

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Fahse, Helmut

Traceruntersuchungen in der Natur

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102888>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Fahse, Helmut (1987): Traceruntersuchungen in der Natur. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 60. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 193-210.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

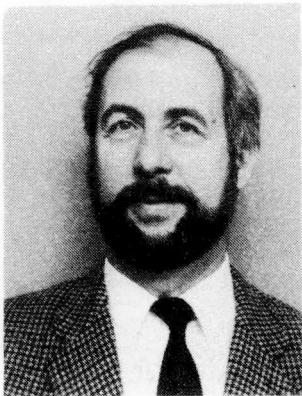
Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung 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.



TRACERUNTERSUCHUNGEN IN DER NATUR

In situ investigations with tracers



Helmut Fahse, Dipl.-Ing. Bauoberrat in der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW).

Geboren 1930. Studium des Bauingenieurwesens an der Technischen Hochschule Hannover von 1951 - 1957. Von 1957 bis 1965 Leiter des gewässerkundlichen Büros beim Wasser- und Schiffsamt Wilhelmshaven. Seit 1965 in der Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Küste in Hamburg.

Inhaltsangabe

Von der Bundesanstalt für Wasserbau - Außenstelle Küste - wurden seit 1960 zahlreiche Sandbewegungsuntersuchungen mit Leitstoffen ausgeführt. Zu diesen Untersuchungen werden einige allgemeine Hinweise über die Auswahl des Leitstoffes, Kennzeichnung des Natursandes, Einbringung in das Gewässer, Messungen in der Natur, Auswertung der Meßergebnisse und begleitende radio-ökologische Untersuchungen gegeben. Dazu werden als Beispiel die Ergebnisse einer Untersuchung mit Luminophoren und einer mit radioaktiven Isotopen vorgestellt.

Summary

Several measurements of sand movements have been carried out by the "Bundesanstalt für Wasserbau" - Außenstelle Küste - with tracers since 1960. As for these investigations there are given some general hints about selection of tracer material, marking of natural sand, kind of introducing it into the water, in situ measurements, analysis of measuring results and simultaneous radio-ecological examinations.

As an example the results of one investigation with luminophors and another one with radioactive isotopes are presented.

I N H A L T

	Seite
1 Einleitung	195
2 Verfahren	195
2.1 Luminophoren	195
2.2 Radioaktive Tracer	196
3 Einfluß auf die Ökologie	197
4 Markierung	198
5 Beispiele	200
5.1 Sandbewegungsmessungen mit Luminophoren am Strand der Insel Borkum	200
5.2 Untersuchung der Sandbewegung mit Hilfe von radioaktiven Tracern an der Klapp- stelle Spitzsand-West in der Außenelbe	206
6 Literatur	209

1 Einleitung

Für die Erfüllung von Wasserbauaufgaben wie Ausbau und Unterhaltung von Wasserstraßen, Küstenschutz usw. sind Kenntnisse über die Morphologie der Gewässer und ihre Veränderungen und damit über die Bewegung des Sohlenmaterials unerlässlich. Allein aus der Veränderung der Morphologie und der Beobachtung der gestaltenden Kräfte, wie Strömungen und Seegang lassen sich keine zuverlässigen Angaben über die Bewegungsabläufe des Sohlenmaterials, die zur Veränderung der Morphologie führen, gewinnen. Es ist daher notwendig, die Bewegungen des Sohlenmaterials unmittelbar zu messen. Dies ist möglich, indem Teile durch Leitstoffe besonders gekennzeichnet und ihre Bewegungen durch geeignete Verfahren registriert werden.

2 Verfahren

Von der Außenstelle Küste der Bundesanstalt für Wasserbau wurden seit 1959 zu diesem Zweck 73 Sandbewegungsuntersuchungen mit radioaktiven Tracern und zahlreiche Messungen mit Lumino-phoren ausgeführt.

Bei beiden Verfahren erfolgt die Einbringung eines Fremdstoffes in das Gewässer, und diese erfordert eine Genehmigung durch die zuständige Wasseraufsichtsbehörde und im Falle der Einbringung von radioaktiven Leitstoffen die Mitwirkung des zuständigen Gewerbeaufsichtsamtes. Generell ist festzustellen, daß beide Verfahren bei Sandbewegungsmessungen in der Natur gute Ergebnisse liefern, die Auswahl zwischen beiden jedoch von den örtlichen Gegebenheiten und den Ansprüchen an die Ergebnisse abhängig ist.

2.1 Luminophoren

Da im Gegensatz zu den radioaktiven Stoffen von den Lumino-phoren keine erkennbare Gefährdung weder für das Personal bei der Kennzeichnung und Einbringung der Probe noch für die Umwelt auf der Gewässersohle ausgeht, wird vor jeder Untersuchung geprüft, ob die gestellten Fragen auch mit Lumino-phoren als Markierungsstoff beantwortet werden können. Diese Methode bietet zwar eine hohe Meßempfindlichkeit, besitzt aber auch Nachteile, die einen Einsatz einschränken.

So ist im Versuchsfeld kein direkter Nachweis möglich. Es müssen aus dem gesamten möglichen Ausbreitungsgebiet zahlreiche Proben entnommen, getrocknet und einzeln von Hand, in Ermangelung eines praktikablen automatischen Verfahrens, auf ihren Anteil an gekennzeichneten Sandkörnern untersucht werden. Die Ergebnisse liegen damit erst längere Zeit nach der Probenentnahme vor und sind daher für die Festlegung der Entnahmepunkte der nächsten Serie nicht vollständig verwendbar. Die somit benötigte große Probenanzahl erfordert einen enormen Aufwand an Zeit und Geld.

Durch die Probenentnahmen ist nur eine punktförmige Abtastung des Untersuchungsgebietes möglich. Bei streifenförmiger Ausbreitung der markierten Menge ist dies ein erheblicher Nachteil, weil bei einem zu grobmaschig gewählten Entnahmeraster die Ergebnisse der einzelnen Proben zufälliger Art sind.

Der Markierungsstoff ist sehr langlebig und es stehen nur 4 bis 5 Farben zur Verfügung, d.h., daß in einem Gebiet, in dem diese Farben bereits eingesetzt wurden, für längere Zeit dieser Markierungsstoff nicht mehr verwendbar ist. In der BAW wird zur Zeit in Laboruntersuchungen versucht, eine kurzlebigere Bindung der Farben an den Sand zu erreichen. Dieses Unterfangen erweist sich als recht schwierig, weil lösliche Stoffe zu schnell vom Sandkorn abgelöst werden, andererseits nicht lösliche Stoffe von der Oberfläche des Sandkorns zwar relativ schnell abgerieben werden, aber in den Spalten und Rissen, die selbst kleine Sandkörner aufweisen, recht lange haften.

2.2 Radioaktive Tracer

Sollte aus den o.a. Gründen der Einsatz von lumineszierenden Farben nicht möglich sein, muß auf radioaktive Tracer zurückgegriffen werden.

Sie bieten den Vorteil des unmittelbaren Nachweises im Versuchsfeld, so daß die Meßergebnisse sofort zur Verfügung stehen und danach die weiteren Untersuchungen festgelegt werden können. Diesem Vorteil stehen die Gefahren der ionisierenden Strahlen gegenüber, die gemäß § 28 der Strahlenschutzverordnung (StrSchV) so gering wie möglich zu halten sind.

Um diese Forderung zu erfüllen, ist es notwendig, mit möglichst geringer Aktivität eine möglichst genaue und umfassende Aussage zu erzielen. Dazu sind Strahlendetektoren mit hoher Meßempfindlichkeit erforderlich. Von der BAW-AK werden Szintillationszähler mit einem großen NaJ-Kristall (75 x 75 mm) in Polyscin-Ausführung verwendet, mit denen auch bei härtester mechanischer Beanspruchung noch gemessen werden kann.

Das für die Direktmessungen auf dem Gewässergrund zur Markierung verwendete Nuklid muß eine γ -Strahlung mit so hoher Energie aussenden, daß sie von dem Detektor erfaßt werden kann. Da der Detektor in einem Meßschlitten eingebaut ist, befinden sich zwischen ihm und der Gewässersohle noch Teile, die eine Abschirmung bewirken. Weiter sollten auch noch kontaminierte Sandkörner erfaßt werden, die von inaktivem Sand überlagert sind. Daraus ergab sich die Bedingung, daß das auszuwählende Nuklid eine γ -Strahlung von $>0,2$ MeV aussenden muß. Diese Anforderungen erfüllen die Nuklide Chrom 51 (Cr 51) (Halbwertszeit 28 Tage) und Scandium 46 (Sc 46) (Halbwertszeit 84 Tage). Sie werden mit geeigneten chemischen Verfahren irreversibel fest an das Sandkorn fixiert. Sie können danach nur mit einem Sandkorn aufgenommen, aber nicht an andere Träger übertragen werden. Bei der hohen Meßempfindlichkeit der Sonde

wird die Nachweisgrenze durch die natürliche Radioaktivität des Gewässergrundes beeinflusst. Je nach Schlickanteil oder anderer Bodenmaterialien mit erhöhten Anteilen an radioaktiven Stoffen schwankt die Aktivitätsrate um den Faktor 2 bis 4. Deshalb wird vor Untersuchungsbeginn der Pegel der natürlich vorhandenen Strahlung ausgemessen.

Die Meßempfindlichkeit speziell für ein bestimmtes Nuklid ist abhängig von der γ -Dosisleistung und der Energie der zu messenden γ -Strahlung.

So beträgt die Dosiskonstante für:

$$\text{Cr 51} = 0,018 \quad (\text{r} \cdot \text{m}^2)/(\text{h} \cdot \text{Ci})$$

$$\text{Sc 46} = 1,1 \quad (\text{r} \cdot \text{m}^2)/(\text{h} \cdot \text{Ci})$$

Das heißt: von Cr 51 muß etwa die 50-fache Menge eingesetzt werden, wie von Sc 46, um die gleiche Meßempfindlichkeit zu erreichen.

Die Halbwertszeit des Nuklids muß mindestens so groß sein, daß am Ende der für notwendig erachteten Untersuchungszeit noch eine meßbare Aktivitätsmenge zur Verfügung steht. Die Dauer der Untersuchungszeit ist abhängig von den örtlichen Gegebenheiten des Untersuchungsgebietes und der Aufgabenstellung. Sie ist im voraus auf Grund der Erfahrungen aus den bisherigen Untersuchungen abschätzbar, aber nicht exakt zu ermitteln.

Ebenfalls abhängig von den örtlichen Gegebenheiten ist die einzusetzende Tracermenge (in Curie). Dazu ist die wahrscheinliche Verteilung der Tracermenge abzuschätzen. Nach den bisherigen Erfahrungen ist diese Abschätzung sehr schwierig, weil eine Größe abgeschätzt werden muß, die durch die Messung erst ermittelt werden soll. Die Abschätzung wird daher vorgenommen nach den Ergebnissen von Voruntersuchungen im Gewässer (Strömungsmessungen, morphologische Untersuchungen), nach den Ergebnissen von Tracermessungen in vergleichbaren Gewässern und, soweit vorhanden, nach den Ergebnissen von Tracermessungen in Modellen mit beweglicher Sohle.

Die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen haben gezeigt, daß die in den Umgangsgenehmigungen der zuständigen Aufsichtsbehörde genehmigten Höchstmengen, 40 Curie für Chrom 51 und 2 Curie für Scandium 46, nicht in Anspruch genommen werden müssen, sondern erheblich unterschritten werden können, ohne daß zur Zeit eine obere Grenze angebbar ist.

3 Einfluß auf die Ökologie

Um den Einfluß der verwendeten Strahlungsmengen auf die im Gebiet der Einbringestelle lebenden Organismen festzustellen, wurden bisher 4 Untersuchungen durch radioökologische Untersuchungen der Bundesforschungsanstalt für Fischerei begleitet,

davon 3 im Tidegebiet und zwar 1983 vor Wangerooog mit 1,5 Ci Chrom 51, 1984 im Gebiet Spitzsand in der Außenelbe mit 1,5 Ci Scandium 46 und 1985 in der Außenjade mit 2,0 Ci Scandium 46. Die vierte radioökologische Untersuchung begleitete die Sandbewegungsmessung im Mittellandkanal bei Osnabrück, wo gleichzeitig 0,5 Ci Sc 46 und 5 Ci Cr 51 eingesetzt wurden, um eventuelle Unterschiede im Transportverhalten des Sohlenmaterials an den beiden Kanalseiten feststellen zu können.

Die Begleituntersuchungen umfaßten die Entnahme und Untersuchung von Boden-, Wasser- und Fischproben und, soweit im Untersuchungsgebiet vorhanden, von Muschelproben. In den Bodenproben konnte außerhalb unseres Nachweisgebietes nur in einem Fall Sc 46 von 0,39 Bq/kg Trockensubstanz (TS) bei einer Nachweisgrenze von 0,28 Bq/kg TS nachgewiesen werden.

Die Wasserproben wurden im Rotationsverdampfer zu einem pulverförmigen Material eingeengt und dieses direkt gammaspektrometrisch untersucht. Im Tidegebiet konnte wegen der großen Verdünnung weder Sc 46 noch Cr 51 nachgewiesen werden. Auch Wasserproben aus dem Mittellandkanal, die 9 Tage nach dem Einbringen noch einen, wenn auch geringen Gehalt an Sc 46 von 0,54 Bq/kg TS und an Cr 51 von 0,93 Bq/kg TS aufwiesen, waren nach weiteren 3 Wochen auf eine Konzentration abgesunken, die eine Zehnerpotenz unter dem durch radioaktiven Zerfall allein bewirkten Wert lag. Diese Verdünnung ist durch die Schiffsbewegungen und sonstige Strömungen bewirkt.

Alle im Tidegebiet entnommenen Fischproben wiesen keine Spuren von Sc 46 bzw. Cr 51 auf. Nach Ansicht der Bundesforschungsanstalt für Fischerei ist das darauf zurückzuführen, daß

- die Probemengen zu klein
- die eingesetzte Aktivitätsmenge zu niedrig und
- vermutlich eine zu starke Verdünnung der eventuell freigesetzten Aktivität durch die im Seegebiet herrschenden Gezeitenströmungen erfolgt.

Auch in den Fischproben aus dem Mittellandkanal lag der Cr 51-Gehalt unterhalb der Nachweisgrenze und Sc 46 konnte nur einmal nachgewiesen werden. Es blieb auch für dieses relativ enge Gewässer die Feststellung, daß die durch die Sandwanderungsversuche entstandene Kontamination durch Cr 51 und Sc 46 ohne radiologische Bedeutung ist.

Im Muschelfleisch war nur in einer am Leitdamm Kugelbake entnommenen Probe eine geringe, radiologisch unbedeutende Menge von 0,019 Bq/kg FS (Feuchtsubstanz) nachweisbar.

4 Markierung

Die Verfahren zur Kennzeichnung des Sandes wurden bereits ausführlich beschrieben /1/3/4/, so daß hier nicht erneut darauf eingegangen werden muß.

Da die Gesamtaktivität des gekennzeichneten Sandes aus verschiedenen Gründen nicht gemessen werden konnte, wurde sie rechnerisch ermittelt. Sie läßt sich errechnen aus den für die Neutronenaktivierung maßgebenden Daten des verwendeten Nuklides und der Neutronenquelle. Der Neutronenfluß des Reaktors der GKSS, in dem die Radionuklide erzeugt wurden, war mit einer Genauigkeit von $\sim 5\%$ bekannt. Wie bereits in /4/ beschrieben, wird zum Markieren des Sandes das Chrom bzw. Scandiumnitrat aufgelöst, die Lösung der Sandprobe zugegeben und unter Rühren verdampft. Danach wird die Sandprobe bei Sc-Markierung in einem Tiegelofen geglüht. Zur Ermittlung der Aktivitätsverluste beim Eindampfen und Glühen wurden im Labor der BAW mehrere Sandproben mit einer Lösung von schwachaktivem Sc 46 markiert und danach die Aktivität der Proben sowie des Abluftfilters ausgemessen. Das Ergebnis zeigt die Tabelle 1.

Tabelle 1 Aktivitätsverluste beim Markieren von Sand mit Sc 46

Ausgangs- material	Prozess	Glühen	
	Eindampfen	T [$^{\circ}$ C]	% Sc 46 im Abluftfilter
	% Sc 46 im Abluftfilter		% Sc 46 im Abluftfilter
Sand gereinigt	0,13	750	0,05
Sand gereinigt + geglüht	0,17	750	0,05
Sand gereinigt + geglüht	0,16	650	0,05
Sand gereinigt + geglüht	0,18	550	0,05

Danach liegen die Verluste unter $0,25\%$ und sind damit vernachlässigbar gering. Die Schwankungsbreite der Gesamtaktivitätsangabe ergibt sich daher allein aus der Ungenauigkeit beim Bestrahlen zu $\pm 5\%$.

Bei den Untersuchungen wurde aus dem Untersuchungsgebiet entnommener Sand gekennzeichnet. Von diesem wurden vor der Kennzeichnung die feinen Anteile $< 0,063$ mm und die organischen Bestandteile abgetrennt. Diese Abtrennung ist notwendig, weil die organischen Anteile bei den hohen Temperaturen des radioaktiven Kennzeichnungsverfahrens veraschen und die feinen Anteile bei beiden Verfahren verkleben können.

Die radioaktive Kennzeichnung erfolgt oberflächenproportional. Diese Markierungsform zeigt gegenüber der gewichtsproportionalen nur dann unterschiedliche Ergebnisse, wenn das Transport-

verhalten der einzelnen Fraktionen sehr unterschiedlich ist /4/. Sie ist jedoch leichter auszuführen und wurde daher ausschließlich angewendet. Unterschiedliches Transportverhalten der einzelnen Fraktion ist durch das fraktionsweise Ausmessen einzelner Proben nachweisbar, jedoch nicht direkt an der Gewässersohle.

Für die Kennzeichnung der Sandprobe mit Luminophoren ist die Markierungsform ohne Bedeutung, weil bei der Auswertung nur der Tatbestand der Markierung eines Sandkornes aber nicht deren Stärke registriert wird. Eine mengenmäßige Erfassung der Markierung einzelner Sandkörner ist hier im Gegensatz zu den mit radioaktiven Isotopen gekennzeichneten Sanden nicht möglich.

5 Beispiele

Nach diesen allgemeinen Ausführungen sollen die Tracermessungen der BAW-AK und ihre Ergebnisse an 2 Beispielen vorgestellt werden.

5.1 Sandbewegungsmessungen mit Luminophoren am Strand der Insel Borkum

Im Bereich der Buhne 18 (Bild 1) war eine Strandvorspülung vorgenommen worden. Da zu erwarten war, daß zumindest ein Teil des Spülgutes durch Tide- und vor allem Brandungsströmungen verdriftet werden würde, sollten die Wanderwege und eventuelle Akkumulationsgebiete durch die Messung erfaßt werden. Dazu wurden 700 kg Sand aus dem Spülfeld entnommen, die feinen Bestandteile $< 0,2$ mm (~ 20 %) und die groben $> 0,63$ mm (~ 8 %) abgesiebt, die verbleibende Menge von 500 kg blau angefärbt und anschließend alle Anteile wieder miteinander vermischt, um die ursprüngliche Kornverteilung wieder herzustellen. Von dem markierten Sand, im folgenden kurz Leitstoff genannt, entfielen nach Gewichtsanteilen $2/3$ auf die Fraktion $0,2-0,4$ mm und $1/3$ auf die Fraktion $0,4 - 0,6$ mm. Nach den aus einer überschlagsrechnung ermittelten Angaben der Tabelle 2 enthielt die Menge von 500 kg Leitstoff $8,9 \cdot 10^9$ Körner der feineren und $0,97 \cdot 10^9$ Körner der gröberen Fraktion. Die feineren Körner waren demnach um das 9,2-fache zahlreicher als die groben. Zur Ermittlung der anzufärbenden Sandmenge wurde zunächst einmal angenommen, daß sich der Leitstoff auf die Strecke von Buhne 13 bis Buhne 35 zwischen der Niedrigwasserlinie und der Strandbefestigung gleichmäßig in der oberen, 50 cm dicken Schicht verteilen würde. Dieses Gebiet ist rd. $4,3$ km lang, im Mittel 200 m breit und damit $0,86 \cdot 10^6$ m² groß. Bei einer Leitstoffmenge von 500 kg kämen auf jeden Quadratmeter 10.300 feine und 1.100 grobe Leitstoffkörner, auf die Oberfläche einer Probenentnahmestelle von $0,15$ m. $0,15$ m = $0,0225$ m² 232 feine und 25 grobe. Bei gleichmäßiger Durchmischung des gesamten Bereiches über eine Tiefe von $0,5$ m würden in jeder der 5 an einer Stelle in Schichten von 10 cm Dicke entnommen Proben noch 47 feine und 5 grobe Körner enthalten sein.

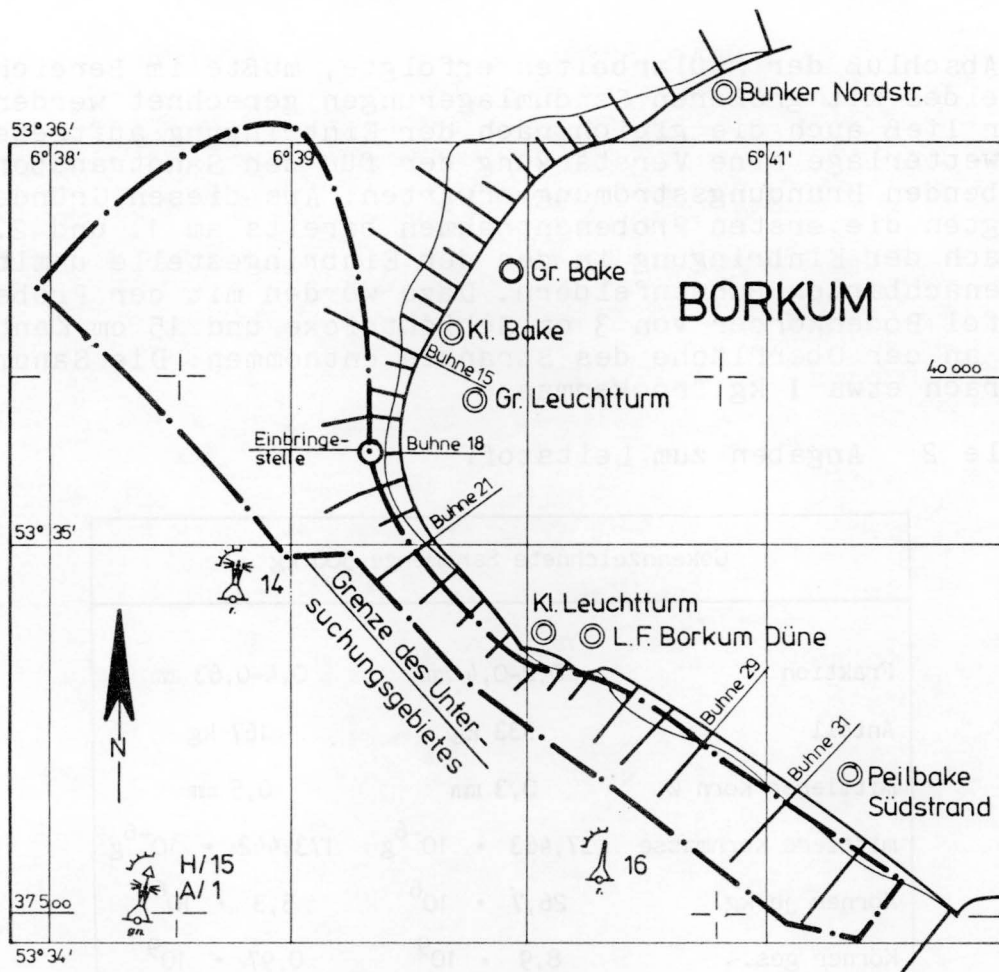


Bild 1 Untersuchungsgebiet vor Borkum

Diese Überlegungen zeigten, daß mit 500 kg die Leitstoffmenge selbst für so ein ausgedehntes Gebiet ausreichend sein würde. Die Einbringung des Leitstoffes erfolgte im Bereich des nassen Strandes, etwa bei NN - 0,3 m und damit etwa in der Mitte zwischen MSpTnw = NN - 1,49 m und MThw = NN + 1,00 m. Dazu wurde eine rechteckige Fläche mit einer strandparallelen Ausdehnung von 3 m und senkrecht dazu von 2 m etwa 10 cm tief ausgehoben und mit dem Leitstoff verfüllt. Diese "Grube" füllte sich noch während des Aushubs mit Wasser, so daß der aus Plastiksäcken entleerte trockene Leitstoff sofort benetzt und nur ein vernachlässigbar kleiner Teil vom Wind erfaßt wurde. Der Aushubsand wurde weiträumig auf die Umgebung verteilt. Passanten wurden solange von der Einbringestelle ferngehalten, bis sie durch die aufkommende Flut so weit unter Wasser stand, daß eine Ausbreitung des Leitstoffes nur noch durch das Wasser möglich war.

Bei Sandbewegungsuntersuchungen mit Luminophoren in der Natur ist es grundsätzlich wichtig, sofort nach der Einbringung in möglichst dichter zeitlicher Folge Probeentnahmen durchzuführen, weil hier bereits aus relativ wenig Proben Wandertendenzen erkennbar werden und danach die nächsten Entnahmepunkte gezielter angesetzt werden können. Da die Einbringung des Leitstoffes im vorliegenden Fall bereits wenige Wochen

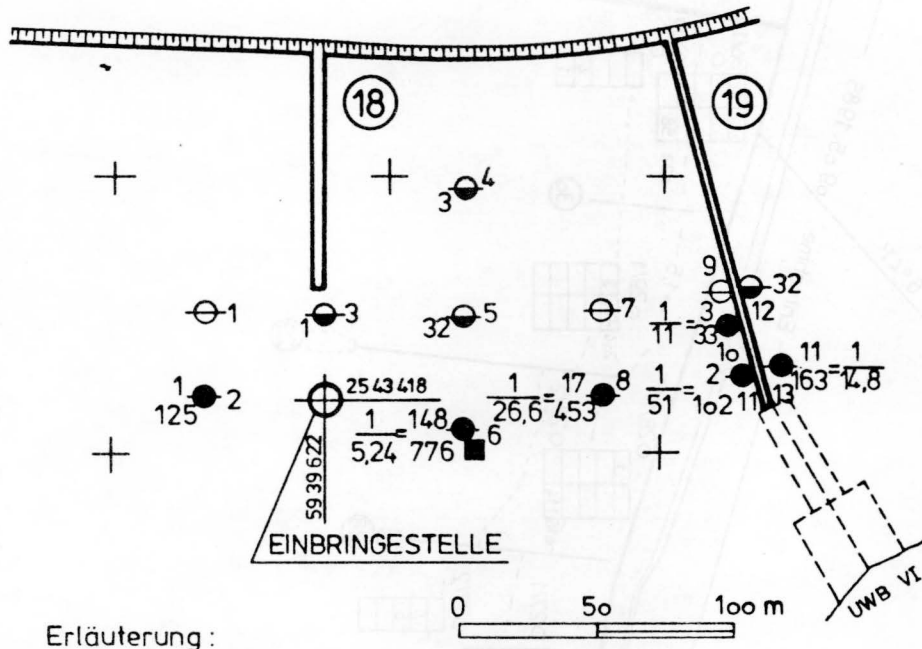
nach Abschluß der Spülarbeiten erfolgte, mußte im Bereich des Spülfeldes mit größeren Sandumlagerungen gerechnet werden. Ferner ließ auch die gleich nach der Einbringung auftretende Sturmweatherlage eine Verstärkung der für den Sandtransport maßgebenden Brandungsströmung erwarten. Aus diesen Gründen erfolgten die ersten Probenentnahmen bereits am 1. und 2. Tag nach der Einbringung in den der Einbringestelle unmittelbar benachbarten Bühnenfeldern. Dazu wurden mit der Probenschaufel Bodenkörper von 3 cm Schichtdicke und 15 cm Kantenlänge an der Oberfläche des Strandes entnommen. Die Sandmenge entsprach etwa 1 kg Trockenmasse.

Tabelle 2 Angaben zum Leitstoff

Gekennzeichnete Sandmenge 500 kg		
Fraktion	0,2-0,4 mm	0,4-0,63 mm
Anteil	333 kg	167 kg
mittlerer Korn \emptyset	0,3 mm	0,5 mm
mittlere Kornmasse	$37,463 \cdot 10^{-6} \text{ g}$	$173,442 \cdot 10^{-6} \text{ g}$
Körner je kg	$26,7 \cdot 10^6$	$5,8 \cdot 10^6$
Körner ges.	$8,9 \cdot 10^9$	$0,97 \cdot 10^9$

Wegen der rauhen See war an beiden Tagen nur eine Entnahme von der Landseite aus möglich. Da die in der 2. und 3. Entnahmeserie (2 bzw. 5 Wochen nach der Einbringung) im Vorstrand- und Tiefwasserbereich entnommenen Proben keine Leitstoffanteile enthielten, war dies kein Nachteil. Die Proben der 1. und 2. Entnahmeserie wurden fraktionsweise ausgezählt und die Ergebnisse wegen der besseren Vergleichbarkeit auf 1 kg der entnommenen Probe zurückgerechnet. Die Ergebnisse der am Tag nach der Einbringung erfolgten 1. Probenentnahme sind in Bild 2 dargestellt. Schon hier zeigt sich ein Überwiegender Sandtransport in südliche Richtung auf die Bühne 19 zu. Auch die nächste Entnahme am folgenden Tag bestätigte dieses Ergebnis. Es konnten Leitstoffanteile bis zur Bühne 20 nachgewiesen werden, während eine Ausbreitung nach Norden nicht feststellbar war. Das fraktionsweise Auszählen brachte keine wesentlich besseren Ergebnisse, weil bei der doch relativ kleinen Anzahl von markierten Sandkörnern in einer Probe, besonders in der groben Fraktion, schon geringe Abweichungen zu anderen Verhältniswerten (Anzahl grobe/feine Körner) geführt hatten. So hätte z.B. in der Probe 11 (Bild 2) ein weiteres markiertes grobes Korn den Verhältniswert von 1/151 auf 1/34 verändert und damit in die Nähe des Nachbarwertes bei Probe 8 gebracht.

Die geringen Funde von 1 - 2 Körnern in nur einigen Proben der Entnahmeserien 3 und 4 bestätigten zwar die Haupttransportrichtung nach Süden bis zur Buhne 35, ließen jedoch keine Aufschlüsselung nach Fraktionen zu.



Erläuterung:

- ⊖ kein Nachweis von Luminophoren
- 1 ● Lumikörner in der Fraktion 0,4 - 0,63 mm je kg der Probe
- 3 ● Lumikörner in der Fraktion 0,2 - 0,4 mm je kg der Probe
- gelbe Lumikörner

Bild 2 Ergebnisse der 1. Entnahme

Nach den Ergebnissen der 1. - 4. Entnahmeserie wurden für die 5. Serie 35 Punkte zur Entnahme weiterer Proben 8 Monate nach der Einbringung festgelegt. Hierbei sollte ermittelt werden, ob Teile des Leitstoffes auch in tiefere Schichten gelangt waren. Dies machte eine Umstellung der Entnahmetechnik notwendig. Dazu wurde zunächst ein Tellerbohrer von Hand 50 cm in den Boden gedreht. Der Bohrdurchmesser betrug etwa 10 cm. Damit die Sandprobe beim Hochziehen nicht auseinanderbrach, wurde sie in ein auf den Boden aufgesetztes Plastikrohr hochgezogen, das Plastikrohr einschließlich Tellerboden und Sandprobe waagrecht auf ein Brett gelegt, die Probe in Abschnitten von 10 cm aus dem Rohr herausgezogen und der Sand in Beutel gefüllt. So wurden 5 Proben je Entnahmestelle von jeweils etwa 1,5 kg Trockengewicht gewonnen. Die Befürchtung, daß durch die Bohrteller Leitstoffe aus den oberen Schichten in die unteren gelangen und durch die Wandreibung ebenfalls Leitstoffe von den unteren Schichten aus den oberen aufgenommen werden, bestätigte sich bei dieser Untersuchung nicht. Mit der einzigen Ausnahme (Punkt 15/2) waren bei hohen Leitstoffwerten in der obersten Schicht (23/2, 25/2, 29/1, 33/1) in den darunterliegenden Schichten keine Leitstoffe nachzuweisen.

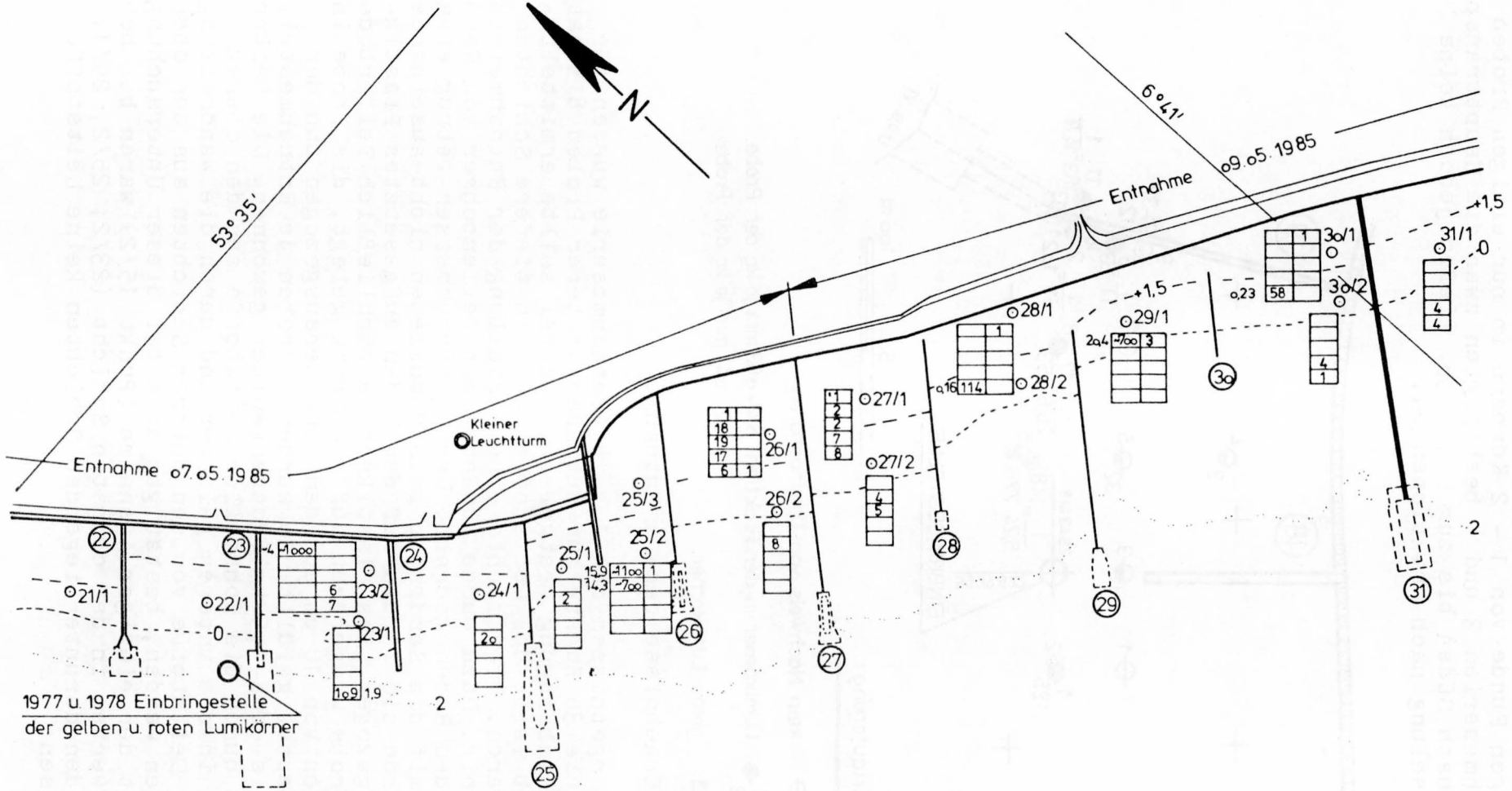


Bild 3 Ausschnitt aus den Ergebnissen der 5. Entnahmeserie

Tabelle 3 Ergebnisse der 5. Probenentnahme nach Fraktionierung der fündigen Proben

datum	Entnahme - punkt	tiefe cm unter der Oberfläche	Gewicht der Probe g	< 0,2			Fr. 0,2 - 0,4			Fr. 0,4 - 0,63			> 0,63	
				g	%	Lumi-K	g	%	Lumi-K	g	%	Lumi-K	g	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
08.05.1985	13/1	10 - 20	1003	161	16,1	8	788	78,6	823	51	5,1	16	2	0,2
---	15/2	0 - 10	1002	123	12,3	-	813	81,1	~950	42	4,2	55	24	2,4
---	15/2	30 - 40	1004	174	17,3	2	767	76,4	80	36	3,6	6	27	2,7
---	15/2	40 - 50	986	199	20,2	-	730	74,0	324	45	4,6	37	12	1,2
07.05.	23/1	40 - 50	1002	410	40,9	3	478	47,7	70	50	5,0	36	64	6,4
---	23/2	0 - 10	999	191	19,1	11	749	75,0	~900	46	4,6	233	13	1,3
---	25/2	0 - 20	1001	766	76,5	8	175	15,5	1068	25	2,5	67	35	3,5
---	25/2	10 - 20	998	574	57,5	4	394	39,5	671	20	2,0	47	10	1,0
09.05.	28/1	40 - 50	994	368	37,0	3	593	59,7	15	21	2,1	94	12	1,2
---	29/1	0 - 10	975	942	96,6	1	18	1,8	672	9	0,9	33	5	0,5
---	30/1	40 - 50	998	348	34,9	-	621	62,2	11	19	1,9	47	10	1,0
---	31/2	40 - 50	1005	507	50,4	-	479	47,7	11	11	1,1	37	8	0,8
---	33/1	0 - 10	1003	479	47,8	-	445	44,4	306	58	5,8	17	21	2,1
						gelb						gelb		
07.05.1985	26/1	10 - 20	1002	550	54,9	8	435	43,4	10	9	0,9	-	8	0,8
---	26/1	20 - 30	1001	682	68,1	18	303	30,3	1	8	0,8	-	7	0,7
---	26/1	30 - 40	999	687	68,8	15	293	29,3	2	8	0,8	-	11	1,1

Die Ergebnisse dieser Entnahme mit dem Tellerbohrer sind in Tabelle 3 und ausschnittsweise in Bild 3 dargestellt. Mit Ausnahme von Punkt 26/1 geben in den Doppelsäulen die Werte der linken Säule jeweils die Anzahl der in der Probe enthaltenen blauen Lumikörner an. Diese Farbe wurde bei der vorliegenden Untersuchung mit Einbringdatum 11.09.1984 verwendet. Angaben über die gefundenen blauen Lumis enthält weiterhin die Einzelsäule bei Punkt 23/1. Die rechten Teile der Doppelsäulen, bei Punkt 26/1 die linke Säule, enthalten die Anzahl der gefundenen gelben Luminophoren, die 1977 ausgebracht wurden. Beim Punkt 26/1 wurde außerdem ein rotes Lumikorn aus dem Jahre 1978 gefunden. Auffällig sind hier besonders 3 Dinge:

1. An den tieferliegenden Entnahmepunkten 25/2 und 29/1 lagen die blauen Körner an der Oberfläche, während sie an den höher am Strand gelegenen Punkten 28/1 und 30/1 von einer rd. 40 cm dicken Schicht ungekennzeichneten Sandes überdeckt waren. Dieser Sand kann durch Wind aus Gebieten ohne markierte Anteile eingetrieben sein.
2. Die aus den unteren Schichten der Punkte 28/1, 30/1 und 31/2 entnommenen Proben enthielten einen hohen Anteil an markierten Körnern der Fraktionen 0,4 - 0,63 mm der weit über demjenigen lag, der ihrem Gewichtsanteil entsprach. Die Proben aus dem tiefergelegenen Strandbereich enthielten demgegenüber mehr feine Leitstoffanteile als das Ausgangsmaterial. Eine brauchbare Erklärung für die Ursache dieser Verteilung konnte aus den relativ wenigen Proben nicht gewonnen werden.

3. Die relativ zahlreichen gelben Körner, besonders in den Feldern zwischen den Bühnen 26 und 28, signalisieren eine gewisse Stabilität dieser Felder. Lägen diese Felder im Erosionsbereich, hätten sich die gelben Luminophoren nicht über einen Zeitraum von 8 Jahren dort halten können.

Insgesamt konnte ein überwiegender Transport des Spülgutes, vorwiegend durch die Brandungsströmung, nach Süden und Südosten längs des Strandes nachgewiesen werden.

5.2 Untersuchung der Sandbewegung mit Hilfe von radioaktiven Tracern an der Klappstelle Spitzsand-West in der Außenelbe

An der Westseite des Spitzsandes (Bild 4) wird Baggergut aus dem Fahrwasser der Elbe abgelagert. Dieses Gebiet bietet den Vorteil der kurzen Wege zwischen Baggerstrecke und Klappstelle.

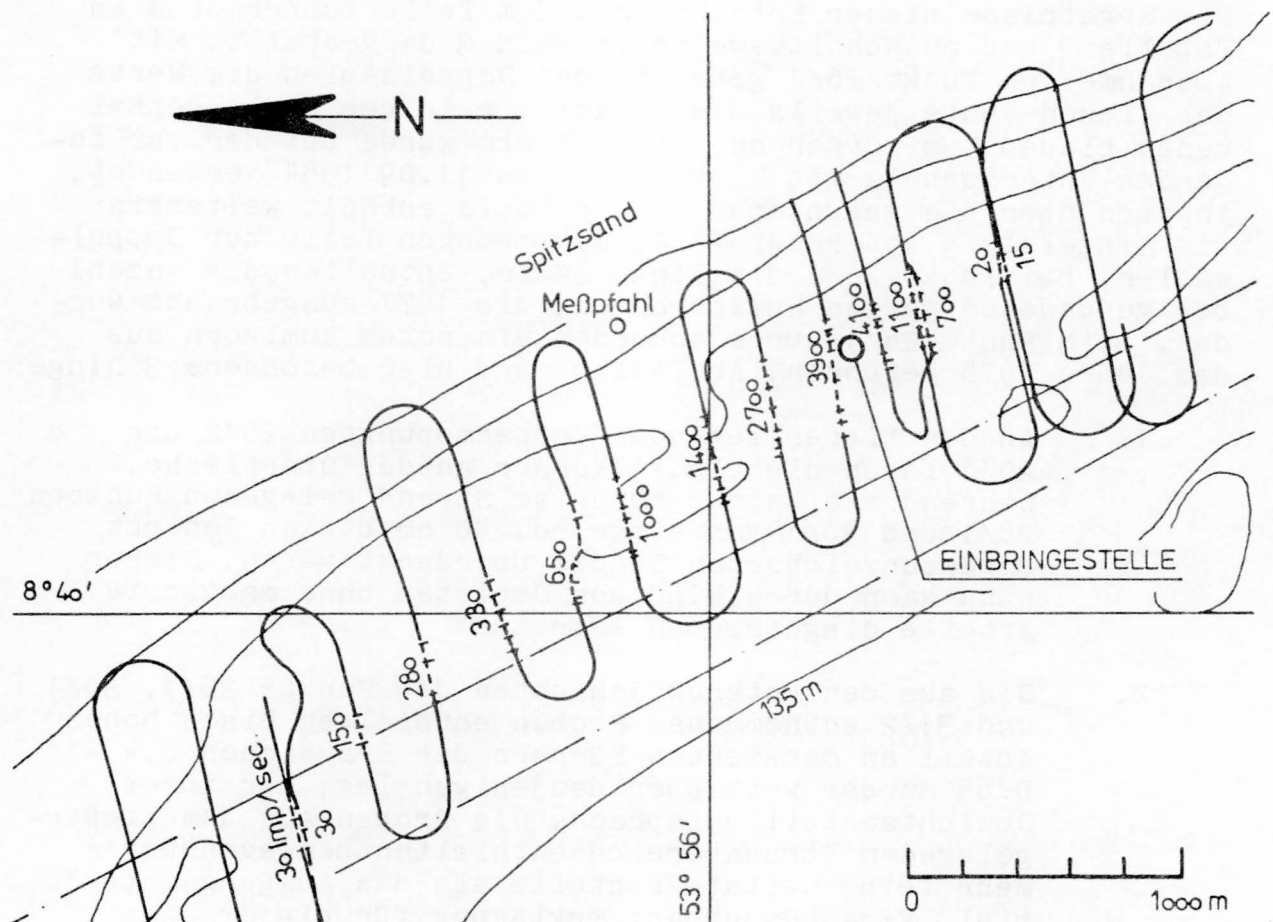


Bild 4 Untersuchungsgebiet Spitzsand-West

Ob es auch die Forderung nach einem möglichst geringen Wiedereintritt in das Fahrwasser entfüllt, dazu sollte die Sandbewegungsuntersuchung mit radioaktiven Tracern einen Beitrag leisten.

Als Tracer dienten 9 kg Sand, der aus dem Untersuchungsgebiet entnommen, in einer heißen Zelle mit dem Nuklid Sc 46 (Strahlungsmenge 1,4 Curie) kontaminiert und an der in Bild 4 bezeichneten Stelle auf die Gewässersohle abgesetzt wurde. Die Verfolgung der Ausbreitung des Tracers geschah nach dem bereits in /1/ und /2/ beschriebenen Verfahren durch Messung der γ -Strahlung in senkrecht zur angenommenen Ausbreitungsrichtung gelegten Profilen. Geortet wurde nach dem Hyfix-Verfahren. Da die Meßprofile auf bestimmte Hyperbeln gelegt werden konnten, war es möglich, an verschiedenen Meßtagen die gleichen Profile zu fahren. Es wurden insgesamt 8 Suchfahrten durchgeführt und zwar am 1., 2., 8., 14., 20., 33., 50. und 69. Tag nach der Einbringung (n.E.) des Tracers. Bei der letzten Messung war also fast 1 Halbwertszeit (84 Tage für Sc 46) verstrichen.

Bei der Auswertung der Meßergebnisse wurden von den gemessenen Impulsraten die in einer Nullmessung ermittelten natürlichen Raten abgezogen. Um die Meßwerte der 8 Messungen untereinander vergleichbar zu machen, wurden sie entsprechend der Halbwertszeit auf den Zeitpunkt der Einbringung korrigiert.

Bild 4 zeigt die Kurse der Meßfahrt am 8. Tag n.E. Die Markierungen auf den Linien geben den Bereich an, in dem der Tracer nachgewiesen werden konnte, die Zahlen die maximale Impulsrate. Deutlich erkennbar ist, daß sich der Tracer in einem relativ schmalen Streifen überwiegend mit der Ebbe nach Nordwesten bewegt und dabei etwa den Tiefenlinien folgt. Eine zum Fahrwasser hin gerichtete Komponente ist nicht erkennbar. Über die Längsverteilung des Tracers gibt Bild 5 Aufschluß. Auf der Abszisse ist die Entfernung vom Einbringepunkt, auf der Ordinate der prozentuale Anteil eines 1 m breiten Streifens an der Gesamtaktivität angegeben. Diese Gesamtaktivität wurde nach folgendem Verfahren berechnet:

Zur Positionierung wurde als Basis eine x-Achse durch die Maxima in den einzelnen Meßprofilen gelegt. Der Nullpunkt ist die Einbringestelle. Dies war deshalb sinnvoll, weil die Ausbreitung des Tracers in Form eines relativ schmalen Streifens in Ebbe- und Flutrichtung erfolgte, in den Querprofilen die Intensitätsmaxima und die Schwerpunkte übereinander lagen und während der Versuchsdauer die Lage dieser Punkte relativ zu der Achse gleich blieb. Aus den Meßwerten in einem gefahrenen Querprofil wurde unter Berücksichtigung der Meßzeit, der zurückgelegten Fahrstrecke, des Winkels der Fahrstrecke zur x-Achse, des Zeitpunktes der Messung und der Empfindlichkeit der Meßsonde die Aktivität eines 1 m breiten Streifens, der senkrecht zur x-Achse steht und den maximalen Meßwert auf der x-Achse hat, berechnet. Die so gewonnenen Einzelwerte ergaben die in Bild 5 dargestellten Kurven, aus denen durch Integration die Gesamtaktivität ermittelt wurde.

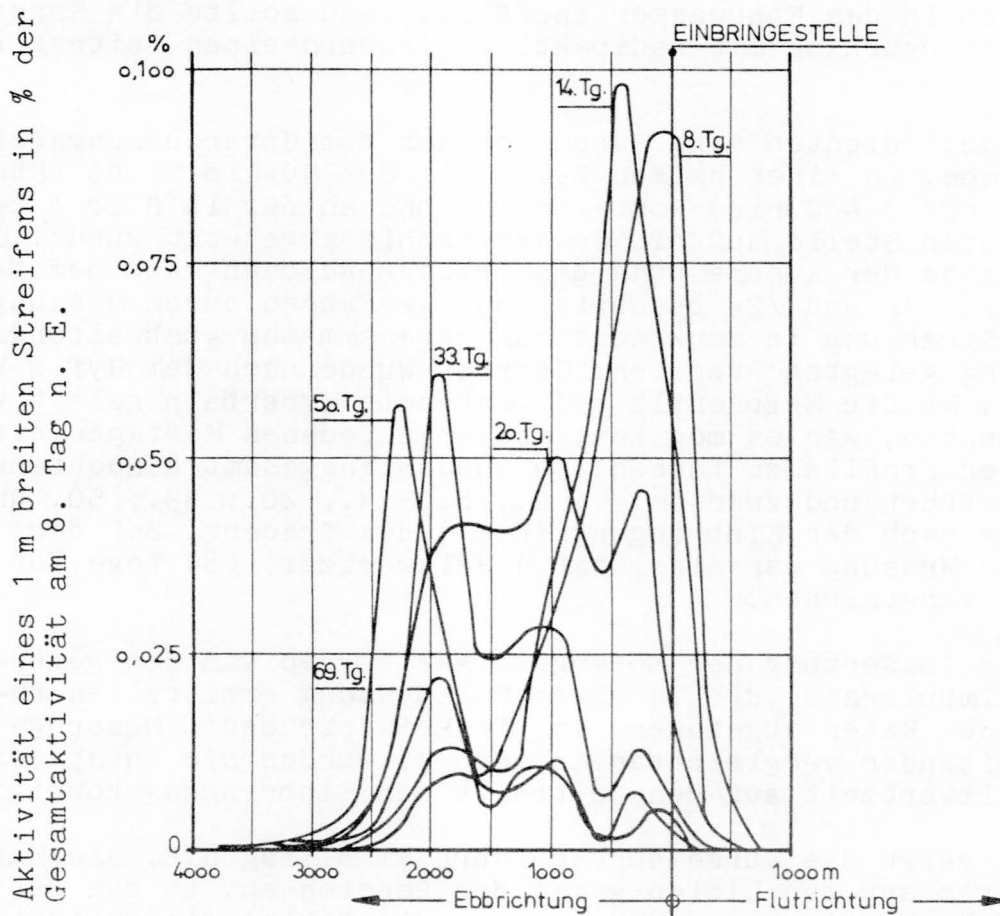


Bild 5 Längsverteilung des Tracers an den einzelnen Meßtagen

Die beiden ersten Messungen am 1. und 2. Tag n.E. wurden so nicht ausgewertet, weil erfahrungsgemäß der Tracer sich noch nicht im Gleichgewicht mit der wandernden Schicht befindet und die erhebliche Aktivität am Einbringepunkt mit den vorhandenen Meßgeräten nicht erfassbar ist. Daher wurde die für den 8. Tag n.E. ermittelte Gesamtaktivität = 100 % gesetzt. Obwohl sich die Verteilung der Aktivität durch Umlagerungen in Richtung NNW bis zum 20. Tag n.E. erheblich veränderte, blieb die Gesamtaktivität fast erhalten (Tabelle 4).

Erst vom 33. Tag n. E. fiel die gemessene Gesamtaktivität ab. Eindeutig erkennbar ist die Verlagerung des Tracers in Ebbrichtung aus der Umformung der Kurven in Bild 5 und der Verschiebung der prozentualen Anteile für Ebbe und Flut in den Spalten 3 und 4 der Tabelle 4. Um die Größe der Verlagerung zu bestimmen, wurde für jede Fläche unter den Kurven des Bildes 5 die Lage des Schwerpunktes bestimmt und daraus dessen Entfernung vom Einbringepunkt berechnet (Tabelle 4 Spalte 6). In den ersten 20 Tagen n. E. hat sich demnach der Schwerpunkt der Aktivität um rd. 55 m/Tag in Ebbrichtung verschoben. Ab 33. Tag n.E. beziehen sich die Angaben in der Tabelle 4 nur noch auf die nachgewiesenen Anteile.

Nicht ermittelt werden konnte, ob die fehlenden Anteile das Nachweisgebiet verlassen hatten und infolge Verdünnung oder Überdeckung nicht auffindbar waren oder ob sie im Bereich des sich während der Untersuchungszeit rd. 2300 m ebbwärts vom Einbringepunkt bildenden Maximums soweit vergraben waren, daß sie mit der Oberflächensonde nicht erfaßt werden konnten.

Tabelle 4 Relative Aktivitätsmengen an einzelnen Meßtagen

Datum	Tage nach Einbringung	Tracer in Ebber. %	Tracer in Flutr. %	Tracer Gesamt %	Schwern. [m] in Ebberichtung
14.03.	(Einbr.)				
22.-23.03.	8,5	76,6	23,4	100	438
28.-29.03.	14,5	84,8	11,3	96,1	588
03.-04.04.	20,5	93,6	4,0	97,6	1108
16.-17.04.	33,5	61,3	1,0	62,3	1462
03.-05.05.	50	46,7	0,2	46,9	1872
22.05	69	23,0	0,3	23,3	1560

In solchen Fällen können nur durch, im Seegebiet aufwendige, Bodenentnahmeverfahren gewonnene Proben weitergehende Werte liefern, die jedoch nicht zwangsläufig zu einer besseren Gesamtaussage führen müssen. Die hier vorgestellte Untersuchung ergab einen überwiegenden Ebtransport fast parallel zum Fahrwasser. Ein Eintrieb in das Fahrwasser war nicht zu erkennen.

6 Literatur

- /1/ Bundesanstalt für Wasserbau Tätigkeitsbericht 1968 - 1969
Karlsruhe 1970
- /2/ Bundesanstalt für Wasserbau Tätigkeitsbericht 1974 - 1975
Karlsruhe 1976
- /3/ Ruck, K. W. Erfahrungen beim Präparieren
von Sand für Leitstoffunter-
suchungen. In:
Mitt.-Bl.d.BAW 1972, Nr. 33
- /4/ Mundschenk, H. Ein radiometrisches Verfahren
zur Erfassung von Sedimentbewe-
gungen im Bereich richtungs-
konstanter Strömungen.
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Koblenz 1978

- | | |
|------------------------------------|--|
| /5/ Chauvin, J. L.;
Danion, J. | Messung des Feststoffdurchsatzes durch Geschiebebewegung in Wasserläufen mit Hilfe von radioaktiven Indikatoren. In: Informationsheft Nr. 8 des Büro Eurisotop, September 1965 |
| /6/ Bundesanstalt für
Wasserbau | Bericht über Sandbewegungsmessungen mit Luminophoren am Westkopf der Insel Borkum (unveröffentlichter Bericht der Bundesanstalt für Wasserbau vom 11.04.86) |
| /7/ Bundesanstalt für
Wasserbau | Bericht über die Untersuchung der Sandbewegung mit radioaktiven Tracern an der Klappstelle Spitzsand-West in der Außenelbe (unveröffentlichter Bericht der Bundesanstalt für Wasserbau vom 1.8.84 und Ergänzung vom 17.1.86) |
| /8/ Bundesanstalt für
Wasserbau | Untersuchungen des Sedimenteintriebs in die Fahrrinne im Bereich des WSA Cuxhaven, Allgemeines über Modellversuche mit radioaktiven Tracern, Elbemodell mit beweglicher Sohle (Gutachten Nr. 190, BAW-AK) |