirkungen der Ausbaumaßnahmen, die z. T. mit Aufspülungen verbunden waren, gut nachvollziehen. So sind die Jahre 1957–61 (11-m-Fahrwasserausbau), 1964–69 (12-m-Fahrwasserausbau) unter Berücksichtigung des genannten Baggerloches und 1974–78 (13,5-m-Fahrwasserausbau) ausgeprägte Sedimentationszeiträume, denen jeweils deutliche Sedimentationsabnahme oder sogar Erosion nachfolgt.

Die Entwicklung in Feld 1 wird in Abb. 4 dargestellt. Die Umsatzhöhen h_u haben insgesamt ebenfalls abgenommen, so daß auch in diesem Feld offenbar eine Beruhigung eingetreten ist. Für den Vergleichszeitraum von $a = 1$ Jahr bewegen sich die Umsatzhöhen i. a. zwischen 5 und 7 dm. Für den Vergleichszeitraum $a = 2$ Jahre bewegen sich die Umsatzhöhen um die 6 dm. Hier zeichnet sich bereits ab, was in Abschnitt 4.3 bei den morphologischen Analysen mit Hilfe der MORAN-Funktion deutlich wird: Der asymptotische Grenzwert \bar{h}_u wird in der Hahnöfer Nebelbe schon innerhalb kürzester Zeit erreicht. Die Bilanzhöhen fluktuieren stark, Sedimentationsphasen wechseln mit Erosionsphasen. Bis 1963 überwiegt die Sedimentation. Der hohe Erosionswert 1961–62, der im Übergangsbereich der Hahnöfer Nebelbe zur Hauptelbe am augenscheinlichsten auftritt, spiegelt offenkundig den Einfluß der Sturmflut von 1962 wider. Seit 1964 überwiegt Erosion. Auch bei den Umsatzhöhen vollzieht sich 1963–64 ein Einschnitt, sie werden deutlich kleiner. Der erneute Anstieg der Umsatzhöhe 1967–68 könnte mit der Verengung des Durchflußquerschnittes infolge der Aufspülung der Verbindung Hanskalbsand–Neßsand zusammenhängen. Danach tritt bis 1973 verstärkt Erosion auf.

Insgesamt betrachtet sinken die Umsatzhöhen in der Hahnöfer Nebelbe von Westen nach Osten. Die Umsätze nehmen im Zeitraum 1950–90 in allen Feldern ab, was auf eine Abnahme der Morphodynamik in diesem Zeitraum deutet. Vernachlässigt man lokale Ereignisse, wie z. B. das Baggerloch von 1964 in Feld 4, tritt eine solche Beruhigung, die mit Sedimentationstendenz einhergeht, jeweils nach den Fahrwasserausbauten verstärkt auf. Nur Feld 1 weist eine ausgeprägte Erosionstendenz auf.

4.2 Sedimentations- und Erosionsbereiche in der Hahnöfer Nebelbe und im Mühlenberger Loch im Zeitraum von 1950 bis 1990

Die Karte (Abb. 5) stellt die Nettosumme aller Sedimentationen und Erosionen innerhalb des Zeitraums von 1950 bis 1990 dar. Sie sagt nichts darüber aus, wann und unter welchen Umständen sedimentiert oder erodiert wurde, sondern sie dient dem räumlichen Gesamtüberblick. Die in der Karte offengelassenen Flächen sind nicht in beiden Jahrgängen durch Peilungen erfaßt. Ergänzend werden die Massenbilanzen für alle acht Felder für den Zeitraum von 1950 bis 1990 beigefügt (Tab. 1).

Die Karte beweist in erster Linie sehr deutlich, daß im Gesamtzeitraum überwiegend Sedimentation stattgefunden hat. Das Mühlenberger Loch fällt insgesamt als ausgeprägtes Sedimentationsgebiet ins Auge. Davon ist nur die Außeneste ausgenommen. Die höchsten Sedimentationswerte (bis über 6 m in vierzig Jahren) liegen im Strömungsschatten hinter dem Neßleitdamm. Großflächig macht sich die Absperrung der Alten Süderelbe bemerkbar, deren ehemaliges Durchflußgebiet Sedimentationshöhen zwischen 2 und 3 m aufweist (bei einer Wassertiefe von nur etwa 1 bis 2,5 m KN im Jahr 1950!). Der Bereich östlich der Este in Ufernähe, der schon 1950 ziemlich flach (Tiefen unter 1 m KN) war, ist vergleichsweise geringfügig aufsedimentiert. Dieses Gebiet, das einerseits durch den Neßleitdamm und andererseits durch die Absperrung der Alten Süderelbe fast nicht durchströmt wird (SIEFERT, 1984, S. 21ff.), ragt heute nahezu vollständig über KN auf und strebt der Verlandung zu. Ein weiteres Sedimentationsgebiet schließt sich fast direkt an das Fahrwasser der Hauptelbe an. An dieser Stelle ist seit 1970 (SIEFERT, 1984, S. 41) ein neuer Sand entstanden und bis 1990 stellenweise bis zu mehr als 1 m über KN aufgewachsen. Er macht sich als Sedimentationsinsel mit Werten bis zu 4 m bemerkbar.

Der östliche Teil der Hahnöfer Nebelbe ist durch leichte Sedimentation gekennzeichnet. Stellenweise tritt auch leichte Erosion auf. Das Sedimentationsgebiet vor dem Südwestufer des Neßsandés dürfte auf die geschützte Lage nach Aufspülung der Verbindung Hanskalbsand-Neßsand zurückzuführen sein. Der zentrale Teil der Hahnöfer Nebelbe erscheint dagegen eindeutig differenziert in Akkumulations- und Erosionsbereiche. Der Erosionsbereich an der Einmündung des ehemaligen Durchlasses zur Hauptelbe („Schlatermundsallee“) kann mit Berücksichtigung des benachbarten Sedimentationsbereiches als Rinnenverlagerung gedeutet werden. Der Erosionsbereich vor dem Ufer des westlichen Hahnöfer Sandes wurde 1973 durch eine Materialentnahme von 1,2 Mio. m³ für den Deichbau auf Hahnöfer Sand initiiert. Er ist offenbar nicht wieder vollständig zusedimentiert, weil eine Rinnenverlagerung in die Strommitte stattgefunden hat. Darauf deutet auch die leichte Sedimentation im Uferbereich hin. Dieses Erosionsgebiet steht heute vermutlich in Zusammenhang mit dem großen Erosionsbereich in der westlichen Hahnöfer Nebelbe. Daß die Materialumsätze in der Hahnöfer Nebelbe nicht ausreichen das Baggerloch zu verfüllen, erscheint unter Berücksichtigung der \bar{h}_u in Tab. 2 (Abschnitt 4.3) unwahrscheinlich. Südöstlich des Hanskalbsandes bis etwa zum Leitdamm sind nach großflächiger Aufspülung im Strömungsschatten Wattflächen über KN aufsedimentiert. Die westliche Hahnöfer Nebelbe ist dagegen erosionsdominiert. Die höchsten Erosionswerte (bis über 5 m) konzentrieren sich am Nordufer des Stroms am Hanskalbsand. Auch hier ist eine Rinnenverlagerung zu beobachten.

Das Sedimentvolumen wurde auf der Grundlage des Tiefenänderungsplanes 1950-90 für alle Felder der Hahnöfer Nebelbe und des Mühlenberger Loches berechnet. Die Zahl der in diesem Tiefenänderungsplan erfaßten Teilflächen (1 Teilfläche = 1 ha) wurde auf die Zahl

der tatsächlich existenten Teilflächen hochgerechnet. Für die erfaßten Teilflächen der Felder wurden folgende Werte berechnet (Tab. 1):

- Summe der Höhendifferenzen mit Maximum, Minimum und Standardabweichung (der y -Werte)
- Summe der Beträge der Höhendifferenzen, aufgeschlüsselt in Sedimentation und Erosion
- die mittlere Bilanzhöhe h_b
- die mittlere Umsatzhöhe h_u
- Gesamtbilanz 1950-90 (gerundet), hochgerechnet auf die tatsächliche Zahl der Teilflächen

Für die Hahnöfer Nebelbe einschließlich des westlichen Mühlenberger Loches ergibt sich ein Sedimentvolumen von rd. $3,86 \text{ m}^3$. Im restlichen Mühlenberger Loch wurden rechnerisch rd. $9,15 \text{ m}^3$ sedimentiert. Das ergibt im Gesamtgebiet einen Sedimentationsüberschuß von rd. 13 Mio. m^3 in vierzig Jahren.

Tabelle 1

	Feld 1	Feld 2	Feld 3	Feld 4	Feld 5	Feld 6	Feld 7	Feld 8	Einheit
Anzahl der Teilflächen	121	177	168	144	114	118	107	104	
Summe	-1160	1511	1021	1533	1532	2088	1541	2245	dm
Summe der Beträge	1780	2299	1625	1987	1532	2088	1817	2305	dm
Anteil Sedimentation	17,4	82,9	81,4	88,6	100	100	92,4	98,7	%
Anteil Erosion	82,6	17,1	18,6	11,4	0	0	7,6	1,3	%
Standardabweichung σ	18,8	14,3	11,5	12,3	7,1	8,3	11,9	12,5	dm
Maximum	56	46	46	35	27	39	40	64	dm
Minimum	-56	-68	-29	-34	2	2	-18	-18	dm
mittl. Bilanzhöhe h_b	-9,6	8,5	6,1	10,7	13,4	17,7	14,4	21,6	dm
mittl. Umsatzhöhe h_u	14,7	13	9,7	13,8	13,4	17,7	17	22,2	dm
tatsächliche Zahl der Teilflächen	187	202	225	240	140	152	146	115	
Gesamtbilanz 1950-90	-1,79	1,72	1,37	2,56	1,88	2,69	2,1	2,48	Mio. m^3

4.3 Morphologische Analysen für die Hahnöfer Nebelbe und das westliche Mühlenberger Loch unter Anwendung der MORAN-Funktion (Feld 1-4)

Nach Sichten des Datenmaterials (703 Tiefenänderungspläne) wurden zwei sprunghafte Änderungen der Umsatzhöhen in allen vier Feldern festgestellt: 1963-64 und 1977-79 (der Jahrgang 1978 existiert nicht). Daraus ergaben sich drei Zeitabschnitte unterschiedlicher morphologischer Charakteristik:

- die Zeit vor den großen Baumaßnahmen: 1950-63
- die Zeit der großen Baumaßnahmen: 1964-77
- die Zeit nach den Baumaßnahmen: 1979-90

Zu den „großen Baumaßnahmen“ gehören die Abdämmung der Alten Süderelbe, der 12-m-Fahrwasserausbau, der 13,5-m-Fahrwasserausbau, die Aufspülung des Neßsand und

die Eindeichung des Hahnöfer Sandes mit Absperrung der Borsteler Binnenelbe. Dabei wirkt sich die Absperrung der Alten Süderelbe in der Hahnöfer Nebeneelbe offenbar erst nach 1963 aus. Der 11-m-Fahrwasserausbau kann wegen fehlender Peilungskarten nur ansatzweise erfaßt werden.

Es ist daher sinnvoll, für die morphologischen Analysen den Gesamtzeitraum 1950–90 in die drei zeitlichen Abschnitte aufzugliedern und von den 703 vorhandenen Tiefenänderungsplänen nur diejenigen auszuwählen, die in einen dieser Zeiträume fallen und sie nicht überschreiten. Damit können differenziertere Aussagen zur Morphodynamik gemacht werden, die sonst durch die Masse des Datenmaterials in einem breiten Spektrum von Umsatzhöhen verwischt würden.

Die Ergebnisse der morphologischen Analysen mit Hilfe der MORAN-Funktion sind in Tab. 2 zusammengefaßt.

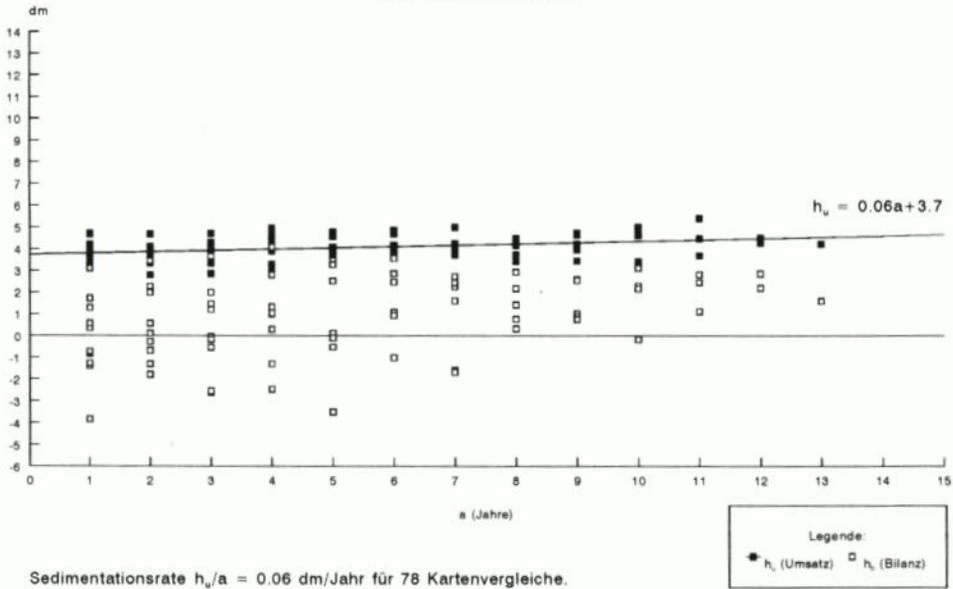
Tabelle 2

Feld	Zeitraum	\bar{h}_u	a_0	\bar{h}_u / a_0	$a_{0,9}$	h_u/a	σ	Sedimentationsrate
1	1950–63	6,3	0,2	31,5	0,5	0,2	1,2	$h_u = 0,2a + 6,3 \pm 1,2$
2	1950–63	4,4	0,2	22	0,5	0,3	0,7	$h_u = 0,3a + 4,4 \pm 0,7$
3	1950–63	5,6	0,2	28	0,5	0,1	0,8	$h_u = 0,1a + 5,6 \pm 0,8$
4	1950–63	3,7	0,2	18,7	0,5	0,06	0,5	$h_u = 0,06a + 3,7 \pm 0,5$
1	1964–77	5,7	0,4	14,1	1	0,5	0,9	$h_u = 0,5a + 5,7 \pm 0,9^*)$
2	1964–77	?	?	?	?	0,8	2,4	$h_u = 0,8a + 5 \pm 2,4$
3	1964–77	5,1	0,2	25,4	0,5	0,2	0,7	$h_u = 0,2a + 5,1 \pm 0,7$
4	1964–77	2,6	0,2	13	0,5	0,7	1,1	$h_u = 0,7a + 2,6 \pm 1,1$
1	1979–90	4,6	0,2	23,2	0,5	0,3	0,7	$h_u = 0,3a + 4,6 \pm 0,7^*)$
2	1979–90	2,9	0,4	7,2	1	0,4	0,6	$h_u = 0,4a + 2,9 \pm 0,6$
3	1979–90	2,9	0,2	14,6	0,5	0,3	0,6	$h_u = 0,3a + 2,9 \pm 0,6$
4	1979–90	1,9	0,4	4,7	1	0,2	0,4	$h_u = 0,2a + 1,9 \pm 0,4$
		(dm)	(Jahre)	(dm/Jahre)	(Jahre)	(dm/Jahre)	(dm)	^{*)} hier Erosionsrate

Abb. 6a–c veranschaulichen exemplarisch für die jeweiligen Zeiträume für Feld 4 und Feld 1 die mittleren Umsatzhöhen h_u , die mittleren Bilanzhöhen h_b und den errechneten Umsatztrend h_u/a , der sich als Sedimentations- bzw. Erosionsrate interpretieren läßt (Abschnitt 3.3). Es fällt auf, daß die Steigung des Umsatzrends im Zeitraum vor den großen Baumaßnahmen 1950–63 vergleichsweise niedrig ist. In Feld 4 besteht sogar nahezu ein Gleichgewichtszustand, Feld 1 weist ebenso wie Feld 2 und Feld 3 eine geringe Sedimentationsrate auf. Im Zeitraum der großen Baumaßnahmen 1964–77 ist die Steigung deutlich größer. In Feld 1 ist aus der Sedimentations- eine Erosionsrate geworden. Das gesamte Untersuchungsgebiet ist vollkommen aus dem Gleichgewicht geraten. Nach Abschluß der großen Baumaßnahmen 1979–90 ist die Steigung wieder kleiner geworden, hat aber noch nicht wieder den Zustand erreicht, der vor den gravierenden Eingriffen bestand. Demnach sind beide Felder weiter vom Gleichgewichtszustand entfernt als im ersten Betrachtungszeitraum.

Abb. 7a–c zeigen für die genannten Zeiträume die Umsatzhöhen h_u , nachdem sie um die Sedimentations- bzw. Erosionsrate h_u/a in Anlehnung an SIEFERT u. LASSEN (1987) korrigiert worden sind, und die dazugehörige MORAN-Funktion. Es wird deutlich, daß die korrigierten Umsatzhöhen, und damit der morphologische Parameter \bar{h}_u , abgenommen haben, und die Morphodynamik im Untersuchungszeitraum geringer geworden ist. Die morphologischen Parameter $a_{0,9}$ und a_0 sind insgesamt sehr niedrig ($a_{0,9} \leq 1$ Jahr und $a_0 \leq 0,5$ Jahr). Dies

Hahnöfer Nebelbe, Feld 4
 Umsatz- und Bilanzhöhen 1950-63
 über den Zeitraum a



Hahnöfer Nebelbe, Feld 1
 Umsatz- und Bilanzhöhen 1950-63
 über den Zeitraum a

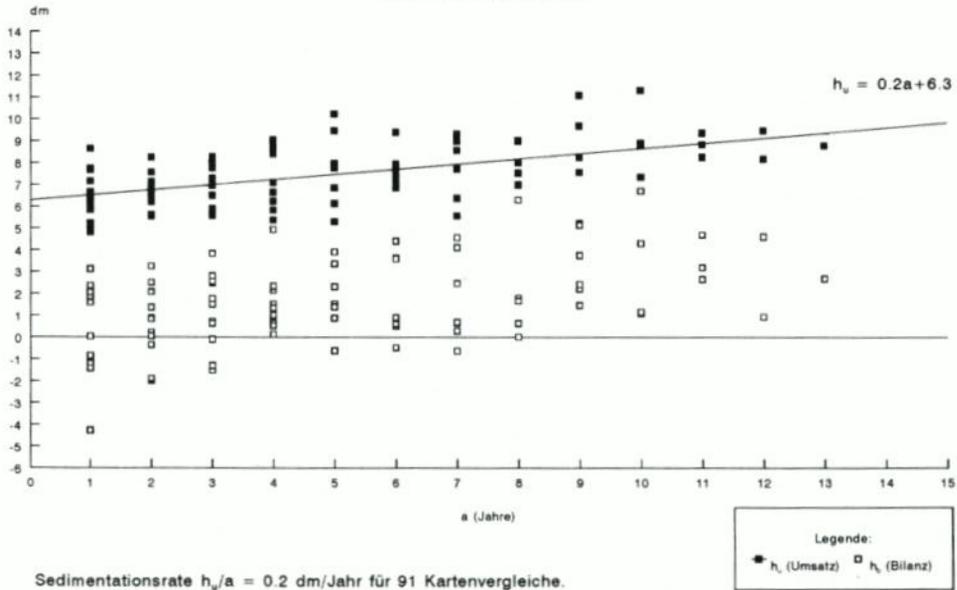
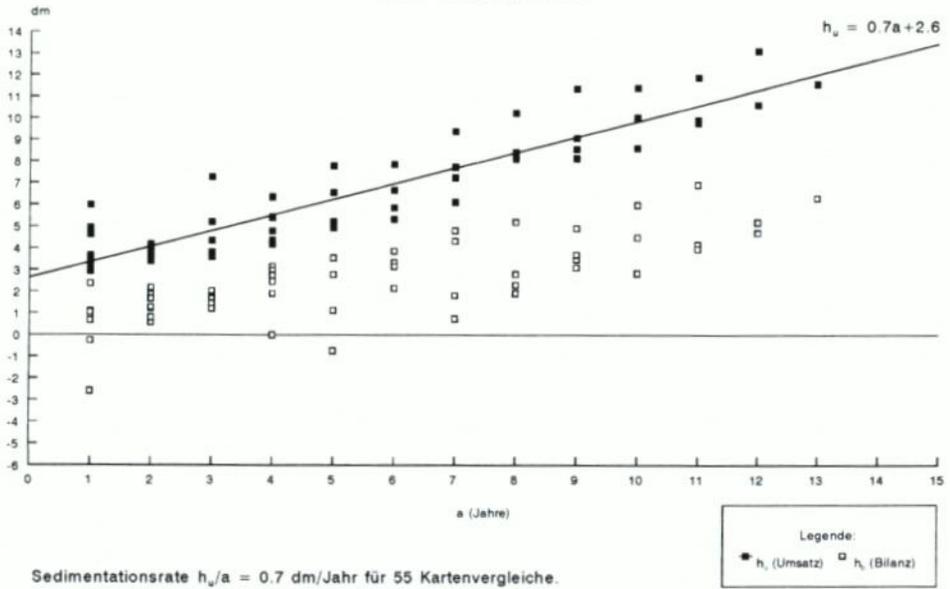


Abb. 6a

Hahnöfer Nebelbebe, Feld 4
Umsatz- und Bilanzhöhen 1964-77
über den Zeitraum a



Hahnöfer Nebelbebe, Feld 1
Umsatz- und Bilanzhöhen 1964-77
über den Zeitraum a

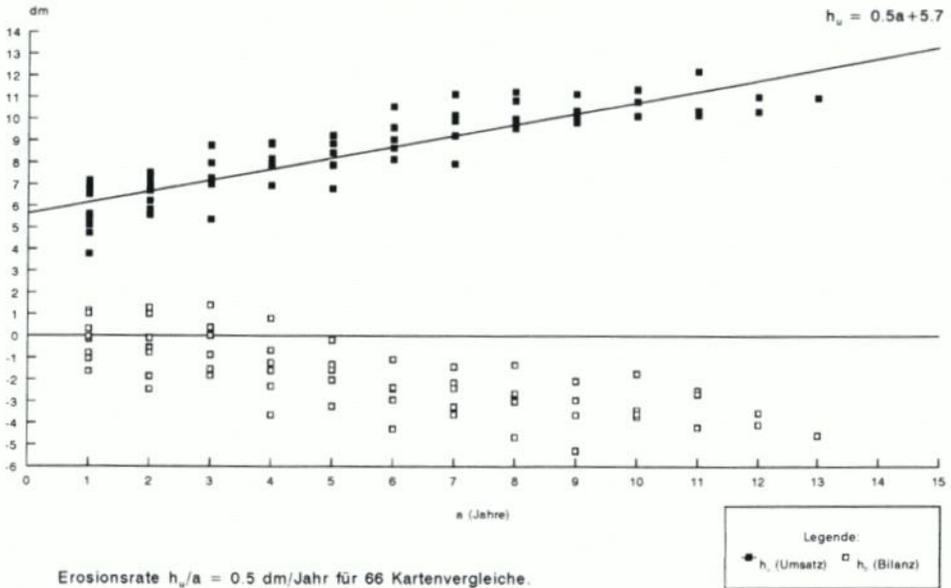
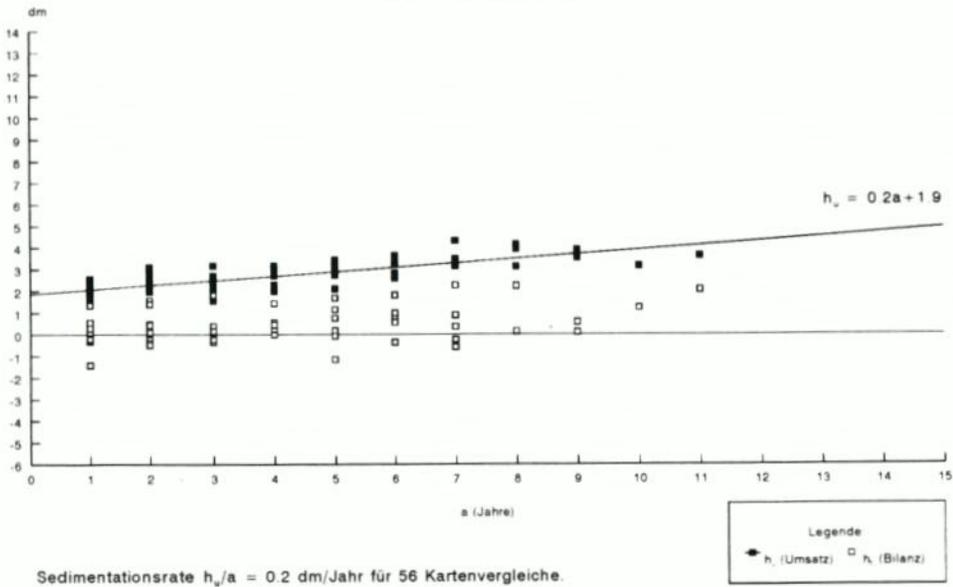


Abb. 6b

Hahnöfer Nebeneibe, Feld 4
Umsatz- und Bilanzhöhen 1979-90
über den Zeitraum a



Hahnöfer Nebeneibe, Feld 1
Umsatz- und Bilanzhöhen 1979-90
über den Zeitraum a

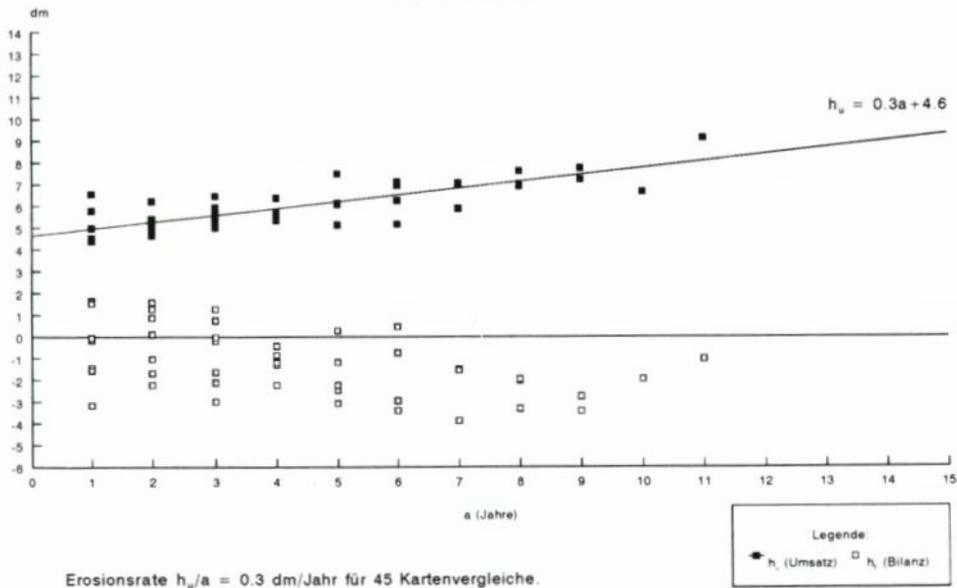
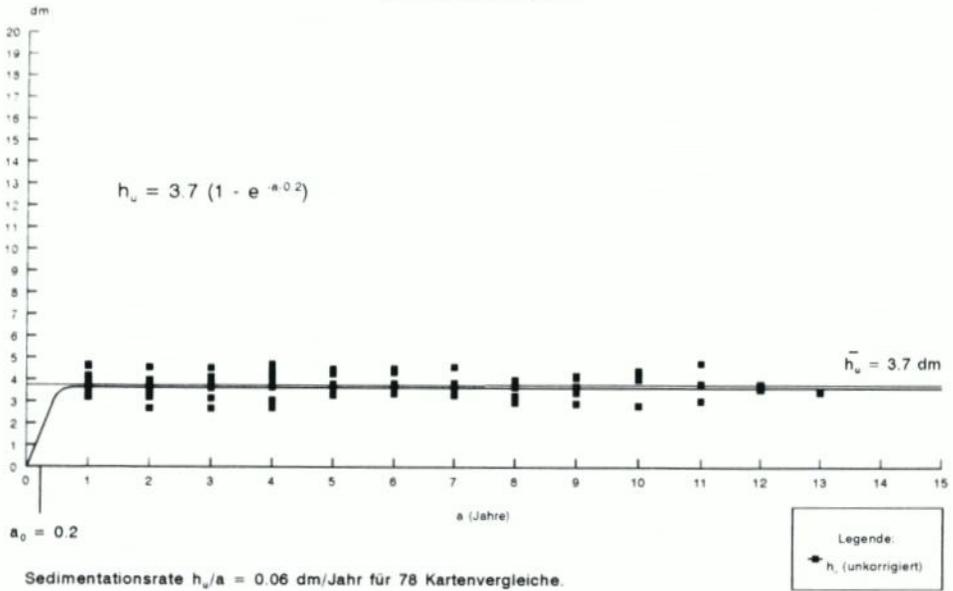


Abb. 6c

Hahnöfer Nebelbe, Feld 4
 Umsatzhöhen 1950-63
 über den Zeitraum a



Hahnöfer Nebelbe, Feld 1
 Korrigierte Umsatzhöhen 1950-63
 über den Zeitraum a

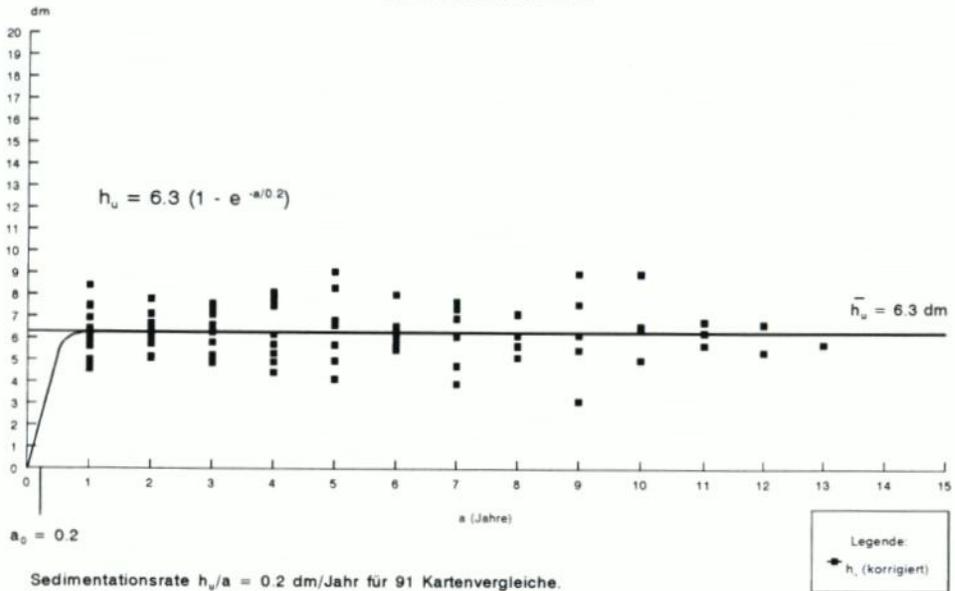
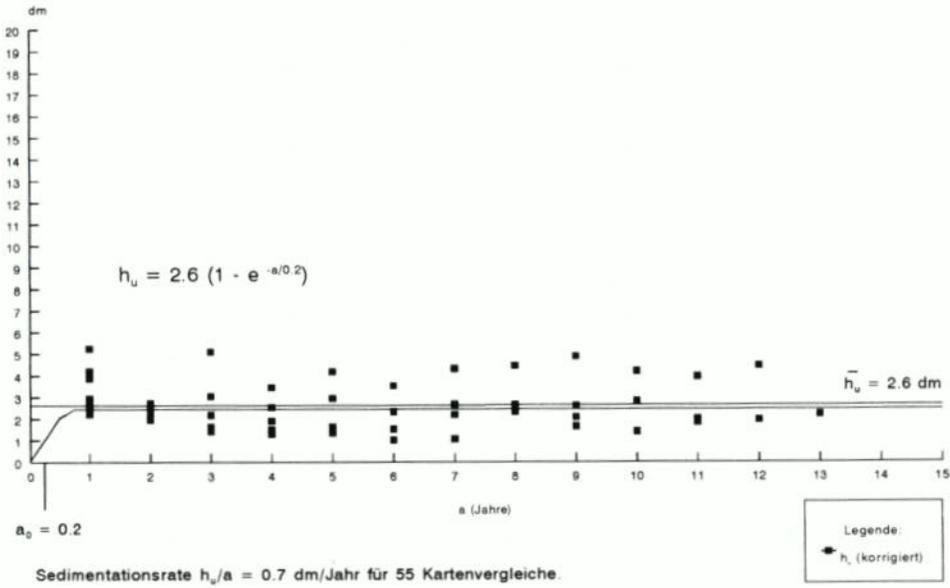


Abb. 7a

Hahnöfer Nebelbe, Feld 4
 Korrigierte Umsatzhöhen 1964-77
 über den Zeitraum a



Hahnöfer Nebelbe, Feld 1
 Korrigierte Umsatzhöhen 1964-77
 über den Zeitraum a

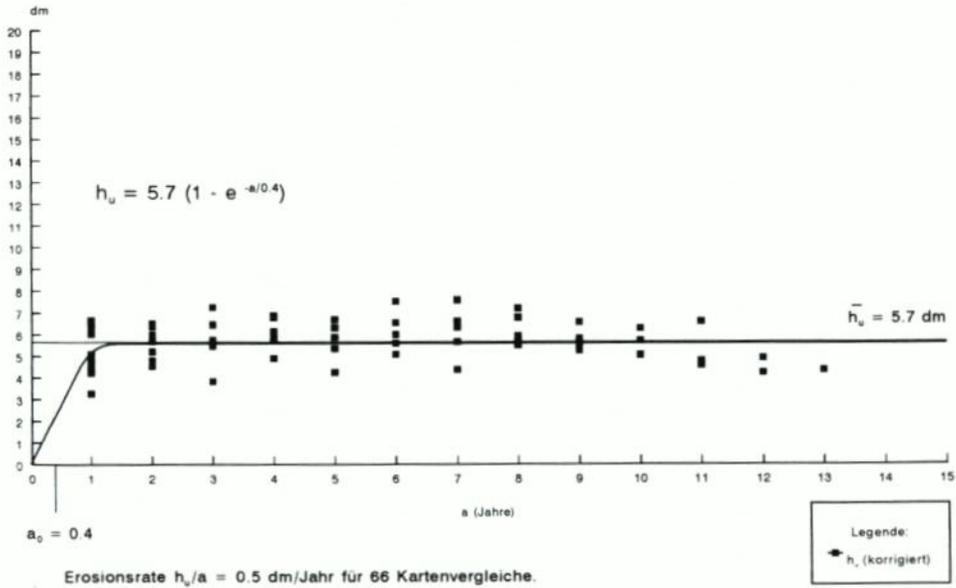
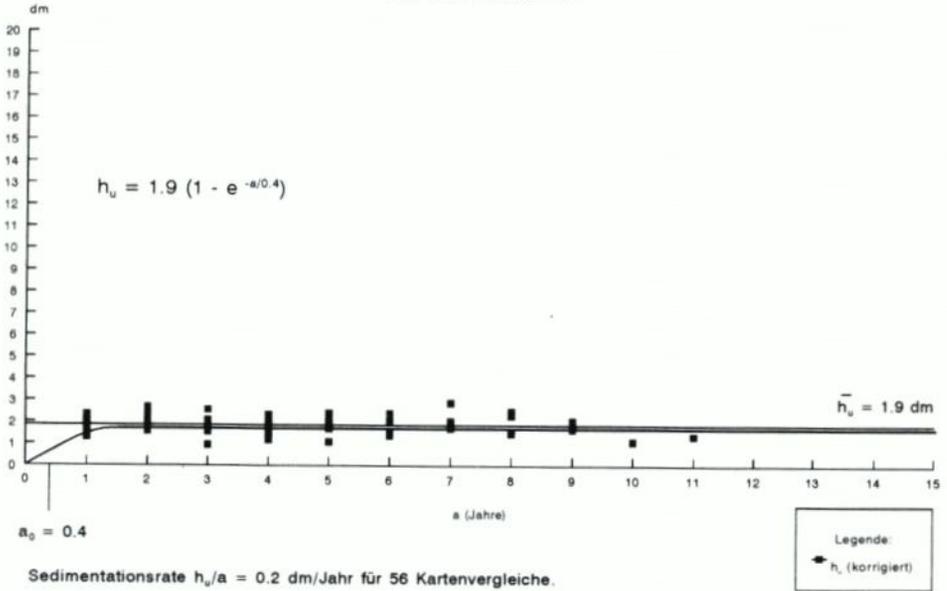


Abb. 7b

Hahnöfer Nebeneibe, Feld 4
 Korrigierte Umsatzhöhen 1979-90
 über den Zeitraum a



Hahnöfer Nebeneibe, Feld 1
 Korrigierte Umsatzhöhen 1979-90
 über den Zeitraum a

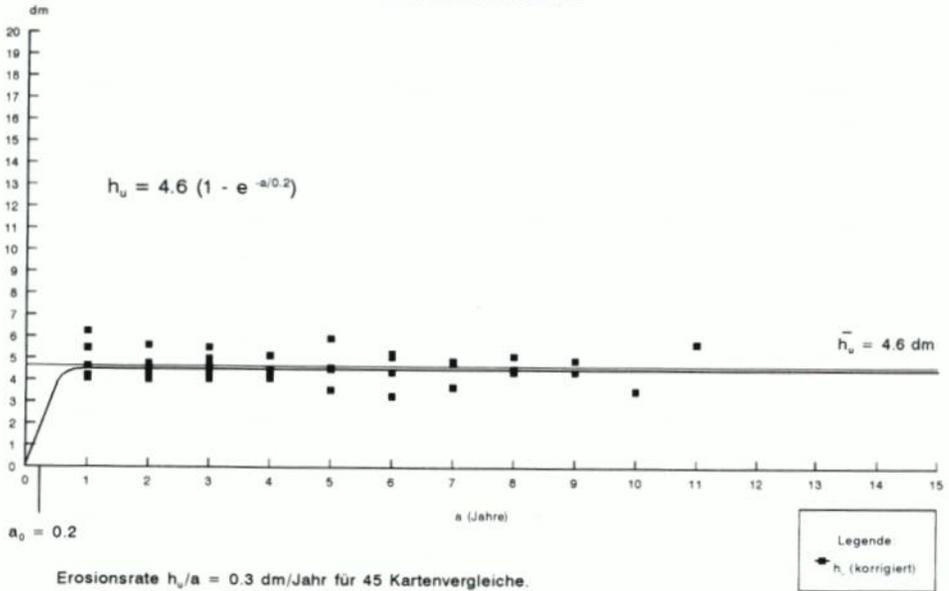


Abb. 7c

deutet darauf hin, daß das Untersuchungsgebiet in seinem morphologischen Verhalten durch kurzfristige Einwirkungen (anthropogene Eingriffe) bestimmt ist. Darin besteht der Hauptunterschied zu den Untersuchungen von SIEFERT (1987) im Küstenvorfeld, der eine Einordnung in die bei SIEFERT (1987, S. 33ff.) aufgestellten Charakteristiken nicht zuläßt.

5. Diskussion der Ergebnisse

Die morphologischen Analysen zeigen, daß im Untersuchungsgebiet überwiegend Sedimentation zu verzeichnen ist. Diese Sedimentation ist sowohl Ergebnis als auch Ursache einer Verringerung der Morphodynamik. Die Ursachen für die veränderte Morphodynamik liegen in zahlreichen und gravierenden anthropogenen Eingriffen. Darauf deuten auch die sehr geringen Werte für $a_{0,9}$ und a_0 hin, die anzeigen, daß das Untersuchungsgebiet in seinem morphologischen Verhalten durch kurzfristige Einwirkungen bestimmt ist.

Die Absperrung der Alten Süderelbe nach der Sturmflut 1962 entzog weite Teile des Mühlenberger Loches der Durchströmung, so daß die Morphodynamik geringer wurde, was vor allem im Mühlenberger Loch starke Sedimentation zur Folge hatte. Diese führte nun ihrerseits zu einer Verringerung der Morphodynamik, die wiederum Sedimentation zur Folge hat. Dieser Mechanismus reicht bis in die Hahnöfer Nebelbe hinein, nimmt aber nach Westen hin ab, was sich in den von Westen nach Osten kontinuierlich sinkenden \bar{h}_0 widerspiegelt. Die Absperrung der Alten Süderelbe wirkt sich in der Hahnöfer Nebelbe und im westlichen Mühlenberger Loch erst nach 1963 aus. Im Mühlenberger Loch kommt der Bau des Neßleitdammes 1969/70 hinzu, der einen großen Teil des Mühlenberger Lochs von der Durchströmung abschneidet, so daß in seinem Strömungsschatten zusätzlich starke Sedimentation stattfindet. Wegen der starken Sedimentation muß die Außeneste künstlich offen gehalten werden und zieht sich als Erosionsband durch das Mühlenberger Loch.

Drei Fahrwasservertiefungen wurden im Untersuchungszeitraum durchgeführt, in deren Verlauf die ehemaligen Strominseln Hanskalbsand, Neßsand und Schweinsand verbunden und aufgespült worden sind. Diese Eingriffe wirkten sich in ganz unterschiedlicher Weise auf das Untersuchungsgebiet aus. Zum einen ist die Hahnöfer Nebelbe nur noch im Westen mit der Hauptelbe und deren „Energieangebot“ verbunden, so daß z. B. die Strömungskonzentration in der Hauptelbe möglicherweise zur Sedimentation in der Nebelbe führte. Zusätzlich wurde mit den Aufspülungen Material direkt eingebracht. Zum anderen engten die Aufspülungen den Durchflußquerschnitt ein, was wiederum erhöhte Morphodynamik mit Erosion zur Folge hat. Dies wird ein Grund für den Wechsel von Sedimentations- zu Erosionstendenz in der westlichen Hahnöfer Nebelbe sein. Schließlich dürfte durch die Tieferlegung der lokalen Erosionsbasis rückschreitende Erosion vom vertieften Fahrwasser eingetreten sein. Davon sind die westliche Hahnöfer Nebelbe und die äußere Außeneste betroffen.

Diese gravierenden Eingriffe führten zur Unterteilung des Untersuchungszeitraumes in drei Zeiträume unterschiedlicher morphologischer Entwicklung: die Zeit vor (1950–63), während (1964–77) und nach (1979–90) den großen Baumaßnahmen. Dabei muß berücksichtigt werden, daß sich die Absperrung der Alten Süderelbe erst nach 1963 im Mühlenberger Loch auswirkte, der 11m-Ausbau wegen fehlender Karten nur ansatzweise erfaßt werden kann und für 1978 keine Peilung vorliegt. Auch für das Mühlenberger Loch stellt SIEFERT (1984) eine deutliche Änderung der morphologischen Charakteristik durch anthropogene Einflüsse fest.

Im Zeitraum vor den großen Baumaßnahmen 1950–63 herrschte in der Hahnöfer Ne-

benelbe (Feld 1-3) und im westlichen Mühlenberger Loch (Feld 4) geringe Sedimentationstendenz, die in Richtung Osten abnimmt und im Feld 4 einem Gleichgewichtszustand nahekommt. Diese leichte Sedimentation ist zum Teil auf Verklappungen in der westlichen Hahnöfer Nebelbe, die bis 1977 in einigen Jahren im Rahmen der Unterhaltung stattfanden, zurückzuführen. Für den Sedimentationsüberschuß in der Gesamtbilanz 1950-90 der Hahnöfer Nebelbe sind diese Verklappungen allerdings nicht verantwortlich, weil etwa die gleiche Menge Sediment 1973 für den Deichbau auf Hahnöfer Sand entnommen wurde.

Im Zeitraum der großen Baumaßnahmen steigen die (unkorrigierten) Umsatzhöhen h_u außer in Feld 3, in dem nicht direkt eingegriffen wurde, beträchtlich, was auf erhöhter Sedimentation in Feld 2 und Feld 4 und dem Wechsel von Sedimentation zu hoher Erosion in Feld 1 beruht. Die erhöhte Sedimentationsrate in Feld 2 und Feld 4 geht z. T. auch auf das Zusedimentieren von Baggerlöchern zurück. Die lokale Wirkung des Baggerloches in Feld 2 ist sogar so groß, daß eine sinnvolle Bestimmung der MORAN-Parameter in diesem Zeitraum aufgrund hoher Wertestreueung nicht möglich ist. Die Hahnöfer Nebelbe und das westliche Mühlenberger Loch sind in diesem Zeitraum also „völlig aus dem Gleichgewicht“ geraten. Die Ursachen liegen in den bereits beschriebenen Eingriffen. Nach Korrektur der h_u um die Sedimentations- bzw. Erosionsrate zeigt sich, daß \bar{h}_u in allen Feldern abgesunken und somit eine Beruhigung der Morphodynamik eingetreten ist.

Nach 1978 sind weder in der Hahnöfer Nebelbe und im Mühlenberger Loch noch in der angrenzenden Hauptelbe größere Baumaßnahmen durchgeführt worden. Dadurch strebt das Untersuchungsgebiet wieder einem (neuen) Gleichgewichtszustand entgegen, der aber, wie die morphologischen Analysen zeigen, vorerst noch nicht erreicht ist. Dieses Streben auf einen neuen Gleichgewichtszustand zeigt sich in wieder gesunkenen h_u und damit einer geringeren Sedimentationsrate in Feld 2 und 4 und einer geringeren Erosionsrate in Feld 1. Nur in Feld 3 steigen die h_u offenbar als Spätfolge der Eingriffe in diesem nicht unmittelbar von Baumaßnahmen betroffenen Feld. Allerdings ist das Untersuchungsgebiet weiter vom Gleichgewichtszustand entfernt als vor den großen Baumaßnahmen. Es zeigt sich nach der Korrektur um die Sedimentations- bzw. Erosionsrate, daß \bar{h}_u in allen Feldern nochmals abgesunken ist, also eine weitere Verminderung der Morphodynamik stattgefunden hat. Im Vergleich zum Betrachtungszeitraum 1950-63 hat \bar{h}_u in der Hahnöfer Nebelbe und im westlichen Mühlenberger Loch im Schnitt um knapp 2 dm abgenommen, was mit einer um ein Drittel bis die Hälfte gesunkenen Morphodynamik gleichbedeutend ist. Da ein neuer, den veränderten Bedingungen (z. B. geringere Durchströmung durch die Absperrung der Alten Süderelbe) angepaßter Gleichgewichtszustand noch nicht erreicht ist, muß weiterhin mit Sedimentation in den Feldern 2-4 gerechnet werden. In Feld 1 wird die Erosionstendenz andauern, bis nach den Vertiefungen ein neues Gleichgewichtsgefälle erreicht ist.

Der beschriebene Einfluß der großen Baumaßnahmen auf die Morphodynamik ist im Mühlenberger Loch noch gravierender als in der Hahnöfer Nebelbe. Allerdings ist das Mühlenberger Loch stärker von lokalen Eingriffen (vor allem Baggerlöcher) gestört, die die allgemeine Entwicklung überdecken, so daß die für die Hahnöfer Nebelbe und das westliche Mühlenberger Loch gewählte Zeiteinteilung nur mit gewissen Abweichungen übernommen werden kann. \bar{h}_u ist im Mühlenberger Loch stärker abgesunken als in der Hahnöfer Nebelbe. Im Gegensatz zur Hahnöfer Nebelbe und zum westlichen Mühlenberger Loch ist die Sedimentationsrate nach Abschluß der großen Baumaßnahmen nicht kleiner geworden, sondern konstant geblieben oder sogar angestiegen. Im Mühlenberger Loch hat im Gegensatz zur Hahnöfer Nebelbe nach Absperrung der Alten Süderelbe und dem Bau des Neßleitdammes noch keine Annäherung an einen Gleichgewichtszustand stattgefunden, so daß damit gerechnet werden muß, daß es auf Vorlandhöhe anwächst.

6. Schlußbetrachtung

Es konnte gezeigt werden, daß sich die größeren Baumaßnahmen nachhaltig auf die Morphologie und die Morphodynamik der Hahnöfer Nebelbe und des Mühlenberger Loches ausgewirkt haben. In ihrer Gesamtheit haben diese Baumaßnahmen zu einer fortschreitenden Abnahme der Morphodynamik im gesamten Gebiet geführt, so daß mit Ausnahme von Feld 1 und dem Bereich der äußeren Außeneste Sedimentationstendenz vorherrscht. Ein Gleichgewichtszustand ist z. Zt. nicht absehbar. Die Gesamtbilanz im Zeitraum 1950-90 weist für die Hahnöfer Nebelbe und das Mühlenberger Loch einen Sedimentationsüberschuß von rd. 13 Mio. m³ auf.

Daß die z. T. hohen Sedimentations- bzw. Erosionsraten die eigentliche morphologische Charakteristik überlagern, führt zu dem vermeintlichen Widerspruch zwischen zunehmenden h_u bei zunehmenden Vergleichszeiträumen a und sinkenden h_u bei kleinen Vergleichszeiträumen ($a = 1$ Jahr oder $a = 2$ Jahre) in chronologischer Anordnung. Daher mußten die Umsatzhöhen bei der Berechnung der MORAN-Funktion um diese Werte korrigiert werden. Die sehr niedrigen a_0 -Werte zeigen den kurzfristigen Wechsel der äußeren Einflüsse an. Dies ist der Hauptunterschied zu den Untersuchungen von SIEFERT (1987) im Küstenvorfeld, das gar keiner oder einer säkularen (SIEFERT u. LASSEN, 1987) Änderung unterliegt. Am Beispiel der Hahnöfer Nebelbe und dem westlichen Mühlenberger Loch konnte gezeigt werden, daß sich die MORAN-Methode für morphologische Analysen der Nebenrinnen und Watten eines Ästuars sehr gut eignet.

Es ist im Untersuchungsgebiet äußerst schwierig, die beschriebenen Veränderungen bestimmten Baumaßnahmen zuzuordnen, da sich die Eingriffe und deren potentielle Nachwirkungen größtenteils zeitlich überlagern. Es stellt sich die Frage, ob die anhaltende Sedimentationstendenz immer noch auf die Absperrung der Alten Süderelbe, den Bau des Neßleitdammes und die Aufspülungen im Zuge der Fahrwasservertiefungen oder auf Strömungskonzentration in der Fahrrinne durch die Vertiefungen zurückzuführen ist. Diese Frage gewinnt in Hinblick auf die geplante Wiederöffnung der Alten Süderelbe und den erneuten Ausbau der Fahrrinne an Bedeutung.

7. Parameterverzeichnis

a	(Jahr)	Vergleichszeitraum (Zeitdifferenz zwischen zwei topographischen Aufnahmen)
a_0	(Jahr)	Zeitraum, in dem \bar{h}_u bei gleichsinniger, linearer Veränderung der Topographie der Teilflächen eines Feldes erreicht würde
$a_{0,9}$	(Jahr)	Zeitraum, nach dem \bar{h}_u zu 90 % erreicht ist
h_b	(dm)	mittlere Bilanzhöhe einer Fläche
h_u	(dm)	mittlere Umsatzhöhe einer Fläche
\bar{h}_u	(dm)	asymptotischer Grenzwert von h_u
σ	(dm)	Standardabweichung (der y -Werte)

8. Schriftenverzeichnis

- DAMMSCHNEIDER, H.-J.: Morphodynamik, Materialbilanz und Tidewassermenge der Unterelbe. Berliner Geogr. Studien, Bd. 12, 1983.
- FELSHART, T.: Morphodynamische Veränderungen im Mühlenberger Loch, einer Bucht im Tidebereich der Elbe. Berliner Geogr. Studien, Bd. 25, 1987.
- HOFSTEDE, J.: Parameter zur Beschreibung eines Wattgebietes. Die Küste, H. 50, 1989, S. 197-212.
- HOFSTEDE, J.: Hydro- und Morphodynamik im Tidebereich der Deutschen Bucht. Berliner Geogr. Studien 31, Bd. 31, 1991.
- KRAUSE, M.: Die Elbe, Hamburgs Lebensader – Ihre Betreuung durch die Wasser- und Schifffahrtsdirektion Hamburg. Hamburg – Großstadt und Welthafen. Festschrift zum 30. Geographentag 1955 in Hamburg. Kiel, 1955, S. 50-59.
- MARNITZ, U.: Über den Einfluß baulicher Veränderungen in der Elbe auf die Morphologie im Gebiet Mühlenberger Loch / Hahnöfer Nebelbe. Examensarbeit am Institut für Geographie der Universität. Hamburg, 1991 (unveröff.).
- MARNITZ, U.: Anwendung der MORAN-Methode auf die Nebenrinnen und Watten eines Tideflusses zur Beurteilung ihrer morphologischen Entwicklung am Beispiel der Hahnöfer Nebelbe und des Mühlenberger Lochs im Zeitraum 1950-90. Berichte, Forsch.- u. Technologiezentrum Westküste d. Univ. Kiel, Nr. 6, Büsum, 1994, S. 45-60.
- NEHLS, N., GREISER, N. u. HARMS, H.: Forschungsvorhaben Mühlenberger Loch, Abschlußbericht September 1993. Universität Hamburg 1993, Inst. f. Allg. Botanik, Abt. Mikrobiologie. Im Auftrag und in Zusammenarbeit mit der Wirtschaftsbehörde / Amt Strom- u. Hafenbau und der Umweltbehörde / Amt für Umweltschutz, Gewässer- u. Bodenschutz.
- SIEFERT, W.: Hydrologische und morphologische Untersuchungen für das Mühlenberger Loch, die Außeneste und den Neßsand. Hamb. Küstenf., H. 43, 1984.
- SIEFERT, W.: Umsatz- und Bilanzanalysen für das Küstenvorfeld der Deutschen Bucht. Grundlagen und erste Auswertungen (Teil I der Ergebnisse eines KFKI-Projektes). Die Küste, H. 45, 1987, S. 1-47.
- SIEFERT, W. u. LASSEN, H.: Zum säkularen Verhalten der mittleren Watthöhen an ausgewählten Beispielen. Die Küste, H. 45, 1987, S. 59-70.
- WASSER- UND SCHIFFFAHRTSDIREKTION NORD (Hrsg.): Zusammenstellung bedeutender Baumaßnahmen in der Tideelbe, Beitrag Nr. 6, Kiel, 1993.