

Meyniana	43	Seite 59–71	7 Abb.	Kiel, (Okt.) 1991
----------	----	-------------	--------	-------------------

SEDIMENTVERTEILUNG IM STRAND- UND VORSTRANDBEREICH NACH EINER SANDVORSPÜLUNG (PROBSTEI / SCHLESWIG-HOLSTEIN)

KLAUS SCHWARZER

SCHWARZER, KLAUS, 1991: Sedimentverteilung im Strand- und Vorstrandbereich nach einer Sandvorspülung (Probstei/Schleswig-Holstein). (Sediment distribution on the beach and in the nearshore environment after a beach nourishment (Probstei/Schleswig-Holstein). – Meyniana 43: 59-71, 7 figs, Kiel.

Shortly after the completion of the middle-section of the dyke protecting the Probstei-Lowland (easterly part of Kiel Outer Fjord) against floods erosion processes increased in the nearshore area. That's why a beach nourishment was carried out along with a geological research programm to determine the incorporation of the artificial material into the natural sediment cycle and to estimate the reaction of the nearshore environment due to this measure. It could be seen that fine-sand which mainly builds up the nearshore bars and which was the main component of the flushed sand, was completely wasted and the former conditions developed again after one year.

Dr. KLAUS SCHWARZER, Geologisch-Paläontologisches Institut und Museum der Universität, Olshausenstr. 40, D-2300 Kiel.

Kurzfassung

Kurz nach Fertigstellung des mittleren Deichabschnittes zur Sicherung der Probsteiniederung (östl. Kieler Außenförde) kam es im Vorstrandbereich zu einem Sedimentdefizit. Im Rahmen einer daraufhin erfolgten Sandvorspülung konnte in einem geologischen Untersuchungsprogramm die Einarbeitung des künstlich aufgespülten Materials in den natürlichen Sedimentkreislauf, sowie die Reaktion des Vorstrandes auf diese Maßnahme untersucht werden. Es zeigte sich, daß der sandriffaufbauende Feinsand, welcher den Hauptbestandteil des Spülgutes darstellte, bereits nach einem Jahr wieder aufgezehrt war, und sich der Ausgangszustand nahezu wieder eingestellt hatte.

1. Einleitung

Die 1975 begonnenen Deichbauarbeiten zur Hochwasserabsicherung der Probsteiniederung (Abb. 1) konnten im Bereich Kalifornien/Brasilien im Frühjahr 1986 abgeschlossen werden. Baumaßnahmen dieser Art in Strand- und Vorstrandbereichen sandiger Brandungsküsten bedeuten immer einen empfindlichen Eingriff in das sensible Gleichgewicht zwischen hydrologischen Rahmenbedingungen, morphologischen Formen und der sedimentologischen Beschaf-

fenheit des Meeresbodens. So kam es auch hier, bereits wenige Monate nach Beendigung der Bauarbeiten, offensichtlich zu Verschiebungen innerhalb dieses Gleichgewichtes. In einigen Buhnenfeldern dieses Küstenabschnittes traten erhebliche Strandausräumungen auf, so daß, um diesem Prozeß entgegenzuwirken, im Frühjahr 1987 eine Sandvorspülung durchgeführt wurde.

Die folgenden Ausführungen stammen im wesentlichen aus einem Meßprogramm, das während und im Anschluß an die Bauarbeiten gemeinsam vom Amt für Land- und Wasserwirtschaft Kiel, dem Leichtweiß-Institut für Wasserbau der TU Braunschweig und dem Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Kiel durchgeführt wurde. Das Amt für Land- und Wasserwirtschaft Kiel leistete nicht nur die finanzielle Unterstützung, sondern stand auch in der Zusammenarbeit in jeder Hinsicht hilfreich zur Seite. Die Sedimententnahmen wurden von der Tauchgruppe des Geologisch-Paläontologischen Institutes der Universität Kiel unterstützt. Ihnen allen sei an dieser Stelle aufrichtig gedankt.

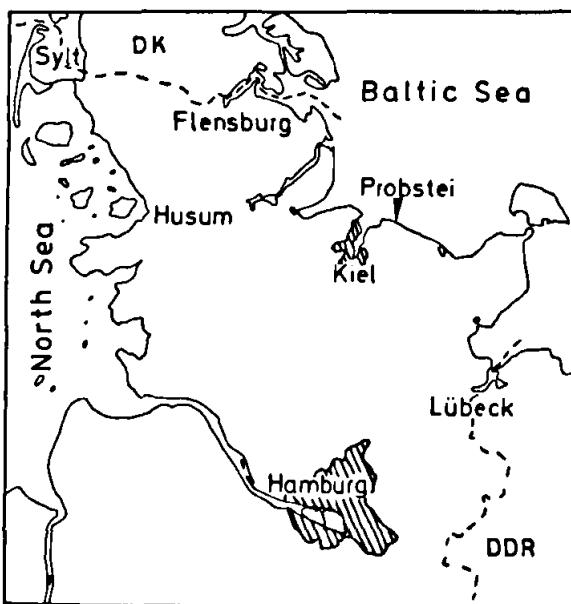


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes

2. Geologische Entwicklung des Untersuchungsraumes

Die geologischen Verhältnisse der Probstei und des vorgelagerten Seegrundes sind durch eine Vielzahl von Untersuchungen hinreichend bekannt (BRESSAU & SCHMIDT 1979; DIETHELM & PITZKA 1987; GUENTHER et al. 1952; KACHHOLZ 1982; KLUG et al. 1974; KÖSTER 1979; SCHWARZER 1989a, WERNER 1979). Danach ist der Untersuchungsraum durch eine flach nach Norden abtauchende pleistozäne Landoberfläche geprägt, die von mehreren bis zu 25 m tiefen Rinnen zergliedert ist.

KÖSTER (1979) konnte durch langjährige kontinuierliche Beobachtungen sedimentologisch-morphologische Entwicklungstendenzen für diesen Raum ableiten. Er beschreibt eine Zweiteilung in den rezenten Riffstrukturen. Eine in

Relation zueinander „feinkörnigere“ Riffstaffel, bestehend aus zwei Transportkörpern, zieht von Osten in das Untersuchungsgebiet hinein und endet ungefähr bei B 22/B 23 (Abb. 3-6). Hier ist der Beginn einer sich nach Westen immer weiter auffächernden Riffstruktur, die bezogen auf das östliche System durch höheres Aufragen über dem Seegrund in ihrer morphologischen Ausbildung wesentlich ausgeprägter erscheint. Das Korngrößenspektrum, vornehmlich des äußeren Riffes, ist hier zum „Groben“ verschoben (KÖSTER 1979; KACHHOLZ 1982). Diese markante geologische Grenze wird von KÖSTER (1979) als Erosionsfront gedeutet, die sich in Richtung des resultierenden Netto-Sedimenttransports von Ost nach West verschiebt und langfristig ein zunehmendes Sanddefizit in diesem Bereich bewirken könnte.

3. Strand- und Vorstrandentwicklung vor und nach der Vorspülung

Im zentralen Bereich des Untersuchungsraumes war im Frühjahr 1987 über eine Distanz von etwa einem Kilometer (B 23 bis B 28, Abb. 3-6) das vormals vorhandene Sandriffssystem als morphologische Struktur weitgehend aufgelöst (SCHWARZER 1989b). Zusätzlich war in einigen Buhnenfeldern der Strand vollständig ausgeräumt. Um dieses Materialdefizit wieder auszugleichen, wurden von April – Juni 1987 über eine Länge von 1.6 km 192.400 m^3 Sand zwischen B 23 – B 31 (Abb. 3-6) aufgespült.

3.1 Flächenhafte Darstellung des Feinsandanteiles

Um möglichst detaillierte Kenntnisse über den Einbau des Spülgutes in den natürlichen Sedimentkreislauf zu erhalten, sowie Änderungen in der Sedimentverteilung und -zusammensetzung in Abhängigkeit bestimmter, in den verschiedenen Jahreszeiten auftretender Wetterlagen zu ermitteln, erfolgten, verteilt über ein Jahr, vier Beprobungen. Ihr zeitlicher Ablauf war so festgelegt, daß der Zustand sowohl im Frühjahr 1987 direkt vor (Abb. 3) als auch im Juni 1987 direkt nach der Vorspülung (Abb. 4) erfaßt werden konnte. Weitere Beprobungen schlossen sich im Oktober 1987 – zu diesem Zeitpunkt war bereits eine gewisse Einarbeitung des Spülmateriale in den natürlichen Sedimentkreislauf zu erwarten gewesen – und im Mai 1988 an.

Aus früheren Untersuchungen (KÖSTER 1979) ist bekannt, daß sich allein schon über die Darstellung einzelner aus dem Gesamtspektrum ausgewählter Korngrößenbänder eine sedimentologische Zonierung dieses Untersuchungsraumes ableiten läßt. Der Gew.%-Anteil des Feinsandes (Fraktion $<200 \mu\text{m}$) eignet sich in ausgezeichneter Weise, um entsprechend der Fragestellung Differenzierungen nach sedimentologischen Kriterien vorzunehmen. Dieses gilt umso mehr, als das Spülmaterial selbst primär aus Sanden im Korngrößenbereich unterhalb $200 \mu\text{m}$ aufgebaut war (Abb. 2).

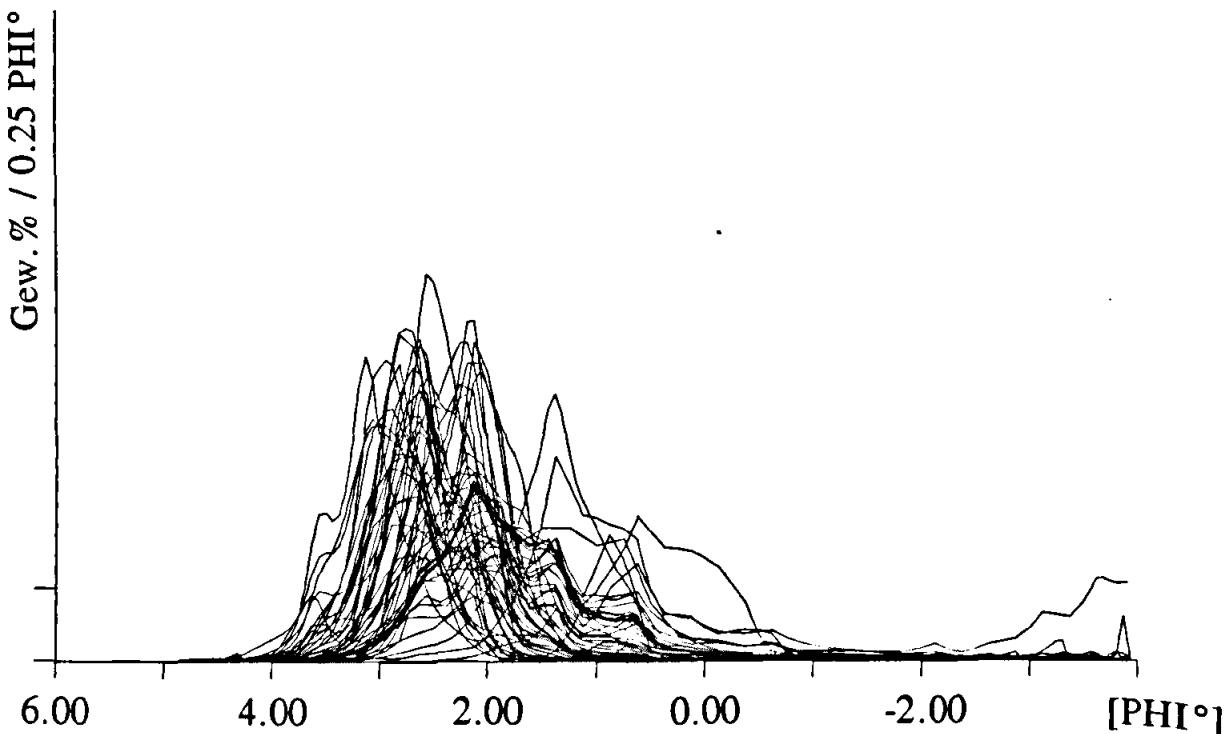


Abb. 2: Korngrößenhäufigkeitsverteilungen des Spülmaterials

Aufgrund der Analysen kann der Untersuchungsraum nach sedimentologischen Gesichtspunkten in zwei deutlich voneinander unterscheidbare Gebiete aufgegliedert werden, deren Trennungslinie durch die Mitte der jeweiligen Kartenausschnitte verläuft (Abb. 3-6). Einem Strand- und Riffbereich im Südteil (Gew%-Anteil $<200 \mu\text{m}$ $>60\%$) steht eine Abrasionsfläche im Norden gegenüber (Gew%-Anteil $<200 \mu\text{m}$ $<20\%$) (KÖSTER & SCHWARZER 1988). Sie ist getrennt durch die in allen Beprobungen auftretende, von Lockersedimenten nie vollständig überdeckte „Geschiebemergel/Steine – Fläche“. Lediglich an den Nord- oder Südrändern ragen die unterschiedlichen Sedimentgruppen in diesen Bereich hinein.

Im Nordteil dominieren mobile, nur geringmächtige Grobsand/Kiesschleier, die in ihrem Verteilungsmuster lediglich geringen Veränderungen unterworfen sind. Der Südteil hingegen, mit Strandbereich und Riffsystem, variiert in dem Erscheinungsbild der Oberflächensedimente sehr stark. Im rifffreien Teil herrschen im April 1987 Sedimente mit >80 Gew% Feinsand vor; die morphologischen Riffstrukturen selbst im westlichen und östlichen Teil zeichnen sich durch 60–80 Gew% Feinsand aus. Im Bereich um die Buhnenköpfe treten Kolke mit am Boden zu beobachtenden Steinpflasterhorizonten auf. Der Strand wird, dort wo er vorhanden ist, zum überwiegenden Teil aus Mittel- und Grobsanden aufgebaut.

Durch die Vorspülung erfolgte eine starke Anreicherung von Feinsanden am Strand sowie auf dem küstennahen Seegrund. Ein durchgehendes Band mit >80 Gew% Sanden der Fraktion $<200 \mu\text{m}$ zieht sich unter Einschluß der Riffe quer durch das gesamte Untersuchungsgebiet. Im Oktober erreicht diese

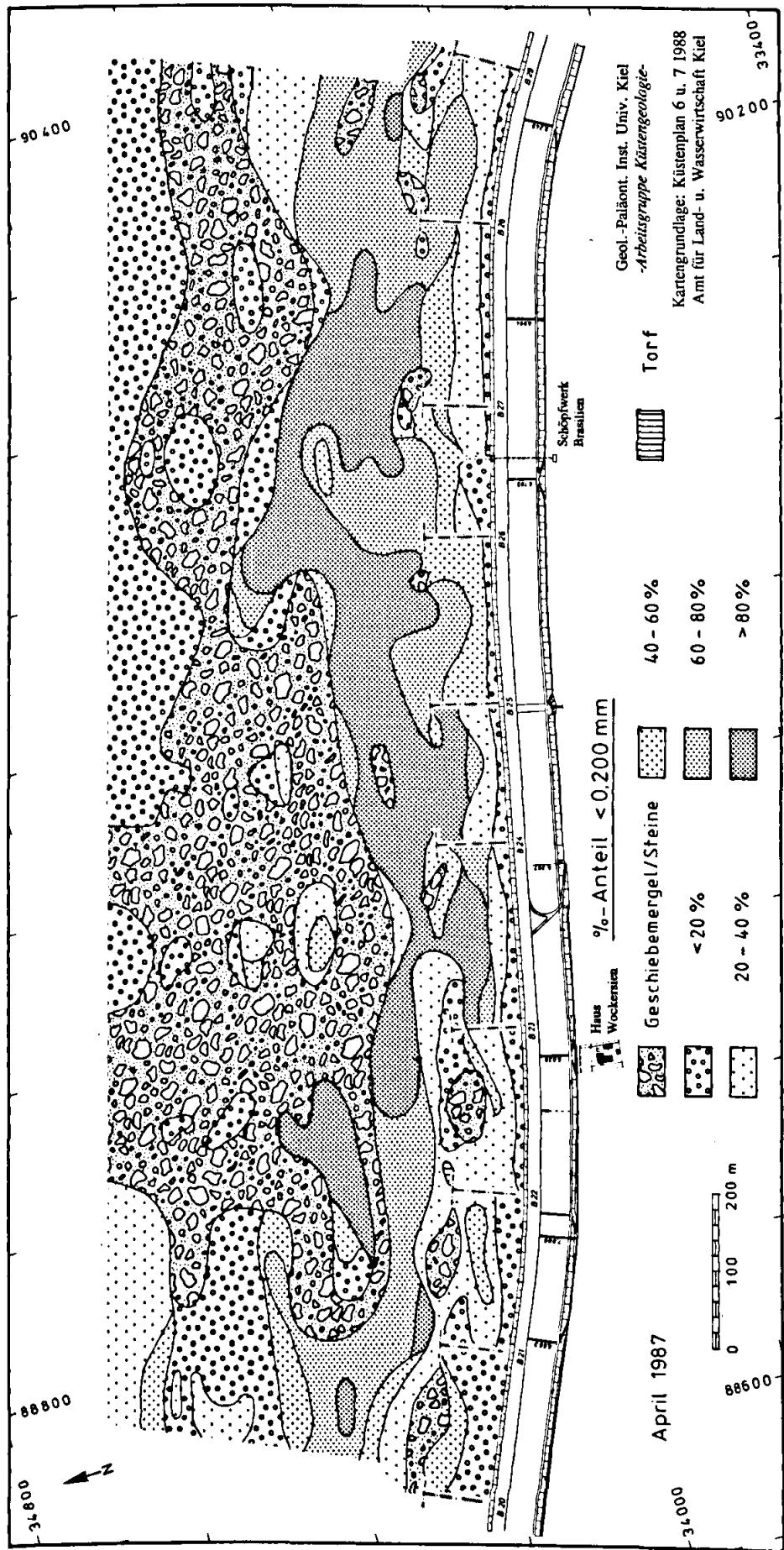


Abb. 3: Flächenhafte Darstellung der Feinsandfraktion vor der Vorspülung im APRIL 1987

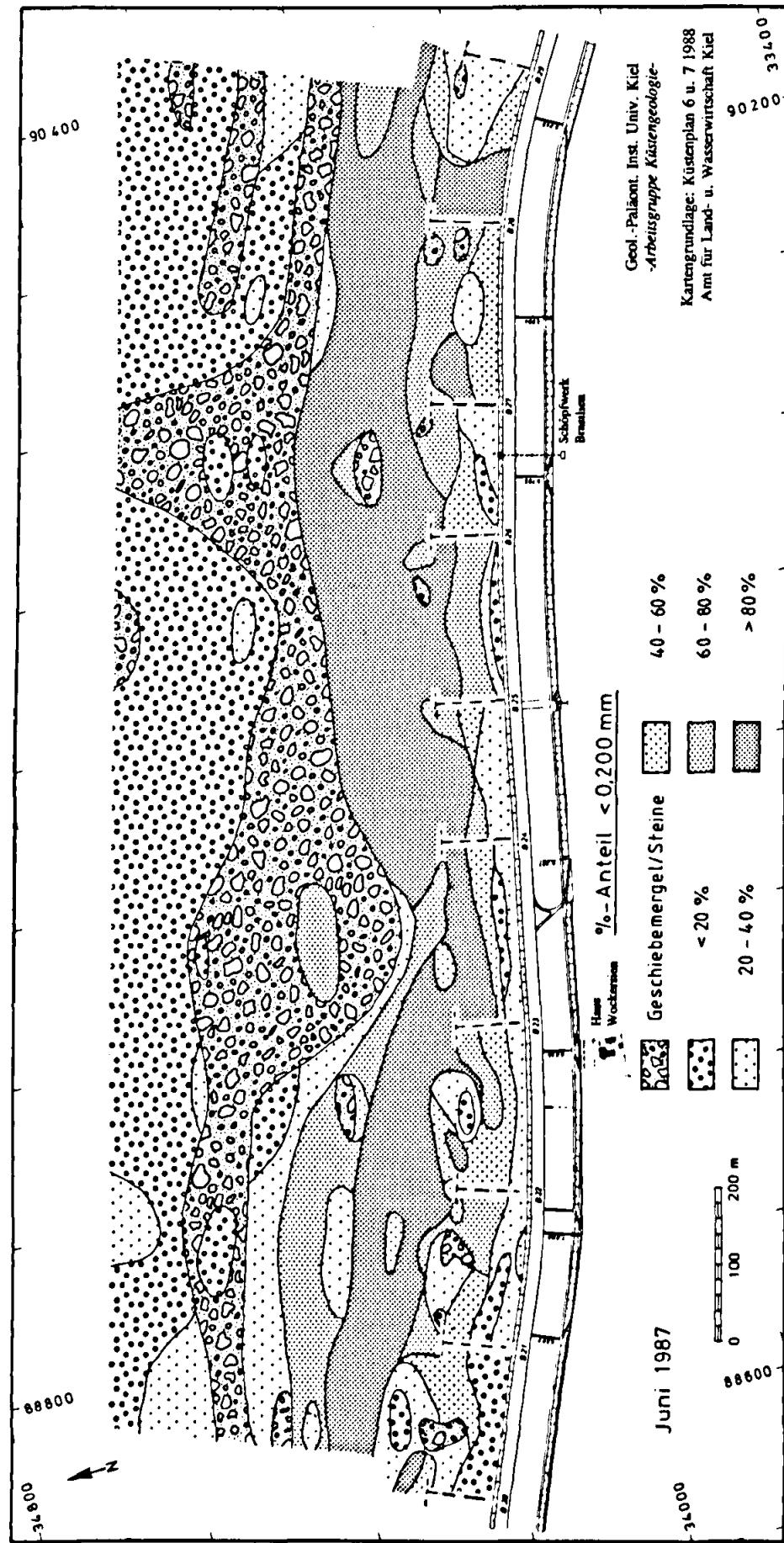


Abb. 4: Flächenhafte Darstellung der Feinsandfraktion nach der Vorspülung im JUNI 1987

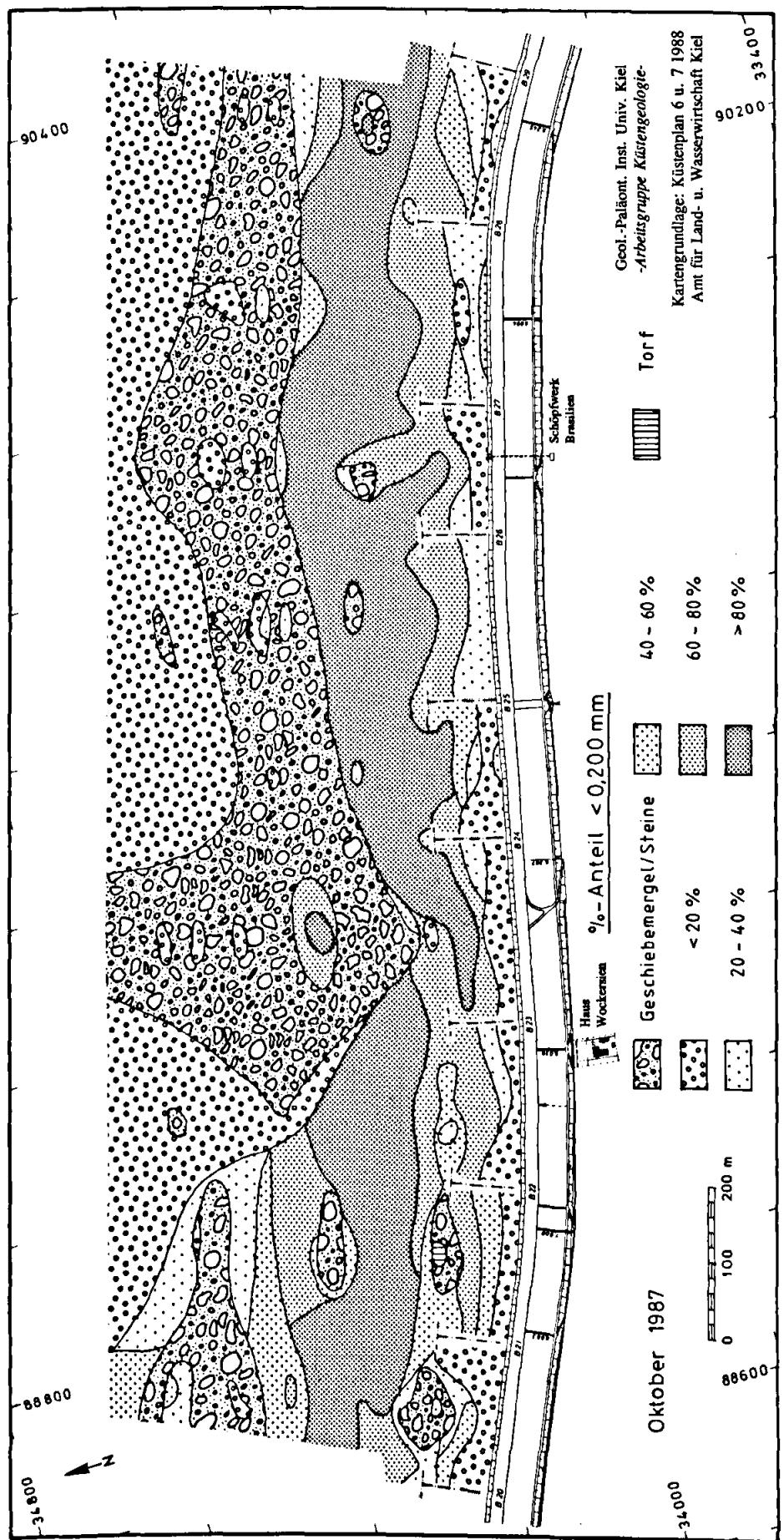
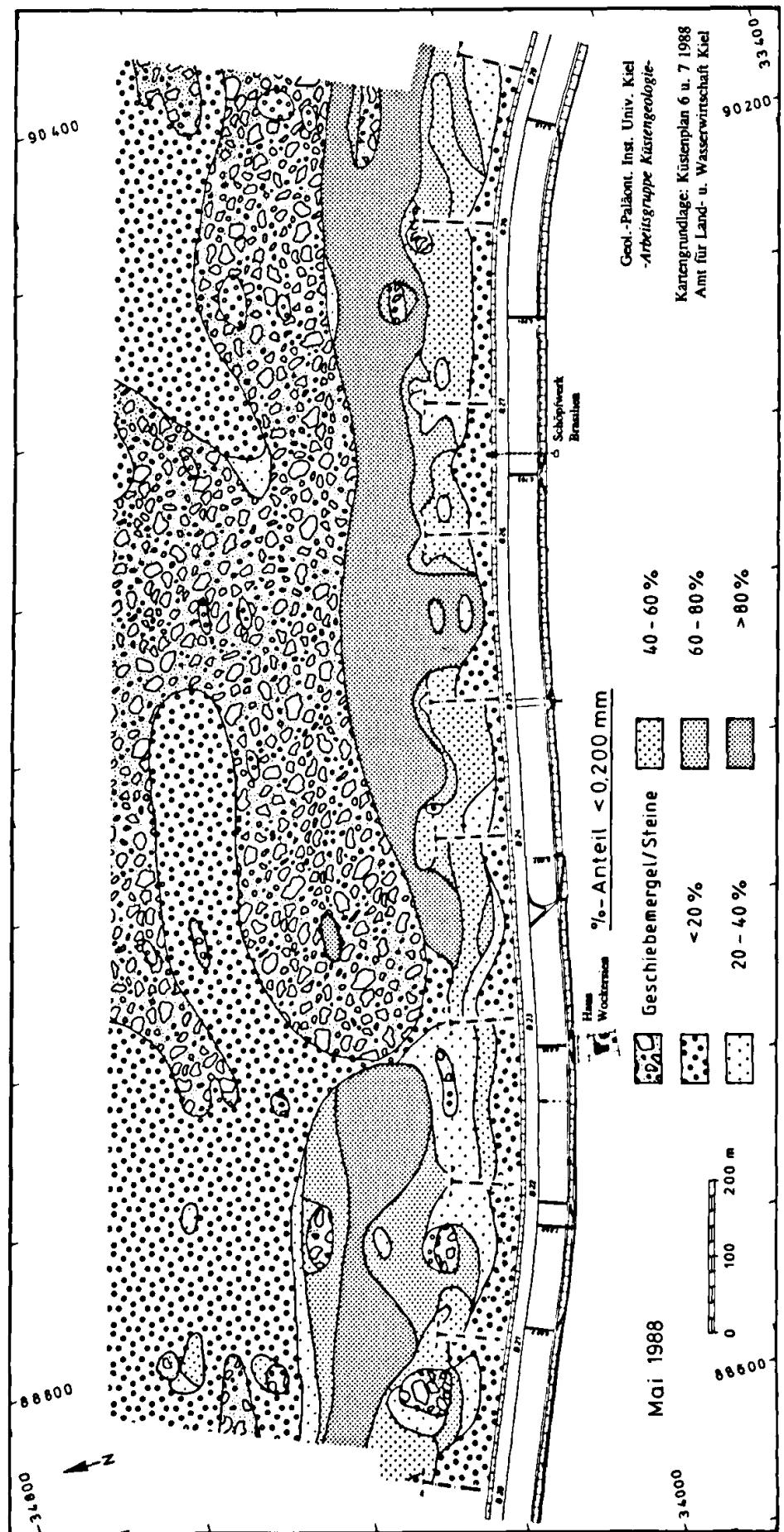


Abb. 5: Flächenhafte Darstellung der Feinsandfraktion nach der Vorspülung im OKTOBER 1987



Feinsandfläche zwar ihre größte nördliche Ausdehnung, wird aber bereits im Südteil durch etwas „gröbere“ Sedimente schon wieder verdrängt. Ein im Oktober beobachtetes, von Norden einsetzendes Ausdünnen der Feinsandfläche im Bereich der Buhne 23 findet im Mai in noch verstärkterem Maße seine Fortsetzung. Weiterhin zeigt die Maibeprobung einen großen Verlust der Flächen mit hohen Feinsandanteilen zugunsten der „Geschiebemergel/Steine – Fläche“, die zugleich ihre bisher südlichste Ausdehnung erreicht.

Kolkungen um den Kopf der Buhne 28 führen bereits im Mai schon wieder zur Ausbildung eines Steinpflasters in diesem Bereich.

3.2 Verschiebungen im Gesamtkornspektrum

Die Beibehaltung des gleichen Probenpunktasters für alle Beprobungen erlaubt es, über die in den Karten dargestellten flächenhaften Änderungen der Verteilungsmuster einzelner Korngrößenbänder (Abb. 3-6) hinaus, Verschiebungen der prozentualen Anteile einzelner Bandbereiche aus dem Gesamtkornspektrum auch numerisch zu erfassen, und zu vergleichen. Hierzu sind folgende Grundvoraussetzungen erfüllt:

- a) der geographische Rahmen des Arbeitsgebietes wurde nicht verändert;
- b) die Anzahl der Proben sowie die Positionen der Probenentnahmepunkte wurden beibehalten;
- c) die Entnahmetechnik sowie die Aufbereitung des Sedimentmaterials im Labor war für alle Probenserien unverändert.

Abb. 7 zeigt für die Korngrößenbänder $<200 \mu\text{m}$, $200 - 350 \mu\text{m}$, $350 - 630 \mu\text{m}$ und $>630 \mu\text{m}$ die Häufigkeit des Vorkommens bestimmter Anteilklassen am Gesamt sediment. Auf der Abzisse ist, jeweils bezogen auf alle Proben einer Probenserie, der Gew%-Anteil des entsprechenden Korngrößenbandes unterteilt in 20 Klassen zu 5 Gew% – Stufen aufgetragen. Auf der Ordinate ist die Häufigkeit der entsprechenden Anteilklassen abzulesen.

Im April 1987 liegt der durchschnittliche Feinsandgehalt im Mittel bei 42.2 %. Proben der Anteilklassen 0 – 5 Gew% sind mit ca. 13 % am häufigsten vertreten. Für alle anderen Klassen schwankt die Häufigkeit zwischen 4 und 7 %, jedoch mit deutlich ausgeprägten Maxima.

Im Juni 1987, direkt nach der Vorspülung, hat sich dieses Bild völlig gewandelt. Der durchschnittliche Feinsandgehalt stieg um 11 Gew% auf 53.4 Gew%. Die größte Häufigkeit weisen nun Anteilklassen mit >80 Gew% Feinsand auf. Bei Betrachtung der Korngrößenhäufigkeitsverteilungen des Spülsandes (Abb. 2) liegt die Vermutung sehr nahe, daß das neu eingebrachte Sediment die Ursache für das starke Ansteigen der Feinsandgehalte war, zumal nicht nur im Riffsystem, sondern vermehrt auch am Fuße des Spülkörpers Akkumulationen von Sedimentmaterial $<200 \mu\text{m}$ zu beobachten waren (Abb. 4).

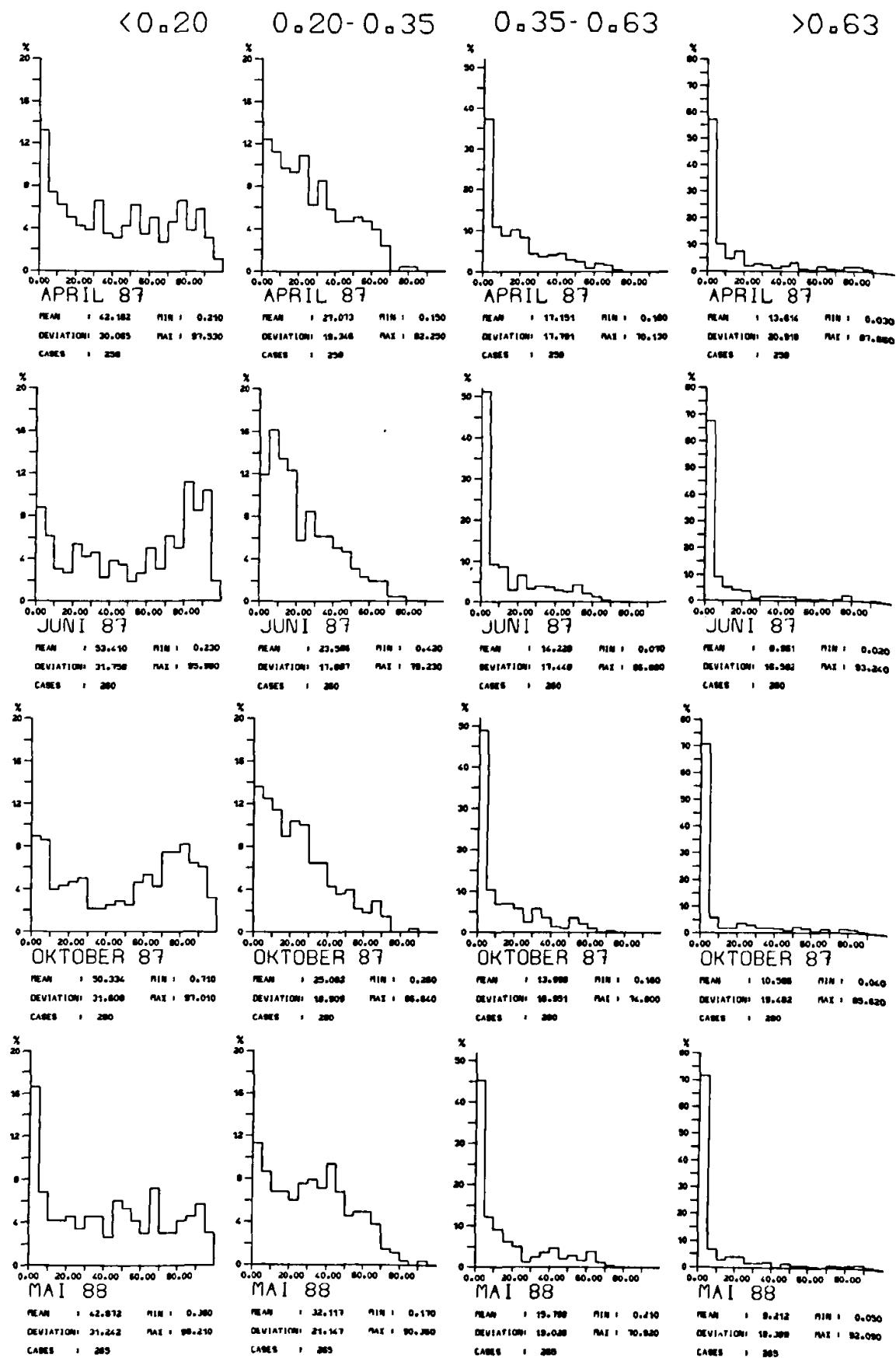


Abb. 7: Einfluß der Sandvorspülung auf die relativen Veränderungen einzelner Korngrößenbänder

Um 3 Gew% geringere Feinsandgehalte wurden bereits schon wieder im Oktober gemessen (50,3 Gew%). Einer Abnahme der Probenanzahl mit sehr hohen Feinsandanteilen (>80 Gew%) steht ein Anstieg der Anteilsklassen gegenüber, deren Gehalte <200 µm zwischen 60 – 80 Gew% liegen. Die Anteilsklassen zwischen 30 – 50 Gew% Feinsand sind sehr stark reduziert.

Im Mai 1988 ist nahezu wieder der Aprilzustand des Vorjahres erreicht. Sowohl der mittlere Feinsandanteil mit 42,9 Gew%, als auch die Verteilungen der Häufigkeit einzelner Anteilsklassen zeigen das alte Bild.

Die Daten bezüglich der Entwicklung der Feinsandanteile unterstützen die bereits bei der flächenhaften Auftragung dieses Parameters gemachten Beobachtungen. Schreibe man die Änderung des Feinsandgehaltes allein der Vorspülung zu, so würde dies bedeuten, daß das gesamte zusätzlich eingebrachte, und für den Riffaufbau wichtige Material der Korngrößenbereiche <200 µm aufgezehrt wurde. Sowohl Vermessungen als auch Geländebeobachtungen bestätigten zumindest für einige Buhnenfelder diese Schlußfolgerung. Es kann aber nicht ausgeschlossen werden, daß zusätzlich auch saisonale Schwankungen für das Auftreten bestimmter Sedimentgruppen eine Rolle spielen.

Der feine Mittelsand (200 – 350 µm) zeigt im Vergleich zum Feinsand ein gegenläufiges Verhalten. Lag im April der mittlere Gehalt bei 27,1 Gew%, so sank er nach der Vorspülung im Juni auf 23,6 Gew%. Im Oktober erreichte er bereits wieder 25,1 Gew% und lag im Mai 1988 mit 32,1 Gew% weit über dem Aprilniveau. Kann bis zum Oktober die Entwicklung dieser Prozentzahlen auf die Vorspülung zurückgeführt werden – die Anreicherung, bzw. Überdeckung mit Feinsand führt automatisch zu einer Verarmung der größeren Bestandteile des Sedimentes, die sich im weiteren zeitlichen Verlauf umgekehrt zur Entwicklung des Feinsandgehaltes verhält – so können die hohen Gehalte im Mai nicht mehr eindeutig den Auswirkungen der Vorspülung zugeschrieben werden.

Hochwasserereignisse im Herbst/Winter 1987 (EIBEN 1989) führten im Strand- und Vorstrandbereich zu starken Umlagerungen (SCHWARZER 1989b). Die im Mai 1988 gemessenen hohen Anteile feinen Mittelsandes in einem dem Deich vorgelagerten ca. 120 m breiten Gürtel (KÖSTER & SCHWARZER 1988) waren zumindest in einigen Buhnenfeldern, sowie deren seewärtigem Vorfeld direkt nach dem Sturm nicht mehr nachweisbar (SCHWARZER 1989b). Inwieweit bei dem Neuaufbau des Küstenvorfeldes Spülmaterial wieder mit eingelagert wurde, und ob dabei die im Gegensatz zum April 1987 wesentlich höheren Anteile im Mai 1988 noch auf die Vorspülung zurückzuführen sind, oder zu einer natürlichen Schwankungsbreite dieses Korngrößenbandes zählen, konnte nicht eindeutig geklärt werden.

Weiterhin zeigt sich über den gesamten Beprobungszeitraum eine auffällige Veränderung innerhalb der Anteilsklassen dieses Korngrößenbandes. Während im April ein hoher prozentualer Gehalt feinen Mittelsandes mit einer geringen Häufigkeit der Proben, die diese höheren Anteile enthalten, verbunden war, tritt im Juni eine deutliche Veränderung ein. Der Bereich zwischen 5 – 20 Gew%

dieser Sedimentgruppe erfährt im Juni eine starke Zunahme, wobei aber nicht eindeutig entschieden werden kann, ob dies allein auf die Vorspülung zurückzuführen ist.

Bei den Korngrößenbändern 350–630 µm und >630 µm ist ein Einfluß der Vorspülung nur undeutlich zu erkennen. Dennoch zeigen beide Bänder neben einer gesamten relativen Abnahme vom April zum Juni einen deutlichen Anstieg der Sedimentgruppe 0–5 Gew% für den gleichen Zeitraum. Die Sedimentation bereits ausgewaschener Feinanteile aus dem Spülkörper kann hier durchaus die relative „Verringerung“ des Grobmaterials am Gesamtsediment bewirkt haben.

4. Ergebnisse

Der Landesschutzdeich vor Kalifornien/Brasilien ist mit seinem zentralen Teil – abweichend von der alten Deichlinie – in den Seebereich hinein, in ein noch aktives Erosionsgebiet, vorgebaut worden. Bereits wenige Monate nach der Fertigstellung dieses Teilstückes kam es daher im Strand- und Vorstrandbereich dieses Gebietes zu starken Materialverlusten.

Ein 1983 noch vorhandenes Sandriffssystem hatte sich bis auf einige Relikte aufgelöst. Riffstrukturen waren nur noch am West- und Ostende des Untersuchungsraumes zu beobachten. Quer durch das Arbeitsgebiet zog sich von Ost nach West eine Zone, deren Sedimentoberfläche lediglich aus einer Steinsohle mit teilweise dazwischenliegenden freien Geschiebemergelflächen bestand. Die 0.00 m - Linie war in einigen Buhnenfeldern bis an das Rauhdeckwerk herangerückt. Eine im Frühjahr 1987 durchgeführte Sandvorspülung sollte dieses Materialdefizit ausgleichen und die Vorstrandverhältnisse stabilisieren.

Das Korngrößenspektrum des hierbei eingespülten Materials deckte sich nahezu mit dem des *in situ* vorliegenden Sedimentes, wies jedoch im Bereich des mittleren Feinsandes deutlich höhere Fraktionsanteile auf. Unmittelbar nach der Strandaufspülung setzte eine Verfrachtung des Feinsandes sowohl nach Norden in Richtung zur Abrasionsfläche, als auch nach Westen in das bei B 23 beginnende Riffssystem ein. Schon zu diesem Zeitpunkt war der Transport so weit fortgeschritten, daß selbst 500 m westlich des östlichsten Aufspülpunktes diese deutliche Zunahme im Feinsandspektrum zu beobachten war. Ein auf 200 m Breite anschwellender Feinsandgürtel zog sich quer durch das gesamte Untersuchungsgebiet. Er ragte im zentralen Teil bis in die Buhnenfelder hinein.

Während im Oktober noch die Bildung von initialen Kleinstritten in den Buhnenfeldern zu beobachten war, so hatte bereits seewärts der Buhnenköpfe schon wieder ein erheblicher Abbau des Feinsandgehaltes eingesetzt. Der kurzfristig zusammenhängende, aus diesem Material aufgebaute Bereich, war wieder aufgebrochen.

Im Mai 1988 – ein Jahr nach der Stranderhaltungsmaßnahme – war das Spülmaterial weitestgehend aufgezehrt. Der über das gesamte Arbeitsgebiet gemittelte Feinsandgehalt entsprach dem des Aprilzustandes von 1987. Ledig-

lich für den Mittelsand war noch eine leichte positive Bilanz zu verzeichnen. Das Vorrücken der Abrasionsfläche gegen die Deichlinie, vornehmlich im mittleren Teil des Arbeitsgebietes, konnte zwar verlangsamt, aber zu keinem Zeitpunkt endgültig gestoppt werden.

5. Literatur

- BRESSAU, S. & SCHMIDT, R. (1979): Geologische Untersuchungen zum Sedimenthaushalt an der Küste der Probstei und erste Erkundungen zur Sandgewinnung in der westlichen Ostsee. – Mitt. d. Leichtweiß-Inst. f. Wasserbau d. TU Braunschweig **65**: 191-210; Braunschweig.
- DIETHELM, R. & PITZKA, H. (1987): Zur geologischen Entwicklung der Salzwiesenniederung an der Probstei-Küste (Schleswig-Holstein). – Meyniana **39**: 119-126; Kiel.
- EIBEN, H. (1989): Wind, Wasserstände und Seegang während der Sturmperioden an der Ostseeküste Schleswig-Holsteins im Winter 1986/87. – Die Küste **50**: 14-30; Heide.
- GUENTHER, E.W.; NOBIS, G.; RADDATZ, K. & SCHÜTTRUMPF, R. (1952): Frühgeschichtliche Moorfunde von Barsbek (Kreis Plön). – Meyniana **1**: 32-57; Kiel.
- KACHHOLZ, K.-D. (1982): Statistische Bearbeitung von Probendaten aus Vorstrandbereichen sandiger Brandungsküsten mit verschiedener Intensität der Energieumwandlung. – Diss. Univ. Kiel: 381 S.; Kiel.
- KLUG, H.; ERLENKEUSER, H.; ERNST, T. & WILLKOMM, H. (1974): Sedimentabfolge und Transgressionsverlauf im Küstenraum der östlichen Kieler Außenförde während der letzten 5000 Jahre. – Offa **31**: 5-18; Neumünster.
- KÖSTER, R. (1979): Die Sedimente im Küstengebiet der Probstei – Ein Beitrag zu Sedimenthaushalt und Dynamik von Strand, Sandriffen und Abrasionsfläche. – Mitt. d. Leichtweiß Inst. d. TU Braunschweig, H. **65**: 165-189; Braunschweig.
- KÖSTER, R. & SCHWARZER, K. (1988): Geologische Untersuchungen zur Sandvorspülung vor der Probstei/Ostsee (Untersuchungszeitraum 4/87 – 6/88). – Bericht, Geol.-Paläont. Inst. Univ. Kiel: 113 S. (unveröff.); Kiel.
- SCHWARZER, K. (1989a): Sedimentdynamik in Sandriffsystemen einer tidefreien Küste unter Berücksichtigung von Rippströmen. – Berichte-Reports, Geol.-Paläont. Inst. Univ. Kiel, **33**: 270 S.; Kiel.
- SCHWARZER, K. (1989b): Auswirkungen der Januarsturmflut 1987 auf den Sedimenthaushalt des Strand- und Vorstrandbereiches vor der Probsteiküste. – Die Küste **50**: 31-44; Heide.
- WERNER, F. (1979): Die Sedimentverteilung außerhalb der Riffzone vor der Probstei aufgrund von Sidescan-Sonar-Aufnahmen. – Mitt. d. Leichtweiß Inst. f. Wasserbau d. TU Braunschweig, H. **65**: 139-163; Braunschweig.

Manuskript eingegangen am 22.1.1991