

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Schulz, Heinz; Ruck, Klaus-Wolfgang

Die Sandwanderungsverhältnisse an der Nordküste der Insel Fehmarn zwischen Wester Markelsdorf und Puttgarden

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103081>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Schulz, Heinz; Ruck, Klaus-Wolfgang (1967): Die Sandwanderungsverhältnisse an der Nordküste der Insel Fehmarn zwischen Wester Markelsdorf und Puttgarden. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 25. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 61-80.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Regierungsbaudirektor Heinz Schulz

und

Dipl.-Geologe Klaus-Wolfgang Ruck

Die Sandwanderungsverhältnisse
an der Nordküste der Insel Fehmarn
zwischen Westermarkelsdorf und Puttgarden

Travel of Sand at the North Coast
of the Fehmarn-Isle between
Westermarkelsdorf and Puttgarden

G l i e d e r u n g

1. Einleitung

2. Untersuchungsdurchführung

2.1 Messungen mit radioaktiven Leitstoffen

2.1.1 Markierung des Untersuchungssandes

2.1.2 Wahl der Untersuchungsgebiete

2.1.3 Ausbringen des gekennzeichneten Sandes

2.1.4 Meßgeräte

2.1.5 Untersuchungsergebnisse und Messungen

2.1.6 Wasserstands- und Windverhältnisse

2.1.7 Mit radioaktiven Leitstoffen gewonnene Erkenntnisse

2.2 Messungen mit lumineszierenden Leitstoffen

2.2.1 Markierung des Untersuchungssandes

2.2.2 Wahl der Eingabepunkte

2.2.3 Einbringung des gekennzeichneten Sandes

2.2.4 Kontrollmessungen

2.2.5 Untersuchungsergebnisse mit Luminophoren

3. Zusammenfassung

4. Schrifttum

1. Einleitung

Für die Planung einer Brücke von Fehmarn nach Lolland war es notwendig, die Sandwanderungsverhältnisse an der Nordküste von Fehmarn zu erkunden, um die Auswirkungen des Bauwerks auf die Küstenentwicklung voraussagen zu können. Die Anrampungen des geplanten Bauwerks sollen als Erddämme ausgeführt und die Wasserfläche zwischen den beiden Dammköpfen mit einer Stahlkonstruktion überbrückt werden. Die Bundesanstalt für Wasserbau - Außenstelle Küste - führte in diesem Zusammenhang eine eingehende Untersuchung der Sandbewegung durch, da mit ihrer Beeinflussung durch die Dämme mit Sicherheit zu rechnen ist.

Von grundlegender Bedeutung für derartige Untersuchungen sind die Erkenntnisse über das Zusammenspiel der Naturerscheinungen, die sich aus der Art der anstehenden Gesteine, der Wasserbewegung in der gezeitenfreien westlichen Ostsee sowie der Abhängigkeit der Transportkraft des Meeres von Windrichtung, Küstenform und Unterwassermorphologie ergeben. Im Untersuchungsgebiet ist der Strand aus Sand, Kies und Geröllen aufgebaut. Auf den der Küsten vorgelagerten submarinen Abrasionsflächen stehen ältere Bodenarten, wie Geschiebemergel und Tarraas, an. Durch den Angriff der See auf die Küste wird Material abgetragen. Es entstehen in der Uferzone Erosionskanten. Im bewegten Wasser werden ferner, soweit die Tiefenwirkung der Wellen sich erstreckt, Gesteine auf den submarinen Abrasionsflächen aufgearbeitet. Das mobilisierte Material wird im bewegten Wasser zerkleinert, transportiert, sortiert und wieder abgelagert.

Eine Untersuchung dieser Vorgänge ist durch sedimentpetrographische Methoden, wie Auswertung der anstehenden Kornverteilung, Untersuchung der Schwermineralzusammensetzung usw. oder durch Eingabe von präparierten Leitstoffen möglich. Von der Bundesanstalt für Wasserbau - Außenstelle Küste - wurde aufgrund der vorhandenen Unterlagen (Luftbilder, ältere Untersuchungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung) eine Untersuchung der Sandwanderung mit radioaktiven Isotopen und Lumino-phoren als Leitstoffen vorgeschlagen, da übersehen werden konnte, daß eine morphologische und sedimentpetrographische Untersuchung allein zur Klärung der gestellten Frage nicht ausreichte. Die erstmalige Anwendung einer Kombination der bisher nur getrennt eingesetzten Untersuchungsmethoden sollte es ermöglichen, gleichzeitig die Vorgänge in unmittelbarer Nähe der Küste und in einigen Kilometern Entfernung vor der Küste zu erfassen.

Der im Labor radioaktiv gekennzeichnete Sand sollte auf der Küste vorgelagerten submarinen Abrasionsflächen abgebracht werden, um den Transportweg des dort von der See abgetragenen Materials zu erfassen.

Der mit lumineszierenden Farbstoffen im Labor präparierte Sand sollte unmittelbar vor der Küste in den küstenparallelen Sandtransport eingegeben werden, um die Bewegung in unmittelbarer Küstennähe und den Verbleib des dort erodierten und verfrachteten Geschiebematerials zu ermitteln. Die Untersuchungen mußten die gesamte Nordküste Fehmarns umfassen, da diese eine physiographische Einheit bildet und Einzelfragen nur aus dem Gesamtbild der dort wirkenden Naturkräfte beantwortet werden können.

Das Aussetzen der Leitstoffe sollte möglichst im Frühjahr 1963 erfolgen, um die extremen Wetterlagen der Frühjahrsstürme zu erfassen. Wegen der starken Vereisung der Ostsee im Frühjahr 1963 konnte mit den Felduntersuchungen erst im April begonnen werden; sie mußten, um einen repräsentativen Überblick zu geben, entsprechend länger durchgeführt werden.

2. Untersuchungsdurchführung

2.1 Messungen mit radioaktiven Leitstoffen

2.1.1 Markierung des Untersuchungssandes

An den drei vorgesehenen Meßstellen wurden aus dem Seegrund etwa je 30 kg Sand entnommen, an den etwa 5 g Chrom 51 mit einer Gesamtaktivität von 2,5 Curie im schwimmenden Isotopenlabor der Bundesanstalt für Wasserbau - Außenstelle Küste - (Abb.1 und 2) angelagert wurden.



Abb.1

Das schwimmende Isotopenlabor

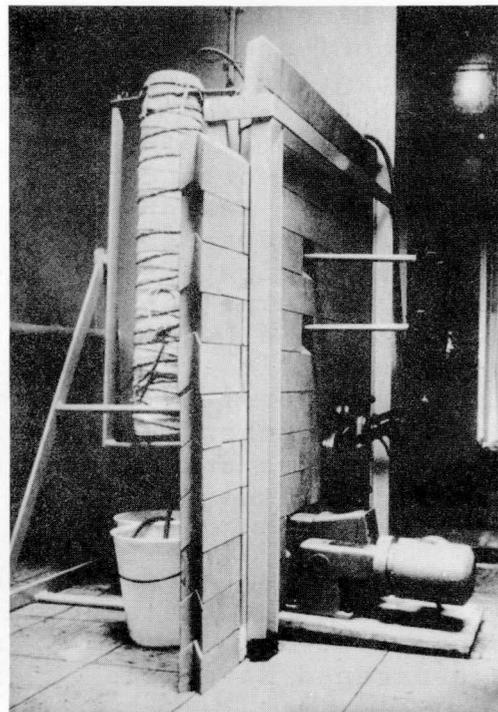


Abb.2 Innenansicht

Die Kornzusammensetzung des Sandes zeigt Abb.3.

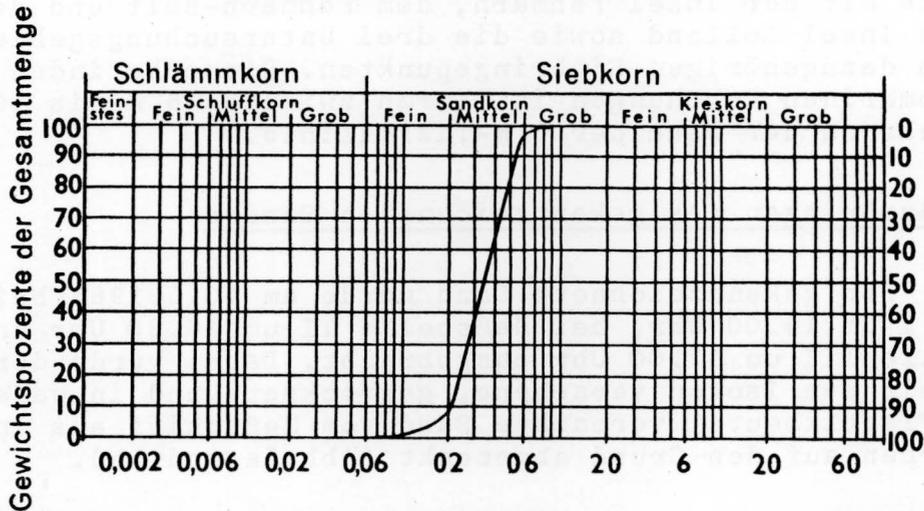


Abb.3 Die Kornzusammensetzung des Sandes

2.1.2 Wahl der Untersuchungsgebiete

Für die Ausbringung von radioaktiv gekennzeichnetem Sand wurden drei Stellen vor der Nordküste Fehmarns zwischen Markelsdorfer Huk und dem Fährhafen Puttgarden ausgewählt, die aus älteren Untersuchungen als submarine Abrasionszonen und damit als Materialliefergebiete bekannt waren. Der Verbleib des dort mobilisierten Materials sollte durch die Messungen erfaßt werden.

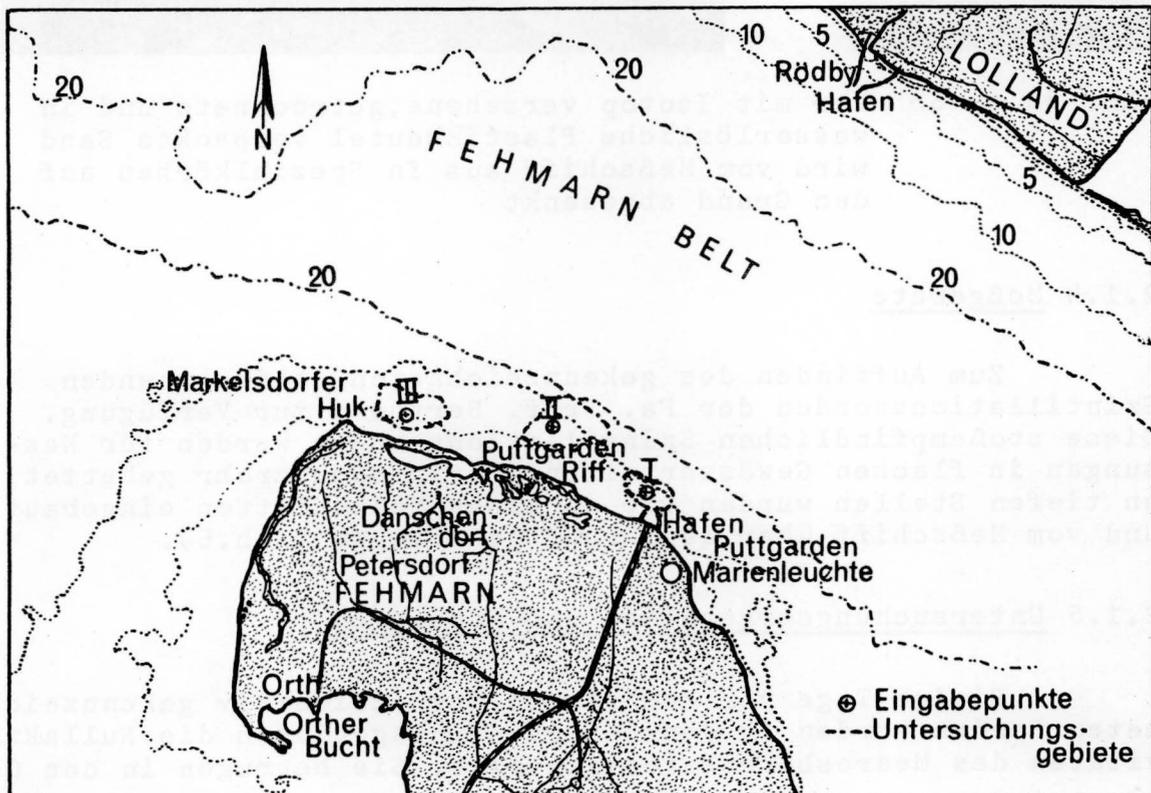


Abb. 4 Übersichtsplan

Der Übersichtsplan (Abb.4) zeigt einen Ausschnitt aus einer Seekarte mit der Insel Fehmarn, dem Fehmarn-Belt und der dänischen Insel Lolland sowie die drei Untersuchungsgebiete mit den dazugehörigen Einbringepunkten. Diese befinden sich auf submarinen Erhöhungen in Tiefen zwischen 6 m bis 10 m, jedoch mehr in der Nähe der 6 m-Tiefenlinie.

2.1.3 Ausbringen des gekennzeichneten Sandes

Der gekennzeichnete Sand wurde am 10.5.1963 bei Meßstelle I um 16.00 Uhr, bei Meßstelle II um 16.30 Uhr und bei Meßstelle III um 17.00 Uhr ausgebracht. Dabei wurde der im Labor mit dem Isotop versehene, getrocknete und in wasserlösliche Plastikbeutel verpackte Sand vom Meßschiff aus in Spezialkörben auf den Grund abgesenkt (Abb.5a und 5b).

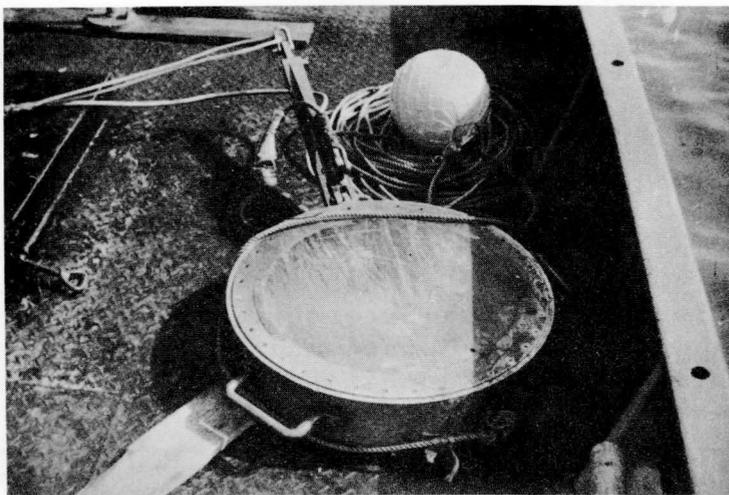
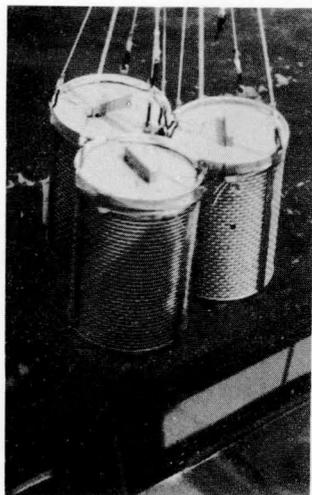


Abb. 5a u. 5b Der mit Isotop versehene, getrocknete und in wasserlösliche Plastikbeutel verpackte Sand wird vom Meßschiff aus in Spezialkörben auf den Grund abgesenkt

2.1.4 Meßgeräte

Zum Auffinden des gekennzeichneten Sandes standen Szintillationssonden der Fa. Prof. Berthold zur Verfügung. Diese stoßempfindlichen Szintillationssonden wurden für Messungen in flachen Gewässerteilen in ein Schutzrohr gebettet; an tiefen Stellen wurden sie in einen Meßschlitten eingebaut und vom Meßschiff über den Grund geschleppt (Abb.6).

2.1.5 Untersuchungsergebnisse und Messungen

Einige Tage vor Ausbringen des radioaktiv gekennzeichneten Sandes wurden in den Untersuchungsgebieten die Nullaktivitäten des Meeresbodens festgestellt. Sie betragen in den Ge-

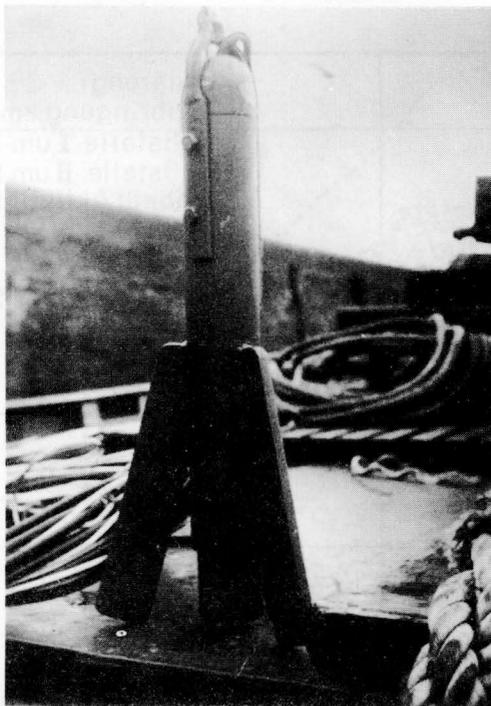


Abb.6 Szintillationssonde

bieten I und III 10-20 Imp/s, im Untersuchungsgebiet II 20-30 Imp/s.

Die Unterschiede in den Nullaktivitäten erklären sich aus den verschiedenen Bodenarten des Untergrundes. Stellenweise, besonders im Untersuchungsgebiet II, war bindiger Boden anzutreffen, der - wie bekannt - gegenüber Sand im Nulleffekt höher liegt.

Sofern die nach der Ausbringung des gekennzeichneten Sandes gemessenen Impuls-Werte unter Berücksichtigung des zeitlichen Abklingens der Strahlungsintensität (Cr 51 hat eine Halbwertzeit von 28 Tagen) im Untersuchungsgebiet I und III mehr als 40 Imp/s und in den Gebieten mit bindigem Boden des Untersuchungsgebietes II mehr als 50 Imp/s, betrogen, mußte angenommen werden, daß es sich um wiederaufgefundenen gekennzeichneten Sand handelt. In den Abbildungen 7 und 8 sind die Ergebnisse der Impulsmessungen dargestellt: Die Punkte, an denen an einem bestimmten Meßtag höhere Aktivitäten festgestellt wurden, sind mit besonderem Zeichen und mit dem Impulsmeßwert eingetragen.

Die sich abzeichnenden Gebiete erhöhter Aktivität sind in dem Plan umgrenzt und der besseren Übersicht wegen, schraffiert. Außerdem wurde die Grenze des Suchgebietes eingezeichnet. Innerhalb der Umgrenzung des Suchgebietes ist an den jeweiligen Meßtagen - soweit es die Witterungsverhältnisse zuließen - systematisch gemessen worden. Die Kurse der Meßfahrten sowie die Meßpunkte sind durch Doppelwinkelmessung bestimmt und mit einem Winkeltransporteur in Karten eingetragen worden.

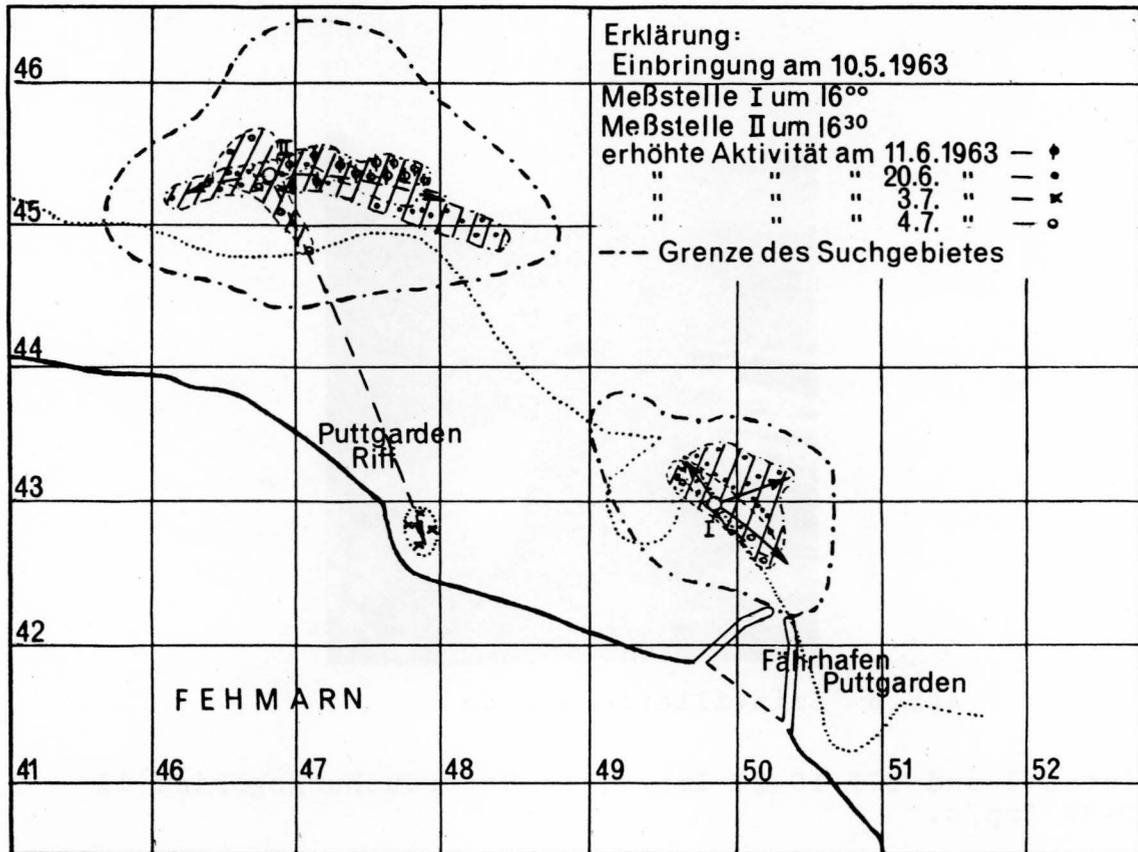


Abb.7 Ergebnisse der Impulsmessungen - Meßstellen I u. II

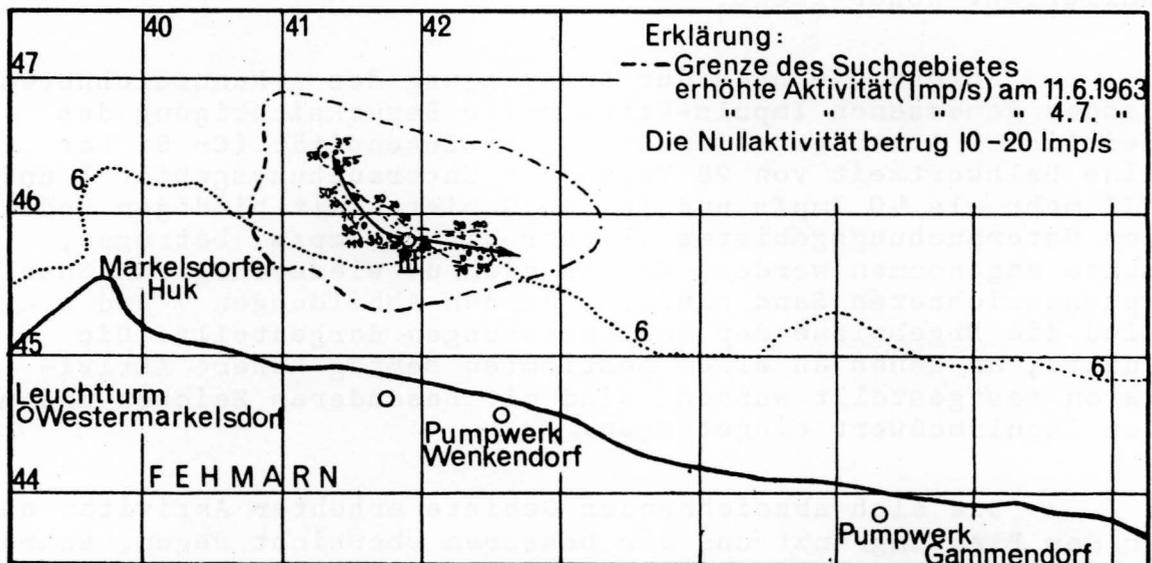


Abb.8 Ergebnisse der Impulsmessungen - Meßstelle III

Untersuchungsgebiet I

In den Abb.7 u. 8 sind nur die Meßpunkte eingetragen worden, an denen einwandfrei erhöhte Strahlungsaktivitäten registriert worden sind.

Am Einbringepunkt wurden am 1. Meßtag (15.5.1963) mehr als 10 000 Imp/s festgestellt, 14 Tage später, am 29.5.63 nur noch 500 Imp/s. Eine Wanderung des markierten Sandes war bei diesen beiden ersten Meßfahrten nicht eindeutig feststellbar. Die hohen Impulswerte am ersten Meßtag, dem 5. Tag nach der Ausbringung, sind ein Zeichen dafür, daß der überwiegende Teil des markierten Sandes noch an Ort und Stelle lag. Die Abnahme der Impulswerte von mehr als 10 000 Imp/s. auf 500 Imp/s, die am zweiten Suchtag festgestellt wurde, dürfte durch eine flächenmäßige Ausbreitung des Sandes in nächster Nähe um den Einbringepunkt herum zu erklären sein. Hatte also bis zum 14.Tag nach Einbringung kein Sandtransport stattgefunden, so konnte am 11.6.1963, also am 32. Tag nach der Einbringung, eine Ausbreitung festgestellt werden. Die Umgrenzung des Gebietes, in welchem erhöhte Aktivitäten gemessen wurden, läßt erkennen, daß sich Sand in NW und SE-Richtung, aber auch in ENE-Richtung verlagert hat. Die Messung am 4.7.1963 läßt allein eine NW-SE-Richtung des Sandtransportes erkennen. Am 11.6.1963 konnte an dieser Stelle wegen zu grober See nicht gemessen werden.

Das Maximum der beobachteten Wanderstrecke beträgt in den Richtungen ENE und SE etwa 600 - 700 m, in Richtung NW 400 m, gerechnet vom Einbringepunkt.

Untersuchungsgebiet II

Die ersten beiden Suchmessungen fanden hier auch am 15. und 29.5.1963 statt. Eine Sandwanderung konnte in diesem Zeitraum nicht nachgewiesen werden. An den Einbringestellen fanden sich dieselben Impulswerte wie an Meßstelle I, wofür die gleiche Erklärung gilt.

Am 11.6., dem 32. Tag nach der Einbringung, wurde ein Sandtransport in E-Richtung, am 20.6. in E- und W-Richtung festgestellt. Am 4.7.1963 wurden einige Stellen mit höheren Aktivitäten etwa in NNW-Richtung gefunden. In Richtung SSE wurden einige Punkte mit verhältnismässig hoher Strahlungsintensität ermittelt. Auf eine Sandverlagerung in dieser Richtung weisen auch die gefundenen hohen Impulswerte am süd-östlichen Rand des Puttgarden-Riffes hin. Diese wurden bei einer Strandbegehung am 3.7. entdeckt, als die Strandstrecke zwischen Fährhafen Puttgarden und Markelsdorfer Huk auf erhöhte Aktivitäten abgesucht wurden. Das Maximum der beobachteten Wanderstrecke des Sandes beträgt nach E etwa 1 700 m, nach W etwa 750 m; bis zur Ablagerungsfläche am

Puttgarden-Riff ungefähr 2 700 m, gerechnet vom Einbringepunkt.

Untersuchungsgebiet III

Ebenso wie bei den Meßstellen I und II konnte am 15. und 29.5.1963 keine Sandwanderung festgestellt werden. Auch hier treffen hinsichtlich der Impulswerte an der Einbringestelle die Feststellungen, die bei Meßstelle I und II getroffen wurden, zu. Am 11.6. ist, wie bei Meßstelle II, ebenfalls eine Wanderrichtung nach E festgestellt worden. Etwa 700 m NW konnte ein kleines isoliertes Ablagerungsgebiet gefunden werden. Die Messungen vom 4.7.1963 zeigen noch ausgeprägter die Richtungstendenz: E bis ESE und NE-NNW. Das Maximum der beobachteten Wanderstrecke beträgt in E-Richtung etwa 750 m, in NW bis NNW-Richtung etwa 800 m, gerechnet vom Einbringepunkt.

2.1.6 Wasserstands- und Windverhältnisse

Im Gegensatz zu den Strömungsverhältnissen in Tide-meeren, die in der Hauptsache durch den Gezeitenablauf verursacht sind und bei denen der Windeinfluß eine zweitrangige Bedeutung hat, ist für die Beurteilung der Strömungsverhältnisse in der Ostsee in erster Linie der Faktor Wind maßgebend.

Untersuchungen aus dem Jahre 1952 im Raum Fehmarn haben aber gezeigt, daß bei gleichen Windverhältnissen unterschiedliche Strömungen bei Puttgarden und beim Feuerschiff Fehmarn-Belt auftreten können. Es soll trotzdem versucht werden, die Sandwanderungsvorgänge mit Hilfe des Wasserstandsverlaufs und der Windverhältnisse für den Untersuchungszeitraum vom 10.5. bis 4.7.1963 auf gewisse Übereinstimmungen zu untersuchen.

Abb.9 zeigt den Wasserstandsverlauf am Pegel Fehmarnsund mit den Tagesmitteln der Windrichtungen und -stärken. Leider konnte der für diese Untersuchungen wichtigere, an der Nordküste Fehmarns befindliche Pegel Marienleuchte nicht herangezogen werden, da dieser seit längerer Zeit nicht mehr in Betrieb ist. Der Wasserstandsverlauf am Pegel Fehmarnsund zeigt, daß im Untersuchungszeitraum überwiegend Wasserstände auftraten, die unter dem langjährigen Mittelwasser lagen. Es ist anzunehmen, daß diese Erscheinungen auch für die Wasserstandsverhältnisse an der Nordküste Fehmarns zutreffen.

Die mehrmals am Tage registrierten Windrichtungen und -stärken am Feuerschiff Fehmarn-Belt wurden gemittelt. Das Ergebnis ist zwischen den einzelnen Tagen über dem Wasserstandsverlauf (Abb.9) eingetragen. Das Maximum der Windstärke wurde am 19.6. mit Stärke 7 aus W - WSW registriert. Die

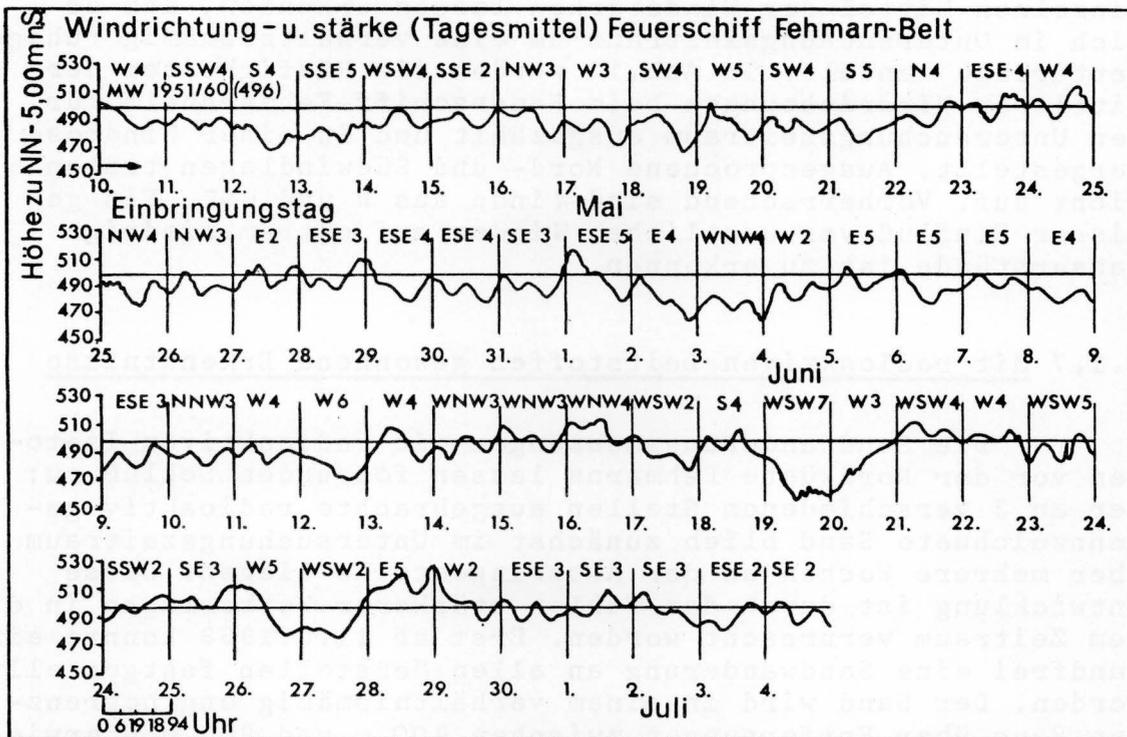


Abb.9 Wasserstandsverlauf am Pegel Fehmarnsund vom 10.Mai bis 4.Juli 1963 mit den Tagesmitteln der Windrichtungen und -stärken

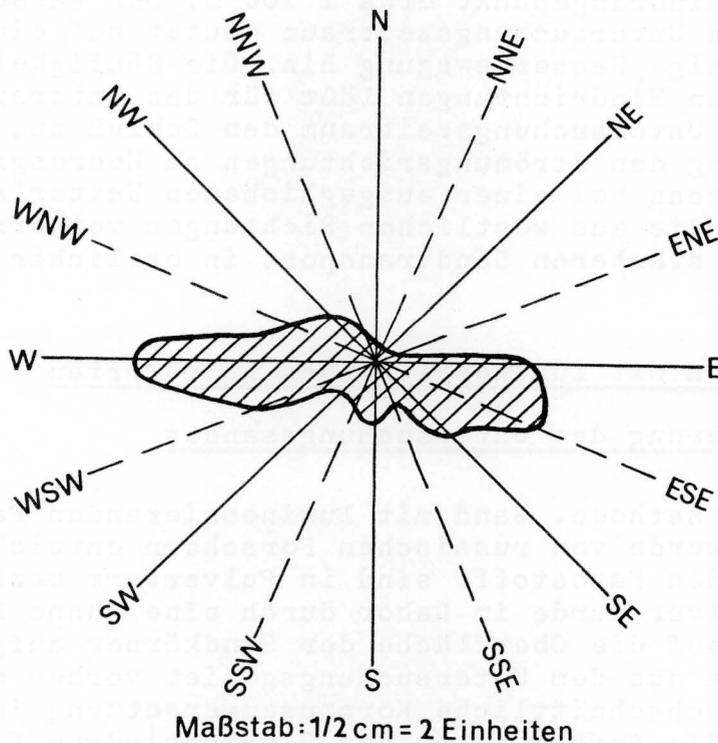


Abb.10 Häufigkeiten der mittl. Windrichtungen für den Untersuchungszeitraum

einzelnen Mittel der Windstärken lassen erkennen, daß es sich im Untersuchungszeitraum um eine verhältnismäßig ruhige Wetterlage handelt. In Abb.10 wurden die Häufigkeiten der mittleren Windrichtungen beim Feuerschiff Fehmarnbelt für den Untersuchungszeitraum ausgezählt und in einer Windrose dargestellt. Ausgesprochene Nord- und Südwindlagen traten nicht auf. Vorherrschend sind Winde aus W und ESE. Ein gewisser Einfluß von westlichen Winden auf extrem niedrige Wasserstände ist zu erkennen.

2.1.7 Mit radioaktiven Leitstoffen gewonnene Erkenntnisse

Die Sandwanderungsmessungen mit radioaktiven Isotopen vor der Nordküste Fehmarns lassen folgenden Schluß zu: Der an 3 verschiedenen Stellen ausgebrachte radioaktiv gekennzeichnete Sand blieb zunächst im Untersuchungszeitraum über mehrere Wochen an der Ausbringestelle liegen. Diese Entwicklung ist durch das Fehlen stärkerer Wetterlagen in diesem Zeitraum verursacht worden. Erst ab 11.6.1963 konnte einwandfrei eine Sandwanderung an allen Meßstellen festgestellt werden. Der Sand wird in einem verhältnismäßig eng begrenzten Raum über Entfernungen zwischen 400 m und 800 m überwiegend in Ost-West-Richtung transportiert, wobei die Ostrichtung vorherrschend ist.

Bei Meßstelle II konnte ein Sandtransport in etwa südlicher Richtung zur Küste in das Ufergebiet westlich der alten Steinschüttmole beobachtet werden. Die Entfernung hier betrug vom Einbringepunkt etwa 2 700 m. Der Wasserstandsverlauf für den Untersuchungszeitraum deutet auf eine verhältnismäßig ruhige Wasserbewegung hin. Die Häufigkeitsverteilung der mittleren Windrichtungen läßt für das Untersuchungsgebiet und für den Untersuchungszeitraum den Schluß zu, daß die Sandwanderung den Strömungsrichtungen am Meeresgrund vor Fehmarn mindestens bei einer ausgeglichenen Wetterlage analog ist und daß die aus westlichen Richtungen vorherrschenden Winde auch den stärkeren Sandtransport in östlicher Richtung verursachen.

2.2 Messungen mit lumineszierenden Leitstoffen

2.2.1 Markierung des Untersuchungssandes

Die Methode, Sand mit lumineszierenden Farbstoffen zu markieren, wurde von russischen Forschern entwickelt. Die lumineszierenden Farbstoffe sind in Pulverform beziehbar. Das Farbstoffpulver wurde im Labor durch eine dünne Hülle aus Wasserglas auf die Oberfläche der Sandkörner aufgebracht. Es wurden Sande aus dem Untersuchungsgebiet vorher entnommen und eine durchschnittliche Kornzusammensetzung im Labor angefärbt. Für die Anfärbung wurden 3 verschiedene Farben, und zwar rot, gelb und blau, benutzt. Mit der jeweiligen Farbe

wurden 50 kg behandelt. Die durchschnittliche Kornkurve enthielt überwiegend Fein- und Mittelsande, entsprechend der in der Natur vorgefundenen Kornzusammensetzung (Abb.3).

2.2.2 Wahl der Eingabepunkte

Die Eingabepunkte wurden unter dem Gesichtspunkt ausgewählt, die gesamte Nordküste von Fehmarn zu erfassen, die eine geschlossene physiographische Einheit bildet. Es wurde ein Eingabepunkt nördlich des Puttgarden Riffes gewählt; die beiden anderen Punkte lagen jeweils in der Nähe der westlichen und der östlichen Grenze der physiographischen Einheit. Im einzelnen sind die Punkte aus den Plänen zu ersehen (Abb. 11, 12, 14 und 15). An jedem Eingabepunkt war der Sand mit einer anderen Leitfarbe gekennzeichnet, um so einwandfrei den Verbleib des Materials von verschiedenen Punkten untersuchen zu können.

2.2.3 Einbringung des gekennzeichneten Sandes

Die gekennzeichneten Sande wurden am 22.5.1963 eingegeben. Die Einbringung erfolgte in Plastikbeuteln, in die der Sand im Labor verpackt wurde. Die Plastikbeutel lösen sich unter Wasser auf, so daß der Sand durch die Wasserbewegung mobilisiert werden konnte.

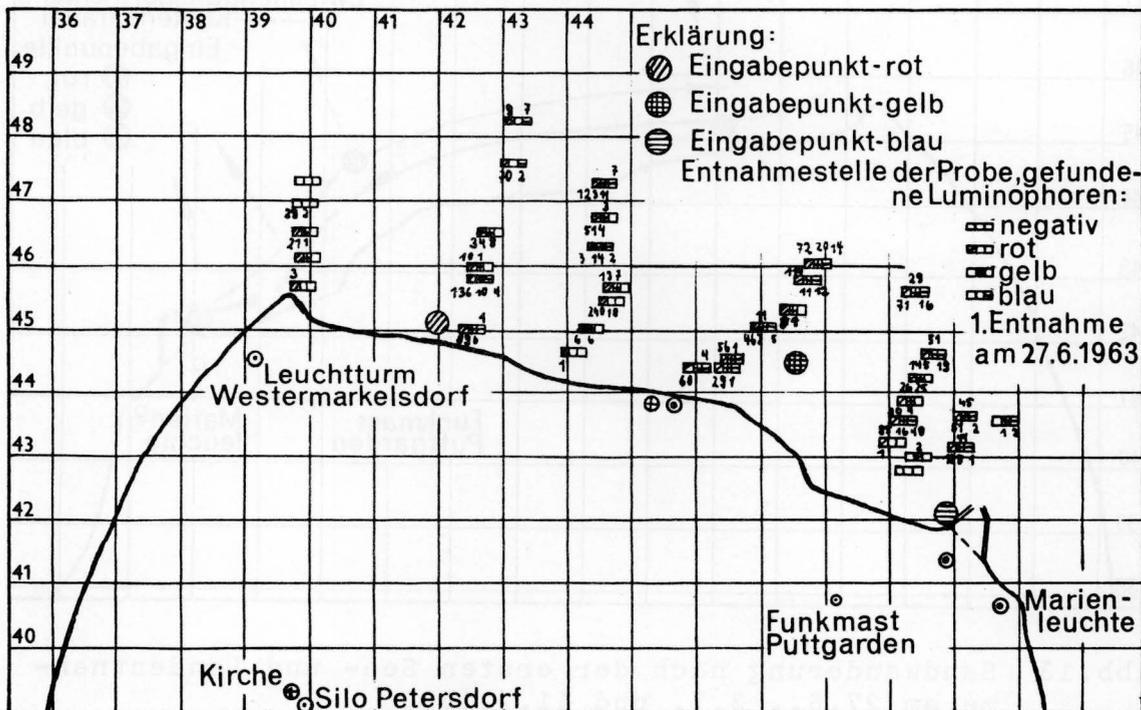


Abb.11 Luminophorenuntersuchung der Sandwanderungen
Erste See-Entnahme am 27.6.1963

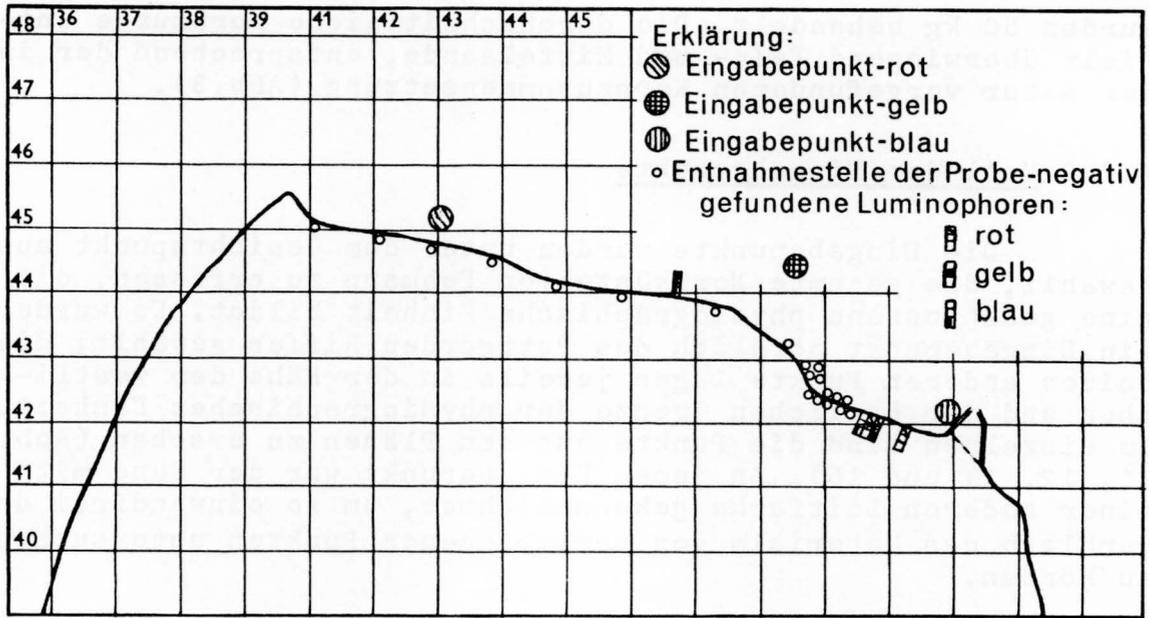


Abb.12 Luminophorenuntersuchung der Sandwanderungen
Erste Land-Entnahme am 3.7. und 11.7.1963

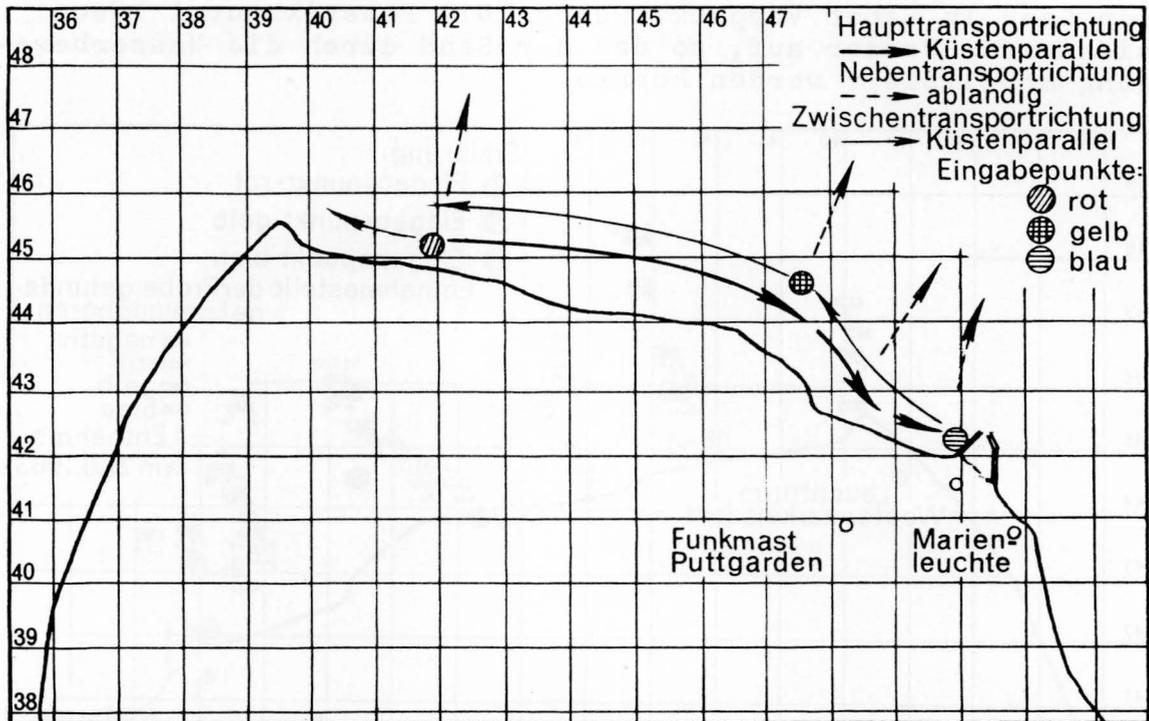


Abb.13 Sandwanderung nach der ersten See- und Landentnahme
am 27.6., 3.7. und 11.7.1963

2.2.4 Kontrollmessungen

Um den Verbleib des gekennzeichneten Sandes zu verfolgen, wurden nach entsprechenden Wetterlagen Proben vom Seegrund mit einem van Veen'schen Bodengreifer und in der Uferzone von Hand gezogen und im Labor untersucht. Bei der Entnahme wurde darauf geachtet, daß möglichst von gleich großen Grundflächen die gleiche Probemenge für die Untersuchung entnommen wurde. Außer an der Oberfläche wurden tiefer reichende Bodenproben entnommen, um evtl. stärker eingespültes gekennzeichnetes Material zu erfassen. Das Probengerät wurde peinlichst sauber gehalten, das überflüssige Probenmaterial an Deck gesammelt und an Land vergraben, um ein Verseuchen des Untersuchungsgebietes mit gekennzeichneten Sandkörnern zu verhindern. Die Einmessung der Entnahmestationen erfolgte durch Doppelwinkelpeilungen mit Sextanten. Als Meßpunkte wurden die aus den Karten ersichtlichen markanten Landmarken benutzt.

Die entnommenen Proben wurden im Labor getrocknet und dann unter dem ultravioletten Licht einer Quarzlampe auf Luminophoren, d.h. präparierte Sandkörner, untersucht. Nach den bisherigen Erfahrungen ist es dabei möglich, bei vertretbarem Arbeitsaufwand ein gekennzeichnetes Sandkorn unter 10 Mill. ungefärbten Sandkörnern wiederzufinden. Die präparierten Sandkörner leuchten unter ultraviolettem Licht auf. Das Material wird auf einer Zählrinne unter dem Leuchtstreifen durchgeführt und die Körner mit einem Zählwerk registriert.

Kontrollentnahmen erfolgten am 27.6.1963, am 3.7.1963, am 11.7.1963, am 8.10.1963, am 9.10.1963.

2.2.5 Untersuchungsergebnisse mit Luminophoren

Die Laborauszählung erfaßt die Verteilung und Konzentrationszahl der gefärbten Sandkörner. Die Ergebnisse der Untersuchungsauszählung der Proben vom 27.6.1963, 3.7.1963 und 11.7.1963 (Abb. 11, 12 und 13), zeigen, daß mehrere Transportrichtungen im Untersuchungsgebiet vorhanden sind. Es sind dies folgende Transportwege:

1. Von Ost nach West
2. Von der Küste zum tieferen Wasser hin
3. Von der ufernahen Sandzone zur Uferlinie
4. Von West nach Ost

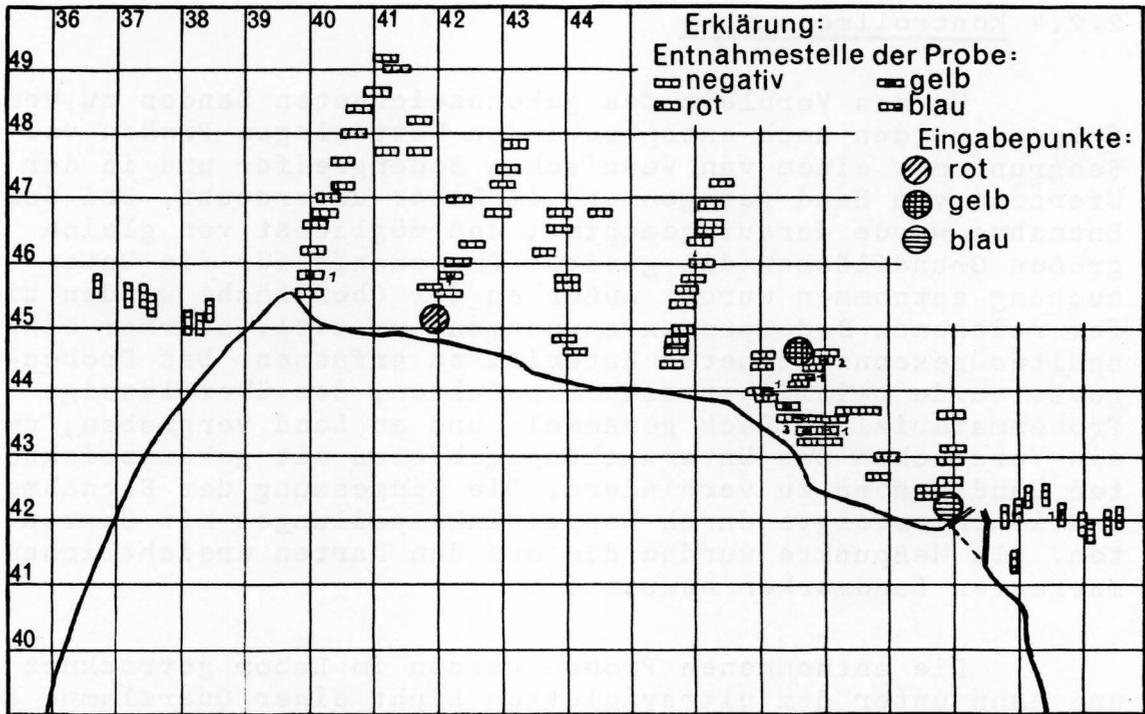


Abb.14 Luminophorenuntersuchung der Sandwanderungen
zweite See-Entnahme am 8.10. und 9.10.1963

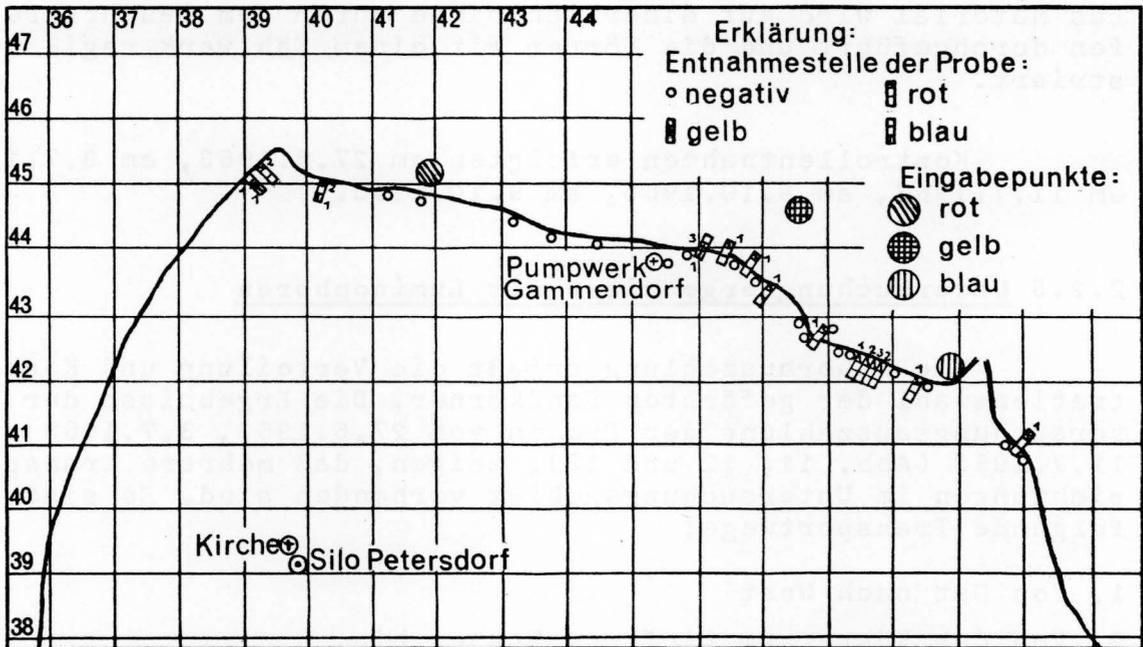


Abb.15 Luminophorenuntersuchung der Sandwanderungen
zweite Land-Entnahme am 30.10.1963

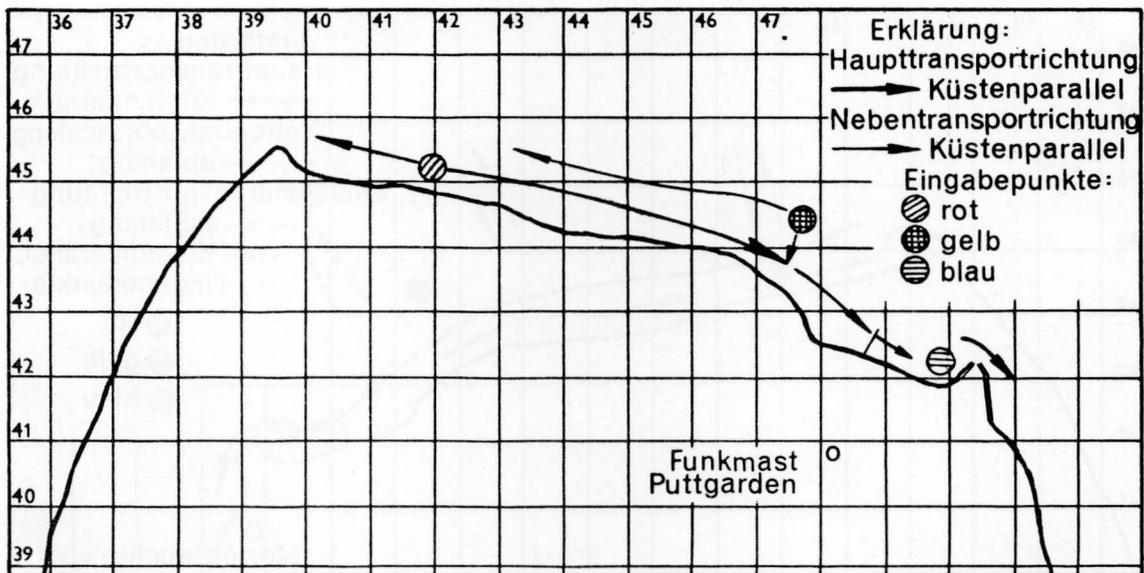


Abb.16 Sandwanderung nach der zweiten See- und Landentnahme am 8.10., 9.10. und 30.10.1963

Die Entnahmen am 8.10.1963, 9.10.1963 und 30.10.1963 (Abb.14,15 und 16), zeigten eine Anreicherung der Luminophoren im Osten, in der Nähe des Puttgardener Fährhafens. Daraus ergibt sich, daß als resultierende Haupttransportrichtung der küstenparallele Transport von Westen nach Osten verbleibt. Gleichzeitig zeichnet sich ein kleinerer Transport von der Küste nach See in tieferes Wasser ab.

Aufgrund der Untersuchungen der Sandwanderung mit Luminophoren an der Nordküste Fehmarns kann daher folgendes gesagt werden:

Bei östlichen Wetterlagen wird Material im kleineren Umfang von Ost nach West verfrachtet. Bei westlichen Wetterlagen, die im Untersuchungsbereich vorherrschend sind, werden größere Sandmengen von West nach Ost küstenparallel bewegt. Sie bleiben zunächst im Bereich des Puttgarden Riffes nordöstlich des Niobe-Denkmal liegen. Von dort wird das Material weiter in östliche Richtung transportiert und an der Westseite der alten Steinmole abgelagert. Ein kleiner Teil dieses Materials gelangt von hier bis zum Fährhafen Puttgarden und wird in Wassertiefen zwischen 6 m bis 15 m deponiert. Hierbei handelt es sich ausschließlich um Feinsande.

3. Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Einzeluntersuchungen mit radioaktiven Leitstoffen und Luminophoren ergeben folgendes Gesamtbild der Sandwanderung an der Nordküste Fehmarns (Abb.17):

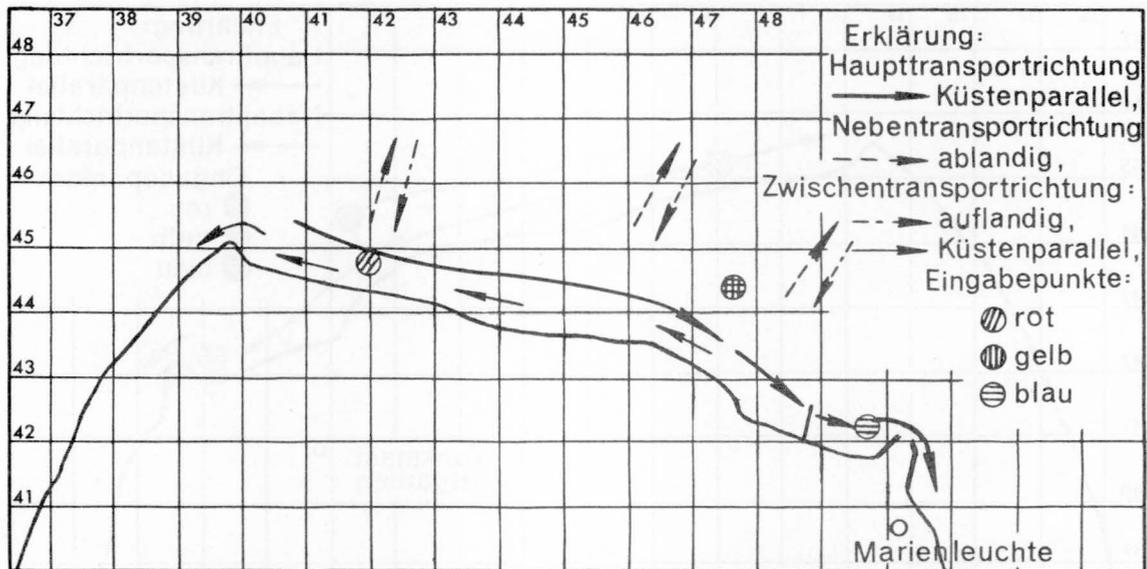


Abb.17 Luminophorenuntersuchung der Sandwanderungen

Der Materialtransport an der Nordküste von Fehmarn wird genährt durch Küstenabbruch im Westteil der Nordküste und Erosion von submarinen Abrasionsflächen vor der Nordküste von Fehmarn. Das von den submarinen Abrasionsflächen erodierte Material wird einmal zur Küste hin transportiert und dort in die küstenparallele Sandwanderung einbezogen, zum anderen seewärts weggeführt. Bei dem seewärts verfrachteten Material dürfte es sich überwiegend um feinere Körnungen unterhalb der Korngröße 0,2 mm handeln. Die küstenparallele Sandwanderung verläuft zwischenzeitlich bei Ostwindwetterlagen von Ost nach West; die resultierende Sandwanderung geht aber von West nach Ost. Das Material wird nach einer Zwischenlagerung auf dem Puttgarden Riff an der Westseite der Steinmole westlich des Fährhafens und an der Westmole des Fährhafens abgelagert.

Ein Kartenvergleich zwischen 1875 und 1951 bestätigt, daß die Küstenstrecke zwischen dem Niobe-Denkmal und dem jetzigen Fährhafen Puttgarden überwiegend als Anlandungsgebiet anzusprechen ist. Der geplante Damm würde somit in einer Küstenstrecke liegen, die nicht erodiert wird, sondern anlandende Tendenzen zeigt. Unter diesen Voraussetzungen dürfte er keine grundlegende ungünstige Einwirkung auf die natürliche Küstenentwicklung haben. Auch Leerosionserscheinungen werden durch diese anlandende Tendenz zumindest stark herabgemindert. Durch einen Damm westlich des Fährhafens Puttgarden würde eine sich abzeichnende Tendenz zur Versandung des Fährhafens sogar aufgehoben, da wahrscheinlich an der West-

seite des Dammes eine stärkere Anlandung erfolgen und der jetzt zum Fährhafen hingehende Sandtransportstrom dort unterbrochen und zur Ablagerung gezwungen wird. Weitere Untersuchungen über die spezielle Auswirkung des Dammes, besonders auf die Erosionserscheinungen, werden bei Vorliegen detaillierter Angaben über Form und genaue Lage des Dammkörpers ausgeführt werden.

Die Untersuchung hat wertvolle Aufschlüsse über die Materialbewegung an der Nordküste der Insel Fehmarn gebracht. Mit Hilfe der Leitstoffmethode konnte die Bewegungsrichtung des Bettmaterials offenkundig gemacht und die Auswirkung des Dammbaues auf den Sandtransport abgeschätzt werden. Hierbei hat sich die Anwendung des kombinierten Verfahrens mit Isotopen und Luminophoren als wertvoll erwiesen. Besonders vorteilhaft ist die verhältnismäßig einfache und schnell mögliche Verfolgung des mit Isotopen gekennzeichneten Materials, was besonders im tieferen Wasser stark ins Gewicht fällt. Nach unseren Erfahrungen sollte in ähnlichen Fällen stets die hier angewendete kombinierte Methode in Betracht gezogen werden.

4. Schrifttum

- [1] Ajbulatov, N. u.a., : "Das Studium der Sedimentbewegung in Flüssen und Meeren mit Hilfe von lumineszierenden Farbstoffen und radioaktiven Isotopen" Petermanns Geogr.Mitt. (1961) S.177-186, 254-263
Griesseier, H.
- [2] Chauvin, J.L. und : "Messung des Feststoffdurchsatzes durch Geschiebebewegung in Wasserläufen mit Hilfe radioaktiver Indikatoren", Centre de Recherches in Chatou
Danion, J.
- [3] Kolp, O. und : "Über einige Laborerfahrungen bei der Kennzeichnung von Meeressand mit lumineszierenden Farbstoffen" Beitr.z.Meereskde., Dt.Akad.Wiss. Berlin,(1961) H.1 S.27-38
Enzenross, Ch.
- [4] Ludwig, G. : "Über die Anfärbung rezenter Sande mit lumineszierenden Stoffen zum Erkennen ihrer Transportwege" Acta Hydrophysica 5 (1959), S.152-157
- [5] Ruck, K.-W. : "Seegrundkartierung der Lübecker Bucht", Die Küste 1 (1952) H.2

- [6] Ruck, K.-W. : "Untersuchung der Sandwanderungsverhältnisse im Küstenbereich zwischen Stohl und Brauner Berg an der Kieler Außenförde und ihrer Auswirkungen auf Wasserbaumaßnahmen im Untersuchungsgebiet".
Mitteilungsbl.d.BAW Karlsruhe Nr. 23 (1966)
- [7] Seibold, E. und Walger, E. : "Ein erster Versuch mit Lumino-phoren zur Untersuchung der Sandverfrachtung in der Kieler Förde"
Meyniana, Bd.12 (1962)
- [8] Bressau, S. : "Seegrundkartierung im Seeraum um die Insel Fehmarn". Unveröff. Bericht des Geol.Inst.d.Univ.Kiel (1953)
- [9] Bressau, S. : "Abrasion, Transport und Sedimentation in der westlichen Beltsee"
Dissertation, Kiel 1954
- [10] Brand, Gg. : "Sedimentpetrographische Untersuchungen zum Erkennen der Sandwanderungsvorgänge am Strand, im Flachwasser und dem daran anschließenden Seegebiet". Sonderdruck aus Meyniana, Bd.4 (1955)
- [11] Ruck, K.-W. : "Erläuterungen zur geologischen Bestandsaufnahme der Insel Fehmarn" (Diplom-Meßtischblätter 1432, 1433, 1532, 1533)
- [12] Magens, C. : "Küstenforschungen im Raum Fehmarn-Nordwagrien, Brandungsuntersuchungen an den Küsten von Fehmarn und Nordwagrien".
Die Küste 6 (1957), S.4-63
- [13] Schulz, H. : "Die Verwendung radioaktiver Leitstoffe zur Untersuchung der Sand- und Schlickwanderung in Ästuarien und Küstengewässern".
Dt.Gewäss.Mitt., Sonderheft 1960
- [14] Schulz, H. : "Fortschritte bei der Anwendung radioaktiver Isotope zur Erfassung der Sandwanderung in den Küsten- und Tidegewässern".
Die Wasserwirtschaft 54 (1964) H.7.